

فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۸۹، زمستان ۱۳۹۷، ۸۸-۵۹

توسعه مدل کمی بهینه‌سازی و کاهش اثر اختلال در زنجیره تأمین سه سطحی چندمحصولی فازی (مطالعه موردی بر روی زنجیره تأمین قطعات یدکی خودرو)

سیدعلی علوی‌کیا* محمدتقی تقوی‌فرد**

مقصود امیری*** پرهام عظیمی****

پذیرش: ۹۷/۵/۱۷

دریافت: ۹۷/۲/۲۱

نواوری / مدیریت کیفیت / زنجیره تأمین / عملکرد.

چکیده

تحریم‌های اخیر صنعت خودروسازی کشور بیش از پیش نشان داد که علی‌رغم سرمایه‌گذاری‌های گسترده در صنعت خودرو، شرکت‌ها و زنجیره‌های تأمین این صنعت عملکرد قابل قبولی ندارند. در این تحقیق یک زنجیره تأمین سه سطحی که هر سطح شامل کارخانه‌های تولیدی، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان است، در بخش پرتقاضای قطعات یدکی خودرو در نظر گرفته شده است. بانک اطلاعاتی دو شرکت فعال در این بخش برای پنج محصول استراتژیک در یک سال مورد استفاده قرار گرفته است. ابتدا زنجیره تأمین سه سطحی تحت شرایط ایده‌آل (عدم اختلال) برای یک افق زمانی برنامه‌ریزی محدود و به‌عنوان مسئله برنامه‌ریزی محدودیت‌ها به صورت ریاضی مدل شده است. سپس مدل

seyedalialavikia@yahoo.com

dr.taghavifard@gmail.com

mg_amiri@yahoo.com

p.azimi@yahoo.com

* دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشگاه علامه طباطبائی

** دانشیار دانشگاه علامه طباطبائی، مهندسی صنایع.

*** استاد دانشگاه علامه طباطبائی، مهندسی صنایع.

**** دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، مهندسی صنایع.

■ محمدتقی تقوی‌فرد، نویسنده مسئول.

ریاضی با در نظر گرفتن اختلال‌ها بر اساس سه سیاست فروش معوق، فروش ازدست رفته و برون‌سپاری، با هدف کمینه کردن هزینه کل زنجیره تأمین در صورت بروز اختلالات مختلف حل و تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی این تحقیق قادر است اثر اختلال‌ها را خنثی کرده و موجب کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های کل سیستم شود. مدل ارائه شده برای کمک به تصمیم‌گیرندگان برای اتخاذ رویکردی فعال برای حفظ مزیت تجاری در هنگام بروز اختلال (مانند شرایط تحریم) در زنجیره تأمین مفید است

طبقه‌بندی JEL: C02

مقدمه

از آنجا که زنجیره‌های تأمین ممکن است پیچیده، طولانی و شامل تعداد زیادی شرکای تجاری مختلف باشند، بروز مشکلات و مسائل اجتناب‌ناپذیر است. تأخیر در حل این مشکلات، منجر به نارضایتی مشتریان و از دست دادن فروش شده و هزینه‌های بالایی را به سازمان‌ها تحمیل می‌کند. شرکت‌های در کلاس جهانی بسیاری از موفقیت‌های خود را به مدیریت زنجیره تأمین نسبت می‌دهند، از این رو در دهه‌های اخیر زنجیره تأمین به یکی از گفتمان‌های پرطرفدار مدیریتی بدل شده است. طراحی موفق و اجرای زنجیره تأمین به کاهش هزینه، بهبود انعطاف‌پذیری، افزایش کیفیت منجر شده و رضایت مشتریان را تضمین می‌کند.^۱ از آنجا که حلقه‌های زنجیره تأمین در واقع موجودیت‌های مستقل اقتصادی هستند، ایجاد مکانیزمی که بتواند اعمال و اهداف این موجودیت‌ها را در راستای بهینه‌سازی عملکرد کل سیستم هماهنگ کند، یک موضوع کلیدی در مدیریت زنجیره تأمین است. به طور کلی، تحقیقات سنتی در زمینه زنجیره تأمین بر تصمیم‌گیری در شرایط ایده‌آل تمرکز می‌کرد، جایی که تقاضا قطعی و شناخته شده بود و تولیدکننده اطلاعات کاملی درباره بازار داشت؛ اما در عمل اطلاعات کامل بازار به ندرت در دسترس است و به دست آوردن توزیع‌های تقاضا ممکن است سخت و حتی غیرممکن باشد. در محیط پویا و پیچیده زنجیره تأمین، از عدم قطعیت به عنوان یک نگرانی مهم یاد می‌شود. عدم قطعیت تقاضا یک موضوع مهم در دنیای علم و صنعت است. عدم قطعیت تقاضا چالش‌های بزرگی را برای مدیریت زنجیره تأمین ایجاد می‌کند، و به کاهش درآمد واقعی منجر می‌شوند.^۲ در راستای در نظر گرفتن عدم قطعیت و اثرات آن توجه به منابع ایجاد عدم قطعیت، که همان اختلالات یا وقفه‌ها در طول تمامی بخش‌های زنجیره تأمین می‌باشند، ضرورت می‌یابد.

۱. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ادامه حیات سازمان‌ها به توانایی آنان به ارائه خروجی‌های بهتر، با هزینه‌ای پایین‌تر از رقبا و ارائه مطلوب این خروجی‌ها (از جنبه‌های مختلفی چون کیفیت، هزینه، نوآوری و تحویل)

۱. ناظری، نصرت‌پور و عساکره (۱۳۹۶).

۲. جولای (۱۳۹۳).

بستگی دارد. ارائه خروجی‌های مدنظر به توانایی سازمان در مدیریت جریان مواد(از مواد اولیه خام تا محصول نهایی)، اطلاعات و پول بستگی دارد. این جریان به عنوان زنجیره تأمین شناخته می‌شود. مطالعات بسیاری در خصوص حوزه اصلی این پژوهش یعنی زنجیره تأمین انجام گرفته است؛ بسیاری از مطالعات موجود که در این حوزه صورت گرفته مقالات کیفی بوده و به هیچ عنوان به مباحث کمی و مدل‌سازی زنجیره ورود نمی‌کنند.^{۱،۲} اگرچه این قبیل مطالعات در تبیین مباحث جدید و یا تعلیم و جمع بندی مفاهیم اصلی نقش بسزایی دارند، لیکن کاربردشان به موارد یادشده محدود شده و در حل مسائلی که در واقعیت بقا و رقابت زنجیره‌های تأمین را تحت تاثیر قرار می‌دهد کمتر کاربرد دارند.

مطالعات کیفی با رویکردهای کمی آماری دسته دیگری از تحقیقات در حوزه زنجیره تأمین بوده که اگرچه تحقیق به سبب بهره‌گیری از ابزارهای علم آمار تا حدودی رنگ و بوی کمی به خود می‌گیرد، لیکن بازهم اصل تحقیق بر مفاهیم کیفی چون اندازه‌گیری عملکرد زنجیره^۳، مدل رابطه همکاری میان‌سازمانی^۴، فرهنگ زنجیره تأمین^۵، تعامل‌پذیری در زنجیره تأمین^۶، پایداری زنجیره تأمین^۷، زنجیره تأمین ناب^۸، زنجیره تأمین چابک^۹، و زنجیره تأمین پایدار با عملکرد زیست‌محیطی و عملکرد مالی^{۱۰} ... استوار است. دسته سوم مطالعات کمی در حوزه زنجیره تأمین بوده، از مباحث کیفی پا را فراتر نهاده و سعی در شبیه‌سازی زنجیره‌های تأمین واقعی و حل مسائل و دغدغه‌های بخش‌های مختلف زنجیره‌ها دارند. مطالعه حاضر در این گروه قرار می‌گیرد. به دلیل گستردگی تحقیقات می‌توان این بخش را به سه زیرشاخه اصلی تقسیم نمود که عبارتند از:

1. Giannakis (2011)

۲. قاسمی و سعیدی (۱۳۹۱).

۳. معنوی زاده و همکاران (۱۳۸۵).

۴. فیضی و همکاران (۱۳۹۰).

۵. شفیعی نیک‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱).

۶. مرادی و همکاران (۱۳۹۳).

۷. ناظری و نصرت پور (۱۳۹۵).

۸. آقایی و همکاران (۱۳۹۴).

۹. عبدی تالارپشتی و همکاران (۱۳۹۵).

۱۰. توکلی دهاقانی، شاهوردیانی و موسی پور (۱۳۹۶).

الف) مطالعات متمرکز بر پیش‌بینی تقاضا و کنترل موجودی: به‌عنوان نمونه، تحقیق رضائی^۱ بر اساس مبانی علوم هوش مصنوعی و داده‌کاوی به ارائه مدل‌هایی جهت پیش‌بینی میزان فروش یک ماه بعد پرداخته شده است. مدل‌های پیشنهادی این تحقیق از نوع ترکیبی هستند و شامل مراحل ۱- کاهش بعد ۲- خوشه بندی و ۳- پیش‌بینی می‌باشند. اگرچه نتایج حاصله بیانگر دقت بالاتر این مدل‌ها در مقایسه با مدل‌های سنتی پیش‌بینی می‌باشد ولی محدودیت‌های چون بازه زمانی محدود وجود دارد.

ب) مطالعات متمرکز بر قیمت‌گذاری با استفاده از مفاهیمی چون تئوری بازی‌ها که سعی بر یافتن بهترین استراتژی قیمت‌گذاری ممکن دارد.^۲

ج) در مطالعات متمرکز بر اختلالات و عدم قطعیت‌ها هدف طراحی پایای شبکه زنجیره تأمین و توسعه مدل‌هایی است که هم در شرایط عادی و هم در شرایط وقوع اختلال، عملکردی قابل قبول و کارا داشته‌باشند.^۳ تحقیق حاضر در این دسته قرار دارد. مطالعات اخیر در این حوزه در جدول (۱) جمع‌بندی گردیده است.

جدول ۱- جمع‌بندی مطالعات اخیر

سال تحقیق	محققین	اختلال	دو سطحی	سه سطحی	تک محصولی	چند محصولی	صنعت مورد مطالعه	خروجی تحقیق
2016	ShanshanLi et al. (Shanshan, Yong, & Lujie, 2016)	*	*	-	*	-	-	استراتژی‌های فعال و واکنشی برای مدیریت اختلال عرضه از طریق مدل
2016	B.C. Giri, B.R. Sarker (Giri & Sarker, 2016)	*	-	*	*	-	-	بهبود عملکرد زنجیره تأمین در اختلال تولید و خدمات

۱. رضائی (۱۳۹۱).

۲. خدیو، آذر و مجیبیان (۱۳۹۵)، Giri and Sharma (۲۰۱۴) و امیری و پهلوانی قمی (۱۳۹۵).

۳. قسمتی، غضنفری و پیشوایی (۱۳۹۵).

سال تحقیق	محققین	اختلال	دو سطحی	سه سطحی	تک محصولی	چند محصولی	صنعت مورد مطالعه	خروجی تحقیق
2016	Snyder et al. (Snyder, et al., 2016)	*	-	-	-	-	-	بررسی و مرور مدل‌های کارشده در اختلالات زنجیره تأمین
2016	Xu Zhang, Panlop Zeephongsekul (Zhang & Zeephongsekul, 2016)	*	*	-	-	-	-	توسعه مدل زنجیره تأمین دو سطحی
2016	Jianxun Cui et al. (Cui, Zhao, Li, Mohsen, & An, 2016)	*	*	-	-	*	-	توسعه مدل زنجیره تأمین دو سطحی
2017	Sanjoy Kumar Paul et al. (Paul a, Sarker b, & Daryl, 2017)	*	-	*	*	-	-	مدل‌سازی زنجیره تأمین پایای سه سطحی تک محصولی
2017	Milan Kumar et al. (Kumar, Basu, & Avittathur, 2017)	*	*	-	*	-	صنعت قطعات الکترونیك	تعیین استراتژی‌های منبع یابی و قیمت گذاری زنجیره
2017	Dillon et al. (Dillon, Oliveira, & Abbasi, 2017)	*	-	-	-	-	زنجیره تأمین خون	مدل برنامه‌نویسی تصادفی دو مرحله‌ای مدیریت موجودی در زنجیره تأمین خون
2018	پژوهش حاضر	*	-	*	-	*	قطعات یدکی خودرو	مدل‌سازی زنجیره تأمین پایای سه سطحی چند محصولی

۲. تعریف مسئله

در این تحقیق یک مدل زنجیره تأمین سه سطحی تحت شرایط ایده آل برای یک افق زمانی برنامه ریزی محدود توسعه داده می‌شود. این برنامه ایده آل به منظور تعیین طول دوره ای که بازه زمانی مورد نیاز برای برنامه ریزی و تحلیل است، استفاده می‌شود. شبکه زنجیره تأمین سه سطحی شامل کارخانه‌های تولیدی، توزیع کنندگان و خرده فروشان با چندین بخش در هر سطح می‌باشد.

برای این زنجیره تأمین سه رویکرد متفاوت توسعه داده خواهد شد: ۱- یک برنامه ایده آل برای افق برنامه ریزی محدود که اگر تغییراتی در داده‌ها ایجاد شود، این برنامه به روز می‌شود. ۲- یک رویکرد برنامه ریزی کاهش اثر اختلال از نوع پیشگیرانه برای مدیریت تغییرات تقاضا که می‌تواند تقاضای آینده را پیش بینی کند. ۳- یک برنامه کاهش اثر اختلال واکنشی برپایه نتایج زمان واقعی برای مدیریت اختلالات ناگهانی تولید که قابل پیش بینی نیستند. موضوع مهم در طرح ریزی تمام مسائل حوزه تحقیق در عملیات، وجود مفروضات سازنده مساله است. در طراحی مدل پیشنهادی این تحقیق نیز مفروضات زیر در نظر گرفته شده‌اند: ۱- چندین کالای مستقل (G) در سیستم تولید می‌شود و سیستم مورد نظر یک سیستم سه سطحی زنجیره تأمین (شامل چندین تولید کننده (I)، چندین توزیع کننده (J) و چندین خرده فروش (K) است.

۲- در کاهش اثر اختلالات پیشگیرانه، فقط تغییرات تقاضا در نظر گرفته می‌شود. ۳- اختلال تولید در کارخانه‌های تولیدی مختلف، به صورت مستقل در نظر گرفته می‌شود.

۴- تعداد نوبت‌ها در بازه زمانی باز یابی بوسیله تولید کنندگان تصمیم گیری می‌شود. ۵- فرآیند تقاضا گسسته بوده و به دلیل عدم قطعیت آن به صورت فازی در نظر گرفته شده است.

۶- هیچ گونه ارتباط افقی بین خرده فروشان، توزیع کنندگان و کارخانه‌ها مجاز نیست. ۷- سیاست‌های برنامه واکنشی کاهش اثر اختلال شامل سفارشات معوق، فروش از دست رفته و یا برون سپاری است.

۸- همه خرده فروشان، یکسان و مشابه در نظر گرفته می‌شوند.

۳. مدل ریاضی مسئله

برای فرموله کردن مدل ریاضی مساله پارامترها، متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت‌ها به صورت زیر است:

۳-۱. شناساگرها

g	شاخص کالا؛	$g=1,2,3,\dots,G$	تعداد محصولات	G
i	شاخص کارخانه؛	$i=1,2,3,\dots,I$	تعداد کل کارخانه‌ها	I
j	شاخص عمده فروش؛	$j=1,2,3,\dots,J$	تعداد کل توزیع‌کنندگان	J
k	شاخص خرده فروش؛	$k=1,2,3,\dots,K$	تعداد کل خرده‌فروشان	K

۳-۲. پارامترها

$(CP)_{gi}$	حداکثر ظرفیت تولید محصول g در کارخانه i تحت شرایط ایده آل
$(CD)_{gj}$	حداکثر ظرفیت جابجایی توزیع‌کننده j
D_{gk}	تقاضای محصول g در خرده فروش k
p_{gi}	هزینه تولید هر واحد محصول g در کارخانه i (واحد پول به ازای هر واحد)
H_{1gi}	هزینه انبار هر واحد محصول g در هر بازه در کارخانه i (واحد پول به ازای هر واحد در هر بازه)
H_{2gj}	هزینه جابجایی هر واحد محصول g در توزیع‌کننده j (واحد پول به ازای هر واحد)
H_{3gk}	هزینه انبار هر واحد محصول g در هر بازه در خرده فروش k (واحد پول به ازای هر واحد در هر بازه)
T_{1gij}	هزینه حمل و نقل هر واحد محصول g از کارخانه i به توزیع‌کننده j (واحد پول به ازای هر واحد)
T_{2gjk}	هزینه حمل و نقل هر واحد محصول g از توزیع‌کننده j به خرده فروش k (واحد پول به ازای هر واحد)
OC_j	هزینه‌های جاری توزیع‌کننده j (واحد پول در هر بازه)
SC_{gi}	ظرفیت مازاد محصول g در کارخانه i
t_n	زمان شروع اختلال در n امین کارخانه به صورت کسری از بازه زمانی

T_{dn}	طول زمان اختلال در n آمین کارخانه به صورت کسری از بازه زمانی
L	هزینه سیاست فروش از دست رفته به ازای هر واحد (واحد پول به ازای هر واحد)
B	هزینه سیاست سفارش‌های برگشتی به ازای هر واحد (واحد پول به ازای هر واحد)
	در هر بازه
S	هزینه سیاست برون‌سپاری (واحد پول به ازای هر واحد)
M	تعداد بازه‌های زمانی در پنجره بازیابی
D'_{gkm}	تعداد محصول g دریافتی خرده‌فروش k پس از اختلال در بازه زمانی m

۳-۳. متغیرهای تصمیم

P_{gi}	تعداد تولید محصول g در کارخانه i
X_{gij}	تعداد محصول g ارسال شده از کارخانه i به توزیع‌کننده j
Y_{gjk}	تعداد محصول g ارسال شده از توزیع‌کننده j به خرده‌فروش k
P^{gim}	تعداد تولید محصول g در کارخانه i در بازه زمانی m پس از اختلال
X^{gijm}	تعداد حمل و نقل محصول g از کارخانه i به توزیع‌کننده j پس از اختلال در بازه زمانی m
Y^{gjkkm}	تعداد حمل و نقل محصول g از توزیع‌کننده j به خرده‌فروش k پس از اختلال در بازه زمانی m

۳-۴. تابع هدف و محدودیت‌ها

$$\text{Minimize: } TC = TCF + TCW + TCR \tag{1}$$

$$TC = \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G p_{gi} P_{gi} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G H_{1gi} P_{gi} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G T_{1gij} X_{gij} + \sum_{j=1}^J OC_j + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G H_{2gj} X_{gij} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{g=1}^G T_{2gjk} Y_{gjk} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G H_{3gk} \bar{D}_{gk} \tag{2}$$

$$\text{هزینه کل تولید کارخانه} = \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G p_{gi} P_{gi} \tag{3}$$

$$\text{متوسط هزینه انبارداری کارخانه ها} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G H_{1gi} P_{gi} \quad (۴)$$

$$\text{هزینه کل حمل کالا از کارخانه ها به توزیع کنندگان} = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G T_{1gij} X_{gij} \quad (۵)$$

$$\text{کل هزینه های جاری توزیع کنندگان} = \sum_{j=1}^J OC_j \quad (۶)$$

$$\text{کل هزینه های جابجایی توزیع کنندگان} = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G H_{2gj} X_{gij} \quad (۷)$$

$$\text{هزینه کل حمل کالا از توزیع کنندگان به خرده فروشان} = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{g=1}^G T_{2gjk} Y_{gjk} \quad (۸)$$

$$\text{متوسط هزینه نگهداری خرده فروشان} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G H_{3gk} \bar{D}_{gk} \quad (۹)$$

۳-۵. محدودیت‌ها

$$\bar{P}_{gi} \leq \bar{C} P_{gi} \quad \forall i \quad (۱۰)$$

$$P_{gi} = \sum_{j=1}^J X_{gij} \quad \forall i \quad (۱۱)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{gij} = \sum_{k=1}^K Y_{gjk} \quad \forall j \quad (۱۲)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{gij} \leq \bar{C} \bar{D}_{gj} \quad \forall j \quad (۱۳)$$

$$\sum_{j=1}^J Y_{gjk} = \bar{D}_{gk} \quad \forall k \quad (۱۴)$$

$$\sum_{i=1}^I P_{gi} = \sum_{k=1}^K \bar{D}_{gk} \quad \forall g, i, k \quad (۱۵)$$

$$P_{gi} \cdot X_{gij} \cdot Y_{gjk} \geq 0 \quad \forall g, i, j, k \quad (۱۶)$$

محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که تعداد تولید محصول g در هر کارخانه کوچکتر یا مساوی حداکثر ظرفیت تولید محصول g در آن کارخانه می‌باشد. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند تعداد تولید محصول g در هر کارخانه مساوی مجموع تعداد کالاهای g حمل شده از کارخانه به توزیع کنندگان به اضافه تعداد موجودی احتیاطی می‌باشد. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند مجموع تعداد کالاهای g حمل شده از کارخانه‌ها به توزیع کنندگان برابر مجموع تعداد کالاهای g حمل شده از توزیع کنندگان به خرده‌فروشان می‌باشد. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند مجموع تعداد کالاهای g حمل شده از کارخانه‌ها به توزیع کنندگان کوچکتر یا مساوی حداکثر ظرفیت تعداد کالای g قابل حمل از کارخانه‌ها

به توزیع کنندگان می‌باشد. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند مجموع تعداد کالاها g حمل شده از توزیع کنندگان به خرده‌فروش k برابر تقاضای کالاها g خرده‌فروش k می‌باشد. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند مجموع تعداد کالای g تولیدشده برابر تقاضای خرده‌فروشان است. محدودیت (۱۶) تعداد تولید محصول g در هر کارخانه، تعداد کالاها g حمل شده از کارخانه‌ها به توزیع کنندگان، تعداد کالاها g حمل شده از توزیع کنندگان به خرده‌فروشان و تعداد موجودی احتیاطی همگی اعداد صحیح و بزرگتر یا مساوی صفر می‌باشند. امکان موجه بودن محدودیت‌ها (α) ۹۰ درصد در نظر گرفته شده است.

۴. مدل ریاضی مساله با در نظر گرفتن کاهش اثر اختلال

در این بخش، مدل ریاضی برای بازنگری برنامه تولید و توزیع برای یک بازه زمانی برنامه‌ریزی محدود پس از وقوع اختلال در تولید، با هدف حداقل کردن هزینه کل زنجیره تأمین توسعه داده می‌شود. استراتژی‌های بازیابی شامل فروش به تعویق افتاده، فروش از دست‌رفته و برون‌سپاری می‌باشند؛ از معادلات دیگری برای تعیین هزینه‌های هر یک از این سیاست‌ها استفاده می‌شود.

اگر یک وقفه در n امین کارخانه برای مدت زمان T_{dn} و زمان آغاز t_n داشته باشیم، تعداد تولید از دست‌رفته بعد از یک وقفه به وسیله فرمول (۱۷) محاسبه می‌شود:

$$\text{If: } \frac{P_n}{CP_n} > t_n + T_{dn}$$

$$D' = CP_n \times T_{dn} - \min \left\{ \sum_{g=1}^g \sum_{i=1}^I SC_{gi} \cdot \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I CP_{gi} \times (1 - t_n - T_{dn}) \right\} \quad (17)$$

$$\text{If: } \frac{P_n}{CP_n} < t_n + T_{dn}$$

$$D' = CP_n \times \left(\frac{P_n}{CP_n} - t_n \right) - \min \left\{ \sum_{g=1}^g \sum_{i=1}^I SC_{gi} \cdot \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I CP_{gi} \times (1 - t_n - T_{dn}) \right\}$$

اگر نیاز باشد که این مقدار تولید از دست‌رفته در پنجره بازیابی تأمین شود، از سیاست‌های فروش به تعویق افتاده، فروش از دست‌رفته و برون‌سپاری استفاده می‌کنیم.

هزینه کل زنجیره تأمین در طول این زمان کمینه می‌گردد.

$$\text{هزینه تولید کارخانه} = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G p_{gi} P_{gim} \quad (18)$$

$$\text{متوسط هزینه انبارداری کارخانه ها} = \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \frac{1}{2} H_{1i} P'_{gim} \quad (19)$$

$$\text{هزینه کل حمل کالا کارخانه ها به توزیع کنندگان} = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G T_{1ij} X'_{gijm} \quad (20)$$

$$\text{کل هزینه های جاری توزیع کنندگان} = M \times \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G OC_j Y_{gjk} \quad (21)$$

$$\text{کل هزینه های جابجایی توزیع کنندگان} = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G H_{2j} X'_{gijm} \quad (22)$$

$$\text{هزینه کل حمل کالا از توزیع کنندگان به خرده فروشان} = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \sum_{g=1}^G T_{2jk} Y'_{gjk} \quad (23)$$

$$\text{متوسط هزینه انبارداری خرده فروشان} = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G \frac{1}{2} H_{3k} D'_{gkm} \quad (24)$$

$$\text{هزینه فروش به تعویق افتاده} = B \times \left[\sum_{m=1}^M m \left(\sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G P'_{gim} - \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G P_{gi} \right) \right] \quad (25)$$

$$\text{هزینه برونسپاری} = S \times \left[M \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G P_{gi} + D' - \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G P'_{gim} \right] \quad (26)$$

$$\text{هزینه فروش از دست رفته} = L \times \left[M \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G P_{gi} + D' - \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G P'_{gim} \right] \quad (27)$$

اگر $S \leq L$ هزینه فروش از دست رفته صفر می‌شود، در غیر این صورت هزینه برونسپاری صفر است.

هزینه کل زنجیره تأمین که تابع هدف ما می‌باشد، از تجميع معادلات فوق به دست می‌آید که در واقع به صورت هزینه کل کارخانه‌ها + هزینه کل توزیع کنندگان + هزینه کل خرده‌فروشان + هزینه فروش به تعویق افتاده + هزینه برونسپاری + هزینه فروش از دست رفته می‌باشد.

محدودیت‌ها:

$$P'_{gim} \leq CP_{gi}; \forall i. m. g \quad (28)$$

$$P'_{gim} = \sum_{j=1}^J X'_{gijm}; \forall i. m. g \quad (29)$$

$$\sum_{i=1}^I X'_{gijm} = \sum_{k=1}^K Y'_{jkm}; \forall j. m. g \quad (30)$$

$$\sum_{i=1}^I X'_{gijm} \leq CD_{gjm}; \forall g. j. m \quad (31)$$

$$\sum_{j=1}^J Y'_{jkm} = D'_{gkm}; \forall k. m. g \quad (32)$$

$$M \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G P_{gi} + D'_{gkm} \geq \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I \sum_{g=1}^G P'_{gim} \quad (33)$$

$$P'_{gim}. X'_{gijm}. Y'_{jkm}. SS'_{gim} \geq 0. \in Z; \forall i. j. k. m. g \quad (34)$$

محدودیت (۲۸) تضمین می‌کند که تعداد تولید محصول g پس از اختلال در هر کارخانه i در بازه زمانی m کوچکتر یا مساوی حداکثر ظرفیت تولید می‌باشد. محدودیت (۲۹) تضمین می‌کند که تعداد تولید محصول g پس از اختلال در هر کارخانه i در بازه زمانی m مساوی مجموع تعداد کالاهای حمل شده از کارخانه‌ها به توزیع‌کنندگان به اضافه تعداد موجودی احتیاطی می‌باشد. محدودیت (۳۰) تضمین می‌کند که مجموع تعداد محصول g حمل شده از کارخانه‌ها به توزیع‌کنندگان در بازه زمانی m پس از اختلال برابر مجموع تعداد محصول g حمل شده از توزیع‌کنندگان به خرده‌فروشان در بازه زمانی m پس از اختلال می‌باشد. محدودیت (۳۱) تضمین می‌کند که مجموع تعداد محصول g حمل شده از کارخانه‌ها به توزیع‌کنندگان در بازه زمانی m پس از اختلال کوچکتر یا مساوی حداکثر ظرفیت تعداد محصول g حمل شده از کارخانه‌ها به توزیع‌کنندگان در بازه زمانی m پس از اختلال برابر تقاضای خرده‌فروش k می‌باشد. محدودیت (۳۲) تضمین می‌کند که مجموع تعداد کالاهای حمل شده از توزیع‌کنندگان به خرده‌فروش k در بازه زمانی m پس از اختلال برابر تقاضای خرده‌فروش k می‌باشد. محدودیت (۳۳) تضمین می‌کند که مجموع تعداد محصول g حمل شده از توزیع‌کنندگان به خرده‌فروشان در بازه زمانی m پس از اختلال برابر تقاضای خرده‌فروشان است.

محدودیت (۳۴) تضمین می‌کند که تعداد تولید محصول g هر کارخانه در بازه زمانی m پس از اختلال، تعداد کالاهای حمل شده از کارخانه‌ها به توزیع کنندگان در بازه زمانی m پس از اختلال، تعداد کالاهای حمل شده از توزیع کنندگان به خرده‌فروشان در بازه زمانی m پس از اختلال همگی اعداد صحیح و بزرگتر یا مساوی صفر می‌باشند.

اگر P_{gi} ، CP_{gi} ، CD_j و D_{gk} مشخص باشند و n اُمین کارخانه مختل شده باشد؛ اگر $B \ll L, S$ و اگر $D' \leq M \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I SC_{gi}$ برنامه بازیابی فقط از گزینه فروش به تعویق افتاده استفاده خواهد کرد و اگر $D' > M \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I SC_{gi}$ برنامه بازیابی از گزینه‌های فروش از دست‌رفته یا برون‌سپاری استفاده خواهد کرد.

فرض کنیم یک وقفه تولید در n اُمین کارخانه برای مدت زمان T_{dn} و زمان آغاز tn داشته باشیم.

برای یک اختلال، اگر ظرفیت اضافی بزرگتر یا مساوی با تقاضایی باشد که در زمان پنجره بازیابی تأمین می‌شود، هنگامی که سیستم تولیدی قادر به تولید و برآورده کردن آن تقاضا باشد، برنامه اصلاحی تنها گزینه‌ی فروش به تعویق افتاده را به کار می‌برد:

$$M \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I P_{gi} + D' = \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I P'_{gim} \quad (35)$$

$$D' = \sum_{g=1}^G \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I P'_{gim} - M \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I P_{gi} \quad (36)$$

$$D' \leq M \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I CP_{gi} - M \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I P_{gi} \quad (37)$$

$$D' \leq M \left(\sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I CP_{gi} - \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I P_{gi} \right) \quad (38)$$

$$D' \leq M \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I SC_{gi} \quad (39)$$

می‌توان گفت اگر $D' \leq M \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I SC_{gi}$ باشد، سیستم تنها گزینه‌ی فروش به تعویق افتاده را به کار خواهد برد و اگر $D' > M \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^I SC_{gi}$ باشد برنامه اصلاحی از گزینه‌های فروش از دست‌رفته یا برون‌سپاری استفاده خواهد کرد.

۵. روش حل مساله

در این بخش به ارائه رویکرد مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری به منظور حل مساله در حالت ایده‌آل پرداخته می‌شود. سپس به کمک ترکیب الگوریتم فراابتکاری با یک روش ابتکاری کارآمد، مساله مدیریت یک اختلال در سیستم توسعه داده شده و سپس برای تعداد بیشتری اختلال در سیستم واقعی بسط داده خواهد شد. تمامی مثال‌ها در سیستم شخصی با قدرت پردازندگی ۳٫۲GHz، حافظه تصادفی در دسترس ۴GB به کمک سیستم عامل ویندوز ۱۰ حل شده‌اند. جهت حل مساله برنامه تولید و توزیع ایده‌آل از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک استفاده می‌شود و سپس جهت برنامه‌های کاهش اثر اختلال مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در این تحقیق از روش رتبه‌بندی ارائه شده توسط خیمنز^۱ جهت دیفازی کردن استفاده شده است.

۵-۱. روشی ابتکاری برای مدیریت یک اختلال

روشی ابتکاری به منظور دستیابی به برنامه اصلاحی پس از وقوع یک اختلال در هر کارخانه، ارائه می‌شود. مطابق این روش در ابتدا هر دو سیستم ایده‌آل و مختل شده به کمک الگوریتم پیشنهادی حل شده و سپس مطابق با گام‌های موجود در روش ابتکاری، به صورتی موثر مدل مدیریت اختلال حل خواهد شد. رویه الگوریتم ابتکاری پیشنهادی به شرح زیر است:

گام ۱- تمام اطلاعات در مورد تولید و توزیع را تحت شرایط ایده‌آل به عنوان ورودی قرار دهید.

گام ۲- یک برنامه ایده‌آل تولید و توزیع ایده‌آل را به وسیله حل الگوریتم پیشنهادی برای شرایط ایده‌آل به دست آورید و همچنین در هر کارخانه ظرفیت مازاد را محاسبه کنید.

گام ۳- یک سناریوی اختلال تولید شامل کارخانه مختل شده، زمان شروع اختلال (tn) و مدت زمان اختلال (T_{dn}) ایجاد کنید.

گام ۴- برنامه تولید را محاسبه کنید.

۴-۱ اگر $B \leq L, S$:

1. Jimenez, Arenas, et al. (2007 - (Jimenez (1996).

۴-۱-۱ اگر $D' \leq M \sum_{i=1}^L SC_i$ باشد، از ظرفیت مازاد برای اصلاح برنامه استفاده کنید تا زمانی که تقاضای پاسخ داده نشده، برآورده شود.

۴-۱-۲ اگر $D' > M \sum_{i=1}^L SC_i$ باشد، از هر دو گزینه ی ظرفیت مازاد و فروش از دست رفته/برون‌سپاری استفاده کنید:

۴-۱-۲-۱ اگر $L \geq S$ از گزینه ی برون‌سپاری استفاده کنید.

۴-۱-۲-۲ اگر $L < S$ از گزینه ی فروش از دست رفته استفاده کنید.

۴-۲ اگر $B > L, S$:

۴-۲-۱ اگر $L \geq S$ از گزینه ی برون‌سپاری برای اصلاح برنامه استفاده کنید.

۴-۲-۲ اگر $L < S$ از گزینه ی فروش از دست رفته برای اصلاح برنامه استفاده کنید.

گام ۵- برنامه توزیع را محاسبه کنید.

۵-۱ اگر $D' \leq M \sum_{i=1}^L SC_i$ باشد، برنامه توزیع را تنها با تغییر اندازه حمل و نقل محاسبه کنید در حالی که از همان مسیر برنامه ایده آل استفاده می کنید.

۵-۲ اگر $D' > M \sum_{i=1}^L SC_i$ باشد، برنامه توزیع را تنها با تغییر اندازه حمل و نقل محاسبه کنید در حالی که از همان مسیری که $D' > M \sum_{i=1}^L SC_i$ در الگوریتم پیشنهادی به دست آمده، استفاده می کنید.

گام ۶- نتایج را ثبت کرده و هزینه‌های مختلف را محاسبه کنید.

گام ۷- توقف.

۲-۵. روش ابتکاری پیشنهادی برای حالت چند اختلالی

در این بخش روشی ابتکاری که در ابتدا برای مدیریت حالت تک اختلالی توسعه داده شده بود برای مدیریت حالت چنداختلالی واقعی گسترش داده می‌شود. زمانی که یک اختلال رخ می‌دهد، برنامه اصلاحی چنداختلالی با حل الگوریتم پیشنهادی با استفاده از برنامه اصلاحی پیشنهادی در حالت تک اختلالی ایجاد می‌شود. سپس، اگر اختلال دیگری رخ دهد برنامه باید مجدداً اصلاح شود تا تاثیر هر دو اختلال محاسبه گردد. این امر می‌تواند به سادگی با به‌روزرسانی برخی از پارامترها در همان الگوریتم پیشنهادی انجام شود تا سناریوی تغییر یافته را بیان کند؛ برای مثال پارامترهای کارخانه تازه اختلال پیدا کرده، زمان شروع اختلال، مدت زمان اختلال، تعداد محصول تولیدشده قبل از شروع برنامه اصلاحی و تقاضایی که باید در

برنامه اصلاحی پاسخ داده شود. تابع هدف و محدودیت‌ها نیز برای شرایط تغییر یافته، به روز می‌شوند. بنابراین روش ابتکاری مورد استفاده در حالت تک‌اختلالی هم چنان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد اما باید برای شرایط تغییر یافته اندکی اصلاح شود تا بتواند در واقعیت بر چنداختلال غلبه نماید. در راه حل پیشنهادی، روش ابتکاری هر بار که اختلالی رخ دهد باید اجرا شود تا برنامه اصلاحی را مجدداً بهینه سازد. برای یک سری از اختلالات، تعداد تولید از دست‌رفته بعد از S آمین وقفه بوسیله فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{If: } \frac{P_n}{CP_n} > t_n + T_{dn} \quad (40)$$

$$D' = D'_{s-1} - \left(\sum_{m=1}^l \sum_{i=1}^l P'_{im} - l \sum_{i=1}^l P_i \right) + CP_n \times T_{dn} - \min \left\{ \sum_{i=1}^l SC_i, \sum_{i=1}^l CP_i \times (1 - t_n - T_{dn}) \right\}$$

$$\text{If: } \frac{P_n}{CP_n} < t_n + T_{dn} \quad (41)$$

$$D' = D'_{s-1} - \left(\sum_{m=1}^l \sum_{i=1}^l P'_{im} - l \sum_{i=1}^l P_i \right) + CP_n \times \left(\frac{P_n}{CP_n} - t_n \right) - \min \left\{ \sum_{i=1}^l SC_i, \sum_{i=1}^l CP_i \times (1 - t_n - T_{dn}) \right\}$$

در اینجا 1 بازه زمانی اختلال جدید از زمان اختلال قبلی است. گام‌های اصلی در روش ابتکاری پیشنهادی برای یک سری اختلال در شرایط واقعی به شرح زیر است:

- گام ۱- تمام اطلاعات تولید و توزیع را تحت شرایط ایده آل به عنوان ورودی قرار دهید.
- گام ۲- برنامه بهینه را تحت شرایط ایده آل محاسبه کنید.
- گام ۳- سناریوی اختلال را ایجاد کنید. (کارخانه مختل شده، بازه زمان اختلال از اختلال قبلی، زمان شروع اختلال (t_n) و مدت زمان اختلال (T_{dn})).
- گام ۴- تعداد تولید از دست‌رفته را با استفاده از معادلات فوق به روز کنید.
- گام ۵- برنامه تولید را برای اختلال مشابه با استفاده از روش ابتکاری پیشنهادی توسعه یافته اصلاح کنید.
- گام ۶- برنامه تولید و توزیع بهینه را از گام پنج به بعد از وقوع اختلال به روز و ثبت نمایید.
- گام ۷- اگر اختلال دیگری وجود دارد به گام سه بازگردید.
- گام ۸- توق

۵-۳. مثال عددی

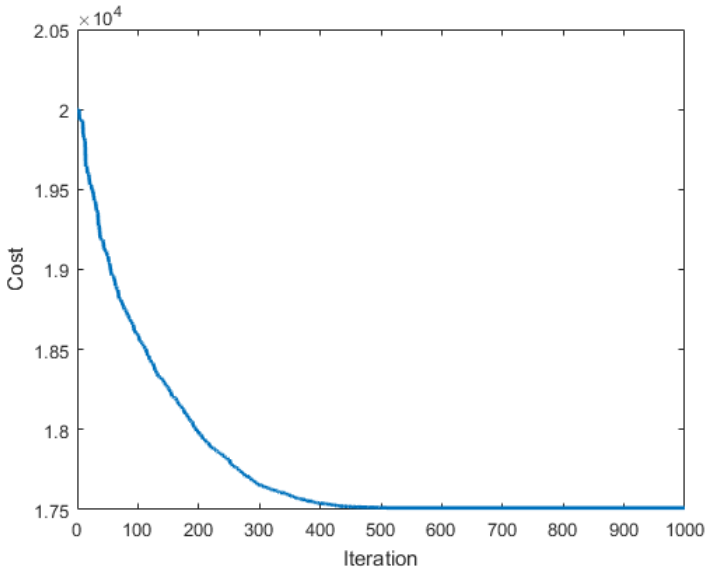
در این قسمت مثالی متناسب با شرایط دنیای واقعی طراحی و نتایج تشریح می‌گردد. به منظور ایجاد سطح اطمینان بالاتر در تولید پارامترهای مثال ارائه شده، سعی شده تا جای ممکن از اطلاعات موجود در مقاله پایه تحقیق^۱ در این مرحله استفاده شود. در این مثال دو شرکت تولیدکننده قطعه یدکی در نظر گرفته شده است. این شرکت‌ها در قالب یک زنجیره تأمین با سه توزیع‌کننده عمده برای تأمین شش خرده‌فروش فعالیت می‌کنند. در هر کارخانه نیز دو محصول تولید می‌شود. حداکثر ظرفیت تولید کارخانه اول برای محصول اول ۲۵۰ و برای محصول دوم ۴۰۰ و حداکثر ظرفیت تولید کارخانه دوم برای محصول اول ۳۰۰ و برای محصول دوم ۵۰۰ می‌باشد. حداکثر ظرفیت جابجایی توزیع‌کننده اول برای محصول اول ۳۰۰ و برای محصول دوم ۲۵۰، توزیع‌کننده دوم برای محصول اول ۲۵۰ و برای محصول دوم ۳۰۰ و توزیع‌کننده سوم برای محصول اول ۳۰۰ و برای محصول دوم ۳۰۰ است. سایر داده‌ها به صورت زیر می‌باشند.

$$\bar{D}_{g1} = [20.10] \quad \bar{D}_{g2} = [10.50] \quad \bar{D}_{g3} = [10.50] \quad \bar{D}_{g4} = [20.50] \quad \bar{D}_{g5} = [20.60] \quad \bar{D}_{g6} = [20.40]$$

در کارخانه اول هزینه تولید محصول اول ۱۰ و هزینه تولید محصول دوم ۲۰ است. در کارخانه دوم نیز هزینه‌های تولید به همین صورت در نظر گرفته می‌شود. در کارخانه اول هزینه انبارداری محصول اول ۱۰ و هزینه انبارداری محصول دوم ۲۰ است. در کارخانه دوم نیز هزینه‌های انبارداری به همین صورت در نظر گرفته می‌شود. هزینه جابجایی مواد در توزیع‌کنندگان برای تمام محصول ۱۰ واحد هزینه‌ای در نظر گرفته می‌شود. هزینه انبار هر واحد محصول در هر بازه در هر خرده‌فروش (واحد پول به ازای هر واحد در هر بازه) برابر با ۳۰ است. هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از کارخانه به توزیع‌کننده (واحد پول به ازای هر واحد) به طور تصادفی در بازه [۱۰۵۰] و هزینه حمل و نقل هر واحد محصول از توزیع‌کننده به خرده‌فروش (واحد پول به ازای هر واحد) به طور تصادفی در بازه [۲۰۶۰] قرار دارد. هزینه جاری توزیع‌کننده یک برابر با ۱۰۰، توزیع‌کننده دو برابر با ۲۰۰ و توزیع‌کننده سه برابر با ۲۵۰ است. ظرفیت مازاد محصول یک در کارخانه اول و دوم برابر با ۴۰ و محصول

1. Paul, Sarker and Essam (2017)

دوم در کارخانه‌های ۱ و ۲ برابر با ۶۰ است. سایر پارامترها نیز در بازه‌های موجه تولید شده است. پس از حل مساله به کمک الگوریتم ارائه شده، مقدار متغیرهای مساله به صورت جداول (۲) و (۳) است. همانطور که مشاهده می‌شود تمام تقاضاها برآورده شده و هیچ کمبودی در سیستم مشاهده نمی‌شود. نکته قابل توجه در حل مساله، در نمودار (۱) همگرایی الگوریتم است که به طور مناسب از مقدار اولیه به مقدار نهایی (نزدیک به بهینه) همگرا شده است.



نمودار ۱- نمودار هزینه - تکرار

مشاهده می‌شود که پس از گذشت ۵۰۰ تکرار با اندازه جمعیت برابر با ۱۰۰ و احتمال همگرایی ۸۰ درصد و احتمال جهش ۱۰ درصد، دیگر بهبودی در الگوریتم ایجاد نشده است. این موضوع نشان از یافتن پاسخ نهایی توسط الگوریتم دارد. مقدار تابع هدف نهایی مساله برابر با ۱۷۵۱۰ است.

در ادامه به منظور بررسی سطح کارایی راه حل ابتکاری تحقیق در حصول نتایج در شرایط دنیای واقعی، اطلاعات موجود در مورد زنجیره تأمین قطعات خودرو تشریح می‌گردد. در این مثال از اطلاعات پنج قطعه محصول دو شرکت فعال در صنعت استفاده شده است.

جدول ۲- اطلاعات حل مساله مربوط به محصول اول

محصول اول												
برنامه توزیع										برنامه تولید		
خرده فروش						توزیع کننده						
۶	۵	۴	۳	۲	۱	توزیع کننده				کارخانه ۲	کارخانه ۱	
-	۲۰	۱۱	۱۹	۱۲	۲۱	۱	-	۴۲	۵۳	۱	۱۴۵	۹۵
۱۴	-	۲۲	-	۱۸	۱۶	۲	۸۷	۲۸	۳۰	۲		
۲۱	۳۳	۹	۲۴	-	-	۳	-	-	-	-		

جدول ۳- اطلاعات حل مساله مربوط به محصول دوم

محصول دوم												
برنامه توزیع										برنامه تولید		
خرده فروش						توزیع کننده						
۶	۵	۴	۳	۲	۱	توزیع کننده				کارخانه ۲	کارخانه ۱	
۲۱	۲۸	۱۷	-	۲۰	-	۱	۱۲۱	-	۸۶	۱	۱۷۴	۲۰۷
-	-	-	-	-	-	۲	-	۱۷۴	-	۲		
۲۲	۲۸	۱۱	۱۰	۲۴	۲۶	۳	-	-	-	-		

جدول ۴- جمع بندی مطالعات اخیر

ردیف	شرح کالا	قیمت فروش (ریال)	ردیف	شرح کالا	قیمت فروش (ریال)
۱	سیبک زیراکسل پژو ۴۰۵	۱۴۹۰۰۰		طبق چپ پژو ۲۰۶	۹۵۵۰۰۰
۲	سیبک فرمان چپ پژو ۴۰۵	۱۸۲۰۰۰		طبق راست پژو ۲۰۶	۹۵۵۰۰۰
۳	سیبک فرمان راست پژو ۴۰۵	۱۸۲۰۰۰			

همانطور که مشاهده می‌شود، تمام اطلاعات مربوط به قطعات خودروهای پژو ۲۰۶ و ۴۰۵ است. با توجه به اینکه تمام اطلاعات مورد نیاز برای حل مساله در اختیار نیست، بنابراین سایر پارامترهای مساله به صورت فرضی تولید می‌شود. جدول (۴) مقادیر پارامترهای مساله را نشان می‌دهد.

جدول ۵- پارامترهای مساله

پارامتر	بازه تولید شده	پارامتر	بازه تولید شده
$\overline{C}_{p_{gi}}$	[1000.2000]	OC_j	[500.1000]
$\overline{C}_{D_{gj}}$	[3000.5000]	SC_{gi}	[5000.10000]
\overline{D}_{gk}	[1000.2000]	t_n	[0.1]
H_{1gi}	[500.800]	T_{dn}	[0.1]
H_{2gj}	[200.500]	L	[500.800]
H_{3gk}	[150.300]	B	[500.800]
T_{1gij}	[80.110]	S	[500.800]
T_{2gjk}	[50.120]	M	[2.5]

به منظور نشان دادن سطح اختلالات می‌توان جدول (۵) را در نظر گرفت.

جدول ۶- اطلاعات اختلالات

شماره اختلال	کارخانه مختل شده	بازه زمانی مختل شده از اختلال قبلی	زمان شروع اختلال	طول مدت اختلال
۱	۱	-	۰/۰۲	۰/۲۰
۲	۲	۱	۰/۲۱	۰/۰۹
۳	۲	۱	۰/۳۱	۰/۱۰
۴	۱	۲	۰/۴۲	۰/۱۶
۵	۲	۳	۰/۵۸	۰/۱۰
۶	۱	۲	۰/۶۸	۰/۰۵
۷	۱	۲	۰/۷۴	۰/۰۵
۸	۱	۱	۰/۸	۰/۰۸
۹	۲	۴	۰/۹	۰/۰۲
۱۰	۱	۵	۰/۹۳	۰/۰۵

پس از حل مساله به کمک الگوریتم پیشنهادی، نتایج به صورت جدول (۷) می باشد که شامل هزینه کل، هزینه سفارشات معوق، هزینه فروش از دست رفته و هزینه برون سپاری می شود.

جدول ۷- مقایسه هزینه ها در صورت بروز اختلالات مختلف

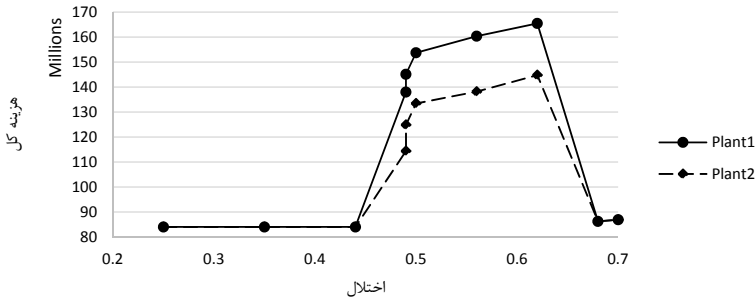
براساس نتایج روش ابتکاری

شماره اختلال	هزینه کل (تومان)	هزینه سفارشات معوق (تومان)	هزینه فروش از دست رفته (تومان)	هزینه برون سپاری
۱	۱	-	۰/۰۲	۰/۲۰
۲	۲	۱	۰/۲۱	۰/۰۹
۳	۲	۱	۰/۳۱	۰/۱۰
۴	۱	۲	۰/۴۲	۰/۱۶
۵	۲	۳	۰/۵۸	۰/۱۰
۶	۱	۲	۰/۶۸	۰/۰۵
۷	۱	۲	۰/۷۴	۰/۰۵
۸	۱	۱	۰/۸	۰/۰۸
۹	۲	۴	۰/۹	۰/۰۲
۱۰	۱	۵	۰/۹۳	۰/۰۵

۶. تحلیل نتایج حل مدل

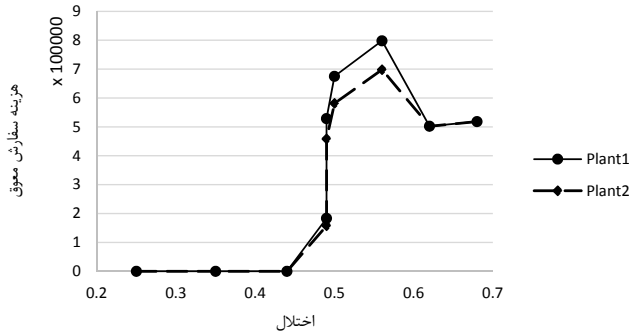
همانطور که مشاهده می شود، تعداد ۱۰ اختلال در زمان های مختلف در دو کارخانه مورد نظر در نظر گرفته شده است. هر کدام از این اختلال ها باعث ایجاد مشکل در هریک از کارخانه های تولید کننده می شود. پس از حل مساله به کمک الگوریتم پیشنهادی، مشاهده می شود که تا زمان اختلال شماره (۷) همچنان هزینه فروش از دست رفته غیر صفر است. در حقیقت وجود اختلال باعث بروز مشکل در خط تولید شده و برخی از تولیدات به صورت سفارش معوق، برون سپاری و یا فروش از دست رفته ظاهر می شود. اما در هفتمین اختلال، دیگری اثری از فروش از دست رفته نیست و تنها هزینه های سفارش معوق و برون سپاری وجود دارد. به عبارتی دیگر سیستم تولید قادر به پاسخگویی به تمام درخواست ها می شود اما برخی از آن ها را به صورت سفارشات معوق و برخی را برون سپاری لحاظ می کند. در اختلال های شماره ۸

تا ۱۰ دیگر تمام سفارشات معوق، فروش از دست رفته و هزینه برون‌سپاری صفر شده و تنها هزینه تولید محصول وجود خواهد داشت. در حقیقت الگوریتم قادر است که رفته رفته اثر اختلال‌ها را خنثی کرده و باعث می‌شود سطح هزینه‌های سیستم کاهش یابد.



نمودار ۲- مقایسه هزینه کل دو کارخانه در اختلال‌های مختلف

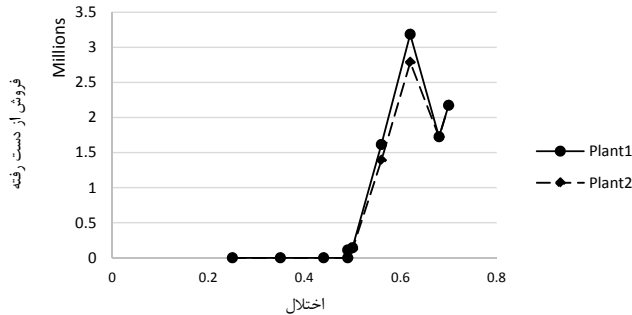
نمودار (۲) روند هزینه کل سیستم به ازای مقادیر مختلف اختلال را نشان می‌دهد. طبق نمودار مشاهده می‌شود که در ابتدا هزینه‌های سیستم در دو طرح یکی است. اما رفته رفته با افزایش سطح اختلال، هزینه‌های سیستم در کارخانه ۱ بیشتر از کارخانه ۲ است. اما در اختلال‌های آخر نیز مجدد هزینه‌ها برابر می‌شود.



نمودار ۳- مقایسه هزینه سفارش معوق دو کارخانه در اختلال‌های مختلف

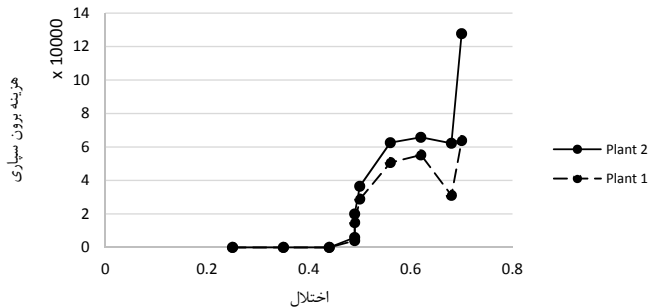
می‌توان هزینه‌های فروش به تعویق افتاده به ازای مقادیر مختلف اختلال را نیز در نمودار (۳) مشاهده نمود. نکته مهم در این نمودار، نزدیک بودن سطح هزینه‌های سفارش معوق در دو کارخانه است. این موضوع تنها در اختلال‌های ۰/۵ و ۰/۵۶ کمی بیشتر شده، اما در

سایر سطح همچنان دارای فاصله کمی با یکدیگر هستند. این موضوع نشان از سطح کارایی الگوریتم در ایجاد تعادل در کنترل هزینه‌های سفارشات معوق در دو کارخانه دارد.



نمودار ۴- مقایسه هزینه فروش از دست رفته در دو کارخانه در اختلال‌های مختلف

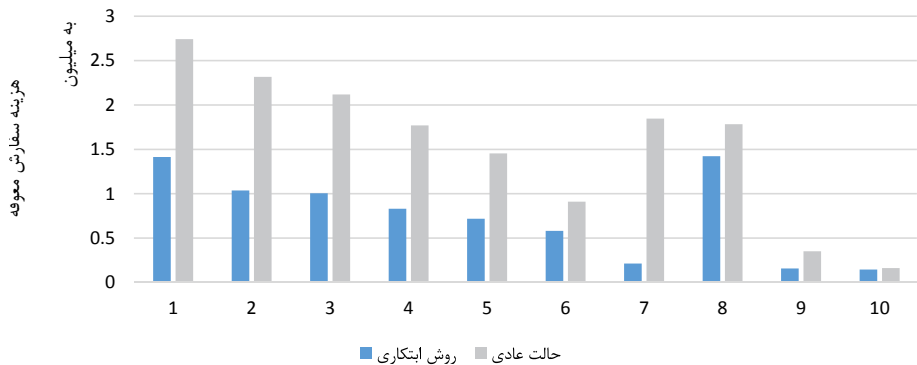
در نمودار (۴)، هزینه‌های فروش از دست‌رفته در سطوح مختلف اختلال نشان داده شده‌است. در این نمودار نیز مطابق با نمودار قبل، سطح هزینه‌های فروش از دست‌رفته در دو کارخانه بسیار به یکدیگر نزدیک است و بیان‌گر وجود کارایی مناسب در کنترل سطح هزینه‌های در سطوح اختلال مختلف است.



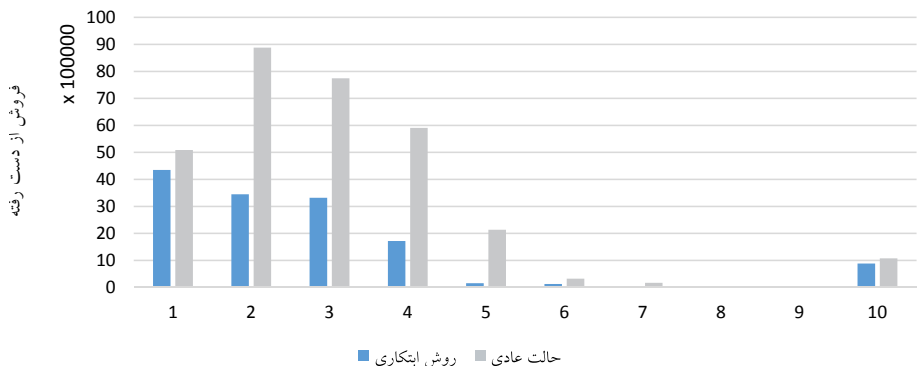
نمودار ۵- مقایسه هزینه برون‌سپاری دو کارخانه در اختلال‌های مختلف

در نمودار (۵)، هزینه‌های برون‌سپاری در سطوح مختلف اختلال نشان داده می‌شود. در این نمودار نیز مطابق با نمودار قبل، سطح هزینه‌های برون‌سپاری در دو کارخانه بسیار به یکدیگر نزدیک است و بیان‌گر وجود کارایی مناسب در کنترل سطح هزینه‌های در سطوح اختلال مختلف است. البته در سطوح اختلال که در زمان‌های طولانی‌تر شروع می‌شود،

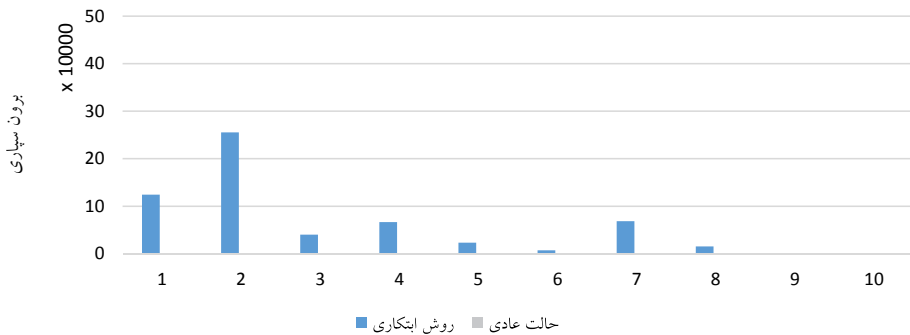
هزینه‌های برون‌سپاری در دو کارخانه از یکدیگر فاصله می‌گیرد. به منظور نشان دادن اثر کاربرد روش ارائه شده جهت کاهش اثر اختلالات، مساله را در دو حالت وجود و عدم وجود روش ابتکاری حل کرده و سطح هزینه‌ها را مقایسه شده است. در واقع می‌توان این گونه نشان داد که در صورت وقوع اختلال در سیستم، پیش‌بینی آن و تلاش در جهت برخورد با آن تا چه حد می‌تواند باعث ایجاد سهولت در کاهش هزینه‌های سیستم گردد. نمودارهای (۶) الی (۸) تشکیل می‌شود.



نمودار ۶- مقایسه هزینه‌های سفارشات معوق در هر دو صورت استفاده و عدم استفاده از روش پیشنهادی تحقیق



نمودار ۷- مقایسه هزینه‌های فروش از دست رفته در هر دو صورت استفاده و عدم استفاده از روش پیشنهادی تحقیق



نمودار ۸- مقایسه هزینه‌های برون سپاری در هر دو صورت استفاده و عدم استفاده از روش پیشنهادی تحقیق

همانطور که مشاهده می‌شود، در صورت عدم استفاده از روش ابتکاری به منظور کنترل اختلال‌ها، تمامی هزینه‌های سیستم افزایش می‌یابد. این افزایش کاملاً قابل پیش‌بینی بوده؛ چرا که همواره وجود هر اختلال باعث می‌شود بخشی از عملکرد سیستم در تأمین تقاضا از بین رفته و مجبور به انجام اقداماتی چون برون‌سپاری، سفارشات معوقه و یا غیره گردد. در حقیقت در نبود روش ابتکاری، همواره میزان این متغیرها افزایش می‌یابد که نشان از افزایش سطح کل هزینه‌های سیستم دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

گردش مالی صنعت خودرو کشور در سال ۱۳۹۵ معادل ۲۵ میلیارد دلار بود که شامل ۱۶ میلیارد دلار تولید داخل و سه میلیارد دلار واردات خودرو و قطعات مربوط به آن و شش میلیارد دلار قطعات یدکی برای خدمات پس از فروش می‌شد. حجم سالانه شش میلیارد دلاری قطعات یدکی جایگاه این بخش از صنعت را به خوبی نمایان می‌سازد. شرکت‌های فعال در این صنعت در شرایط رقابتی موجود باید ضرورت تولید محصول براساس تقاضای واقعی مشتریان را درک نمایند. پیشرفت‌های تکنولوژی، شرایط متغیر بازارها و رقابت رقبای نظر خریداران را به سرعت تغییر قرار داده و نیاز به اقدامات عقلانی در جهت بهبود موقعیت

محصول بیش از پیش احساس می‌گردد. چرا که، مشتریان غالباً به سوی محصولاتی گرایش دارند که ارزش بیشتری را با قیمت کمتری برای آنها فراهم سازد. هر رقیبی که بتواند ارزش بیشتری را با قیمت کمتری برای مشتریان فراهم سازد، می‌تواند سهم بیشتری از بازار را به خود اختصاص دهد. از این رو لازم است که هر یک از اعضا با کمینه کردن هزینه‌ها به مدل‌ها و الگوهای به‌روز روی آورند چراکه امروزه با پیچیدگی روزافزون محصولات تولیدی و فروش آنها در سطح بسیار گسترده، نمی‌توان از الگوهای سنتی پیروی نمود. آنچه در این تحقیق بدان پرداخته‌شد ارائه روش ابتکاری جهت حل مدل کمینه‌کردن هزینه‌های کل زنجیره‌تأمین موردنظر می‌باشد که شبکه زنجیره‌تأمین سه‌سطحی این پژوهش شامل سه کارخانه تولیدی، چهار توزیع‌کننده و پنج خرده‌فروش که محصولات استراتژیک در زمینه قطعات یدکی جلوبندی خودرو را تأمین می‌کنند. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن زنجیره به صورت یک کل واحد و نیز کمینه‌نمودن هزینه‌های زنجیره، سود زنجیره افزایش می‌یابد و بقای زنجیره تضمین می‌گردد. پیشنهاد می‌شود که از مدل بیان شده در این تحقیق برای بهینه‌ساختن هزینه‌های زنجیره‌تأمین در بخش‌های مختلف صنعت استفاده گردد. به خصوص پرداختن به محصولات قطعات یدکی خودرو در این تحقیق بهره‌گیری از مدل را برای تصمیم‌گیرندگان کلان زنجیره‌های تأمین قطعات یدکی خودرو و همچنین کارشناسان بخش‌های برنامه‌ریزی تولید کارخانجات تولید قطعات خودرو ملموس‌تر نموده است. هرچند کاربرد مدل تنها به این حوزه از صنعت محدود نبوده و برای کلیه زنجیره‌های تأمین سه‌سطحی با اعمال ورودی‌های لازم قابل بهره‌برداری می‌باشد. همچنین برای بسط مدل می‌توان تعداد سطوح زنجیره‌تأمین را افزایش داد. در نظر گرفتن زنجیره‌تأمین به صورت سبز (پرداختن به مسائل زیست محیطی) نیز پیشنهاد می‌گردد.

منابع

- امیری، مقصود و معصومه پهلوانی قمی (۱۳۹۵)؛ «ارائه مدلی دوسطحی برای قیمت‌گذاری و برنامه‌ریزی سفارش در زنجیره‌تأمین سه سطحی»، پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری.
- ایسنا (۱۳۹۶)؛ «گردش مالی ۲۶ میلیارد دلاری صنعت خودرو در ایران»، تهران: خبرگزاری دانشجویان ایران.
- آقایی، اصغر، جمشید صالحی صدقیانی، وجه‌ا... قربانی زاده و فتاح میکائیلی (۱۳۹۴)؛ «طراحی الگوی زنجیره‌تأمین ناب با استفاده از تکنیک معادلات ساختاری»، مطالعات مدیریت صنعتی، صص ۹۵-۱۱۳.

توکلی دهاقانی، محمدرضا، شادی شاهوردیانی، و حجت اله موسی پور (۱۳۹۶)؛ «بررسی رابطه بین مدیریت زنجیره تأمین پایدار با عملکرد زیست محیطی و عملکرد مالی»، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، صص ۱۷۱-۱۹۴.

جولای، فریبرز (۱۳۹۳)؛ «طرح مدل برنامه ریزی همکارانه یک زنجیره تأمین در حالت عدم قطعیت تقاضای مشتری»، دانشگاه تهران- پردیس البرز.

خدایور، آمنه، عادل آذر، و فاطمه محبیان (۱۳۹۵)؛ «قیمت گذاری محصول در یک زنجیره تأمین دوسطحی با استفاده از مفهوم تئوری بازی ها در محیط فازی شهودی»، فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، صص ۱-۲۵.

رضائی، مصطفی (۱۳۹۱)؛ «پیش بینی تقاضای محصول با استفاده از رگرسیون بردار پشتیبان (مورد مطالعه: کاشی ایرانا)»، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه سمنان.

شفیعی نیک آبادی، محسن، کامران فیضی، لعیا الفت و محمدتقی تقوی فرد (۱۳۹۱)؛ «ساختاری چند بعدی جهت تبیین اثر فرهنگ سازمانی و فرهنگ زنجیره تأمین بر انتقال، اشتراک و توزیع دانش در زنجیره تأمین صنعت خودرو سازی ایران: با تاکید بر بهبود عملکرد زنجیره تأمین»، فصلنامه علمی پژوهشی پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران ۲۸: صص ۱۰۳-۱۲۷.

عبدی تالارپشتی، معصومه، قهرمان محمودی و محمدعلی جهانی (۱۳۹۵)؛ «عوامل موثر بر زنجیره تأمین چابکی بیمارستان های ایران»، مدیریت سلامت، صص ۷-۱۸.

فیضی، کامران، لعیا الفت، محمدتقی تقوی فرد و محسن مرادی باستانی (۱۳۹۰)؛ «مدل رابطه همکاری میان سازمانی برای بهبود عملکرد در زنجیره تأمین فرش ماشینی»، علوم مدیریت ایران، صص ۱-۲۵.

قاسمیه، رحیم و فرید سعیدی (۱۳۹۱)؛ «مهندسی مجدد زنجیره تأمین: مروری بر مهم ترین روش ها و مدل های اخیر»، مدیریت زنجیره تأمین، صص ۴۴-۵۳.

قسمتی، رضا، مهدی غضنفری، و میرسامان پیشوایی (۱۳۹۵)؛ «یک مدل برنامه ریزی فازی- احتمالی استوار برای طراحی پایای شبکه زنجیره تأمین»، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۵۰، شماره ۱، صص ۵۳-۶۸.

مرادی، محمود، محمدرحیم رمضانیان و فاطمه سلطانی (۱۳۹۳)؛ «شناسایی مولفه ها و شاخص های تعامل پذیری در زنجیره تأمین»، مدیریت زنجیره تأمین، صص ۱۶-۲۹.

معنوی زاده، ندا، مسعود ربانی، کامران رضایی و جعفر رزمی (۱۳۸۵)؛ «اندازه گیری عملکرد زنجیره تأمین در چهار صنف کلیدی کسب و کار ایران»، www.sid.ir.

ناظری، علی و مهدی نصرت پور و شبنم عساکره (۱۳۹۶)؛ «بررسی تأثیر اقدامات مدیریت کیفیت زنجیره تأمین بر عملکرد در صنعت خودرو ایران با در نظر گرفتن نقش میانجی نوآوری»، فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۸۵، صص ۵۹-۱۰۳.

ناظری، علی و مهدی نصرت پور (۱۳۹۵)؛ «پایداری زنجیره تأمین: رویکرد مدیریت ریسک»، مدیریت زنجیره تأمین، صص ۶۸-۸۰.

نصیر، ابوالقاسم (۱۳۹۰)؛ «پیش بینی تقاضا با استفاده از شبکه های بیز».

- Aust, G, And U Buscher. (2012). "Vertical Cooperative Advertising And Pricing Decisions In A Manufacturer–Retailer Supply Chain: A Game Theoretic Approach." *European Journal Of Operational Research*, pp. 473-482.
- Azad, N, G.K.D Saharidis, H Davoudpour, H Maleky, And S.A Yektamaram. (2013). "Strategies For Protecting Supply Chain Networks Against Facility And Transportation Disruptions : An Improved Benders." *Annals Of Operations Research* 210 (1): pp. 125–163.
- Clark, Andrew J, And Herbert Scarf. (1960). "Optimal Policies For A Multi-Echelon Inventory.", pp. 50-62.
- Cui, Jianxun, Meng Zhao, Xiaopeng Li, Mohsen Mohsen, And Shi An. (2016). "Reliable Design Of An Integrated Supply Chain With Expedited Shipments Under Disruption Risks." *Transportation Research Part E*, pp. 143-163.
- Dillon, M., Oliveira, F., & Abbasi, B. (2017). A Two-Stage Stochastic Programming Model For Inventory Management In The Blood Supply Chain. *Intern. Journal Of Production Economics*.
- Giannakis, Mihalis . (2011). "Management Of Service Supply Chains With A Service-Oriented Reference Model: The Case Of Management Consulting." *Supply Chain Management: An International Journal* 16 (5): pp. 346-361.
- Giri, B C, And S Sharma. (2014). "Manufacturer’S Pricing Strategy In A Two-Level Supply Chain With Competing Retailers And Advertising Cost Dependent Demand." *Economic Modelling*, pp.102-111.
- Jimenez, M. (1996). "Ranking Fuzzy Numbers Through The Comparison Of Its Expected Intervals." *Int. J. Uncertain. Fuzziness Knowl. Based Syst.* 4: pp. 379-388.
- Jimenez, M, M Arenas, A Bilbao, And M V Rodriguez. (2007). "Linear Programming With Fuzzy Parameters: An Interactive Method Resolution." *Eur. J. Oper. Res.* 177: pp. 1599–1609.
- Kumar, Milan, Preetam Basu, And Balram Avittathur. (2017). "Pricing And Sourcing Strategies For Competing Retailers In Supply Chains Under Disruption Risk." *European Journal Of Operational Research*.
- Paul, Sanjoy Kumar, Ruhul Sarker, And Daryl Essam. (2017). "A Quantitative Model For Disruption Mitigation In A Supply Chain." *European Journal Of Operational Research* pp. 881-895.
- Peng,, P, L V Snyder, A Lim, And Z Liu. (2011). "Reliable Logistics Networks Design With Facility Disruptions." *Transportation Research Part B: Methodological* Vol. 45, No.8, pp. 1190–1211.
- Shanshan, Li, He Yong, And Chen Lujie. (2016). "Dynamic Strategies For Supply Disruptions In Production-Inventory Systems." *International Journal Of Production Economics*.
- Shishebori, D, And A Yousefi Babadi. (2015). "Dynamic Supply Chain Network Design

For The Supply Of Blood In Disasters: A Robust Model With Real World Application." Transportation Research Part E: Logistics And Transportation Review. Vol. 70, pp. 225-244.

Snyder, L V, Z Atan, P Peng, Y Rong, A J Schmitt, And B Sinoysal. (2016). "Or/MS Models For Supply Chain Disruptions: A Review." IIE Transactions, pp. 89-109.

Zhang, X., & Zeepongsekul, P. (2016). Asymmetric Supply Chain Models Implementable With A Mechanism Design. Applied Mathematical Modelling, pp. 1-21.