



ارائه مدل پویایی سیستم برای بهینه سازی چندهدفه تولید- موجودی- مسیریابی در زنجیره تامین سبز تحت شرایط عدم قطعیت

کتایون نادری

گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

رویا محمد علی پور اهری (نویسنده مسؤل)

گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

Email: Roya.ahari@pin.iaun.ac.ir

جاوید جوزدانی

گروه مهندسی صنایع، دانشگاه گلپایگان، گلپایگان، اصفهان، ایران

عاطفه امیندوست

گروه مهندسی صنایع، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۰/۰۷/۲۴

چکیده

در این تحقیق برای طراحی یک مدل بهینه سازی چند هدفه؛ مولفه های هزینه، رضایت مشتری و حفاظت از محیط زیست در نظر گرفته شده است. برای بهینه سازی چندهدفه تولید-موجودی-مسیریابی در زنجیره تامین سبز تحت شرایط عدم قطعیت مدل پویایی سیستم ارائه شده است. با تقاضای مشتری برای چند دوره، مدل می تواند با تمرکز بر تصمیم گیری در مورد مواردی مانند انتخاب تامین کننده و خرده فروش با توجه به فاصله میان آن ها، مدل های تولید و سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل، به تصمیم گیری بپردازد. برای این منظور برای گردآوری اطلاعات ابتدا با استفاده از بررسی مطالعات پیشین، به تعیین متغیرهای تاثیرگذار بر مدل پرداخته شد، سپس با توجه به نظر خبرگان این موضوع، این متغیرها آنالیز شده، سپس روابط بین متغیرهای انتخاب شده با بکارگیری مدل علت و معلولی مشخص شد و پس از آن با طراحی مدل پویایی سیستم و ارزیابی و بررسی آن از طریق آزمون های تعریف شده توسط اجرا در نرم افزار Vensim مدل سازی تحقیق به اتمام رسید. سرانجام، سه سناریو برای تعیین استراتژی های تاثیرگذار بر مدل توسعه داده شد. نتایج حاکی از تأثیرگذارترین استراتژی ها در دستیابی به وضعیت مطلوب، حداکثر رضایت مشتری، حداقل هزینه و موجودی انبار و حداکثر میزان تولید با اجرای مناسب پروژه های در حال اجرای سازمان در راستای تولید سبز با استفاده از دانش فنی مناسب است.

کلمات کلیدی: مدل پویایی سیستم، مسئله یکپارچه تولید-موجودی-مسیریابی، زنجیره تامین سبز، شرایط عدم قطعیت.

۱- مقدمه

تغییرات آب و هوایی جهانی به یک موضوع اساسی تبدیل شده و روندهای بین المللی به سمت تنظیم بیشتر میزان انتشار گازهای گلخانه ای تغییر جهت داده اند. علاوه بر این، جهانی سازی اقتصادی، محیط زیست را با زنجیره های تامین جهانی پیوند داده است. فعالیتهای تولیدی انرژی بسیار زیادی را مصرف می کنند، بطوریکه صنایع تولیدی و حمل و نقل بیشترین دی اکسید کربن را تولید می کنند. بنابراین، شرکتهایی که مایل به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در زنجیره تامین خود هستند، باید با روشهای ساخت و حمل و نقل خود شروع کنند (Hendalianspour, 2018). بیمون^۱ (۱۹۹۸) یک زنجیره تامین را به عنوان «ساختار شبکه تامین کنندگان مواد اولیه، تولید کنندگان، عمده فروشان، خرده فروشان و مشتریان نهایی که در تولید و حمل و نقل محصولی از طریق ادغام تشکیل شده اند» ارائه داد. برای فعال سازی موثر و طولانی مدت کل زنجیره تامین، طراحی شبکه های مدیریت زنجیره تامین (SCM) غالباً شامل نگرانی های مربوط به سیاست های استراتژیک است که انتخاب محل تامین کنندگان، خرده فروشان، قابلیت های تولید کارخانجات و مدیریت موجودی است. شبکه های SCM همچنین شامل انتخاب مسیرهای حمل و نقل می باشد که شامل حالت تامین مواد اولیه و حمل و نقل است که از پایان عرضه آغاز می شود و با مشتریان همراه است.

مدیریت چنین ساختارهایی نیازمند بررسی یکپارچه برای تصمیم سازی است. یکی از راههایی که می توان این بررسی را انجام داد استفاده از مدل علت و معلولی و پویایی سیستم است. با این روش می توان به صورت یکپارچه تمامی تاثیرات را بررسی کرد و وضعیت عدم قطعیت را نیز به صورت بهینه تری پوشش داد. بنابراین و با توجه به این مسائل، در این تحقیق به بررسی چارچوب یکپارچه برای برنامه ریزی تولید، موجودی و مساله مسیریابی وسیله نقلیه با هدف نهایی رضایت مشتری با استفاده از پویایی سیستم، پرداخته شده است.

در شرایط کنونی ساختار ساده زنجیره تامین که منحصر به انتقال محصولات از نقطه تولید به نقطه مصرف بود به زنجیره ای مبدل شده که هر یک از سطوح این زنجیره نقشی تعریف شده به خود گرفته اند. مدیریت چنین زنجیره های در دو سطح کلان و خرد، چالشی فراروی واحدهای تولیدی می باشد که از منظر استراتژیکی نیازمند مدیریتی کارآمد و از منظر عملیاتی نیازمند طراحی موثر برای این شبکه می باشد. امروزه دیگر تامین منابع چه از نوع انرژی، نیروی انسانی و مواد خام به مسئله ای چالش برانگیز تبدیل شده که به فراخور بر تولید محصولات جهت استفاده مشتری تاثیر گذاشته است. آنچه که بایستی مورد توجه قرار گیرد مدیریت تولید و چرخه ای است که محصول را به دست مصرف کننده می رساند. مدیریت چنین ساختارهایی نیاز به تغییر در تصمیمات مدیران دارد ولی تصمیم گیری منحصر به تولید و تولیدکننده نمی باشد بلکه تصمیم سازی بایستی وارد عرصه شوند که بر کل چرخه نظارت داشته باشند تا در هدایت و تصمیم گیری مدیران کمترین اشتباه مشاهده شود.

بطور کلی برنامه ریزی زنجیره تامین شامل برنامه ریزی درخواست مواد- تولید- موجودی- حمل و نقل و غیره می باشد. همانطور که عنوان شد یکی از مشکلات زنجیره تامین چگونگی تصمیمات مهم عملیاتی از جمله برنامه ریزی تولید - میزان موجودی و مسیریابی وسایل نقلیه می باشد. هر چند که زنجیره های تامین چند وجهی به خاطر دشواری و پیچیدگی آنها مشهور هستند لذا هماهنگی بین تولید و مسیریابی تحویل میتواند تاثیر بسزایی در کاهش زمان تحویل آنها داشته باشد. نیز با افزایش کیفیت محصولات به مشتریان دسترسی به سود بیشتر خواهیم داشت. بیشتر مطالعات انجام شده در عدم قطعیت زنجیره تامین، تقاضا را بطور غیر قطعی در نظر گرفتند. در این تحقیق بر آن شدیم تا با دیدی یکپارچه تمامی این موارد را به صورت کامل و در کنار هم مورد ارزیابی قرار داده و مساله تاثیراتی که هر کدام از این موارد از یکدیگر می گیرند را ارزیابی کنیم. با بررسی همه موارد در کنار هم و تعیین تاثیرپذیری آن ها از یک دیگر، خطای تصمیم گیری کاهش می یابد.

برای رسیدن به مدل تحقیق و طراحی آن، ابتدا به مطالعه تحقیقات پیشین پرداخته شد. هر یک از مقالات و تحقیقات پیشین، به بخشی از عوامل موثر در مورد این قضیه در یک بخش از صنعت - خدمات پرداخته اند و تلاش کرده اند که نتایج حاصل از

¹ Beamon

توزیع پرسشنامه های خود را با استفاده از تحلیلهای آماری ارائه دهند. در این میان اندک مقالاتی نیز به استفاده از روشهای تصمیم گیری مبادرت ورزیده اند. این در حالی است که عدم توجه به عوامل همه جانبه طرحی کامل برای تصمیم گیران در بر نخواهد داشت.

الف) پیشینه تحقیق

در مطالعات پیشین به موارد مختلفی پرداخته شده است. برای مثال در بخش بهینه سازی چند هدفه در زنجیره تامین سبز، گارای و روی (۲۰۲۰) در سال ۲۰۲۰، یک مدل مدیریت زنجیره تامین حلقه بسته مبتنی بر زندگی واقعی و مشتری محور ارائه داده اند. ژانگ و یانگ (۲۰۲۰) ایجاد یک مدل چند هدفه برای مبادله بین کل هزینه و عملکرد محیطی در شبکه زنجیره تامین دو کانال سبز را مد نظر قرار داده اند. وفایی نژاد و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه را برای یک برنامه ریزی زنجیره تامین چند دوره ای، چند محصول، ارائه می دهد. راد و نهانودی (۲۰۱۸) یک مدل ریاضی یکپارچه را برای زنجیره تامین بسته سبز بسته، چند محصول و خازنی ارائه می دهد. سارکار و همکاران (۲۰۱۸) یک مدیریت زنجیره تامین در صنعت ساخت قطعات خودرو با تامین کننده برای بهینه سازی مقدار تولید با اهداف متعدد ارائه داده اند.

نورجانی و همکاران (۲۰۱۷) یک رویکرد طراحی زنجیره تامین سبز جدید برای مقابله با معاملات بین موضوعات زیست محیطی و مالی به منظور کاهش تأثیرات منفی بر محیط زیست ناشی از افزایش سطح صنعتی شدن پیشنهاد داده اند. در بخش پویایی سیستم در زنجیره تامین سبز، کاوو و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل تخمین انتشار CO₂ را از منظر هزینه مستقیم ارائه می دهد، و سپس یک مدل دینامیک سیستم را برای شبیه سازی سناریوهای کاهش انتشار CO₂ در کل چرخه عمر زنجیره تامین زغال سنگ برقی سبز ایجاد می کند. ریس و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل دینامیک سیستم ارائه شده است که شامل تأثیرات فشارهای دولتی، سهامدار و سایر فشارهای ذینفعان خارجی است. سانگ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از پویایی سیستم روند توسعه فن آوری، انرژی، محیط زیست و اقتصاد را در استان شاندونگ از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ شبیه سازی کرده اند.

یان و همکاران (۲۰۱۶) یک مطالعه موردی از منظر سیستم با استفاده از تجزیه و تحلیل شبیه سازی سیستم دینامیک و اعتبار سنجی آماری با داده های تجربی ارائه داده اند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی عملکرد زنجیره تامین سبز در یک مجموعه تولیدکننده و خرده فروشی پرداخته اند. در بخش بهینه سازی چندهدفه تولید-موجودی-مسیریابی در زنجیره تامین سبز، مطالعاتی همچون مقاله علی نقیان و زمانی (۲۰۱۹) یک مدل جدید دو هدفه برای مسئله مسیریابی موجودی سبز با ناوگان ناهمگن ارائه کرده است. بناسیک و همکاران (۲۰۱۹) یک مدل برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای برای تحلیل و ارزیابی اثرات اقتصادی و محیطی ارائه داده است تا عدم اطمینان در زنجیره های تامین مواد غذایی را به خود اختصاص دهد. نیو و همکاران (۲۰۱۹) با در نظر گرفتن سیستم چند هدفه، چند محصول، چند دوره، زمان تدارک و همکاران، یک مدل زنجیره تامین یکپارچه واقع بینانه ایجاد کرده است. منوپاتی و همکاران (۲۰۱۹) مسائل مختلف تولید - توزیع و فهرست موجودی در زنجیره تامین چند لایه را با در نظر گرفتن سه سیاست در زمینه کربن و ملاحظات زمان رهبری بررسی کرده اند.

محمد و دوفوا^۲ (۲۰۱۹) یک راه حل جدید براساس الگوریتم تبرید شبیه سازی شده برای بدست آوردن راه حل های نزدیک - بهینه برای حل مساله طراحی زنجیره تامین چندهدفه پیشنهاد می کند. بدھوتیا و همکاران^۳ (۲۰۱۹) به یک مساله برنامه ریزی تولید و توزیع یکپارچه برای یک شبکه زنجیره تامین دو لایه متشکل از چندین تولید کننده که در چندین مکان فروش خدمت می کنند پرداخته اند. قرارای و جولایی^۴ (۲۰۱۸) به بررسی یک مساله برنامه ریزی چند عاملی با تصمیمات توزیع در یک زنجیره تامین چند کارخانه ای را مطالعه می کند.

با توجه به موارد ذکر شده در بالا، داشتن یک چارچوب یکپارچه برای برنامه ریزی تولید، موجودی و مساله مسیریابی وسیله نقلیه به منظور برآورده کردن رضایت مشتریان ضروری است. با این وجود، مطالعات در این زمینه عموماً این سه موضوع را به طور

² Mohammed & Duffuaa

³ Badhotiya et al.

⁴ Gharaei & Jolai

جداگانه مورد بررسی قرار داده است. به عبارت دیگر، از یک سو مباحث سنتی برنامه ریزی تولید با وجود غفلت از برنامه موجودی و مسیریابی، توجه بیشتری به تعیین برنامه و دستیابی به شاخص های مختلف تولید داشته است. از سوی دیگر، تحقیقات در مورد برنامه ریزی موجودی و مسیریابی عموماً بر به حداقل رساندن هزینه حمل و نقل محصولات متمرکز بوده و تأثیر برنامه ریزی تولید سبز و کاهش آلودگی، را در این برنامه ها لحاظ نکرده است. بنابراین در این پژوهش:

- پویایی سیستم برای برنامه ریزی همزمان تولید - موجودی - مسیریابی ارائه شده است.
- عملکرد هدف در نظر گرفته شده در این تحقیق به حداکثر رساندن رضایت مشتری است.
- در این تحقیق تلاش شده است تا چارچوب یکپارچه برای برنامه ریزی تولید، موجودی و مساله مسیریابی وسیله نقلیه، سبز بودن زنجیره تامین نیز در نظر گرفته شود تا یک قدم دیگر به حقیقت موجود در وضعیت واقعی، نزدیک شد.
- بهینه سازی همزمان زمان تحویل و سطح رضایت‌مندی در برنامه‌ریزی تولید - موجودی - مسیریابی در زنجیره‌تامین سبز.
- در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت و اختلال در برنامه‌ریزی تولید - موجودی - مسیریابی در زنجیره‌تامین سبز

۲- روش‌شناسی تحقیق

با در نظر گرفتن هدف این تحقیق یعنی بهینه سازی چند هدفه تولید - موجودی - مسیریابی در زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد سیستم دینامیک با توجه به چهار فاکتور تولید محصول سبز، موجودی انبار، توالی حمل و نقل کامیون ها و رضایت مشتری برای رفع معضلات و مشکلات موجود در بخش پژوهش کاربردی، این تحقیق از نظر هدف کاربردی است. همچنین این پژوهش از نظر تحلیل اطلاعات، توصیفی- اکتشافی است چرا که درصدد طراحی مدل بهینه سازی است.

بر این اساس و با توجه به این اشارات، ابتدا به بررسی مطالعات پیشین و منابع کتابخانه ای معتبر، پرداخته شده و ادبیات تحقیق، حاصل می گردد. در مرحله بعد به طراحی مدل با در نظر گرفتن اطلاعات بدست آمده و مدلسازی پویایی سیستم پرداخته می شود. در مرحله سوم، با توجه به پارامترهای بدست آمده و اطلاعات جمع آوری شده از طریق پویایی سیستم به طراحی مدل پرداخته می‌شود.

مراحل انجام این تحقیق به شرح ذیل می‌باشند که در شکل شماره (۱) گام‌های اجرایی تحقیق تبیین شده است.

- گام اول: بررسی ادبیات موضوع، تحقیقات پیشین و جمع آوری نظرات خبرگان این رشته. در این بخش پس از بررسی مطالعات پیشین متغیرهای تاثیرگذار بر مدل تعیین می‌گردد.
- گام دوم: بررسی و تحلیل عوامل جمع آوری شده و حذف و ویرایش آنها و تعیین عوامل نهایی. در این گام از طریق خبرگان، متغیرهای نهایی مشخص می‌گردد.
- گام سوم: مدلسازی سیستم پویا با در نظر گرفتن این عوامل و روابط بین آن ها. طراحی مدل پویایی سیستم و طراحی می‌شود و اعتبار مدل تشکیل شده سنجیده می‌شود.
- گام چهارم: تعیین خروجی های مدل سیستم پویا



شکل شماره (۱): گام‌های اجرایی تحقیق

در ادامه به معرفی تفصیلی این مراحل تحقیق می‌پردازیم.

گام اول: تعریف مسئله تحقیق با بررسی پیشینه

مطالعات پیشین عوامل نامشخص بسیاری را درگیر در استراتژی‌ها و عملیات شرکت‌های بین‌المللی از جمله سرمایه‌گذاری در مواد اولیه، هزینه‌های حمل و نقل، عوارض و تغییرات تقاضا و زمان حمل و نقل بررسی کردند. به طور معمول، طراحی‌های شبکه‌های زنجیره تامین اهداف واحدی ندارند. تصمیمات باید غالباً اهداف متغیر و حتی منحصر به فرد متقابل را متعادل کنند. محققان بر روی مسائل برنامه ریزی چند هدفه متمرکز شده‌اند، زیرا شرایط واقعی به طور همزمان به دو یا چند هدف نیاز دارند. اهداف متعدد، مدیران را ملزم می‌کند تا اهداف متعددی را متعادل کنند و از این تعادل به عنوان اساس تصمیم‌گیری استفاده کنند. به عنوان مثال، هزینه تنها هدف طراحی زنجیره تامین نیست. سایر اهداف اقتصادی پاسخگوی و استانداردهای خدمات هستند. امروزه علاوه بر طراحی شبکه زنجیره تامین، که شامل انتخاب سایت کارخانه، تعداد تاسیسات و ظرفیت تولید، و جابجایی مواد اولیه و محصولات بین کارخانجات است (Liu, Dehghani, Jabalameli Diabat, & 2020)، افزایش آگاهی اجتماعی زیست محیطی موضوعات پیشرفته زیست محیطی را در SCM برجسته کرده است.

برخلاف مدل‌های معمولی طراحی زنجیره تامین، که بر به حداقل رساندن هزینه تأکید دارند، اخیراً بسیاری از محققان مفاهیم حفاظت از محیط زیست را برای اطمینان از در نظر گرفتن فاکتورهای حفاظت اقتصادی و محیطی در SCM وارد تحقیقات کرده‌اند. در این میان بیشتر مطالعات انجام شده در عدم قطعیت زنجیره‌تأمین، تقاضا را بطور غیر قطعی در نظر گرفتند. ارزیابی بهتر تقاضا می‌تواند منجر به امکان بیشتر برای داشتن یک برنامه دقیق‌تر شود. با توجه به ماهیت تقاضا و اطلاعات فروش کالاها از گذشته، استفاده از تقاضای تصادفی می‌تواند برای مدل‌سازی این نوع عدم اطمینان مفید باشد (Tajik, Tavakkoli, Moghaddam, Vahdani & Mousavi, 2014). از طرفی می‌توان مشاهده کرد که رضایت مشتری نیز در بسیاری از موارد مورد توجه قرار نگرفته است. رضایتی که می‌تواند از مواردی شامل زمان تحویل و قیمت تمام شده تأثیر پذیرد (Cao, Zhao, Wen, Li, Wang, Liu, & Weng 2019; Banasik, Kanellopoulos, Bloemhof-Ruwaard, & Claassen, 2019).

در مطالعات پیشین، از یک طرف در حیطه مباحث سنتی برنامه‌ریزی تولید، توجه بیشتری به تعیین برنامه زمانبندی و دستیابی به تولیدات مختلف داشته‌اند با غفلت از برنامه‌ای جهت تحویل به موقع، و این مهمترین عامل در به حداقل رساندن هزینه‌های حمل‌ونقل محصولات و افزایش رضایت مشتریان می‌باشد. چندین رابطه پیچیده بین متغیرها از محیط‌های مختلف و نیز حلقه‌های بازخورد و تاخیر باعث سطح بالایی از پیچیدگی در مسایل کلان می‌شوند. مدل‌های پویایی سیستم مشکلات کلان پیچیده را بر اساس برخی اصول مدل‌سازی می‌کند. یکی از مهمترین اثرات سیستم دینامیک توانایی در نظر گرفتن اثرات آنی و تأثیر بلند مدت متغیرها بر یکدیگر است. در این پژوهش از روش شناسی پویایی سیستم، جهت شبیه‌سازی رفتار سیستم استفاده شده

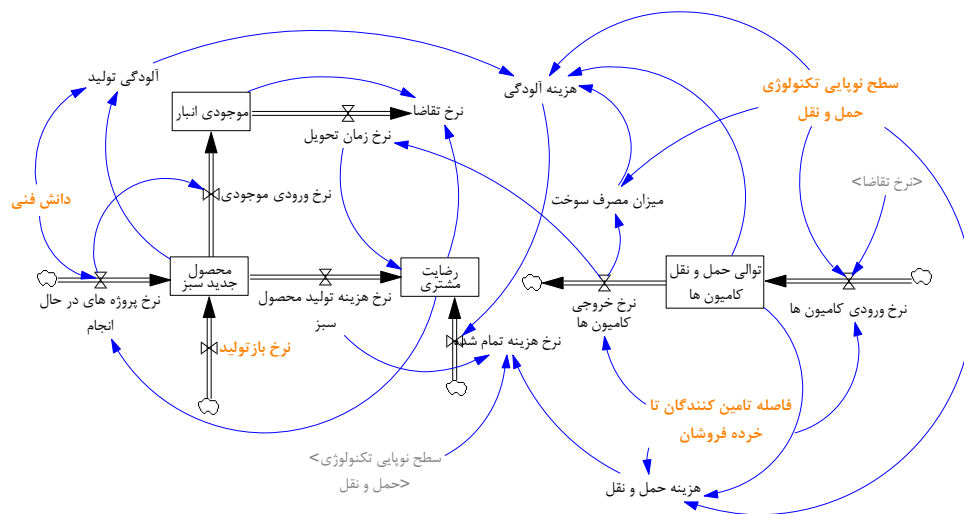
است. به منظور طراحی ساختار یک سیستم براساس این متدولوژی، از نمودارهای علی- حلقوی و نمودارهای حالت - جریان استفاده می‌شود. حلقه های علی و معلولی می‌توانند مثبت یا منفی باشند. در این پژوهش از پویایی سیستم برای برنامه‌ریزی همزمان تولید-موجودی-مسیریابی استفاده شده است. برای این امر با طراحی یک مدل پویایی سیستم در قالب برنامه‌ریزی همزمان تولید-موجودی-مسیریابی سعی در حداکثر رساندن رضایت مشتریان، کاهش زمان تحویل و سطح موجودی انبار با لحاظ کردن عدم قطعیت در تقاضا، داریم.

گام دوم: شناسایی متغیرهای تحقیق

با بررسی مطالعات پیشین در این تحقیق و برای رسیدن به اهداف آن، ۲۰ متغیر مشخص شد. جدول ۱ متغیرهای اولیه مسئله تحقیق را نشان می‌دهد.

ردیف	متغیر
۱	نرخ باز تولید
۲	محصول جدید سبز
۳	نرخ پروژه های در حال انجام
۴	نرخ هزینه تولید محصول سبز
۵	میزان آلودگی تولید
۶	موجودی انبار
۷	نرخ ورودی موجودی
۸	هزینه آلودگی
۹	میزان مصرف سوخت
۱۰	هزینه حمل و نقل
۱۱	فاصله تامین کنندگان تا خرده‌فروشان
۱۲	نرخ زمان تحویل
۱۳	نرخ ورود کامیون ها
۱۴	نرخ تقاضا
۱۵	نرخ خروج کامیون ها
۱۶	رضایت مشتری
۱۷	توالی حمل و نقل کامیون ها
۱۸	سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل
۱۹	دانش فنی
۲۰	نرخ هزینه تمام شده

گام سوم: ترسیم مدل سیستم داینامیک



شکل شماره (۲): مدل مسئله تحقیق

همانطور که در شکل ۲ پیداست در اینجا چهار متغیر حالت وجود دارد: محصول جدید سبز، موجودی انبار، رضایت مشتری و توالی حمل و نقل کامیون ها که از متغیرهای نمایش داده شده اثر می پذیرد. در بخش های بعد حلقه های تاثیرگذار مدل بررسی می شود.

الف) افق زمانی مدلسازی

پویایی سیستم، رفتار سیستم ها را در طول زمان مطالعه می کند. مسئله مربوط به زمان، انتخاب افق زمانی اجرای مدل است. طول افق زمانی بر پیامدهای سیاست های شبیه سازی تأثیر می گذارد، اما هیچ قاعده مشخصی برای انتخاب افق زمانی وجود ندارد. این مشکلات در مورد زمان در مدل سازی بر کاربرد عملی پویایی سیستم در مدیریت سیاست تأثیر می گذارد (Forrester, 2007). با در نظر گرفتن این مهم ایجاد تعادل بین این دو بخش، حیاتی است. محققان بسیاری بیان می دارند که معمولاً یک بازه ۳ تا ۵ ساله برای بررسی نتایج، معقول می باشد لذا با توجه به این امر و با در نظر گرفتن حجم بالای متغیرها و در نتیجه محاسبات مربوط به آن، نظر خبرگان و بررسی تحقیقات پیشین، افق زمانی ۶۰ ماهه یعنی ۵ سال در نظر گرفته شده است تا زمان کافی برای عملکرد بازخوردها وجود داشته باشد.

ب) تدوین فرضیه پویا

یک فرضیه پویا نظریه ای در مورد ساختار موجود است که حالت های مرجع را ایجاد می کند. یک فرضیه دینامیک را می توان به صورت شفاهی، به عنوان یک نمودار حلقه علی یا یا به عنوان نمودار جریان بیان کرد. فرضیات پویا تولید شده می تواند برای تعیین اینکه چه چیزی در مدل ها نگهداری خواهد شد و چه چیزی حذف خواهد شد، مورد استفاده قرار گیرد (Bala, Arshad & Noh, 2017). پس از گفتگو با خبرگان و با بررسی تحقیقات پیشین، مشخص شد که برخی از معیارها تاثیرگذارترند و برخی دیگر با توجه به تاثیرات مشابه، در راستای ساده سازی مدل حذف گردید. در این تحقیق دو فرضیه اساسی تعریف می گردد:

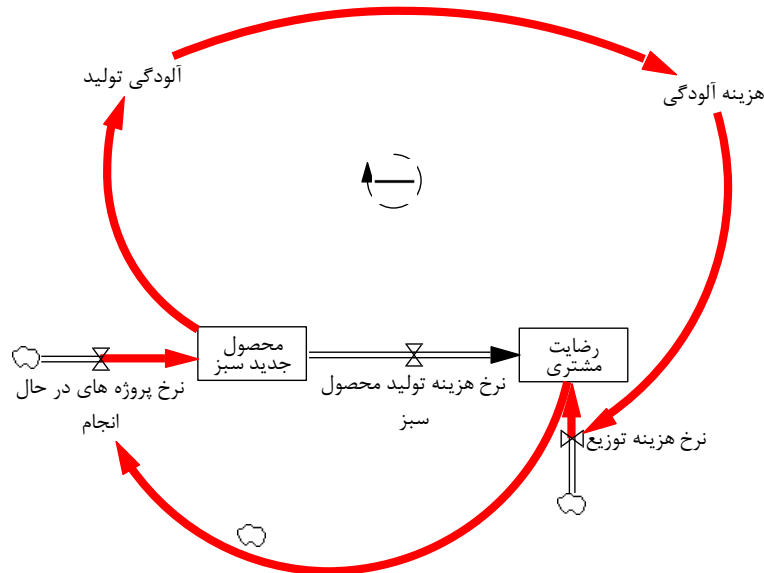
- فرضیه اول: با طراحی مدل پویایی سیستم می توان مقدار بهینه تولید را شناسایی کرد.
- فرضیه دوم: با طراحی مدل پویایی سیستم می توان مسیر مناسب برای رسیدن به مقدار بهینه رضایت مشتری بدست آورد.

ج) تعیین مرز مدل

فرآیندها، بازخورد اطلاعات، تأخیر در خط مشی و زمان، عناصر مهم مدل سازی دینامیک سیستم هستند. با توجه به این واقعیت که متغیرهای درون زا و برون زا فقط بر اساس مرز تعیین می شوند، تنظیم مرز به همان اندازه در مدل سازی SD مهم است (Schwaninger & Groesser, 2020). متغیرهای مشخص شده در این مقاله در بخش های قبل، آورده شده است.

د) حلقه های تحقیق

در این تحقیق از روش علت و معلولی و در نهایت تبدیل آن به نمودار جریان برای مدلسازی و نشان دادن روابط بین فاکتورهای تاثیر گذار، استفاده شده است. همان گونه که قبلا اشاره شد، عوامل ارائه شده در جدول ۱ مورد بررسی قرار گرفته و روابط علت و معلولی و در نهایت حلقه ها تعیین شده است که به صورت دو بخش مربوط به متغیرهای حالت محصول جدید سبز، رضایت مشتری و توالی حمل و نقل کامیون ها در شکل های ۳ و ۴ نشان داده شده است.

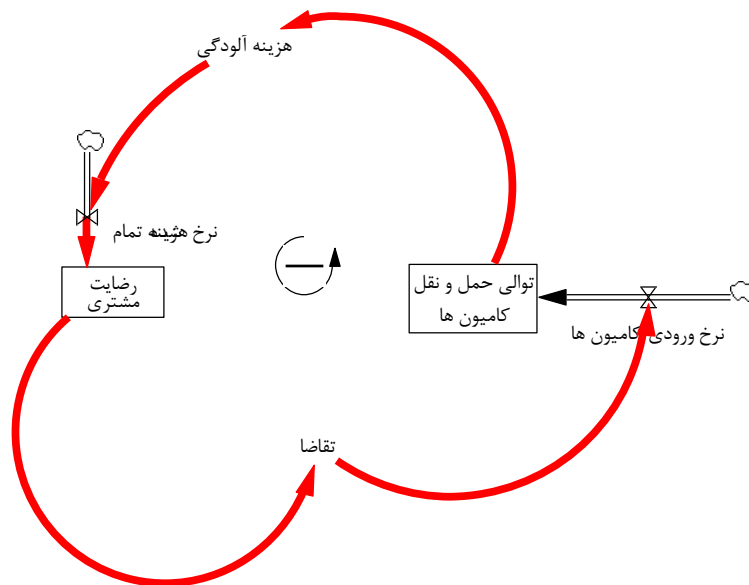


شکل شماره (۳): حلقه اصلاحی اول مربوط به متغیرهای حالت محصول جدید سبز و رضایت مشتری

این حلقه اولین حلقه اصلاحی مدل است. قریشی و همکاران^۵ (۲۰۱۹) در مطالعات خود نشان داده اند که خطوط تولید، در زمانی که تجهیزات به روز نباشند و از سوخت هایی مانند سوخت های فسیلی استفاده کنند، آلودگی ایجاد می کنند و این آلودگی ها منجر به افزایش انتشار گازهای گلخانه ای می گردد. از طرفی بیان می دارند که این آلودگی ها با میزان زمان تولید و در نتیجه میزان تولید رابطه مستقیم دارد و با افزایش میزان تولید، افزایش می یابد، بنابراین یکی از مسائلی که می تواند این آلودگی را کاهش دهد تولید سبز است و برای رسیدن به این مهم نیازمند اجرای پروژه های جدید در این زمینه هستیم. یانگ و همکاران^۶ (۲۰۱۹) بیان می دارند که با گسترش صنعت و افزایش میزان انتشار گازهای گلخانه ای، فشارهای قانونی و اجتماعی به کارخانجات جهت کاهش آلودگی، افزایش می یابد و با افزایش این فشار، کارخانجات هرچه بیشتر نیاز به سیستم های تولید سبز را احساس می کنند و برای ایجاد چنین سیستمی نیاز به تغییر خطوط تولید می باشد و این تغییر هزینه راه اندازی را افزایش می دهد. از طرفی راه اندازی این سیستم ها سبب کاهش آلودگی تولید و در نهایت هزینه آلودگی و به سبب آن کاهش هزینه تمام شده می گردد. در شکل ۴ حلقه دوم نشان داده شده است.

⁵ Qureshi et al.

⁶ Yang et al.



شکل شماره (۴): حلقه اصلاحی دوم مربوط به متغیرهای حالت رضایت مشتری و توالی حمل و نقل کامیون ها حلقه دوم نیز یک حلقه اصلاحی است. مانربا و پربولی^۷ (۲۰۱۹) در مقاله خود نشان داده اند که افزایش میزان حمل و نقل در یک زنجیره تامین، باعث افزایش هزینه آلودگی که یکی از موارد تاثیرگذار بر نرخ هزینه تمام شده است، باعث می گردد تا رضایت مشتری کاهش یابد و به سبب آن تقاضا کاهش یابد. از طرفی هر چه تقاضا کاهش یابد به دلیل کاهش اقلام تحویلی نرخ ورودی کامیون ها نیز کاهش می یابد و این کاهش باعث می گردد که توالی حمل و نقل کاهش یابد و این کاهش، آلودگی را کاهش می دهد. پیوندهای علی متغیرهای حالت مدل نیز به صورت زیر است:



شکل شماره (۵): پیوندهای علی متغیرهای حالت

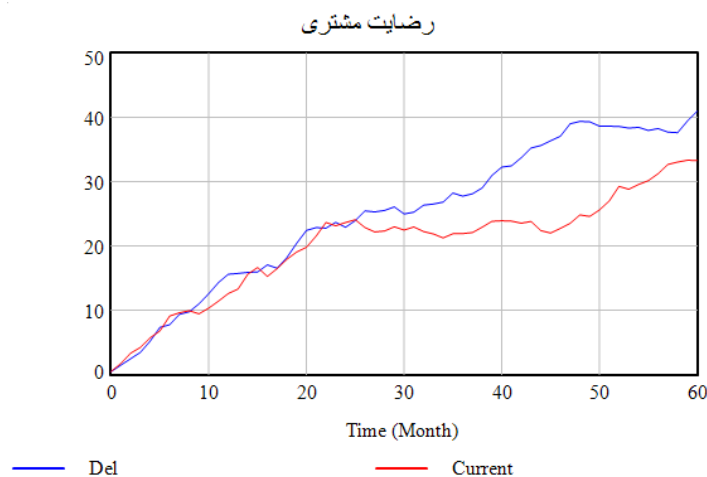
⁷ Manerba & Perboli

شکل ۵ پیوندهای علی متغیرهای حالت متغیرهای حالت محصول جدید سبز، توالی حمل و نقل کامیون ها، موجودی انبار و رضایت مشتری را نشان می دهد. بدین صورت که متغیرها از چپ به راست و بر اساس خطوط ارتباط نشان داده شده بر هم تاثیر می گذارند.

گام چهارم و پنجم: اجرای مدل سیستم دینامیک و اعتبارسنجی مجموعه ای از تستها را برای اعتبار سنجی مدل ارائه شده است که در این تحقیق معتبر بودن مدل پیشنهادی بر اساس این آزمونها، آزمون و سنجش میشود.

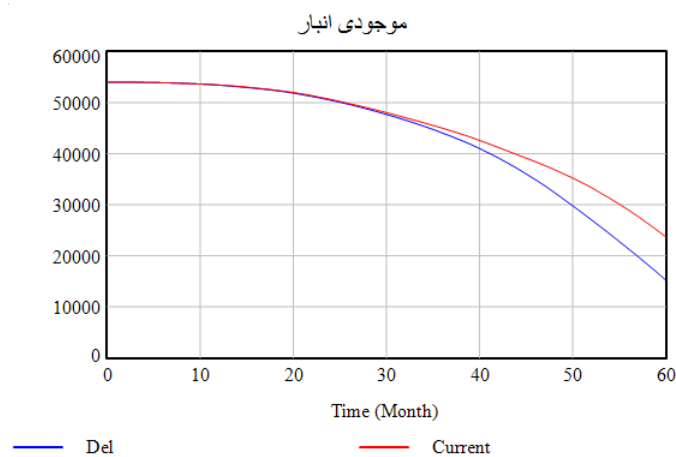
الف) آزمون کفایت مرز

کفایت مرز به این معناست که آیا متغیر در نظر گرفته شده، تاثیری بر متغیرهای دیگر می گذارد یا خیر. بدین صورت که اگر پس از بررسی مشخص گردید که متغیری تاثیر چندانی بر دیگر متغیرها نمی گذارد، آن متغیر خارج از مرز سیستم نامیده می شود و حذف می گردد. برای بررسی تاثیر متغیرها بر مدل، در مراحل بعد با حذف هر کدام از آنها، تاثیرشان را بر کل مدل نمایش می دهیم. در شکل ۶ تاثیر حذف عامل هزینه حمل و نقل نشان داده شده است. این عامل به صورت غیرمستقیم بر رضایت مشتری تاثیر دارد. حذف این متغیر به معنی نادیده گرفتن آن در شبیه سازی است (و نه عدم وجود این متغیر در دنیای واقعی). این بار مشاهده می گردد که این متغیرها به شدت از هم تاثیر می پذیرند و با حذف این عامل رضایت مشتری به چه میزان افزایش می یابد.



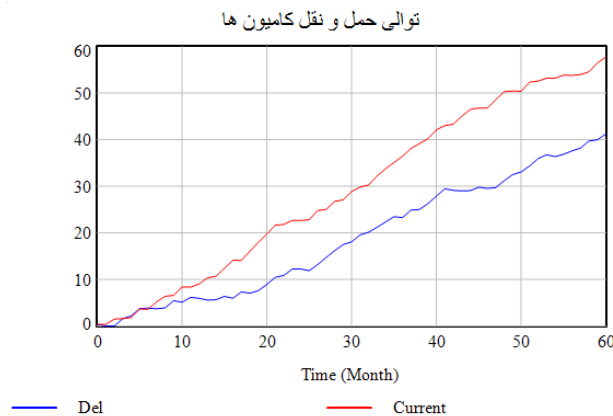
شکل شماره (۶): تاثیر حذف عامل هزینه حمل و نقل بر رضایت مشتری

در شکل ۷ اثر حذف عامل نرخ ورودی موجودی بر متغیر موجودی انبار نشان داده شده است.



شکل شماره (۷): تاثیر حذف عامل نرخ ورودی موجودی بر متغیر موجودی انبار

نادیده گرفتن این عامل نیز به کاهش موجودی انبار منجر می گردد. مشخص است که اگر نرخ ورودی موجودی کم باشد متغیر موجودی انبار کم خواهد بود زیرا محصولی برای نگهداری از آن وجود ندارد. در شکل ۸ تاثیر حذف عامل نرخ تقاضا بر توالی حمل و نقل کامیون ها نشان داده شده است.

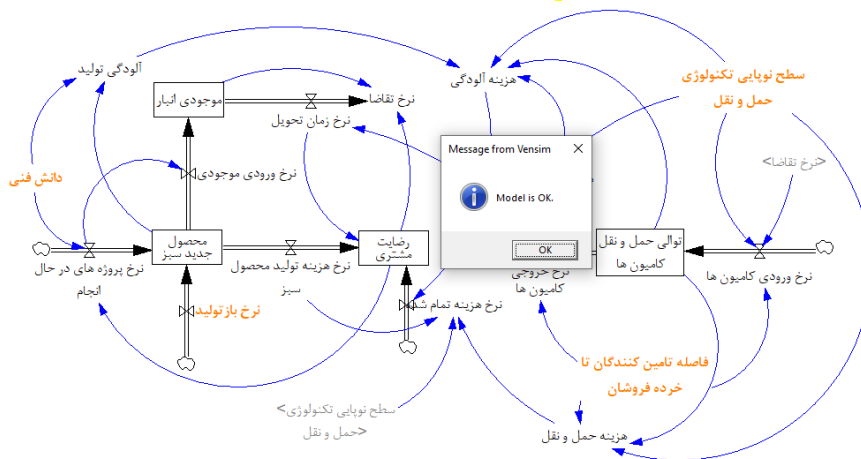


شکل شماره (۸): تاثیر حذف عامل نرخ تقاضا بر توالی حمل و نقل کامیون ها

شکل ۸ نشان داده شده است که حذف این متغیر تا چه میزان می تواند بر عامل توالی حمل و نقل کامیون ها موثر باشد و آن را کاهش دهد. به عبارت بهتر با کاهش تقاضا و عدم وجود محصول برای جابه جایی، حمل و نقل نیز کاهش می یابد.

(ب) آزمون ارزیابی ساختار

اعتبارسنجی ساختار بدین معنی است که روابط مورد استفاده در مدل به مقدار کافی روابط واقعی در ارتباط به هدف پژوهش را مدنظر قرار داده است. از آنجا که در این تحقیق معادلات مربوط به مدل در محیط نرم افزار ونسیم نوشته شده است، صحیح بودن ساختار معادلات مدل توسط نرم افزار تأیید شد.



شکل شماره (۹): صحت ساختار معادلات در نرم افزار ونسیم

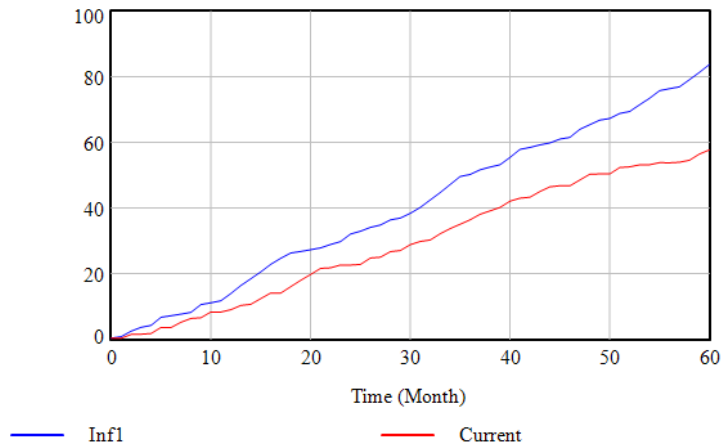
(ج) آزمون ارزیابی پارامتر

پارامترها و فاکتورهای مدل در این پژوهش با استفاده از ارزیابی مقایسه ای با مدل مرجع انجام شده است و در آخر با مشاوره خبرگان این موارد تأیید شده است. این پارامترها پس از حذف موارد مشابه به صورت جدول شماره ۱ معرفی شده اند.

(د) آزمون شرایط حدی

در این آزمون به بررسی رفتار مدل در شرایطی که ورودی های مدل در شرایط حدی قرار دارند، یعنی زمانیکه در کمترین حد خود و یا بیشترین حد خود هستند، پرداخته می شود. در این بررسی، ملاحظه می گردد که مدل در این شرایط نیز پایدار است یا خیر. در بخش آزمون کفایت مرز وضعیت متغیرهایی در حالت بینهایت (حداقل و حداکثر مقدار) بررسی شد. وضعیت اول: افزایش سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل به سمت ۱۰۰ (شکل ۱۰).

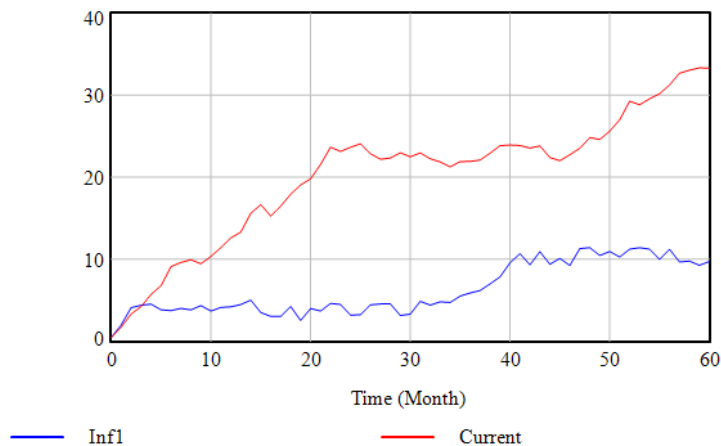
توالی حمل و نقل کامیون ها



شکل شماره (۱۰): رفتار مدل در حالتی که سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل نزدیک به صد است

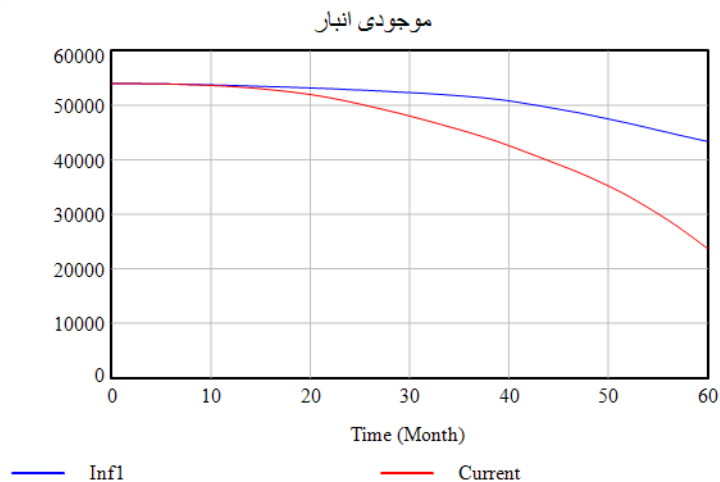
اگر سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل بسیار بالا بیاید، به دلیل افزایش بهره‌وری سیستم حمل و نقل، امکان حمل و نقل زیاد وجود دارد که این امر مطابق یکی از مهمترین اهداف پژوهش است. وضعیت دوم: افزایش هزینه حمل و نقل به سمت صد (شکل ۱۱).

رضایت مشتری



شکل شماره (۱۱): رفتار مدل در حالات حدی هزینه حمل و نقل

اگر هزینه حمل و نقل به سمت بالا میل کند همانگونه که در این شکل نشان داده شده است، به دلیل افزایش قیمت تمام شده محصول تحویل داده شده به مشتری، میزان رضایت مشتری به شدت کاهش خواهد یافت. وضعیت سوم: سطح نرخ ورودی موجودی در بالاترین حالت خود قرار دارد (شکل ۱۲).

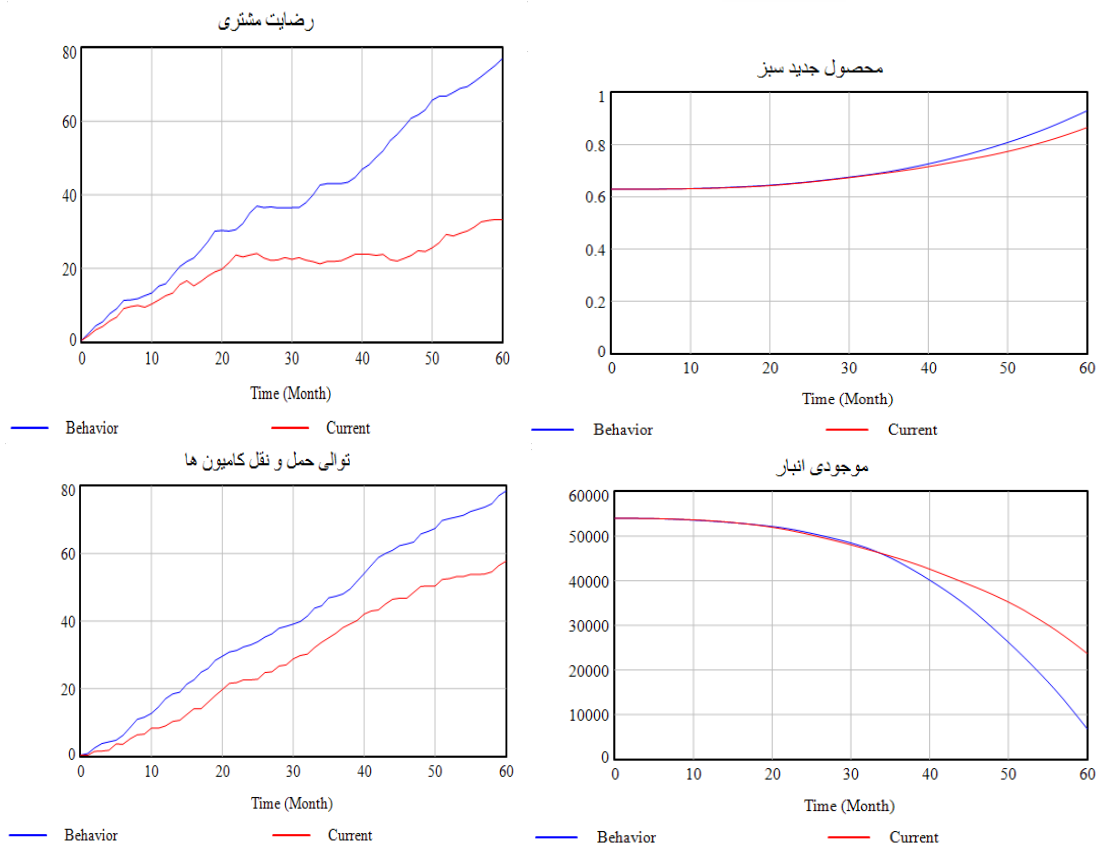


شکل شماره (۱۲): رفتار مدل در حالات حدی نرخ ورودی موجودی

در شکل ۱۲ نشان داده شده است که اگر نرخ ورودی موجودی به بالاترین حد خود برسد موجودی انبار به شدت افزایش می یابد.

ه) آزمون بازتولید رفتار

برای پاسخ گویی به این مسئله که آیا این مدل، رفتار سیستم را در شرایط واقعی بازسازی و نمایان می کند یا نه، با استفاده از آزمون بازتولید رفتار، به ارزیابی پرداخته می شود. با توجه به اینکه محقق معتقد است که با توجه به بررسی های گسترده مطالعات پیشین، این تحقیق، متغیرهای اثرگذار بر محصول جدید سبز، توالی حمل و نقل کامیون ها، موجودی انبار و رضایت مشتری را در بر گرفته است، لذا قادر می باشد که رفتار سیستم را پس از شناسایی معیارها پیش بینی نماید. در شکل ۱۳ نشان داده شده است که با کنترل و کاهش هزینه حمل و نقل به ترتیب می توان محصول جدید سبز، توالی حمل و نقل کامیون ها و رضایت مشتری را افزایش و موجودی انبار را کاهش داد.



شکل شماره (۱۳): آزمون باز تولید رفتار

(و) آزمون تحلیل حساسیت

در مرحله بعد از شبیه سازی سیستم و بررسی رفتار هر یک از متغیرها، بایستی به بررسی تغییر متغیرها و رفتار پیش آمده متناسب مربوط به آن توسط سیستم پرداخته می شود. این موضوع با توجه به ایجاد تغییرات در پارامترها در بخش های پیشین و در شکل های مربوط به این تغییرات، آزموده و نشان داده شده است.

گام چهارم: سناریوسازی و ارائه خروجی های مدل

در آخرین گام و پس از تحلیل و بررسی فاکتورهای مدل و تعیین میزان و نوع اثرگذاری آن بر روی فاکتورها و متغیرهای اصلی مورد هدف پژوهش، زمان آن است که با تعریف سناریوهای متفاوت، مسیر را برای رسیدن به استراتژی های کاربردی، شناسایی کرد. در این تحقیق با توجه به نظر خبرگان و با توجه به برخی از مقالات رسمی سه سناریو در نظر گرفته شده است. بر همین اساس در شکل ۱۴ این سناریوها نشان داده شده است. این ۳ سناریو با در نظر گرفتن شرایط مختلف و با هدف بررسی نتایج در صورت تحقق سناریو، نوشته شده اند.

سناریوی ۱: تغییر در سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل:

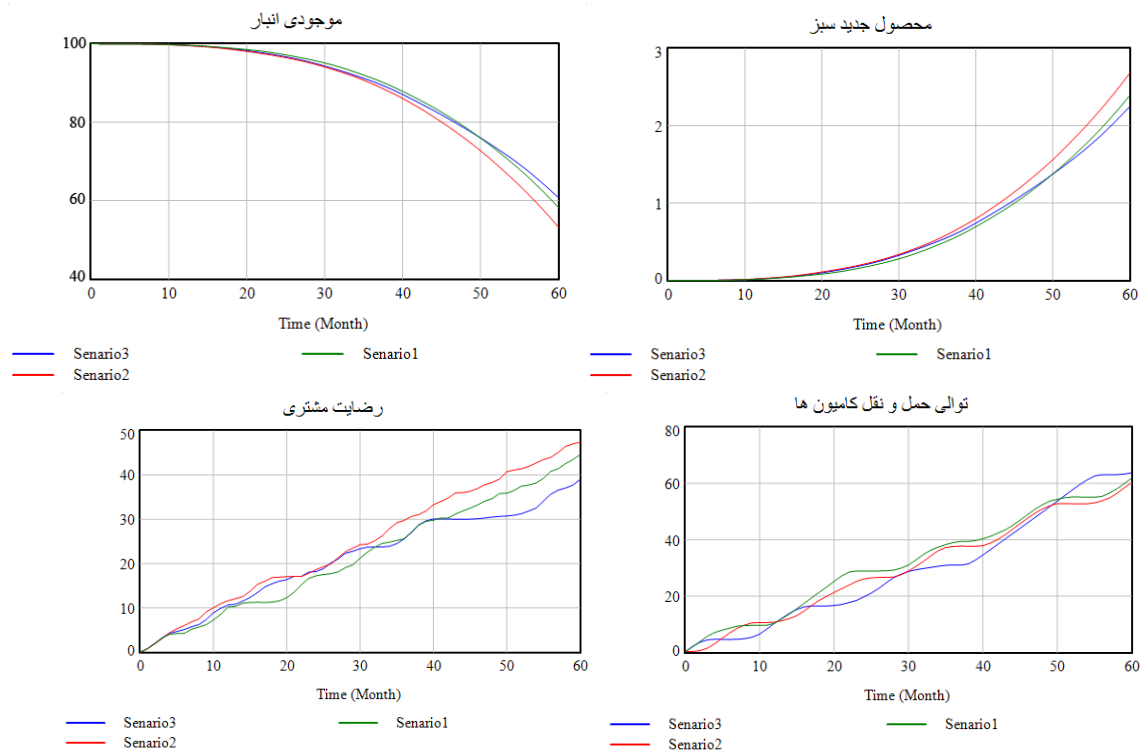
در این سناریو بررسی شده است که در صورتیکه سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل افزایش یابد، چه نتایجی در سیستم حاصل می گردد. افزایش سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل، باعث کاهش میزان مصرف سوخت و در نتیجه آن کاهش آلودگی و در پی آن هزینه آلودگی می گردد. از طرفی با افزایش این سطح و با توجه به ورود تکنولوژی های جدید حمل و نقل، سرعت انتقال افزایش یافته و در نتیجه نرخ ورودی کامیون ها، افزایش می یابد. این افزایش به نوبه خود، متوسط هزینه حمل و نقل را افزایش می دهد و از سویی دیگر نوپایی تکنولوژی هزینه حمل و نقل را به دلایلی مانند مصرف سوخت پایین تر، تعمیرات کمتر و ... کاهش می دهد. در نهایت به کاهش هزینه حمل و نقل و هزینه آلودگی که هر دو متاثر از سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل می باشد، هزینه تمام شده محصول، کاهش می یابد و این کاهش در قیمت تمام شده موثر است و آن را کاهش می دهد و رضایت مشتری از این کاهش قیمت، افزایش می یابد.

سناریوی ۲: افزایش نرخ پروژه های در حال انجام از طریق افزایش دانش فنی:

طراحی سیاست های مناسب در راستای افزایش دانش فنی تیم سازمان و استفاده بهینه از این دانش جهت افزایش نرخ پروژه های در حال انجام برای رسیدن به وضعیت مناسب در تولید سبز، سبب افزایش میزان و کیفیت تولید سبز می گردد که افزایش تولید، نرخ ورودی موجودی را افزایش می دهد و افزایش کیفیت، نرخ هزینه تولید محصول سبز را کاهش می دهد. با افزایش نرخ ورودی موجودی، موجودی انبار افزایش می یابد اما با کاهش نرخ هزینه تولید محصول سبز و کاهش هزینه تمام شده، رضایت مشتری افزایش یافته و با افزایش رضایت مشتری، نرخ تقاضا بالا می رود و در نهایت منجر به کاهش موجودی انبار می شود.

سناریوی ۳: افزایش سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل و نرخ پروژه های در حال انجام از طریق افزایش دانش فنی به صورت همزمان:

در این سناریو به صورت همزمان دو سناریو قبل به حالت اجرا در آورده و نتایج مربوطه را بررسی کرده ایم. با در نظر گرفتن این سناریوها مجدداً مدل اجرا می شود و تغییرات متغیرهای حالت در این ۳ سناریو و نتایج برای متغیر حالت میزان تولید، موجودی کل زنجیره و هزینه کل سفر ترسیم شده است (شکل ۱۴).



شکل شماره (۱۴): سناریوهای مختلف

۳- بحث و نتایج

این مطالعه یک مدل شبکه زنجیره تأمین سبز را ارائه داده است که شامل مدلسازی پویایی سیستم، چند هدفه است. مدل شبکه زنجیره تأمین این پروژه همچنین شامل انتشار کربن، از جمله تولید شده در فرآیند حمل و نقل و آلودگی های حاصل تولید است. این مدل از سطح نوپایی تکنولوژی حمل و نقل برای کاهش انتشار کربن در طی فرآیند حمل و نقل و پروژه های جدید تولید سبز حاصل از دانش فنی، استفاده کرده است. این مدل می تواند توسط شرکت های بزرگ هنگام استفاده از محیط زیست محلی در طراحی شبکه های زنجیره تأمین، مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس، ابتدا به بررسی مطالعات پیشین و در نهایت تعیین شکاف مطالعاتی پرداخته شد. سپس روش تحقیق برای پوشش این شکاف معرفی شد. در مرحله بعد با استفاده از مطالعات پیشین و نظر خبرگان، متغیرهای مورد نظر تعیین شده و مدل پویایی سیستم طراحی شد. سپس به آزمایش و اعتبارسنجی مدل ساخته شده پرداخته شد و در نهایت به طراحی ۳ سناریو و اجرای آن ختم شد.

در این مقاله، ما به افزونه ای از مسئله یکپارچه تولید-موجودی-مسیریابی (IPIRP) می پردازیم، زیرا ما زنجیره تأمین سبز را به عنوان یک جنبه پایدار در نظر می گیریم و فرض می گیریم که تولیدات از آن پشتیبانی می کنند. یک مدل پویایی سیستم برای مسئله در نظر گرفته شده ارائه شده است. هدف این است که هر دو مقدار بهینه میزان تولید و موجودی کل زنجیره در حین پاسخگویی به درخواست مشتریان (تحويل ها و وانت ها) با حداکثر رضایت مشتری به دلیل عملیات یکپارچه در نظر گرفته شده، تعیین کنیم. از این مدل برای تحلیل روابط بین این اجزا استفاده شده است. پس از طراحی سه سناریو و نزدیک شدن به خواسته های تحقیق، مشاهده شد که سناریو ۲ از نظر رضایت مشتری و میزان تولید بالاترین حالت را داراست و از نظر میزان موجودی انبار و توالی حمل و نقل پایین ترین میزان را پوشش داده و از سایر سناریوها بهتر عمل کرده است. این امر بیان گر این موضوع است که در صورتی که افزایش نرخ پروژه های در حال انجام از طریق افزایش دانش فنی در دستور کار قرار بگیرد، رضایت مشتری و میزان تولید به بالاترین سطح خود خواهد رسید. این سناریوها نشان داده اند که میزان تولید و موجودی انبار با توجه به هزینه نگهداری، در سناریو شماره ۲ به حالت ایده آل در می آیند بنابراین با توجه به سیاست های مدیران سازمان می توان این سناریو را در آینده مد نظر قرار داد. براساس نتایج بدست آمده توصیه می شود:

- با طراحی و اجرای پروژه های مناسب برای رسیدن به وضعیت مناسب در تولید سبز، افزایش میزان و کیفیت تولید سبز محقق می گردد که افزایش تولید، نرخ ورودی موجودی را افزایش می دهد و افزایش کیفیت، نرخ هزینه تولید محصول سبز را کاهش می دهد. با افزایش نرخ ورودی موجودی، موجودی انبار افزایش می یابد. از آنجایی که اصطلاح « مدیریت زنجیره تأمین سبز» به مفهوم ادغام فرآیندهای زیست محیطی پایدار در زنجیره تأمین سنتی است و این امر می تواند شامل فرایندهایی مانند طراحی محصول، تهیه و انتخاب مواد، تولید و بهره برداری باشد لذا با افزایش تولید محصول سبز و کاهش هزینه آن و در آخر توزیع سریع و کاهش آلودگی حمل و نقل و موارد دیگر، با اجرای این استراتژی، اعمال زنجیره تأمین سبز نیز بهبود می یابد.
 - برای تحویل سریع تر و کم هزینه تر، از سیستم های هوشمند حمل و نقل و تکنولوژی های جدید استفاده شود. همچنین استفاده از این سیستم ها علاوه برای این نکات، به دلیل بهبود فرآیندهای مصرف سوخت آن ها، به سبزی زنجیره کمک می کند.
 - برای کاهش نرخ هزینه تولید محصول، که بر مسائل متفاوتی همچون کاهش هزینه تمام شده، آزادسازی منابع مالی و در نتیجه قابلیت افزایش میزان تولید و در نهایت سودآوری تاثیر می گذارد، نرخ پروژه های در حال انجام از طریق افزایش دانش فنی در راستای افزایش سطح تولید سبز، افزایش یابد.
 - برای کاهش مسافت میان گره ها و در نتیجه زمان تحویل و هزینه مسیر، از سیستم های بهینه سازی تخصیص مکان و جانمایی مناسب تسهیلات استفاده شود.
- لذا با توجه به این موارد بهترین انتخاب در بین این سناریوها براساس اهداف از پیش تعیین شده و استفاده از نتایج به دست آمده سناریو شماره ۲ است. در این راستا، برای کمک به سازمان برای دستیابی به این برنامه ها برای متغیرهای مربوطه، باید راهکارهایی پیشنهاد شود. در مطالعات آینده، محققان می توانند رویکردهای لازم برای تحقق این برنامه ها را توسعه دهند و استراتژی های مدیریتی را برای اجرای این مدل مورد بررسی قرار دهند. همچنین می توان به ارزیابی اقتصادی اجرای پروژه های در حال انجام و پیشنهادی توسط سازمان پرداخت و این مورد می تواند یکی از تحقیقات مکمل برای تحقیق موجود در آینده باشد. در آخر باید به این امر توجه کرد که به دلیل اینکه در این تحقیق سعی شده است که مدلسازی به صورت یکپارچه و با در نظر گرفتن تمامی جنبه های موثر بر زنجیره تامین سبز، انجام پذیرد، لذا با ورود مشتری در این زنجیره و به عنوان آخرین جایگاه زنجیره و تاثیر تقاضای آن بر زنجیره و در طول اجرای آن، با بررسی مطالعات پیشین و تعیین روابط علت و معلولی میان متغیرها، چرخه رضایت مشتری- تقاضا- زمان تحویل، نیز در این مدل مد نظر قرار گرفته است و اجرای مدل بر نقش آن بر زنجیره تامین سبز، صحنه گذاشت. خود متغیر رضایت مشتری از سه نرخ تاثیر می پذیرد، نرخ هزینه تولید محصول سبز، نرخ هزینه تمام شده و نرخ زمان تحویل که این سه نرخ رابطه معکوسی با رضایت مشتری دارد و هرچه این نرخ ها پایین تر باشد، رضایت افزایش می یابد. از آنجایی که در زمان اجرای پروژه های جدید تولید سبز، هزینه ها و زمان تحویل متغیرهایی پرنوسان هستند، رضایت مشتری نیز حالتی سینوسی به خود می گیرد.

۴- منابع

1. Alinaghian, M., & Zamani, M. (2019). A bi-objective fleet size and mix green inventory routing problem, model and solution method. *Soft Computing*, 23(4), 1375-1391.
2. Badhotiya, G. K., Soni, G., & Mittal, M. L. (2019). Fuzzy multi-objective optimization for multi-site integrated production and distribution planning in two echelon supply chain. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(1-4), 635-645.
3. Bala, B. K., Arshad, F. M., & Noh, K. M. (2017). *System dynamics*. Springer Texts in Business and Economics.
4. Banasik, A., Kanellopoulos, A., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Claassen, G. D. H. (2019). Accounting for uncertainty in eco-efficient agri-food supply chains: A case study for mushroom production planning. *Journal of cleaner production*, 216, 249-256.
5. Beamon, B.M. (1998). Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, 55(3), 281-294.

6. Cao, Y., Zhao, Y., Wen, L., Li, Y., Wang, S., Liu, Y., ... & Weng, J. (2019). System dynamics simulation for CO2 emission mitigation in green electric-coal supply chain. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.029>
7. Forrester, J. W. (2007). System dynamics—the next fifty years. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 23(2-3), 359-370.
8. Garai, A., & Roy, T. K. (2020). Multi-objective optimization of cost-effective and customer-centric closed-loop supply chain management model in T-environment. *Soft Computing*, 24(1), 155-178.
9. Gharaei, A., & Jolai, F. (2018). A multi-agent approach to the integrated production scheduling and distribution problem in multi-factory supply chain. *Applied Soft Computing*, 65, 577-589.
10. Hendalianpour, A. (2018). Mathematical Modeling for Integrating Production-Routing-Inventory Perishable Goods: A Case Study of Blood Products in Iranian Hospitals. In *International Conference on Dynamics in Logistics* (pp. 125-136). Springer, Cham.
11. Liu, Y., Dehghani, E., Jabalameli, M. S., Diabat, A., & Lu, C. C. (2020). A coordinated location-inventory problem with supply disruptions: A two-phase queuing theory—optimization model approach. *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106326.
12. Manerba, D., & Perboli, G. (2019). New solution approaches for the capacitated supplier selection problem with total quantity discount and activation costs under demand uncertainty. *Computers & Operations Research*, 101, 29-42.
13. Manupati, V. K., Jedidah, S. J., Gupta, S., Bhandari, A., & Ramkumar, M. (2019). Optimization of a multi-echelon sustainable production-distribution supply chain system with lead time consideration under carbon emission policies. *Computers & Industrial Engineering*, 135, 1312-1323.
14. Mohammed, A., & Duffuaa, S. (2019, January). A Meta-Heuristic Algorithm Based on Simulated Annealing for Designing Multi-Objective Supply Chain Systems. In *2019 Industrial & Systems Engineering Conference (ISEC)* (pp. 1-6). IEEE.
15. Niu, B., Tan, L., Liu, J., Liu, J., Yi, W., & Wang, H. (2019). Cooperative bacterial foraging optimization method for multi-objective multi-echelon supply chain optimization problem. *Swarm and Evolutionary Computation*. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2019.05.003>
16. Nurjanni, K. P., Carvalho, M. S., & Costa, L. (2017). Green supply chain design: A mathematical modeling approach based on a multi-objective optimization model. *International Journal of Production Economics*, 183, 421-432.
17. Qureshi, N., Harry-O'kuru, R., Liu, S., & Saha, B. (2019). Yellow top (*Physaria fendleri*) presscake: A novel substrate for butanol production and reduction in environmental pollution. *Biotechnology progress*, 35(3), e2767.
18. Rad, R. S., & Nahavandi, N. (2018). A novel multi-objective optimization model for integrated problem of green closed loop supply chain network design and quantity discount. *Journal of cleaner production*, 196, 1549-1565.
19. Rebs, T., Thiel, D., Brandenburg, M., & Seuring, S. (2019). Impacts of stakeholder influences and dynamic capabilities on the sustainability performance of supply chains: A system dynamics model. *Journal of Business Economics*, 1-34.
20. Sarkar, B., Omair, M., & Choi, S. B. (2018). A multi-objective optimization of energy, economic, and carbon emission in a production model under sustainable supply chain management. *Applied Sciences*, 8(10), 1744.
21. Schwaninger, M., & Groesser, S. (2020). System Dynamics Modeling: Validation for Quality Assurance. *System Dynamics: Theory and Applications*, 119-138.

22. Song, M., Cui, X., & Wang, S. (2018). Simulation of land green supply chain based on system dynamics and policy optimization. *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.021>
23. Tajik, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Vahdani, B., & Mousavi, S. M. (2014). A robust optimization approach for pollution routing problem with pickup and delivery under uncertainty. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(2), 277-286.
24. Vafaenezhad, T., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Cheikhrouhou, N. (2019). Multi-objective mathematical modeling for sustainable supply chain management in the paper industry. *Computers & Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.05.027>
25. Yan, M. R., Chien, K. M., & Yang, T. N. (2016). Green component procurement collaboration for improving supply chain management in the high technology industries: A case study from the systems perspective. *Sustainability*, 8(2), 105.
26. Yang, G., Zhang, W., & Zha, D. (2019). Industrial production: Pursuing scale expansion or pollution reduction? Judgment based on the Copeland-Taylor model. *Journal of cleaner production*, 216, 14-24.
27. Zhang, H., & Yang, K. (2020). Multi-objective optimization for green dual-channel supply chain network design considering transportation mode selection. In *Supply Chain and Logistics Management: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 382-404). IGI Global.

Provide A System Dynamics Model for Optimizing Multi-Objective Production-Inventory-Routing in the Green Supply Chain under Conditions Of Uncertainty

Katayoun Naderi

Department of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Roya M.Ahari(Corresponding Author)

Department of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Email: Roya.ahari@pin.iaun.ac.ir

Javid Jouzdani

Department of Industrial Engineering, Golpayegan University of Technology, Golpayegan, Iran

Atefeh Amindoust

Department of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Abstract

This study examines the cost, customer satisfaction and environmental protection to design a multi-objective optimization model using system dynamics and to provide a system dynamics model for multi-objective production-inventory-routing in the green supply chain under uncertainty. By customer demand for several periods, the model can make decisions by focusing on decisions such as the choice of supplier and retailer according to the distance between them, production models and the nascent level of transportation technology. For this purpose, to collect information, first using previous studies, the variables affecting the model (20 variables) were determined, then according to the experts, these variables were analyzed, then the relationships between the selected variables using the model. Cause and effect were identified and then the research modeling was completed by designing a system dynamics model and evaluating it through tests defined by execution in vensim software. Finally, three scenarios were developed to determine the strategies affecting the model. The results indicate the most effective strategies in achieving the desired situation, maximum customer satisfaction, minimum cost and inventory and maximum production with proper implementation of ongoing projects in the direction of green production using appropriate technical knowledge.

Keywords: System Dynamics Model, Optimization, Uncertainty, Production-Inventory-Routing.