

ارایه یک مدل شبیه‌سازی چندهدفه و گسسته پیشامد جهت بازپرسازی موجودی در سیستم زنجیره تامین

سید محمدعلی خاتمی فیروزآبادی^{۱*}، مقصود امیری^۲، پرهام عظیمی^۳، بهزاد مقیمی شهری^۴

۱-استاد، دانشگاه علامه طباطبایی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران

۲-استاد، دانشگاه علامه طباطبایی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران

۳-دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

۴-دانشجوی دکتری، مدیریت صنعتی، دانشگاه علامه طباطبایی، گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۷ فروردین ۱۴۰۲

پذیرش مقاله: ۲۲ شهریور ۱۴۰۲

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائلی که مدیران در هنگام مواجهه با عدم قطعیت بالا در زنجیره تامین با آن روبه‌رو هستند کمبود سطح موجودی در هنگام دریافت تقاضای غیرقابل پیش‌بینی است که منجر به افزایش هزینه کل زنجیره تامین می‌شود. این تحقیق درصدد گزینش سناریوی مناسب در بازپرسازی موجودی بر اساس سیاست (R, Q) در زنجیره تامین شرکت‌های توزیع نیروی برق است که مدل آن بر اساس اهداف حداقل نمودن هزینه کل موجودی، متوسط سطح موجودی در دست و نسبت تقاضای برآورده‌نشده مشتریان تعریف شده است. برای این منظور از طراحی آزمایش‌ها به منظور سناریوسازی مدل استفاده شد که نتایج هر یک از آن‌ها با به‌کارگیری روش شبیه‌سازی گسسته پیشامد به‌دست آمد و سپس از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تحلیل سناریوها استفاده شد همچنین داده‌های مورد نیاز از طریق جستجو در اسناد و مدارک سازمانی و مصاحبه با خبرگان صنعت جمع‌آوری شد. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که حد میانی مقادیر نقطه سفارش بهینه و مقدار سفارش در محصول اول در دو خرده فروش و حد بالایی آن‌ها برای محصول دوم در دو خرده فروش منجر به کاهش هزینه‌های مدل مورد بررسی گردیده است. از جمله نتایج دیگر این پژوهش این است که هر چه نقطه سفارش مجدد محصول اول و میزان سفارش محصول دوم کاهش یابد هزینه زنجیره تامین افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی چندهدفه، مدل گسسته پیشامد، بازپرسازی موجودی، طراحی آزمایش‌ها، روش تصمیم‌گیری چندمعیاره.

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: a.khatami@atu.ac.ir

۱ مقدمه

امروزه در فضای رقابت جهانی، شرکت‌ها بر روی افزایش سرمایه و دارایی‌های مشهود و نامشهود خود تمرکز می‌کنند که برای نیل به آن می‌بایست توانمندی‌های نوآورانه خود را تقویت نمایند [۱]. با توجه به شیوع ویروس کرونا و پیامدهای آن، وضعیت اقتصاد جهانی دچار بحران شدیدی شده است که منجر به کاهش ظرفیت‌های شبکه توزیع گردیده و آن دسته از تولیدکنندگانی که دارای توانمندی نوآورانه نبودند را وادار به تعدیل هزینه‌های موجودی خود نموده است [۲]. به طور کلی هدف کنترل موجودی برآورده نمودن خواسته‌های مشتری در سطح قابل قبول است که هم‌زمان هزینه‌های کل را به حداقل ممکن برساند [۳] و به شرایط متعددی همچون انتخاب ارایه‌دهندگان کالا، سیستم حمل و نقل، موقعیت جغرافیایی و ... وابسته است، به عبارت دیگر با توجه به ثابت بودن هزینه‌های سربار، مدیریت مستقیم هزینه‌های کالا و مواد در مدیریت کنترل موجودی می‌تواند منجر به کاهش میزان هزینه‌های کل گردد [۴] از جمله عوامل مهم و تاثیرگذار دیگر در سطح کنترل موجودی، زمان سفارش کالای موجود در انبار می‌باشد، همچنین با توجه به نوسانات بازار میزان تقاضای مشتریان می‌تواند غیر قطعی باشد، بنابراین برای داشتن سطح موجودی معین شرکت‌های ذینفع در زنجیره تامین نیاز به پیش‌بینی تقاضای مشتریان خود به منظور تامین تجهیزات و نیروی انسانی مورد نیاز دارند [۵]. دو جریان برگشت سفارش و فروش از دست رفته تاثیر مستقیمی بر روی بازپرسازی موجودی دارند؛ اما محققین توجه بیشتری بر روی مدل‌های برگشت سفارش داشته‌اند و کمتر بر روی مدل‌های فروش از دست رفته تمرکز نموده‌اند [۶] و یکی از مهم‌ترین علل کاهش توجه سطح محاسبات پیچیده و تحلیل دشوار آن می‌باشد [۷]. در شرایط غیرقطعی که تحلیل مساله پیچیده و زمان‌بر است، شبیه‌سازی به عنوان ابزاری کاربردی با استفاده از سناریوهای برنامه‌ریزی ظرفیت مدل بازپرسازی موجودی را اجرا می‌نماید [۸]. به طور کلی شبیه‌سازی به دنبال تعیین مقادیر بهینه پارامترهای مدل کنترل موجودی هستند تا بتوانند اهدافی همچون هزینه موجودی کل شامل هزینه‌های نگهداری، سفارش، فروش از دست رفته و ... را کاهش و سود هر یک از اجزاء زنجیره تامین را حداکثر نمایند [۹]. در مطالعه صورت گرفته بر روی انبارهای کالاهای شبکه و تجهیزات شرکت‌های توزیع برق، با توجه به عدم پیش‌بینی میزان تقاضا در دوره‌های متمادی و عدم تطابق سفارش با تقاضا در هر یک از حلقه‌های زنجیره تامین، کالاهای شبکه نیاز به مدل‌سازی برنامه‌ریزی چندهدفه بازپرسازی موجودی با رویکرد شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد دارند.

۲ بیان مساله

امروزه محیط کسب و کار مملو از چالش‌ها و اختلالات متعددی می‌باشد [۱۰]، ازسوی دیگر توسعه تکنولوژی سیستم‌های اطلاعاتی منجر به رشد سریع نرم‌افزارها و تحلیل داده‌ها شده است که منجر به کاهش هزینه‌های اشتراک گذاری اطلاعات مربوط به بازپرسازی سفارشات گردیده و استفاده از آن تاحدودی چالش‌های زنجیره تامین را کاهش می‌دهد. از جمله کارکردهای سیستم‌های اطلاعاتی چگونگی ادغام کالاها با هدف بهبود در روند جابجایی کالا است که ممکن است هزینه‌های حمل و نقل را کاهش دهد اما گاهی زمان انتظار را افزایش دهد و یا موجودی دپوشده را بیشتر کند [۱۱]. به طور کلی مواد خام توسط تامین‌کنندگان برای تولیدکنندگان در یک

زنجیره تامین عرضه می شود و سپس تولیدکننده به پردازش و یا مونتاژ مواد می پردازد، در حین پردازش مواد خام و تبدیل آن به محصول نهایی سفارشات از مشتریان دریافت می گردد و بر اساس زمان تحویل محصول به مشتریان ارسال می گردد. برای تحویل به موقع و منسجم کالا به مشتریان جریان مواد، اطلاعات و مالی در حلقه های زنجیره تامین از تامین کننده مواد خام تا مشتری در حال گردش است [۱۲].

تقاضای مصرف کننده بخش مهمی از زنجیره تامین است که نقش اساسی در اهداف استراتژیک هر شرکتی ایفا می کند. به صورت کلی عدم قطعیت تقاضا منجر به عدم توازن و هماهنگی در عرضه و تقاضا می شود و آن عامل ایجاد موجودی می گردد. فقدان هماهنگی در عرضه و تقاضا به دو علت عمده ایجاد می شود؛ عامل اول زمان متفاوت در عرضه و تقاضای کالا است و عامل دوم سطح متفاوت عرضه و تقاضای کالا در یک زمان می باشد [۱۳]. به طور کلی فاکتورهای اثرگذار بر زنجیره تامین شامل تقاضای مشتریان، قیمت فروش، نرخ تبدیل ارز، زمان تحویل سفارش، قیمت منابع، میزان در دسترس پذیری و ... می باشد. تخصیص بهینه منابع به مشتریان منجر به کاهش فقدان منابع و بهبود فاکتورهای اثرگذار بر زنجیره تامین می گردد [۱۴]. بسیاری از مدیران واحد تدارکات شرکت های توزیع نیروی برق در سطح ایران ضمن ابزار نگرانی از کمبود نقدینگی در خرید اقلام و کالاهای مورد نیاز در چند سال گذشته، بر استفاده بهینه از منابع موجود بیش از پیش تاکید می نمایند که می تواند میزان رضایت مشتریان را تا حد قابل قبولی بهبود ببخشد. از جمله مهم ترین اهداف حوزه تدارکات و انبارداری تهیه اقلام و کالاهای مورد نیاز، مشخص نمودن میزان مصرف کالا و زمان مناسب تهیه آن ها عنوان می شود که با توجه به این که کالاهای مورد نیاز، مشخص نمودن میزان مصرف کالا و زمان مناسب تهیه آن ها عنوان می شود که با بازپرسازی کالا غیر اتوماسیونی و دستی محاسبه می گردد؛ بنابراین نیاز به بهینه سازی اهداف مختلف برای حفظ منابع سازمان، کاهش اتلاف و افزایش رضایت مندی ذی نفعان و همچنین هماهنگی و مدیریت موجودی کالا بیش از پیش لازم و ضروری به نظر می رسد.

۳ اهمیت و ضرورت موضوع

کنترل سطح موجودی و اهمیت آن به دوران شکل گیری نخستین کارخانجات و کسب و کارهای خانوادگی برمی گردد. با تغییر ساختار شرکت های صنعتی از مدیریت مالکانه و انحصاری و روابط برد-باخت به مدیریت اشتراکی و روابط برد-برد در کنار شکل گیری و توسعه مفاهیم رقابت و جایگاه مشتری، شرکت ها به تدریج به سمت شبکه های کسب و کار گرایش پیدا کردند [۱۵]. با توجه به شرایط رقابتی شرکت ها در تلاش هستند تا هزینه های خود را کاهش دهند و بنابراین یکی از اقدامات اثربخش حداقل سازی سطح موجودی می باشد [۱۶]. اما از یک سو عوامل بیرونی همچون تحریم و عدم همکاری تامین کنندگان خارجی و از سوی دیگر عوامل داخلی همچون نبود مدیریت مناسب جریان نقدی و سیاست نامناسب منجر به کمبود موجودی می گردد که یکی از عوامل ایجاد بحران در صنایع به شمار می رود. ایجاد شرایط بحرانی یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در نحوه مدیریت بازپرسازی موجودی است و با توجه به این که کمبود موجودی و فروش از دست رفته بر روی مدیریت زنجیره تامین اثرگذار است بنابراین بهینه سازی آن نیاز به بررسی دقیق و سنجیده دارد [۱۷]. از شبیه سازی به منظور

کاهش هزینه‌های سیستم انبار- خرده فروش و سیاست (R, Q) استفاده می‌شود و تاثیر شگرفی بر روی مدیریت موجودی دارد [۱۸]. از جمله کاربردهای شبیه‌سازی در مدیریت موجودی زنجیره تامین می‌توان به شبیه‌سازی کنترل موجودی در نهادهای زنجیره‌تأمین [۱۹]، شبیه‌سازی مدل‌های صف با هدف ارزیابی رفتار مشتریان، شبیه‌سازی نحوه پاسخ به تقاضای سطوح پایین تر زنجیره تامین به منظور تحلیل موجودی در گردش [۲۰]، ارزیابی سیاست بازپرسازی انبار و طبقه‌بندی سیستم‌ها بر اساس مشخصه‌های کنترل موجودی [۲۱] و نیز بررسی سیستم‌های موجودی چندمحصولی با به کارگیری سیاست (R, Q) به منظور کاهش هزینه‌های نگهداری موجودی اشاره نمود. با توجه به فرایندهای تامین کنندگان شرکت‌های توزیع نیروی برق، مساله بازپرسازی موجودی به عنوان یکی از چالش‌های مهم این دست از شرکت‌ها به شمار می‌رود که در این راستا می‌بایستی برای بهبود سطح موجودی، ارتقاء سطح دسترسی به کالاها، نظارت بهتر بر روی حمل و نقل و ... اقدامات اساسی صورت پذیرد. با توجه به این که ماهیت کالا به صورت گسسته و قابل شمارش می‌باشد، بنابراین از متغیرهای گسسته در مدل‌سازی این مطالعه استفاده می‌گردد. در این پژوهش بر آن هستیم تا با اهداف حداقل نمودن هزینه کل موجودی، حداقل نمودن متوسط سطح موجودی در دست در طول دوره و حداقل نمودن نسبت تقاضای مشتری که برآورده نمی‌شود به کل تقاضا و محدودیت‌های مرتبط با مدل به بازپرسازی موجودی با رویکرد شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد پردازیم.

۴ پیشینه پژوهش

مدل نقطه اقتصادی سفارش یکی از اولین کاربردهای روش‌های علمی در مهندسی صنایع به شمار می‌رود و نقطه شروع نظریه اندازه دسته و زمان‌بندی محصول می‌باشد. این مدل مقدار تولید بهینه را محاسبه می‌نماید و هزینه کل موجودی را کاهش می‌دهد، همچنین هزینه‌های نگهداری و راه‌اندازی را به حداقل ممکن می‌رساند [۲۲]. از جمله محدودیت‌های مدل نقطه اقتصادی سفارش در نظر گرفتن تنها یک محصول می‌باشد که راجرز مساله زمان‌بندی اندازه اقتصادی دسته را با آن حل نمود. مساله زمان‌بندی اندازه اقتصادی دسته فرض می‌کند که ماشین در هر زمان فقط یک کالا را تولید می‌کند، نرخ تولید، زمان راه‌اندازی و هزینه‌های راه‌اندازی مشخص و مستقل از توالی تولید است، تقاضای هر کالا در یک افق برنامه‌ریزی شناخته شده و ثابت است. ظرفیت تولید محدود است و تمام تقاضا باید بدون عقب ماندگی برآورده شود، حال با توجه به مفروضات ذکر شده داده‌های ورودی مورد بررسی قرار می‌گیرند [۲۳]. مساله زمان‌بندی اندازه اقتصادی سفارش در حوزه‌های مختلف مانند سیستم‌های کنترل موجودی، شبیه‌سازی و ... گسترش یافته است که در ادامه به بررسی ادبیات مربوط به آن پرداخته می‌شود.

۴-۱ سیستم‌های کنترل موجودی

مدل‌های رایج کنترل موجودی بر این فرض استوار هستند که کالاها می‌توانند در زمان‌های نامعین ذخیره شوند تا تقاضاهای آینده را برآورده نمایند. اما در دنیای واقعی کالاهای مختلفی مانند دارو، مایعات فرار، خون و بسیاری از کالاهای دیگر وجود دارد که بسیار گران هستند و یا در هنگام جابجایی به انبار و یا نگهداری در آن آسیب

می‌بینند [۲۴] بنابراین مدل‌سازی برنامه‌ریزی کنترل موجودی در این دسته از اقلام بسیار پیچیده و دشوار می‌باشد. از جمله کالاهای فاسد شدنی محصولات کشاورزی می‌باشد که در پژوهشی لودری و اوزوچوکو^۱ یک مدل برنامه تولید برای کالاها با توزیع تقاضای یکنواخت و انتخاب مشتریان توسعه دادند، آن‌ها مدل خود را بر روی یک محصول کشاورزی توسعه دادند که در آن در صورت عدم استفاده پس از چند دوره محصول فاسد می‌شد بنابراین آن‌ها مدت زمان دریافت سفارش را به عنوان یکی از اهداف در نظر گرفتند [۲۵]. با توجه به اهمیت مدیریت موجودی کالاهای فاسد شدنی در پژوهشی لیانگ و ژائو^۲ یک مدل موجودی با دو انبار برای تعیین اقلام فاسدپذیر در شرایط تاخیر در ارسال سفارش را توسعه دادند [۲۶]. گیلدینگ^۳ نیز در پژوهشی برنامه‌ای برای بازپرسازی بهینه موجودی مبتنی بر زمان تقاضا و اقلام فاسد شدنی در یک افق زمانی محدود را برنامه‌ریزی نمود [۲۷].

با توجه به طیف عمر مختلف محصولات، تفکیک اقلام فاسد شدنی با سایر اقلام دشوار است. بنابراین در پژوهشی، کوئلیو و لاپورت^۴ مدلی با اهداف بهینه در مورد زمان، چگونگی و نحوه بازپرسازی محصولات با عمرهای مختلف به مشتریان را ارائه نمودند [۲۸]. با توجه به خرابی برخی از محصولات در حین مونتاژ، حمل و نقل و ... مدل‌های کنترل موجودی با در نظر گرفتن این مساله تعریف شدند، به عنوان مثال دیه و هسیه^۵ یک مدل موجودی را ارائه نمودند که در آن نرخ خرابی کالا و عقب ماندگی تحویل کالا به مشتری با هدف یافتن یک روش بازپرسازی بهینه در نظر گرفته شد [۲۹]. همچنین سو^۶ یک مدل موجودی یکپارچه را پیشنهاد داد که در آن اقلام معیوب برای بازپرسازی بهینه سفارش خرده‌فروشان در نظر گرفته می‌شد [۳۰]. در پژوهشی دیگر بارون و هرمل^۷ یک فرایند تولید و حمل موجودی پیوسته را در نظر گرفتند که یک ماشین یک فرایند خاص را در یک بافر محدود تولید می‌کرد [۳۱]. از آنجایی که مدل‌های اقتصادی تاثیر به سزایی بر روی کنترل موجودی کالاها دارند بنابراین محققین زیادی به این موضوع پرداخته‌اند. در پژوهشی چانگ و همکاران^۸ یک مدل تولیدی اقتصادی برای موجودی با دسترس‌پذیری تصادفی ارائه نمودند. آن‌ها چهار مدل EPQ با دو نوع ماشین با توزیع عدم دسترسی و کمبود در فروش از دست رفته و سفارش برگشتی را توسعه دادند که در مدل آن‌ها تقاضا و نرخ تولید ثابت در نظر گرفته شده بود [۳۲]. در پژوهشی دیگر هسیه و همکاران^۹ یک مدل با دو انبار را توسعه دادند که ارزش زمانی پول در آن در نظر گرفته شده بود. آن‌ها نشان دادند که میزان تخفیف با قدرت خرید ارتباط دارد، بنابراین آن‌ها هزینه خرید به جای هزینه معیوب شدن کالا را در مدل خود لحاظ کردند [۳۳]. همچنین وی و همکاران^{۱۰} مدلی را پیشنهاد کردند که در آن فروشنده استراتژی موجودی را مدیریت می‌نمود و چرخه هزینه و منفعت را برای دستیابی به سیاست بازپرسازی بهینه ایجاد نمود [۳۴]. در پژوهشی دیگر صادقی، فاروقی و

¹. Lodree Jr & Uzochukwu

². Liang & Zhou

³. Gilding

⁴. Coelho and Laporte

⁵. Dye and Hsieh

⁶. Su

⁷. Barron and Hermel

⁸. Chung et al.

⁹. Hsieh et al.

¹⁰. Wee, Lee, Jonas & Wang

صیدی به بررسی مقدار بهینه سفارش و مقدار بهینه کالای ارسالی تولیدکننده پرداختند به گونه‌ای که سود سیستم حداکثر شود [۳۵]. در پژوهشی دیگر روی، سانا و چاودوری^۱ مدل کمی سفارش را با استفاده از چارچوب مساله پسر روزنامه فروش مطالعه نمودند [۳۶]. از آنجایی که کارایی در مدیریت موجودی بسیار حیاتی می‌باشد، پژوهشگران زیادی بر روی این موضوع تمرکز نموده‌اند، در پژوهش احمدی و همکاران با استفاده از پویایی سیستم و تجزیه و تحلیل کنترل موجودی در زنجیره تامین حلقه بسته درصدد افزایش کارایی می‌باشند که در آن به وضعیت موجودی و تاثیر آن بر روی تولید در شرایط مختلف پرداخته است [۳۷].

۴-۲ شبیه‌سازی

شبیه‌سازی تقلیدی از عملکرد فرایند یا سیستم واقعی در دوره زمانی مشخص است که به ایجاد و بررسی تاریخچه سیستم به منظور دستیابی به نتیجه و ویژگی‌های عملکردی سیستم واقعی می‌پردازد [۳۸]. با توجه به زمان‌بر بودن شبیه‌سازی به صورت دستی، هنگامی که استفاده از کامپیوترهای دیجیتالی آغاز شد زبان‌های برنامه‌نویسی شبیه‌سازی با سرعت بالایی رشد یافتند که محققین زیادی از آن‌ها در هنگام مواجهه با مسایل پیچیده مدل‌سازی استفاده نمودند [۳۹] به عنوان مثال بوتانی^۲ از نرم‌افزار سیمول^۳ برای جابجایی لجستیکی کالا در یک انبار استفاده نمود، این نرم‌افزار می‌توانست داده‌هایی همچون تاریخ انقضا، نوع قطعه و تعداد تولید در یک انبار را از طریق فرکانس رادیویی^۴ جمع‌آوری نماید و داده‌های جمع‌آوری‌شده را در یک انبار داده^۵ ذخیره کند که از آن- آن‌ها برای استخراج اطلاعات از نتایج شبیه‌سازی استفاده نماید [۴۰]. همچنین گوپتا و همکارانش^۶ یک مدل شبیه‌سازی به نام شبیه‌ساز گسترده^۶ را معرفی نمود که در آن امکان شبیه‌سازی با قابلیت جست و جو در میان انبار داده‌ها برای تحقق اهداف عملکردی فراهم بود. گوپتا حجم کار را متناسب با برنامه‌زمان‌بندی و نحوه اجرای آن در نظر گرفته بود که منجر به تخصیص بهینه منابع برای دستیابی به اهداف عملکردی می‌گردید. بدین ترتیب او و همکارانش توانستند زمان‌بندی بار کاری جدید را بدون نیاز به انبار داده واقعی آزمایش کنند [۴۱]. امروزه ابزارهای تجاری که در شبیه‌سازی به کار می‌روند از میانگین نتایج استفاده می‌کنند که این امر منجر به پوشاندن جنبه‌های مهم رفتار سیستم می‌گردد. اما برخی از محققین از تجمیع داده‌ها برای شبیه‌سازی استفاده می‌نمایند به عنوان مثال در پژوهش اهمک و همکاران^۷ یک انبار داده گسترش یافت که در آن علاوه بر قابلیت ذخیره‌سازی داده اجازه تحلیل بر روی نتایج شبیه‌سازی به‌دست آمده را می‌داد. بدین طریق امکان استخراج اطلاعات از نتایج شبیه‌سازی به‌وسیله تجمیع این داده‌ها فراهم شد. مدل شبیه‌سازی ارایه‌شده توسط اهمک و همکاران در روند رشد گیاهان به کار رفت و مزایای این روش در مطالعه موردی واقعی نشان داده شد که منجر به ایجاد یک برنامه زمان‌بندی حمل و نقل بر روی فرایندهای عملیاتی و تغییر زیرساختی در سیستم آبراهه رودخانه می‌سی‌سی‌پی

¹. Roy, Sana, and Chaudhuri

². Bottani

³. Radio Frequency Identification (RFID)

⁴. Data Warehouse

⁵. Gupta et al

⁶. ExtendSim

⁷. Ehmke et al

شد [۴۲]. با توجه به این، حذف داده‌های تاثیرگذار منجر به ایجاد تغییرات مهم در شبیه‌سازی می‌گردد به گونه‌ای که حذف نادرست داده‌ها منجر به تصمیم‌گیری نادرست می‌شود. بنابراین برای جلوگیری از حذف نادرست داده‌ها در پژوهشی لی و جوشی^۱ یک مدل شبیه‌سازی ارائه نمودند که به متخصصان برای تعیین بهترین استراتژی‌های حذف داده کمک می‌کرد. آن‌ها از پرومدل^۲ برای آزمایش دو رویکرد مختلف برای حذف داده استفاده کردند که در فاز اجرا به کاربرده شدند و شامل استخراج، تبدیل و بارگیری داده به انبار داده می‌شد؛ بنابراین شبیه‌سازی به آن‌ها توانایی درک بهتر تعاملات رویکردهای پاکسازی و نتایج تولید شده را می‌داد اما به اندازه سایر روش‌های به‌دست آمده موثر نبود [۴۳]. در جدول ۱ خلاصه‌ای از سایر تحقیقات بر روی موضوع بررسی گردیده است.

جدول ۱. پژوهش‌های انجام‌شده بر روی موضوع

عنوان	نویسنده / سال تحقیق	روش تحقیق	نتایج حاصله	نوع چندهدفه	مدل کنترل موجودی	شرایط عدم اطمینان	چند دوره‌ای/چندمحصولی	زنجیره تامین چند سطحی	مطالعه موردی
بررسی مساله کنترل موجودی سبز با در نظر گرفتن ریسک نقدینگی: مورد مطالعه صنایع لبنی	طاهری و همکاران، ۲۰۲۳ [۴۴]	مدل ریاضی چندهدفه برای حداکثرسازی سود و حداقل نمودن ریسک و حداکثر نمودن زنجیره تامین سبز	افزایش شیر خام باعث افزایش سرعت و حاشیه سود می‌گردد. در نظر گرفتن هزینه‌های پنهان منجر به افزایش کارایی و سودآوری می‌گردد.	*	*	*	-	-	*
برنامه‌ریزی پویا در سیستم‌های تولیدی ساخت برای انبار با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی و خرابی‌های تصادفی: تجزیه و تحلیل عملکرد و سیاست‌های بهبود یافته	توبیلا و گرشوین، ۲۰۲۲ [۴۵]	برنامه‌ریزی تولید چند کالا در یک ماشین با در نظر گرفتن نرخ خرابی و زمان راه‌اندازی و با هدف به حداقل رساندن متوسط موجودی بلند مدت و هزینه‌های عقب افتاده	سیاست‌هایی که مبتنی بر زمان‌بندی قطعی هستند، با نرخ بالایی شکست می‌خورند. سیاست ساخت برای انبار رقابتی نیست و بیشتر برای کالاهای با تنوع کم مناسب است.	-	*	*	*	-	-
تخمین صف برای برنامه‌ریزی ظرفیت با در نظر گرفتن	جل و همکاران، ۲۰۲۱ [۴۶]	استفاده از نظریه صف و شبیه‌سازی برای تخمین زمان استفاده از یک ماشین که چندین	برآورد ظرفیت کلی ایستگاه کاری در مدت زمان اندک بررسی تاثیرات نحوه ترکیب محصول، نرخ زمان راه‌اندازی دستگاه در فرایند و	-	*	-	*	-	-

¹. Li & Joshi². ProModel

زمان راه‌اندازی	محصول با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی تولید می‌کند.	میزان بارگیری ماشین نقش در انتخاب نوع زمان راه‌اندازی ماشین
شبیه‌سازی مبتنی بر بهینه‌سازی کنترل موجودی چند محصول با یک ماشین با زمان راه-اندازی	مطالعه مساله زمان‌بندی اندازه دسته چندین محصول با یک ماشین با تقاضای تصادفی و زمان راه‌اندازی با استفاده از بهینه‌سازی از طریق شبیه‌سازی	تحلیل عملکرد حلقه زمان‌بندی ثابت و زمان‌بندی پویا مبتنی بر سطح موجودی عملکرد بهتر زمان‌بندی پویا مبتنی بر سطح موجودی
تحلیل و بهینه-سازی موجودی فاسدشدنی با تقاضای تصادفی و قیمت‌گذاری دومرحله‌ای: مطالعه موردی شبیه‌سازی گسسته پیشامد	ژانگ و همکاران، [۲۰۲۱]۴۸ مطالعه مدیریت موجودی کالاهای فاسدشدنی با اهداف حداکثر نمودن سود، حداقل نمودن ضایعات و بهبود تجارب مشتریان با استفاده از مدل شبیه‌سازی گسسته پیشامد	تمرکز بر روی سود واحدها با در نظر گرفتن موجودی وابسته به تقاضا و کاهش قیمت برای کالاهای فاسدشدنی، مواد فاسدشدنی با عمر نسبتاً کوتاه بایستی در مدت کوتاهی به روز رسانی گردد تا نسبت ضایعات کاهش یابد. مواد فاسدشدنی با عمر نسبتاً طولانی بایستی در مدت طولانی‌تری به روز رسانی گردد تا متوسط قیمت فروش بالا برود.
شبیه‌سازی به منظور بهینه‌سازی نگهداری موجودی سیستم‌های تولیدی	زاهدی حسینی، [۲۰۱۸]۴۹ مطالعه تامین قطعه یک سیستم تک خطی با فرض درخواست تقاضا بوسیله الزامات نگهداری و تعمیرات با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد	سیاست بازپرسازی پیوسته و دوره‌ای کالا منجر به بهینه‌سازی هزینه می‌گردد. سیاست تولید به موقع به همراه بازرسی پیوسته همانند فرایند بازپرسازی، کمترین هزینه را ایجاد می‌نماید.
روش بهینه-سازی از طریق شبیه‌سازی با کنترل موجودی تصادفی کالاهای فسادپذیر	جکسون، [۲۰۱۹]۵۰ استفاده از مدل شبیه-سازی گسسته پیشامد برای تطبیق کنترل موجودی با نیازهای خرده فروش مواد غذایی	یافتن پارامترهای کنترلی بهینه برای سیستم کنترل موجودی چند محصولی (فاسد شدنی) احتمالی با تجزیه و تحلیل ریسک و قابلیت اطمینان در فرایند

۵ روش‌شناسی تحقیق

تحقیق پیش رو از نوع تحقیقات بهینه‌سازی است که به کمک تکنیک‌های تحقیق در عملیات (برنامه‌ریزی چند هدفه، مدل‌سازی)، شبیه‌سازی و طراحی آزمایشات درصدد حل مساله بازپرسازی موجودی است. این تحقیق از نوع پژوهش‌های کمی و مقطعی به شمار می‌رود زیرا در یک بازه زمانی پنج ساله مطالعه موردی بررسی گردیده است و روش تحقیق به شرح مراحل شکل ۱ می‌باشد. همچنین در این پژوهش از متن کاوی شامل استفاده از

داده‌های موجود در اسناد تحقیقات گذشته و مدارک و اسناد سازمانی و همچنین مصاحبه با خبرگان به عنوان ابزار گردآوری داده‌ها استفاده شده است. این مطالعه از نظر هدف جزء پژوهش‌های کاربردی و از نظر روش اجرا جزء پژوهش‌های موردی و زمینه‌ای به شمار می‌رود. روش مورد نظر برای توسعه این پژوهش استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه در محیط قطعی و استفاده از طراحی آزمایشات و شبیه‌سازی بوده است. تحقیق پیش رو از لحاظ استراتژی تحقیق و زمان گردآوری پیمایشی است و روش‌شناسی پیشنهادی در این پژوهش توسعه یک مدل شبیه‌سازی با استفاده از مساله مدیریت زنجیره تامین در قالب یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه است که منجر به حداقل نمودن هزینه کل موجودی، متوسط سطح موجودی در دست و نسبت تقاضای مشتریان می‌شود.



شکل ۱. چهارچوب نظری و مراحل روش تحقیق

۶ مدل تحقیق

۶-۱ مفروضات

مفروضات اساسی که در این پژوهش مبنای مدل توسعه داده شده قرار گرفته‌اند، عبارتند از:

- چند خرده فروش انباردار با ظرفیت انبار محدود در زنجیره تامین شرکت‌های توزیع نیروی برق در نظر گرفته شده است.
- حلقه‌های زنجیره تامین در مدل مورد بررسی شامل مشتریان، خرده‌فروشان، توزیع‌کننده و تامین‌کننده می‌باشد.
- میزان موجودی اولیه خرده‌فروشان در ابتدای دوره اول صفر در نظر گرفته شده است و در دوره‌های زمانی بعدی متفاوت می‌باشد.

- با توجه به ماهیت شرکت‌های مورد مطالعه دو محصول با ویژگی‌های متفاوت و سطح تقاضاهای مختلف در مدل مورد بررسی قرار گرفته است.
- کمبود موجودی خرده‌فروشان با لحاظ نمودن هزینه فروش از دست رفته آن در مدل مورد بررسی مجاز می‌باشد.
- با توجه به ماهیت کالاهای مورد بررسی هزینه‌ها شامل هزینه نگهداری، هزینه فروش از دست رفته و هزینه سفارش‌دهی کالا می‌باشد.
- میزان سفارش دوره قبل خرده فروش در انتهای دوره تعیین و در ابتدای دوره بعد تحویل داده می‌شود و بنابراین مدت زمان دریافت سفارش (Lead Time) ثابت در نظر گرفته می‌شود.
- با توجه به انواع کالاهای موجود در زنجیره تامین مورد مطالعه (کالای مکمل، کالای جایگزین، کالای مستقل، کالای خاص و ...) در این مطالعه دو نوع کالای مستقل مورد بررسی قرار گرفته است.
- در طراحی مدل مورد مطالعه اختلالات احتمالی حین حمل و نقل و قطع موقت زنجیره تامین در نظر گرفته نمی‌شود.
- تغییرات پیش‌بینی نشده در نرخ تقاضای مشتریان به دلایل سیاسی، اقتصادی و بلایای طبیعی در زنجیره تامین در نظر گرفته نمی‌شود.
- کالاهای مورد بررسی با فرض نرخ عیب صفر مورد بررسی قرار گرفته‌اند و فاقد نواقص احتمالی هستند (برگشت کالاهای معیوب وجود ندارد).

۶-۲ پارامترها و متغیرهای مدل

پارامترها و متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق به شرح ذیل هستند.

i : مشتری / خرده فروش در زنجیره تامین که $i=0,1,\dots,M$

j : نوع کالا در زنجیره تامین که $j=1,2,\dots,N$

t : دوره t در افق زمانی که $t=1,2,\dots,T$

D_{ij}^t : میزان تقاضای مشتری از خرده فروش i ام برای محصول j ام در دوره t

ax_{ij}^t : موجودی در دست خرده فروش i ام برای محصول j ام در آغاز دوره t

x_{ij}^t : موجودی در دست کالای j ام خرده فروش (بعد از بازپرسازی تقاضای مشتری) برای مشتری i ام در پایان

دوره t

y_{ij}^t : سطح موجودی هدف سفارش داده شده کالای j ام برای خرده فروش i ام و در دوره زمانی t

R_{ij} : نقطه سفارش مجدد خرده فروش i برای کالای j ام

Q_{ij} : مقدار نقطه سفارش مجدد خرده‌فروش i برای کالای j ام

Z_{ij}^t : سطح موجودی واقعی سفارش داده شده (گرفته شده) کالای j ام برای خرده فروش i ام در دوره t

U_{0j} : ظرفیت تامین‌کننده برای محصول j ام

P_{ij} : هزینه فروش از دست رفته (نارضایتی ذی‌نفعان) محصول j ام برای خرده فروش i
 h_{ij} : هزینه نگهداری هر واحد محصول j ام در هر دوره برای خرده فروش i
 K_{ij} : هزینه سفارش ثابت محصول j ام برای خرده فروش i
 $G_{ij}(ax_{ij}^t)$: مجموع هزینه‌های نگهداری و از دست رفته کالای j ام از خرده فروش i در دوره t
 $v_{ij}^t(x)$: هزینه کل خرده فروش i ام کالای j ام در سطح موجودی X در دوره t

۳-۶ فرموله کردن مدل پیشنهادی

این مقاله به بررسی انبارهای زنجیره تامین چهارسطحی شامل تامین‌کننده، توزیع‌کننده، خرده فروش و مشتری می‌پردازد. $X' = \{x'_{ij}, x'_{ij}, x'_{ij}, \dots, x'_{Mj}\}$ نشان‌دهنده سطح موجودی اولیه در انتهای اولین دوره ($t=0$) در هر کدام از دوره‌های زمانی $t=1, 2, \dots, T$ و برای هر یک از اقلام $j=1, 2, \dots, N$ می‌باشد. در آغاز دوره t (اولین روز ماه)، خرده فروش i میزان تقاضای مشتری از کالای j (D_{ij}^t) را دریافت می‌نماید و با موجودی در دست خود ax_{ij}^t برای برآورده نمودن تقاضای مشتری D_{ij}^t تلاش می‌نماید. هر کمبودی که در دوره t ایجاد می‌شود، به عنوان هزینه فروش از دست رفته خرده فروش P_{ij} در نظر گرفته می‌شود. هر کالای j که توسط خرده فروش i در دوره t نگهداری شود دارای هزینه نگهداری موجودی h_{ij} می‌باشد. $G_{ij}(ax_{ij}^t)$ مجموع هزینه‌های نگهداری و فروش از دست رفته کالای j برای هر یک از خرده فروشان i در دوره t می‌باشد که به صورت رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$G_{ij}(ax_{ij}^t) = h_{ij} * (ax_{ij}^t - D_{ij}^t)^+ + p_{ij} * (D_{ij}^t - ax_{ij}^t)^+ \quad \text{که } x^+ = \max\{x, 0\} \quad (1)$$

خرده فروش i سطح موجودی باقی‌مانده کالای j (x_{ij}^t) را در پایان دوره اندازه‌گیری می‌نماید و در مورد دست‌یابی به سطح موجودی هدف کالای j ام خود y_{ij}^t تصمیم‌گیری می‌نماید (سطح موجودی هدف خرده فروش ثابت می‌باشد). Z_{ij}^t نشان‌دهنده سطح موجودی واقعی کالای j از خرده فروش i بعد از دریافت کالاها از توزیع‌کننده با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت آن توزیع‌کننده می‌باشد که در واقع $y_{ij}^t \leq Z_{ij}^t$. سفارشات خرده‌فروشان تقاضای توزیع‌کننده می‌شود، دو روش به منظور بازپرسازی تقاضا بوسیله توزیع‌کننده مدنظر قرار می‌گیرد.

۱- چنانچه موجودی در دست کالای j ام توزیع‌کننده به وفور باشد به گونه‌ای که $ax_{ij}^t \geq \sum_{i=1}^m (y_{ij}^t - x_{ij}^t)$ ، تمامی سفارشات خرده‌فروشان به طور کامل برآورده می‌گردد.

۲- در غیر این صورت سفارشات خرده‌فروشان بر اساس میزان موجودی توزیع‌کننده برآورده می‌شود که به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$Z_{ij}^t = \begin{cases} y_{ij}^t, & ax_{ij}^t \geq \sum_{i=1}^M (y_{ij}^t - x_{ij}^t) \\ x_{ij}^t + \min\{y_{ij}^t - x_{ij}^t, ax_{ij}^t\}, & ax_{ij}^t < \sum_{i=1}^M (y_{ij}^t - x_{ij}^t) \end{cases} \quad (2)$$

سپس توزیع‌کننده سطح موجودی انتهای دوره خود را x_{0j}^t ملاحظه می‌نماید و در مورد افزایش سطح موجودی به میزان y_{0j}^t تصمیم‌گیری می‌نماید. سفارشات توزیع‌کننده از تامین‌کننده‌ای گرفته می‌شود که دارای ظرفیت محدودی هست و این بدین مفهوم می‌باشد که سفارش توزیع‌کننده ممکن است به طور کامل برآورده نگردد. سفارشات توزیع‌کننده نمی‌تواند از ظرفیت تامین‌کننده تجاوز نماید که با $U_{.j}$ مطابق با رابطه (۳) و (۴) نشان داده می‌شود.

$$y_{.j}^t - x_{.j}^t \leq U_{.j} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad \text{به ازاء هر} \quad (3)$$

$$y_{.j}^t \geq x_{.j}^t \quad (4)$$

سطح موجودی کالای j در پایان دوره t به منظور تعیین مقدار سفارش برای خرده فروش i به صورت رابطه (۵) محاسبه می‌گردد.

$$x_{ij}^t = (ax_{ij}^t - D_{ij}^t)^+ \quad i = 1, \dots, M \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

در صورتی که تقاضای کل کالای j برای تامین‌کننده برابر با مجموع تفاضل مقدار سفارش هدف با موجودی پایان دوره در کل زنجیره می‌باشد که به صورت رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

$$D_{.j}^t = \sum_{i=1}^M (y_{ij}^t - x_{ij}^t) \quad (6)$$

هدف موجودی دستیابی به سفارش تا سطح $y_{ij}^t \quad \forall i, t$ می‌باشد. در این مطالعه از سیاست موجودی (s, S) استفاده شده است. $v_{ij}^t(x)$ هزینه کل خرده فروش i برای کالای j در سطح موجودی x در دوره t می‌باشد که به صورت رابطه (۷) نشان داده می‌شود.

$$v_{ij}^t(x_{ij}^t) = K_{ij} * \delta * (y_{ij}^t - x_{ij}^t) + G_{ij}(ax_{ij}^t) \quad i = 1, \dots, M \quad j = 1, 2, \dots, N \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (7)$$

که $\delta(x)$ شاخصی است که به صورت رابطه (۸) می‌باشد.

$$\delta(x) = \begin{cases} 1, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

برای حداقل نمودن هزینه موجودی در افق برنامه‌ریزی، تابع هدف هزینه کل به صورت رابطه (۹) محاسبه می‌گردد.

$$TC = \sum_{i=1}^M \min \left\{ \sum_{j=1}^N v_{ij}^t(x_{ij}^t) \right\} \quad (9)$$

تابع هدف دوم در این مدل متوسط سطح موجودی در دست در طول دوره می‌باشد که به صورت رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد.

$$AC(T) = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N ax_{ij}^t \quad (10)$$

تابع هدف آخر به نسبت تقاضای مشتری که برآورده نمی‌شود به کل تقاضا عنوان می‌شود و به صورت رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد.

$$CD(T) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{\min(ax_{ij}^t, D_{ij}^t)}{D_{ij}^t} \quad (11)$$

۶-۴ مدل کلی

$$\begin{aligned} \text{Min}(Z_1) = & \cdot.25(ax_{11}^1 - d_{11}^1)^+ + \cdot.75(d_{11}^1 - ax_{11}^1)^+ + 10 \cdot Z_{11}^1 + \cdot.25(ax_{1r}^1 - d_{1r}^1)^+ + \cdot.75(d_{1r}^1 - ax_{1r}^1)^+ + 10 \cdot Z_{1r}^1 + \\ & \cdot.25(ax_{r1}^1 - d_{r1}^1)^+ + \cdot.75(d_{r1}^1 - ax_{r1}^1)^+ + 10 \cdot Z_{r1}^1 + \cdot.25(ax_{rr}^1 - d_{rr}^1)^+ + \cdot.75(d_{rr}^1 - ax_{rr}^1)^+ + 10 \cdot Z_{rr}^1 + \\ & \cdot.25(ax_{11}^r - d_{11}^r)^+ + \cdot.75(d_{11}^r - ax_{11}^r)^+ + 10 \cdot Z_{11}^r + \cdot.25(ax_{1r}^r - d_{1r}^r)^+ + \cdot.75(d_{1r}^r - ax_{1r}^r)^+ + 10 \cdot Z_{1r}^r + \\ & \cdot.25(ax_{r1}^r - d_{r1}^r)^+ + \cdot.75(d_{r1}^r - ax_{r1}^r)^+ + 10 \cdot Z_{r1}^r + \cdot.25(ax_{rr}^r - d_{rr}^r)^+ + \cdot.75(d_{rr}^r - ax_{rr}^r)^+ + 10 \cdot Z_{rr}^r + \dots + \\ & \cdot.25(ax_{11}^{\delta_9} - d_{11}^{\delta_9})^+ + \cdot.75(d_{11}^{\delta_9} - ax_{11}^{\delta_9})^+ + 10 \cdot Z_{11}^{\delta_9} + \cdot.25(ax_{1r}^{\delta_9} - d_{1r}^{\delta_9})^+ + \cdot.75(d_{1r}^{\delta_9} - ax_{1r}^{\delta_9})^+ + 10 \cdot Z_{1r}^{\delta_9} + \\ & \cdot.25(ax_{r1}^{\delta_9} - d_{r1}^{\delta_9})^+ + \cdot.75(d_{r1}^{\delta_9} - ax_{r1}^{\delta_9})^+ + 10 \cdot Z_{r1}^{\delta_9} + \cdot.25(ax_{rr}^{\delta_9} - d_{rr}^{\delta_9})^+ + \cdot.75(d_{rr}^{\delta_9} - ax_{rr}^{\delta_9})^+ + 10 \cdot Z_{rr}^{\delta_9} \end{aligned}$$

$$\text{Min}(Z_r) = (Z_{11}^1 + Z_{1r}^1 + Z_{r1}^1 + Z_{rr}^1 + x_{11}^1 + Z_{11}^r + x_{1r}^1 + Z_{1r}^r + x_{r1}^1 + Z_{r1}^r + x_{rr}^1 + Z_{rr}^r + \dots + x_{11}^{\delta_9} + Z_{11}^{\delta_9} + x_{1r}^{\delta_9} + Z_{1r}^{\delta_9} + x_{r1}^{\delta_9} + Z_{r1}^{\delta_9} + x_{rr}^{\delta_9} + Z_{rr}^{\delta_9}) / (9 \cdot 8)$$

$$\text{Min}(Z_r) = (d_{11}^1 - ax_{11}^1)^+ + (d_{1r}^1 - ax_{1r}^1)^+ + (d_{r1}^1 - ax_{r1}^1)^+ + (d_{rr}^1 - ax_{rr}^1)^+ + \dots + (d_{11}^{\delta_9} - ax_{11}^{\delta_9})^+ + (d_{1r}^{\delta_9} - ax_{1r}^{\delta_9})^+ + (d_{r1}^{\delta_9} - ax_{r1}^{\delta_9})^+ + (d_{rr}^{\delta_9} - ax_{rr}^{\delta_9})^+ / (d_{11}^1 + d_{1r}^1 + d_{r1}^1 + d_{rr}^1 + \dots + d_{11}^{\delta_9} + d_{1r}^{\delta_9} + d_{r1}^{\delta_9} + d_{rr}^{\delta_9})$$

St:

$$ax_{11}^1 = Z_{11}^1; \quad ax_{1r}^1 = Z_{1r}^1; \quad ax_{r1}^1 = Z_{r1}^1; \quad ax_{rr}^1 = Z_{rr}^1; \quad ax_{11}^r = x_{11}^1 + Z_{11}^r; \quad ax_{1r}^r = x_{1r}^1 + Z_{1r}^r; \quad ax_{r1}^r = x_{r1}^1 + Z_{r1}^r;$$

$$ax_{rr}^r = x_{rr}^1 + Z_{rr}^r \dots ax_{11}^{\delta_9} = x_{11}^{\delta_9} + Z_{11}^{\delta_9}; \quad ax_{1r}^{\delta_9} = x_{1r}^{\delta_9} + Z_{1r}^{\delta_9}; \quad ax_{r1}^{\delta_9} = x_{r1}^{\delta_9} + Z_{r1}^{\delta_9}; \quad ax_{rr}^{\delta_9} = x_{rr}^{\delta_9} + Z_{rr}^{\delta_9}$$

$$x_{11}^1 \geq (ax_{11}^1 - D_{11}^1), x_{11}^1 \geq 0; \quad x_{1r}^1 \geq (ax_{1r}^1 - D_{1r}^1), x_{1r}^1 \geq 0; \quad x_{r1}^1 \geq (ax_{r1}^1 - D_{r1}^1), x_{r1}^1 \geq 0;$$

$$x_{rr}^1 \geq (ax_{rr}^1 - D_{rr}^1), x_{rr}^1 \geq 0; \quad \dots; \quad x_{11}^{\delta_9} \geq (ax_{11}^{\delta_9} - D_{11}^{\delta_9}), x_{11}^{\delta_9} \geq 0;$$

$$x_{1r}^{\delta_9} \geq (ax_{1r}^{\delta_9} - D_{1r}^{\delta_9}), x_{1r}^{\delta_9} \geq 0; \quad x_{r1}^{\delta_9} \geq (ax_{r1}^{\delta_9} - D_{r1}^{\delta_9}), x_{r1}^{\delta_9} \geq 0; \quad x_{rr}^{\delta_9} \geq (ax_{rr}^{\delta_9} - D_{rr}^{\delta_9}), x_{rr}^{\delta_9} \geq 0.$$

$$\begin{cases} \text{if } x_{11}^1 \leq R_{11}, Z_{11}^1 \leq Q_{11}, Z_{11}^1 \leq y_{11}^1 \\ \text{else, } Z_{11}^1 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{if } x_{1r}^1 \leq R_{1r}, Z_{1r}^1 \leq Q_{1r}, Z_{1r}^1 \leq y_{1r}^1 \\ \text{else, } Z_{1r}^1 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{if } x_{r1}^1 \leq R_{r1}, Z_{r1}^1 \leq Q_{r1}, Z_{r1}^1 \leq y_{r1}^1 \\ \text{else, } Z_{r1}^1 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{if } x_{rr}^1 \leq R_{rr}, Z_{rr}^1 \leq Q_{rr}, Z_{rr}^1 \leq y_{rr}^1 \\ \text{else, } Z_{rr}^1 = 0 \end{cases}$$

$$\dots \begin{cases} \text{if } x_{11}^{\delta_9} \leq R_{11}, Z_{11}^{\delta_9} \leq Q_{11}, Z_{11}^{\delta_9} \leq y_{11}^{\delta_9} \\ \text{else, } Z_{11}^{\delta_9} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{if } x_{1r}^{\delta_9} \leq R_{1r}, Z_{1r}^{\delta_9} \leq Q_{1r}, Z_{1r}^{\delta_9} \leq y_{1r}^{\delta_9} \\ \text{else, } Z_{1r}^{\delta_9} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{if } x_{r1}^{\delta_9} \leq R_{r1}, Z_{r1}^{\delta_9} \leq Q_{r1}, Z_{r1}^{\delta_9} \leq y_{r1}^{\delta_9} \\ \text{else, } Z_{r1}^{\delta_9} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{if } x_{rr}^{\delta_9} \leq R_{rr}, Z_{rr}^{\delta_9} \leq Q_{rr}, Z_{rr}^{\delta_9} \leq y_{rr}^{\delta_9} \\ \text{else, } Z_{rr}^{\delta_9} = 0 \end{cases}$$

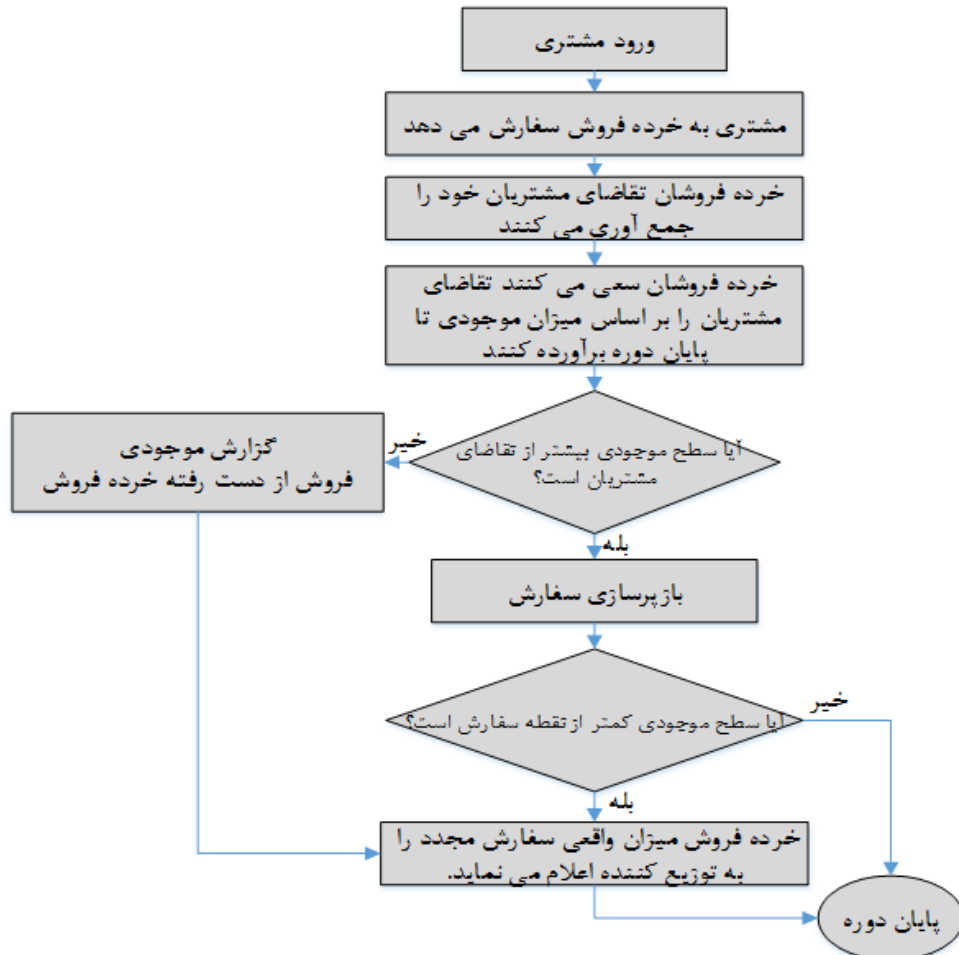
$$385 \leq Q_{11} \leq 405; 550 \leq Q_{1r} \leq 650; 690 \leq Q_{r1} \leq 710; 600 \leq Q_{rr} \leq 1000;$$

$$100 \leq R_{11} \leq 200; 250 \leq R_{1r} \leq 350; 300 \leq R_{r1} \leq 400; 200 \leq R_{rr} \leq 300$$

۷ تجزیه و تحلیل داده‌ها

۷-۱ مثال عددی

در این بخش به منظور تشریح روش‌شناسی ارایه‌شده، مثال عددی مطرح می‌شود. شکل ۲ نحوه سفارش‌دهی مشتریان و خرده‌فروشان در زنجیره تامین چهارسطحی را نشان می‌دهد.

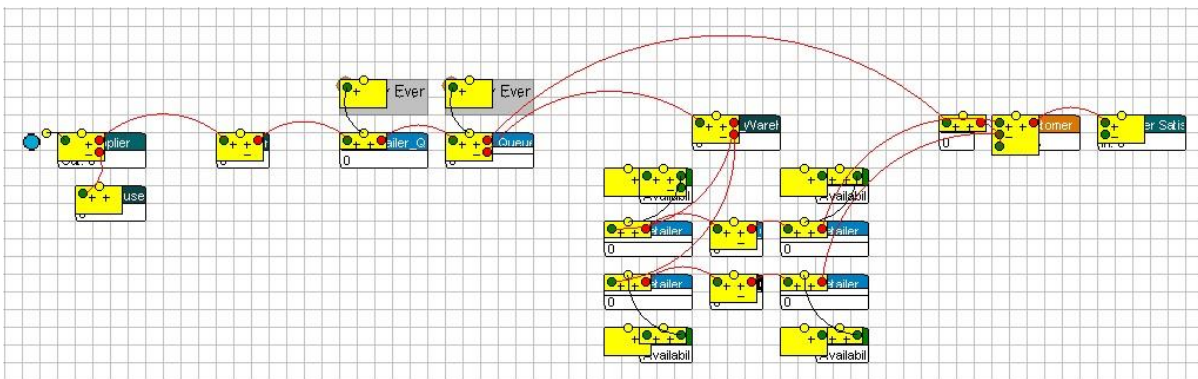


شکل ۲. مدل شبیه‌سازی در یک دوره

جدول ۲. توزیع‌های احتمالی مدل

متغیر	توزیع	
	Z_{ij}^t	D_{ij}^t
محصول ۱- خرده فروش اول	Weibull(۷۲/۷۲، ۲/۶۰)	Logistic(۷۳/۳۵، ۹/۳۳)
محصول ۱- خرده فروش دوم	Lognormal(۴۱/۰۲، ۹/۷۸)	Normal(۴۰/۹۹، ۳/۲۷)
محصول ۲- خرده فروش اول	Logistic(۴۴/۴۰، ۱۳/۹۸)	Lognormal(۵۰/۸۰، ۱۱/۰۱)
محصول ۲- خرده فروش دوم	Logistic(۳۰/۴۴، ۷/۱۷)	Uniform(۲۵/۴۱، ۴۰/۵۱)

مدل شبیه‌سازی به کار رفته در این پژوهش با استفاده از نرم افزار Enterprise Dynamics ویرایش ۸.۲.۵ اجرا شده است. اولین گام در مدل‌سازی شبیه‌سازی جمع‌آوری داده است که شامل دو نوع محصول از دو خرده‌فروش در دوره زمانی ۶۰ ماهه می‌باشد. توزیع‌های زنجیره تامین شامل مقادیر واقعی نقطه سفارش مجدد خرده‌فروشان و میزان تقاضای مشتریان بودند که مورد اعتبارسنجی قرار گرفتند. جدول ۲ توزیع‌های کالاهای اول و دوم برای خرده‌فروشان ۱ و ۲ را نشان می‌دهد که اعتبارسنجی آن توسط نرم‌افزار ED انجام شده است. شکل ۳ نشان‌دهنده مدل شبیه‌سازی در نرم افزار ED می‌باشد که توسط اتم‌های نرم‌افزار مربوطه ساخته شده است و مدل به مدت ۸ ساعت طی ۶۰ دوره اجرا شده است.



شکل ۳. مدل شبیه‌سازی نرم افزار Enterprise Dynamics

۲-۷ اعتبارسنجی مدل

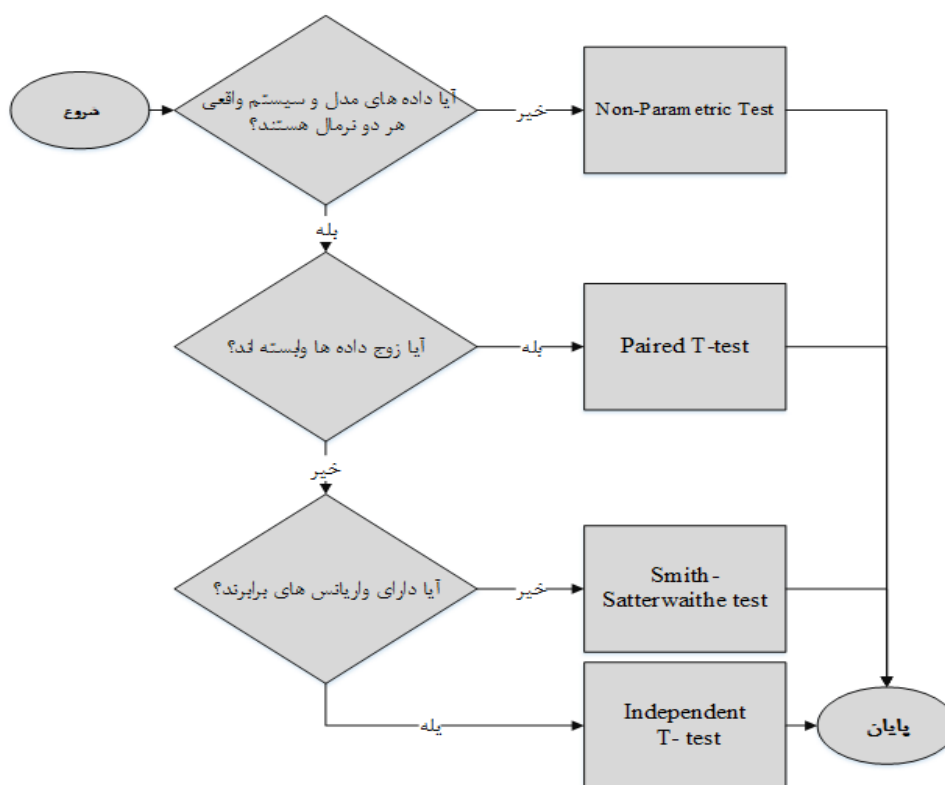
به منظور تایید اعتبار مدل و همچنین ارزیابی سازگاری مدل شبیه‌سازی با سیستم واقعی در سطح اطمینان معین می‌بایست آزمون اعتبارسنجی انجام شود. در این پژوهش آزمون اعتبارسنجی چانگ به صورت شکل ۴ انجام شده است.

اولین مرحله از فرایند اعتبارسنجی آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بر روی نمونه‌ها انجام می‌شود. آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱ برای بررسی نرمال بودن داده‌های جمع‌آوری شده از خروجی مشتریان در ۶۰ دوره یک ماهه می‌باشد که در هر دوره یک ماهه به مدت هشت ساعت کار انجام می‌شده است. مدل شبیه‌سازی نیز به همین ترتیب در ۶۰ تکرار با ۸ ساعت در هر اجرا انجام شده است. بر اساس نتایج حاصله، مقدار P در هر دو مجموعه بیشتر از ۰/۰۵ است ($P\text{-Value} > 0/05$) و بدین مفهوم است که داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده در سطح اطمینان ۹۵ درصد از توزیع نرمال پیروی می‌کند که به صورت جدول ۳ نشان داده شده است.

بر اساس روش اعتبارسنجی چانگ مرحله دوم به ارزیابی کای دو^۲ می‌پردازد. چنانچه ضریب کای دو بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد دو نمونه از هم مستقل‌اند و در صورتی که کمتر از ۰/۰۵ باشد دو نمونه وابسته هستند. در صورتی که داده‌ها از یکدیگر مستقل باشند از آزمون t و در صورت وابستگی بین داده‌ها از آزمون pair-t استفاده می‌کنیم. در جدول ۴ آماره آزمون کای دو نشان داده شده است.

^۱. Kolmogorov-Smirnov test

^۲. Natural Pairing Evaluation



شکل ۴. نمودار اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی

جدول ۳. آزمون تک نمونه‌ای کولموگروف-اسمیرنوف

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test			
		VAR۰۰۰۰۳	VAR۰۰۰۰۴
N		۶۰	۶۰
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	۲۵۰۲/۳۶۶۷	۲۴۹۷/۵۳۳۳
	Std. Deviation	۵۷/۷۵۸۱۱	۲۵/۸۸۳۳۵
	Absolute	۰/۱۱۰	۰/۱۳۸
Most Extreme Differences	Positive	۰/۰۷۴	۰/۰۹۴
	Negative	-۰/۱۱۰	-۰/۱۳۸
Kolmogorov-Smirnov Z		۰/۸۵۲	۱/۰۶۹
Asymp. Sig. (2-tailed)		۰/۴۶۳	۰/۲۰۴
a. Test distribution is Normal.			
b. Calculated from data.			

جدول ۴. آماره آزمون کای دو

جامعه اول	جامعه دوم	
۸/۰۰۰	۱۶/۲۶۷	آزمون کای دو
۵۰	۴۳	df
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	Asymp. Sig.

با توجه به داده‌های به دست آمده سطح معناداری هر دو مجموعه در آزمون کای دو بیشتر از ۰/۰۵ است به عبارت دیگر واریانس‌های دو مجموعه در سطح اطمینان ۹۵٪ با یکدیگر برابرند، بنابراین براساس روش چانگک آخرین مرحله که شامل آزمون T است می‌بایست اجرا گردد. با توجه به این که آماره آزمون T مقدار آماره ۱/۹۸۰۸ $t_{0.05, 118} = 1/9808$ است و بر اساس جدول ۵ این عدد بین حد پایین و حد بالای دو مجموعه داده‌هاست. بنابراین بر اساس روش اعتبارسنجی چانگک خروجی مدل شبیه‌سازی با مشتریان راضی واقعی یکسان هستند و اعتبار سنجی مدل مورد قبول قرار می‌گیرد.

جدول ۵. آزمون T عدم وابستگی

Independent Samples Test											
		Levene's Test for Equality of Variances			t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
										Lower	Upper
VAR.....)	Equal variances assumed	۵۰/۷۰۶	۰/۰۰۰	۰/۵۹۲	۱۱۸	۰/۵۵۵	۴/۸۳۳۳۳	۸/۱۷۱۰۳	-۱۱/۳۴۷۵۴	۲۱/۰۱۴۲۰	
	Equal variances not assumed			۰/۵۹۲	۸۱/۷۷۹	۰/۵۵۶	۴/۸۳۳۳۳	۸/۱۷۱۰۳	-۱۱/۴۲۲۱۱	۲۱/۰۸۸۷۸	

۷-۳ طراحی آزمایشات

یکی از روش‌های بسیار مهم که مدیران و کارشناسان با کم‌ترین هزینه می‌توانند تصمیمات ارزشمندی بگیرند، استفاده از روش طراحی و تجزیه و تحلیل آزمایشات است. این روش که مبتنی بر رویکرد آماری است، راهکارهایی را معرفی می‌کند تا بتوان بهترین تصمیمات را با ریسک مشخص اتخاذ نمود. به منظور حل مدل توسعه داده شده با استفاده از طراحی آزمایشات مراحل شناسایی، درک و بیان مساله؛ انتخاب عوامل و تعیین سطوح آن‌ها؛ انتخاب متغیر پاسخ؛ انتخاب طرح آزمایش؛ انجام آزمایش و جمع‌آوری داده‌ها؛ تجزیه و تحلیل داده‌ها و نتیجه‌گیری و پیشنهادها طی می‌شود [۵۱]. پس از شناسایی و بیان مساله که در بخش فوق به آن اشاره شد، در مرحله بعدی بایستی انتخاب عوامل و تعیین سطوح را انجام دهیم.

۷-۳-۱ انتخاب عامل‌ها و سطح‌های آن

طرح عاملی با k عامل که هر عامل دو سطح دارد، دارای اهمیت بسیار زیادی است و در کارهای پژوهشی به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌تواند کمی‌باشد. تکرار کامل چنین طرحی نیازمند ۲^k مشاهده می‌باشد که در مدل مورد بررسی از سیاست موجودی (R, Q) و طرح تکرار کامل استفاده شده است. بدین معنا که هنگامی که سطح موجودی خرده‌فروش به کمتر از نقطه سفارش مجدد برسد، اندازه سفارش Q توسط توزیع‌کننده فوراً جایگزین خواهد شد. از آنجایی که هر یک از متغیرهای R و Q برای سفارش هر یک از خرده‌فروشان دارای یک سطح بالا و یک سطح پایین است، طرح عاملی گزینه مناسبی برای تولید آزمایش می‌باشد، سطوح متغیرها در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. عوامل و سطوح مقداری آن‌ها

عوامل و فاکتورها (تیمارها)	خرده فروشان (۱ و ۲)	محصولات (۱ و ۲)	سطح پایین	مرکزی	سطح بالا	واحد اندازه گیری
R_{ij} نقطه سفارش مجدد خرده فروش آ برای کالای زام	خرده فروش ۱	محصول ۱	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	عدد
		محصول ۲	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	عدد
Q_{ij} مقدار سفارش مجدد خرده‌فروش آ برای کالای زام	خرده فروش ۲	محصول ۱	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	عدد
		محصول ۲	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	عدد
	خرده فروش ۱	محصول ۱	۳۸۵	۳۹۵	۴۰۵	عدد
		محصول ۲	۵۵۰	۶۰۰	۶۵۰	عدد
	خرده فروش ۲	محصول ۱	۶۹۰	۷۰۰	۷۱۰	عدد
		محصول ۲	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	عدد

۷-۳-۲ انتخاب متغیر پاسخ

متغیر پاسخ بایستی دارای اطلاعات مهمی از خرده‌فروشان در زنجیره تامین باشد که برای به کنترل در آوردن آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین عوامل در این مدل زنجیره تامین هزینه کل است که شامل هزینه نگهداری، هزینه فروش از دست رفته و هزینه سفارش‌دهی می‌باشد. از دیگر عوامل سطح متوسط موجودی در دست در طول دوره است که شامل مقدار موجودی ابتدای دوره و مقدار سفارش ارسالی به خرده فروش می‌باشد. از جمله عوامل مهم دیگر میزان تقاضای مشتری است که برآورده نشده‌است. به عبارت ساده‌تر به نسبت تقاضای برآورده نشده مشتری به کل تقاضای مشتری گفته می‌شود.

به صورت خلاصه سه متغیر شناسایی شده در این مدل عبارتند از:

۱- هزینه کل

۲- متوسط موجودی در دست در طول دوره

۳- نسبت تقاضای برآورده نشده به کل تقاضای مشتریان

۷-۳-۳ انتخاب طرح آزمایش

در آزمایش‌های مبتنی بر چندین عامل که در آن‌ها مطالعه اثر توأم عوامل بر پاسخ ضروری است، طرح‌های عاملی به طور وسیع کاربرد دارند. با توجه به این که در مدل مورد بررسی برای هر خرده‌فروش دو سطح بالا و پایین وجود دارد، بنابراین $k=8$ و تعداد کل آزمایشات برابر ۲۷۲ است که از حاصل جمع ۲۵۶ نقطه گوشه‌ای و ۱۶ نقطه مرکزی در فضای طراحی آزمایشات به دست آمده است. سپس به منظور طراحی آزمایش‌ها از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت ۱۳ و روش باکس بنکن استفاده شد که در مجموع ۱۱۴ آزمایش طراحی گردید که برای هر یک از آزمایشات مقادیر مربوط به توابع هدف هزینه موجودی کل، متوسط موجودی در دست در طول دوره و نسبت تقاضای برآورده نشده مشتری که به صورت خلاصه مطابق جدول ۷ بررسی شده است. لازم به ذکر است که مدت زمان اجرای هر مدل شبیه‌سازی شده ۴۸۰ ساعت کاری در نظر گرفته شده است.

جدول ۷. نتایج حاصل از آزمایش‌ها

شماره آزمایش	R11	R12	R21	R22	Q11	Q12	Q21	Q22	TC(T) هزینه کل	AC (T) متوسط سطح موجودی در دست	CD (T) نسبت مشتریان ناراضی
۱	۱	۰	-۱	۰	۱	۰	-۱	۰	۴۵۷۲۲/۲۵	۳۲۷/۵۸۳۳	۰/۱۵۳۱
۲	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۴۳۰۶۹/۵	۳۴۸/۱۹۷۹	۰/۱۰۳۸۰۹
۳	۱	-۱	۰	۰	۰	۰	۱	-۱	۴۸۷۸۷/۵	۳۲۲/۴۲۲۹	۰/۱۹۳۱۱۸
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
۱۱۲	۰	۱	-۱	۰	۱	۰	۰	-۱	۵۰۰۵۵/۵	۳۱۲/۶۲۵	۳۱۲/۶۲۵
۱۱۳	-۱	-۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۳۸۴۳۰	۳۴۴/۷۲۵	۰/۰۷۵۱۷۴
۱۱۴	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۴۱۷۱۵/۷۵	۳۴۳/۶	۰/۰۹۷۳۱۸

۷-۳-۴ روش تجزیه و تحلیل SAW

روش مجموع ساده وزنی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌باشد که در آن رتبه نهایی هر گزینه به وسیله مجموع وزنی تمام مقادیر هر پارامتر تخمین زده می‌شود. این روش دارای سه مرحله اصلی است: ۱- نرمال‌سازی ماتریس داده‌ها، ۲- وزن دهی به شاخص‌ها با استفاده از تکنیک آنتروپی ۳- محاسبه رتبه کلی هر پارامتر. جزئیات دقیق این روش به شرح زیر می‌باشد:

۱- نرمال‌سازی ماتریس داده‌ها: برای تبدیل ارزش در تکنیک SAW روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌تواند به صورت رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{x_{j^+}}; & j \in \max \\ \frac{x_{ij}}{x_{j^-}}; & j \in \min \end{cases} \quad (12)$$

۲- محاسبه وزن هر یک از شاخص‌ها: محاسبه وزن هر یک از شاخص‌ها به صورت رابطه (۱۳) انجام می‌شود.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n d_j} \quad (13)$$

۳- انتخاب بهترین گزینه: به منظور انتخاب بهترین گزینه مقادیر S_i به صورت رابطه (۱۴) برای هر یک از گزینه‌ها محاسبه می‌گردد.

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j * r_{ij} \quad (14)$$

که در آن S_i وزن نهایی هر عامل، W_j وزن هر معیار و r_{ij} نرمال شده هر متغیر از هر معیار است که در جدول ۸ وزن شاخص‌ها بر اساس روش آنتروپی نشان داده شده است.

جدول ۸. اوزان اهداف مدل با استفاده از تکنیک آنتروپی

هدف سوم	هدف دوم	هدف اول
۰/۹۲۲۸۷۷	۰/۰۱۵۵۳	۰/۰۶۱۵۹۳
وزن W_j		

پس از محاسبه مقادیر نرمال شده سناریوها و وزن هر یک از شاخص‌ها، مقادیر K_i محاسبه می‌گردد که در جدول ۹ رتبه‌بندی آزمایش‌های اجرا شده بر اساس روش SAW نشان داده شده است.

جدول ۹. رتبه‌بندی آزمایش‌های اجرا شده بر اساس روش SAW

رتبه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
شماره آزمایش	۲۵	۷۶	۴۱	۹۹	۴۸	۱۱۰	۵۱	۱۶	۱۱۳	۱۰۹
امتیاز	۰/۹۹۶۱۳۳	۰/۸۰۴۱۴۸	۰/۷۸۶۱۰۶	۰/۷۷۲۵۶۵	۰/۷۴۶۷۴۳	۰/۷۴۴۵۲۶	۰/۷۲۷۵۶۷	۰/۷۱۴۲۶۵	۰/۷۱۳۸۰۳	۰/۷۰۰۱۱۹
رتبه	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
شماره آزمایش	۳۳	۵	۱۲	۲۲	۵۵	۲۴	۲۰	۱۰۰	۹۷	۲۶
امتیاز	۰/۶۹۶۸۲۶	۰/۶۶۰۷۴۷	۰/۶۳۷۴۰۲	۰/۶۳۵۱۹۱	۰/۶۱۱۹۱۳	۰/۵۹۰۷۲۶	۰/۵۸۴۱۷۶	۰/۵۷۸۴۶۸	۰/۵۷۲۹۸	۰/۵۶۹۰۱۸
رتبه	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
شماره آزمایش	۲۱	۱۱۴	۸۷	۵۳	۳۱	۸۳	۱۴	۶۸	۷۸	۱۹
امتیاز	۰/۵۶۴۱۷	۰/۵۶۳۰۹۲	۰/۵۵۶۳۱۵	۰/۵۵۱۳۴۲	۰/۵۵۰۹	۰/۵۴۹۷۲۸	۰/۵۴۷۴۱۹	۰/۵۴۵۵۵۷	۰/۵۴۳۴۸۲	۰/۵۳۵۹۶۸
رتبه	۳۱	۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹	۴۰
شماره آزمایش	۴۹	۲	۷۷	۳۲	۷	۷۲	۹۴	۱۰	۱۱	۷۰
امتیاز	۰/۵۳۵۹۵	۰/۵۳۰۱۹۸	۰/۵۲۸۴۱۱	۰/۵۲۶۷۶۹	۰/۵۲۳۷۶۵	۰/۵۱۲۹۶۸	۰/۵۰۶۹۰۵	۰/۵۰۶۷۹	۰/۵۰۱۹۰۳	۰/۴۹۰۵۹۸
رتبه	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷	۴۸	۴۹	۵۰
شماره آزمایش	۶۶	۵۰	۲۸	۹۰	۶۰	۵۲	۱۰۶	۸۹	۵۸	۷۴
امتیاز	۰/۴۸۸۵۵۲	۰/۴۸۸۲۸۵	۰/۴۸۶۰۶۹	۰/۴۸۰۵۸۵	۰/۴۷۵۶۴۸	۰/۴۷۴۱۹۴	۰/۴۷۳۸۴۳	۰/۴۶۵۵۶۶	۰/۴۶۵۲۹	۰/۴۶۳۷۵۴
رتبه	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۷	۵۸	۵۹	۶۰
شماره آزمایش	۴۵	۷۱	۶	۵۹	۹۶	۸۴	۷۵	۲۳	۱۳	۲۹
امتیاز	۰/۴۶۳۰۹۳	۰/۴۵۹۰۱۷	۰/۴۵۶۰۳۷	۰/۴۵۵۲۹۸	۰/۴۵۴۸۲۵	۰/۴۵۱۷۷۳	۰/۴۵۰۰۸۳	۰/۴۴۸۹۴۲	۰/۴۴۷۲۷	۰/۴۴۶۴۵۳
رتبه	۶۱	۶۲	۶۳	۶۴	۶۵	۶۶	۶۷	۶۸	۶۹	۷۰
شماره آزمایش	۹۸	۱۰۲	۶۷	۹	۸۰	۱۰۳	۹۲	۳۴	۸۱	۵۷
امتیاز	۰/۴۴۵۴۷۴	۰/۴۲۷۶۴۷	۰/۴۲۷۳۹۴	۰/۴۲۶۱۷۳	۰/۴۲۴۷۹۹	۰/۴۲۳۶۶۴	۰/۴۲۳۶۶۱	۰/۴۲۱۸۵۷	۰/۴۱۸۹۵۴	۰/۴۱۵۴۶۵
رتبه	۷۱	۷۲	۷۳	۷۴	۷۵	۷۶	۷۷	۷۸	۷۹	۸۰
شماره آزمایش	۱۰۵	۸۸	۸۶	۴۰	۹۳	۱۰۴	۷۹	۶۳	۱	۴۳
امتیاز	۰/۴۱۵۴۶۱	۰/۴۱۵۰۲	۰/۴۱۴۸۵۸	۰/۴۰۴۷۱	۰/۴۰۱۶۶۴	۰/۳۹۹۲۰۸	۰/۳۹۸۴۴۱	۰/۳۸۹۶۲۶	۰/۳۷۸۲۱۸	۰/۳۷۶۰۱۳
رتبه	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸	۸۹	۹۰
شماره آزمایش	۴۲	۳۹	۳۶	۴۴	۶۹	۱۸	۲۷	۳	۶۱	۸۲
امتیاز	۰/۳۷۵۱۱۷	۰/۳۷۲۵۶۸	۰/۳۶۸۶۳۴	۰/۳۶۷۱۷۶	۰/۳۶۵۳۹	۰/۳۵۵۳۰۳	۰/۳۲۳۲۴۱	۰/۳۰۹۹۶۲	۰/۳۰۹۵۷۱	۰/۲۹۸۰۸۹
رتبه	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	۹۹	۱۰۰
شماره آزمایش	۵۴	۶۴	۹۱	۶۵	۱۵	۳۵	۴۶	۱۰۱	۵۶	۸
امتیاز	۰/۲۹۷۹۱۹	۰/۲۹۶۵۱۱	۰/۲۹۵۴۱۳	۰/۲۹۵۳۰۵	۰/۲۹۳۹۶۴	۰/۲۹۲۶۳۶	۰/۲۹۲۱۵۶	۰/۲۹۲۰۶۹	۰/۲۸۸۶۹۲	۰/۲۸۷۷۵۸
رتبه	۱۰۱	۱۰۲	۱۰۳	۱۰۴	۱۰۵	۱۰۶	۱۰۷	۱۰۸	۱۰۹	۱۱۰
شماره آزمایش	۱۱۲	۹۵	۶۲	۱۷	۱۰۸	۴۷	۷۳	۳۰	۱۰۷	۳۷
امتیاز	۰/۲۸۱۹۹۴	۰/۲۸۱۶۵۱	۰/۲۸۰۷۴	۰/۲۷۶۱۱۳	۰/۲۷۵۴۴۲	۰/۲۷۳۲۱۶	۰/۲۶۸۵۸۲	۰/۲۶۶۷۸۵	۰/۲۶۴۱۳۱	۰/۲۶۲۲۷۵
رتبه	۱۱۱	۱۱۲	۱۱۳	۱۱۴						
شماره آزمایش	۱۱۱	۸۵	۳۸	۴						
امتیاز	۰/۲۶۱۱۶۱	۰/۲۵۷۹۷۶	۰/۲۴۵۸۶	۰/۲۲۴۱۵۱						

۸ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

زنجیره تامین به عنوان یک سیستم پیچیده شناخته می‌شود که دارای شبکه‌هایی به عنوان منابع داده شناخته می‌شوند که داده‌ها را ایجاد می‌نمایند و منجر به افزایش حجم، سرعت و تنوع تولید داده در هر یک از سطوح زنجیره می‌گردند و در نتیجه مدیریت آن را دشوار می‌نمایند.

در این پژوهش سیستم موجودی زنجیره تامین شرکت‌های توزیع نیروی برق در چهار سطح مشتریان، خرده‌فروشان، توزیع‌کننده و تامین‌کننده مورد بررسی قرار گرفته که در سطوح مختلف دچار کمبود شدید کالا و انبارش آن می‌شدند و هزینه‌های زیادی در این حوزه و بر صنعت برق تحمیل می‌نمودند و این مقاله با شناسایی مقادیر مناسب نقطه سفارش بهینه و مقدار سفارش درصدد به حداقل رساندن زیان حاصل از اختلالات بین عرضه و تقاضا در سطوح مختلف زنجیره بوده است.

به منظور بهبود سیستم موجودی در مدیریت زنجیره تامین تکنیک‌های مختلفی به کار برده می‌شود که از جمله تکنیک‌های کاربردی روش ترکیبی شبیه‌سازی با تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد که در سیاست‌گذاری مدیران می‌تواند بسیار موثر و اثربخش می‌باشد. اکثر مطالعات مربوط به تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان و با هدف کاهش هزینه، میزان تقاضا را به صورت تابع احتمالی شبیه‌سازی می‌نمایند و جریان کالا را در طول دوره زمانی در نظر می‌گیرند، همچنین طراحی آزمایشات یک تکنیک آماری برای تعریف و بررسی همزمان تمامی سناریوهای ممکن برای چندین عامل در فضای آزمایش شناخته می‌شود. از آنجایی که در نظر گرفتن تمامی ترکیبات در سطح عامل یک آزمایش منجر به افزایش تعداد آزمایش‌ها می‌شود. بنابراین آزمایش فاکتوریل کسری و آرایه‌های متعامد برای کاهش تعداد سناریوها و کاربردی کردن مدل مورد مطالعه به کار برده می‌شود. روش SAW یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی سناریوهای پیش‌روی مدیران می‌باشد که در آن شاخص‌ها دارای استقلال هستند و از یکدیگر مجزا می‌باشند و همچنین نرخ تبادل در بین شاخص‌ها ثابت و با یکدیگر برابر می‌باشد.

در این پژوهش با استفاده از روش ترکیبی شبیه‌سازی، طراحی آزمایشات و روش SAW و بر اساس ماهیت مدل، سناریوسازی مبتنی بر سیاست (R, Q) انجام شد و نتایج آن نشان‌دهنده این است که سناریو ۲۵ با امتیاز $(0/996133)$ و مقادیر $(R_{11}=150)$ ، $(R_{12}=350)$ ، $(R_{21}=350)$ ، $(R_{22}=300)$ ، $(Q_{11}=395)$ ، $(Q_{12}=700)$ ، $(Q_{21}=650)$ و $(Q_{22}=1000)$ و توابع هدف $(F_1=37290)$ ، $(F_2=360/35)$ و $(F_3=0/052283)$ به عنوان سناریوی برتر و سناریو ۷۶ با امتیاز $(0/804148)$ و مقادیر $(R_{11}=200)$ ، $(R_{12}=400)$ ، $(R_{21}=300)$ ، $(R_{22}=250)$ ، $(Q_{11}=395)$ ، $(Q_{12}=700)$ ، $(Q_{21}=650)$ و $(Q_{22}=1000)$ و توابع هدف $(F_1=38438)$ ، $(F_2=353/7708)$ و $(F_3=0/06587)$ به عنوان سناریوی جایگزین انتخاب شده‌اند در حالی که پیش از این دیدگاه مدیران سیستم موجودی زنجیره بر این بود که سناریو حدمتوسط با مقادیر $(R_{11}=150)$ ، $(R_{12}=350)$ ، $(R_{21}=300)$ ، $(R_{22}=250)$ ، $(Q_{11}=395)$ ، $(Q_{12}=700)$ ، $(Q_{21}=600)$ و $(Q_{22}=800)$ و توابع هدف $(F_1=55737/25)$ ، $(F_2=333/94)$ و $(F_3=0/1239)$ به عنوان سناریوی مناسب و کاربردی می‌باشد که اجرای آن هزینه‌های زیادی را بر اعضای زنجیره تامین وارد می‌نمود.

نتایج مدل ارائه‌شده در این مقاله را می‌توان از چند جنبه مورد بررسی قرار داد، در وهله اول کالاهایی مستقل با مشخصه‌های متفاوت (از نظر میزان مصرف، حجم و ...) برای برآورده‌نمودن تقاضای مشتریان مورد بررسی قرار گرفت. مدل ارائه‌شده در این مقاله را می‌توان در موقعیت‌های مختلف زنجیره تامین در هنگامی که یک حلقه تقاضا از مشتری نهایی دریافت می‌شود، به کار برد. در وهله دوم در این مقاله به بحث فروش از دست

رفته به مشتریان پرداخته شد که در پژوهش‌های بعدی می‌تواند بیشتر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در وهله بعدی تغییر در سطح آستانه مقادیر نقطه سفارش بهینه و مقدار سفارش سیاست (R, Q) است که مدیر واحد کنترل موجودی می‌تواند برای تامین اقلام مشتریان خود و کاهش هزینه‌های زنجیره از آن بهره‌برد. هنگامی که سطح موجودی به کمتر از سطح موجودی ایمن می‌رسد، مدیر واحد کنترل موجودی درصدد ارسال کالا به مشتریان با اولویت بالا می‌پردازد و پس از بررسی دقیق مشتریان با اولویت پایین را تامین می‌نماید. با توجه به نتایج پژوهش حاضر و با توجه به محدودیت‌های موجود در پژوهش برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که توابع هدف بیشینه‌سازی همچون سود در هر یک از حلقه‌های زنجیره تامین و ... مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش دو محصول مستقل با مشخصه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت ولی پیشنهاد می‌شود محققین مدل چندمحصولی با در نظر گرفتن اختلالات در زنجیره تامین را لحاظ نمایند، همچنین در این پژوهش از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره به منظور تصمیم‌گیری نتایج مدل استفاده شد که در پژوهش‌های آینده می‌توان خروجی طراحی آزمایشات را با به کارگیری الگوریتم‌های فرا ابتکاری مورد بررسی قرار داد و نتایج نهایی را با استفاده از تحلیل ANOVA بررسی نمود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از داوران محترم که با ارایه پیشنهادات ارزشمند خود موجب بهبود سطح کیفی و علمی مقاله شده‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- [1] Beladi, H., Hou, Q., & Hu, M. (2022). The party school education and corporate innovation: Evidence from SOEs in China. *Journal of Corporate Finance*, 72, 102143.
- [2] Foster, B. P. (2021). The Impact of COVID-19 on Sales and Production. *The CPA Journal*, 91(2/3), 66-68.
- [3] Seyedan, M., Mafakheri, F., & Wang, C. (2023). Order-Up-To-Level Inventory Optimization Model using Time-Series Demand Forecasting with Ensemble Deep Learning. *Supply Chain Analytics*, 100024.
- [4] Fajriyanti, A. W., & Wiyarni, W. (2022). Corporate financial performance in the Covid-19 pandemic.
- [5] Hançerlioğulları, G., Şen, A., & Aktunç, E. A. (2016). Demand uncertainty and inventory turnover performance: An empirical analysis of the US retail industry. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46(6/7), 681-708.
- [6] Kouki, C., Babai, M. Z., Jemai, Z., & Minner, S. (2019). Solution procedures for lost sales base-stock inventory systems with compound Poisson demand. *International Journal of Production Economics*, 209, 172-182.
- [7] Bijvank, M., & Vis, I. F. (2011). Lost-sales inventory theory: A review. *European Journal of Operational Research*, 215(1), 1-13.
- [8] Gel, E. S., Fowler, J. W., & Khowala, K. (2021). Queuing approximations for capacity planning under common setup rules. *IIE Transactions*, 53(11), 1177-1195.
- [9] Mesquita, M. A., & Tomotani, J. V. (2022). Simulation-optimization of inventory control of multiple products on a single machine with sequence-dependent setup times. *Computers & Industrial Engineering*, 174, 108793.
- [10] Christopher, M., & Holweg, M. (2011). "Supply Chain 2.0": Managing supply chains in the era of turbulence. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(1), 63-82.

- [11] Stenius, O., Karaarslan, A. G., Marklund, J., & De Kok, A. G. (2016). Exact analysis of divergent inventory systems with time-based shipment consolidation and compound Poisson demand. *Operations research*, 64(4), 906-921.
- [12] Meindl, S. C. P. (2016). *Supply Chain Management--Strategy, Planning and Operation*. Tsinghua University Press. Wheat soybean others land for no use.
- [13] Graves, S. C. (1987). Safety stocks in manufacturing systems.
- [14] Shapiro, J. F., & Wagner, S. N. (2009). Strategic inventory optimization. *Journal of Business Logistics*, 30(2), 161-173.
- [15] Razavihajiagha, S. H., Amiri, M., Seyfbarghi, M., Olfat, L. (2013). Application of Response Surface Methodology in Optimizing a Three Echelon Inventory System, *Journal of Research in Production and Operations Management*, Volume 4, Issue 2-Serial Number 2, 41-54. [In Persian].
- [16] Saeidisogh, Y., Ahmadi, A., Ramazani, S. (2020), Joint Optimization of Spare Parts and Condition Based Maintenance Using Monte Carlo Approach, *Journal of Supply Chain Management*, Volume 17, Issue 49-Serial Number 49, 36-53. [In Persian].
- [17] Akbari, M. (2016), A model for production and inventory control in crisis condition, *Journal of scientific research quarterly management research in iran*, Volume 19, Issue 4, 45-70. [In Persian].
- [18] Nasiri, J., Azimi, P. (2016), Optimization of a bi-objective (R, Q) inventory policy using optimization via a simulation technique case study: Arya Chalk industrial company, *Journal of Industrial Engineering & Management*, Volume 31.1, Issue 2.1, 135-140. [In Persian].
- [19] Ganeshan, R. (1999). Managing supply chain inventories: A multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model. *International Journal of Production Economics*, 59(1-3), 341-354.
- [20] Shukla, S. K., Tiwari, M. K., Wan, H. D., & Shankar, R. (2010). Optimization of the supply chain network: Simulation, Taguchi, and Psychoclonal algorithm embedded approach. *Computers & Industrial Engineering*, 58(1), 29-39.
- [21] Bijvank, M., & Vis, I. F. (2011). Lost-sales inventory theory: A review. *European Journal of Operational Research*, 215(1), 1-13.
- [22] Erlenkotter, D. (2014). Ford Whitman Harris's economical lot size model. *International Journal of Production Economics*, 155, 12-15.
- [23] Rogers, J. (1958). A computational approach to the economic lot scheduling problem. *Management science*, 4(3), 264-291.
- [24] Dye, C. Y., Hsieh, T. P., & Ouyang, L. Y. (2007). Determining optimal selling price and lot size with a varying rate of deterioration and exponential partial backlogging. *European Journal of Operational Research*, 181(2), 668-678.
- [25] Lodree Jr, E. J., & Uzochukwu, B. M. (2008). Production planning for a deteriorating item with stochastic demand and consumer choice. *International Journal of Production Economics*, 116(2), 219-232.
- [26] Liang, Y., & Zhou, F. (2011). A two-warehouse inventory model for deteriorating items under conditionally permissible delay in payment. *Applied Mathematical Modelling*, 35(5), 2221-2231.
- [27] Gilding, B. H. (2014). Inflation and the optimal inventory replenishment schedule within a finite planning horizon. *European Journal of Operational Research*, 234(3), 683-693.
- [28] Coelho, L. C., & Laporte, G. (2014). Optimal joint replenishment, delivery and inventory management policies for perishable products. *Computers & Operations Research*, 47, 42-52.
- [29] Dye, C. Y., & Hsieh, T. P. (2012). An optimal replenishment policy for deteriorating items with effective investment in preservation technology. *European Journal of Operational Research*, 218(1), 106-112.
- [30] Su, C. H. (2012). Optimal replenishment policy for an integrated inventory system with defective items and allowable shortage under trade credit. *International Journal of Production Economics*, 139(1), 247-256.
- [31] Barron, Y., & Hermel, D. (2017). Shortage decision policies for a fluid production model with MAP arrivals. *International Journal of Production Research*, 55(14), 3946-3969.
- [32] Chung, C. J., Widyadana, G. A., & Ming Wee, H. (2011). Economic production quantity model for deteriorating inventory with random machine unavailability and shortage. *International Journal of Production Research*, 49(3), 883-902.
- [33] Hsieh, T. P., Dye, C. Y., & Ouyang, L. Y. (2008). Determining optimal lot size for a two-warehouse system with deterioration and shortages using net present value. *European Journal of Operational Research*, 191(1), 182-192.

- [34] Wee, H. M., Lee, M. C., Jonas, C. P., & Wang, C. E. (2011). Optimal replenishment policy for a deteriorating green product: Life cycle costing analysis. *International Journal of Production Economics*, 133(2), 603-611.
- [35] Sadeghi, H., Farughi, H., Sayedi, R. (2023). Determining the optimal replenishment policy in an integrated vendor-buyer with multiple delivery policy, *Journal of operational research and its applications*, Volume 20, Issue 2, 49-67. [In Persian].
- [36] Roy, A., Sana, S. S., & Chaudhuri, K. (2012). Optimal replenishment order for uncertain demand in three layer supply chain. *Economic Modelling*, 29(6), 2274-2282.
- [37] Ahmadi, A., Bafandeh Zandeh, F., (2023). Supply chain efficiency using system dynamics and analysis of inventory control policies in the closed ring supply chain (case study: Isfahan glass and Crystal company), *Journal of operational research and its applications*, Volume 20, Issue 1, 97-116. [In Persian].
- [38] Banks, J., CARSON II, J. S., & Barry, L. (2005). *Discrete-event system simulation* fourth edition.
- [39] Azimi, P., Farajpoor Nazari, M., Esmati, A., & Farzin, A. (2013). *Optimization via simulation & Enterprise Dynamics tutorial*. Islamic Azad University of Qazvin press. Qazvin. [In Persian].
- [40] E. Bottani, Reengineering, simulation and data analysis of an RFID system, *J. Theor. Appl. Electron. Commer. Res.* 3 (1) (2008) 13–29.
- [41] Gupta, C., Mehta, A., Wang, S., & Dayal, U. (2009, March). Fair, effective, efficient and differentiated scheduling in an enterprise data warehouse. In *Proceedings of the 12th International Conference on Extending Database Technology: Advances in Database Technology* (pp. 696-707).
- [42] Ehmke, J. F., Großhans, D., Mattfeld, D. C., & Smith, L. D. (2011). Interactive analysis of discrete-event logistics systems with support of a data warehouse. *Computers in Industry*, 62(6), 578-586.
- [43] Li, Y., & Joshi, K. D. (2012). Data cleansing decisions: Insights from discrete-event simulations of firm resources and data quality. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 22(4), 361-393.
- [44] Taheri, M., Amalnick, M. S., Taleizadeh, A. A., & Mardan, E. (2023). Investigating the green inventory control problem considering liquidity risk: Application in the dairy industry. *Sustainable Cities and Society*, 92, 104479.
- [45] Tubilla, F., & Gershwin, S. B. (2022). Dynamic scheduling in make-to-stock production systems with setup times and random breakdowns: performance analysis and improved policies. *International Journal of Production Research*, 60(10), 3263-3281.
- [46] Gel, E. S., Fowler, J. W., & Khowala, K. (2021). Queuing approximations for capacity planning under common setup rules. *IIE Transactions*, 53(11), 1177-1195.
- [47] Mesquita, M. A., & Tomotani, J. V. (2022). Simulation-optimization of inventory control of multiple products on a single machine with sequence-dependent setup times. *Computers & Industrial Engineering*, 174, 108793.
- [48] Zhang, Y., Lu, H., Zhou, Z., Yang, Z., & Xu, S. (2021). Analysis and optimisation of perishable inventory with stocks-sensitive stochastic demand and two-stage pricing: A discrete-event simulation study. *Journal of Simulation*, 15(4), 326-337.
- [49] Zahedi-Hosseini, F. (2018, December). Modeling and simulation for the joint maintenance-inventory optimization of production systems. In *2018 Winter Simulation Conference (WSC)* (pp. 3264-3274). IEEE.
- [50] Jackson, I. (2019). *Simulation-Optimisation Approach to Stochastic Inventory Control with Perishability*. Information Technology & Management Science (RTU Publishing House), 22.
- [51] Khnanshv, S., Akhavannyaky, S. T. (2007). Determining the significant factors affecting the quality characteristics of water regulators using design of experiment, *Journal of Industrial engineering & management*, 22(36), 81-85. [In Persian].