بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت

رشته مدیریت صنعتی گرایش تولید و عملیات

پایان‌نامه ارشد کارشناسی ارشد

مدل‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید پایدار با در نظر گرفتن هزینه انرژی وابسته به زمان (نمونه موردی: صنعت فولاد)

نگارنده: فرزانه ربیعی چمگردانی

استاد راهنما

دکتر علی‌اکبر حسنی

استاد مشاور

دکتر محمدحسن حسینی

شهریور ۱۳۹۵

شماره: ۳-۹۵-۵۱۲۸
تاریخ: ۹۵/۶/۳۰
ویرایش:

باسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۷: صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای **فزرانه ربیعی چمگردانی** به شماره دانشجویی **۹۳۰۷۸۷۴** رشته **مدیریت صنعتی** گرایش تحت عنوان مدل سازی ریاضی برنامه ریزی تولید و زمان بندی تولید پایدار با در نظر گرفتن هزینه انرژی وابسته به زمان(نمونه موردی: صنعت فولاد) که در تاریخ **۱۳۹۵/۰۶/۱۷** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه خوب ـ امتیاز ۱۸/۷۵) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹) ۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶) ۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول دکتر علی اکبر حسنی			
۲- استادراهنمای دوم			
۳- استاد مشاور دکتر محمد حسن حسینی			
۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی محمدرضا آرمان مهر			
۵- استاد ممتحن اول دکتر رضا شیخ	رضا شیخ		
۶ـ استاد ممتحن دوم دکتر بزرگ مهر اشرفی	بزرگ مهر اشرفی		

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا شیخ

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم:

حمد و سپاس خداوند لایزال که در راه رسیدن به کمال ما را به لطف فیض و رحمتش بی نصیب

کرده، تقدیم به خانواده عزیزم به خصوص پدر و مادر ارجمندم که در تحصیل مرا یاری کرده اند

و همه ی موفقیت خود را مدیون آن ها هستم.

تقدیر و تشکر:

با آرزوی توفیق و سعادت برای تمامی اساتید دلسوز و مهربانم در دانشگاه صنعتی شاهرود بلاخص جناب آقای دکتر علی اکبر حسنی که با زحمات خود در طول دوره تحصیل باعث پربارتر شدن مطالب این تحقیق شده اند و همچنین از جناب آقای مهندس عباس عبادی شاغل در بخش مدیریت مهندسی صنایع کارخانه ذوب آهن اصفهان به خاطر همکاری شان؛

بدین وسیله از تمامی این عزیزان به خاطر راهنمایی های ارزنده و سعه صدرشان، سپاس گذارم.

تعهدنامه

اینجانب فرزانه ربیعی چمگردانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مدیریت صنعتی** دانشکده **مهندسی صنایع و مدیریت** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **مدل‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید پایدار با در نظر گرفتن هزینه انرژی وابسته به زمان (نمونه موردی: صنعت فولاد)** تحت راهنمایی دکتر علی‌اکبر حسنی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام‌شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه شاهرود» و یا «University of Shahrood» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافتهای آن‌ها) استفاده‌شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده‌شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه‌های رایانه‌ای ، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود هست . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

چکیده

برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید با توجه به شرایط حاکم بر فضای تصمیم‌گیری نظیر نحوه برنامه و زمان‌بندی خاص سفارش‌ها و محدودیت منابع انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است. این در حالی است که نقش بالای این مقولات بر مدیریت کارای هزینه‌ها در صنعت فولاد بر اهمیت آن‌ها می‌افزاید. رشد روزافزون صنایع در دهه‌های اخیر و رقابت‌های شدید در بازار، برای رسیدن به اهداف و استراتژی‌های از پیش تعیین‌شده نیاز به برنامه‌ریزی تولید دارد و صریحاً می‌توان ادعا نمود که بدون برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی تولید رسیدن به آرمان‌های از پیش تعیین‌شده غیرممکن می‌باشد. از سوی دیگر، در طی سال‌های اخیر همراه با افزایش توجه به مقولات زیست‌محیطی و تشدید قوانین نظارتی در این حوزه، صنعت فولاد را به‌عنوان یکی از صنایع آلاینده تحت تأثیر خود قرار داده است. یکی از مهم‌ترین چالش‌های صنایع فولاد، برنامه‌ریزی تولید مناسب است که با توجه به سفارشی بودن این تولید در این صنعت، زمان‌بندی تولید ازجمله مهم‌ترین مسائل تصمیم‌گیری آن خواهد بود. همچنین با توجه به لزوم استفاده حداکثری از ظرفیت انبار در این صنعت، پرداختن به برنامه‌ریزی موجودی‌ها نیز امری ضروری است. در این راستا، پژوهش حاضر باهدف ارائه مدل ریاضی برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی تولید با در نظر گرفتن هزینه انرژی وابسته به زمان در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۵ در صنعت فولاد انجام گرفت که مدل ارائه‌شده، برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی را توأماً با لحاظ نمودن هزینه انرژی در نظر گرفته است. لزوم این کار در استفاده مناسب از ظرفیت منابع در اختیار نظیر فضای انبارها و توان ماشین‌آلات و کاهش هزینه‌های انرژی در صنعت فولاد است. این مدل در عمل می‌تواند نقش کلیدی در بهبود برنامه‌ریزی تولید صنایع فولاد از طریق تولیدات به‌اندازه از محصولات مختلف، کاهش موجودی مازاد در انبار داشته باشد و بدین ترتیب کاهش هزینه نگهداری و استفاده مناسب از منابع انرژی در دسترس را در پی داشته باشد. در ادامه مدل ارائه‌شده با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز حل‌شده و نتایج آن مانند میزان تولید هر محصول روی هر ماشین، ظرفیت ایدئال

انبار برای هر محصول در انبارهای میانی و میزان انرژی مصرفی از هر منبع در هرماه و در افق زمانی یک‌ساله ارائه‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از کارایی مدل پیشنهادی جهت زمان‌بندی تولید در صنعت فولاد با توجه به الزامات فضای تصمیم‌گیری آن است. بر اساس نتایج تحقیق تولید همه محصولات با توجه به تقاضای فعلی بازار قابل‌قبول و اقتصادی نبوده و ظرفیت انبارهای میانی برای محصولات مختلف در ماه‌های متفاوت در سال مشخص گردید و متوجه شدیم که در سه‌ماهه اول سال میزان مصرف انرژی بیش از دیگر ماه‌های سال بوده است.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی تولید، زمان‌بندی تولید، برنامه‌ریزی سفارش‌ها، هزینه انرژی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده .....ز

فهرست مطالب..... ط

فهرست اشکال..... م

فهرست جداول.....س

فصل اول: کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ بیان مسئله ۳

۱-۳ ضرورت انجام پژوهش..... ۶

۴-۴ هدف پژوهش..... ۸

۱-۵ سؤالات و فرضیات پژوهش ۹

۱-۶ نوع پژوهش ۱۰

۱-۷ روش پژوهش..... ۱۰

۱-۸ قلمرو پژوهش ۱۴

۱-۹ نوآوری پژوهش ۱۴

فصل دوم: ادبیات تحقیق

۲-۱ مقدمه ۱۶

۲-۲ بررسی تحقیقات صورت گرفته در سیستم تولید فولاد ۱۶

۲-۲-۱ تحقیقات صورت گرفته در حوزه برنامه‌ریزی تولید فولاد ۱۷

۲-۳ جایگاه و اهمیت مسائل زمان‌بندی تولید ۲۲

۲-۳-۱ فرایند زمان‌بندی ۲۴

۲-۳-۲ انواع مسائل زمان‌بندی ۲۶

۲-۳-۳ مروری بر تحقیقات زمان‌بندی تولید ۲۹

۲-۴-۲ مروری بر تحقیقات در حوزه زمان‌بندی واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته ۳۴

۲- ۵-۳ چگونگی زمان‌بندی در واحد فولادسازی و ریخته‌گری ۳۸

۲-۶-۲ چگونگی زمان‌بندی واحد نورد ۴۲

۲-۷-۲ بررسی تحقیقات صورت گرفته در حوزه زمان‌بندی واحد نورد ۴۴

۲-۴ مروری بر تحقیقات زمان‌بندی تولید از منظر مسئله و مدل‌سازی در صنعت فولاد ۴۷

۲-۵ مروری بر تحقیقات زمان‌بندی تولید در صنعت فولاد با توجه به روش حل ۴۹

۲-۶ معرفی صنعت فولاد ۵۹

❖فولاد و فولاد آلیاژی ۶۱

❖فولادهای قابل‌تولید ۶۱

❖انبار مواد خام ۶۵

۲- بخش کک سازی و تولید مواد شیمیایی ۶۶

❖کارگاه زغال ۶۶
❖کارگاه کک سازی..... ..... ۶۶
❖کارگاه بازیابی مواد ۶۷
❖کارگاه پالایش بنزول..... ..... ۶۷
❖کارگاه اسید سولفوریک.... ..... ۶۸
۳- بخش کوره بلند..... ۶۸
❖کارگاه اصلی..... ۶۹
❖کارگاه چدن‌ریزی ۶۹
❖کارگاه تعمیر پاتیل..... ۷۰
❖کارگاه ریخته‌گری مداوم..... ..... ۷۲
❖کارگاه شمش..... ..... ۷۳
❖کارگاه نورد ۳۰۰..... ..... ۷۴
❖کارگاه نورد ۵۰۰..... ..... ۷۴
❖کارگاه نورد ۶۵۰ ..... ۷۴
❖کارگاه نورد ۳۵۰..... ..... ۷۵
۲-۷ برنامه‌ریزی تولید با در نظر گرفتن محدودیت انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی ۷۲
۲-۸ جمع‌بندی ادبیات موضوع ۷۵

فصل سوم: روش تحقیق

۳-۱ مقدمه ۷۸

۳-۲ تشریح مدل ۷۸
۳-۳ پارامترهای مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی ۷۸
۳-۴ متغیرهای مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی ۷۹
۳-۴ تشریح مدل ریاضی ۸۰
۳-۵ خطی نمودن تابع‌های هدف ۸۳
۳-۶ روش حل مدل پیشنهادی ۸۴

فصل چهارم: تجزیه‌وتحلیل

۴-۱ مقدمه ۸۸
۴-۲ معرفی مسائل نمونه ۸۸
۴-۳ اعتبارسنجی نتایج حل مدل پیشنهادی ۹۵
۴-۴ نتایج حل و تحلیل حساسیت ۹۶

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

۵-۱ مقدمه ۱۰۶
۵-۲ پیشنهادهای اجرایی ۱۰۶
۵-۳ فرصت‌های تحقیقات آتی ۱۰۷
منابع ۱۰۸

فهرست اشکال

عنوان

صفحه

۲-۱مراحل تولید فولاد ۱۷

۲-۲جایگاه برنامه ریزی و زمانبندی تولید در زنجیره تأمین ۲۳

۲-۳ مبانی نظری مسائل برنامه ریزی و زمانبندی تولید به طور سنتی ۲۴

۲-۴ طبقه بندی کلی روش های حل مسائل زمانبندی ۲۶

۲-۵ انواع مسائل زمانبندی تولید و روابط بین آنها ۲۹

۲-۶ ساختار کلی مدیریت عملیات تولید در فولادسازی ۳۹

۲-۷ فرایند فولاد سازی و ریخته گری پیوسته ۴۰

۲-۸ فرایندهای نورد ۴۲

۲-۹ بخش آگلومراسیون ۶۲

۲-۱۰ کارگاه پخت ۶۳

۲-۱۱ کارگاه کک سازی ۶۴

۲-۱۲ کارگاه پالایش بنزول ۶۵

۲-۱۳ کارگاه اسید سولفوریک ۶۵

۲-۱۴ کوره بلند ۶۶

۲-۱۵ کارگاه چدن ریزی ۶۷

۲-۱۶ کارگاه کنورتور ۶۸
۲-۱۷ کارگاه L.F ۶۹
۲-۱۸ کارگاه ریخته گری مداوم ۷۰
۲-۱۹ کارگاه شمش ۷۱
۲-۲۰ کارگاه نورد ۶۵۰ ..... ۷۲
۲-۲۱ کارگاه نورد ۳۵۰ ..... ۷۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

۲-۱ انواع مسائل زمانبندی ۲۸

۲-۲ دسته بندی ادبیات مسائل یکپارچه برنامه ریزی ظرفیت ۳۳

۲-۳ طبقه بندی ادبیات در زمینه برنامه ریزی و زمانبندی تولید..... ۵۱

۲-۴ طبقه بندی کلی روش های حل مسائل زمانبندی کارگاه گردش کاری ۵۵

۳-۱ تکنیک های خطی سازی روابط غیر خطی ۸۴

۴-۱ مجموع تقاضا برای محصولات مختلف در ماه‌های مختلف ۸۹

۴-۲ توزیع در سه سطح برای تقاضای محصولات مختلف ۹۰

۴-۳ ظرفیت ایستگاه های کاری در ماه‌های مختلف..... ۹۱

۴-۴ میزان انرژی مصرفی برای محصولات مختلف..... ۹۲

۴-۵ نرخ انرژی مصرفی برای محصولات مختلف ۹۲

۴-۶ هزینه متغیر انرژی در ماه‌های مختلف..... ۹۳

۴-۷ هزینه ثابت انرژی در ماه‌های مختلف..... ۹۳

۴-۸ انرژی در دسترس..... ۹۴

۴-۹ ظرفیت انبار ایدئال ۹۵

۴-۱۰ اعتبار سنجی نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی..... ۹۶

۴-۱۱ ارزیابی رفتار رشد در هزینه های فروش از دست رفته ۹۷

۴-۱۲ میزان ظرفیت انبار ایدئال ۹۸

۴-۱۳ میزان انرژی مصرفی ۱۰۰

۴-۱۴ میزان تولید محصولات در طی دوره های برنامه ریزی ۱۰۱

۴-۱۴ مقادیر توابع هدف سه گانه و تابع هدف وزنی در برابر رشد تقاضا ۱۰۲

فصل اول:

طرح تحقیق

۱-۱ مقدمه

رشد روزافزون صنایع در دهه‌های اخیر و رقابت‌های شدید در بازار، برای رسیدن به اهداف و استراتژی‌های از پیش تعیین‌شده نیاز به برنامه‌ریزی تولید دارد و صریحاً می‌توان ادعا نمود که بدون برنامه‌ریزی تولید[۱] و زمان‌بندی تولید[۲] رسیدن به آرمان‌های از پیش تعیین‌شده غیرممکن می‌باشد برنامه‌ریزی تولید باید عوامل مختلفی همچون میزان تقاضا، هزینه نگهداری کالاهای نیم ساخته، هزینه نگهداری کالاهای فروش نرفته، هزینه آماده‌سازی ماشین‌آلات، هزینه‌های تولید، هزینه‌های انرژی مصرفی، هزینه‌های نیروی انسانی، تعداد نیروی انسانی در دسترس، تعداد نوبت‌کاری، حجم انبار، تنوع محصول، رقبا و ... را در نظر گرفته و با توجه به اهداف و استراتژی سازمان برنامه‌ریزی تولید را انجام داد. امروزه روند رو به رشد پیچیدگی در صنایع تولید و نیاز به کارایی بیشتر، استفاده از فنّاوری‌های نوین چرخه تولید، انعطاف بیشتر، کیفیت بهتر محصولات، تأمین هرچه بهتر انتظارات مشتریان و هزینه‌های کمتر، چهره تولید را تغییر داده است و با توجه به ظرفیت بالای تولید و امکان تولید انبوه محصولات، قدرت رقابت در اختیار سازمانی است که بتواند در کوتاه‌ترین زمان ممکن محصول موردنیاز را در حجم کم و تنوع زیاد تولید نماید. در عصر حاضر نگرش صنایع قدرتمند تولید فولاد به سمت تولید به‌موقع[۳] است(نصرآبادی, ۱۳۸۵).صنعت فولاد[۴] سنگ بنای اقتصاد صنعتی کشورها است. این صنعت بدون شک از بزرگ‌ترین صنایع مادر هست که به دلیل استفاده فولاد در بسیاری از صنایع دیگر مانند صنایع نفت و پتروشیمی، نیروگاه‌ها، ابراز سازی، ساخت لازم پزشکی و جراحی و صنایع خودروسازی و ماشین‌سازی و غیره از اهمیت بالایی برخوردار است. ازجمله مهم‌ترین مشخصات این صنعت، تولید به‌صورت سفارشی[۵] است. در حقیقت سفارش‌ها دریافتی توسط این صنعت ملاک برنامه‌ریزی قرارمی‌گیرد. در این راستا انتخاب سفارش‌ها مناسب از بین سفارش‌ها

[۱] Production planning
[۲] Production scheduling
[۳] Just-In-Time (JIT)
[۴] steel industry
[۵] MTO:Make to order

مشتریان بر اساس محدودیت‌های سیستم و تعیین سفارش‌ها تولیدی از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا عدم انتخاب مناسب سفارش‌ها تولیدی تأثیر مستقیم در کاهش سود و افزایش هزینه‌های تولیدی را منجر خواهد شد؛ بنابراین از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی این صنعت تعیین برنامه مناسب برای تولید و زمان‌بندی مناسب است. تولید مدرن به سمت پیوستگی، سرعت‌بالا و خودکار نمودن فرایندها در این صنعت و تمرکز برای ارتقاء کیفیت، کاهش هزینه و تحویل به‌موقع سفارش‌ها[1] از دیگر چالش‌های این صنعت می‌باشد. زمان‌بندی تولید یکی از مهم‌ترین برگ خریدهایی 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 مؤثری دارد. نقش زمان‌بندی تولید در تعیین زمان شروع و پایان کارها روی ماشین‌ها به‌گونه‌ای است که شاخص‌های معینی بهبود داده می‌شوند (نخعی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). زمان‌بندی تولید حوزه بسیار وسیعی از مسائل اکثر سیستم‌های خدماتی را تحت پوشش می‌دهد. مسائل زمان‌بندی دارای ویژگی‌های گوناگون هستند. به همین دلیل مدل‌سازی این‌گونه مسائل بسیار مشکل است. مضافاً اینکه طراحی ابزارهای حل و کیفیت آن‌ها وابسته به مدل است. از طرف دیگر به‌کارگیری ابزارهای حل موجود و توابع هدف طراحی‌شده و مدل‌هایی که ابزار حل برای آن‌ها طراحی‌شده غالباً دارای حالت کلاسیک و غیرعملی هستند. (نخعی نژاد،۱۳۹۲)

۱-۲ بیان مسئله

برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید با توجه به شرایط حاکم بر فضای تصمیم‌گیری نظیر نحوه برنامه و زمان‌بندی خاص سفارش‌ها، محدودیت منابع انرژی و بسیار هزینه‌بر بودن آن‌ها با توجه به نیاز صنعت فولاد، توجه به مقولات زیست‌محیطی با توجه به آلاینده بودن فعالیت‌های تولیدی در این صنعت و موارد مشابه دیگر. ازاین‌رو در این تحقیق سعی خواهد شد تا یک مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید

[1] Timely delivery order

با توجه به مسائل زیست‌محیطی و مدیریت هزینه‌های مصرف انرژی[۱] و همچنین معیارهای معمول در زمان‌بندی کارها نظیر حداقل نمودن زمان تکمیل آخرین‌ها ارائه شود.

این تحقیق به دنبال به دست آوردن یک مدل کارا، جهت زمان‌بندی تولید سفارش‌ها در خطوط تولید صنایع ذوب‌آهن[۲] است. هدف از ارائه این مدل این است که بتوانند علاوه بر کاهش موجودی انبارها و استفاده بهینه از خطوط تولید، هزینه‌های ناشی از مصرف انرژی نیز کاهش داده شود. مسئله موردبررسی در صنعت فولاد بر اساس نظام سفارش چندمرحله‌ای، چند محصولی، با ساختار جریانی و به‌صورت تک سطحی توسعه‌یافته است. در این حالت یکی از انواع فروش مستقیم[۳] در نظر گرفته‌شده است که در آن افراد ملزم به ساختن سازمان و شبکه فروش نبوده و تنها بابت فروش شخصی خود به دیگران پاداش دریافت می‌نمایند. با توجه به حجم تولید و پیچیدگی مراحل تولیدی، برنامه‌ریزی به‌صورت سلسله مراتبی توسعه‌یافته است. منظور از برنامه‌ریزی سلسله مراتبی[۴] بدین معناست که یک سیستم تولیدی شامل چندین زیرسیستم مرتبط به هم است و فعالیت‌های مختلف آن‌ها بایستی به نحوی صحیح در جهت افزایش کارایی و عملکرد کل سیستم هدایت شوند. در این میان برنامه‌ریزی تولید فعالیت پیچیده‌ای است که نیاز به همکاری واحدهای مختلف در یک سازمان دارد. این فعالیت درواقع توالی یکسری تصمیمات در رابطه با موضوعات مختلف مدیریتی مطابق با سلسله‌مراتب فعالیت‌های تولیدی اتخاذ می‌شوند. با پایین رفتن در این ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری، افق تصمیمات تنگ‌تر شده و سطح جزئیات افزایش می‌یابد؛ اما به‌هرحال یک ارتباط و هماهنگی مابین تصمیمات سطوح متوالی تصمیم‌گیری ضروری است. یک روش کلاسیک برای انجام این فرآیند تصمیم‌گیری چند سطحی، رویکرد برنامه‌ریزی تولید سلسله مراتبی است. در یک سیستم سلسله مراتبی مسئله اصلی تصمیم‌گیری با توجه به نوع ساختار سازمانی به مسائل کوچک‌تری تجزیه می‌شود

[۱] Energy use costs
[۲] Steel industry
[۳] direct selling
[۴] Planning Hierarchy

که این زیر مسائل دارای یک ساختار سلسله مراتبی مابین خود هستند. در مسئله موردبررسی، افق برنامه‌ریزی می‌تواند در هریک از سطوح بلندمدت، سه تا پنج‌ساله، در سطح میان‌مدت، سالیانه و در سطح کوتاه‌مدت سه‌ماهه، ماهیانه و هفتگی است. تا جایی که در برنامه‌ریزی کف کارگاه، افق برنامه‌ریزی به‌صورت روزانه است. در مسئله این تحقیق، افق برنامه‌ریزی میان‌مدت[1] و برنامه‌ریزی تولید، برنامه‌های ماهانه‌ای به‌منظور تعیین سفارش‌ها و موجودی‌ها ترتیب می‌دهد که در این برنامه ماهانه، برنامه‌های هفتگی واحدها تعیین می‌شود.

در این مسئله، مجموعه‌ای از اهداف برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید در نظر گرفته‌شده است. این اهداف عبارت‌اند از: کمینه‌سازی تابع هزینه (شامل مجموع هزینه‌های زمان‌بندی و هزینه‌های منابع مصرفی و انرژی) و کمینه‌سازی میزان تولید گازهای گلخانه‌ای. در این مدل‌سازی هدف برنامه‌ریزی و زمان‌بندی به‌منظور استفاده مناسب از ظرفیت موجود و استفاده حداقل از انرژی تعیین می‌گردد که تولید در کدام بازه زمانی بهتر است انجام گیرد.

همچنین در این مسئله، مجموعه از محدودیت‌های برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید در نظر گرفته‌شده است. این محدودیت‌ها عبارت‌اند از: ظرفیت در دسترس برای هر فرآیند، حداقل ظرفیت تولید، حداکثر ظرفیت تولید و ظرفیت انبارهای میانی.

همچنین در این مسئله، مجموعه از پارامترهای[2] برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید در نظر گرفته‌شده است. این پارامترها عبارت‌اند از: تعداد محصولات، تعداد منابع انرژی، تعداد تقاضای تولید در بازه زمانی موردبررسی، افق زمانی، هزینه‌های کمبود محصول، هزینه نگهداری محصول، ظرفیت ایدئال انبارهای میانی، حداکثر موجودی مجاز و مقدار موجودی، هزینه ثابت و متغیر انرژی و نرخ انرژی، ظرفیت قابل‌دسترس انرژی.

[1] Medium-term planning horizon
[2] Parameters

در این مدل مجموعه از متغیرهای عملیاتی برنامه‌ریزی تولید شامل متغیرهای باینری[1] و پیوسته در نظر گرفته‌شده است. این متغیرها عبارت‌اند از: مقدار تولیدشده از محصول، ظرفیت موجودی محصول، مقدار استفاده‌شده از منبع، متغیر قرین استوار تحت تأثیر عدم قطعیت ظرفیت تولید و انرژی.

۱-۳ ضرورت انجام پژوهش

با توجه به کمبود منابع و انرژی در کشور و همچنین افزایش آلاینده‌های هوایی نیازمند پژوهش‌هایی برای اصلاح الگوهای مصرف در کارخانه‌ها و استفاده از روش‌های بهینه در به‌کارگیری و استفاده از منابع و انرژی با برنامه‌ریزی و زمان‌بندی مناسب برای تولید هستیم. لذا ضرورت اهمیت توجه به مصرف انرژی و آلودگی هوا ضرورت انجام این تحقیق است که بر آن شدیم به‌طور همزمان به دنبال کمینه کردن هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی و زمان‌بندی و آلودگی هوا در صنعت فولاد (ذوب‌آهن) باشیم. از جهتی رقابت در بازار در حال حاضر بسیار به قیمت تمام‌شده محصول وابسته است. ازآنجاکه یک برنامه‌ریزی مناسب در سازمان‌های تولیدی بیش‌ازپیش خود را نشان می‌دهد. محققان زیادی در جهت ارائه مدل‌های ریاضی به‌منظور یافتن یک زمان‌بندی مناسب و کاهش زمان‌های تولید، تأخیر و یا تعجیل پژوهش انجام داده‌اند (مختاری، نخعی و ذگردی، ۱۳۹۱). ضرورت استفاده از صنعت تولید فولاد آلیاژی در جایگاه صنعت مادر و زیر بنایی، علاوه بر تغذیه کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی و تأمین مواد اولیه برای این‌گونه واحدها، می‌تواند زمینه‌های مناسبی را برای اقدام سریع‌تر برای بهره‌برداری و تبدیل آن‌ها به تولیدات موردنیاز و درنتیجه تضمین رشد اقتصادی کشور فراهم آورد. ازاین‌رو پرواضح است که تحقیق و پژوهش در این صنعت از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. ازجمله ویژگی‌های صنعت تولید فولاد آلیاژی، استاندارد بودن فرایندهای تولیدی آن و از طرفی تولید سفارشی آن است (نخعی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). در صنعت فولاد که حجم عظیمی از ثروت، نیروی کار و انرژی مورداستفاده است، کوچک‌ترین بهبود در برنامه‌ریزی می‌تواند اثرات چشمگیری در کاهش

[1] Binary variables

هزینه‌ها، کاهش مصرف انرژی، کاهش زمان تولید و زمان تحویل و افزایش رضایت مشتریان داشته باشد (نخعی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). از طرفی در طول چند دهه گذشته مسائل مربوط به مصرف انرژی و تغییرات آب و هوایی افزایش‌یافته است و منجر شده که دست یافتن به یک موقعیت قابل توجیه در دستور کار پایداری صنعت فولاد قرار گیرد. صنعت فولاد به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین فرآیندهای صنعتی انرژی در جهان و همچنین به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انتشار دی‌اکسید کربن[۱] هست. بااین‌حال نقش عمده استفاده از فولاد در جامعه مدرن غیرقابل‌انکار است. یکی از چالش‌ها و اهداف دستگاه‌های انرژی صنعتی دستیابی به حداقل کردن دی‌اکسید کربن بدون غفلت از بهره‌وری انرژی است. درنتیجه، در این راه توسعه مدل و استراتژی‌های مؤثر برای بهینه‌سازی فرایندهای تولید فولاد مفید است. صنایع آهن و فولاد انرژی و منابع زیادی مصرف کرده و کربن بسیاری تولید می‌کنند (آژانس بین‌المللی انرژی،۲۰۱۰)[۲]. ازاین‌رو استفاده بهینه از منابع (مواد و انرژی) و کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای از مسائل ضروری هستند (کای، زنگ، دونگ، ۲۰۱۲، تانکا، ۲۰۱۲)[۳] یک‌راه مؤثر برای بهبود مدیریت انرژی[۴] در صنایع فولاد و کاهش انتشار گازهای کربن دی‌اکسید از طریق بهره‌برداری از مدل‌سازی فرایند و بهینه‌سازی است. مدل‌های فرایند یکپارچه به تدوین و فرموله کردن مسائل بهینه‌سازی با اهداف چندگانه بوده است. در نظر گرفتن چند معیار ارزیابی عملکرد سیستم فولاد شامل معیارهای مالی و غیرمالی همچون میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌توانند برای محققان و فعالان این حوزه مطلوب باشد. ازآنجاکه نیز قبلاً ذکر شد که کوچک‌ترین بهبود در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید صنعت فولاد اثرات چشمگیری در کاهش هزینه‌ها و انرژی دارد و از طرفی این صنعت یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های تولید گازهای گلخانه‌ای است و اهمیت به محیط‌زیست یکی از دغدغه‌های امروز ماست ضرورت پرداختن به این تحقیق را می‌رساند.

[۱] carbon dioxide
[۲] International Energy Agency
[۳] Cai JJ, Zeng WW, Dong H Tanaka K
[۴] Improved power management

به‌طورکلی مطالعه و تحقیق در انواع سیستم‌های تولیدی جریان کارگاهی[1] از اهمیت بالایی برخوردار است. این اهمیت به‌واسطه این مطلب است که این سیستم تولیدی یک‌چهارم سیستم‌های تولیدی بنانهاده شده‌اند. ازجمله این صنایع، صنعت فولاد است که اهمیت آن کاملاً بدیهی به نظر می‌رسد. چراکه این صنعت در بسیاری از صنایع مانند صنایع نیروگاه‌ها، ابزارسازی، ساخت لوازم پزشکی و جراحی، صنایع خودروسازی، ماشین‌سازی و ... کاربرد دارد. علاوه بر آن، نتایج حاصل از بهبود در این صنعت می‌تواند در صنایع مشابهی که از سیستم کارگاه گردش کاری (Flow shop) پیروی می‌کنند نیز کاربرد داشته باشد. (نخعی نژاد،۱۳۹۲)

۱-۴ هدف پژوهش

هدف این پژوهش مدل‌سازی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید پایدار با در نظر گرفتن هزینه انرژی وابسته به زمان است. 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 به‌عنوان تأمین‌کننده بسیاری از صنایع مانند نیروگاه‌ها، ابزارسازی، ساخت لوازم پزشکی و جراحی، صنایع خودروسازی و ماشین‌سازی و ... است، لزوم توجه و تحقیق و بررسی در آن بیشتر خواهد شد. برای این منظور بدون شک برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی در پاسخگویی سریع و مناسب به مشتریان نقش بسیار کلیدی را ایفا می‌نماید. در اکثر صنایع تولیدی فولاد، سیستم تولیدی به‌صورت سفارشی است اما از طرف دیگر برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی تولید تمامی واحدهای موجود در یک صنعت مانند واحد فروش، واحد خرید و ... از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. (نخعی نژاد،۱۳۹۲)

[1] Flow shop

۱–۵ سؤالات و فرضیات پژوهش

- راهکار مناسب برای برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی تولید و درنتیجه ایجاد بهبود در صنعت فولاد چیست؟
- راهکار مناسب برای تولید محصولات از منظر تولید پایدار[۱] در صنعت فولاد چیست؟
- متدولوژی[۲] مناسب جهت حل برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی تولید چگونه می‌بایست باشد؟

مفروضات تحقیق به شرح زیر هست:

- تنوع محصولات تولیدی مشخص است.
- ظرفیت هرکدام از مراحل تولیدی معلوم است.
- هزینه‌های مرتبط با هر مرحله مشخص است.
- زمان‌های فرایند مربوط به هر عملیات معین است.
- مدت‌زمان در دسترس از ماشین در افق برنامه‌ریزی مشخص است.
- در هر زمان هر ایستگاه فقط یک عملیات بروی یک کار می‌تواند انجام گیرد.
- عملیات تشکیل‌دهنده کارها و توالی انجام هر کار در هنگام زمان‌بندی معلوم است.
- تعداد دستگاه‌ها در هر مرحله از فرایند مشخص است.
- حجم انبار و ظرفیت موجود معلوم است.

لازم به توضیح است که در هرکدام از مدل‌های ارائه‌شده در بخش‌های مختلف تحقیق، فرضیاتی وجود دارد که علاوه بر فرضیات کلی در نظر گرفته می‌شود. این فرضیات در هرکدام از بخش‌های مربوطه اشاره خواهد شد.

۱–۶ نوع پژوهش

[۱] Sustainable production
[۲] Methodology

به‌طورکلی، از دیدگاه ماهیت تحقیق، این تحقیق را می‌توان در زمره پژوهش‌های کمی دانست؛ و با توجه به ماهیت موضوع و هدف آن، تحقیق پیش رو از نوع تحقیقات کاربردی هست زیرا نتایج حاصل از آن نقش مهمی را در تصمیمات برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی تولید در صنعت فولاد ایفا می‌کند.

۱-۷ روش پژوهش

همان‌گونه که در بخش قبلی نیز اشاره شد این تحقیق از نوع کمی است و دلایل اصلی این مطلب را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- ❖ مفاهیم اصلی تحقیق را می‌توان به‌صورت مجموعه‌ای از متغیرها و پارامترهای مشخص نشان داد.
- ❖ داده‌های موردنیاز برای محاسبه پارامترها به شکل عددی قابل جمع‌آوری هستند.
- ❖ فرایندهای خروجی تحقیق به‌صورت استاندارد و تکرارپذیر قابل انجام هستند.
- ❖ تحلیل‌ها و نتیجه‌گیری‌های تحقیق در قالب مفاهیم ریاضی قابل‌بیان هستند.

با توجه به کمی بودن ماهیت این تحقیق، استفاده از روش‌های تحقیق کمی برای انجام این تحقیق امری ضروری است. همچنین رویکرد اصلی این تحقیق رویکرد کاربردی است چراکه هدف اصلی تحقیق ایجاد ارتباط بین مفاهیم نظری تحقیق در عملیات با مسائل کاربردی در دنیای صنعت است.

روش تحقیقات انجام‌شده درزمینه ی مسائل زمان‌بندی تولید از دیدگاه روش‌شناختی را می‌توان به دودسته کلی روش‌های تحقیق غیرتجربی[۱] شامل فن‌های تحقیق مفهومی[۲]، اثبات قضایا[۳] و شبیه‌سازی[۴] و نیز روش‌های تحقیق در مرز روش‌های تحقیق علمی/تفسیرگرا[۵] شامل فن مطالعه

[۱] Non-Emperical research
[۲] conceptual research
[۳] Teorem proof
[۴] simulation
[۵] research Techniques at Scientific / Interpretivist Boundary

موردی[1] تقسیم نمود. بااین‌حال مهم‌ترین روش تحقیق مورداستفاده برای حل مسائل طراحی شبکه هاب[2] را می‌توان روش تحقیق مفهومی و یکی از ابزارهای مشهور آن یعنی تحقیق در عملیات[3] دانست. دلیل این امر را می‌توان به رویکرد اصلی تحقیقات مسائل زمان‌بندی تولید یعنی مدل‌سازی مجرد در قابل مدل‌های ریاضی بهینه‌سازی دانست. این مدل‌ها علی‌رغم آن‌که بر پایه محیط، فرایندها و نیز شرایط واقعی بنانهاده شده‌اند، اما به‌محض ساخته‌شدن کاملاً از داده‌های دنیای واقعی جدا می‌شوند و تنها بر داده‌های ترکیبی[4] (ترکیب مجموعه‌ای از داده‌های واقعی[5] و داده‌های شبیه‌سازی[6]) و نیز تفکر مفهومی محقق در مورد نحوه مجرد سازی سیستم تکیه‌دارند (البدوی، ۱۳۸۹). با توجه به مطالب طرح‌شده و ماهیت طرح تحقیق که نیازمند جداسازی مدل موردمطالعه از دنیای واقعی است، فن تحقیق اصلی مدنظر برای این تحقیق فن تحقیق در عملیات است.

از دیدگاه روش‌شناختی، فن تحقیق در عملیات دارای دو هدف تشریح و تغییر است (البدوی، ۱۳۸۹). هدف تشریح را می‌توان با دو سؤال زیر بیان نمود:

- وضعیت معماری کنونی سیستم چه هزینه‌ها و شرایطی را بر سیستم تحمیل می‌کند؟
- با توجه به وضعیت معماری کنونی سیستم و اطلاعات در دست، چه راه‌کاری می‌تواند معیارهای عملکرد مدنظر مدیریت را بهینه نماید؟

همچنین هدف تغییر تحقیق در عملیات سعی دارد با کمک دیگر روش‌های تحقیق کاربردی در مهندسی صنایع، امکان ارائه راه‌کارهای بهبود سیستم را بر مبنای تغییر و تحول در سیستم، فراهم آورد. در این تحقیق با توجه به تمرکز بر توسعه مدل‌های کمی در تحقیق در عملیات، تمرکز بر هدف

[1] Technology Case Study
[2] Hubs
[3] Operations Research
[4] Synthetic data
[5] Actual data
[6] Simulated data

تشریح تحقیق در عملیات خواهد بود. با توجه به مطالب مطرح‌شده فوق، فرایند کلی پیشنهادی برای این حل هر یک از مسائل این تحقیق را می‌توان در گام‌های زیر خلاصه نمود:

۱) **شناخت دقیق مسئله تحقیق در دنیای واقعی**: با توجه به اینکه تعریف مسئله تحقیق این طرح تحقیق بر اساس پیشینه تحقیق انجام‌شده است، در گام اول تحقیق باید با مراجعه به دنیای صنعت به بررسی مشابهت بین مفروضات تحقیق و خصیصه‌های دنیای واقعی برقرار نمود. این امر موجب می‌شود مسئله تحقیق تا حد ممکن واقعی‌تر شده و درنتیجه مسئله تحقیق تا حد ممکن کاربردی‌تر گردد.

۲) **شناخت و تعریف مسئله:** در این گام بر اساس نتایج مرحله قبل و نیز نتایج بررسی پیشینه تحقیق، یک تعریف جامع و دقیق از محدوده سیستم موردبررسی و اجزای آن ارائه می‌شود. بر اساس این تعریف، می‌توان مفروضات مسئله تحقیق را مشخص نمود.

۳) **مدل‌سازی[۱] مسئله**: بر اساس مفروضات به‌دست‌آمده در گام قبلی، در این گام یک مدل ریاضی ارائه می‌گردد. با توجه به ماهیت مسئله تحقیق، در راستای مدل‌سازی باید از مفاهیم فرایندهای تصادفی و فن‌های مدل‌سازی مربوط به برنامه‌ریزی عدد صحیح، بهینه‌سازی تصادفی، بهینه‌سازی استوار و بهینه‌سازی غیرخطی استفاده نمود.

۴) **انتخاب و طراحی روش حل**: در این گام، بر اساس خصوصیات مدل ریاضی ارائه‌شده، یک یا چندین روش حل کارا و قدرتمند جهت حل مسئله در ابعاد واقعی ارائه می‌گردد. با توجه به اینکه، مدل ریاضی توسعه داده‌شده بر اساس فرایندهای تصادفی، برنامه‌ریزی عدد صحیح، بهینه‌سازی تصادفی، بهینه‌سازی استوار و بهینه‌سازی غیرخطی بنانهاده شده است، روش‌های حل موردنیاز برای حل مسئله تحقیق نیز از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری (به دلیل پیچیدگی‌های زیاد حل مسئله) استفاده شود.

[۱] modeling

۵) **حل مسئله**[1]: در این گام بر مبنای روش حل طراحی‌شده در مرحله قبل، مسئله تحقیق حل‌شده و عیوب و اشکالات احتمالی روش حل طراحی‌شده رفع می‌گردد.

۶) **طراحی/انتخاب مسائل نمونه تصادفی و جمع‌آوری داده واقعی**: در این گام، مسائل نمونه تصادفی (بر مبنای مسائل نمونه ارائه‌شده در ادبیات موضوع و طراحی تصادفی پارامترهای جدید مسئله تحقیق) و نیز در صورت امکان داده‌های واقعی برای اعتبارسنجی روش حل پیشنهادی انتخاب و جمع‌آوری می‌شوند.

۷) **اعتبارسنجی**: در این گام، با استفاده از داده‌های مرحله قبل، اعتبار عملکرد روش حل پیشنهادی با استفاده از مقایسه با دیگر روش‌های حل دیگر تحقیقات نزدیک به مسئله تحقیق سنجیده می‌شود و بر اساس نتایج آن تغییرات لازم درروش حل داده می‌شود.

۸) **انتشار نتایج تحقیق در جامعه دانشگاهی**: پس از مطمئن شدن از کارایی مدل و روش حل پیشنهادی تحت شرایط آزمایشگاهی، در این گام باید اقدام به انتشار نتایج تحقیق در جامعه دانشگاهی نمود تا بتوان با استفاده ازنظرت، پیشنهادها و انتقادات دیگر محققان بتوان کیفیت تحقیق را افزایش داد.

به‌طور خلاصه، در این تحقیق مسئله موردنظر مدل‌سازی ریاضی می‌شود و سپس با توجه به ماهیت مدل که از نوع برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است، از نرم‌افزار بهینه‌سازی مناسب استفاده خواهد شد؛ بنابراین این تحقیق از نوع کمّی بوده و به لحاظ مورداستفاده، کاربردی است.

با توجه به اینکه تحقیق حاضر از نوع کمّی بوده و شامل مدل‌سازی و حل مسئله است لذا فرضیه‌ای جهت آزمودن در آن مطرح نیست. همچنین سؤال اصلی تحقیق عبارت است از: «چگونگی ارائه یک‌زمان بندی تولید پایدار[2] کارا با در نظر گرفتن هزینه‌های انرژی وابسته به زمان؟»

[1] Problem Solving
[2] Sustainable production

۱–۸ قلمرو پژوهش

قلمرو موضوعی، مدل‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید پایدار با در نظر گرفتن هزینه انرژی وابسته به زمان[۱] در حوزه روش‌های کمی و تحقیق در عملیات با قلمرو مکانی صنعت فولاد در سال (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵) است.

۱–۹ نوآوری پژوهش

از نوآوری‌های این پژوهش می‌توان به ساخت مدل‌سازی ریاضی و محدودیت‌های مرتبط با سه حوزه شامل «برنامه‌ریزی تولید»، «زمان‌بندی تولید»، «در نظر گرفتن هزینه‌های انرژی وابسته به زمان» در صنعت فولاد جهت بهبود در صنعت فولاد اشاره نمود. در هرکدام از این حوزه‌ها اهمیت تصمیم‌گیری با توجه به حجم سرمایه‌گذاری در این صنعت، سفارشی بودن این صنعت، تأمین مواد اولیه بسیاری از صنایع و موارد دیگر بسیار بالا است. در حقیقت با توجه به اینکه حجم سرمایه‌گذاری در این صنعت بسیار بالاست لزوم استفاده حداکثر از ظرفیت تولید بدیهی است. از طرف دیگر یکی از مهم‌ترین چالش‌های واحدهای موجود در صنعت فولاد داشتن یک برنامه مناسب به‌منظور پاسخگویی سریع و مناسب به مشتریان است که برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی مناسب راهکار مناسبی برای این منظور است.

[۱] Time-dependent energy costs

فصل دوم:

ادبیات تحقیق

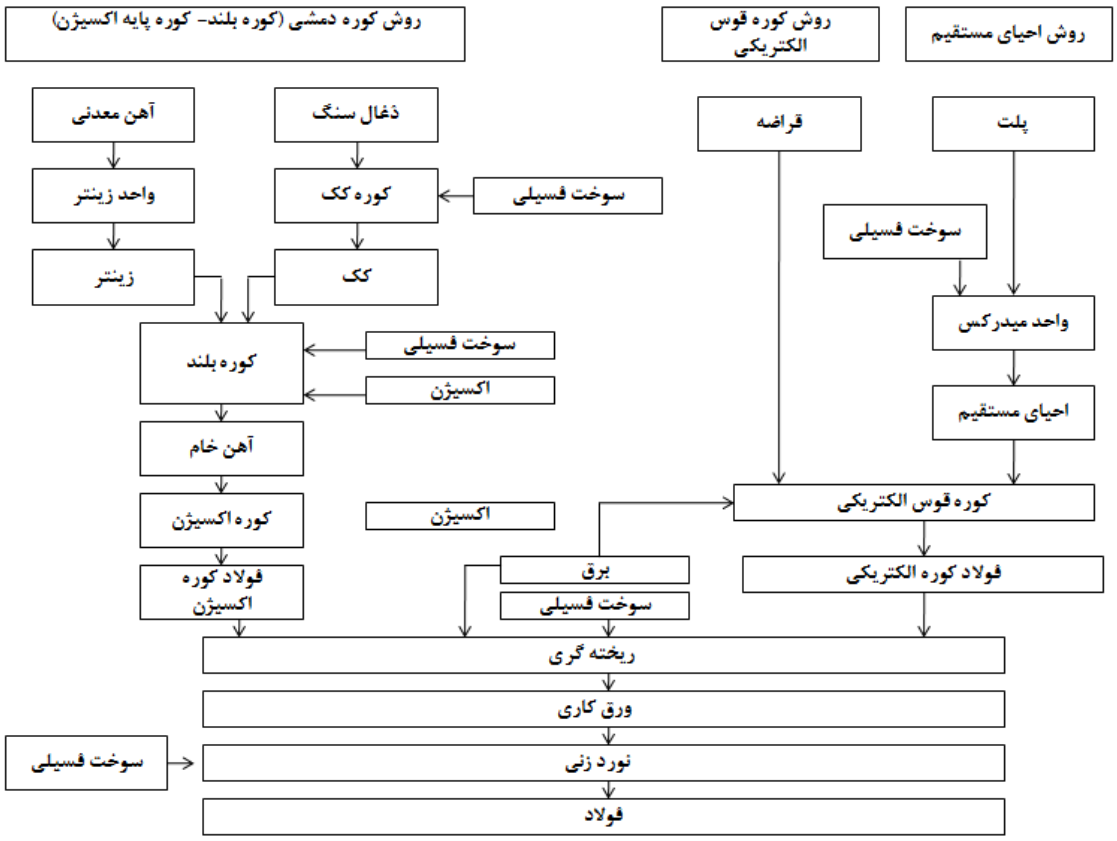
۲-۱ مقدمه

این فصل به‌مرور ادبیات صورت گرفته در صنعت فولاد می‌پردازد. هدف اصلی در این فصل بررسی ادبیات و تحقیقات صورت گرفته در صنعت فولاد در حوزه‌های برنامه‌ریزی سفارش‌ها، زمان‌بندی فولادسازی-ریخته‌گری پیوسته و زمان‌بندی واحد نورد، با در نظر گرفتن محدودیت‌های کاربردی این صنعت دانست. در یک سازمان تولیدی، فعالیت‌های حوزه برنامه‌ریزی تولید و تأمین و ازجمله زمان‌بندی و تعیین توالی انجام کارها بسیار ضروری و حیاتی بوده و تأثیر زیادی در انجام به‌موقع کارها خواهد داشت. نتیجه نهایی این فعالیت‌ها، تأمین و تحویل به‌موقع سفارش‌ها می‌باشد تا ضمن حفظ فرصت‌ها و کسب سود، تصویر ذهنی[۱] سازمان نیز ارتقاء یابد.

۲-۲ بررسی تحقیقات صورت گرفته در سیستم تولید فولاد

به‌طورکلی عملیات صورت گرفته به‌منظور تولید فولاد در دو مرحله عمده شامل ۱(مقدماتی و ۲) نهایی صورت می‌پذیرد (لوپز و همکاران، ۱۹۹۸). مرحله مقدماتی اشاره به تولید فولاد از مواد اولیه مانند سنگ‌آهن، زغال‌سنگ و غیره دارد. همان‌طور که در شکل ۲-۱ نشان داده‌شده است، در این مرحله مواد اولیه در کوره‌های قوس الکتریکی[۲] به آهن مذاب، در کوره‌های پاتیلی[۳] به فولاد مذاب، در ریخته‌گری پیوسته به بلوم و شمش و درنورد سنگین به محصول نهایی تبدیل خواهد شد اما در مرحله نهایی، به بررسی و کنترل محصول مطابق با خواسته‌های مشتری پرداخته می‌شود. به‌عنوان‌مثال مسطح نمودن سطح محصول، انیل کردن (بازپخت کامل)، گرم کردن و کلیه کارهایی که به‌منظور تولید محصول مطابق با گرید موردنظر انجام می‌شود، ازجمله فعالیت‌هایی است که در مرحله نهایی صورت می‌گیرد. (نخعی نژاد،۱۳۹۲)

[۱] Image
[۲] Electric Arc Fumace (EAF)
[۳] Ladeal Fumace (LF)



شکل ۲-۱ مراحل تولید فولاد (نخعی،۱۳۹۱)

تحقیق پیشنهادی بروی مرحله مقدماتی به‌عنوان اصلی‌ترین بخش تولید فولاد تمرکز داشته و سعی در بهبود این سیستم به کمک برنامه‌ریزی مناسب تولید و درنتیجه آن زمان‌بندی تولید با در نظر گرفتن هزینه‌های انرژی وابسته به زمان تعیین‌شده را دارد. به‌طورکلی تحقیقات صورت گرفته درزمینه ی فولاد را می‌توان در سه گروه عمده دسته‌بندی نمود. گروه اول به برنامه‌ریزی سفارش‌ها، گروه دوم به زمان‌بندی در واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته و درنهایت گروه سوم به زمان‌بندی واحد نورد پرداخته‌اند. در این فصل به تفکیک تحقیقات صورت گرفته در هریک از حوزه‌ها موردبررسی قرارمی‌گیرد.

۲-۲-۱ تحقیقات صورت گرفته در حوزه برنامه‌ریزی تولید فولاد

یکی از مهم‌ترین وظایف یک مدیر تولید، کاهش زمان تولید و بهبود سطح سرویس‌دهی به مشتریان است که این امر وابسته به میزان اطمینان از زمان تکمیل سفارش‌ها تولیدی هست. ازاین‌رو صنایع

فولاد مانند سایر صنایع، در تلاش جهت دستیابی به پاسخگویی سریع به تقاضاهای مشتریان می‌باشند. در حقیقت زمان‌بندی مؤثر سفارش‌ها تولیدی، بسیار حیاتی بوده و توجه بسیاری از محققین مدیریت تولید را به خود جلب نموده است. در این راستا بسیاری از صنایع بین‌المللی فولاد[۱] به‌منظور دستیابی به قدرت رقابتی، بروی بهبود سیستم‌های زمان‌بندی سفارش‌ها تولیدی تمرکز نموده‌اند. (تانگ و لیو، ۲۰۰۷).

مسئله برنامه‌ریزی تولیدی، به تعیین مقدار تولید با توجه به پاسخگویی به تقاضا و محدودیت ظرفیت تولید، به‌منظور بهینه نمودن توابع هدف می‌پردازد. مطالعه ادبیات نشان می‌دهد که اگرچه تحقیقات زیادی درزمینه ی زمان‌بندی وجود دارد، اما تعداد کمی از آن‌ها به مسئله برنامه‌ریزی تولید در صنایع فولاد پرداخته‌اند. برنامه‌ریزی مناسب و مؤثر تولید و زمان‌بندی در صنایع فولاد از پیچیدگی خاصی برخوردار است. چراکه فرایند تولید فولاد بسیار پیچیده بوده و شامل عملیات و تکنولوژی قابل‌ملاحظه‌ای است. علاوه بر آن محدودیت‌های فنی پیچیده‌ای نیز می‌بایست به‌منظور پیوسته نمودن و ایجاد ارتباط دقیق بین عملیات‌های تولیدی، لحاظ گردد. همچنین ظرفیت هر عملیات محدود است (نخعی نژاد،۱۳۹۲).

تانگ و لیو در تحقیقی که در سال ۲۰۰۷ به چاپ رساندند مدیریت سفارش‌ها[۲] در صنایع فولاد را به شش گام تفکیک نمودند. در گام نخست مشخصات و ویژگی‌های سفارش‌ها پذیرفته‌شده مشتریان توسط واحد فروش ارسال می‌گردد. در گام دوم، طراحی کیفیت به کمک تبدیل نیازهای مشتریان به پارامترهای کیفی تولیدی صورت می‌پذیرد. گام سوم به طراحی سفارش‌ها می‌پردازد. در این گام دسته کردن و یا تفکیک کردن سفارش‌ها صورت می‌گیرد. تا این مرحله «سفارش‌ها مشتریان» به «سفارش‌ها تولیدی[۳]» ترجمه می‌شود (در کارخانه فولاد آلیاژی ایران به سفارش‌های مشتریان

[۱] International steel industry
[۲] Order management
[۳] Production order

(سفارشات درخواستی[1]) مظنه[2] گفته می‌شود). بر اساس سفارش‌ها تولیدی، تخصیص مواد و تصمیمات لازم اتخاذ می‌گردد. در گام چهارم به کمک قواعد اعزام و یا الگوریتم‌های ابتکاری[3]، زمان‌بندی سفارش‌ها تولیدی صورت می‌گیرد. در گام پنجم، تغییرات و تنظیمات لازم در زمان‌بندی به‌دست‌آمده از گام چهارم صورت می‌پذیرد. این تغییرات بنا به‌ضرورت، ناشی از تغییرات موعد تحویل سفارش‌ها مشتریان، ظرفیت در دسترس و یا عدم ظرفیت از جواب به‌دست‌آمده صورت می‌پذیرد. در گام ششم زمان‌بندی تعیین‌شده در گام پنجم به واحد تولید ارجاء داده می‌شود. بدیهی است که اثربخشی مدیریت سفارش‌ها کاملاً به عملکرد زمان‌بندی به‌دست‌آمده در گام چهارم بستگی دارد. ازاین‌رو در تحقیق پیش روی تأکید و تمرکز روی زمان‌بندی سفارش‌ها به‌عنوان مهم‌ترین گام مدیریت سفارش‌ها خواهد بود. در اکثر صنایع فولاد تولید بر اساس سفارش‌ها[4] مشتریان صورت می‌گیرد. برنامه‌ریزی تولید در این حالت شامل برنامه‌ریزی سفارش‌ها بر اساس تاریخ تحویل، ظرفیت تولید و دیگر محدودیت‌های سیستم، به‌منظور حرکت روان خط تولید هست. «برنامه‌ریزی تولید روزانه» یا به عبارتی برنامه‌ریزی کارگاهی، شامل برنامه‌ریزی واحد فولادسازی، برنامه‌ریزی اندازه کارها در ریخته‌گری و برنامه‌ریزی دسته نورد بر اساس برنامه سفارش‌ها صادره و برنامه‌های فرایند تولید هست. (نخعی نژاد،۱۳۹۲)

بررسی تحقیقات صورت گرفته درزمینه ی برنامه‌ریزی سفارش‌ها و برنامه‌ریزی تولید روزانه نشان می‌دهد که توجه کمتری به این مباحث صورت گرفته است. این در حالی است که برنامه‌ریزی سفارش‌ها تأثیر به سزایی روی برنامه‌ریزی تولید روزانه خواهد داشت. به هراندازه برنامه‌ریزی سفارش‌ها مناسب‌تر صورت گرفته باشد، ترکیب برنامه‌ریزی تولید روزانه امکان‌پذیرتر خواهد شد. درصورتی‌که اگر برنامه‌ریزی سفارش‌ها مناسب نباشد، تعیین برنامه روزانه بسیار دشوار و در مواردی

[1] Use order
[2] Quotation
[3] Heuristic algorithms
[4] Order base

غیرممکن می‌شود (لیو و همکاران،۲۰۰۶). ازجمله تحقیقاتی که در برنامه‌ریزی سفارش‌ها در صنعت فولاد مطرح می‌شود می‌توان به تحقیق ژانگ و همکارانش (۲۰۰۵) اشاره نمود. آن‌ها در تحقیق خود برنامه ریاضی سفارش‌ها[۱] در صنعت فولاد را به کمک الگوریتم ژنتیک[۲] انجام داده‌اند. در تحقیق دیگری که لیو و همکارانش (۲۰۰۶) به چاپ رساندند، برنامه‌ریزی و سازمان‌دهی را به‌صورت گام‌هایی در نظر گرفته‌اند و درنهایت، برای انجام مناسب این برنامه‌ریزی به ارائه مدل ریاضی و حل آن پرداخته‌اند. تانگ و لیو (۲۰۰۷) نیز به ارائه مدل ریاضی در این زمینه پرداختند. آن‌ها در مطالعه خود، مدیریت سفارش‌ها در صنایع فولاد را به شش گام عمده شامل بررسی مشخصات سفارش‌ها مشتریان، طراحی کیفیت سفارش‌ها، طراحی سفارش‌ها، زمان‌بندی سفارش‌ها و درنهایت اصلاحات موردنیاز دسته‌بندی نموده‌اند. ازآنجاکه به اعتقاد این نویسندگان اثربخشی مدیریت سفارش‌ها کاملاً به عملکرد زمان‌بندی به‌دست‌آمده در گام چهارم بستگی دارد، ازاین‌رو تمرکز آن‌ها در تحقیقاتشان بر روی زمان‌بندی سفارش‌ها به‌عنوان مهم‌ترین گام مدیریت سفارش‌ها در نظر گرفته‌شده است و روش حلی که توسط آن‌ها ارائه‌شده؛ استفاده از «ساده‌سازی لاگرانژین[۳]» هست. چون یو و رنگ اکزیا (۲۰۰۸) نیز در تحقیق خود، مدل برنامه‌ریزی سفارش‌های چندهدفه[۴] صنعت فولاد را ارائه نموده‌اند. روش حل در این تحقیق استفاده از الگوریتم ژنتیک هست. ژانگ و همکارانش (۲۰۰۸) نیز برنامه‌ریزی سفارش‌ها را به‌صورت مدل برنامه‌ریزی ترکیبی عدد صحیح[۵] طراحی و به کمک الگوریتم ژنتیک بهبود داده‌شده حل نمودند. وانهوک و دبلز (۲۰۰۹) نیز به ارائه زمان‌بندی تولید با ظرفیت محدود برای یک شرکت فولاد بلژیکی پرداختند. ویدتا و همکارانش (۲۰۱۲) به بررسی اثرات توالی‌های متفاوت در اهداف تعیین‌شده برای لجستیک[۶] فولاد پرداختند. لی و همکارانش (۲۰۱۳) مسئله زمان‌بندی تولید دسته‌ای

[۱] Orders math program
[۲] Genetic Algorithm
[۳] Lagrangian Relaxation
[۴] Multi-objective planning orders
[۵] Mixed integer programming
[۶] logistic

را با در نظر گرفتن واحد ریخته‌گری[1] و نورد به‌صورت همزمان موردبررسی قرار داده‌اند.

در برنامه‌ریزی تولید فولاد، علاوه بر برنامه‌ریزی تولید فولاد به برنامه‌ریزی موجودی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است؛ بنابراین در زمان‌بندی تولید می‌بایست این نکته را نیز لحاظ نمود تا توالی تولید بلیت‌های سفارش داده‌شده توسط مشتریان به‌گونه‌ای باشد که محدودیت انبار و فضای لازم جهت موجودی نیز در نظر گرفته‌شده باشد، انبار بلوم که بین دو مرحله ریخته‌گری و نورد واقع‌شده است، به‌عنوان یکی از مراحل تولیدی قلمداد می‌شود و ازاین‌رو یک مسئله مهم و حیاتی در صنایع فولاد هست (زانونی و زاونلا،۲۰۰۵). (زانونی و زاونلا،۲۰۰۵) در تحقیق خود برنامه‌ریزی موجودی در صنعت فولاد را موردبررسی قرار داده‌اند. این تحقیق بر روی موجودی انتهای مرحله فولادسازی یعنی بعد ریخته‌گری تمرکز دارد. تابع هدف استفاده‌شده در این تحقیق، ماکزیمم کردن عایدی به‌دست‌آمده با در نظر گرفتن هزینه‌های موجودی و تأخیر در سفارش‌ها هست. علاوه بر مرحله بین ریخته‌گری و نورد که لازم است بلوم ها انبار شوند، سیستم تولید فولاد ایجاب می‌کند به‌منظور استفاده حداکثری از ظرفیت‌های تولید، از سیستم انبار کردن و نگهداری موجودی نیز استفاده نمود. کرککانن (۲۰۰۷) در تحقیق خود به مقایسه سراچه‌ام تولید به‌صورت سفارشی و سیستم تولید به‌صورت نگهداری[2] موجودی در صنایع فولاد پرداخت. روشی که معمولاً به‌منظور تفکیک سیستم سفارشی از سیستم موجودی استفاده گردد، نقطه CODP[3] و نقطه OPP[4] است. این نقاط، بیانگر زمانی است که سیستم تولیدی به‌صورت سفارشی به حالت سیستم تولید به‌صورت موجودی تبدیل خواهد شد. در بسیاری از موارد فاکتور اصلی در تعیین این نقاط، زمان انجام سفارش و همچنین زمان تحویل محصول هست (کرککانن،۲۰۰۷). همچنین توحیدی و همکارانش (۱۳۸۰) به بررسی تولید ارائه‌شده پرداخته‌اند. آقای باقری و همکارانش نیز (۱۳۹۱) در یک مطالعه موردی در فولاد آلیاژی ایران به بررسی چابکی این

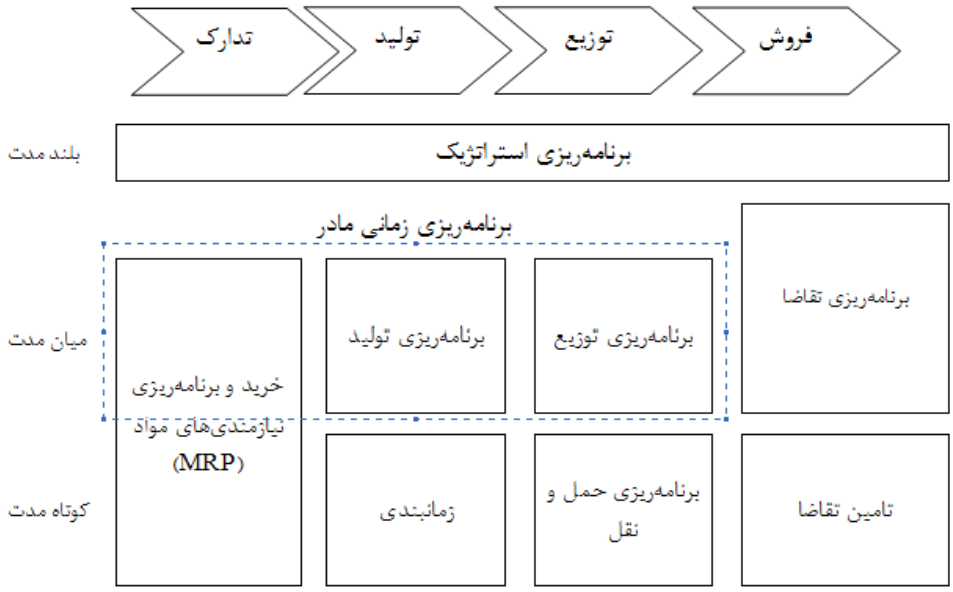
[1] Continues Casting(CC), Ingot casting(Ic)
[2] MTS:Make to stock
[3] Costumer order decoupling point
[4] Order penetration point

سازمان پرداخته‌اند. اگرچه تحقیقات صورت گرفته درزمینه ی برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی تولید در صنعت فولاد کم به نظر می‌رسد، اما اهمیت این موضوع بسیار روشن است؛ زیرا صنعت فولاد را می‌توان از مؤثرترین صنایع در هر کشوری دانست و از طرف دیگر با توجه به سفارشی بودن این صنعت، وابستگی شدید این صنعت را به برنامه‌ریزی تولید دقیق متناسب با پاسخگویی به تقاضای بازار می‌توان به‌خوبی درک نمود. علاوه بر آن با توجه به هزینه سرمایه‌گذاری بالا در این صنعت، لزوم استفاده حداکثری از منابع و انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است.

۲-۳ جایگاه و اهمیت مسائل زمان‌بندی تولید

یک موضوع مهم در طراحی یک برنامه این است که چه سطحی از جزئیات برای چه افق زمانی از برنامه‌ریزی بکار گرفته شود. لذا یک سیستم تولیدی ممکن است در سطوح سلسله مراتبی متفاوت، برنامه‌ریزی و مدیریت شود و با توجه به بزرگ و یا کوچک بودن واحد تولیدی، اهمیت برنامه‌ریزی در سطوح مختلف، متفاوت است. حتی ممکن است برخی واحدهای تولیدی، نیازمند برنامه‌ریزی در تمام سطوح نباشند. این موضوع به همراه جایگاه برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی در زنجیره تأمین[۱] مطابق شکل (۲-۲) می‌باشد.

[۱] supply chain

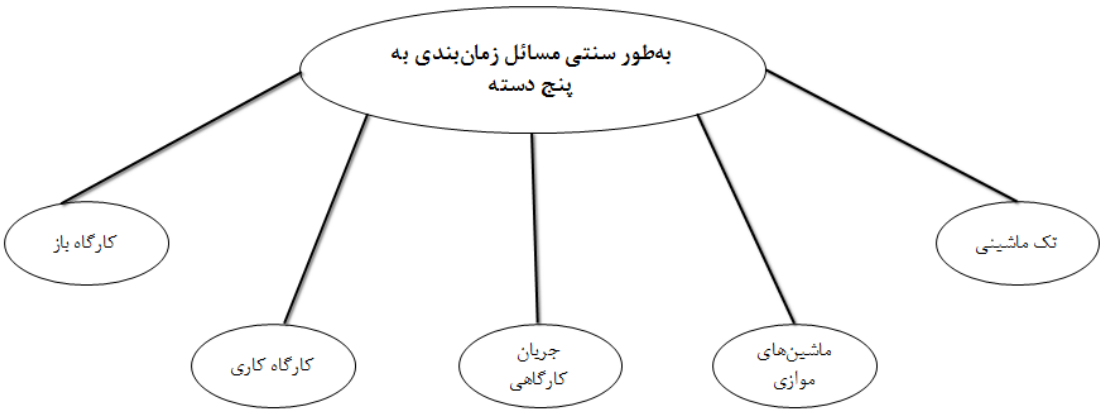


شکل ۲-۲: جایگاه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی در زنجیره تأمین (رمضانیان، ۱۳۹۲)

مشخص است که برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی متعلق به دو سطح تصمیم‌گیری مختلف می‌باشند، به‌طوری‌که برنامه‌ریزی تولید در سطح میان‌مدت و زمان‌بندی در سطح کوتاه‌مدت زنجیره می‌باشد. با توجه به موارد ذکرشده در بالا، این دو مسئله دارای ارتباط نزدیکی می‌باشند زیرا نتایج مسئله برنامه‌ریزی تولید که مقادیر تولید در هر دوره را تعیین می‌کند، ورودی مسئله زمان‌بندی می‌باشد. زمان‌بندی در سطح عملیاتی کارگاه با مشخص شدن میزان موردنیاز هر محصول قابل‌اجرا خواهد بود. بعد از تعیین برنامه زمان‌بندی تولید مادر (MPS)[۱] که در آن میزان تولید هریک از محصولات نهایی در هر دوره معلوم می‌شود، نوبت به اجرای برنامه‌ریزی تأمین مواد (MRP)[۲] می‌رسد. در این برنامه مراحل ساخت هریک از قطعات، زمان عملیات موردنیاز هر ماشین برای تولید هر قطعه و تعداد قطعات موردنیاز بیان می‌شود. انجام هرکدام از این عملیات مستلزم راه‌اندازی و به‌کارگیری نوعی ماشین‌ابزار برای مدت‌زمان معین است. برنامه زمان‌بندی تولید مادر نیز در صورتی تحقق می‌یابد که همه عملیات لازم روی قطعه موردنظر در دوره زمان‌بندی‌شده انجام شود. اگر تمام منابع موردنیاز در دسترس باشد، اولین تصمیم، تخصیص ماشین‌های ابزار برای انجام تمام عملیات لازم روی همه قطعاتی است که ساخت آن‌ها در برنامه زمان‌بندی منظور شده است. پس‌ازآن مقدار کار به ماشینی تخصیص می‌یابد که در انتظار انجام عملیات می‌باشد. تصمیم بعدی، تعیین توالی کارها توسط ماشین است. این دو تصمیم یعنی تخصیص ماشین‌ابزار و توالی عملیات[۳] را زمان‌بندی کارگاهی می‌گویند. قواعد متعددی

[۱] Master Production Scheduling (MPS)
[۲] Material Requirement Planing (MRP)
[۳] Sequencing

برای تعیین توالی عملیات وجود دارد، بعضی از این قواعد بـه زمـان‌بنـدی بهینـه منتهـی مـی‌شـوند. درحالی‌که پاره‌ای از آن‌ها شیوه‌های ابتکاری هستند که نتایج مطلوب و قابل‌قبول ایجاد مـی‌کنـد امـا تضمینی وجود ندارد که بهینه باشند. لذا درصورتی‌که زمـان‌بنـدی پیچیـده باشـد معمـولاً روش‌هـای ابتکاری بهتر هستند. در ابتدای هر دوره زمان‌بندی، مسئول هر بخش با اطلاعاتی که از منابع موجـود (نیروی انسانی، تجهیزات و سرمایه) دارد تمام عملیات آن دوره را بررسی نموده و با توجه به زمان هر یک از عملیات، میزان منابع موردنیاز را تعیین می‌کند. همچنین با در نظر گرفتن محدودیت‌های زمان شروع، موعد تحویل و اولویت‌ها، برنامه زمان‌بندی را چنان تنظـیم مـی‌کنـد کـه بـه اهـداف از پـیش تعیین‌شده نزدیک می‌شود. در مسائل زمان‌بندی به دلیل اینکه هر قطعه به عملیات متعددی نیاز دارد، لذا توالی کارهایی که باید توسط یک ماشین انجام شود، بر دسترس‌پذیری ماشین برای کارهای بعدی تأثیر می‌گذارد. ازاین‌رو مسئله توالی عملیات یک مسئله پویا است. یعنی تصمیم‌گیری در مورد تـوالی عملیات در زمان پایان کاربر روی ماشین یا ورود قطعه جدید، باید مجدداً صورت گیرد.



شکل ۲-۳: مبانی نظری مسائل زمان‌بندی تولید به‌طور سنتی

۲-۳-۱ فرایند زمان‌بندی

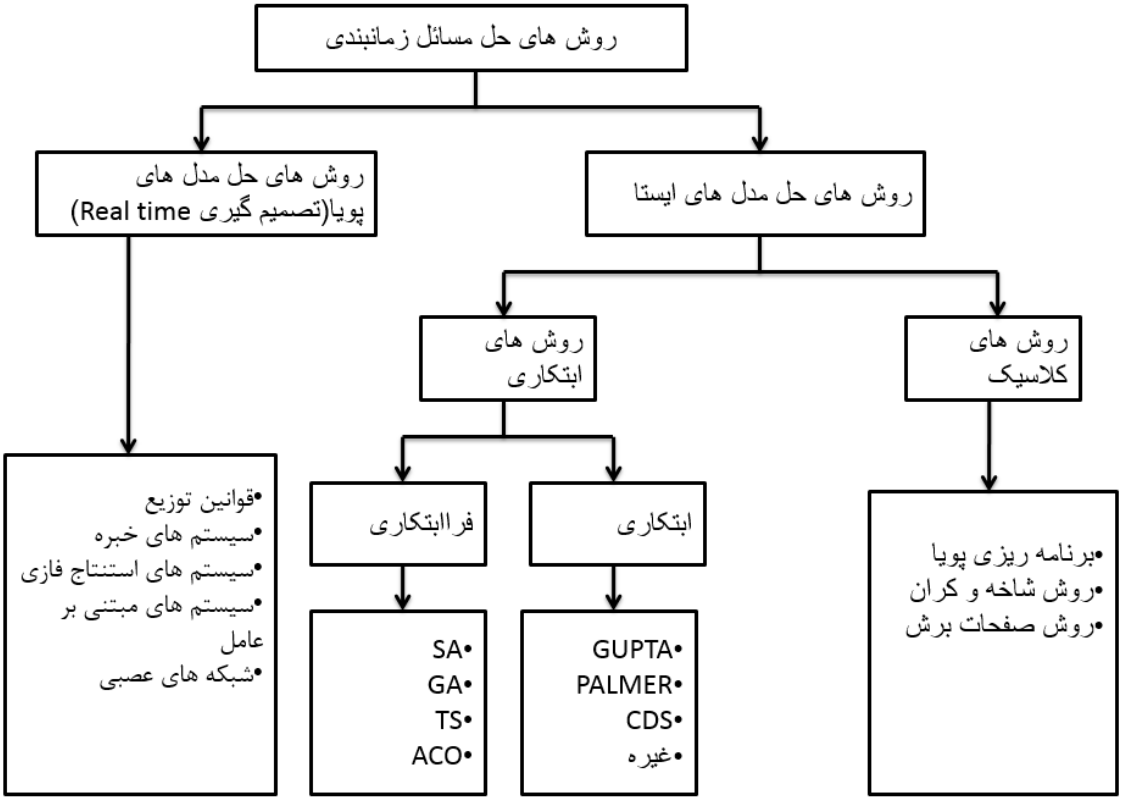
قدم‌های دستیابی به تصمیمات زمان‌بندی را می‌توان طبق رویکردی سیستمی[۱] تشریح کـرد. رویکـرد سیستمی بیانگر یک ساختار رسمی اسـت کـه در عملکـرد مـدیریتی امـروزی از حمایـت فزاینـده‌ای برخوردار می‌شود به‌طوری‌که امروزه یکی از هشت اصل مدیریتی، رویکرد سیسـتمی مـی‌باشـد. چهـار مرحله اصولی رویکرد سیستمی عبارت‌اند از: فرمول‌بندی[۲]، تحلیل[۳]، ایجاد[۴] و ارزیـابی. در مرحلـه اول،

[۱] Systematic approach
[۲] Modeling
[۳] Analysis
[۴] Creation

اساساً مسئله را تعریف و ضابطه‌های حاکم بر تصمیم‌گیری را تعیین می‌کنند. این فعالیت اغلب پیچیده و بغرنج است ولی تصمیمات خوب و مناسب بدون تعریف روشن مسئله، تعیین حدود و ابعاد آن و مشخص کردن صریح اهداف به‌ندرت ممکن است اتخاذ شود. تحلیل، شامل بررسی عناصر مسئله و روابط متقابل آن‌ها با یکدیگر است. هدف از این مرحله تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری[1] و نیز تشخیص روابط آن‌ها با محدودیت‌هایی است که باید از آن پیروی کند. عدم انجام تحلیل صحیح ممکن است نتایج زیان‌باری به بار آورد. ایجاد، فرآیند ساختن گزینه‌های مختلف جواب مسئله بوده و نقش آن تعیین گزینه‌های ممکن است؛ و بالاخره، ارزیابی مشتمل بر فرآیند مقایسه گزینه‌های امکان‌پذیر و انتخاب گزینه مطلوب جهت به‌کارگیری است. البته این انتخاب مبتنی بر معیارها و ضابطه‌هایی است که با توجه به درجه اهمیت در ابتدای کار تعریف و مشخص می‌شوند. فرمول‌بندی ضابطه تصمیم‌گیری شاید مشکل‌ترین مرحله کار باشد. آشنایی با مدل‌های مناسب، به انجام فرآیندهای تحلیل و ترکیب کمک می‌کند. مدل‌هایی که بررسی می‌شود، عناصر و روابط متقابل مهمی دارد که بارها در مسائل زمان‌بندی مشاهده می‌شود و همچنین مشخص می‌کند که جواب‌های ممکن چگونه به‌طور نظام‌مند به وجود می‌آید. سرانجام، فرآیند ارزیابی گزینه‌ها در مسائل بزرگ زمان‌بندی ممکن است پیچیده باشد و بکار بردن راه‌حل‌های پیچیده اکثراً قسمت مهمی از وظیفه زمان‌بندی را دربر می‌گیرد. مدل‌های رایج متعددی برای تصمیم‌گیری درباره مسائل مختلف زمان‌بندی وجود دارد. به‌عنوان‌مثال یکی از ساده‌ترین و درعین‌حال پرکاربردترین این مدل‌ها، نمودارگانت[2] است که بیانی گرافیکی از روابط زمان‌بندی ارائه می‌کند. اساساً نمودار گانت نموداری است که مکان‌یابی تخصیصی منابع را در طول زمان نشان می‌دهد. ازآنجاکه این نمودار تخصیص منابع را در طول زمان نشان می‌دهد، اطلاعات اولیه را درباره وضعیت سیستم، برای مقاصد زمان‌بندی مشخص می‌کند.

[1] decision variables

[2] Gant chart



شکل ۲-۴: طبقه‌بندی کلی روش‌های حل مسائل زمان‌بندی (تقدسی، خوش‌الحان،۱۳۸۹)

۲-۳-۲ انواع مسائل زمان‌بندی

زمان‌بندی، محدوده بسیار وسیعی از مسائل را شامل می‌شود و در تمامی صنایع تولیدی و مونتاژ[۱] که محصولات آن‌ها متنوع و متغیر است کاربرد دارد. خصوصیات این‌گونه مسائل نیز بسیار متنوع و زیاد بوده و مدل کردن آن‌ها کار مشکلی است. بعلاوه طراحی ابزار حل و کیفیت و دقت جواب حاصل از حل، وابستگی زیادی به مدل مسئله دارد و انتخاب صحیح مدل حل مسئله زمان‌بندی، یکی از مهم‌ترین مراحل تصمیم‌گیری می‌باشد. لذا شناخت و تعریف صحیح یک مسئله زمان‌بندی و توالی عملیات، در مدل کردن آن و یافتن جواب دقیق و صحیح و دستیابی به اهداف موردنظر، نقش بسیار حیاتی و کلیدی ایفا می‌کند. به‌منظور دستیابی به این مهم لازم است در اولین قدم، شرایط موجود در محیط کاری را به‌خوبی بشناسیم. به عبارت بهتر لازم است ترکیب منابع و رفتار کارها از ابتدا مشخص شود. به‌عنوان‌مثال یک مدل ممکن است، یک یا چند نوع منبع داشته باشد. اگر یک نوع منبع داشته

[۱] Assembly

باشد، کار مربوطه احتمالاً یک مرحله‌ای است. حال اگرچند منبع داشته باشد، کارها معمولاً چندمرحله‌ای انجام می‌شود و در هر دو حالت منابع را می‌توان به‌صورت یک مجموعه واحد یا موازی در نظر گرفت. بعلاوه اگر کارهای در دسترس برای زمان‌بندی، در طول زمان تغییر نکند، سیستم ایستا[۱] نامیده می‌شود و در مقابل اگر در طول زمان یک کار جدید به مجموعه کارها اضافه شود، سیستم پویا[۲] نامیده می‌شود. ضمناً چنانچه تمامی اطلاعات موردنیاز زمان‌بندی از ابتدا مشخص و معلوم باشد، مسئله را معین و اگر این اطلاعات به‌صورت دقیق مشخص نباشد، مسئله را نامعین گویند. به‌طور سنتی مسائل زمان‌بندی به پنج دسته: تک ماشینی[۳]، ماشین‌های موازی[۴]، جریان کارگاهی[۵]، کارگاه کاری[۶] و کارگاه باز[۷] تقسیم می‌شوند و بقیه موارد ترکیب یا حالت خاصی از این پنج دسته می‌باشد.

[۱] Static system
[۲] Dynamic system
[۳] Single machine
[۴] Parallel machines
[۵] Flow shop
[۶] Job shop
[۷] Open shop

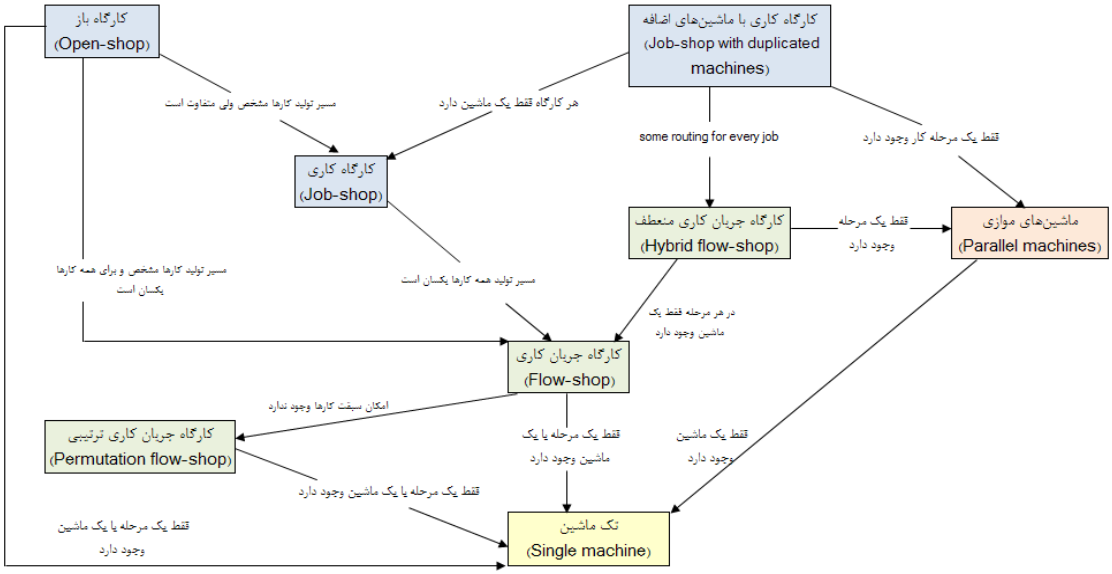
جدول ۲-۱: انواع مسائل زمان‌بندی

معیار طبقه‌بندی	نوع مسئله	ویژگی‌ها
مشخصات منابع	همراه با محدودیت منابع	وجود محدودیت در نیروی متخصص، ابزار، مواد اولیه و غیره علاوه بر محدودیت در ماشین‌آلات و دستگاه‌ها
	بدون محدودیت منابع	وجود محدودیت تنها در ماشین‌آلات و دستگاه‌ها
پویایی مسئله	پویا	وجود امکان تغییر کارها در طول زمان
	ایستا	ثابت بودن کارها در طول زمان
نیاز به گروه‌بندی کارها	همراه با گروه‌بندی کارها	وجود زمانه‌ای آماده‌سازی قبل از اجرای عملیات، قابلیت ماشین در اجرای همزمان تعداد مختلفی کار، نیاز به تعیین اندازه بهینه دسته برای هر کار
	بدون گروه‌بندی کارها	انجام سری کارها (به‌صورت تک‌تک)
تعداد و ترکیب ماشین‌آلات	کارگاه تک ماشینی	وجود تنها یک ماشین برای انجام عملیات یک مرحله‌ای
	جریان کارگاهی	ساختار تقدمی خطی برای تکمیل عملیات تمام‌کارها و ماشین‌آلات
	کارگاه کاری	ترتیب خاص برای عملیات هر کار
	کارگاه باز	عدم وجود الگوی جریان خاص برای هیچ کاری
مراحل فرآیند	کارگاه ماشین موازی	وجود چند ماشین به‌صورت موازی جهت تکمیل کارهای یک مرحله‌ای
	جریان کارگاهی پیوندی	وجود چند کارگاه به‌صورت سری که چند ماشین به‌صورت موازی در هر کارگاه وجود دارد.
	کارگاه کاری منعطف	وجود چند کارگاه با الگوی جریان خاص برای هر کار که در هر کارگاه چند ماشین به‌صورت موازی فعالیت دارند.

گوپتا مسائل زمان‌بندی را به‌صورت دینامیک[۱] یا استاتیک[۲]، قطعی[۳] یا احتمالی[۴]، تک‌محصولی[۵] یا چند محصولی[۶]، تک پردازشی[۷] یا چند پردازشی[۸] و ... دسته‌بندی کرده است (گوپتا، ۱۹۸۸). میلر مسائل

[۱] Dynamics
[۲] Static
[۳] certain
[۴] Or potential
[۵] One product
[۶] Or more products
[۷] Single processing
[۸] Or more processes

زمان‌بندی تولید را بر اساس ساختار تولید به هشت دسته کارگاه تک ماشین، ماشین‌های موازی، جریان کارگاهی، کارگاهی، کارگاه باز، جریان کارگاهی با ماشین‌های موازی، کارگاهی با ماشین‌های موازی و کارگاه باز با ماشین‌های موازی تقسیم نمود (میلر، ۱۹۶۷). به‌منظور شناخت کامل‌تر مسائل زمان‌بندی، جدول (۲-۱) انواع این مسائل را بر اساس معیارهای مختلف نشان می‌دهد. همچنین با توجه به اهمیت معیارهای تعداد و ترکیب ماشین‌آلات و مسیر و مراحل پردازش کارها در تقسیم‌بندی مسائل زمان‌بندی، انواع مسائل زمان‌بندی و روابط بین آن‌ها بر اساس این دو معیار در شکل (۲-۳) مشخص می‌باشد.



شکل ۲-۵: انواع مسائل زمان‌بندی و روابط بین آن‌ها (زندیه و همکاران، ۲۰۰۶)

۲-۳-۳ مروری بر تحقیقات زمان‌بندی تولید

یک سیستم تولید تنظیم‌پذیر شامل ماشین‌ها، فنّاوری‌ها، فرآیندها، منابع تولیدی و نیروی انسانی کاملاً منعطف و تنظیم‌پذیر بوده و منجر می‌شود که کل سیستم تولیدی در پاسخ به تغییرات بازار و با کمترین هزینه ظرفیت خود را متناسب با بازار تغییر داده و قادر به پاسخگویی سریع نیازمندی‌های مشتریان باشد. تحقق این هماهنگی نیاز به رویکرد یکپارچه به دو مقوله‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی در دو سطح تاکتیکی و عملیاتی از زنجیره تأمین دارد (مختاری و همکاران، ۱۳۹۲). زمان‌بندی فرآیندی است که در آن تخصیص منابع به‌منظور انجام مجموعه‌ای از کارها در یک دوره زمانی انجام می‌گیرد (باکر[۱]، ۱۹۷۴). نوعاً دودسته‌ی کلی از توابع هدف در مسائل زمان‌بندی قابل به‌کارگیری است (باکر، ۱۹۷۴). دسته‌ی اول شامل توابع هدف مبتنی بر زمان تکمیل هستند که در آن‌ها زمان موردنیاز

[۱]Baker, K.R

جهت تکمیل کارها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، درحالی‌که دسته‌ی دوم توابع هدف مبتنی بر موعد تحویل هستند که در این دسته معیار ارزیابی یک‌زمان بندی، عملکرد آن زمان‌بندی در برآورده سازی موعد مقرر تحویل کار به مشتری است. علاوه بر نوع توابع هدف، عوامل مختلف دیگری نیز همچون پیکربندی منابع تولیدی (ماشین‌آلات، وسایل حمل‌ونقل، نیروی انسانی و غیره) و ماهیت کارها (سفارش‌ها) در دسته‌بندی مسائل زمان‌بندی دخیل هستند (باکر، ۱۹۷۴). موضوع مسائل زمان‌بندی تولید در صنعت فولاد از دو منظر مدل‌سازی ریاضی و روش‌های حل ارائه‌شده برای آن‌ها بررسی خواهد شد. الحبوبی و سلیم (۱۹۹۳) در مقاله‌ای به بررسی زمان‌بندی تولید یک ماشین بافندگی پرداختند. آن‌ها اعتقاد داشتند که اگر تعداد کارهای برنامه‌ریزی‌شده روی یک ماشین کم باشند نمودار گانت و یا قوانین کلی می‌توانند به برنامه‌ریز کمک کنند و چنانچه تعداد کارها زیاد شوند یک‌راه‌حل سیستماتیک لازم می‌شود و اگر هزینه (زمان) های راه‌اندازی در نظر گرفته شوند حل مسئله پیچیده‌تر می‌شود. آن‌ها در بررسی خود هزینه‌های راه‌اندازی را مدنظر قراردادند و این هزینه‌ها را در شش دسته مختلف طبقه‌بندی نموده و این شش طبقه را بر اساس سه تغییر در عرض محصول و دو تغییر در نوع محصول قراردادند. بالطبع برای هر طبقه یک هزینه راه‌اندازی مشخص تعیین نمودند؛ و تغییرات هزینه‌های راه‌اندازی به دلیل نفر ساعت بکار گرفته‌شده و میزان ضایعات هر راه‌اندازی بوده است. الحبوبی و سلیم[۱] (۱۹۹۳) فقط تنها به کمینه کردن هزینه‌های راه‌اندازی اکتفا نموده‌اند. برنامه‌های ساخت و تولید فولاد مطالعات خیلی خوب و وسیعی برای تشخیص بیشترین مشکل برنامه‌ریزی صنایع انجام‌شده است. از سخت‌ترین مشکلات برنامه‌ریزی صنعتی فولاد، زودترین زمان اتمام کار یک رویکرد فرآیند تجزیه چندمرحله‌ای بر اساس مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و برنامه‌ریزی خطی کارآمد برای برنامه‌ریزی صنعتی است (هرجونکسکی و گرسمان[۲]، ۲۰۰۱). بعداً به‌خصوص از جنبه‌های صنعتی بروی روش برنامه‌ریزی تولید تمرکز کردند؛ و پوشت و ولزی[۳] (۲۰۰۶) یک روش کلی از مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای برنامه‌ریزی تولید ارائه نمودند. سانگ لی و اصلانی[۴] (۲۰۰۴) کاهش سه عامل زیر را در زمان‌بندی یک شرکت تولیدی به‌عنوان هدف در نظر گرفتند ۱- کاهش کل زمان‌های راه‌اندازی ماشین.۲- کاهش تعداد تأخیر. ۳-کاهش کل زمان تولید. آن‌ها برای حل مسئله از دو روش برنامه‌ریزی ادغامی و الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند و نتایج آن‌ها را با یکدیگر مقایسه نمودند. سانگ لی و اصلانی دو هدف زمان و کاهش هزینه‌ها را در نظر گرفتند.

[۱] AI-Haboubi, M.H. and Selim
[۲] Harjunkoski, I. Grossmann
[۳] Pochet Y, Wolsey LA
[۴] Lee, S.M. Asllani, A.A

ربادی و همکاران[۱] (۲۰۰۴) کاهش زمان‌های تأخیر و تعجیل نسبت به یک‌زمان تحویل مشترک را در تابع هدف مسئله از روش شاخه و کران استفاده کردند. توکلی مقدم و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی که در این خصوص انجام دادند سعی در کاستن میانگین موزون تأخیرها و تعجیل‌ها نمودند. فرد چوبیه و همکاران[۲] (۲۰۰۶) روش پیشنهادی خود را با یک مدل برنامه‌ریزی خطی مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که وقتی تعداد کارها بیشتر و بیشتر می‌شود روش‌های فرا ابتکاری نتایج معقول‌تری در زمان‌های مناسب نسبت به مدل‌های برنامه‌ریزی خطی ارائه می‌کنند. بیگراس و همکاران[۳] (۲۰۰۸) کاهش جمع زمان‌های تأخیر را به‌عنوان یک هدف مؤثر بر مسئله علاوه بر کاهش کل زمان تولید بررسی نمودند؛ و برای حل مسئله از روش حد و کران بهره گرفتند. جورجیوس و همکاران[۴] (۲۰۰۹) مسئله زمان‌بندی ماشین را با فرض تولید دسته‌ای بررسی نمودند. آن‌ها اهداف چندگانه (کاهش موجودی‌ها و جمع زمان‌های تولید) را در نظر گرفتند. نادری و همکاران[۵] (۲۰۱۰) با استفاده از روش شبیه‌سازی تبرید و باهدف کاهش کل زمان تولید مسئله را بررسی نمودند. حجی نژاد و همکاران[۶] (۲۰۱۱) زمان‌های تحویل مستقل محصولات را به‌عنوان یک پارامتر تأثیرگذار بر مسئله عنوان نمودند و سعی بر کاهش کل زمان‌های تولید نمودند. آن‌ها برای حل مسئله از روش انبوه ذرات استفاده نمودند. کریمی نسب و همکاران (۱۳۹۲) باهدف کمینه کردن زمان تکمیل همه کارها روی چند ماشین با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری به حل مسئله پرداختند؛ و درنهایت دو روش شبیه‌سازی تبرید و الگوریتم ژنتیکی را برای حل مسئله مناسب دانستند. سوبرامانیان و همکاران[۷] (۲۰۱۴) به این مسئله باهدف کاهش زمان‌های تأخیر در شرایط زمان‌های راه‌اندازی وابسته به‌توالی عملیات پرداختند و برای حل مسئله از یک روش ابتکاری (جستجوی محلی) بهره گرفتند. وانچی پور[۸] و همکاران (۲۰۱۴) مسئله زمان‌بندی تولید یک ماشین را با فرض زمان‌های راه‌اندازی وابسته به‌توالی عملیات به‌منظور کاهش کل زمان تولید چند محصول را بررسی نمودند. بررسی زمینه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید به‌سرعت در دهه گذشته افزایش‌یافته است. بیشتر مطالعات انجام‌شده به‌صورت همزمان به توصیف و ادامه یک دیدگاه کلی از مشکلات زمان‌بندی پرداخته‌اند به‌عنوان‌مثال از قبیل مطالعات

[۱] Rabadi. G
[۲] F. Fred Choobineh
[۳] Bigras, L
[۴] Georgios, M
[۵] Naderi, B
[۶] Hajinejad,D
[۷] Subramanian, A
[۸] Vanchipur

انجام‌شده می‌توان به مقاله فولداس و لین[۱] (۲۰۰۴)، مندز و همکاران[۲] (۲۰۰۶)، ماراولس[۳] (۲۰۱۲) و هرجونکسکی[۴] (۲۰۱۴) اشاره کرد.

امروزه روند رو به رشد پیچیدگی در صنایع تولیدی و نیاز به کارایی بیشتر، استفاده از فنّاوری‌های نوین چرخه تولید، انعطاف بیشتر، کیفیت بهتر محصولات، تأمین هرچه بهتر انتظارات مشتریان و هزینه‌های کمتر، چهره تولید را تغییر داده است و با توجه به ظرفیت بالای تولید و امکان تولید انبوه محصولات، قدرت رقابت در اختیار سازمانی است که بتواند در کوتاه‌ترین زمان ممکن محصول موردنیاز را در حجم کم و تنوع زیاد تولید نماید. در عصر حاضر نگرش صنایع قدرتمند تولید فولاد به سمت تولید به‌موقع است (اشرفی نصرآبادی، ۱۳۸۵). تعیین دقیق موعد تحویل، تجاوز نکردن از آن و کاهش بازه زمانی دریافت سفارش تا موعد تحویل در کنار کیفیت بالای محصول ازجمله نشانه‌های قدرت برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید به‌عنوان عناصر کلیدی در مدیریت تولید بیشترین نقش را ایفا می‌کنند (هاشمی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از مهم‌ترین چالش‌های صنایع فولاد برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید مناسب است که با توجه به سفارشی بودن این صنعت برنامه‌ریزی سفارش‌ها بخش عمده‌ای از آن را شامل می‌شود. همچنین، با توجه به لزوم استفاده حداکثری از ظرفیت ماشین‌آلات در این صنعت، پرداختن به برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید نیز امر ضروری است (نخعی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). برنامه‌ریزی سفارش‌ها تولیدی، با توجه به محدودیت ظرفیت، به‌منظور بهینه نمودن توابع هدفی چون: زمان تکمیل محصول، کاهش تأخیرت، کاهش زودکردها و موارد مشابه می‌پردازد. مدل ارائه با توجه به اینکه یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی ترکیبی عدد صحیح است، دارای پیچیدگی بالایی است. بررسی ادبیات نیز نشان می‌دهد که برنامه‌ریزی سفارش‌ها، ازجمله مسائل با پیچیدگی بسیار بالاست (نخعی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). ازجمله می‌توان به تحقیق لین و کونونو[۵] (۲۰۰۷) و همچنین، تحقیق ایرل و قوش[۶] (۲۰۰۷) اشاره نمود که در تحقیقات خود NP-hard بودن مسئله برنامه‌ریزی سفارش‌ها را بررسی کرده‌اند. این تحقیق به دنبال به دست آوردن یک مدل کارا، جهت زمان‌بندی تولید سفارش‌ها در خطوط تولید صنایع ذوب‌آهن است. تا بتوانند علاوه بر کاهش موجودی انبارها و استفاده بهینه از خطوط تولید، هزینه‌های ناشی از دیرکردها را کاهش داده و باعث افزایش

[۱] Floudas C, Lin X
[۲] Méndez
[۳] Maravelias C
[۴] Harjunkoski I
[۵] Lin B.M.T. Kononov A.V
[۶] Erel E. Ghosh J.B

اعتبار و جایگاه شرکت شود. در تحقیقات گذشته به‌طور همزمان حداقل کردن انتشار گاز کربن دی‌اکسید و هزینه قطعات فولادی از طریق بهینه‌سازی شبکه‌ها موجود در فرایند گاز پرداخته‌اند (زیو، ناستاسیو، کلا، برانکا[۱]، ۲۰۱۳، پزیو، فارنی، امتو، متریس، وانکیو، کاپلی[۲]، ۲۰۱۳)

جدول ۲-۲: دسته‌بندی ادبیات مسائل یکپارچه برنامه‌ریزی ظرفیت و زمان‌بندی تولید (هادی مختاری و همکاران،۱۳۹۲)

ردیف	مقاله (نویسندگان)	محیط تولیدی	رفتار تابع ظرفیت تولید	نوع منبع	تعداد منبع	معیار زمان‌بندی	تابع هدف
۱	Yedidsion et al. 2007	تک ماشینه	تابع محدب	تجدید ناپذیر	تک منبع	Lmax	چندهدفه با معیار زمان‌بندی و هزینه منابع
۲	Yedidsion et al. 2009	تک ماشینه	تابع محدب	تجدید ناپذیر	تک منبع	تعداد کارهای با تأخیر	چندهدفه با معیار زمان‌بندی و هزینه منابع
۳	Xu et al. In Press	تک ماشینه	تابع محدب	تجدید ناپذیر	تک منبع	تحقق موعد مقرر تکمیل	تک هدفه با هزینه منابع
۴	Koulamas et al. 2010	تک ماشینه	تابع خطی و محدب	تجدید ناپذیر	تک منبع	مجموع زمان تکمیل کارها	تک هدفه با معیار زمان‌بندی و منابع
۵	Gupta et al. 2002	تولید جریانی	تابع خطی	تجدید ناپذیر	تک منبع	زود کرد+دیرکرد	تک هدفه با معیار زمان‌بندی
۶	Grigoriev et al. 2007	ماشین‌های موازی	تابع گسسته چندحالته	تجدید پذیر	تک منبع	Cmax	تک هدفه با معیار زمان‌بندی
۷	Chuang et al. 2009	ماشین‌های موازی	تابع گسسته چندحالته	تجدید پذیر	تک منبع	مجموع زمان‌های دیرکرد	تک هدفه با معیار زمان‌بندی
۸	Ventura and Kim, 2003	ماشین‌های موازی	تابع خطی	تجدید پذیر	تک منبعی / چند هدفی	زود کرد + دیرکرد	تک هدفه با معیار زمان‌بندی
۹	Shabtay and Kaspi, 2006	ماشین‌های موازی	تابع محدب	تجدید ناپذیر	تک منبع	Cmax	تک هدفه با معیار زمان‌بندی
۱۰	Choi et al. 2010	تک ماشینه	تابع خطی	تجدید ناپذیر	تک منبع	مجموع وزنی زمان تکمیل کارها	تک هدفه با معیار زمان‌بندی
۱۱	Tseng et al. 2009	تک ماشینه	تابع خطی	تجدید ناپذیر	تک منبع	مجموع زمان تأخیر کارها	تک هدفه با معیار زمان‌بندی و منابع
۱۲	Cheng et al. 2006a	تک ماشینه	تابع خطی	تجدید ناپذیر	تک منبع	Cmax	تک هدفه با معیار زمان‌بندی و منابع
۱۳	Cheng et al. 2006b	تک ماشینه	تابع خطی	تجدید ناپذیر	تک منبع	مجموع زمان تکمیل کارها	تک هدفه با معیار زمان‌بندی و منابع
۱۴	Wang and Xia, 2007	تک ماشینه	تابع خطی	تجدید ناپذیر	تک منبع	مجموع زمان تکمیل کارها، مجموع زمان انتظار	تک هدفه با معیار زمان‌بندی و منابع
۱۵	Wang, 2006	تک ماشینه	تابع خطی	تجدید ناپذیر	تک منبع	مجموع زمان تأخیر کارها	تک هدفه با معیار زمان‌بندی و منابع

[۱] Porzio GF, Nastasi G, Colla V, Vannucci M, Branca TA

[۲] Porzio GF, Fornai B, Amato A, Matarese N, Vannucci M, Chiappelli L

۴-۳-۲ مروری بر تحقیقات در حوزه زمان‌بندی واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته

حل مسائل مدیریت عملیات تولید در واحد فولادسازی از طریق مدل‌های ریاضی و کامپیوتری یکی از مهم‌ترین موضوعات تحقیقاتی جدید است که اخیراً بسیار موردتوجه قرارگرفته است (تانگ و همکاران،۲۰۰۰). تکنیک‌های برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی متنوعی برای واحد فولادسازی در ادبیات گزارش‌شده است. بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از اجلاس بین‌المللی مدیریت تولید فولاد در سال ۱۹۹۳ و گزارشات موجود در ادبیات، بسیاری از شرکت‌های پیشرفته فولاد اقدام به تحقیقات وسیع درزمینه ی مدیریت عملیات تولید که تبدیل به یک موضوع بسیار مهم در حوزه مطالعات آکادمیکی بین‌المللی فولاد شده است، نموده‌اند.

بررسی ادبیات نشان می‌دهد که تحقیقات صورت گرفته در زمان‌بندی واحد فولادسازی از طریق روش‌هایی چون تحقیق در عملیات و برنامه‌ریزی ریاضی، روش‌های هوش مصنوعی و سیستم خبره و روش‌های مشابه دیگری صورت می‌گیرد (نخعی نژاد،۱۳۹۲).

حل مسائل مدیریت عملیات تولید در واحد فولادسازی از طریق مدل‌های ریاضی و کامپیوتری یکی از مهم‌ترین موضوعات تحقیقاتی جدید هست که اخیراً بسیار موردتوجه قرارگرفته است (تانگ و همکاران، ۲۰۰۰). هرجونکسکی و گروسمن (۲۰۰۱)، زمان‌بندی فولاد را در چند مرحله موردبررسی قرار داده‌اند مرحله اول گروه‌بندی، شارژها، مرحله دوم زمان‌بندی هر یک از گروه‌ها به‌طور مجزا و درنهایت مرحله سوم زمان‌بندی تمامی گروه‌ها است.

تانگ و همکارانش (۲۰۰۰) مدل زمان‌بندی واحد فولادسازی را به‌صورت غیرخطی ارائه و با خطی نمودن آن، مدل را حل نموده‌اند. تانگ و همکارانش (۲۰۰۱) همچنین به‌مرور سیستم‌های زمان‌بندی و برنامه‌ریزی جهت یکپارچگی سازی تولید فولاد پرداخته‌اند. در تحقیق دیگری تانگ و همکارانش (۲۰۰۲) زمان‌بندی فرایند تولید فولاد را به کمک ترکیب ساده‌سازی لاگرانژ ین، برنامه‌ریزی پویا و روش‌های ابتکاری انجام داده‌اند.

تحقیق چانگ و همکاران (۲۰۰۴) نیز ازجمله دیگر تحقیقاتی است که درزمینه ی زمان‌بندی فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته قابل اشاره هست. در این تحقیق تابع هدف بر کاهش توقفات ریخته‌گری و کاهش زمان انتظار و تحویل به‌موقع تمرکز دارد و محدودیت‌ها به ارتباط بین مراحل و شارژها توجه دارد. لی و همکارانش (۲۰۰۴) در تحقیق خود به حل مسئله ریخته‌گری پیوسته به کمک دسته خاصی از گراف‌ها تحت عنوان گراف فاصله پرداختند. ماتیراجان و همکارانش (۲۰۰۷) الگوریتم‌های ابتکاری برای زمان‌بندی کوره‌های به کار گرفته‌شده در ریخته‌گری فولاد را ارائه نموده‌اند. هیوگلر و واسکو (۲۰۰۷) روش‌های فرا ابتکاری جهت زمان‌بندی کوره‌ها در صنعت فولاد را موردبررسی قرار داده‌اند. رانگ و لهدلما (۲۰۰۸) مدل برنامه‌ریزی خطی با محدودیت‌های فازی جهت بهینه‌سازی شارژ قراضه آهن در تولید فولاد را ارائه نموده‌اند. عتیقه چیان و همکارانش (۲۰۰۹) به ارائه الگوریتمی ترکیبی برای زمان‌بندی تولید در واحد ریخته‌گری فولاد پرداخته‌اند. سان (۲۰۱۰) مدل برنامه‌ریزی واحد فولادسازی و ریخته‌گری، کاهش زمان انتظار شارژ در هر مرحله و تحویل به‌موقع به‌عنوان تابع هدف به کمک تکنیک ساده‌سازی لاگرانژ ین[۱] حل نموده است. ویت و وب (۲۰۱۱) به مطالعه موردی برنامه‌ریزی تولید فولاد در آلمان پرداخته‌اند. آن‌ها مسئله تعیین اندازه دسته‌ها و مدل ریاضی مربوط به آن را به‌منظور تأمین نیازهای برنامه‌ریزی بلندمدت و میان‌مدت تولید فولاد موردبررسی قرار داده‌اند. وی و لیانگ لیانگ به بیان رویه‌ای بر اساس تفکیک دسته‌ها به‌منظور حل مسئله زمان‌بندی فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته پرداختند. فاضل زرندی و گماسائی (۲۰۱۲) در واحد ریخته‌گری پیوسته به‌پیش بینی میزان تاخیرات در زمان‌بندی پرداختند که برای این منظور از سیستم خبره و شرایط فازی استفاده نموده‌اند. مورسلی و پوچت (۲۰۰۰) از الگوریتم شاخه و کران برای مسئله (جریان کارگاهی ترکیبی)[۲] به‌منظور مینیمم کردن زمان تکمیل کارها ارائه نموده‌اند. ماورتاس و دیاکولاکی (۲۰۰۵) برنامه‌ریزی خطی صفر و یک چندهدفه را به کمک الگوریتم شاخه و

[۱] Lagrangian Relaxation

۲ Hybrid flow shop (HFS)

کران چند معیاره حل نموده‌اند. الهوردی و ال- انزی (۲۰۰۶) مسئله زمان‌بندی (کارگاه گردش کاری)[۱] را در حالتی که سه ماشین وجود داشته باشد و زمان آماده‌سازی به‌صورت مجزا در نظر گرفته‌شده باشد را به‌منظور مینیمم کردن زمان تکمیل کارها به کمک الگوریتم شاخه و کران موردبررسی قرار داده‌اند. کاریوالا و کائو (۲۰۱۰) نیز روش شاخه و کران را در مسئله چند معیاره انتخاب جفت‌ها[۲] ارائه نموده‌اند. رنجبر و همکارانش (۲۰۱۲) به ارائه دو الگوریتم شاخه و کران برای مسئله زمان‌بندی ماشین‌های موازی در حالتی که زمان فرایند کارها به‌صورت احتمالی باشند، پرداخته‌اند. این دو الگوریتم در رویه به کار گرفته‌شده جهت انشعاب باهم متفاوت هستند. تحقیقات تانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۲ شامل مواردی چون جریمه توقف (بیکاری) ماشین، جریمه انتظار شارژها، جریمه دیرکرد یا زود کرد هست. محدودیت‌هایی که در این زمان‌بندی‌ها لحاظ گردیده است شامل مواردی است که توالی و پیوستگی عملیات‌ها، توالی و پیوستگی شارژها و زمان‌های آماده‌سازی و فواصل زمانی را مدنظر قرارمی‌دهد. ضعف مدل‌سازی انجام‌شده توسط تانگ و همکارانش در تخصیص شارژها به هریک از ماشین‌هاست. در حقیقت در مدل‌های ارائه‌شده توسط این محققین، اینکه هرکدام از شارژها روی کدام‌یک از ماشین‌های موازی می‌بایست فرایند شود، به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته‌شده است. به‌عبارت‌دیگر مثلاً باید مشخص کرد که شارژ پنجم از بین دو ماشین موازی کوره قوس الکتریکی[۳] روی کدام ماشین می‌بایست فرایند شود تا مدل ریاضی ارائه‌شده زمان‌بندی را انجام دهد. تحقیقی از عتیقه چیان و همکارانش در سال ۲۰۰۹ منتشر نموده‌اند. در این تحقیق تابع هدف شامل هزینه توقف ریخته‌گری، هزینه افت دمای ذوب، هزینه کیفیت پایین و هزینه ماکزیمم زمان تکمیل است. هزینه توقف ریخته‌گری تابع خطی از تعداد توقفات ریخته‌گری و هزینه افت دمای ذوب تابعی از مدت‌زمان انتظار مواد مذاب و درنهایت هزینه کیفیت نامطلوب تابع خطی تجاوز از حداکثر زمان انتظار در نظر گرفته‌شده است. محدودیت‌هایی که در این تحقیق لحاظ شده

[۱] Flow shop (FS)
[۲] Pariming selection
[۳] Electric Arc Fumace (EAF)

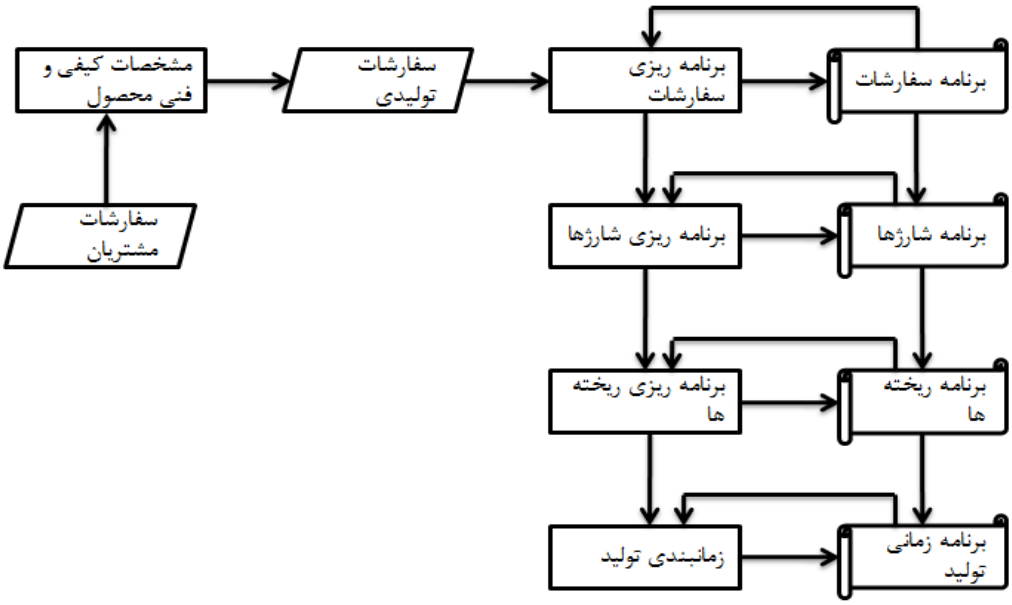
شامل محدودیت‌های مربوط به‌توالی شارژها و عملیات‌ها می‌باشد و ضعف عمده این تحقیق در نظر نگرفتن دسته‌ای بودن شارژهاست. به‌عبارت‌دیگر یکی از مهم‌ترین محدودیت‌هایی که زمان‌بندی فولادسازی را از دیگر زمان‌بندی‌ها متمایز می‌نماید، دسته‌ای بودن شارژهاست. دسته‌ای بودن شارژها بدین معناست که ترتیب شارژها از پیش تعیین‌شده است و امکان فرایند نمودن هر شارژی بعد از شارژ دیگر وجود ندارد. تحقیقی که سان در سال ۲۰۱۰ به چاپ رسانده است، مدل برنامه‌ریزی واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته را به کمک تکنیک ساده‌سازی لاگرانژ ین حل می‌نماید. در مدل‌سازی انجام‌شده در این تحقیق، کاهش توقف ریخته‌گری، کاهش زمان انتظار شارژ در هر مرحله و تحویل به‌موقع به‌عنوان تابع هدف در نظر گرفته‌شده است. محدودیت‌های تعریف‌شده در مدل‌سازی این تحقیق مربوط به ظرفیت ماشین‌ها، توالی شارژها، ارتباط بین مراحل و توقف ریخته‌گری است. در این تحقیق به نظر می‌رسد محدودیت‌های مربوط به زمان‌های انتظار در سیستم و همچنین قبل از ریخته‌گری پیوسته در نظر گرفته نشده است. همچنین نحوه تعریف واحدهای زمانی و دسته‌بندی شارژها به نحو مناسب صورت نگرفته است (نخعی نژاد،۱۳۹۲). در تحقیق صورت گرفته توسط هرجونسکی و گروسمن (۲۰۰۱)، زمان‌بندی فولاد در چند مرحله صورت می‌گیرد. مرحله اول گروه‌بندی شارژها، مرحله دوم زمان‌بندی هر یک از گروها به‌طور مجزا و درنهایت در مرحله سوم زمان‌بندی تمامی گروه‌ها صورت می‌گیرد؛ اما نکته اساسی در این است که بهینه‌سازی در هریک از گروها و سپس بهینه‌سازی کلیه گروه‌ها کار مناسبی نمی‌باشد؛ زیرا ممکن است هرکدام از دو گروه بر هم تأثیر بگذارند که با توجه به انجام بهینه‌سازی برای هر یک از این گروه‌ها به‌طور مجزا، امکان در نظر گرفتن این تأثیر وجود ندارد (نخعی نژاد،۱۳۹۲). تحقیق چانگ و همکاران (۲۰۰۴) نیز ازجمله دیگر تحقیقاتی است که درزمینهٔ زمان‌بندی فولادسازی قابل اشاره است. در این تحقیق تابع هدف بر کاهش توقفات ریخته‌گری، کاهش زمان انتظار و تحویل به‌موقع تمرکز دارد و محدودیت‌ها ارتباط بین مراحل و شارژها توجه دارد. در این تحقیق تعداد ماشین‌های موجود در هر مرحله در نظر گرفته نشده است. همچنین زمان آماده‌سازی نیز منظور نشده است (نخعی نژاد،۱۳۹۲).

برنامه‌ریزی تولید یک فعالیت مهم در شرکت‌های تولیدی و خدماتی است. هدف برنامه‌ریزی تولید استفاده بهینه از منابع شرکت با تکیه‌بر یک برنامه زمان‌بندی مناسب است که می‌تواند به میزان قابل‌توجهی هزینه‌های تولید را در واحدهای تولیدی کاهش دهد (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۳). امروزه تنها در نظر گرفتن یک معیار برای اتخاذ تصمیمات مناسب کافی نیست. به‌هرحال لازم است از یک تصمیم‌گیری چندهدفه یا چند معیاره استفاده شود (توکلی مقدم، ۲۰۰۵). برنامه‌ریزی ظرفیت تولید یکی از فرآیندهای برنامه‌ریزی میان‌مدت در هر واحد صنعتی محسوب می‌شود. به همان اندازه که ظرفیت مازاد تولیدی، هزینه‌های زیادی را در بر خواهد داشت، کمبود ظرفیت جهت برآوردن تقاضای مشتریان جدید و تغییرات پیش‌بینی‌نشده‌ی بازار نیز به مسائل اصلی در اقتصاد تولید تبدیل‌شده است. ظرفیت قابل تنظیم و سیاست‌های تنظیم بهینه ظرفیت می‌توانند به‌صورتی هماهنگ عمل نمایند که منجر به افزایش پایداری و ثبات تولید و فروش در یک بنگاه تولیدی شوند (فرشیدی، گلیپ یولسی، ۲۰۰۲). امروزه برنامه‌ریزی ظرفیت تولید، به دلیل افزایش مؤثر نقش مشتریان در اقتصاد تولید و همچنین تغییرپذیری بالای تقاضای بازار اهمیت زیادی پیداکرده است. شرکت‌های تولیدی در راستای بقای خود در بازار رقابتی امروز و امکان رقابت در مقیاس جهانی، نیاز به نوع جدیدی از دستگاه‌های تولیدی دارند که دارای قابلیت عکس‌العمل سریع به تقاضای بازار جهانی بود. چنین سیستم تولیدی می‌بایست دارای ظرفیت تولید کاملاً منعطف در پاسخ‌گویی به تغییرات بازار باشد.

۲-۳-۵ چگونگی زمان‌بندی در واحد فولادسازی و ریخته‌گری

مسئله زمان‌بندی‌های رایج، زمان‌بندی موردبحث در این صنعت می‌بایست مشخصه‌های خاص این صنعت را لحاظ نماید. در این صنعت فرایندهای تولیدی در دمای بسیار بالا صورت می‌گیرند و مواد مذاب به حالت‌جامد (بلوم) درمی‌آیند. همچنین نیاز مبرم به پیوستگی خط و کاهش زمان در جریان (شامل زمان فرایند شدن روی دستگاه‌های مختلف، زمان حمل‌ونقل بین دستگاه‌ها و زمان انتظار بین فرایندها) امری بسیار حیاتی در این صنعت است؛ بنابراین در زمان‌بندی چنین دستگاهی لحاظ

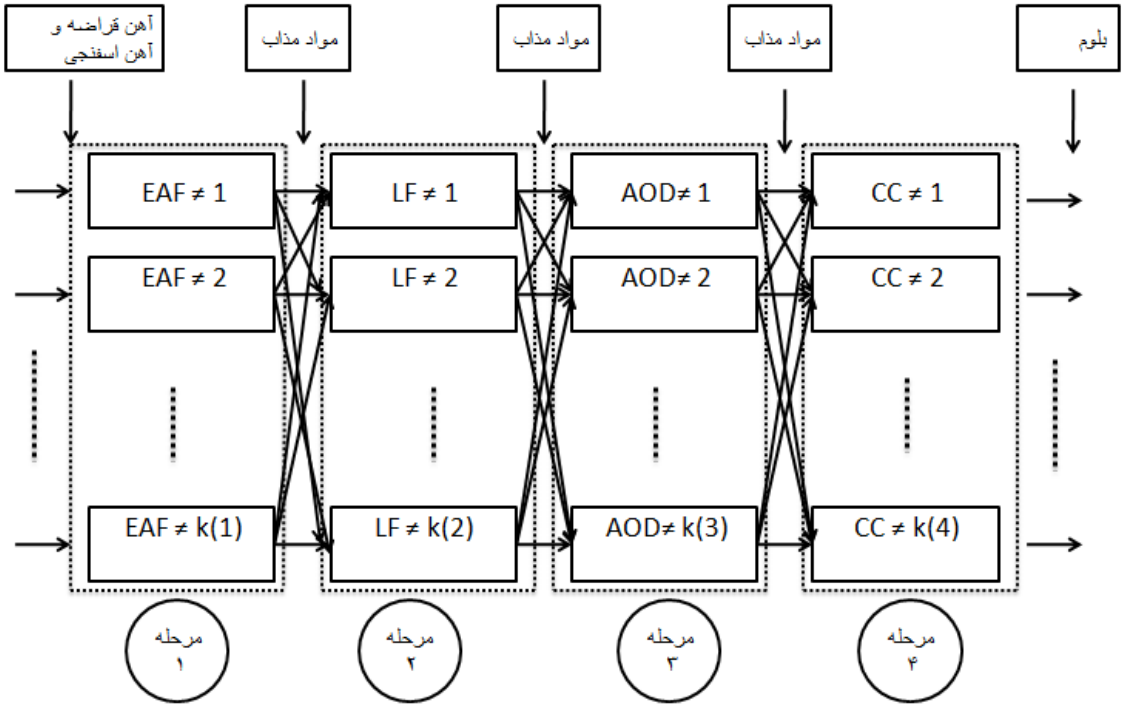
نمودن محدودیت‌هایی به‌منظور اطمینان از عملی بودن آن ضروری به نظر می‌رسد. علاوه بر آن ایجاد هماهنگی بین مراحل تولیدی لازمه پیوستگی جریان مواد در این سیستم و همچنین افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولیدی هست. هزینه‌های تولیدی شامل ریخته‌گری، زمان انتظار بین فرایندها، جابجایی بین فرایندها و موارد مشابه دیگر است؛ بنابراین اگرچه ساختار زمان‌بندی فولادسازی، بسیار مشابه با زمان‌بندی سیستم‌های تولیدی (جریان کارگاهی ترکیبی)[1] هست، اما به‌واسطه محدودیت‌های عملی و معیارهای خاصی که اشاره شد، بسیار پیچیده‌تر است. زمان‌بندی واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته، توالی ریخته‌ها و توالی شارژهای موجود در هر ریخته را مشخص می‌نماید. در تعیین این توالی، به‌منظور اطمینان از شدنی بودن جواب به‌دست‌آمده می‌بایست محدودیت‌های موجود در سیستم تولیدی را مدنظر قرارداد (نخعی نژاد،۱۳۹۲). این بخش به تشریح فرایند تولید فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته و تعریف مسئله زمان‌بندی مربوط به آن می‌پردازد.



شکل ۲-۶: ساختار کلی مدیریت عملیات تولید در فولادسازی (تانگ و همکاران، ۲۰۰۰)

[1] Hybrid flow shop

فرایند فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته، متشکل از چهار مرحله اصلی شامل کوره قوس الکتریکی[۱]، کوره پاتیلی[۲]،VD[۳] وVOD[۴] و در آخرین مرحله ریخته‌گری هست. هر مرحله شامل چندین ماشین است که در شکل ۲-۴، آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷: فرایند فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته (نخعی نژاد،۱۳۹۲)

شکل ۲-۵، فرایند فولادسازی را نشان می‌دهد. اولین مرحله از فرایند فولادسازی، کوره قوس الکتریکی است. در این مرحله ناخالصی‌های مذاب از طریق اکسیداسیون به سطح معینی کاهش می‌یابد. واحد تولیدی در بخش فولادسازی تحت عنوان شارژ تعریف می‌شود که در حقیقت واحد کاری را نشان می‌دهد. این واحد کاری مجموعه مواد مذابی است که در یک کوره قرار می‌گیرند. فولاد موجود در یک شارژ ممکن است به بلوم های متفاوتی ریخته شود که برای سفارش‌ها متفاوتی استفاده می گردد. هر شارژ بر اساس مشخصات شیمیایی و فیزیکی خود تحت عنوان یک گرید شناخته

[۱]Electric Arc Fumace (EAF)
[۲]Ladeal Fumace (LF)
[۳]Vacume Degassing
[۴]Vacume Oxygen Degassing

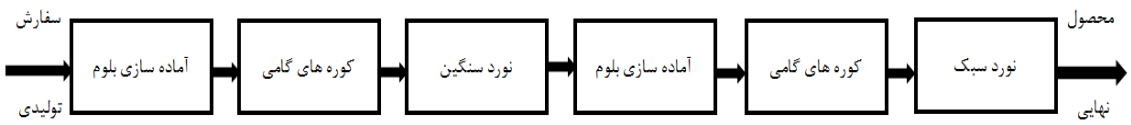
می‌شود. گرید در حقیقت بیانگر کیفیت محصول می‌باشد و مذاب تولیدشده در مرحله کوره قوس الکتریکی در پاتیل‌هایی ریخته می‌شود که این پاتیل‌ها به کمک جرثقیل[1] به مرحله بعد یعنی کوره پاتیلی منتقل می‌گردند. درصورتی‌که هیچ‌کدام از کوره‌های پاتیلی (LF) در هنگام رسیدن شارژ جدید، آزاد نباشند، شارژ موردنظر می‌بایست تا آزاد شدن یکی از کوره‌های پاتیلی منتظر بماند. این زمان انتظار منجر به کاهش دمای شارژ می‌گردد که در این صورت گرم شدن مجدد و حتی در مواردی بازگشت مجدد به کوره قوس الکتریکی را به دنبال خواهد داشت. در حقیقت زمان انتظار منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود. بعد از کوره LF، مرحله VD و VOD به افزایش کیفیت محصول از طریق کربن‌زدایی و گاز زدایی تحت خلأ در صورت درخواست مشتری می‌پردازد. مواد مذاب به ریخته‌گری پیوسته منتقل‌شده و به داخل تاندیش ریخته می‌شود. هر تاندیش در حقیقت واحد ریخته‌گری پیوسته هست. مدت‌زمان انتظار شارژها در فاصله بین کوره پاتیلی تا ریخته‌گری پیوسته نیز می‌بایست بسته به نوع گرید از رنج مشخصی تجاوز ننماید در غیر این صورت تولیدگرید موردنظر بدون هزینه‌های اضافی امکان‌پذیر نمی‌باشد. در پایان محصول نهایی از ریخته‌گری پیوسته به‌صورت بلوم هایی منجمد خارج می‌شود. رد زمان‌بندی فرایند تشریح شده فوق، فاکتورهای پیچیده متعددی می‌بایست مدنظر قرار گیرد. ازجمله آن‌ها آماده‌سازی وابسته به‌توالی، نگهداری و تعمیرات، توقفات و محدودیت‌های زمانی تولید است. مدلی که برای این منظور استخراج خواهد شد، می‌بایست نه تنها میزان تجهیزات در دسترس که دمای موردنیاز محصولات در هر مرحله، محدودیت‌های شیمیایی، به‌عنوان‌مثال محدودیت‌های بین دو محصول متالی و مشخصات مواد به‌کاررفته در دو محصول و محدودیت‌های مربوط به تجهیزاتی که در چنین شرایط حادی کار می‌کنند را نیز در نظر بگیرد (هرجونسکی و گروسمن، ۲۰۰۱).

[1] Ladle car

۲-۳-۶ چگونگی زمان‌بندی واحد نورد

یکی از فرایندهای مهم تولید فولاد، واحد نورد است. این واحد بعد از فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته قرار دارد. واحد نورد در تولید فولاد از اهمیت بالایی برخوردار هست. اهمیت این واحد به‌واسطه مشخصات فرایند صورت گرفته در این واحد هست. در بسیاری از تحقیقات، واحد نورد به‌عنوان گلوگاه سیستم تولید فولاد معرفی‌شده است (تانگ و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین واحدهای صنعتی وجود دارد که تنها نورد فولاد را انجام می‌دهند. این واحدهای صنعتی بلوم های موردنیاز خود را از واحدهای صنعتی دیگر می‌نمایند. در حقیقت یکی از ورودی‌های مدل زمان‌بندی واحد نورد نوع و میزان بلوم هایی است که می‌بایست نورد شوند که توسط مدل برنامه‌ریزی سفارشات-موجودی تعیین می‌شوند. از طرف دیگر زمان در دسترس بودن این بلوم ها در واحد نورد ازجمله دیگر داده‌هایی است که مدل زمان‌بندی نورد بدان احتیاج دارد. برای تغییر تولید از مجموعه سفارشی به سفارش دیگر، آماده‌سازی نورد ضروری هست. تولید پیوسته بین دو آماده‌سازی را اصطلاحاً یک نوبت نورد می‌گویند. زمان‌بندی سفارش‌ها در یک نوبت‌کاری واحد نورد عبارت از تشکیل نوبت‌های نورد و تعیین توالی سفارش‌ها در هرکدام از نوبت‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌های خاص این واحد هست. هدف در این زمان‌بندی معمولاً مینیمم کردن هزینه‌های آماده‌سازی در تغییر نورد در تولید هست (تانگ و همکاران، ۲۰۰۰).

به‌طورکلی فرایندهای واحد نورد را می‌توان به‌صورت شکل ۲-۶ خلاصه نمود.



شکل ۲- ۸: فرایندهای نورد (تانگ و همکاران، ۲۰۰۰)

ورودی واحد نورد بلوم های تولیدی از واحد ریخته‌گری پیوسته است. بعد از پاره‌ای اصلاحات در صورت لزوم بر روی سطح بلوم ها گرم کردن آن‌ها توسط کوره‌های گامی صورت می‌پذیرد. با عبور بلوم از ایستگاه‌های نورد سنگین محصول به‌دست‌آمده در انبار میانی قرار می‌گیرد. در این انبار بررسی

سطوح محصول انجام و در صورت نیاز اصلاحات لازم صورت می‌پذیرد. سپس کوره‌های گامی گرم کردن محصول و رساندن آن به دمای موردنیاز را انجام می‌دهند. درنهایت سفارش‌ها از ایستگاه‌های نورد سبک عبور خواهند نمود (تانگ و همکاران، ۲۰۰۰). همان‌طور که در قسمت قبل نیز اشاره شد فرایند نورد را می‌توان در دسته فرایندهای سیستم تولیدی[۱] در حالتی که زمان راه‌اندازی وابسته به‌توالی هست قرار دارد.

به‌عبارت‌دیگر بلوم های تولیدی از واحد ریخته‌گری پیوسته و یا بلوم های موجود در انبار قبل از واحد نورد به کوره‌های همدماساز شارژ می‌شوند. سپس بلوم های خارج‌شده از کوره‌های همدماساز از طریق ایستگاه‌های نورد سنگین فرایند می‌شوند. در این ایستگاه‌ها از غلطک های عمودی تنظیم عرض را انجام می‌دهد. بعدازآن محصولات میانی به نورد پایانی (نورد سبک) منتقل‌شده تا عرض و گرید محصول به میزان موردنظر برسد (چن و همکاران، ۲۰۱۲).

درنورد سنگین لازم است بلوم ها قبل از فرایند شدن به دمای موردنظر (۱۲۵۰-۱۱۸۵) جهت نورد برسند. برای این منظور از کوره‌های هم‌دما ساز استفاده می‌شود. این کوره‌ها دارای طول‌های مشخصی هستند که تعیین‌کننده ظرفیت این کوره‌ها خواهد بود. بلوم ها به‌آرامی از درب شارژ کوره به درب خروجی حرکت می‌کنند تا بلوم ها به دمای موردنظر جهت نورد شدن برسند. با خارج شدن یک بلوم از انتهای کوره، یک بلوم جدید به کوره وارد می‌گردد. زمان رسیدن بلوم ها به دمای موردنیاز حدود ۱،۵ تا ۳ ساعت خواهد بود. این زمان بسته به ضخامت، دمای شارژ و دمای موردنظر متغیر خواهد بود. این زمان بسته به ضخامت، دمای شارژ و دمای موردنظر متغیر خواهد بود. این زمان در حقیقت نشان‌دهنده آهنگ تولید نیز هست (پن و یانگ، ۲۰۰۹)، چراکه بعد از کوره‌های هم‌دما ساز، بلافاصله نورد سنگین انجام می‌شود.

[۱] Flow shop

۲-۳-۷ بررسی تحقیقات صورت گرفته در حوزه زمان‌بندی واحد نورد

مسئله زمان‌بندی در بخش نورد سنگین ازجمله مسائلی است که نظر بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. این نکته به خاطر محدودیت‌های خاصی است که در این مسئله وجود دارد. از طرف دیگر بعضی از محققین این مرحله را گلوگاه سیستم تولیدی فولاد معرفی نموده‌اند (نخعی نژاد،۱۳۹۲).

مدل‌های سنتی زمان‌بندی نورد به بهینه‌سازی محلی یک نوبت نورد می‌پردازد (تانگ و همکاران، ۲۰۰۰). این تحقیقات معمولاً به‌صورت فروشنده دوره‌گرد[۱] و یا فروشنده دوره‌گرد با مجموعه‌ای از جوایز[۲] فرموله شده‌اند. در این دسته از تحقیقات معمولاً از رویه‌های حریصانه[۳] استفاده می‌شود که معمولاً منجر به جواب‌های بهینه محلی می‌گردد (وانگ و تانگ،۲۰۰۸). برای اجتناب از این مشکل دسته دوم تحقیقات از استراتژی موازی در مدل نمودن واحد نورد بهره برده‌اند. با این استراتژی تعیین همزمان چندین نوبت نورد امکان‌پذیر خواهد شد. این دسته از تحقیقات معمولاً از روش فروشنده دوره‌گرد و یا مسئله مسیریابی با مجموعه‌ای از جوایز[۴] فرموله شده‌اند. این استراتژی موازی شرایط ایستا زمانی که بلوم ها از قبل در انبار موجود بوده و محدودیت‌های زمانی مانند زمان تحویل به‌موقع وجود نداشته باشد، مناسب خواهد بود؛ اما به‌واسطه‌اینکه توالی نوبت‌های نورد به‌دست‌آمده مشخص نیست ازاین‌رو نتیجه به‌دست‌آمده تنها بخشی از مسئله زمان‌بندی تولید اصلی هست؛ بنابراین برای اجرای عملی، نوبت‌های نورد به‌دست‌آمده با چنین استراتژی موازی ابتدا می‌بایست توالی آن‌ها مشخص شود که این امر معمولاً منجر به تعداد زیادی تاخیرات می‌گردد (وانگ و تانگ، ۲۰۰۸).

بنابراین هر دودسته مدل‌های اشاره‌شده در ادبیات، محدودیت‌هایی در عمل برای اجراشدن دارند. علاوه بر آن پاره دیگری از مشکلات نیز مانع از اجرای مدل‌های اشاره‌شده به‌صورت عملی می‌گردد.

[۱] Traveling salesman problem
[۲] PCTSP:prize collecting traveling salesman problem
[۳] Greed proceduer
[۴] PCTSP:prize collecting traveling salesman problem

به‌عنوان‌مثال در بعضی از این مدل‌ها بلوم های در نظر گرفته‌شده بلوم هایی هستند که قبلاً در انبار نگهداری می‌شده‌اند. همچنین در برخی از این مدل‌ها تابع هدف، تنها جریمه (هزینه) تغییر از سفارشی به سفارش دیگر را در نظر گرفته‌اند. درحالی‌که در مدلی که در این گزارش ارائه خواهد شد هزینه عدم استفاده مناسب از ظرفیت در نظر گرفته خواهد شد. همچنین در مدلی که در این گزارش توسعه داده‌شده ارتباط با واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته نیز لحاظ شده است. این ارتباط به‌صورت تعریف پنجره‌های زمان برای بلوم ها صورت گرفته که زمان تحویل بلوم ها توسط واحد فولادسازی و ریخته گزی پیوسته را شامل می‌شود. علاوه بر آن در مدل‌های موجود برخی محدودیت‌های تولیدی کاربردی به‌عنوان‌مثال نیازهای تغییر دمایی بین دو بلوم متوالی در نظر گرفته نشده است (وانگ و تانگ، ۲۰۰۸).

لوپز و همکارانش (۱۹۹۸) به فرموله کردن ریاضی مسئله نورد پرداختند و نشان دادند که این مسئله قابل تفسیر به کمک مسئله قابل تفسیر به کمک مسئله فروشنده دوره‌گرد با مجموعه جوایزی است که حالتی از مسئله فروشنده دوره‌گرد را شامل می‌شود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مسئله زمان‌بندی در محیط نورد سنگین، Np hard است (لوپز، ۱۹۹۷).

لیبراتور (۱۹۸۹) به بررسی واحد نورد و ارائه مدل بهینه‌سازی برای آن پرداخته است. تانگ و همکارانش (۲۰۰۰) مدل زمان‌بندی نورد را به شکل مسئله فروشنده دوره‌گرد چندگانه[1] فرموله و با استفاده از الگوریتم ژنتیک اصلاحی به حل آن پرداختند. کولینگ و همکارانش (۲۰۰۳) مسئله زمان‌بندی نورد را با در نظر گرفتن ارتباطش با واحد فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته به‌صورت یک سیستم چندعاملی موردبررسی قرار داده‌اند. سینق و همکارانش (۲۰۰۴) مسئله زمان‌بندی واحد نورد را به کمک الگوریتم ژنتیک موازی بهبود داده‌شده حل نموده‌اند. تانگ و هوانگ (۲۰۰۷) مسئله زمان‌بندی نورد را به‌صورت مسئله flowshop (کارگاه گردش کاری) در حالتی که زمان‌های

[1] Multiple traveling salesman problem

آماده‌سازی وابسته به‌توالی هستند، در نظر گرفته‌اند و به کمک الگوریتم شاخه و کران این مسئله را حل نموده‌اند. آن‌ها همچنین برای مسائل با ابعاد بزرگ روش حل ابتکاری جهت به دست آوردن جواب نزدیک به بهینه ارائه نموده‌اند. وب و ویت (۲۰۰۷) مسئله جریان کارگاهی ترکیبی[۱] را در نظر گرفته و کاربرد عملی آن را در واحد نورد عنوان نموده‌اند. مدل ریاضی ارائه‌شده توسط آن‌ها بر اساس مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع است و متدولوژی حل ارائه‌شده بر اساس یک روش ابتکاری بر پایه قواعد اعزام هست. جینگ مینگ و همکارانش (۲۰۰۸) مسئله زمان‌بندی واحد نورد را به کمک الگوریتم بهینه‌سازی بر اساس الگوریتم ژنتیک حل نموده‌اند. چاکروبارتی و همکارانش (۲۰۰۸) مسئله زمان‌بندی واحد نورد را به‌صورت چندهدفه در نظر گرفته و به کمک الگوریتم ژنتیک حل نموده‌اند. وانگ و تانگ (۲۰۰۸) به یکپارچه‌سازی مسئله زمان‌بندی و دسته‌بندی در واحد نورد صنعت فولاد پرداخته‌اند. مدل ارائه‌شده توسط آن‌ها قادر به زمان‌بندی چندین نوبت نورد به‌صورت همزمان هست. برای این منظور آن‌ها از الگوریتم جستجوی ممنوع استفاده نموده‌اند. چن و همکارانش (۲۰۰۸) به ارائه الگوریتمی برای حل مسئله زمان‌بندی واحد نورد پرداخته‌اند. در این الگوریتم از بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم تبرید استفاده‌شده است. جون و همکارانش (۲۰۰۸) مدل و الگوریتم زمان‌بندی تولید در واحد نورد را ارائه نموده‌اند. آن‌ها برای مسئله ترکیب کردن بلوم ها از مسئلهMCPP[۲] و برای دسته‌بندی نوبت‌های نورد از مسئله فروشنده دوره‌گرد استفاده نموده‌اند. روش حل ارائه‌شده توسط آن‌ها بر اساس یک روش ابتکاری ترکیبی هست. دونگ فن و همکارانش (۲۰۰۹) مدل و الگوریتم برنامه‌ریزی دسته‌ای یکپارچه برای فولادسازی- ریخته‌گری پیوسته و نورد را موردبررسی قرار داده‌اند. پن و یانگ (۲۰۰۹) به ارائه مدل و حل مسئله زمان‌بندی واحد نورد در مقیاس بزرگ پرداخته‌اند. آن‌ها مسئله را به‌صورت یک مسئله چندهدفه چندمسیره[۳] مدل نموده و با

[۱] Hybrid flow shop

[۲] MCPP:Multiplie container packing problem

[۳] Multiple routes problem with multi-objective

استفاده از روش تولید ستون[1] به حل آن پرداختند. ژائو و همکارانش (۲۰۰۹) رویه‌ای جهت حل مسئله زمان‌بندی واحد نورد در دو مرحله ارائه نمودند. در مرحله اول، برنامه‌ریزی دسته‌ای واحد نورد با استفاده از مسئله مسیریابی با جدول زمانی[2]، فرموله شده که به کمک الگوریتم ژنتیک بهبودیافته جل شده است. در مرحله دوم، توالی نوردها در هر دسته با استفاده از الگوریتم‌های جستجوی هوشمند برای دستیابی به نرخ استفاده بیشتر از نورد تعیین‌شده است. اسد و کودرت (۲۰۱۰) زمان‌بندی نورد را در حالتی که جایگزینی تقاضا ممکن باشد موردبررسی قرار داده‌اند. ژائو و همکارانش (۲۰۱۱) مسئله فروشنده دوره‌گرد را بررسی و کاربردان را در مسئله زمان‌بندی واحد نورد نشان داده‌اند. چن و همکارانش (۲۰۱۲) مدل ریاضی مسئله زمان‌بندی واحد نورد را به‌منظور بررسی دو وظیفه عمده زمان‌بندی واحد نورد شامل ۱(انتخاب مجموعه‌ای از سفارش‌ها تولیدی و ۲) تعیین توالی نورد بهینه برای سفارش‌ها انتخابی، فرموله نمودند. برای حل ای مسئله آن‌ها از یک الگوریتم تکاملی ترکیبی با الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی extermal استفاده نموده‌اند. شوجین و همکارانش (۲۰۱۲) الگوریتم ابتکاری به‌صورت سلسه‌مراتبی برای زمان‌بندی واحد نورد ارائه نموده‌اند. کولدیپ و راجیو (۲۰۱۳) نیز به کشف دانش در واحد نورد با استفاده از زمان‌بندی داده‌ها و بازرسی‌های خودکار پرداخته‌اند. نیلی پور و همکاران (۱۳۸۹) نیز به بررسی تأثیر شش ضایعه عمده در واحد نورد سنگین پرداختند که براثر بخشی این واحد تأثیرگذار هست.

۲-۴ مروری بر تحقیقات زمان‌بندی تولید از منظر مسئله و مدل‌سازی در صنعت فولاد

یکی از کاربردهای مسئله زمان‌بندی ظرفیت و زمان‌بندی یکپارچه، در صنعت فولاد است (جانیک[3]، ۱۹۸۹). فولادهای آلیاژی، فولادهایی هستند که در ترکیب شیمیایی آن‌ها مقادیر درخور توجهی از عناصر آلیاژی دیگر وجود دارد. به‌طورکلی تحقیقات صورت گرفته درزمینه ی فولاد را می‌توان در سه گروه عمده دسته‌بندی نمود: گروه اول به زمان‌بندی در واحد فولادسازی؛ گروه دوم به زمان‌بندی در

[1] Multiplie column generation
[2] Vehicle routing problem with window
[3] Janiak, A

واحد نورد و درنهایت گروه سوم به برنامه‌ریزی سفارش‌ها پرداخته‌اند. کرایج و همکارانش (۲۰۰۱)، فن‌های کنترلی در ریخته‌گری پیوسته فولاد را بررسی نموده‌اند. تانگ و همکارانش[۱] (۲۰۰۲) نیز زمان‌بندی فرایند فولاد را به کمک تکنیک ساده‌سازی لاگرانژ ین انجام داده‌اند. مادیراجان و همکارانش (۲۰۰۷) به ارائه الگوریتم‌های ابتکاری برای زمان‌بندی کوره‌های به کار گرفته‌شده در ریخته‌گری فولاد پرداخته‌اند. هوگلر و واسکو (۲۰۰۷) نیز روش‌های فرا ابتکاری برای زمان‌بندی کوره‌ها در صنعت فولاد را منتشر نموده‌اند. رونگ و لاهدلما (۲۰۰۸) مدل برنامه‌ریزی خطی با محدودیت‌های فازی را برای بهینه‌سازی شارژ قراضه آهن در تولید فولاد ارائه نموده‌اند. عتیقه‌چیان و همکارانش (۲۰۰۹) در تحقیقی که منتشر نموده‌اند، به ارائه الگوریتم ترکیبی برای زمان‌بندی تولید در واحد ریخته‌گری فولاد پرداختند. فاضل زرندی و احمد پور (۲۰۰۹) نیز فرایند تولید فولاد را به کمک دستگاه‌های خبره در شرایط فازی بررسی نموده‌اند. گروه دوم تحقیقات صنعت فولاد، مربوط به زمان‌بندی واحد نورد است. لوپز و همکارانش (۱۹۹۸) به فرموله کردن ریاضی مسئله قابل تفسیر به کمک مسئله فروشنده دوره‌گرد با مجموعه جوایزی است که حالتی از فروشنده دوره‌گرد را شامل می‌شود؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مسئله زمان‌بندی در محیط نورد سنگین، NP-hard است (لوپز و همکارانش، ۱۹۹۸). تانگ و همکارانش (۲۰۰۰) به ارائه مدل فروشنده دوره‌گرد به‌منظور زمان‌بندی نورد فولاد پرداخته‌اند. کولینگ و همکارانش (۲۰۰۳) تحقیق خود را درزمینه ی ساختار چندعاملی برای زمان‌بندی پویا درنورد فولاد منتشر نمودند. کولینگ (۲۰۰۳) نیز سیستم حمایت از تصمیم‌گیری انعطاف‌پذیر برای زمان‌بندی نورد فولاد را منتشر نمود. سینق و همکارانش (۲۰۰۴) در تحقیق خود به بررسی مدل انتخاب بلوم‌ها از میان انباشته‌های بلوم، به‌منظور نورد فولاد به کمک الگوریتم ژنتیک بهبودیافته پرداختند. تانگ و وانگ (۲۰۰۸) زمان‌بندی و تولید دسته‌ای یکپارچه درنورد فولاد را منتشر نمودند. پن و یانگ (۲۰۰۹) نیز به ارائه روشی برای حل زمان‌بندی نورد دسته‌ای در مقیاس‌های زیاد به کمک روش «ساخت ستونی» پرداختند. ژاو و همکارانش (۲۰۰۹) یک روش دومرحله‌ای در زمان‌بندی نورد را ارائه نمودند. اسد و دمیرلی (۲۰۱۰) تحقیق خود را درزمینه‌ی زمان‌بندی تولید در واحد نورد فولاد در حالت جانشین‌سازی تقاضاها به چاپ رساندند. دسته سوم تحقیقات در صنعت فولاد به برنامه‌ریزی سفارش‌ها پرداخته‌اند. ازجمله این تحقیقات تحقیقی است که ژانگ و همکارانش (۲۰۰۵) منتشر نمودند. آن‌ها در تحقیق خود برنامه ریاضی سفارش‌ها در صنعت فولاد را به کمک الگوریتم ژنتیک انجام داده‌اند. در تحقیق دیگری که لیو و همکارانش (۲۰۰۶) به چاپ رساندند، برنامه‌ریزی و سازمان‌دهی را به‌صورت گام‌هایی در نظر گرفته‌اند و درنهایت، برای انجام

[۱] Tang, L

مناسب این برنامه‌ریزی به ارائه مدل ریاضی و حل آن پرداخته‌اند. تانگ و لیو (۲۰۰۷) نیز به ارائه مدل ریاضی در این زمینه پرداختند. چون یو و رنگ اکزیا (۲۰۰۸) نیز در تحقیق خود، مدل برنامه‌ریزی سفارش‌های چندهدفه صنعت فولاد را ارائه نموده‌اند.

۲-۵ مروری بر تحقیقات زمان‌بندی تولید در صنعت فولاد با توجه به روش حل

وانگ چن و همکاران (۲۰۱۲) یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه برای زمان‌بندی توالی نورد گرم با الگوریتم‌های ژنتیک و تحولی آن را حل نمودند. ریکاردو و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط در یک تولید چند محصوله ارائه و با ایده فروشنده دوره‌گردان را حل نمودند. لآلی و همکاران (۱۹۸۷) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای ترتیب بندی کارها در ریخته‌گری پیوسته و یک الگوریتم ابتکاری برای حل آن ارائه نمودند. بالاس و مارتین (۱۹۹۱) مسئله زمان‌بندی تولید نورد گرم را با استفاده از محدودیت‌های کوله پوشتی و ترکیب با مدل فروشنده دوره‌گرد ارائه نمودند. پترسون (۱۹۹۲) نیز یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه جهت زمان‌بندی مواد ارائه و با یک الگوریتم ابتکاری آن را حل کرده است. کوسیبا (۱۹۹۲) یک مدل ریاضی برای به دست آوردن توالی نورد گرم ارائه و با ایده فروشنده دوره‌گرد و استفاده از یک الگوریتم ابتکاری آن را حل نموده است. تانگ و همکاران (۲۰۰۰) مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط جهت تعیین توالی ذوب‌ها در خطوط ریخته‌گری ارائه و با ایده فروشنده دوره‌گرد با محدودیت‌های کوله‌پشتی را برای حل آن بکار گرفتند. تانگ و همکاران (۲۰۰۰) از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی برای زمان‌بندی و ترتیب ذوب‌ها در فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته استفاده و با تجزیه مدل، آن را به مدل خطی تبدیل و با استفاده از پکیج‌های استاندارد آن را حل نمودند. چن و لاه (۲۰۰۳) یک رویکرد جدید از آزادسازی لاگرانژ ین را برای زمان‌بندی کارگاهی بر اساس تجزیه ماشین‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌های پیش‌نیازی ارائه نمودند. تانگ و همکاران (۲۰۰۷) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح جهت زمان‌بندی ذوب‌ها در ریخته‌گری پیوسته ارائه و با استفاده از آزادسازی لاگرانژ ین و الگوریتم ابتکاری به حل آن پرداختند. هارجانکوسکی و گروسمن (۲۰۰۱) مسئله زمان‌بندی تولید فولاد باهدف

کمینه کردن دامنه عملیات را در یک خط تولید بررسی نموده و یک استراتژی تجزیه برای حل آن با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی ارائه دادند. تانگ و لیو (۲۰۰۷) مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای زمان‌بندی سفارش‌ها در کارخانه فولاد باوشان چین را باهدف حداقل کردن مجموع وزنی زمان تکمیل کارها ارائه نمودند. برای حل از آزادسازی لاگرانژ ین و یک روش ابتکاری استفاده‌شده است. وانهوک و دبلز (۲۰۰۹) الگوریتم زمان‌بندی تولید چندهدفه با ظرفیت محدود را ارائه و آن را در کارخانه فولاد بلژیک پیاده کردند. تابع هدف کمینه کردن هزینه‌های تخصیص، دیرکرد، زود کرد، بیکاری ماشین‌ها و انحراف از برنامه تولید تعیین‌شده است. رویکرد حل یک الگوریتم ابتکاری دومرحله‌ای هست.

با توجه به بررسی ادبیات تحقیقات صورت گرفته درزمینه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید متوجه شدیم که تحقیقات قبلاً صورت گرفته تنها به کمینه کردن هزینه‌ها توجه نموده و یا به دنبال توصیف یک دیدگاه کلی از مشکلات زمان‌بندی بوده‌اند و جای خالی تحقیقاتی که علاوه بر توجه به برنامه‌ریزی تولید و کاهش هزینه‌ها به کمینه کردن مصرف انرژی در صنعت فولاد و کاهش آلاینده‌های هوا به‌صورت همزمان توجه نشان دهد، احساس می‌شود. لذا در این تحقیق باهدف برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی مناسب برای فرآیند تولید به دنبال راه‌هایی برای کاهش مصرف انرژی در صنعت فولاد کشور و ارائه یک مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید برای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای برای نخستین بار در کشور ایران با بررسی نمونه موردی شرکت ذوب‌آهن است. برای این منظور (در نظر گرفتن دو تابع هدف به‌صورت توأم به‌عنوان معیارهای ارزیابی برنامه زمان‌بندی تولید)، مجموعه پارامترها، متغیرهای تصمیم‌گیری و محدودیت‌های ساختاری موردنیاز در مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید فولاد در نظر گرفته‌شده است.

جدول ۲-۳: طبقه‌بندی ادبیات درزمینهٔ برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید

	mm	Gc	il	pm	sp	cc	GA	BB	Im	Dp	sd	SiA	pm	Hm	Np	Ib	PO	CT	LT		EP	Fd	SA
باکر ۱۹۷۴	*																						
الحبوبی و سلیم ۱۹۹۳		*																					
پوشت و ولزی ۲۰۰۶			*																				
سانگ لی ۲۰۰۴							*						*										
ربادی ۲۰۰۴								*															
فردچوبیه ۲۰۰۶			*											*									
بیگراس ۲۰۰۸								*															
نادری ۲۰۱۰												*											
بالاس ۱۹۹۱					*																		
پترسون ۱۹۹۲	*								*														
کوسیبا ۱۹۹۲					*				*														
چن و لاه ۲۰۰۳																			*				
هارجونسکی ۲۰۰۱	*																						

ادامه جدول ۲-۳: طبقه‌بندی ادبیات درزمینهٔ برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید

	mm	Gc	il	pm	sp	cc	GA	BB	Im	Dp	sd	SiA	pm	Hm	Np	Ib	PO	CT	LT	EP	Fd	SA
حجی نژاد ۲۰۱۱													*									
کریمی نسب ۱۹۳۲							*					*		*								
سوبرامانیان ۲۰۱۴									*													
نخعی نژاد ۱۳۹۳															*							
کرایچ ۲۰۰۱																		*				
تانگ ۲۰۰۲																			*			
مادیراجان ۲۰۰۷									*													
هولگر ۲۰۰۷														*								
رونگ ۲۰۰۸			*																			
عتیقه چیان ۲۰۰۹																						*
زرندی ۲۰۰۹																				*		
لوپز ۱۹۹۸	*				*																	

ادامه جدول ۲-۳: طبقه‌بندی ادبیات درزمینهٔ برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید

	mm	Gc	il	pm	sp	cc	GA	BB	Im	Dp	sd	SiA	pm	Hm	Np	Ib	PO	CT	LT		EP	Fd
تانگ ۲۰۰۰			*		*										*							
کولینگ ۲۰۰۳										*												
سینق ۲۰۰۴							*															
تانگ ۲۰۰۸																*						
پن و یانگ ۲۰۰۹						*																
اسد ۲۰۱۰											*											
ژانگ ۲۰۰۵	*						*															
لیو ۲۰۰۶	*																					
تانگ ۲۰۰۷	*		*						*										*			
وانگ چن ۲۰۱۲	*						*															
چون یو ۲۰۰۸																	*					
ریکاردو ۲۰۱۱			*		*																	
لآلی ۱۹۸۷					*				*													
وان هوک ۲۰۰۹									*													

مدل‌سازی ریاضی	(mm) Mathematical modeling
نمودار گانت	(Gc) Gantt Chart
برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح	(il) Integer linear programming
برنامه‌ریزی ادغامی	(pm) Planning merger
روش مسئله فروشنده دوره‌گرد	(sp) Method salesman problem
روش ساخت ستونی	(cc) Construction method column
الگوریتم ژنتیک	(GA) Genetic Algorithm
روش شاخه کران	(BB) Bound Branch
روش ابتکاری	(Im) Innovative methods
برنامه‌ریزی پویا	(Dp) Dynamic programming
حالت جانشین‌سازی تقاضا	(sd) Successor state of demand
شبیه‌سازی تبرید	(SiA) Simulated Annealing
روش انبوه ذرات	(Pm) Method of particle mass
روش‌های فرا ابتکاری	(Hm) Meta-heuristic methods
برنامه‌ریزی غیرخطی	(Np) Nonlinear programming
روش تولید دسته‌ای یکپارچه	(Ib) Integrated batch production method
برنامه‌ریزی سفارش‌ها	(PO) Planning orders
تکنیک‌های کنترلی	(CT) Control Techniques
تکنیک ساده‌سازی لاگرانژ ین	(LT) The simple technique of Lagrangian
الگوریتم ترکیبی	(SA) synthetic Algorithm
سیستم خبره در شرایط فازی	(EP) Expert system in phase
تصمیم‌گیری انعطاف‌پذیر	(Fd) Flexible decision making

جدول ۲-۴: طبقه‌بندی کلی روش‌های حل مسائل زمان‌بندی کارگاه گردش کاری چندهدفه به ترتیب سال (تقدسی و خوش‌الحان،۱۳۸۹)

شماره مرجع	فرضیات و محدودیت‌ها								ساختار مسئله	روش حل	توابع هدف										
	#	lex	GP	Fl	■	other	2	m	P	MIP+GP	C_{max}	F	T_{max}	N_t	T	ITM	C_w	T_w	E	E_{max}	many
[137]			❊					❊	P	MIP+GP	❊	❊									
[168]			❊					❊	p	MIP+GP	❊	❊									
[44]	❊						❊		p	B&B:EDC1	❊		❊								
[44]					❊			❊	p	Heuristics: HDC4	❊		❊								
[69]						❊		❊	P	Heuristic: CDS	❊	❊									
[121]		❊					❊		P	B&B: HCR1,2	❊	❊									
[60]						❊		❊	p	SA &HGR1	❊	❊									
[122]						❊		❊	P	Heuristics	❊	❊									
[116]				❊			❊		P	B&B: HNHH1	❊	❊									
[117]				❊			❊		p	GA+B&B	❊	❊									
[118]		❊					❊		p	GA	❊	❊									
[113]	❊							❊	p	GA	❊	❊			❊						
[143]				❊				❊	P	Heuristics: HDC4	❊	❊				❊					

ادامه جدول ۲-۴: طبقه‌بندی کلی روش‌های حل مسائل زمان‌بندی کارگاه گردش کاری چندهدفه به ترتیب سال (تقدسی و خوش‌الحان،۱۳۸۹)

	#	lex	GP	Fl	■	other	2	m	P	MIP+GP	C_{max}	F	T_{max}	N_t	T	ITM	C_w	T_w	E	E_{max}	many
[89]	❋						❋		P	B&B: ELJ1	❋			❋							
[89]	❋						❋		p	B&B: ELJ2	❋				❋						
[142]				❋			❋		P	B&B :ESU1,2,3,HS U1	❋										
[71]	❋							❋	P	GA + Local search	❋				❋	❋					
[30]				❋				❋	p	GA	❋		❋			❋					❋
[82]				❋			❋		p	B&B	❋		❋			❋					
[138]	❋						❋		P	ESK1,2	❋										
[33]				❋				❋	P	IP + Heuristics	❋			❋							
[63]			❋				❋		p	TS	❋	❋									
[102]	❋						❋	❋	P	TS											❋
[64]		❋					❋		P	Exact & Heuristics strategies	❋	❋									
[76]				❋				❋	P	Evolutionary strategies	❋	❋									

ادامه جدول ۲-۴: طبقه‌بندی کلی روش‌های حل مسائل زمان‌بندی کارگاه گردش کاری چندهدفه به ترتیب سال (تقدسی و خوش‌الحان،۱۳۸۹)

	#	lex	GP	Fl	■	other	2	m	P	MIP+GP	C_{max}	F	T_{max}	N_t	T	ITM	C_w	T_w	E	E_{max}	many
[54]				❊				❊	P	Heuristics	❊	❊			❊						
[161]		❊					❊		P	MIP,DP, B&B:HTGB	❊	❊									
[17]				❊				❊	P	Heuristics	❊	❊									
[72]	❊							❊	P	GA & Local search	❊				❊						
[19]				❊				❊	P	IP + Heuristics	❊	❊			❊						
[21]	❊							❊	P	TS	❊		❊								
[20]				❊	❊			❊	P	Heuristic	❊		❊								
[146]	❊							❊	P	TS	❊		❊								
[130]	❊							❊	P	Heuristics	❊	❊	❊								
[163]	❊							❊	P	SA	❊	❊									

ادامه جدول ۲-۴: طبقه‌بندی کلی روش‌های حل مسائل زمان‌بندی کارگاه گردش کاری چندهدفه به ترتیب سال (تقدسی و خوش‌الحان،۱۳۸۹)

	#	lex	GP	Fl	■	other	2	m	P	MIP+GP	C_{max}	F	T_{max}	N_t	T	ITM	C_w	T_w	E	E_{max}	many
[26]	❊							❊	P	GA	❊	❊									
[85]	❊						❊		P	B&B	❊	❊			❊						
[114]	❊							❊	P	GA	❊	❊									
[172]				❊			❊		P	B&B	❊	❊			❊						
[161]		❊					❊		P	ACO	❊	❊									
[65]				❊				❊	P	TS,SA	❊	❊									
[34]				❊				❊	P	Gradual Priority Weighting(GPW)	❊	❊			❊						

GP: Goal Programming
GA: Genetic Algorithm
B&B: Branch and Bound
TS: Tabu Search
SA: Simulated Annealing
MIP: Mixed Integer Programming
IP: Integer Programming
DP: Dynamic Programming
p: Permutation
ACO: Ant Colony Optimization

۲-۶ معرفی صنعت فولاد

بدیهی است لازمه تحقیق و پژوهش در یک صنعت، شناخت جامع و کامل از آن صنعت مورد باشد. ازاین‌رو این بخش به بررسی و تشریح این صنعت ازنقطه‌نظر فرایندها و محصولات آن می‌پردازد. با شناخت جامع و کامل از این صنعت در بخش‌های بعدی برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی و تابع مصرف انرژی صورت گرفته در قالب مدل‌های ریاضی در این صنعت، شفاف‌تر شده و نحوه عملکرد و کاربردان‌ها در این صنعت روشن خواهد شد.

نوآوری در صنعت و فنّاوری و دستیابی به پدیده‌های جدید در جهت ایجاد تسهیلات زندگی بشر به‌شتاب بسیار در سراسر دنیا دنبال می‌شود. در این راستا صنعت فولاد دیرگاهی است که در این مسیر گام نهاده و روند طبیعی پیشرفت را به سمت فولادهای آلیاژی طی نموده است. به‌منظور رهایی از وابستگی به خارج از کشور خوداتکایی صنعتی، تأمین نیاز کشور به انواع فولادهای آلیاژی نقش ویژه‌ای دارد. تولید فولاد آلیاژی از منابع داخلی به‌مثابه یکی از عمده‌ترین کالاهای واسطه‌ای، گامی اساسی در جهت حذف اتکاء صنعتی به محصولات خارجی هست. ازاین‌رو پرواضح است که تحقیق و پژوهش در این صنعت از اهمیت بسیار بالایی برخوردار خواهد بود.

بدیهی است صنعت فولاد آلیاژی به‌عنوان یک صنعت مادر و زیر بنایی علاوه بر تغذیه کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی و تأمین مواد اولیه برای این‌گونه واحدها، می‌تواند زمینه‌های مناسبی برای اقدام سریع‌تر در جهت بهره‌برداری و تبدیل آن‌ها به تولیدات موردنیاز و درنتیجه تضمین رشد اقتصادی کشور را فراهم آورد.

❖ فولاد و فولاد آلیاژی

فولاد آلیاژی است از آهن و کربن که اساسی‌ترین جزء آن را کربن تشکیل می‌دهد. عنصر کربن، بیشترین تأثیر در خواص فولاد و انتخاب نوع عملیات حرارتی مناسب جهت خواص مطلوب را دارد.

فولادهایی که ۰.۶ درصد کربن باشد فولاد پرکربن و فولادهـایی کـه درصـد کـربن آن‌هـا از ۰.۷۷ درصد باشد فولاد ابزار نامیده می‌شود. درصد کربن به‌ندرت بین ۱.۳ تا ۲ درصد بوده و حـد بـالای آن حدود ۲ درصد هست. وقتی درصد کربن فولادی بیش از این مقدار (۲ درصد) باشد، آلیاژ آهن – کربن، چدن نامیده می‌شود.

فولادهای ساده کربنی، غیر از کربن شامل مقادیر جزئی در حد ۰.۰۴ درصد فسـفر و ۰.۰۴ درصـد گوگرد و چند دهم درصد منگنز و سیلیسیم هست. ۰.۱ درصد یا بیشتر از عناصـری چـون کـروم، نیکل، مولیبدن و غیره به‌عنوان عناصر اضافی محسوب و چنین آلیاژهایی به‌عنوان فـولاد معمـولی نامیده می‌شوند، چراکه عناصر ثانوی آن عمداً افزوده نشده و از طرف دیگر به نسـبت کمـی وجـود دارند.

فولادهای آلیـاژی، فولادهـایی هسـتند کـه عـلاوه بـر کـربن در ترکیـب شـیمیایی آن‌هـا مقـادیر قابل‌توجهی از عناصر آلیاژی دیگر وجود دارد. عناصر آلیاژی، جهت بهبود خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی در کاربردهای مهندسی به فولاد اضافه می‌شوند. عناصری که معمولاً با فولاد به‌صـورت آلیاژ درمی‌آیند شامل نیکل، کروم، مولبیدن، وانادیوم، تنگستن و منگنز می‌باشند که به‌صورت فـرو آلیاژ به مذاب اضافه می‌شوند. چنانچه درصد وزنی عناصر موجود در فولاد آلیاژی از ۵ درصد بیشتر باشد آن را فولاد پر آلیاژ می‌نامند. عناصر آلیاژی درصورتی‌کـه از حـد تعیـین‌شـده بیشـتر باشـند به‌عنوان عنصر آلیاژی در فولاد تلقی می‌گردند.

عناصر آلیاژی جهت پدید آوردن خواسته‌های مطلوب و از بین بردن خـواص نـامطلوب، بـه فـولاد اضافه می‌شوند. خواصی که تحت تأثیر عناصر آلیاژی کسب می‌شوند عبارت‌اند از:

- سختی‌پذیری
- مقاومت به سایش
- تأثیر بر مشخصات مغناطیسی

- مقاومت به خوردگی
- افزایش استحکام

موارد فوق مقدمه‌ای بر صنعت فولاد را تشریح می‌نماید که در ابتدا برای آشنایی با این صنعت ضروری به نظر می‌رسد. در ادامه با توجه به مقدمه اشاره‌شده از این صنعت، فرایندهای موجود در این صنعت به‌طور مفصل تشریح خواهد شد.

۲-۶-۱ معرفی خط تولید شرکت ذوب‌آهن

۱- بخش آگلومراسیون

۲- بخش کک سازی

۳- کوره بلند

۴- فولادسازی

۵- مهندسی نورد

۱- بخش آگلومراسیون

وظیفه اصلی آگلومراسیون تولید آگلومره با شرایط فنی مناسب جهت مصرف در کوره بلند است، مصرف آگلومره نسبت به مصرف مستقیم سنگ‌آهن به دلیل یکنواختی آنالیز مواد شیمیایی و احیاء پذیری بهتر به راندمان کوره بلند تا میزان ۳۰ درصد گردیده و همچنین مصرف کک را تا میزان ۷۰ درصد کاهش می‌دهد.

شکل ۲-۹: بخش آگلومراسیون

انبار مواد خام

وظیفه اصلی انبار مواد خام عبارت است از:

الف- دریافت مواد اولیه مناسب ازنظر کمی و کیفی و ذخیره‌سازی آن‌ها

ب- همگن کردن مواد

ج - ارسال مواد به واحدهای مصرف‌کننده.

این انبار دارای ۱۵ سکو با ظرفیت هر سکو هفتاد تا هشتاد هزار تن می‌باشد.

- ❖ کارگاه بونکرهای مواد آماده

وظیفه این کارگاه دریافت و آماده‌سازی و ارسال مواد خام موردنیاز با ترکیب شارژی مناسب جهت تولید آگلومره با شرایط فنی موردنظر به کارگاه پخت است. این کارگاه دارای ۷ ردیف ۱۹ تایی بونکر ۹۰ مترمکعبی جهت دریافت و ارسال می‌باشد.

- ❖ کارگاه پخت

وظیفه این کارگاه دریافت مخلوط مواد خام سنگ‌آهن دولومیت کک و پخت و تبدیل آن به سنگ منگنز اکسید نوردی با شرایط آگلومره موردنیاز کوره بلند می‌باشد.

شکل ۲-۱۰: کارگاه پخت

۲- بخش کک سازی و تولید مواد شیمیایی

وظیفه اصلی بخش تولیدات کک و مواد شیمیایی تولید کک به‌عنوان ماده سوختنی و احیاء کننده اصلی در کوره بلند می‌باشد.

❖ کارگاه زغال

کارگاه زغال وظیفه دریافت زغال از معادن ذخیره‌سازی و تهیه شارژ مناسب جهت باتری‌های کک سازی را به عهده دارد این کارگاه متشکل از تجهیزات انباشت و برداشت زغال سرند خردکن و ۴۰ عدد سیلو جهت ذخیره‌سازی زغال به ظرفیت ۱۰۰ هزار تن زغال می‌باشد.

❖ کارگاه کک سازی

این کارگاه تولید کک از زغال‌سنگ و ارسال آن به بخش‌های کوره بلند وآگلومراسیون می‌باشد کارگاه کک سازی متشکل از دو باطری یکی دارای ۵۸ سلول و دیگری دارای ۷۲ سلول است این کارگاه زغال‌سنگ موردنیاز خود را از کارگاه زغال دریافت نموده و سپس به‌وسیله ماشین شارژ حدود ۲۱ تا ۲۲ تن زغال از برج زغال تحویل و در سلول‌های کک شارژ می‌گردد آنگاه در مدت معین (به نام پریود کک که بین ۱۵ تا ۱۹ ساعت می‌باشد) فرایند تبدیل زغال به کک صورت می‌گیرد.

شکل ۲-۱۱: کارگاه کک سازی

❖ کارگاه بازیابی مواد

وظیفه کارگاه بازیابی مواد تصفیه مقدماتی گاز کک تولیدشده توسط باطری‌هاست در این کارگاه قطران سولفات آمونیوم بنزول خام و فنلات سدیم جداشده و این گاز برای تصفیه نهایی به کارگاه تولید اسیدسولفوریک ارسال می‌شود از گاز باقیمانده به‌عنوان یک ماده سوختنی در نیروگاه ذوب‌آهن و همچنین کوره‌های نورد و تولیدات نسوز استفاده می‌شود.

❖ کارگاه پالایش بنزول

کارگاه پالایش بنزول از سه واحد بنزول خام پالایش قطران و تولید فنل تشکیل‌شده است وظایف این کارگاه به شرح زیر می‌باشد.

الف- دریافت بنزول خام از کارگاه بازیابی مواد و تولید محصولات بنزنی شامل بنزن تولوئن گسیلن وسولونت در واحد پالایش بنزول.

ب - دریافت قطران از کارگاه بازیابی مواد جهت تولید فراورده‌های قطرانی و دریافت فنلات سدیم از کارگاه بازیابی مواد.

شکل ۲-۱۲: کارگاه پالایش بنزول شکل

۲-۱۳: کارگاه اسیدسولفوریک

❖ کارگاه اسید سولفوریک

وظیفه این کارگاه جداسازی گاز هیدروژن‌سولفوره از گـاز کـــک وتوییدد اسیدسولفوریک در اثر واکنش‌های شیمیایی با استفاده از کاتالیزور پنتااکسید واناد یوم ونیز تصفیه نهایی گاز کک می‌باشد.

۳- بخش کوره بلند

هدف اصلی بخش کوره بلند تولید چدن مذاب جهت استفـاده در بخش فولادسازی یا درصورتی‌که عدم پذیرش، ارسال آن به کارگاه چدن‌ریزی است. این بخش شامل:

الف-کارگاه اصلی کوره بلند

ب- کارگاه چدن‌ریزی

ج- کارگاه سرباره

د- کـارگـاه آماده‌سازی پاتیل و تأسیسات بونکرها و ذ خیره سازی مواد می‌باشد.

شکل ۲-۱۴: کوره بلند

❖ کارگاه اصلی

کارگاه اصلی کوره بلند از طـریق کـوره بلندهای شماره ۱ و ۲ تولید چدن در بخش کوره بلند صورت می‌پذیرد. کوره بلند شماره یک دارای حجم ۱۰۳۳ میلی‌متر مکعب تولید متوسـط سالیانه طبق طرح ۶۶۵ هزار تن و کوره بلنـد شمـاره ۲ دارای حجـم ۲۰۰۰ مترمکعب و تـــولیـد متـوسط سالیانه طبق طرح یک‌میلیون و ۲۳۷ هـزار و ۲۵۰ تن می‌باشد .در فـرآیند تولیـد چدن در کـوره بلنـد مواد اولیه (سنگ‌آهن- آگلومره پلیت- کـک و کمک‌ذوب‌ها) از دهانه کوره شـارژ و هـوای غنی‌شده با اکسـیژن به همراه دیگر کمک سوخت‌ها (گاز طبیعی و مازوت) از بالای بوته به کـوره دمیـده می‌شود.

هـوای دمیـده شـده منجـر بـه سـوختن کـک و ایجاد واکنش شده و حرارت کافی جهت احیاء ذوب سنگ‌آهن ایجاد می‌نماید. مواد مذاب د ر بوته کوره جمع و به‌تناوب از کوره تخلیه و پـس از جداسازی چدن و سرباره، در جوی مخصوصی که با نسوز مناسب آماده‌شده است چـدن و سـرباره به‌طور جداگانه د ر پاتیل‌های حمل چدن و سرباره تخلیه می‌شوند سپس پاتیل‌های سرباره توسـط لکوموتیو به کارگاه دانه‌بندی سرباره ارسال و پاتیل‌های چدن به فولادسازی حمل می‌شوند.

❖ کارگاه چدن‌ریزی

وظیفه این کارگاه تولید شمش چدن درصورتی‌که عدم جذب چدن مذاب تولیدی کوره بلندها، توسـط بخش فولادسازی می‌باشد. این کارگاه دارای د و د دستگاه ماشین چدن‌ریزی هرکـدام بـه ظرفیت ۱۶۲ تن در ساعت می‌باشد. چدن تولیدشده در ایـن کـارگـاه قابل‌فروش به صنایع مختلف

می‌باشد و در صورت نیـاز از آن به‌عنوان شارژ سرد در کنورتور ها استفاده می‌نمایند.

شکل ۲-۱۵: کارگاه چدن‌ریزی

❖ کارگاه سرباره

مواد ورودی به این کارگاه سرباره مذاب می‌باشد که دانه‌بندی شده یـا در قسـمت خـردکن بـه کلوخه تبدیل می‌گردد سرباره دانه‌بندی شده به‌عنوان ماده اولیه در کارخانه‌ها سیمان مورداستفاده قرارمی‌گیرد.

❖ کارگاه آماده‌سازی پاتیل

وظیفه این کارگاه نسوز چینی و آماده ساختن پاتیل‌های چدن جهت ذ وب گیری می‌باشد.

❖ تأسیسات بونکرها و ذخیره‌سازی مواد

تهیه و ذخیره‌سازی مـواد اولیه موردنیاز کوره بلند وظیفه این کارگاه است. ظرفیـت بونکرهای کوره بلند شماره ۱ و ۲ به ترتیب ۲۱۵۰ و ۶۱۹۴ مترمکعب می‌باشد.

۳- بخش فولادسازی

در بخش فولادسازی تبدیل چدن تولیدشده در کوره بلند به فولاد با آنالیز و ابعاد مناسب انجـام می‌گیرد.

❖ کارگاه میکسر

وظیفه اصلی میکسر ذ خیره سازی و تأمین چدن با ترکیب شـیمیایی یکنواخـت بـرای کارگـاه کنورتور می‌باشد. این کارگاه دارای دو میکسر با ظرفیت اسمی ۱۱۰۰ تن است. جلـوگیری از افـت درجه حرارت مذاب و یکنواخت کردن درجـه حـرارت و هماهنگ نمود ن روند کار کـوره بلنـد و

کنورتور و جلـوگیـری از توقف پاتیل‌های حـامـل چدن از دیگر مزایای وجود این انبارهای ذخیـره چدن می‌باشد.

❖ کارگاه کنورتور

هدف کارگاه کنورتور تبدیل چدن مذاب به فولاد با مارک‌های مشـخص مـی‌باشـد. ایـن کارگـاه دارای سه کنورتور از بوده که ظرفیت تولیـد هـرکـدام ۱۳۰ تـن می‌باشـد. در ایـــن کارگـاه انـواع فولادهای ساختمانی و صنعتی تولید می‌گردد. روند کار این کارگاه به این نحـو اسـت کـه پـس از شارژ آهن قراضه همراه با آهـن اسـفنجی و چـدن تخلیـه‌شـده از میکسـر و دیگـر کمـک‌ذوب‌هـا درکنورتور با دمش اکسیژن خالص به مدت معینی در داخل مـذاب، ناخالصـی‌هـا و کـربن اضـافی موجود حذف و چدن به فولاد تبدیل می‌گردد.

شکل ۲-۱۶: کارگاه کنورتور

❖ کارگاهL.F

فولاد تولیدی کنورتور برگشتی از ریخته‌گری که نیاز به هموژن کردن، گرم کـردن یـا تصـحیح آنالیز داشته باشد، به این کارگاه ارسال می‌شود. در این کارگاه گازهای بی‌اثر مانند ازت و آرگون به مدت موردنیاز به درون مذاب دمیده می‌شود تا این‌که فولاد مذاب ازنظر درجـه حـرارت و ترکیـب شیمیایی کاملاً همگن‌شده و نیز از ناخالصی‌های غیرفلزی تصفیه شود.

همچنین با ایجاد قوس الکتریکی اقدام به گـرم نمـودن فـولاد مـی‌شـود. کوانتـومتر موجـود در کارگاه، در مواقع افزودن مواد آلیاژ کننده به فولاد، ترکیب شیمیایی نمونه برداشته‌شده از پاتیل را در زمان بسیار کوتاهی مشخص می‌نماید.

شکل ۲-۱۷: کارگاهL.F

❖ کارگاه تعمیر پاتیل

این کارگاه به‌منظور تأمین و آماده‌سازی پاتیل‌های فولاد و ریخته‌گری و همچنین نسوزکاری میکسرها، کنورتورها و پاتیل‌های موردنیاز بخش فولادسازی در نظر گرفته‌شده است.

❖ کارگاه ریخته‌گری مداوم[1]

هدف کارگاه ریخته‌گری تولید شمش در ابعاد مورد درخواست نورد می‌باشد. این کارگاه شامل چهار ایستگاه ریخته‌گری از نوع روسی و چهار ایستگاه ریخته‌گری از نوع دانیلی ایتالیا است. روند کارگاه ریخته‌گری به این نحو است که پاتیل فولاد مذاب با درجه حرارت و ترکیب شیمیایی معین مطابق با استاندارد کارخانه به روی ماشین ریخته‌گری مستقر می‌گردد. به‌منظور تثبیت سرعت ریخته‌گری و جدا کردن ذرات سرباره‌ای فولاد مذاب ابتدا در پاتیل‌های میانی و سپس به درون قالب‌های مس درباز (کریستالیزاتور) ریخته می‌شود. در اثر خنک نمودن دیواره‌های قالب توسط آب، مذاب داخل قالب حرارت خود را ازدست‌داده و منجمد می‌شود.

[1]Continuous casting

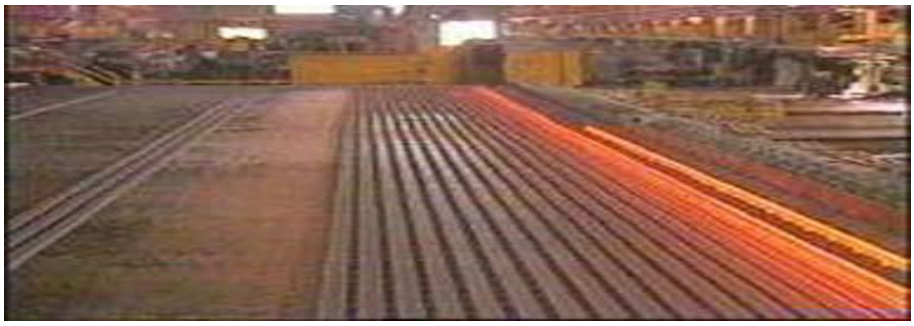
شکل ۲-۱۸: کارگاه ریخته‌گری مداوم

۴- مهندسی نورد

هدف مهندسی نورد عبارت است از تغییر فرم شمش به مقاطع موردنظر این مهندسی شامل کارگاه‌های نورد ۵۰۰، نورد ۳۰۰، نورد ۶۵۰، نورد ۳۵۰ و کارگاه‌های سرویس‌دهنده می‌باشد. به‌طورکلی نورد به دو صورت گرم و سرد وجود دارد. کارگاه‌های نورد کارخانه ذوب‌آهن همگی از نوع نورد گرم می‌باشند. درنورد گرم شمش پس از رسیدن به درجه حرارت موردنظر در کوره‌های نورد از بین چند مجموعه غلتک در حال چرخش عبور نموده و با کاهش متوالی مقطع نهایتاً به فرم موردنظر تبدیل می‌شود. به‌این‌ترتیب یک پوسته جامد متناسب با شکل قالب دورتادور مذاب را می‌گیرد. پوسته جامد به همراه مذاب پس از خارج شدن از کریستالیزاتور در منطقه خنک‌کننده ثانویه با پاشش مستقیم آب به‌صورت اسپری خنک می‌شود و فاز مذاب درون آن کاملاً به جامد تبدیل می‌گردد. سپس شمش‌های تولیدی به طول‌های مناسب با توجه به محصول نهایی بریده و در اختیار کارگاه شمش قرار می‌گیرد.

❖ کارگاه شمش

هدف کارگاه شمش شناسایی عیوب شمش‌ها و آماده‌سازی شمش‌های ریخته‌گری شده باکیفیت مطلوب و اندازه‌های مورد درخواست مهندسی نورد است.



شکل ۲-۱۹: کارگاه شمش

شمش پس از اتمام تغییر فرم توسط دستگاه‌های برشی خط مانند قیچی واره به طول موردنظر برش داده‌شده و پس عملیات تکمیلی و کنترل، بسته‌بندی گردیده و به انبار محصول حمل می‌شود.

❖ کارگاه نورد ۳۰۰

کارگاه نورد ۳۰۰ از نوع نورد نیمه سبک و مداوم است. ظرفیت تولید این کارگاه ۷۰۰ هزار تن در سال بوده و تولیدات کارگاه شامل میلگرد و آرماتور از ۱۰ تا ۲ ۳ و نبشی از ۴۰ میلی‌متر الی ۶۰ میلی‌متر می‌باشد.

❖ کارگاه نورد ۵۰۰

کارگاه نورد ۵۰۰ از نوع نورد متوسط و مداوم است ظرفیت تولید این کارگاه ۷۰۰ هزار تن در سال بوده و عمده‌ترین محصولات آن تیرآهن از ۱۲ تا ۱۸ ناودانی ۱۴ و ۱۶ و میلگرد و نبشی سایز بالا می‌باشد.

❖ کارگاه نورد ۶۵۰

این کارگاه از نورد سنگین و غیر مداوم بوده و دارای دو خطنورد تیرآهن و چهارگوش است. ظرفیت تولید کارگاه ۷۵۰ هزار تن مقاطع و چهارگوش در سال می‌باشد. تولیدات کارگاه شامل تیرآهن از ۱۴ تا ۲۷ و میلگرد سنگین و چهارگوش است. همچنین ریل U33 به‌صورت آزمایشی در این کارگاه تولیدشده است.

شکل ۲-۲۰: کارگاه نورد ۶۵۰

❖ کارگاه نورد ۳۵۰

این کارگاه از نوع نورد سبک مداوم بوده و ظرفیت تولید آن ۳۳۰ زار تن در سال می‌باشد. همچنین کارگاه شامل دو خط مستقیم برای تولیدات مقاطع به‌صورت شاخه‌ای و خط سیم است. در خط سیم میلگرد و آرماتور به‌صورت کلاف از سایز ۵/۵ الی ۱۴ میلی‌متر و خط مستقیم میلگرد و نبشی قابل‌تولید است.

شکل ۲-۲۱: کارگاه نورد ۳۵۰

❖ کارگاه‌های سرویس‌دهنده تراش غلتک و مکانیکی

این کارگاه‌ها وظیفه تراش و آماده‌سازی غلتک‌ها، مونتاژ و سرویس یاتاقان غلتک‌ها ساخت و تعمیر بعضی از قطعات موردنیاز نورد را به عهده دارند.

۲-۷ برنامه‌ریزی تولید با در نظر گرفتن محدودیت انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی

برنامه‌ریزی انرژی ازجمله سیاست‌هایی است که هم شرایط عرضه‌ی مناسب انرژی و هم تأثیر چگونگی تولید و تبدیل انرژی و به حداقل رساندن خسارت‌های زیست‌محیطی را در نظر می‌گیرد.

برنامه‌ریزی درست انرژی باعث حفظ تعادل عرضه و تقاضای انرژی می‌شود. در سال‌های اخیر به دلایل زیست‌محیطی و آشکار شدن مضرات ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و تأثیرات منفی آن‌ها بر روی چرخه‌های اکولوژی باعث اهمیت قائل شدن برای استفاده درست از منابع انرژی گشته است. به‌طوری‌که امروزه متمرکز شدن بروی مسائل اقتصادی و کاهش هزینه نسبت به آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی در اولویت دوم قرارمی گیرد. لذا باید به دنبال کاهش میزان آلاینده‌های تولید به‌وسیله صنایع باشیم. بدین منظور باید منابع تولید آلودگی در این صنایع شناسایی شوند. یکی از مهم‌ترین منابع تولید آلودگی، آلودگی در صنعت فولاد است گازهای خروجی از کوره‌های قوس الکتریکی بوده که حاوی مقادیر زیادی منواکسید کربن و ذرات معلق است.

صنایع تولید فولاد از صنایع هستند که با حجم عظیمی از مواد مصرفی و انرژی سروکار دارند. بیش از نیمی از ورودی این صنایع در خروجی به شکل دوده و ذرات جامد بوده و درنتیجه مسئله کنترل این حجم عظیم آلاینده‌های زیست‌محیطی از اهمیت زیادی برخوردار است. از میان فنّاوری‌های مختلف تولید فولاد، استفاده از کوره‌های قوس الکتریکی به‌منظور ایجاد دماهای بالا و احیای فولاد از اقبال روزافزونی برخوردار است. مطابق آمارهای ارائه‌شده توسط مؤسسات معتبر بین‌المللی، نزدیک به ۳۵ درصد از تولید ۱۲۲۰ میلیون تنی تولید فولاد در دنیا در سال ۲۰۰۹ میلادی با استفاده از این فنّاوری صورت گرفته است (نخعی نژاد،۱۳۹۲). صنایع آهن و فولاد یکی از اساسی‌ترین صنایع در تأمین مواد اولیه دیگر صنایع بوده و اقتصاد ملی را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهند. (شوهیو،۲۰۱۴ و دیوتا،۲۰۱۳). به‌عنوان نمونه صنایع آهن و فولاد از زغال‌سنگ به‌عنوان انرژی اولیه استفاده می‌کنند که فشار کمبود انرژی مشهود است. (ژانگ،۲۰۱۲ و عبدالقادر ۲۰۱۵). علاوه بر این مشکلات زیست‌محیطی که از سوختن زغال‌سنگ ایجاد می‌شود می‌توان به تولید زیاد گازهای دی‌اکسید کربن اشاره نمود که به‌نوبه خود باعث گرم شدن کره زمین شده که یک موضوع مهم برای بقای انسان‌ها می‌باشد. (ژانگ،۲۰۱۵). در ضمن صنعت فولاد بیشترین سهم

در تولید گازهای گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید را دارد. (چن،۲۰۱۵). تخمین‌ها نشان می‌دهد که ۹۵٪ گازهای گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید بوده که صنعت فولاد نقش مهمی در تولید آن‌ها داشته است. (ژانگ، ۲۰۱۰ و اپستلوس ۲۰۱۳).

در تحقیقاتی در سال ۲۰۰۹ در چین نشان داده‌شده که صنایع آهن و فولاد چین که تولیدی برابر با ۱.۱۷ میلیارد تن دارد ۱۶.۲۹ درصد گازهای کربن دی‌اکسید در چین را تولید می‌کند که این میزان آلودگی تقریباً برابر با ۵۰ درصد کل گازهای کربن دی‌اکسید صنعت فولاد در جهان است. (دونگ، ۲۰۱۳). مشکلات آلودگی ناشی از تولید گازهای SO_2 و NOX[1] را نمی‌توان نادیده گرفت (دینگ،۲۰۱۴ وشاهیو ۲۰۱۴) ازآنجاکه کمبود منابع انرژی و مشکلات زیست‌محیطی و حفاظت از انرژی و کاهش تولید گازهای آلاینده به یک موضوع مهم تبدیل‌شده است تحقیقات در مورد کاهش شدت مصرف انرژی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای نقطه کانونی از مطالعات بوده است. با توجه به گرم‌تر شدن هوای کره زمین از ۲۰ درجه سانتی گراد به ۲۵ درجه سانتی گراد احیاء و بازیابی انرژی‌های حرارتی تلف‌شده و استفاده از فرایندهای خنک‌کننده در امر تولید و به حداقل رساندن از دست دادن یا تلف شدن انرژی امری مهم می‌باشد. (لیو، ۲۰۱۵)

ژانگ زلونگ و همکاران سیکل برایتون را برای هوا پیشنهاد دادند که بر اساس آن برای بازیابی انرژی حرارتی تلف شده از کوره‌های BF و سرباره صورت می‌گیرد؛ و ژنراتور ترموالکتریک را به‌عنوان یک دستگاه مفید برای تبدیل انرژی مستقیم حرارتی از قسمت کوره بازیابی حرارت و سرباره مطرح نمودند. (زلونگ، ۲۰۱۵ و بینگ،۲۰۱۴ و فانکی، ۲۰۱۴)؛ و فریت-جریان فرایند پخت سیستماتیک به‌منظور بهبود بهره‌وری استفاده از منابع آهن و بهینه‌سازی فرایند عملیات را بر اساس روش نمودار حلقه علی و نمودار جریان سهام موردبررسی قرارداد (لیو،۲۰۱۵).

(مهاپاترا، ۲۰۱۵). با آغاز سال ۲۰۱۰ چین در تولید گازهای گلخانه ای از آمریکا پیشی می‌گیرد و

[1] گازهای حاصل از نیروگاه‌هایی که از سوخت زغال‌سنگ به‌عنوان سوخت استفاده می‌کنند.

در سال ۲۰۱۳ به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده این گازها شناخته می‌شود به‌طوری‌که یک‌سوم از تولید کل گازهای آلاینده را چین تولید می‌نماید. (ژائو، ۲۰۱۵)؛ بنابراین چین تحت‌فشارهای بین‌المللی برای کاهش تولید گازهای گلخانه ای به دنبال راه‌هایی برای کاهش انتشار آن‌ها برا آمده و از طرفی با افزایش صنعتی شدن و شهرنشینی این روند کاهشی با مشکلاتی همراه بوده است. (یان، ۲۰۱۵ و لیک، ۲۰۱۵). پس از بررسی‌هایی که در اروپا در مورد انتشار گازهای کربن دی‌اکسید در صنعت فولاد صورت گرفت (ریکاردی، ۲۰۱۵) لین وانگ به‌طور بالقوه به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای توسط چین اشاره نمود و خواستار استفاده از نوآوری در فرایند تولید فولاد و سرمایه‌گذاری برای استفاده از دودکش را برای صنایع فولاد پیشنهاد داد. (لین، ۲۰۱۵). آی اس آی پس از بررسی‌هایی و استفاده از مدل‌های رگرسیونی که در مورد اثرات فن‌آوری، بازار و عوامل سیاست در تولید گازهای گلخانه ای داشت به این نتیجه رسید که افزایش رشد اقتصادی بزرگ‌ترین عامل ایجاد آن‌ها است (فلائس، ۲۰۱۵). دی‌اکسید کربن تولیدشده توسط فعالیت‌های انسانی مقصر اصلی گرم شدن کره زمین می‌باشد. در کشور ما نیز به علت تولید فولاد از سنگ‌آهن و کک یکی از عوامل بسیار مهم در آلودگی هوا را می‌توان فعالیت کارخانجات تولید فولاد دانست؛ و بهتر است که از روش‌های جدید برای تولید فولاد و فن‌آوری‌های روز دنیا برای مهار این آلودگی‌ها استفاده شود.

۲-۸ جمع‌بندی ادبیات موضوع

با توجه به بررسی ادبیات تحقیقات صورت گرفته درزمینه‌ی برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید متوجه شدیم که تحقیقات قبلاً صورت گرفته تنها به کمینه کردن هزینه‌ها توجه نموده و یا به دنبال توصیف یک دیدگاه کلی از مشکلات زمان‌بندی بوده‌اند و جای خالی تحقیقاتی که علاوه بر توجه به برنامه‌ریزی تولید و کاهش هزینه‌ها به کمینه کردن مصرف انرژی در صنعت فولاد و کاهش آلاینده‌های هوا به‌صورت همزمان توجه نشان دهد، احساس می‌شود. لذا در این تحقیق باهدف برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی مناسب برای فرآیند تولید به دنبال راه‌هایی برای کاهش مصرف

انرژی در صنعت فولاد کشور و ارائه یک مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید برای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای برای نخستین بار در کشور ایران با بررسی نمونه موردی شرکت ذوب‌آهن است. برای این منظور (در نظر گرفتن دو تابع هدف به‌صورت توأم به‌عنوان معیارهای ارزیابی برنامه زمان‌بندی تولید)، مجموعه پارامترها، متغیرهای تصمیم‌گیری و محدودیت‌های ساختاری موردنیاز در مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید فولاد در نظر گرفته‌شده است.

فصل سوم:

روش تحقیق

۳-۱ مقدمه

مدیران برای رسیدن به یک هدف مشخص با محدودیت‌های بسیاری چون محـدودیت منـابع، انـرژی، نیروی انسانی، مواد، سرمایه و ... مواجه هستند. هدف اغلب مدیران و سازمان‌ها رسیدن به سود بیشتر یعنی حداکثر کردن سود می‌باشد. ضمناً سازمان‌هایی وجود دارند که درصـدد حـداقل کـردن هزینـه ضایعات و مصرف انرژی و ... خود هستند. یکی از روش‌های متداول بری بهینه کـردن یـک هـدف بـا توجه به محدودیت‌های مختلف، مدل‌سازی ریاضی نمودن و مشخص کردن هدف و محـدودیت‌هـا بـا روابط ریاضی است.

۳-۲ تشریح مدل

۳-۳ پارامترهای مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی

بر این اساس پارامترهایی را که برای این مدل تعریف می‌شود، به‌صورت زیر می‌توان خلاصه نمود:

i: مجموعه محصولات

R: مجموعه منابع انرژی

h_1: هزینه کمبود محصول i

h2: هزینه نگهداری محصول i

t: بیانگر واحد زمانی است که در این مدل به‌صورت ماهانه تعریف می‌گردد و از مقدار ۱ تـا ۱۲ متغیـر است.

T: افق زمانی موردنظر است (یک‌ساله) که در این مدل برابر با ۱۲ در نظـر گرفتـه‌شـده اسـت کـه در

حقیقت بیانگر ۱۲ ماه موجود در یک سال است.

$D_{i,tt}$: تقاضای محصول i در هر دوره

$C_{i,t}$: هزینه کمبود یک واحد محصول i در دوره t

$Inideal_{ijt}$: ظرفیت ایدئال انبارهای میانی

CFE_{rt}: هزینه ثابت استفاده از منبع r

CVE_r: هزینه متغیر استفاده از منبع r (هزینه هر واحد منبع r جهت تولید محصولات)

$In\ max_j$: حداکثر موجودی مجاز برای انبارهای میانی

$Rate\ E_{i,r}$: نرخ انرژی برای هر واحد محصول برای هر دوره

$Avail\ E_{r,t}$: میزان انرژی قابل‌دسترس برای هر منبع و هر دوره زمانی

rn_{ij}: میزان مصرف منبع j به ازای تولید هر واحد محصول i

cap_{jt} ظرفیت در دسترس ماشین j در دوره t

$y_{i,j,t}$: متغیر باینری نشان‌دهنده تولید محصول i ام بروی ایستگاه j ام در زمان t تحت سناریوی s

$y_{i,j',t+1}$: متغیر باینری نشان‌دهنده توالی محصول i ام برای رفتن از ایستگاه j ام به ایستگاه 'j در دوره مابعد از t تحت سناریوی s

$Cost_{j,j'}$: هزینه راه‌اندازی رفتن از ایستگاه j به 'j تحت سناریوی s

$Cost_j$: هزینه راه‌اندازی ایستگاه j تحت سناریوی s

ps : احتمال وقوع سناریو s

۳-۴ متغیرهای مدل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی

درواقع متغیرهای تصمیم نشان‌دهنده میزان فعالیتی است که باید انجام شود؛ و مقادیر نهایی که برای متغیرهای تصمیم به دست می‌آید یک تصمیم را برای مدیران بیان می‌کند. متغیرهای تصمیم این مدل به شرح زیر بیان می‌شوند:

$x_{i,J,tt}$ مقدار تولیدشده از محصول i بروی ماشین J در هر دوره

$In_{i,j,t}$: ظرفیت موجودی محصولi پشت ماشین (ایستگاه) j در دوره t

$E_{t,r}$ مقدار استفاده‌شده از منبع r در تولید یک واحد در دوره t

z_1^s: متغیر قرین استوار تحت تأثیر عدم قطعیت ظرفیت تولید و انرژی

۳-۴ تشریح مدل ریاضی

پس از بیان پارامترها و متغیرهای تصمیم تشخیص داده‌شده پژوهش، نوبت به معرفی توابع هدف و محدودیت‌های مدل می‌رسد. توابع هدف تحقیق شامل حداقل کردن هزینه‌های فروش ازدست‌رفته، کمبود و نگهداری، هزینه انرژی هستند. در این رابطه، هر یک از اهداف به‌صورت زیر شرح داده‌شده و مدل می‌شوند:

$$\text{Min } Z_1 = \sum_i^I \sum_{tt}^T max\ (\ 0\ ,\ \sum_{tt}^T D_{i,tt-} \sum_{tt}^T x_{i,J,tt})\ \ * C_{i,t} \quad (۱)$$

$$\text{Min } Z_2 = \ h_1 * \sum_i^I \sum_j^J (\ \max\ (\ 0\ (\text{In ideal}_{ijt} - \text{In}_{i,j,t})\ +\ h_2 * \sum_i^I \sum_j^J (\ \max\ (\ 0\ ,\ (\text{In}_{i,j,t} - \text{In ieal}_{i,j,t}) \quad (۲)$$

$$\text{Min } Z_3 = \sum_r^R \sum_t^T E_{r,t} * \text{CVE}_{r,t} + \sum_r^R \sum_t^T \text{ZE}_{r,t} * \text{CFE}_{r,t} \quad (۳)$$

$$\text{Min } Z_4 = \sum_{j,j'} y_{i,j,t} * y_{i,j',t+1} + \text{cost } 1_{j,j'} + \sum \max\ (y_{i,j',t+1}\ -\ y_{i,j,t,0})\ \text{cost j} \quad (۴)$$

$(j \neq j')$ و j,j'

$$\text{Min } Z_{s1} = \sum_{s\in\Omega} p_s \, z_{1s} + \lambda \sum_{s\in\Omega} p_s \left(z_{1s} - \sum_{s\in\Omega} p_s \, z_{1s}\right)^2 \quad (۵)$$

$$\text{Min } Z_{s3} = \sum_{s\in\Omega} p_s \, z_{3s} + \lambda \sum_{s\in\Omega} p_s \left(z_{3s} - \sum_{s\in\Omega} p_s \, z_{3s}\right)^2 \quad (۶)$$

s.t.

$$x_{i,j,tt} \geq 0 \quad (۷)$$

$$In_{i,j,t} \geq 0 \quad (۸)$$

$$\sum_i^I In_{i,j,t} \leq In\ max_j \quad \text{for } j = 1,2,\ldots,J;\ t = 1,\ldots,12 \quad (۹)$$

$$In_{i,j,t} = In_{i,j,t-1} + x_{i,j-1,t} - x_{i,j,t} \quad \forall i,j,t \quad (۱۰)$$

$$\sum_r^R \sum_t^T E_{r,t} = x_{i,j,t} * Rate\ E_{i,j,r} \quad \forall i,j,t \quad (۱۱)$$

$$\sum_i^j \sum_j^J E_{t,r} \leq Avail\ E_{r,t} * ZE_{r,t} \quad \forall r,t \quad (۱۲)$$

$$\sum_i^I x_{i,j,t} * rn_{ij} \leq cap_{j,t} \quad \forall j,t \quad (۱۳)$$

$$E_{i,j,r,t} \geq 0 \quad (۱۴)$$

$$ZE_{r,t} \geq 0 \quad (۱۵)$$

$$\sum_{tt}^T x_{i,j,t,s} * r_{ij} + z_{jts} = cap_{jt} \quad (۱۶)$$

$$y_{i,tt,s} \geq \sum D_{i,tt} - \sum x_{i,J,tt,s} + z_{1,I,j} \quad \forall\ i,J,s \quad (۱۷)$$

$$y_{i,tt,s} = \sum_{tt}^T D_{i,tt} - \sum x_{i,J,tt,s} + z_{1,i,j} \quad \forall\ i,J,s \quad (۱۸)$$

در این مدل‌سازی هدف، برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی تولید پایدار با توجه به در نظر گرفتن هزینه انرژی وابسته به زمان و هزینه راه‌اندازی توالی عملیات و همچنین تخمین احتمالاتی در تقاضا و هزینه انرژی در یک بازه زمانی مشخص T (یک‌ساله) و t (ماهانه) صورت می‌پذیرد. در این بازه زمانی تعیین می‌گردد که تولید با چه مقداری و در چه زمانی پاسخگوی سفارش مشتریان بوده و به لحاظ هزینه‌ای

کمترین هزینه فروش ازدست‌رفته،هزینه کمبود، هزینه نگهداری و هزینه انرژی را دارد.در این مدل‌سازی پنج عملیات یا فرایند اصلی شامل: ۱(کوره قوس الکتریکی، ۲) کوره پاتیلی به همراه VD و VOD، ۳(ریخته‌گری، ۴) نورد سنگین و ۵(نورد سبک در نظر گرفته‌شده است.و با توجه به اینکه هزینه فروش ازدست‌رفته بسیار حائز اهمیت می‌باشد ابتدا به حداقل نمودن این هزینه پرداختیم، به‌طوری‌که تابع هدف شماره (۱) گویای این هزینه می‌باشد. که به معنای پاسخگویی به تقاضای جمعی می‌باشد؛ که اگر به تقاضا در هر دوره که در این تحقیق ماهانه در نظر گرفته شد نتوان پاسخ داد دچار هزینه فروش ازدست‌رفته خواهیم شد. با توجه به اینکه در این تحقیق صنعت فولاد به‌عنوان نمونه موردی انتخاب گشت اهمیت قائل شدن برای در نظر گرفتن هزینه کمبود و نگهداری را چندین برابر نمود، همه صنایع به دنبال تولید معقول هستند که علاوه بر اینکه به تقاضا بتوانند پاسخ دهند و دچار هزینه فروش ازدست‌رفته نشوند. از طرفی نیز به دنبال این موضوع نیز هستند که از تولید بیشتر از تقاضا جلوگیری نمایند تا دچار هزینه نگهداری نگردند؛ و اهمیت این موضوع ما را بر آن نمود که به‌عنوان دومین تابع هدف در این پژوهش تابع هدف، حداقل کردن هزینه کمبود و هزینه نگهداری را مطرح نماییم. تابع هدف شماره (۲) به آن معناست که اگر در انبار میانی بیشتر از ظرفیت انبار ایدئال محصول داشته باشیم با هزینه نگهداری جریمه می‌شود؛ ولی اگر انبار میانی کمتر از انبار ایدئال محصول داشته باشد، با هزینه کمبود جریمه می‌شود.

در سال‌های اخیر به دلایل کمبود منابع انرژی و خسارت‌های زیست‌محیطی و آشکار شدن مضرات ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی و تأثیرات منفی آن‌ها بر روی چرخه‌های اکولوژی باعث اهمیت قائل شدن برای استفاده درست از منابع انرژی گشته است. به‌طوری‌که امروزه متمرکز شدن بروی مسائل اقتصادی و کاهش هزینه نسبت به آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی در اولویت دوم قرارمی گیرد. لذا باید به دنبال کاهش میزان آلاینده‌های تولید به‌وسیله صنایع و مصرف انرژی باشیم.

صنایع تولید فولاد از صنایع هستند که با حجم عظیمی از مواد مصرفی و انرژی سروکار دارند. ازاین‌رو بر آن شدیم که تابعی هدفی شماره (۳) برای مینیمم سازی هزینه انرژی در نظرگیریم. تابع شماره (۴) مرتبط با در نظر گرفتن هزینه راه‌اندازی وابسته به‌توالی عملیات بوده است و تابع‌های هدف شماره (۵) و (۶) مربوط به در نظر گرفتن احتمالات و عدم اطمینان از میزان تقاضا و هزینه انرژی نسبت به مدل قطعی که تغییر کرده‌اند آمده است.

محدودیت‌های (۷) و (۸) و (۱۴) و (۱۵) نشان می‌دهد که متغیرهای تصمیم $x_{i,J,tt}$ که بیانگر مقدار تولیدشده از محصول i بروی ماشین J در دوره‌های مختلف است و $In_{i,j,t}$ که بیانگر ظرفیت موجودی محصول i پشت ماشین (ایستگاه) j در دوره t است و $E_{t,r}$ که بیانگر مقدار استفاده‌شده از منبع r در تولید یک واحد در دوره t است و ZE_{rt} که بیانگر یک متغیر باینری است، مقدار بزرگ‌تر مساوی صفر را می‌توانند بگیرند.

محدودیت (۹) مربوط به ظرفیت انبارهای میانی است؛ که بیانگر این است که مجموع موجودی انبارشده از مراحل مختلف تولید از حداکثر ظرفیت انبار نباید بیشتر گردد. محدودیت (۱۰) بیانگر محدودیت تعادلی بین هرکدام از مراحل تولیدی است. بدین معنا که در هر مرحله به‌غیراز مرحله نهایی در انتهای هر دوره، میزان موجودی برابر است با میزان موجودی در انتهای دوره (دوره قبلی) به‌اضافه مجموع تولیدات انجام‌شده در این مرحله، شامل تولیدات مربوط به سفارش‌ها و تولیدات مازاد منهای مجموع تولیداتی که قرار است در مرحله بعد انجام گردد. محدودیت (۱۱) بیانگر این است که برای هر واحد محصول نیاز به انرژی‌داریم، $x_{i,j,t,r} * Rate\ E_{i,j}$ مقدار انرژی موردنیاز از x واحد محصول i روی ماشین j در دوره t از منبع r(است. بدین معنا که مجموع انرژی مورداستفاده از منابع مختلف باید برابر باشد با انرژی موردنیاز کل برای آن محصول. محدودیت (۱۲) مجموع کل انرژی مورداستفاده از منبع r برای تولید محصولات مختلف باید کمتر از مقدار موجود از آن منبع باشد. محدودیت (۱۳) ظرفیت ماشین در هر دوره به مدل اعمال می‌کند. (میزان مصرف منبع انرژی به ازای

تولید هر واحد محصول i باید از ظرفیت در دسترس ماشین کمتر باشد. محدودیت‌های (۱۶) الی (۱۸) محدودیت عدم قطعیت ظرفیت در دسترس ماشین‌ها را در هر دوره زمانی نشان می‌دهد.

۳-۵ خطی نمودن تابع‌های هدف

خطی‌سازی عبارات غیرخطی در مجموعه با توجه به تکنیک‌های ارائه‌شده در جدول ذیل انجام خواهد شد.

جدول ۳-۱: تکنیک‌های خطی‌سازی روابط غیرخطی در مدل پیشنهادی

روش خطی‌سازی	عبارت غیرخطی	
$z\geq x,\ z\geq y$	$Z=\max(x,y)$	عبارت حداکثر مقدار
$z\leq y,\ z\leq x$ $z\geq x+y-1$	$Z=x.y$	عبارت ضرب دو متغیر باینری

۳-۶ روش حل مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی در بخش ۴.۳ پس از خطی‌سازی عبارت‌های غیرخطی، تبدیل به یک مدل از نوع برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط خواهد شد. با توجه به طبقه مدل و همچنین ابعاد مسائل نمونه تحت بررسی، حل کد با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز انجام خواهد شد. گمز درواقع نرم‌افزاری است بسیار کاربردی که برای حل مسائل بهینه‌سازی اعم از خطی، غیرخطی و مسائل برنامه‌ریزی صحیح طراحی‌شده است و بسیار قدرتمند می‌باشد. این نرم‌افزار قابلیت استفاده در کامپیوترهای شخصی، کارگاه‌ها و ابرکامپیوترها را دارد و به کاربر امکان تمرکز بر روی مسائل مدل بندی و تصمیم را می‌دهد. در حالت خاص، این نرم‌افزار برای حل مسائل با بعد بالا و یا مختلط بسیار کاراست. کاربر این نرم‌افزار سودمند می‌تواند به‌سرعت و به‌راحتی فرمول‌بندی مسئله‌ی تحت بحث و یا نوع روش حل را تغییر دهد. همچنین او می‌تواند یک مسئله‌ی خطی را به غیرخطی تبدیل کند.

با استفاده از گمز داده‌ها تنها یک‌بار به شکل یک جدول یا لیست ذخیره می‌شوند. مدل‌ها بـا جمـلات مختصر جبری که خواندن آن‌ها هم برای کاربر و هم برای کامپیوتر ساده باشد، توصیف می‌شوند. گمز به‌طور خودکار معادلات قیود را تولید می‌کند و حتی به کاربر اجازه می‌دهد که در صورت نیـاز، بـرای این قیود استثنا قائل شود. در صورت وجود خطا، محل و نوع آن خطا مشخص می‌شـود. گمـز بسـیار قدرتمند و انعطاف‌پذیر می‌باشد. مدل‌های نوشته‌شده را می‌توان بدون هیچ مشکلی از یک کامپیوتر به کامپیوتر دیگر منتقل و اجرا کرد. گمز تحلیل حساسیت را ساده‌تر می‌کند و کاربر می‌تواند مدل‌هـایی طراحی کند که با هر تغییری درداده‌ها سازگار باشد و به ازای هر تغییـر، خروجـی را در یـک لیسـت نمایش دهد.

فصل چهارم:

تجزیه و تحلیل اطلاعات

۴-۱ مقدمه

پس‌ازاینکه پژوهشگر روش تحقیق خود را مشخص کرد و با استفاده از ابزارهای مناسب، داده‌های موردنیاز خود را برآورد نمود، نوبت آن است که با بهره‌گیری از تکنیک‌های ریاضی و تحقیق در عملیاتی مناسبی که با روش تحقیق، نوع متغیرها و غیره سازگاری دارد، داده‌های جمع‌آوری‌شده را دسته‌بندی و تجزیه‌وتحلیل نماید و درنهایت به نتیجه مطلوبی که تا این مرحله او را در تحقیق هدایت کرده‌اند، برسد و سرانجام بتواند پاسخی برای پرسش تحقیق بیابد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها فرایندی چندمرحله‌ای است که طی آن داده‌هایی که به طرق مختلف جمع‌آوری‌شده‌اند؛ خلاصه، دسته‌بندی و درنهایت پردازش می‌شوند تا زمینه برقراری انواع تحلیل‌ها و ارتباط بین داده‌ها به‌منظور آزمون فرضیه‌ها فراهم آید. در این فرایند داده‌ها هم ازلحاظ مفهومی و هم از جنبه تجربی پالایش می‌شوند و تکنیک‌های گوناگون آماری نقش بسزایی در استنتاج‌ها و تعمیم به عهده‌دارند (خاکی، ۱۳۹۱).

در این بخش ابتدا مسائل نمونه تولیدشده در این مطالعه مبتنی بر شرایط حاکم بر فضای تصمیم‌گیری نمونه موردی و مسائل نمونه ارائه‌شده در ادبیات موضوع، معرفی‌شده است. سپس، اعتبارسنجی مدل توسعه داده‌شده ارائه‌شده است. درنهایت، نتایج حل مدل و تحلیل حساسیت آن ارائه‌شده است.

۴-۲ معرفی مسائل نمونه

طرح تولید مسائل نمونه در این مطالعه مبتنی بر الگوی مقادیر پارامترها در دنیای واقعی و مسائل نمونه توسعه داده‌شده در ادبیات موضوع شامل مسائل نمونه ارائه‌شده توسط نخعی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) است. مقادیر برخی از پارامترهای کلیدی مدل ریاضی پیشنهادشده در بخش ۲.۳ در جداول ۴-۱ الی ۴-۹ ارائه‌شده است.

جدول ۴-۱: مجموع تقاضا برای محصولات مختلف در ماه‌های مختلف

	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
D1	۱۷۹۴۴۰	۱۷۹۳۸۰	۷۹۰۸۰	۵۷۰۰۵۰	۷۸۹۶۰	۲۷۹۲۳۰	۷۸۹۶۰	۷۸۶۵۲	۴۵۸۶۲	۷۸۴۵۹	۲۰۰۵۵۶	۲۹۶۰۰۰
D2	۴۵۲۱	۶۹۳۲	۷۸۵۴	۹۶۵۲	۳۲۱۴	۵۶۲۴	۱۲۵۴	۶۳۲۵	۷۸۹۶	۶۵۸۹	۴۵۲۳	۷۸۵۶۹
D3	۸۰۰۰۰۰	۶۵۴۱۲۳	۵۴۱۲۳۶۹	۶۵۴۷۸۹	۶۵۴۱۲۹	۳۶۹۸۵۲	۱۴۷۸۵۲	۹۸۵۶۳۲	۸۷۴۵۲۱	۶۵۸۹۳۲	۸۷۴۲۳۱	۹۶۳۷۴۱
D4	۱۰۰۲۳	۱۰۰۶۵	۱۰۰۵۶	۲۰۰۵۸	۲۰۰۶۳	۲۰۰۱۴	۳۰۰۶۵	۳۰۰۴۵	۳۰۰۱۲	۲۰۰۶۳	۱۰۰۴۵	۱۰۰۸۷
D5	۷۰۰۰۰	۸۰۵۶۰	۹۰۰۰۵	۷۵۶۳۱	۹۶۳۲۱	۹۳۲۵۱	۷۸۵۶۲	۹۶۳۲۱	۷۵۶۳۲۱	۸۰۵۲۱	۸۵۳۲۱	۷۵۶۳۲۱
D6	۷۰۰۵۶۲	۸۴۲۳۱۰	۹۰۰۱۲۳	۷۰۰۳۶۵	۸۰۰۱۴۵	۹۰۰۵۶۳	۷۰۰۶۵۲	۸۰۰۶۳۲۱	۷۰۰۶۳۲۱	۸۴۰۰۰۰	۸۷۵۶۳۲	۷۰۰۳۲۱
D7	۲۰۰۶۳۲	۳۰۰۱۲۵	۴۰۰۵۶۳	۲۰۰۹۸۵	۴۰۰۹۶۳	۴۰۰۹۶۵	۳۰۰۳۲۱	۴۰۰۵۶۳	۳۰۰۶۵۴	۴۵۶۳۲۱	۳۰۰۱۲۵	۳۲۱۴۵۰

ادامه جدول ۴-۱: مجموع تقاضا برای محصولات مختلف در ماه‌های مختلف

D8	۲۰۶۳۱	۲۰۳۶۵	۳۰۴۵۶	۴۰۶۳۵	۵۰۳۶۹	۶۰۱۲۳	۷۰۳۶۹	۶۰۵۴۱	۶۰۱۲۳	۵۰۷۸۴	۷۰۹۶۵	۷۰۶۹۳
D9	۱۵۰۳۲۱	۱۶۰۳۲۱	۲۰۰۶۳۹	۲۰۰۵۴۱	۲۹۰۳۲۱	۲۵۸۴۱۲	۳۶۵۲۱۰	۱۵۰۳۲۱	۲۰۰۹۸۵	۲۵۰۳۶۲	۱۹۰۲۵۴	۲۹۰۳۲۱
D10	۵۰۲۱ ۳	۸۰۶۵۴	۹۰۱۲ ۳	۱۵۰۶۳ ۲	۱۸۰۳ ۲۱	۱۴۳۰ ۱۲	۱۹۰۶۵ ۱	۱۰۰۵ ۸۹	۱۶۰۸۷ ۴	۱۹۶۳۲ ۰	۱۳۰۲ ۱۴	۱۴۵۶۲ ۱

جدول ۴-۲: توزیع در سه سطح برای تقاضای محصولات مختلف

D1	۱۰۰۰۰۰-۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰-۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰-۷۰۰۰۰۰
D2	۴۰۰۰-۹۰۰۰	۹۰۰۰-۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰-۱۹۰۰۰
D3	۸۰۰۰۰۰-۸۵۰۰۰۰	۸۵۰۰۰۰-۹۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰-۹۵۰۰۰۰
D4	۱۰۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰-۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰-۴۰۰۰۰۰
D5	۷۰۰۰۰-۸۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰-۹۰۰۰۰	۹۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰
D6	۷۰۰۰۰۰-۸۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰-۹۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰۰
D7	۲۰۰۰۰۰-۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰-۴۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰-۵۰۰۰۰۰
D8	۲۰۰۰۰-۴۰۰۰۰	۴۰۰۰۰-۶۰۰۰۰	۶۰۰۰۰-۸۰۰۰۰
D9	۱۵۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰-۲۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰-۳۰۰۰۰۰
D10	۵۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰-۱۵۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰

جدول ۴-۳: ظرفیت ایستگاه‌های کاری در ماه‌های مختلف

	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
J1	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
J2	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰
J3	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰۰
J4	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰۰
J5	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰

جدول ۴-۴: میزان انرژی مصرفی برای محصولات مختلف

	J1	J2	J3	J4	J5
i1	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
i2	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
i3	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
i4	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
i5	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
i6	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
i7	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
i8	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
i9	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰
i10	۱۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰

جدول ۴-۵: نرخ انرژی مصرفی برای محصولات مختلف

	J1	J2	J3	J4	J5
i1	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۲۰۰۰
i2	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۲۰۰۰
i3	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۲۰۰۰
i4	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۲۰۰۰
i5	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۲۰۰۰
i6	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۲۰۰۰
i7	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۲۰۰۰
i8	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۲۰۰۰
i9	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۲۰۰۰
i10	۱۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۵۰۰۰	۱۲۰۰۰

جدول ۴-۶: هزینه متغیر انرژی در ماه‌های مختلف

	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
rn1	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۱	۱۰۱	۱۰۲	۱۰۲	۱۰۳	۱۰۳	۱۰۴	۱۰۴	۱۰۵	۱۰۵
rn2	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۱	۲۰۱	۲۰۲	۲۰۲	۲۰۳	۲۰۳	۲۰۴	۲۰۴	۲۰۵	۲۰۵
rn3	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۱	۳۰۱	۳۰۲	۳۰۲	۳۰۳	۳۰۳	۳۰۴	۳۰۴	۳۰۵	۳۰۵
rn4	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۱	۴۰۱	۴۰۲	۴۰۲	۴۰۳	۴۰۳	۴۰۴	۴۰۴	۴۰۵	۴۰۵

جدول ۴-۷: هزینه ثابت انرژی در ماه‌های مختلف

	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
rn1	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۱۰	۱۰۱۰	۱۰۲۰	۱۰۲۰	۱۰۳۰	۱۰۳۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰
rn2	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۱۰	۲۰۱۰	۲۰۲۰	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰	۲۰۴۰	۲۰۵۰	۲۰۵۰
rn3	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۱۰	۳۰۱۰	۳۰۲۰	۳۰۲۰	۳۰۳۰	۳۰۳۰	۳۰۴۰	۳۰۴۰	۳۰۵۰	۳۰۵۰
rn4	۴۰۰۰	۴۰۰۰	۴۰۱۰	۴۰۱۰	۴۰۲۰	۴۰۲۰	۴۰۳۰	۴۰۳۰	۴۰۴۰	۴۰۴۰	۴۰۵۰	۴۰۵۰

جدول ۴-۸: انرژی در دسترس

	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
rn1	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۱۰۰۰۰	۱۰۱۰۰۰۰	۱۰۲۰۰۰۰	۱۰۲۰۰۰۰	۱۰۳۰۰۰۰	۱۰۳۰۰۰۰	۱۰۴۰۰۰۰	۱۰۴۰۰۰۰	۱۰۵۰۰۰۰	۱۰۵۰۰۰۰
rn2	۲۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰	۲۰۱۰۰۰۰	۲۰۱۰۰۰۰	۲۰۲۰۰۰۰	۲۰۲۰۰۰۰	۲۰۳۰۰۰۰	۲۰۳۰۰۰۰	۲۰۴۰۰۰۰	۲۰۴۰۰۰۰	۲۰۵۰۰۰۰	۲۰۵۰۰۰۰
rn3	۳۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰	۳۰۱۰۰۰۰	۳۰۱۰۰۰۰	۳۰۲۰۰۰۰	۳۰۲۰۰۰۰	۳۰۳۰۰۰۰	۳۰۳۰۰۰۰	۳۰۴۰۰۰۰	۳۰۴۰۰۰۰	۳۰۵۰۰۰۰	۳۰۵۰۰۰۰
rn4	۴۰۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰	۴۰۱۰۰۰۰	۴۰۱۰۰۰۰	۴۰۲۰۰۰۰	۴۰۲۰۰۰	۴۰۳۰۰۰۰	۴۰۳۰۰۰۰	۴۰۴۰۰۰۰	۴۰۴۰۰۰۰	۴۰۵۰۰۰۰	۴۰۵۰۰۰۰

جدول ۴-۹: ظرفیت انبار ایدئال I max

	I max
J1	۱۰۰۰۰۰۰۰
J2	۹۰۰۰۰۰۰
J3	۸۰۰۰۰۰۰
J4	۷۰۰۰۰۰۰
J5	۶۰۰۰۰۰۰

مقادیر پارامترهای هزینه کمبود به ازای هر واحد محصول، هزینه نگهداری به ازای هر واحد محصول و هزینه فروش از دست رفته به ازای هر واحد محصول نیز به ترتیب برابر با ۷۵۰۰۰۰، ۵۰۰۰۰ و ۷۵۰۰۰۰ برآورد شده است.

۴-۳ اعتبارسنجی نتایج حل مدل پیشنهادی

در این مطالعه، یک مدل ریاضی مبتنی بر مفروضات و الزامات حاکم بر فضای تصمیم‌گیری در صنعت فولاد جهت برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تولید ارائه‌شده است. شناخت مفروضات و الزامات یادشده مبتنی بر مشاهده مستقیم، مصاحبه با خبرگان و یافته‌های انتشار داده‌شده در ادبیات موضوع بوده است. جامعه خبرگان نیز عبارت است از مجموعه افراد حاضر در واحد برنامه‌ریزی تولید شرکت ذوب آهن اصفهان که تعداد آن‌ها برابر است با دو نفر. کلیات مدل توسعه‌یافته شامل معیارهای ارزیابی، پارامترها، متغیرهای تصمیم‌گیری و محدودیت‌ها به تایید جامعه خبرگان رسیده است. از سوی دیگر، نتایج حل مدل به تایید خبرگان رسیده است و نتیجه

ارزیابی حاکی از اعتبار مناسب نتایج است. برای این منظور، یک مسئله نمونه مبتنی بر اطلاعات واقعی دریافت‌شده از نمونه موردی توسط مدل پیشنهادی حل شده است. نتایج حل مدل با نتایج حل ابتکاری ارائه‌شده توسط خبرگان برنامه‌ریزی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حل حاکی از بهبود درصدی در معیار هزینه‌های تولید است که نشان از کارایی مدل پیشنهادی است.

جدول ۴-۱۰: اعتبارسنجی نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی

هزینه تولید		
نتیجه حاصل از حل مدل (C1)	نتیجه حاصل از پیاده‌سازی جواب ابتکاری خبرگان (C2)	درصد بهبود $(\frac{C1-C2}{c2})$
۶.۱۶۶۴۲E+۱۳	۴۸۵۷۵۱۱۲۰۰۰۰۰۰	۱.۱۶
۷.۱۳۵۲۷E+ ۱۲	۷۱۳۵۲۷۰۰۰۰۰۰۰	۰.۶۹
۳.۸۰۲۶۹۷E+ ۹	۱۱۲۶۹۸۲۱۹۰۱۸۰۰	۳۲.۷

۴-۴ نتایج حل و تحلیل حساسیت

در این بخش نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی ارائه‌شده است.

در جدول ۴-۱۱، رفتار مدل پیشنهادی در راستای پاسخ‌گویی به تقاضای مشتریان ارزیابی شده است. برای این منظور، میزان فروش از دست رفته و در پی آن هزینه فروش از دست رفته در برابر افزایش در میزان تقاضای مشتریان نمایش داده‌شده است. نتایج حل مدل حاکی از کارایی آن در پاسخ‌گویی مناسب به تقاضای مشتریان است. بدین نحو که همراه با افزایش در تقاضای مشتریان، شاهد رشد در هزینه‌های فروش از دسته با نرخ کمتر هستیم.

جدول ۴-۱۱: ارزیابی رفتار رشد در هزینه‌های فروش از دست‌رفته در برابر تغییر در میزان تقاضا

ضریب رشد تقاضا	هزینه فروش از دست رفته	درصد تغییر در هزینه
۱	۲/۷۳۱۰۰E +۱۴	۰
۱/۱	۳/۰۰۴۹۱E +۱۴	۱/۰۰۵
۱/۲۵	۳/۴۱۵۷۹E +۱۴	۱/۱۳۶۷
۱/۵۰	۴/۱۰۰۵۸E +۱۴	۱/۲۰۰۴

جدول ۴-۱۲: میزان ظرفیت ایدئال انبار ((I ideal(I,j,t)

شماره محصول	شماره ماشین	ماه ها											
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۵	۲	۲۸۶/۲۱۴	۲۸۶/۲۱۴	۲۸۶/۲۱۴	۲۸۶/۲۱۴	۲۸۶/۲۱۴	۲۸۶/۲۱۴	۲۸۶/۲۱۴	۰	۰	۰	۰	۰
۵	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸۶/۲۱۴	۲۸۶/۲۱۴	۲۸۶/۲۱۴	۲۸۶/۲۱۴	۲۸۶/۲۱۴
۶	۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۰	۰
۶	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۵۰	۹۰۰	۹۰۰	۹۰۰
۶	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۵۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰
۶	۴	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۵۲۰	۰	۰	۰
۶	۵									۵۲۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰	۱۰۴۰
۷	۱	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷	۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۸	۱	۲۸۶/۵۴۹۹۴	۲۸۶/۴۵۹۹۴	۳۶۹۸۰	۷۱۴/۲۷۹۶۵	۷۱۴/۲۶۹۴۵	۷۱۴/۲۶۹۴۵	۸۵۷/۱۷۰۰۲	۷۹۶۰	۰	۰	۰	۰

ادامه جدول ۴-۱۲: میزان ظرفیت ایدئال انبار (I ideal(I,j,t))

شماره محصول	شماره ماشین	ماه ها											
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۸	۲	۰	۹۰۰۰	۲۸۶/۱۸۰۱۴	۵۷۱/۲۷۰۲۸	۵۷۱/۲۸۰۴۸	۵۷۱/۲۸۰۴۸	۴۲۹/۳۷۹۹۱	۲۸۶/۴۷۰۳۴	۲۸۶/۵۹۹۹۴	۹۵۲/۴۸۳۶۰	۲۸۶/۴۱۶۴۴	۲۸۶/۴۱۶۴۴
۸	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۳۳/۶۶۳۳۳	۱۳۳۵۰	۱۳۳۵۰
۸	۴	۴۰۲۰	۴۰۲۰	۴۰۲۰	۴۰۲۰	۴۰۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۸	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۴۰۲۰	۴۰۲۰	۴۰۲۰	۴۰۲۰	۴۰۲۰	۴۰۲۰	۴۰۲۰
۱۰	۱	۴۱۰۰	۳۱۰۰	۲۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۰
۱۰	۲	۰	۱۰۰۰	۵۷۱/۱۹۲۸	۱۴۳/۲۸۵۷	۱۴۳/۲۸۵۷	۱۴۳/۲۸۵۷	۸۵۷/۲۷۴۲	۸۵۷/۲۷۴۲	۸۵۷/۲۷۴۲	۸۵۷/۲۷۴۲	۸۵۷/۳۱۹۲	۸۵۷/۲۶۴۲
۱۰	۳	۰	۰	۴۲۹/۷۱	۸۵۷/۱۴۲	۸۵۷/۱۴۲	۸۵۷/۱۴۲	۱۴۳/۳۵۷	۱۴۳/۳۵۷	۱۴۳/۳۵۷	۱۴۳/۳۵۷	۱۴۳/۹۰۷	۱۴۳/۶۵۷
۱۰	۴	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰	۵۲۰		۲۸۰
۱۰	۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۲۰	۱۰۴۰

با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از جدول مربوط به متغیر میزان ظرفیت انبار میانی از محصولات مختلف بروی ماشین‌آلات مختلف در دوره‌های زمانی متفاوت (ماهانه) مشخص می‌گردد که به‌عنوان نمونه ظرفیت انبار میانی برای محصول شماره ۵ بروی ماشین شماره ۲ در ۷ ماه ابتدای سال برابر با ۲۸۶.۲۱۴ تن می‌باشد. و در ۵ ماه آخر سال ظرفیتی برای این محصول بروی این ماشین یا ایستگاه کاری وجود ندارد.

جدول ۴-۱۳: میزان انرژی مصرفی ($E(r,t)$)

شماره منبع	ماه‌ها											
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱	۱۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۱۰۰۰۰۰	۱۰۱۰۰۰۰۰	۱۰۲۰۰۰۰	۶۰۳۰۰۰۰	۱۰۳۰۰۰۰۰	۱۰۳۰۰۰۰۰	۱۰۴۰۰۰۰۰	۱۰۴۰۰۰۰۰	۱۰۵۰۰۰۰۰	۳۴۴۰۰۰۰
۲	۲۰۰۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰۰	۲۰۱۰۰۰۰۰	۲۰۱۰۰۰۰۰	۲۰۴۰۰۰۰	۱۰۰۵۰۰۰۰	۲۰۳۰۰۰۰۰	۲۰۳۰۰۰۰۰	۱۹۷۷۰۰۰۰	۱۰۴۸۳۳۳۰	۱۰۵۶۶۶۷۰	۲۸۱۰۰۰۰
۳	۱۵۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰۰	۱۵۱۶۴۲۹۰	۱۵۱۶۴۲۹۰	۱۵۳۰۰۰۰	۴۸۲۴۰۰۰	۱۵۴۹۲۸۶۰	۱۵۴۹۲۸۶۰	۱۵۱۶۴۰۰۰	۱۶۴۹۰۶۷۰	۱۶۶۵۷۳۳۰	۲۵۲۴۰۰۰
۴	۲۵۰۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰۰۰	۲۵۱۴۲۸۶۰	۲۵۱۴۲۸۶۰	۲۵۵۰۰۰۰	۴۰۲۰۰۰۰	۲۵۴۲۸۵۷۰	۲۵۴۲۸۵۷۰	۲۳۷۴۵۰۰۰	۱۳۷۹۵۰۰۰	۱۳۹۲۰۰۰۰	۲۹۴۵۰۰۰

با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از جدول مربوط به متغیر میزان انرژی مصرفی از منابع مختلف در دوره‌های زمانی متفاوت (ماهانه) مشخص می‌گردد که به‌عنوان نمونه از منبع شماره ۱ در ماه اول و دوم ده میلیون کیلوژول استفاده گشته است. همچنین از مقادیر این متغیر می‌توان متوجه شد که در سه‌ماهه اول سال میزان مصرف انرژی بیش از دیگر ماه‌های سال بوده است.

جدول ۴-۱۴: میزان تولید محصولات در طی دوره‌های برنامه‌ریزی

شماره ماشین	شماره محصول	ماه‌ها											
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۲	۵	۰	۰	۰	۰	۲۱۴/۲۸۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۶	۰	۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	۶	۰	۰	۵۵۰	۵۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۶	۰	۰	۵۲۰	۵۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۷	۰	۰	۰	۰	۱۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۸	۰	۰	۰	۷۹۶۰	۹۰۴۲/۸۵۷	۹۹۴۲/۸۵۷	۰	۱۰۲۰	۹۰۱۴/۲۸۶	۹۰۱۴/۲۸۶	۹۰۰۰	۹۰۰۰
۲	۸	۰	۱۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۸	۰		۰	۰	۰	۰	۴۰۲۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱	۱۰	۰	۱۰۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
۲	۱۰	۰	۵۵۰	۰	۰	۰	۲۱۴/۲۸۶	۰	۰	۷۱/۴۲۹	۷۱/۴۲۹	۰	۰
۳	۱۰	۸۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۱۰	۵۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده از جدول مربوط به متغیر میزان تولید از محصولات مختلف بروی ماشین‌آلات مختلف در دوره‌های زمانی متفاوت (ماهانه) مشخص می‌گردد که به‌عنوان نمونه از محصول شماره ۵ در ۴ ماه ابتدای سال و ۷ ماه آخر سال بروی هیچ ایستگاهی تولید نباید گردد زیرا در صورت تولید تقاضایی برای فروش آن نبوده و منجر به انبار شدن و درنتیجه بالا رفتن هزینه‌های انبار و نگهداری می‌گردد.

جدول ۴-۱۵: مقادیر توابع هدف سه‌گانه و تابع هدف وزنی در برابر رشد تقاضا

ضریب رشد تقاضا	تابع هدف ۱	تابع هدف ۲	تابع هدف ۳	تابع هدف وزنی
۱	2.73746E+10	4.05371E+17	3.63206E+10	4.05371E+17
۱/۲۵	3.42225E+10	5.06754E+17	3.63206E+10	5.06754E+17
۱/۵۰	4.10704E+10	6.08137E+17	3.63206E+10	6.08137E+17

با توجه به نتایج جدول ۴-۱۵ می‌توان سهم عمده هزینه‌های عملیاتی شامل هزینه‌های ثابت و متغیر تولید و نگهداری را مشاهده نمود. جایگاه دوم هزینه‌ها در اختیار هزینه‌های تامین انرژی است که بار دیگر بر سهم عمده این هزینه‌ها در برنامه‌ریزی در صنعت فولاد تاکید دارد. در نهایت می‌توان سهم هزینه‌های فروش از دست رفته را مشاهده نمود که با توجه به برنامه‌ریزی تولید انجام‌شده این مقدار به کمتر از یک درصد رسیده است. این امر نیز به رویکرد مدل پیشنهادی و تاکید آن بر پاسخ‌گویی مناسب به تقاضای مشتریان تاکید دارد.

جدول ۴-۱۶: مقادیر توابع هدف سه‌گانه و تابع هدف وزنی در برابر تغییر در وزن توابع سه‌گانه

ضرایب وزنی	تابع هدف ۱	تابع هدف ۲	تابع هدف ۳	تابع هدف وزنی
(۰/۳۳، ۰/۳۳، ۰/۳۳)	6.16642E+13	7.13527E+12	3.802697E+9	6.88033E+13
(۰/۱۶۵، ۰/۱۶۵، ۰/۶۶)	6.16461E+13	7.13527E+12	2.95110E+10	1.30457E+14
(۰/۱۶۵، ۰/۶۶، ۰/۱۶۵)	6.16642E+13	7.13527E+12	3.802697E+9	7.59385E+13
(۰/۶۶، ۰/۱۶۵، ۰/۱۶۵)	6.29342E+13	7.13527E+12	2.802697E+9	

نتایج جدول ۴-۱۶ نیز حاکی از عدم تاثیرپذیری برنامه تولید و زمان‌بندی عملیات پیشنهادی از تغییر در هزینه‌های انرژی است که به نحوی استواری جواب پیشنهادی را در برابر سطح مشخصی از تغییرات محیط پیرامونی را به نمایش می‌گذارد. این دستاورد خود یکی دیگر از مزیت‌ها و توانمندی‌های مدل پیشنهادی را به نمایش می‌گذارد.

فصل پنجم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵–۱ مقدمه

در فصل‌های پیشین به بررسی مبانی نظری، متدلوژی تحقیق و برآورد و آزمون مدل با استفاده از نرم‌افزار گمز پرداختیم. در این فصل با توجه به اطلاعات تحلیل‌شدهٔ فصل‌های قبل به نتیجه‌گیری، تحلیل و مقایسه داده‌های برآورد شده و همچنین ارائه پیشنهاداتی برای محققین بعدی می‌پردازیم. در حقیقت این فصل به جمع‌بندی و ارائهٔ یک‌سری نتایج از مدل‌سازی ریاضی در زمینه برنامه‌ریزی تولید و زمان‌بندی تولید در صنعت فولاد می‌پردازد.

۵-۲ پیشنهادهای اجرایی

با توجه به مجموعه نتایج و دستاوردهای حاصل از انجام این مطالعه و تحلیل‌های ارائه‌شده در بخش چهارم در ارتباط با حل و تحلیل حساسیت پارامترهای کلیدی تاثیرگذا بر برنامه‌ریزی در صنعت فولاد، مجموعه پیشنهادات اجرایی ذیل به منظور ایجاد بهبود در فضای برنامه‌ریزی در صنعت مذکور پیشنهاد می‌شود:

- با توجه به سهم بسزای هزینه‌های مصرف انرژی در صنعت فولاد، نیاز به لحاظ نمودن نقش این هزینه‌ها در برنامه‌ریزی به شدت نیاز خواهد بود و این اقدام می‌تواند تأثیر مهمی بر ایجاد بهبود در مدیریت هزینه‌های تولید و زمان‌بندی فعالیت‌ها داشته باشد.
- با توجه به روند مشاهده‌شده در طی سال‌های اخیر مبنی بر افزایش توجه دولت‌ها و نهادهای نظارتی بر حفظ محیط زیست و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، برنامه‌ریزی جهت انتخاب منابع انرژی با توجه به دو مقوله هزینه و نرخ تولید گاز منواکسید کربن به صورت توام، می‌تواند تأثیر مهمی بر توسعه پایدار صنعت فولاد داشته باشد.
- نتایج بدست آمده در این تحقیق، قابلیت استفاده در صنایع مشابه و صنایعی که بر پایه سفارشات بنا نهاده شده اند،را نیز داراست.

۵-۳ فرصت‌های تحقیقات آتی

به‌منظور تکمیل و در ادامه روند این تحقیق مواردی به شرح ذیل به‌منظور اجرای پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌گردد:

- بررسی رویدادهای غیرقابل‌پیش‌بینی در برنامه‌ریزی تولید و یا در زمان‌بندی تولید
- برنامه‌ریزی منابع در کارگاه‌های فولادسازی و نورد در دستیابی به اهداف تعیین‌شده در صنعت فولاد

- برنامه‌ریزی انتخاب تأمین‌کنندگان با توجه به مشخصات منحصربه‌فرد این صنعت
- برنامه‌ریزی خرید و بررسی آن با برنامه‌ریزی موجودی صنعت فولاد
- زمان‌بندی کوره‌های گامی درنورد به‌گونه‌ای که محدودیت‌های کارگاه فولادسازی، انبار میانی و درنهایت واحد نورد را توأم باهم در نظر بگیرد.
- زمان‌بندی واحد عملیات حرارتی صنعت فولاد به‌عنوان واحدی که بعد از واحد نورد انجام فرایندهای سفارشی مدنظر مشتری را انجام دهد.
- ارائه مدلی جهت برنامه زمانی تعمیر و تعویض کوره‌های مورداستفاده در فولادسازی
- ارائه مدلی جهت تعیین دسته‌های تولیدی در مسئله فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته
- زمان‌بندی واحد ریخته‌گری منقطع در صنعت فولاد

منابع

۱- اشرفی نصرآبادی، م.(۱۳۸۵) " ارائه مدل پذیرش سفارش و برنامه‌ریزی هماهنگ تولید هفتگی در خطوط فولادسازی و نورد گرم "مجله **دانشکده صنایع و سیستم‌ها**، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- اشرفی نصرآبادی، م، هاشمی نژاد، س. بیجاری، م.(خرداد ۱۳۹۳) " برنامه‌ریزی و زمان‌بندی سفارش‌ها ناحیه سرد فولاد مبارکه با استفاده از مدل ریاضی MIP" **نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید**، شماره ۱، جلد ۲۵.

۳- البدوی، ا.(۱۳۸۹) "جزوه درسی روش تحقیق دانشگاه تربیت مدرس ".

۴- توحیدی، ناصر. خدایاری، محمد صادق. (بهار ۱۳۸۰)" تکتاز نجف؛ الگوی پیش بینی تولید آهن و فولاد در ایران " **مجله مهندسی صنایع و مدیریت دانشگاه شریف**، دوره ۱۹،۱۷: ص ۵۷-۶۴.

۵- تقدسی، ساسان. خوش الحان، فرید. (پاییز ۱۳۸۹)"مروری بر مقالات و تحقیقات درزمینهٔ زمان بندی کارگاه گردش کاری چند هدفه " **نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت**، شماره ۳، جلد ۲۱.

۶- رفیعی، ع. همایونی، س.م. شفیعی علویجه، ا. (مهرماه ۱۳۹۳) "بهینه‌سازی زمان‌بندی تولید یک ماشین با در نظر گرفتن هزینه راه‌اندازی وابسته به‌توالی عملیات و زمان‌های بیکاری ماشین " **همایش ملی مهندسی صنایع و مدیریت پایدار**.

۷- رمضانیان، ر، (۱۳۹۲)، رساله دکترای:" تعیین اندازه انباشته و زمانبندی یکپارچه در محیط تولیدی چندمرحله ای با محدودیت ظرفیت" دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت تهران.

۸- کریمی نسب، م، حداد، ح.م، فیلی، ح.م و بابایی، م.ح.(۱۳۹۲)" حل مسئله زمان‌بندی تولید دسته‌ای در محیط ماشین‌های موازی چندکاره به کمک دو روش فرا ابتکاری " **نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید**، شماره ۲، ص ۲۲۶-۲۳۶.

۹- مختاری، هادی، نخعی کمال‌آبادی، عیسی، ذگردی س.ح.(۱۳۹۱) "توسعه یک کران بالا و الگوریتم حل ابتکاری برای مسئله زمان‌بندی سفارش‌ها باهدف کمینه‌سازی زمان بیکاری ماشین‌ها" **مدیریت تولید و عملیات**، شماره ۳، ص ۴۱-۵۸.

۱۰- مختاری، ه. نخعی کمال‌آبادی، ع. ناصری، ا. (۱۳۹۲)"مدل‌سازی و حل تحلیل مسئله برنامه‌ریزی ظرفیت و زمان‌بندی تولید یکپارچه: استخراج کران پایین و طراحی یک الگوریتم شاخه و کران کارا" **نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید**، شماره،۲ جلد ۲۴، ص ۱۳۹-۱۱۸.

۱۱- نخعی، ف.(بهار و تابستان ۱۳۹۱)"روند جهانی کنستانتره آهن و فولاد و ارائه روش‌های کاهش میزان مصرف انرژی" **دوفصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی**، شماره نوزده.

۱۲- نخعی نژاد، م. نهاوندی، ن. اقدسی، م. ذگردی، س.ح.(پاییز و زمستان ۱۳۹۳)" ارائه یک مدل برنامه‌ریزی سفارش‌ها موجودی با استفاده از الگوریتم ژنتیک" **مدیریت تولید و عملیات**، شماره ۲، دوره پنجم.

۱۳- نخعی نژاد م، (شهریور ۱۳۹۲) رساله دکتری:" ارائه مدل برنامه‌ریزی سفارشات – موجودی و زمان‌بندی تولید در صنایع فولاد (مطالع موردی شرکت فولاد آلیاژی ایران)" دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۴- نیلی پور، طباطبایی سید اکبر. رستم زاده، عبدالرحیم. رستم زاده، محمد مهدی. (۱۲-۱۳۸۹)" بررسی تأثیر شش ضایعه عمده صنعت بر اثر بخشی کلی تجهیزات در کارخانه نورد سرد مجتمع فـولاد مبارکـه" **مجلــه مــدیریت تولید و عملیات دانشگاه اصفهان**، شماره ۱، دوره ۱.

15- Asl Farshid M. and Galip Ulsoy A. **(2002)**"Capacity Management Via Feedback Control in Reconfigurable Manufacturing Systems". In Proceeding of Japan-USA Symposium on Flexible Automation, Hiroshima, Japan.

16- AI-Haboubi M.H. and Selim S.Z. **(1993)"**A sequencing problem in the weaving industry European Journal of Operational Research", Vol. **66**, No.**1**, pp. **65-71**.

17- Allahverdi, A. **(2003)**" The Two- and M-Machine Flowshop Scheduling Problems with Bicriteria of Makespan and Mean Flowtime". European Journal of Operational Research **147,** pp **373–396**.

18- Allahverdi A. and Al-Anzi Fawaz S. **(2006)** "A branch-and-bound algorithm for three-machine flowshop scheduling problem to minimize total completion time with separate setup times" European Journal of Operational Research., **169 767- 780**.

19- Allahverdi A. and Aldowaisan T. **(2004)**"No-Wait Fowshops with Bicriteria of Makespan and Maximum Lateness'. Eur. J. Oper. Res., **152,** pp**. 132–147.**

20- Allahverdi A. **(2004)** "A New Heuristic for m-Machine Flowshop Scheduling Problem with Bcriteria of Makespan and Maximum Tardiness". Computers & Operations Research **31,** pp**. 157–180**.

21- Armentano V.A. and Arroyo J.E.C. **(2004)**" An Application of a Multi-Objective Tabu Search Algorithm to a Bicriteria Flowshop Problem". Journal of Heuristics **10,** pp**. 463–481**.

22- Arroyo J.E.C. and Armentano V.A. **(2004)**" A Partial Enumeration Heuristic for Multi-Objective Flowshop Scheduling Problems". Journal of the Operational Research Society **55,** pp**. 1000–1007.**

23- Arroyo J.E.C. and Armentano V.A. **(2005)** "Genetic Local Searchfor Multi-Objective Flowshop Scheduling Problems". European Journal of Operational Research **167,** pp**. 717–738**.

24- As'ad R. and Demirli K. **(2010)** "Production scheduling in steel rolling mills with demand substitution: Rolling horizon implementation and approximations", International Journal of Production Economics **126 361- 369.**

25- Atighehchian A. and Bijari M. and Tarkesh H. **(2009)**"A novel hybrid algorithm for scheduling steelmaking continuous casting production", Computers & Operations Research **36. 2450- 2461**.

26- Bagchi T.P. **(2001)**" Pareto-Optimal Solutions for Multi- Objective Production Scheduling Problems". E. Zitzler, K. Deb, L. Thiele, Carlos A. Coello Coello, D. Corne, eds., Evolutionary**.**

27- Baker K.R. **(1974)"**Introduction to sequencing and scheduling". NY: Wiley**.**

28- Balas Martin. **(1991**)"Combinatorial Optimization in Steel Rolling". DIMACS/RUTCOR workshop on combinatorial optimization in science and technology.Rutgers University, New Brunswick, NJ.

29- Bigras L.F. and Gamache M. and Savard G. **(2008)** "The time-dependent traveling salesman problem and single machine scheduling problems with sequence dependent setup times, Discrete Optimization", Vol. **5**, pp. **685–699**

30- Cavalieri S. and Gaiardelli P. **(1998)**" Hybrid Genetic Algorithms for a Multiple-Objective Scheduling Problem". Journal of Intelligent Manufacturing **9,** pp**. 361–367.**

31- Chandra P. and Mehta P. and Tirupati D. **(2008)**" Permutation Flow Shop Scheduling with Earliness and TardinessPenalties". International Journal of Production Research,**,** pp**. 1–20,** iFirst.

32- Chakraborti N. and Siva Kumar B. and Satish Babu V. and Moitra S. and Mukhopadhyay A. **(2008)** "A new multi-objective genetic algorithm applied to hot-rolling process" Applied Mathematical Modelling **32 1781- 1789.**

33- Chakravarthy K. and Rajendran V. **(1999)**" A Heuristic for Scheduling in a Flowshop with the Bicriteria of Makespan and Maximum Tardiness Minimization". Production Planning and Control **10,** pp**. 707–714.**

34- Chang P.C. and Hsieh J.C. and Lin S.G. **(2002)"** The Development of Gradual-Priority Weighting Approach for the Multi- Objective Flowshop-Scheduling Problem". Int. J. Prod. Econ., **79,** pp**. 171–183**.

35- Chang C. and Wang D. and Hu K. and Zheng B. and Li H. **(2004)** "Application Research on Case-Based Reasoning Combined with Adaptation Model for Dynamic Scheduling of Steel Production" Proceedings of the 5thWorld Congress on Intelligent Control and Automation, June **15-19,** Hangzhou, P.R. China.

36- Chang P. and Chen S. and Fan C. and Chan C. **(2008)** " Genetic Algorithm Integrated with Artificial Chromosomes for Multi-Objective Flowshop Scheduling Problems". Applied Mathematics and Computation **205,** pp**. 550–561.**

37- Chen A. l. and Yang G. K. and Wu Z. M. and April **(2008)**"Production scheduling optimization algorithm for the hot rolling processes", International Journal of Production Research 46**, 1955- 1973**.

38- Chen HX.Luh PB. **(2003)** *"An Alternative Framework to Lagrangian Relaxation Approach for Job Shop Scheduling".* European Journal of Operational Research, Vol.**149**, pp.**499–512.**

39- Chen L, and Yang Bo, and Shen Xun, and Xie Zhihui, and Sun Fengrui. **(2015)** " Thermodynamic optimization opportunities for the recovery and utilization of residual energy and heat in China steel industry: A case study". Applied Thermal Engineering**, 86,151-160**.

40- Chen Y. and Lu Y. and Ge M. and Yang G. and Pan C. **(2012)** "Development of hybrid evolutionary algorithms for production scheduling of hot strip mill" Computers & Operations Research **39,339- 349**.

41- Cowling P. **(2003)**"A flexible decision support system for steel hot rolling mill scheduling" Computers & Industrial Engineering **45,307- 321.**

42- Cowling P. and Ouelhadj D. and Petrovic S. **(2003)** "A multi-agent architecture for dynamic scheduling of steel hot rolling", Journal of intelligent manufacturing **14,457-470.**

43- Craig I. K. and Camisani-Calzolari F.R. and Pistorius P.C. **(2001)** "A contemplative stance on the automation of continuous casting in steel processing", Control Engineering Practice **9,1013- 1020**.

44- Daniels R.L. and ChambersR.J**. (1990)**" Multi-Objective Flow Shop Scheduling. Naval Res. Logist". Quart. **37,** pp**. 981–995**.

45- Ding Ma, and Lining Wang, and Xiang Yin et al. **(2014)** "Co-benefits of Reducing Carbon Emissions in China's Iron and Steel Industry". Energy Procedia **61**. **1557-1560.**

46- Dongfen G. and Fuliang L. and Tieke L. **(2009)** "Integrated Batch Planning Model and Algorithm for Steelmaking-continuous Casting-hot Rolling", **978-1-4244-2800-7/09/$25.00 IEEE.**

47- DU Tao, and SHI Tian, and LIU Yong et al. **(2013)**" Energy Consumption and Its Influencing Factors of Iron and Steel Enterprise". J IRON STEEL RES INT. **20 (8) 8-13**.

48- Erel E. and Ghosh J.B. **(2007)** "Customer order scheduling on a single machine with family setup times: Complexity and algorithms" Applied Mathematics and Computation, **185, 11-18**.

49- Eren T. and Guєner E. **(2006)** " A Bicriteria Flowshop Scheduling Problem with Setup Times". Applied Mathematics and Computation **183, pp. 1292–1300.**

50- Eren T. and Guєner E. **(2008)**"A Bicriteria Flowshop Scheduling Problem with a Learning Effect". Applied Mathematical Modelling **32**, pp**. 1719–1733.**

51- Fazel Zarandi M.H. and Ahmadpour P. **(2009)** "Fuzzy agent-based expert system for steel making process", Expert Systems with Applications **36,9539- 9547**.

52- Fazel Zarandi M. H. and Gamasaee R. **(2012)**"Type-2 fuzzy hybrid expert system for prediction of tardiness in scheduling of steel continuous casting process", Soft Comput **16, 1287- 1302**.

53- Feng Huijun, and Chen Lingen, and Sun Fengrui. **(2016)"** Constructal optimization of a sinter cooling process based on exergy output maximization. Applied Thermal Engineering, **96 161-166.**

54- Framinan J.M. and Leisten, R. and Ruiz-Usano, R. **(2002)**" Efficient Heuristics for Flowshop Sequencing with the Objectives of Makespan and Flowtime Minimisation". European Journal of Operational Research **141,** pp. **559–569.**

55- Framinan, Jose M. and Leisten, R. **(2006)**" A Heuristic for Scheduling a Permutation Flowshop with Makespan Objective Subject to Maximum Tardiness". International Journal of Production Economics **99,** pp**. 28–40.**

56- F.Fred Choobineh, and Esmail Mohebbi, and Hansen Khoo. **(2006)**" A multi-objective tabu search for a single-machinescheduling problem with sequence-dependent setup times European Journal of Operational Research", Vol. **175**, No. pp. **318–337. 1996**.

57- Floudas C, and Lin X. **(2004)**"Continuous-time versus discrete-time approaches for schedulingof chemical processes: a review". Comput Chem Eng**;28(11):2109–29**.

58- Flues F, and Rubbelke D, and Vogele S**. (2015)"**An analysis of the economic determinants of energy efficiency in the European iron and steel industry". J Clean Prod;**104:250–63.**

59- Fysikopoulos Apostolos, and Papacharalampopoulos Alexios, and Pastras Georgios, et al. **(2013)** "Energy Efficiency of Manufacturing Processes: A Critical Review. Procedia CIRP **7. 628-633**.

60- Gangadharan R. and Rajendran C. **(1994)**" A Smulated Annealing Heuristic for Scheduling in a Flowshop with Bicriteria". Computers & Industrial Engineering **27,** pp. **473–476**.

61- Geiger, M.J. **(2007)"** On Operators and Search Space Topology in Multi-Objective Flow Shop Scheduling". European Journal of Operational Research In press.

62- Georgios M. and Kopanos L. and Puigjaner .(**2009)**" Multi-Site Scheduling/Batching and Production Planning for Batch Process Industries", Computer Aided Chemical Engineering, Vol. **27,** pp. **2109-2114**

63- Gupta, J.N.D. and Palanimuthu N. **(1999)** " Chen, C.L., Designing a Tabu Search Algorithm for the Two-Stage Flow Shop Problem with Secondary Criterion". Production Planning & Control **10,** pp**. 251–265.**

64- Gupta J.N.D. **(2001)"** Neppalli, V.R., Werner, F., Minimizing Total Flow Time in a Two-Machine Flowshop Problem with Minimum Makespan". International Journal of Production Economics **69,** pp**. 323–338.**

65- Gupta J.N.D. and Hennig, K. and Werner F. **(2002)**" Local Search Heuristics for Two-Stage Flow Shop Problems with Secondary Criterion". Computers & Operations Research **29,** pp**. 123–149.**

66- Hadera H, and Harjunkoski I, and Grossmann IE, and Sand G, and Engell S. **(2014**) "Steel production schedulingunder time-sensitive electricity cost". Comput Aided Chem Eng**;33:373–8**.

67- Hajinejad D. and Salmasi N. and Mokhtari R. (**2011)**" A fast hybrid particle swarm optimization algorithm for flow shop sequence dependent group scheduling problem, Scientia Iranica, Vol. **3**, pp. **759-764.**

68- Harjunkoski I, and Grossmann IE. (**2001)"** A decomposition approach for the scheduling of a steelplant production". Comput Chem Eng**;25(11-12):1647–60.**

69- Ho J.C. and Chang Y.L. **(1991)**" A New Heuristic for the n-Job, Machine Flow-Shop Problem". Eur. J. Oper. Res., 5**2,** pp**. 194–202.**

70- Huegler P. A. and Vasko F. J. **(2007)** "Meta heuristics for melt shop scheduling in the steel industry", Journal of the Operational Research Society **58, 791- 796**.

71- Ishibuchi H. and Murata H. **(1998)**" A Multi-Objective Genetic Local Search Algorithm and its Applications to Flowshop-Scheduling". IEEE Trans. Sys. Man Cybern**., 28,** pp**. 392–403.**

72- Ishibuchi H. and Yoshida T. and Murata T. **(2003)**" Balance Between Genetic Search and Local Search in Memetic Algorithms for Multi Objective Permutation Flowshop Scheduling". IEEE Transactions on Evolutionary Computation **7,** pp**. 204–223**.

73- International Energy Agency. **(2010)"** Energy technologies perspectives Scenarios and strategies to **2050**. OECD Publishing20 doi:http://dx.doi.org/10.1787/energy_tech-**2010**-en.http://www.oecd-ilibrary.org/energy/energytechnology-perspectives-**2010**_energy_tech-**2010**-en.

74- Janiak A. (**1989)** "Minimization of the Blooming mill Standstills-Mathematical Model", suboptimal algorithms, Mechanika, 8(2), pp. 37–49.

75- Jatinder N. D. and Gupta **(1988)** "Two-Stage, Hybrid Flowshop Scheduling Problem, The Journal of the Operational Research Society, Vol. **39**, No. **4**, pp. **359-364.**

76- Jin Y. and Okabe T. and Sendhoff B. **(2001)**" Adapting Weighted Aggregation for Multi Objective Evolutionary Strategies, in Proceedings"of the First Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization**, pp. 96–110.**

77- Jing-ming Y. and Hai-jun C. and Fu-ping D. and Tao Z. **(2008)** "Genetic Algorithm-Based Optimization Used in Rolling Schedule", Journal of Iron and Steel Research, International, **15(2): 18- 22**.

78- Jun Z. and Quan-Li L. and Wei W. **(2008)** "Models and Algorithms of Production Scheduling in Tandem Cold Rolling", Acta Automatica Sinica **34.**

79- Kerkkanen A. **(2007)** "Determining semi-finished products to be stocked when changing the MTS-MTO policy: Case of a steel mill", International Journal of Production Economics**108:111- 118.**

80- Kosiba ED, and Wright JR, and Cobbs AE. **(1992)** "Discrete Event Sequencing as a Travelling Salesman Problem", Vol.**19**, pp.**317-327**.

81- Lally B. and Biegler L. and Henein H**. (1987)"**A Model forSequencing Acontinuous Casting Operation to Minimize Costs", Iron &Steelmaker, Vol.**10**, pp. **63-70**.

82- Lee C.E. and Chou F.D. **(1998)**" A two-machine flowshop scheduling heuristic with bicriteria objective". International Journal of Industrial Engineering **5,** pp**. 128–139.**

83- Lee K. and Chang S. Y. and Hong Y. **(2004)** "Continuous slab caster scheduling and interval graphs" Production Planning and Control**, 15 (5): 495- 501**.

84- Lee S.M. and Asllani A.A**. (2004)"** Job scheduling with dual criteria and sequence-dependent setups": mathematical versus genetic programming, Omega, Vol.32, pp.145 – 153.

85- Lee, W.C. and Wu C.C. **(2001)**" Minimizing the Total Flow Time and the Tardiness in a Two-Machine Flow Shop". International Journal of Systems Science **32,** pp**. 365–373**.

86- Lemesre J. and Dhaenens C. and Talbi E.G. **(2007)**"An exact Parallel Method for a Bi-Objective Permutation Flowshop Problem". European Journal of Operational Research **177,** pp**. 1641–1655.**

87- Lin B.M.T. and Wu J.M. **(2006)** "Bicriteria Scheduling in a Two- Machine Permutation Flowshop". International Journal of Production Research **44,** pp**. 2299–2312.**

88- Liang D. and Hui Zhang. and Tsuyoshi Fujita et al. **(2013) "**Environmental and economic gain of industrial symbiosis for Chinese iron/steel industry": Kawasaki's experience and practice in Liuzhou an Jinan. J CLEAN PROD. **59:226-238.**

89- Liao C.J. and Yu W.C. and Joe C.B. **(1997) "**Bicriterion Scheduling in the Two-Machine Flowshop". Journal of the Operational Research Society **48,** pp**. 929–935.**

90- Liao C.J. and Yu W.C. and Joe. C.B. **(1997)** "Bicriterion Scheduling in the Two-Machine Flowshop". Journal of the Operational Research Society 48, pp. 929–935.

91- Liberatore Ralph L. **(1989)** "Hot rolling mill optimization model", Computers and Industrial Enginearing **17:130- 135.**

92- Li K Lin BQ. **(2015)**" How does administrative pricing affect energy consumption and CO2 emissions in China? Renew Sustain Energy Rev**;42:952–62**.

93- Lin BQ. and Wang XL. **(2015)**" Carbon emissions from energy intensive industry in China: evidence from the iron & steel industry". Renew Sustain Energy Rev**;47:746–54.**

94- Lin B.M.T. and Kononov A.V. **(2007)** "Customer order scheduling to minimize the number of late jobs" European Journal of Operational Research, **183,944-948.**

95- Liu C, and Xie Z, and Sun F, and Chen L. **(2015)** " System dynamics analysis on characteristics of iron-flow in sintering process". Applied Thermal Engineering, **82:206-211.**

96- Liu S. and Tang J. and Song J. **(2006)** "Order-planning model and algorithm for manufacturing steel sheets", International Journal Production Economics **100:30- 43.**

97- Liu X. and Chen L. and Qin X. and Sun F. **(2015)** " Exergy loss minimization for a blast furnace with comparative analyses for energy flows and exergy flows. Energy", **93:10-19.**

98- Liu X. and Qin X. and Chen L. and Sun F. **(2015)"** CO2 emission optimization for a blast furnace considering plastic injection". International Journal of Energy and Environment, **6(2):175-190**.

99- Lixin T. and Guoli Liu. **(2007)** "A Mathematical Programming Model and Solution for Scheduling Production Orders in Shanghai Baoshan Iron and Steel Complex", European Journal of Operational Research, Vol.**182**, pp.**1453–1468.**

100- Lopez-Garcia L. **(1997)** "The hot strip mill production schedulig problem in the steel industry: a heuristic approach using tabu search" Department of Mechanical and Industrial Engineering.

101- Lopez L. and Carter M.W. and Gendreau M. (1998) "The Hot Strip Mill Production Scheduling Problem", Vol.106, pp. 317–335.

102- Loukil T. and Teghem J. and Fortemps P. **(2000)**"Solving Multi- Objective Production Scheduling Problems with tabu search". Control and Cybernetics **29, pp. 819–828.**

103- Loukil T. nad Teghem J. and Tuyttens. D. **(2005)** " Solving Multi- Objective Production uling Problemssched using Metaheuristics". European Journal of Operational Research **161,** pp**. 42–61.**

104- M. Abdul Quader. and Shamsuddin Ahmed. and Raja Ariffin Raja Ghazilla et al. **(2015)** " A comprehensive review on energy efficient CO2 breakthrough technologies for sustainable green iron and steel manufacturing". RENEW SUST ENERG REV. **50:594-614.**

105- Ma GY. and Cai JJ. and Zeng WW. and Dong H. **(2012)"**Analytical Research on Waste Heat Recovery and Utilization of China's Iron & Steel Industry". Energy Procedia**;14:1022-28**.

106- Mahapatra K. Energy use and CO2 emission of new residential buildings built under specific requirements – the case of Vaxjo municipality, Sweden. Appl Energy**;152:31–8.**

107- Maravelias C. **(2012)"**General framework and modeling approach classification for chemicalproduction scheduling". A*IC*hE J**;58(6):1812–28.**

108- Mathirajan M. and Chandru V. and and Sivakumar A. I. **(2007)** "Heuristic algorithms for scheduling heat-treatment furnaces of steel casting industries", Sadhana **32:479- 500**.

109- Melab N. and Mezmaz M. and Talbi E.G. **(2006)** " Parallel Cooperative Meta-Heuristics on the Computational Grid". a Case Study: the Bi-Objective Flow-Shop Problem. Parallel Computing **32,** pp**. 643–659.**

110- Méndez CA. and Cerdá J. and Grossmann IE. And Harjunkoski I. and Fahl M. **(2006)"**State-of-the-art reviewof optimization methods for short-term scheduling of batch processes". ComputChem Eng**;30(6–7):913–46.**

111- Meng Fankai. and Chen Lingen. and Sun Fengrui. and Yang Bo. **(2015)"** Thermoelectric power generation driven by blast furnace slag flushing water". Energy, **66 (2014) 965-972**.

112- Model and Solution for Scheduling Production Orders in Shanghai Baoshan Iron and Steel Complex", **(2007)** European Journal of Operational Research, Vol.**182**, pp.**1453–1468.**

113- Murata T. and Ishibuchi H. and Tanaka H. **(1996)**" Multi- Objective Genetic Algorithm and its Applications to Flowshop-Scheduling". Comput. Ind. Eng. **30, pp. 957–968.**

114- Murata T. and Ishibuchi H. and Gen M. and Specification of Genetic Search Directions in Cellular Multi Objective Genetic Algorithms. E. Zitzler, K. Deb, L. Thiele, Carlos A. Coello Coello Coello C. A., Corne D., eds. **(1993)**, Evolutionary Multi-Criterion Optimization, First International Conference, EMO **(2001)**, Zurich, Switzerland, March **7-9, (2001)**, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science, vol. Springer, (**2001)**, pp. **(82–95).**

115- Naderi B. and Fatemi Ghomi S.M.T. and Aminnayeri M. (**2010**)" A high performing metaheuristic for job shop scheduling with sequence-dependent setup times", The Applied Soft Computing, Vol. **10**, pp. **703-710**.

116- Nagar A. and Heragu S.S. and Haddock J. **(1995)**" A Branch-and- Bound Approach for a Two-Machine Flowshop Scheduling Problem". Journal of the Operational Research Society **46, a, pp.721–734**.

117- Nagar A. and Heragu S.S. and Haddock J. **(1996)** " A Combined Branch-and-Bound and Genetic Algorithm BasedApproach for a Flowshop Scheduling Problem". Annals of Operations Research **63, pp. 397–414.**

118- Neppalli V.R. and Chen C.L. and Gupta J.N.D. **(1996)**" Genetic Algorithms for the Two-Stage Bicriteria Flowshop Problem". Eur. J. Oper. Res., **95,** pp**. 356–373.**

119- Rabadi. G. and Georgios.M. and Anagnostopoulos.C. (**2004)**" A branch-and-bound algorithm for the early/tardy machine scheduling problem with a common due-date

sequence-dependent setup time", Computers & Operations Research, Vol. **31**, pp.**1727 – 1751**.

120- Rahimi-Vahed A.R. and Mirghorbani S.M. **(2007)** " A Multi- Objective Particle Swarm for a Flow Shop Scheduling Problem". Journal of Combinatorial Optimization **13**, pp**. 79–102.**

121- Rajendran C. **(1992)**" Two-Stage Flowshop Scheduling Problem with Bicriteria". Journal of the Operational Research Society **43,** pp**. 871–884.**

122- Rajendran C. **(1994)** " A Heuristic for Scheduling in Flowshop and Flowline-Based Manufacturing Cell with Multicriteria". International Journal of Production Research **32,** pp**. 2541–2558.**

123- Ranjbar M. and Davari M. and Leus R. **(2012)** "Two branch-and-bound algorithms for the robust parallel machine scheduling problem" Computers & Operations Research **39:1652-1660.**

124- Ravindran D. and Haq A.N. andSelvakuar S.J. and Sivaraman R. **(2005)** " Flow Shop Scheduling with Multiple Objective of Minimizing Makespan and Total Flow Time". The International Journal of Advanced Manufacturing Technology **25,** pp**.1007–1012**.

125- Ricardo M. and Limaa. and Ignacio E. and Grossmanna Yu Jiao**. (2011)"***Long-Term Scheduling of a Single-Unit Multi-Product Continuous Process to Manufacture High Performance Glass*". Computers and Chemical Engineering, Vol.**35**, pp.**554-574**.

126- Rong A. and Lahdelma R. **(2008)** "Fuzzy chance constrained linear programming model for optimizing the scrap charge in steel production", European Journal of Operational Research **186: 953- 964**.

127- Pan C. and Yang G. K. **(2009)** "A method of solving a large-scale rolling batch scheduling problem in steel production using a variant of column generation", Computers & Industrial Engineering **56,165- 178**.

128- Petersen C.M. and Sorensen K.L. and Vidal R.V.V. **(1992**) "Inter-Process Synchronization in Steel Production", International Journal of Production Research,Vol.**30**, pp.**1415-1425**.

129- Pochet Y, Wolsey LA. (**2006)"**Production planning by mixed integer programming". NewYork: Springer; **13**.

130- Ponnambalam S.G. and Aravindan P. **(2001)**" Chandrasekaran, S., Constructive and Improvement Flow Shop Scheduling Heuristics: an Extensive Evaluation". Prod. Plan. Contr., **12,** pp**. 335–344.**

131- Porzio GF. and Nastasi G. and Colla V. and Vannucci M. and Branca TA. **(2013)**" Comparison of multi-objective optimisation techniques in industrial systems: an example of application to integrated steelworks. Proceedings of the International Conference on Applied Energy **(ICAE 2013), Jul 1-4, 2013**, Pretoria, South Africa. Paper ID: **ICAE-75**.

132- Porzio GF. And Fornai B. and Amato A. and Matarese N. and Vannucci M. and Chiappelli L. and Colla V. **(2013)** "Reducing the energy consumption and CO2 emissions of energy intensive industries through decision support systems – An example of application to the steel industry. Applied Energy**; 112:818-**33.

133- Qian, B. and Wang L. and Huang D. and Wang, W. and Wang X. **(2009)**" An Effective Hybrid DE-based Algorithm for Multi- Objective Flow Shop Scheduling with Limited Buffers". Computers & Operations Research **36,** pp**. 209–233.**

134- Rahimi-Vahed A. and Dangchi M. and Rafiei H. and Salimi E. **(2008)"** A Novel Hybrid Multi-Objective Shuffled Frog-Leaping Algorithm for a Bi-Criteria Permutation Flow Shop Scheduling Problem". Int J Adv Manuf Technol. **DOI10.1007/s00170-008-2008,** pp**. 1558-6.**

135- Riccardi R . and Bonenti F. and Allevi E. and Avanzi C. and Gnudi A. **(2015)**" The steel industry: a mathematical model under environmental regulations". Eur J Oper Res**;242(3):1017–27.**

136- Ruiz R. and Allahverdi A. **(2009)** " Minimizing the Bicriteria of Makespan and Maximum Tardiness with an Upper Bound on Maximum Tardiness". Computers & Operations Research **36,** pp**. 1268 – 1283**.

137- Selen W.J. and Hot D.D. and A Mixed-Integer Goal**. (1986)** "Programming Formulation of the Sandard Flowshop Scheduling Problem". Journal of the Operational Research Society **37,** pp**. 1121–1128**.

138- Sayın S. and Karabati S. **(1999)"** A Bicriteria Approach to the Two-Machine Flow Shop Scheduling Problem". European Journal of Operational Research **113,** pp**. 435–449**.

139- Shaohui Zhang. and Ernst Worrell. and Wina Crijns-Graus et al. **(2014)** "Co-benefits of energy efficiency improvement and air pollution abatement in the Chinese iron and steel industry". Energy. **78,333-345**.

140- Shu-hua Ma. and Zong-guo Wen. And Ji-ning Chen et al. **(1992)"** Mode of circular economy in China's iron and steel industry: a case study in Wu'an city". J CLEAN PROD. **64(2014) 505-512**.

141- Singh Kumar A. and Srinivas. and Tiwari M. K. **(2004)** "Modelling the slab stack shuffling problem in developing steel rolling schedules and its solution using improved Parallel Genetic Algorithms", International Journal of Production Economics **91:135- 147**.

142- Sivrikaya-Serifoğlu F. and G. Ulusoy. **(1998)"** A bicriteria two-machine permutation flowshop problem. European Journal of Operational Research **107, pp. 414–430**.

143- Sridhar J. and Rajendran C. **(1996)**" Scheduling in Flowshop and Cellular Manufacturing Systems with Multiple Objectives: A Genetic Algorithmic Approach". Production Planning & Control **7, pp. 374–382.**

144- Subramanian A. and Battarra M. and Potts C.N. **(2014**)" An Iterated Local Search heuristic for the single machine total weighted tardiness scheduling problem with sequence-dependent setup times", International Journal of Production Research.

145- Sun L. **(2010)** "Scheduling of Steel-making and Continuous Casting System Using the Surrogate Subgradient Algorithm for Lagrangian Relaxation" 6th annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering, Toronto, Ontario, Canada, August**21- 24.**

146- Suresh R.K. and Mohanasundaram K.M. **(2004)**" Pareto Archived Simulated Annealing for Permutation Flow Shop Scheduling with Multiple Objectives". IEEE Conference on

Cybernetics and Intelligent Systems (CIS), Singapore, December 1-3, Proceedings, Vol. 2**. pp. 712–717.**

147- Taghadosi S. and Khosh Alhan F. **(2010)**" Designing a Meta Heuristic Algorithm Based on Cultural Evolution to Solve Multiple Objective Flow Shop Scheduling Problems". **3**rd International Operation Research conference, Tehran, Iran, May **5-6.**

148- Tanaka K. **(2012) "**A comparison study of EU and Japan methods to assess CO2 emission reduction and energy saving in the iron and steel industry". Energy Policy **2012;51:578–85**.

149- Tang L. and Huang L. **(2007)** "Optimal and near-optimal algorithms to rolling batch scheduling for seamless steel tube production", International Journal of Production Economics **105,357- 371**.

150- Tang L. and Liu G. **(2007)** "A Mathematical Programming Model and Solution for Scheduling Production Orders in Shanghai Baoshan Iron and Steel Complex", European Journal of Operational Research, Vol.**182,** pp.**1453–1468**.

151- Tang L. and Luh P. B. and Liu J. and Fang L. **(2002)** "Steel-making process scheduling using Lagrangian relaxation", International Journal of Production Research **40,5- 70.**

152- Tang L. and Liu J. and Rong A. and Yang Z. **(2000)** "A multiple traveling salesman problem model for hot rolling scheduling in Shanghai Baoshan Iron & Steel Complex", European Journal of Operational Research **124,267- 282**.

153- Tang L. and Wang X. and Liu J. **(2008)** "Color-Coating Production Scheduling for Coils in Inventory in Steel Industry", IEEE Transactions on Automation Science and Enginearing **5.**

154- Tang, LX. and Liu JY. and Rong AY. and Yang ZH. (**2000**)*"A Mathematical Programming Model for Scheduling Steelmaking-Continuous Casting Production"*. European Journal of Operational Research, Vol.**120,** pp.**423–3.**

155- Tang, L.X. and Liu J.Y. and Rong A.Y. and Yang Z.H. **(2001**) "A Review of Planning Andscheduling Systems and Methods for Integrated Steel Production". European Journalof Operational Research, Vol**.133**, pp.**1–2**.

156- Tasgetiren M.F. and Liang Y. and Sevkli M. and Gencyilmaz G. **(2007)** "A Particle Swarm Optimization Algorithm for Makespan and Total Flow Time Minimization in the Permutation Flowshop Sequencing Problem". European Journal of Operational Research **177,** pp**. 1930–1947.**

157- Tavakkoli-Moghaddam R. and Moslehi G. and Vaseia M. and Azaronc A. **(2005**)" Optimal scheduling for a single machine to minimize the sum of maximum earliness and tardiness considering idle insert, Applied Mathematics and Computation", Vol.**167,** pp. **1430–1450.**

158- Tavakkoli_Moghadam.R. and Moslehi.G. and Vasei.M. and Azaron.A. **(2006)**" Applied Mathematics and Computation", No.**176.** pp. **388-408.**

159- Tavakoli-Moghaddam R. and Rahimi-Vahed A. and Mirzaei A.H. **(2008)"** A Hybrid Multi-Objective Immune Algorithm for a Flowshop Scheduling Problem with Bi-Objectives: Weighted Mean Completion Time and Weighted Mean Tardiness. Information Sciences **177,** pp**. 5072–5090.**

160- T’kindt V. and Monmarche N. and Tercinet F. and Laugt D. **(2002)**" An ant Colony Optimization Algorithm to Solve a 2- Machine Bicriteria Fowshop Scheduling Problem". European Journal of Operational Research **142,** pp. **250–257.**

161- T’kindt V. and Gupta J.N.D. and Billaut J.C. **(2002)**"Two-Machine Flowshop Scheduling with a Secondary Criterion". Computers & Operations Research **30,,** pp**. 505–526.**

162- Tong, X. and Silverman J. and Clausen S. **(1994)** “A Caster Sequencing Optimization Program for Geneva Steel's Facility Modernization Project”, presented at Annual AISE Convention, September.

163- Toktas B. and Meral A. and Suna Kondakcı K. **(2004)** " Two-Machine Flow Shop Scheduling with Two Criteria: Maximum Earliness and Makespan". European Journal of Operational Research **157,** pp**. 286–295.**

164- Vanchipur R. and Sridharan R. and Subash Babu A**. (2014)**" Improvement of constructive heuristics using variable neighbourhood descent for scheduling a flow shop with sequence dependent setup time, Journal of Manufacturing Systems", Vol. **33**, pp. **65– 75**.

165- Vanhoucke M. and Debels D. (**2009**)“A Finite-Capacity Production Scheduling Procedure for a Belgian Steel Company”, International Journal of Production Research, Vol.**47,** No.**3**, pp.**561–584**.

166- Varadharajan T. and K.and Rajendran C. **(2005)**" A Multi-Objective Simulated-Annealing Algorithm for Scheduling in Flowshops to Minimize the Makespan and total flowtime of Jobs". European Journal of Operational Research **167,** pp**. 772–795.**

167- Vob S. and Witt A. **(2007)** "Hybrid flow shop scheduling as a multi-mode multi-project scheduling problem with batching requirements: A real-world application" International Journal of Production Economics **105,445- 458.**

168- Wilson**. (1989)**" Alternative Formulations of a Flowshop Scheduling Problem". Journal of the Operational Research Society **40,** pp**. 395–399.**

169- Xiong B. and Chen L. and Meng F. and Sun Fengrui. **(2014)** " Modeling and performance analysis of a two-stage thermoelectric energy harvesting system from blast furnace slag water waste heat. Energy", **77,562-569.**

170- Xueyan Z. and Xin Ma. and Yang Wu et al. **(2015)** " Enhancement of farmland greenhouse gas emissions from leakage of stored CO2: Simulation of leaked CO2 and CCS. SCI TOTAL ENVIRON". **518-519,78-85**.

171- Yagmahan B. and Yenisey M.M. **(2008) “** Ant Colony Optimization for Multi-Objective Flow Shop Scheduling Problem”. Computers & Industrial Engineering **54,** pp. **411–420.**

172- Yeh W.C. **(2001)**” An Efficient Branch-and-Bound Algorithm for the Two-Machine Bicriteria Flowshop Scheduling Problem”. Journal of Manufacturing Systems **20,** pp. **113–123.**

173- Yuan BL. and Ren SG. and Chen XH. **(2015**)" The effects of urbanization, consumption ratio and consumption structure on residential indirect CO2 emissions in China: a regional comparative analysis. Appl Energy**;140:94–106**.

174- Yu-Wang C. and Yong-ZaiLu. and MingGe. and Gen-KeYang. and Chang-ChunPan. (**2012**)"Development of Hybrid Evolutionary Algorithms for Production Scheduling of Hot Strip Mill".Computers & Operations Research, Vol.**39,** pp.**339–349.**

175- Zhang C. and SHANGGUAN F. and HU Chang-qing, et al. **(2010)"** Steel Process Structure and Its Impact on CO2 Emission. Iron and Steel". **45 (5) (2010) 1-6.**

176- Zhao J. and Liu Q. and Wang W. and Wei Z. and Shi P. **(2011)** "A parallel immune algorithm for traveling salesman problem and its application on cold rolling scheduling" Information Sciences**181,1212- 1223.**

177- Zhao J. and Wang W. and Liu Q. and Wang Z. and Shi P. **(2009)** "A two-stage scheduling method for hot rolling and its application", Control Engineering Practice **17,629- 641.**

178- Zhang T. and Zhang Y. J. and Liu S. X. **(2008)** "A Mixed Integer Programming Model and Improved Genetic Algorithm for Order Planning of Iron-Steel Plants" Information and Management Sciences **19,413- 435.**

179- Zhang T. and Zhang Y. and Wang M. **(2005)** "Reaserch on 3MO-Based genetic algorithm for solving order planning" Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, **18- 21** August**.**

180- Zhao XL. and Yin HT. and Zhao Y. (**2015)"** Impact of environmental regulations on the efficiency and CO2 emissions of power plants in China. Appl Energy"**;149:238–47.**

181- Zhang Zelong. and Chen Lingen. and Ge Yanlin. and Sun Fengrui. **(2015) "** Thermodynamic analysis of an air Brayton cycle for recovering waste heat of BF slag". Applied Thermal Engineering, **90 (2015) 742-748.**

Abstract

According to the of the plan and schedule production space Decisions such as how special custom programs and schedules, and limited energy resources is of paramount importance. However, the role of these categories based on their importance in the steel industry adds cost efficient management. Growing industries in recent decades and fierce market competition, to achieve pre-determined objectives and strategies need to plan production And can be explicitly claimed that no production planning and production scheduling is impossible to achieve predetermined goals. On the other hand, in recent years, with increased attention to issues and intensifying environmental regulations in this area, the steel industry as one of the polluting industries have been affected. One of the main challenges of the steel industry, production planning is that according to the custom of these products in the industry, production scheduling decision will be the most important issues. Also, due to the need for maximum use of storage capacity in the industry, addressing inventory planning is also essential. In this regard, the present study aims to provide a mathematical model of production planning and scheduling production, taking into account the time-dependent energy costs 1394-1395 were years in the steel industry What the proposed model, production planning and scheduling simultaneously considering the energy cost is considered. The need to do so in the proper use of available resources capacity and power machinery such as warehouse space and reduce energy costs in the steel industry. This model does have a key role in improving production planning the size of the steel industry through the production of various products, reduce excess inventory is in stock And thus reduce the cost of maintenance and proper use of available energy sources are necessary. Following the proposed model using optimization software Gams dissolved and its results, such as the production of each product on each machine, ideal capacity Stock for each product in storage at intermediate and energy consumption of each resource per month and one-year time horizon is provided. The results show that the proposed model scheduled for production in the steel industry due to the space requirements of its decision. Based on the results manufacture all products according to the current market demand is not acceptable and economically, and intermediate storage capacity For different products in different months of the year was determined and found that in the first quarter of energy consumption more than the other months of the year.

Key words: production planning, production scheduling, planned orders, the cost of energy.

Shahrood University of Technology

Faculty of Industrial Engineering And Management

Msc Thesis in Industrial Management of production and operations

Planning and Scheduling Model of Sustainable Manufacturing Operations via Considering the Time-Dependent Energy Costs (Case study: Steel Industry)

By: Farzaneh Rabiei CHamgordani

Supervisor:

Dr. A. K. Hasani

Advisor:

Dr. M.H. Hosseini

September 2016