

## ارائه یک چارچوب مبتنی بر شبیه سازی برای بهبود سیستم تولید پنجره

سعید خواجهی مقدم

کارشناسی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی قوچان

زهرا السادات حسینی

استادیار، دانشگاه صنعتی قوچان

### چکیده

شرکت‌های تولیدی بر اساس بهره‌وری، کارایی، به حداقل رساندن ضایعات و کیفیت رقابت می‌کنند که همگی کاهش هزینه، تحویل سریع‌تر، کیفیت بالاتر و محیط کاری بهتر را تامین می‌کنند. پیاده‌سازی شبیه‌سازی، تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) و تکنیک‌های آزمایشی در تأسیسات ساخت و ساز خارج از سایت (OSC) ابزارهای تصمیم‌گیری ضروری در یک بازار بی‌ثبات هستند. نقشه‌برداری جریان ارزش (VSM) در تجسم فرآیند تولید و شناسایی ضایعات مؤثر است. با این حال، این ابزار به صورت موردی دارای کاستی‌ها و چالش‌هایی است. بنابراین، محققان پیشنهاد می‌کنند که آن را با روش‌های مبتنی بر شبیه‌سازی ادغام کنند تا بر کمبودهای آن غلبه کنند. ثابت شده است که شبیه‌سازی ابزار ارزشمندی برای آزمایش راه حل‌های بالقوه و نمایش تاثیر آنهاست. OSC سرشار از مطالعات موردی است که هر دو ابزار را با موفقیت ترکیب کرده است. با این حال، تحقیقات محدودی در مورد گنجاندن انتخاب توسط مزایا (CBA) به عنوان مکانیزمی برای فیلتر کردن عینی مجموعه راه‌حل‌های بالقوه قبل از آزمایش وجود دارد. انتظار می‌رود این امر تلاش مورد نیاز در آزمایش و تجزیه و تحلیل راه‌حل را کاهش دهد و فرآیند انتخاب عینی و مشارکتی را تضمین کند. علاوه بر این، اکثر راه حل‌ها از طریق توسعه مدل‌های شبیه‌سازی، با توجه محدود به انجام آزمایش‌های عملی، به صورت تئوری آزمایش می‌شوند. هدف این تحقیق ارائه چارچوبی برای ارزیابی و بهبود وضعیت OSC است. این را می‌توان از طریق استفاده از VSM و شبیه‌سازی، با کمک CBA و آزمایش‌های دیگر به دست آورد. چارچوب توسعه یافته با موفقیت بر روی یک مرکز OSC پنجره و در آزمایش شد. این سیستم در نهایت می‌تواند یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری ارزشمند را برای بهبود وضعیت خط تولید، بهبود رفاه کارگران و فراگیرتر کردن محل کار فراهم کند.

واژگان کلیدی: بهبود سیستم تولید، شبیه‌سازی، پنجره

## مقدمه

در دهه‌های اخیر، صنعت با استفاده از روش‌های مختلف ساخت و ساز، شاهد فرآیند صنعتی‌سازی بوده است که یکی از آنها OSC است. در OSC، امان‌های ساختمانی در یک مرکز خارج از محل تولید می‌شوند و برای نصب و مونتاژ به محل ساخت و ساز منتقل می‌شوند. OSC با چندین مزیت از جمله افزایش بهره‌وری برنامه کوتاه‌تر، هزینه کمتر، کیفیت بالاتر و کار ایمن‌تر همراه بوده است (Kamali & Hewage, 2016). در تلاش برای دستیابی به این مزایا، می‌توان از ابزارهای ناب در سیستم‌های تولید خارج از محل استفاده کرد. از طریق ادغام ابزارهای ناب، اتخاذ مؤثر شیوه‌های تولید ناب برای به حداکثر رساندن ارزش و به حداقل رساندن ضایعات می‌تواند منجر به یک سیستم کارآمد و با کیفیت بالا با بهره‌وری بهبود یافته، کاهش هزینه‌ها، زمان کوتاه‌تر و افزایش انعطاف‌پذیری حجم شود. در نهایت، این می‌تواند وضعیت سازمان‌ها را از نظر عملکرد کلی، رفاه کارگران و فراگیری محل کار بهبود بخشد از جمله این ابزارها، نگاشت جریان ارزش (VSM) است که "تصویر بزرگ" یک سیستم تولید را به جای تمرکز بر بخش‌های خاص به نمایش می‌گذارد این دید بهتری را در فرآیند تشخیص مسائل مرتبط فراهم می‌کند (Klotz et al, 2008).

بیش از یک راه حل می‌تواند برای مقابله با این مسائل پیشنهاد شود. این امر استفاده از ابزارهای تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) را به عنوان یک روش انتخاب ضروری می‌کند. به طور خاص، استفاده از ابزار MCDM انتخاب توسط مزیت (CBA) بر محدودیت‌های روش‌های سنتی مانند AHP (فرایند سلسله مراتبی تحلیلی) غلبه می‌کند، زیرا ذهنیت را کاهش می‌دهد و همکاری را بهبود می‌بخشد. هنگامی که نوبت به اجرا می‌رسد، سازمان‌ها اغلب تمایلی به ایجاد تغییرات در فرآیندهای خود ندارند، به خصوص اگر تغییرات اساسی باشند یا به خوبی مورد حمایت قرار نگیرند. بنابراین، میل به داشتن ابزاری وجود دارد که بتواند نتایج احتمالی راه حل را منعکس کند. بنابراین، شبیه‌سازی را می‌توان برای نمایش و تجسم مزایای مفاهیم ناب یا هر راه‌حل دیگری در سیستم ضروری دانست. اگرچه بسیار رایج نیست، اما انجام آزمایش‌های عملی نیز می‌تواند در صورت امکان ارزشمند باشد، زیرا می‌تواند واقعیت را بهتر منعکس کند (Parrish & Tommelein, 2009). با توجه به موارد فوق، نوآوری این تحقیق بر ارائه چارچوبی برای بهبود وضعیت سیستم تولید در OSC است. این رویکرد ابزارها و تکنیک‌های پیشرفته‌ای مانند تفکر ناب، CBA، شبیه‌سازی و آزمایش‌ها را ترکیب می‌کند.

چارچوب پیشنهادی پژوهش بر روی مطالعه موردی یک شرکت تولید در و پنجره برای دستیابی به اهداف زیر آزمایش شده است:

- ۱- یک نمای کلی از فرآیند فعلی تولید شیشه و وابستگی‌های متقابل آن.
- ۲- مشاهدات و انجام یک نقشه جریان ارزش برای شناسایی مسائل.
- ۳- شناسایی راه حل(های) بالقوه و انتخاب مطلوب‌ترین راه حل با استفاده از CBA
- ۴- تجزیه و تحلیل راه حل‌های متعدد با توسعه مدل‌های شبیه‌سازی یا آزمایش‌ها برای تایید اثرات بالقوه آنها بر فرآیند و محیط کار.

## پیشینه پژوهش

### تولید ناب

تولید ناب<sup>1</sup> (LP) یک روش تولید است که هدف آن حذف هزینه‌های بیهوده منابع برای هر هدفی غیر از ایجاد ارزش است. هدف اصلی تولید ناب ایجاد ارزش و حذف فعالیت‌های غیر ارزش افزوده است. با پیشرفت انقلاب صنعتی، تولید ناب پیشرفت قابل توجهی را تجربه

<sup>1</sup> Lean production

کرد. منشا آن را می‌توان به دهه ۱۸۰۰ با معرفی قطعات قابل تعویض جستجو کرد که در نهایت منجر به ظهور تولید ناب در طول دهه ۱۹۰۰ شد.

در سال ۱۹۹۲، LP با معرفی به عنوان یک فلسفه تولید جدید در صنعت ساخت و ساز توسط Koskela (۱۹۹۲) به پیشرفت چشمگیری دست یافت. ساخت و ساز ناب همچنین پیشرفت عظیمی را در زمینه بهبود زمان و هزینه نشان داد (Rick & Best 1999). هدف اصلی LP برآوردن تقاضای مشتری با حداقل ضایعات است، به این معنی که محصول باید با کمترین تعداد منابع، حداقل هزینه و در کمترین زمان ممکن تولید شود (Bhamu & Sangwan, 2014).

### نگاشت جریان ارزش<sup>۲</sup> (VSM)

VSM به دلیل سادگی و کاربرد آن در محیط تولید به طور گسترده در شرکت های تولیدی مورد استفاده قرار گرفته است. VSM ابزار بسیار ارزشمندی است که به طور موثر فرآیند تولید و جریان مواد را نشان می‌دهد. می‌تواند با ارائه یک نمایش تصویری واضح و مختصر از کل چرخه تولید، شرکت‌ها را به طور قابل توجهی ارتقا دهد. علاوه بر این، ابزاری است که برای بهبود شرکت استفاده می‌شود تا به تصور کل فرآیند تولید کمک کند که اطلاعات و جریان مواد را به نمایش بگذارد. در اصل، VSM تبدیل مواد خام به محصولی با ارزش برای کاربر نهایی را به تصویر می‌کشد.

VSM شامل سه مرحله است: (۱) مطالعه محصول از ورودی به خروجی به منظور انجام یک VSM فعلی، (۲) شناسایی تنگناها، یافتن علل ریشه‌ای، فعالیت‌های بدون ارزش افزوده، و حذف ضایعات در تلاش برای ایجاد وضعیت آینده، و (۳) اعمال تغییرات در یک فرآیند به منظور بهبود تولید (Singh et al. 2011). با استفاده از VSM، جریان تولید، زمان انتظار، زمان چرخه، زمان سرب، موجودی، و جریان را می‌توان تجسم کرد (Sundar et al, 2014). VSM به طور گسترده در موارد متعددی در چارچوب OSC استفاده شده است. از VSM به عنوان یک ابزار ناب با شبیه سازی رویداد گسسته (DES) برای ارزیابی فرآیند ساخت و ساز حجمی پیش ساخته (PPVC) استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که استفاده از VSM منجر به کاهش زمان چرخه، بهبود کارایی فرآیند و افزایش بهره‌وری در بین کارگران می‌شود (Goh and Goh, 2019).

### تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۳</sup>

تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) حوزه‌ای در علم مدیریت و تحقیقات عملیاتی است که کاربردهای عملی گسترده‌ای در حوزه‌ها و مدل‌های مختلف پیدا می‌کند. MCDM بر فرآیند سازماندهی و حل مسائل تصمیم‌گیری که معیارهای متعددی را در بر می‌گیرد تمرکز دارد (Majumder and Saha 2016). سازماندهی یک تصمیم‌گیری شامل تعریف مشکل، شناسایی راه‌حل‌ها یا جایگزین‌های بالقوه و تعیین معیارهایی است که بر اساس آن می‌توان آن گزینه‌ها را ارزیابی کرد. حل مسئله مستلزم اولویت بندی گزینه‌ها یا انتخاب بهترین یا مطلوب ترین گزینه از مجموعه گزینه‌های داده شده است. اکثر ذینفعان بر این باورند که استفاده از راه حل جدید می‌تواند یک تصمیم مخاطره آمیز باشد، به خصوص اگر فرآیند موجود را تغییر دهد. انتخاب یکی از راه حل های متعدد برای یک مشکل خاص یک فرآیند MCDM در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، پرداختن به این موضوع نیازمند استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی، شبیه‌سازی،

<sup>2</sup> Value Stream Mapping

<sup>3</sup> Multi-criterion decision-making

روش‌های آماری یا هوش مصنوعی است.  $CBA^4$  یک رویکرد MCDM معاصر، توسط Jim Suhr در سال ۱۹۹۹ توسعه یافت. CBA با روش‌های سنتی MCDM، که معمولاً شامل مقایسه‌های زوجی یا وزن‌دهی معیار است، با ارزیابی مزایای جایگزین‌های تصمیم متفاوت است (Arroyo et al, 2014).

یکی از مزایای استفاده از CBA این است که هزینه به عنوان یک عامل جداگانه در نظر گرفته می‌شود که تنها پس از ارزیابی اهمیت مزایای مرتبط با هر گزینه تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود. این بدان معنی است که هزینه به جای یک مزیت به عنوان یک محدودیت در نظر گرفته می‌شود، این عنصری است که در فرآیند تصمیم‌گیری به طور مستقل و پس از تعیین سایر ارزش‌ها در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، با اتخاذ این رویکرد می‌توان به یک فرآیند تصمیم‌گیری سازگارتر و کمتر ذهنی دست یافت. این امر اجرای تفکر ناب را بهبود می‌بخشد و کارایی گردش کار را در طول انتقال از جایگزین‌های طراحی به عملیات بهینه می‌کند و ارزیابی و انتخاب گزینه‌های موجود را افزایش می‌دهد (Arroyo et al, 2012).

تصمیم‌به‌استفاده از CBA به عنوان روش MCDM در این مطالعه بر اساس ارزیابی روش‌های مختلف MCDM به کار رفته در سناریوهای قابل مقایسه بود. CBA به دلیل چارچوب عملی و کاربرپسند بودن آن انتخاب شد که هر دو در تحقیقات اخیر به عنوان عوامل کلیدی برای کاربرد آن در تصمیم‌گیری برجسته شده‌اند. CBA در بسیاری از زمینه‌های مختلف مانند ساخت و ساز، تعمیر و نگهداری و ساخت استفاده شده است. لزوم وجود روشی سیستماتیک و ساختار یافته برای تصمیم‌گیری در OSC دلیل اصلی انتخاب CBA است.

سیستم CBA بر چهار اصل استوار است که به شرح زیر است: (۱) تصمیم‌گیرندگان باید تکنیک‌های تصمیم‌گیری موثر را کسب کرده و به طور ماهرانه‌ای به کار گیرند. (۲) تصمیمات باید بر اساس اهمیت منفعت باشد. (۳) تصمیمات باید به حقایق مربوط شوند و (۴) انواع متمایز تصمیمات نیازمند رویکردهای متنوع تصمیم‌گیری صحیح است.

### شبیه‌سازی

تمرکز اصلی تفکر ناب، حذف ضایعات و بهبود کیفیت در فرآیندهای تولید است. علاوه بر این، اجرای هر گونه تنظیمات ناب یک فرآیند پرخطر در نظر گرفته می‌شود، به ویژه زمانی که تنظیمات قبل از کاشت و سرمایه‌گذاری به درستی بررسی نشده باشند. ناب به عنوان یک ابزار مستقل کافی نیست زیرا ماهیت قطعی دارد، به این معنی که قادر به پرداختن به تغییرپذیری و ارزیابی عملکرد حالت‌های آینده نیست (Marvel & Standridge, 2009). بنابراین، شبیه‌سازی می‌تواند به عنوان ابزاری حیاتی برای دینفعان در نظر گرفته شود تا صحت و کیفیت اصلاحات را قبل از اجرا بررسی کنند (Ekyalimpa et al, 2012). علاوه بر این، ثابت شد که شبیه‌سازی اطلاعات ارزشمندی در مورد ایده‌های جدید یا تجزیه و تحلیل کسب‌وکار قبل از تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در فناوری جدید یا ایجاد اختلال در سیستم واقعی ارائه می‌دهد (Mourtzis et al. 2014). همچنین می‌توان از آن به عنوان ابزار کمی استفاده کرد که مفاهیم و کاربردهای ناب را قبل از اجرا آزمایش و تایید می‌کند.

<sup>4</sup> Choosing by Advantage

## روش تحقیق

روش تحقیق اتخاذ شده در این پژوهش، تحقیقات علوم طراحی<sup>۵</sup> (DSR) است. DSR یک رویکرد تحقیقاتی است که بر توسعه مصنوعات یا راه حل‌هایی برای رسیدگی به مشکلات خاص تمرکز دارد. این روش به ویژه برای پر کردن شکاف بین تئوری و عمل با پرداختن به مشکلات مورد علاقه متخصصان و دانشگاهیان مناسب است (Dresch et al., 2014). در کار حاضر، از رویکرد DSR برای توسعه راه‌حل‌های عملی استفاده می‌شود که به طور موثر به مشکل شناسایی شده رسیدگی می‌کند. لازم به ذکر است که DSR در حوزه‌های مختلف تحقیقاتی از جمله سیستم‌های اطلاعاتی (Peffers et al. 2007) و مدیریت (Carlsson et al. 2011) استفاده شده است و همچنین از نظر توانایی در تحقیقات مدیریت ساخت و ساز دارای ارزش بالقوه است. (Tommelein 2020).

DSR شامل سه مرحله است: ۱. شناسایی مشکل ۲. توسعه مصنوعات ۳. ارزیابی راه حل.

## شناسایی مشکل

در تعقیب بهبود سیستم تولید، محققان اغلب تمایل دارند به جای مطالعه همزمان چندین هدف، بر بهبودهای مجزا تمرکز کنند. این استراتژی می‌تواند نتایجی کمتر از بهینه داشته باشد، زیرا نمی‌تواند وابستگی‌های متقابل پیشرفت‌ها را که می‌تواند تأثیر فوق‌العاده‌ای داشته باشد، در نظر بگیرد. بنابراین، هنگام بهبود یک سیستم تولید، اتخاذ رویکردی ضروری است که به طور جمعی همه مشکلات را به جای نگاه کردن به آنها در سیلوها در نظر بگیرد. با این حال، این جنبه معمولاً در ادبیات مورد بحث قرار نمی‌گیرد. برای پرداختن به این موضوع، معیارهای مختلفی که عملکرد کلی سیستم را منعکس می‌کنند، مانند زمان انتظار و تولید باید در نظر گرفته شوند.

## توسعه مصنوعات

برای پرداختن به مشکل در دست، لازم است روش‌ها، ابزارها و مدل‌های مختلفی را به عنوان بخشی از فرآیند توسعه مصنوع توسعه دهیم (Johannesson & Perjons, 2014). برای این منظور، تولید ناب به عنوان یکی از جنبه‌های کلیدی در این بهبود مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر این، این چارچوب با هدف بهبود سیستم تولید از نظر تولید بیشتر و زمان انتظار کمتر است. همچنین هدف آن افزایش رفاه کارگران در حین انجام وظایف خاص (خستگی و آسیب کمتر) است که به نوبه خود باعث کاهش ضایعات در سیستم می‌شود و سیستم را به طور کلی بهبود می‌بخشد.

مرحله اولیه این چارچوب شامل ارزیابی وضعیت فعلی فرآیند تولید است. اولین گام در این مرحله جمع‌آوری داده‌ها است که شامل انجام یک مطالعه زمانی برای ثبت مدت و سرعت عناصر تکلیفی انجام شده در شرایط خاص است. زمان چرخه به دو بخش تقسیم می‌شود: زمان پردازش و زمان بیکاری. در طول اندازه‌گیری زمان پردازش، فعالیت‌هایی که ارزش افزوده دارند در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که فعالیت‌های غیر ارزش افزوده حذف می‌شوند. اساساً فقط فعالیت‌های ارزش افزوده به عنوان بخشی از زمان پردازش در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که فعالیت‌های غیر ارزش افزوده در نظر گرفته نمی‌شوند. از سوی دیگر، زمان بیکاری به صورت تکه‌ای جمع‌آوری می‌شود و از اجزای مختلفی تشکیل می‌شود که همگی فعالیت‌های بدون ارزش افزوده در نظر گرفته می‌شوند و به عنوان اتلاف در تولید ناب طبقه‌بندی می‌شوند. این اجزا با هفت نوع ضایعات هماهنگ هستند: نقص، تولید بیش از حد، انتظار، حمل و نقل،

<sup>5</sup> Design Science Research

حرکت، پردازش اضافی و موجودی. به منظور جمع‌آوری داده‌ها، زمان‌بندی کرونومتر، مصاحبه‌های رسمی و غیررسمی، مشاهدات، شمارش مطالب، بازدید از سایت و تحلیل پایگاه داده شرکت مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های جمع‌آوری شده برای درک فرآیند و دستیابی مؤثر به اهداف تحقیق بسیار مهم است.

مرحله دوم چارچوب، ایجاد VSM خط تولید است. به منظور توسعه یک VSM، هر دو فعالیت ارزش افزوده و غیر ارزش افزوده شناسایی و در یک ساختار نموداری نمایش داده شدند تا تصویری بصری از فرآیند تولید ارائه دهند. VSM فقط عملیات داخلی را در بر می‌گیرد و شامل موجودی بین ایستگاه‌ها، زمان چرخه فعالیت‌ها، زمان در دسترس و زمان کار ایستگاه‌ها می‌شود. پس از توسعه VSM، مشکلات و منابع ضایعات را می‌توان شناسایی کرد. بر اساس این تجزیه و تحلیل، راه حل‌ها به دو نوع راه حل‌های عملیاتی و تکنولوژیکی ارائه و دسته‌بندی می‌شوند. راه‌حل‌های عملیاتی، همچنین به عنوان «ضربه‌های سریع» شناخته می‌شوند، با هدف رسیدگی سریع به مسائل، در حالی که راه‌حل‌های فناوری راه‌حل‌هایی هستند که نیاز به برنامه‌ریزی قابل توجهی دارند و ممکن است نیاز به سرمایه‌گذاری قابل توجهی قبل از اجرا داشته باشند. از آنجایی که مشکلات خاصی ممکن است راه حل‌های متعددی داشته باشند، یک برای تعیین مناسب‌ترین گزینه انجام می‌شود.

قبل از اجرای یک راه حل عملیاتی یا فناوری، یک مرحله آزمایش با استفاده از رویکردهای نظری و تجربی انجام می‌شود. انتخاب رویکرد بستگی به سهولت اجرا دارد. اگر راه حل یک فرآیند اجرای نسبتاً ساده ارائه دهد، رویکرد تجربی انتخاب خواهد شد. با این حال، اگر راه حل شامل چالش‌های مهمی مانند سرمایه‌گذاری بالا، آماده‌سازی گسترده، اختلال احتمالی در کار باشد، یا اگر کارخانه به دلایل مختلف ترجیح دهد از اجرای آن اجتناب کند، رویکرد تئوریک به جای آن ترجیح داده می‌شود. رویکرد نظری با توسعه یک مدل شبیه‌سازی رویداد گسسته (DES)<sup>۶</sup> بر اساس داده‌ها و مطالعات فرآیند فرآیند موجود آغاز می‌شود. سپس مدل با استفاده از تکنیک‌های مختلف مانند اعتبار صوری و اعتبار رویداد تأیید و اعتبارسنجی می‌شود. سپس، گلوگاه در فرآیند شناسایی می‌شود و راه‌حل‌های بالقوه در مدل آزمایش می‌شوند. راه حل با بالاترین پیشرفت برای اجرا انتخاب می‌شود. از سوی دیگر، رویکرد تجربی شامل ارزیابی دقیق از عملکرد فعلی مشکل موجود برای به دست آوردن درک عمیق‌تر است. سپس یک طرح آزمایشی ایجاد می‌شود که مراحل لازم برای اجرای راه حل مناسب را مشخص می‌کند. این طرح در محل اجرا می‌شود و نتایج برای بررسی بیشتر مزایا و بازپرداخت راه حل و تأثیر آن بر بهبود سیستم تجزیه و تحلیل می‌شود.

## ارزیابی

چارچوب از طریق یک مطالعه موردی انجام شده در یک شرکت تولیدی در و پنجره ارزیابی می‌شود. مطالعه موردی شامل جمع‌آوری داده‌های عملی از تأسیسات OSC است که در ساخت پنجره‌ها برای پروژه‌های ساختمانی تخصص دارد. ارزیابی با اجرای هر مرحله از چارچوب و جمع‌آوری بازخورد از شرکت، شواهد لازم را برای تایید اثربخشی چارچوب فراهم می‌کند. این بازخورد از طریق مصاحبه با تیم مدیریت به دست می‌آید.

<sup>6</sup> Discrete-event Simulation

## یافته ها

مطالعه موردی انتخاب شده شامل یک شرکت تولیدی در و پنجره است. در واحد تولیدی شرکت، فرآیند تولید واحدهای تولید لعاب در سه خط تولید مجزا سازماندهی شده است. اولین خط تولید که در تولید شیشه های سه جداره به طور خاص برای پنجره های کوچک تا متوسط طراحی شده است. خط دوم، بر تولید واحدهای دو جداره و سه جداره تمرکز دارد که عمدتاً برای پنجره های بزرگ استفاده می شود. سومین و آخرین خط تولید به تولید واحدهای شیشه دوجداره اختصاص دارد. برای هدف این مطالعه، این خط تولید مورد بررسی قرار می گیرد، زیرا مهم ترین و بزرگترین خط تولید در بین این سه خط در نظر گرفته می شود. همچنین خطی است که با بیشترین چالش ها مواجه است و نیاز به بهبود دارد.

عملیات کاری این خط تولید که GED نام دارد در جدول یک به همراه شکل هر فرآیند آمده است.

جدول ۱. فرآیند تولید

تصویر	فعالیت
	بارگیری: سیستم دروازه ای برای انتقال ورق های شیشه ای از محل ذخیره سازی به محل بارگیری، جایی که ورق های شیشه بارگیری می شوند، استفاده می شود.





دستگاه برش: شیشه پس از بارگیری به دستگاه برش منتقل می شود و در آنجا بر اساس سفارشات ارائه شده توسط کارگر به طور دقیق برش داده می شود..



جدا سازی و بارگیری: پس از برش، کارگران قطعات شیشه را از ورق جدا می کنند. سپس هر تکه شیشه در یک شکاف مشخص در یک واحد ۱۰۰ گاری قرار می گیرد. هر شیشه اضافی از فرآیند برش در سطل ها دور ریخته می شود. این ترتیب تا بارگیری کامل سبد خرید تکرار می شود.



حمل و نقل: هنگامی که گاری بارگیری می شود، کارگر جداکننده و بارگیری گاری کانبان را با بقیه گاری ها حمل می کند که متعاقباً به خطوط تولید دیگر منتقل می شوند.





شستشو: کارگر لباسشویی گاری را بازیابی می کند و آن را در نزدیکی ماشین لباسشویی قرار می دهد. سپس کارگر هر تکه لیوان را جمع آوری می کند و تا زمانی که گاری خالی شود به ماشین لباسشویی منتقل می کند.



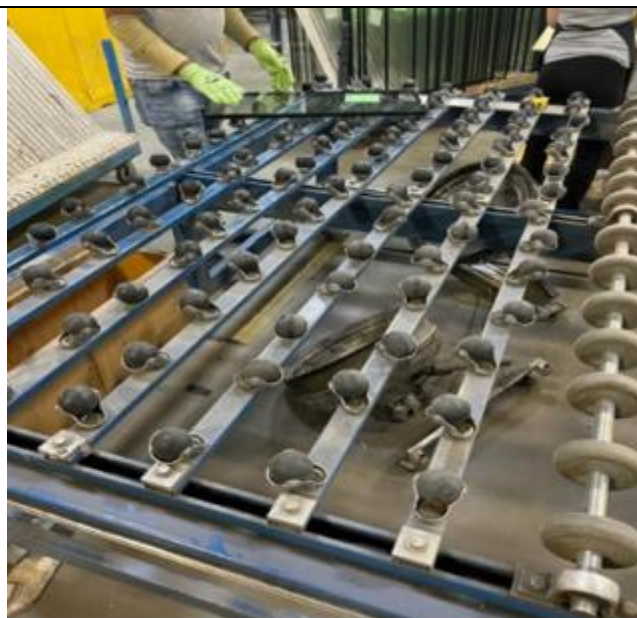
اضافه کردن Super Spacer: کارگران پس از بازیابی اسپیسرها از گاری، سوپر اسپیسر را روی شیشه قرار می دهند.



ترکیب: سپس دو تکه شیشه توسط نوار نقاله به دستگاه ترکیب کننده منتقل شده و از طریق میز پروانه ای با هم ترکیب می شوند.

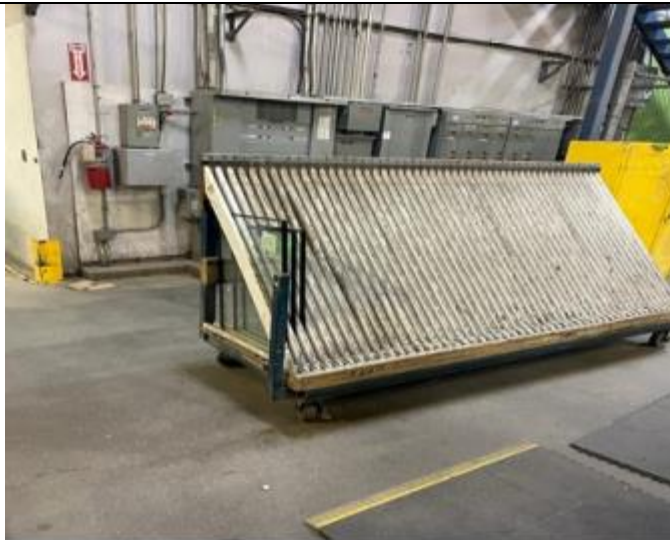


گرمایش: شیشه از طریق غلتک های سرامیکی به داخل اجاق وارد می شود تا توزیع یکنواخت گرما را در طول مرحله گرمایش تضمین کند. در طی این فرآیند دما تا حدود ۱۱۰۰ درجه فارنهایت افزایش می یابد.



برچسب زدن: توسط کارگر برچسب گذاری می شود تا نوع، شماره سفارش، مقصد، اندازه، پر بودن یا نبودن آن با آرگون و تاریخ تولید آن را مشخص کند.





بارگیری: واحدهای شیشه ای داخل گاری ها بارگیری می شوند و پس از رسیدن گاری به ظرفیت ۵۰ دستگاه، به ایستگاه پر کردن و آرگون منتقل می شوند.

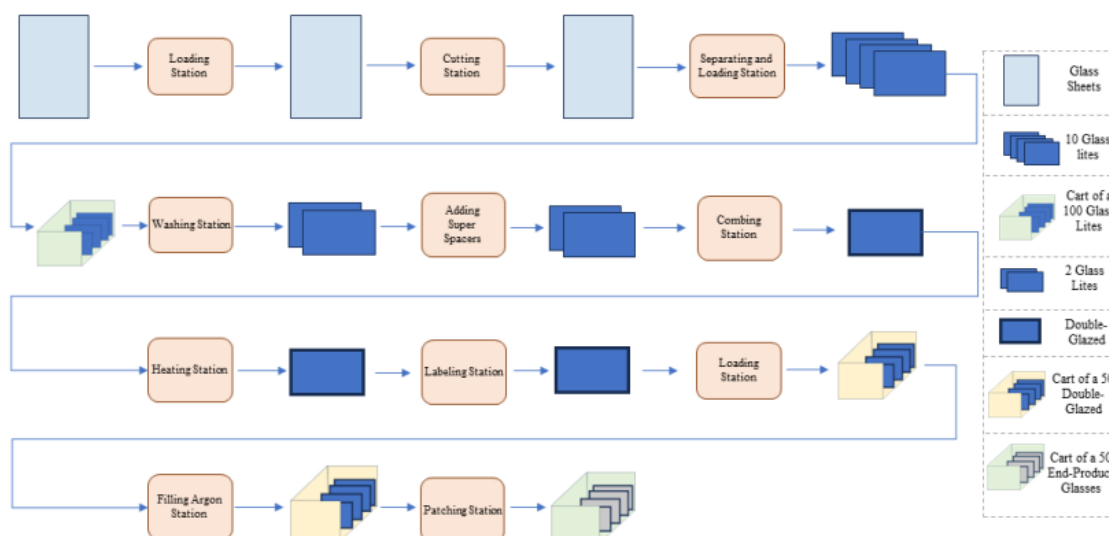


وصله کردن شیشه: پس از پر کردن آرگون، کارگران از یک تفنگ وصله برای استفاده از یک گوشه درزگیر در جایی که سوراخ ایجاد شده است استفاده می کنند. تفنگ وصله ابزاری است که امکان استفاده دقیق از درزگیر را فراهم می کند. آنها با دقت درزگیر را روی سوراخ حفر شده پخش می کنند. هنگامی که وصله کامل شد، کارگران به صاف کردن درزگیر در گوشه ای از شیشه که درزگیر را پخش می کنند، می روند و آن را در سطح یکنواخت و یکدست می کنند. در این مورد، کارگران باید ابعاد خاصی را در نظر بگیرند. آنها باید اطمینان حاصل کنند که درزگیر ۴ سانتی متر هم به صورت افقی و هم به صورت عمودی از گوشه پنجره کشیده می شود.

## نگاشت جریان ارزش

تولید واحدهای دوجداره شامل استفاده از مواد مختلف به منظور ایجاد می باشد. این فرآیند با ایستگاه بارگیری آغاز می شود و در چندین ایستگاه تا رسیدن به ایستگاه وصله پیش می رود. هر ایستگاه با پردازش ورودی های مختلف و تولید خروجی های خاص به تولید کمک می کند و ایجاد یک نقشه جامع جریان ارزش را به چالش می کشد. در شکل یک، جریان مواد در خط تولید نشان داده شده است. سه ایستگاه اول (بارگیری، برش و جداسازی) ورق های شیشه ای کامل را به عنوان ورودی مدیریت می کنند. در مرحله بعد، ماشین لباسشویی دو شیشه را به طور همزمان شستشو می دهد و دو شیشه را به عنوان ورودی می گیرد و دوشیشه شسته را به عنوان خروجی تولید می کند. همان الگوی ورودی و خروجی برای ایستگاه سوپر اسپیسر صدق می کند. پس از اعمال سوپر اسپیسر، شیشه ها با هم ترکیب می شوند و در نتیجه یک واحد دو جداره ایجاد می شود. از این نقطه به بعد، ورودی و خروجی برای تمام فعالیت های بعدی تا ایستگاه وصله، جایی که ورودی نیز یک واحد دو جداره است، یکسان باقی می ماند. پس از عبور از این ایستگاه، محصول به یک واحد تمام شده تبدیل می شود و آماده استفاده در خط دیگری می شود که می توان آن را روی قاب پنجره نصب کرد.

توجه به این نکته ضروری است که پس از جداسازی و بارگیری، محصولات در ایستگاه های بارگیری و پر کردن آرگون ثابت می مانند تا زمانی که گاری به ترتیب با ۱۰۰ و ۵۰ محصول بارگیری شود.



شکل ۱. جریان مواد

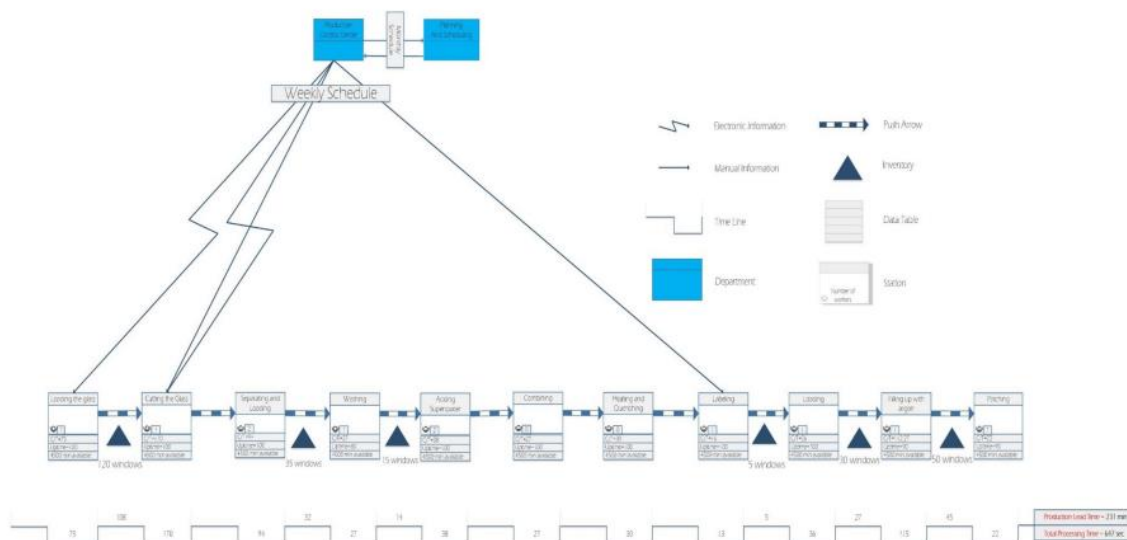
به منظور ایجاد یک نقشه جامع جریان ارزش، استانداردسازی جریان مواد در سراسر خط تولید ضروری است. تمام خروجی های داخل سیستم باید بر حسب یک واحد دو جداره تراز و اندازه گیری شوند. بنابراین، ایجاد نقشه جریان ارزش با بررسی ایستگاه های بارگیری، برش، جداسازی و بارگیری آغاز می شود. ورودی و خروجی این ایستگاه ها شامل ورق های کامل (به جز خروجی جداسازی و بارگذاری) است. این ورق ها باید به واحدهای دوجداره تبدیل شوند تا با خط تولید همراستا شوند. بر اساس تجزیه و تحلیل سفارشات مشخص شد که به طور متوسط از هر ورق تقریباً ۱۰ شیشه منفرد تولید می شود که در نتیجه تقریباً ۵ واحد دوجداره تولید می شود. این مقدار

متوسط هم در VSM و هم در شبیه سازی استفاده می شود. در مطالعه موردی، VSM به طور کامل مورد استفاده قرار نگرفت، زیرا جنبه های خاصی از ابزار برای تجزیه و تحلیل خاص غیر ضروری تلقی می شد. با این حال، اجزای VSM که مورد استفاده قرار گرفتند به طور موثر به هدف خود عمل کردند.

پس از انجام یک بررسی کامل از خط تولید لعاب و جمع‌آوری داده‌ها، نقشه جریان ارزش فعلی ایجاد شد و در شکل دو قابل مشاهده است. مشکلاتی که از VSM نتیجه گیری شد که در زیر آمده است.

- چندین فعالیت بدون ارزش افزوده وجود دارد. توصیه می شود برای عملکرد بهینه زمان پیشروی را به حداقل برسانید تا به زمان پردازش نزدیکتر شود.
- ایستگاه برش در اکثر مراحل عملیاتی بود. با این حال، تعداد قابل توجهی از محصولات در انتظار پردازش بودند که محل قرارگیری آنها قبل از ایستگاه نشان می دهد. این مشاهدات در VSM منعکس شد، که نشان داد ایستگاه برش طولانی‌ترین زمان چرخه و بیشترین مقدار کار در حال انجام را دارد.
- درصدی از سفارش‌ها به جای برنامه‌ریزی و ارسال الکترونیکی، به صورت دستی وارد شده‌اند که منجر به تاخیر در ارسال سفارش‌ها به دستگاه برش می‌شود. VSM این رویداد را از طریق پیکان اطلاعات دستی از کنترل تولید تا ایستگاه برش (انتظار) نشان داد.

نقشه جریان ارزش دو جریان مهم را نشان می دهد: جریان مواد و جریان اطلاعات. جعبه عملیات و داده، زمان چرخه، تعداد کارگران، زمان کار، و زمان شیفت را مستند می کند. در جریان بررسی روند، مسائل مختلفی در داخل ایستگاه ها شناسایی شد.



شکل ۲. نگاشت جریان ارزش (VSM)

پس از ایجاد نقشه جریان ارزش و مشخص کردن فعالیت های بهبودده مشکلاتی شناسایی شد. موضوع خاصی وجود داشت که توجه را می طلبید، و آن جابجایی دستی مواد در کارخانه، به ویژه در طول فرآیند شیشه سه گانه بود. توجه به این نکته ضروری است که این فرآیند

در محدوده خط GED نیست، بلکه در خط دیگری است که برای رسیدگی به واحدهای دو و سه جداره اختصاص داده شده است. یادداشت نوشته شده توسط کارگران روی گاری مشاهده شد که نشان می‌دهد فشار دادن آن دشوار است. این مشاهده باعث علاقه بیشتر به مطالعه این جنبه و بحث در مورد آن شد.

در مجموع ده موضوع مشخص شد. اولین موضوع مربوط به ایستگاه بارگیری بود. در وضعیت فعلی، فرآیند بارگذاری شیشه بر روی دستگاه به دو دلیل زمان‌بر است. ابتدا شیشه بدون در نظر گرفتن پر مصرف ترین نوع شیشه مورد نیاز دستگاه به صورت تصادفی در محل نگهداری قرار می‌گیرد. در نتیجه، جرثقیل شیشه را به طور تصادفی در ماشین بارگیری می‌کند، گاهی اوقات در محدوده ۲۰ متری و گاهی اوقات در محدوده ۴۰ متری. ثانیاً، جرثقیل یک ماشین کند حرکت است که به زمان قابل توجهی برای مانور بین منطقه ذخیره سازی و دستگاه برش نیاز دارد.

چالش دوم مربوط به ایستگاه برش است که به عنوان یک گلوگاه در خط تولید عمل می‌کند که بر سرعت کلی سیستم تأثیر می‌گذارد. این در درجه اول به زمان چرخه طولانی تر آن نسبت به سایر ایستگاه‌ها نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، ورود دستی سفارش‌های خاص (عینک‌های بزرگ)، به جای برنامه‌ریزی قبلی، بیشتر به مشکلات پیش‌رو کمک می‌کند. این فرآیند دستی تاخیرها و ناکارآمدی‌ها را معرفی می‌کند و از جریان روان عملیات جلوگیری می‌کند.

مشکل سوم در ایستگاه جداسازی و بارگیری است. در حین جداسازی از کل ورق و هنگام قرار دادن آن در گاری کانبان با مشکل قابل توجهی مربوط به شکستن شیشه مواجه است. این مسئله منجر به دوباره کاری، اتلاف مواد و از دست دادن زمان می‌شود. علت اصلی این مشکل استفاده از دستکش‌های فرسوده است که فاقد اصطکاک کافی و روش‌های نایمن حمل و نقل توسط کارگران است.

مشکل چهارم مربوط به حمل گاری به ایستگاه بعدی است که شامل زمان بدون ارزش افزوده در فرآیند تولید است. این وظیفه به دلیل سنگینی گاری، فشار بر کارگران و به طور بالقوه مشکلات سلامتی را به همراه دارد. علاوه بر این، ایستگاه‌های بعدی اغلب در انتظار محصولات باقی می‌مانند، حتی زمانی که اقلام آماده برای پردازش در دسترس هستند. این به این دلیل رخ می‌دهد که سبد خرید نمی‌تواند ادامه یابد مگر اینکه به ظرفیت کامل که شامل ۱۰۰ اسلات است برسد. این ناکارآمدی‌ها در مدیریت حمل و نقل و گاری منجر به تاخیر، کاهش بهره‌وری و تنگناهای احتمالی در خط تولید می‌شود.

مشکل پنجم مربوط به ماشین لباسشویی است، زیرا در برخی موارد، شیشه باید چندین بار تمیز شود تا بتواند به ایستگاه بعدی برسد. این کار مستلزم آن است که کارگر ماشین لباسشویی را متوقف کند و ایستگاه خود را ترک کند تا شیشه لکه دار را از ایستگاه سوپر اسپیسر خارج کند و سپس دوباره آن را از ماشین لباسشویی عبور دهد. این فرآیند شامل کار مجدد و دوبار رسیدگی است که فعالیت‌هایی بدون ارزش افزوده هستند.

ششمین مشکل در ایستگاه سوپر اسپیسر است که در آن زمان زیادی صرف می‌شود زیرا کارگران برای شناسایی سوپر اسپیسر مناسب برای هر پنجره تلاش می‌کنند. این منجر به افزایش زمان قرار دادن سوپر اسپیسر روی پنجره می‌شود. در حال حاضر، تمام سوپر اسپیسرها از قبل در یک ایستگاه مختلف آماده شده و در نزدیکی ایستگاه سوپر اسپیسر ذخیره می‌شوند. با این حال، آنها بدون هیچ ترتیب خاصی در یک سبد خرید ذخیره می‌شوند که منجر به ناکارآمدی می‌شود.



مشکل هفتم مربوط به برچسب و ایستگاه بارگیری است، جایی که مشاهده شد که کارگران گاهی اوقات برای حمل شیشه‌های بزرگ باید منتظر کمک کارگر دیگری باشند.

مسئله هشتم شباهت‌هایی با مسئله چهار دارد. در این حالت، چرخ دستی در فاصله نسبتاً کوتاهی منتقل می‌شود، بنابراین فشار فیزیکی بر کارگران کاهش می‌یابد. با این حال، این موضوع زمانی پیش می‌آید که ایستگاه‌های بعدی باید منتظر محصولات بمانند تا زمانی که گاری با ۵۰ ورق شیشه بارگیری شود.

مشکل نهم در ایستگاه آرگون است که با مشکلی مواجه می‌شود که در آن پنجره‌های شیشه‌ای خاصی در حین پر شدن با آرگون ترک می‌خورند. حل این مشکل به دلیل موقعیت آن در انتهای خط تولید بسیار مهم است. هر گونه نقصی که در این مرحله خاص در پنجره وجود داشته باشد می‌تواند منجر به هزینه‌های قابل توجه و سرمایه‌گذاری زمانی برای ساخت پنجره‌های جایگزین شود. عدم نگهداری منظم دستگاه دلیل اصلی این مشکل است که منجر به مشکلات مختلفی می‌شود. یکی از مثال‌ها خرابی متری است که میزان آرگون پر شده را اندازه‌گیری می‌کند، که منجر به پر شدن بیش از حد و متعاقباً ترک خوردن پنجره می‌شود. عامل دیگر وجود کثیفی روی سوزنی است که وارد شیشه می‌شود که منجر به بسته شدن ورودی آرگون و در نهایت ترک خوردن شیشه می‌شود.

مشکل دهم حمل دستی مواد در کارخانه است. شرکت مورد مطالعه در ساخت واحدهای پنجره دوجداره و سه جداره تخصص دارد. فرآیند تولید یک واحد ۴۵ شیشه‌ای مهر و موم شده مستلزم فعالیت‌های مختلفی است که با بارگذاری شیشه بر روی میز برش شروع می‌شود. سپس شیشه را به اندازه‌های دلخواه برش می‌دهند، و کارگران قطعات شیشه را روی چرخ‌های نورد سپس آنها را به یک خط تولید منتقل می‌کنند. حمل و نقل دستی مواد به دلیل وزن اغلب سنگین گاری‌ها و نیاز به چندین کارگر برای جابجایی یک گاری، به عنوان یک چالش قابل توجه در فرآیند تولید برجسته بود. به این ترتیب، نیاز به کمی‌سازی اثر شیوه جابجایی مواد فعلی بر زمان انتقال و هزینه‌های نیروی کار، و بررسی استراتژی‌های جایگزینی وجود دارد که می‌تواند ناکارآمدی‌های مرتبط با روش فعلی را کاهش دهد.

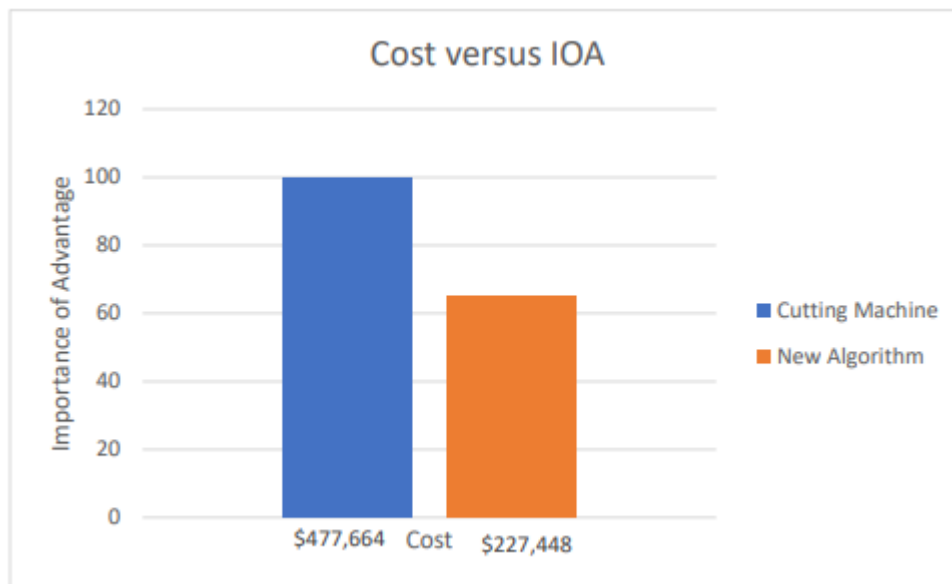
#### ۱-۱- انتخاب بر اساس مزایا (CBA)

CBA در سناریوهای تصمیم‌گیری برای شناسایی راه حل بهینه برای چالش‌های پیش آمده در خط تولید استفاده می‌شود. تکرارهای متعدد CBA برای رسیدگی به هر مشکل خاص در ایستگاه‌های مربوطه انجام شد.

#### انتخاب بهترین جایگزین

تجزیه و تحلیل اهمیت مزیت (IOA)<sup>۷</sup> و هزینه هر گزینه به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا بهترین گزینه را تعیین کنند. شکل سه هزینه و کل IOA هر جایگزین را نشان می‌دهد که در این تحقیق دستگاه برش بررسی شد.

<sup>7</sup> Importance of Advantage



شکل ۳. هزینه در مقابل IOA

برای دستگاه برش جایگزین، هزینه کل ۴۷۷,۶۶۴ دلار ثبت شده است، با IOA کل ۱۰۰. از سوی دیگر، جایگزین الگوریتم جدید دارای هزینه کل ۲۲۷,۴۴۸ دلار و مجموع IOA 65 است. این تصمیم برای تصمیم چالش برانگیز بود. سازنده به دلیل عوامل متعددی. اولاً، اجرای دستگاه برش مستلزم سرمایه‌گذاری قابل توجهی در مقایسه با الگوریتم جدید است که تقریباً نصف قیمت آن هزینه دارد. با این حال، دستگاه برش دارای IOA بالاتری است. پس از تجزیه و تحلیل دقیق، تصمیم گیرنده دستگاه برش را با وجود هزینه بالاتر آن انتخاب کرد. VSM نشان داد که دستگاه برش یک گلوگاه در سیستم است و به طور قابل توجهی تولید را کند می‌کند. نگرانی اصلی آنها افزایش سرعت فرآیند بود، حتی اگر به معنای متحمل شدن هزینه‌های اضافی باشد. آنها با اجرای دستگاه برش، شتاب قابل توجهی در تولید را پیش بینی کردند که منجر به افزایش درآمدزایی شد. بنابراین، تصمیم گیرنده به این نتیجه رسید که IOA بالاتر و سرعت بهبود یافته ارائه شده توسط دستگاه برش از هزینه بالاتر بیشتر است و آن را به جایگزین ترجیحی تبدیل می‌کند.

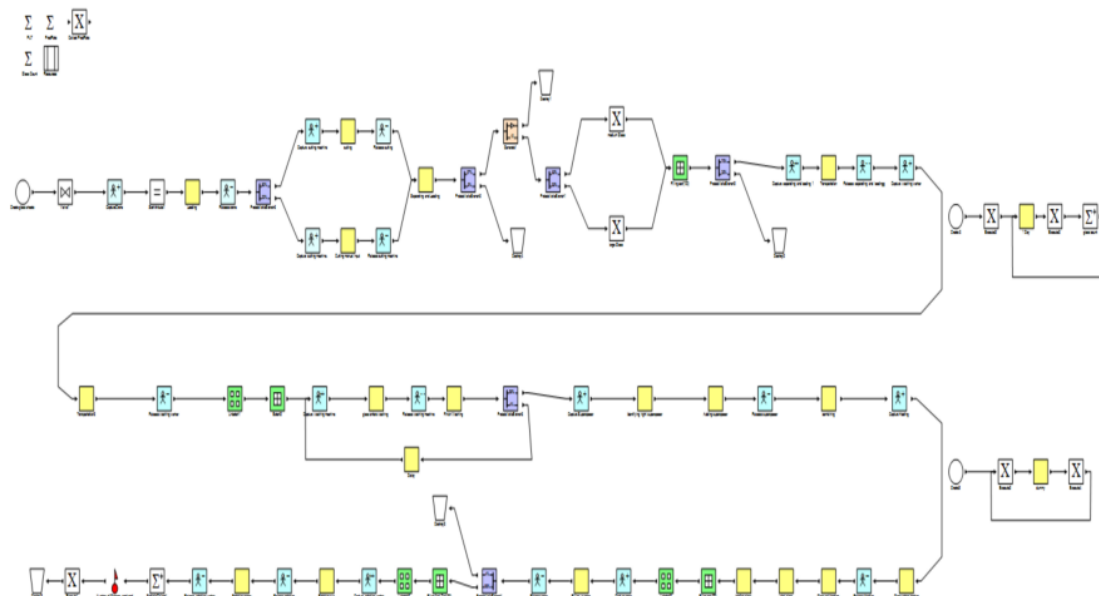
### شبیه سازی

پس از انجام VSM و CBA برای شناسایی و رسیدگی به ضایعات و انتخاب مطلوب ترین راه حل، یک مدل شبیه سازی توسعه داده می‌شود. این مدل شبیه سازی وضعیت فعلی فرآیند تولید پنجره را تکرار می‌کند و تجزیه و تحلیل دقیقی از عملکرد آن از نظر استفاده، میانگین زمان انتظار، نرخ تولید و زمان تولید ارائه می‌دهد. برخلاف VSM که محدودیت‌های خاصی از نظر اطلاعاتی که می‌تواند ارائه دهد دارد، شبیه سازی دید جامع تری از وضعیت فعلی ارائه می‌دهد. شبیه‌سازی ابزار ارزشمندی است که می‌تواند بینش‌هایی را در مورد معیارهای ناب مختلف مانند زمان تولید ارائه دهد، و امکان بررسی تأثیر راه‌حل‌های پیشنهادی و تعیین اینکه کدام یک برای بهبود تولید مؤثرتر هستند را فراهم می‌کند. شبیه سازی به ذینفعان کمک می‌کند تا با نمایش اثرات راه حل‌ها، نتایج را درک کنند و تصمیمات آگاهانه بگیرند.

## مدل شبیه سازی خط GED

در این بخش یک مدل شبیه سازی را معرفی می‌کنیم. مدل شبیه سازی با ایجاد موجودیت هایی با استفاده از تابع "create entity" در ابتدای شبیه سازی، فرآیند را آغاز می‌کند. تعداد نهادهای ایجاد شده توسط بخش برنامه زمانی تعیین می‌شود تا ۵۰۰۰ واحد در هفته تولید شود. موجودیت های ایجاد شده در ابتدا ورق بوده و پس از عبور از ایستگاه جداسازی و بارگیری به شیشه تبدیل می‌شوند. تعداد شیشه های تولید شده پس از ایستگاه جداسازی و بارگیری ۱۰ عدد می‌باشد.

علاوه بر این، این بخش به شناسایی گلوگاه در سیستم و رفع مشکلاتی که قبلاً در مورد آنها بحث شد با پیاده سازی راه حل ها کمک می‌کند. با این حال، حل یک گلوگاه ممکن است باعث ایجاد یک گلوگاه جدید شود که در این بخش نیز به آن پرداخته خواهد شد. شایان ذکر است که راه حل های جدید همیشه برای تولید مفید نیستند. به عنوان مثال، کاهش زمان صرف شده برای یک فعالیت ممکن است همیشه بهترین گزینه نباشد، زیرا می‌تواند منجر به کاهش تولید کلی شود.



شکل ۴. مدل شبیه سازی

## بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش یک چارچوب جامع ارائه می‌کند که تولید ناب، MCDM، شبیه‌سازی و تحلیل تجربی را برای بهبود خطوط تولید در OSC ادغام می‌کند. ابزارهای مختلف ناب مختلف برای رسیدگی به ضایعات در سیستم استفاده شد و تحقیقات عمیق برای شناسایی علل ریشه ای مسائل و ابداع راه حل های مناسب انجام شد. انتخاب این ابزارها خودسرانه نبود، زیرا هر ابزار نقش مهمی در افزایش کارایی کلی خط تولید OSC داشت. ابزار VSM برای ارزیابی وضعیت فعلی، شناسایی ناکارآمدی‌های بین ایستگاه‌ها و به دست آوردن درک جامعی از سیستم، از جمله WIP استفاده شد. معیارهای ناب مانند PLT، WIP و میانگین زمان انتظار از طریق شبیه سازی

برای ارزیابی عملکرد سیستم پیشنهاد و محاسبه شدند. علاوه بر این، اصول ناب مانند اجرای گاری کانبان برای بهینه سازی جریان مواد به کار گرفته شد. برای مشکلات با راه حل های بالقوه متعدد، از CBA برای انتخاب مطلوب ترین گزینه استفاده شد.

توجه به این نکته مهم است که بسیاری از شرکت‌ها در اجرای راه‌حل‌های ناب یا سایر راه‌حل‌ها برای بهبود کسب‌وکار خود تردید دارند، به‌ویژه زمانی که سرمایه‌گذاری قابل توجهی در میان باشد و محاسبه بازپرداخت ساده نباشد. برای مقابله با این چالش، تمام راه حل های پیشنهادی برای ارزیابی اثرات آنها بر سیستم شبیه سازی شدند.

در اصل، این تحقیق به طور قابل توجهی وضعیت کلی سیستم تولید OSC را با ادغام معیارهای مختلف و تجزیه و تحلیل آنها به طور جمعی بهبود بخشید. این با اصول اصلی تفکر ناب هماهنگ است. ارزیابی عملکرد سیستم تنها به نرخ تولید وابسته نیست. درک تعامل بین معیارهای مختلف ضروری است. در حالی که نرخ خروجی بالا ممکن است در ابتدا نشان‌دهنده یک سیستم با عملکرد خوب به نظر برسد، تفکر ناب بر اهمیت درک فرآیندهای زیربنایی تأکید می‌کند، زیرا نرخ خروجی بالا می‌تواند با اتلاف و یک سیستم تحت فشار همراه باشد. بنابراین، تجزیه و تحلیلی از سیستم از طریق پشتیبانی VSM برای شناسایی مناطق ضایعاتی مانند استفاده بیش از حد، میانگین زمان انتظار، دوباره کاری، حمل و نقل و نقص انجام شد.

## منابع

- Arroyo, P., Tommelein, I., & Ballard, G. (2012, January 1). Deciding a Sustainable Alternative by “Choosing by Advantages” in the AEC Industry. Proc. 20th Conf. of the International Group for Lean Construction (IGLC), San Diego.
- Arroyo, P., Tommelein, I., & Ballard, G. (2014). Comparing weighting rating and calculating vs. choosing by advantages to make design choices. 401–412.
- Dresch, A., Lacerda, D. P., & Antunes, J. A. V. (2014). Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement. Springer International Publishing.
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. Journal of Management Information Systems, 24(3), 45–77.
- Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle Performance of Modular Buildings: A Critical Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62, 1171–1183.
- Klotz, L., Horman, M., Bi, H. H., & Bechtel, J. (2008). The Impact of Process Mapping on Transparency. International Journal of Productivity and Performance Management, 57(8), 623–636.
- Rick Best, G. de V. (1999). Building in Value: Pre-Design Issues (1st Edition)
- Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2014). Lean manufacturing: literature review and research issues. International Journal of Operations & Production Management, 34, 876–940.
- Singh, B., Garg, S. K., & Sharma, S. K. (2011). Value stream mapping: Literature Review and Implications for Indian Industry. The International Journal of Advanced Manufacturing

- Majumder Mrinmoy and Saha, A. K. (2016). Multi Criteria Decision Making. In Feasibility Model of Solar Energy Plants by ANN and MCDM Techniques (pp. 9–12). Springer Singapore.
- Marvel, J., & Standridge, C. (2009). Simulation-Enhanced Lean Design Process. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2(1), 90–113.
- Ekyalimpa, R., Abourizk, S., & Farrar, J. (2012). Effective Strategies for Simulating One-of-aKind Cons
- Johannesson, P., & Perjons, E. (2014). A Method Framework for Design Science Research.
- Tommelein, I. D. (2020). Design Science Research in Construction Management: MultiDisciplinary Collaboration on the SightPlan System. *Construction Management and Economics*, 38(4), 340–354.
- Carlsson, S. A., Henningsson, S., Hrastinski, S., & Keller, C. (2011). Socio-technical IS Design Science Research: Developing Design Theory for IS Integration Management. *Information Systems and E-Business Management*, 9(1), 109–131.
- Goh, M., & Goh, Y. M. (2019). Lean Production Theory-Based Simulation of Modular Construction Processes. *Automation in Construction*, 101, 227–244.
- Mourtzis, D., Doukas, M., & Bernidaki, D. (2014). Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. In *Procedia CIRP* (Vol. 25).

## Presenting a simulation-based framework for improving the window production system

**Saeed Khajjavi Moghadam**

Bachelor of Industrial Engineering, Quchan University  
of Technology

**Zahra Al Sadat Hosseini**

Assistant Professor, Quchan University of Technology

### Abstract

Manufacturing companies compete on the basis of productivity, efficiency, waste minimization, and quality, all of which provide lower costs, faster delivery, higher quality, and a better work environment. Implementing simulation, multi-criteria decision making (MCDM), and experimental techniques in off-site construction (OSC) facilities are essential decision-making tools in a volatile market. Value Stream Mapping (VSM) is effective in visualizing the production process and identifying waste. However, this tool has some shortcomings and challenges. Therefore, researchers propose to integrate it with simulation-based methods to overcome its shortcomings. Simulation has proven to be a valuable tool for testing potential solutions and demonstrating their effectiveness. OSC is full of case studies that have successfully combined both tools. However, there is limited research on incorporating selection by benefits (CBA) as a mechanism to objectively filter the set of potential solutions prior to testing. This is expected to reduce the effort required in solution testing and analysis and ensure an objective and collaborative selection process. In addition, most solutions are theoretically tested through the development of simulation models, with limited attention to conducting practical experiments. The purpose of this research is to provide a framework for evaluating and improving the state of OSC. This can be achieved through the use of VSM and simulation, with the help of CBA and other experiments. The developed framework was successfully tested on a window and door OSC center. This system can ultimately provide a valuable decision support system for improving the condition of the production line, improving the welfare of workers and making the workplace more inclusive.

**Keywords:** Improved production system, simulation, window