کاهش زمان تحویل تولید با استفاده از نقشه‌برداری جریان ارزش و شبیه‌سازی

هایده متقی[1]، اکبر قدردان[2*]

۱. استادیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت، دانشگاه شهید بهشتی، ایران
۲. کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه شهید بهشتی، ایران

دریافت: ۱۳۹۱/۱/۲۳ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۰

چکیده

بسیاری از سازمان‌ها از روش‌های‌های تولید ناب به صورت جداگانه برای حذف اتلاف‌ها بهره برده‌اند. اما در برخی موارد علی‌رغم صرف هزینه‌های کلان برای پیاده‌سازی این روش‌ها، منافع حاصل از آن را محقق سازند. به همین دلیل ایجاد مکانیزمی به منظور جهت‌دهی استفاده از تکنیک‌های تولید ناب و همچنین توجیه مدیران نسبت به فواید ناشی از کاهش اتلاف‌ها، قبل از اجرای واقعی تکنیک‌ها بسیار حایز اهمیت است. نقشه‌برداری جریان ارزش و شبیه‌سازی، دو تکنیکی است که این امر را محقق می‌سازد.

در این مقاله براساس یک مطالعه موردی، نخست با استفاده از نقشه‌برداری جریان ارزش به عنوان یکی از ابزارهای اصلی تولید ناب، اتلاف‌ها و فرصت‌های بهبود شناسایی و به صورت سیستماتیک برای کاهش هر یک از این اتلاف‌ها، ابزارهای تولید ناب معرفی شد. سپس وضعیت موجود و وضعیت بهبود یافته با نرم‌افزار Arena شبیه سازی گردید. در نهایت با اجرای مدل‌های شبیه‌سازی، وضعیت موجود و بهبود یافته، خروجی‌های دو سیستم براساس معیارهای کلیدیِ زمان تحویل تولید، موجودی در جریان ساخت و حمل‌ونقل غیر ضروری مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان از کاهش چشمگیری در منابع اتلاف بود.

واژه‌های کلیدی: تولید ناب، نقشه‌برداری جریان ارزش، شبیه‌سازی، اتلاف.

۱- مقدمه

نقشه‌برداری جریان ارزش به عنوان یکی از ابزارهای اصلی تولید ناب، نقش مهمی در حذف

---

* نویسندهٔ مسؤول مقاله: E-mail: ghadrdan@gmail.com

هرگونه اتلاف[1] در تولید [۱] و همچنین تدارکات، زنجیره تأمین، صنایع خدماتی، بهداشت و درمان[۲]، توسعه نرم‌افزار [۳]، توسعه محصول [٤] و فرایندهای اداری دارد [٥]. این ابزار در به تصویر کشیدن تمامی فرایندهای تولیدی، ارائه جریان مواد و اطلاعات کمک کرده و هدف آن شناسایی انواع اتلاف‌ها در جریان ارزش و تلاش برای حذف آنهاست[٦]. از طرف شبیه‌سازی می‌تواند به عنوان یک ابزار کمکی به حل این مشکل کمک کند. اطلاعات فراهم شده به‌وسیله شبیه‌سازی، مدیریت را قادر به ارزیابی عملکرد سیستم ناب در شرایط قطعی کرده و سبب درک بهتر از سیستم طراحی شده می‌شود. در این تحقیق از نقشه‌برداری جریان ارزش[2] و به دنبال آن سایر تکنیک‌های تولید ناب برای شناسایی و حذف اتلافه‌ای فرایند، کنترل موجودی بهتر و کاهش هزینه‌های سیستم تولید شرکت فنرسازی زر استفاده شده است.

۲-تولید ناب و نقشه‌برداری جریان ارزش

بعد از جنگ جهانی دوم تولیدکنندگان ژاپنی با کمبود مواد، منابع انسانی و مالی مواجه شدند. این شرایط منجر به‌وجود آمدن مفهوم تولید "ناب[3]" شد [۷]. کیچیرو تویودا[4] دریافته بود که خودروسازان آمریکایی از همتایان ژاپنی خود بیشتر تولید می‌کردند. به منظور پاسخ به این تفاوت اولین رهبران صنعت ژاپن مانند تویودا، شیگو شینگو[5]، و تایچی اوهنو[6] یک سیستم تولید جدید، منظم و مبتنی بر فرایند طراحی کردند که امروزه با عنوان "سیستم تولید تویوتا[7]" یا "تولید ناب[8]" شناخته می‌شود. تمرکز این سیستم بر شناسایی منابع اصلی اتلاف و سپس استفاده از ابزارهایی مانند تولید به موقع، تولید هموار، کاهش زمان راه‌اندازی و غیره به منظور حذف این اتلاف‌ها است[۸؛ ۹؛ ۱۰].

مودا[9] کلمه ژاپنی به معنای اتلاف است. مودا، یعنی اتلاف یا هر فعالیتی که مشتری حاضر به پرداخت هزینه برای آن نمی‌باشد؛ به عبارتی حذف انجام این حرکت، هیچ‌گونه تأثیر منفی بر محصول ندارد [۱۱]. مودا عبارتند از تولید بیش از اندازه، اتلاف‌های مربوط به حرکات، نقل و انتقالات، فرایند، زمان‌های زاید، محصولات معیوب و نگهداری و ذخیره‌سازی موجودی‌ها. جریان ارزش مجموعه‌ای از تمام فعالیت‌های (دارای ارزش افزوده، همچنین بدون ارزش افزوده) مورد نیاز برای رساندن محصول یا گروهی از محصولات که از منابع یکسان استفاده می‌کنند، از مواد اولیه تا دستان مشتری، طی دو جریان اصلی مواد و اطلاعات می‌باشد.

یکی از ابزارهای شناسایی مودا در جریان ارزش، نقشه‌برداری جریان ارزش می‌باشد. نقشه‌برداری جریان ارزش یک زبان مشترک برای فرآیند تولید ایجاد می‌کند. بنابراین تصمیم‌گیری برای بهبود جریان ارزش راحت‌تر می‌شود [۱۲].

۳- شبیه‌سازی و نقشه‌برداری جریان ارزش

معمولاً تصمیم در مورد اجرا یا عدم اجرای تولید ناب اغلب به اطمینان و باور افراد به تولید ناب و نتایج گزارش شده به‌وسیله دیگران محدود می‌شود که برای بیشتر شرکت‌ها، دلیل موجهی برای اجرای تولید ناب نمی‌باشد [۱۳]. اگرچه نقشه‌برداری جریان ارزش ابزاری مفید در بهبود سیستم تولید است، اما ایستا بوده و قادر به مقایسه نتایج و توجیه مدیران نسبت به فواید ناشی از اجرای سیستم تولید ناب نیست و این ابزار شبیه‌سازی است که عملکرد پویا داشته و می‌توان به کمک آن نتایج به دست آمده از اجرای اصول تولید ناب را شناسایی و آثار آن را بر کل سیستم بررسی نمود.

۴- مروری بر پیشینه تحقیق

ولگاما[۱۰] و میلس[۱۱] برای پاسخ به سؤال‌های پیش روی یک شرکت تولیدکننده مواد شیمیایی در ارتباط با حرکت از سیستم سنتی به سیستم به‌هنگام و ارزیابی طرح‌های مختلفی از سیستم به‌هنگام ، یک مدل شبیه‌سازی را توسعه دادند [١٤]. برانت[۱۲] (۲۰۰۰) با انتخاب یکی از محصولات صنعت فولاد و ترسیم نقشه‌های وضع موجود و آتی مربوط آن محصول، برنامه بهینه‌سازی برای دستیابی به وضع آتی ارائه نمود.

هدف این مطالعه بهبود زمان تحویل زنجیره تأمین بود [۱۵]. دتی و ینگ لینگ[۱۳] (۲۰۰۰) از یک مدل شبیه‌سازی برای کمک به یک شرکت الکترونیکی در تصمیم‌گیری درباره اجرای اصول ناب از طریق شناسایی منافع حاصل از اجرای آن استفاده نمودند [۱۳، صص ٤٢٩-٤٤٥]. مک دونالد و همکارانش[۱٤] (۲۰۰۲) از نقشه‌برداری جریان ارزش و شبیه‌سازی در یک کارخانه تولیدی استفاده نمودند.

در این تحقیق هدف آنها ارائه یک ابزار مفید شبیه‌سازی برای ارزیابی و بررسی نقشه‌های وضع آتی مختلف می‌باشد [۱۲، صص۲۱۳-۲۳۲]. امیلی و استک در سال ۲۰۰٤ از نقشه‌برداری

جریان ارزش در یک فرایند رهبری استفاده نمودند [١٦]. عبدالمالک و راجگوپال در سال ٢٠٠٦ از نقشه‌برداری جریان ارزش و شبیه‌سازی برای تجزیه و تحلیل فواید سیستم تولید ناب در صنعت فولاد استفاده کردند [١، صص٢٢٣–٢٣٦]. سایر محققان از نقشه برداری جریان ارزش در بهبود فرایند فعالیت‌های بیمارستانی استفاده نموده‌اند [١٧؛ ١٨].

۵- روش‌شناسی تحقیق

این تحقیق از لحاظ هدف کاربردی و از لحاظ شیوه گردآوری داده‌ها توصیفی می‌باشد. مراحل انجام تحقیق به ترتیب عبارتند از: مطالعه وضعیت موجود، تعیین خانواده محصول، ترسیم نقشه وضعیت موجود، ترسیم نقشه وضعیت آتی با توجه به پاسخگویی به سؤال‌ها، شبیه‌سازی وضعیت موجود، شبیه‌سازی وضعیت بهبود یافته و مقایسه نتایج وضعیت موجود و وضعیت بهبود یافته در معیارهای تعریف شده با استفاده از آزمون فرض و نرم‌افزار SPSS. همچنین به منظور مقایسه وضعیت موجود و وضعیت بهبود یافته، سه سؤال برای این تحقیق تعریف شد. این سؤال‌ها عبارتند از:

١- بین زمان انتظار در حالت فعلی و زمان انتظار پس از اجرای نقشه‌برداری جریان ارزش اختلاف وجود دارد؟

٢- بین موجودی در جریان ساخت در حالت فعلی و موجودی در جریان ساخت پس از اجرای نقشه‌برداری جریان ارزش اختلاف وجود دارد؟

٣- بین حمل و نقل غیرضروری در حالت فعلی و حمل‌ونقل غیرضروری پس از اجرای نقشه‌برداری جریان ارزش اختلاف وجود دارد؟

۶- تجزیه و تحلیل اطلاعات

۶-١- مطالعه موردی شرکت فنرسازی زر

شرکت فنرسازی زر، تولیدکننده انواع فنرهای تخت و پارابولیک ماشین‌های سبک و سنگین است. در این تحقیق، حوزه تمرکز نقشه‌برداری جریان ارزش بر یک خانواده محصول از فنرهای سبک شامل فنر تخت نیسان وانت، پیکان وانت و پژو آردی است. میانگین تقاضای مشتری ١٦٥٠٠ فنر در ماه بوده و این تقاضا به تفکیک محصولات عبارت است از ٤٥٠٠ فنر عقب نیسان وانت در هر

ماه (NE)، ۵۵۰۰ فنر عقب پیکان وانت در هر ماه (VA) و ٦۵۰۰ فنر عقب پژو آردی در هر ماه (RD). فرآیندهای این خانواده محصول به ترتیب در شکل یک نشان داده شده است. دو مشتری عمده، شرکت سازه گستر سایپا و ساپکو می‌باشند که تقاضای خود را به صورت ماهانه پیش‌بینی و ارسال می‌کنند. این سفارش‌ها به صورت روزانه بازبینی شده و واحد کنترل تولید برنامه زمان‌بندی تولید را به صورت روزانه تعیین و تولیدات یک بار در روز برای مشتریان خود ارسال می‌شود. شرکت نیازمندی‌های مواد اولیهٔ خود را به صورت ماهانه پیش‌بینی کرده و در اختیار تأمین‌کنندگان خود قرار می‌دهد. این سفارش‌ها به صورت روزانه بازبینی شده و برای شرکت‌های تأمین‌کننده ارسال می‌شود. تأمین‌کننده نیز به صورت هفتگی و یک بار در طول هفته مواد اولیهٔ شرکت را ارسال می‌کند. تعداد روزهای کاری شرکت ۳۰۰ روز در سال، ۲۵ روز در ماه و یک شیفت طولانی ۹/۵ ساعته است. زمان استراحت در هر شیفت ۱ ساعت بوده و در صورت نیاز یک شیفت کوتاه به عنوان اضافه کاری به زمان در دسترس تولید اضافه می‌شود.

۶-۲- انتخاب خانواده محصول

یک خانواده محصول، گروهی از محصولات است که در فرآیندهای پایین جریان از گام‌های پردازشگر یکسان و تجهیزات عمومی مشابهی عبور می‌کنند. یکی از روش‌های تعیین خانواده محصول استفاده از ماتریس خانواده محصول می‌باشد. در این ماتریس در یک محور، تجهیزات و گام‌های مونتاژ بوده و در محور دیگر اسامی محصولات تولیدی است. به کمک این ماتریس می‌توان به طور سریع مسیر مشترکی را که محصولات طی می‌کنند، شناسایی کرد. در این تحقیق از ماتریس فوق برای تعیین خانواده محصول استفاده شده و فنرهای نیسان وانت، پیکان وانت و پژو آردی به‌عنوان خانواده محصول انتخاب شدند.

۶-۳- نقشه‌برداری جریان ارزش: نقشه وضع موجود

نقشه وضع موجود براساس پیشنهادهای رادر و شوک از طریق مشاهده مستقیم فرایندها و اپراتورها ترسیم شده است. جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای جریان مواد از واحد ارسال شروع شده و سپس به صورت پسرو تمامی مسیر خط تا ایستگاه برش بررسی شده است. این داده‌ها شامل سطوح موجودی قبل از هر فرآیند، زمان‌های سیکل فرآیندها، تعداد اپراتورها و

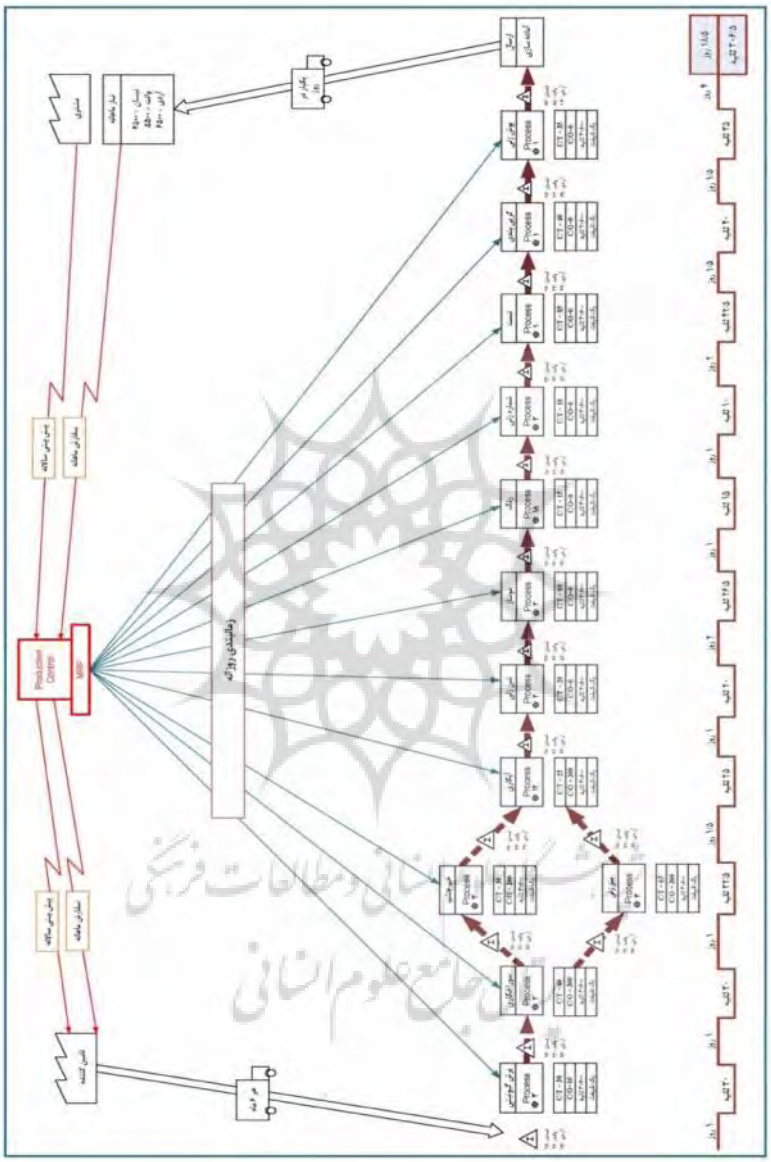
زمان تبدیل است. نقشه جریان ارزش وضع موجود در شکل ۱ نشان داده شده است. جعبه‌های کوچک در نقشه نمایانگر فرآیندها و اعداد داخل جبعه‌ها تعداد اپراتورهای هر فرآیند را نشان می‌دهد. همچنین هر فرآیند یک جعبه داده در زیر خود دارد که حاوی اطلاعاتی شامل میانگین زمان پردازش فرآیند، زمان در دسترس، تعداد شیفت و میانگین زمان تبدیل است. مثلث‌های نمایش داده شده نمایانگر موجودی فنرهای قبل از هر فرآیند می‌باشند. بعد از شناسایی جریان مواد، اطلاعات و ترسیم آنها در نقشه وضع موجود، این دو جریان به‌وسیله خطوطی به یکدیگر متصل شده‌اند که نشان می‌دهد هر ایستگاه چگونه زمان‌بندی خود را از واحد کنترل دریافت کند.خط زمانی در پایین نقشه وضع موجود دارای دو بخش است. اولین بخش زمان انتظار تولید بوده است که از جمع زمان‌های انتظار مثلث‌های موجودی قبل از فرآیند به دست می‌آید. زمان انتظار مثلث موجودی از تقسیم اندازه موجودی بر نیازمندی‌های روزانه موجودی محاسبه می‌شود. دومین بخش از خط زمانی، زمان پردازش یا زمان ارزش آفرین است. این زمان از مجموع میانگین زمان پردازش فرآیندها در جریان ارزش محاسبه شده است.

۶-۴- نقشه‌برداری جریان ارزش: وضع بهبود یافته

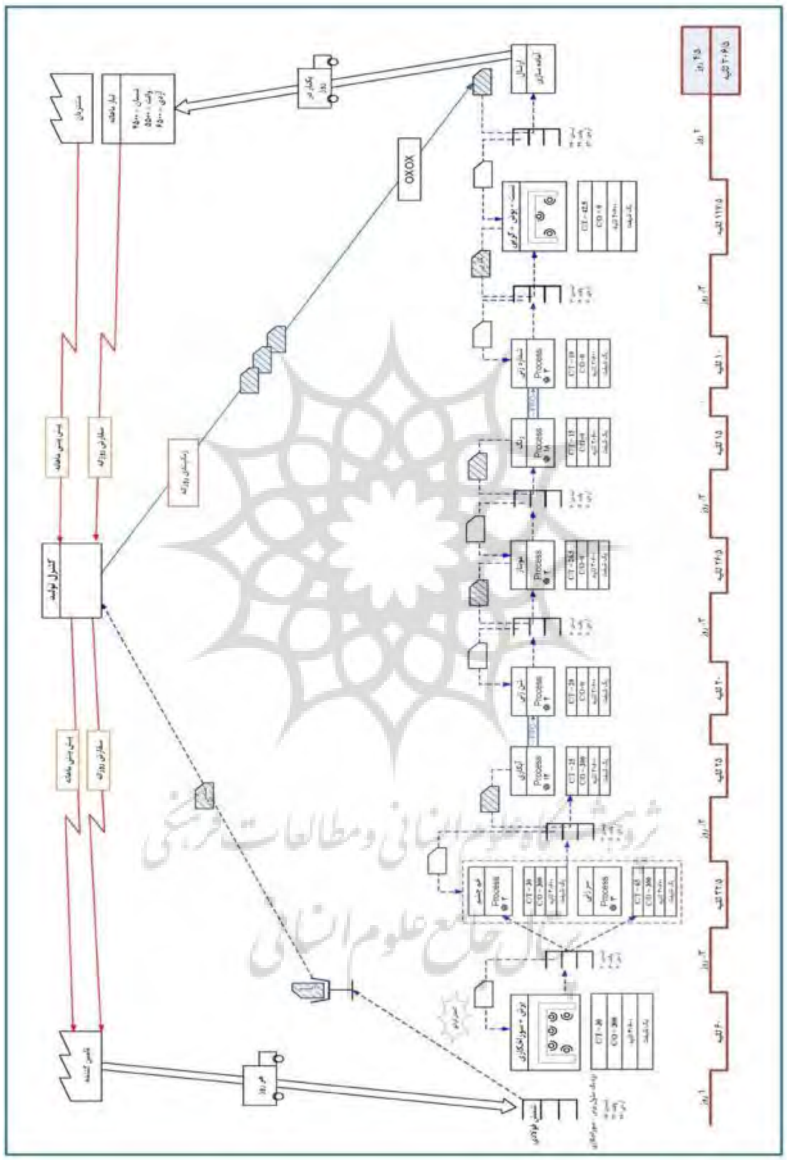
بررسی نقشه وضع موجود شرکت نشان‌دهنده حجم بالای موجودی و تفاوت زیاد بین زمان انتظار تولید و زمان دارای ارزش افزوده است. هدف از ترسیم نقشه جریان ارزش وضع آتی حذف اتلاف‌هایی است که با پاسخ‌دهی به سؤال‌های طراحی شده (رادر و شوک، ۱۹۹۹) شناسایی شده‌اند [۲، ص ۵۵]. این نقشه در شکل ۲ نشان داده شده است.

سؤال ۱: زمان تکت چیست؟

"زمان تکت" اشاره دارد به نرخی که مشتریان محصول را از خط تولید خریداری می‌کنند، به عبارت دیگر نرخ تولیدی که برای پاسخگویی به نیاز مشتریان مورد نیاز است. این زمان از تقسیم کل زمان در دسترس روزانه بر تقاضای روزانه مشتری محاسبه می‌شود. کل فنرهای تخت سبک این خانواده محصول مورد نیاز در ماه ١٦٥٠٠ فنر است. با فرض ٢٥ روز کاری در ماه، تعداد تولید مورد نیاز در روز ٦٦٠ فنر است. شرکت زر در یک شیفت در هر روز کار می‌کند که ٣٤٢٠٠ ثانیه در روز می‌شود. همچنین زمان استراحت در هر شیفت ٣٦٠٠ ثانیه است. بنابراین زمان تکت (٣٠٦٠٠/٦٦٠) ٤٦ ثانیه برای هر فنر محاسبه می‌شود.



شکل ۱ نقشه جریان ارزش وضع موجود



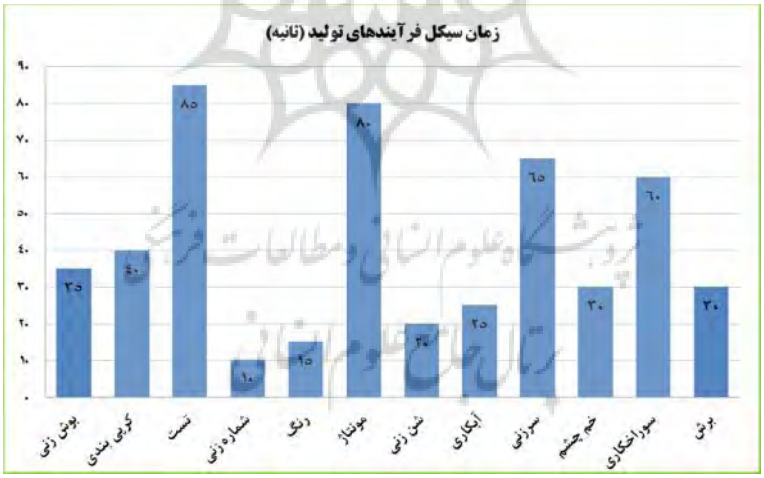
شکل ۲ نقشه جریان ارزش وضع آتی (بهبود یافته)

سؤال ۲: آیا شرکت باید فنرها را برای سوپرمارکت محصول نهایی تولید کند یا به طور مستقیم برای محصول نهایی ارسال دارد؟

یک "سوپر مارکت محصول نهایی" بافر یا مکانی برای انبارش محصولات آماده حمل در انتهای فرآیند تولید است [۲، ص ۵۸]. از طرف دیگر، ارسال مستقیم برای مشتری به آن معنا است که محصولات تولیدی بلافاصله بعد از تولید باید بدون انتظار برای مشتری نهایی ارسال شوند. در حال حاضر شرکت فنرهای تولیدی را به انبار ارسال می‌کند. این همان سیستم فشاری است و محصولات قبل از حمل مدت زمان زیادی در انتظار می‌مانند. از این رو پیشنهاد شد محصولات خود را برای سوپرمارکت محصولات نهایی با یک سیستم مبتنی بر کانبان تولید نماید. زمانی که موجودی سوپرمارکت محصول نهایی از یک حد معینی کمتر شود، خط تولید بر مبنای پیچ که در سؤال ۷ تشریح می‌شود، اقدام به تولید و جایگزینی محصولات برداشت شده از سوپرمارکت می‌نماید.

سؤال ۳: شرکت در کدام نقطه از جریان ارزش می‌تواند حرکت پیوسته را محقق کند؟

زمان‌های سیکل فعلی فرایندهای شرکت در شکل ۱ نشان داده شده است.



نمودار ۱ زمان سیکل فرآیندهای تولید

زمان سیکل ایستگاه برش ۳۰ ثانیه و ایستگاه سوراخکاری ٦٠ ثانیه است. از آنجایی که دو دستگاه سوراخکاری به صورت موازی جهت پردازش فنرها مورد استفاده قرار می‌گیرد، زمان سیکل سوراخکاری نیز به ۳۰ ثانیه کاهش پیدا می‌کند، بنابراین زمان سیکل این دو با یکدیگر برابر است. همچنین تمام فنرهای تولید شده از این دو ایستگاه عبور می‌نمایند. در نتیجه می‌توان این دو فرآیند را در یک آرایش سلولی در کنار یکدیگر قرار داد. از این طریق حمل‌ونقل زاید و همچنین موجودی انباشته شده بین این دو فرآیند حذف شده که منجر به کاهش زمان انتظار تولید می‌شود. در این سلول که از این پس با نام سلول برش/ سوراخکاری شناخته می‌شود، موجودی به صورت جریان تک قطعه‌ای است. از طرف زمان سیکل سه ایستگاه بوش‌زنی، کرپی‌بندی و تست (با دو ایستگاه موازی) به یکدیگر نزدیک بوده و کوچک‌تر از زمان تکت است. همچنین این سه ایستگاه مختص این خانواده محصول هستند. از این رو می‌توان این سه ایستگاه را نیز در آرایش سلولی در کنار یکدیگر قرار داد و از مزایای آن استفاده کرد. علاوه بر این، دو ایستگاه آبکاری و شن‌زنی و دو ایستگاه شماره‌زنی و رنگ نیز زمان‌های سیکل مشابه دارند اما به دو دلیل نمی‌توان آنها را در کنار یکدیگر در یک سلول قرار داد. اول اینکه هر یک از این دو ایستگاه مختص این دو خانواده محصول نیستند و خانواده‌های محصول دیگر را نیز پردازش می‌کنند. دوم آنکه ایستگاه آبکاری، شن‌زنی و رنگ بسیار بزرگ بوده و جابه‌جایی آنها تقریباً غیر ممکن است. بنابراین به منظور کاهش حجم موجودی بین این دو ایستگاه از یک سیستم فایفو با حداقل موجودی استفاده خواهد شد. در سایر موارد که امکان ایجاد حرکت پیوسته وجود ندارد، از مزایای سوپرمارکت بهره‌مند خواهیم شد.

سؤال ۴ شرکت باید در چه نقاطی در درون جریان ارزش از سیستم سوپرمارکت کششی استفاده کند؟

به منظور ایجاد یک جریان پیوسته در فرآیندها، علاوه بر سوپرمارکت محصول نهایی در واحد حمل پیشنهاد شد، شش سوپرمارکت دیگر مورد نیاز است : یک سوپرمارکت قبل از سلول تست/کرپی‌بندی/ بوش‌زنی، یک سوپرمارکت قبل از ایستگاه‌های شماره‌زنی و رنگ، یک سوپرمارکت قبل از ایستگاه مونتاژ، یک سوپرمارکت قبل از ایستگاه‌های آبکاری و شن‌زنی، یک سوپرمارکت قبل از ایستگاه‌های خم چشم و سرزنی و آخرین سوپرمارکت قبل از سلول برش/ سوراخکاری بوده و مربوط به شمش‌های فولادی مواد اولیه است. وقتی یک محموله از فنرها

از سوپرمارکت واحد حمل (سوپرمارکت محصول نهایی) برداشته می‌شود، کانبان مرتبط با آن که در جعبه هموارسازی بار (هیجونکا) قرار دارد به سلول تست/کرپی/بوش ارسال می‌شودکه تولید را به جریان انداخته و موجب جابه‌جایی مواد از مراحل قبل‌تر می‌شود.

اولین سوپرمارکت قبل از سلول تست/کرپی‌بندی/ بوش‌زنی است. در وضعیت فعلی، فنرها پس از انجام عملیات شماره‌زنی در جلوی این سلول انبار می‌شوند. از آن جایی که زمان سیکل ایستگاه شماره‌زنی از زمان سیکل ایستگاه‌های بعدی خود کوتاه‌تر است، این امر موجب انباشته شدن حجم زیادی از موجودی در جلوی این ایستگاه می‌شود. از این رو به منظور کنترل حجم زیاد موجودی در این منطقه و تخصیص زمان بیکاری ایستگاه شماره‌زنی به پردازش خانواده‌های محصول دیگر، در این ناحیه از یک سیستم سوپرمارکت کششی مبتنی بر کانبان استفاده شده است. به همین منظور، پنج سوپرمارکت دیگر در مناطق مذکور در نظر گرفته شده و از مزایای آن استفاده شده است. علاوه بر این، آخرین سوپر مارکت، امکان سفارش مواد اولیه بر مبنای یک سیستم کششی را برای شرکت فراهم ساخته است.کانبان‌های مورد استفاده در سوپرمارکت از یک مجموعه قوانین خاصی پیروی می‌کنند، به عنوان مثال، ایستگاه شن‌زنی (به عنوان ایستگاه تأمین‌کننده سوپرمارکت) زمانی اجازه تولید دارد که فنر به‌وسیله ایستگاه مونتاژ (به عنوان مشتری سوپرمارکت) از سوپرمارکت برداشت شده باشد و جای آن در سوپرمارکت خالی باشد. بعلاوه زمانی که سوپرمارکت در ماکزیمم ظرفیت خود باشد، دیگر نیازی به تولید فنر نمی‌باشد. در این حالت دو کار می‌توان انجام داد : اول اینکه ایستگاه تأمین‌کننده سرعت تولید خود را کندتر کرده تا با سرعت تولید ایستگاه مشتری منطبق شود که این کار موجب افزایش هزینه‌های تولید می‌شود و راه دوم اینکه ایستگاه تأمین‌کننده به تولید یک خانواده محصول دیگر بپردازد. بنابراین هرگاه ظرفیت سوپرمارکت تکمیل باشد، پیشنهاد شد که ایستگاه تأمین‌کننده به تولید خانواده محصول دیگر بپردازد. در این صورت علاوه بر جلوگیری از تولید بیش از اندازه می‌توان به جای توقف خط تولید، نیازمندی‌های سایر انواع محصولات را نیز برآورده کرد.

سؤال ۵: در کدام نقطه از زنجیره تولید (فرآیند سرعت‌ساز) شرکت باید زمان‌بندی شود؟

به منظور جلوگیری از تولید اضافی، تنها یک نقطه از جریان ارزش تأمین‌کننده تا مشتری باید زمان‌بندی شود. این نقطه فرآیند شتاب‌ساز نامیده می‌شود، زیرا سرعت تولید فرآیندهای

بالای جریان را تنظیم و فرآیندهای بالا و پایین جریان را به یکدیگر متصل می‌کند. در یک حرکت پیوسته، هر ایستگاه بالای جریان با کانبان ارسالی از ایستگاه بعدی پایین جریان اقدام به تولید کرده و به سمت فرآیند شتاب‌ساز در پایین جریان حرکت می‌کند. از فرآیند سرعت‌ساز تا تولید محصول نهایی، تبدیل مواد باید در یک حرکت پیوسته انجام شود. درواقع در طول جریان ارزش در تا در، فرآیند سرعت‌ساز، پایین‌ترین بخش از جریان ارزش است که حرکت پیوسته دارد. در شرکت زر، سلول تست/بوش/کرپی آخرین ایستگاهی که دیگر بعد از آن سوپرمارکت وجود نداشته و حرکت مواد به صورت پیوسته است. به عنوان فرآیند شتاب‌ساز انتخاب می‌شود. در وضعیت آینده (بهبود یافته)، یک جعبه هموارسازی بار یا هیجونکا در نزدیکی سلول تست/بوش/کرپی ایجاد خواهد شد. کانبان‌ها از واحد کنترل تولید به این جعبه هیجونکا اضافه شده و زمان‌بندی تولید براساس این کانبان‌ها انجام می‌شود.

سؤال ۶: شرکت زر چگونه می‌تواند در فرآیند سرعت‌ساز، ترکیب تولید را هموارکند؟

پاسخگویی به این سؤال مستلزم توزیع فرآیندهای تولید این سه محصول به نحو مساوی بر کل زمان تولید در فرآیند شتاب‌ساز می‌باشد؛ یعنی چندین دسته از محصولات در توالی‌های همسان باید زمان‌بندی شوند. این کار موجب پرهیز از زمان تحویل طولانی، حجم زیاد موجودی در جریان ساخت و محصول نهایی، مشکلات کیفیتی و به طور کلی حذف اتلاف‌های تولید اضافی در شرکت می‌شود. خانواده محصول فنرتخت نیسان وانت(NE)، فنرتخت پیکان وانت (VA)، فنرتخت آردی (RD) می‌باشند. شرکت به منظور اطمینان از اینکه هر قطعه با یک نرخ ثابت تولید شود، یک برنامه زمان‌بندی به فرآیند سرعت‌ساز ارسال می‌کند. در اینجا به منظور تعیین توالی محصولات، هموارسازی ترکیب تولید و تولید هر سه محصول مختلف با یک نرخ ثابت، از فرمول ارائه شده به‌وسیله ماندن در سال ۱۹۹۳ استفاده خواهد شد [٤]. این فرمول عبارت است از :

$$d_{ij}=(j-.5)\times(T/D_i) \qquad i=1,2,\ldots,n \text{ و } j=1,2,\ldots,D_i$$

عدد صحیح تقاضای روزانه برای محصول i می‌باشد $=D_i$

تعداد محصولات مختلفی که باید تولید شود $=n$

تعداد کل واحد محصولاتی که باید تولید شوند. $T=D_1+D_2+\ldots D_n$

تکمیل ایده‌آل یا موعد تحویل j واحد از محصول $d_{ij}=$ i

مشخصه تعداد واحد از محصول i می‌باشد =j

در شرکت زر، n برابر ۳ است، Di که میانگین تقاضای روزانه برای محصولات هستند، عبارتند از : ۱۸۰ نیسان(NE) ، ۲۲۰ وانت (VA) و ۲٦۰ آردی (RD). بنابراین T که تعداد کل تقاضای روزانه بوده برابر است با ٦٦۰ فنر. توالی تولید محصولات براساس d_{ij} مرتب شده، همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده، تعیین شده است. این توالی تولید به این صورت است: ..... , (RD-VA-NE) – (RD-VA-NE) – (RD-VA-NE)

این زمان‌بندی تولید بهینه‌ترین توالی هموار برای تولید این خانواده محصول در شرکت زر است.

جدول ۱ محاسبه تکمیل ایده‌آل برای خانواده محصول

محصول(i)	واحد(j)	d_{ij}	d_{ij} (مرتب شده)	واحد - محصول
NE	۱	۱/۷۱	۱/۳۳	RD-1
	۲	٥/۱٤	۱/٥	VA-1
	۳	۸/٥۷	۱/۷۱	NE-1
	٤	۱۲	٤	RD-2
VA	۱	۱/۳۳	٤/٥	VA-2
	۲	٤	٥/۱٤	NE-2
	۳	٦/٦۷	٦/٦۷	RD-3
	٤	۹/۳۳	۷/٥	VA-3
RD	۱	۱/٥	۸/٥۷	NE-3
	۲	٤/٥	۹/۳۳	RD-4
	۳	۷/٥	۱۰/٥	VA-4
	٤	۱۰/٥	۱۲	NE-4

سؤال ۷: شرکت باید در فرآیند سرعت‌ساز در هر نوبت به چه میزان ثابتی از محصول را

وارد و از آن خارج کند؟

پیچ فاصله بین دو جابه‌جایی مواد از فرآیند شتاب‌ساز است. اندازه پیچ براساس پک اوت (مقدار لازم برای پر کردن یک کانتینر) یا کسری از آن یا مضربی از آن تعیین می‌شود. بنابراین پیچ از ضرب زمان تکت پک اوت در فرآیند شتاب‌ساز محاسبه می‌شود. از آن جایی که اندازه کانتینر یا پک اوت ۲۰ واحد است، از این رو با توجه به تقاضای روزانه تعداد کانبان مورد نیاز در جدول ۲ محاسبه شده است.

جدول ۲ تعداد کانبان مورد نیاز

محصول	تقاضای روزانه (فنر)	اندازه پک اوت (فنر)	تعداد کانبان مورد نیاز
NE	۱۸۰	۲۰	۹
VA	۲۲۰	۲۰	۱۱
RD	۲٦۰	۲۰	۱۳

با توجه به اینکه تعداد پک اوت ۲۰ فنر بوده و زمان تکت نیز ٤٦ ثانیه است، از این رو پیچ ۹۲۰ ثانیه، تقریباً معادل ۱۵ دقیقه می‌باشد. این به آن معنا است که هر ۱۵ دقیقه ۲۰ فنر معادل یک کانبان باید از سلول تست/بوش/کرپی برداشت شود، به عبارت دیگر شرکت زر از طریق ارسال کانبان در هر نوبت (هر ۱۵ دقیقه)، دستور تولید را با سرعتی ثابت صادر کرده و محصول نهایی را هم با همان سرعت از سلول تست/بوش/کرپی برداشته و به واحد ارسال منتقل می‌کند. به منظور هموارسازی ترکیب و مقدار تولید شرکت از جعبه هموارسازی بار یا هیجونکا استفاده می‌کند. هر ستون جعبه هموارسازی بار که مختص این خانواده محصول است، نشان‌دهنده یک پیچ ۱۵ دقیقه‌ای است. در این جعبه، ردیف به فنرهای نیسان، وانت و آردی اختصاص داده شده است. هر ۱۵ دقیقه یک کانبان (معادل یک مقدار معین تولید) به سلول تست/بوش/کرپی ارسال و یک پالت از فنر تکمیل شده به سوپرمارکت محصول نهایی منتقل می‌شود که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳ تعداد پیچ برای هر محصول

محصول	تعداد پیچ در هر روز
نیسان	۹ = ۱۸۰/۲۰
وانت	۱۱ = ۲۲۰/۲۰
آردی	۱۳ = ۲٦۰/۲۰

سؤال ۸: کدام بهبودهای فرآیندی لازم هستند تا بتوان در جریان ارزش شرکت زر، حرکتی را ایجاد کرد که در نقشه وضع آتی توصیف شده است؟

استفاده از مزایای سوپرمارکت‌ها، کانبان، زمان تکت، پیچ، هموارسازی تولید، بهبود پیوسته و سایر تغییرات که در سؤال‌های گذشته مطرح شد، بدون بهبودهای فرآیندی غیر واقعی است. تحقق حرکت مواد و اطلاعات، مطابق آنچه که در نقشه وضع آینده شرکت زر در نظر گرفته‌ایم، نیازمند بهبودهای فرآیندی زیر است :

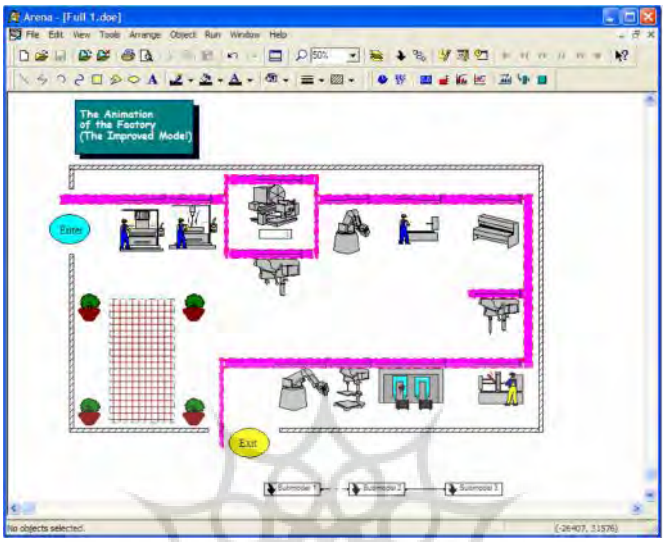
- کاهش زمان‌های راه‌اندازی طولانی در ایستگاه‌های سوراخکاری، خم چشم، سرزنی و آبکاری برای پاسخگویی سریع به نیازهای فرآیندهای پایین جریان.
- حذف اتلاف در سلول برش/ سوراخکاری به منظور کاهش اپراتور از ٥ نفر به ٤ نفر.
- به‌کارگیری تعمیرات و نگهداری فراگیر در کل زنجیره ارزش به منظور کاهش توقف‌های پیش‌بینی نشده.

۶-۵- شبیه‌سازی وضع موجود و بهبود یافته

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از اجرای تکنیک‌های تولید ناب، یک مدل شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار آرنا ۷ طراحی شد. شبیه‌سازی وضع موجود شرکت زر براساس نقشه جریان ارزش وضع موجود ایجاد شده است. در شبیه‌سازی وضع موجود براساس نقشه جریان ارزش وضع موجود، تمامی داده‌های مربوط به زمان‌های فرآیند (زمان پردازش دستگاه‌ها)، زمان‌های حمل‌ونقل، زمان‌های خرابی و زمان‌های توقف ماشین‌آلات و ...، زمان‌سنجی شده و یا از اسناد و مدارک معتبر شرکت تهیه شد. سپس وضع موجود در ٥ زیرمدل شبیه‌سازی شد. آن‌گاه داده‌های جمع‌آوری شده به عنوان ورودی مدل شبیه‌سازی وارد نرم‌افزار گردید. همچنین دو زیر مدل ٦

هایده متقی و همکار ـــ

شکل ۳ مدل شبیه‌سازی وضع موجود



شکل ۴ مدل شبیه‌سازی وضع بهبودیافته

جدول ۴ مقایسه مقادیر داده‌های واقعی با داده‌های خروجی شبیه‌سازی

نتایج شبیه‌سازی	دامنه واقعی	معیارهای عملکردی
۹٤۲۷ دقیقه	۹۷۵۰-۹۱۵۰	زمان تحویل
۳۲۹۳	۳۸۵۰-۳۱۰۰	موجودی نیسان در سیستم
٤۱۱۲	٤۵۰۰-۳۹۰۵۰	موجودی وانت در سیستم
٤۷۹۸	۵۲۵۰-٤٤۵۰	موجودی آردی در سیستم
۱۷٦	۲۱۰-۱۵۵	تعداد تولید نیسان در ماه
۲۱۸	۲۳۵-۱۹۰	تعداد تولید وانت در ماه
۲٦۳	۲۸۰-۲۲۵	تعداد تولید آردی در ماه

۶-۶- مقایسه نتایج شبیه‌سازی

به منظور بررسی نتایج، دو مدل شبیه‌سازی ۱۰ بار اجرا شدند. مدت زمان اجرای مدل یک سال بوده و ۳ روز به عنوان زمان گرم کردن[۵۱](آماده‌سازی) برای مدل دوم به منظور ایجاد حجم ثابتی از موجودی در جریان ساخت سوپرمارکت‌ها در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از اجرای مدل‌هادر جدول ۵ خلاصه شده است.

این نتایج با استفاده از آزمون میانگین مستقل و به‌وسیله نرم‌افزار spss بررسی و تحلیل شد. با بررسی داده‌های حاصل از ۱۰ بار اجرای مدل‌های شبیه‌سازی مربوط به معیار کلیدی زمان تحویل، مقدار p-value محاسبه شده به‌وسیله نرم‌افزار صفر شد. بنابراین از آن جایی که p-value از آلفا (۵ درصد) کوچک‌تر است، فرضیه صفر که میانگین زمان تحویل سیستم موجود کوچک‌تر یا مساوی زمان تحویل سیستم تولید بهبود یافته است، رد می‌شود. در نتیجه با احتمال زیاد زمان تحویل سیستم جدید نسبت به زمان تحویل سیستم قبلی بهبود یافته است.داده‌های مربوط به موجودی در جریان ساخت و حمل‌ونقل نیز با نرم‌افزار spss مورد بررسی قرار گرفت و نتایجی به‌طوردقیق مشابه زمان تحویل به دست آمد.

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق از تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش برای شناسایی منابع اتلاف و معرفی تکنیک‌های تولید ناب جهت کاهش این اتلاف‌ها استفاده شد. همچنین دو مدل شبیه‌سازی برای وضعیت موجود و وضعیت بهبودیافته توسعه داده شد. به منظور مقایسه نتایج حاصل از پیاده‌سازی تکنیک‌ها، سه معیار کلیدی شامل زمان تحویل تولید، موجودی در جریان ساخت و حمل‌ونقل غیر ضروری تعریف شد. همان طور که در جدول ۵ قابل مشاهده است، هر دو مدل ده بار اجرا شده و میانگین داده‌های خروجی در این سه معیار با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان می‌دهد که زمان تحویل تولید در سیستم بهبود یافته نسبت به سیستم سنتی ۷٦ درصد کاهش خواهد داشت که این امر باعث ایجاد رضایت مشتریان از طریق کاهش زمان تحویل شود. همچنین موجودی کالای در جریان ساخت در سیستم بهبود یافته نسبت به سیستم سنتی ۷٦ درصد کاهش خواهد داشت که این موضوع خود می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های نگهداری، کاهش ضایعات، کاهش زمان انتظار تولید و همچنین نمایان شدن مشکلات پنهان تولید شود. با

مقایسه معیار سوم مشاهده شد که حمل‌ونقل‌های غیر ضروری ۵۱ درصد کاهش خواهد داشت که این امر منجر به کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و فعالیت‌های فاقد ارزش افزوده می‌شود. به طور کلی از برآیند نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان انتظار داشت که با پیاده‌سازی سیستم بهبود یافته، از مزایای سیستم تولید ناب بهره‌مند شد.

جدول ۵ خروجی‌های ۱۰ بار اجرای مدل

معیارهای کلیدی	مدل وضع موجود			مدل وضع بهبود یافته		
	داده‌های خروجی		میانگین	داده‌های خروجی		میانگین
زمان تحویل	۹۳۸۳	۹۳۵۳	۹٤۱۳	۲۳۷۱	۲۲۸۹	۲۳۰٦
	۹٤۱٥	۹٥۰۳		۲۲٤٥	۲۲۲۸	
	۹٤۲۱	۹٤۰٤		۲۲٤۱	۲۳۳۱	
	۹٤۲٥	۹۳۷۱		۲۳٦۷	۲۳۹۳	
	۹٤٤۸	۹۳۹٤		۲۲٤٦	۲۳٥٤	
موجودی در جریان ساخت	۱۲۰۸٤	۱۲۱۳۳	۱۲۱٤۰	۲۹۱۹	۲۹٤٦	۲۹٥٦
	۱۲۱٤۷	۱۲۰۲٦		۲۹۸٦	۲۹۳۱	
	۱۲۱٥۹	۱۲۲۹۲		۲۹٦٦	۲۹۳۰	
	۱۲۱٦۷	۱۲۱۲٥		۱۲٦۳	۲۹۸۸	
	۱۲۲۰۹	۱۲۰٦۰		۲۹۷۳	۲۹٦۲	
حمل‌ونقل زاید	۳۷۰٤	۳۷۸۹	۳۷۳۹	۱۸٦۰	۱۹۰۸	۱۸۰۹
	۳۷۹٤	۳٦۳٥		۱۸٤۱	۱۷۹۳	
	۳٦۳۹	۳۷۳٤		۱۷۲۲	۱۷٦۷	
	۳۷٥٦	۳٦٤۹		۱۸۷٥	۱۷٥٦	
	۳۸٤۲	۳۸٥۰		۱۷٥۷	۱۸۱۲	

۸- پی‌نوشت‌ها

1. Waste
2. Value stream mapping
3. Lean
4. Kiichiro Toyoda
5. Shigeo Shingo
6. Taiichi Ohno

7. Toyota Production System (TPS)
8. Lean Manufacturing
9. Muda
10. Welegama
11. Mills
12. Brunt
13. Detty & Yingling
14. McDonald &Van Aken & Rents
15. Warm up Time

۹- منابع

[1] Abdulmalek F. A., Rajgopal J.; "Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study"; *International Journal of Production Economics*, Vol. 107, 2007, pp: 223-236.

[2] Graban M.; "Lean hospitals: Improving quality, patient safety, and employee engagement"; Boca Raton, FL: CRC Press, ISBN 9781439870433, 2011.

[3] Plenert G.;" Lean management principles for information technology"; Boca Raton, FL: CRC Press, ISBN 9781420078602, 2011.

[4] Mascitelli R.; " Mastering lean product development: A practical, event-driven process for maximizing speed, profits and quality"; Northridge, CA: Technology Perspectives, ISBN 9780966269741, 2011.

[5] Keyte B., Locher D.; "The complete lean enterprise: Value stream mapping for administrative and office processes"; NewYork: Productivity Press, ISBN 9781563273018, 2004.

[6] Rother M., Shook J.; "Learning to see: Value stream mapping to add Value and eliminate muda"; *The Lean Enterprise Institute, Inc.*, Brookline, 1999.

[7] Womack J.P., Jones D.T., Ross D.; “The machine that Changed the World”; MacMillan Publishing Company, Canada, 1990.

[8] Monden Y.; "Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-in-time"; *Third ed., Engineering & Management Press*, Norcross, Georgia, 1998.

[9] Feld W. M.; "Lean Manufacturing: Tools, Techniques, and How to Use Them"; Lucie Press, London, 2000.

[10] Nahmias S.; "Production of an Operation Analysis"; Fourth ed., McGraw Hill, NewYork, 2001.

[11] Dennis P.; "Lean Production Simplified"; Production Press, USA, 2002.

[12] MacDonald T., E.M. Van Aken, A.F. Rentes; "Utilizing simulation to enhance value stream mapping: A manufacturing case application"; *International Journal of Logistics; Research and Applications*, Vol. 5, No. 2, 2002, pp: 213-232.

[13] Detty R.B., Yingling J.C.; "Quantifying the benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: A case study"; *International Journal of Production Research*, Vol. 38, No. 2, 2000, pp: 429-445.

[14] Welgama P.S., Mills R.G.J.; "Use of Simulation in the design of a JIT system"; *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 15, No. 9, 1995, pp: 245-260.

[15] Brunt D.; "From current state to future state: Mapping the steel to component supply chain"; *International Journal of Logistics*; Research and Applications, Vol. 3, No. 3, 2000, pp: 259-271.

[16] Emiliani M.L., Stec D.J.; "Using value-stream maps to improve leadership"; *Leadership & Organization Development Journal*, Vol. 25, No. 8, 2004, pp: 622 – 645.

[17] Teichgraber U.K., Bucourt M.D.; "Applying value stream mapping techniques to eliminate non-value-added waste for the procurement of endovascular stents"; *European Journal of Radiology*, Vol. 81, 2012, pp: e47-e52.

[18] Chakrabarti D., Yousri T.; "Lean thinking: A value stream approach for improving care of hip fracture patients"; Injury Extra; Vol. 40, No. 10, 2009, pp: 205-206.