

بهینه‌سازی سیستم تولید آند کارخانه ایرالکو

علیرضا بادکوبه هزاوه^۱، سید علی ایازی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، مدیریت تحقیق در عملیات دانشگاه قم

^۲ دانشجوی دکتری، مدیریت تحقیق در عملیات دانشگاه علامه طباطبایی

نویسنده مسئول:

علیرضا بادکوبه هزاوه

چکیده

هدف از انجام این پروژه ایجاد یک مدل شبیه‌سازی در یک کارخانه تولید آلومینیوم به منظور شناخت عملکرد سیستم و ارائه مجموعه‌ای از آلترناتیو‌های بهینه می‌باشد. به منظور رسیدن به این اهداف یک مدل شبیه‌سازی به زبان SIMAN در محیط نرم‌افزاری ARENA ارائه شده است. در ابتدای فرایند ایجاد مدل پس از بازدید مکرر از خط تولید منطق حاکم بر فرآیند تولید و همچنین زمان‌های موردنیاز جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. پس از آن بر مبنای مطالعات به دست آمده مدل شبه سازی ایجاد گردید. به منظور شناخت منطقی از آنکه کدامین آلترناتیو بهینه و بهبود دهنده بیشترین تأثیر را بر میزان تولید دارد از روش‌های طراحی آزمایش‌ها در نرم‌افزار MINI TAB استفاده شد.

کلمات کلیدی: شبیه سازی، بهینه سازی، تولید آند.

مقدمه

در فرایند توسعه بشری همواره دستگاه‌های پیچیده‌تری به وجود می‌آید و به همان نسبت مدیریت، نظارت و کنترل آن‌ها مشکل‌تر می‌گردد. به دلیل تأثیرات متقابلی که قسمت‌های مختلف یک سیستم بروی هم دارند، علم شبیه‌سازی دستگاه‌ها به کمک مدیران و مهندسين به‌منظور مطالعه و بررسی نتایج حاصل این اثرات به وجود آمده است (آزاده وعسکری راد، ۱۳۹۰). شبیه‌سازی عبارت است از مجموعه‌ای گسترده‌ای از روش‌ها و برنامه‌ها به‌منظور نمایش رفتار سیستم واقعی که معمولاً با کامپیوتر و توسط نرم‌افزارهای مناسب انجام می‌گیرد (اگراوال و همکاران، ۲۰۰۹). برای بررسی دستگاه‌ها روش‌های گوناگونی مانند برنامه‌ریزی خطی پویا و تئوری صف و... وجود دارد ولی تمام این روش‌ها به‌غیر از شبیه‌سازی کامپیوتری:

۱- با در نظر گرفتن بعضی فرضیات سعی در ساده‌سازی سیستم می‌کنند و بنا به راین منعکس‌کننده بسیاری از خواص سیستم نیستند.

۲- نمی‌توانند روابط پیچیده و عوامل تصادفی یا استوکاستیک سیستم واقعی را در نظر بگیرند و بنابراین میزان دقت تحلیل سیستم را کاهش می‌دهند

۳- ابزارهای مزبور نمی‌توانند به‌راحتی بسیاری از دستگاه‌های واقعی را مدل‌سازی کنند.

شبیه‌سازی می‌تواند با سایر ابزارهای مدیریتی برای بدست آوردن بهترین تصمیم‌گیری ترکیب شود. برای مثال آزاده و عسگری راد (۱۳۹۰) از این ترکیب در صنعت راه‌آهن استفاده نمودند تا بتوانند موقعیت فعلی را تغییر دهند و یا برخی از محققین برای یافتن راه‌حل‌های بهبود هنگامی که شرایط پیچیده و مبهم است از ترکیب شبیه‌سازی و شش سیگما استفاده کرده‌اند (مرتضوی وایزدبخش، ۲۰۱۲). تکنیک بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی از جمله تکنیک‌های نوین مبتنی بر واقعیت می‌باشد که عملاً از دهه ۱۹۹۰ در حوزه صنعت و خدمات مورد استفاده قرار گرفته است. در این تکنیک، با اجتناب از فرض‌های ساده‌کننده مثل قطعی بودن رویدادهای واقعی و یا خطی بودن روابط ریاضی اجتناب کرده و تلاش می‌نماید مسایل را همانگونه که در دنیای واقعی وجود دارند مدل‌سازی نماید. در این تکنیک، روش‌های متعددی وجود دارد که کارشناسان از آن برای بهینه‌سازی و بهبود عملکرد آن بهره‌میرند. بر اساس نتایج کارهای روزتی و همکاران در سال ۲۰۰۹، یکی از پرکاربردترین روشها در تکنیک بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی روش تولید سناریو است. در این روش تعداد محدودی سناریو بر اساس مشاوره با خبرگان، الگوبرداری از شرکت‌های رقیب و یا طراحی آزمایش تولید می‌شوند. هر طرح یا سناریو به‌طور مجزا با کمک نرم‌افزار شبیه‌سازی مدل شده و به‌اندازه کافی تکرار می‌شوند. در هر تکرار مقادیر متغیرهای تصمیم و توابع هدف ذخیره‌شده و برای تحلیل‌های آماری مقایسه سناریوها مورد استفاده قرار می‌گیرند. (عظیمی و قنبری، ۱۳۹۴) بعد از مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم برای بدست آوردن آلترناتیوهای بهینه نوبت به طراحی آزمایش‌ها می‌رسد؛ که هدف از به‌کارگیری تکنیک‌های مختلف طراحی آزمایشات، شناسایی عوامل مؤثر در فرآیند و تعیین مقادیر بهینه است. با کمک فن‌های DOE می‌تواند متغیرهایی که بیشترین تأثیر را در خروجی دارند تعیین کرد. ثانیاً متغیرهای ورودی مؤثر را به‌گونه‌ای تعیین کرد که مقادیر پاسخ را به مقدار اسمی خود نزدیک کرده، تغییرپذیری آن‌ها را کوچک نموده و تأثیر عوامل غیرقابل کنترل را بر متغیر پاسخ مینیمم نمود (ژو و همکاران، ۲۰۱۴).

معرفی سیستم تولید، پخت و میله‌گذاری آند

سیستم موردبررسی این تحقیق در یکی از بزرگ‌ترین کارخانه تولید آلومینیوم ایران واقع در استان مرکزی هست. مواد تشکیل‌دهنده آند پس از طی مراحل مختلف وارد دستگاه‌های پرس می‌شوند که کارخانه ایرالکو دارای دو دستگاه پرس هست بعد از خروج آند از دستگاه پرس، آندها برحسب نیاز و با نسبت‌های تقریباً مساوی برای پخت وارد کارگاه‌های قدیم و جدید می‌شوند که تفاوت این دو کارگاه فقط در مدت‌زمان پخت آند هست. در کارگاه قدیم این مدت ۲۲ ساعت و در کارگاه جدید این زمان ۲۲ ساعت می‌باشد. بعد از پخته شدن آندها به‌وسیله کرین این آندها بر روی یک کانویر قرار داده می‌شوند. با توجه به این‌که آندهایی که از کوره بیرون می‌آیند دارای مقداری کک می‌باشند در مرحله بعد این آندها باید از این کک‌ها تمییز شوند تا در قسمت میله‌گذاری مشکلی پیش نیاید. بعد از اینکه آندها تمییز شدند وارد کارگاه میله‌گذاری می‌شوند تا آخرین مراحل قبل از ارسال این آندها به کارگاه احیا انجام شود. در کارگاه میله‌گذاری دو کوره القایی ذوب چدن برای پر کردن حفره آند وجود دارد. در درون این حفره استامپ قرار می‌گیرد و وظیفه مذاب نگهداشتن محکم استامپ در درون حفره آند ماب باشد تا در مرحله بعد میله مسی که نقش رسانا را در این مجموعه بازی میکند توسط پیچ به آن متصل شود. بعد از مذاب ریزی آند میله مسی به آن متصل شده و آند آماده ارسال به کارگاه احیا می‌باشد.

با توجه به اینکه آند یکی از مواد ضروری تولید شمش آلومینیوم می‌باشد همواره ضروری است که این کارگاهها وظیفه خود را به بهترین شکل انجام دهند. از آنجایی که آند مورد نیاز کارگاه احیا بصورت روزانه ارسال میشود پس ضروری میباشد تا در هر

شیفت کاری از تولید و در دسترس بودن مقدار آند مورد نیاز کارگاه احیا مطمئن بود. این مقاله بدنبال پیدا کردن مواردی میباشد تا تولید این ماده مهم را به حد ماکسیمم رساند و در صورت بروز مشکل این کارگاه ها دارای ذخیره مطمئنی باشند و در فرایند تولید خللی وارد نشود.

آندهای کربنی Prebaked

امروزه همه واحدهای ذوب آلومینیوم از آندهای کربنی در سلولهای الکترولیز استفاده می کنند. کربن یک هادی الکتروسیسته خوب، منطقی و مهم می باشد. کربن می تواند در مقابل شرایط خورنده الکترولیت مذاب حاوی فلورید در دماهای بالاتر از $^{\circ}\text{C}$ ۹۶۰ مقاومت کند. به علاوه، یک بخش فعال از واکنش الکتروشیمیایی می باشد، بنابراین در کاهش ولتاژ سلول تا V 1 ولت مشارکت می کنند. همینطور انرژی الکتریکی با سوختن کربن ذخیره می شود. براساس واکنش ۱ ممکن است کربن را به عنوان یک ماده خام در تولید آلومینیوم در نظر بگیریم، چون کربن به وسیله واکنش آند مصرف می شود.

یک آند prebaked معمولی از مخلوط پترولیوم کک، قیر و باتس (۴) ساخته شده است. باتس قسمت باقی مانده آند تعویض شده از سلول الکترولیز می باشد. میزان باتس مصرفی در آندهای جدید می تواند تغییر کند، اما معمولاً بین ۱۵ تا ۲۵ درصد استفاده می شود.

مهمترین جز آندهای کربنی prebaked پترولیوم کک کلسینه شده می باشد. وقتی نفت خام پالایش می شود، باقیمانده های واحد تقطیر وارد مرحله بعد می شوند. این باقیمانده ها در دمای ۴۵۰ و در فشار ۴-۵ بار برای تولید کک سبز (۵) تحت عملیات قرار می گیرند.

کک بدست آمده از این فرایند بسیار خالص می باشد و به همین دلیل مهم ترین منبع برای آندهای کربنی می باشد. این کک نیاز دارد تا در دمای ۱۲۰۰ به منظور حذف اجزای فرار و افزایش چگالی، استحکام و حفرات قبل ورود به میکسرهای تولید آند، کلسینه شود.

به علاوه، آندهای کربنی حاوی ۱۶-۱۳ درصد قیر می باشند که به عنوان چسب (۶) استفاده می شود. قیر عمل اتصال کک و ذرات باتس به یکدیگر را در آند انجام می دهد.

در فرایند تولید آند، پترولیوم کک و مواد اندی قابل بازیافت (باتس)، خرد و الک می شوند. در مرحله بعد مواد به منظور رسیدن به دانه بندی مورد نظر با هم مخلوط می شوند. بعد مقدار کافی قیر (۱۶-۱۳ درصد) به مخلوط اضافه و هم زده می شود، سپس درون بلوک های آند خام به وسیله پرس یا ویبره قالب گیری می شوند. قبل از اینکه این آندهای خام در سلول الکترولیز استفاده شوند باید درون کوره های پخت جداگانه ای در دمای ۱۱۵۰-۱۲۰۰ پخته شوند. عمل پخته شدن باعث کربونیزه و ایجاد بلوک های آند چگال و مستحکم می شود.

برای ایجاد اتصال الکتریکی و پشتیبانی فیزیکی آند، یک میله آلومینیومی یا مسی با یک یوک آهنی به آند متصل می شود. سپس درون حفره موجود روی آند چدن ریزی انجام می شود که دلیل آن ایجاد اتصال الکتریکی و مکانیکی خوب بین آند کربنی و میله می باشد. این عملیات anode rodding نام دارد.

متدلوژی تحقیق**شبیه سازی سیستم**

کلمه شبیه سازی به معنی عمل نائل شدن به اصل چیزی بدون واقعیت و نمایش کارکرد یک سیستم یا یک فرایندی به وسیله کارکرد کامپیوتر یا فرایند دیگر آمده است (ژو و همکاران، ۲۰۱۴).

شبیه سازی توانایی یا قابلیت طراحی است که یک راه حل آماری قدرتمند را ایجاد کرده و مدیر را از دست یابی به اهداف سازمان مطمئن میکند (لی و وانگ، ۲۰۰۰).

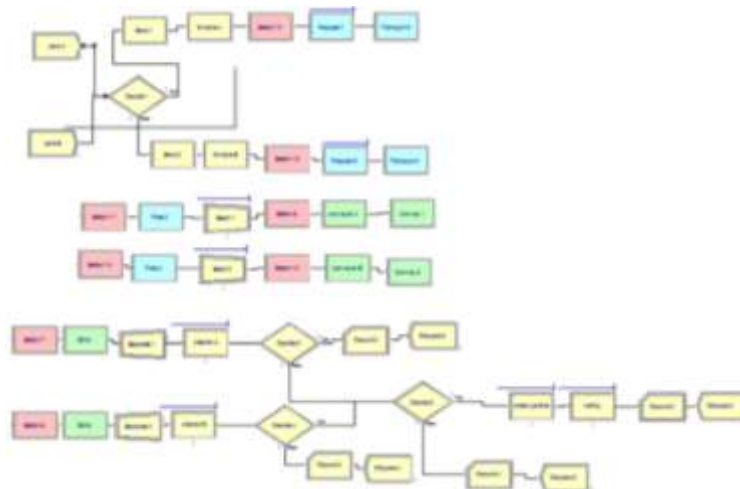
یک مدل شبیه سازی، گونه ای از پدیده ها یا سیستم های دینامیک را نشان میدهد که میتواند مسائل موجود در سازمان را پیش از آن که تبدیل به مشکل شوند، شناسایی کند.

شبیه سازی در واقع فرآیند طراحی مدلی از سیستم واقعی است؛ که با انجام آزمایش ها با استفاده از این مدل و با هدف پی بردن به رفتار سیستم، یا ارزیابی استراتژی های گوناگون، در محدوده ای که به وسیله معیار و یا مجموعه ای از معیار ها اعمال شده، برای عملیات سیستم، صورت می گیرد (آگراوال و همکاران، ۲۰۰۹).

شبیه سازی تقلیدی از عملکرد فرآیند یا سیستم واقعی با گذشت زمان است. همچنان که یک سیستم با گذشت زمان تکوین می یابد، رفتار آن با ایجاد مدل شبیه سازی بررسی می شود. این مدل معمولاً به شکل مجموعه ای از فرض های مربوط به عملکرد سیستم است. این فرض ها در چهارچوب رابطه های ریاضی، منطقی و نمادین بین نهاده ها یا اهداف مورد نظر سیستم بیان می شود. با توجه به تغییر و تحولات تکنیکال کنونی در بسیاری از موارد، ماشین جایگزین انسان شده است و بسیاری از کارهای فیزیکی که در گذشته توسط انسان ها انجام می گرفت، امروزه توسط ماشین ها اداره می شود. اگرچه قدرت کامپیوترها در ذخیره و بازیابی اطلاعات و اتوماسیون اداری، غیر قابل انکار است، اما همچنان، مواردی وجود دارد که انسان ناچار است خودش کارها را انجام دهد. اما به طور کلی، موارد مرتبط با ماشین، شامل سیستم هایی است که در آن، به علت ارتباطات پیچیده بین اجزاء مغز انسان از درک ریاضی این ارتباطات قاصر است. مغز انسان به مرور زمان، با مشاهده توالی رفتار های سیستم و گاه آزمایش های نتیجه ای که بر اثر دستکاری یکی از اجزای سیستم به دست می آید، تا حدی میتواند عادت های سیستم را شناسایی کند. در چنین سیستم هایی، مغز قادر به تجزیه و تحلیل داخلی سیستم نیست و تنها با توجه به رفتارهای خارجی، عملکرد داخلی سیستم را تخمین می زند و عکس العمل های آن را پیش بینی میکند. چگونگی اداره حجم انبوه اطلاعات و استفاده مؤثر از آنها در بهبود تصمیم گیری، از موضوعات بحث برانگیز مخصوصاً در تخصص های میان رشته ای همانند شبیه سازی است. شبیه سازی در دهه ۶۰ میلادی به طور چشم گیری فیزیولوژی وارد ادبیات مدیریت شد. این روش به حدی مورد توجه قرار میگیرد که ارتش آمریکا در سال ۱۹۶۸ میلادی در مورد شبیه سازی به عنوان روشی برای حل مسائل مدیریتی تحقیقات گسترده ای انجام می دهد (ژو و همکاران، ۲۰۱۴).

طراحی مدل فرآیند تولید آند

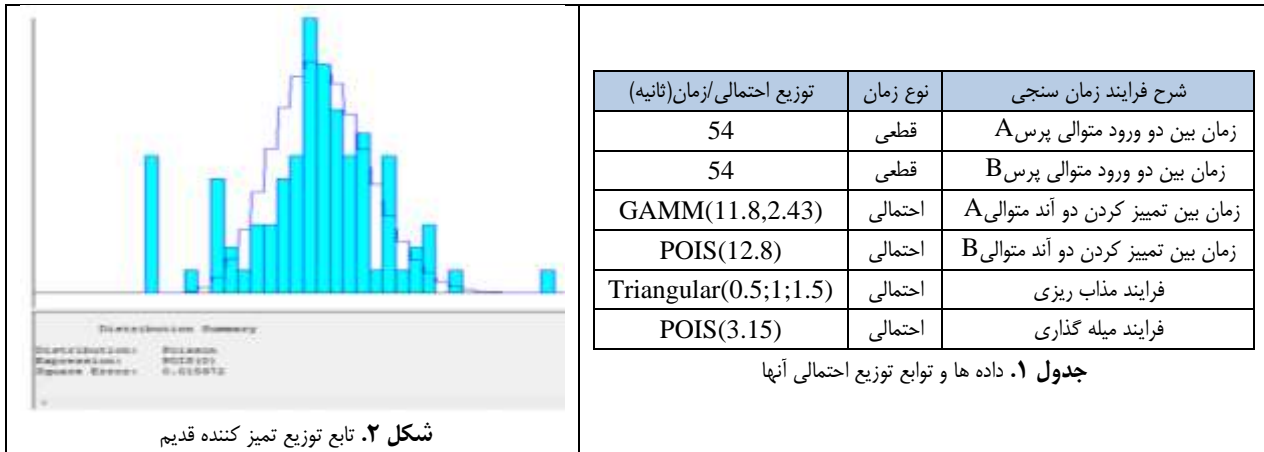
پس از مشاهده و بررسی سیستم در کارگاه فرآیند تولید آند به صورت زیر در نرم افزار ARENA شبیه سازی شد.



شکل ۱. طراحی مدل فرایند تولید آند

جمع آوری داده ها

به منظور شبیه سازی سیستم، پس از طراحی مدل برای اینکه شبیه سازی همانند سیستم اصلی عمل کند باید داده های صورت فعلی مدل واقعی جمع آوری شود تا با مشخص شدن تابع توزیع داده ها، بتوان به درستی برای مدل داده سازی نمود. برای تعیین توزیع احتمالی بین ورودی ها از قسمت ANALYZER INPUT موجود در ارنا استفاده می شود. نمونه ای از این فرآیند در شکل زیر قابل مشاهده می باشد و مابقی اطلاعات در جدول ۱ آمده است.



اعتبار سنجی

در این مرحله مشخی می کنیم مدل شبیه سازی تا چه حد شبیه به دنیای واقعی عمل می کند . بهترین عملکرد برای اعتبار سنجی ، استفاده از شاخص خروجی بر زمان است. این شاخص مقدار محصول خروجی از سیستم به نسبت زمان آن را نشان می دهد. تعداد خروجی های سیستم در مدل واقعی و مدل شبیه سازی شده مطابق جدول زیر است:

جدول ۲. خروجی های سیستم در مدل واقعی و مدل شبیه سازی شده

نمونه گیری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
مدل واقعی	۱۸۶۵	۱۸۷۵	۱۸۴۰	۱۸۰۰	۱۸۶۵	۱۹۲۶	۱۹۸۱
مدل شبیه سازی شده	۱۸۸۳	۱۸۵۶	۱۸۷۱	۱۸۶۷	۱۸۸۰	۱۸۵۴	۱۸۷۱

در ادامه برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار SPSS استفاده شد . نتایج آزمون T-test به صورت زیر می باشد.

$$H1: \mu1 \neq \mu2$$

$$H0: \mu1 = \mu2$$

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
VAR00001	Equal variances assumed	10.183	.008	.425	12	.678	9.57143	22.52391	-39.50396	58.64681
	Equal variances not assumed			.425	6.033	.686	9.57143	22.52391	-45.47014	64.61300

جدول ۳. شبیه سازی برای ۱۲ شیفت کاری ۸ ساعته در نرم افزار ARENA



شکل ۳. نتایج آزمون T-test

مطابق جدول در شکل ۳، مقدار Mean Difference های x_1 و x_2 با هم برابر بوده و برابر ۹.۵۷ می‌باشد. مقدار F و Sig به ترتیب برابر با ۱۰.۱۸۳ و ۰.۰۰۸ می‌باشد. مقدار F از ۰.۰۵ بیشتر است، اما مقدار Sig از ۰.۰۵ کمتر است. با فرض عدم برابری واریانس‌ها، فاصله اطمینان برابر ۴۵.۴۷۰۱۴- تا ۶۴.۶۱۳۰۰ می‌باشد. درجه آزادی برابر با ۱۲ است؛ بنابراین مقدار $ta/2,df$ با ۲.۳۰۶. با فرار گرفتن این مقدار در فاصله اطمینان، پس دلیلی برای رد فرض H_0 وجود ندارد و میانگین داده‌های دنیای واقعی و مدل شبیه‌سازی با هم برابرند. پس مدل تهیه‌شده معتبر است.

تحلیل نتایج و ارائه راهکارهای بهینه

شبیه‌سازی برای ۱۲ شیفت کاری ۸ ساعته ران شده و نتایج در جدول ۲ که خروجی نرم افزار ارنا می‌باشد آورده شده است. در این قسمت سعی شده است با بررسی و مطالعه چند آلترناتیو مختلف رفتار سیستم را تحت شرایط خاصی بررسی نماییم. آلترناتیو اول: با بررسی نتایج و پیشنهاد کارشناسان خط تولید سرعت انتقال آند بین ایستگاه‌ها می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش خروجی آند از این بخش و ارسال به کارگاه احیا داشته باشد. بدین منظور سرعت کرین خط قدیم که در پایین ترین سطح ۳ است را به ۱۱ و ۱۳ تغییر دادیم.

آلترناتیو دوم: همانند آلترناتیو اول به بررسی سرعت کرین خط جدید پرداخته شده است با این تفاوت که سرعت عبارتند از ۲، ۱۴ و ۲

آلترناتیو سوم: این آلترناتیو در کارگاه میله گذاری مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به ظرفیت‌های موجود و امکان این که میشود کوره القایی دیگری را وارد فرایند تولید کرد تا بتوان با در دسترس بودم مذاب در این بخش از هدر رفتن زمان که کنجر به کاهش تولید روزانه میشود جلوگیری کرد. در شکل زیر نحوه اضافه شدن این کوره نمایش داده شده است (شکل ۴).

طراحی آزمایشات

در طراحی آزمایشات با استفاده از نرم افزار مینی تب به طراحی آزمایشات پرداخته شده است. طراحی آزمایشات عبارت است از تغییر یک یا چند متغیر بصورت همزمان به منظور مشاهده تاثیر این تغییرات بر یک یا چند پاسخ در یک آزمایش. در این پروژه عوامل یا فاکتورهای مدل همان آلترناتیوها می‌باشند. یعنی سرعت کرین B&A و افزودن کوره القایی، پس در این پروژه سه عامل وجود دارد. بعد از تعیین تعداد عامل‌ها نوبت به تعیین سطوح این عوامل می‌رسد که کرین‌ها دارای سه سطح و کوره دارای دو سطح می‌باشند.

طرح‌های عاملی کامل

اگر K فاکتور هر یک در N سطح وجود داشته باشد کل آزمایشات برابر NK خواهد بود. جداول و خروجی‌های این بخش در زیر آورده شده است.

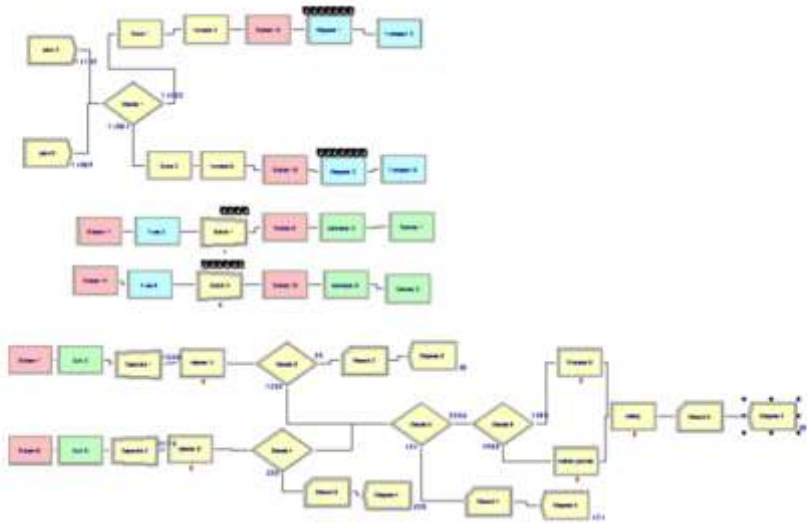
با بررسی این نمودارها به این نتیجه میرسیم که سرعت کرین B تاثیر زیادی در مقدار تولید دارد. نمودار آخر مربوط به تحلیل حساسیت می‌باشد که می‌توان با تغییر خطوط به صورت دستی در بازه داده شده مقدار تولید را در شرایط مختلف بدست آورد. با بررسی نمودار دوم به این نتیجه میرسیم که وقتی کرین خط جدید در حداکثر سرعت یعنی ۲۱ و کرین خط قدیم با سرعت ۱۳ میزان تولید در بهترین حالت ممکن است. همانطور که مشاهده میشود نمودار کوره خطی تقریباً موازی می‌باشد که نشان دهنده تاثیر کم آن در تولید است.

طرح‌های سطح پاسخ

این بخش شامل دو آزمایش بنام طرح مرکب مرکزی و طرح باکس - بنکن می‌باشد.

طرح مرکب مرکزی

این طرح متشکل از یک طرح عاملی 2^2 یا K_2 طرح عاملی کسری با 2^2 K نقطه محوری و C نقطه مرکزی است. این طرح در حرکت به سمت نقطه بهینه در تمام امتدادها از دقتی یکسان برخوردار است که اصطلاحاً به آن طرح دوران پذیر گویند. نتایج و جداول این طرح در زیر آورده شده است.



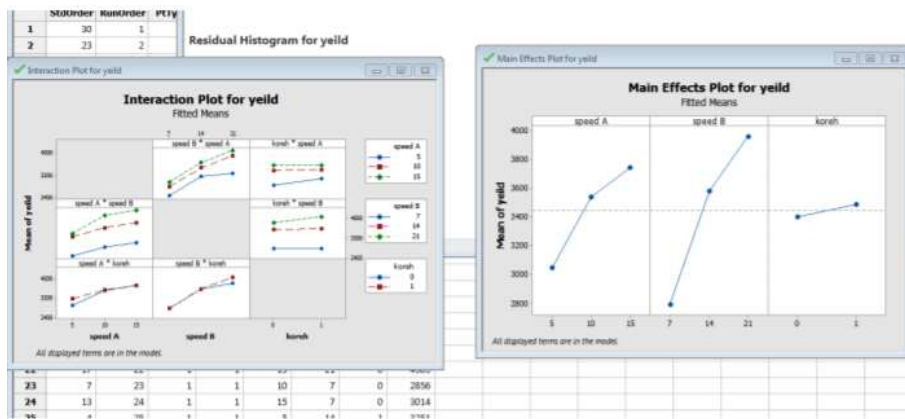
شکل ۴. نحوه اضافه شدن کوره به مدل اولیه

Factor	Name	Type	Levels	Level Values
A	speed A	Numeric	3	5, 10, 15
B	speed B	Numeric	3	7, 14, 21
C	torch	Numeric	2	0, 1

Run	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	2,3,4,5													
8	2,3,4,5	6,7,8,9												
16	2,3,4,5	6,7,8,9	10,11,12,13											
32	2,3,4,5	6,7,8,9	10,11,12,13	14,15,16,17										
64	2,3,4,5	6,7,8,9	10,11,12,13	14,15,16,17	18,19,20,21									
128	2,3,4,5	6,7,8,9	10,11,12,13	14,15,16,17	18,19,20,21	22,23,24,25								

Available Resolution III Plackett-Burman Designs	
Factors	Runs
2-7	12,20,24,28,...,48
8-11	12,20,24,28,...,48
12-15	20,24,28,36,...,48
16-19	20,24,28,32,...,48
20-23	24,28,32,36,...,48
24-27	28,32,36,40,44,48
28-31	32,36,40,44,48
32-35	36,40,44,48
36-39	40,44,48
40-43	44,48
44-47	48

شکل ۵. تعداد فاکتورها و سطوح



شکل ۶. نمودار طرح مرکب مرکزی

#	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	speed A	speed B	koreh	yield
1	30	1	1	2	10	21	1	4112
2	23	2	1	2	5	21	0	2157
3	22	3	1	2	5	14	1	3251
4	26	4	1	2	10	7	1	2843
5	21	5	1	2	5	14	0	3279
6	19	6	1	2	5	7	0	2487
7	20	7	1	2	5	7	1	2468
8	34	8	1	2	15	14	1	3847
9	27	9	1	2	10	14	0	3589
10	35	10	1	2	15	21	0	4385
11	32	11	1	2	15	7	1	3050
12	24	12	1	2	5	21	1	3806
13	28	13	1	2	10	14	1	3685
14	36	14	1	2	15	21	1	4325
15	31	15	1	2	15	7	0	3014
16	29	16	1	2	10	21	0	4162
17	25	17	1	2	10	7	0	2856
18	33	18	1	2	15	14	0	3841
19	11	19	1	1	10	21	0	4162
20	5	20	1	1	5	21	0	3790
21	16	21	1	1	15	14	1	3847
22	17	22	1	1	15	21	0	4385
23	7	23	1	1	10	7	0	2856
24	13	24	1	1	15	7	0	3014
25	4	25	1	1	5	14	1	3251
26	12	26	1	1	10	21	1	4112
27	2	27	1	1	5	7	1	2468
28	18	28	1	1	15	21	1	4325
29	15	29	1	1	15	14	0	3841
30	8	30	1	1	10	7	1	2843
31	9	31	1	1	10	14	0	3589
32	14	32	1	1	15	7	1	3050
33	3	33	1	1	5	14	0	3279
34	1	34	1	1	5	7	0	2487

جدول ۴. نتایج طرح مرکب مرکزی

طرح باکس - بنکن

طرح های مرکب مرکزی بعلت وجود نقاط محوری ممکن است دارای آزمایشاتی باشند که مورد عاقله نبوده و یا خارج از ناحیه عملیاتی فرایند قرار گیرند. در طرح های باکس - بنکن به علت نبود نقاط محوری این اطمینان وجود دارد که کلیه اجراها در ناحیه امن عملیاتی خواهد بود. همچنین طرح باکس - بنکن شامل هیچ نقطه ای در رئوس مکعبی که بوسیله کران های بال و پایین هر متغیر ایجاد میشود نیست. این امر در مواردی که به دلیل محدودیت های فیزیکی فرایند تنظیم سطوح در نقاط بال و پایین ممکن نباشد بسیار مفید خواهد بود. در واقع در این طرح در هیچ کدام از اجرا ها بطور همزمان سطوح نمی توانند در سطح بالا یا پایین باشند.

نتیجه گیری

در این تحقیق نمونه عملی یک آزمایش شبیه سازی در یک خط تولید آند پیاده سازی شده است. سپس برای بدست آوردن بهترین تصمیم و یافتن راه حل بهبود شبیه سازی با طراحی آزمایشات ترکیب شده است. پس از اجرای مدل و بدست آوردن خروجی ها، این مدل مورد اعتبار سنجی قرار گرفت. در مرحله بهد با استفاده از پتانسیل کارگاه و با نظر کارشناسان سناریوهای مختلف ایجاد و مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه این بررسی نشان می دهد که وقتی کرین خط جدید در حداکثر سرعت یعنی ۲۱ و کرین خط قدیم با سرعت ۱۳ میزان تولید در بهترین حالت ممکن است.

جدول ۵ و شکل ۷. نتایج نهایی شبیه سازی

Creates Response Surface Design Display Available Designs

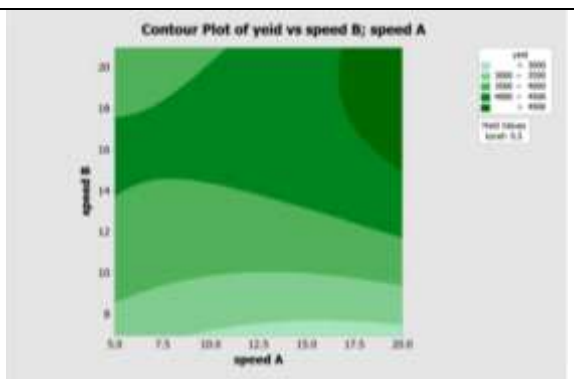
Available Response Surface Design

Design	Constraints Factors	2 3 4 5 6 7 8 9 10								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Central composite full	unblocked	13	20	21	32	30	32			
	blocked	14	20	30	34	30	30			
Central composite half	unblocked			32	33	30	34		134	
	blocked			33	34	30	30			
Central composite quarter	unblocked							30	236	
	blocked							30	30	
Central composite eighth	unblocked									133
	blocked									30
Box-Behnken	unblocked	13	27	46	34	62		130	170	
	blocked	27	46	34	62			130	170	

#	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
StdOrder	RunOrder	PIType	Blocks	speed a	speed b	koreh	yield	
4	20	4	0	1	10.0000	14.0000	0.50000	3589
5	11	5	-1	1	10.0000	2.2275	0.50000	4385
6	7	6	1	1	5.0000	21.0000	1.00000	3050
7	4	7	1	1	15.0000	21.0000	0.00000	3806
8	12	8	-1	1	10.0000	25.7725	0.50000	3685
9	1	9	1	1	5.0000	7.0000	0.00000	20225
10	10	10	-1	1	18.4090	14.0000	0.50000	3014
11	3	11	1	1	5.0000	21.0000	0.00000	3362
12	14	12	-1	1	10.0000	14.0000	1.34000	3856
13	15	13	0	1	10.0000	14.0000	0.50000	3841
14	5	14	1	1	5.0000	7.0000	1.00000	2182
15	6	15	1	1	15.0000	7.0000	1.00000	2790
16	2	16	1	1	15.0000	7.0000	0.00000	2847
17	19	17	0	1	10.0000	14.0000	0.50000	3657
18	13	18	-1	1	10.0000	14.0000	-0.34000	2856
19	17	19	0	1	10.0000	14.0000	0.50000	3765
20	8	20	1	1	15.0000	21.0000	1.00000	4842

Model Summary

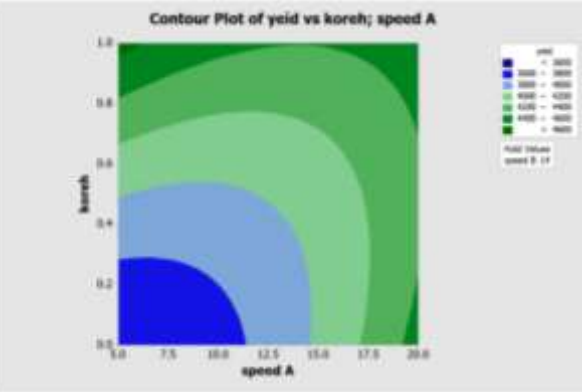
Term	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
speed a	1	19252169	19252169	2.33	0.158	
speed b	1	14436478	14436478	1.75	0.215	
koreh	1	18778470	18778470	2.27	0.142	
Square	3	9125501	3041834	0.37	0.777	
speed a*speed a	1	2402963	2402963	0.32	0.587	
speed b*speed b	1	5879217	5879217	0.71	0.418	
koreh*koreh	1	2290315	2290315	0.28	0.610	
2-Way Interaction	3	136787281	45595740	5.52	0.017	
speed a*speed b	1	44585124	44585124	5.40	0.042	
speed a*koreh	1	48284964	48284964	5.85	0.034	
speed b*koreh	1	43917192	43917192	5.32	0.044	
Error	10	82545843	82545843			
Lack-of-Fit	9	80472783	16094557	38.82	0.001	
Pure Error	9	2077061	414612			
Total	19	280928740				



#	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
StdOrder	RunOrder	PIType	Blocks	speed A	speed B	koreh	yield	
1	13	1	0	1	12.5	14	0.5	3124
2	11	2	2	1	12.5	7	1.0	2765
3	8	3	2	1	20.0	14	1.0	4762
4	7	4	2	1	5.0	14	1.0	4562
5	15	5	0	1	12.5	14	0.5	4532
6	12	6	2	1	12.5	21	1.0	4872
7	6	7	2	1	20.0	14	0.0	4590
8	1	8	2	1	5.0	7	0.5	2847
9	14	9	0	1	12.5	14	0.5	4385
10	10	10	2	1	12.5	21	0.0	4486
11	4	11	2	1	20.0	21	0.5	4234
12	5	12	2	1	5.0	14	0.0	3331
13	2	13	2	1	20.0	7	0.5	3118
14	3	14	2	1	5.0	21	0.5	3473
15	9	15	2	1	12.5	7	0.0	2325

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	3073009	341454	0.40	0.540	
Linear	3	2224478	742189	0.96	0.474	
speed A	1	2102275	2102275	2.76	0.187	
speed B	1	118090	118090	0.16	0.710	
koreh	1	4100	4100	0.01	0.932	
Square	3	439339	145113	0.19	0.898	
speed A*speed A	1	444	444	0.00	0.978	
speed B*speed B	1	295312	295312	0.34	0.588	
koreh*koreh	1	211276	211276	0.28	0.621	
2-Way Interaction	3	411272	137091	0.18	0.908	
speed A*speed B	1	218961	218961	0.28	0.614	
speed A*koreh	1	114582	114582	0.15	0.714	
speed B*koreh	1	78729	78729	0.10	0.784	
Error	9	3885369	741074			
Lack-of-Fit	3	2146614	718838	0.86	0.876	
Pure Error	2	1658755	829377			
Total	14	6878455				



Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
872.395	44.60%	0.00%	0.00%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coeff	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant		3397	304	6.47	0.001		
speed A		-1025	-513	-308	-1.44	0.187	1.00
speed B		-243	-121	-308	-0.39	0.710	1.00
koreh		-55	-28	-308	-0.09	0.932	1.00
speed A*speed A		24	13	454	0.03	0.978	1.01
speed B*speed B		524	243	454	0.58	0.588	1.01
koreh*koreh		478	239	454	0.53	0.621	1.01
speed A*speed B		469	234	436	0.54	0.614	1.00
speed A*koreh		-338	-169	436	-0.39	0.714	1.00
speed B*koreh		-277	-138	436	-0.32	0.784	1.00

منابع و مراجع

- ۱- آزاده، محمدعلی. عسگری راد، محمدعلی (۱۳۹۰). بهینه سازی یک سیستم پیچیده و بزرگ ریخته گری بوسیله شبیه سازی کامپیوتری. نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۳۵ (۱): ۸۳-۹۷
- ۲- عظیمی، پرهام؛ قنبری، محمدرضا (۱۳۹۴). بهینه سازی حمل و نقل مواد غله بر اساس یک مدل شبیه سازی در بندر شهیدرجایی. فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۳ (۳۸): ۱۳۳-۱۶۱.
- 3- Agrawal, S., Sengupta, R. N., & Shanker, K. (2009). Impact of information sharing and lead time on bullwhip effect and on-hand inventory. *European Journal of Operational Research*, 192(2), 576-593.
- 4- Lee, H. L., & Whang, S. (2000). Information sharing in a supply chain. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 1(1), 79-93.
- 5- Mortazavi, A., Izadbakhsh, H., & Noorossana, R. (2012). Using Discrete Event Simulation to Model Smelting Process with Complex Constrains.
- 6- Zhou, H., Shou, Y., Zhai, X., Li, L., Wood, C., & Wu, X. (2014). Supply chain practice and information quality: A supply chain strategy study. *International Journal of Production Economics*, 147, 624-633.