ارائه مدل کارای جریان مواد برای تحقق طرح توسعه شرکت فولاد خوزستان

روزبه محققزاده[۱]، فاطمه رعنایی‌فر[۲]، ایرج گردان‌شکن[۳]، محسن فتاحی اردکانی[۴]

چکیده

در خطوط تولیدی که فرایند تولید زمان‌بر است و توقف یک ایستگاه هزینه سنگینی به سیستم تحمیل می کند، مدیریت جریان مواد و آماده بودن مواد لازم برای هر مرحله از تولید بسیار ضروری است. در این مقاله، وضعیت گردش مواد در شرکت فولاد خوزستان در وضعیت موجود بررسی شده است و با شبیه‌سازی آن، گردش مناسب مواد جهت تحقق طرح توسعه شرکت و افزایش ظرفیت تولید از ۲/۱ میلیون تن به ۴/۲ میلیون تن در سال ارائه می‌شود.

بدین منظور تبادلات بین واحدهای کارخانه و شیوه‌های مختلف گردش مواد بین آنها مورد بررسی قرار گرفته، با توجه به وضعیت توزیع ساعتی گردش مواد و سهم سیستم‌های ریلی و جاده‌ای در گردش مواد، ۴ سناریو تعریف شده است. بر اساس نتایج مدل شبیه‌سازی، وضعیت موجود گردش مواد نمی‌تواند پاسخگوی نیازمندی‌های طرح توسعه باشد. از این رو در هر سناریو راه‌حل‌های مختلفی برای بهبود وضعیت جریان مواد بررسی شده و با تحلیل وضعیت گردش مواد و شناسایی گلوگاه‌ها، سناریوی اول به عنوان سناریوی امکان‌پذیر انتخاب شده است. طبق این نتایج تحقق برنامه تولید بدون افزایش ظرفیت سیستم ریلی ممکن نیست علاوه بر این نحوه خدمت‌دهی خدمت‌دهنده‌ها در برخی واحدها نیز باید تغییر کند.

کلمات کلیدی

جریان مواد، شبیه سازی، حمل و نقل، فولادسازی

An Efficient Model of Material Flow Management for Development Plan of Khuzestan Steel Company

Ruzbeh Mohagheghzadeh, Fatemeh ranaiefar, Iraj Gordanshekan, Mohsen Fattahi
Tarhe- Now Andishan Consulting Co.

Abstract

Since production is a time consuming process and discontinuance of one of production units imposes considerable cost on the system, material flow management and providing each stage with necessary material is essential. This paper studies the condition of material flow in KSC. Furthermore, through simulation, proper flow of material with the aim of achieving Company's development plan as well as increasing the production capacity from 2.1 to 4.2 million tons per year has been provided.

For this, the exchanges among different units and various modes for material transportation among these units have been studied. Considering the hourly distribution of materials and the share of railway and road in the material flow, four scenarios proposed. Based on the results obtained from the simulation model, the existing condition of materials flow cannot meet the requirements of the development plan. Thus, in each scenario various solutions for improving the condition of material flow have been studied. Through studying the condition of material flow and identifying the bottlenecks, the first scenario has been selected as the practical one. According to the results an appropriate production plan can't be achieved without increasing the capacity of the railway system. Moreover, some changes regarding the services provided by the servers have to be done in some units.

[1]کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل- [۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع- [۳] کارشناس متالورژی- [۴] کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل‌ونقل- شرکت طرح نواندیشان- تهران، بزرگراه کردستان، کوچه ۲۶، پلاک ۲۴- تلفن:۸۸۳۳۴۰۱۰- فاکس:۸۸۳۳۴۰۱۵

Keywords
Material flow, simulation, transportation, steel manufacturing

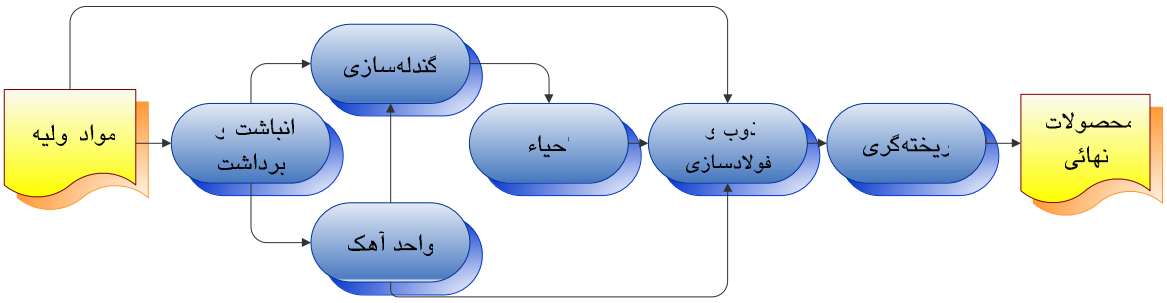
۱- مقدمه

توسعه یک بنگاه تولیدی با اهداف مختلفی مانند افزایش ظرفیت تولید یا گسترش تنوع محصولات برای حضور قدرتمندتر در بازار رقابت انجام می‌شود. در برنامه توسعه یک سیستم تولیدی باید تمامی جنبه های تولید و نیازمندی‌های غیرمستقیم آن در نظر گرفته شود. افزایش ظرفیت خط تولید بدون توجه به سایر احتیاجات آن می‌تواند منجر به شکست یک طرح توسعه گردد. یکی از مهمترین مسایل در جریان اجرای طرح توسعه، مدیریت جریان مواد در کارخانه است. مدیریت جریان مواد به معنی برنامه ریزی و تخصیص منابع لازم برای تغذیه هر یک از قسمت های تولید در زمان بندی مورد نیاز آن است. در کارخانه‌هایی که فرایند تولید چند مرحله‌ای به صورت گسسته در واحدهای مجزا انجام می شود، جابجایی محصولات میانی بین واحدهای مختلف کارخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. علاوه بر این در مواردی که به دلایلی جابجایی بین واحدهای مختلف به شیوه‌های متفاوت مانند انتقال توسط خطوط نقاله، واگن‌های راه‌آهن، لیفتراک‌های برقی یا کامیون و تریلر انجام می شود، پیچیدگی‌های مدیریتی سیستم در هنگام اجرای طرح توسعه افزایش می‌یابد. حالت فیزیکی مواد و محصولات میانی، ابعاد و اندازه، قابلیت احتراق، نرخ جابجایی و .... از جمله شرایطی است که منجر به استفاده همزمان از چندین نوع وسیله حمل ونقل برای برقراری ارتباط بین واحدهای مختلف یک کارخانه تولیدی می‌شود. [۷و۸]

در خطوط تولیدی با فرایند تولید زمان‌بر، تنظیم جریان مواد و آماده بودن مواد لازم برای هر مرحله از تولید بسیار ضروری است. در عین حال جلوگیری از افزایش موجودی غیر ضروری در جریان ساخت و کاهش جابجایی‌های انجام شده نقش بسزایی در کاهش هزینه های غیرمستقیم تولید دارد. زیرا جابجایی و انبارش از فعالیت‌هایی است که هیچ گونه ارزش افزوده‌ای برای سیستم دربر ندارد اما هزینه قابل توجه‌ای دارد. [۷و۸]

۲- تعریف مسئله

شرکت فولاد خوستان در سال ۱۳۶۹ با ظرفیت اسمی ۱/۵ میلیون تن فعالیت خود را آغاز کرد. این شرکت هم‌اکنون سومین تولیدکننده فولاد در ایران است و سالانه بیش از ۲/۱ میلیون تن انواع شمش و اسلب تولید می‌کند. در سال ۱۳۸۰ برنامه توسعه هشت ساله شرکت به منظور افزایش ظرفیت تولید تا سقف ۴/۲ میلیون تن به تصویب رسید. [۱] در این راستا با توجه به ظرفیت فعلی واحدهای کارخانه، واحدهایی که نیازمند توسعه هستند، شناسایی شده و قرار است طبق برنامه زمان‌بندی ظرفیت تولید این واحدها نیز افزایش یابد. تولید فولاد در این کارخانه با استفاده از کوره‌های ذوب الکتریکی انجام می‌شود. در شکل (۱) به صورت کلی و شماتیک تبادل مواد بین واحدهای مختلف شرکت فولاد خوزستان نشان داده شده است.



شکل (۱). جریان

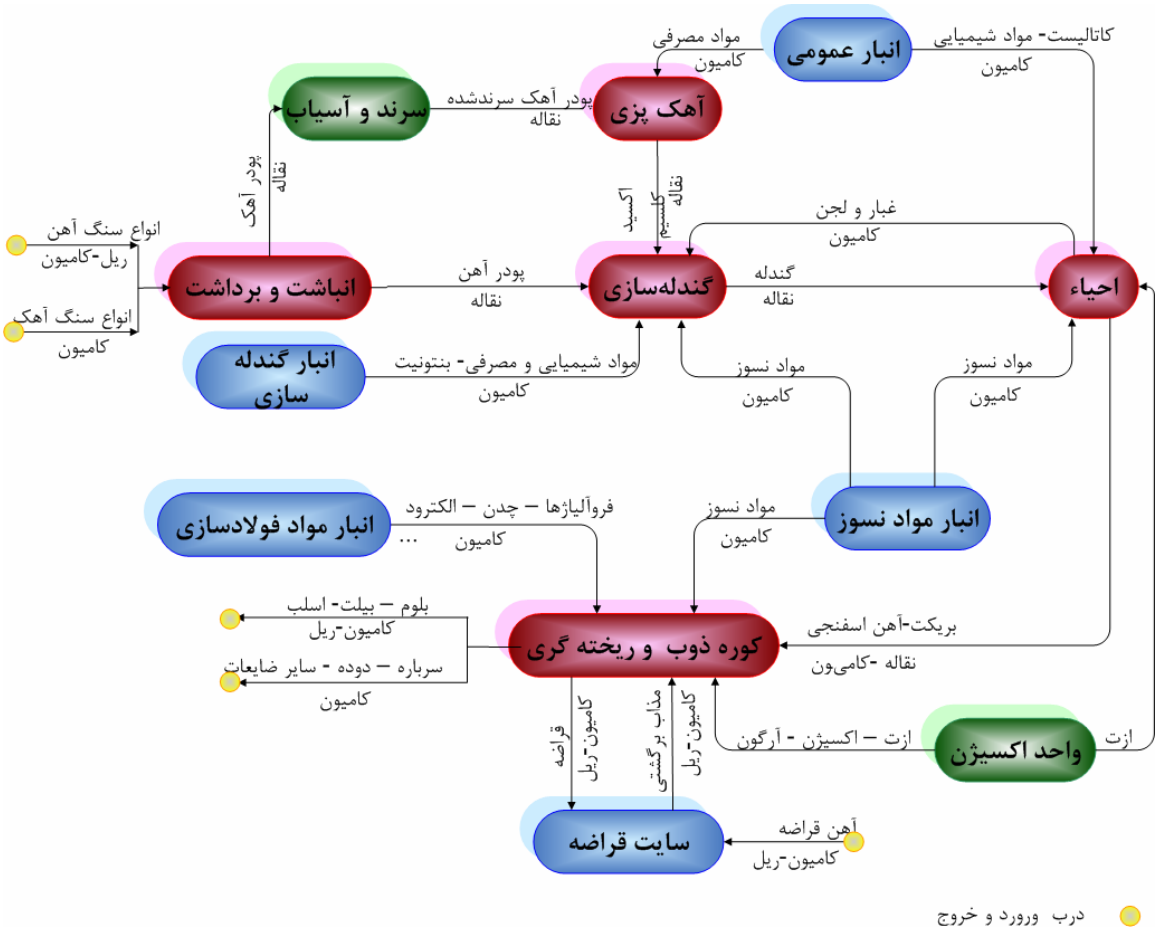
مواد سطح یک در شرکت فولاد خوزستان

به طور کلی چهار جریان مجزا در کارخانه برقرار است که با شیوه‌های مختلف حمل و نقل انجام می‌شود:

- جریان ورود مواد اولیه و انبارش آن در انبارهای مربوطه.
- جریان محصولات میانی بین واحدهای تولیدی.
- جریان انتقال و دپو موقت ضایعات و در نهایت انتقال آنها به خارج کارخانه.

- جریان خروج محصولات نهایی از کارخانه.

به ازای هر یک تن فولاد بیش از ۳۱ کیلوگرم ضایعات شامل سرباره، مواد نسوز فرسوده، دوده و غبار و لجن ایجاد می شود [۳]. به دلیل ماهیت و حجم نسبتاً زیاد ضایعات فولادسازی جابجایی ضایعات تنها توسط کامیون یا در مواردی تانکر صرفه اقتصادی دارد. همچنین حمل و نقل و تخلیه و بارگیری ضایعات تنها در روشنایی روز امکان‌پذیر است. در بین محصولات میانی نیز انتقال پودر آهن از انباشت و برداشت به گندله‌سازی،انتقال گندله از گندله‌سازی به واحدهای احیا و انتقال آهن اسفنجی (محصول واحد احیا) به کوره‌های ذوب نیز بهتر است توسط نوار نقاله انجام شود تا مکانیسم تغذیه پیوسته خطوط حفظ شود. علاوه بر این قابلیت اشتعال آهن اسفنجی بالا است و احتمال وقوع آتش سوزی در هنگام بارگیری و تخلیه آن توسط کامیون زیاد است. جابجایی سایر مواد در نقشه نهایی جریان مواد در شکل (۲) نشان داده شده است. در این شکل واحدهای اصلی شامل واحد انباشت و برداشت، واحد گندله سازی، واحد آهک، مجموعه احیاء و واحد ذوب و فولادسازی به رنگ قرمز، انبارها شامل انبار عمومی، انبار مواد فولادسازی، انبار نسوز و انبار گندله‌سازی به رنگ آبی و واحدهای فرعی شامل واحد اکسیژن و بخش سرند و آسیاب واحد آهک به رنگ سبز نشان داده شده‌اند. همچنین بر روی هر یک از پیکان‌ها ماده یا موادی که از هر واحد به واحد دیگر منتقل می‌شوند، درج شده است. در زیر پیکان‌ها نیز نوع حمل بار رایج بین واحدها ارائه شده است. البته به منظور پرهیز از تراکم بیش از حد دیاگرام، مواد مصرفی جزئی که نرخ مصرف آنها ناچیز بوده، در این شکل نمایش داده نشده است [۱].



شکل شماره (۲): جریان مواد در شرکت فولاد خوزستان

۳- ساخت مدل جریان مواد وضعیت موجود

در مرحله بعد، مدل شبیه‌سازی کامپیوتری از گردش مواد در کارخانه با تاکید بر حمل‌ونقل جاده‌ای تهیه شده است. اولین گام شبیه‌سازی، تعیین مرزهای مدل [۵]، فراهم نمودن آمار و اطلاعات مورد نیاز برای ساخت مدل شبیه‌سازی از قبیل ماتریس تقاضا [۲]، زمان‌های

خدمت‌دهی(service time)، ظرفیت خدمت‌دهنده‌ها (servers) و مسیرهای جابجایی جاده‌ای در نقشه Layout است. از آنجا که سیستم نوارنقاله به صورت مجزا و بدون تداخل با سیستم‌های جابجایی ریلی و جاده‌ای عمل می‌کند، برای کاهش پیچیدگی مدل شبیه‌سازی تنها ظرفیت و تابع توقف و تعمیرات نوارنقاله‌ها به عنوان پارامترهای تاثیرگذار بر گردش مواد در مدل در نظر گرفته شده‌اند. در واقع محدوده مرز سیستم با تاکید بر حمل و نقل ریلی و جاده‌ای طراحی شده است.

مرحله بعد انتقال اطلاعات جمع‌آوری شده به نرم‌افزار شبیه‌سازی است. در واقع بر اساس قوانین نرم‌افزار مورد استفاده (ShowFlow)، در این مرحله مدل در نرم‌افزار تشریح شده است. طراحی Layout ، تخصیص پارامترها، طراحی گزارشات مورد نیاز و در صورت نیاز برنامه‌نویسی و برقراری ارتباط بین نرم‌افزار شبیه‌سازی و یک نرم‌افزار صفحه گسترده جهت ثبت وقایعی که در طول شبیه‌سازی اتفاق می‌افتد، از جمله اقداماتی است که در این مرحله انجام شده است.

در مرحله سوم مدل شبیه‌سازی پرداخت شده تا بتوان از آن در تصمیم گیری‌ها و بررسی نتایج سناریوهای مختلف اعمال سیاست‌های مدیریتی استفاده کرد [۵]. پس از پرداخت مدل و رفع ناهماهنگی‌های آن با وضعیت واقعی سیستم، به منظور بررسی ضریب اطمینان نتایج مدل شبیه‌سازی، با استفاده از روش‌های مختلف مرحله اعتبارسنجی انجام شده است. در جدول (۱) خلاصه نتایج پرداخت و اعتبارسنجی مدل نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می شود نتایج مدل در سطح اطمینان نزدیک به ۸۰ درصد دارای اعتبار است. جزئیات فرایند مدلسازی در [۶] ارائه شده است.

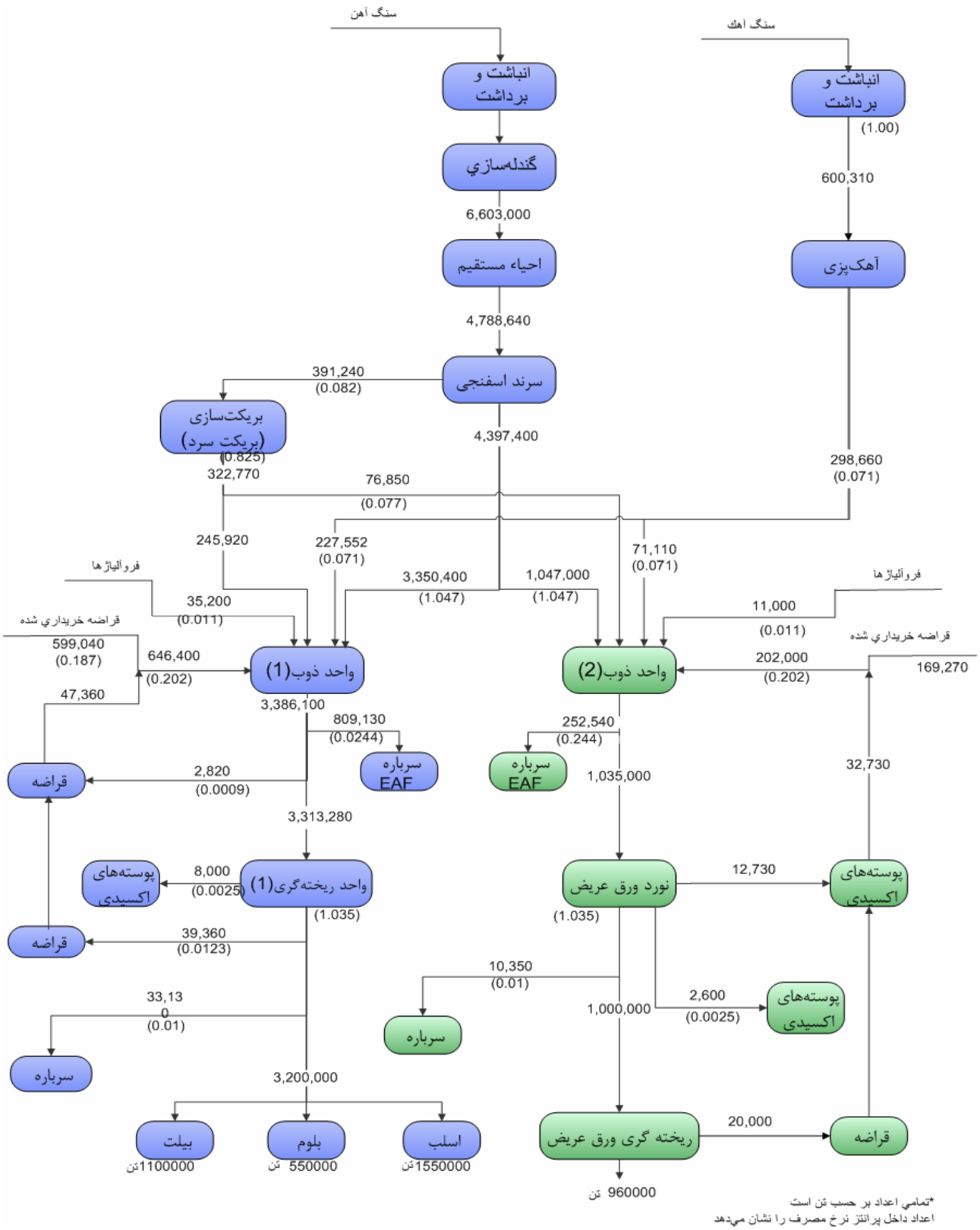
جدول (۱). خلاصه نتایج پرداخت و اعتبارسنجی مدل در نرم‌افزارSPSS

شرح	a			b			R^2	F		n
	value	t-stand	sig.	value	t-stand	sig.		value	sig.	
طول صف کامیون‌ها در واحد های مختلف	1/047	1/566	0/123	0/896	13/197	0/000	0/767	174/164	0/000	55
زمان حضور کامیون‌ها در کارخانه	–3/397	–0/655	0/521	1/003	8/660	0/000	0/806	74/988	0/000	20
حجم تردد کامیون‌ها در مسیرهای نمونه	3/772	1/038	0/308	0/902	17/190	0/000	0/913	295/495	0/000	30

۴- ساخت مدل جریان مواد در سال افق طرح توسعه

برنامه توسعه شرکت فولاد خوزستان طی سه فاز به بهره برداری خواهد رسید. فاز اول و دوم توسعه شامل افزایش ظرفیت بخش‌های مختلف تولید است. فاز سوم این برنامه در سال ۱۳۸۸، شامل راه‌اندازی کارخانه تولید ورق عریض اکسین در مجاورت کارخانه فولاد خوزستان

است. به این ترتیب سالانه حدود ۳/۲ میلیون تن از محصولات در داخل شرکت فولاد خوزستان و یک میلیون تن در سایت جدید تولید خواهد شد. در شکل (۳) نمودار جریان مواد در طرح توسعه شرکت فولاد خوزستان و شرکت فولاد اکسین نشان داده شده است. در این نمودار، بخش سمت چپ (رنگ آبی) مربوط به شرکت فولاد خوزستان و بخش سمت راست (رنگ سبز) مربوط به شرکت فولاد اکسین است. میزان ورودی‌ها و خروجی‌های هر واحد روی کمان‌های مربوطه نشان داده شده است. شرکت فولاد اکسین دارای کوره‌های ذوب، بخش ریخته‌گری و نورد مجزا خواهد بود. اما آهن اسفنجی مورد نیاز خود را از شرکت فولاد خوزستان تأمین خواهد نمود. بنابراین، شرکت فولاد خوزستان عمده مواد اولیه خود یعنی سنگ آهن و سنگ آهک را باید به نوعی تأمین نماید که علاوه بر تولید آهن اسفنجی مورد نیاز خود، آهن اسفنجی مورد نیاز شرکت فولاد اکسین نیز تولید شود. بنابراین محاسبات مربوط به مواد اولیه برای ۴/۲ میلیون تن و محاسبات مربوط به محصولات برای ۳/۲ میلیون تن در سال انجام شده است.



شکل (۳). جریان مواد در شرکت فولاد خوزستان و شرکت فولاد اکسین در سال افق طرح

پس از تعیین میزان مواد در جریان در هر مرحله، باید نحوه جابجایی نیز تعیین شود. با توجه به محدودیت‌های تکنیکی، وسایل جابجا کننده مواد بین واحدهای مختلف مطابق وضع موجود و شکل (۳) در نظر گرفته شد. اما با توجه به مکان جدید درب ورودی کارخانه، با استفاده از مدل شبیه‌سازی مسیرهای جدیدی برای تردد کامیون‌ها بین هر زوج مبدا-مقصد در داخل کارخانه تعیین شدند. همچنین مکان خطوط ریلی جدید نیز با توجه به نتایج شبیه سازی شده ترافیک در
هر یک از کمان ها طراحی شد. در نهایت مسیرهای ریلی و جاده ای به نحوی تعیین شدند، که علاوه بر رعایت نکات ایمنی مبنی بر حداقل تداخل خطوط ریل و جاده، کوتاهترین مسیر بین هر دو زوج مبدا و مقصد نیز در نظر گرفته شود.

پس از تعیین مسیرهای ریلی و جاده‌ای، از آنجا که واگن و کامیون دو وسیله قابل جایگزین در سیستم جابجایی مواد کارخانه هستند باید استراتژی مناسب برای مدیریت و تعیین سهم هر یک از آنها در جریان مواد کارخانه انتخاب شود. در واقع موثرترین عامل بر جریان مواد کارخانه، جابجایی‌هایی است که از طریق سیستم جاده‌ای انجام می شود. بر این اساس چهار سناریو برای مدیریت جابجایی مواد اولیه و محصولات نهایی که از طریق سیستم جاده‌ای جابجا می شوند، معرفی شدند که در بخش بعد تشریح خواهد شد.

۵- معرفی سناریوهای جریان مواد در سال افق طرح توسعه

برای تعیین تناژ ساعتی مواد اولیه حمل شده با کامیون در کارخانه دو پارامتر تأثیرگذار باید بررسی شوند: تناژ حمل شده با سیستم ریلی و نوع توزیع حمل مواد در طول شبانه روز.

الف- تناژ قابل حمل با واگن: با توجه به وضعیت فعلی و روند پیشین حمل مواد از طریق سیستم ریلی، می‌توان دریافت این سیستم در سطح کارخانه در حد ظرفیت خود کار می‌کند و با وجود افزایش ۱۵ درصدی حمل مواد در سال ۲۰۰۵ نسبت به ۲۰۰۴، تناژ حمل شده توسط سیستم ریلی تغییری نداشته است و بر اساس آمار سال‌های پیشین، عملکرد این سیستم تقریبا به سطح ثابتی رسیده است. از این‌رو یک سناریو ادامه این روند و ثابت ماندن ظرفیت و عملکرد سیستم ریلی است. علاوه بر آن طرح‌های توسعه‌ای در سطح مدیریت کارخانه در دست بررسی است که در صورت اجرای آن‌ها «سهم» بخش ریلی در حمل مواد اولیه در سال افق طرح توسعه برابر با سهم پخش ریلی در سال ۲۰۰۵ یعنی تقریبا معادل با ۶۰٪ از کل حمل مواد اولیه در کارخانه خواهد بود. بنابراین وضعیت حمل ریلی مواد اولیه دارای دو سناریو خواهد بود.

ب- در حال حاضر حمل مواد در طول شبانه‌روز در طول سه شیفت ۸ ساعته (صبح، عصر و شب) انجام می‌شود. سهم هر شیفت در جابجایی مواد به ترتیب ۶۰٪، ۳۰٪ و ۱۰٪ از کل جابجایی مواد در کارخانه است [۲]. با توجه به عدم امکان حضور تمام‌وقت همه پرسنل در شیفت عصر و به‌خصوص شیفت شب درکارخانه و دسترسی ساده‌تر به کامیون‌ها و شرکت‌های باربری در شیفت صبح، حمل مواد نمی‌تواند به صورت مساوی در طول سه شیفت توزیع شود. اما بر اساس برنامه‌های در دست بررسی شرکت برای استفاده هرچه بهتر از ظرفیت‌های موجود می‌توان با ابرنامه‌ریزی مناسب توزیع بهتری برای حمل مواد در طول شبانه‌روز دست یافت. به این ترتیب سهم هر شیفت در جابجایی مواد ۴۵٪، ۳۵٪ و ۲۰٪ از کل جابجایی خواهد بود.

بر اساس دو پارامتر ذکر شده ۴ سناریو مطابق جدول (۲) تعریف شده است:

جدول(۲). سناریوهای حمل و نقل ریلی و جاده ای و تعداد کامیون‌ها در هر یک در سال ۱۳۸۸

شماره سناریو	وضعیت سیستم ریلی	وضعیت توزیع حمل مواد در سه شیفت	تعداد کامیون حامل مواد اولیه در ساعت پیک	تعداد کامیون حامل مواد خروجی در ساعت پیک	تعداد کامیون حامل ضایعات در ساعت پیک	مجموع تعداد کامیون‌ها در ساعت پیک	درصد رشد حمل مواد نسبت به سال ۲۰۰۴
۱	افزایش ظرفیت×	٪۶۰-٪۳۰-٪۱۰	۴۷	۱۸	۱۴	۷۹	۷۸
۲	افزایش ظرفیت	٪۴۵-٪۳۵-٪۲۰	۳۵	۱۳	۱۰	۵۸	۳۳
۳	ظرفیت ثابت××	٪۶۰-٪۳۰-٪۱۰	۷۴	۲۳	۱۴	۱۱۱	۱۵۰
۴	ظرفیت ثابت	٪۴۵-٪۳۵-٪۲۰	۵۶	۱۷	۱۰	۸۳	۸۸

× تا سقف ۶ میلیون تن در سال ×× برابر با ۳/۳ میلیون تن در سال

در جدول (۳) تناژ و درصد حمل‌ونقل جاده‌ای در هر سناریو ارائه شده است.

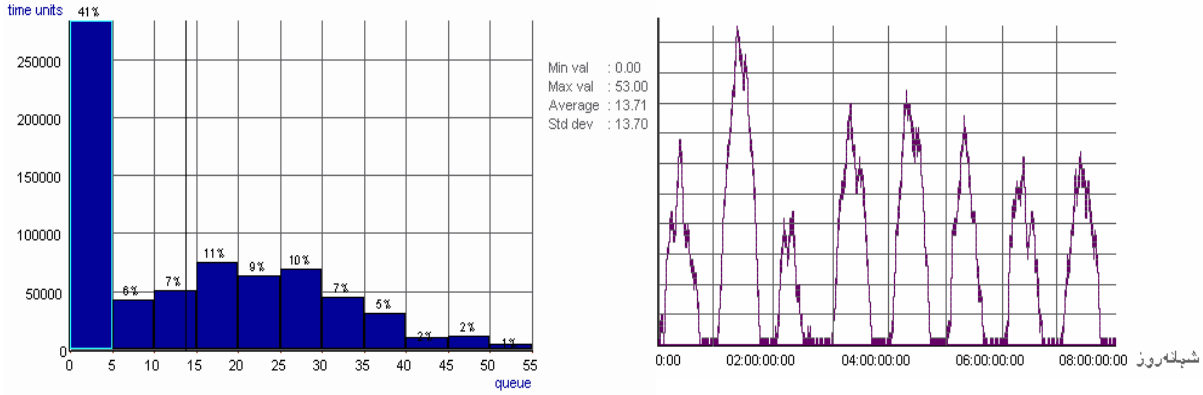
جدول (۳). تناژ و درصد حمل‌ونقل جاده‌ای در هر سناریوها

سناریو	مواد اولیه			محصولات		
	نوع	درصد حمل جاده‌ای	تناژ حمل جاده‌ای	نوع	درصد حمل جاده‌ای	تناژ حمل جاده‌ای
یک و دو	سنگ آهن	۲۱	2,046,930	بلوم	۸۸	1,446,845
	آهن قراضه	۹۲	557,107	بیلت		
	سایر مواد اولیه	۱۰۰	823,803	اسلب	۱۴	215,661
مجموع	مواد اولیه	۴۲	3,427,840	محصولات	۵۲	1,662,506
سه و چهار	سنگ آهن	۶۶	4,361,865	بلوم	۹۹	1,097,989
	آهن قراضه	۹۶	572,823	بیلت	۷۹	432,633
	سایر مواد اولیه	۱۰۰	823,803	اسلب	۳۹	601,239
مجموع	مواد اولیه	۷۲	5,758,491	محصولات	۶۸	2,131,861

۶- ارزیابی سناریوها و انتخاب سناریوی برتر

۶-۱- خروجی‌های مدل برای سناریوها

در هر یک از سناریوهای مورد بررسی، وضعیت خدمت‌دهنده‌های مختلف شامل توزین‌ها و تجهیزات تخلیه و بارگیری در واحدهای مختلف (۱۵ واحد) مد نظر قرار می‌گیرد. در واقع با توجه به میزان مواد حمل شده در هر سناریو و اجرای مدل شبیه‌سازی، تغییرات طول صف در هر یک از خدمت‌دهنده‌ها در طول شبانه‌روز قابل بررسی است. چنانچه نمودار طول صف حالتی پایا (نامیرا) داشته باشد، بدین معناست که در پایان شبانه‌روز خدمت‌دهنده‌ها توانایی پاسخگویی به تمام کامیون‌ها را ندارند و لذا طول صف بصورت تجمعی افزایش می‌یابد. در این‌صورت تنها بخشی از کامیون‌ها در پایان شبانه روز خدمت‌دهی می‌شوند و میزان تولید به مقدار برنامه‌ریزی شده نخواهد رسید. در شکل (۴) به عنوان مثال، نمونه‌ای از خروجی مدل شبیه‌سازی برای طول صف بارگیری شمش در سناریوی یک آورده شده است. این نمودار بیانگر میرا بودن طول صف و قابلیت خدمت‌دهنده‌های مربوط به بارگیری شمش برای پاسخگویی به تمام کامیون‌های متقاضی بارگیری در طول یک شبانه‌روز است.



شکل (۴). نمودار تعداد کامیون‌های در انتظار بارگیری شمش در طول شبانه‌روز در سناریوی یک

۶-۲-مقایسه کارایی سناریوها

در هر ۴ سناریو تغییرات وضعیت طول صف در تمام واحدهای کارخانه به عنوان خروجی نرم‌افزار بررسی شده است. نتایج حاکی از آن است که واحد انباشت و برداشت (محل نگهداری سنگ آهن و سنگ آهک) و انبار محصولات گلوگاه‌های جریان مواد در کارخانه هستند. در جدول (۴) درصد تحقق برنامه تولید در هر سناریو بر اساس درصد تخلیه یا بارگیری تحقق‌یافته در این واحدها گزارش شده است. در این جدول فرض بر این است که خدمت‌دهی واحدها مطابق شرایط موجود باشد و هیچ گونه بهبودی در زمان و ظرفیت خدمت‌دهی این واحدها انجام نشود..

جدول(۴). مقایسه وضعیت تخلیه مواد اولیه و بارگیری محصولات در سناریوهای مختلف

نام سناریو	درصد تحقق برنامه در تخلیه مواد اولیه	متوسط طول صف تخلیه سنگ آهن	متوسط طول صف تخلیه سنگ آهک	درصد تحقق برنامه در بارگیری محصولات	متوسط طول صف بارگیری شمش	متوسط طول صف بارگیری اسلب
سناریو یک	۷۰	۱۲۹	۵۲	۱۰۰	۱۳	۲
سناریو دو	۷۰	۱۰۶	۴۷	۱۰۰	۹	۱
سناریو سه	۳۵	۲۰۳	۵۵	۵۷	۳۲	۴۱
سناریو چهار	۳۵	۱۹۲	۵۱	۵۷	۲۸	۳۹

با توجه به این جدول در سناریوهای یک و دو تنها واحدهای انباشت و برداشت و سایت قراضه گلوگاه‌های جریان مواد هستند اما در سناریوهای سه و چهار در صورت ثابت ماندن وضع خدمت‌دهی، تمامی واحدهای انباشت و برداشتف سایت قراضه، بارگیری شمش و بارگیری اسلب گلوگاه‌های بحرانی جریان مواد هستند.

۷- ارائه نتایج

۷-۱- راه‌حل‌های بهبود خدمت‌رسانی خدمت‌دهنده‌ها

کافی نبودن ظرفیت خدمت‌دهنده‌های واحدهای مختلف کارخانه می‌تواند در جریان خدمت‌دهی و فرایند تولید، مشکلاتی را به وجود آورد. بر اساس نتایج مذکر در جدول (۶)، در سناریوهای سه و چهار که ظرفیت سیستم ریلی ثابت می‌ماند، مشکلات فراوانی از لحاظ ایجاد صف پایدار و عدم امکان خدمت‌دهی به تمام کامیون‌ها بوجود خواهد آمد. در سناریوی یک و دو نیز اگرچه مشکلات کمتری وجود دارد، اما همچنان لازم است که وضعیت خدمت‌دهی (از نظر زمان‌های خدمت‌دهی و تعداد خدمت‌دهنده‌ها) بهبود یابد.

برای بهبود وضعیت تخلیه و بارگیری مواد اولیه و محصولات، سه روش کلی می‌توان ارائه داد:

- کاهش زمان خدمت‌دهی خدمت‌دهنده‌ها در محدوده امکان‌پذیر: بنابر آمارگیری‌های انجام شده زمان خدمت‌دهی به بسیاری از کامیون‌ها به دلایل مختلفی چون بهره‌وری نامناسب نیروی انسانی و فرسوده بودن برخی تجهیزات و خرابی‌های متعدد و پیش‌بینی نشده، بالاتر از میانگین است. تغییر در وضعیت انگیزشی نیروی انسانی، بهبود شرایط تعمیر و نگهداری تجهیزات و یا تغییر تکنیک‌های تخلیه و بارگیری می‌تواند منجر به کاهش زمان خدمت‌دهی خدمت‌دهنده‌ها در محدوده امکان‌پذیر باشد.
- افزایش تعداد خدمت‌دهندهها: به معنای افزایش تجهیزات یا فضای موجود برای تخلیه و بارگیری
- راه‌حل میانه توأمان: افزایش تعداد خدمت‌دهنده‌ها همزمان با کاهش زمان خدمت‌دهی. این راه حل مستلزم صرف هزینه برای تامین تجهیزات و اعمال سیسات‌های برای افزاش کارایی هر خدمت‌دهنده است

با در نظر گرفتن راه‌حل‌های فوق برای هر یک از واحدها در هر سناریو، مدل شبیه‌سازی جداگانه اجرا شده و به سؤالات زیر پاسخ داده می‌شود.

آیا در یک سناریو و در یک واحد خاص:

۱- با تعداد خدمت‌دهنده ثابت و با حداقل زمان خدمت‌دهی عملا ممکن، تحقق کامل برنامه تولید ممکن است؟ (نمودارهای طول صف در شبانه روز میراست؟)

۲- با وضعیت فعلی زمان خدمت‌دهی، چه تعداد خدمت‌دهنده در هر واحد لازم است تا برنامه تولید تحقق یابد (نمودار تجمعی طول صف در پایان شبانه روز به صفر برسد)؟ برای این منظور با ثابت نگه داشتن زمان خدمت‌دهی، مدل به کرات و هر بار با افزایش یک خدمت‌دهنده اجرا می‌شود تا جایی که نمودار طول صف میرا شود.

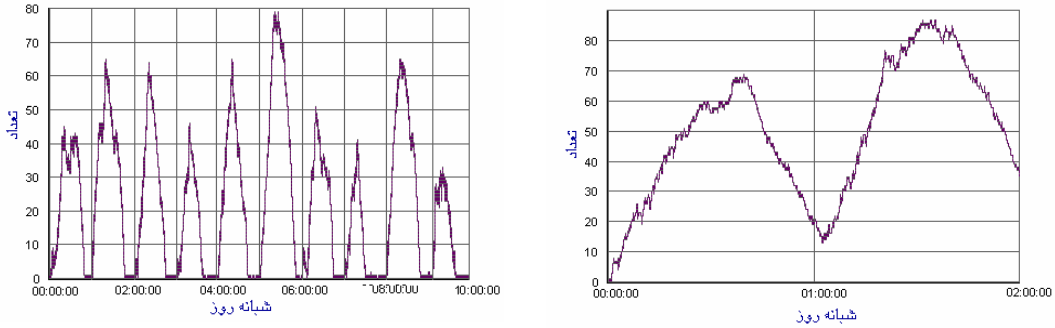
۳- چنانچه پاسخ سؤال اول منفی باشد، با کاهش زمان خدمت‌دهی، چه تعداد خدمت‌دهنده لازم است؟

برای پاسخ به این سئوالات لازم است مدل به دفعات زیاد اجرا شود.در واقع ۳ سناریو، ۴ واحد گلوگاه و ۳ راه حل باید بررسی شوند (۳۶ حالت مختلف) تا نتیجه هر یک از راه‌حل ها برای هر واحد در هر سناریو به دست آید. به عنوان نمونه نتایج حاصل برای محل تخلیه سنگ آهن و اهن قراضه در سناریوی یک ارائه می‌شود:

جدول(۵).خلاصه وضعیت حالتهای بررسی شده تخلیه سنگ آهن و آهن قراضه در سناریوی یک

نوع	حالت	تعداد خدمت‌دهنده	زمان خدمت‌دهی (دقیقه)	وضعیت
سنگ آهن	اول	۵	۲۸	تنها ۸۱ درصد از عملیات تخلیه مقدور است. (مردود)
	دوم	۹	۳۵	جوابگوست اما تعداد خدمت‌دهنده‌ها زیاد است.
	سوم	۶	۲۸	جوابگو نیست. (مردود)
		۷	۲۸	جوابگوست. اما نرخ اشغال خدمت‌دهنده‌ها نزدیک به یک است.
		۸	۲۸	جوابگو (حالت بهینه از نظر تعداد خدمت‌دهنده و زمان خدمت‌دهی)
		۹	۲۸	بهره‌وری خدمت‌دهنده‌ها پایین است. (مردود)
آهن قراضه	اول	۴	۳۷	تنها ۹۶ درصد از عملیات تخلیه مقدور است. (مردود)
	دوم	۶	۴۱/۵	جوابگوست اما تعداد خدمت‌دهنده ها زیاد است.
		۵	۴۱/۵	به سختی جوابگوست.
	سوم	۵	۳۷	جواب‌گو(حالت بهینه از نظر تعداد خدمت‌دهنده و زمان خدمت‌دهی)
		۶	۳۷	جوابگوست.

در شکل (۵) یک نمونه نمودار طول صف نامیرا (تخلیه سنگ آهن با فضای لازم برای ۵ کامیون با زمان تخلیه ۳۵ دقیقه در سناریوی یک- حالت اول) و یک نمونه نمودار میرا (تخلیه سنگ آهن با فضای لازم برای ۹ کامیون با زمان تخلیه ۲۸ دقیقه در سناریوی یک- حالت سوم) ارائه شده است.



شکل (۵) دو نمونه طول صف میرا و نامیرا

۷-۲-انتخاب سناریو

برای انتخاب سناریوی برتر و همچنین راه حل مناسب باید آنالیز حساسیت برای تعداد خدمت‌دهنده‌ها و طول صف واحدها برای هر حالت در تمامی سناریوها بررسی شود. به عنوان نمونه نتایج آنالیز حساسیت برای حالت کاهش زمان خدمت‌دهی و افزایش تعداد خدمت‌دهندها در جدول (۶) ارائه می‌شود.

جدول(۶). نتایج آنالیز حساسیت برای حالت کاهش زمان خدمت‌دهی و افزایش تعداد خدمت‌دهندها در هر سناریو

شرح	سناریو یک			سناریو دو			سناریو سه			سناریو چهار		
	T	S	L	T	S	L	T	S	L	T	S	L
تخلیه سنگ آهن	۲۸	۸	۳۵	۲۸	۷	۱۹	۲۸	۱۴	۷۶	۲۸	۱۳	۷۰
تخلیه سنگ آهک و دولومیت	۱۷	۳	۴	۱۷	۳	۳	۱۷	۳	۴	۱۷	۳	۳
تخلیه آهن قراضه	۳۷	۶	۱۳	۳۷	۵	۱۲	۳۷	۶	۱۳	۳۷	۵	۱۳
تخلیه بنتونیت	۲۰	۱	۱	۲۰	۱	۱	۲۰	۱	۱	۲۰	۱	۱
تخلیه مواد افزودنی فولادسازی	۲۷	۲	۲	۲۷	۲	۱	۲۷	۲	۲	۲۷	۲	۱
تخلیه مواد نسوز	۱۰	۱	۳	۱۰	۱	۳	۱۰	۱	۳	۱۰	۱	۳
بارگیری شمش	۱۰	۲	۲۱	۱۰	۲	۶	۱۰	۲	۱۴	۱۰	۲	۷
بارگیری اسلب	۲۱	۱	۱	۲۱	۱	۱	۲۱	۱	۷۰	۲۱	۱	۵۹
مجموع	-	۲۴	۸۰	-	۲۲	۴۶	-	۳۰	۱۸۳	-	۲۸	۱۵۷

T: زمان خدمت‌دهی (دقیقه) – S:تعداد خدمت‌دهنده – L: متوسط کامیون در انتظار

در جدول (۷) سناریوهای مختلف از نظر مجموع متوسط طول صف‌های ایجاد شده درکل کارخانه مقایسه شده‌اند.

جدول(۷). مقایسه سناریوهای مختلف از نظر مجموع متوسط طول صف‌های ایجاد شده در واحدهای مختلف کارخانه

شرح	سناریوی یک	سناریوی دو	سناریوی سه	سناریوی چهار
متوسط تعداد کامیون در انتظار	٦١	۲۷	١٦٤	۱۳۸

در سناریوهای ۳ و ۴ به دلیل عدم افزایش ظرفیت سیستم ریلی و بالا بودن حجم مواد جابجا شده بوسیله کامیون‌ها، نیاز به افزایش شدید تعداد خدمت‌دهنده‌ها و یا کاهش شدید میانگین زمان خدمت‌دهی است که این مسأله در برخی موارد ممکن نیست. بطور مثال در این سناریوها برای تخلیه سنگ آهن به حداقل ۱۳ جایگاه تخلیه نیاز است اما در محوطه واحد انباشت و برداشت، تخلیه همزمان ۱۳ کامیون سنگ آهن ممکن نیست. علاوه بر آن متوسط تعداد کامیون‌های در انتظار در این دو سناریو نسبت به سناریوهای یک و دو بسیار بالاست. از این رو تنها سناریوهای یک و دو می‌توانند مد نظر قرار گیرند. برتری سناریوی دو نسبت به سناریوی یک در یکنواخت کردن توزیع ورود کامیون‌ها به کارخانه در طول شبانه‌روز است. این امر تاثیر بسزایی در کاهش طول صف و حجم ترافیک محورهای داخل و خارج کارخانه خواهد داشت. بنابراین، بهترین گزینه، سناریوی دو است، اما تغییر توزیع ورود کامیون‌ها به کارخانه مستلزم اعمال سیاست‌های مدیریتی قدرتمند توسط مدیریت کارخانه است و این امر تصرف زمان است. بنابراین سناریوی یک به عنوان سناریوی اجرایی اولیه انتخاب و همزمان تلاش خواهد شد تا زمینه تحقق سناریوی دوم نیز فراهم شود. همچنین با توجه به نتایج مدل شبیه‌سازی و هزینه بالای تامین تجهیزات و استهلاک شدید آنها در محیط کارخانه (رطوبت و دمای زیاد) راه حل افزایش تعداد خدمت دهنده ها همزمان با افزایش کارایی هر خدمت‌دهنده باید مدنظر قرار گیرد

۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به آنالیزهای صورت گرفته، شبیه‌سازی سیستم حمل‌ونقل نشان می‌دهد با ثابت ماندن ظرفیت سیستم ریلی (سناریوهای ۳ و ۴)، برنامه تولید کارخانه قابل تحقق نیست. بنابراین افزایش ظرفیت سیستم ریلی الزامی است اما توزیع بهتر نرخ ورود کامیون‌ها در طول سه شیفت (که یک تغییر نرم‌افزاری است) گر چه می‌تواند از هزینه‌های سخت‌افزاری (افزایش تعداد خدمت‌دهنده‌ها) و نرم‌افزاری (کاهش زمان خدمت‌دهی واحدها) در شرکت بکاهد اما در صورت عدم تحقق آن هم برنامه تولید - البته با هزینه‌های بیشتر برای کارخانه و زمان انتظار بیشتر برای کامیون‌ها- قابل تحقق است.

۸-۱-جریان پیشنهادی مواد

با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی و سناریوی انتخاب شده، نحوه گردش مواد در کارخانه قابل برنامه‌ریزی است. برای ساماندهی وضعیت رانندگان و جلوگیری از ترافیک کامیون‌ها در معابر داخلی کارخانه، ترمینالی در خارج از کارخانه طراحی شده است و لازم است به کامیون‌های عازم هر واحد با برنامه مشخصی مجوز ورود به کارخانه داده شود. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، نرخ ورود کامیون‌ها به کارخانه باید مطابق جدول (۸) باشد تا طول صف در هر واحد از کارخانه از۵ کامیون (بنابر درخواست مدیریت کارخانه) تجاوز نکند.

جدول(۸). گردش مواد پیشنهادی (نرخ ورود کامیون‌ها به هر واحد) در سناریوی منتخب

مقصد	متوسط تعداد ورود در ساعت
انباشت وبرداشت- تخلیه سنگ آهن	۱۹
انباشت و برداشت- تخلیه سنگ آهک	۷
سایت قراضه	۱۱
انبار بنتونیت	۴
انبار مواد فولادسازی	۵
انبار نسوز	۳
انبار شمش	۲۰
انبار اسلب	۴
مجموع	۶۰

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کلیه پرسنل شرکت فولاد خوزستان که ما را در انجام این پروژه یاری کردند تقدیر و تشکر می‌شود. زحمات آقای مهندس خیاط، آقای مهندس احمدیان و آقای مهندس داراب‌پور باعث غنای این مطالعه شده است که بدین وسیله از ایشان سپاسگذاری می‌شود.

مراجع

[۱] شرکت فولاد خوزستان، **گزارش عملکرد سال ۱۳۸۳**.

[۲] شرکت فولاد خوزستان، **بانک اطلاعاتی ثبت تریلرها برای سال های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳.**

[۳] شرکت فولاد خوزستان، **گزارش بررسی و تجزیه و تحلیل جانمایی ضایعات**، تهیه شده در امور مهندسی و تکنولوژی بخش مهندسی صنایع،۱۳۷۱.

[۵] جری‌بنکس، جان‌کارسن، **شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد**، ترجمه‌هاشم محلوجی، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۰.

[۶] فاطمه رعنایی‌فر، روزبه محققزاده، امیررضا ممدوحی دومین کنفرانس ملی لجستیک تهران، **ساخت و پرداخت مدل شبیه‌سازی رایانه‌ای برای بهینه سازی سیستم حمل‌ونقل شرکت فولاد خوزستان**، ۱۳۸۵.

[7] Rushton A.; Croucher P.; Baker P.; *The Handbook Of Logestics And Distribution Management*, Third Edition, 2006.

[8] Bbrunner P. H.; Rechberger H.; *Practical Handbook of Material Flow Analysis, LEWIS publisher*, CRC press , 2004.