International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2014)

May 2014, Volume 25, Number 1
pp. 45-56

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Order Planning and Scheduling in Cold Rolling Unit of Mobarakeh Steel Co using MIP

S. Hashemi Nezhad, M. Bijari* & M. Ashrafi Nasrabadi

Sohrab Hashemi Nezhad, *Department of Industrial Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan,Iran*
Mehdi Bijari, *Department of Industrial Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan,Iran*
Mehdi Ashrafi Nasrabady, *Mobarakeh steel Co. , Isfahan,Iran*

Keywords

production planning,
Scheduling orders, MIP ,
Cold rolling

ABSTRACT

In the steel industry that involves with large amount of wealth, labor and energy flow a small improvement in planning has significant consequences such as reducing costs, energy consumption, production time, delivery time and also increasing customer satisfaction. This research aim to present a efficient model in order to schedule the orders in the product line of cold rolled in the Mobarakeh Steel Company . The model is solved by applying real data of Mobarakeh Steel cold rolling in two stages. At first the third model without considering zero-one constraint is solved. Then the zero-one and some other constraints obtained from heuristic algorithm are added to the model and the model is solved by GAMS. Each product Production quantity on each machine was obtained in a three month horizon. Actual amount production of cold-rolled machines has been compared with the outputs of the model. The results show that by implementing this model, the number of delivered orders and also usage of the machines capacity are increased.

© 2014 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 25, No. 1, All Rights Reserved

* **Corresponding author. Mehdi Bijari**
Email: *bijari@cc.iut.ac.ir*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۱، جلـــد ۲۵، خـــرداد ۱۳۹۳
صفحـــه ۵۶-۴۶

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید
دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

برنامه‌ریزی و زمان‌بندی سفارشات ناحیه نورد سرد فولاد مبارکه با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی MIP

سهراب هاشمی نژاد، مهدی بیجاری* و مهدی اشرفی نصرآبادی

کلمات کلیدی

برنامه‌ریزی تولید،
زمان‌بندی سفارشات،
برنامه‌ریزی ریاضی MIP،
نورد سرد

چکیده:

در صنعت فولاد که حجم عظیمی از ثروت، نیروی کار و انرژی مورد استفاده است،کوچکترین بهبود در برنامه‌ریزی می‌تواند اثرات چشمگیری در کاهش هزینه‌ها، کاهش مصرف انرژی، کاهش زمان تولید و زمان تحویل و افزایش رضایت مشتریان داشته باشد. در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی MIP جهت زمان‌بندیسفارشات بر روی ماشین‌ها در ناحیه نورد سرد ارائه شده است. برای شرایطی که حجم متغیرهای مسئله بسیار زیاد است و رایانه قادر به دادن جواب بهینه در زمان قابل قبول نیست، پس از بدست آمدن جواب اولیه حاصل از مدل، یکسری محدودیت به مدل اضافه شده و مدل مجدداً اجرامی-شود. داده‌های واقعی ناحیه نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه توسط این مدل در دو مرحله، بدون محدودیت صفر و یک و با محدودیت صفر و یک در برخی نقاط و اضافه کردن محدودیت‌های دیگر، با استفاده از نرم افزار GAMS حل شده و خروجی مورد نظر، یعنی میزان تولید هر محصول روی هر ماشین به تفکیک روز در افق زمانی سه ماهه بدست آمده است. در انتها با مقایسه مقادیر تولید شده واقعی بابرنامه خروجی حاصل شده از مدل، کاهش قابل توجهی در حجم سفارشات به تأخیر افتاده و ظرفیت استفاده نشده ماشین‌ها نشان داده می‌شود.

۱. مقدمه

امروزه روندروبه رشد پیچیدگی در صنایع تولیدی و نیاز به کارایی بیشتر، استفاده از تکنولوژی‌های 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 مود نیاز را در حجم کم و تنوع زیاد تولید نماید.

در عصر حاضر نگرش صنایع قدرتمند تولید فولاد به سمت تولید به موقعJIT[2]می‌باشد[۱]. تعیین دقیق موعد تحویل، تجاوز نکردن از آن و کاهش بازه زمانی دریافت سفارش تا موعد تحویل[3] در کنار کیفیت بالای محصول از جمله نشانه‌های قدرت برنامه‌ریزی تولید یک کارخانه می‌باشد. لذا برنامه‌ریزی و زمان‌بندی[4] تولید بعنوان عناصر کلیدی در مدیریت تولید بیشترین نقش را ایفا می-کنند.

این تحقیق بدنبال بدست آوردن یک مدل کارا، جهت زمان‌بندی تولید سفارشات در خطوط تولید ناحیه نورد سرد مجتمع فولاد می‌باشد، تا بتواند علاوه بر کاهش موجودی انبارها و استفاده بهینه از خطوط تولید، هزینه‌های ناشی از دیرکرد را کاهش داده و باعث افزایش اعتبار و جایگاه شرکت شود. واحد برنامه‌ریزی نورد سرد بدنبال برنامه‌ای است که در ابتدای هر ماه مشخص کند در

تاریخ وصول: ۹۰/۶/۳۰
تاریخ تصویب: ۹۱/۴/۱۷

سهراب هاشمی نژاد،دانشکده مهندسی صنایع و سیستم¬ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، s.hasheminezhad@in.iut.ac.ir
*نویسنده مسئول مقاله: **دکتر مهدی بیجاری**،دانشکده مهندسی صنایع و سیستم¬ها، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، bijari@cc.iut.ac.ir
مهدی اشرفی نصرآبادی، واحد مهندسی صنایع، مجتمع فولاد مبارکه، مبارکه، ashrafi1976@yahoo.com

[2] *Just in time*
[3] *Lead time*
[4] *Scheduling*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

طول ۳۰ روز آتی سفارشات باید چگونه در خطوط حرکت کنند و هر ماشین در هر روز چه سفارشاتی را به چه میزان تولید کند، همچنین ظرفیت استفاده نشده ماشین‌ها وزمان‌های تحویل سفارشات به مشتریان در طول این ماه به چه صورت است. در حال حاضر برنامه‌ریزی در اکثر نواحی تولید بخصوص ناحیه نورد سرد بطور مستمر دستخوش تغییرات شده و هزینه زیادی بابت تأخیرات و ظرفیت استفاده نشده ماشین‌ها صرف می‌شود، به صورتیکه مبالغ هنگفتی هر سال بابت عدم تحویل به موقع سفارشات به مشتریان پرداخت می‌گردد.

در این تحقیق به منظور تهیه برنامه بهینه تولید روزانه روی هر کدام از ماشین‌های ناحیه نورد سرد در افق سه ماهه، با توجه به تعداد زیاد متغیرها، ابتدا سفارشات با توجه به چند ویژگی بارز به محصول تبدیل شده، از ابتدای خطوط تا انبارهای نهایی انتقال یافته و سپس مجدداً به سفارش تبدیل و تحویل مشتری می‌شوند. یکسری از محدودیت‌های تکنولوژیکی خاص تولید ناحیه نورد سرد نیز در نظر گرفته شده و بصورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک مختلط ارائه گردیده است که در دسته مدل‌های برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط[1] قرار می‌گیرد. این مدل بوسیله نرم‌افزار GAMS 23.5.2_win32 توسط رایانه‌ای با CPU 2.93GHz و 32GB حافظه حل شده و خروجی‌های مدل شامل: میزان تولید هر محصول روی هر ماشین، برنامه سفارشات داخلی مورد نیاز از نورد گرم، ظرفیت استفاده نشده هر ماشین، مقادیر تحویل سفارشات به مشتری و موجودی انبارها به تفکیک روز در افق زمانی سه ماهه بدست آمده است.

لازم بذکر است مدل در دو مرحله، ابتدا بدون محدودیت صفر و یک و سپس با توجه به جواب اولیه حاصل شده با اعمال محدودیت صفر و یک در محدوده کوچکتری از نقاط و اضافه کردن محدودیت‌های دیگر حل شده است..

در ادامه شرح مختصری از روش‌ها به تفکیک، همراه با زمینه‌های مورد تحقیق و ایده حل تعدادی از مدل‌ها بطور اختصار آمده است.سپس گراف جریان و ویژگی‌های تولید ناحیه نورد سرد، اهداف و محدودیت‌های مسئله تشریح می‌گردد. در بخش چهارم مدل برنامه‌ریزی ریاضیصفر و یک مختلط ارائه شده و در بخش پنجم با استفاده از داده های واقعی ناحیه نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه و ویژگی‌های تکنولوژیکی خطوط مجتمع فولاد مبارکه، به تحلیل مدل، تفسیر نتایج و مقایسه تولید صورت گرفته در محیط واقعی، با خروجی بدست آمده ازمدل پرداخته شده و نهایتاً نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

[1] *Mix Integer Linear Programming(MILP)*

۲. برنامه‌ریزی تولید در صنعت فولاد و مروری بر تحقیقات صورت گرفته

۲-۱.مشخصات مدل برنامه‌ریزی تولید در صنعت فولاد

عموماً در صنعت فولاد تولید بر اساس سفارش[2]، چند مرحله‌ای[3]، چند محصولی[4]، با ساختار جریانی وبصورت تک سطحی می‌باشد. با توجه به حجم تولید و پیچیدگی مراحل تولیدی، برنامه‌ریزی بصورت سلسله مراتبی می‌باشد و لذا افق برنامه‌ریزی در هر یک از سطوح برنامه‌ریزی متغیر می‌باشد. بطور معمول در سطح بلند مدت،سه تا پنج ساله، در سطح میان مدت، سالیانه و در سطوح کوتاه مدت، سه ماهه، ماهیانه و هفتگی می‌باشد. تا جایی‌که در برنامه‌ریزی کف کارگاه، افق بصورت روزانه می‌باشد.کمبود مجاز و جریمه دیرکرد در نظر گرفته می‌شود. در برخی از نواحی مانند ریخته‌گری و نوردگرم، آماده سازی بشدت وابسته به توالی بوده و در برخی از ماشین‌ها نیز با توجه به تکنولوژی تولید محدودیت توالی وجود دارد. هر چند تقاضا می‌تواند پویا باشد، لیکن با توجه به اینکه اکثر مشتریان محصول شناخته شده هستند می‌توان حدود تقاضا را تخمین زد[۲]. لازم بذکر است در سطح برنامه-ریزی مدنظر این تحقیق، ما با سفارشات تعهد شده روبرو هستیم و میزان تقاضا بعنوان یک ورودی ثابت در مدل لحاظ می‌شود.

از پرکاربردترین روش‌های برنامه‌ریزی تولید، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۱] :

روش تحقیق در عملیات[5]

هوش مصنوعی[6]، سیستم‌های خبره[7]

الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری (GA-SA-TS) ، روش ارضاء محدودیت[8]و تکنیک تعامل انسان- ماشین[9]

۲-۲. گزیده‌ای از تحقیقات صورت گرفته در صنعت فولاد

با توجه به استفاده از روش تحقیق در عملیات در حل مسئله، فقط به گزیده‌ای از تحقیقات صورت گرفته در این حوزه اشاره می‌شود. وانگ چن و همکاران[۳] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه برای زمان‌بندی توالی نوردگرم ارائه و با الگوریتم ترکیبی GA[10] و EO[11] آنرا حل نمودند.ریکاردو و همکاران[۴] یک مدل برنامه‌ریزی خطیعدد صحیح مختلط در یک تولید چند محصولیارائه و با ایده فروشنده دوره‌گرد آنرا حل نمودند. لالی و

[2] *Make To Order*
[3] *Multi Stage*
[4] *Multi Product*
[5] *Operation Research*
[6] *Artificial Intelligence*
[7] *Expert Systems*
[8] *Constraint Satisfacation Methods*
[9] *Human - Machine Interaction*
[10] *Genetic Algorithm*
[11] *Extremal Optimization*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

همکاران [۵] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای ترتیب‌بندی کارها در ریخته‌گری پیوسته و یک الگوریتم ابتکاری برای حل آن ارائه نمودند. بالاس و مارتین[۶] مسئله زمان‌بندی تولید نوردگرم را با استفاده از محدودیت‌های کوله‌پشتی و ترکیب با مدل فروشنده دوره‌گرد ارائه نمودند. پترسون[۷] نیز یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه جهت زمان‌بندی مواد ارائه و با یک الگوریتم ابتکاری آنرا حل کرده است.

کوسیبا [۸] یک مدل ریاضی برای بدست آوردن توالی نوردگرم ارائه و با ایده فروشنده دوره‌گرد (تختال‌ها، همان شهرها و ماشین نوردگرم، فروشنده دوره‌گرد می‌باشد) و استفاده از یک الگوریتم ابتکاری آنرا حل نموده است. تانگ و همکاران [۹] مدل برنامه-ریزی عدد صحیح مختلط جهت تعیین توالی ذوب‌ها در خطوط ریخته‌گری ارائه و با ایده فروشنده دوره‌گرد با محدودیت‌های کوله‌پشتی و استفاده از الگوریتم ژنتیک به حل آن پرداختند. لوپز و همکاران [۱۰] برای تعیین توالی تختال‌ها در واحد نوردگرم از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی استفاده و ایده ترکیب مسئله فروشنده دوره‌گرد و مسئله کوله‌پشتی را برای حل آن بکار گرفتند.

تانگ و همکاران[۱۱] از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی برای زمان‌بندی و ترتیب ذوب‌ها در فولادسازی و ریخته‌گری پیوسته(SM-CC)[1]استفاده و با تجزیه مدل، آنرا به مدل خطی تبدیل و با استفاده از پکیج‌های استاندارد آنرا حل نمودند. چن و لاه [۱۲] یک رویکرد جدید از آزادسازی لاگرانژین[2]را برای زمان-بندی job shop بر اساس تجزیه ماشین‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌های پیش‌نیازی ارائه نمودند. تانگ و همکاران [۱۳] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح جهت زمان‌بندی ذوب‌ها در SM-CC ارائه و با استفاده از آزادسازی لاگرانژین و الگوریتم ابتکاری به حل آن پرداختند.

هارجانکوسکی و گروسمن[۱۴] مسئله زمان‌بندی تولید فولاد با هدف 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 [۱۵]مدل برنامه ریزی ریاضی برای زمان‌بندی سفارشات در کارخانه فولاد باوشان چین را با هدف مینیمم‌کردن مجموع وزنی زمان تکمیل کارها ارائه نمودند.

برای حل از آزادسازی لاگرانژین و یک روش ابتکاری استفاده شده است. وان هوک و دبلز [۱۶] الگوریتم زمان‌بندی تولید چند هدفه با ظرفیت محدود را ارائه و آنرا در کارخانه فولاد بلژیک پیاده کردند. تابع هدف کمینه‌کردن هزینه‌های تخصیص، دیرکرد، زودکرد، بیکاری ماشین‌ها و انحراف از برنامه تولید تعیین شده است.

رویکرد حل یک الگوریتم ابتکاری دو مرحله‌ای می‌باشد.در این تحقیق از سه روش تخصیص حریصانه بر اساس هزینه تخصیص[3]، تخصیص حریصانه بر اساس هزینه تخصیص، مطلوبیت و جریان تولید[4] و جستجوی محلی تخصیص[5] استفاده شده است و در مرحله دوم زمان‌بندی عملیات تولید هر سفارش بر روی هر ماشین با رویکرد کوله پشتی[6] بدست می‌آید.

اشرفی و بیجاری [۲] ابتدا بوسیله یک مدل چند هدفه یک زمان‌بندی اولیه از تولید سفارشات در خطوط مختلف تعیین و آنرا با برنامه‌ریزی آرمانی حل نمودند و سپس با استفاده از جواب‌های این مدل، یک مدل خطی عدد صحیح دیگر برای تعیین ترتیب ذوب روی ماشین‌های ریخته‌گری با تابع هدف کمینه‌کردن زمان ختم آخرین توالی بر روی ماشین‌ها ارائه و به کمک روش SAحل نمودند.

۳. تعریف مسئله

پس از تبدیل سنگ آهن به گندله و احیاء آن، محصول بدست آمده در کوره‌های قوس الکتریک تبدیل به مذاب شده و سپس طی فرآیند ریخته‌گری پیوسته تبدیل به تختال می‌شود. تختال‌ها در ناحیه نورد گرم پس از عبور از ماشین نورد، بصورت کلاف گرم درآمده و بعنوان محصول نیمه‌ساخته وارد ناحیه نورد سرد می شوند. کلاف‌هایی که از نورد گرم وارد نورد سرد می‌شوند ابتدا از فرآیند اسیدشویی عبور می‌کنند.

این محصول میتواند بعنوان کلاف اسیدشویی (محصول نهایی) فروخته شود و یا به ماشین‌های بعدی جهت ادامه سیکل فرستاده شود. در مرحله بعد کلاف‌ها بصورت سرد از بین غلتک‌ها عبور داده می شوند تا ضخامت ورق باز هم کاهش یابد.محصول این مرحله نیز می‌تواند مستقیماً به مشتری عرضه شود یا برای تبدیل به محصولاتی از قبیل ورق‌های برش یافته ، گالوانیزه ، قلع اندود ، رنگی ، نوار باریک و ... به خطوط مربوطه منتقل شود.

محصولات نهایی ناحیه نورد سرد مشتمل بر ۱۲ خانواده محصول عبارت از کلاف اسید شویی، کلاف خام، ورق سرد، کلاف سرد اصلاح شده، کلاف اسکین شده، ورق قلع اندود، کلاف قلع اندود، کلاف رنگی، نوار باریک، کلاف گالوانیزه، ورق گالوانیزه و نوار باریک گالوانیزه می‌باشند.شرایط محیط تولید بصورت جریانی، چند مرحله‌ای، با خطوط تولید تک ماشینی/ ماشین‌های موازی و

[1] *Steel Making - Continuous Casting*
[2] *Lagrangian Relaxation*
[3] *Greedy assignment(based on assignment cost)*
[4] *Greedy assignment(based on assignment , utilization and production flow cost)*
[5] *Local search assignmen*
[6] *Knapsack*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

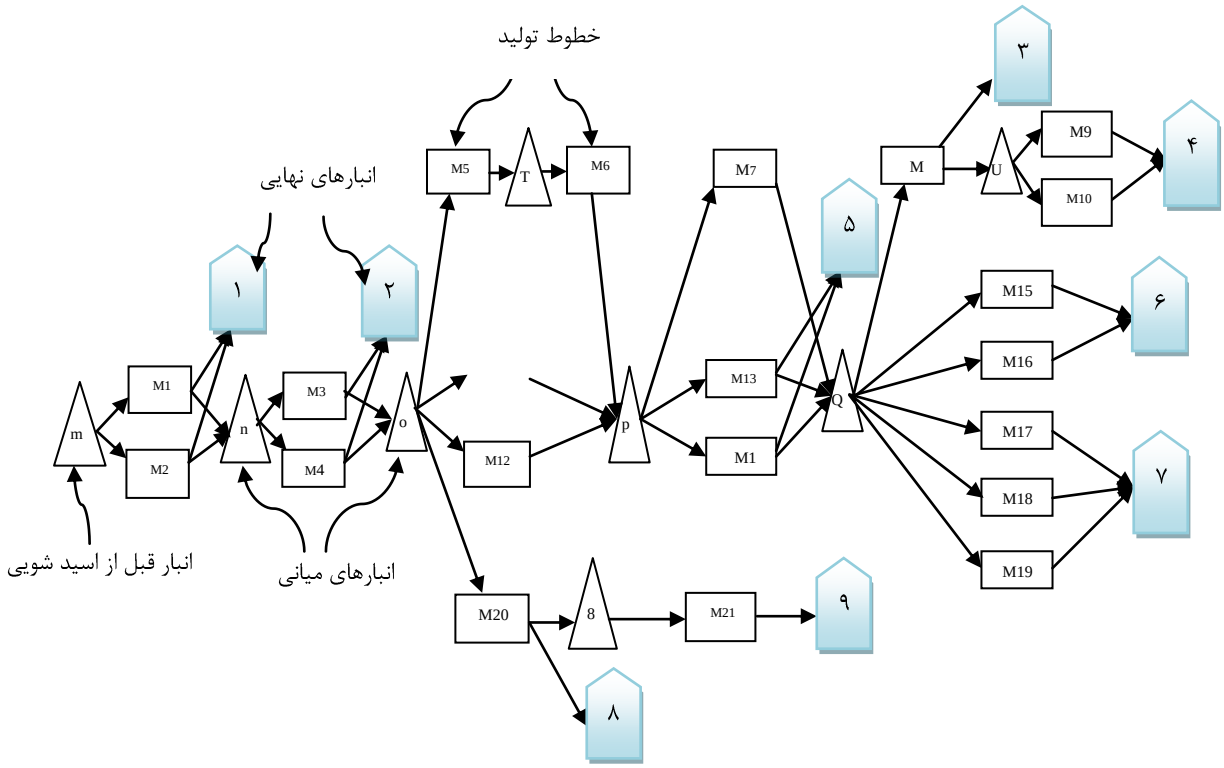
یکسان/ ماشین‌های موازی و غیر یکسان و بیش از ۲۰۰۰ سفارش متنوع با تاریخ‌های تحویل متفاوت می‌باشد.

۳-۱. تابع هدف و محدودیت‌ها

خروجی مورد انتظار،میزان تولید هر سفارش در هر روز روی هر یک از ماشین‌ها است، بطوریکه:

- ✓ میزان تأخیر سفارشات کمینه گردد.
- ✓ هزینه نگهداری موجودی (زودکرد)در انبارهاکمینه گردد.
- ✓ حجم محصولات در انبارهای میانی بین خطوط در یک محدوده قابل قبولی از ظرفیت باشند.
- ✓ شرایط تحویل به مشتری از طرف کارخانه و مشتری در نظر گرفته شود.
- ✓ برنامه‌های تعمیرات اساسی و اضطراری در نظر گرفته شود.
- ✓ میزان کلاف با عرض و ضخامت قابل قبول جهت تولید روی ماشین‌های نورد دیده شود.
- ✓ بتوان از ماشین‌ها بخصوص غلتک‌ها بیشترین بهره‌برداری را نمود. (کاهش تعداد آماده‌سازی‌ها)
- ✓ ورودی امکان‌پذیر از واحد نورد گرم به انبار اسیدشویی در نظر گرفته شود و برنامه ضمانت اجرا داشته باشد.
- ✓ حداقل تولید جهت راه‌اندازی ماشین‌ها در یک روز در نظر گرفته شود (راه اندازی ماشین در یک روز به صرفه باشد).

مسیر تولید ناحیه نورد سرد شامل ۲۱ خط تولید، ۸ انبار میانی و ۹ انبار نهایی جهت بارگیری و تحویل سفارشات می‌باشد. شکل ۱-۳ جریان تولید در ناحیه نورد سرد، ماشین آلات و انبارهای میانی و نهایی را جهت استفاده در مدل برنامه‌ریزی نشان می‌دهد.



شکل ۱.گراف جریان تولید ناحیه نورد سرد

لازم بذکر است تاریخ تحویل سفارشات پایان هر ماه می‌باشدو مشتری علاوه بر مشخص نمودن نوع ، مقدار و ماه دریافت سفارش ، نحوه دریافت سفارش را نیز مشخص می‌کند. هزینه تأخیر از زمان تحویل هر سفارش با توجه به مبلغ اولیه پرداخت شده توسط مشتری و حجم سفارش و دیگر پارامترهای مؤثر مانند صادراتی بودن یا استفاده در داخل، برای هر سفارش در هر روز توسط واحد فروش تعیین می‌شود. برخی از سفارشات با توجه به استراتژی شرکت اولویت بیشتری برای عدم تأخیر در تولید، نسبت به دیگر سفارشات- با موعد تحویل و شرایط یکسان- دارند. که این ویژگی نیز بایستی در مدل اعمال شود.

۳-۲.ویژگی‌های خاص در برنامه تولید مجتمع فولاد مبارکه

برنامه‌ریزی تولید در مجتمع، به‌گونه‌ای است که یک محصول پس از پردازش بر روی یک ماشین باید یک مدت زمان مشخص بطور

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

مثال دو شیفت در انبار بماند و سپس می‌توان آن را برای پردازش بر روی ماشین بعدی در برنامه قرار داد(یعنییک محصول در یک شیفت نمی‌تواند بر روی دو ماشین پردازش شود). علاوه بر این در برخی از ماشین‌ها مانند بازپخت، برای افزایش کیفیت محصول مدت زمان ماندن در انبار قبل از ماشین بعدی در سیکل تولید را از ۲۴ ساعت تا ۷۲ ساعت تعریف می‌کنند.

همچنین مقرون به صرفه نیست که یک خط در یک روز برای هر میزان تولید شروع به‌کار کند. در صورت راه اندازی ماشین در یک روز بایستی یک میزان حداقلی در آن روز تولید شود و در غیر این صورت بایستیماشین در آن روز تعطیل باشد. در این تحقیق میزان حداقل تولید برای راه‌اندازی ماشین‌ها (با توجه به سه شیفته بودن کارخانه)، ۹۰ درصد یک سوم حداکثر ظرفیت ماشین در یک روز در نظر گرفته شده که این مقدار با توجه به نظر مدیران می‌تواند تغییر کند.

۴. مدل برنامه‌ریزی ریاضی صفر و یک مختلط

اندیس‌ها

سفارش : $i= 1,2,\ldots,2648$

محصول : $p= 1,2,\ldots,782$

ماشین (خط تولید) : $j= 1,2,\ldots,21$

روز : $t= 1,2,\ldots,90$

انبارهای میانی : $y= 1,2,\ldots,8$

انبارهای نهایی : $f= 1,2,\ldots,9$

v :انواع محصولات از لحاظ ابعاد (عرض و ضخامت)

مجموعه‌ها

$A(p,y)$: مجموعه ماشین‌های بلافاصله قبل از انبار y در سیکل تولید محصول p

$B(p,y)$: مجموعه ماشین‌های بلافاصله بعد از انبار y در سیکل تولید محصول p

$C(p)$: مجموعه ماشین‌های نهایی در سیکل تولید محصول p

$D(P,j)$: مجموعه ماشین‌های بلافاصله بعد از ماشین jدر سیکل تولید محصول p

$E(p)$: مجموعه سفارشات تبدیل شده به محصول P

پارامترهای ورودی

D_i : تقاضای سفارش i

d_i : موعد تحویل سفارش i

R_{i0} : مقدار تحویل نشده از سفارش i در ابتدای دوره (تقاضای سفارش i)

$\pi_{i,t}$: جریمه دیرکرد مقدار تحویل نشده سفارش i بمدت t روز

w_i : اهمیت سفارش i جهت تحویل به موقع

$rt(j)$: حداقل زمان ماند محصولات (سفارشات) در انبار قبل از ماشین j

IA^{+}_{pyt} : موجودی در دسترس محصول p در انبار y در پایان روز t

SF_y : حداقل موجودی انبار میانی y (جهت جلوگیری از توقف تولید)

$wid(p)$: ابعاد محصول p

h_{pyt} : هزینه نگهداری محصول p در انبارمیانی y

h_{pft} : هزینه نگهداری محصول p در انبار نهایی f

α_{pj} : ضریب بازدهی ماشین j برای تولید محصول p

I_{py0} : موجودی اولیه محصول p در انبار میانی y در ابتدای دوره

IF_{pf0} : موجودی اولیه محصول p در انبار نهایی f در ابتدای دوره

CAP_{jt} : ظرفیت در دسترس ماشین j در روز t

T_{pj} : مدت زمان صرف شده برای تولید یک تن از محصول p روی ماشین j بر حسب ساعت

$minCCAP_{it}$: مینیمم ظرفیت حمل مورد نظر مشتری i در روز t

$maxCCAP_{it}$: ماکزیمم ظرفیت حمل مورد نظر مشتری i در روزt

$maxCT_{ft}$: ماکزیمم ظرفیت حمل از انبار نهایی f در روز t

UI_y : ماکزیمم ظرفیت انبار میانیy

UI_f : ماکزیمم ظرفیت انبار نهاییf

b_{pkj} : اگر در سیکل تولید محصول p ماشین k بلافاصله قبل از ماشین j باشد $b_{pkj} = 1$ ، در غیر اینصورت $b_{pkj} = 0$

y_{pj} : اگر در سیکل تولید p ماشین j وجود داشته باشدy_{pj}=1 ، در غیر اینصورت y_{pj}=0

q_{pj} : اگر در سیکل تولید p ماشین j آخرین مرحله تولید باشد q_{pj}=1 ، در غیر اینصورتq_{pj}=0

Max $Camp(v,j,t)$: ماکزیمم تولید محصول با ابعاد v در روز t با توجه به محدودیت ماند (کمپین) مربوط به ماشین¬های نورد تاندم و دوقفسه¬ای

Max $Camp(v,n,t)$: ماکزیمم تولید محصول با ابعاد v در روز t با توجه به محدودیت کمپین ماشین نورد گرم

Min CP_j : حداقل میزان تولید ماشین j در یک روز برای راه-اندازی آن

متغیرهای تصمیم

X_{pjt} : میزان تولید سفارش p در ماشین j در روزt

Z_{pkjt} : مقدار محصول p انتقال یافته ازماشین k به انبار قبل از ماشین j در روزt

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

ZF_{pjt}: مقدار محصول p انتقال یافته ازماشینj به انبار نهایی بعد از آن در روزt

N_{pt} : مقدار محصول p انتقال یافته ازماشین نورد گرم بـه انبـار اسید شویی در روزt

I^{+}_{pyt} : موجودی p باقیمانده در انبار y در پایان روزt

IF^{+}_{pft} : موجودی p باقیمانده در انبار نهایی f در پایان روزt

R_{it} : مقدار تحویل نشده از سفارش i در روز t

S_{ift} : مقداری از سفارش i که در روزt از انبار نهایی f به مشـتری تحویل می‌شود

Yit : اگر ماشین j در روزt تولید کند یک در غیراینصورت صفر

تابع هدف

$$Min: Z = \sum_i w_i * [\sum_{t>d_i}(\pi_{i,t-d_i} * R_{it})] + \sum_p \sum_y \sum_t h_{pyt} * I^{+}_{pyt} + \sum_p \sum_t h_{pft} * IF^{+}_{pft}$$

تابع هدف عبارتست از: کمینه کردن وزنی مجموع هزینه تـأخیر و هزینه نگهداری موجودی در انبارهای میانی و نهایی (هزینه‌ها هم دیمانسیون و برحسب واحد پول بیان می‌شوند).

محدودیت‌ها

$$I^{+}_{p11} = I_{p10} + N_{p1} - \sum_{j\epsilon B(p,1)} \alpha_{pj} * X_{pj1} \quad (۱)$$

$$I^{+}_{p1t} = I^{+}_{p1t-1} + N_{pt} - \sum_{j\epsilon B(p,1)} \alpha_{pj} * X_{pjt} \quad (۲)$$

$$I^{+}_{py1} = I_{py0} + \sum_{k\epsilon A(p,y)} \sum_{j\epsilon B(p,y)} Z_{pkj1} - \sum_{j\epsilon B(p,y)} \alpha_{pj} * X_{pj1} \quad (۳)$$

$$I^{+}_{pyt} = I^{+}_{pyt-1} + \sum_{k\epsilon A(P,y)} \sum_{j\epsilon B(P,y)} Z_{pkjt} - \sum_{j\epsilon B(P,y)} \alpha_{pj} * X_{pjt} \quad (۴)$$

$$IA^{+}_{p11} = IA_{p10} - \sum_{j\epsilon B(p,1)} \alpha_{pj} * X_{pj1} \quad (۵)$$

$$IA^{+}_{p1t} = IA^{+}_{p1t-1} + N_{pt-rt(1)} - \sum_{j\epsilon B(p,1)} \alpha_{pj} * X_{pjt} \quad (۶)$$

$$IA^{+}_{py1} = IA_{py0} - \sum_{j\epsilon B(p,y)} \alpha_{pj} * X_{pj1} \quad (۷)$$

$$IA^{+}_{pyt} = IA^{+}_{pyt-1} + \sum_{k\epsilon A(P,y)} \sum_{j\epsilon B(P,y)} Z_{pkjt-rt(j)} - \sum_{j\epsilon B(p,y)} \alpha_{pj} * X_{pjt} \quad (۸)$$

$$IF^{+}_{pf1} = IF_{pf0} + \sum_{j\epsilon C(p)} ZF_{pj1} - \sum_{i\epsilon E(p)} S_{if1} \quad (۹)$$

$$IF^{+}_{pft} = IF^{+}_{pft-1} + \sum_{j\epsilon C(p)} ZF_{pjt} - \sum_{i\epsilon E(p)} S_{ift} \quad (۱۰)$$

$$x_{pjt} = ZF_{pjt} + \sum_{k\epsilon D(p,j)} Z_{pjkt} \quad (۱۱)$$

$$\sum_p \alpha_{pj} * x_{pjt} * T_{pj} \le CAP_{jt} \quad (۱۲)$$

$$minCCAP_{it} \le S_{ift} \le maxCCAP_{it} \quad (۱۳)$$

$$\sum_i S_{ift} \le maxCT_{ft} \quad (۱۴)$$

$$SF_y \le \sum_p I^{+}_{pyt} \le UI_y \quad (۱۵)$$

$$\sum_p IF^{+}_{pft} \le UI_f \quad (۱۶)$$

$$Z_{pkjt} \le M * b_{pkj} \quad (۱۷)$$

$$X_{pjt} \le M * y_{pj} \quad (۱۸)$$

$$ZF_{pjt} \le M * q_{pj} \quad (۱۹)$$

$$R_{it} = R_{it-1} - \sum_f S_{ift} \quad (۲۰)$$

$$R_{i0} = D_i \quad (۲۱)$$

$$\sum_{wid(p)=v} X_{pjt} \le Max\ Camp(v,j,t) \quad (۲۲)$$

$$\sum_{wid(p)=v} N_{pt} \le Max\ Camp(v,n,t) \quad (۲۳)$$

$$Min\ CP_j * Y_{jt} \le \sum_p X_{pjt} \le CAP_{jt} * Y_{jt} \quad (۲۴)$$

$$X_{pjt}, Z_{pkjt}, ZF_{pjt}, I^{+}_{pyt}, IF^{+}_{pft}, s_{ift}, R_{it} \ge 0 \quad (۲۵)$$

$$Y_{jt} = 0, 1 \quad (۲۶)$$

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

حدود اندیسها در محدودیتها:

$1 \le i \le 2648$ ، $1 \le p \le 782$ ، $1 \le j \le 211$

$1 \le f \le 9 \le ۱$, $1 \le y \le 8$, $1 \le t \le 90$

محدودیت‌های (۱) تا (۴) تعادل موجودی را در انبارهای میانی نشان می‌دهند. محدودیت‌های (۵) تا (۸) موجودی در دسترس یا قابل تولید در انبارهای نهایی را شامل می‌شوند و باعث می‌گردند تا یک محصول در یک روز بلافاصله بعد از پردازش روی یک ماشین نتواند بر روی ماشین بعدی پردازش شود. محدودیت‌های (۹) و (۱۰) تعادل موجودی را در انبارهای نهایی نشان می‌دهند. در این محدودیت‌ها تبدیل محصولات به سفارشات در انبارهای نهایی نشان داده شده است.

محدودیت (۱۱) تعادل تولید، محدودیت (۱۲) حداکثر ظرفیت ماشین‌ها، محدودیت (۱۳) محدوده دریافت مشتری، محدودیت (۱۴) ماکزیمم ظرفیت تحویل کارخانه، محدودیت (۱۵) محدوده ظرفیت انبارهای میانی، محدودیت (۱۶) ماکزیمم ظرفیت انبارهای نهایی و محدودیت‌های (۱۷) تا (۱۹) سیکل تولید محصولات را مشخص می‌کنند. محدودیت (۲۰) مقادیر تحویل نشده سفارشات در هر روز را نشان می‌دهد و محدودیت (۲۱) مشخص می‌کند این مقدار در ابتدای دوره برابر با مقدار تقاضا است.

محدودیت (۲۲) مقادیر قابل تولید را با توجه به محدودیت کمپین در ماشین‌های نورد تاندم و دو قفسه‌ای در نظر می‌گیرد.

محدودیت (۲۳) مقادیر انتقال یافته از نورد گرم به انبار اسیدشویی را با توجه به محدودیت کمپین ماشین نورد گرم در نظر می‌گیرد.

محدودیت(۲۴) باعث می‌شود اگر مجموع تولید روی یک ماشین در یک روز کمتر از حد قابل قبول باشد، آنروز اصلاً تولیدی صورت نپذیرد. محدودیت (۲۵) منفی نبودن متغیرها را اعمال می‌کند و نهایتاً محدودیت آخر صفر و یک بودن متغیر Y_{jt} را نشان می‌دهد.

با حل مدل فوق مقادیر میزان تولید سفارش p در ماشین j در روز t (X_{pjt})، مقدار محصول p انتقال یافته ازماشین k به انبار قبل از ماشین j در دوره t (Z_{pkjt})، مقدار محصول p انتقال یافته ازماشین j به انبار نهایی بعد از آن در دوره t (ZF_{pjt})، موجودی p باقیمانده در انبار y در پایان دوره t (I^{+}_{pyt})، موجودی p باقیمانده در انبار نهایی f در پایان دوره t (IF^{+}_{pft})، مقدار سفارش i تحویل شده در دوره t (S_{ift})، مقدار محصول p انتقال یافته ازماشین نورد گرم به انبار اسید شویی در دوره t (N_{pt}) و روزهای توقف خطوط بصورت مستقیم و ظرفیت استفاده نشده ماشین آلات بصورت غیر مستقیم بدست می‌آید.

۵. حل مدل و ارائه نتایج عددی

اطلاعات مورد نیاز شامل: خانواده محصول، سیکل تولید، عرض، ضخامت، موعد تحویل، کیفیت داخلی و خارجی مورد نظر، کد لبه زنی، سیکل آنیل، مقدار نیاز سفارش، مقدار تحویل شده، شرایط دریافت سفارش تعیین شده توسط مشتری، شرایط تحویل محصولات از انبارهای نهایی تعیین شده توسط کارخانه، مقدار آماده تحویل در انبارهای نهایی و موجودی در انبارهای میانی به تفکیک هر انبار، هزینه تأخیر از موعد تحویل، درجه اهمیت سفارش از دید مدیریت، ظرفیت تولید هر ماشین، برنامه نگهداری و تعمیرات هرخط، ظرفیت ماکزیمم هر انبار، ظرفیت بهینه هر انبار جهت جلوگیری از توقف خط، ظرفیت حمل از انبارهای نهایی در هر روز، هزینه‌های متغیر و ثابت در انبارها، حداقل تولید ماشین‌ها جهت راه اندازی آنها در یک روز، ترکیب تولید در خطوط نورد سرد، ترکیب ابعادی قابل دریافت از نورد گرم و حداقل زمان ماند سفارشات در انبارها جهت برنامه شدن از واحد برنامه‌ریزی نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه دریافت گردید.

برای حل مسئله ابتدا باید حجم متغیرها کاهش داده شود. برای این منظور با توجه به خصوصیات سفارشات از جمله: خانواده محصول، سیکل تولید، عرض، ضخامت، کیفیت داخلی و خارجی، سیکل آنیل و مشخصات لبه زنی، سفارشات مشابه را به محصول تبدیل می‌کنیم.

با این کار حجم متغیرها به حدود یک سوم کاهش می‌یابد. تفاوت زمان حل و تعداد متغیرها در تبدیل سفارشات به محصول بدون اعمال محدودیت شامل متغییرهای صفر و یک در جدول ۱ نشان داده شده است.

در اجرای مدل بدلیل حجم بالای متغیرها (بالغ بر ۱،۷ میلیون متغیر) و وجود متغیرهای صفر و یک، یک رایانه پیشرفته با حافظه بالا نیز توانایی حل مدل را نداشت. لذا برای حل مدل ابتدا بدون در نظر گرفتن محدودیت (۲۴) شامل متغیرهای صفر و یک، مدل را بصورت خطی حل نموده و جواب بهینه را بدست می‌آوریم. این جواب فقط فاقد یکی از شرایط اجرایی شدن می‌باشد.

در این جواب اگر مجموع میزان تولید سفارشات روی ماشین‌ها، مورد نظر قرار گیرد، ملاحظه می‌شود میزان تولید در برخی روزها کمتر از حد قابل قبول است و اصلاً به صرفه نیست که ماشین در برخی از روزها راه‌اندازی شود.

جدول ۲ جواب اولیه مجموع میزان تولید محصولات بر روی ماشین‌های مختلف در ۱۵ روز اول برنامه‌ریزی، که از مدل خطی بدست آمده است را نشان می‌دهد. نقاط مشخص شده در جدول، مقادیری کمتر از حد قابل قبول برای راه‌اندازی ماشین در آن روز دارند.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

جدول۱.تفاوت زمان حل مدل با تعداد سفارشات مختلف(بدون اعمال محدودیت صفر و یک)

تعداد محصول	تعداد سفارش	تعداد متغیرها	زمان حل با سیستم معمولی CPU2.8GHz و حافظه 3.25GB	زمان حل با سیستم پیشرفته مرکز اطلاع‌رسانی با ۳۲ گیگا بایت حافظه
۱۰۰	۲۶۱	۹۱۹۷۶	۵۸/۱۷ ثانیه	۴/۵۴ ثانیه
۲۰۰	۵۷۰	۳۱۷۴۱۹	۱/۴۲ دقیقه	۱۸/۱۲ ثانیه
۳۰۰	۸۱۵	۵۴۲۵۱۱	۳/۳۰ دقیقه	۵۶ ثانیه
۵۰۰	۱۳۳۴	۹۹۶۲۸۹	۳/۸۹ دقیقه	۲:۲۵ دقیقه
۷۸۲	۲۶۴۸	۱۷۰۱۴۳۵	۴/۵۲ ساعت	۲:۴۸ ساعت

جدول ۲. مجموع میزان تولید محصولات بر روی ماشین‌های مختلف در ۱۵ روز اول

ماشین	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2648	2646	2636	2635	2632	2641	2632	2632	2632	2674	2726	2632	2700	2700	2618
2	2689	2659	2646	2652	2632	2634	2650	2632	2632	2632	2634	2595	2632	2686	206
3	358	444.3	444	445	445	444.5	418	447	445.5	442	442	444	131	443	0
4	3479	3479	3480	3480	3479	2065	757	1085	3479	3479	3479	2501	3199	3451	1384
5	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	471	488	488	488	488
6	420	420	420	420	420	420	410	420	420	56.6	420	377	262	420	409
7	441	154.9	576	98.4	72.4	53.36	503	307	508.3	76.7	663	541	663	663	575
8	0	308.4	332	294	0	169.2	163	285	199.8	185	309	332	49.2	173	37.8
9	121	121.2	121	121	121	121.2	121	121	121.2	121	121	121	121	121	121
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1346	939	1400
12	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
13	1908	1562	434	446	0	111.3	1914	993	1437	1578	1909	734	1476	1915	628
14	1951	295.4	621	119	497	140.3	751	1961	1138	1630	127	1856	831	145	1962
15	491	359.3	105	94.1	79.6	12.07	0	491	77.58	491	491	395	194	491	491
16	678	678.3	387	678	336	287.3	23.5	678	57.92	312	678	649	383	678	409
17	511	511.4	511	511	511	511.4	511	511	511.4	511	511	511	511	511	511
18	511	511.4	511	511	511	511.4	511	511	511.4	511	511	511	511	511	511
19	104	104.1	0	0	0	4.737	9.12	104	104.1	104	104	104	104	104	104
20	591	592.8	597	595	591	594	592	593	601.5	598	601	598	591	597	591
21	394	12.35	415	19.1	121	410.5	415	99.8	0	126	415	415	415	415	415

لذا برای رفع این مشکل و اجراییشدن جواب‌های بدست آمده، پس از دریافت جواب‌های اولیه، یکسری محدودیت‌ها با ویژگی‌های زیر به مدل اضافه و مدل مجدداً اجرا شده است.

۱-۵. مراحل بهبود جواب اولیه

گام اول: $\forall j , \forall t C_{jt} \sum_p X_{pjt} =$

گام دوم: به ازای j و t هایی که $0 < C_{jt} < MinCP_j$، محدودیت $MinCP_j * Y_{jt} \leq \sum_p X_{pjt} \leq CAP_{jt} * Y_{jt}$ را به مدل اضافه می‌کنیم. تعداد متغییرهای صفر و یک در این حالت کمتر از ۱۰ درصد حالتی است که محدودیت برای کل مدل نوشته شود.

گام سوم: برای جلوگیری از غیر قابل قبول شدن جواب‌های نقاط دیگر، محدودیت $\sum_p X_{pjt} \geq Min\, CP_j * Y_{jt}$ را به ازای j و tهای مربوط به آن نقاط به مدل اولیه اضافه نموده و مدل را مجدداً اجرا می‌نمائیم.

در این تحقیق با اضافه کردن یکسری از محدودیت‌ها به مدل، بعد از بدست آوردن جواب اولیه، یک جواب خوب حاصل شده است. در واقع مطلوب اینست که اگر مجموع تولید بر روی ماشینی در یک روز صفر است، همان مقدار باقی بماند و در صورتیکه بالای حد مجاز برای راه‌اندازی ماشین است، در جواب جدید کمتر از حد مجاز نشود.

لذا محدودیت شامل متغیرهای صفر و یک، در نقاط مشخص شده حاصل از جواب اولیهاعمال می‌شود. علاوه براین محدودیت‌ها، محدودیت‌هایی اضافه می‌کنیم تا مقادیر نقاط قابل قبول، کمتر از حد مجاز تولید نشوند و نقاطی که در جواب اولیه صفر شده‌اند تغییر نکنند.

این جواب کاملاً قابل قبول بوده و تمامی خواسته‌ها و شرایط محیط تولید را در بر می‌گیرد. جدول ۳میزان تولیدات بر روی ماشین‌های مختلف را در ۱۵ روز اول برنامه‌ریزی نشان می‌دهد.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

جدول ۳. مجموع میزان تولید محصولات بر روی ماشین‌های مختلف در ۱۵ روز اول (با اعمال محدودیت صفر و یک در نقاط مشخص شده جواب اولیه و محدودیت عدم ایجاد جواب‌های غیر قابل قبول در نقاط دیگر)

ماشین	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2212	2800	2800	2800	2000	2000	2000	2000	2800	2000	2000	2000	2000	2000	2979
2	2800	2800	2800	2800	2800	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	3433
3	400	400	0	800	0	0	400	0	400	0	0	400	800	0	0
4	3000	3500	3500	3500	3500	3500	3000	3000	3000	3500	3500	3500	0	3000	2473
5	473	469	0	450	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	350	350	350	350	350	0	0	350	350	0	350	350	350	0	350
7	0	0	500	0	0	0	0	500	500	500	0	0	0	0	695
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1400	1400	1400	1138	1000	1000	1000	1000	1000	1400	1000	1000	1000	1000	1086
12	1400	1400	1400	1400	1000	1400	1000	1400	1000	1000	1400	1000	1400	1400	1145
13	2200	1100	1100	0	0	0	1940	1100	1100	1100	1100	2200	0	1100	380
14	1665	1100	0	0	0	0	1437	1990	1220	1100	1100	1100	0	1100	709
15	550	400	0	0	0	0	0	400	400	0	400	400	400	0	0
16	645	500	500	0	500	500	0	500	500	500	500	0	0	0	0
17	703	703	703	703	0	350	350	703	703	703	350	700	350	700	367
18	821	821	821	691	300	0	300	821	821	821	821	600	600	600	0
19	193	0	0	0	0	0	0	267	267	267	267	163	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

۳-۵. مقایسه جواب بدست آمده از حل مدل با مقادیر واقعی تولید شده

مقایسه مقادیر واقعی میزان مجموع تولیدات با مقادیر بدست آمده از مدل در بازه زمانیاول بهمن ۱۳۸۹ تا نوزدهم اسفند ۱۳۸۹ در جدول۴آورده شده است. در این جدول میزان ظرفیت مازاد قابل استفاده از ماشین‌ها، با توجه به خروجی مدل ریاضی نشان داده شده است. هر چند ظرفیت بلا استفاده ماشین‌های ۵ و ۸ و ۱۳ و ۱۴ و ۱۹ افزایش یافته، لیکن با افزایش استفاده از ظرفیت ماشین‌های دیگر ۱۰/۳ درصد، کل تولید روی ماشین‌ها در این ۴۹ روز افزایش یافته است. طبق آمار واقعی مجتمع فولاد مبارکه، تعداد سفارشات تا پایان دوره برنامه‌ریزی ۲۶۴۸ سفارش بوده که تا پایان روز نوزدهم اسفند ماه، ۱۰۲۵ سفارش به میزان ۱۲۷۶۷۹ تن از آن به مشتری تحویل گردیده است.در حالیکه طبق خروجی مدل، تعداد ۱۳۴۸ سفارش به میزان ۱۴۹۳۱۷ تن در همین بازه زمانی می‌تواند تحویل گردد. بنابراین همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده است، با اجرای مدل در طولدوره برنامه‌ریزی ، ۱۷/۲ درصد سفارشات از لحاظ تعداد و ۱۶/۹ درصد سفارشات از لحاظ مقدار بیشتر نسبت به حال حاضر تحویل مشتری می‌گردد. انتظار می‌رود با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ارائه شده، افزایش قابل توجهی در استفاده از ظرفیت ماشین‌ها و کاهش موجودی انبارها و مهمتر از همه کاهش قابل توجهی در هزینه تأخیرات داشته باشیم.

جدول ۴.میزان بهبود در استفاده از مدل نسبت به روش فعلی

روش حل	کل میزان تولید ماشین ها (بر حسب تن)	تعداد سفارشات تحویل شده	مقدار وزنی سفارشات تحویل شده (برحسب تن)
فعلی(بصورت دستی)	۷۴۹۷۸۸,۳۴	۱۰۲۵	۱۲۷۶۷۹,۷۴
مدل ارائه شده	۸۲۷۰۱۹,۵۵	۱۲۰۲	۱۴۹۳۱۷,۶۳
درصد بهبود روش استفاده از مدل نسبت به حالت فعلی	۱۰,۳	۱۷,۲	۱۶,۹

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی

این تحقیق جهت ارائه یک مدل برنامه‌ریزی سفارشات در ناحیه نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه انجام شده مدل ارائه شده، یک مدل برنامه‌ریزی خطی صفر و یک مختلط است. این مدل بوسیله نرم افزار GAMS 32.5توسط رایانه‌ای با CPU 2.93GHzو 32GB حافظه بدون محدودیت شامل متغیرهای صفر و یک حل

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

شده است. با توجه به اجرایی نبودن جواب در برخی نقاط، محدودیت‌هایی به مدلاضافه و پس از حل مجدد، جواب مورد نیاز بدست آمده است.

یکی از مهم‌ترین چالش‌های این تحقیق وارد شدن متغییر صفر و یک به مدل و عدم توانایی حل مدل با یک نرم افزار قوی برنامه-ریزی ریاضی مانندGAMS می‌باشد. در صورتیکه تعداد سفارشات در این صنعت یا صنعت مشابه چند برابر باشد، ارائه یک راه حل ابتکاری برای رسیدن به یک جواب نزدیک به بهینه می‌تواند بعنوان تحقیقات آتی در نظر گرفته شود.برای پیگیری یک سفارش از ابتدای خطوط فولاد سازی، ضروری است که برنامه یکپارچه از ابتدای خطوط تولید تا انتهای خطوط نهایی ارائه شود. هرچند ظاهراً این برنامه بسیار سنگین و تعداد متغییرها بسیار زیاد و حل آن فقط با الگوریتم‌های ابتکاری ممکن است.

در طول انجام این تحقیق راهنمایی‌های ارزنده‌ای از طرف خانم کاوش، خانم سرشتی، آقای محمدرضا یداله پور و کارشناسان واحد برنامه‌ریزی نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه، آقای حیدری و دوست گرانقدر آقای حمیدرضا سعیدی مقدم صورت پذیرفت که جای تقدیر فراوان دارد.

مراجع

[۱] اشرفی نصرآبادی، م، ارائه مدل پذیرش سفارش و برنامه ریزی هماهنگ تولید هفتگی در خطوط فولادسازی و نورد گرم، دانشکده صنایع و سیستمها ، دانشگاه صنعتی اصفهان ، ۱۳۸۵.

[2] Tang, L.X., Liu, J.Y., Rong, A.Y., Yang, Z.H. "*A Review of Planning Andscheduling Systems and Methods for Integrated Steel Production*". European Journalof Operational Research, Vol.133, pp.1–20, 2001.

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

[4] Ricardo, M., Limaa, Ignacio, E., Grossmanna, Yu Jiao. *"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, 2011.

[5] Lally, B., Biegler, L., Henein, H., *"A Model for Sequencing Acontinuous Casting Operation to Minimize Costs",* Iron &Steelmaker, Vol.10, pp. 63-70, 1987.

[6] Balas, Martin, "*Combinatorial Optimization in Steel Rolling".* DIMACS/RUTCOR workshop on combinatorial optimization in science and technology.Rutgers University, New Brunswick, NJ, 1991.

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

[8] Kosiba, ED, Wright, JR, Cobbs, AE , *"Discrete Event Sequencing as a Travelling Salesman Problem",* Vol.19, pp.317-327, 1992.

[9] Tong, X., Silverman, J., Clausen, S., "*A Caster Sequencing Optimization Program for Geneva Steel's Facility Modernization Project",* presented at Annual AISE Convention, September 1994.

[10] Lopez, L., Carter, M.W., Gendreau, M., "*The Hot Strip Mill Production Scheduling Problem"*, Vol.106, pp. 317–335 1998.

[11] Tang, LX., Liu, JY., Rong, AY., Yang, ZH., *"A Mathematical Programming Model for Scheduling Steelmaking-Continuous Casting Production"*. European Journal of Operational Research, Vol.120, pp.423–35, 2000.

[12] Chen HX.,Luh PB. *"An Alternative Framework to Lagrangian Relaxation Approach for Job Shop Scheduling".;* European Journal of Operational Research, Vol.149, pp.499–512, 2003.

[13] Lixin Tang, Guoli Liu, "*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, 2007.

[14] Harjunkoski, I., Grossmann, I.E., *"A Decomposition Approach for the Scheduling of a Steel Plant Production*".Computer and Chemical Engineering; Vol.25, pp.1647-1660, 2001.

[15] Tang, L., Liu, G., "*A Mathematical Programming*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]

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

[16] Vanhoucke, M., Debels, D., *"A Finite-Capacity Production Scheduling Procedure for a Belgian Steel Company*", International Journal of Production Research, Vol.47, No.3, pp.561–584, 2009.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2025-07-20]