

ارزیابی و مقایسه اثربخشی پیاده‌سازی نت اصلاحی و نت پیشگیرانه با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم‌ها (مطالعه موردی: شرکت سیمکان)

غلامرضا اسماعیلیان^۱، فروزان لورک‌زاده^۲، رحمان زارعیان^۳

چکیده: یکی از بخش‌های جدایی‌ناپذیر هر صنعت، سیستم نگهداری و تعمیرات (نت) آن است؛ ارتباط این بخش با دیگر بخش‌ها، دارای پویایی‌ها و بازخوردهای فراوانی است. از این رو پویایی‌شناسی سیستم‌ها، ابزار مناسبی است که می‌توان از آن برای تجزیه و تحلیل این بخش استفاده کرد. در این مقاله، نحوه تأثیر و تأثر سیستم نت و سایر بخش‌ها برای یک شرکت تولیدکننده سیم و کابل، مدل‌سازی شده و در ادامه، پس از ایجاد نمودار جریان-انباشت، اعتبار مدل با سه آزمون بازسازی رفتار مرجع، رفتار حدی و حساسیت ارزیابی شده است. همچنین پس از اعتبارسنجی، اثر تغییر رویکرد فعلی شرکت در قبال سیستم نت، از نت اصلاحی به سمت نت پیشگیرانه، بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد تغییر این رویکرد از جنبه‌های مختلف به نفع شرکت است و سبب افزایش فروش و تعداد مشتریان شرکت می‌شود و مدیران باید توجه بیشتری به نت پیشگیرانه نشان دهند.

واژه‌های کلیدی: پویایی‌شناسی سیستم‌ها، سیاست‌های نگهداری و تعمیرات، نت اصلاحی، نت پیشگیرانه.

۱. استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه پیام نور تهران، تهران، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور مرکز شهر ری

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های اقتصادی - اجتماعی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها،

دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۱/۲۲

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۲۱

نویسنده مسئول مقاله: رحمان زارعیان

E-mail: z_rahman@ut.ac.ir

مقدمه

برنامه‌ریزی تولید در کارخانه‌های فاقد سیستم نت، به دلیل خرابی ناگهانی ماشین‌آلات، امکان‌پذیر نیست. برعکس، در صورت وجود سیستم نت و کوشش پیوسته برای بهبود آن، همواره برنامه‌ریزی تولید و نیز ثبت و ضبط هزینه‌ها به راحتی انجام می‌گیرد (حاج شیرمحمدی، ۱۳۸۲: ۲۴). خرابی ناگهانی ماشین‌آلات، به ازدست‌رفتن زمان در دسترس بودن تجهیزات و افزایش هزینه‌های سازمان منجر می‌شود. این خرابی‌ها علاوه بر تحمیل هزینه مستقیم به شرکت‌های تولیدی بابت اصلاح خرابی‌ها، هزینه‌های غیرمستقیمی را از طریق کاهش رضایت مشتریان و سپس کاهش تعداد مشتریان و سفارش‌ها برای شرکت‌ها در پی دارد (احمدی و مختارزاده، ۱۳۹۲). با فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده، نیاز به تعمیرات اضطراری کمتر می‌شود و درحالی‌که هزینه‌های سیستم ثابت است، ضایعات تولیدی کاهش و بازدهی افزایش پیدا می‌کند. از این رو، نت، بخش ضروری شرکت‌های تولیدی و صنعتی است و باید برای شناخت و بهبود برنامه‌ریزی این سیستم تلاش کرد.

دو سیاستی که در این مقاله در خصوص سیستم نت بررسی شده، در زمینه نت اصلاحی^۱ و پیشگیرانه^۲ است. نت اصلاحی در سال ۱۹۵۷ به عنوان یک مفهوم در سیستم نت معرفی شد (آهوچا و خمبا، ۲۰۰۸). تفاوت اساسی نت اصلاحی و نت پیشگیرانه این است که قبل از عملیات وابسته به نت اصلاحی باید خرابی‌ای اتفاق افتاده باشد.

هدف از نت پیشگیرانه، افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات، تعمیرشدنی بودن، امنیت، بهبود ضعف‌ها و تجهیزات بدون نیاز به نت است (آهوچا و خمبا، ۲۰۰۸). این نت مربوط به تشخیص به موقع و سریع وضعیت و همچنین رفع معایب و شرایط غیرطبیعی تجهیزات، قبل از ایجاد معایب اساسی یا ضایعات است. هدف این نوع نت را می‌توان کاهش یا حذف توقف‌های تولید دانست (اسماعیلیان و بکران، ۱۳۹۳). در صورتی که شرکتی به سمت این نت حرکت کند، کالاهای معیوب تولیدی شرکت می‌تواند به سمت صفر میل کند؛ اما این نوع نت به برنامه‌ریزی به نسبت قوی نیازمند است (اسماعیلیان، مگات احمد، اسماعیل، سلیمان و حامدی، ۲۰۰۸). همچنین اطلاعات نگهداری و تعمیراتی که از طریق این نوع نت فراهم شده، برای جلوگیری از خرابی تجهیزات بعدی به کار گرفته می‌شود.

درک آینده اجرای هر کدام از سیاست‌های نت اهمیت فراوانی دارد. ارتباط زیرسیستم‌هایی مانند کنترل تولید و نگهداری و تعمیرات (نت) یکپارچه است و تعامل این زیرسیستم‌ها، که

1. Corrective Maintenance
2. Preventive Maintenance

غیرخطی بوده و با تأخیر زمانی همراه است، پیچیدگی‌های زیادی دارد و شناخت این پیچیدگی‌ها مستلزم استفاده از نگاه سیستمی است (یوکینن، اولن و پوتسیا، ۲۰۱۱).

بنابراین در فرایند ایجاد آثار ناشی از هر کدام از این سیاست‌ها، حلقه‌ها و بازخوردهای فراوانی وجود دارد که پویایی‌شناسی سیستم‌ها^۱ را به ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل این سیاست‌ها تبدیل می‌کند. این ابزار برگرفته از تفکر سیستمی است و از این نظر در اکثر تحقیقات حوزه‌های مدیریتی و صنعتی با استقبال مواجه شده است.

در تفکر سیستمی با استفاده از ابزار و فرایندهایی، درک رفتار سیستم‌های پیچیده ممکن شده و به تبع آن در تصمیم‌گیری‌ها، سیاست‌های مناسب اتخاذ می‌شود تا بتوان تغییرات را در مسیر صحیح هدایت کرد. البته درک رفتار سیستم‌های پیچیده هنگامی که خود نیز جزئی از آن سیستم باشیم کاری مشکل است (قبادی، ۱۳۸۵: ۳۵-۲۵).

از آنجاکه سیستم نت دارای بازخوردهایی است که پیچیدگی مسئله را افزون می‌کنند، بهترین ابزار برای درک این پیچیدگی، پویایی‌شناسی سیستم‌هاست. یکی از ویژگی‌های مهم و اساسی این ابزار، توانایی شبیه‌سازی نتایج مدل با توجه به سناریوهای مختلف پیشنهادی است. به عبارت دیگر با این ابزار می‌توان سیاست‌ها و سناریوهای متصور برای آینده را در مقایسه با هم سنجید و مناسب‌ترین آن‌ها را انتخاب کرد.

ارتباط بین بخش نت با میزان تولید، میزان سفارش‌های دریافتی شرکت و تعداد مشتریان اهمیت فراوانی دارد. در شرکت سیمکان، نبود سیستم نت مناسب، سبب توقف‌های ناگهانی خط تولید می‌شود و بر تعداد مشتریان شرکت (به دلیل برآورده نشدن یا دیر برآورده شدن سفارش‌هایشان) اثر مشهودی می‌گذارد. از این رو در این پژوهش در ابتدا تلاش می‌شود پس از مدل‌سازی سیستم نت و نحوه تغییر تعداد مشتریان شرکت، تأثیر و تأثرات بین سیستم نت و تعداد مشتریان مدل‌سازی شود. همچنین پس از اعتبارسنجی مدل ایجادشده، به این پرسش پاسخ داده می‌شود که تغییر رویکرد فعلی شرکت از نت اصلاحی به سمت نت پیشگیرانه چه تأثیراتی بر میزان تولید، تعداد مشتریان شرکت و برخی متغیرهای دیگر می‌گذارد.

پیشینه پژوهش

در گذشته تحقیقات زیادی در زمینه ارزیابی اثربخشی هر کدام از سیاست‌های نت انجام گرفته است که هر یک با استفاده از روشی خاص به طراحی و انتخاب بهترین سیاست یا ترکیبی از انواع سیاست نت پرداخته‌اند. به دلیل پیچیدگی خاص موضوع و همچنین تأخیر داشتن فرایندها،

پویایی‌شناسی سیستم‌ها ابزار بسیار مناسبی برای بررسی و ارزیابی راهبردهای مختلف است. از این رو تحقیقات به نسبت زیادی، از این ابزار برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های نت استفاده کرده‌اند.

در ابتدا استرمن (۲۰۰۰) مدلی را برای نشان دادن چگونگی تغییرات نگرش ذهنی نسبت به نت ارائه کرد. این مدل نشان می‌دهد که چگونه تغییر سیاست یک شرکت از نت اصلاحی به پیشگیرانه، می‌تواند نرخ خرابی و به تبع آن کیفیت و قابلیت اطمینان در تحویل را بهبود بخشد. یه (۲۰۰۰) یک نمودار علی- معلولی^۱ کیفی برای سیستم نت براساس یک نمونه کاربردی در نیوزیلند ارائه کرده است. مدل ارائه شده ارتباط داخلی فاکتورهای فنی، اقتصادی و انسانی را توضیح می‌دهد. مهم‌ترین حلقه مدل سازی شده مربوط به هزینه نت است. با افزایش هزینه نت، فشار برای کاهش کل هزینه سیستم نت افزایش و تعداد کارکنان کاهش پیدا می‌کند. با کاهش تعداد کارکنان، هزینه نت نیز کاهش می‌یابد؛ اما از طرف دیگر، هنگامی که فشار برای کاهش هزینه در بخش نت افزایش پیدا می‌کند، تلاش برای تعمیرات برنامه‌ریزی شده کاهش و خرابی‌ها افزایش می‌یابد که هزینه نت را به مقدار قبلی بازمی‌گرداند.

جامبکار (۲۰۰۰) از نمودار علی- معلولی برای شناخت ساختار ارتباط درونی و مفهوم متغیرها استفاده کرده است. این مدل چرخه‌هایی پنهانی از متغیرها را نشان می‌دهد که بسیار قدرتمندند و می‌توان از آن‌ها برای ارتقای سازمان استفاده کرد. مدل معرفی شده در این تحقیق را می‌توان همچون یک نقطه شروع برای طراحی مدل نت به کار گرفت.

سون (۲۰۰۴) اثرهای نت بهره‌ور جامع (TPM)^۲ را بر یک سازمان بررسی کرده است. نتایج این مدل نشان داده است که هر کدام از اجزای اصلی نت بهره‌ور جامع، تأثیر متفاوتی بر رفتار سیستم دارند؛ بنابراین اجرای موفق نت بهره‌ور جامع به راهبرد به کاررفته بستگی دارد. براساس این مدل، تغییر راهبرد از نت پیشگیرانه به نت بازداشته شده نیز ممکن است تأثیر مفیدی بر عملکرد شرکت داشته باشد.

کماث و شولار (۲۰۰۵) یک مدل پویایی‌شناسی سیستم‌ها بر اساس سیستم نت مبتنی بر قابلیت اطمینان معرفی کرده‌اند. در این مدل، خرابی ماشین‌آلات بر میزان موجودی، برآورده کردن سفارش و هزینه تولید تأثیر می‌گذارد. نتایج این تحقیق نشان داده است که کاهش خرابی‌ها سبب افزایش نرخ تولید، کاهش هزینه تولید و کاهش چشمگیر میزان سفارش برگشتی می‌شود.

1. Causality Diagram
2. Total Productive Maintenance

دین، فان‌دالن و کوئن (۲۰۰۸) با استفاده از پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای یک نمونه موردی به آنالیز و مدل‌سازی سیستم نت اصلاحی با هدف ارتقای این سیستم پرداخته‌اند و سپس با تغییر متغیرهای برون‌زای مدل سیاست‌های مختلف را ارزیابی کرده‌اند.

بوهم، بک، کناک و یگر (۲۰۰۸) نشان دادند که راهبردی مناسب برای نت خطوط راه‌آهن لازم است تا امنیت و در دسترس بودن این سیستم تضمین شود. تعیین این راهبردها به دلیل پیچیدگی‌های سیستم نت آسان نیست. بر همین اساس، در این تحقیق یک نمودار علی- معلولی برای بیان ارتباط بین شرایط سیستم، میزان در دسترس بودن سیستم، فعالیت نت و هزینه ارائه شده است. این مدل علاوه بر توانایی سنجش تک‌تک راهبردهای نگهداری و تعمیرات، می‌تواند ترکیبی از این راهبردها را نیز آزمایش کند.

چوما (۲۰۰۹) نیز سیستم نت کارخانه‌ای در تایلند را مدل‌سازی کرده است. در این مدل، متغیر انباشت میزان خرابی با دو نرخ تعمیرات خرابی‌ها و نرخ کاهش خطا از طریق نت برنامه‌ریزی شده کاهش پیدا می‌کند. خروجی این مدل، زمان فعالیت کارخانه و هزینه نت است. نتایج این مدل این پیشنهاد را مطرح کرد که کارخانه‌های صنعتی در تایلند باید میزان نت پیشگیرانه را کاهش داده و در عوض نت پیش‌بین را ارتقا دهند. این سیاست سبب کاهش هزینه نت و افزایش زمان در دسترس بودن کارخانه می‌شود.

یوکیئن، اولن و پوتسیا (۲۰۱۱) مدلی را برای به‌دست آوردن ارزش‌افزوده حاصل از سیاست‌های نت ارائه کرده‌اند. این مدل توسط چهار سیاست اساسی برای نت آزمایش شده است. در این تحقیق، از آنجاکه فرایند تولید از دیدگاه مدیریت نت مدل‌سازی شده است، مدل ارائه شده، جزئیات نت را نیز لحاظ کرده است و تأثیرات نت اصلاحی، نت پیش‌بین و نت برنامه‌ریزی شده با تنظیم شاخص‌های اولیه بررسی شده‌اند.

بصیرت، فضل‌الله‌تبار و مهدوی (۲۰۱۳) نیز مدلی را برای بررسی سیستم نت ارائه کرده‌اند. مدل معرفی شده به نسبت بزرگ و شامل متغیرهای زیادی است. هدف این مدل، ارزیابی قابلیت اطمینان و کنترل آن است. نتایج مدل نشان داده است که تغییری کوچک در فاکتورهای ثابت، سبب تغییرات زیادی در کارایی کلی سیستم می‌شود.

هانکان (۲۰۰۴)، بیوونا و مونته‌ماجوره (۲۰۰۵)، سون (۲۰۰۶) و آلتامینارو، ویرتالا و آیچو (۲۰۰۷) نیز در تحقیقات خود از ابزار پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای بررسی سیستم نت استفاده کرده‌اند. همه تحقیقات بیان شده از نظر نوع سیاست‌های تجزیه و تحلیل شده و همچنین زیرسیستم‌های لحاظ شده در فرایند مدل‌سازی در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

جدول ۱. مقایسه پژوهش‌های گذشته از نظر نوع سیاست‌ها و زیرسیستم‌های لحاظ‌شده در مدل‌سازی

منبع (نویسنده، سال)		سیاست‌های تجزیه و تحلیل‌شده					زیرسیستم‌های در نظر گرفته‌شده				
نت اصلاحی	نت پیشگیرانه	نت مبتنی بر قابلیت‌های مهمین	نت پیش‌بین	حلقه تغییرات هزینه‌نت	حلقه رضایت کارکنان	سفارش‌گیری	حلقه یادگیری کارکنان	مشتری‌مداری	پروژه دوباره‌نگری		
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	استرمن (۲۰۰۰)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	جامبکار (۲۰۰۰)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	هانکانن (۲۰۰۴)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	سون (۲۰۰۴)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	کماث و شولار (۲۰۱۲)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	بیوونا و مونته‌ماجوره (۲۰۰۵)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	دینن، فان‌دالن و کوئن (۲۰۰۸)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	سون (۲۰۰۶)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	آلتامینارو، ویرنالا و آیجو (۲۰۰۷)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	بوهم، بک، کناک و یگر (۲۰۰۸)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	چومای (۲۰۰۹)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	یه (۲۰۱۰)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	یوکیکن، اولن و پوتسیا (۲۰۱۱)	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	بصیرت، فضل‌الله‌تبار و مهدوی (۲۰۱۳)	

تفاوت تحقیق پیش‌رو و تحقیقات پیشین از دو نظر شایان بررسی است. اولین تفاوت این تحقیق مدل‌سازی، تأثیر و تأثر سیستم نت و سیستم مشتری‌مداری است. در دنیای رقابتی امروز، مشتری‌مداری اهمیت فراوانی دارد و تکرار خرید یک مشتری درآمد فراوانی را عاید صنعت می‌کند. اثر سیاست‌های نت بر مشتری‌مداری را نیز نباید نادیده گرفت. به‌عنوان مثال، در صورتی که سیاست‌های نت موجب افزایش زمان توقف کارخانه‌ای شود، این توقف‌ها سبب

افزایش تأخیر در زمان ارسال کالا برای مشتریان می‌شود و رضایت مشتریان را کاهش می‌دهد و بدنامی شرکت در بین مشتریان را در پی دارد.

از دیگر مواردی که در این تحقیق به‌خوبی مدل‌سازی شده، چرخه دوباره‌کاری است که تجهیزات تولیدکننده کالاهای معیوب، این چرخه را ایجاد می‌کنند. این چرخه را خیلی قبل‌تر کوپر، لینز و بریانت (۲۰۰۲) نیز بررسی کرده‌اند، اما تاکنون در مدل‌های ارائه‌شده برای سیستم نت استفاده نشده است؛ در صورتی که سیاست‌های مربوط به نت اثر زیادی بر این چرخه می‌گذارد و تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در بخش‌های بعدی، مدل مربوط به چرخه دوباره‌کاری به‌صورت کامل تشریح می‌شود.

روش‌شناسی پژوهش

هدف این مقاله استفاده از ابزار پویایی‌شناسی سیستم‌ها برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی آثار سیاست‌های نت (نت اصلاحی و نت پیشگیرانه) در یک شرکت تولید سیم و کابل است. پویایی‌شناسی سیستم‌ها به‌دلیل داشتن خواص پویایی و بازخوردی، برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های پیچیده بسیار مناسب است. گام‌های لازم برای استفاده از این ابزار را که از کتاب استرمن (۲۰۰۰) استخراج شده است می‌توان در شش گام زیر خلاصه کرد:

تعریف دقیق مسئله و تعیین مرز سیستم: در این گام مسئله مورد نظر به‌صورت کامل بیان شده و مرز سیستم مشخص می‌شود. نکته مهم این است که باید برای استفاده از این ابزار مسئله‌ای وجود داشته باشد. به عبارت دیگر پویایی‌شناسی سیستم‌ها ابزاری است که برای حل مسائل در دنیای پیچیده استفاده می‌شود.

شناسایی زیرسیستم‌های درگیر در مسئله: پس از مشخص شدن مرز سیستم، با توجه به مسئله و با مطالعه منابع موجود و دیدگاه صاحب‌نظران، زیرسیستم‌های دخیل در شکل‌گیری مسئله مورد نظر استخراج می‌شوند.

استخراج متغیرهای مؤثر و تدوین نمودار علی- معلولی: پس از شناسایی زیرسیستم‌ها، متغیرها و بازخوردهایی که در هر زیرسیستم وجود دارند، شناسایی می‌شود، سپس نمودار علی- معلولی سیستم با استفاده از متغیرها و حلقه‌های شناسایی شده ایجاد می‌شود. در این تحقیق به‌دلیل زیاد شدن حجم مطلب از بیان حلقه‌های علی- معلولی چشم‌پوشی شده است و هر جا لازم باشد به‌همراه مدل جریان انباشت توضیحاتی بیان می‌شود.

ایجاد نمودار جریان - انباشت^۱ و استفاده از داده‌های مناسب برای شبیه‌سازی این مدل: گام بعدی، ایجاد نمودار جریان - انباشت از روی نمودار علی - معلولی است. برای این منظور ابتدا باید متغیرهای نرخ، انباشت و کمکی درون نمودار علی - معلولی شناسایی شوند؛ سپس نمودار جریان - انباشت ایجاد می‌شود.

پس از ایجاد این مدل، روابط بین متغیرها براساس داده‌های تاریخی، استفاده از نظر خبرگان آن صنعت و منطق بین متغیرها تعیین می‌شود.

اعتبارسنجی^۲ مدل شبیه‌سازی شده: برای اطمینان از اینکه مدل ایجاد شده واقعیات درون سیستم را به خوبی مدل کرده است، اعتبارسنجی صورت می‌گیرد. برای اعتبارسنجی از آزمون‌هایی مانند رفتار مرجع، آزمون حساسیت، آزمون رفتار حدی و ... استفاده شده و اعتبار مدل بررسی می‌شود.

ارزیابی سناریوهای پیشنهادی و بیان راهکار مناسب: در صورت اعتبار کافی مدل ایجاد شده، می‌توان سناریوهای متصور پیشنهادی را با تعریف ورودی‌های مدل آزمایش کرد و ارزش هر کدام را نسبت به دیگری سنجید.

مروری بر نمونه موردی و اهداف آن در آینده

شرکت صنایع سیم و کابل سیمکان در سال ۱۳۷۶ با اخذ موافقت اصولی از اداره صنایع و معادن استان اصفهان تأسیس شد. براساس مصاحبه با مدیران و کارشناسان شرکت، یکی از اهداف مبتنی بر رویکرد مشتری‌مداری است؛ به گونه‌ای که شرکت سعی می‌کند با افزایش ظرفیت تولید برای فروش هرچه بیشتر محصولات، درصدد کاهش توقفات و دوباره کاری‌ها و راهکارهای متناسب با آن برآید تا بتواند محصول را در زمان مشخص و مطابق با معیارهای مشتری تحویل دهد و با کاهش سفارش‌های بازگشتی از سوی مشتری، ضمن راضی نگه داشتن مشتری کنونی، بازار فروش را گسترش دهد و بازارهای جدید را تصاحب کند.

بر مبنای این هدف باید رویکرد اساسی شرکت در زمینه نت نیز ارزیابی اساسی شود. رویکرد فعلی شرکت در سیاست‌های نت مبتنی بر نت اصلاحی است و کمتر به نت پیشگیرانه توجه می‌شود. از این رو یکی از سیاست‌هایی که در این تحقیق ارزیابی می‌شود این است که اگر شرکت در دو سال (۲۴ ماه آتی) رویکرد خود را در سیاست‌های مربوط به نت بیشتر به سمت نت پیشگیرانه سوق دهد، چه تغییر یا بهبودی در فاکتورهای بیان شده در هدف دوم ایجاد می‌شود.

1. Stock-Flow Diagram
2. Validation

مدل‌سازی تأثیر و تأثرات بین بخش نت و سایر بخش‌ها

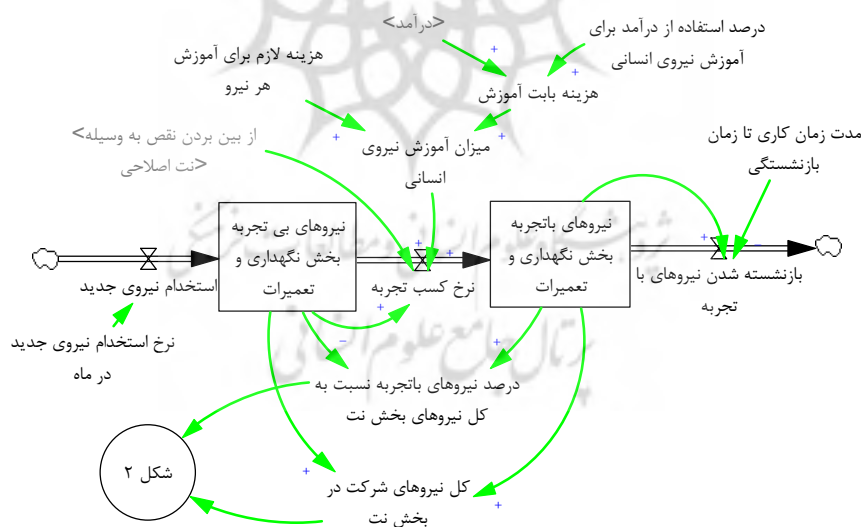
مدل معرفی شده در این تحقیق از چهار بخش عمده تشکیل شده است.

- زیرسیستم مربوط به تغییرات تعداد نیروهای انسانی بخش نت شرکت؛
- زیرسیستم مربوط به خرابی تجهیزات شرکت؛
- زیرسیستم مربوط به فرایند دوباره‌کاری شرکت؛
- زیرسیستم مربوط به سفارش‌گیری و مشتری‌مداری شرکت.

در ادامه هر کدام از زیرسیستم‌های یادشده بررسی و نحوه مدل‌سازی هر بخش تشریح می‌شود.

زیرسیستم مربوط به تغییرات تعداد نیروهای انسانی بخش نت شرکت

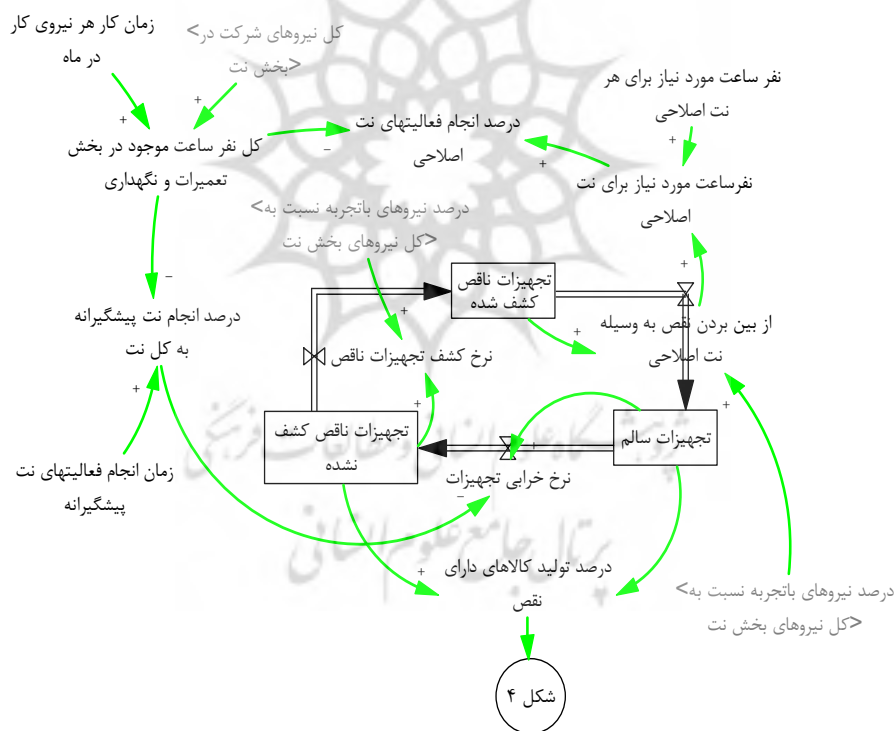
برای مدل‌سازی این زیرسیستم، دو متغیر انباشت تعریف شده است. این دو متغیر نشان‌دهنده نیروهای باتجربه و بی‌تجربه بخش نت شرکت است. در حقیقت زنجیره سنی^۱ تبیین شده نشان می‌دهد نیروهای بی‌تجربه شرکت با توجه به نرخ که وابسته به میزان آموزش و میزان کسب تجربه از طریق اجرای نت اصلاحی است، به نیروهای باتجربه شرکت ملحق می‌شوند. نیروهای باتجربه نیز با توجه به ثابت زمانی مدت زمان کاری تا زمان بازنشستگی، بازنشسته شده و از جمع نیروهای باتجربه خارج می‌شوند.



شکل ۱. نمودار جریان - انباشت برای زیرسیستم تعداد نیروهای انسانی بخش نت شرکت سیمکان

زیرسیستم مربوط به خرابی و عیب‌یابی تجهیزات

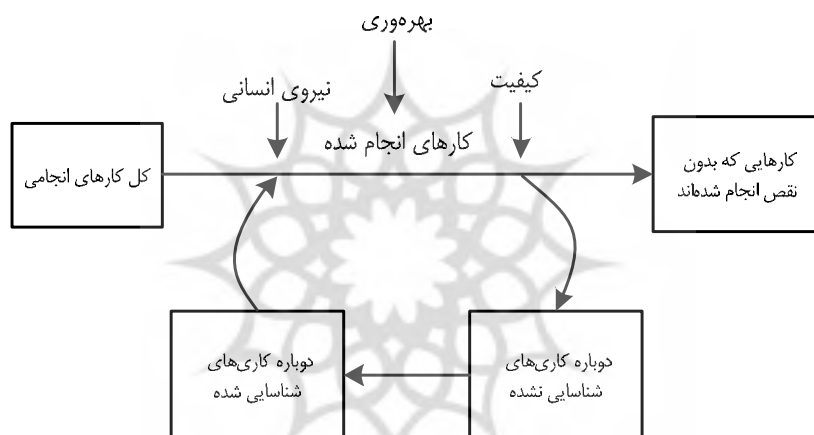
برای تفکیک تجهیزات در بخش نت از سه متغیر انباشت تجهیزات سالم، تجهیزات ناقص کشف‌نشده و تجهیزات ناقص کشف‌شده استفاده شده است. تجهیزات سالم هیچ نقصی در عملکرد ندارند و کابل معیوب تولید نمی‌کنند. تجهیزات ناقص کشف‌نشده، تجهیزاتی‌اند که عملکردشان دچار اشکال است و به تعمیرات نیاز دارند. اما این تجهیزات فعال‌اند و خرابی آنها کشف نشده است. به عبارت دیگر، کالاهای تولیدشده با این تجهیزات کیفیت مطلوب مشتری را ندارند. متغیر انباشت دیگر مربوط به تجهیزات ناقص کشف‌شده است که برای رفع نقص باید خط تولید متوقف شود، تا نیروهای بخش نت با اجرای عملیات نت اصلاحی نقص را رفع کنند. در حقیقت در این قسمت است که بحث دربارهٔ نت اصلاحی به میان می‌آید. استرمن (۲۰۰۰) نیز در مدل خود این چرخه را در نظر گرفته است.



شکل ۲. نمودار جریان - انباشت برای زیرسیستم مربوط به خرابی و عیب‌یابی تجهیزات شرکت

زیرسیستم مربوط به فرایند دوباره‌کاری^۱

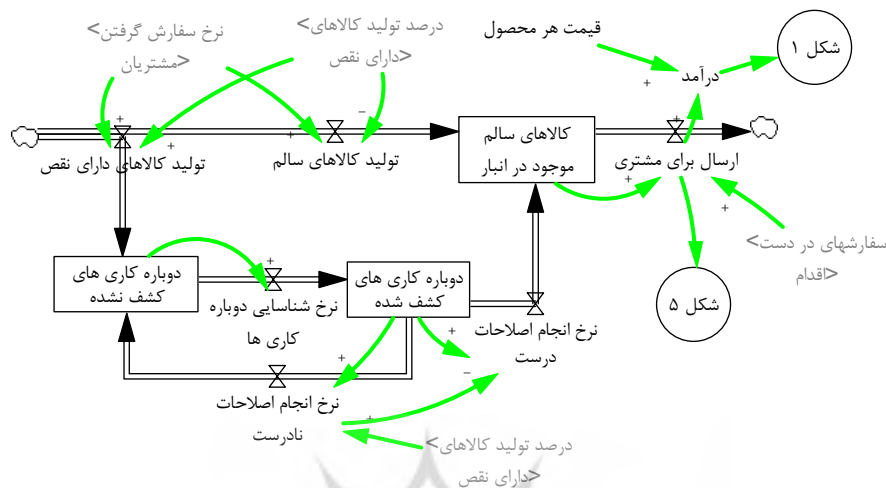
چرخهٔ دوباره‌کاری مربوط به زمانی است که به‌علت نقص تجهیزات، سیم‌ها و کابل‌های معیوب تولید شده است که به دوباره‌کاری نیاز دارند. فرایند ایجادکنندهٔ این چرخه در شکل ۳ نشان داده شده است. در این فرایند بخشی از تولیدات با توجه به متغیرهایی مانند کیفیت، بهره‌وری یا درصد تولید کالاهای ناقص به دوباره‌کاری‌های کشف‌نشده منتقل می‌شود. منظور از دوباره‌کاری‌های کشف‌نشده، کالاهایی است که به عملیات دوباره‌کاری نیاز دارند، اما هنوز نقص آنها کشف نشده و فرایند کشف به زمان نیاز دارد. پس از کشف کالاهای نیازمند دوباره‌کاری، این کالاها با اجرای عملیات اصلاحی، به چرخهٔ تولید باز می‌گردد (کوپر، لینز و بریانت، ۲۰۰۲).



شکل ۳. فرایند شکل‌گیری دوباره‌کاری در یک خط تولید

منبع: کوپر لینز و بریانت (۲۰۰۲)

مدل ایجادشده در این تحقیق با لحاظ مدل کوپر، لینز و بریانت (۲۰۰۲)، چرخهٔ دیگری را نیز به مدل اضافه کرده است. در این چرخه یک کالای معیوب که نقص آن کشف نشده است پس از شناسایی نقص، عملیات دوباره‌کاری بر روی آن اجرا می‌شود، اما پس از دوباره‌کاری نیز ممکن است هنوز نقص کالا برطرف نشده باشد و یا دچار نقص دیگری باشد که در عملیات قبلی شناسایی نشده است. یک کالا ممکن است چندین مرتبه این فرایند را تکرار کند تا به کالای سالم (بی‌عیب) تبدیل شود. فرایند شکل‌گیری این چرخه به‌صورت شکل ۴ است.



شکل ۴. نمودار جریان- انباشت ایجادشده برای فرایند دوباره کاری ها

زیرسیستم مربوط به سفارش گیری و مشتری مداری

برای مدل سازی مناسب این زیرسیستم، مشتریان شرکت به دو دسته مشتریان بالفعل و مشتریان بالقوه تقسیم شده اند. این دسته بندی براساس تحقیق دیگری که در حوزه مشتری مداری انجام گرفت ایجاد شده است (لیو، تریانتیس و سارنگی، ۲۰۱۱). مشتریان بالفعل مشتریانی اند که در حال حاضر، سفارش خود را از این شرکت تأمین می کنند. مشتریان بالقوه، مشتریانی اند که در آینده، پتانسیل تبدیل به مشتریان بالفعل را دارند، ولی اکنون نیاز خود را از تولیدکننده های دیگر تأمین می کنند. نرخ تبدیل مشتریان بالقوه به بالفعل، وابسته به میزان تبلیغات شفاهی^۱ است که از میزان رضایت مشتریان سرچشمه می گیرد (استرمن، ۲۰۰۰). در صنایع دیگر ممکن است سایر روش های تبلیغاتی مانند تبلیغات تلویزیونی، بروشور و ... بر این نرخ اثرگذار باشد، اما در صنعت تولید کابل اثر این روش های تبلیغاتی در مقابل تبلیغات شفاهی ناچیز بوده و از لحاظ آنها در مدل چشم پوشی شده است.

همچنین میزان از دست رفتن مشتریان بالفعل در شرکت، به میزان کالاهای تولیدی ناقص کشف نشده وابسته است، چراکه این کالاها به دست مشتریان می رسند و پس از تشخیص نقص به شرکت پس فرستاده می شوند.

اعتبارسنجی مدل

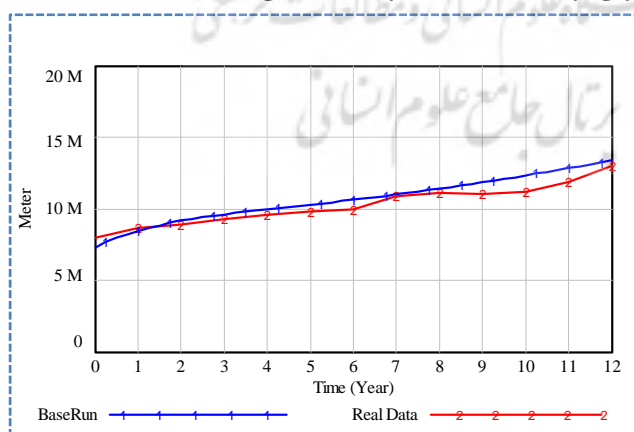
اعتبارسنجی نمودار جریان- انباشت، بخش مهمی از فرایند تحقیق است تا اعتبار مدل ایجادشده از نظر تطابق با واقعیت (هم در مدل سازی و هم در تعیین روابط) تأیید شود. در حقیقت اعتبارسنجی، سنجش کل سیستم است که آیا ترکیب این اجزا در کنار هم نتایج درستی را ایجاد می کنند یا خیر (پیترسون، ۱۹۷۵). در این تحقیق مدل ایجادشده به سه روش اعتبارسنجی شده است که در ادامه نتایج هر کدام بیان می شود.

بازسازی رفتار مرجع

این آزمون بررسی می کند که شبیه سازی مدل با توجه به مقادیر مناسب می تواند رفتار گذشته متغیرهای مهم را با دقت خوبی شبیه سازی کند یا خیر؟ (استرمن، ۲۰۰۰: ۸۴۵). در اینجا برای شبیه سازی از داده های یک سال گذشته (دی ۱۳۹۲ تا دی ۱۳۹۳) استفاده شده است. برای استخراج داده های استفاده شده در این قسمت و قسمت های قبل، پس از بررسی ها، مشاهده داده های بایگانی و مصاحبه با کارشناسان، داده های قابل اعتمادی برای متغیرها استخراج شد که در نهایت، کارشناسان صحت همه آنها را تأیید کردند. شایان ذکر است از آنجاکه ثابت زمانی شبیه سازی برای مدل ماهانه است، برای مقایسه نیز نتایج مدل با داده های ماهانه مقایسه شده است.

میزان تولید کارخانه

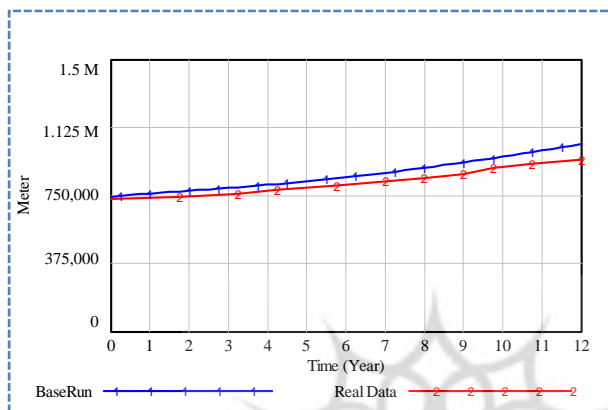
در شکل ۶ خط قرمز نشان دهنده مقدار تولید سیم و کابل شرکت با واحد متر است. این داده ها مربوط به میزان تولید شرکت طی یک سال گذشته است. خطای ۴/۶ درصدی نشان از این دارد که نتایج شبیه سازی با دقت خوبی توانسته است مقدار تولید بازه زمانی مدنظر را شبیه سازی کند.



شکل ۶. مقایسه میزان تولید کارخانه و نتایج شبیه سازی

میزان سفارش‌های دریافت‌شده

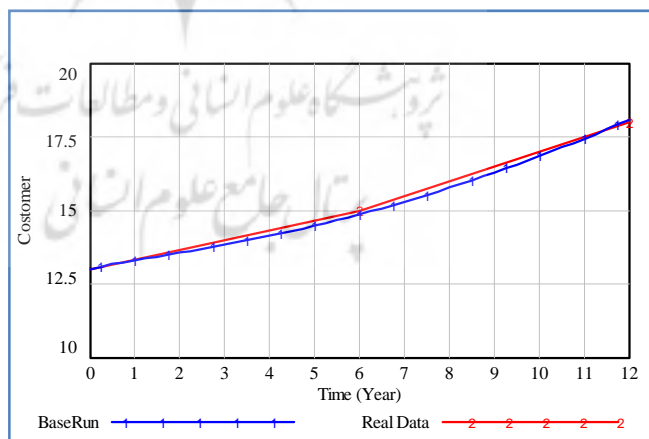
در شکل ۷ خط قرمز نشان‌دهنده مقدار سفارش‌های دریافتی از مشتریان است که در آمارهای ثبت‌شده ماهانه شرکت موجود است. خطی بازسازی رفتار مرجع در این قسمت ۵/۳ درصد شده است.



شکل ۷. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و داده‌های واقعی برای نرخ سفارش گرفتن

تعداد مشتریان بالفعل (دائمی)

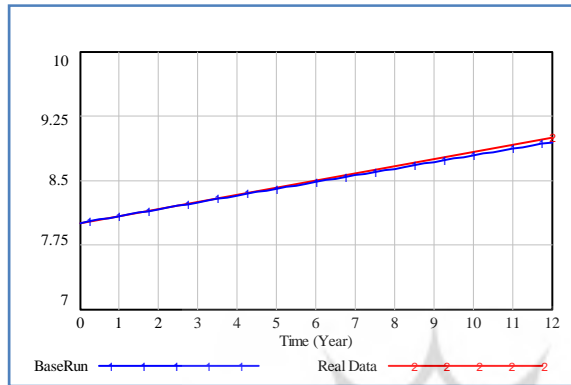
شکل ۸ نتایج شبیه‌سازی مدل بر روی تعداد مشتریان بالفعل را با مقدار واقعی همین متغیر نشان می‌دهد. طبق آمارهای شرکت، تعداد مشتریان در طول سال گذشته از ۱۳ به ۱۸ رسیده است که نتایج شبیه‌سازی مدل نیز با این مقدار با خطای ۰/۴۴ درصدی همخوانی دارد.



شکل ۸. تعداد مشتریان بالفعل شرکت

تعداد کل کارکنان بخشی نت

بنابر نظر کارکنان تعداد نیروهای بخشی نت طی دامنه زمانی بررسی شده از ۸ نفر به ۹ نفر رسیده است. نتایج شبیه‌سازی مدل نیز برای این متغیر با مقدار واقعی همخوانی قابل قبولی دارد.



شکل ۹. مقایسه نتایج شبیه‌سازی و مقادیر واقعی شرکت در مورد تعداد نیروهای انسانی بخشی نت

جدول ۳. مقایسه داده‌های واقعی و نتایج شبیه‌سازی مدل

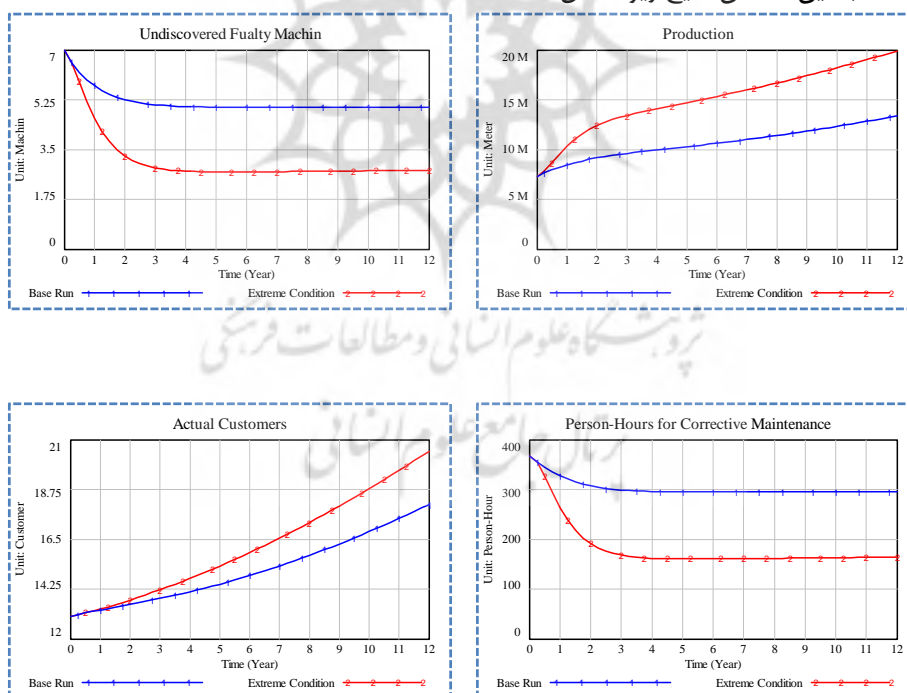
ماه	تولید کالاهای سالم		نرخ سفارش‌گیری		مشتریان بالفعل		تعداد کارکنان	
	واقعی	شبیه‌سازی	واقعی	شبیه‌سازی	واقعی	شبیه‌سازی	واقعی	شبیه‌سازی
۰	۸۰۰۰۰۰	۷۳۹۸۲۴۲	۷۲۹۸۲۵	۷۴۳۶۰۰	۱۳	۱۳	۸	۸
۱	۸۵۴۷۳۷۰	۸۴۵۰۴۰۶	۷۳۵۸۴۰	۷۶۱۰۴۵	۱۳/۳	-	-	۸/۱
۲	۸۸۴۲۱۰۰	۹۱۶۲۴۱۵	۷۴۳۲۷۵	۷۷۵۴۰۷	۱۳/۶	-	-	۸/۲
۳	۹۱۷۱۰۵۵	۹۶۰۴۲۹۴	۷۵۴۹۷۱	۷۹۰۷۴۶	۱۳/۸	-	-	۸/۲
۴	۹۵۷۸۹۵۰	۹۹۴۷۳۶۰	۷۷۵۰۰۰	۸۰۸۰۸۷	۱۴/۱	-	-	۸/۳
۵	۹۸۴۲۱۰۰	۱۰۲۷۶۹۰۵	۷۹۳۸۶۰	۸۲۷۸۰۱	۱۴/۵	-	-	۸/۴
۶	۱۰۲۱۰۵۲۵	۱۰۶۲۴۶۹۰	۸۱۱۴۰۴	۸۵۰۰۲۳	۱۴/۹	۱۵	-	۸/۵
۷	۱۰۹۲۹۸۳۳	۱۱۰۰۱۲۷۶	۸۲۸۹۴۷	۸۷۴۷۶۴	۱۵/۳	-	-	۸/۶
۸	۱۱۰۶۳۱۸۰	۱۱۴۰۹۷۲۷	۸۴۶۴۹۱	۹۰۱۹۷۵	۱۵/۸	-	-	۸/۶
۹	۱۰۹۲۹۸۳۰	۱۱۸۵۰۵۰۹	۸۶۸۴۲۱	۹۳۱۵۷۴	۱۶/۳	-	-	۸/۷
۱۰	۱۱۵۲۶۳۰۰	۱۲۳۲۳۱۸۲	۹۰۵۷۰۲	۹۶۳۴۷۰	۱۶/۸	-	-	۸/۸
۱۱	۱۲۰۰۰۰۰۰	۱۲۸۲۶۹۸۷	۹۳۰۳۵۱	۹۹۷۵۶۶	۱۷/۴	-	-	۸/۹
۱۲	۱۲۹۸۱۲۵۰۰	۱۳۳۶۱۰۴۲	۹۵۰۰۰۰	۱۰۳۳۷۶۵	۱۸/۱	۱۸	۹	۸/۹
خطا ^۱	-/۰۰۴۶	-/۰۵۳	-/۰۰۴۴	-/۰۰۳۷				

۱. تمامی مقادیر خطاها با روش میانگین قدرمطلق خطا (MAE) محاسبه شده‌اند.

جدول ۳ مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی شدهٔ توسط مدل را نشان می‌دهد. به‌طور میانگین در چهار متغیر مورد بحث میزان خطا برابر با ۰/۰۲۷ است که نشان می‌دهد نتایج شبیه‌سازی مدل برای داده‌های تاریخی متغیرهای اصلی مسئله با اعتبار خوبی با مقدار واقعی آن‌ها در طول ۱۲ ماه گذشته همخوانی دارد.

شبیه‌سازی رفتار حدی (آزمون شرایط حدی)

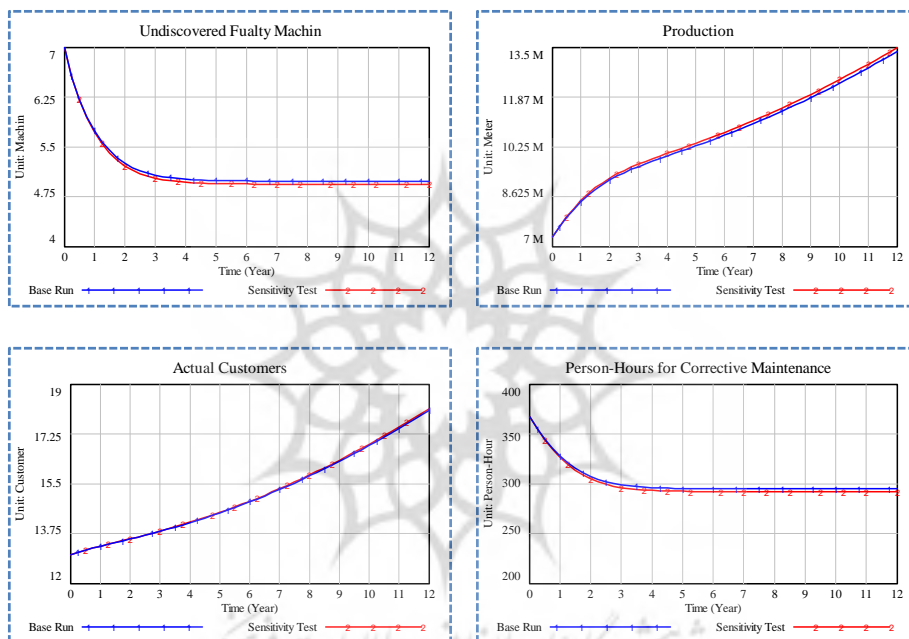
این آزمون، همان‌طور که از نامش پیداست مربوط به اعتبار مدل در شرایط حدی است. شرایط حدی مربوط به زمانی است که اگر مقدار شاخص‌های مدل به بیشترین یا کمترین حد خود برسد، تعادل مدل به هم نریزد و متغیرهای مدل رفتارهای نادرست از خود نشان ندهند (استرمن، ۲۰۰۰). اعتبار مدل از این روش تأیید می‌شود. به‌عنوان نمونه حداکثر مقداری که شاخص زمان اجرای فعالیت‌های نت پیشگیرانه به خود می‌گیرد، زمانی است که تمامی کارکنان بخش نت به اجرای نت پیشگیرانه بپردازند. با توجه به اینکه کارکنان ۹ نفرند، حداکثر زمان اختصاص یافته به اجرای فعالیت‌های نت پیگیرانه می‌تواند ۱۸۰۰ نفر-ساعت باشد. با اختصاص مقدار ۱۸۰۰ نفر-ساعت به این شاخص نتایج زیر حاصل شده است.



شکل ۱۰. نتایج اجرای آزمون حساسیت بر روی برخی متغیرهای مدل

آزمون حساسیت

این آزمون برخلاف آزمون حالت حدی، مربوط به زمانی است که اگر تغییر کوچکی در شاخص‌های ورودی به مسئله ایجاد شود، نباید تعادل مدل به هم بریزد و رفتار متغیرها نباید تغییر چندانی از خود نشان دهند. به‌عنوان یک نمونه اگر مقدار شاخص زمان اجرای فعالیت‌های نت پیشگیرانه از مقدار فعلی یعنی صفر به مقدار ۱۰ نفر-ساعت در ماه تغییر کند، نتایج زیر برای متغیرهای مدل ایجاد می‌شود.



شکل ۱۱. نتایج اجرای آزمون حساسیت بر روی برخی متغیرهای مدل

تحلیل سناریوی مربوط به افزایش زمان اختصاص یافته نیروها به نت پیشگیرانه

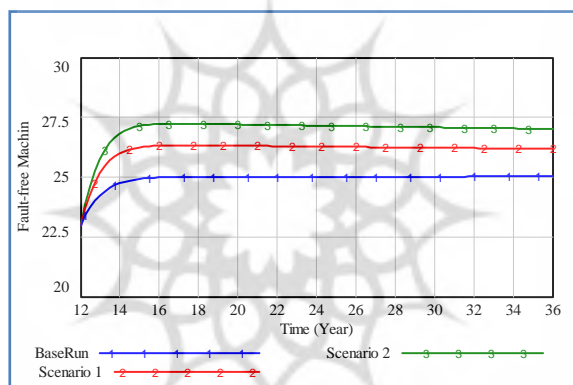
شرکت ذکر شده هم‌اکنون از سیستم نت اصلاحی استفاده می‌کند. در این قسمت برای ارائه نتایج به مدیران شرکت، براساس این سناریو پیش‌بینی می‌شود که اگر نیروهای بخش نت زمان بیشتری را به اجرای نت پیشگیرانه اختصاص دهند، چه نتایجی برای مقدار متغیرهای مدل طی دو سال پیش‌رو حاصل می‌شود. برای این منظور علاوه بر شبیه‌سازی شرایط جاری دو سناریو دیگر طبق جدول ۴ تعریف شده است.

جدول ۴. مقادیر شاخص زمان اختصاص یافته نیروهای نت به اجرای نت پیشگیرانه در سناریوسازی

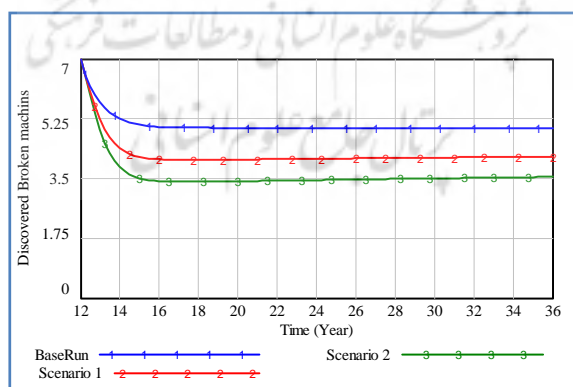
نام سناریو	مقدار متغیر زمان اختصاص یافته نیروهای نت به اجرای نت پیشگیرانه	واحد
BaseRun	۰	Person*hour/Month
Scenario 1	۵۰۰	Person*hour/Month
Scenario 2	۱۰۰۰	Person*hour/Month

نتایج سناریوها برای میزان تجهیزات کارخانه

از آنجاکه با اجرای عملیات مربوط به نت پیشگیرانه از خرابی تجهیزات کاسته می‌شود، تجهیزات سالم شرکت افزایش و تجهیزات ناقص کشف شده نیز کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل ۱۲. تعداد تجهیزات سالم شرکت

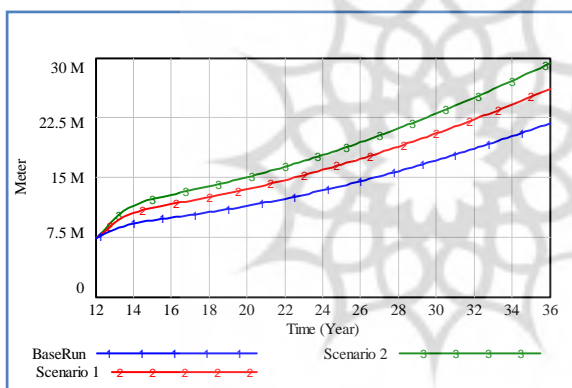


شکل ۱۳. تجهیزات ناقص کشف شده

در صورتی که شرکت از شرایط جاری به سمت سناریوی دوم یعنی اختصاص ۱۰۰۰ نفر-ساعت به اجرای نت پیشگیرانه حرکت کند، پس از دو سال تعداد تجهیزات سالم شرکت ۸ درصد افزایش و تجهیزات ناقص کشف شده نیز ۳۰ درصد کاهش می‌یابد.

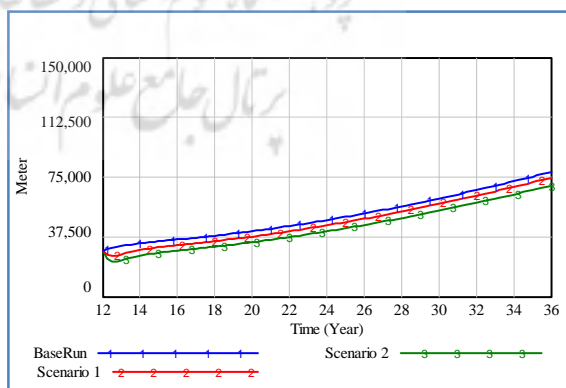
مقدار تولید

با کاهش تجهیزات ناقص کشف نشده، کالاهای ناقص تولیدی نیز کاهش پیدا می‌کند. همچنین نسبت تجهیزات ناقص کشف شده به تعداد کل تجهیزات کاهش و درصد فعال بودن خط تولید افزایش پیدا خواهد کرد؛ بنابراین در مجموع میزان کالاهای سالم تولیدی نیز افزایش پیدا می‌کند. شکل ۱۳ نشان می‌دهد که سناریوی دوم نسبت به شرایط جاری بهبود ۳۴ درصدی را برای مقدار کالای سالم تولید شده حاصل می‌کند (شکل ۱۴). نکته دیگر اینکه با کاهش تجهیزات ناقص کشف نشده، تولید کالاهای ناقص نیز کاهش پیدا می‌کند.

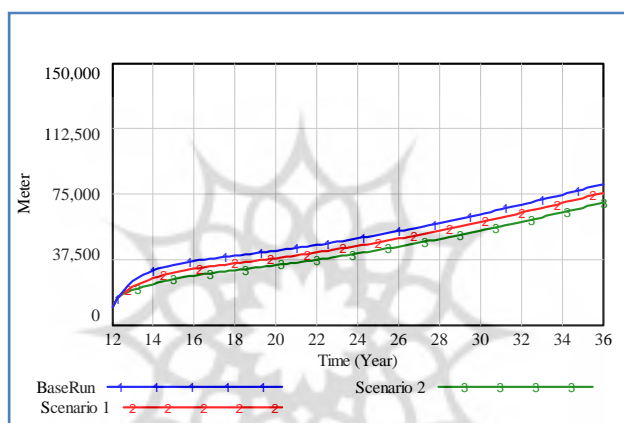


شکل ۱۴. مقدار کالای سالم تولید شده (بدون نیاز به دوباره کاری)

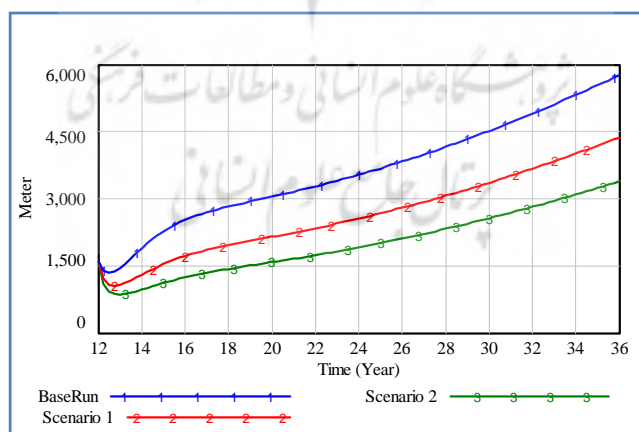
شکل ۱۵. میزان تولید کالاهای ناقص (کالاهایی که به دوباره کاری نیاز دارند)



در پی کاهش تولید این‌گونه کالاها، تعداد کالاهایی که به دوباره‌کاری نیاز دارند، ولی هنوز شناسایی نشده‌اند (فرض شده است که این کالاها به دست مشتری می‌رسند و سپس با نرخ ثابتی بازگردانده می‌شوند) نیز کاهش پیدا خواهد کرد. با توجه به درصد تولید کالاهای ناقص، ممکن است شرکت در دوباره‌کاری‌ها نیز دچار اشکال شود و نقص این کالاها برطرف نشود. نتایج سناریوهای تعریف‌شده بر روی نرخ اجرای نادرست دوباره‌کاری‌های به‌صورت شکل ۱۷ است. در این شکل سناریوی دوم نسبت به شرایط جاری بهبود ۴۱ درصدی اجرای نادرست دوباره‌کاری‌ها را سبب می‌شود.



شکل ۱۶. مقدار تولید دوباره‌کاری‌های کشف‌نشده

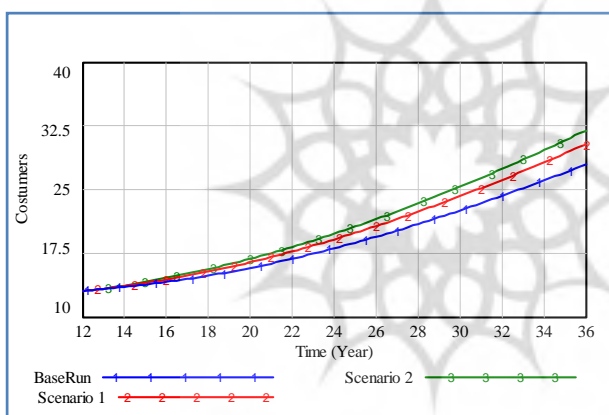


شکل ۱۷. نرخ اجرای نادرست دوباره‌کاری‌ها

نتایج برای تعداد مشتریان شرکت

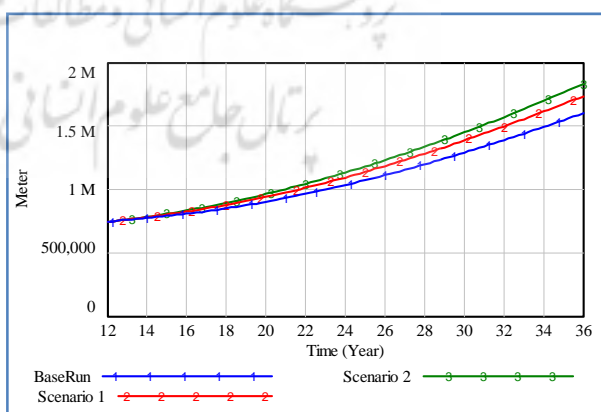
همان‌طور که پیشتر ذکر شد، مشتریان این شرکت به دو نوع بالقوه و بالفعل تقسیم شده‌اند. مشتریان بالقوه به محصول تولیدی مورد نظر نیاز دارند، اما از تولیدکنندگان دیگر نیاز خود را برطرف می‌کنند و مشتریان بالفعل نیاز خود به کالا را هم‌اکنون از شرکت مزبور تهیه می‌کنند. در حقیقت نرخ تبدیل مشتریان بالقوه به بالفعل یکی از متغیرهایی است که شرکت باید به آن توجه کند و اثر سیاست‌گذاری‌های خود را بر این متغیر در نظر بگیرد.

نتایج شبیه‌سازی بر روی مشتریان بالفعل (شکل ۱۸) نشان می‌دهد سناریوی دوم نسبت به شرایط جاری تعداد مشتریان بالفعل شرکت را ۱۴ درصد افزایش می‌دهد. واضح است که با افزایش مشتریان بالفعل شرکت، سفارش‌های دریافتی شرکت نیز به‌نسبت همین متغیر افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۱۸. تعداد مشتریان بالفعل

شکل ۱۹. نرخ سفارش‌گیری



نتیجه گیری

در این تحقیق برای بررسی سیستم نت یک شرکت تولید سیم و کابل به عنوان سیستمی که نحوه سیاستگذاری در قبال آن بر متغیرهای زیادی اثرگذار است و همچنین بازخوردهای فراوانی بر این سیستم اثرگذارند، از ابزار پویایی شناسی سیستمها استفاده شده است. مدل ارائه شده در این تحقیق با در نظر گرفتن زیرسیستمهای مربوط به تغییرات تعداد نیروهای انسانی بخش نت، خرابی تجهیزات، فرایند دوباره کاری و همچنین زیرسیستم مربوط به سفارش گیری و مشتری مداری نسبت به تحقیقات پیشین کامل تر است.

پس از ایجاد مدل جریان- انباشتی که نحوه تأثیر و تأثرات مختلف را در شرکت نشان می دهد؛ اعتبار مدل با استفاده از سه روش آزمون بازسازی رفتار مرجع، حدی و حساسیت بررسی شد. نتایج آزمون بازسازی رفتار مرجع نشان داد که مدل با میانگین دقت ۲/۷ درصدی توان بازسازی رفتار متغیرهای اصلی را دارد.

از آنجاکه هدف شرکت، جذب مشتریان جدید و توسعه و گسترش تولید و فروش محصول تولیدی است، اثر سیاستهای مختلف نت بر متغیرهای مدل ارزیابی شد. نتایج نشان داد با تغییر رویکرد شرکت از سمت نت اصلاحی به نت پیشگیرانه یعنی تخصیص ۱۰۰۰ نفر- ساعت به اجرای نت پیشگیرانه، پس از گذشت دو سال، کالاهای سالم تولید شده ۳۴ درصد افزایش، نرخ دوباره کاری های نادرست ۴۱ درصد کاهش و تعداد مشتریان بالفعل شرکت ۱۴ درصد افزایش می یابد. بنابراین اجرای نت پیشگیرانه از جنبه های مختلف به نفع شرکت است و باید در دستور کار قرار گیرد.

مدل ارائه شده در این تحقیق از مدل های پیشین از نظر مدل سازی کامل تر است؛ اما می توان آن را با افزودن زیرسیستم های دیگری بهبود بخشید و برای صنعت مورد نظر خود تطبیق داد. مدل سازی فرایند کنترل کیفیت، فرایند قیمت گذاری و شکل گیری قیمت تعادلی و اثر آن بر تعداد مشتریان، نحوه رفتار رقبا در قبال قیمت، تبلیغات، عرضه خدمات و غیره نیز بخش هایی اند که می توانند مدل ارائه شده در این تحقیق را کامل تر کنند.

همچنین از آنجاکه مفاهیم نت تنها به نت اصلاحی و نت پیشگیرانه خلاصه نمی شود، با تعریف متغیرهای جدید در مدل می توان سناریوهای جدیدی مانند اجرای نت پیش بین و نت بهره ور جامع را تعریف کرد و مدل را تحت این سناریوها ارزیابی کرد.

References

- Ahmadi, S. R. & Mokhtarzadeh, N. (2014). Checking and Prioritizing the Rate of Sensitivity of Machines for precautionary Maintenance with Martel & Zaras Method (The Case: Tolid Atash Factory), *Industrial Management*, 5(2): 1-22. (in Persian)
- Ahuja, I.P.S. & Khamba, J.S. (2008). Total Productive Maintenance: Literature Review and Directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(7): 709–56.
- Altamirano, M. A., Virtala, P. & Äijö, J. (2007). A qualitative analysis of periodic maintenance of roads. Understanding the mechanisms in pavement management. In *25th International Conference of the System Dynamics Society and the 50th Anniversary Celebration*.
- Basirat, P., Fazlollahtabar, H. & Mahdavi, I. (2013). System dynamics meta-modelling for reliability considerations in maintenance, *Process Management and Benchmarking*, 3(2): 136–153.
- Bivona, E. & Montemaggiore, G. B. (2005, July). Evaluating fleet and maintenance management strategies through system dynamics model in a city bus company. In *International System Dynamics Conference, Boston, MA*. pp. 17-21.
- Bivona, E. & Montemaggiore, G. B. (2010). Understanding short-and long-term implications of “myopic” fleet maintenance policies: a system dynamics application to a city bus company. *System dynamics review*, 26(3): 195-215.
- Bohm, T., Beck, K., Knaak, A., & Jager, B. (2008). Efficient maintenance strategy through System Dynamics. In *Eleventh International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems (COMPRAIL8)*.
- Chumai, R. (2009, July). System Dynamic Modeling of Plant Maintenance Strategy in Thailand. In *Proceedings of the 27th International Conference of the System Dynamics Society, Albuquerque* (pp. 26-30).
- Cooper, K. G., Lyneis, J. M., & Bryant, B. J. (2002). Learning to learn, from past to future. *International journal of project management*, 20(3): 213-219.
- Deenen, R. E. M., Van Daalen, C. E., & Koene, E. G. C. (2008, July). Maintenance performance improvement with system dynamics: a corrective maintenance showcase. In *Proceedings of the 26th International Conference of the System Dynamics Society, Athens, Greece, 20-24 July 2008*. Systems Dynamics Society.

- Esmailian, G. R., Megat Ahmad, M. M. H., Ismail, N., Sulaiman, S. & Hamed, M. (2008, August). Particular model for improving failure mode and effect analysis (FMEA) by using of overall equipment efficiency (OEE). *In Information Technology*, 2008. ITSIm 2008. *International Symposium on* (Vol. 3, pp. 1-9). IEEE.
- Esmailian, M. Bekran, H. (2014). Preventive Maintenance Scheduling with Integer Programming and Constraint Programming, *Industrial Management*, 6(3): 433-452. (in Persian)
- Ghobadi, S. (2006), *systems dynamic (systems Thinking application)*, Tehran, Industrial Management Organization publications. (in Persian)
- Haj Shirmohammadi, A. (2003), *Comprehensive Productive Maintenance*, Tehran, Industrial Management Organization publications. (in Persian)
- Honkanen, T. (2004). *Modeling industrial maintenance systems and the effects of automatic condition monitoring*, Phd Dissertation, Helsinki University of Technology Information and Computer Systems in Automation.
- Jambekar, A. B. (2000). A systems thinking perspective of maintenance, operations, and process quality. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 6(2): 123-132.
- Jokinen, T., Ylén, P., & Pyötsiä, J. (2011). Dynamic model for estimating the added value of maintenance services. *In Proceedings of the 29th International Conference of the System Dynamics Society*. Washington, DC, USA.
- Kamath, V., & Scholar, P. D. (2012). System Dynamics Based Perspective to Reliability Centered Maintenance, *The 30th International Conference of the System Dynamics Society* St. Gallen, Switzerland -- July 22-26, 2012.
- Liu, S., Triantis, K. P., & Sarangi, S. (2011). Representing qualitative variables and their interactions with fuzzy logic in system dynamics modeling. *Systems Research and Behavioral Science*, 28(3): 245-263.
- Peterson, D. W. (1975). *Hypothesis, estimation, and validation of dynamic social models: energy demand modeling*, Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology.
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world* (Vol. 19). Boston: Irwin/McGraw-Hill.
- Thun, J. H. (2004). Modeling Modern Maintenance-A System Dynamics Model Analyzing the Dynamic Implications of Implementing Total Productive Maintenance. *In Proceedings of the 22 nd International Conference of The System Dynamics Society*.

- Thun, J. H. (2006). Maintaining preventive maintenance and maintenance prevention: analysing the dynamic implications of Total Productive Maintenance. *System Dynamics Review*, 22(2): 163-179.
- Ye, J. M. (2010). Improving Maintenance Operation through Transformational Outsourcing. *System Dynamics Review*, 26(4): 224-234.

