فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال نوزدهم/ شماره ۶۸ / تابستان ۱۴۰۳

طراحی مدل عامل‌بنیان برای بهینه‌سازی تولید و کنترل موجودی و مسیریابی در زنجیره تامین محصولات فسادپذیر (مورد مطالعه: شرکت لبنی)

مهدی سوهانیان
دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی (گرایش سیستم‌ها)، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
رضا احتشام راثی (نویسنده مسئول)
استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
Email:rezaehteshamrasi@gmail.com
رضا رادفر
استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

چکیده

هدف پژوهش ارائه مدل ترکیبی عامل‌بنیان – گسسته پیشامد به منظور بررسی یکپارچه برنامه ریزی تولید، کنترل موجودی و تعداد و نوع ناوگان در زنجیره تامین محصولات فسادپذیر است. مدل ترکیبی عامل‌بنیان به منظور پیاده‌سازی نقش هر عامل و نحوه ارتباط آنها در زنجیره تامین مورد استفاده قرار گرفته است. رویکرد شبیه‌سازی گسسته پیشامد به منظور پیاده‌سازی پیچیدگی‌های سطح خرد خطوط تولیدی استفاده شده است.به منظور یافتن مقادیر بهینه / نزدیک بهینه سطوح تولید و کنترل موجودی و تعداد و نوع وسایل نقلیه، از رویکرد شبیه‌سازی – بهینه‌سازی و الگوریتم‌های فراابتکاری و مدلسازی با نرم افزار AnyLogic بهره گرفته شده است. شبیه‌سازی برای تولید و مسیریابی۸ محصول بستنی صورت گرفته است که در ۳ سردخانه قراردارند. برای حمل و نقل محصولات از ۴ نوع وسیله نقلیه که در مجموع ۴۲ خودرو می باشد، استفاده می‌شود. جهت سنجش اعتبار مدل از اختلاف بین مقدار حقیقی و به دست آمده از مدل بر اساس ۴ عامل تعداد محصولات تولید شده در بازه زمانی یک ساله، تعداد حمل و نقل صورت گرفته جهت ارسال محصولات به توزیع کنندگان، تعداد خرابی سرمایش ماشین‌آلات و تعداد خرابی سرمایش ماشین آلات منجر به دور ریز محصولات استفاده شده است. با توجه به اینکه برای هر ۴ عامل مقدار اختلاف کمتر از ۵ می‌باشد، می توان از اعتبار مدل اطمینان حاصل کرد. نتایج نشان می‌دهد تابع هدف ۳ درصد بهبود و میانگین مدت زمان دریافت سفارش تا تحویل محصول نیز ۵ درصد بهبود می‌یابد. در سناریو اول مقدار تولید محصولات مدل شده است که بر اساس حداقل و حداکثر موجود و حداکثر و حداقل مقادیر شبیه‌سازی می‌باشد. در سناریو دوم تعداد وسیله نقلیه موجود ۴۲ دستگاه است که با در نظر گرفتن سناریو پیشنهادی تعداد وسایل نقلیه به ۳۷ دستگاه کاهش یافته و همچنین پیشنهاد شده است تا انبار جدید در اصفهان احداث شود. با احداث این انبار فاصله زمانی بین دریافت سفارش تا تحویل به توزیع کنندگان ۱۳۱/۶ ساعت می‌شود. همچنین با در نظر گرفتن افزایش تولید سناریو پیشنهادی برای تعداد وسایل نقلیه جهت دستیابی به مقدار بهینه ۴۴ وسیله می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تامین، شبیه‌سازی گسسته پیشامد، محصولات فسادپذیر، مدلسازی عامل بنیان، بهینه‌سازی.

۱- مقدمه

در دنیای امروزی محصولات متنوعی وجود دارند که طول عمر محدودی دارند و می‌بایست از زمان تولید به سرعت به دست مصرف کننده برسند. محصولات کشاورزی مانند سبزیجات و میوه، شیر و مواد غذایی، فرآورده‌های خونی نمونه‌هایی از محصولات فسادپذیر هستند. در دهه‌های اخیر تقاضا برای این قبیل محصولات به شدت افزایش یافته است. علی‌رغم عمر کوتاه این محصولات، مشتریان انتظار دریافت محصول با کیفیت و تازه را دارند (Liu & et al., 2021). در صورت گذشت طول عمر محصولات فسادپذیر، این محصولات به ضایعات تبدیل می‌شوند. در حال حاضر در حدود ۱.۳ میلیارد تن محصولات غذایی در سال به ضایعات تبدیل می‌شوند که این رقم معادل یک سوم کل محصولات تولیدی در جهان است. در کشور آمریکا سالانه ۱۵ درصد از محصولات فسادپذیر به دلیل مشکلات ناشی از حمل و نگهداری به ضایعات تبدیل می‌شوند (Ferguson, 2005 & Ketzenberg). در کشور استرالیا سالانه در حدود ۱۰ میلیون دلار ضایعات محصولات غذایی وجود دارد (Pitt & Hocking, 2009). در کشورهای نوظهور این وضعیت بدتر است به گونه‌ای که در کشور چین بیشتر از ۲۵ درصد از محصولات فسادپذیر در اثر نحوه حمل و نقل، نگهداری و فروش به ضایعات تبدیل می‌شوند(Martin, 2015).

زنجیره تامین محصولات فسادپذیر به مجموعه فرایندها، فعالیت‌ها و ارتباطاتی گفته می‌شود که در جریان تولید، توزیع و فروش محصولاتی که ممکن است در معرض تغییر و تخریب باشند، ایجاد می‌شود (Ahumada & Villalobos, 2011).

اهمیت زنجیره تامین محصولات فسادپذیر از دو جنبه به خوبی قابل توجیه است. مدیریت زنجیره تامین محصولات فسادپذیر برای حفظ کیفیت و سلامت محصولات ضروری است و در صنایعی مانند صنایع غذایی و دارویی، ارائه محصولات با کیفیت بالا از اهمیت بسیاری برخوردار است. بنابراین زنجیره تامین موثر و اثربخش در این موارد، بهبود میزان بهداشت و سلامت عمومی جامعه را تضمین می‌کند. از طرف دیگر، زنجیره تامین محصولات فسادپذیر نقش مهمی در اقتصاد دارد. فساد و تخریب محصولات می‌تواند به هدررفت منابع، خسارت اقتصادی و کاهش اعتماد عمومی منجر شود. با مدیریت صحیح زنجیره تامین، هزینه‌ها کاهش خواهد یافت و با به حداقل رساندن ضایعات و از بین بردن فاسد شدن محصولات، بهبود عملکرد کسب وکار و افزایش رضایت مشتریان امکانپذیر خواهد بود. ساختار زنجیره تامین محصولات فسادپذیر پیچیده تر از سایر زنجیره‌های تامین است و عدم قطعیت و آسیب‌پذیری بیشتری دارد (Rong et al., 2019).. در مدیریت زنجیره تامین محصولات فسادپذیر سه موضوع کلیدی برنامه‌ریزی تولید وکنترل موجودی، مکانیابی و مسیریابی برای تصمیم‌گیری وجود دارد (Liu & et al., 2021).

بنابراین در این تحقیق به منظور پیاده‌سازی و ارزیابی مدل طراحی شده ترکیبی گسسته پیشامد – عامل‌بنیان، زنجیره تامین یکی از بزرگترین تولیدکنندگان محصولات لبنی کشور مدنظر قرار گرفته است و به صورت مشخص، محصول بستنی به عنوان یک محصول فسادپذیر این زنجیره به دلیل حجم تولید و تقاضای بالا لحاظ شده است. مدل شبیه‌سازی ترکیبی در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی AnyLogic پیاده‌سازی شده است. هدف از انجام این تحقیق، طراحی مدل ترکیبی گسسته پیشامد – عامل‌بنیان زنجیره تامین محصول فسادپذیر جهت بهبود برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی زنجیره تامین است. سوال اصلی این پژوهش نیز این است که چگونه می‌توان با استفاده از رویکرد مدلسازی ترکیبی گسسته پیشامد و عامل‌بنیان، نسبت به بهینه‌سازی برنامه-ریزی تولید و کنترل موجودی زنجیره تامین محصول فسادپذیر اقدام نمود.

واژه مدیریت زنجیره تامین اواخر دهه ۸۰ میلادی وارد ادبیات مدیریت شد و در دهه ۹۰ میلادی در میان مدیران و دانشگاهیان رایج شد. بر اساس نظریه سو و همکاران ۲۰۲۰ زنجیره تامین عبارت است از صف بندی تمامی شرکت هایی که محصولات یا خدمات را به بازار می آوررند. زنجیره تامین از کلیه مراحلی تشکیل شده است که به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در به انجام رسانیدن تقاضای مشتری درگیر هستند. زنجیره تامین نه تنها شامل تولید کننده و تامین کننده می شود، بلکه در بر گیرنده نقل و انتقالات، انبارها و خود مشتریان نیز می شود(Elmi Azar & Ghaffari, 2023). یکی از پیچیده ترین و بزرگ ترین بخش های صنعت جهان زنجیره تامین مواد غذایی است که نقش مهمی در رشد اقتصادی دارد. ویژگی های مواد غذایی به ویژه

طول عمر بر سه معیار پایداری تاثیر زیادی دارد. به مواد غذایی فسادپذیر با طول عمر محدود به علت حجم زیاد ضایعات، آثار مضر زیست محیطی و شرایط خاص نگهداری و حمل و نقل توجه زیادی می شود. ساختار زنجیره تامین محصولات فسادپذیر دارای پیچیدگی زیادی و عدم قطعیت بالاتری نسبت به سایر محصولات می باش. (Hammond & Beullens, 2017) فسادپذیری محصولات به به کاهش کیفیت یا کمیت محصولات در فرآیند حمل و نقل، ذخیره سازی و فروش اشاره دارد (Ghare & Schrader, 1963). بیشتر تحقیقات انجام شده در این حوزه بر دو جزء کلیدی زنجیره تامین تمرکز دارند: کنترل موجودی و سرمایه‌گذاری در فناوری. کنترل موجودی نقش بسیار کلیدی در مدیریت زنجیره تامین محصولات فسادپذیر دارد (Liu & et al., 2021).

الف) شبیه سازی

عبارت شبیه‌سازی–بهینه‌سازی به تکنیک‌هایی گفته می‌شود که به بهینه‌سازی پارامتریک مسائل احتمالی می‌پردازند (گوساوی، ۲۰۱۵). روش‌های شبیه‌سازی–بهینه‌سازی به دنبال یافتن مقدار بهینه پارامترهای ورودی یک مدل شبیه‌سازی هستند، به گونه‌ای که یک تابع هدف مشخص بهینه گردد. یکی از ابزارهای معروف برای انجام فرآیند بهینه‌سازی با استفاده از مدل شبیه‌سازی، پکیج شبیه‌سازی – بهینه‌سازی optQuest است (Jerbi et al., 2019). این پکیج بهینه‌سازی ساخت شرکت optTek است که با ترکیب روش‌های ابتکاری و فراابتکاری مانند جستجوی ممنوعه[1]، شبکه عصبی[2] و جستجوی پراکنده[3] نسبت به بهینه‌سازی تابع هدف اقدام می‌کند(Law et al,2014 ؛ Kleijnen et al., 2007). برای انجام فرآیند بهینه‌سازی نیاز است تا ارتباط این پکیج نرم‌افزاری با مدل شبیه‌سازی سیستم مورد نظر برقرار گردد. ارتباط بین الگوریتم بهینه‌سازی و مدل شبیه‌سازی بر اساس روش شبیه‌سازی – بهینه‌سازی در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.

شکل شماره (۱): رویکرد شبیه‌سازی – بهینه‌سازی

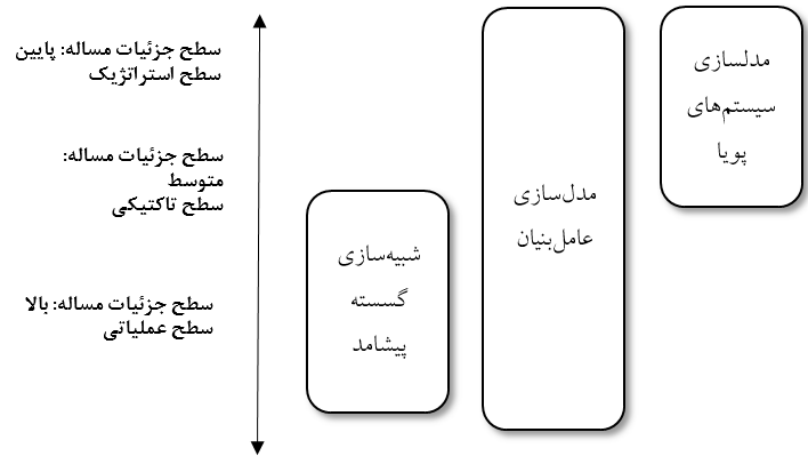
مدلسازی عامل بنیان در زمره جدیدترین بنیان های نظری است که ماهیت سیستمی موجود در مسائل را بررسی می کند. بر اساس این نظریه سیستم ها به تعامل دائمی با محیط شان و تاثیرگذاری متقابل با یکدیگر می پردازند و با تفسیر و تغییر اطلاعات، الگوهای جدیدی را پدید می آورند که خود باعث تغییر و تحول بنیادی در میدان های تعاملی می شود. مدل های عامل بنیان از دسته مدل های کوچک مقیاس اند که عملیات و تعاملات میان عوامل مختلف درون سیستم را همزمان بررسی و شبیه سازی می کنند و هدف آن ها پیش بینی پدیدارهای پیچیده درون سیستمی است. در مدل سازی عامل بنیان سیستم به صورت مجموعه ای از موجودیت تصمیم گیرنده مدل سازی می شود که مستقل اند و به آنها عامل گفته می شود. هر عامل درون موقعیتش را ارزیابی می کند و مبتنی بر قواعد محلی حاکم بر عملکردش به تصمیم گیری می پردازد. عامل ها نماینده تصمیم گیران در سیستم می باشند و در هر وضعیتی علاقه مند به انطباق و تطبیق دارند. همچنین آنها می توانند بخش زیادی از داده ها را با یکدیگر به اشتراک بگذارند. یکی دیگر از پارامترهای مهم در مدلسازی عامل بنیان محیط است بر عکس عامل، محیط در تصمیم گیری مشارکت مستقیم ندارد. هرچند تعامل در محیط ممکن است به تکامل و تغییر در طول زمان منجر شود، به هر حال محیط شاید شکلی از حافظه برای ذخیره سازی اطلاعات مربوط به نتایج رفتارهای گذشته عامل باشد که تصمیم

[1] Tabu search
[2] Neural network
[3] Scatter search

گیری آتی آن عامل را تحت تاثیر قرار می دهد. مدلسازی عامل بنیان رویکردی پایین به بالا دارد و به جای شرح دادن کل سیستم به شکل مستقیم و نگاه پدیدار شناختی به سیستم، به وضعیت و پویایی های سیستم در سطح بالا، به عنوان برآیند همکاری بین عامل ها در سطح پایین نگاه می کند (Khani et al., 2018). بنابراین می توان گفت در یک سیستم مورد بررسی، در صورتی که فرآیندها دارای پویایی باشند و وابستگی زمانی نیز وجود داشته باشد، می‌توان از مدل‌سازی عامل‌بنیان استفاده نمود. مدل عامل بنیان متشکل از ۳ عنصر اصلی است (Makal, 2010)

۱. تعریف عامل‌ها، مشخصات و رفتارها
۲. نحوه تعامل و ارتباطات عامل‌ها
۳. محیط

باید توجه کرد که به طور کلی سه رویکرد شبیه‌سازی برای مدل کردن دنیای واقعی وجود دارد. شبیه‌سازی گسسته پیشامد[۴]، مدلسازی سیستم‌های پویا[۵] و مدل‌سازی عامل‌بنیان[۶]. هر کدام از روش‌های ذکر شده برای مسائل با جرئیات مشخصی کاربرد دارند. شبیه‌سازی گسسته پیشامد برای مسائلی کاربرد دارد که برای مدل‌سازی مساله مورد نظر، سطح جزئیات بالا یا متوسطی مورد نیاز باشد یا به اصطلاح در سطح عملیاتی مدلسازی انجام شود. سیستم‌های ساخت و تولید، انبارها و سیستم‌های خدماتی از این گونه مسائل هستند.



شکل شماره (۲): رویکردهای مختلف شبیه‌سازی

عطایی و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی به ارائه یک مدل چند هدفه یکپارچه برای مکان یابی- مسیریابی و موجودی تسهیلات امدادی با در نظر گرفتن چند مدل حمل و نقل و تور پوششی پرداخته اند. در این مدل تعیین و کنترل میزان موجودی مراکز توزیع و مکان یابی مراکز توزیع و همچنین بررسی جریان مجروحین در شبکه تخصیص وسایل نقلیه بررسی شده است. هدف مقاله شامل بیشینه کردن احتمال عبور موفق از مسیرها با افزایش قابلیت اطمینان مسیرها و کمینه کردن هزینه های امدادی می باشد. عدم قطعیت در این مدل سازی لحاظ شده است. مسئله مکان یابی از الگوریتم علف هرز مدلسازی شده است.

شفیعی و همکاران در تحقیق خود در سال ۱۳۹۹ به ارائه یک مدل بهینه سازی استوار زنجیره تامین پایدار پرداختند. هدف پژوهش طراحی مدل ریاضی برای زنجیره تامین پایدار سه سطحی چند دوره ای-چندمحصولی در صنعت لبنیات در شرایط عدم

[4] Discrete event simulation
[5] System dynamics
[6] Agent-based modeling

قطعیت است که محصولات بر اساس سیاست صدور خروج به ترتیب ورود از انبار تخلیه می شود. روش انجام تحقیق استفاده از برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط می باشد. رویکرد حل مسئله بهینه سازی استوار- ابتکاری است. نتایج پژوهش کارایی و قابلیت کاربرد مدل ارائه شده و دستیابی به راه حل های باکیفیت در زمان منطقی را نشان می دهد.

حاجی میرزا جان، پیرایش و دهقانیان (۱۳۹۴) به ارائه یک مدل برنامه ریزی زنجیره تامین برای محصولات زراعی فسادپذیر پرداخته اند. مدل در نظر گرفته شده یک مدل چند دوره ای است. هر محصول پس از برداشت حداکثر چند دوره معین نگهداری می شود و پس از آن فاسد می شود. روش انجام تحقیق مدل تصمیم گیری عدد صحیح می باشد. نتایج تحقیق نشان می دهد که مدل ارائه شده منجر به کاهش هزینه کل می شود. همچنین نتایج حاصل از مدلسازی منجر به کاهش میزان مصرف آب نیز می شود.

نخعی کمال آبادی و همکاران (۱۳۸۸) مدلی برای کنترل موجودی سه سطحی برای اقلام فسادپذیر با در نظر گرفتن فلسفه لجستیک به هنگام به منظور دستیابی به مقدار بهینه هزینه کل زنجیره عرضه شامل هزینه های تولید، حمل و نگهداری، عدم تحویل به موقع و هزینه های مربوط به کالاهای فاسدشدنی ارائه کرده اند. در طراحی مدل تحقیق از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. زمانبندی تولید و تحویل کالاها بر اساس تعداد کارخانه ها، هزینه حمل و نقل، حداکثر تعداد کارخانه ها و زمان تولید بررسی شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که این مدل جهت پیش‌بینی نسبت به سایر مدل‌ها در حالت واقعی بهتر عمل می‌کند.

سوریاوانشی و دوتا[7] در سال (۲۰۲۱) به ارائه یک مدل جهت برنامه‌ریزی توزیع زنجیره تامین محصولات فسادپذیر تحت اختلالات و عدم قطعیت در تقاضا پرداخته‌اند. جهت مدل‌سازی زنجیره تامین از مدل‌سازی ریاضی غیرخطی عددصحیح مختلط استفاده شده است. اختلالات زنجیره تامین در عدم ارسال مواد اولیه از تامین کنندگان و از بین رفتن مواد و محصول ناشی از حمل غلط منعکس شده است. بر اساس نتایج تحقیق استراتژی پیشنهادی برنامه ریزی مداوم جهت به حداقل رساندن تاثیر اختلال در زنجیره تامین از طریق افزایش تدریجی سایز محموله‌ها در مقصد می‌باشد.

گلستانی و همکاران (۲۰۲۱) یک مساله مکانیابی هاب زنجیره تامین محصولات فسادپذیر را مورد بررسی قرار دادند. این زنجیره تامین شامل چند محصول فسادپذیر است و هدف از تحقیق انجام شده کمینه کردن هزینه‌ها شامل هزینه‌های حمل و نقل، تخصیص هاب و هزینه‌های انتشار کربن و حداکثر کردن کیفیت محصولات تحویلی به مشتریان بوده است. از مدلسازی ریاضی چندهدفه برای رسیدن به اهداف ذکر شده بهره گرفته شده است. روش انجام این تحقیق استفاده از مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط با استفاده از نرم افزار GAMS می باشد. مدل پیشنهادی در این تحقیق با حفظ کیفیت اقلام تحویلی و کاهش هزینه های‌کل سیستم و با در نظر گرفتن انتشار کربن در سیستم‌های حمل و نقل به توزیع کنندگان محصولات فاسد شدنی کمک کند. این مطالعه نه تنها برای ایجاد یک شبکه توزیع برای محصولات فسادپذیر می‌باشد بلکه باعث ایجاد پایداری محیطی نیز می‌شود.

جوزدانی و گویندان[8] (۲۰۲۱) با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه، یک زنجیره تامین محصولات لبنی را مورد بررسی قرار دادند. اهداف این تحقیق کمینه کردن هزینه‌ها، مصرف انرژی و ازدحام ترافیکی بوده است. عدم قطعیت مربوط به طول عمر محصول با تابع توزیع وایبول[9] و همچنین وابسته به کارایی یخچال وسایل نقلیه در مدل پیاده‌سازی شده است. در این مطالعه، عدم قطعیت عمر محصول به عنوان یک متغیر تصادفی مدلسازی شده است و فاسد شدن مواد غذایی در یخچال مخصوص حمل و نقل به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفت شده است. نتایج تحقیق نشان می دهد توجه به جنبه اقتصادی محصولات فسادپذیر باعث بهبود زیست محیزی آن‌ها تا ۱۲۰٪ و تاثیر اجتماعی آن‌ها تا ۵۱ درصد می‌شود. همچنین فسادپذیری بدون دلیل محصولات نیز از دیگر عوامل مهمی است که می‌تواند بر زنجیره تامین تاثیر بگذارد.

---

[7] Suryawanshi & Dutta
[8] Jouzdani & Govindan
[9] Weibull

بیوکی و همکاران[10] (۲۰۲۰) مدلی جهت بررسی یکپارچه مسائل مکانیابی، مسیریابی و کنترل موجودی در زنجیره تامین فسادپذیر ارائه دادند. هدف از انجام این تحقیق ارائه مدلی برای مکان یابی تامین کنندگان می باشد روش انجام تحقیق مدلسازی به کمک الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی ازدحام ذرات می باشد. مدل چند هدفه ارائه شده با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط توسعه داده شده است. به دلیل ابعاد بزرگ مساله و Np-Hard بودن آن، با استفاده از رویکرد ترکیبی الگوریتم-های فراابتکاری ژنتیک و الگوریتم Swarm مدل طراحی شده را حل نموده‌اند. نتایج تحقیق نشان می دهد وقتی مکان یابی تامین کنندگان بهینه شود، بخش تولید به غیرمتمرکز شدن در یک نقطه گرایش پیدا کرده و تولید کالاهای محلی در مکان های با توسعه یافتگی کمتر یا متوسط می تواند عملکرد بهتری در کاهش هزینه ها داشته باشد.

بر اساس مطالعه موردی یک شرکت لبنی، یاوری و جرارلی[11] (۲۰۱۹) یک مدل طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته شامل یک مرکز جمع‌آوری محصولات فاسد شدنی را پیشنهاد کردند. تقاضا، نرخ بازده و کیفیت محصولات برگشتی به عنوان یک متغیر نامشخص می باشند. مطالعه موردی در یک شرکت لبنی انجام شده است. مدیریت زنجیره تامین توسط یک مدل برنامه ریی خطی عدد صحیح مختلط برای به حداقل رساندن هزینه و آلاینده های زیست محیطی می باشد. با استفاده از مدلسازی صورت گرفته یک موقعیت برای مرکز در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می دهد که مدل استوار مورد استفاده نسبت به مدل قطعی دارای قطعیت بیشتری بوده و تاثیر طول عمر محصول بهتر در آن مدل شده است.

دیابات و همکاران[12] (۲۰۱۹) به بررسی طراحی زنجیره تامین محصولات فسادپذیر با در نظرگرفتن نوسانات و قابلیت اطمینان پرداخته‌اند. هدف از این تحقیق افزایش قابلیت اطمینان زنجیره تامین محصولات فسادپذیر در هنگام بروز نوسانات مانند بلایای طبیعی و به حداقل رساندن زمان و هزینه تحویل محصولات به مشتریان و جلوگیری از اختلالات در مکان ها و مسیرها می باشد. برای حل این مساله، از مدلسازی ریاضی پایدار[13]چند هدفه بهره گرفته شده است. فرضیات این تحقیق شامل از بین رفتن برخی از راه‌های موجود بین اجزای زنجیره تامین، انبارهای متحرک و ثابت است. نتایج ناشی از سناریو امتحان شده بررسی اثرات افزایش بودجه بر میزان مورد انتظار زمان تحویل کالای فاسدشدنی می باشد.

پس از بررسی‌های انجام شده به نظر می‌رسد زنجیره تامین محصولات فسادپذیر با رویکرد مدلسازی ریاضی، روش‌های فرا ابتکاری و مدلسازی و شبیه‌سازی مدل شده است و تاکنون از رویکرد مدلسازی ترکیبی و رویکرد شبیه‌سازی – بهینه‌سازی برای تحلیل یکپارچه تولید و کنترل موجودی، بهینه‌سازی تعداد و نوع ناوگان حمل و نقل و مسیریابی با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها بهره گرفته نشده است. از این رو در این پژوهش تلاش شده است از بین سناریوهای پیشنهادی سناریو با بیشترین مطلوبیت در این سیستم با استفاده از مدلسازی‌های پیشنهادی انتخاب شود.

۲- روش‌شناسی پژوهش

داده های مورد نظر برای مدلسازی در پژوهش حاضر از یک کارخانه لبنی جمع آوری شده است. مدلسازی در این پژوهش از روش عامل بنیان انجام می شود. برای شبیه سازی و مدلسازی در پژوهش از نرم افزار AnyLogic استفاده شده است که برای مدلسازی عامل بنیان گسسته پیشامد و زنجیره تامین استفاده می شود. در ابتدا نیاز است تا عامل‌های زنجیره تامین فسادپذیر مشخص شوند.

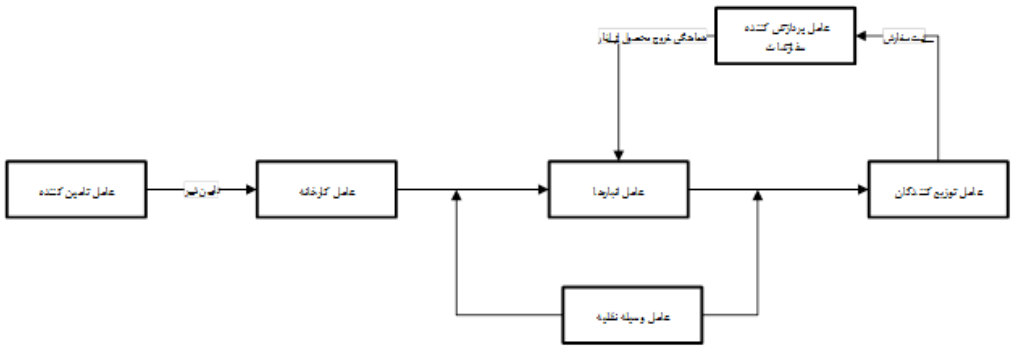
در این تحقیق با توجه به ویژگی‌های ذکر شده عامل در تحقیق Macal در سال ۲۰۱۴، برای مدل‌سازی عامل‌بنیان زنجیره تامین فسادپذیر عامل‌های زیر شناسایی شدند.

۱. عامل تامین‌کننده
۲. عامل کارخانه

[10] Biuki et al
[11] Yavari & Geraeli
[12] Diabat et al
[13] Robust

۳. عامل انبارها
۴. عامل پردازش کننده سفارشات
۵. عامل وسایل نقلیه
۶. عامل توزیع‌کنندگان

در ادامه به ارائه ویژگی‌ها و نحوه تعامل عامل‌ها پرداخته خواهد شد. همانطور که ذکر شده زنجیره تامین فسادپذیر مورد بررسی در این تحقیق، محصول لبنی بستنی است.



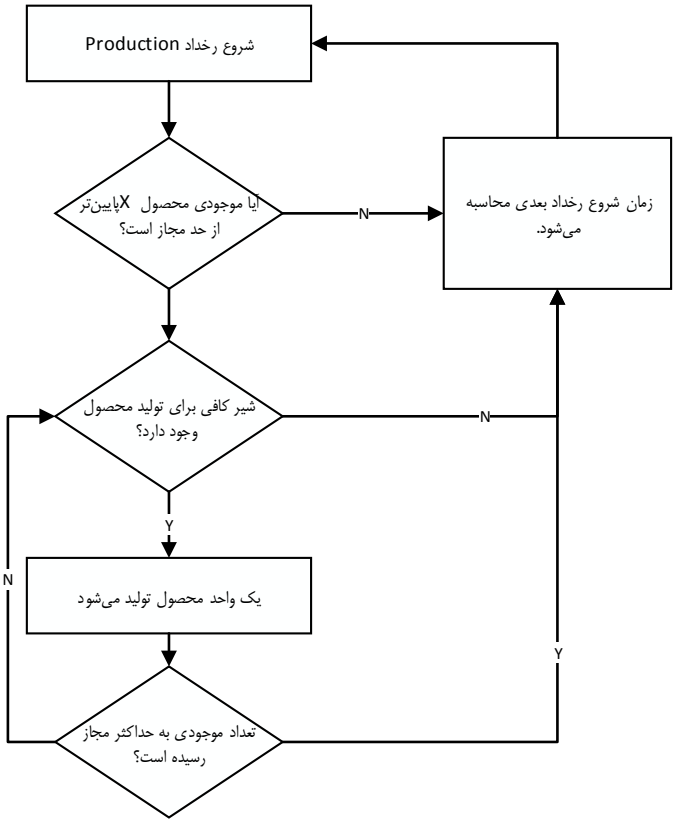
شکل شماره (۲): نحوه تعامل عامل‌های شناسایی شده در زنجیره تامین فسادپذیر

اولین عامل تامین کنندگان می‌باشند. برای تولید محصولات لبنی و بستنی، به صورت روزانه شیر از دامداری‌های طرف قرارداد برای عامل کارخانه ارسال می‌گردد. به منظور وارد نمودن منطق ورود شیر به مدل شبیه‌سازی عامل بنیان، ابتدا نوع وسایل نقلیه و سهم هر کدام از کل شیر ورودی با استفاده از داده‌های موجود در سیستم محاسبه می‌شود، سپس بر اساس استخراج فواصل ورود وسایل نقلیه، تابع توزیع نرخ ورود شیر توسط وسیله نقلیه محاسبه می‌شود.

همانطور که در توضیحات عامل تامین‌کننده ذکر شد، شیر ورودی توسط عامل تامین کننده به عامل کارخانه وارد می‌شود. بعد از ورود شیر، واحد کنترل کیفیت عامل کارخانه نسبت به بررسی شیر اقدام می‌نماید. ممکن است به دلایل مختلفی مانند آلودگی، وجود مواد شیمیایی، درصد پایین چربی و ... شیر مورد قبول قرار نگیرد و کیفیت شیر ورودی به احتمال a درصد رد شود.

در صورتی که شیر توسط واحد کنترل کیفیت تایید گردد، به مخزن کارخانه جهت ورود به فرآیند پاستوریزه کردن و سپس ورود به خطوط تولیدی انتقال خواهد یافت.

عامل کارخانه دارای خطوط تولید متفاوتی جهت تولید گروه مختلف محصولات بستنی است که هر کدام دارای سیکل‌های زمانی (C_I) و اندازه بسته‌بندی متفاوت (P_I) است. با توجه به لزوم بررسی محدودیت‌های خطوط تولیدی و نیاز به نگرش سطح خرد در مدلسازی عامل کارخانه، رفتار این عامل توسط رویکرد شبیه‌سازی گسسته‌پیشامد پیاده‌سازی خواهد شد. منطق پیاده‌سازی تولید هر یک از خطوط تولیدی توسط شبیه‌سازی گسسته پیشامد در شکل شماره (۳) نشان داده شده است.



شکل شماره (۳): الگوریتم گسسته پیشامد خطوط تولیدی عامل کارخانه

بعد از تولید محصول مورد نظر در خطوط تولیدی عامل کارخانه و با توجه تعداد مورد نیاز جهت بسته‌بندی، در نهایت یک کارتن از محصول تولیدی جهت انتقال به سردخانه (عامل انبار)، به قسمت بارگیری منتقل می‌شود.

عامل کارخانه به منظور امکان مدیریت تولید و نحوه ارسال محصولات تولید شده، آماری از سطح موجودی محصولات در تمامی انبارها را در اختیار دارد. این آمار در متغیری که از نوع آرایه است، موجودی هر یک از محصولات در هر یک از سه انبار را در خود ذخیره می‌نماید و با استفاده از داده‌های آن، روند تولید هر محصول مشخص می‌شود. در صورتی که تعداد محصولاتی که نیاز است به انبارهای دیگر منتقل شوند بزرگتر مساوی ظرفیت وسایل حمل بین انبارها باشد، به ترتیب اولویت انبارها نسبت به ارسال محصولات به آنها اقدام می‌شود.

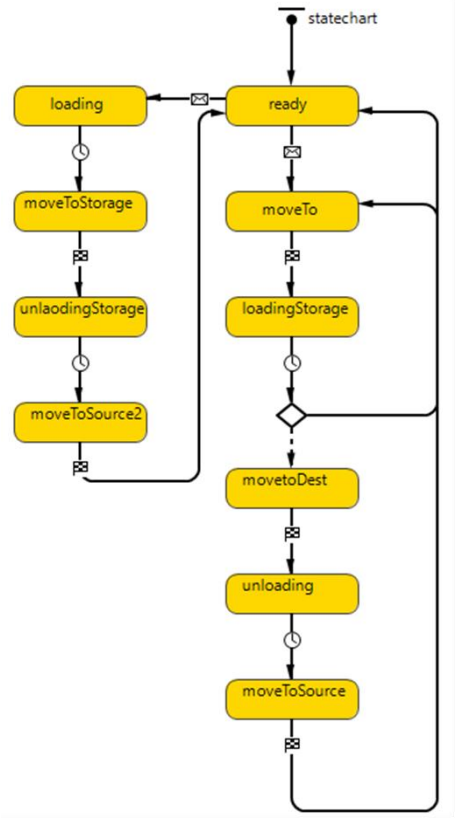
عامل سردخانه وظیفه نگهداری محصولات مختلف بستنی و ارائه آمار موجودی هر یک از محصولات را به عامل‌های دیگر بر عهده دارد.

همچنین عامل پردازش کننده سفارشات در مدل شبیه‌سازی وظیفه دریافت سفارشات از عامل توزیع‌کنندگان و پردازش آنها را بر عهده دارد. سفارشات از سوی عامل‌های توزیع‌کنندگان شامل تعداد مورد نیاز از هر محصول به عامل پردازش کننده سفارشات اعلام می‌شود. این عامل در لحظه موجودی کلی هر یک از محصولات در تمامی انبارها و موجودی محصولات در هر یک از انبارها را بررسی می‌نماید. در صورتی که تمامی محصولات اعلامی از سوی عامل توزیع کننده در انبارها موجود باشد، اقدامات زیر توسط این عامل انجام می‌شود:

- یک وسیله نقلیه متناسب با حجم سفارش عامل توزیع کننده انتخاب می‌شود. در صورت موجود نبودن وسیله نقلیه، تا رسیدن آن انتظار صورت می‌گیرد.
- بعد از مشخص نمودن وسیله نقلیه، نوع و تعداد محصولات سفارش داده شده توسط عامل توزیع کننده و شناسه سردخانه مربوطه جهت بارگیری به عامل وسیله نقلیه اعلام می‌گردد.
- زمان ثبت سفارش نیز به وسیله نقلیه اعلام می‌گردد.

- مقصد (مکان عامل توزیع کننده) به وسیله نقلیه اعلام می‌گردد.

عامل وسیله نقلیه وظیفه انتقال محصولات از عامل انبار به عامل توزیع کننده را بر عهده دارد. این عامل دارای ظرفیت‌های متفاوتی برای حمل محصول است و بر اساس نمودار حالت مطابق شکل شماره (۴) رفتار می‌نماید.



شکل شماره (۴): نمودار حالت عامل وسیله نقلیه

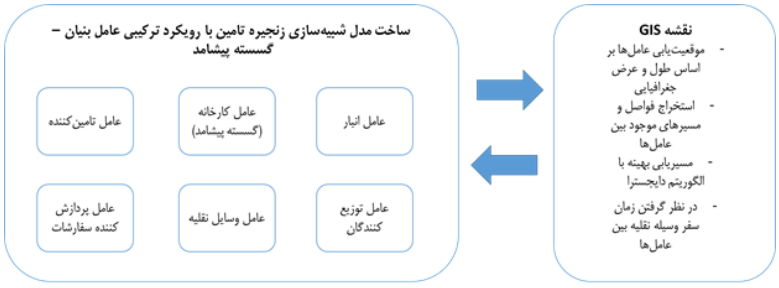
همانطور که در نمودار حالت عامل وسیله نقلیه نشان داده شده است، این عامل ابتدا در وضعیت آماده (ready) قرار دارند. در صورت دریافت پیام از عامل کارخانه مبنی بر انتقال محصولات تولیدی بستنی به عامل سردخانه، وضعیت عامل به حرکت به سمت عامل سردخانه مشخص شده (moveToStorage) و سپس تخلیه (unloading Storage) و مجدداً حرکت به سمت مبدا تغییر خواهد کرد. در صورتی که پیامی از سوی عامل پردازش کننده سفارشات دریافت نماید، بر اساس لیست انبارهای اعلامی، به وضعیت حرکت (moveTo) و سپس بارگیری در انبار ذکر شده (loading Storage) تغییر وضعیت می‌دهد. این رویه تا زمانی که تمامی محصولات از تمامی انبارها بارگیری شود ادامه می‌یابد و سپس به سمت عامل توزیع کننده مشخص شده در سفارش حرکت می‌نماید (moveToDest) و پس از تخلیه در محل عامل توزیع کننده (unloading)، به سمت مبدا حرکت می‌نماید (moveToSource).

عامل وسیله نقلیه و به تبع آن سیستم سرمایش آن در معرض خرابی قرار می‌گیرند. در صورتی که این عامل دچار خرابی گردد و مدت زمان مورد نیاز برای تعمیر آن بیش از t ساعت باشد، تمامی محصولات بارگیری شده در این عامل به عنوان ضایعات در نظر گرفته می‌شود.

عامل توزیع کنندگان در مراکز استان‌ها قرار دارند. این عامل‌ها تعداد مشخصی سفارش از محصولات مختلف را به عامل پردازش کننده سفارشات اعلام می‌نمایند که وابسته به تقاضای آن استان است. نکته قابل توجه در خصوص این عامل تفاوت رفتاری آن در فصول مختلف سال است. به گونه‌ای که رفتار آن در ۶ ماه اول نسبت به ۶ ماه دوم متفاوت است و در ۶ ماه اول بیشتر از ۶ ماه دوم خواهد بود.

به منظور پیاده‌سازی فواصل عامل‌ها و مسیریابی، از اتصال مدل عامل بنیان به نقشه GIS بهره گرفته شده است. این قابلیت در نرم‌افزار شبیه‌سازی AnyLogic وجود دارد. همچنین عامل وسیله نقلیه بر مسیریابی جهت حرکت از سمت یک عامل به سوی عامل دیگر از الگوریتم مسیریابی دایکسترا (Dijkstra) استفاده می‌نماید. . الگوریتم دایکسترا یکی از الگوریتم‌های حریصانه[۱۴] در مسیریابی است. در این الگوریتم ابتدا مجموعه‌ی X را برابر {s}، dist[s] دارای مقدار صفر و dist بقیه راس‌های گراف برابر ∞ در نظر گرفته می‌شود. در هر مرحله همه‌ی یال‌های e=(v,w) که یک طرف آن در X (v ∈ X) و طرف دیگر آن در V-X (w ∈ V-X) است، در نظر گرفته می‌شود. سپس یالی انتخاب می‌گردد که مقدار dist[v] + l_{vw} را کمینه نماید. سپس مقدار w به X اضافه می‌شود و dist[w] برابر dist[v] + l_{vw} قرار داده می‌شود.

در شکل شماره (۵) نحوه ارتباط مدل شبیه‌سازی ترکیبی عامل‌بنیان – گسسته پیشامد با تقشه GIS و نحوه استفاده از خروجی-های آن نشان داده شده است.



شکل شماره (۵): نحوه ارتباط مدل شبیه‌سازی ترکیبی و نقشه GIS

برای بهینه یابی سه سناریو مختلف در نظر گرفته شده است که عبارتند از:

۱. بهینه‌سازی سطح حداقل و حداکثر جهت تولید محصولات
۲. بهینه‌سازی تعداد وسایل نقلیه و نوع آنها
۳. افزایش ظرفیت تولید با احداث خطوط تولیدی جدید

الف) سناریوی اول – بهینه‌سازی سطح حداقل و حداکثر جهت تولید محصولات

عامل کارخانه برای برنامه‌ریزی تولید محصول از دو حد تولید استفاده می‌نماید. بدین صورت که اگر موجودی یک محصول از حد پایین تعیین شده کمتر شود، تولید آن محصول تا زمان رسیدن موجودی محصول به حداکثر آن ادامه می‌یابد. بدیهی است که سطوح حداقل و حداکثر موجودی جهت تولید مستقیماً بر روی نحوه پاسخگویی به عامل توزیع کنندگان تاثیرگذار است. بنابراین در صورت عدم تعیین بهینه این مقادیر، عامل کارخانه یا با تولید بیش از اندازه محصول و انبارش مازاد مواجه می‌گردد و یا با کمبود و عدم امکان برآورده شدن تقاضا مواجه می‌شود. برای بهینه‌سازی سطوح حداقل و حداکثر جهت برنامه‌ریزی تولید محصولات از رویکرد شبیه‌سازی – بهینه‌سازی[۱۵] استفاده شده است.

تابع هدف و متغیرهای تصمیم جهت انجام شبیه‌سازی – بهینه‌سازی حداقل و حداکثر موجودی به شرح زیر است:

ب) تابع هدف

- M_i : موجودی محصول i در انبار
- CH_i : هزینه نگهداری محصول i در انبار
- W_i: مجموع زمان انتظار عامل توزیع کننده جهت دریافت محصول i
- CW_i: هزینه انتظار عامل توزیع کننده جهت دریافت محصول i

[14] Greedy
[15] Simulation - Optimization

- P_i: تعداد محصول i تبدیل شده به ضایعات
- CP_i: هزینه ضایعات محصول i

رابطه (۱) $\times CH_i + \sum_i W_i \times CW_i + \sum_i P_i \times CP_i$

ج) محدودیت‌ها

- LL_i : حد پایین تولید محصول i توسط عامل کارخانه
- UL_i : حد بالای تولید محصول i توسط عامل کارخانه

رابطه (۲) $LL_i < UL_i \qquad \forall i$

د) سناریوی دوم – بهینه‌سازی تعداد وسایل نقلیه و نوع آنها

همانطور که در سناریوهای قبلی ذکر شد، به جهت جلوگیری از تاثیر منفی تعداد وسایل نقلیه بر روی نتایج، در هر دو سناریو محدودیتی در این خصوص در نظر گرفته نشد. در این سناریو مقدار بهینه تعداد و نوع وسایل نقلیه با استفاده از رویکرد شبیه-سازی – بهینه‌سازی استخراج خواهد شد. به منظور بهینه‌سازی تعداد و نوع وسایل نقلیه، تابع هدف به شرح زیر است:

د) تابع هدف

- M_k : تعداد وسایل نقلیه نوع k
- C_k : هزینه وسایل نقلیه نوع k
- W_i: مجموع زمان انتظار عامل توزیع کننده جهت دریافت محصول i
- CW_i: هزینه انتظار عامل توزیع کننده جهت دریافت محصول i

رابطه ۳) $Min\ z = \sum_i M_k \times C_k + \sum_i W_i \times CW_i$

ه) محدودیت

محدودیت ریاضی جهت تعریف در الگوریتم بهینه‌ساز در این سناریو وجود ندارد و محدودیت‌های عملیاتی تاثیرگذار آن در مدل شبیه‌سازی پیاده‌سازی شده‌اند و تاثیر خود را بعد از وارد نمودن متغیرهای تصمیم در مدل شبیه‌سازی و بازتاب آنها در تابع هدف به الگوریتم برگردانده می‌شود.

و) سناریوی سوم – افزایش ظرفیت تولید با احداث خطوط تولیدی جدید

در این سناریو فرض می‌گردد که امکان احداث دو خط تولیدی جدید برای محصولات وجود دارد که با توجه به خروجی‌های مدل شبیه‌سازی، در خصوص تخصیص دو خط تولیدی به محصولات تصمیم‌گیری می‌شود. به جهت جلوگیری از ایجاد گلوگاه در حمل و نقل و تعداد ناوگان مورد نیاز ناشی از افزایش ظرفیت تولید، در ابتدا تعداد ناوگان را نامحدود در نظر گرفته می‌شود. بعد از پیاده‌سازی خطوط تولیدی جدید و افزایش ظرفیت تولید، نتایج مدل شبیه‌سازی استخراج می‌گردد. سپس با تابع هدف و محدودیت‌های مشابه سناریوی دوم، تعداد و نوع ناوگان مورد نیاز در حالت افزایش ظرفیت تولید محاسبه می‌گردد.

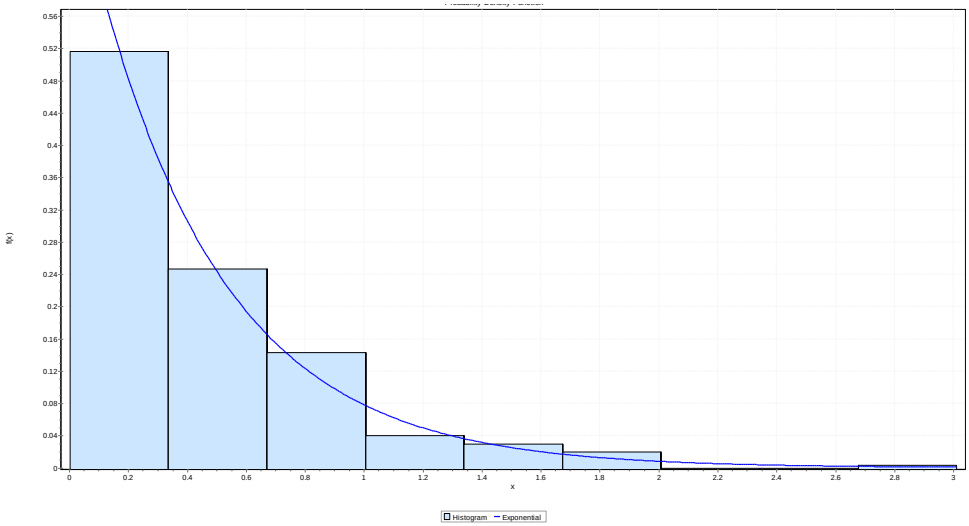
به منظور پیاده‌سازی و ارزیابی عملکرد مدل ترکیبی عامل‌بنیان – گسسته پیشامد ارائه شده، زنجیره تامین یکی از بزرگترین تولیدکنندگان محصول لبنی کشور به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. شیر مورد نیاز ورودی این زنجیره تامین توسط تامین‌کنندگان با درصد وزنی وسایل نقلیه ارائه شده در جدول شماره (۱) وارد کارخانه می‌شوند.

جدول شماره (۱): درصد وزنی نوع وسیله نقلیه مربوط به ورودی شیر

نوع وسیله نقلیه	سهم از کل ورودی
۱۵۰۰ لیتر	٪۲
۳۰۰۰ لیتر	٪۵
۵۰۰۰ لیتر	٪۱۰

۷۰۰۰ لیتر	٪۴۰
۱۵۰۰۰ لیتر	٪۳۳
۲۴۰۰۰ لیتر	٪۱۰

جهت تعیین تابع توزیع آماری ورود شیر به کارخانه، از داده‌های موجود در سیستم، فاصله ورود بین ماشین‌های حمل شیر استخراج شده است و در نرم افزار EasyFit برازش آماری انجام شده است. با استفاده از داده‌های استخراج شده، تابع توزیع ورود شیر Exponential(0/39) تعیین می‌گردد. نمودار هیستوگرام و تابع برازش شده در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل شماره (۶): نمودار هیستوگرام و تابع برازش شده نرخ ورود وسایل نقلیه حامل شیر

کارخانه تولیدی محصول بستنی دارای ۸ خط تولید است که ۸ گروه محصول متفاوت را تولید می‌نماید که در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول شماره (۲): مشخصات خطوط تولید بستنی

خط تولید	گروه محصول تولیدی	نام محصول	سیکل زمانی تولید جهت تولید یک بسته محصول	شیر مورد نیاز (لیتر)
۱	۱	بستنی یخی	۳۷ ثانیه	۰/۱۶
۲	۲	بستنی شیری	۲۵ ثانیه	۰/۲۵
۳	۳	بستنی نونی / بیسکوئیتی / کیکی	۱۱۳ ثانیه	۰/۳
۴	۴	بستنی لیوانی	۷۲ ثانیه	۰/۳
۵	۵	بستنی مگنوم	۸۹ ثانیه	۰/۴
۶	۶	بستنی یک لیتری	۲۱۰ ثانیه	۱
۷	۷	بستنی پنج لیتری	۹۵ ثانیه	۵
۸	۸	بستنی ویژه	۱۳۵ ثانیه	۰/۵

جهت انبارش محصول بستنی ۳ سردخانه وجود دارد که ظرفیت آنها در جدول۳ ارائه شده است. سردخانه شماره ۳ به دلیل انبارش سایر محصولات لبنی، در مواقع ضروری و در صورت تکمیل ظرفیت سردخانه مرکزی و سردخانه شماره ۲ مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

جدول شماره (۳): مشخصات سردخانه‌ها مربوط به انبارش محصول بستنی

نام	ظرفیت (کارتن)	اولویت انبارش
سردخانه مرکزی واقع در کارخانه	۴۵۰ هزار بسته	۱
سردخانه شماره ۲	۱۵۰ هزار بسته	۲
سردخانه شماره ۳	۸۰۰ هزار بسته	۳

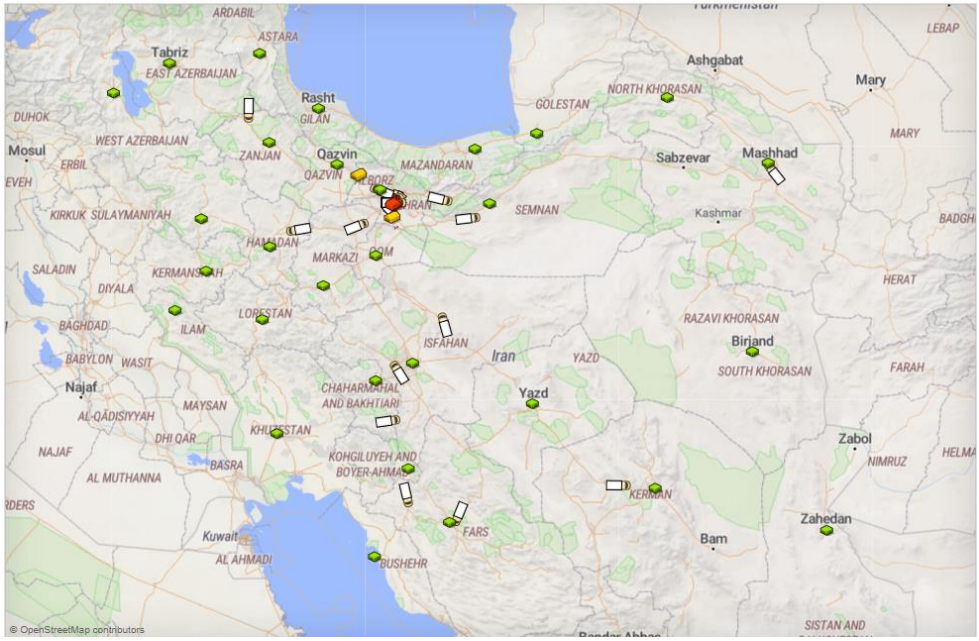
همچنین جهت حمل محصولات بستنی از وسایل نقلیه با ظرفیت‌های ارائه شده در جدول زیر استفاده می‌گردد:

جدول شماره (۴): مشخصات وسیله نقلیه موجود جهت حمل محصولات بستنی به انبار و مراکز استان‌ها

نام	ظرفیت (کارتن)	تعداد موجود
وسیله نقلیه نوع ۱	۹۰۰	۶
وسیله نقلیه نوع ۲	۱۳۰۰	۶
وسیله نقلیه نوع ۳	۲۵۰۰	۱۵
وسیله نقلیه نوع ۴	۳۸۰۰	۱۵

سرمایش وسایل نقلیه بعد از طی مسافتی دچار خرابی می‌گردند. به منظور استخراج و پیاده‌سازی منطق خرابی سرمایش وسایل نقلیه، داده‌های موجود در سیستم استخراج شد. تابع توزیع خرابی سرمایش از تابع توزیع آماری مثلثی پیروی می‌نماید که پارامتر حداقل این تابع توزیع ۲۱۰۰۰ کیلومتر، پارامتر مد این تابع توزیع ۲۷۶۰۰ کیلومتر و پارامتر حداکثر این تابع توزیع ۳۵۴۰۰ کیلومتر برآورد گردید. همانطور که ذکر شد در صورتی که وسیله نقلیه بعد از خرابی سرمایش نتواند در کمتر از ۴ ساعت محصول را به مقصد برساند تمامی محصولات این وسیله نقلیه به ضایعات تبدیل می‌شوند. در نهایت به جهت پیاده‌سازی سفارش‌دهی توزیع-کنندگان محصول بستنی در مراکز استان‌های مختلف، سفارشات ثبت شده در سیستم مربوط به ۲ بازه ۶ ماهه اول سال و ۶ ماهه دوم سال به صورت جداگانه مربوط به هر مرکز استان استخراج و توابع توزیع احتمالی مربوطه برازش گردید.

در شکل ۷ نمایی از مدل ترکیبی عامل‌بنیان – گسسته پیشامد زنجیره تامین شرح داده شده و برقراری ارتباط آن با نقشه GIS آورده شده است. عامل قرمز رنگ عامل کارخانه، عامل‌های زرد رنگ سردخانه‌ها و عامل‌های سبز رنگ عامل توزیع کنندگان هستند.



شکل شماره (۷): پیاده‌سازی عامل‌ها و ایجاد ارتباط با نقشه GIS

جدول شماره (۵): معیارها و نتایج اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی ترکیبی زنجیره تامین فسادپذیر

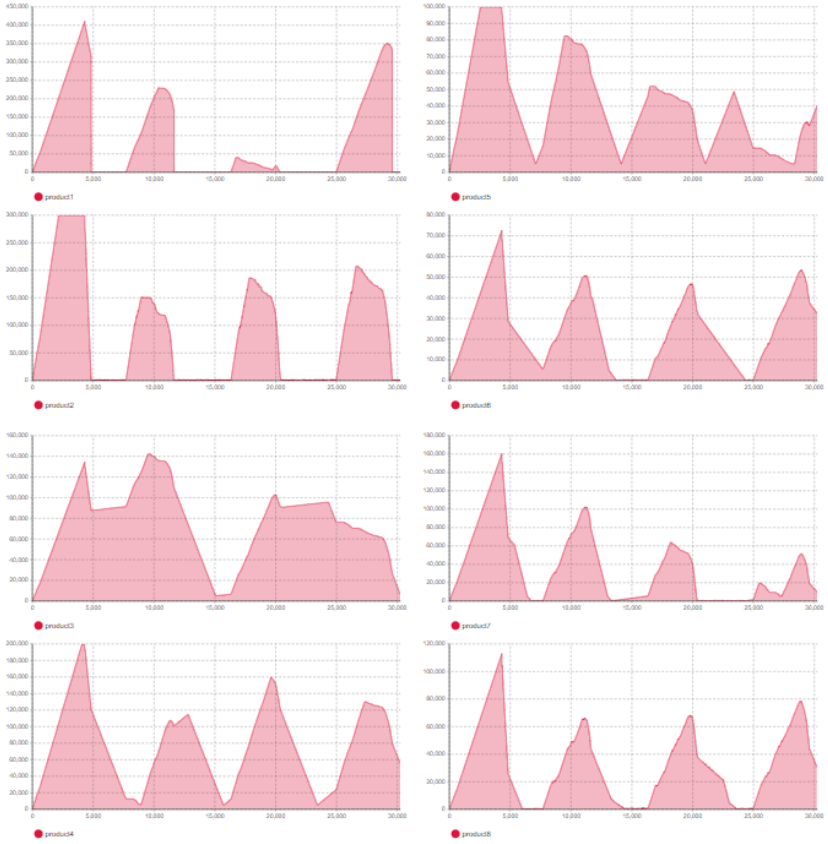
معیار اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی	مقدار مدل شبیه‌سازی	مقدار دنیای واقعی	اختلاف
تعداد محصولات تولید شده در بازه یکساله	۱۱۱،۴۸۷،۳۰۶	۱۱۲،۳۶۵،۱۴۷	۰/۷درصد
تعداد حمل و نقل صورت گرفته جهت ارسال محصولات به توزیع کنندگان	۷۷۴	۷۷۹	۰/۸ درصد
تعداد خرابی سرمایش ماشین‌آلات	۳۴	۳۵	۲/۸ درصد
تعداد خرابی سرمایش ماشین‌آلات منجر به دورریز محصولات	۲۷	۲۶	۳/۷درصد

با توجه به عدم اختلاف بیش از ۵ درصد در خروجی‌های مدل شبیه‌سازی و داده‌های دنیای واقعی، فرض معتبر بودن مدل شبیه-سازی مورد تایید قرار می‌گیرد.

در قدم بعدی و به منظور بهبود برنامه‌ریزی تولید، کنترل موجودی، ترکیب ناوگان و مسیریابی در زنجیره تامین، سناریوهای زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- سناریوی اول – بهینه‌سازی سطح حداقل و حداکثر جهت تولید محصولات
- سناریوی دوم – بهینه‌سازی تعداد وسایل نقلیه و نوع آنها
- سناریوی سوم – افزایش ظرفیت تولید با احداث خطوط تولیدی جدید

لازم به ذکر است که در مدل شبیه‌سازی وضعیت فعلی متوسط زمان سفارش تا دریافت محصول به طور میانگین ۱۴۳/۳ساعت بوده است. همچنین نمودار موجودی ۸ گروه محصول در یک بازه ۳۰۲۴۰ ساعت در شکل شماره (۸) نشان داده شده است.



شکل شماره (۸): نمودار موجودی ۸ گروه محصول بستنی در مدل وضعیت فعلی

ز) سناریوی اول – بهینه‌سازی سطح حداقل و حداکثر جهت تولید محصولات

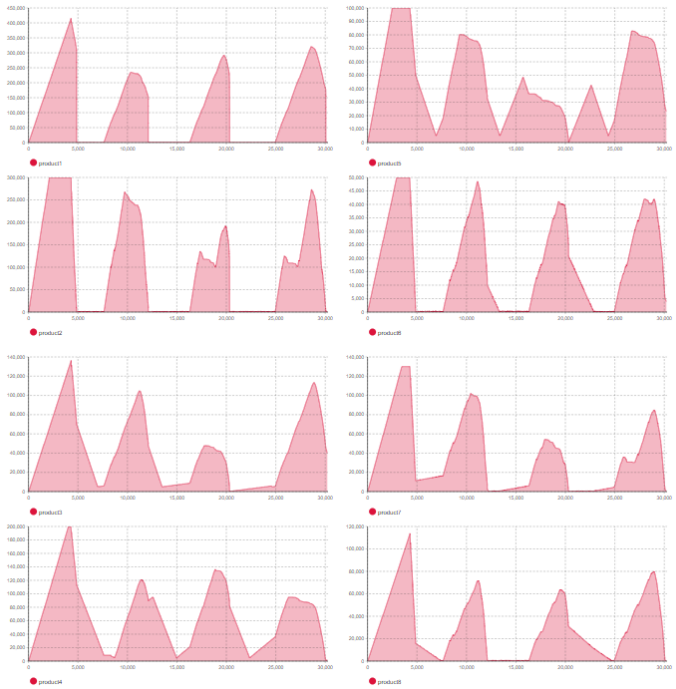
برای انجام بهینه‌سازی با استفاده از پکیج بهینه‌سازی optQuest، تعداد تکرار را برابر ۱۰۰۰۰ اجرا قرار داده شده است. همچنین به جهت عدم به وجود آمدن گلوگاه در فرآیند ارسال محصولات به توزیع کننده ناشی از تعداد وسایل نقلیه، تعداد وسایل نقلیه در این سناریو عدد بزرگی قرار داده شده است. لازم به ذکر است که بعد از بهینه‌سازی سطوح موجودی، تعداد وسایل نقلیه و نوع آنها بهینه خواهد شد.

جدول شماره (۶): حداقل و حداکثر موجودی مجاز در حالت وضعیت فعلی و وضعیت بهینه‌شده

شماره محصول	وضعیت فعلی		وضعیت بهینه شده	
	حداقل موجودی مجاز	حداکثر موجودی مجاز	حداقل موجودی مجاز	حداکثر موجودی مجاز
۱	۵۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰
۲	۵۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰
۳	۵۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۵۰۰۰	۱۴۰۰۰۰
۴	۵۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۵۰۰۰	۲۰۰۰۰۰

۵	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
۶	۵۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۵۰۰۰۰
۷	۵۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۱۳۰۰۰۰
۸	۵۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰

با پیاده‌سازی سطوح موجودی استخراج شده از رویکرد شبیه‌سازی – بهینه‌سازی در مدل شبیه‌سازی، مشاهده گردید متوسط زمان دریافت سفارش تا تحویل محصول در حالت حالت بهینه شده نسبت به حالت وضعیت فعلی ۵ درصد بهبود و در مقدار تابع هدف نیز ۳ درصد بهبود مشاهده می‌شود. روند ذخیره سازی محصولات مختلف نیز در نمودارهای زیر نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در برخی از محصولات مانند محصول سوم سطح موجودی نسبت به وضعیت فعلی بهبود یافته است و از نگهداشت بیش از اندازه محصول جلوگیری شده است. در سایر محصولات هم تا حد ممکن میزان رسیدن موجودی به صفر کاهش پیدا نموده است.



شکل شماره (۱۰): نمودار موجودی محصولات در حالت سطوح موجودی بهینه شده

ح) سناریوی دوم – بهینه‌سازی تعداد وسایل نقلیه و نوع آنها

برای حرکت الگوریتم بهینه‌ساز به سمت کاهش تعداد وسایل نقلیه، هزینه‌ای هم برای افزایش زمان انتظار عامل توزیع‌کنندگان و هم برای وسیله نقلیه در نظر گرفته شده است. هزینه‌های مربوط به وسایل نقلیه شامل هزینه‌های سالانه نگهداری و تعمیرات و خواب سرمایه در مدل لحاظ شده‌اند. تنظیمات بهینه‌ساز در این سناریو نیز مشابه سناریوی اول است. نتایج در جدول شماره (۷) ارائه شده است.

جدول شماره (۷): نتایج بهینه‌سازی تعداد و نوع وسیله نقلیه

نوع وسیله نقلیه	تعداد وضعیت فعلی	تعداد بهینه شده
ظرفیت ۹۰۰ بسته محصول	۶	۴
ظرفیت ۱۳۰۰ بسته محصول	۶	۵
ظرفیت ۲۵۰۰ بسته محصول	۱۵	۱۵
ظرفیت ۳۸۰۰ بسته محصول	۱۵	۱۳
مجموع	۴۲	۳۷

در مدل شبیه‌سازی با سطوح بهینه شده تولید و احداث انبار جدید در شهر اصفهان، متوسط زمان سفارش تا تحویل محصول به عامل توزیع‌کنندگان ۱۳۱.۶ ساعت است که با فرض نامحدود بودن وسایل نقلیه بوده است. با به روزرسانی تعداد بهینه وسایل

نقلیه و نوع آنها در مدل شبیه‌سازی، این عدد به ۱۳۴.۹ ساعت افزایش می‌یابد که مقدار افزایش آن در حدود ۲.۵ درصد است. لازم به ذکر است که تعداد وسایل نقلیه بهینه شده نسبت به تعداد آنها در وضعیت فعلی سیستم، ۵ دستگاه کاهش پیدا نموده است.

به منظور تحلیل حساسیت بر روی تعداد وسایل نقلیه، هزینه مربوط به زمان انتظار سفارش تا دریافت محصول عامل توزیع-کنندگان را عدد بسیار بزرگی در نظر می‌گیریم تا الگوریتم بهینه‌ساز صرفاً به سمت کاهش وسایل نقلیه‌ای حرکت نماید که تاثیری بر روی زمان انتظار عامل توزیع‌کنندگان نداشته باشد. در این حالت نتایج بهینه‌سازی در حالت سختگیرانه در جدول شماره (۸) ارائه شده است.

جدول شماره (۸): نتایج بهینه‌سازی تعداد و نوع وسیله نقلیه در حالت سختگیرانه

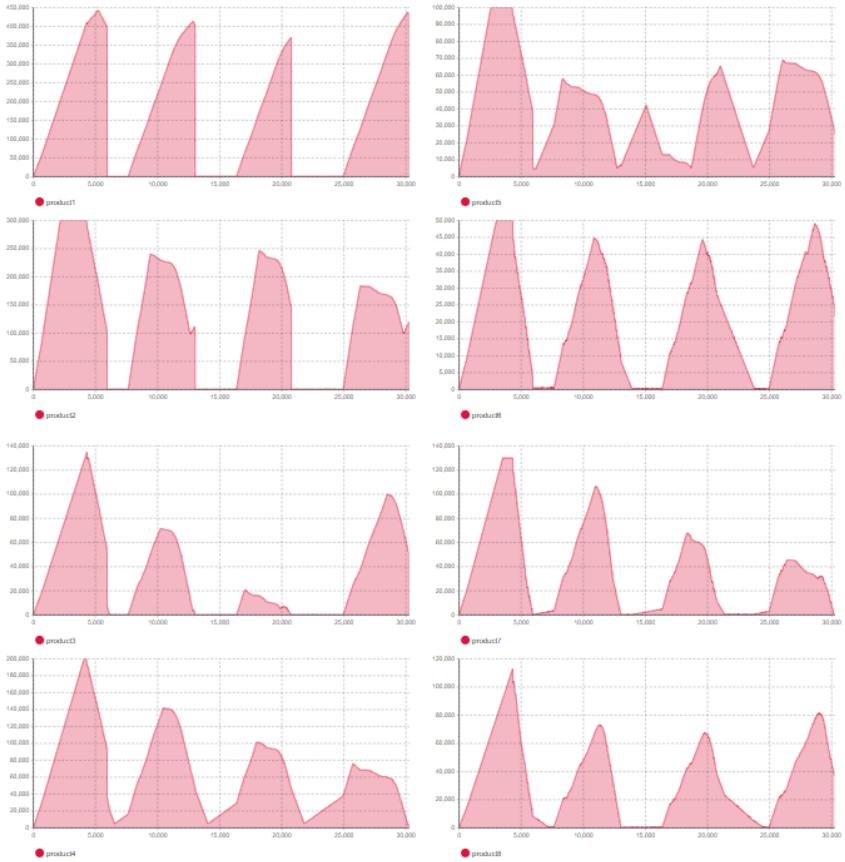
نوع وسیله نقلیه	تعداد وضعیت فعلی	تعداد بهینه شده	تعداد بهینه شده در حالت سختگیرانه
ظرفیت ۹۰۰ بسته محصول	۶	۴	۴
ظرفیت ۱۳۰۰ بسته محصول	۶	۵	۵
ظرفیت ۲۵۰۰ بسته محصول	۱۵	۱۵	۱۵
ظرفیت ۳۸۰۰ بسته محصول	۱۵	۱۳	۱۴
مجموع	۴۲	۳۷	۳۸

با به روزرسانی تعداد بهینه وسایل نقلیه استخراج شده در حالت سختگیرانه در مدل شبیه‌سازی، مشاهده می‌شود عدد مربوط به متوسط زمان انتظار عامل توزیع‌کنندگان از زمان سفارش تا دریافت محصول در این حالت نسبت به حالت نامحدود بودن وسایل نقلیه تغییر محسوسی نکرده است و تعداد وسایل نقلیه بهینه شده نسبت به وضعیت فعلی کاهش ۴ دستگاه را نشان می‌دهد.

بنابراین از خروجی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که در صورتی که تمایل داشته باشیم سطح خدمت فعلی را حفظ کنیم و افزایشی در زمان دریافت سفارش تا تحویل وجود نداشته باشد، تعداد ۴ وسیله نقلیه می‌تواند کاهش پیدا کند. این کاهش منجر به کاهش هزینه‌های خواب سرمایه و نگهداری و تعمیرات آنها می‌شود. همچنین در صورت تمایل به کاهش بیشتر تعداد وسایل نقلیه و با قبول افزایش ۲.۵ درصدی زمان دریافت تا تحویل سفارش در زنجیره تامین، امکان کاهش تا ۵ وسیله نقلیه وجود خواهد داشت.

ط) سناریوی سوم – افزایش ظرفیت تولید با احداث خطوط تولیدی جدید

در این سناریو میزان تاثیر افزایش تولید بر روی کاهش زمان سفارش تا تحویل محصولات به توزیع کنندگان مورد بررسی قرار می‌گیرد. با مطالعه نمودارهای مربوط به موجودی محصولات در زمان‌های مختلف، مشاهده می‌شود محصول اول و دوم گلوگاه ارسال هستند و در صورت افزایش ظرفیت آنها، فرآیند تکمیل سفارش و ارسال با سرعت بیشتری انجام می‌شود. در همین راستا، تاثیر یک خط تولید موازی برای محصول شماره یک و یک خط موازی برای محصول شماره ۲ بررسی می‌گردد. در مدل شبیه-سازی وضعیت فعلی با سطوح تولید بهینه شده خطوط تولید موازی برای محصول شماره یک و دو پیاده‌سازی می‌شود. همچنین تعداد وسایل نقلیه نامحدود درنظر گرفته می‌شود تا به عنوان گلوگاه در مدل شبیه‌سازی عمل ننماید. پس از اعمال تغییرات در مدل شبیه‌سازی، مشاهده می‌شود مقدار متوسط سفارش‌گذاری تا دریافت محصول توسط عامل‌های توزیع کننده ۹۱.۴ ساعت (۳.۷ روز) است که نسب به مقدار ۱۴۳ ساعت (۶ روز) وضعیت فعلی، بهبود ۳۶ درصدی را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۱۱): نمودار موجودی محصولات در حالت افزایش ظرفیت تولید

حال با توجه به نامحدود درنظر گرفتن تعداد وسایل نقلیه در این سناریو، اکنون به بهینه‌سازی تعداد وسایل مورد نیاز در حالت افزایش تولید پرداخته می‌شود. به همین منظور، مشابه سناریوی دوم، تعداد بهینه وسایل نقلیه و نوع آنها در جدول شماره (۹) ارائه شده است.

جدول شماره (۹): نتایج بهینه‌سازی تعداد و نوع وسیله نقلیه در حالت افزایش ظرفیت تولید

نوع وسیله نقلیه	تعداد وضعیت فعلی	تعداد بهینه شده وضعیت فعلی (سناریوی دوم)	تعداد بهینه شده در سناریوی افزایش ظرفیت تولید
ظرفیت ۹۰۰ بسته محصول	۶	۴	۶
ظرفیت ۱۳۰۰ بسته محصول	۶	۵	۶
ظرفیت ۲۵۰۰ بسته محصول	۱۵	۱۵	۱۶
ظرفیت ۳۸۰۰ بسته محصول	۱۵	۱۳	۱۶
مجموع	۴۲	۳۷	۴۴

همانطور که مشاهده می‌شود، در حالت افزایش سناریوی تولید نسبت به وضعیت فعلی، دو دستگاه وسیله نقلیه اضافه مورد نیاز خواهد بود تا متوسط زمان دریافت سفارش تا تحویل محصولات به عامل توزیع‌کنندگان ۹۱ ساعت (معادل ۳.۷ روز) گردد.

۳- نتایج و بحث

در دنیای امروزی محصولات تولیدی متعددی وجود دارد که به دلیل طول عمر محدود، می‌بایست به سرعت به دست مصرف کننده نهایی برسند. محصولات کشاورزی، دارویی، مواد غذایی مثالهایی از محصولات فسادپذیر هستند. زنجیره تامین این محصولات نیز به دلیل ماهیت فسادپذیری محصولات و مدت زمان محدود تولید تا تحویل آنها، از پیچیدگی‌های زیادی برخوردار هستند و مدیریت این زنجیره نیاز به ابزارهای نوین جهت در نظر گرفتن تمامی موارد تاثیرگذار است. دسته دیگری از محصولاتی به دلیل وجود آن‌ها سبد خانوارها و مصرف روزانه دارای اهمیت زیادی می‌باشد، محصولات لبنی است. در این تحقیق سعی شد تا با شناسایی خلا تحقیقات‌های قبلی، به ارائه مدلی بپردازد که امکان برنامه‌ریزی یکپارچه تولید و توزیع، کنترل موجودی و مسیریابی فراهم شود. در این راستا و به منظور بررسی یکپارچه تمامی موارد مطرح شده در زنجیره تامین محصولات فسادپذیر از رویکرد شبیه‌سازی ترکیبی عامل‌بنیان – گسسته پیشامد استفاده شده است و به عنوان مطالعه موردی، زنجیره تامین یکی از بزرگترین تولید کنندگان محصولات لبنی مورد بررسی قرار گرفت و به جهت نرخ تولید و تقاضای بالای محصول بستنی، این محصول به عنوان محصول تولید زنجیره تامین فسادپذیر انتخاب شد. به جهت تحلیل و بهبود این زنجیره تامین فسادپذیر،سه سناریو در حوزه بهینه‌سازی سطوح تولید و کنترل موجودی، بهینه‌سازی نوع و تعداد وسایل نقلیه و احداث خطوط تولیدی جدید و به تبع آن افزایش ظرفیت تولید در نظر گرفته شد. برای انجام بهینه‌سازی، از رویکرد شبیه‌سازی – بهینه‌سازی بهره گرفته شد و پس ساخت مدل شبیه‌سازی ترکیبی عامل‌بنیان – گسسته پیشامد در نرم افزار شبیه‌سازی AnyLogic، ارتباط آن با پکیج بهینه‌سازی optQuest انجام شد تا با استفاده از روش‌های فراابتکاری، نسبت به بهینه‌سازی متغیرهای تصمیم اقدام شد. جهت اعتبارسنجی مدل از ۴ عامل استفاده شده است. تعداد محصولات تولید شده در بازه یک ساله، تعداد حمل و نقل صورت گرفته جهت ارسال محصولات به توزیع کنندگان، تعداد خرابی سرمایش ماشین آلات و تعداد خرابی سرمایش ماشین‌آلات منجر به دور ریز محصولات شدن. تمامی مقادیر اختلاف بین مقادیر موجود و مقادیر شبیه سازی بین ۰.۷ تا ۳.۷ است که نشان دهنده مناسب بودن مدل جهت شبیه‌سازی سناریوها است.

نتایج سناریوی اول نشان دادند که با بهینه‌سازی سطوح تولید و موجودی با هدف کمینه کردن هزینه‌های نگهداری محصول (جهت جلوگیری از انبارش بیش از حد محصولات) و هزینه انتظار عامل توزیع‌کننده (به جهت جلوگیری از کمبود محصول)، تابع هدف ۳ درصد بهبود و میانگین مدت زمان دریافت سفارش تا تحویل محصول نیز ۵ درصد بهبود از خود نشان می‌دهد.

در سناریوی دوم تعداد بهینه وسایل نقلیه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید با کاهش ۵ وسیله نقلیه، متوسط زمان دریافت سفارش تا تحویل محصول ۳.۳ ساعت افزایش پیدا می‌کند و در صورت تمایل به حفظ سطح خدمت فعلی، کاهش تعداد ۴ وسیله نقلیه امکان‌پذیر خواهد بود. این کاهش منجر به کاهش هزینه‌های خواب سرمایه و نگهداری و تعمیرات آنها می‌شود. همچنین در صورت تمایل به کاهش بیشتر تعداد وسایل نقلیه و با قبول افزایش ۲.۵ درصدی زمان دریافت تا تحویل سفارش در زنجیره تامین، امکان کاهش ۵ وسیله نقلیه وجود خواهد داشت.

در سناریوی سوم، احداث خطوط تولیدی جدید برای کاهش زمان دریافت سفارش محصول تا تحویل محصول مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی نمودار موجودی محصولات، گروه محصول شماره یک و دو به عنوان کاندید افزایش ظرفیت تولید قرار گرفتند. در این راستا، یک خط تولید موازی برای گروه محصول شماره یک و یک خط موازی برای گروه محصول شماره دو در نظر گرفته شد و نتایج نشان داد که با احداث خطوط تولیدی جدید، زمان دریافت سفارش تا زمان تحویل محصول به صورت میانگین ۳۶ درصد بهبود حاصل می‌شود و زمان پردازش و ارسال و تحویل از ۶ روز به ۳.۷ روز کاهش می‌یابد. همچنین تعداد ۲ عدد وسیله نقلیه بیشتر نیز نیاز است تا امکان تحویل محصولات فراهم گردد.

همانطور که مشاهده شد میزان تولید محصولات، سطوح نگهداشت موجودی، نوع و تعداد ناوگان و مسیریابی به صورت مستقیم بر روی عملکرد زنجیره تامین محصول فسادپذیر تاثیرگذار هستند و نیاز هست جهت افزایش عملکرد زنجیره تامین، مقادیر آنها بهینه شود. استفاده از رویکرد شبیه‌سازی ترکیبی به دلیل انعطاف بالا در لحاظ نمودن احتمالات، عدم قطعیت‌ها و جزئیات مورد نیاز در سطوح مختلف زنجیره تامین، منجر به ساخت مدلی منطبق بر دنیای واقعی می‌گردد. همچنین رویکرد شبیه‌سازی –

بهینه‌سازی به دلیل بهره‌گیری از الگوریتم‌های فراابتکاری از یک طرف و در نظر گرفتن تمامی محدودیت‌ها و عدم قطعیت‌های زنجیره در مدل شبیه‌سازی از طرف دیگر، رویکردی مناسب جهت بهبود عملکرد زنجیره تامین فسادپذیر است.

از رویکرد شبیه‌سازی ترکیبی پیشنهادی در این تحقیق می‌توان در تمامی زنجیره‌های تامین فسادپذیر در سایر محصولات مانند دارویی، کشاورزی، محصولات کشاورزی و فرآورده‌های خونی بهره گرفت. همچنین پیشنهادات زیر به جهت توسعه مدل فعلی و تحقیقات آتی ارائه می‌گردد:

- اضافه نمودن سایر محصولات مانند شیر پاستوریزه، ماست، پنیر و ... به مدل شبیه‌سازی ترکیبی و تحلیل تاثیر آنها در عملکرد کل زنجیره تامین
- توسعه عامل‌های مدل شبیه‌سازی ترکیبی مانند در نظر گرفتن توزیع‌کنندگان خرد (فروشگاه‌ها) و تاثیر نحوه عملکرد آنها در میزان فروش و تقاضای محصول و میزان دورریز محصولات ناشی از نگهداری نامناسب آنها
- توسعه عامل‌های مدل شبیه‌سازی ترکیبی مانند در نظر گرفتن مشتریان و روابط سطح خرد آنها و پیاده‌سازی ویژگی‌هایی مانند تاثیرپذیری از رقبا، تبلیغات محیطی و تبلیغات دهان به دهان و ترغیب عامل مشتری با استفاده از محصولات رقبا در صورت عملکرد نامناسب زنجیره تامین
- بررسی یکپارچه مکانیابی تسهیلات، تولید، کنترل موجودی، ناوگان و مسیریابی با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی ترکیبی

با توجه به اینکه در شبیه‌سازی مدلی دارای عملکرد مطلوب می‌باشد که داده‌ها کمترین فاصله را با پاسخ مدل پیشنهادی داشته باشد، پیشنهاد می‌شود جهت مقایسه بین مدل‌ها، شبیه‌سازی از طریق سایر مدل‌ها نیز انجام شود و پاسخ آن‌ها با یکدیگر مقایسه شود.

با توجه به اینکه مدلسازی برای محصول بستنی صورت گرفته که دارای تقاضای فصلی است و همچنین اینکه جهت اعتبارسنجی از ۴ عامل استفاده شد. پیشنهاد می‌گردد از عوامل دیگر نظیر تعداد خرابی ها در فصول مختلف نیز استفاده کرد تا بتوان به بررسی سناریو مناسب بر اساس فصول مختلف سال پرداخته شود.

٤- منابع

Ahumada, O., and Villalobos, J.R. (2011). "Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products", *International Journal of Production Economics*, 133(2), 677–687.

Atai, Es. Sadeghian, Ramin Hamedi, M (2019) Presenting an integrated multi-objective model for location-routing and inventory of relief facilities considering several transportation and netting models, Transportation Research Journal, 17th year, 2nd volume, number 63. [In Persian]

Biuki, M., Kazemi, A., & Alinezhad, A. (2020). An integrated location-routing-inventory model for sustainable design of a perishable products supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120842.

Diabat, A., Jabbarzadeh, A., & Khosrojerdi, A. (2019). A perishable product supply chain network design problem with reliability and disruption considerations. *International Journal of Production Economics*, 212, 125-138.

Elmi, E., Azar, A., & Ghaffari, F. (2023). Application of System Dynamics in Evaluating Knowledge Management Processes on Supply Chain Efficiency. *Journal of Executive Management*, *14*(28), 79-114. doi: 10.22080/jem.2022.22405.3635

Ferguson, M.E., Ketzenberg, M.E., 2005. Information Sharing to Improve Retail Product Freshness of Perishables. *Prod. Oper. Manage*. 15 (1), 57–73.

Ghare, P.M., Schrader, G.F., 1963. A model for exponentially decaying inventory. *Journal Ind. Eng*. 14 (5), 238–243.

Golestani, M., Moosavirad, S. H., Asadi, Y., & Biglari, S. (2021). A multi-objective green hub location problem with multi item-multi temperature joint distribution for perishable products in cold supply chain. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1183-1194.

Hajimirzajan, A., Pirayesh, M., & Dehghanian, F. (2015). Developing a Supply Chain Planning Model for Perishable Crops. *Research in Production and Operations Management*, 6(1), 35-60.

Hammond, D., & Beullens, P. (2007). Closed-loop supply chain network equilibrium under legislation. *European journal of operational research*, 183(2), 895-908.

Jouzdani, J., & Govindan, K. (2021). On the sustainable perishable food supply chain network design: A dairy products case to achieve sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123060.

Khani, M., Saqai, A., & Heydarzad Hanzaei, K. (2018). Modeling market penetration strategies using factor-based simulation. *New Researches in Decision Making*, 4(1). [In Persian]

Li, Q, Yu, P., Wu, X., 2017. Shelf Life Extending Packaging, Inventory Control and Grocery Retailing. *Prod. Oper. Manage*., 26 (7), 1369–1382.

Liu, Y., Zhao, R., Wu, K-J., Huang, T., S. F. Chiu, A., Cai, CH. (2018). A Hybrid of Multi-Objective Optimization and System Dynamics Simulation for Straw-to-Electricity Supply Chain Management under the Belt and Road Initiatives. *Sustainability*, 10, 868; doi:10.3390/su10030868.

Macal, C. M. (2010). To agent-based simulation from system dynamics. In Proceedings of the winter *simulation conference*, (pp. 371-382). IEEE.

Macal, C., & North, M. (2014). Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation. *In Proceedings of the winter simulation conference*, (pp. 6-20). IEEE.

Martin, R. (2015). China must improve its cool supply chain to keep pace with demand for fresh food. *URL: http://theloadstar. co. uk/coolstar/china-must-improve-its-cool-supply-chain-to-keep-pace-with-demand-for-fresh-food*.

Nakhai Kamalabadi, I. Qasimi, S. Qudsi, R. (2008). Development and improvement of perishable goods inventory control models in three-level supply chain with just-in-time logistics condition, *Industrial Management Quarterly*, 4 (7). [In Persian]

Rong, A., Akkerman, R., and Grunow, M. (2011). "An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain", *International Journal of Production Economics*, 131 (1), 421–429.

Shafiee, F., Kazemi, A., Jafarnejad, A., Sazvar, Z., & Amoozad Mahdiraji, H. (2020). Proposing a Robust Optimization Model for Sustainable Supply Chain of Perishable Dairy Products. *Research in Production and Operations Management*, 11(3), 17-46. doi: 10.22108/jpom.2021.124952.1290

Suryawanshi, P., & Dutta, P. (2023). Distribution planning problem of a supply chain of perishable products under disruptions and demand stochasticity. *International Journal of Productivity and Performance Management*, *72*(1), 246-278.

Yavari, M., Geraeli, M (2019). Heuristic method for robust optimization model for green closed-loop supply chain network design of perishable goods. *J. Cleaner Prod*. 226, 282–305.

Designing a Agent-Based Model for Production Optimization and Inventory Control and Routing in the Supply Chain of Perishable Products (Study Case: Dairy Company)

Mehdi Sohanian
PhD student in industrial management (systems), Faculty of Management and Economics, Science and Research Department, Islamic Azad University, Tehran, Iran
Reza Ehtsham Rathi (corresponding author)
Assistant Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin,
Email: rezaehteshamrasi@gmail.com
Reza Radfar
Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Science and Research Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract;
The purpose of this research is to present a combined agent-based and discrete event model to investigate integrated production planning, inventory control, and the number and types of vehicles in the supply chain for perishable products. The agent-based model is employed to assess the role of various factors and their interrelationships within the supply chain. To account for the micro-level complexities of production lines, a discrete event simulation approach is utilized.To determine optimal or near-optimal production levels, inventory control, and the number and types of vehicles, a simulation-optimization approach is adopted, utilizing meta-heuristic and modeling algorithms in AnyLogic software. The simulation focuses on the production and routing of eight ice cream products distributed across three cold storage facilities. A total of 42 vehicles from four different types are used for transporting the products. To validate the model, discrepancies between actual values and those predicted by the model are assessed based on four key metrics: the quantity of products produced over one year, the number of shipments dispatched to distributors, the number of cooling system failures of machinery, and the count of products that recycle due to spoiled conditions. As all discrepancies for these four metrics are less than five, the validity of the model is confirmed.The results indicate that the objective function improves by 3%, while the average time from order receipt to product delivery is reduced by 5%. In the first scenario, product production is modeled based on the minimum and maximum available quantities as well as the minimum and maximum simulation values. In the second scenario, the number of vehicles is initially set at 42 but is reduced to 37 based on the proposed adjustments. Furthermore, the establishment of a new warehouse in Isfahan is recommended. With this new facility, the time interval from order receipt to delivery to distributors is expected to decrease to 131.6 hours. Additionally, considering the increase in production, the suggested optimal number of vehicles required for efficient operation is 44.

Keywords: Supply Chain, Discrete Event Simulation, Perishable Products, Agent-Based Modeling, Optimization.