مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال نوزدهم، شماره سوم (پیاپی ۷۴)، پاییز ۰۱، ص ص ۱۵۳-۱۳۳
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

مدل برنامه‌ریزی بازیابی زنجیره‌تامین سه سطحی پس از وقوع اختلال تامین

فاطمه قاسم زاده گوری[1*]، لعیا الفت[2]، مقصود امیری[3]، ابراهیم تیموری[4]

۱- استادیار، گروه مدیریت و حسابداری، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

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

۳-استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

۴-استاد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

رسید مقاله: ۱۲ آذر ۱۴۰۰

پذیرش مقاله: ۲ خرداد ۱۴۰۱

چکیده

در مقاله حاضر، به ارایه مدل برنامه‌ریزی بازیابی پس از وقوع اختلال پرداخته شده است. مدل ارایه‌شده با هدف کمینه‌سازی هزینه بازیابی یک زنجیره‌تامین سه سطحی شامل چندین تامین‌کننده، یک تولیدکننده و چندین خرده فروش می‌باشد که در هر یک از تامین‌کنندگان ممکن است اختلالی رخ دهد که منجر به عدم تحقق سفارشات تولیدکننده گردد و نهایتا تقاضای مشتریان تامین نشود. هدف اصلی این تحقیق کمک به تصمیم‌گیری در خصوص میزان تامین، تولید و ارسال بین حلقه‌های مختلف زنجیره‌تامین می‌باشد به گونه‌ای که پس از وقوع اختلال با کم‌ترین هزینه به شرایط قبل از اختلال باز گردد. برای این منظور از مدل‌سازی ریاضی استفاده‌شده و مدل طراحی‌شده که یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی و عدد صحیح مختلط می‌باشد با یک الگوریتم ابتکاری پیشنهادی حل شده است. همچنین جهت ارزیابی کارایی روش حل ارایه‌شده، مدل برای مسایل آزمایشی طراحی‌شده، با نرم افزارGAMS 24 نیز حل و پاسخ‌ها مقایسه گردید که اختلاف مقادیر به‌دست آمده در دو روش با معیار درصد انحراف ارزیابی‌شده و نشان می‌دهد پاسخ‌ها مناسب می‌باشند.

کلمات کلیدی: زنجیره‌تامین، برنامه‌ریزی بازیابی، اختلال تامین، مدیریت اختلال.

۱ مقدمه

جهانی‌سازی اقتصاد و رشد برون‌سپاری، زنجیره‌های تامین را پیچیده‌تر و وابسته‌تر کرده است و در بسیاری صنایع، زنجیره‌های تامین به علت کمبود ظرفیت‌های پشتیبانی، در معرض ریسک‌های بزرگی قرار گرفته‌اند که تاکنون بی‌سابقه بوده است[۱، ۲]. بررسی‌ها حاکی از آن است که شرکت‌ها در مورد اختلالات زنجیره‌تامین بسیار نگران هستند. مطالعات انجام‌شده بر روی ۱۵۱ مدیر اجرایی زنجیره‌تامین نشان می‌دهد که ۷۳٪ از مدیران اجرایی اشاره کرده‌اند که در طی پنج سال اخیر زنجیره‌تامین آن‌ها دچار اختلال شده است و ۴۸٪ آن‌ها انتظار داشتند که ریسک

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: Ghasemzadeh.fa@gmail.com

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

اختلال‌ها در طی سه سال آتی افزایش یابد[۳]. نمونه‌های متعددی از بی‌نظمی‌های زنجیره‌تامین وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارتند از: شرکت اریکسون به دلیل آسیب تسهیلات تولیدی تامین‌کنندگان نیمه هادی در طی آتش سوزی سال ۲۰۰۰، حدود ۴۰۰ میلیون یورو زیان دید، کارخانه Land Rover به دلیل ورشکستگی تأمین‌کنندگان در سال ۲۰۰۱، حدود ۱۴۰۰ نفر از پرسنل خود را منتظر خدمت کرد، شرکت Dole با آسیبی که به مزارع موز در آفریقای جنوبی در سال ۱۹۹۸ وارد شد سود قابل ملاحظه‌ای را از دست داد و شرکت Ford به دلیل ترافیک هوایی پس از حادثه ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱، مجبور به تعطیلی ۵ کارخانه برای چندین روز شد و طی دو سال گذشته بسیاری از شرکت‌ها به علت همه‌گیری کرونا تعطیل یا نیمه تعطیل شدند. [۴-۶]

در مطالعات مدیریت ریسک اغلب با پیش بینی اختلالات احتمالی سعی بر انتخاب بهترین تصمیم در مورد نحوه عملکرد حلقه‌های زنجیره‌تامین می‌باشد؛ اما واقعیت این است که نمی‌توان همه اختلالات را پیش بینی نمود و گاهی اوقات اتفاقاتی رخ می‌دهد که زنجیره‌تامین را از اجرای فعالیت‌ها طبق برنامه‌ریزی قبلی منحرف می‌سازد، تحقیق حاضر در پی ارایه مدل ریاضی برنامه‌ریزی تامین، انبارش و توزیع در زنجیره‌تامین پس از وقوع اختلال می‌باشد، این نوع برنامه را برنامه بازیابی[۲] می‌نامند که در حوزه مطالعات مدیریت اختلال قرار می‌گیرد و در پی بازیابی سیستم مختل‌شده با هدف کمینه‌سازی کل هزینه‌های زنجیره‌تامین و بازگشت زنجیره‌تامین به حالت قبل از اختلال می‌باشد. به عبارت دیگر به دنبال پاسخ این سوال هستیم که در صورت بروز اختلال در تامین‌کننده، مدل برنامه‌ریزی تولید-موجودی چه تغییری می‌کند؟

نوع تحقیق از منظر هدف، توسعه ای-کاربردی می‌باشد و از آنجا که به دنبال ارایه مدل برنامه‌ریزی ریاضی جهت مدیریت اختلالات تامین در زنجیره‌تامین سه سطحی می‌باشد توسعه‌ای است، بررسی‌های انجام‌شده در مقالات موجود در این حوزه حاکی از توجه بسیار اندک محققین به استفاده از مدل‌سازی ریاضی جهت بازیابی سیستم پس از اختلال می‌باشد به طوری که تنها در چند مقاله در سال‌های اخیر این موضوع یافت گردید که در بخش مرور ادبیات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

این مقاله شامل پنج بخش اصلی می‌باشد، در بخش دوم به مرور ادبیات موضوع پرداخته‌شده، در بخش سوم مدل ریاضی طراحی شده تشریح گردیده و در بخش چهارم مثال عددی مطرح و نهایتاً در بخش پنجم نتیجه‌گیری و ارائیه پیشنهادات برای تحقیقات آتی ارایه شده است.

۲ مرور ادبیات

یکی از خطرات اصلی عدم اطمینان، بروز اختلال می‌باشد که در مسیر برنامه‌ریزی‌شده زنجیره‌تامین تاثیرگذار است. حوادثی که فعالیت‌های زنجیره‌تامین را مختل می‌کند، در یک تقسیم‌بندی کلی شامل حوادث درونی و بیرونی می‌باشد. حوادث درونی زنجیره‌تامین دارای اثر مخرب‌تری در مقایسه با حوادث بیرونی می‌باشد. حوادث بیرونی زنجیره تأمین، اصطلاحا "حوادث محیطی" (شامل تغییرات تکنولوژی یا اقتصادی، اقدامات رقبا و ...) نامیده می‌شوند. حوادث درونی ممکن است در سمت بالا دستی زنجیره‌تامین (شامل: تحویل‌ها یا دریافت‌های

[2] Recovery Plan

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

کند، کمبود مواد یا خدمت در دسترس و ...)، قسمت میانی یا مرکزی زنجیره (کمبود ظرفیت کافی و مناسب، عملکرد یا خروجی نامرغوب فرایند و ...) و سمت پایین دستی (شامل: تغییرات در ترکیب تقاضا، تغییر در زمانبندی یا حجم تقاضای درخواستی) اتفاق بیافتد[۱، ۷-۱۰]. صلاحی [۱۱] در پژوهشی به ارزیابی و رتبه‌بندی اختلالات زنجیره‌تامین پرداخته و نشان داد که بحرانی‌ترین اختلال‌ها، اختلال مربوط به بلایای طبیعی است.

همچنان‌که وابستگی و ارتباطات متقابل اعضاء زنجیره برای رفع نیازمندی‌ها افزایش می‌یابد، این امر تعداد و تنوع حوادث بالقوه برای شرکت‌ها را بیشتر می‌کند[۱۲، ۱۳]. همزمان با تغییرات یادشده، زنجیره‌های تأمین تکنیک‌های جدیدی نظیر سیستم‌های ناب[3] و Jit را تجربه می‌کنند که این شیوه‌ها مبتنی بر روابط تنگاتنگ تولیدکننده و تامین‌کننده و سیاست‌های موجودی سخت که به حذف ذخیره احتیاطی و موجودی در بین فرایندها تاکید دارد، می‌باشد. روندهای فوق باعث افزایش شکنندگی و آسیب‌پذیری زنجیره‌های تامین شده است [۱۴، ۱۵]. تلاش‌های صورت گرفته برای ایجاد زنجیره‌های تأمین با کارایی بالاتر و هزینه‌های پایین‌تر ممکن است به نتایج پیش‌بینی‌نشده‌ای منجر شود که ریسک وقوع بی‌نظمی و ایجاد وقفه در زنجیره‌تامین را بالا برده و یا باعث گسترش شدت اثر حوادث می‌شود[۱].

اگرچه اختلال‌ها می‌توانند در چندین شرکت بروز نمایند، اما وابستگی‌های متقابل میان شرکت‌ها سبب گسترش و تسری اختلال به سایر اعضا می‌شود. بنابراین هنگامی که حادثه‌ای در سایر بخش‌های زنجیره‌تامین اتفاق بیفتد، چه بسا سایر اعضا برای اختلال در جریان کالاها و خدمات خود مستعد می‌شوند. بنابراین شرکت‌ها باید زنجیره‌تامینی ایجاد نمایند که اولا ایمن باشد (کاهش احتمال یا کاهش تاثیر حوادث) و ثانیا قابل ارتجاع باشد (توانایی انطباق، پاسخگویی و بهبود هنگام وقوع حادثه) تا اثر کل حوادثی که به اختلال می‌انجامد، در زنجیره‌تامین به حداقل برسد[۱۶،۱]. اما مطالعات اخیر نشان می‌دهد که تنها ۲۵٪ - ۵٪ شرکت‌هایی که جزء ۵۰۰ Fortune می‌باشند به طور رسمی خود را برای بحران‌ها و اختلال‌های جدی آماده می‌کنند [۱۷] و کمتر از ۲۰٪ شرکت‌ها شبکه تأمین خود را به طور سالانه مورد بازبینی قرار می‌دهند[۱۸]. این ضعف در برنامه‌ریزی در حالی است که آمارهای صنعتی نشان‌دهنده افزایش اختلال‌ها به دلایل مختلف طبیعی و انسانی می‌باشد[۱۹].

تاکنون روش‌های متعددی برای مواجهه با تغییرات و عدم اطمینان در زنجیره‌تامین مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای اداره‌ی اثر متقابل ریسک‌های عرضه و تقاضا، روش‌هایی مانند Jit، مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI) و بازپرسازی مستمر[4] (که سریعاً جواب می‌دادند) گسترش یافتند[۲۰-۲۲]. مطالعات[۱۹، ۲۳]در همین رابطه نشان می‌دهد که مدیریت ضعیف اختلال می‌تواند اثر نامطلوبی بر اعتبار شرکت داشته باشد، ذهنیت بازار نسبت به علامت تجاری شرکت تغییر کند و به روابط با مشتری آسیب بزند. در عوض اداره مناسب چنین حوادثی، سرانجام به فرصت‌ها و موقعیت‌های خوبی برای شرکت‌ها می‌انجامد.

خلاصه‌ای از تحقیقات انجام‌شده در سال‌های گذشته در حوزه‌های مرتبط با اختلال درجدول ۱ آمده است.

[3] -Lean production
[4] -Continuous replenishment

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

جدول ۱. خلاصه‌ای از تحقیقات انجام‌شده در زمینه مدیریت اختلال در زنجیره‌های تامین

منبع	نوع اختلال			سطوح زنجیره تامین			روش حل
	تامین	تولید	تقاضا	تامین کننده	تولید کننده	خرده فروش	
[۲۰]	*				*		قطعی
[۲۱]		*			*	*	شبیه‌سازی
[۲۲]	*			*	*		فراابتکاری
[۲۴]	*			*	*	*	شبیه‌سازی
[۲۵]		*			*		شبیه‌سازی
[۲۶]		*			*		ابتکاری
[۲۷]		*			*		ابتکاری
[۲۸]	*			*	*		ابتکاری
[۲۹]			*	*		*	فراابتکاری
[۳۰]		*		*			فراابتکاری
[۳۱]		*			*		فراابتکاری
[۳۲]		*			*		فراابتکاری
[۳۳]		*			*		ابتکاری
[۳۴]			*	*		*	ابتکاری
[۳۵]	*			*	*		شبیه‌سازی
[۳۶]		*			*		شبیه‌سازی
[۳۷]		*			*	*	ابتکاری
[۳۷]			*		*		ابتکاری
تحقیق حاضر	*			*	*	*	ابتکاری

در تحقیق حاضر به ارایه مدل یکپارچه در زنجیره‌تامین سه سطحی شامل تامین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروشان با در نظر گرفتن شرایط اختلال در تامین‌کننده می‌پردازد و حل مدل ارایه‌شده توسط الگوریتم ابتکاری پیشنهادی صورت می‌گیرد. با توجه به بررسی‌هایی که بر روی مطالعات و تحقیقات قبلی صورت گرفته است، می‌توان به نوآوری‌های زیر در این تحقیق اشاره نمود:

۱- در این تحقیق مدل بازیابی زنجیره‌تامین سه سطحی طراحی شده و الگوریتمی برای حل مدل نیز ارایه می‌گردد، رویکرد مدل‌سازی با استفاده از سیستم‌های تولید-موجودی و در نظر گرفتن سیستم سفارش‌دهی هر یک از اجزا زنجیره‌تامین پس از وقوع اختلال، در ادبیات موضوع دارای نوآوری می‌باشد.

۲- در مدل طراحی‌شده، وضعیت همه اجزای زنجیره‌تامین در صورت وقوع اختلال در یک جز، مورد بررسی و مدل‌سازی قرار می‌گیرد که در نوع خود منحصر به‌فرد می‌باشد. به‌عبارت دیگر تسری اختلال

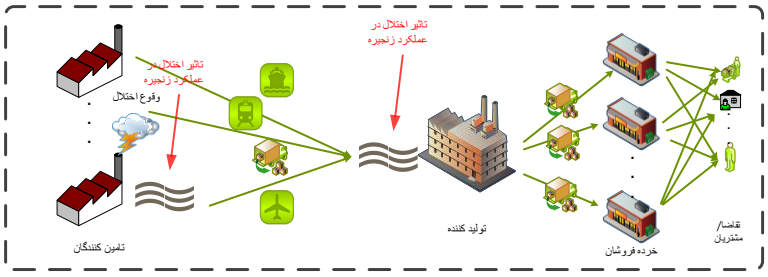
[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

یک حلقه از زنجیره به دیگر اجزا، در این تحقیق مورد مطالعه قرار می‌گیرد که می‌تواند از نظر کاربردی در سازمان‌ها در شرایط واقعی بسیار کارآمد و مفید واقع گردد.

۳ مدل‌سازی مساله

زنجیره تامین مورد بررسی شامل چند تامین‌کننده مواد اولیه، یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش می‌باشد که کالای تولید شده را به مشتریان می‌رسانند تا تقاضای بازار تامین گردد. فرض اولیه در سیستم حاضر آن‌است که این زنجیره‌تامین در حال فعالیت بر اساس یک برنامه جامع بهینه بوده است که در اثر بروز یک اختلال که می‌تواند هر نوع حادثه‌ای اعم از بلایای طبیعی یا سهل‌انگاری انسانی باشد، دچار انحراف از برنامه در کل یا بخشی از زنجیره شده است و در برنامه بازیابی سعی بر آن‌است که با برنامه‌ریزی مجدد با کمترین هزینه زنجیره‌تامین را به شرایطی برگردانیم که امکان اجرای برنامه جامع اولیه مجدداً به وجود آید یا به عبارت دیگر زنجیره‌تامین را با کم‌ترین هزینه به حالت اولیه بازگردانیم.



شکل ۱. نمایی از وقوع اختلال در زنجیره‌تامین مورد مطالعه

اختلال در یکی از تامین‌کنندگان، توقف تولید در تولیدکننده را موجب می شود در حالی که بقیه تامین‌کنندگان طبق برنامه قبلی به ارسال مواد اولیه به تولیدکننده ادامه می‌دهند؛ لذا موجودی بقیه مواد در انبار تولیدکننده افزایش می‌یابد که می‌بایست سفارشات بعدی به گونه‌ای به تعویق افتد که موجودی انباشته‌شده مصرف گردد. با به‌کارگیری سیاست کنترل موجودی سفارش پس از اتمام موجودی، سعی می شود این موضوع تحت کنترل قرار گیرد.

در تحقیق حاضر سعی برآن است که پس از وقوع اختلال در یک تامین‌کننده، میزان سفارشات، تولید و انتقال کالا بین حلقه‌های مختلف زنجیره‌تامین را به گونه‌ای تعیین نماییم که هزینه‌های دوره بازیابی کمینه گردد. طول دوره بازیابی محدود و هزینه‌های بازیابی شامل هزینه‌های انبارداری، تولید، سفارش‌گذاری، حمل و نقل بین حلقه‌های مختلف زنجیره، هزینه‌های فروش از دست رفته و پس افت تقاضا می‌باشند. مفروضات زیر در مدل‌سازی مدنظر می‌باشند:

- زنجیره‌تامین سه سطحی و شامل تامین کنندگان، تولیدکننده و خرده فروشان می‌باشد.
- زنجیره‌تامین تک محصولی است.

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

- اختلال ممکن است درون هر یک از تامین کنندگان رخ دهد که عملکرد آن حلقه را برای مدتی متوقف می‌سازد.
- دوره زمانی برنامه‌ریزی بازیابی از شروع دوره وقوع اختلال آغاز می‌گردد.
- زنجیره‌تامین نسبت به وقوع اختلال آگاه می‌باشد. یعنی فاصله زمانی بین وقوع اختلال و شناسایی آن صفر در نظر گرفته می‌شود.
- سود از دست رفته در صورت عدم تامین تقاضای مشتری، به عنوان هزینه کمبود محصول در محاسبات منظور می‌گردد و در صورتی که سفارشات با تاخیر زمانی تامین گردد هزینه پس افت تقاضا شامل آن می‌شود.
- هزینه‌های ثابت تولید، سفارش دهی، انبارداری، فروش از دست رفته و پس افت تقاضا، معین و شناخته‌شده هستند.
- انتقال کالا بین حلقه‌های سطوح مختلف زنجیره‌تامین مجاز و بین حلقه‌های هر سطح غیرمجاز می باشد. به عنوان مثال تامین‌کنندگان نمی‌توانند به یکدیگر کالا ارسال نمایند اما هر تامین‌کننده می‌تواند به تولید کننده کالا ارسال نماید.
- نرخ تولید و نرخ تقاضای هر یک از خرده فروشان ثابت و معین می‌باشد.
- نرخ تولید بیش از نرخ تقاضا می‌باشد.
- نرخ تامین مواد اولیه بیش از نرخ تقاضاست.
- در دوره‌های بعد از اختلال هیچ کمبودی مجاز نیست. (فقط در دوره‌ای که اختلال رخ داده کمبود به وجود می‌آید.)
- سیاست سفارش‌دهی تولیدکننده، سفارش پس از اتمام موجودی می‌باشد.
- تامین‌کننده دچار اختلال‌شده و تولیدکننده مجاز هستند در پایان هر دوره، موجودی نزد خود داشته باشند.
- دوره‌های زمانی گسسته و افق زمانی بازیابی محدود می‌باشد.
- فقط هزینه‌های دوره بازیابی در محاسبات منظور می‌گردد.
- طول دوره اختلال کمتر از یک دوره برنامه‌ریزی در شرایط عادی زنجیره می‌باشد.
- فقط در یکی از تامین‌کنندگان اختلال رخ می‌دهد.

۳-۱ نشانه‌ها

اندیس مربوط به تامین‌کنندگان	$s:1,2,...,S$	اندیس مربوط به خرده فروشان	$r:1,2,...,R$
هزینه راه اندازی تامین‌کننده s	A_s	هزینه راه اندازی تولیدکننده	AS
هزینه ثابت سفارش‌دهی تولیدکننده از تامین‌کننده s	AO_s	هزینه نگهداشت یک واحد ماده اولیه s در تامین‌کننده s	H_s

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

هزینه ثابت سفارش‌دهی خرده فروش r	A_r	هزینه نگهداشت یک واحد محصول در خرده فروش r	H_r
هزینه نگهداشت یک واحد ماده اولیه s درتولیدکننده	HM_s	هزینه نگهداشت یک واحد محصول درتولید کننده	H
نرخ تولید تامین‌کننده s	P_s	نرخ تولید تولیدکننده	P
نرخ تقاضای محصول در خرده فروش r	D_r	نرخ تقاضای تولید کننده برای ماده اولیه s	DM_s
اندازه تولید در تامین‌کننده s در شرایط عادی	Q_s	اندازه تولید در تولید کننده در شرایط عادی	Q
اندازه سفارش تولیدکننده در شرایط عادی	V	اندازه سفارش خرده فروش r در شرایط عادی	V_r
مقدار پس افت تقاضا در تولیدکننده	BL	مقدار پس افت تقاضا در خرده فروش r	BL_r
مقدار فروش از دست رفته در تولیدکننده	LS	مقدار فروش از دست رفته در خرده فروش r	LS_r
دوره اختلال در تامین‌کننده	TS_d	دوره اختلال در تولیدکننده	T_d
مقدار تولید شده در تامین‌کننده s قبل از وقوع اختلال	q_s	مقدار تولید شده در تولیدکننده قبل از وقوع اختلال	q
زمان فعالیت تولید در تامین‌کننده در شرایط عادی	ρ	زمان بیکاری تولید در تامین‌کننده در شرایط عادی	ξ
زمان بیکاری تولید در تولید کننده در شرایط عادی	φ	طول یک دوره تولید در تامین‌کننده s در شرایط عادی	T_s
لحظه شروع دوره بازیابی	t_o	لحظه پایان دوره بازیابی	t_f
طول یک دوره تولید در تولیدکننده در شرایط عادی	T	طول یک دوره سفارش‌دهی در خرده فروش r در شرایط عادی	T_r
هزینه یک واحد پس افت تقاضا در تامین کننده دچار اختلال شده	B_s	هزینه یک واحد پس افت تقاضا برای ماده اولیه s در تولید کننده	BM_s
هزینه یک واحد پس افت تقاضای محصول در خرده فروش r	B_r	هزینه یک واحد پس افت تقاضا برای محصول در تولید کننده	BM
هزینه یک واحد فروش از دست رفته در تامین کننده دچار اختلال شده	L_s	هزینه یک واحد فروش از دست رفته برای ماده اولیه s در تولید کننده	LM_s
هزینه یک واحد فروش از دست رفته برای محصول در تولید کننده	LM	هزینه یک واحد فروش از دست رفته محصول در خرده فروش r	L_r
طول دوره تولید i ام در تامین کننده دچار اختلال شده در دوره بازیابی	TS_i	طول دوره تولید i ام در تولیدکننده در دوره بازیابی	T_i
طول دوره سفارش دهی i ام در خرده فروش r در دوره بازیابی	T_{ri}	سطح موجودی پایان دوره i ام تامین‌کننده دچار اختلال شده در دوره بازیابی	I_i
سطح موجودی پایان دوره i ام تولیدکننده در دوره بازیابی	IM_i	اندازه تولید تامین کننده دچار اختلال‌شده در دوره i ام دوره بازیابی	MS_i
اندازه تولید تولید کننده در دوره i ام	M_i	اندازه سفارش تولید کننده به تامین کننده دچار	O_i

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

دوره بازیابی

تعداد دوره‌ها در افق بازیابی برای تامین‌کننده دچار اختلال‌شده n_1

تعداد دوره‌ها در افق بازیابی برای تولید کننده و خرده فروش n_2

تعداد دفعات تولید در افق بازیابی برای تولیدکننده z_2

اختلال‌شده در دوره i ام دوره بازیابی

اندازه سفارش خرده فروش r در دوره i ام دوره بازیابی O_{ri}

تعداد دفعات تولید در افق بازیابی برای تامین‌کننده دچار اختلال شده z_1

۳-۲ توابع هزینه مدل

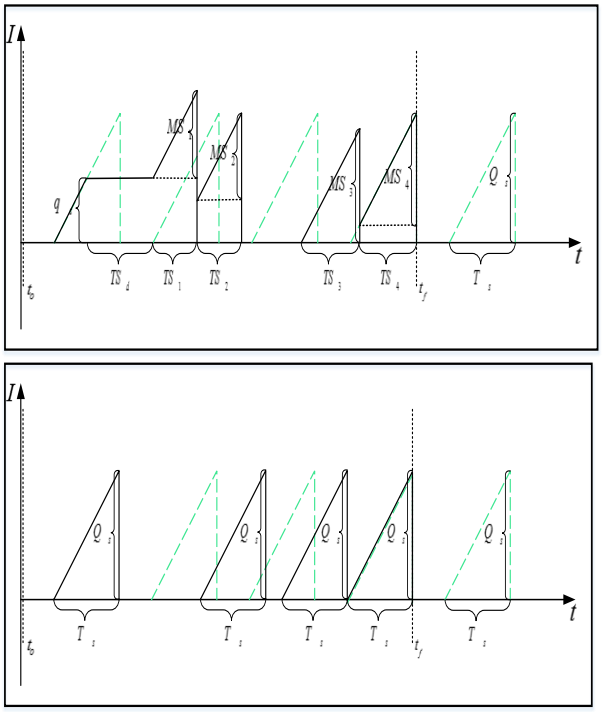
هزینه‌های مرتبط با تامین‌کننده‌ای که دچار اختلال شده است در دوره بازیابی عبارتند از: هزینه راه اندازی، نگهداشت موجودی، پس افت تقاضا و فروش از دست رفته.

هزینه راه اندازی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$FCS_s = A_s.z_1 \qquad (1)$$

I_i را به عنوان سطح موجودی در پایان دوره i ام تعریف می‌کنیم که:

$$I_i = I_{i-1} + MS_i - O_i \qquad \forall i = 1,\dots,z_1 \qquad (2)$$



شکل۲. نمودار سمت چپ وضعیت گردش موجودی تامین‌کننده دچار اختلال‌شده و نمودار سمت راست وضعیت گردش موجودی دیگر تامین‌کنندگان

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

خطوط نقطه چین در شکل۲، برنامه حالت عادی سیستم را نشان می‌دهد و خطوط پر، برنامه بازیابی پس از وقوع اختلال را نشان می‌دهند. سطح زیر نمودار در طول دوره بازیابی، میزان موجودی را نشان می‌دهد پس داریم[۲۸]:

$$HC_s = H_s(\frac{۱}{۲}q_s.\frac{q_s}{P_s} + q_s.TS_d + I_۰.TS_۱ + \frac{۱}{۲}MS_۱.TS_۱ + I_۱.TS_۲ + \frac{۱}{۲}MS_۲.TS_۲ + I_۲.TS_۳ + \frac{۱}{۲}MS_۳.TS_۳ + ...)$$

$$= H_s(\frac{۱}{۲P_s}q_s^۲ + q_s.TS_d + (I_۰ + \frac{۱}{۲}MS_۱)TS_۱ + (I_۱ + \frac{۱}{۲}MS_۲)TS_۲ + (I_۲ + \frac{۱}{۲}MS_۳)TS_۳ + ...)$$

$$= H_s(\frac{۱}{۲P_s}q_s^۲ + q_s.TS_d + (I_۰ + \frac{۱}{۲}MS_۱)\frac{MS_۱}{P_s} + (I_۱ + \frac{۱}{۲}MS_۲)\frac{MS_۲}{P_s} + (I_۲ + \frac{۱}{۲}MS_۳)\frac{MS_۳}{P_s} + ...)$$

$$= H_s(\frac{۱}{۲P_s}q_s^۲ + q_s.TS_d + \sum_{i=۱}^{z_۱}(I_{i-۱} + \frac{۱}{۲}MS_i)\frac{MS_i}{P_s}) \quad (۳)$$

برای میزان کمبود موجودی که بر اثر این اختلال تامین، در تولیدکننده رخ خواهد داد، تولیدکننده متحمل هزینه‌ای خواهد شد که در توابع هزینه آن منظور می‌گردد، در اینجا برای اطمینان از این‌که تامین‌کننده نیز به عنوان عامل ایجاد کمبود، همان میزان حساسیت و توجه برای جبران را دارد، هزینه‌های کمبود (شامل فروش از دست رفته و پس‌افت تقاضا) از نمودار وضعیت موجودی تولیدکننده، در هزینه‌های تامین‌کننده نیز منظور می‌گردد.

در اثر بروز اختلال در تامین‌کننده، سفارشات تولیدکننده طبق برنامه ارسال نمی‌گردد؛ لذا تولیدکننده با کمبود موجودی مواجه می‌گردد که بخشی از این کمبود طی دوره های بازیابی تامین می‌گردد و بخشی از آن نیز تامین نخواهد شد، مقدار تامین‌شده با تاخیر را پس افت در نظر می‌گیریم و مابقی را به عنوان فروش از دست رفته در محاسبات منظور می‌کنیم که هر یک هزینه مربوط به خود را خواهد داشت. میزان فروش از دست رفته از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$LS = n_۱V - q_s - \sum_{i=۱}^{z_۱-۱} O_i \quad (۴)$$

و مقدار پس افت تقاضا یا فروش معوقه به شرح زیر می‌باشد:

$$BL = (\xi + \frac{q_s}{P_s} + TS_d + \frac{MS_۱}{P_s} - \frac{V}{P}).P - LS \quad (۵)$$

بنابراین با توجه به نمودار گردش موجودی برای تابع هزینه پس افت تقاضا و فروش از دست رفته داریم:

$$BLC_s = B_s.(\xi + \frac{q_s}{P_s} + TS_d + \frac{MS_۱}{P_s} - \frac{V}{P}).\frac{BL}{۲} \quad (۶)$$

$$LSC_s = L_s.LS \quad (۷)$$

با استفاده از روابط ۷-۱ ، تابع هزینه تامین‌کننده دچار اختلال‌شده، در دوره بازیابی به شرح زیر می‌باشد:

$$TC_s = FCS_s + HC_s + BLC_s + LSC_s \quad (۸)$$

هزینه‌های مربوط به دیگر تامین‌کنندگان که در شرایط عادی به کار خود ادامه می‌دهند عبارت است از:

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

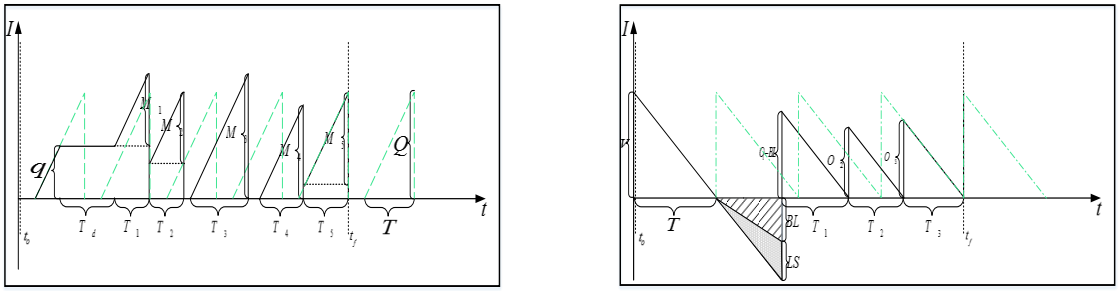
[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

$$TC_s' = \sum_{s=1}^{S} (A_s.z_1 + \frac{H_s}{2} T_s Q_s z_1) \quad (9)$$

هزینه‌های مرتبط با تامین مواد اولیه تولیدکننده در دوره بازیابی این اختلال عبارتند از: هزینه سفارش‌دهی، نگهداشت موجودی، پس افت تقاضا و فروش از دست رفته.

هزینه سفارش‌دهی از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$OCM = AO.(z_1 - 1) \quad (10)$$



شکل۳. نمودار وضعیت گردش موجودی در تولیدکننده (سمت چپ محصول و سمت راست مواد اولیه)

سطح زیر نمودار در طول دوره بازیابی، میزان موجودی را نشان می‌دهد پس داریم:

$$HCM_1 = \frac{1}{2} HM_s (V\frac{V}{P} + (O_1 - BL)T_1 + O_1 T_2 + O_2 T_3 + ...)$$
$$= \frac{1}{2} HM_s (\frac{V^2}{P} + (O_1 - BL)\frac{(O_1 - BL)}{P} + O_2 \frac{O_2}{P} + O_3 \frac{O_3}{P} + ...)$$
$$= \frac{HM_s}{2P} (V^2 + (O_1 - BL)^2 + O_2^2 + O_3^2 + ...)$$
$$= \frac{HM_s}{2P} (V^2 + (O_1 - BL)^2 + \sum_{i=2}^{z_1 - 1} O_i^2) \quad (11)$$

هزینه‌های کمبود شامل فروش از دست رفته و پس افت تقاضا نیز همچون مواردی که در قسمت هزینه‌های تامین‌کننده درج گردید، محاسبه می‌شود:

$$BLC_{M1} = BM_s.(\xi + \frac{q_s}{P_s} + TS_d + \frac{MS_1}{P_s} - \frac{V}{P}).\frac{BL}{2} \quad (12)$$

$$LSC_{M1} = LM_s.LS \quad (13)$$

با استفاده از روابط ۱۳-۱۰، تابع هزینه تولیدکننده در ارتباط با تامین‌کننده دچار اختلال‌شده، در دوره بازیابی اختلال تامین‌کننده به شرح زیر می‌باشد:

$$TCM_d = OCM + HCM_1 + BLC_{M1} + LSC_{M1} \quad (14)$$

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

در این شرایط به علت عدم مصرف مابقی مواد اولیه که توسط دیگر تامین‌کنندگان، تامین می‌شود زمان ارسال محموله‌های بعدی این تامین‌کنندگان نیز بازنگری می‌گردد و تابع هزینه سفارش‌دهی تولیدکننده به تامین‌کنندگان دیگر که دچار اختلال نشده‌اند به شرح زیر تغییر می‌یابد:

$$TCM'_d = \sum_{s=1}^{S}(AO_s.z_1 + \frac{HM_s}{2}T_sQ_sz_1 + HM_s.Q_s.TS_d) \quad (15)$$

همان‌طور که پیشتر نیز اشاره گردید در صورت بروز اختلال در تامین‌کننده، آثار آن در تولید محصول توسط تولیدکننده و همچنین در خرده فروشان نیز بروز می‌کند. هزینه‌های مرتبط با تولیدکننده در دوره بازیابی عبارتند از: هزینه راه‌اندازی، نگهداشت موجودی، پس افت تقاضا و فروش از دست رفته.

هزینه راه اندازی از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$FCM = AS.z_2 \quad (16)$$

IM_i را به عنوان سطح موجودی در پایان دوره iام تعریف می‌کنیم که:

$$IM_i = IM_{i-1} + M_i - \sum_{r=1}^{R}O_{ri} \qquad \forall i = 1,\dots,z_2 \quad (17)$$

سطح زیر نمودار در طول دوره بازیابی، میزان موجودی را نشان می‌دهد پس داریم:

$$\begin{aligned}
HCM_2 &= H(\frac{1}{2}q.\frac{q}{P} + q.T_d + IM_0.T_1 + \frac{1}{2}M_1.T_1 + IM_1.T_2 + \frac{1}{2}M_2.T_2 + IM_2.T_3 + \frac{1}{2}M_3.T_3 + \dots)\\
&= H(\frac{1}{2P}q^2 + q.T_d + (IM_0 + \frac{1}{2}M_1)T_1 + (IM_1 + \frac{1}{2}M_2)T_2 + (IM_2 + \frac{1}{2}M_3)T_3 + \dots)\\
&= H(\frac{1}{2P}q^2 + q.T_d + (IM_0 + \frac{1}{2}M_1)\frac{M_1}{P} + (IM_1 + \frac{1}{2}M_2)\frac{M_2}{P} + (IM_2 + \frac{1}{2}M_3)\frac{M_3}{P} + \dots)\\
&= H(\frac{1}{2P}q^2 + q.T_d + \sum_{i=1}^{z_2}(IM_{i-1} + \frac{1}{2}M_i)\frac{M_i}{P}) \quad (18)
\end{aligned}$$

برای محاسبه میزان فروش از دست رفته هر یک از خرده فروشان رعایت اصل تسهیم به نسبت در توزیع میزان کالای تولیدشده به نسبت میزان سفارشات هر یک از خرده فروشان در نظر گرفته می‌شود که از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$LS_r = n_2V_r - \frac{q}{\sum_{r=1}^{R}V_r} - \sum_{i=1}^{z_2-1}O_{ri} \quad (19)$$

و مقدار پس‌افت تقاضا یا فروش معوقه به شرح زیر می‌باشد:

$$BL_r = (\varphi + \frac{q}{P} + T_d + \frac{M_1}{P} - \frac{V_r}{D_r}).D_r - LS_r \quad (20)$$

بنابراین با توجه به نمودار گردش موجودی برای تابع هزینه پس افت تقاضا و فروش از دست رفته داریم:

$$BLC_R = BM\sum_{r=1}^{R}(\varphi + \frac{q}{P} + T_d + \frac{M_1}{P} - \frac{V_r}{D_r}).\frac{BL_r}{2} \quad (21)$$

$$LSC_R = LM\sum_{r=1}^{R}LS_r \quad (22)$$

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

هزینه‌های مربوط به دوره بازیابی برنامه تولید با استفاده از روابط (۲۲)-(۱۶)، به شرح زیر می‌باشد:

$$TCM''_d = AS.z_2 + H(\frac{1}{2P}q^2 + q.T_d + \sum_{i=1}^{z_2}(IM_{i-1} + \frac{1}{2}M_i)\frac{M_i}{P}) + BM.$$
$$(\varphi + \frac{q}{P} + T_d + \frac{M_1}{P} - \frac{V_r}{D_r}).D_r - (n_2V_r - \frac{q}{\sum_{r=1}^{R}V_r} - \sum_{i=1}^{z_2-1}O_{ri})$$
$$\sum_{r=1}^{R}(\varphi + \frac{q}{P} + T_d + \frac{M_1}{P} - \frac{V_r}{D_r}).\frac{}{2} \quad (۲۳)$$
$$+LM\sum_{r=1}^{R}(n_2V_r - \frac{q}{\sum_{r=1}^{R}V_r} - \sum_{i=1}^{z_2-1}O_{ri})$$

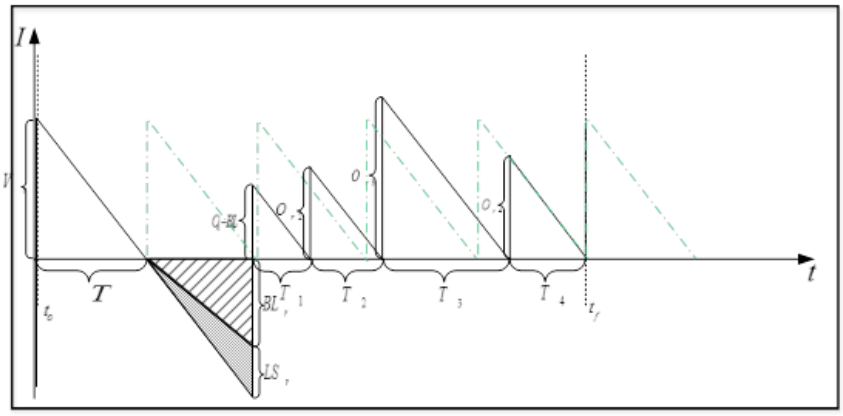
که در آن

$$T_d = \xi + \frac{q_s}{P_s} + TS_d + \frac{MS_1}{P_s} - \frac{V}{P} \quad (۲۳)$$

همانند سطوح دیگر زنجیره‌تامین در این قسمت هزینه‌های مربوط به هر یک از خرده فروشان در دوره بازیابی اختلال که شامل هزینه سفارش‌دهی، نگهداشت موجودی، پس‌افت تقاضا و فروش از دست رفته می‌باشد محاسبه می‌گردد.

هزینه سفارش‌دهی از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$OC_r = A_r.(z_2 - 1) \quad (۲۴)$$



شکل ٤. نمودار وضعیت گردش موجودی خرده‌فروشان

سطح زیر نمودار در طول دوره بازیابی، میزان موجودی را نشان می‌دهد پس داریم:

$$HC_r = \frac{1}{2}H_r(V_r\frac{V_r}{D_r} + (O_{r1} - BL_r)T_{r1} + O_{r2}T_{r2} + O_{r3}T_{r3} + ...)$$
$$= \frac{1}{2}H_r(\frac{V_r^2}{D_r} + (O_{r1} - BL_r)\frac{(O_{r1} - BL_r)}{D_r} + O_{r2}\frac{O_{r2}}{D_r} + O_{r3}\frac{O_{r3}}{D_r} + ...)$$
$$= \frac{H_r}{2D_r}(V_r^2 + (O_{r1} - BL_r)^2 + O_{r2}^2 + O_{r3}^2 + ...)$$

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

$$= \frac{H_r}{2D_r}(V_r^2 + (O_{r1} - BL_r)^2 + \sum_{i=2}^{z_2-1} O_{ri}^2) \quad (۲۵)$$

هزینه‌های کمبود شامل فروش از دست رفته و پس افت تقاضا نیز همچون مواردی که در قسمت هزینه‌های تولیدکننده درج گردید، محاسبه می‌شود:

$$BLC_r = B_r.(\varphi + \frac{q}{P} + T_d + \frac{M_1}{P} - \frac{V_r}{D_r}).\frac{BL_r}{2} \quad (۲۶)$$

$$LSC_r = LM.LS_r \quad (۲۷)$$

با استفاده از روابط (۲۸)-(۲۵)، تابع هزینه هر خرده فروش در دوره بازیابی اختلال تامین‌کننده به شرح زیر می‌باشد:

$$TC_r = OC_r + HC_r + BLC_r + LSC_r \quad (۲۸)$$

و هزینه کل خرده فروشان عبارتند از:

$$TCR = \sum_{r=1}^{R} TC_r \quad (۲۹)$$

با توجه به توضیحات داده شده مدل کلی مساله به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Min \quad TC = TC_s + TC_s' + TCM_d + TCM_d' + TCM_d'' + TCR \quad (۳۰)$$

s.t.

$MS_1 \le Q_s - q_s$ برای تامین کننده دچار اختلال شده (۳۱)

$$MS_i \le Q_s \qquad i = 1,2,...,z_1 \quad (۳۲)$$

$$\sum_{i=1}^{z_1} MS_i \le P_s(n_1 T_s - TS_d - \xi) - q_s \quad (۳۳)$$

$$\sum_{i=1}^{z_2} M_i \le P(n_2 T - T_d - \varphi) - q \quad (۳۴)$$

$$\sum_{i=1}^{z_1} MS_i \ge n_1 T_s.DM_s - LS - q_s \quad (۳۵)$$

$$\sum_{i=1}^{z_2} M_i \ge n_2 T.\sum_{r=1}^{R} D_r - \sum_{r=1}^{R} LS_r - q \quad (۳۶)$$

$$\frac{1}{P_s}\sum_{j=2}^{i} MS_j \le \frac{1}{DM_s}\sum_{j=1}^{i-1} O_j - \frac{BL_s}{DM_s} \qquad i = 2,...,z_1 \quad (۳۷)$$

$$\frac{1}{P}\sum_{j=2}^{i} M_j \le \frac{1}{\sum_{r=1}^{R} D_r}\sum_{j=1}^{i-1}\sum_{r=1}^{R} O_{rj} - \sum_{r=1}^{R}\frac{BL_r}{D_r} \qquad i = 2,...,z_2 \quad (۳۸)$$

$$I_0 = I_{z_1} = 0 \quad (۳۹)$$

$$IM_0 = IM_{z_2} = 0 \quad (۴۰)$$

$$O_{z_1} = V \quad (۴۱)$$

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

$$O_{rz_2} = V_r \qquad r = 1, 2, ..., R \qquad (۴۲)$$

$$n_1, n_2, z_1, z_2 \in Z \qquad (۴۳)$$

رابطه (۳۲) و (۳۳) تضمین می‌کنند که میزان تامین توسط تامین‌کننده دچار اختلال‌شده در هر دوره از میزان تامین در دوره های عادی کمتر می‌باشد. رابطه (۳۴) محدودیت ظرفیت تامین‌کننده دچار اختلال‌شده را اعمال می‌کند و رابطه (۳۵) محدودیت ظرفیت تولیدکننده را در نظر می‌گیرد. در رابطه (۳۶) از این‌که کل مقدار تقاضای تولید کننده در دوره بازیابی مدنظر قرار گرفته است، اطمینان حاصل می‌گردد و رابطه (۳۷) همین امر را در خصوص تقاضای خرده فروشان بررسی می‌کند. رابطه (۳۸) نشان می‌دهد که تولیدکننده سفارشات خود را به موقع تحویل می‌گیرد و دچار کمبود نمی شود. رابطه (۳۹) دریافت به موقع سفارشات خرده فروشان را بیان می‌کند. رابطه‌های (۴۰) و (۴۱) تضمین می‌کنند که در ابتدا و انتهای دوره بازیابی میزان موجودی در تامین‌کننده و تولیدکننده صفر می‌باشد. روابط (۴۲) و (۴۳) نیز جهت حصول اطمینان از بازگشت سیستم به شرایط قبل از اختلال می‌باشد. رابطه (۴۴) نوع متغیرهای عدد صحیح را اعلام می‌کند.

٤ روش حل پیشنهادی

طبق هشام الدین و دیگران، ۲۰۱۴ [۲۸] مدل بازیابی زنجیره‌تامین دوسطحی یک مدل پیچیده می‌باشد که نیاز به روش‌های حل خاص برای آن می‌باشد پس می‌توان نتیجه گرفت مدل سه سطحی ارایه‌شده در این مقاله نیز یک مدل پیچیده برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط می‌باشد که نیاز به روش حل ابتکاری یا فراابتکاری برای حل آن می‌باشد. که در اینجا یک روش حل ابتکاری ارایه می‌گردد. قبل از ارایه روش حل، ذکر دو قضیه که بعداً از نتایج آنها استفاده خواهد شد، ضروری می‌باشد.

قضیه ۱: در صورتی که همه پارامترهای مدل ثابت باشند، در شرایط بهینه مقدار موجودی پایان دوره کلیه سطوح زنجیره‌تامین صفر می‌باشد. $(\forall i \qquad I_i = 0, IM_i = 0)$

اثبات: برای اثبات رجوع شود به [۳۷]

قضیه ۲: حالت بهینه در این مدل در شرایطی رخ می‌دهد که

$$MS_i = O_i,\ M_i = \sum_{r=1}^{R} O_{ri} \qquad \forall i$$

اثبات: با توجه به قضیه ۱ و تعریف I_i و IM_i طبق روابط (۲) و (۱۷)داریم:

$$\left.\begin{aligned} I_i &= I_{i-1} + MS_i - O_i \\ I_i &= I_{i-1} = 0 \end{aligned}\right\} \Rightarrow MS_i - O_i = 0 \Rightarrow MS_i = O_i$$

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

$$\left.\begin{array}{l} IM_i = IM_{i-1} + M_i - \sum_{r=1}^{R} O_{ri} \\ IM_i = IM_{i-1} = 0 \end{array}\right\} \Rightarrow M_i - \sum_{r=1}^{R} O_{ri} = 0 \Rightarrow M_i = \sum_{r=1}^{R} O_{ri}$$

در واقع این قضیه، نتیجه قضیه ۱ می‌باشد.□

در روش حل ارایه‌شده از دو قضیه فوق استفاده خواهد شد. گام‌های این روش به صورت فلوچارت در شکل ۵ ترسیم شده است. ابتدا این مراحل را با پارامترهای مربوط به تامین‌کنندگان و تولیدکننده اجرا نموده و مقادیر بهینه را می‌یابیم. سپس همین مراحل را مجدداً با پارامترهای مربوط به تولیدکننده و خرده‌فروشان تکرار می‌کنیم و مقادیر متغیرها را به دست می‌آوریم.

۵ مثال عددی

در این بخش جهت بررسی کاربردی بودن الگوریتم پیشنهادی برای حل مدل طراحی‌شده، یک زنجیره‌تامین با سه تامین‌کننده، یک تولیدکننده و سه خرده فروش را که مقادیر ورودی هر یک از پارامترهای این مساله نیز به شرح جدول ۲می‌باشد در نظر می‌گیریم.

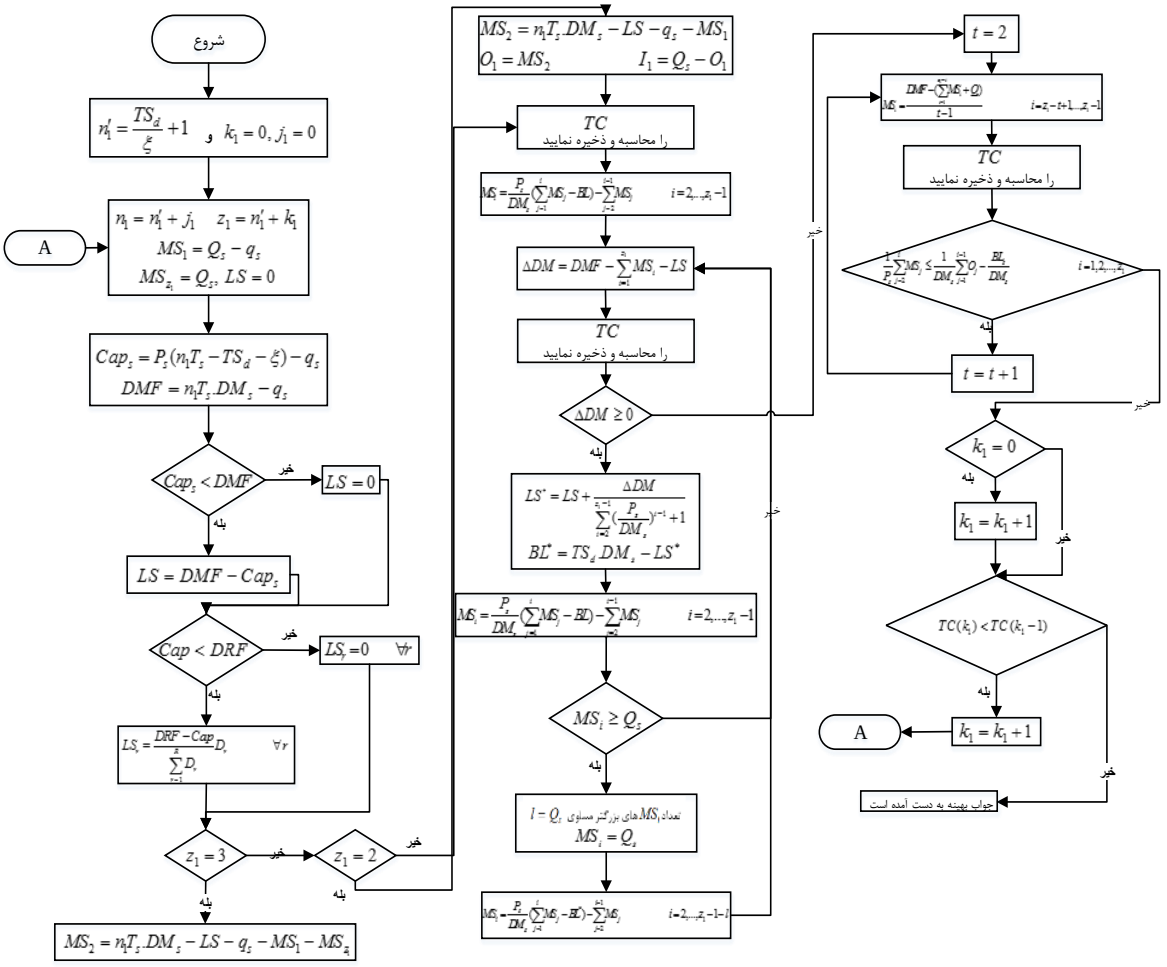
جدول ۲. پارامترهای ورودی مساله

پارامترها	تامین کنندگان			پارامترها	تولیدکننده	پارامترها	خرده فروشان		
	۱	۲	۳				۱	۲	۳
P_s	۴۰۰۰	۳۷۰۰	۴۱۰۰	P	۴۲۰۰	D_r	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۱۳۰۰
DM_s	۳۵۰۰	۳۵۰۰	۳۵۰۰						

مدل را برای ۲۰۰ مثال با داده‌های تصادفی حل کرده‌ایم. این مسایل آزمایشی با تولید داده‌های تصادفی برای پارامترهای هزینه‌ای، مقدار تامین قبل از وقوع اختلال و طول دوره اختلال ایجاد گردیده‌اند که در جدول شماره ۳ بازه پارامترهای تصادفی آمده است:

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]



شکل ۵. فلوچارت الگوریتم حل ابتکاری

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

جدول ۳. بازه پارامترها جهت تولید داده‌های تصادفی

پارامترها	تامین کنندگان			پارامترها	تولید کننده	پارامترها	خرده فروشان		
	۱	۲	۳				۱	۲	۳
A_s	[۱۰۰.۴۵۰]	[۲۰۰.۵۰۰]	[۱۵۰.۶۰۰]	AS	[۲۰۰.۵۰۰]	A_r	[۱۰.۷۰]	[۱۵.۶۰]	[۸.۵۰]
AO_s	[۱۰۰.۴۵۰]	[۲۰۰.۵۰۰]	[۱۵۰.۶۰۰]						
H_s	[۳.۱۵]	[۵.۱۲]	[۱.۸]	H	[۴.۱۰]	H_r	[۲.۷]	[۱.۸]	[۲.۱۰]
HM_s	[۳.۱۵]	[۵.۱۲]	[۱.۸]						
B_s	[۵.۸۰]	[۸.۷۰]	[۱۰.۱۰۰]	BM	[۷.۸۰]	B_r	[۱۰.۷۰]	[۱۵.۸۰]	[۸.۶۰]
BM_s	[۵.۸۰]	[۸.۷۰]	[۱۰.۱۰۰]						
L_s	[۲۰.۱۰۰]	[۲۵.۱۱۰]	[۳۰.۱۵۰]	LM	[۳۰.۱۰۰]	L_r	[۴۰.۹۰]	[۴۰.۱۰۰]	[۳۰.۷۰]
LM_s	[۲۰.۱۰۰]	[۲۵.۱۱۰]	[۳۰.۱۵۰]						
TS_d	$[\xi, T_s]$								
q_s	$[\circ, Q_s]$								

همچنین جهت ارزیابی کیفیت جواب‌های به‌دست آمده، مدل ارایه‌شده توسط نرم افزار GAMS 24 نیز حل گردید که مقایسه چند مثال حل‌شده از دو روش در جدول ۴ ارایه شده است:

جدول ٤ . مقادیر پارامترها و جواب ۱۰ مساله تصادفی

شماره	A_s	AO_s	H_s	HM_s	B_s	BM_s	L_s	LM_s	TS_d	q_s	n_1	n_2	z_1	z_2	TC	TC_GAMS	درصد انحراف
۱	۴۱۵	۳۸۰	۴	۹	۷۹	۷۵	۴۹	۴۸	۰/۰۰۳۸	۳۷۸	۳	۴	۸	۵	۱۵۲۱۸۴۷/۴۵	۱۵۲۱۸۴۷/۲۲	٪۰/۰۰۰۰۲
۲	۲۴۳	۲۵۵	۴	۱۵	۶۰	۶۲	۳۱	۸۴	۰/۰۰۸۹	۳۰۹	۴	۶	۹	۱۲	۱۵۳۱۵۳۳/۷۲	۱۵۳۱۵۳۲/۸۲	٪۰/۰۰۰۰۶
۳	۲۰۸	۲۵۲	۱۱	۱۵	۵۰	۶۵	۸۱	۴۶	۰/۰۰۵	۶۹	۳	۶	۴	۱۳	۱۵۱۲۸۹۴/۵۳	۱۵۱۲۸۹۵/۲۸	٪۰/۰۰۰۰۵
۴	۱۱۰	۴۰۴	۳	۱۰	۲۰	۴۷	۵۵	۳۵	۰/۰۰۳۹	۳۵۷	۳	۶	۶	۸	۲۴۲۴۶۱۶/۴	۲۴۲۴۶۱۶/۴۲	٪۰/۰۰۰۰۰
۵	۳۰۳	۲۰۹	۷	۹	۴۹	۲۱	۵۹	۹۷	۰/۰۰۹۲	۲۹۹	۵	۸	۶	۱۵	۱۶۷۳۶۴۹/۸۵	۱۶۷۳۶۴۹/۴۴	٪۰/۰۰۰۰۲
۶	۳۳۳	۴۲۶	۸	۱۴	۲۵	۷۳	۶۹	۷۸	۰/۰۰۸۹	۱۷۷	۴	۵	۵	۱۲	۲۱۳۱۷۰۵/۲۸	۲۱۳۱۷۰۶/۰۴	٪۰/۰۰۰۰۴
۷	۲۸۸	۲۱۱	۱۰	۱۱	۱۳	۲۰	۷۵	۱۰۰	۰/۰۰۲۲	۱۵۱	۲	۳	۵	۷	۶۳۳۶۸۱/۲۵	۶۳۳۶۸۱/۲۷	٪۰/۰۰۰۰۰
۸	۲۴۹	۲۳۱	۵	۷	۳۹	۶	۵۵	۶۶	۰/۰۰۵	۳۴۹	۳	۵	۷	۱۰	۱۱۵۵۷۹۴/۵	۱۱۵۵۷۹۴	٪۰/۰۰۰۰۴
۹	۱۷۹	۱۴۹	۶	۱۵	۳۳	۶۰	۴۷	۶۷	۰/۰۰۱۹	۳۴۰	۲	۴	۴	۶	۵۹۶۶۰۰/۸۲	۵۹۶۶۰۱/۷۸	٪۰/۰۰۰۱۶
۱۰	۱۳۹	۴۰۱	۵	۱۲	۱۱	۷۲	۹۶	۵۳	۰/۰۰۸	۱۵۸	۴	۷	۵	۸	۲۸۰۷۹۲۳/۶۸	۲۸۰۷۹۲۳/۱۱	٪۰/۰۰۰۰۲

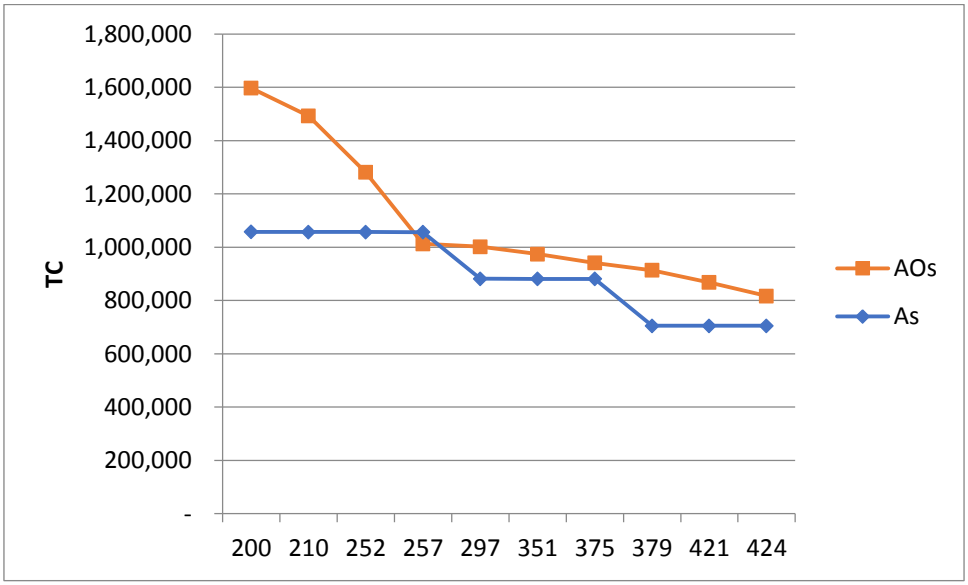
اختلاف مقادیر به‌دست آمده در دو روش در حد اختلاف در یک رقم سمت راست می‌باشد که نشان می‌دهد پاسخ‌ها مناسب می‌باشند، همچنین درصد انحراف پاسخ‌های به‌دست آمده از دو روش نیز در آخرین ستون جدول ۵ نشان داده شده است.

جهت تحلیل حساسیت نیز از نمونه‌های مناسب از مسایل تصادفی تولیدشده که در بالا توصیف گردید استفاده شده است به‌طوری که کلیه پارامترها روی مقدار وسط بازه تعریف‌شده ثابت فرض گردیده و تغییرات متغیر مورد بررسی ترسیم شد که نتایج قابل تاملی را در پی داشت.

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

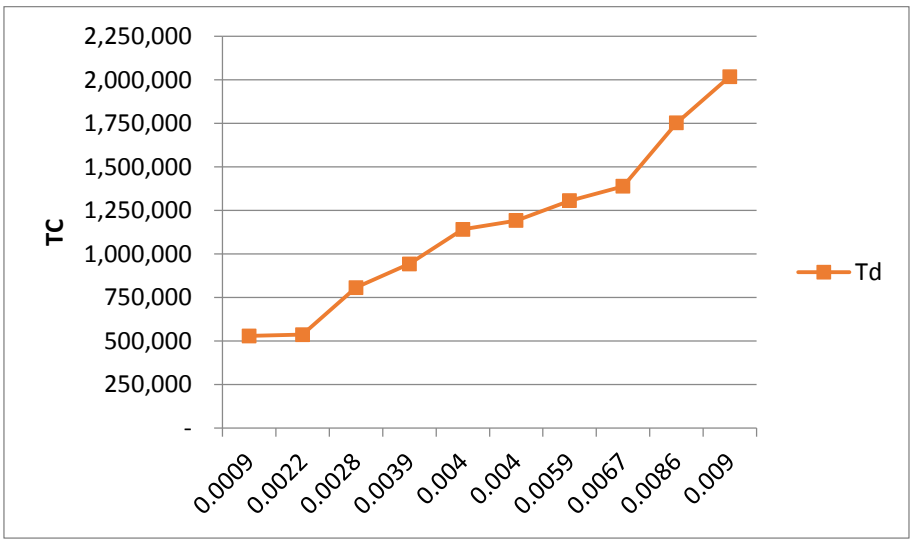
[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

همان‌طور که درشکل ۶ دیده می‌شود با افزایش هزینه ثابت راه اندازی تامین‌کننده‌ای که دچار اختلال گردیده است، هزینه بازیابی کل کاهش می‌یابد که شیب این کاهش در ابتدا بیشتر بوده و در نهایت به تغییرات بسیار اندکی در هزینه کل ختم می‌گردد. همچنین با افزایش هزینه سفارش‌دهی تولیدکننده به تامین‌کننده دچار اختلال‌شده، هزینه بازیابی کل کاهش می‌یابد. علت این رفتار می‌تواند کاهش تعداد دوره های زمانی بازیابی در اثر افزایش هزینه‌های ثابت باشد.



شکل ٦. تغییرات هزینه بازیابی کل براساس تغییرات هزینه راه‌اندازی تامین‌کننده مختل‌شده و هزینه ثابت سفارش دهی تولیدکننده به آن

وضعیت تغییرات هزینه کل بازیابی زنجیره‌تامین با توجه به طول دوره زمانی اختلال، درشکل ۷ نشان داده شده است. در صورت افزایش زمان اختلال که حاکی از وسعت اختلال به وجود آمده می‌باشد، هزینه‌های بازیابی یا به‌عبارت دیگر جبران با شیب قابل توجهی افزایش می‌یابد که این نتیجه بدیهی و قابل پیش‌بینی نیز می‌باشد.

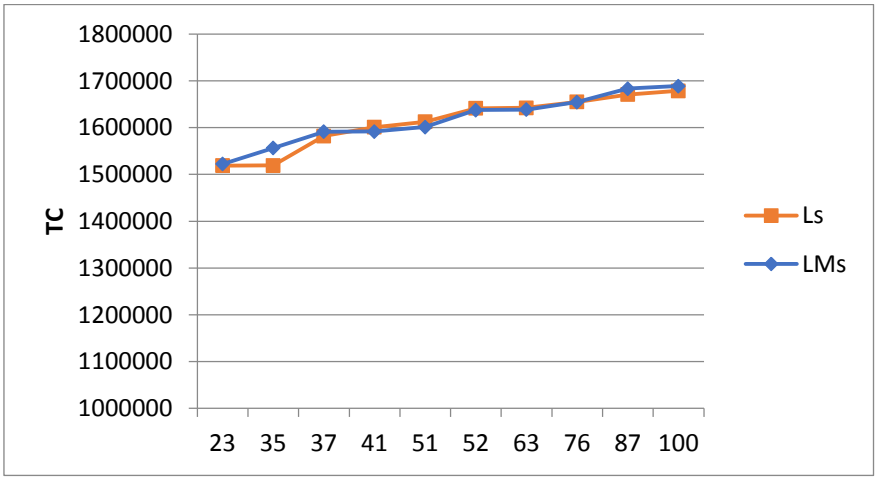


شکل ۷. تغییرات هزینه بازیابی کل براساس تغییرات طول دوره اختلال

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

تغییر قابل توجه دیگری که در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است مربوط به تغییرات هزینه بازیابی کل در اثر تغییر هزینه فروش از دست رفته تولیدکننده و تامین‌کننده مربوطه می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود با افزایش هزینه‌های فروش از دست رفته، هزینه کل نیز افزایش می‌یابد؛ اما شیب این نمودار ملایم است علت این امر می‌تواند رجحان پس افت تقاضا بر فروش از دست رفته باشد که با توجه به مفروضات مساله مبنی بر وجود ظرفیت خالی و کمتربودن هزینه پس افت تقاضا از فروش از دست رفته باشد.



شکل ۸. تغییرات هزینه بازیابی کل بر اساس تغییرات هزینه فروش از دست‌رفته

٦ نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

در مقاله حاضر، یک مدل برنامه‌ریزی بازیابی زنجیره‌تامین سه سطحی پس از وقوع اختلال تامین ارایه گردید که با توجه به غیرقابل پیش‌بینی بودن برخی حوادث در شرکت‌های تولیدی، می تواند کاربردهای فراوانی در صنعت داشته باشد. هدف اصلی این پژوهش کمک به تصمیم‌گیری و بازنگری برنامه‌های تامین، تولید و سفارش‌دهی در زنجیره‌تامین به محض وقوع اختلال می‌باشد به گونه‌ای که هزینه‌های کل زنجیره‌تامین برای بازگشت سیستم به حالت قبل از وقوع اختلال کمینه گردد. مدل طراحی‌شده یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط می‌باشد که با الگوریتم ابتکاری پیشنهادی حل شده است و جهت ارزیابی صحت نتایج و کاربردی بودن روش پیشنهادی، برای مسایل کوچک، مدل هم‌زمان با نرم‌افزار GAMS نیز اجرا گردید و نتایج برای ۲۰۰ مساله تصادفی که با داده‌های تصادفی تولید گردیده است مورد مقایسه قرار گرفت و درصد انحراف جواب نهایی در این دو روش نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی قابل پذیرش می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از مطالعه انجام‌شده به مدیران شرکت‌های صنعتی توصیه می‌گردد در صورت وقوع اختلال در زنجیره‌تامین خود، در کنار اجرای اقدامات اصلاحی در راستای رفع مشکل به وجود آمده، به صورت موازی تیم برنامه‌ریزی بازیابی نیز تشکیل داده و به صورت یکپارچه و در کل زنجیره‌تامین به بازنگری و اخذ

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

تصمیمات اجرایی در خصوص میزان و نحوه تولید و ارسال کالاها در طول زنجیره‌تامین بپردازند تا بتوانند آثار اختلال رخ داده را کمینه نمایند.

همچنین پیشنهاد می‌گردد در قراردادهای تامین، تولید و توزیع که در زنجیره‌های تامین منعقد می‌گردد به شرایط غیرقابل پیش‌بینی توجه شده و مسئولیت، تعهدات و اختیارات هر یک از اعضا در این شرایط تعیین گردد تا در صورت وقوع حادثه‌ای بتوان با احتساب این موارد، در برنامه‌های زنجیره‌تامین بازنگری نمود.

مدل ارایه‌شده در تحقیق حاضر، برنامه‌ریزی بازیابی در صورت وقوع اختلال در تامین کننده را مورد مطالعه قرار داده است که پیشنهاد می‌گردد در تحقیقات آتی اختلال در دیگر قسمت‌های زنجیره‌تامین اعم از تولیدکننده و خرده‌فروشان و همچنین سیستم حمل و نقل بین حلقه‌های زنجیره مورد مطالعه و مدل‌سازی قرار گیرد. موضوع قابل توجهی که می‌تواند در پژوهش‌های بعدی مدنظر قرار گیرد وقوع هم‌زمان اختلال در چند قسمت زنجیره‌تامین و یا وقوع اختلال در دوره زمانی بازیابی یک اختلال باشد که مورد توجه نویسندگان این مقاله نیز می‌باشد.

منابع

[1] Sheffi, Y. (2005). The resilient enterprise: overcoming vulnerability for competitive advantage. MIT Press Books, 1 .

[2] Chen, J., Wang, H., & Zhong, R. Y. (2021). A supply chain disruption recovery strategy considering product change under COVID-19. Journal of Manufacturing Systems, 60, 920-927 .

[3] Apte, U., Ferrer, G., Lewis, I., & Rendon, R. (2006). Managing the service supply chain in the Department of Defense: Opportunities and challenges. Retrieved from DTIC Document .

[4] Tang, C., & Tomlin, B. (2008). The power of flexibility for mitigating supply chain risks. International Journal of Production Economics, 116(1), 12-27 .

[5] Orlando, B., Tortora, D., Pezzi, A., & Bitbol-Saba, N. (2022). The disruption of the international supply chain: Firm resilience and knowledge preparedness to tackle the COVID-19 outbreak. Journal of International Management, 28(1), 100876 .

[6] Khan, S. A. R., Waqas, M., Honggang, X., Ahmad, N., & Yu, Z. (2022). Adoption of innovative strategies to mitigate supply chain disruption: COVID-19 pandemic. Operations Management Research, 1-19 .

[7] Chen, I. J., & Paulraj, A. (2004). Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. Journal of operations management, 22(2), 119-150 .

[8] Davis, S., Gerstner, E., & Hagerty, M. (1995). Money back guarantees in retailing: Matching products to consumer tastes. Journal of Retailing, 71(1), 7-22 .

[9] Sodhi, M. S. (2005). Managing demand risk in tactical supply chain planning for a global consumer electronics company. Production and Operations Management, 14(1), 69-79 .

[10] Zsidisin, G. A. (2003). Managerial perceptions of supply risk. Journal of Supply Chain Management, 39(1), 14-26 .

[11] Salahi, F., Radfar, R., Toloie Shlaghi, A., & Alborzi, M. (2019). Design of Multi-Objective Model for Disruption Risk Assessment of Supply Chain Using Combined Genetic Algorithm and Simulated Annealing. Journal of Operational Research in Its Applications, 16(4), 19 .

[12] Pfeffer, J., & Salancik, G. R. (1978). The external control of organisations. New York .

[13] Zsidisin, G. A., Panelli, A., & Upton, R. (2000). Purchasing organization involvement in risk assessments, contingency plans, and risk management: an exploratory study. Supply Chain Management: An International Journal, 5(4), 187-198 .

[14] Zsidisin*, G. A., Melnyk, S. A., & Ragatz, G. L .(۲۰۰۵) .An institutional theory perspective of business continuity planning for purchasing and supply management. International journal of production research, 43(16), 3401-3420 .

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]

[15] Bui, T.-D., Tsai, F. M., Tseng, M.-L., Tan, R. R., Yu, K. D. S., & Lim, M. K. (2021). Sustainable supply chain management towards disruption and organizational ambidexterity: A data driven analysis. Sustainable production and consumption, 26, 373-410 .

[16] Rice, J. B., & Caniato, F. (2003). BUILDING A SECURE AND RESILIENT SUPPLY NETWORK. SUPPLY CHAIN MANAGEMENT REVIEW, V. 7, NO. 5 (SEPT./OCT. 2003), P. 22-30: ILL .

[17] Mitroff, I. I., & Alpaslan, M. C. (2003). Preparing for evil: Harvard Business School Pub.

[18] Hillman, M. (2006). Strategies for managing supply chain risk. Supply Chain Management Review, 10(5), 11-13 .

[19] Rodetis, S. (1999). Can Your Business Survive the Unexpected? Journal of Accountancy, 187, 27-34 .

[20] Waller, M., Johnson, M. E., & Davis, T. (1999). Vendor-managed inventory in the retail supply chain. Journal of Business Logistics, 20, 183-204 .

[21] Zinn, W., & Charnes, J. M. (2005). A comparison of the economic order quantity and quick response inventory replenishment methods. Journal of Business Logistics, 26(2), 119-141 .

[22] Taghizadeh, N., Naseri, H., & Moradi, S. (2012). Scheduling multi-product pipeline under daily customers demand uncertainty. Journal of Operational Research in Its Applications, 9(1).

[23] Chopra, S., & Sodhi, M. S. (2004). Supply-chain breakdown. MIT Sloan Management Review .

[24] Chen ,L.-M., Liu, Y. E., & Yang, S.-J. S. (2015). Robust supply chain strategies for recovering from unanticipated disasters. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 77, 198-214 .

[25] Eisenstein, D. D. (2005). Recovering cyclic schedules using dynamic produce-up-to policies. Operations research, 53(4), 675-688 .

[26] Gallego, G. (1994). When is a base stock policy optimal in recovering disrupted cyclic schedules? Naval Research Logistics (NRL), 41(3), 317-333 .

[27] Hishamuddin, H., Sarker, R. A., & Essam, D. (2012). A disruption recovery model for a single stage production-inventory system. European Journal of Operational Research, 222(3), 464-47 .

[28] Hishamuddin, H., Sarker, R. A., & Essam, D. (2014). A recovery mechanism for a two echelon supply chain system under supply disruption. Economic Modelling, 38, 555-563 .

[29] Paul, S. K., Sarker, R., & Essam, D. (2014). Managing real-time demand fluctuation under a supplier–retailer coordinated system. International Journal of Production Economics, 158, 231-243 .

[30] Paul, S. K., Sarker, R., & Essam, D. (2013). A disruption recovery model in a production-inventory system with demand uncertainty and process reliability. In Computer Information Systems and Industrial Management (pp. 511-522): Springer.

[31] Paul, S. K., Sarker, R., & Essam, D. (2014). Real time disruption management for a two-stage batch production–inventory system with reliability considerations. European Journal of Operational Research, 237(1), 113-128 .

[32] Paul, S. K ,.Sarker, R., & Essam, D. (2015). Managing disruption in an imperfect production–inventory system. Computers & Industrial Engineering, 84, 101-112 .

[33] Paul, S. K., Sarker, R., & Essam, D. (2015). A disruption recovery plan in a three-stage production-inventory system. Computers & Operations Research, 57, 60-72 .

[34] Qi, X., Bard, J .F., & Yu, G. (2004). Supply chain coordination with demand disruptions. Omega, 32(4), 301-312 .

[35] Shao, X.-F., & Dong, M. (2012). Supply disruption and reactive strategies in an assemble-to-order supply chain with time-sensitive demand .IEEE Transactions on engineering management, 59(2), 201-212 .

[36] Tang, L. C., & Lee, L. H. (2005). A simple recovery strategy for economic lot scheduling problem: A two-product case. International Journal of Production Economics, 98(1), 97-107 .

[37] Xia, Y., Yang, M.-H., Golany, B., Gilbert, S. M., & Yu, G. (2004). Real-time disruption management in a two-stage production and inventory system. IIE transactions, 36(2), 111-125 .

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

[DOI: 10.52547/jamlu.19.3.133]