مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیستم، شماره چهارم (پیاپی ۷۹)،زمستان ۰۲، ص ص ۱۳۰-۱۰۷
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

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

سید محمدعلی خاتمی فیروزآبادی[1*]، مقصود امیری[2]، پرهام عظیمی[3]، بهزاد مقیمی شهری[4]

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 مسایلی 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 حداقل‌نمودن 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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

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 شدیدی‌شده 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 قابل‌قبول 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 اشتراک‌گذاری 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 گاها زمان انتظار را افزایش دهد و یا موجودی دپوشده را بیشتر کند [۱۱]. به طور کلی مواد خام توسط تامین‌کنندگان برای تولیدکنندگان در یک

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

زنجیره تامین عرضه می‌شود و سپس تولیدکننده به پردازش و یا مونتاژ مواد می‌پردازد، در حین پردازش مواد خام و تبدیل آن به محصول نهایی سفارشات از مشتریان دریافت می‌گردد و بر اساس زمان تحویل محصول به مشتریان ارسال می‌گردد. برای تحویل به موقع و منسجم کالابه مشتریان جریان مواد، اطلاعات و مالی در حلقه‌های زنجیره تامین از تامین‌کننده مواد خام تا مشتری در حال گردش است [۱۲].

تقاضای مصرف‌کننده بخش مهمی از زنجیره تامین است که نقش اساسی در اهداف استراتژیک هر شرکتی ایفا می‌کند. به صورت کلی عدم قطعیت تقاضا منجر به عدم توازن و هماهنگی در عرضه و تقاضا می‌شود و آن عامل ایجاد موجودی می‌گردد. فقدان هماهنگی در عرضه و تقاضا به دو علت عمده ایجاد می‌شود؛ عامل اول زمان متفاوت در عرضه و تقاضای کالا است و عامل دوم سطح متفاوت عرضه و تقاضای کالا در یک زمان می‌باشد[۱۳]. به طورکلی فاکتورهای اثرگذار بر زنجیره تامین شامل تقاضای مشتریان، قیمت فروش، نرخ تبدیل ارز، زمان تحویل سفارش، قیمت منابع، میزان در دسترس پذیری و ... می‌باشد. تخصیص بهینه منابع به مشتریان منجر به کاهش فقدان منابع و بهبود فاکتورهای اثرگذار بر زنجیره تامین می‌گردد[۱۴]. بسیاری از مدیران واحد تدارکات شرکت‌های 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 می‌نمایند که می‌تواند میزان رضایت مشترکین را تا حد قابل قبولی بهبود ببخشد. از جمله مهم‌ترین اهداف حوزه تدارکات و انبارداری تهیه اقلام و کالاهای مورد نیاز، مشخص نمودن میزان مصرف کالا و زمان مناسب تهیه آن‌ها عنوان می‌شود که با توجه به این‌که کالاها و اقلام در انبارهای متعدد شرکت‌های توزیع در گردش می‌باشد و همچنین فرایند بازپرسازی کالا غیراتوماسیونی و دستی محاسبه می‌گردد؛ بنابراین نیاز به بهینه‌سازی اهداف مختلف برای حفظ منابع سازمان، کاهش اتلاف و افزایش رضایت‌مندی ذی‌نفعان و همچنین هماهنگی و مدیریت موجودی کالا بیش از پیش لازم و ضروری به نظرمی‌رسد.

۳ اهمیت و ضرورت موضوع

کنترل سطح موجودی و اهمیت آن به دوران شکل‌گیری نخستین کارخانجات و کسب وکارهای خانوادگی برمی‌گردد. با تغییر ساختار شرکت‌های صنعتی از مدیریت مالکانه و انحصاری و روابط برد- باخت به مدیریت اشتراکی و روابط برد – برد در کنار شکل‌گیری و توسعه مفاهیم رقابت و جایگاه مشتری، شرکت‌ها به تدریج به سمت شبکه‌های کسب و کار گرایش پیدا کردند [۱۵]. با توجه به شرایط رقابتی شرکت‌ها در تلاش هستند تا هزینه‌های خود را کاهش دهند و بنابراین یکی از اقدامات اثربخش حداقل‌سازی سطح موجودی می‌باشد[۱۶]. اما از یک سو عوامل بیرونی همچون تحریم و عدم همکاری تامین‌کنندگان خارجی و از سوی دیگر عوامل داخلی همچون نبود مدیریت مناسب جریان نقدی و سیاست نامناسب منجر به کمبود موجودی می‌گردد که یکی از عوامل ایجاد بحران در صنایع به شمار می‌رود . ایجاد شرایط بحرانی یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در نحوه مدیریت بازپرسازی موجودی است و با توجه به این‌که کمبود موجودی و فروش از دست رفته بر روی مدیریت زنجیره تامین اثرگذار است بنابراین بهینه‌سازی آن نیاز به بررسی دقیق و سنجیده دارد[۱۷]. از شبیه‌سازی به منظور

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

کاهش هزینه‌های سیستم انبار- خرده فروش و سیاست (R,Q) استفاده می‌شود و تاثیر شگرفی بر روی مدیریت موجودی دارد[۱۸]. ازجمله کاربردهای شبیه‌سازی در مدیریت موجودی زنجیره تامین می‌توان به شبیه‌سازی کنترل موجودی در نهادهای زنجیره‌تامین[۱۹]، شبیه‌سازی مدل‌های صف با هدف ارزیابی رفتار مشتریان، شبیه‌سازی نحوه پاسخ به تقاضای سطوح پایین‌تر 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 به‌کارگیری سیاست (R,Q) به منظور کاهش هزینه‌های نگهداری موجودی اشاره نمود. با توجه به فرایندهای تامین‌کنندگان شرکت‌های توزیع نیروی برق، مساله بازپرسازی موجودی به عنوان یکی از چالش‌های مهم این دست از شرکت‌ها به شمار می‌رودکه 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 این‌که ماهیت کالا به صورت گسسته و قابل شمارش می‌باشد، بنابراین از متغیرهای گسسته در مدل‌سازی این مطالعه استفاده می‌گردد. دراین پژوهش برآن 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 بپردازیم.

٤ 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 درهر 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.

٤-١ 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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

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 اوزوچوکئو[1] 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 فاسدشدنی در پژوهشی لیانگ و ژائو[2] یک مدل موجودی با دو انبار برای تعیین اقلام فاسدپذیر در شرایط تاخیر در ارسال سفارش را توسعه دادند[۲۶]. گیلدینگ[3] نیز در پژوهشی برنامه‌ای برای بازپرسازی بهینه موجودی مبتنی برزمان 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[4] مدلی با اهداف بهینه در مورد زمان، چگونگی و نحوه بازپرسازی محصولات با عمرهای مختلف به مشتریان را ارایه نمودند[۲۸]. با توجه به خرابی برخی از محصولات در حین مونتاژ، حمل و نقل و ... مدل‌های کنترل موجودی با درنظر گرفتن این مساله تعریف شدند، به عنوان مثال دیه و هسیه[5] یک مدل موجودی را ارایه نمودند که در آن نرخ خرابی کالاو عقب ماندگی تحویل کالا به مشتری با هدف یافتن یک روش بازپرسازی بهینه در نظر گرفته شد[۲۹]. همچنین سو[6] یک مدل موجودی یکپارچه را پیشنهاد داد که درآن اقلام معیوب برای بازپرسازی بهینه سفارش خرده‌فروشان در نظر گرفته می‌شد[۳۰]. در پژوهشی دیگر بارون و هرمل[7] 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[8] یک مدل تولیدی اقتصادی برای موجودی با دسترس‌پذیری تصادفی ارایه 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 نظرگرفته شده بود[۳۲]. در پژوهشی دیگر هسیه و همکاران[9] 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[10] 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]. درپژوهشی 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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

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[1] 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 می‌باشندکه در آن به وضعیت موجودی و تاثیر آن بر روی تولید در شرایط مختلف پرداخته است[۳۷].

٤-۲ 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، هنگامی‌که استفاده از کامپیوترهای دیجیتالی آغاز شد زبان‌های برنامه‌نویسی شبیه‌سازی با سرعت بالایی رشد یافتند که محققین زیادی از آن‌ها درهنگام مواجهه با مسایل پیچیده مدل‌سازی استفاده نمودند[۳۹] به عنوان مثال بوتانی[2] از نرم‌افزار سیمول ۸ برای جابجایی لجستیکی کالا در یک انبار استفاده استفاده نمود، این نرم افزار می‌توانست داده‌هایی همچون تاریخ انقضا، نوع قطعه و تعداد تولید در یک انبار را از طریق فرکانس رادیویی[3] جمع آوری نماید و داده‌های جمع‌آوری‌شده را در یک انبار داده[4] ذخیره کند که از آن-آن‌ها برای استخراج اطلاعات از نتایج شبیه‌سازی استفاده نماید[۴۰]. همچنین گوپتا و همکارانش[5] یک مدل شبیه‌سازی به نام شبیه‌سازگسترده[6] را معرفی نمود که درآن 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 به‌کار 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[7] 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 به‌کار 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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

شد[۴۲]. با توجه به این، حذف داده‌های تاثیرگذار منجر به ایجاد تغییرات مهم در شبیه‌سازی می‌گردد به‌گونه‌ای که حذف نادرست داده‌ها منجر به تصمیم‌گیری نادرست می‌شود. بنابراین برای جلوگیری از حذف نادرست داده‌ها در پژوهشی لی و جوشی[1] یک مدل شبیه‌سازی ارایه نمودند که به متخصصان برای تعیین بهترین استراتژی‌های حذف داده کمک می‌کرد. آن‌ها از پرومدل[2] 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 بهترتعاملات 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.

جدول۱. پژوهش‌های انجام‌شده بر روی موضوع

عنوان	نویسنده/ سال تحقیق	روش تحقیق	نتایج حاصله	تابع چندهدفه	مدل کنترل موجودی	شرایط عدم اطمینان	چند دوره ای/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. درنظر گرفتن هزینه‌های پنهان منجربه افزایش کارایی و سودآوری می‌گردد.	*	*	*	–	–	*
برنامه‌ریزی پویا در سیستم‌های تولیدی ساخت برای انبار با درنظرگرفتن زمان راه‌اندازی و خرابی‌های تصادفی: تجزیه و تحلیل عملکرد و سیاست‌های بهبودیافته	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 برنامه-ریزی 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 & Joshi
[2]. ProModel

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

زمان راه‌اندازی		محصول با در نظر گرفتن زمان راه‌اندازی تولید می کند.	میزان بارگیری ماشین نقش در انتخاب نوع زمان راه اندازی ماشین							
شبیه‌سازی مبتنی بربهینه‌سازی کنترل موجودی چند محصول با یک ماشین با زمان راه-اندازی	مسکوئیتا و توموتانی، ۲۰۲۲[۴۷]	مطالعه مساله زمان‌بندی اندازه دسته چندین محصول با یک ماشین با تقاضای تصادفی و زمان راه اندازی با استفاده از بهینه‌سازی از طریق شبیه سازی	تحلیل عملکرد حلقه زمان بندی ثابت و زمان‌بندی پویا مبتنی بر سطح موجودی و عملکرد بهتر زمان بندی 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 نسبتا کوتاه بایستی در مدت کوتاهی به روز رسانی گردد تا نسبت ضایعات کاهش یابد. مواد فاسدشدنی با عمر نسبتا طولانی بایستی در مدت طولانی‌تری به روز رسانی گردد تا متوسط قیمت فروش بالا برود.	*	*	*	*	–	–	–
شبیه‌سازی به منظور بهینه‌سازی نگهداری موجودی در 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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

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 زمان‌گردآوری 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

٦مدل تحقیق

٦-١ 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 زنجیره‌تامین شرکت‌های توزیع نیروی برق در نظر گرفته شده‌است.
- 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.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

- 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).

۲-۶ پارامترها و متغیرهای مدل

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

i: مشتری / خرده فروش در زنجیره تامین که $i=۰,۱,\ldots,M$

j: نوع کالا در زنجیره تامین که $j=۱,۲,\ldots,N$

t: دوره t در افق زمانی که $t=۱,۲,\ldots,T$

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_{oj}: ظرفیت تامین‌کننده برای محصول j ام

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

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

۶-۳ فرموله کردن مدل پیشنهادی

این مقاله به بررسی انبارهای زنجیره تامین چهارسطحی شامل تامین‌کننده، توزیع‌کننده، خرده فروش و مشتری می‌پردازد. $x^{\cdot} = \{x^{\cdot}_{\cdot j}, x^{\cdot}_{\cdot j}, x^{\cdot}_{\cdot j}, ..., x^{\cdot}_{Mj}\}$ نشان‌دهنده سطح موجودی اولیه در انتهای اولین دوره (t=۰) در هر کدام از دوره‌های زمانی t=۱,۲,...,T و برای هر یک از اقلام j=۱,۲ ,...,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) به‌دست می‌آید.

$$G_{ij}(ax_{ij}^t) = h_{ij} * (ax_{ij}^t - D_{ij}^t)^+ + p_{ij} * (D_{ij}^t - ax_{ij}^t)^+ \text{ که } x^+ = \max\{x, ۰\} \qquad (۱)$$

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 نشان دهنده سطح موجودی واقعی کالای j خرده‌فروش i بعد از دریافت کالاها از توزیع‌کننده با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت آن توزیع‌کننده می‌باشد که در واقع $Z_{ij}^t \le y_{ij}^t$. سفارشات خرده‌فروشان تقاضای توزیع‌کننده می‌شود، دو روش به منظور بازپرسازی تقاضا بوسیله توزیع‌کننده مدنظر قرار می‌گیرد.

۱- چنانچه موجودی دردست کالای j ام توزیع‌کننده به وفور باشد به گونه‌ای که $ax_{\cdot j}^t \ge \sum_{i=۱}^{m}(y_{ij}^t - x_{ij}^t)$، تمامی سفارشات خرده فروشان به طورکامل برآورده می‌گردد.

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

$$Z_{ij}^t = \begin{cases} y_{ij}^t, & ax_{\cdot j}^t \ge \sum_{i=۱}^{M}(y_{ij}^t - x_{ij}^t) \\ x_i^t + \min\{y_{ij}^t - x_{ij}^t, ax_{\cdot j}^t\}, & ax_{\cdot j}^t \prec \sum_{i=۱}^{M}(y_{ij}^t - x_{ij}^t) \end{cases} \qquad (۲)$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

سپس توزیع‌کننده سطح موجودی انتهای دوره خود را x_{oj}^t ملاحظه می‌نماید و در مورد افزایش سطح موجودی به میزان y_{oj}^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.

$$y_{.j}^t - x_{.j}^t \le U_{.j} \quad t = ۱,۲,...,T \quad \text{به ازاء هر} \tag{۳}$$

$$y_{.j}^t \ge x_{.j}^t \tag{۴}$$

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

$$x_{ij}^t = (ax_{ij}^t - D_{ij}^t)^+ \qquad i = ۰,...,M \qquad j = ۱,۲,...,N \tag{۵}$$

در صورتی‌که 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.

$$D_{.j}^t = \sum_{i=۱}^{M} (y_{ij}^t - x_{ij}^t) \tag{۶}$$

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.

$$v_{ij}^t(x_{ij}^t) = K_{ij} * \delta * (y_{ij}^t - x_{ij}^t) + G_{ij}(ax_{ij}^t) \;\; i = ۰,...,M \;\; j = ۱,۲,...,N \;\; t = ۱,۲,...,T \tag{۷}$$

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

$$\delta(x) = \begin{cases} ۱, x \succ ۰ \\ ۰, x \le ۰ \end{cases} \tag{۸}$$

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

$$TC = \sum_{i=۰}^{M} \min \left\{ \sum_{i=۱}^{T} v_{ij}^t(x_{ij}^t) \right\} \tag{۹}$$

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

$$AC(T) = \frac{۱}{T} \sum_{i=۱}^{M} \sum_{j=۱}^{N} ax_{ij}^t \tag{۱۰}$$

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

$$CD(T) = \sum_{i=۱}^{M} \sum_{j=۱}^{N} \frac{\min(ax_{ij}^t, D_{ij}^t)}{D_{ij}^t} \tag{۱۱}$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

٦-٤ مدل کلی

$$Min(Z_1) = ۰.۲۵(ax^1_{11} - d^1_{11})^+ + ۰.۷۵(d^1_{11} - ax^1_{11})^+ + ۱۰۰Z^1_{11} + ۰.۲۵(ax^1_{12} - d^1_{12})^+ + ۰.۷۵(d^1_{12} - ax^1_{12})^+ + ۱۰۰Z^1_{12} +$$
$$۰.۲۵(ax^1_{21} - d^1_{21})^+ + ۰.۷۵(d^1_{21} - ax^1_{21})^+ + ۱۰۰Z^1_{21} + ۰.۲۵(ax^1_{22} - d^1_{22})^+ + ۰.۷۵(d^1_{22} - ax^1_{22})^+ + ۱۰۰Z^1_{22} +$$
$$۰.۲۵(ax^2_{11} - d^2_{11})^+ + ۰.۷۵(d^2_{11} - ax^2_{11})^+ + ۱۰۰Z^2_{11} + ۰.۲۵(ax^2_{12} - d^2_{12})^+ + ۰.۷۵(d^2_{12} - ax^2_{12})^+ + ۱۰۰Z^2_{12} +$$
$$۰.۲۵(ax^2_{21} - d^2_{21})^+ + ۰.۷۵(d^2_{21} - ax^2_{21})^+ + ۱۰۰Z^2_{21} + ۰.۲۵(ax^2_{22} - d^2_{22})^+ + ۰.۷۵(d^2_{22} - ax^2_{22})^+ + ۱۰۰Z^2_{22} + ... +$$
$$۰.۲۵(ax^{60}_{11} - d^{60}_{11})^+ + ۰.۷۵(d^{60}_{11} - ax^{60}_{11})^+ + ۱۰۰Z^{60}_{11} + ۰.۲۵(ax^{60}_{12} - d^{60}_{12})^+ + ۰.۷۵(d^{60}_{12} - ax^{60}_{12})^+ + ۱۰۰Z^{60}_{12} +$$
$$۰.۲۵(ax^{60}_{21} - d^{60}_{21})^+ + ۰.۷۵(d^{60}_{21} - ax^{60}_{21})^+ + ۱۰۰Z^{60}_{21} + ۰.۲۵(ax^{60}_{22} - d^{60}_{22})^+ + ۰.۷۵(d^{60}_{22} - ax^{60}_{22})^+ + ۱۰۰Z^{60}_{22}$$

$$Min(Z_2) = (Z^1_{11} + Z^1_{12} + Z^1_{21} + Z^1_{22} + x^1_{11} + Z^2_{11} + x^1_{12} + Z^2_{12} + x^1_{21} + Z^2_{21} + x^1_{22} + Z^2_{22} + ... + x^{59}_{11} + Z^{60}_{11} + x^{59}_{12} +$$
$$Z^{60}_{12} + x^{59}_{21} + Z^{60}_{21} + x^{59}_{22} + Z^{60}_{22}) / (۶۰ * ۸)$$

$$Min(Z_3) = (d^1_{11} - ax^1_{11})^+ + (d^1_{12} - ax^1_{12})^+ + (d^1_{21} - ax^1_{21})^+ + (d^1_{22} - ax^1_{22})^+ + ... + (d^{60}_{11} - ax^{60}_{11})^+ + (d^{60}_{12} - ax^{60}_{12})^+ +$$
$$(d^{60}_{21} - ax^{60}_{21})^+ + (d^{60}_{22} - ax^{60}_{22})^+ / (d^1_{11} + d^1_{12} + d^1_{21} + d^1_{22} + ... + d^{60}_{11} + d^{60}_{12} + d^{60}_{21} + d^{60}_{22})$$

St:

$$ax^1_{11} = Z^1_{11};\ ax^1_{12} = Z^1_{12};\ ax^1_{21} = Z^1_{21};\ ax^1_{22} = Z^1_{22};\ ax^2_{11} = x^1_{11} + Z^2_{11};\ ax^2_{12} = x^1_{12} + Z^2_{12};\ ax^2_{21} = x^1_{21} + Z^2_{21};$$
$$ax^2_{22} = x^1_{22} + Z^2_{22} \ \ldots\ ax^{60}_{11} = x^{59}_{11} + Z^{60}_{11};\ ax^{60}_{12} = x^{59}_{12} + Z^{60}_{12};\ ax^{60}_{21} = x^{59}_{21} + Z^{60}_{21};\ ax^{60}_{22} = x^{59}_{22} + Z^{60}_{22}$$
$$x^1_{11} \geq (ax^1_{11} - D^1_{11}), x^1_{11} \geq ۰; \qquad x^1_{12} \geq (ax^1_{12} - D^1_{12}), x^1_{12} \geq ۰; \qquad x^1_{21} \geq (ax^1_{21} - D^1_{21}), x^1_{21} \geq ۰;$$
$$x^1_{22} \geq (ax^1_{22} - D^1_{22}), x^1_{22} \geq ۰; \qquad \ldots;\ x^{60}_{11} \geq (ax^{60}_{11} - D^{60}_{11}), x^{60}_{11} \geq ۰;$$
$$x^{60}_{12} \geq (ax^{60}_{12} - D^{60}_{12}), x^{60}_{12} \geq ۰;\ x^{60}_{21} \geq (ax^{60}_{21} - D^{60}_{21}), x^{60}_{21} \geq ۰\ x^{60}_{22} \geq (ax^{60}_{22} - D^{60}_{22}), x^{60}_{22} \geq ۰$$

$$\begin{cases} if x^1_{11} \leq R_{11}, Z^1_{11} \leq Q_{11}, Z^1_{11} \leq y^1_{11} \\ else, Z^1_{11} = ۰ \end{cases} \qquad \begin{cases} if x^1_{12} \leq R_{12}, Z^1_{12} \leq Q_{12}, Z^1_{12} \leq y^1_{12} \\ else, Z^1_{12} = ۰ \end{cases}$$

$$\begin{cases} if x^1_{21} \leq R_{21}, Z^1_{21} \leq Q_{21}, Z^1_{21} \leq y^1_{21} \\ else, Z^1_{21} = ۰ \end{cases}$$

$$\begin{cases} if x^1_{22} \leq R_{22}, Z^1_{22} \leq Q_{22}, Z^1_{22} \leq y^1_{22} \\ else, Z^1_{22} = ۰ \end{cases} \quad \ldots \quad \begin{cases} if x^{60}_{11} \leq R_{11}, Z^{60}_{11} \leq Q_{11}, Z^{60}_{11} \leq y^{60}_{11} \\ else, Z^{60}_{11} = ۰ \end{cases}$$

$$\begin{cases} if x^{60}_{12} \leq R_{12}, Z^{60}_{12} \leq Q_{12}, Z^{60}_{12} \leq y^{60}_{12} \\ else, Z^{60}_{12} = ۰ \end{cases} \qquad \begin{cases} if x^{60}_{21} \leq R_{21}, Z^{60}_{21} \leq Q_{21}, Z^{60}_{21} \leq y^{60}_{21} \\ else, Z^{60}_{21} = ۰ \end{cases}$$

$$\begin{cases} if x^{60}_{22} \leq R_{22}, Z^{60}_{22} \leq Q_{22}, Z^{60}_{22} \leq y^{60}_{22} \\ else, Z^{60}_{22} = ۰ \end{cases}$$

$$۳۸۵ \leq Q_{11} \leq ۴۰۵;\ ۵۵۰ \leq Q_{12} \leq ۶۵۰;\ ۶۹۰ \leq Q_{21} \leq ۷۱۰;\ ۶۰۰ \leq Q_{22} \leq ۱۰۰۰;$$
$$۱۰۰ \leq R_{11} \leq ۲۰۰;\ ۲۵۰ \leq R_{12} \leq ۳۵۰;\ ۳۰۰ \leq R_{21} \leq ۴۰۰;\ ۲۰۰ \leq R_{22} \leq ۳۰۰$$

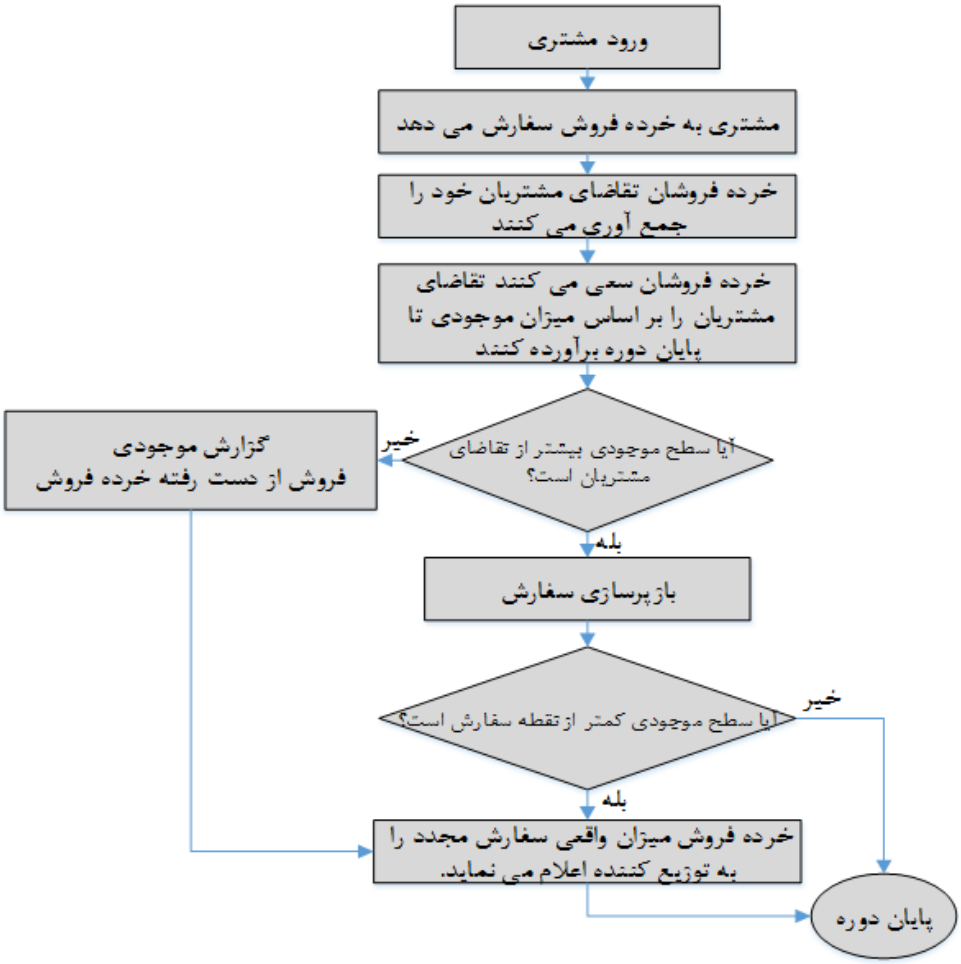
[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

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 وخرده‌فروشان در زنجیره تامین چهارسطحی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. مدل شبیه‌سازی در یک دوره

جدول۲. توزیع‌های احتمالی مدل

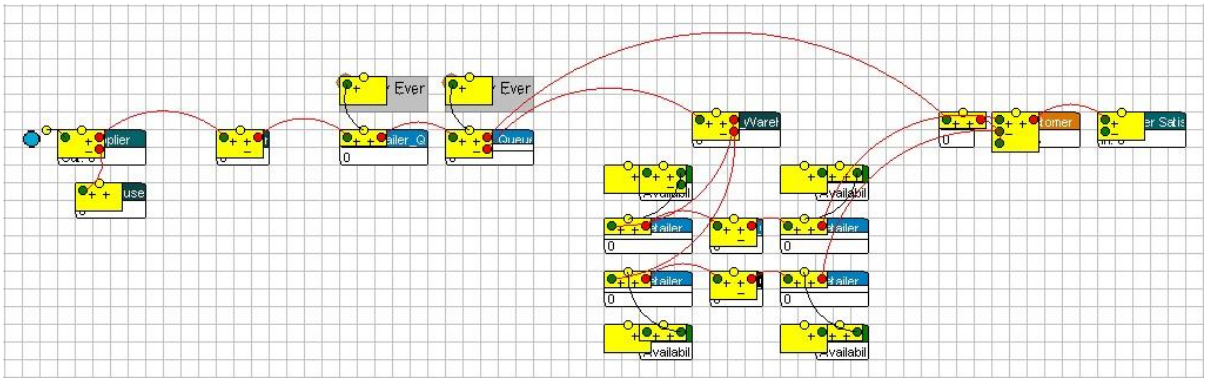
متغیر	توزیع	
	Z_{ij}^{t}	D_{ij}^{t}
محصول۱- خرده فروش اول	Weibull(۷۲/۷۲، ۲/۶۰)	Logistic(۷۳/۳۵، ۹/۳۳)
محصول۱- خرده فروش دوم	Lognormal(۴۱/۰۲، ۹/۷۸)	Normal(۴۰/۹۹، ۳/۲۷)
محصول۲- خرده فروش اول	Logistic(۴۴/۴۰، ۱۳/۹۸)	Lognormal(۵۰/۸۰، ۱۱/۰۱)
محصول۲- خرده فروش دوم	Logistic(۳۰/۴۴، ۷/۱۷)	Uniform(۲۵/۴۱، ۴۰/۵۱)

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

مدل شبیه‌سازی به‌کار رفته در این پژوهش با استفاده از نرم افزار Enterprise Dynamics ویرایش۸.۲.۵ 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 اعتبار سنجی 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

۷-۲ 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.

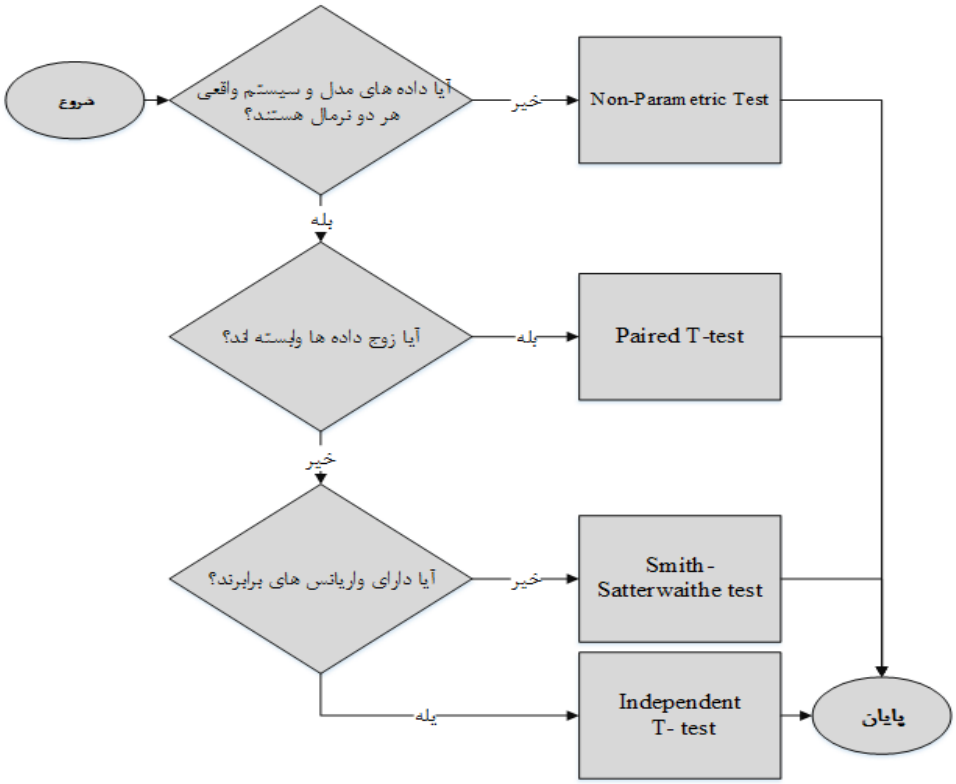
اولین مرحله از فرایند اعتبارسنجی آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بر روی نمونه‌ها انجام می‌شود. آزمون کولموگروف-اسمیرنوف[1] برای بررسی نرمال بودن داده‌های جمع‌آوری‌شده از خروجی مشتریان در ۶۰ دوره یک ماهه می‌باشد که در هر دوره یک ماهه به مدت هشت ساعت کار انجام می‌شده است. مدل شبیه‌سازی نیز به همین ترتیب در ۶۰ تکرار با ۸ ساعت در هر اجرا انجام شده است. بر اساس نتایج حاصله، مقدار P در هر دو مجموعه بیشتر از۰/۰۵ است(P-Value>۰/۰۵) و بدین مفهوم است که داده‌های واقعی و شبیه‌سازی‌شده 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[2] 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 صورتی‌که داده‌ها از یکدیگرمستقل 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.

[1]. Kolmogorov-Smirnov test
[2]. Natural Pairing Evaluation

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]



شکل٤. نمودار اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی

جدول٣. 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
Most Extreme Differences	Absolute	۰/۱۱۰	۰/۱۳۸
	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.

جدول٤. آماره آزمون کای دو

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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

با توجه به داده‌های به‌دست 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 چانگ آخرین مرحله که شامل آزمون T است می‌بایست اجرا گردد. با توجه به این‌که آماره آزمونT مقدار آماره ۱/۹۸۰۸ $t_{.,.0.025,118} = 1/9808$ است و بر اساس جدول ۵ این عدد بین حد پایین و حد بالای دو مجموعه داده‌هاست. بنابراین بر اساس روش اعتبارسنجی چانگ خروجی مدل شبیه‌سازی با مشتریان راضی واقعی یکسان هستند و اعتبار سنجی مدل مورد قبول قرار می‌گیرد.

جدول۵. 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
VAR۰۰۰۰۱	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 2^k مشاهده می‌باشد که در مدل مورد بررسی از سیاست موجودی (R,Q) و طرح تکرار کامل استفاده شده است. بدین معنا که هنگامی‌که سطح موجودی خرده‌فروش به کمتر از نقطه سفارش مجدد برسد، اندازه سفارش Q توسط توزیع‌کننده فورا جایگزین خواهد شد. از آنجایی‌که 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 درجدول ۶ نشان داده شده است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

جدول٦. 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 i برای کالای jام	خرده فروش ۱	محصول ۱	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	عدد
		محصول ۲	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	عدد
	خرده فروش ۲	محصول ۱	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	عدد
		محصول ۲	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	عدد
Q_{ij} مقدار سفارش مجدد خرده‌فروش i برای کالای jام	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 قرارمی‌گیرد. 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 دردست 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 شناسایی‌شده 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 درآن‌ها مطالعه اثر توام عوامل بر پاسخ ضروری است، طرح‌های عاملی به طور وسیع کاربرد دارند. با توجه به این‌که در مدل مورد بررسی برای هر خرده‌فروش دو سطح بالاو 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 به‌دست آمده است. سپس به منظور طراحی آزمایش‌ها از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت۱۳ و روش باکس بنکن استفاده شد که در مجموع ۱۱۴ آزمایش طراحی گردید که برای هر یک از آزمایشات مقادیرمربوط 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.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

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

۷-۳-٤ روش تجزیه و تحلیل SAW

روش مجموع ساده وزنی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه می‌باشد که در آن رتبه نهایی هرگزینه 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 آنتروپی۳- محاسبه رتبه کلی هر پارامتر. جزییات 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.

$$r_{ij} = \begin{cases} \dfrac{x_{ij}}{x_{j^+}}; \quad j \in \max \\ \dfrac{x_{j^-}}{x_{ij}}; \quad j \in \min \end{cases} \qquad (۱۲)$$

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

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^{n} d_j} \qquad (۱۳)$$

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

$$S_i = \sum_{j=۱}^{n} W_j * r_{ij} \qquad (۱۴)$$

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

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

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

جدول۹. 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	۰/۵۴۵۸۵۷	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	۰/۲۲۶۱۵۱						

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.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

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 دچارکمبود 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 به‌کار 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 به‌کار 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 (۰/۹۹۶۱۳۳) و مقادیر (R۱۱=۱۵۰)، (R۱۲=۳۵۰)، (R۲۱=۳۵۰)، (R۲۲=۳۰۰)، (Q۱۱=۳۹۵)، (Q۱۲=۷۰۰)، (Q۲۱=۶۵۰) و (Q۲۲=۱۰۰۰) و توابع هدف (F۱=۳۷۲۹۰)، (F۲=۳۶۰/۳۵) و (F۳=۰/۰۵۲۲۸۳) به عنوان سناریوی برتر و سناریو ۷۶ با امتیاز (۰/۸۰۴۱۴۸) و مقادیر (R۱۱=۲۰۰)، (R۱۲=۴۰۰)، (R۲۱=۳۰۰)، (R۲۲=۲۵۰)، (Q۱۱=۳۹۵)، (Q۱۲=۷۰۰)، (Q۲۱=۶۵۰) و (Q۲۲=۱۰۰۰) و توابع هدف (F۱=۳۸۴۳۸)، (F۲=۳۵۳/۷۷۰۸) و (F۳=۰/۰۶۵۸۷) به عنوان سناریوی جایگزین انتخاب شده‌اند در حالی‌که پیش از این دیدگاه مدیران سیستم موجودی زنجیره بر این بود که سناریو حدمتوسط با مقادیر(R۱۱=۱۵۰)، (R۱۲=۳۵۰)، (R۲۱=۳۰۰)، (R۲۲=۲۵۰)، (Q۱۱=۳۹۵)، (Q۱۲=۷۰۰)، (Q۲۱=۶۰۰) و (Q۲۲=۸۰۰) و توابع هدف (F۱=۵۵۷۳۷/۲۵)، (F۲=۳۳۳/۹۴) و (F۳=۰/۱۲۳۹) به عنوان سناریوی مناسب و کاربردی می‌باشد که اجرای آن هزینه‌های زیادی را بر اعضای زنجیره تامین وارد می‌نمود.

نتایج مدل ارایه‌شده 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 ارایه‌شده در این مقاله را می‌توان در موقعیت‌های مختلف زنجیره تامین در هنگامی‌که یک حلقه تقاضا از مشتری نهایی دریافت می‌شود، به‌کار برد. در وهله دوم در این مقاله به بحث فروش از دست

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

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 بهره ببرد. هنگامی‌که 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 نظرگرفتن 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 به‌کارگیری 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. IISE 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.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

[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 Approch, 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.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]

[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 simulationfourth 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. IISE 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].

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.22034/20.4.107]