ترکیب جدید برنامه ریزی استوار با محدودیت اعتبار برای شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پاسخگو-پایا تحت عدم قطعیت و اختلالات

علیرضا حمیدیه
دانشجوی دکترای مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، ahamidieh@gmail.com
علیرضا ارشدی خمسه
(نویسنده مسئول) دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی*
بهمن نادری
دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه خوارزمی، bahman.naderi@aut.ac.ir

چکیده امروزه شبکه های زنجیره تامین در فضای کسب و کار رقابتی، با وقوع اختلالات احتمالی، ماهیت غیر قطعی پارامترهای کسب و کار و تغییرات مداوم بازار تقاضا مواجه اند که بر کارایی و عملکرد شبکه تاثیر گذارند بنابراین ضرورت دارد شبکه زنجیره تامین در مقابل وقوع اختلالات پایا، در برابر عدم قطعیت پارامتری استوار و در مواجه با پویایی بازار پاسخگو باشد این پژوهش، ترکیب جدید برنامه ریزی امکانی پایا-استوار را برای طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته چند محصولی تحت شرایط عدم قطعیت توسعه داده است برای توسعه رویکرد جدید از برنامه ریزی ریاضی محدودیت اعتبار استفاده شده است شبکه فوق با اهداف ماکزیمم سازی پاسخگویی و پایایی و مینیمم سازی هزینه طراحی شده است و جهت اطمینان یافتن از سطح بالای عملکرد شبکه زنجیره تامین در صورت وقوع اختلال از شاخص استواری با رویکرد مدل سازی مبتنی بر سناریو استفاده شده است. مدل های پایای مبتنی بر برنامه ریزی محدودیت اعتبار و ترکیب جدید استوار-محدودیت اعتبار ارائه گردید و با استفاده از داده های واقعی یک پروژه ملی صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفتند نتایج نشان می دهد ترکیب جدید استوار پیشنهاد شده با متوسط هزینه مطلوب و حداقل انحراف استاندارد ، استواری مدل و اثربخشی آن را ارتقا داده است.

کلمات کلیدی قابلیت اطمینان، شبکه زنجیره تامین، برنامه ریزی استوار، پایایی، محدودیت اعتبار

۱- مقدمه

در سال های اخیر تغییرات عمده و مستمر در الویت های بازار تقاضا و توسعه فضای پویای کسب و کار ، سبب گردیده است که موضوع طراحی شبکه های زنجیره تامین باثبات و پاسخگو مورد توجه صنایع و محققان قرار گیرد به منظور دستیابی به هدف ارزشمند فوق، بکارگیری استراتژی های پایایی و پاسخگویی در الویت قرار گرفته است [۱]و[۲].

طراحی و پیاده سازی شبکه یکپارچه زنجیره تامین با استراتژی پاسخگویی قابلیت هایی را در شبکه ایجاد می کند که عبارتند از پاسخ به دامنه وسیعی از تقاضاها، امکان ارائه طیف وسیعی از محصولات، پاسخ به تقاضا با زمان تحویل کوتاه، برآورده سازی سطح خدمت بالا و مدیریت عدم قطعیت عرضه و تقاضا [۳]. هر چقدر که زنجیره تامین توانمندیهای فوق را بصورت بهینه عرضه کند پاسخگوتر بوده و در فضای رقابتی بازار، عملکردی کارا خواهد داشت. اما نکته کلیدی اینجاست که برای پاسخگویی به دامنه وسیعی از تقاضاها و مقابله با عدم قطعیت های شبکه، ظرفیت تسهیلات و فرایندهای تخصیص توسعه می یابد که منجر به افزایش هزینه و کاهش کارایی شبکه زنجیره تامین خواهد شد بنابراین برقراری بالانس بین پاسخگویی و کارایی در شبکه زنجیره تامین مساله ای کلیدی است مقوله حیاتی فوق در بسیاری از پژوهشها مورد توجه قرار گرفت. به منظور برقراری بالانس بهینه ذکر شده، پیشوایی و همکاران (۲۰۱۰) شبکه لجستیک حلقه بسته با رویکرد توازن بین پاسخگویی و کارایی طراحی نمودند که بهینه سازی هزینه و پاسخگویی را مورد توجه قرار می داد [۴]. هایرمت و همکاران شبکه زنجیره تامین تولیدی پیشنهاد دادند که با مینیمم سازی هزینه و ماکزیمم سازی کاربرد منابع، نرخ تکمیل چرخه تقاضا و ظرفیت تسهیلات، جریان شبکه را بهینه کرده و سطح سرویس مشتری را بهبود دادند [۵]. لانگنبرگ و همکاران (۲۰۱۲) مدل شبکه زنجیره تامینی ارائه دادند که تصمیمات پاسخگویی و زمان

* (Corresponding author) alireza.arshadikhamseh@gmail.com

تاخیر شبکه را در شرایط عدم قطعیت تقاضا مورد توجه قرار می داد [۶].رمضانی و همکاران (۲۰۱۳) شبکه لجستیک حلقه بسته چند سطحی با اهداف ماکزیمم سازی سود کل زنجیره، سطح سرویس مشتری و مینیمم سازی نقایص مواد خام تامین کننده طراحی نمودند که از طریق برنامه ریزی استوک استیک شبکه فوق را تحلیل نمودند [۷] در ادامه شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ای را در محیط فازی و با اهداف ماکزیمم سازی ارزش فعلی خالص، مینیمم سازی زمان ارسال محصول از کارخانه تا مشتری و مینیمم سازی نقایص مواد خام ارسالی از سوی تامین کننده توسعه دادند[۸].

محمددوست و همکاران (۲۰۱۶) مدل چابک عرضه ای پیشنهاد دادند که ریسک عدم قطعیت تقاضا و عرضه را پوشش داده و با تابع هدف مینیمم سازی زمان تاخیر شبکه، زنجیره تامین را پاسخگو می کرد [۱]. محمد و وانگ (۲۰۱۷) شبکه زنجیره تامین گوشت سه رده ای با رویکرد برنامه ریزی امکانی و توابع هدف مینیم سازی هزینه و زمان تحویل ارائه دادند [۹].

با بررسی مقالات فوق در می یابیم که بالانس بهینه بین پاسخگویی و کارایی در شبکه های زنجیره تامین از الویت زیادی برخوردار است اما عامل مهمی که توازن فوق را نقض می کند اختلالات ناشی از ریسک های داخلی و خارجی است که بر سطح سرویس مشتری تاثیری مخرب دارد[۱۰]. بنابراین استراتژی پایایی، با موازنه پاسخگویی -کارایی همراه می گردد که شدت اختلالات را در سطح شبکه زنجیره تامین کنترل نماید [۱۱].

از این رو پژوهش حاضر با بکارگیری استراتژی پاسخگویی همزمان با افزایش قابلیت اطمینان تسهیلات شبکه، چارچوبی ارائه می دهد که بطور موثر عدم قطعیت پارامتری را مدیریت کرده و با سناریوهای اختلال مقابله می کند. در واقع توجه به مساله اختلالات در طراحی شبکه لجستیک ، می تواند سبب اتخاذ تصمیمات قابل اطمینان تری گردد. قابلیت اطمینان زنجیره تامین مرتبط با احتمال آن است که سبب می گردد جریان محصول از مراکز تامین به نقاط تقاضا کمتر از مجموع تقاضا نباشد[۱۲].

لذا در پژوهش حاضر رویکردی اتخاذ می گردد که در سطح توابع هدف، موازنه ای سه گانه بین پاسخگویی، هزینه و پایایی ایجاد نماید و همزمان با سناریو های محتمل اختلال مقابله کند علاوه بر این شاخص پایایی برای هر یک از تامین کنندگان تعریف شده که قابلیت انتخاب تامین کننده را در مدل ایجاد می کند. شایان ذکر است این رویکرد مدل سازی، قابلیت اطمینان تحویل تقاضا را از سوی تامین کنندگان افزایش داده و شدت اختلال را در مراکز آسیب پذیر شبکه کنترل می کند. با اینحال چالش دیگر، عدم قطعیت پارامتری ناشی از ریسک های داخلی و خارجی است که سبب افزایش هزینه های پردازش و حمل و نقل شده و اثری مخرب بر روی سهم بازار شرکت دارد بنابراین ضرورت دارد بین شرایط متغیر تامین تقاضا با ظرفیت تسهیلات و میزان عرضه، انطباقی موثر صورت گیرد تا ضمن کنترل بهینه سیستم توزیع شبکه با شرایط عدم قطعیت پارامتری مقابله کرده و پاسخ هایی کارا ارائه دهد. در این راستا رویکرد بهینه سازی استوار برای مدل سازی عدم قطعیت در طراحی شبکه زنجیره تامین نقش کلیدی ایفا می کند در این رویکرد پارامترها بصورت سناریوهای گسسته تعریف شده و هدف آن ارائه جواب بهینه ای است که نسبت به پارامترهای غیرقطعی حساسیت نداشته باشد[۱۳].

در این راستا رویکرد استوار نوینی مورد توجه قرار گرفته است که دو ویژگی اصلی استواری راه حل و استواری مدل را پوشش می دهد استواری راه حل بدین معنی است که، در صورتی راه حل استوار است که به ازای سناریوهای پارامترهای ورودی مدل، موجه باقی بماند و همچنین استواری مدل بدین معنی است که مقدار تابع هدف دارای حداقل انحراف از مقدار بهینه، برای مقادیر پارامترهای غیرقطعی ورودی باشد [۱۴].

محققان بسیاری رویکرد بهینه سازی استوار را مورد توجه قرارداده اند اشنایدر(۲۰۰۶) مسائل مکانیابی تحت عدم قطعیت را بررسی کرده و شاخص های استواری مختلفی را برای آن ارائه نمود. [۱۵]. پن و نگی (۲۰۱۰) مدل استوار تصادفی مبتنی بر سناریو را برای مواجهه با عدم قطعیت تقاضا در یک شبکه زنجیره تامین پیشنهاد دادند [۱۶]. پنگ و همکاران (۲۰۱۱) با هدف مکانیابی تسهیلات و بر مبنای مدل اشنایدر و داسکین مدل برنامه ریزی تصادفی P-robust را توسعه دادند [۱۳]. پیشوایی و همکاران (۲۰۱۲) رویکرد برنامه ریزی استوار را در چارچوب برنامه ریزی امکانی توسعه دادند و رویکرد نوین برنامه ریزی امکانی استوار را ارائه دادند [۱۴]. بقالیان و همکاران(۲۰۱۳) عدم قطعیت های عرضه و تقاضا را بطور همزمان در شبکه زنجیره تامین در نظر گرفته و ترکیب برنامه ریزی تصادفی استوار را برای آن ارائه نمودند [۱۷]. کلیبی و مارتل (۲۰۱۳) مدل برنامه ریزی تصادفی استوار را برای طراحی شبکه زنجیره تامین ارزش مدار ارائه دادند که بر پایه رویکرد مدل سازی ریسک وقوع اختلالات و اثر آن بر روی تسهیلات را بررسی می کرد [۱۸]. هاتفی و جولای (۲۰۱۴) مدل برنامه ریزی استوار پایا برای شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه دادند که برای مواجهه با ریسک های داخلی و خارجی شبکه طراحی شده بود [۱۹]. موضوع مهم دیگری که در بهینه سازی شبکه زنجیره تامین مورد توجه قرار گرفت حداقل سازی انحرافات تابع هدف در توزیع های امکانی بود. ژانگ و ژانگ (۲۰۱۴) مدل برنامه ریزی امکانی را ارائه دادند که مقدار انحراف مطلق بصورت محدودیت در مدل تعریف شده و استواری جواب را بهینه سازی کرده بودند [۲۰]. حمیدیه و

همکاران (۲۰۱۷) مدل برنامه ریزی امکانی استواری را توسعه دادند که شبکه زنجیره تامین حلقه بسته تجهیزات الکترونیکی با استراتژی پاسخگویی را بهینه سازی نموده و شدت جریان کامپوننت ها و محصولات را در مسیرهای مستقیم و معکوس کنترل می کرد [۲۱]. فرخ و همکاران (۲۰۱۷) مدل برنامه ریزی امکانی استواری را ارائه دادند که انحراف مطلق امکانی را در تابع هدف در نظر گرفته و مولفه انعطاف پذیری را در مدل مورد توجه قرار دادند [۲۲] اما مقوله مقابله با اختلالات بطور فزاینده ای عدم قطعیت سیستم را تشدید می کند. در این راستا مدل معادل پایا جهت مقابله با سناریوهای اختلال توسط اشنایدر و داسکین (۲۰۰۶) ارائه گردید [۱۵] که از معیار استواری جهت بهبود پایایی مدل استفاده می کرد این رویکرد توسط پنگ و همکاران (۲۰۱۱) توسعه داده شد و راه حل های محافظه کارانه کمتری نسبت به مدل های سنتی هزینه مینیماکس معیار استواری تولید شد همچنین قابلیت اطمینان سیستم بدون سرمایه گذاری قابل توجهی ارتقا یافت [۱۳]. هاتفی و جولای (۲۰۱۴) رویکرد مدل سازی ریاضی فوق را با چندین مثال تجربی مورد آزمایش قرار دادند و با اضافه نمودن متغیرهای کمکی به محدودیت P-Robust راه حل های کارا تولید کردند [۱۹]. در پژوهش حاضر، رویکرد ارتقای قابلیت اطمینان بر روی اهداف مساله بطور همزمان اعمال شد و ترکیب تعمیم یافته ای از محدودیت های P-Robust طراحی گردید که حفاظت در مقابل اختلالات را پایدار می سازد. از طرف دیگر با تعریف شاخص قابلیت اطمینان برای تامین کنندگان، تصمیمات انتخاب تامین کننده نیز مورد نظر قرار گرفته است. در میان مطالعات موجود در حوزه بهینه سازی استوار موضوعاتی حیاتی چون اختلالات، تغییرات بازه ای پارامتری، مدل سازی منعطف ، کنترل محدودیت های امکانی و تحلیل تغییر پذیری امکانی بطور همزمان در فضای کاربردی صنعت در نظر گرفته نشده است با توجه به این شکاف تحقیقاتی نوآوری های پژوهش حاضر تبیین می گردد:

- ارائه یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته که ضمن ایجاد موازنه بهینه بین پاسخگویی و کارایی، سطح پایایی را در سیستم افزایش می دهد و تقاضای مشتریان بازار اول و دوم در مسیر مستقیم و معکوس را برآورده می کند.
- جهت اطمینان یافتن از سطح بالای عملکرد زنجیره تأمین در صورت رخداد اختلال، شاخص استواری با استفاده از رویکرد مدلسازی سناریو محور بر مبنای توابع هدف مدل بکار گرفته شده است.
- ایجاد موازنه فعال بین ارزش انتظاری توابع هدف و ماکزیمم تاسف نسبی در مدل پایای تعمیم یافته.
- تعریف شاخص قابلیت اطمینان برای تامین کنندگان با رویکرد بهبود قابلیت اطمینان تامین مواد و انتخاب تامین کننده بهینه
- جهت کنترل محدودیت های امکانی تقاضا و ظرفیت از مدل ریاضی فازی محدودیت اعتبار استفاده شده است.
- ارائه یک رویکرد برنامه ریزی امکانی استوار جدید که عدم قطعیت پارامتری را کنترل کرده و همزمان استواری جواب و استواری مدل را تضمین می کند
- برنامه ریزی و کنترل جریان برگشتی چهار گروه اصلی مسیر معکوس شامل بازگشتی های پایان عمر، پایان استفاده، بازرگانی و قابل استفاده
- فرموله کردن شبکه زنجیره تامین ملی برای تامین محصولات حیاتی که می تواند در بسیاری از صنایع مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۱- پژوهش های اجرا شده با رویکرد بهینه سازی استوار

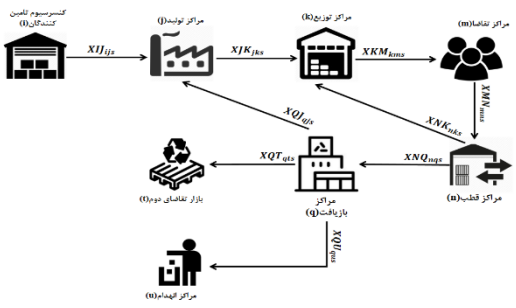
مراجع	نوع مساله			توابع هدف مدل			عدم قطعیت		رویکرد برنامه ریزی		رویکرد استوار	
	CL	FN	SN	C/P	RS	RE	DS	PR	ST	PS	FR	OR
[۲۳]		*		*			*		*		*	
[۱۶]			*	*				*	*		*	*
[۲۴]	*			*				*	*		*	
[۱۴]		*		*	*			*		*	*	*
[۲۵]	*			*	*			*	*		*	*
[۱۷]			*	*			*	*	*		*	*
[۸]	*			*	*		*		*			*
[۱۱]	*			*			*	*	*	*		*
[۱۹]	*			*			*	*	*			*

[۲۶]		*		*		*			*		
[۲۷]	*			*	*				*		
[۲۱]	*		*	*	*			*	*	*	
[۲۲]	*		*		*				*	*	
مقاله حاضر	*		*	*	*	*	*	*	*	*	

[CL] Closed loop network design, [FN]Forward network design, [SN] Supply network, [C/P] Cost/profit, [RS] Responsiveness, [RE] Reliability, [DS] disruption, [PR] parameter, [ST] Stochastic, [PS] Possibilistic, [FR]feasibility robustness, [OR]optimality robustness

۲- تشریح مساله و مدل ریاضی

مدل ارائه شده در پژوهش حاضر بر اساس مدلی واقعی از یک پروژه ملی در صنایع تولید تجهیزات الکترونیکی ایران است همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است در مسیر مستقیم شبکه تامین کنندگان مسئولیت تامین مواد اولیه/کامپوننت ها را بر عهده دارند. محصولات در مراکز تولید ساخته شده و توسط مراکز توزیع به مراکز مشتری بازار اول ارسال می شوند بخشی از محصولات از مراکز مشتری (بازار اول) به مراکز قطب ارسال می شوند این محصولات برگشتی در هریک از گروه های چهارگانه بازگشتی شامل بازگشتی های پایان عمر، پایان استفاده، بازرگانی و قابل استفاده قرار می گیرند. در مراکز قطب محصولات برگشتی قابل استفاده بعد از رفع عیوب جزیی مانند عیوب نرم افزاری و پشتیبانی محدود سخت افزاری جهت توزیع مجدد به مراکز توزیع ارسال می شوند باقیمانده محصولات بازگشتی جهت جداسازی و بازیافت به مرکز بازیافت ارسال می گردند در مرکز بازیافت محصولات بازگشتی پایان عمر طبق قوانین ملی به مراکز انهدام ایمن فرستاده می شوند محصولات بازگشتی بازرگانی و بخشی از محصولات پایان استفاده، تقاضای بازار ثانویه را تامین می کند و باقیمانده محصولات پایان استفاده بعد از تبدیل به کامپوننت یا مواد اولیه به مرکز تولید ارسال می گردند.



شکل ۱. ساختار شبکه زنجیره تامین

۳- نماد های مساله

اندیس ها

i	نقاط بالقوه کنسرسیوم تامین کنندگان
j	مکان های بالقوه مراکز تولید
k	مکان های بالقوه مراکز توزیع
m	نقاط ثابت بازار تقاضای اول
n	مکان های بالقوه مراکز قطب کشوری (جمع آوری، کنترل و ارزیابی و توزیع برگشتی)
q	مکان های بالقوه مراکز بازیافت
t	نقاط ثابت بازار دوم (موادخام/کامپوننت های دست دوم)
u	نقاط ثابت مراکز انهدام
a	سطح ظرفیت مراکز تولید
b	سطح ظرفیت مراکز توزیع
c	سطح ظرفیت مراکز قطب
g	سطح ظرفیت مراکز بازیافت

پارامترها

FJ_{ja}	هزینه ثابت ایجاد و راه اندازی مراکز تولید با سطح ظرفیت a
FK_{kb}	هزینه ثابت ایجاد و راه اندازی مراکز توزیع با سطح ظرفیت b
FN_{nc}	هزینه ثابت ایجاد و راه اندازی مراکز توزیع با سطح ظرفیت c
FQ_{qg}	هزینه ثابت ایجاد و راه اندازی مراکز قطب با سطح ظرفیت g
CI_{il}	هزینه تامین مواد/کامپوننت l از کنسرسیوم تامین کننده i

TIJ_{ij} هزینه ارسال و بسته بندی مواد/کامپوننت از کنسرسیوم تامین کننده i به مراکز تولید j

CJ_{jp} هزینه تولید محصول p در مرکز تولید j

TJK_{jk}^{p} هزینه ارسال و بسته بندی محصول p از مراکز تولید j به مراکز توزیع k

θNK_{nk} درصد محصول برگشتی از مرکز قطب n به مرکز توزیع k

θNQ_{nq} درصد محصول برگشتی از مرکز قطب n به مرکز بازیافت q

CK_{Kp} هزینه عملیاتی مرکز توزیع k بر روی محصول p

TMN_{mn}^{p} هزینه ارسال و بسته بندی محصول p از بازار تقاضای اول m به مراکز قطب n

TNQ_{nq}^{p} هزینه ارسال و بسته بندی محصول p از بازار تقاضای اول m به مراکز قطب n

CM_{mp} هزینه عملیاتی مراکز بازار تقاضای اول m بر روی محصول p

CN_{np} هزینه عملیاتی مرکز قطب n بر روی محصول p

TNK_{nk}^{p} هزینه ارسال و بسته بندی محصول p از مرکز قطب n به مرکز توزیع k

TQJ_{qj}^{p} هزینه ارسال و بسته بندی محصول p از مرکز بازیافت q به مرکز تولید j

TQU_{qu}^{p} هزینه ارسال و بسته بندی محصول p از مرکز بازیافت q به مرکز انهدام u

TKM_{km}^{p} هزینه ارسال و بسته بندی محصول p از مرکز توزیع k به نقاط بازار تقاضای اول m

TQT_{qt}^{p} هزینه ارسال و بسته بندی محصول p از مرکز بازیافت q به نقاط بازار تقاضای دوم t

CQ_{ql} هزینه عملیاتی مرکز بازیافت q بر روی کامپوننت/مواد خام l

CU_{ul} هزینه عملیاتی مرکز انهدام u بر روی کامپوننت/مواد خام l

RC_{pl} تعداد مواد خام/کامپوننت استفاده شده l جهت تولید محصول p

RIS_{i} شاخص پایایی کنسرسیوم تامین کننده i در تحویل محصولات

DE_{ms}^{p} تقاضای محصول p در نقاط بازار تقاضای اول m تحت سناریوی s

EOL_{ms}^{p} درصد محصول برگشت داده شده p از نقاط تقاضای بازار اول m تحت سناریوی s

$\text{ב}QJ_{qj}$ درصد محصول برگشت داده شده از مرکز بازیافت q به مرکز تولید j

$\text{ב}QT_{qt}$ درصد محصول برگشت داده شده از مرکز بازیافت q به بازار تقاضای دوم t

$\text{ב}QU_{qu}$ درصد محصول برگشت داده شده از مرکز بازیافت q به مرکز انهدام u

ω شاخص وزنی درجه پاسخگویی مسیر مستقیم شبکه و (1-ω) در مسیر معکوس شبکه

$CAPJ_{ja}$ ماکزیمم ظرفیت مرکز تولید j با سطح ظرفیت a

$CAPK_{kb}$ ماکزیمم ظرفیت مرکز توزیع k با سطح ظرفیت b

$CAPN_{nc}$ ماکزیمم ظرفیت مرکز قطب کشوری n با سطح ظرفیت c

$CAPQ_{qg}$ ماکزیمم ظرفیت مرکز بازیافت q با سطح ظرفیت g

DJ_{js} مقدار ظرفیت مختل شده مرکز تولید j تحت سناریوی s

DK_{ks} مقدار ظرفیت مختل شده مرکز توزیع k تحت سناریوی s

DN_{ns} مقدار ظرفیت مختل شده مرکز قطب n تحت سناریوی s

متغیرها

XIJ_{ijs}^{l} تعداد مواد خام/کامپوننت l ارسال شده از کنسرسیوم تامین کننده i به مرکز تولید j تحت سناریوی s

XJK_{jks}^{p} تعداد محصول p ارسال شده از مرکز تولید j به مرکز توزیع k تحت سناریوی s

XKM_{kms}^{p} تعداد محصول p ارسال شده از مرکز توزیع k به نقاط بازار تقاضای اول m تحت سناریوی s

XMN_{mns}^{p} تعداد محصول p ارسال شده از نقاط بازار تقاضای اول m به مراکز قطب n تحت سناریوی s

XNK_{nks}^{p} تعداد محصول p ارسال شده از مراکز قطب n به مرکز توزیع k تحت سناریوی s

XNQ_{nqs}^{p} تعداد محصول p ارسال شده از مراکز قطب n به مراکز بازیافت q تحت سناریوی s

XQJ_{qjs}^{l} تعداد موادخام/کامپوننت l ارسال شده از مراکز بازیافت q به مراکز تولید j تحت سناریوی s

XQT_{qts}^{l} تعداد موادخام/کامپوننت l ارسال شده از مراکز بازیافت q به نقاط بازار دوم t تحت سناریوی s

XQU_{qus}^{l} تعداد موادخام/کامپوننت l ارسال شده از مراکز بازیافت q به مراکز انهدام u

XJ_{ja} اگر مرکز تولید j با سطح ظرفیت a بازگردد ۱ در غیر اینصورت ۰

XK_{kb} اگر مرکز توزیع K با سطح ظرفیت b بازگردد ۱ در غیر اینصورت ۰

XN_{nc} اگر مرکز قطب n با سطح ظرفیت c بازگردد ۱ در غیر اینصورت ۰

XQ_{qg} اگر مرکز بازیافت q با سطح ظرفیت g بازگردد ۱ در غیر اینصورت ۰

۲-۳- ترکیب ریاضی مساله طراحی شبکه حلقه بسته پایا (RCLSCND)

$$Min\ Z_1 = \sum_j \sum_a XJ_{ja}\, FJ_{ja} + \sum_k \sum_b XK_{kb}\, FK_{kb}$$
$$+ \sum_n \sum_c XN_{nc}\, FN_{nc} + + \sum_q \sum_g XQ_{qg} FQ_{qg}$$
$$+ \sum_s P_s [\sum_i \sum_j \sum_l \left(CI_{il} + TIJ_{ij}\right) XIJ_{ijs}^{l}$$
$$+ \sum_j \sum_k \sum_p \left(CJ_{jp} + TJK_{jk}^{p}\right) XJK_{jks}^{p}$$
$$+ \sum_k \sum_m \sum_p \left(CK_{kp} + TKM_{km}^{p}\right) XKM_{kms}^{p}$$
$$+ \sum_m \sum_n \sum_p (CM_{mp} + TMN_{mn}^{p})\, XMN_{mns}^{p}$$
$$+ \sum_n \sum_q \sum_p \left(CN_{np} + TNQ_{nq}^{p}\right) XNQ_{nqs}^{p}$$
$$+ \sum_n \sum_k \sum_p \left(CN_n + TNK_{nk}^{p}\right) XNK_{nks}^{p}$$
$$+ \sum_q \sum_j \sum_l \left(CQ_{ql} + TQJ_{qj}\right) XQJ_{qjs}^{l}$$
$$+ \sum_q \sum_u \sum_l \left(CQ_{ql} + TQU_{qu}\right) XQU_{qus}^{l}$$
$$+ \sum_t \sum_q \sum_l \left(CQ_{ql} + TQT_{qt}\right) XQT_{qts}^{l}$$
$$+ \sum_u \sum_l \sum_q CU_{ul} XQU_{qus}^{l}] \qquad (۱)$$

$$Max\ Z_2 = (\sum_i \sum_j \sum_l \sum_p \sum_s P_s [\, XIJ_{ijs}^{l} RIS_i / RC_{pl})$$
$$/ \sum_m \sum_p \sum_s DE_{ms}^{p}] \qquad (۲)$$

$$Max\ Z_3 = \sum_s P_s\, [\omega (\sum_k \sum_m \sum_p XKM_{kms}^{p} \Big/ \sum_m \sum_p DE_{ms}^{p})$$
$$+(1-\omega)(\sum_m \sum_n \sum_p XMN_{mns}^{p} \Big/ \sum_m \sum_p DE_{ms}^{p}\, EOL_{ms}^{p})] \qquad (۳)$$

$$RC_{pl} * \sum_k XJK_{jks}^{p} \le (\sum_i XIJ_{ijs}^{l} + \sum_q XQJ_{qjs}^{l}) \qquad \forall\, j, l, p, s \qquad (۴)$$

$$\sum_j XJK_{jks}^{p} + \sum_n XNK_{nks}^{p} = \sum_m XKM_{kms}^{p}$$

1 Reliable closed loop supply chain network design

$$\forall\, k,p,s \qquad (۵)$$

$$\sum_m XMN^p_{mns} = \sum_q XNQ^p_{nqs} + \sum_k XNK^p_{nks}$$

$$\forall\, n,p,s \qquad (۶)$$

$$RC_{pl} * \sum_q XNQ^p_{nqs} = \sum_j XQJ^l_{qjs} + \sum_t XQT^l_{qts}$$

$$+ \sum_t XQU^l_{qus} \qquad \forall q,p,l,s \qquad (۷)$$

$$\theta NK_{nk} * (\sum_m XMN^p_{mns}) = XNK^p_{nks}$$

$$\forall\, n,k,p,s \qquad (۸)$$

$$\theta NQ_{nq} * (\sum_m XMN^p_{mns}) = XNQ^p_{nqs}$$

$$\forall\, n,q,p,s \qquad (۹)$$

$$\text{ב}QJ_{qj} * (\sum_n \sum_p RC_{pl} XNQ^p_{nqs}) = XQJ^l_{qjs}$$

$$\forall\, q,j,l,s \qquad (۱۰)$$

$$\text{ב}QT_{qt} * (\sum_n \sum_p RC_{pl} XNQ^p_{nqs}) = XQT^l_{qts}$$

$$\forall\, t,q,l,s \qquad (۱۱)$$

$$\text{ב}QU_{qu} * (\sum_n \sum_p RC_{pl} XNQ^p_{nqs}) = XQU^l_{qus}$$

$$\forall\, q,u,l,s \qquad (۱۲)$$

$$\sum_k XKM^p_{kms} \geq DE^p_{ms} \qquad \forall\, m,p,s \qquad (۱۳)$$

$$\sum_n XMN^p_{mns} = EOL^p_{ms} DE^p_{ms}$$

$$\forall\, m,p,s \qquad (۱۴)$$

$$\sum_q XQT^l_{qts} \geq SDE^l_{ts} \qquad \forall\, t,l,s \qquad (۱۵)$$

$$\sum_k XJK^p_{jks} \leq \sum_a CAPJ_{ja}\, XJ_{ja}(1 - DJ_{js})$$

$$\forall\, j,p,s \qquad (۱۶)$$

$$\sum_m XKM^p_{kms} \leq \sum_b CAPK_{kb}\, XK_{kb}(1 - DK_{ks})$$

$$\forall\, k,l,s \qquad (۱۷)$$

$$\sum_k XNK^p_{nks} + \sum_q XNQ^p_{nqs}$$

$$\leq \sum_c CAPN_{nc}\, XN_{nc}(1 - DN_{ns}) \;\; \forall\, n,l,s \qquad (۱۸)$$

$$\sum_j XQJ^l_{qjs} + \sum_t XQT^l_{qts} + \sum_u TQU^l_{qus}$$

$$\leq \sum_g CAPQ_{qg}\, XQ_{qg} \qquad \forall q,l,s \qquad (۱۹)$$

$$\sum_a XJ_{ja} \leq 1 \qquad \forall\, j \qquad (۲۰)$$

$$\sum_b XK_{kb} \leq 1 \qquad \forall\, k \qquad (۲۱)$$

$$\sum_c XN_{nc} \leq 1 \qquad \forall\, n \qquad (۲۲)$$

$$\sum_g XQ_{qg} \leq 1 \qquad \forall\, q \qquad (۲۳)$$

$$Z_{1s} \leq Z^*_{1s}(1 + P) \qquad \forall\, s \qquad (۲۴)$$

$$Z_{2s} \geq Z^*_{2s}(1 - P) \qquad \forall\, s \qquad (۲۵)$$

$$Z_{3s} \geq Z^*_{3s}(1 - P) \qquad \forall\, s \qquad (۲۶)$$

$$XJ_{ja}, XK_{kb}, XN_{nc}, XQ_{qg} \in \{0,1\} \qquad (۲۷)$$

$$XIJ^l_{ijs}, XJK^p_{jks}, XKM^p_{kms}, XMN^p_{mns}, XNK^p_{nks}$$

$$XNQ^p_{nqs}, XQJ^l_{qjs}, XQT^l_{qts}, XQU^l_{qus} \geq 0 \qquad (۲۸)$$

در مدل بالا روابط ۱تا ۳ توابع هدف مساله را نشان می دهد که در برابر اختلال مقاوم شده اند تابع هدف اول مساله هزینه های پردازش، عملیات و حمل و نقل مسیر مستقیم و معکوس شبکه را بطور همزمان مینیمم می کند دومین تابع هدف قابلیت

اطمینان تحویل تقاضا را با توجه به قابلیت اطمینان تعریف شده برای تامین کنندگان بیشینه می کند و آخرین تابع هدف درجه پاسخگویی مسیر مستقیم و معکوس شبکه یکپارچه را بطور همزمان ماکزیمم می کند رابطه (۴) تا (۷) جریان مواد/کامپوننت و محصول را در مراکز تولید، توزیع و بازیافت بالانس می کند همچنین از ضریب مصرف RC_{pl} برای ارتباط بین محصول و کامپوننت های بکار رفته در آن استفاده شده است. روابط (۸) و (۹) میزان توزیع محصولات برگشتی در مراکز قطب را به نقاط توزیع و بازیافت مشخص می کند . روابط (۱۰) تا (۱۲) میزان توزیع کامپوننت های محصولات بازیافتی را بین بازار تقاضای دوم ، مراکز تولید و انهدام را تعیین می کند رابطه (۱۳) تضمین می کند که تقاضای مشتریان به ازای محصولات مختلف و تحت سناریوهای مختلف ارضا می گردد رابطه (۱۴) جریان محصول برگشتی از مراکز مشتری به مراکز قطب را تضمین می کند. رابطه (۱۵) تقاضای کامپوننت های موردنیازبازار تقاضای دوم را تامین می کند. محدودیت های (۱۸-۱۶) تضمین می نمایند که درصورتی که تسهیلات اصلی شبکه در معرض وقوع اختلال قرار گیرند تخصیص جریان خروجی تنها به اندازه ظرفیت باقیمانده آنها انجام می گیرد. رابطه (۱۹) تضمین می کند که مجموع جریان های خروجی از مرکز بازیافت از ظرفیت آن تجاوز نمی کند. روابط (۲۰) تا (۲۳) تعیین می کنند که در هر مکان کاندیدا برای هر تسهیل، حداکثر یک تسهیل باز گردد. روابط (۲۴) تا (۲۶) شاخص استواری P را برای هریک از توابع هدف با توجه به بیشینه یا کمینه بودن آن تعریف می کند به عبارت دیگر در صورت وقوع هریک از سناریوهای اختلال سبب می گردد هزینه زیادی به شبکه زنجیره تامین تحمیل نگردد. همچنین $Z_{3s}^*, Z_{2s}^*, Z_{1s}^*$ مقادیر بهینه توابع هدف تحت سناریوی S می باشند.

۴ - رویکرد برنامه ریزی محدودیت شانس امکانی پیشنهاد شده با معیار اعتبار

در محیط صنعتی پارامترهای غیرقطعی متعددی در فرایند تصمیم گیری وارد می شوند برای مقابله با عدم قطعیت حاکم بر فضای تصمیم گیری و واکنش سریع و به موقع در برابر تقاضای مشتریان ضرورت دارد تصمیمات مدیریت شبکه بهینه سازی گردد. در پژوهش حاضر ترکیبی جدید از رویکرد برنامه ریزی محدودیت شانس و معیار اعتبار در توسعه مدل برنامه ریزی امکانی بکار گرفته شده است که رویکردی کارآ است این رویکرد انواع فضای فازی مثلثی و ذوزنقه ای را پشتیبانی کرده و امکان ارضای محدودیت های شانس یا نرم مساله را در سطوح اطمینان بهینه فراهم می کند [۲۸]. از طرف دیگر معیار اعتبار بکار گرفته شده، ارزش اعتبار رویداد فازی را تعیین می کند و با مفاهیم ریاضی فازی قوی وقوع پارامتر فازی را تصریح می نماید [۲۹]. حال عدد فازی $\tilde{\tau} = (\tau_{(1)}, \tau_{(2)}, \tau_{(3)})$ با تابع عضویت $\mu_{\tilde{\tau}(x)}$ و عدد حقیقی r را در نظر می گیریم در اینصورت معیار اعتبار پارامتر فازی بصورت میانگین معیارهای امکان و الزام تعریف می شود:

$$Cr\{\tilde{\tau} \geq r\} = \frac{1}{2}\left(\underbrace{sup\ \mu_{\tilde{\tau}(x)}}_{Pos\{\tilde{\tau} \geq r\}} + \underbrace{1 - sup\ \mu_{\tilde{\tau}(x)}}_{Nec\{\tilde{\tau} \geq r\}}\right) \quad (۲۷)$$

در اینصورت معیارهای امکان و الزام پارامتر فازی $\tilde{\tau}$ بصورت روابط زیر تبیین می شود:

$$Pos\{\tilde{\tau} \geq r\} = \begin{cases} 1 & r \leq \tau_{(2)} \\ \frac{r-\tau_{(3)}}{\tau_{(2)}-\tau_{(3)}} & \tau_{(2)} \leq r \leq \tau_{(3)} \\ 0 & r \geq \tau_{(3)} \end{cases} \quad (۲۸)$$

$$Nec\{\tilde{\tau} \geq r\} = \begin{cases} 1 & r \leq \tau_{(1)} \\ \frac{r-\tau_{(2)}}{\tau_{(1)}-\tau_{(2)}} & \tau_{(1)} \leq r \leq \tau_{(2)} \\ 0 & r \geq \tau_{(2)} \end{cases} \quad (۲۹)$$

$\tilde{\tau}$ بر اساس روابط (۲۸) و (۲۹) درجه اعتبار پارامتر فازی بصورت زیر تعریف می شود:

$$Cr\{\tilde{\tau} \geq r\} = \begin{cases} 1 & r \leq \tau_{(1)} \\ \frac{2\tau_{(2)}-\tau_{(1)}-r}{2(\tau_{(2)}-\tau_{(1)})} & \tau_{(1)} \leq r \leq \tau_{(2)} \\ \frac{r-\tau_{(3)}}{2(\tau_{(2)}-\tau_{(3)})} & \tau_{(2)} \leq r \leq \tau_{(3)} \\ 0 & r \geq \tau_{(3)} \end{cases} \quad (۳۰)$$

$$Cr\{\tilde{\tau} \leq r\} = \begin{cases} 0 & r \leq \tau_{(1)} \\ \frac{r-\tau_{(1)}}{2(\tau_{(2)}-\tau_{(1)})} & \tau_{(1)} \leq r \leq \tau_{(2)} \\ \frac{2\tau_{(2)}-\tau_{(3)}-r}{2(\tau_{(2)}-\tau_{(3)})} & \tau_{(2)} \leq r \leq \tau_{(3)} \\ 1 & r \geq \tau_{(3)} \end{cases} \quad (۳۱)$$

بر مبنای روابط (۳۰) و (۳۱) و در شرایطی که سطوح اعتبار بصورت $\gamma \geq 0.5$ و $\delta \geq 0.5$ تعریف گردد [۳۰] بنابراین می

توانیم از روابط (۳۲) و (۳۳) برای تبدیل محدودیت های نرم فازی مساله به محدودیت های قطعی استفاده کنیم پس داریم:

$$Cr\{\tilde{\tau} \geq r\} \geq \gamma \rightarrow \\ \mathrm{r} \geq (2-2\gamma)\tau_{(2)} + (2\gamma-1)\tau_{(3)} \quad (۳۲)$$

$$Cr\{\tilde{\tau} \leq r\} \geq \delta \rightarrow \quad (۳۳) \\ \mathrm{r} \leq (2\delta-1)\tau_{(1)} + (2-2\delta)\tau_{(2)}$$

در اینصورت ارزش مورد انتظار پارامتر فازی $\tilde{\tau}$ بر اساس معیار اعتبار بصورت زیر تبیین می شود [۳۱].

$$E[\tilde{\tau}] = \int_0^{\infty} Cr\{\tilde{\tau} \geq r\}\, dr - \int_{-\infty}^{0} Cr\{\tilde{\tau} \leq r\}\, dr = \left(\frac{\tau_{(1)} + 2\tau_{(2)} + \tau_{(3)}}{4}\right) \quad (۳۴)$$

در واقع با توجه به رابطه (۳۴) تابع هدف فازی مساله RCLSCND را با توجه به ارزش مورد انتظار پارامتر فازی $E[\tilde{\tau}]$ و محدودیت های فازی اعتبار به ترکیبی قطعی تبدیل می کنیم.

ترکیب کلی مساله RCLSCND حاضر طبق روابط(۴۱-۳۵) بصورت زیر است:

$$Min\ z = (\widetilde{Fc})y + (\widetilde{Pc} + \widetilde{Tc})x \quad (۳۵)$$

$$s.t. \quad Ax \geq \widetilde{DE} \quad (۳۶)$$

$$Bx = 0 \quad (۳۷)$$

$$Hx \leq (\widetilde{Cap})y \quad (۳۸)$$

$$Tx \leq 1 \quad (۳۹)$$

$$Z_s \leq Z_s^*(1+P) \quad (۴۰)$$

$$y \in \{0,1\},\ \ x \geq 0 \quad (۴۱)$$

در پژوهش حاضر Fc, Pc, Tc, DE بردار پارامترها و A, B, Cap, H ضرایب فنی مدل هستند همچنین Fc, Pc, Tc, DE, Cap به ترتیب ظرفیت، تقاضا، هزینه حمل و نقل، هزینه پردازش یا عملیات و هزینه ایجاد تسهیلات می باشند که در اینجا بصورت فازی تبیین شده اند. محدودیت های اول و سوم مساله RCLSCND محدودیت های شانس فازی هستند که برای کنترل آنها از شاخص اعتبار ارائه شده در روابط (بالا ..) استفاده می کنیم و در قالب روابط

$Cr(Hx \leq (\widetilde{Cap})y) \leq \delta$ و $Cr(Ax \geq \widetilde{DE}) \geq \gamma$

تعریف می شوند.در ادامه ترکیب جدید برنامه ریزی محدودیت اعتبار[۲] برای مساله RCLSCND را ارائه می دهیم(CCP-RCLSCND) توابع هدف پژوهش حاضر بر اساس رابطه (۳۴) و محدودیت های شانس مساله از طریق روابط(۳۲) و (۳۳) تبدیل به ترکیبی قطعی زیر می شوند [۲۲]:

$$Min\ E[Z] = \left(\frac{Fc_{(1)} + 2Fc_{(2)} + Fc_{(3)}}{4}\right)y + \left(\frac{Pc_{(1)} + 2Pc_{(2)} + Pc_{(3)}}{4} + \frac{Tc_{(1)} + 2Tc_{(2)} + Tc_{(3)}}{4}\right)x \quad (۴۲)$$

$$s.t.\ Ax \geq (2-2\gamma)DE_{(2)} + (2\gamma-1)DE_{(3)} \quad (۴۳)$$

$$Bx = 0 \quad (۴۴)$$

$$Hx \leq \begin{bmatrix}(2\delta-1)Cap_{(1)} \\ +(2-2\delta)Cap_{(2)}\end{bmatrix} y \quad (۴۵)$$

$$Tx \leq 1 \quad (۴۶)$$

$$Z_s \leq Z_s^*(1+P) \quad (۴۷)$$

$$y \in \{0,1\},\ \ x \geq 0 \quad (۴۸)$$

حداقل سطوح اطمینان تصمیم گیرندگان برای ارضای محدودیت های شانس فازی مساله بزرگتر از ۰,۵ است $(\delta, \gamma > 0.5)$. در این نوع رویکرد، تصمیم گیرندگان بر اساس تجربه یا آزمایشات مکرر مقادیر سطوح اطمینان را تعیین می کنند چالش های اساسی این رویکرد عبارتند از:

- تضمینی برای تعیین مقادیر بهینه سطوح اطمینان محدودیت های شانس مساله وجود ندارد
- با افزایش تعداد محدودیت های شانس مساله ، تعداد آزمایشات تشخیص سطوح اطمینان محدودیت ها افزایش می یابد.
- به انحرافات ممکن از محدودیت های شانس و غیرموجه شدن جواب حساس نبوده و هزینه های شبکه را بالا می برد.
- این مدل نسبت به انحرافات تابع هدف از مقدار مورد انتظار آن حساس نیست بنابراین برای تصمیم گیرنده ریسک زیادی ایجاد می کند.

۵- ترکیب استوار مساله

در این قسمت یک مدل برنامه ریزی فازی استوار توسعه داده شده با افزایش درجه ریسک گریزی در شرایط عدم قطعیت ارائه می شود مدل فوق برای رفع چالش ها و ایرادات مربوط به تعیین سطوح اطمینان محدودیت های شانس پیشنهاد می گردد:

2 Credibility-constrained programming

$$
\begin{aligned}
&Min\ E[Z]\\
&+\eta\left(\underbrace{Fc_3\,.y+(Tc_3+Pc_3).x}_{Z_{max}}-E[Z]\right)\\
&+\psi\begin{bmatrix}DE_{(2)}-(2-2\gamma)DE_{(2)}\\-(2\gamma-1)DE_{(3)}\end{bmatrix}\\
&+\Gamma\begin{bmatrix}(2\delta-1)Cap_{(1)}\\+(2-2\delta)Cap_{(2)}-Cap_{(1)}\end{bmatrix}y\\
&S.t.constraints\ (43-48)
\end{aligned}
\qquad (۴۹)
$$

عبارت اول تابع هدف میانگین مورد انتظار هزینه کل را نشان می دهد عبارت دوم تابع هدف استواری بهینگی را تبیین می کند که اختلاف بین حداکثر مقدار ممکن تابع هدف و متوسط مقدار آن را با ضریب اهمیت η حداقل می سازد. این عبارت تغییرپذیری امکانی تعریف می شود کاهش مقدار تغییرپذیری که با افزایش ضریب تغییرپذیری η صورت می گیرد استواری بهینگی را افزایش می دهد. این مدل تضمین می کند که تابع هدف فقط به انحرافات مثبت (یعنی انحراف مربوط به مقادیر تابع هدف بیشتر از مقدار متوسط آن) حساس است، بدون آنکه انحرافات منفی را محدود کند، زیرا تحقق هزینهٔ کل کمتر از مقدار متوسط آن برای تصمیم گیرنده مطلوب است. عبارات سوم و چهارم نیز استواری شدنی بودن جواب را کنترل می کنند. Γ,ψ جریمه هر واحد نقض ممکن محدودیت های شانس مساله است این تخطی شامل تقاضای ارضا نشده و کمبود ظرفیت است در واقع عبارات سوم و چهارم تابع هدف با مقادیر بهینه Γ,ψ تعدیل می شوند. به علاوه تابع هدف مدل (۴۹) بده بستان منطقی بین میانگین هزینه ها، استواری بهینگی و استواری شدنی برقرار کرده و تصمیم گیرندگان را قادر می سازد که بین هزینه و ریسک پذیری بالانسی متوازن برقرار نمایند.

همانطور که در مدل (۴۹) مشاهده می کنیم ضرایب تکنولوژیکی Cap دارای عدم قطعیت فازی بوده و مدل ارائه شده را به مدل غیرقطعی تبدیل می نماید لذا با تعریف متغیر جدید و اضافه نمودن محدودیت به مدل، رویکرد برنامه ریزی خطی را بکار می گیریم به همین منظور متغیر جدید υ را بصورت زیر تعریف می کنیم:

$$\upsilon = \delta \mathrm{y} \qquad (۵۰)$$

مدل معادل خطی مساله بر اساس رابطه (۵۰) بدست می آید:

$$
\begin{aligned}
&Min\ E[Z]\\
&+\eta\begin{pmatrix}Fc_3\,.y+(Tc_3+Pc_3).x\\-E[Z]\end{pmatrix}\\
&+\psi\begin{bmatrix}DE_{(2)}-(2-2\gamma)DE_{(2)}\\-(2\gamma-1)DE_{(3)}\end{bmatrix}\\
&+\Gamma\begin{bmatrix}(2\upsilon-\mathrm{y})Cap_{(1)}\\+(2y-2\upsilon)Cap_{(2)}-Cap_{(1)}y\end{bmatrix}\\
&s.t.\ Ax\geq(2-2\gamma)DE_{(2)}\\
&+(2\gamma-1)DE_{(3)}\\
&Bx=0\\
&Hx\leq(2\upsilon-\mathrm{y})Cap_{(1)}\\
&+(2y-2\upsilon)Cap_{(2)}\\
&\upsilon\leq My\\
&\upsilon\leq\delta\\
&\upsilon\leq M(y-1)+\delta\\
&Z_s\leq Z_s^*(1+P)\\
&y\in\{0,1\},\ \ x,\upsilon\geq 0,\\
&\gamma\geq 0.5,\qquad \delta\leq 1,
\end{aligned}
\qquad (۵۱)
$$

در مدل فوق M یک عدد بسیار بزرگ بوده و محدودیت های اضافه شده به مساله تضمین می کنند که اگر متغیر باینری مساله صفر باشد متغیر جدید نیز صفر خواهد بود و اگر متغیر باینری مساله یک باشد متغیر جدید δ خواهد بود.

۶- پیاده سازی و ارزیابی

در این بخش به منظور نمایش کاربردی بودن و ارزیابی کارایی مدل برنامه ریزی فازی احتمالی استوار از داده های یک سازمان زنجیره تامین محصولات آموزشی در ابعاد ملی استفاده می کنیم. همچنین با توجه به مقیاس و تعدد توابع هدف طبق رابطه (۵۲) از متد محدودیت اپسیلن برای حل مساله استفاده می شود که بر اساس رابطه (۵۳) با اضافه کردن متغیرهای کمبود به تابع هدف و محدودیتها، تولید جوابهای کارای غیر غایی تضمین می شود [۳۲].

$$
\begin{aligned}
&Min\ f1(x)\\
&\quad f2(x)\leq\ e_2, f3(x)\leq e_3,\dots,fp(x)\\
&\qquad\qquad \leq S.t.\\
&x\in X,
\end{aligned}
\qquad (۵۲)
$$

$$
\begin{aligned}
&Min\begin{bmatrix}f1(x)-eps.\\\left[\frac{s_2}{r_2}+\frac{s_3}{r_3}+\dots+\frac{s_p}{r_p}\right]\end{bmatrix}\\
&S.t.\ \ f2(x)+s_2=e_2\\
&\dots\dots\\
&fp(x)+s_p=e_p\quad x\in X,\ \ s\in R^+,
\end{aligned}
\qquad (۵۳)
$$

تعداد تسهیلات موجود در شبکه لجستیک پژوهش ملی حاضر در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- تعداد تسهیلات مورد ارزیابی در مدل ها

تسهیلات	تعداد
کنسرسیوم تامین کنندگان	۲
مرکز تولید	۳
مرکز توزیع	۴
بازار تقاضای اول	۱۴
مرکز بازیافت	۳
مرکز قطب	۵
بازار تقاضای دوم	۵
مرکز انهدام	۲

همچنین پارامترهای غیرقطعی پژوهش حاضر از طریق توزیع امکانی تخمین زده شد همچنین ابعاد برجسته برخی پارامترهای فازی مثلثی با استفاده از داده های تجربی و نظرات مدیران و کارشناسان صنعت تعیین گردید. که در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲- بازه مقادیر پارامترهای غیر قطعی

پارامتر	بازه مقادیر
FK_{kb}	$\sim \boldsymbol{Uniform(0.11, 0.185) \times 10^9}$
FN_{nc}	$\sim \boldsymbol{Uniform(49, 59.3) \times 10^9}$
FQ_{qg}	$\sim \boldsymbol{Uniform(68, 78) \times 10^9}$
FJ_{ja}	$\sim \boldsymbol{Uniform(19, 21.5) \times 10^9}$
$CAPJ_{ja}$	$\sim \boldsymbol{Uniform(13, 33) \times 10^6}$
$CAPK_{kb}$	$\sim \boldsymbol{Uniform(5, 15.5) \times 10^6}$
$CAPN_{nc}$	$\sim \boldsymbol{Uniform(0.88, 3.5) \times 10^6}$
$CAPQ_{qg}$	$\sim \boldsymbol{Uniform(20, 58) \times 10^6}$

تمایز دیگر پژوهش حاضر عدم قطعیت پارامترهای تقاضا و برگشتی های محصول از مراکز مشتری به مراکز قطب در سناریو های مختلف و در یک سیکل تولید می باشد که در قالب توزیع امکانی به ازای سناریوهای مختلف تعریف گردید.

برای آزمایش عملکرد مدل های ارائه شده ابتدا به بررسی تغییرات توابع هدف بر اساس معیار استواری P می پردازیم در واقع تحلیل پایایی مدل نسبت به سناریوهای اختلال میزان کارایی مدل پیشنهادی را نشان می دهد. از اهداف رویکرد مدل سازی پایا این است که با کاهش معیار استواری حداقل تغییرات در تابع هدف(به ازای سناریوهای اختلال) ایجاد شود در این راستا ابتدا مدل را با معیار استواری بی نهایت حل کرده سپس همه سناریوها را به ازای جواب فوق حل می کنیم حداکثر میزان مجاز معیار استواری مرحله بعد را تعیین می کنیم و مساله را مجدد حل می کنیم فرایند را تا جایی ادامه می دهیم که مساله به ازای یک معیار استوار غیر موجه شود. با توجه به موارد ذکر شده اگر $P \geq \infty$ باشد محدودیت های *P-Robust* غیر فعال شده و حفاظت در مقابل اختلالات تسهیلات از بین می رود همچنین ارزش پایین معیار P راه حل های غیرموجه ایجاد می کند برای خروج از چالش فوق موازنه بین ماکزیمم تاسف نسبی و هزینه اسمی صورت می گیرد همانطورکه در جدول (۴) مشاهده می شود در مدل پایا، درصد تغییرات توابع هدف بسیار کم بوده و پایداری مناسب در جواب های بدست آمده به ازای سناریوهای اختلال وجود دارد که ناشی از عملکرد صحیح مدل است اما مدل فوق نمی تواند بصورت کارا موازنه ای بین ارزش انتظاری توابع هدف و ماکزیمم تاسف نسبی برقرار نماید برای رفع مشکل فوق ترکیب تعمیم یافته محدودیت های P-Robust بر اساس رابطه (۵۲) و در قالب رابطه (۵۴) پیشنهاد می گردد [۳۲].

$$\begin{aligned} &Min\ [f(x) - eps.(e_1 + e_2 + \cdots + e_s)] \\ &S.t.constraints\ (36-39), (41) \\ &Z_s + e_s = Z_s^*(1+P) \quad \forall\, s \in S, \end{aligned} \qquad (۵۴)$$

مدل جدید را $RCLSCND^{Aug}$ می نامیم. در واقع با اضافه نمودن متغیرهای کمکی به محدودیت *P-Robust* ، مدل مجبور می گردد که جواب های کارا تولید کند در اینصورت طبق نتایج جدول (۳) در بخش $RCLSCND^{Aug}$ مشاهده می شود که بصورت کارا موازنه ای بین ارزش انتظاری توابع هدف و ماکزیمم تاسف نسبی ایجاد می شود.

جدول ۳- مقایسه جوابهای P-Robust مدل های RCLSCND -RCLSCNCCP

مدل پایا با محدودیت P-Robust تعمیم یافته ($RCLSCND^{Aug}$)					مدل پایا(RCLSCND)				
MRR	Z3	Z2	Z1	P-Robust	MRR	Z3	Z2	Z1	P-Robust
-	infeasible	infeasible	infeasible	۰,۱۰۸	۰,۲۷۱	۱,۰۵۷۷۵۵	۴,۱۲۸۸۲۵	۵۰۶۶۲۲۷۵۵۴۹۰	۰,۲۷۱
۰,۱۰۹	۱,۲۰۳۷۹۱	۴,۳۶۱۲۱۷	۵۰۶۸۹۵۳۵۳۴۶۶	۰,۱۵۲	۰,۲۷۲	۱,۰۵۸۳۳۵	۴,۱۲۸۹۶۷	۵۰۶۶۲۲۷۵۵۴۹۰	۰,۲۷۲
۰,۱۵۳	۱,۱۶۳۳۴۲	۴,۲۱۴۵۳۹	۵۰۶۷۱۷۲۳۱۰۴۳	۰,۱۹۵	۰,۲۷۳	۱,۰۵۸۳۳۵	۴,۱۲۸۹۶۷	۵۰۶۶۲۲۷۵۵۴۹۰	۰,۲۷۳
۰,۱۹۶	۱,۱۰۳۱۵۴	۴,۱۸۶۲۰۵	۵۰۶۶۸۴۷۱۶۲۲۱	۰,۲۳۶	۰,۲۷۴	۱,۰۵۸۳۳۵	۴,۱۲۸۹۶۷	۵۰۶۶۲۲۷۵۵۴۹۰	۰,۲۷۴
۰,۲۳۷	۱,۰۵۸۳۳۵	۴,۱۲۸۹۶۷	۵۰۶۶۲۲۷۵۵۴۹۰	۰,۲۷۵	۰,۲۷۵	۱,۰۵۸۳۳۵	۴,۱۲۸۹۶۷	۵۰۶۶۲۲۷۵۵۴۹۰	۰,۲۷۵
۰,۲۷۶	۱,۰۵۸۳۳۵	۴,۱۲۸۹۶۷	۵۰۶۶۲۲۳۵۲۱۵۴	∞	۰,۲۷۶	۱,۰۵۸۳۳۵	۴,۱۲۸۹۶۷	۵۰۶۶۲۲۳۵۲۱۵۴	∞

Maximum Relative Regret(MRR)

همچنین مدل های پیشنهادی تحت داده های واقعی حل شدند و راه حل های بهینه پاراتوی با استفاده از روش محدودیت اپسیلن تعمیم یافته در جدول (۴) ارائه شدند از آنجا که مساله CCP-RCLSCND قادر به تنظیم بهینه سطوح اعتبار مساله نمی باشد بنابراین سطوح اعتبار فوق با توجه به نظرات متخصصان صنعت تحت بررسی در سه مقدار برجسته تعیین گردیدند و مقادیر توابع هدف گزارش شدند.

جدول۴- عملکرد مدل پیشنهادی با رویکرد برنامه ریزی محدودیت اعتبار تحت پارامترهای غیر قطعی

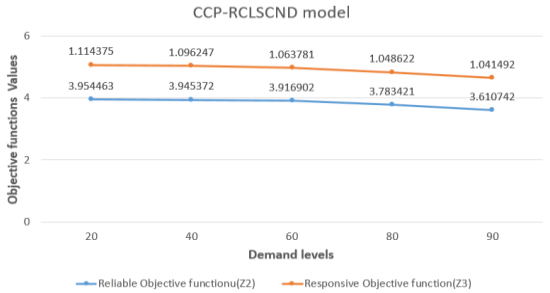
مدل پایا با رویکرد برنامه ریزی محدودیت اعتبار(CCP-RCLSCND)								
$\gamma = \delta = 0.55$			$\gamma = \delta = 0.75$			$\boldsymbol{\gamma = \delta = 0.95}$		
$Z1$	$Z2$	$Z3$	$Z1$	$Z2$	$Z3$	$Z1$	$Z2$	$\boldsymbol{Z3}$
۴۹۱۶۴۰۷۵۳۳۴۴	۳,۳۳۳۷۶۹۶	۰,۹۰۵۲۷۴	(1)۵۰۰۳۱۲۱۱۶۲۴۸	۳,۴۰۵۲۷۶	۰,۹۱۵۳۲۵	۵۰۴۶۸۸۶۸۳۷۷۶	۳,۴۵۳۶۶۷۲	۰,۹۵۵۶۷۳
۴۹۱۶۷۳۶۵۳۷۲۷	۳,۳۴۳۹۳۹۲	۰,۹۰۷۶۴۷	۵۰۱۳۴۱۸۴۷۴۵۹	۳,۴۱۴۴۶۶	۰,۹۲۰۶۵۶	۵۰۴۷۱۷۵۸۴۱۹۵	۳,۴۶۲۶۰۰۴	۰,۹۸۲۹۹۷
۴۹۲۷۰۶۵۵۴۱۱۰	۳,۳۸۴۱۰۸۸	۰,۹۱۰۰۲	۵۰۱۹۴۴۸۲۰۵۸۰	۳,۴۲۱۳۸۵	۰,۹۲۹۷۷۹	۵۰۴۷۴۶۴۸۴۶۱۴	۳,۴۷۱۵۳۳۶	۱,۰۰۹۹۲۱
۴۹۲۷۶۹۴۵۴۴۹۳	۳,۴۷۴۲۷۸۴	۰,۹۱۲۳۹۴	۵۰۲۱۴۷۷۹۳۷۰۱	۳,۴۲۶۳۰۴	۰,۹۳۸۹۰۳	۵۰۵۲۷۵۳۸۵۰۳۳	۳,۴۸۰۴۶۶۸	۱,۰۳۷۰۴۵
۴۹۳۷۷۲۳۵۴۸۷۵	۳,۴۹۴۶۵۴۸	۰,۹۱۴۷۶۸	(2)۵۰۳۳۵۰۷۶۶۸۲۲	۳,۴۵۷۲۲۳	۰,۹۴۸۰۲۷	۵۰۵۸۰۴۲۸۵۴۵۲	۳,۴۸۹۴۰۲۳	۱,۰۶۴۱۶۹

نتایج جدول (۴) نشان می دهد که با افزایش مقدار توابع هدف پاسخگویی منجر به افزایش مقدار تابع هدف هزینه می شود و برعکس. اثر فوق برای تابع هدف پایایی نیز صدق می کند. رویداد ذکر شده نشان می دهد که توابع هدف با یکدیگر تعارض دارند تابع هدف هزینه قصد دارد هزینه های مسیر مستقیم و معکوس شبکه یکپارچه را بطور همزمان کاهش دهد که نوعی تمرکزگرایی محسوب می گردد و توابع هدف دوم و سوم تمایل دارند پاسخگویی و قابلیت اطمینان شبکه را افزایش دهند که رویکردی تمرکز زدایی دارند. به عنوان مثال با بررسی سازماندهی تسهیلات شبکه در $\gamma = \delta = 0.75$ در می یابیم که در اولین مرحله محاسبه [۱] دو مرکز تولید(۱و۳) با سطوح ظرفیت (۱و۱) ، دو مرکز توزیع (۱و۳) با سطوح ظرفیت (۱و۱)، سه مرکز قطب (۱و۲و۴) با سطوح ظرفیت (۱) و مرکز بازیافت (۲) با سطح ظرفیت (۱) باز شده اند در آخرین مرحله محاسبه[۲] سه مرکز تولید(۱و۲و۳) با سطوح ظرفیت (۱و۱و۲) ، مراکز توزیع (۱و۲و۳) با سطح ظرفیت (۱)، چهار مرکز قطب (۱و۲و۳و۴) با سطح ظرفیت (۱) و مراکز بازیافت (۱و۲) با سطح ظرفیت (۱) باز شده اند. همچنین در ترکیب جدید برنامه ریزی اعتبار-استوار مساله نیز رویداد فوق صدق می کند که عملکرد صحیح مدل را اثبات می کند. نتایج مدل فوق در جدول (۵) ارائه شده است.

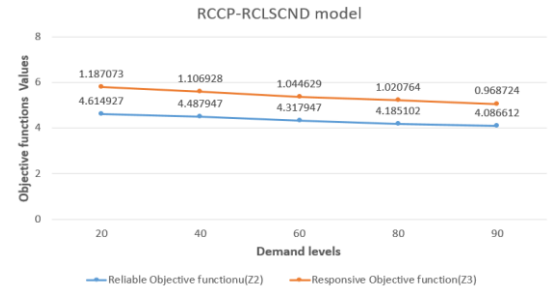
جدول۵- عملکرد مدل پیشنهادی ترکیبی استوار- رویکرد برنامه ریزی محدودیت اعتبار تحت پارامترهای غیر قطعی

مدل پایای استوار با محدودیت اعتبار (RCCP-RCLSCND)		
$Z1$	$Z2$	$\boldsymbol{Z3}$
۵۰۶۵۷۳۴۳۰۷۱۹	۳,۳۴۶۲۰۱۳	۰,۹۶۰۵۴۴
۵۰۶۷۴۸۴۷۵۳۲۶	۳,۴۲۷۷۵۴۲	۰,۹۹۸۹۹۸
۵۰۶۹۷۲۵۶۱۸۳۲	۳,۵۰۸۷۰۳۳	۱,۰۳۷۴۵۲
۵۰۷۲۳۸۲۵۵۲۳۷	۳,۵۸۹۹۵۴۳	۱,۰۷۵۹۰۶
۵۰۷۴۹۳۱۴۲۵۲۱	۳,۶۷۱۲۰۵۵	۱,۱۱۴۳۶۰

از طرف دیگر، تامین تقاضای مشتریان از اهداف راهبردی زنجیره و مطالبه اصلی ذینفعان می باشد ساختار تسهیلات در مدل ریاضی پژوهش حاضر بصورت چند سطحی طراحی شده اند با افزایش تقاضای مشتریان، جریان مواد و محصول حاکم در بستر شبکه پاسخگوی افزایش مطالبات نخواهد بود همچنین پایایی تامین کننده سیر صعودی پیدا می کند تسهیلات شبکه سعی می کند که سطح ظرفیت خود را متناسب با نیاز استانی ارتقا دهد بنابراین افزایش سطح ظرفیت تسهیلات شبکه از کاهش فزاینده پاسخگویی و پایایی سیستم جلوگیری می کند. بررسی رفتار توابع هدف پاسخگویی و پایایی نسبت به تغییرات سطح تقاضای مشتریان تصویری شفاف از عملکرد مدل های پیشنهاد ارائه می دهد که در شکلهای (۲) و(۳) نمایش داده شده است.



شکل ۲- حساسیت توابع هدف پاسخگویی و پایایی بر مبنای سطوح تقاضای متفاوت در مدل برنامه ریزی محدودیت اعتبار



شکل ۳- حساسیت توابع هدف پاسخگویی و پایایی بر مبنای سطوح تقاضای متفاوت در مدل ترکیبی استوار و محدودیت اعتبار

حساسیت مدل های پیشنهادی بر اساس تغییرات تقاضای مشتریان برای مدل های CCP-RCLSCND و RCCP-RCLSCND مورد بررسی قرار گرفت شکل های ۲و۳ نشان می دهند که توابع هدف پاسخگویی و پایایی در برابر تغییرات سطح تقاضای مشتریان آهنگی پایا و استوار داشته و با افزایش سطح تقاضا، تسهیلات شبکه را بطور موثر بکار می گیرند به عنوان مثال با افزایش سطح تقاضا از ۴۰درصد به ۶۰درصد مرکز توزیع (۲) با سطح ظرفیت(۱) را به سطح (۳) و دو مرکز بازیافت فعال با سطح ظرفیت (۱) را به سه مرکز ارتقا می دهد لذا درجه پاسخگویی و پایایی شبکه را همچنان پایدار حفظ می کند.

به منظور اعتبار سنجی مدل های پیشنهادی و تبیین کارایی راه حل های بدست آمده، ابتدا مدل ها تحت داده های اسمی، سطوح رضایتمندی و هزینه های جریمه مختلف حل می شوند سپس ۵ آزمایش طراحی گردیده و عملکرد راه حل های بدست آمده تحت هریک از آزمایشات مورد بررسی قرار می گیرد. برای شبیه سازی شرایط واقعی ، عدد فازی تصادفی $\tilde{\tau} = (\tau_{(1)}, \tau_{(2)}, \tau_{(3)})$ بصورت توزیع یکنواخت بین حد بالا و پایین (مقادیر خوشبینانه و بدبینانه) تابع تولید می گردد $[\tau_{rs} = \tau_{(1)}, \tau_{(3)}]$. سپس متغیرهای تصمیم حاصله از حل مدل های پیشنهادی در مدلی خطی مورد تحلیل قرار می گیرند برای محدودیت های دارای پارامترهای غیر قطعی، متغیری تعریف می گردد که مقدار تجاوز شده از حد محدودیت را مشخص می کند همچنین برای متغیر فوق در تابع هدف جریمه ای در نظر گرفته می شود در نهایت میانگین و انحراف استاندارد مقادیر تابع هدف مدل خطی(۵۵) تحت پنج سری داده آزمایشی هدفمند تولیده شده گزارش گردیده و مورد بررسی قرار می گیرد.

$$
\begin{aligned}
&Min\ z = (Fc^{rs})y^{nd} + (Pc^{rs} + Tc^{rs})x^{nd} \\
&+\psi v^{DE} + \Gamma v^{Cap} \\
&s.t.\ Ax^{nd} + v^{DE} \geq DE^{rs} \\
&Bx^{nd} = 0 \\
&Hx^{nd} \leq (Cap^{rs})y^{nd} + v^{Cap} \qquad (۵۵) \\
&Tx^{nd} \leq 1 \\
&Z_2, Z_3 \geq \varepsilon \\
&v^{DE}, v^{Cap} \geq 0
\end{aligned}
$$

در مدل فوق $x^{nd}y^{nd}$, جواب های حل بدست آمده تحت داده اسمی است و v^{Cap}, v^{DE} متغیرهای تصمیمی هستند که نقض محدودیت های شانس را در مدل تعیین می کنند نتایج آزمایشات در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶- عملکرد مدل های CCP-RCLSCND و RCCP-RCLSCND تحت آزمایشات

آزمایشات	CCP-RCLSCND			RCCP-RCLSCND	
	Z $\gamma = \delta = 0.55$	Z $\gamma = \delta = 0.75$	Z $\gamma = \delta = 0.95$	Z $\eta = 1.5$	$\boldsymbol{Z}$ $\boldsymbol{\eta = 2.5}$
۱	۴۹۱۵۳۴۷۱۳۳۴۰	۴۹۱۶۱۳۵۳۷۱۳۸	۴۹۱۶۸۰۵۱۵۲۹۳	۴۹۱۵۱۲۶۳۸۱۱۳	۴۹۱۵۲۳۷۶۴۵۲۱
۲	۴۹۱۷۶۲۷۵۸۴۳۷	۴۹۲۰۴۴۶۱۷۳۰۷	۴۹۲۱۳۸۴۳۷۲۵۴	۴۹۱۱۱۴۵۳۰۶۲۷	۴۹۱۱۲۱۶۵۳۹۴۱
۳	۴۹۱۲۵۳۸۳۰۴۸۵	۴۹۱۴۳۴۸۲۰۵۲۳	۴۹۱۵۱۰۶۱۷۲۲۶	۴۹۱۴۷۵۷۲۴۳۶۲	۴۹۱۴۸۱۴۶۵۱۱۴
۴	۴۹۱۱۷۳۸۱۳۲۴۱	۴۹۱۱۳۱۷۹۳۴۶۱	۴۹۱۲۱۰۵۴۷۲۱۳	۴۹۱۱۷۵۴۴۳۶۸۵	۴۹۱۱۸۲۵۱۵۸۵۲
۵	۴۹۱۱۱۵۰۶۳۴۲۲	۴۹۱۲۵۰۷۳۱۸۷۲	۴۹۱۳۱۳۴۳۵۲۶۴	۴۹۱۲۷۴۷۸۵۷۳۶	۴۹۱۲۸۰۷۵۶۶۴۰
میانگین	۴۹۱۳۶۸۰۳۵۷۸۵	۴۹۱۴۹۵۱۰۰۰۶۰	۴۹۱۵۷۰۷۱۰۴۵۰	۴۹۱۳۱۰۶۲۴۵۰۴	۴۹۱۳۱۸۰۳۱۲۱۳
انحراف استاندارد	۲۴۴۲۷۳۴۷۰,۹	۳۱۹۷۹۲۹۵۳,۳۲	۳۲۶۷۶۹۰۶۲,۷۱	۱۵۸۷۹۴۵۴۷,۱۷	۱۵۸۵۷۶۱۶۱,۵

همانطور که در جدول (۶) مشاهده می شود مدل RCCP-RCLSCND دارای حداقل انحراف استاندارد و همچنین دارای عملکرد مطلوب با مقدار میانگین قابل قبول است ضمن اینکه عملکرد مدل CCP-RCLSCND با سطوح اعتبار متفاوت نسبت مدل اولیه RCLSCND عملکرد کیفی مطلوبتری داشته است. اما نتایج نهایی حاکی از آن است مدل ترکیبی استوار-محدودیت اعتبار استواری شبکه زنجیره تامین را کنترل می کند بدیهی است مدل نهایی ترکیبی، مدلی ریسک گریز بوده و متوسط عملکرد آن نسبت به مدل های CCP-RCLSCND از کیفیت کمتری برخوردار باشد. در این راستا عوامل موثر بر استواری راه حل ضریب تغییرپذیری امکانی و جرایم تخطی از محدودیت های می باشد در این راستا افزایش عوامل فوق میانگین هزینه های بیشتری به سیستم تحمیل می کند اما در مورد عامل اول مقدار تغییرپذیری امکانی کاهش می یابد و در رابطه با عامل دوم راه حل ارائه شده استواری بیشتری را به همراه خواهد داشت. رویکرد ترکیبی پیشنهادی استواری جواب را با توجه به ترجیحات مدیران صنعت کنترل می کند در واقع ضریب تغییر پذیری امکانی، متناسب با رویکرد ریسک پذیری سیستم و با ایجاد موازنه بین میانگین هزینه و استواری بهینگی کنترل می گردد. شایان ذکر است مدیران صنعت تلاش می کنند میانگین هزینه ها را در شبکه یکپارچه مینیمم کنند و تغییر پذیری هزینه های غیر قطعی را در راستای کاهش ریسک پذیری

کنترل نمایند مدل ترکیبی پیشنهادی نیاز فوق را تامین کرده و بصورت کارا، استواری مدل شبکه یکپارچه را کنترل می نماید همانطور که در جدول (۶) مشاهده می کنید مدل با ضریب تغییر پذیری بالا $(\eta = 2.5)$ نسبت به مقدار ۱,۵ با افزایش میانگین هزینه ها مواجه شده است و در هر پنج آزمایش این افزایش هزینه رخ داده است اما در ضریب تغییر پذیری امکانی ۲,۵ به حداقل انحراف استاندارد رسیده است و میانگین هزینه مطلوبی در میان مدل های موجود احراز کرده است. از طرف دیگر در می یابیم که درجه ریسک گریزی مدیران سیستم در تعیین ضریب فوق بسیار موثر است با توجه به آنچه که ذکر گردید نتایج مدل نهایی حاکی از آن است که مدل عملکرد بهینه ای ارائه می دهد.

۷- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر شبکه زنجیره تامین حلقه بسته کارا پیکربندی شد که بصورت یکپارچه جریان محصول و مواد خام را در مسیرهای مستقیم و معکوس مدیریت و کنترل می نماید. همچنین بر خلاف پژوهش های دیگر اهداف پاسخگویی و پایایی تامین کنندگان بطور مستقیم مورد توجه قرار گرفته است جهت اطمینان یافتن از سطح بالای عملکرد زنجیره تأمین در صورت رخداد اختلال، شاخص استواری با استفاده از رویکرد مدلسازی مبتنی بر سناریوها، به کار گرفته شده است به منظور توسعه مفهوم پایایی شاخص استواری برای همه توابع هدف در نظر گرفته شد به علاوه، به منظور بررسی عدم قطعیت ها در محیط های پویای صنعتی و اختلالات ناشی از ریسک های داخلی و خارجی ترکیب جدید برنامه ریزی ریاضی محدودیت اعتبار و برنامه ریزی استوار پیشنهاد شد عملکرد مدل ارائه شده در یک پروژه ملی با عنوان شبکه زنجیره تامین تجهیزات آموزشی هوشمند مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. داده های ورودی مدل داده هایی واقعی و بر اساس رویدادهای سالیانه شبکه فوق و تجربیات مدیران صنعت سازماندهی و در مدل وارد گردیدند نتایج نشان دهنده افزایش شایان توجه استواری و پایایی جواب های بدست آمده از طریق مدل های پیشنهادی است علاوه بر این با بررسی عملکرد مدل ها این نتیجه حاصل شد که کنترل ضریب تغییر پذیری امکانی رویکرد مناسبی جهت بهینه سازی شبکه زنجیره تامین می باشد. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می گردد سناریوهای اختلال افزایش یافته و اندازه مساله متناسب با پروژه های با مقیاس ملی و بین المللی توسعه یابد همچنین الگوریتم ابتکاری با رویکرد کاهش زمان حل مساله ارائه گردد.

مراجع

[۱] Mohammaddust, F., Rezapour, S., Farahani, R., Mofidfar, M., & Hill, A. (2017). Developing lean and responsive supply chains: A robust model for alternative risk mitigation strategies in supply chain designs. *International Journal of Production Economics*, Vol. 183, pp. 632-653.

[۲] Babazadeh, R., Razmi, J., & Ghodsi, R. (2013). Facility location in responsive and flexible supply chain network design (SCND) considering outsourcing. *International Journal of Operational Research*, Vol. 17, pp. 295.

[۳] Tiwari, M., Mahanty, B., Sarmah, S., & Jenamani, M. (2016). *Modeling of Responsive Supply Chain*. London: CRC Press.

[4] Pishvaee, M., Farahani, R., & Dullaert, W. 2010. A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. *Computers & Operations Research*, 37 (6): 1100-1112.

[5] Hiremath, N., Sahu, S., & Tiwari, M. (2012). Multi objective outbound logistics network design for a manufacturing supply chain. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 24, pp. 1071-1084.

[۶] Langenberg, K., Seifert, R., & Tancrez, J. (2012). Aligning supply chain portfolios with product portfolios. *International Journal of Production Economics*, Vol. 135, pp. 500-513.

[۷] Ramezani, M., Bashiri, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, pp. 328-344.

[۸] Ramezani, M., Kimiagari, A., Karimi, B., & Hejazi, T. (2014). Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment. *Knowledge-Based Systems*, Vol. 59, pp. 108-120.

[۹] Mohammed, A., & Wang, Q. (2017). Developing a meat supply chain network design using a multi-objective possibilistic programming approach. *British Food Journal*, Vol. 119, pp. 690-706.

[۱۰] Mousazadeh, M., Torabi, S., & Zahiri, B. (2015). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. *Computers & Chemical Engineering*, Vol. 82, pp. 115-128.

[۱۱] Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Modarres, M., & Baboli, A. (2012). Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: A Robust-M/M/c queuing model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 48, pp. 1152-1168.

[12] عقیانی، مونا.، جبارزاده، آرمین.، سجادی، سیدجعفر. (۱۳۹۴)، ارائه یک مدل بهینه سازی استوار جهت طراحی شبکه زنجیره تامین خون در شرایط بحران با در نظرگرفتن قابلیت اطمینان، نشریه مهندسی کیفیت، مرکز تحقیقات کیفیت و بهره وری پارسیان، سال ۵، شماره ۲.

[۱۳] Peng, P., Snyder, L., Lim, A., & Liu, Z. (2011). Reliable logistics networks design with facility disruptions. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 45, pp. 1190-1211.

[۱٤] Pishvaee, M., Razmi, J., & Torabi, S. (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 206, pp. 1-20.

[۱٥] Snyder, L. (2006). Facility location under uncertainty: a review. *IIE Transactions*, 38(7), 547-564.

[۱٦] Pan, F., & Nagi, R. (2010). Robust supply chain design under uncertain demand in agile manufacturing. *Computers & Operations Research*, Vol. 37, pp. 668-683.

[۱۷] Baghalian, A., Rezapour, S., & Farahani, R. (2013). Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case. *European Journal of Operational Research*, Vol. 227, pp. 199-215.

[۱۸] Klibi, W., & Martel, A. (2013). The design of robust value-creating supply chain networks. *OR Spectrum*, Vol. 35(4), pp. 867-903.

[۱۹] Hatefi, S., & Jolai, F. (2014). Robust and reliable forward–reverse logistics network design under demand uncertainty and facility disruptions. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 38, pp. 2630-2647.

[۲۰] Zhang, P., & Zhang, W. (2014). Multiperiod mean absolute deviation fuzzy portfolio selection model with risk control and cardinality constraints. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 255, pp. 74-91.

[۲۱] Hamidieh, A., Naderi, B., Mohammadi, M., & Fazli-Khalaf, M. (2017). A robust possibilistic programming model for a responsive closed loop supply chain network design. *Cogent Mathematics*, Vol. 4.

[۲۲] Farrokh, M., Azar, A., Jandaghi, G., & Ahmadi, E. (2017). A novel robust fuzzy stochastic programming for closed loop supply chain network design under hybrid uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*.

[23] Snyder, L., & Daskin, M. (2006). Stochastic p-robust location problems. *IIE Transactions*, Vol. 38, pp. 971-985.

[۲٤] Hasani, A., Zegordi, S., & Nikbakhsh, E. (2012). Robust closed-loop supply chain network design for perishable goods in agile manufacturing under uncertainty. *International Journal of Production Research*, Vol. 50, pp. 4649-4669.

[۲٥] De Rosa, V., Gebhard, M., Hartmann, E., & Wollenweber, J. (2013). Robust sustainable bi-directional logistics network design under uncertainty. *International Journal of Production Economics*, Vol. 145, pp. 184-198.

[۲٦] Govindan, K., & Fattahi, M. (2017). Investigating risk and robustness measures for supply chain network design under demand uncertainty: A case study of glass supply chain. *International Journal of Production Economics*, Vol. 183, pp. 680-699.

[۲۷] Keyvanshokooh, E., Ryan, S., & Kabir, E. (2016). Hybrid robust and stochastic optimization for closed-loop supply chain network design using accelerated Benders decomposition. *European Journal of Operational Research*, Vol. 249, pp. 76-92.

[۲۸] Baoding Liu, & Yian-Kui Liu. (2002). Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 10, pp. 445-450.

[۲۹] Zhang, Y., Huang, G., Lin, Q., & Lu, H. (2012). Integer fuzzy credibility constrained programming for power system management. *Energy*, Vol. 38, pp. 398-405.

[۳۰] Pishvaee, M., Torabi, S., & Razmi, J. (2012). Credibility-based fuzzy mathematical programming model for green logistics design under uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 62, pp. 624-632.

[۳۱] Hatefi, S., Jolai, F., Torabi, S., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014). A credibility-constrained programming for reliable forward–reverse logistics network design under uncertainty and facility disruptions. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 28, pp. 664-678.

[۳۲] Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ε-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems. *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 213, pp. 455-465.