

## مدیریت بلادرنگ اختلالات چندگانه در زنجیره تامین چند سطحی با رویکرد برنامه ریزی بازیابی

لعیا الفت\*، مقصود امیری\*\*، ابراهیم تیموری\*\*\*، فاطمه قاسم زاده گوری\*\*\*\*

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۸

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۹

### چکیده

در دنیای رقابتی امروز، مدیریت زنجیره تامین هر روز بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد، یکی از موضوعات مهمی که توجه بسیاری از مدیران و متخصصین این حوزه را به خود جلب کرده است مدیریت اختلالات زنجیره تامین می باشد. وقتی اختلالی در فعالیت یک عضو زنجیره تامین رخ دهد ممکن است فعالیت دیگر اعضا زنجیره را نیز تحت تاثیر قرار دهد، هدف اصلی این تحقیق کمک به تصمیم گیری در خصوص میزان تامین، تولید و ارسال بین حلقه های مختلف زنجیره تامین می باشد به گونه ای که پس از وقوع اختلال با کمترین هزینه به شرایط قبل از اختلال باز گردد.

در مقاله حاضر اختلالات رخ داده در خرده فروشان و تولید کننده مورد مطالعه و مدل سازی قرار می گیرد و سعی بر آنست که با طراحی مدل ریاضی برنامه ریزی بازیابی با کمترین هزینه زنجیره تامینی که بخشی از آن دچار اختلال شده است را به حالت قبل از وقوع اختلال بازگردانیم. در نهایت مدل ارائه شده با الگوریتم ابتکاری در نرم افزار متلب ۲۰۱۱ حل و نتایج به دست آمده با نرم افزار گمیس مقایسه شده است.

**کلمات کلیدی:** زنجیره تامین، توقف تولید، برنامه ریزی بازیابی، مدیریت اختلال، خرده فروش

---

\* استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، (نویسنده مسئول)،

layaolfat@gmail.com

\*\* استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی.

\*\*\* دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران.

\*\*\*\* دانشجوی دکترای مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی.

## مقدمه

در دهه ۱۹۹۰، بسیاری از شرکت‌ها اقدامات متنوعی جهت بهبود عملکرد مالی اتخاذ نمودند. این اقدامات بر سه بخش متمرکز بود: افزایش درآمد (شامل: تنوع بیشتر تولیدات، افزایش سرعت معرفی محصولات جدید و بازارهای فروش وسیع‌تر)، کاهش هزینه (شامل: تأمین نیازمندی‌ها با رویکرد کاهش موجودی، منبع یابی به هنگام از جمله بازارها و مزایده‌های الکترونیکی، انتقال تسهیلات تولید به سایر مناطق، سیستم‌های موجودی بهنگام<sup>۱</sup> و مدیریت موجودی توسط فروشنده<sup>۲</sup>) و کاهش دارائی‌ها (شامل: برون سپاری فعالیت‌های تولید، تکنولوژی اطلاعات و لجستیکی‌ها). این اقدامات در یک محیط باثبات نتیجه بخش خواهند بود، اما محیط کسب و کار امروزی پیوسته با تغییر همراه است. تغییرات اخیر در زنجیره‌های تأمین به دلیل جهانی شدن تجارت و افزایش تعداد شرکاء زنجیره، شبکه طولانی با پراکندگی و پیچیدگی بیشتر ایجاد نموده است. این امر موجب کاهش کنترل و نظارت مستقیم و بلا واسطه شرکت‌ها بر فعالیت‌های جاری شده است. از طرفی زنجیره‌های تأمین طولانی و پیچیده معمولاً به کندی نسبت به تغییرات پاسخ می‌دهند و دارای نقاط آسیب پذیر و همچنین اختلالات متعدد خواهند بود. اختلال‌ها علاوه بر تاثیرات مالی، بر سایر جنبه‌های تولید هم موثرند. بر اساس تجزیه و تحلیل ۸۲۷ اختلال که طی ۱۰ سال به وقوع پیوسته، (هندریکز و سینقال، ۲۰۰۵) به این موضوع پی بردند که موجودی انبار شرکت‌ها بین ۴۰٪ - ۳۳٪ در طی سه سال که شامل یک سال قبل و دو سال بعد از وقوع اختلال می‌باشد، کاهش می‌یابد.

تحقیق حاضر در پی ارائه مدل ریاضی برنامه ریزی تأمین، تولید، انبارش و توزیع در زنجیره تأمین پس از وقوع اختلال می‌باشد، این نوع برنامه را برنامه بازیابی می‌نامند که در حوزه مطالعات مدیریت اختلال قرار می‌گیرد و در پی بازیابی سیستم مختل شده با هدف کمینه سازی کل هزینه‌های زنجیره تأمین و بازگشت زنجیره تأمین به حالت قبل از اختلال می‌باشد.

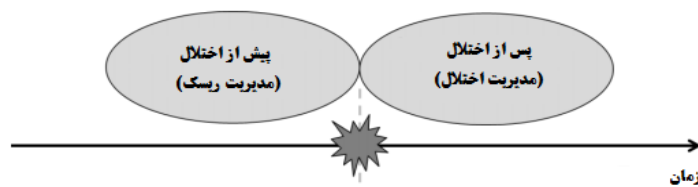
1- Jit

2- Vendor Managed Inventory

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

### مرور ادبیات

مدیریت اختلال در هر زنجیره تامین ممکن است از طریق خاصی صورت گیرد و شامل فعالیت‌های مختلفی باشد. از نظر بعد زمانی کلیه این فعالیتها را می‌توان در دو دسته کلی تقسیم بندی نمود: "پیش از اختلال" و "پس از اختلال" که با عنوان "پیش گیری" و "پاسخ" نیز شناخته می‌شوند و در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: مدیریت اختلالات زنجیره تامین از دو منظر (تون و هوئینگ، ۲۰۱۱)

طی سالهای گذشته مدیریت ریسک و پیش بینی ریسکهای محتمل در زنجیره‌های تامین بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته و مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته است، در تحقیق حاضر تمرکز اصلی بر مدیریت اختلال پس از وقوع آن می‌باشد. اختلال می‌تواند نتیجه عوامل متعددی همچون بلایای طبیعی، حوادث داخلی زنجیره تامین و حوادث بیرونی باشد بسیاری از آنها غیرقابل پیش بینی می‌باشند لذا نمی‌توان با روشهای پیشگیرانه با آنها مقابله نمود. در این تحقیق سعی بر آنست با برنامه ریزی صحیح میزان تاثیرات حاصل از یک اختلال کمینه شود.

1- Prevention

2- Response

در مجموع سود از دست رفته بواسطه اختلالات هدفمند (بطور مثال تروریسم و سرقت) و غیر هدفمند (مانند نوسانات تقاضا) می تواند در حدود ۳۰٪ حجم معاملات سالانه باشد. موارد فوق علت توجه زنجیره تأمین مدرن به بحث اختلال و لزوم مدیریت به موقع آن ها به عنوان موضوعی بسیار مهم و حیاتی را نشان می دهد. (ایوانوف و سوکولوف، ۲۰۱۰)

اختلال های زنجیره تأمین حوادث برنامه ریزی نشده و غیر قابل پیش بینی می باشند که در جریان عادی کالا و مواد زنجیره تأمین اختلال ایجاد می کنند. (لی، ژن، کی و سایی، ۲۰۱۶) تاثیر حوادثی که در زنجیره تأمین ایجاد اختلال می کنند به صورت های مختلف نمایان می شود. اولین و شاید بدیهی ترین شکل آن اختلال در دسترسی به مواد و کالاها می باشد. در این حالت شرکت ممکن است با کمبود یا مازاد موجودی مواجه باشد که در هر دو مورد نامطلوب است. (کاویناتو، ۲۰۰۴؛ کریستوفر و لی، ۲۰۰۴؛ پاول، سارکر و اسام، ۲۰۱۷؛ اسپرکمن و دیویس، ۲۰۰۴)

تاملین (۲۰۰۶) تاثیر استراتژیهای کاهش ریسک (مانند تغییر استراتژی از یک تامین کننده به چندین تامین کننده) بر عملکرد زنجیره تامین به هنگام بروز اختلال را مورد بررسی قرار می دهد. (هندریکز و سینقال، ۲۰۰۵) نیز به تحقیق در مورد آثار نامطلوب اختلال ها بر زنجیره تامین می پردازند و اثر اختلال ها را بر ارزش سهام، درآمد، میزان فروش و هزینه ها مورد بررسی قرار می دهند. هشام الدین، سارکر و اسام (۲۰۱۳) مدل برنامه ریزی زنجیره تامین دو سطحی پس از وقوع اختلال حمل و نقل را طراحی نموده و در مطالعه دیگری به ارائه مدل مشابهی جهت اختلال تامین پرداخته است. (هشام الدین، سارکر و اسام، ۲۰۱۴) متاسفانه در مطالعات صورت گرفته بیشتر از جنبه مدیریت ریسک و با رویکرد پیشگیرانه به موضوع اختلال پرداخته شده است لذا مدلهایی با رویکرد برنامه ریزی بازیابی بسیار محدود می باشند، در جدول ۲ خلاصه ای از تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت اختلال ارائه شده و جایگاه تحقیق حاضر در آن تعیین گردیده است.

جدول ۲: خلاصه ای از تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت اختلال در زنجیره های تأمین

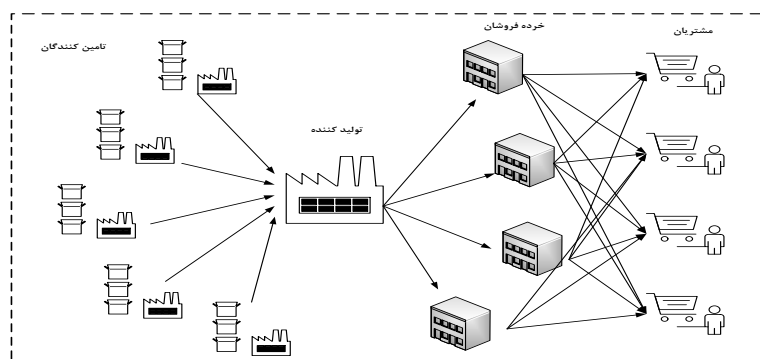
روش حل	سطوح زنجیره تامین	نوع اختلال	نویسنده
شبیه سازی	تامین کننده- تولید کننده - توزیع کننده	تامین	(چن، لیو و یانگ، ۲۰۱۵)
شبیه سازی	تولید کننده	تولید	(اسنشتین، ۲۰۰۵)
ابتکاری	تولید کننده	تولید	(گالگو، ۱۹۹۴)
ابتکاری	تولید کننده	تولید	(هشام الدین، سارکر و اسام، ۲۰۱۲)
ابتکاری	تولید کننده - خرده فروش	حمل و نقل	(هشام الدین و دیگران، ۲۰۱۳)
ابتکاری	تامین کننده- تولید کننده	تامین	(هشام الدین و دیگران، ۲۰۱۴)
فرا ابتکاری	تامین کننده - خرده فروش	تقاضا	(پاول، سارکر و اسام، ۲۰۱۴)
فرا ابتکاری	تامین کننده	تولید	(پاول، سارکر و اسام، ۲۰۱۳)
فرا ابتکاری	تولید کننده	تولید	(پاول، سارکر و اسام، ب ۲۰۱۴)
فرا ابتکاری	تولید کننده	تولید	(پاول، سارکر و اسام، ۲۰۱۵)
ابتکاری	تولید کننده	تولید	(پاول، سارکر و اسام، ۲۰۱۵)
ابتکاری	تامین کننده- تولید کننده - خرده فروش	تامین	(پاول، سارکر و اسام، ۲۰۱۴)
ابتکاری	تامین کننده- خرده فروش	تقاضا	(کی، بارد و یو، ۲۰۰۴)
شبیه سازی	تامین کننده- تولید کننده	تامین	(شاو و دونگ، ۲۰۱۲)
شبیه سازی	تولید کننده	تولید	(تانگ و لی، ۲۰۰۵)
ابتکاری	تولید کننده - خرده فروش	تولید	(خیا، یانگ، گلانی، گیلبرت و یو، ۲۰۰۴)
ابتکاری	تولید کننده	تقاضا	(یانگ، کی و یو، ۲۰۰۵)
ابتکاری	تامین کننده- تولید کننده- خرده فروش	خرده فروش - تولید	تحقیق حاضر

در تحقیق حاضر سعی بر ارائه مدل یکپارچه در زنجیره تامین سه سطحی شامل تامین کننده، تولید کننده و خرده فروشان با در نظر گرفتن شرایط اختلال‌های مختلف در تولید کننده و در هر یک از خرده فروشان دارد و حل مدل ارائه شده توسط الگوریتم ابتکاری پیشنهادی صورت می‌گیرد. مطالعه سه سطح زنجیره و ارائه برنامه بازیابی برای کلیه سطوح از نوآوری‌های این مطالعه می‌باشد، از طرف دیگر در این تحقیق وقوع اختلال در خرده فروشان مورد مطالعه قرار گرفته است که در مطالعات قبلی مورد توجه نبوده، همچنین وقوع اختلال در تولید کننده و خرده فروشان در ساختار یک زنجیره مورد بررسی قرار گرفته که می‌تواند از نظر کاربردی در سازمانها در شرایط واقعی بسیار کارآمد و مفید واقع گردد.

### مدلسازی مسئله

#### ۳-۱- تعریف مسئله

زنجیره تاملینی متشکل از چند تامین کننده مواد اولیه، یک تولید کننده و چند خرده فروش را در نظر می‌گیریم که به صورت نمادین در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲: نمایی از زنجیره تامین مورد مطالعه

کلیه اعضا زنجیره در حال فعالیت بر اساس برنامه تعیین شده‌ای می‌باشند که به صورت پیش بینی نشده‌ای در قسمتی از زنجیره، اختلال رخ داده و اجرای برنامه‌های آن قسمت یا بخش وسیع تری از زنجیره را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در مقاله حاضر اختلالات رخ داده در خرده

فروشان و تولید کننده مورد مطالعه و مدل سازی قرار می گیرد و سعی بر آنست که با طراحی مدل ریاضی برنامه ریزی بازیابی با کمترین هزینه زنجیره تامین که بخشی از آن دچار اختلال شده است را به حالت قبل از وقوع اختلال بازگردانیم. موضوع قابل تامل دیگر آنست که در اینجا اختلالاتی مورد مطالعه قرار می گیرند که تاثیرات آنها در زنجیره تامین قابل ترمیم و بازیابی باشد یا به عبارت دیگر موجب انهدام بخشی یا کل زنجیره تامین نشود تا بتوان با برنامه ریزی و پس از یک تاخیر زمانی قابل پذیرش (که سهم بازار به طور کامل از دست نرود)، زنجیره تامین را به شرایط اجرای برنامه قبل از اختلال بازگرداند.

در تحقیق حاضر سعی بر آنست که پس از وقوع اختلال در یک خرده فروش یا تولید کننده، میزان سفارشات، تولید و انتقال کالا بین حلقه های مختلف زنجیره تامین را به گونه ای تعیین نماییم که هزینه های دوره بازیابی کمینه گردد. طول دوره بازیابی محدود و هزینه های بازیابی شامل هزینه های انبارداری، تولید، سفارش گذاری، حمل و نقل بین حلقه های مختلف زنجیره، هزینه های فروش از دست رفته و پس افت تقاضا می باشند.

### مفروضات مدل

- زنجیره تامین سه سطحی و شامل تامین کنندگان، تولید کننده و خرده فروشان می باشد.
- زنجیره تامین تک محصولی است.
- اختلال در تولید کننده عملکرد آن حلقه را برای مدتی متوقف می سازد و اختلال در خرده فروشان منجر به از بین رفتن کالا می گردد.
- دوره زمانی برنامه ریزی بازیابی از لحظه وقوع اختلال آغاز می گردد.
- به سفارشات که با تاخیر زمانی تامین گردد هزینه پس افت تقاضا تحمیل می شود و سود از دست رفته در اثر عدم تامین تقاضای مشتری، در قالب هزینه فروش از دست رفته در محاسبات منظور می گردد.
- هزینه های ثابت و متغیر تولید، سفارش دهی، انبارداری، فروش از دست رفته و پس افت تقاضا، معین و شناخته شده هستند.

- انتقال کالا بین حلقه‌های سطوح متوالی زنجیره تامین مجاز و بین حلقه‌های هر سطح غیرمجاز می‌باشد. به عنوان مثال تامین کنندگان نمی‌توانند به یکدیگر کالا ارسال نمایند اما هر تامین کننده 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.
- در دوره‌های بعد از اختلال هیچ کمبودی مجاز نیست. (فقط در دوره ای که اختلال رخ داده کمبود به وجود می‌آید).
- سیاست سفارش دهی تولید کننده و خرده فروشان، سفارش پس از اتمام موجودی می‌باشد.
- دوره‌های زمانی گسسته و افق زمانی بازایی محدود می‌باشد.
- فقط هزینه‌های دوره بازایی در محاسبات منظور می‌گردد.
- هزینه فروش از دست رفته بیش از هزینه پس افت تقاضا می‌باشد.
- طول دوره اختلال کمتر از یک دوره برنامه ریزی در شرایط عادی زنجیره می‌باشد.
- در هر لحظه زمانی، فقط در یک نقطه از زنجیره تامین ممکن است اختلال رخ دهد و آثار آن در کل زنجیره تامین تسری می‌یابد.

#### نشانه‌ها

#### پارامترها:

$s: 1, 2, \dots, S$	اندیس مربوط به تامین کنندگان
$r: 1, 2, \dots, R$	اندیس مربوط به خرده فروشان
$A_s$	هزینه راه اندازی تامین کننده $s$
$AS$	هزینه راه اندازی تولید کننده
$AO_s$	هزینه ثابت سفارش دهی تولید کننده از تامین کننده $s$
$A_r$	هزینه ثابت سفارش دهی خرده فروش $r$
$H_s$	هزینه نگهداشت یک واحد ماده اولیه $s$ در تامین کننده $s$



$HM_s$	هزینه نگهداشت یک واحد ماده اولیه $s$ در تولید کننده
$H$	هزینه نگهداشت یک واحد محصول در تولید کننده
$H_r$	هزینه نگهداشت یک واحد محصول در خرده فروش $r$
$P_s$	نرخ تولید تامین کننده $s$
$P$	نرخ تولید تولید کننده
$D_r$	نرخ تقاضای محصول در خرده فروش $r$
$DM_s$	نرخ تقاضای تولید کننده برای ماده اولیه $s$
$Q_s$	اندازه تولید در تامین کننده $s$ در شرایط عادی
$Q$	اندازه تولید در تولید کننده در شرایط عادی
$V_s$	اندازه سفارش تولید کننده به تامین کننده $s$ در شرایط عادی
$V_r$	اندازه سفارش خرده فروش $r$ در شرایط عادی
$BL$	مقدار پس افت تقاضا در تولید کننده
$BL_r$	مقدار پس افت تقاضا در خرده فروش $r$
$LS$	مقدار فروش از دست رفته در تولید کننده
$LS_r$	مقدار فروش از دست رفته در خرده فروش $r$
$\alpha_m = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	ضریب نشان دهنده وقوع اختلال در تولید کننده
$\alpha_r = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	ضریب نشان دهنده وقوع اختلال در خرده فروش $r$
$T_d$	دوره اختلال در تولید کننده
$Q_{dr}$	مقدار محصول از بین رفته در اختلال خرده فروش $r$
$q$	مقدار تولید شده در تولید کننده قبل از وقوع اختلال
$\rho$	زمان فعالیت تولید در تامین کننده در شرایط عادی
$\xi$	زمان بیکاری تولید در تامین کننده در شرایط عادی

$\varphi$	زمان بیکاری تولید در تولید کننده در شرایط عادی
$t_o$	لحظه شروع دوره بازیابی
$t_f$	لحظه پایان دوره بازیابی
$T_s$	طول یک دوره تولید در تامین کننده $s$ در شرایط عادی
$T$	طول یک دوره تولید در تولید کننده در شرایط عادی
$T_r$	طول یک دوره سفارش دهی در خرده فروش $r$ در شرایط عادی
$BM$	هزینه یک واحد پس افت تقاضا برای محصول در تولید کننده
$B_r$	هزینه یک واحد پس افت تقاضای محصول در خرده فروش $r$
$LM$	هزینه یک واحد فروش از دست رفته برای محصول در تولید کننده
$L_r$	هزینه یک واحد فروش از دست رفته محصول در خرده فروش $r$
$T_{si}$	طول دوره تولید $i$ ام در تامین کننده $s$ در دوره بازیابی
$T_i$	طول دوره تولید $i$ ام در تولید کننده در دوره بازیابی
$T_{ri}$	طول دوره سفارش دهی $i$ ام در خرده فروش $r$ در دوره بازیابی

#### متغیرهای تصمیم:

$M_{si}$	اندازه تولید تامین کننده $s$ در دوره $i$ ام دوره بازیابی
$M_i$	اندازه تولید تولید کننده در دوره $i$ ام دوره بازیابی
$O_{si}$	اندازه سفارش تولید کننده به تامین کننده $s$ در دوره $i$ ام دوره بازیابی
$O_{ri}$	اندازه سفارش خرده فروش $r$ در دوره $i$ ام دوره بازیابی
$n$	تعداد دوره‌ها در افق بازیابی برای تولید کننده
$z$	تعداد دفعات تولید در افق بازیابی برای تولید کننده
$I_{si}$	سطح موجودی پایان دوره $i$ ام تامین کننده $s$ در دوره بازیابی
$IM_i$	سطح موجودی پایان دوره $i$ ام تولید کننده در دوره بازیابی

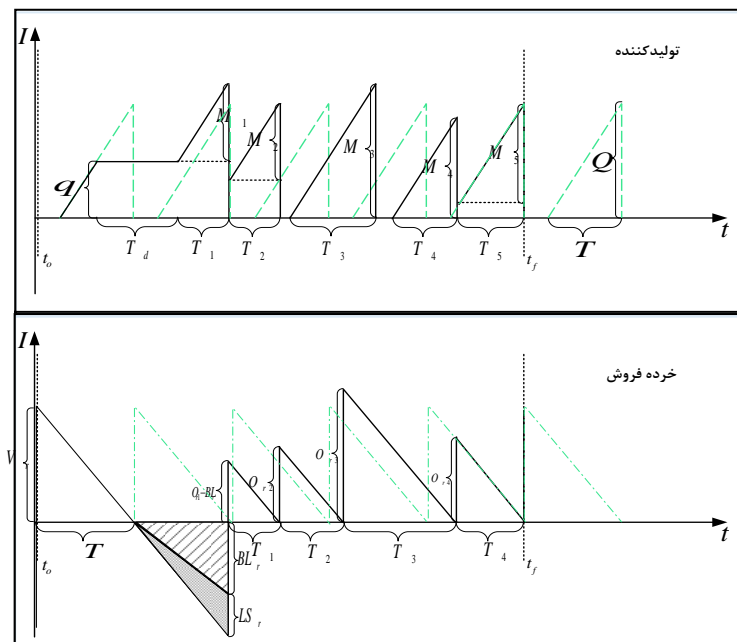
## مدل ریاضی

وقتی اختلال در تولید کننده رخ دهد، علاوه بر هزینه‌هایی که به وی تحمیل می‌شود، آن اختلال به خرده فروشان نیز انتقال می‌یابد و با ارائه برنامه اجرایی جدید، سعی می‌گردد با بهره‌گیری از ظرفیت‌های خالی موجود در زنجیره تامین، اختلال ایجاد شده مدیریت گردد و تقاضای مشتریان تا حد امکان تامین گردد. در این شرایط به علت توقف تولید و انباشت موجودی مواد اولیه، زمان تحویل محموله‌های بعدی از تامین کنندگان بازنگری می‌شود. هزینه‌های تامین کنندگان که در شرایط اختلال در تولید کننده، تعداد سفارشاتشان بازنگری می‌شود عبارت است از:

$$TC_s = \sum_{s=1}^S (A_s \cdot z + \frac{H_s}{2} T_s Q_s z) \quad (1)$$

و هزینه سفارش دهی تولید کننده به تامین کنندگان به شرح زیر تغییر می‌یابد:

$$TCM'_d = \sum_{s=1}^S (AO_s \cdot z + \frac{HM_s}{2} T_s Q_s z + HM_s \cdot Q_s \cdot TS_d) \quad (2)$$



شکل ۳: نمودار وضعیت گردش موجودی محصول تولید کننده و خرده فروش پس از اختلال در تولید کننده  $IM_i$  را به عنوان سطح موجودی در پایان دوره  $i$  ام تعریف می کنیم که:

$$IM_i = IM_{i-1} + M_i - \sum_{r=1}^R O_{ri} \quad \forall i = 1, \dots, z \quad (3)$$

با توجه به نمودار گردش موجودی محصول در تولید کننده طبق شکل ۳، هزینه های مربوط به دوره بازایی برنامه تولید، شامل هزینه های سفارش دهی، انبارداری، پس افت تقاضا و فروش از دست رفته به شرح زیر می باشد:

$$\begin{aligned} TCM_d'' = & AS.z + H\left(\frac{1}{2P}q^2 + q.T_d + \sum_{i=1}^z (IM_{i-1} + \frac{1}{2}M_i)\frac{M_i}{P}\right) + \\ & BM \sum_{r=1}^R \left[ \left(\varphi + \frac{q}{P} + T_d + \frac{M_1}{P} - \frac{V_r}{D_r}\right) \cdot \right. \\ & \left. \left(\varphi + \frac{q}{P} + T_d + \frac{M_1}{P} - \frac{V_r}{D_r}\right).D_r - \left(nV_r - \frac{q}{\sum_{r=1}^R V_r} - \sum_{i=1}^{z-1} O_{ri}\right) \right. \\ & \left. \frac{1}{2} \right] + \\ & LM \sum_{r=1}^R \left( nV_r - \frac{q}{\sum_{r=1}^R V_r} - \sum_{i=1}^{z-1} O_{ri} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

با روش فوق، تابع هزینه هر خرده فروش در دوره بازایی اختلال تامین کننده به شرح زیر می باشد:

$$\begin{aligned} TC_r = & OC_r + HC_r + BLC_r + LSC_r \\ = & A_r.(z-1) + \frac{H_r}{2D_r} (V_r^2 + (O_{r1} - BL_r)^2 + \sum_{i=2}^{z-1} O_{ri}^2) + \\ & \left(\varphi + \frac{q}{P} + T_d + \frac{M_1}{P} - \frac{V_r}{D_r}\right).D_r - \left(nV_r - \frac{q}{\sum_{r=1}^R V_r} - \sum_{i=1}^{z-1} O_{ri}\right) \\ & B_r \cdot \left(\varphi + \frac{q}{P} + T_d + \frac{M_1}{P} - \frac{V_r}{D_r}\right) \cdot \frac{1}{2} + \\ & L_r \cdot \left(nV_r - \frac{q}{\sum_{r=1}^R V_r} - \sum_{i=1}^{z-1} O_{ri}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

و هزینه کل خرده فروشان عبارتند از:

$$TCR = \sum_{r=1}^R TC_r \quad (۶)$$

تابع هزینه دوره بازیابی اختلال در تولید کننده به شرح زیر می باشد:

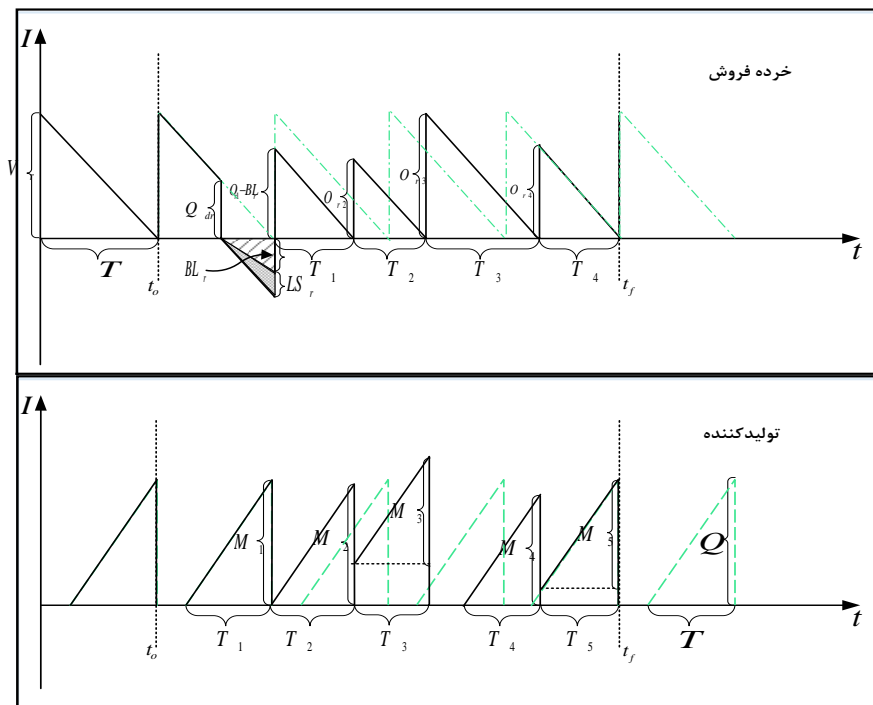
$$TC_{\alpha_m} = TC_s + TCM'_d + TCM''_d + TCR \quad (۷)$$

در صورتی که اختلال در خرده فروشان رخ دهد و موجودی ایشان از بین برود، لازمست در برنامه دیگر حلقه های زنجیره تامین نیز بازنگری صورت گیرد. وقتی  $Q_{dr}$  واحد محصول خرده فروش  $r$  از بین برود می بایست با تغییر سفارشات خرده فروش و تولید مجدد محصول در تولید کننده و همچنین تامین مواد اولیه توسط تامین کنندگان جبران گردد. وضعیت گردش موجودی خرده فروشان و تولید کننده در شکل ۴ نمایش داده شده است که محاسبات هزینه با توجه به مساحت زیر نمودار انجام می گردد. هزینه های مربوط به خرده فروشان دچار اختلال شده در دوره بازیابی اختلال که شامل هزینه سفارش دهی، نگهداشت موجودی، پس افت تقاضا و فروش از دست رفته می باشد طبق رابطه زیر محاسبه می گردد.

$$TC_r = A_r \cdot (z-1) + \frac{H_r}{2D_r} (V_r^2 - (V_r - Q_{dr})Q_{dr}) + (O_{r1} - BL_r)^2 + \sum_{i=2}^{z-1} O_{ri}^2 +$$

$$B_r \cdot \frac{Q_{dr}}{D_r} \cdot \frac{n \cdot V_r - (n \cdot V_r - (V_r - Q_{dr}) - \sum_{i=1}^{z-1} O_{ri})}{2} +$$

$$L_r \cdot (n \cdot V_r - (V_r - Q_{dr}) - \sum_{i=1}^{z-1} O_{ri})$$



شکل ۴: نمودار وضعیت گردش موجودی خرده فروش و تولید کننده پس از اختلال در خرده فروش

از آنجا که با فرض استقلال عملکرد خرده فروشان، اختلال در یک خرده فروش تاثیری بر دیگر خرده فروشان ندارد، هزینه‌های آنها در محاسبات منظور نمی‌گردد. همانطور که پیشتر نیز اشاره گردید در صورت بروز اختلال در خرده فروش، آثار آن در تولید محصول توسط تولید کننده و همچنین در تامین کنندگان نیز بروز می‌کند. هزینه‌های مرتبط با تولید کننده و تامین کنندگان شامل هزینه راه اندازی و نگهداشت موجودی نیز به تابع هزینه اضافه می‌گردد.

$I_{si}$  را به عنوان سطح موجودی تامین کنندگان در پایان دوره  $i$  ام تعریف می‌کنیم که:

$$I_{si} = I_{si-1} + M_{si} - O_{si} \quad \forall i = 1, \dots, z, \forall s = 1, \dots, S \quad (9)$$

براساس روابط فوق تابع کل هزینه دوره بازبایی اختلال در خرده فروش به شرح زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned}
 TC_{\alpha_r} = & A_r \cdot (z-1) + \frac{H_r}{2D_r} (V_r^2 - (V_r - Q_{dr})Q_{dr} + (O_{r1} - BL_r)^2 + \sum_{i=2}^{z-1} O_{ri}^2) + \\
 & B_r \cdot \frac{Q_{dr}}{D_r} \cdot \frac{n.V_r - (n.V_r - (V_r - Q_{dr}) - \sum_{i=1}^{z-1} O_{ri})}{2} + \\
 & L_r \cdot (n.V_r - (V_r - Q_{dr}) - \sum_{i=1}^{z-1} O_{ri}) + \tag{10} \\
 & AS \cdot z + H \left( \frac{1}{2P} Q^2 + \frac{1}{2P} M_1^2 + \sum_{i=2}^z (IM_{i-1} + \frac{1}{2} M_i) \frac{M_i}{P} \right) + \\
 & \sum_{s=1}^S [AO \cdot (z-1) + \frac{HM_s}{2P} (V_s^2 + \sum_{i=1}^{z-1} O_{si}^2)] + \\
 & \sum_{s=1}^S (A_s \cdot z + H_s \left( \frac{1}{2P_s} Q_s^2 + \frac{1}{2P_s} M_{s1}^2 + \sum_{i=2}^z (I_{si-1} + \frac{1}{2} M_{si}) \frac{M_{si}}{P_s} \right))
 \end{aligned}$$

با توجه به توضیحات داده شده مدل کلی مسئله به صورت زیر نوشته می شود:

$$\text{Minimize } TC = \alpha_m \cdot TC_{\alpha_m} + \sum_{r=1}^R (\alpha_r \cdot TC_{\alpha_r}) \tag{11}$$

$$\text{Sub to :} \tag{12}$$

$$MS_i \leq Q_s \quad i = 1, 2, \dots, z \tag{13}$$

$$\sum_{i=1}^z M_{si} \leq P_s (nT_s - \xi_s) \quad \forall s = 1, \dots, S \tag{14}$$

$$\sum_{i=1}^z M_i \leq P(nT - T_d - \varphi) - q \tag{15}$$

$$\sum_{i=1}^z M_{si} \geq n.T_s \cdot DM_s + BL_r \quad \forall s = 1, \dots, S \tag{16}$$

$$\sum_{i=1}^z M_i \geq n.T \cdot \sum_{r=1}^R D_r - \sum_{r=1}^R LS_r - q + Q_{dr} \tag{17}$$

$$\frac{1}{P_s} \sum_{j=2}^i M_{sj} \leq \frac{1}{DM_s} \sum_{j=1}^{i-1} O_{sj} \quad i = 1, 2, \dots, z, \quad s = 1, \dots, S \tag{18}$$

$$\frac{1}{P} \sum_{j=2}^i M_j \leq \frac{1}{\sum_{r=1}^R D_r} \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{r=1}^R O_{rj} - \sum_{r=1}^R \frac{BL_r}{D_r} \quad i = 1, 2, \dots, z \quad (19)$$

$$I_{s0} = I_{sz} = 0 \quad \forall s = 1, 2, \dots, S \quad (20)$$

$$I_0 = I_z = 0 \quad (21)$$

$$IM_0 = IM_z = 0 \quad (22)$$

$$O_{sz} = V_s \quad \forall s = 1, 2, \dots, S \quad (23)$$

$$O_z = V \quad (24)$$

$$O_{rz} = V_r \quad \forall r = 1, 2, \dots, R \quad (25)$$

$$n, z \in Z \quad (26)$$

رابطه ۱۲ تضمین می‌کنند که میزان تامین توسط تامین کننده در هر دوره با میزان تامین در دوره‌های عادی برابر یا کمتر می‌باشد، این محدودیت براساس محدودیتهای ظرفیت سیستم حمل و نقل و انبارش در نظر گرفته می‌شود. رابطه ۱۳ محدودیت ظرفیت تامین کنندگان را اعمال می‌کند و رابطه ۱۴ محدودیت ظرفیت تولید کننده را در نظر می‌گیرد. در رابطه ۱۵ از اینکه کل مقدار تقاضای تولید کننده در دوره بازبایی مدنظر قرار گرفته است، اطمینان حاصل می‌گردد و رابطه ۱۶ همین امر را در خصوص تقاضای خرده فروشان بررسی می‌کند. رابطه ۱۷ نشان می‌دهد که تولید کننده سفارشات خود را به موقع تحویل می‌گیرد و دچار کمبود نمی‌شود. رابطه ۱۸ دریافت به موقع سفارشات خرده فروشان را بیان می‌کند. رابطه‌های ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ تضمین می‌کنند که در ابتدا و انتهای دوره بازبایی میزان موجودی در تامین کنندگان و تولید کننده صفر می‌باشد. روابط ۲۲ و ۲۳ و ۲۴ نیز جهت حصول اطمینان از بازگشت سیستم به شرایط قبل از اختلال می‌باشد و رابطه ۲۵ نوع متغیرهای عدد صحیح را اعلام می‌کند.



### روش حل پیشنهادی

مدل بازیابی زنجیره تامین سه سطحی ارائه شده در این مقاله یک مدل پیچیده برنامه ریزی عدد صحیح مختلط است که نیاز به روش حل ابتکاری یا فراابتکاری برای حل آن می باشد که در اینجا یک روش حل ابتکاری ارائه و در نرم افزار متلب ۲۰۱۱ کدنویسی می گردد. قبل از ارائه روش حل، ذکر دو قضیه که بعداً از نتایج آنها استفاده خواهد شد، ضروری می باشد.

**قضیه ۱:** در صورتی که همه پارامترهای مدل ثابت باشند، در شرایط بهینه مقدار موجودی

$$\text{پایان دوره کلیه سطوح زنجیره تامین صفر می باشد. } (I_i = 0, IM_i = 0 \quad \forall i)$$

**اثبات:** برای اثبات رجوع شود به (خیا و دیگران، ۲۰۰۴)

**قضیه ۲:** حالت بهینه در این مدل در شرایطی رخ می دهد که

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

**اثبات:** با توجه به قضیه ۱ و تعریف  $I_i$  و  $IM_i$  طبق روابط ۳ و ۹ داریم:

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

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

در واقع این قضیه، نتیجه قضیه ۱ می باشد.

در روش حل ارائه شده از دو قضیه فوق استفاده خواهد شد. گام های این روش به شرح زیر می باشد:

۱- اگر  $\alpha_m = 1$  آنگاه:

$$1-1 \quad \text{مقدار اولیه } n \text{ را به صورت } n' = \left\lceil \frac{T_d}{\varphi} \right\rceil + 1 \text{ محاسبه کنید.}$$

$$2-1 \quad \text{مقادیر } J = 0, K = 0 \text{ را تعریف کنید.}$$

$$3-1 \quad n = n' + J, \quad z = n' + K, \quad M_1 = Q - q, \quad M_z = Q, \quad LS_r = 0 \quad \forall r$$

$$4-1 \quad \text{با استفاده از رابطه (۱۴) ظرفیت تولید کننده را محاسبه کنید:}$$

$$Cap = P(nT - T_d - \varphi) - q$$

$$5-1 \quad \text{مقدار تقاضایی که باید تامین شود را محاسبه نمایید:}$$

$$DRF = nT \cdot \sum_{r=1}^R D_r - q$$

$$6-1 \quad \text{اگر } Cap < DRF \text{ آنگاه } \forall r \quad LS_r = \frac{DRF - Cap}{\sum_{r=1}^R D_r} D_r \text{ در}$$

$$\text{غیر اینصورت } LS_r = 0 \quad \forall r$$

$$7-1 \quad \text{اگر } z = 3 \text{ آنگاه } M_2 = nT \sum_{r=1}^R D_r - \sum_{r=1}^R LS_r - q - M_1 - M_z \text{ و اگر}$$

$$z = 2 \text{ آنگاه}$$

$$M_2 = nT \sum_{r=1}^R D_r - \sum_{r=1}^R LS_r - q - M_1, \quad O_{r1} = \frac{M_2}{\sum_{r=1}^R D_r} D_r \quad \forall r, \quad IM_1 = Q - \sum_{r=1}^R O_{r1}$$

مقدار  $TC$  را محاسبه و ذخیره نمایید.

$$8-1 \quad M_i = \frac{P}{\sum_{r=1}^R D_r} \left( \sum_{j=1}^i M_j - \sum_{r=1}^R BL_r \right) - \sum_{j=2}^{i-1} M_j \quad i = 2, \dots, z-1$$

$$9-1 \quad \text{با استفاده از رابطه زیر مقدار مانده تقاضا را محاسبه کنید:}$$

$$\Delta DR = DRF - \sum_{i=1}^z M_i - \sum_{r=1}^R LS_r$$

$$10-1 \quad \text{اگر } \Delta DR \geq 0 \text{ آنگاه}$$

$$LS_r^* = LS_r + \frac{\Delta DR}{\sum_{i=2}^{z-1} \left(\frac{P}{R}\right)^{i-1} + 1} \cdot \frac{D_r}{\sum_{r=1}^R D_r} \quad \forall r$$

$$BL_r^* = T_d \cdot \frac{D_r}{\sum_{r=1}^R D_r} - LS_r^* \quad \forall r$$

$M_i \geq Q$  های جدید را با استفاده از رابطه گام ۸-۱ محاسبه کنید. اگر  $M_i \geq Q$  آنگاه تعداد  $M_i$  را  $l$  می نامیم و

$$M_i = \frac{P}{\sum_{r=1}^R D_r} \left( \sum_{j=1}^i M_j - \sum_{r=1}^R BL_r^* \right) - \sum_{j=2}^{i-1} M_j \quad i = 2, \dots, z-1-l$$

دوباره  $\Delta DR$  را به دست آورید. حال  $TC$  را محاسبه و ذخیره نمایید.

۱۱-۱ - اگر  $\Delta DR < 0$  آنگاه  $t = 2$  و

$$M_i = \frac{DRF - \left( \sum_{i=1}^{z-t} M_i + Q \right)}{t-1} \quad i = z-t+1, \dots, z-1$$

مقدار  $TC$  را محاسبه و ذخیره نمایید.

۱۲-۱ - قرار دهید  $t = t+1$  و به گام ۹-۱ بازگردید و تا وقتی محدودیت (۱۸)

نقض شود این کار را تکرار کنید.

۱۳-۱ - جواب مینیموم  $TC$  جواب بهینه می باشد.

$$۲- اگر \sum_{r=1}^R \alpha_r = 1 \text{ آنگاه:}$$

۱-۲ - مقدار اولیه  $n$  را به شرح زیر محاسبه کنید:

$$n' = \max_s \left\{ \left[ \frac{Q_{dr}}{P_s \xi_s} \right] \right\}$$

و  $s$  مربوطه را  $s'$  می نامیم.

۲-۲- مقادیر  $J = 0, K = 0$  را تعریف کنید.

۲-۳- برای هر  $s$  قرار دهید:

$$n = n' + J, \quad z = n' + K, \quad LS_r = 0, \quad M_{s1} = Q_s, \quad M_{sz} = Q_s$$

۲-۴- اگر  $\frac{Q_{dr}}{P_{s'}} > T_{s'1}$  و  $P_{s'} n T_{s'1} < n \cdot DM_{s'} \cdot T_{s'} + Q_{dr}$  آنگاه

$$LS_r = (T_{s'1} - \frac{Q_{dr}}{P_{s'}}) P_{s'}$$

در غیر اینصورت  $LS_r = 0$

۲-۵- بقیه  $M_{si}$  ها را با استفاده از فرمول زیر محاسبه کنید:

$$M_{si} = \frac{P_s}{DM_s} \left( \sum_{j=1}^i M_{sj} - BL_r \right) - \sum_{j=2}^{i-1} M_{sj} \quad i = 2, \dots, z-1, \quad s = 1, \dots, S$$

۲-۶- با استفاده از رابطه زیر مانده تقاضا را محاسبه کنید:

$$\Delta DM = n \cdot DM_{s'} \cdot T_{s'} + Q_{dr} - \sum_{i=1}^z M_{s'i} - LS_r$$

۲-۷- اگر  $\Delta DM > 0$  آنگاه مقدار جدید فروش از دست رفته را با رابطه زیر

محاسبه کنید:

$$LS_r^* = LS_r + \frac{\Delta DM}{\sum_{i=2}^{z-1} \left( \frac{P_{s'}}{DM_{s'}} \right)^{i-1} + 1}$$

$$BL_r^* = Q_{dr} - LS_r^*$$

با استفاده از فرمول گام ۵ بقیه  $M_{si}$  ها را با  $BL_r^*$  محاسبه کنید. مقدار  $TC$  را

محاسبه و به عنوان  $TC(K)$  ذخیره نمایید.

اگر  $\Delta DM < 0$  آنگاه  $t = 2$  و تا زمانی که  $M_{si} > 0$  و محدودیت (۱۷) برقرار

است مقادیری که قبلاً در گام ۲-۵ محاسبه شده را با مقادیر زیر جایگزین نمایید:

$$M_{si} = \frac{n.DM_s.T_s + Q_{dr} - \sum_{i=1}^{z-t} M_{si} - Q_s - LS_r}{t-1} \quad i = z-t+1, \dots, z-1$$

مقدار  $TC$  را محاسبه کنید. حال  $t = t+1$  و محاسبه  $M_{si}$  با فرمول فوق تا زمانی که محدودیت (۱۷) برقرار است. کمترین مقدار  $TC$  را به عنوان  $TC(K)$  ذخیره نمایید.

۸-۲- اگر  $K=0$  مقدار  $K = K+1$  و گامهای ۳-۷ را تکرار کنید در غیر اینصورت اگر  $TC(K) < TC(K-1)$  مقدار  $K = K+1$  و تکرار گامهای ۳-۷ در غیر اینصورت جواب را ثبت کنید. جواب به دست آمده کمترین مقدار  $TC$  برای  $n$  می باشد که  $J$  بهینه نیز به دست آمده است. مقدار حاصل را به عنوان  $TC(J)$  ذخیره کنید.

۹-۲- اگر  $J=0$  مقدار  $J = J+1$  و گامهای ۳-۸ را تکرار کنید. در غیر اینصورت اگر  $TC(J) < TC(J-1)$  مقدار  $J = J+1$  و گامهای ۳-۸ را تکرار کنید در غیر اینصورت جواب را ذخیره کنید. این جواب بهینه است.

۱۰-۲- حال کلیه مراحل الگوریتم را با پارامترهای مربوط به تولید کننده و خرده فروشان تکرار نمایید.

### مثال عددی

نکته قابل توجه در خصوص الگوریتم های ابتکاری، کاربردی بودن آنهاست، در این بخش جهت بررسی این موضوع، یک زنجیره تامین با سه تامین کننده، یک تولید کننده و سه خرده فروش را در نظر می گیریم. نرخ تولید هر یک از تامین کنندگان به ترتیب ۴۰۰۰، ۳۷۰۰ و ۴۱۰۰ واحد و نرخ تقاضای تولید کننده از هر یک از آنان ۳۵۰۰ واحد، همچنین نرخ عملیات

تولید کننده ۴۲۰۰ واحد می باشد. نرخ تقاضای هر یک از خرده فروشان نیز به ترتیب ۱۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۳۰۰ واحد محصول است.

مدل را برای ۱۵۰ مثال با داده های تصادفی حل کرده ایم. این مسایل آزمایشی با تولید داده های تصادفی برای پارامترهای هزینه ای، مقدار تامین قبل از وقوع اختلال، طول دوره اختلال و اختلال کالای از بین رفته در حالت های مختلف اختلال ایجاد گردیده اند که در جدول شماره ۳ بازه پارامترهای تصادفی آمده است:

جدول شماره ۳: بازه پارامترها جهت تولید داده های تصادفی

خرده فروشان			پارامترها	تولید کننده	پارامترها
۳	۲	۱			
[۸,۵۰]	[۱۵,۶۰]	[۱۰,۷۰]	$A_r$	[۲۰۰,۵۰۰]	$AS$
[۲,۱۰]	[۱,۸]	[۲,۷]	$H_r$	[۴,۱۰]	$H$
[0, $V_r$ ]	[0, $V_r$ ]	[0, $V_r$ ]	$Q_{dr}$	[ $\varphi, T$ ]	$T_d$
				[0, $Q$ ]	$q$

کیفیت جواب های به دست آمده، از طریق حل مدل ارائه شده توسط نرم افزار گمَس ۲۴ ارزیابی گردید که مقایسه چند مثال حل شده از دو روش در جدول شماره ۴ ارائه شده است:

جدول شماره ۴: مقادیر پارامترها و جواب برخی مسایل تصادفی

درصد انحراف	$TC\_GAMS$	$TC$	$z$	$n$	$Q_{dr}$	$q$	$T_d$	$H$	$H_r$	$AS$	$A_r$	شماره
٪۰,۰۰۰۰۱	۱۸۸۴۶۸۸,۲	۱۸۸۴۶۸۸	۶	۴	-	۱۰۸	۰,۰۰۶۹	۷	۵	۳۱۴	۶۴	۱
٪۰,۰۰۰۰۳	۱۷۲۲۱۹۹,۵	۱۷۲۲۲۰۰	۷	۲	-	۶۲	۰,۰۰۱۶	۹	۷	۲۴۶	۳۸	۲
٪۰,۰۰۰۰۲	۱۸۹۷۵۶۴,۳	۱۸۹۷۵۶۴	۷	۳	-	۱۳۵	۰,۰۰۵۹	۷	۴	۲۷۱	۵۳	۳
٪۰,۰۰۰۰۲	۳۶۰۸۱۹۹,۲	۳۶۰۸۲۰۰	۸	۴	-	۱۹	۰,۰۰۷۶	۱۰	۵	۴۵۱	۳۱	۴
٪۰,۰۰۰۰۳	۱۳۴۵۱۷۰,۵	۱۳۴۵۱۷۰	۵	۲	-	۶۱	۰,۰۰۱۹	۸	۶	۲۶۹	۲۴	۵
٪۰,۰۰۰۰۳	۱۹۸۰۰۵۱,۱	۱۹۸۰۰۵۱	۵	۲	۵۱	-	-	۱۰	۲	۳۹۶	۲۴	۶
٪۰,۰۰۰۰۳	۱۴۰۸۰۶۴,۸	۱۴۰۸۰۶۵	۴	۳	۱۳۰	-	-	۶	۲	۳۵۲	۲۰	۷
٪۰,۰۰۰۰۱	۲۰۱۵۱۱۳,۷	۲۰۱۵۱۱۳	۵	۳	۱۰۷	-	-	۷	۲	۴۰۳	۳۶	۸

۰,۰۰۰۰۱٪	۱۴۰۰۰۶۳	۱۴۰۰۰۶۳	۵	۳	۱۲۲	-	-	۴	۷	۲۸۰	۱۹	۹
۰,۰۰۰۰۵٪	۱۶۸۰۰۹۶,۲	۱۶۸۰۰۹۷	۷	۲	۴۴	-	-	۸	۶	۲۴۰	۴۷	۱۰

اختلاف مقادیر به دست آمده در دو روش در حد اختلاف در یک رقم سمت راست می باشد که نشان می دهد پاسخ ها مناسب می باشند، همچنین درصد انحراف پاسخ های به دست آمده از دو روش نیز در آخرین ستون جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

### نتیجه گیری و پیشنهاد تحقیقات آتی

در مقاله حاضر، یک مدل برنامه ریزی بازیابی زنجیره تامین سه سطحی پس از وقوع اختلال در تولید کننده و خرده فروشان ارائه گردید. ماهیت اختلال و نتایج حاصل از آن در هر قسمت زنجیره تامین با توجه به نقش آن عضو در عملکرد زنجیره، می تواند متفاوت باشد و به همین ترتیب جهت بازیابی هر نوع اختلال لازمست راهکار مناسب آن شرایط مورد استفاده قرار گیرد. هدف اصلی این پژوهش ارائه راهکار عملیاتی به مدیران صنایع جهت تصمیم گیری و برنامه ریزی صحیح به محض وقوع اختلال می باشد به گونه ای که هزینه های کل زنجیره تامین برای بازگشت سیستم به حالت قبل از وقوع اختلال کمینه گردد. مدل طراحی شده یک مدل ریاضی برنامه ریزی عدد صحیح مختلط می باشد که با الگوریتم ابتکاری پیشنهادی در نرم افزار متلب ۲۰۱۱ حل شده است و جهت ارزیابی صحت نتایج و کاربردی بودن روش پیشنهادی، مدل همزمان با نرم افزار گممس نیز اجرا گردید و نتایج برای ۱۵۰ مسئله تصادفی که با داده های تصادفی تولید گردیده است مورد مقایسه قرار گرفت و درصد انحراف جواب نهایی در این دو روش نشان می دهد الگوریتم پیشنهادی قابل پذیرش می باشد. به محققین علاقه مند به این حوزه پیشنهاد می گردد در تحقیقات آتی انواع دیگر اختلال که نتایج متفاوتی را به دنبال دارند مورد مطالعه و مدل سازی قرار دهند. موضوع قابل توجه دیگری که می تواند در پژوهش های بعدی مدنظر قرار گیرد وقوع همزمان اختلال در چند قسمت زنجیره تامین و یا وقوع اختلال در دوره زمانی بازیابی یک اختلال می باشد که مورد توجه نویسندگان این مقاله نیز می باشد.

## منابع

Cavinato, J. L. (2004). Supply chain logistics risks: from the back room to the board room. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(5), 383-387 .

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 .

Christopher, M., & Lee, H. (2004). Mitigating supply chain risk through improved confidence. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(5), 388-396 .

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

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

Hendricks, K. B., & Singhal, V. R. (2005). An Empirical Analysis of the Effect of Supply Chain Disruptions on Long-Run Stock Price Performance and Equity Risk of the Firm. *Production and Operations Management*, 14(1), 35-52 .

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), 464-473 .

Hishamuddin, H., Sarker, R. A., & Essam, D. (2013). A recovery model for a two-echelon serial supply chain with consideration of transportation disruption. *Computers & Industrial Engineering*, 64(2), 552-561 .

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 .

Ivanov, D., & Sokolov, B. (2010). *Adaptive supply chain management*: Springer.



Li, Y., Zhen, X., Qi, X., & Cai, G. G. (2016). Penalty and financial assistance in a supply chain with supply disruption. *Omega*, 61, 167-181 .

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

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

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

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

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

Paul, S. K., Sarker, R., & Essam, D. (2017). A quantitative model for disruption mitigation in a supply chain. *European Journal of Operational Research*, 257(3), 881-895 .

Paul, S. K., Sarker, R. A., & Essam, D. (2014). *Managing supply disruption in a three-tier supply chain with multiple suppliers and retailers*. Paper presented at the 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management.

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

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

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 .

Spekman, R. E., & Davis, E. W. (2004). Risky business: expanding the discussion on risk and the extended enterprise. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(5), 414-433 .

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 .

Thun, J.-H., & Hoenig, D. (2011). An empirical analysis of supply chain risk management in the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 242-249 .

Tomlin, B. (2006). On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks. *Management Science*, 52(5), 639-657 .

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 .

Yang, J., Qi, X., & Yu, G. (2005). Disruption management in production planning. *Naval Research Logistics*, 52(5), 420-442 .

Zsidisin\*, G. A., Melnyk, S. A., & Ragatz, G. L. (2005). An institutional theory perspective of business continuity planning for purchasing and supply management. *International journal of production research*, 43(16), 3401-3420 .