Scientific Journal of Supply Chain Management
Vol. 25, No. 2, Summer 2023, Serial No. 79
ISSN: 2008-9198 , E-ISSN: 2717-1647

Presenting Mathematical Programming Model for a Sustainable Resilient Closed Loop Supply Chain Considering the Response Criteria and the Uncertain Effects of Covid-19

Payam Mohebbi , Akbar Alem Tabriz* , Mohammad Javad Ershadi , Amir Azizi

*Professor, Department of Management, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

(Received: 16/08/2022, Revised: 16/04/2023, Accepted: 31/05/2023, Published: 22/06/2023)
DOR: 20.1001.1.20089198.1402.25.79.5.9

ABSTRACT

The aim of the current research is to develop a mathematical programming model to provide a resilience considering the quality of response and non-determinism of covid-19. For this purpose, library studies of a three-objective chain model have been designed with regard to the objectives of sustainability and resilience. The first goal includes resilience and cost, and the next two goals include environmental and social responsibility. Then the model was analyzed using NSGA-III meta-heuristic algorithm. The results show that applying resilience and sustainability leads to better use of materials, purchase of less materials, more recycling, and less disposal of materials, which benefits the supply chain. on the other hand, considering the uncertainty in the model, the results show that uncertainty has an effect on all three objective functions and leads to its deterioration. Regarding the realization of accountability, it is concluded that the realization of accountability requires more cost, intensifying environmental issues and of course improving social responsibility. That is, the more social responsibility increases, the more accountability, but increasing accountability requires increasing costs and worsening environmental issues .Finally, the effective strategies for improving the supply chain during the Covid era were examined, and the capacity increase strategies were determined as the best strategies.

Keywords: Sustainable Resilient Supply Chain, Accountability Criteria, Uncertain Effects of Covid-19.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: a-tabriz@sbu.ac.ir

نشریه علمی «مدیریت زنجیره تامین»
سال بیست و پنجم، شماره ۷۹، تابستان ۱۴۰۲؛ ص ۸۶- ۶۷
شاپای چاپی: ۲۰۰۸-۹۱۹۸| شاپای الکترونیکی: ۲۷۱۷-۱۶۴۷
علمی ـ پژوهشی

ارائه مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای زنجیره تأمین حلقه بسته تاب‌آور پایدار با در نظر گرفتن معیار پاسخگویی و اثرات غیر قطعی کووید ۱۹

پیام محبی [۱]، اکبر عالم‌تبریز [۲*]، محمدجواد ارشادی [۳]، امیر عزیزی [۴]

۱- دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی صنایع، دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه آزاد واحد علوم وتحقیقات، تهران، ایران ۲- استاد گروه مدیریت، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- دانشیار پژوهشگاه علوم وفناوری ایران (ایرانداک)، تهران، ایران ۴- استادیار، عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی ومهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات، تهران، ایران

DOR: 20.1001.1.20089198.1402.25.79.5.9

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰
تاریخ بازنگری:۱۴۰۲/۰۱/۲۷ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱

چکیده

هدف تحقیق حاضر ارائه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای زنجیره تأمین تاب آور با در نظر گرفتن معیار پاسخگویی و اثرات غیر قطعی کووید ۱۹می باشد. برای این منظور پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای یک مدل زنجیره تأمین سه هدفه با لحاظ کردن اهداف پایداری و تاب‌آوری طراحی شد. تابع هدف اول به‌طور ترکیبی شامل تاب‌آوری و هزینه است و دو هدف بعدی شامل اهداف زیست‌محیطی و مسئولیت اجتماعی می‌باشد. سپس مدل با استفاده از الگوریتم فراابتکاری NSGA-III مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفت. نتایج نشان می دهد که اعمال تاب‌آوری و پایداری منجر به استفاده بهتر از مواد، خرید مواد کمتر، بازیافت بیشتر و همچنین امحای کمتر مواد می شود که این به نفع زنجیره تأمین می‌باشد. از سوی دیگر با توجه به عدم قطعیت در مدل نتایج نشان می‌دهد که عدم قطعیت بر هر سه تابع هدف اثر داشته و منجر به بدتر شدن آن می‌شود. در خصوص تحقق پاسخگویی این نتیجه حاصل می‌شود که تحقق پاسخگویی نیازمند هزینه بیشتر، تشدید مسائل زیست محیطی و البته بهبود مسئولیت اجتماعی می‌باشد. یعنی هر چه مسئولیت اجتماعی بیشتر شود پاسخگویی بیشتر می‌شود اما افزایش پاسخگویی مستلزم افزایش هزینه و بدتر شدن مسائل زیست‌محیطی نیز می‌باشد. در نهایت استراتژی‌های اثرگذار بر بهبود زنجیره تأمین در دوران کووید بررسی شد که استراتژی‌های افزایش ظرفیت به‌عنوان بهترین استراتژی‌ها تعیین شدند.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین تاب‌آور پایدار، معیار پاسخگویی، اثرات غیر قطعی کووید۱۹

۱- مقدمه

زنجیره‌های تأمین به‌عنوان مبنای فعالیت‌های اقتصادی در کشورهای مختلف جهان شناخته شده‌اند. اهمیت این شبکه‌ها تولید کارآمد و به‌موقع و تحویل محصولات مختلف نظیر غذا، سوخت و دارو، پوشاک و قطعات کامپیوتر می‌باشد. این موضوع باعث توجه و انگیزه برای تحلیل آنها در بین محققان و متخصصین شده است. زیرساخت و ساختار فیزیکی زنجیره تأمین به‌وسیله طراحی شبکه زنجیره تأمین تعیین می شودکه بخشی از مرحله برنامه‌ریزی در مدیریت زنجیره تأمین به شمار می‌رود. گویندان و همکاران [۱]

هدف مدل‌های ریاضی طراحی شبکه زنجیره تأمین عموماً حداقل ساختن هزینه یا حداکثر ساختن سود می‌باشد اما در سالیان اخیر توجه به موضوعات پایداری از جمله مسائل زیست محیطی و زنجیره‌های تأمین افزایش یافته است. افزایش اهمیت اهداف زیست محیطی و محدودیت‌ها در جهان امروز باعث شده که تصمیم‌گیران به این موضوع توجه داشته و عوامل زیست‌محیطی را در فرایند تصمیم‌گیری لحاظ نمایند. چالش هایی نظیر رشد جمعیت و تغییر آب و هوا باعث افزایش دغدغه ها در خصوص مسائل زیست‌محیطی صنایع شده است. عباس و همکاران [۲] صنایع حدود ۵۰ درصد انرژی جهان را مصرف کرده و مسئول نشر بیش از یک سوم دی‌اکسیدکربن می‌باشند. رمضانیان و همکاران [۳] در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی باعث تعمیم مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن عوامل زیست‌محیطی شده و بر مواردی نظیر تسهیلات، ابزارها و حالات حمل و نقل، طراحی محصول و انتخاب تکنولوژی‌ها و غیره اثر می‌گذارد. از سوی دیگر پایداری اجتماعی هم که توجه اندکی را نسبت به پایداری زیست محیطی معطوف خود داشته است با مسائلی نظیر توسعه ناحیه‌ای، عدالت اجتماعی و حقوق

* رایانامه نویسنده مسئول: a-tabriz@sbu.ac.ir

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.
ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) © نویسندگان

بشر مواجه است. در کل تحقیقاتی که در حوزه طراحی زنجیره تأمین به بعد اجتماعی پایداری توجه داشته‌اند سه موضوع را در نظر می‌گیرند از جمله: شرایط کاری، مؤلفه های اجتماعی و مسائل مشتری. از منظر شرایط کاری اشتغال و استخدام مهمترین عامل به‌شمار می‌رود. تعداد مشاغل ایجاد شده، شاخص مزیت اجتماعی، آسیب به حوزه‌های مشتری و معیارهای امنیت شغلی عوامل مورد نظر در شرایط کاری در تحقیقات مختلف به‌شمار می‌روند. حوزه محیط اجتماعی شامل تصمیمات در خصوص بهبود سلامت عمومی، آموزش، فرهنگ و سیاست‌های توسعه ناحیه‌ای می‌شود.

تاب‌آوری در زنجیره تأمین مقوله مهم دیگری است که به قابلیت زنجیره تأمین برای مواجهه با پیامد رویدادهای ریسک به‌منظور بازگشت به وضعیت ناحیه‌ای یا رسیدن به یک وضعیت مطلوب‌تر پس از رخداد اختلاف تفسیر می‌شود. گانگولی وهمکاران [۴] به منظور افزایش تاب آوری در زنجیره های تأمین معمولاً یک یا چند استراتژی تاب آوری استفاده می شود. برخی از مهمترین استراتژی های تاب آوری منبع یابی متعدد، استفاده از تسهیلات پشتیبانی، تقویت تسهیلات، گسترش ظرفیت و نگهداری موجودی اضطراری می باشند. شیوع همه گیری کووید ۱۹ مشخصاً نشانگر نیاز به پیشبرد تاب آوری زنجیره تأمین در عمل و تحقیق می باشد. ایوانوف و دولگویی [۵] پایداری و تاب آوری در جهت تضمین بقای زنجیره تأمین تلاش می کنند. پایداری که با استفاده بهینه از انسان ها و محیط، همسو با کاهش در هزنیه تبعیت می کند تلاش می کند تا به بقای بلندمدت زنجیره تأمین دست یافته و تاب آوری متمرکز بر بقای سیستم با توجه به اختلال می باشد. بنابراین پایداری و تاب آوری می بایست در چارچوبی یکپارچه به منظور مزیت رساندن به اثرات سینرژیکی بین آنها و دستیابی به بهترین برایند در نظر گرفته شود.کاتیار و همکاران [۶]

پاسخگویی زنجیره تأمین در زمان رخداد اختلال کاهش می یابد. یک زنجیره تأمین پاسخگو می تواند به تغییرات تقاضای مشتری و تغییرات بازار هدف پاسخ دهد. زارع مهرجردی و شفیعی [۷] رویکردهای متفاوتی برای در نظر گرفتن پاسخگویی در مدل های بهینه سازی وجود دارد. یک رویکرد تعریف توابع هدفی نظیر حداقل سازی اختفای تحویل، حداکثر سازی نرخ پرسازی تقاضای مشتری یا حداقل ساختن تقاضای محقق نشده می باشد. رویکرد دیگرتعریف محدودیت هایی در مدل بهینه سازی نظیر محدودیت ها بر نرخ تحقق تقاضای مشتریان می باشد . صبوحی و همکاران [۸]

تحقیق حاضر تلاش دارد با توجه به در نظر گرفتن اثرات غیر قطعی کووید ۱۹ یک مدل برنامه ریزی ریاضی برای زنجیره تأمین تاب آور پایدار با در نظر گرفتن معیار پاسخگویی را ارائه نماید. در ادامه این مقاله ابتدا مرور ادبیات تشریح شده و سپس مدل ریاضی تحقیق ارائه می شود. پس از آن تجزیه و تحلیل اطلاعات بر اساس مدل ارائه شده صورت گرفته و در پایان نتیجه‌گیری ارائه می شود.

۲- مرور ادبیات

در این بخش به مروری بر ادبیات تحقیق بر اساس پاسخگویی، تاب آوری، پایداری و همچنین اثرات کووید ۱۹ در شرایط عدم قطعیت ارائه می شود. عباسیان و همکاران در سال ۲۰۲۳ به دنبال ارائه روشی جهت بهینه سازی یک زنجیره تأمین پایدار تاب آور در صنعت غذای فساد پذیر می باشد. کرباسی یزدی و همکاران در سال ۲۰۲۳ تاب آوری در زنجیره تأمین را تقویت کرده و یک روش تحلیل تصمیم گیری چند معیاره استوار را برای انتخاب ارائه گر خدمت حمل و نقل تحت عدم قطعیت ارائه می کنند. بسیم و همکاران در سال ۲۰۲۳ یک مدل زنجیره تأمین سبز پایدار را با نشر کربن برای اقلام معیوب تحت یادگیری در یک محیط فازی ارائه می کنند. گودرزیان و همکاران در سال ۲۰۲۳ الگوریتم متاهیورستیک ترکیبی را برای بهینه سازی شبکه زنجیره تأمین کشاورزی پایدار با در نظر گرفتن نشر دی اکسید کربن و مصرف اب ارائه می کنند. آقسمی و همکاران در سال ۲۰۲۳ به بهینه سازی متاهیورستیک برای یک مدل ریاضی جدید جهت حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی رضایت اهدا کننده در زنجیره تأمین خون با سیستمهای صف دارای ظرفیت نامحدود ارائه می کنند.

ولیعصر و روغنیان [۹] یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی چند هدفه را برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته و حلقه باز ترکیبی پایدار و تاب آورو پاسخگو ارائه می کند. کومار پائول و همکاران [۱۰] به بررسی احیای زنجیره تأمین برای اقلام با تقاضای بالا در دوران همه گیری کووید ۱۹می پردازد. ریبیرو و همکاران [۱۱] یک معیار زنجیره تأمین تاب آور جدید را ارائه می کند که در یک مدل بهینه سازی توسعه یافته قرار می گیرد. در این معیار اهداف پاسخگویی و اقتصادی در زمان طراحی زنجیره تأمین تاب آور حداقل می شود.

رینا کاستیلا و همکاران [۱۲] به دنبال تحلیل قدرت پیشگویانه مشخصه های پایداری اجتماعی بر عملکرد تاب آوری زنجیره تأمین در مضمون همه گیری کووید ۱۹ با موارد نمایندگر از کشورهای مکزیک و شیلی می باشد. تائو و همکاران [۱۳] یک مدل هزینه چرخه عمر محصول را برای حمایت از تولید کنندگان دیود ساتع کننده تایوانی در برنامه ریزی ظرفیت برای مدیریت زنجیره تأمین تاب آور و پایدار ارائه می کند. در تحقیق آنتونیو لوزانو دیز و همکاران [۱۴] یک مورد مطالعه در زنجیره تأمین تاب آور دارو مطرح می شود که به نرم افزارهای شبیه سازی و بهینه سازی حل می شود. پیپرانی و همکاران [۱۵] به دنبال

تعیین و اولویت بندی عوامل قابلیت تاب آور در مراحل مختلف اختلالات زنجیره تأمین در صنعت منسوجات پاکستان می باشد. کسکین [۱۶] یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین تاب آور را تحت سناریوهای مختلف در یک محیط فازی به وسیله در نظر گرفتن دو استراتژی تاب آوری مهم در زنجیره تأمین یعنی تقویت تأمین کنندگان و استفاده از استراتژی های تأمین کنندگان پشتیبان در نظر گرفتند.

یانگ و همکاران [۱۷] به ارائه استراتژی موجودی با مدیریت فروشنده با بهره‌گیری از خدمات لجستیکی بهم پیوسته در اینترنت فیزیکی پرداختند. ژائو و یو [۱۸] به طراحی و عملیات زنجیره‌های تأمین تاب‌آور تحت شکست های عدم قطعیت توجه دارند. مائو و همکاران در سال ۲۰۲۰ در مقاله خود تصمیم با حداکثر تاب‌آوری در شبکه را فرموله کردند. ارشاد ماری و همکاران [۱۹] در تحقیق خود به دنبال توسعه معیار تاب آوری کمی برای انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش در یک محیط فازی می باشند. وارد و هارگادن [۲۰] به توصیف ارزیابی کاوشگرانه اولیه از تاب آوری زنجیره تأمین در بخش پائین دستی زنجیره های تأمین دارویی پرداختندوبا استفاده از رویکرد تائید شده، دیتای پیمایش از چند مدیر زنجیره تأمین متخصص در بخش داروسازی جمع آوری شد. در مقاله زارع مهرجردی و همکاران در سال ۱۴۰۱ ارائه مدل ریاضی با رویکرد بهینه‌سازی استوار جهت طراحی زنجیره تأمین تاب آور و پایدار زیست توده تحت عدم قطعیت در تقاضای انرژی زیستی و اختلال در پالایشگاه انرژی زیستی ارائه شده است.

جدول (۱). مرور ادبیات تحقیق

محقق	سال	پایداری	تاب آوری	پاسخگویی	اثرات چند گانه کووید	عدم قطعیت	حلقه بسته	احیای کووید
عباسیان و همکاران	۲۰۲۳	✓				✓		
کرباسی یزدی وهمکاران	۲۰۲۳		✓					
بسیم و همکاران	۲۰۲۳	✓				✓	✓	
گودرزیان و همکاران	۲۰۲۳	✓		✓		✓		
آقسمی و همکاران	۲۰۲۳	✓				✓		
ولیعصر و روغنیان	۲۰۲۲	✓	✓	✓			✓	
کومار پائول و همکاران	۲۰۲۲		✓		✓	✓		✓
ریبیرو و همکاران	۲۰۲۲		✓	✓			✓	
رینا کاستیلا و همکاران	۲۰۲۲	✓	✓		✓	✓		
تائو و همکاران	۲۰۲۲	✓	✓					
آنتونیو دیز و همکاران	۲۰۲۰		✓					
پیپرانی و همکاران	۲۰۲۰		✓				✓	
کسکین	۲۰۲۰		✓			✓		
یانگ و همکاران	۲۰۱۷	✓	✓					
ژائو و یو	۲۰۱۸		✓			✓		
مائو و همکاران	۲۰۲۰		✓					
ارشاد ماری	۲۰۱۹		✓			✓		
وارد و هارگادن	۲۰۱۹		✓				✓	
تحقیق حاضر	۲۰۲۲	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

همانگونه که مشاهده می‌شود در جدول فوق تمامی تحقیقات به بحث تاب‌آوری در زنجیره تأمین پرداخته‌اند اما در بین این تحقیقات تعدادی به‌طور ترکیبی به زنجیره تأمین تاب‌آور و پایدار پرداخته‌اند از سوی دیگر در خصوص پاسخگویی نیز صرفاً دو پژوهش انجام شده است و فقط یک تحقیق ترکیب تاب‌آوری، پایداری و پاسخگویی را لحاظ کرده که این موضوع مربوط به پژوهش ولیعصر و روغنیان در سال ۲۰۲۲ می‌باشد. همچنین دو پژوهش به بحث اثرات کووید پرداخته‌اند از سوی دیگر صرفاً یک پژوهش مدلی جهت احیاء از کووید ارائه نموده‌اند که مدل کومار پائول و همکاران در سال ۲۰۲۲ می‌باشد. این در حالی است که پژوهش مزبور صرفاً موضوع تاب‌آوری را در نظر گرفته و مسئله پایداری و پاسخگویی در زنجیره تأمین را لحاظ نکرده است. با نگاهی به جدول فوق می‌توان دریافت که هیچیک از تحقیقات فوق یک مدل ترکیبی زنجیره تأمین پایدار، تاب آور و پاسخگو را با در نظر گرفتن احیاء از کووید ۱۹ ارائه نکرده است که این

می‌تواند یک شکاف تحقیقاتی مهم تلقی شده و تحقیق حاضر به دنبال رفع خلأ مذکور می‌باشد.

۳- مدل ریاضی

یک روش ساده برای تفکر در خصوص تاب‌آوری در زنجیره تأمین این است که تعیین شود چه کاری باید پیش و پس از اختلال در زنجیره تأمین صورت گیرد. چهار مرحله یعنی آماده‌سازی، پاسخ، احیاء و حفظ و نگهداری وجود دارد که در ادبیات تحقیق کم و بیش توصیف شده‌اند. همه‌گیری کووید ۱۹ از اوایل سال ۲۰۲۰ منجر به اثرات بسیاری در اقتصاد کشورها و همچنین به‌طور طبیعی بر زنجیره‌های تأمین گردید که پس از آن تمرکز بسیاری از زنجیره‌های تأمین را به سمت ایجاد تاب‌آوری در برابر همه‌گیری‌های احتمالی بعدی که می‌تواند شدیدتر یا خفیف تر از همه گیری کووید۱۹ باشد سوق داد. بنابراین دغدغه بسیاری از محققان و کارشناسان درحوزه زنجیره تأمین، ایجاد شبکه‌ای تاب‌آور از گره ها و اجزای زنجیره تأمین بود که بتواند به اندازه کافی در برابر حوادث اینچنینی مقاومت داشته باشد.

اما رویکرد اغلب تحقیقات متمرکز بر زنجیره تأمین تاب‌آور بود و این در حالی است که دغدغه‌های زیست‌محیطی و اجتماعی نیز چندان دور از دغدغه‌های تاب‌آوری نیست حتی از منظر برخی کارشناسان با توجه به اینکه همه‌گیری کووید ۱۹ تا حد زیادی کنترل شده می‌بایست تمرکز از تاب‌آوری به‌سمت پایداری حرکت کرده یا در بهترین حالت هر دو ویژگی در زنجیره های تأمین مد نظر قرار گیرد.

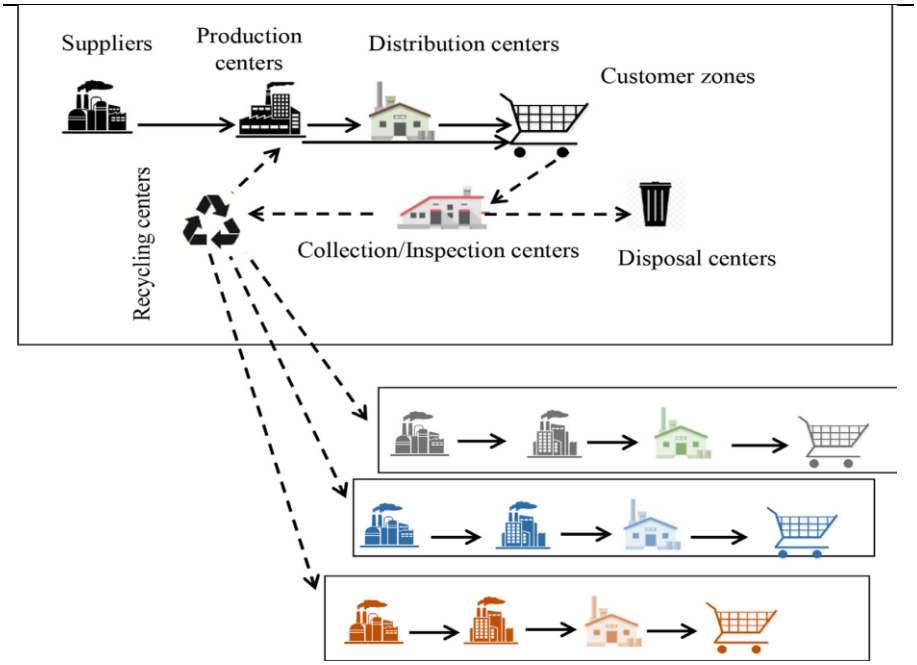
تحقیق حاضر با توجه به مسائل اشاره شده در تلاش است تا مدلی برای زنجیره تأمین تاب آور و پایدار در دوران رخداد همه‌گیری ارائه نموده که این مدل قابلیت احیاء نیز داشته باشد. مدل احیاء بر اساس اثرات چندگانه کووید ۱۹ طراحی می شود که این اثرات به شرح ذیل می باشد.

۱- افزایش تقاضا

۲- کاهش ظرفیت تولید

۳- کاهش ظرفیت تأمین

هر سه اثر فوق به عنوان عوامل غیر قطعی در نظر گرفته شده و در نهایت بر اساس برنامه‌ریزی احتمالی محدودیت عدم قطعیت در مدل حاضر در نظر گرفته می‌شود. شماتیک مدل به صورت کلی در وضعیت ذیل قرار دارد.



شکل (۱). شماتیک مدل (ولیعصر و روغنیان،۲۰۲۲)

همانگونه که مشاهده می‌شود یک زنجیره تأمین پایدار و تاب آور وجود دارد که عملیات جمع آوری، امحاء، توزیع، تولید و تأمین در آن صورت می گیرد. تکنولوژی های بازیافت و تولید متنوع در نظر گرفته شده است. در ادامه مفروضات مدل تعیین می شود.

۳-۱- مفروضات

۱- برخی پارامترها غیر قطعی می باشد.

۲- مدل چند دوره ای می باشد.

۳- مدل چند محصولی می باشد.

۴- محدودیت ظرفیت برای تمامی گره‌ها وجود دارد.

۵- تکنولوژی های بخش تولید و بازیافت متفاوت می باشد.
۶- مسائل زیست محیطی و اجتماعی در مدل لحاظ شده است.
۷- بر اساس تکنولوژی های مورد استفاده میزان تولید آلایندگی، میزان مصرف سوخت و هزینه متفاوت می باشد.

۸- محصولات بازگشتی از مشتری به مراکز جمع آوری در نظر گرفته شده است.
۹- مسئولیت های اجتماعی براساس فرصت های شغلی ایجاد شده تعریف می شود.

تأمین کننده	
تولیدکننده	j
توزیع کننده	k
مرکز جمع آوری	l
مرکز بازیافت	m
تکنولوژی	n
مرکز امحاء	o
ناحیه مشتری	q
دوره زمانی	t
نرخ بهره	ir
هزینه خرید محصولp خریداری شده از تأمین کنندهi در دورهt	CI_{ipt}
هزینه تولیدکالای تولید شدهp توسط تولیدکنندهj در دوره زمانیt با استفاده ازتکنولوژیn	CJ_{jtnp}
هزینه کالای نگهداری شدهp توسط توزیع کننده توسط توزیع کنندهk دردوره زمانیt	CK_{ktp}
هزینه جمع آوری محصولp توسط توزیع کنندهl در دوره زمانیt	CL_{ltp}
هزینه بازیافت کالایp توسط مرکز بازیافتm در دوره زمانیt با استفاده از تکنولوژیn	CM_{mntp}
هزینه امحای کالایp توسط مرکز امحاءo در دوره زمانیt	CO_{otp}
هزینه انتقال محصول از تأمین کنندهi به تولید کنندهj در دورهt	CTI_{ijt}

هزینه انتقال محصول از تولید کنندهj به توزیع کنندهk در دورهt	CTJ_{jktp}
هزینه انتقال کالا از توزیع کنندهk به ناحیه مشتریq در دوره زمانیt	CTK_{kqt}
هزینه انتقال محصول بازگشتی از ناحیه مشتریq به مرکز جمع آوریl در دوره زمانیt	CTL_{lqt}
هزینه انتقال محصول از مرکز جمع آوریl به مرکز بازیافتm در دوره زمانیt	CTM_{lmt}
هزینه انتقال محصول از مرکز جمع آوریl به مرکز امحاءo در دوره زمانیt	CTO_{otp}
استهلاک سرمایه در دوره زمانیt	DP_t
مالیات	tr
تعداد دوره های زمانی در مدل	$\|T\|$
تقاضای محقق نشده محصولp در دوره زمانیt	ID_{pt}
تقاضا برای هر محصولp در دوره زمانیt	D_{pt}
میزان تولید آلایندگی توسط تأمین کنندهI در دوره زمانیt	$POPI_{it}$
میزان تولید آلایندگی توسط تولید کنندهj در دوره زمانیt با استفاده از تکنولوژیn	$POPJ_{jnt}$
میزان مصرف انرژی برای تولید محصولp توسط تولید کنندهj در دوره زمانیt با استفاده از تکنولوژیn	$FUELJ_{jtnp}$
میزان مصرف انرژی برای نگهداری محصولp توسط توزیع کنندهk در دوره زمانیt	$FUELk_{ktp}$
میزان مصرف انرژی برای جمع آوری محصول توسط مرکز جمع آوریl در دوره *زمانی*t	$FUELL_{lt}$
میزان تولید آلایندگی توسط مرکز بازیافتm در دوره زمانیt با استفاده از تکنولوژیn	$POPM_{mnt}$
میزان مصرف انرژی توسط مرکز بازیافتm برای محصولP در دوره زمانیt با استفاده از تکنولوژیn	$FUELM_{mnt}$
میزان تولیدآلایندگی توسط مرکز امحاءo در دوره زمانیt	$POPO_{ot}$

میزان مصرف انرژی توسط مرکز امحاءo در دوره زمانیt	$FUELO_{ot}$
تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط تأمین کنندهi در دوره زمانیt	$JOBI_{it}$
تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط تولید کنندهj در دوره زمانیt تحت تکنولوژیn	$JOBJ_{jnt}$
تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط توزیع کنندهk در دوره زمانیt	$JOBK_{kt}$
تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط مرکز جمع آوریl در دوره زمانیt	$JOBL_{lt}$
تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط مرکز بازیافتm در دوره زمانیt تحت تکنولوژیn	$JOBM_{mnt}$
تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط مرکز امحاءo در دوره زمانیt	$JOBO_{ot}$
قیمت فروش محصولp در دوره زمانیt	$Price_{pt}$
ظرفیت تأمین کنندهi برای محصولp در دوره زمانیt	$CAPI_{ipt}$
ظرفیت تولیدکننده j برای تولید محصول p در دوره زمانیt با تکنولوژیn	$CAPJ_{jnpt}$
ظرفیت توزیع کنندهk برای نگهداری محصولp در دوره زمانیt	$CAPK_{kpt}$
ظرفیت مرکز جمع آوریl برای جمع آوری محصولp در دوره زمانیt	$CAPL_{lpt}$
ظرفیت مرکز بازیافتm برای بازیافت محصولp در دوره زمانیt با تکنولوژیn	$CAPM_{nlpt}$
ظرفیت امحاء کننده o برای امحاء محصولp در دوره زمانیt	$CAPO_{opt}$
بخشی از سرمایه مستهلک که می بایست در دوره زمانیt پرداخت شود.	FDC_t
اگر تأمین کنندهi در دوره زمانیt انتخاب شود۱و در غیراینصورت صفر	XI_{it}

اگر تولید کنندهj در دوره زمانیt برای تولید محصولp با تکنولوژیn انتخاب شود۱و در غیراینصورت صفر	XJ_{jtnp}
اگر توزیع کنندهk در دوره زمانیt برای توزیع محصولp انتخاب شود۱و در غیراینصورت صفر	XK_{ktp}
اگر مرکز جمع آوریl در دوره زمانیt برای جمع آوری محصولp انتخاب شود۱و در غیراینصورت صفر	XL_{ltp}
اگر مرکز بازیافتm در دوره زمانیt برای بازیافت محصولp با تکنولوژیn انتخاب شود۱و در غیراینصورت صفر	XM_{mtp}
اگر مرکز امحاءo در دوره زمانیt برای امحا محصولp انتخاب شود۱و در غیراینصورت صفر	XO_{otp}
میزان محصولp خریداری شده از تأمین کنندهi در دورهt	YI_{ipt}
میزان کالای تولید شدهp توسط تولید کنندهj در دوره زمانیt با استفاده ازتکنولوژیn	YJ_{jtnp}
میزان کالای توزیع شدهp توسط توزیع کنندهk در دوره زمانیt	YK_{ktp}
میزان کالای جمع آوری شدهp توسط توزیع کنندهl در دوره زمانیt	YL_{ltp}
میزان کالای بازیافت شدهp توسط مرکز بازیافتm در دوره زمانیt با استفاده از تکنولوژیn	YM_{mntp}
میزان کالای امحاء شدهp توسط مرکز امحاءo در دوره زمانیt	YO_{otp}
ارزش فعلی خالص	NPV
جریان نقدی در دوره زمانیt	CF_t
سود بعد از کسر مالیات در دوره زمانیt	NE_t

۳-۲- معیار پاسخگویی

در این بخش معیار پاسخگویی که به عنوان تابع هدف اول مسئله و ترکیبی از اهداف اقتصادی و تاب آوری در نظر گرفته شده است به‌طور کامل همراه با اجزای آن تشریح می شود.

۳-۲-۱- ارزش فعلی خالص مورد انتظار

ارزش فعلی خالص مورد انتظار برای هر سناریو و دوره با در نظرگرفتن جریان نقدی و نرخ بهره محاسبه می شود. در روابط ۲و۳ عایدات خالص محاسبه می شود در حالی‌که در رابطه اول ارزش فعلی خالص مورد انتظار برای هر سناریو و با در نظر گرفتن جریان نقدی محاسبه می گردد.

$$NPV = \sum_{t=1} \frac{CF_t}{(1+ir)^t} \quad (۱)$$

$$CF_t = NE_t - FDC_t \quad (۲)$$

جریان نقدی به وسیله رابطه فوق بر اساس تفاوت بین عایدات خالص و سرمایه مستهلک محاسبه می شود. معادله ذیل به محاسبه عایدات خالص می پردازد.

$$NE_{st} = (1-tr)\Big[\sum_p \sum_t Price_{pt}.YJ_{jtnp} - \sum_i \sum_p \sum_t CI_{ipt}.YI_{ipt} + \sum_j \sum_p \sum_t CJ_{ipt}.YJ_{ipt} + \sum_k \sum_p \sum_t CK_{ipt}.YK_{ipt} + \sum_l \sum_p \sum_t CL_{ipt}.YL_{ipt} + \sum_m \sum_p \sum_t CM_{ipt}.YM_{ipt} + \sum_o \sum_p \sum_t CO_{ipt}.YO_{ipt}\Big] + (tr.DP_t) \quad (۳)$$

در رابطه فوق عایدات خالص محاسبه می شود در حالیکه در رابطه اول ارزش فعلی خالص مورد انتظار برای هر سناریو و با در نظر گرفتن جریان نقدی محاسبه می گردد.

۳-۳- سطح خدمت مورد انتظار مشتری

سطح خدمت مورد انتظار مشتری درصد تقاضای محقق شده به صورت رابطه بین تقاضای محقق نشده و تقاضای کل می‌باشد. تقاضای محقق نشده می‌بایست در نتیجه تصمیمات اتخاذ شده در طی دوره های زمانی محاسبه شود که برتفاوت بین تقاضای واقعی و جریان ارسالی به هر بازار اثر می‌گذارد. سطح خدمت تقاضای مورد انتظار مشتری به صورت رابطه ذیل تعیین می‌شود.

$$ESC = \frac{\sum_{t=1}^{T}[\frac{\sum_{v=1}^{V}\sum_{p=1}^{P} ID_{pust}}{\sum_{v=1}^{V}\sum_{p=1}^{P} D_{pust}}])}{|T|} \quad (۴)$$

تقاضای محقق نشده به وسیله رابطه ذیل تعیین می شود که نشانگر تفاوت بین تقاضای درک شده برای هر بازار و محصول برای هر سناریو و دوره و مقدار محصول تحویل شده می باشد.

$$ID_{pt} = D_{pt} - \sum_{p=1}\sum_{t=1} Q_{pt} \quad (۵)$$

۳-۴- معیار عملکرد تاب آوری زنجیره تأمین

بر اساس تحقیق ریبیرو و باربوسا پوونا در سال ۲۰۱۸ ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ کمال احمدی و پرست در سال ۲۰۱۶ هوهنشتین و همکاران در سال ۲۰۱۵ نیاز به توسعه معیارهای زنجیره تأمین تاب آور به شکل جامع تر وجود دارد. در این تحقیق این هدف دنبال شده و یک معیار تاب آوری زنجیره تأمین که شامل اهداف اقتصادی و سطح خدمت می باشد توسعه می یابد. این در مدل به صورت یک تابع هدف در نظر گرفته شده و به شکل ذیل نشان داده می شود.

$$\max \frac{NPV_s}{NPV_{ref}} - \frac{[\frac{\sum_{v=1}^{V}\sum_{p=1}^{P} ID_{pt}}{\sum_{v=1}^{V}\sum_{p=1}^{P} D_{pt}}])}{|T|} \quad (۶)$$

اولین عبارت نشانگر بحث اقتصادی از طریق نرخ مغایرت بین ارزش فعلی خالص مورد انتظار زنجیره تأمین و ارزش فعلی خالص مورد انتظار بدست آمده برای شبکه زنجیره تأمین می باشد که می تواند ارزش فعلی مورد انتظار خالص را در زمانی که هیچ اختلالی رخ نمی دهد حداکثر نماید. این عبارت برای هر رقم مثبت کوچکتر از۱در صورتی تغییر می کند که ارزش فعلی مورد انتظار خالص کمتر از مرجع باشد. اما اینکه ارزش فراتر از ارزش واحد برود این موضوع مورد انتظار نیست چرا که ارزش فعلی خالص مرجع بهترین عملکرد اقتصادی در قیاس با موقعیتی می باشد که در آن اختلال رخ می دهد. به طور کلی این بخش علت انحرافات مشمول جریمه از بهترین ارزش فعلی خالص مورد

انتظار ممکن می باشد که نزدیکترین مقادیر به یک مقادیری می باشد که سرانجام بـر عملکـرد زنجیـره تـأمین بـه شـکلی مثبـت اثرگذار می باشد.

عبارت دوم تحقق تقاضای مشتری را به عنوان یک عامل تصـمیم کلیدی در نظر می گیرد که در آن تصمیم استراتژیک اتخـاذ مـی شود. این عبارت فرض می کند که مقـدار بـین صـفر و ۱ بـوده و نشانگر ارزش میانگین کسر بین تقاضای تحقق نشده و کل تقاضا می‌باشد. به‌طورکلی این بخش علت عـدم اجـازه بـه افـت سـطح خدمت مشتری به نفع بازده اقتصادی بوده و باعث ایجاد بیشترین مزیت می‌شود. رابطه بین دو بخش دلالت بـر ایـن دارد کـه ایـن مدل بر افزایش ارزش فعلی خالص مورد انتظار به انـدازه کـاهش تقاضای محقق نشده اثرگذار می باشد.

مدل زنجیره تأمین پایدار تاب آور بر اساس معیار پاسخگویی ارائه شده

$$max\ z2 = \frac{NPV_s}{NPV_{ref}} - \frac{[\frac{\sum_{v=1}^{V}\sum_{p=1}^{P} ID_{pt}}{\sum_{v=1}^{V}\sum_{p=1}^{P} D_{pt}}])}{|T|} \quad (۷)$$

$$\min z2 = \sum_i \sum_t POPI_{it} XI_{it} + \sum_j \sum_t \sum_p \sum_n POPJ_{jtnp} XJ_{jtp} + \sum_k \sum_t \sum_p POPK_{kpt} XK_{kpt} + \sum_l \sum_t \sum_p POPL_{lpt} XL_{lpt} + \sum_m \sum_t \sum_p POPM_{mpt} XM_{mpt} + \sum_o \sum_t \sum_p POPO_{opt} XO_{opt} + \sum_i \sum_t FUELI_{it} XI_{it} + \sum_j \sum_t \sum_p \sum_n FUELJ_{jtnp} XJ_{jtpn} + \sum_k \sum_t \sum_p FUELK_{kpt} XK_{kpt} + \sum_l \sum_t \sum_p FUELL_{lpt} XL_{lpt} + \sum_m \sum_t \sum_p \sum_n FUELM_{mpt} XM_{mnpt} + \sum_o \sum_t \sum_p FUELO_{opt} XO_{opt} \quad (۸)$$

رابطه فوق به دنبال حداقل سـاختن مسـائل زیسـت محیطـی بـا انتخاب بهترین گره ها می باشد. مسائل زیسـت محیطـی شـامل مصرف انرژی و تولید آلایندگی می باشد.

$$max\ z2 = \sum_i \sum_t JOBI_{it} XI_{it} + \sum_j \sum_t \sum_p \sum_n JOBJ_{jtnp} XJ_{jtp} + \sum_k \sum_t \sum_p JOBK_{kpt} XK_{kpt} + \sum_l \sum_t \sum_p JOBL_{lpt} XL_{lpt} + \sum_m \sum_t \sum_p JOBM_{mpt} XM_{mpt} + \sum_o \sum_t \sum_p JOBO_{opt} XO_{opt} \quad (۹)$$

رابطه فوق به بحث فرصت های شغلی پرداخته و مبنای حـداکثر ساختن مسئولیت های اجتماعی با انتخاب بهترین گره هایی مـی باشد که موفق به ایجاد بیشترین فرصت شغلی شده است.

$$\sum_i YI_{ipt} = \sum_n \sum_j YJ_{jtnp} \quad (۱۰)$$

رابطه فوق بیان می کند که میزان محصولات تأمین شـده از کـل تأمین کنندگان می بایست برابر با کل محصول تولید شده توسط تمامی تولید کنندگان با تمامی تکنولوژی ها باشد.

$$\sum_n \sum_j YJ_{jtnp} = \sum_k YK_{ktp} \quad (۱۱)$$

رابطه فوق نشان می دهد که میزان کـل محصـول تولیـدی بایـد برابر با کل محصولات دریافتی توسط توزیع کنندگان باشد.

$$\sum_k YK_{ktp} \geq \sum_l YL_{ltp} \quad (۱۲)$$

رابطه فوق نشان می دهد که میزان کـل محصـولات جمـع آوری شده نمی تواند از کل محصولات توزیع شده بیشتر با شد.

$$\sum_l YL_{ltp} \geq \sum_m \sum_n YM_{mntp} \quad (۱۳)$$

رابطه فوق نشان می دهد که میزان کل محصولات بازیافتی نمـی تواند از کل محصولات جمع آوری شده بیشتر باشد.

$$\sum_l YL_{ltp} \geq \sum_o YO_{otp} \quad (۱۴)$$

رابطه فوق بیان می کند که کل محصولات امحاء شده نمی توانـد از محصولات جمع آوری شده بیشتر باشد.

$$YI_{ipt} \leq M.XI_{it} \quad (۱۵)$$

رابطه فوق نشان می دهد در صورتی حجم برای تأمین محصولات وجود دارد که تأمین کننده ای انتخاب شده باشد.

$$YJ_{jtnp} \leq M.XJ_{jtnp} \qquad (۱۶)$$

رابطه فوق نشان می دهد در صورتی حجم برای تولید محصولات وجود دارد که تولیدکننده ای انتخاب شده باشد.

$$YK_{ktp} \leq M.XK_{ktp} \qquad (۱۷)$$

رابطه فوق نشان می دهد در صورتی حجم برای توزیع محصولات وجود دارد که توزیع کننده ای انتخاب شده باشد.

$$YL_{ltp} \leq M.XL_{ltp} \qquad (۱۸)$$

رابطه فوق نشان می دهد در صورتی حجم برای جمع آوری محصولات وجود دارد که مرکز جمع آوری انتخاب شده باشد.

$$YM_{mntp} \leq M.XM_{mtp} \qquad (۱۹)$$

رابطه فوق نشان می دهد در صورتی حجم برای بازیافت محصولات وجود دارد که بازیافت کننده ای انتخاب شده باشد.

$$YO_{otp} \leq M.XO_{otp} \qquad (۲۰)$$

رابطه فوق نشان می دهد در صورتی حجم برای امحاء محصولات وجود دارد که امحاء کننده ای انتخاب شده باشد.

$$YI_{ipt} \leq CAPI_{ipt} \qquad (۲۱)$$

رابطه فوق نشانگرمحدودیت ظرفیت تأمین می باشد.

$$YJ_{jtnp} \leq CAPJ_{jpt} \qquad (۲۲)$$

رابطه فوق نشانگرمحدودیت ظرفیت تولید می باشد.

$$YK_{ktp} \leq CAPK_{kpt} \qquad (۲۳)$$

رابطه فوق نشانگرمحدودیت ظرفیت توزیع می باشد.

$$YL_{ltp} \leq CAPL_{lpt} \qquad (۲۴)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت ظرفیت جمع آوری می باشد.

$$YM_{mntp} \leq CAPM_{lpt} \qquad (۲۵)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت ظرفیت بازیافت می باشد.

$$YO_{otp} \leq CAPO_{opt} \qquad (۲۶)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت ظرفیت امحاء می باشد.

$$\sum_n \sum_j YJ_{jtnp} \geq D_{pst} \qquad (۲۷)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت تقاضا است.

$$NPV = \sum_{t=1} \frac{CF_t}{(1+ir)^t} \qquad (۲۸)$$

رابطه فوق نشانگر محاسبه ارزش فعلی خالص زنجیره تأمین می باشد.

$$CF_t = NE_{st} - FDC_t \qquad (۲۹)$$

رابطه فوق نشانگر محاسبه جریان نقدی می باشد.

$$\begin{aligned} NE_{st} = {} & (1-tr)\Big[\sum_p \sum_t Price_{pt}.YJ_{jtnp} - \\ & \sum_i \sum_p \sum_t CI_{ipt}.YI_{ipt} + \\ & \sum_j \sum_p \sum_t CJ_{ipt}.YJ_{ipt} + \\ & \sum_k \sum_p \sum_t CK_{ipt}.YK_{ipt} + \\ & \sum_l \sum_p \sum_t CL_{ipt}.YL_{ipt} + \\ & \sum_m \sum_p \sum_t CM_{ipt}.YM_{ipt} + \\ & \sum_o \sum_p \sum_t CO_{ipt}.YO_{ipt}\Big] + (tr.DP_t) \end{aligned} \qquad (۳۰)$$

رابطه فوق عایدات خالص زنجیره تأمین را محاسبه می کند.

۳-۵- مدل احیاء بر اساس اثرات چندگانه کووید ۱۹

یک طرح احیاء طرح زنجیره تأمین اصلاح شده برای یک دوره زمانی معین بر اساس پارامترهای عملیاتی تغییر یافته در قیاس با حالت ایده آل می باشد. در این بخش به تشریح پارامترهای تغییر یافته پرداخته می شود.

اثرات کووید ۱۹ بر زنجیره تأمین به شرح ذیل می باشد.

الف)- کاهش ظرفیت تولید به سبب فاصله گذاری اجتماعی و سایر اقدامات که مشخص نمی باشد.

ب)- کاهش ظرفیت تأمین که مشخص نمی با شد.

ج)- افزایش تقاضا که مشخص نیست.

یک حالت تعمیم یافته در نظر گرفته می شود که در آن شبکه زنجیره تأمین از اثر همه گیری کووید ۱۹ متاثر شده است. تقاضا برای برخی کالاها به شکل نامعینی افزایش می یابد در حالیکه کمبود در تأمین مواد خام و کالا نیز مشخص نیست. مغایرت تقاضا به سه بخش ضعیف، متوسط و بالا تفکیک می‌شود. به منظور رفع این عدم قطعیت در عرضه و تقاضا طرح زنجیره تأمین باید اصلاح شود تا از اثرات کووید ۱۹ احیاء صورت گیرد. طرح زنجیره تأمین اصلاح شده بهینه می‌بایست با تعدیل در تأمین تولید و توزیع در طی افق احیاء به‌منظور حداکثر ساختن سود زنجیره تأمین ایجاد شود.

برای این منظور یک مدل ریاضی تصادفی برای ایجاد طرح احیاء توسعه می‌یابد. به منظور مدیریت پارامترهای غیر قطعی مدل از یک روش محدودیت احتمالی استفاده شده و استراتژی های احیای ذیل همسو با ادبیات موجود دنبال می‌شود.

الف)- افزایش در ظرفیت تولید با استفاده از شیفت های کاری اضافی، خرید ماشین آلات، استفاده از ظرفیت های قطعات یدکی، تسهیلات تولیدی و استخدام نیروی کار

ب)- افزایش در تأمین مواد خام با استفاده از منبع یابی اضطراری و همکاری با شرکاء

ج)- هزینه تقاضای از دست رفته. اگر یک زنجیره تأمین قادر به تحقق تقاضا نباشد هزینه برای از دست رفتن تقاضا وجود خواهد داشت.

موارد ذیل شامل نمادهای ریاضی برای مدل احیاء می باشد.

N	تعداد دوره های برنامه ریزی در افق احیاء
$P1_{jn}$	کاهش ظرفیت تولیدکنندهj در دوره زمانیn در افق احیاء که قطعی نمی باشد.
$P2_{jn}$	افزایش در ظرفیت تولیدکارخانهj در دوره زمانیn در افق احیاء که قطعی نمی باشد.
P'_{jn}	ظرفیت کل تولیدکارخانهj در دوره زمانیn در افق احیاء
P'_{in}	کاهش ظرفیت تأمین، توسط تأمین کنندهi در دورهn در افق احیاء که غیر قطعی می باشد.
ESET	تأمین کنندگان اضطراری
ES_{in}	ظرفیت تأمین، توسط تأمین کننده اضطراریe دردوره زمانیn در افق احیاء که قطعی نمی باشد
$\widetilde{D}_n$	افزایش تقاضا در افق احیایn
$T1_{ijn}$	هزینه انتقال مواد از تأمین کنندهi به کارخانهj دردورهn درافق احیاء
$T2_{jn}$	هزینه تولیدکارخانهj دردورهn در افق احیاء
$T3_{jkn}$	هزینه انتقال از تولیدکنندهj به توزیع کنندهk دردورهn در افق احیاء
$T4_{ejn}$	هزینه انتقال از تأمین کننده اضطراریe به تولید کنندهj دردورهn در افق احیاء
F_j	هزینه ثابت افزایش ظرفیت برای تولیدکنندهj در افق احیاء
C_j	هزینه متغیر افزایش ظرفیت برای تولیدکنندهj در افق احیاء
$SPrice$	قیمت فروش هر واحد محصول
X'_{ijn}	مقدار تأمین محصول از تأمین کنندهi برای تولیدکنندهj دردوره زمانیn
Y'_{jn}	میزان تولید درکارخانهj در دورهn در افق احیاء
Z'_{jkn}	میزان تحویل از تولید کنندهj به توزیع کنندهk در دوره احیایn
E'_{ejn}	میزان تأمین از تأمین کننده اضطراریe به کارخانهj در دوره زمانیn در افق احیاء

بر این اساس معادلات ذیل برای هزینه و درآمد ارائه می شود.

هزینــه $\sum_{i=1}\sum_{j=1}\sum_{n=1} T1_{ijn} X'_{ijn}$ (۳۱)

حمل و نقل و مواد خام از تأمین کنندگان فعلی

$$\sum_{e=1}\sum_{j=1}\sum_{n=1} T4_{ejn} E'_{ejn} \quad (۳۲)$$

هزینه انتقال و مواد خام از تأمین کنندگان اضطراری

$$\sum_{j=1}\sum_{n=1} T2_{jn} Y'_{jn} \quad (۳۳)$$

هزینه تولید

$$\sum_{j=1} F_j + \sum_{j=1} C_j \left(\sum_{n=1} Y'_{jn} - \sum_{n=1} P1_{jn}\right) \quad (۳۴)$$

$$F_j = 0 \; if \; \sum_{n=1} Y'_{jn} = \sum_{n=1} P1_{jn} \quad (۳۵)$$

هزینه افزایش ظرفیت

$$\sum_{j=1}\sum_{k=1}\sum_{n=1} T3_{jkn} Z'_{jkn} \quad (۳۶)$$

هزینه حمل و نقل از کارخانه های تولیدی به توزیع کنندگان

$$\sum_{k=1}\sum_{n=1} \widetilde{D}_{kn} - \sum_{j=1}\sum_{k=1}\sum_{n=1} Z'_{jkn} \quad (۳۷)$$

هزینه تقاضای از دست رفته

$$SPRICE \;\; \sum_{j=1}\sum_{k=1}\sum_{n=1} Z'_{jkn} \quad (۳۸)$$

درآمدکل

بر اساس روابط فوق رابطه محاسبه عایدات خالص به صورت زیـر تبدیل شده و لذا در مقدار تابع هدف اثرگذار می باشد.

$$NE_{st} = (1 - tr)\Big[SPRICE \;\; \sum_{j=1}\sum_{k=1}\sum_{n=1} Z'_{jkn} - \sum_{i=1}\sum_{j=1}\sum_{n=1} T1_{ijn} X'_{ijn} + \sum_{e=1}\sum_{j=1}\sum_{n=1} T4_{ejn} E'_{ejn} + \sum_{j=1}\sum_{n=1} T2_{jn} Y'_{jn} + \sum_{j=1} F_j + \sum_{j=1} C_j \left(\sum_{n=1} Y'_{jn} - \sum_{n=1} P1_{jn}\right) + \sum_{j=1}\sum_{k=1}\sum_{n=1} T3_{jkn} Z'_{jkn} + \sum_{k=1}\sum_{n=1} \widetilde{D}_{kn} - \sum_{j=1}\sum_{k=1}\sum_{n=1} Z'_{jkn}\Big] \quad (۳۹)$$

$$\sum_{j=1} X'_{ijn} \le S'_{in} \quad (۴۰)$$

محدودیت تأمین از تأمین کنندگان اضطراری

$$\sum_{j=1} E'_{ejn} \le ES_{en} \quad (۴۱)$$

محدودیت های تولیدی

$$Y'_{jn} \le p1_{jn} + p2_{jn} \quad (۴۲)$$

محدودیت تقاضا

$$\sum_{j=1} Z'_{jkn} \le \widetilde{D}_n \quad (۴۳)$$

محدودیت تقاضای از دست رفته

$$\sum_{k=1}\sum_{n=1} \widetilde{D}_{kn} - \sum_{j=1}\sum_{k=1}\sum_{n=1} Z'_{jkn} \ge 0 \quad (۴۴)$$

محدودیت توازن تقاضا

$$Y'_{jn} = \sum_{k=1} Z'_{jkn} \quad (۴۵)$$

$$\sum_{i=1} X'_{jkn} = Y'_{jn} \quad (۴۶)$$

۳-۵- رویکرد برنامه ریزی محدودیت احتمالی

در این تحقیق یک رویکرد برنامه ریزی محدودیت احتمالی جهت مواجهه با پارامترهای غیر قطعی در نظر گرفته می شود. بر اساس

تحقیق هی و همکاران در سال ۲۰۰۹ یک محدودیت احتمالی به صورت زیر می باشد.

$$pro[g(x.\zeta) \geq \beta] \geq \Psi \qquad (۴۷)$$

در اینجا $\zeta = (a1.a2.\dots an)$ یک بردار تصادفی می باشد تابع $g(x.\zeta)$ دارای فرم زیر می باشد.

$$g(x.\zeta) = a1x1 + a2x2 + \cdots + anxn \qquad (۴۸)$$

و $\boldsymbol{\beta}$ حداکثر مقدار تابع $g(x.\zeta)$ می باشد. Ψ حداکثر سطح خدمت تعیین شده توسط کاربر می باشد.

برای مسائل بهینه سازی عدم قطعیت به دو شکل متفاوت تفکیک می شود. عدم قطعیت در عدد سمت راست و عدم قطعیت ماتریسی. بر اساس موقعیت پارامترهای غیر قطعی محدودیت ها در یک مدل ریاضی می تواند به عدم قطعیت عدد سمت چپ و عدد سمت راست اشاره داشته باشد. در نظر گرفتن عدم قطعیت در یک مدل ریاضی یا معرفی پارامترهای تصادفی در مدل بهینه سازی به صورت یک رویکرد بهینه سازی پیشگیرانه تأئید می شود. این تحقیق نیز به دنبال ارائه یک رویکرد پیشگیرانه می باشد که در آن محدودیت های با عدم قطعیت به کمک برنامه ریزی احتمالی در نظر گرفته می شود. فرض می شود که یک معادله محدودیت خاص از یک مسئله بهینه سازی به شرح ذیل می باشد

$$\tilde{A}x \leq \tilde{b} \qquad (۴۹)$$

در اینجا $\tilde{A}$ نشانگر عدم قطعیت ماتریسی و $\tilde{b}$ عدم قطعیت در عدد سمت راست می باشد. در اینجا $\forall v \in V$ تعداد متغیرهای تصمیم برای مسئله بهینه سازی و $\forall c \in C$ تعداد محدودیتها در مدل بهینه سازی با عدم قطعیت می باشد. بر اساس معادله قبلی اگر مدل دارای عدم قطعیت اعداد سمت راست صرفاً باشد معادله محدودیت احتمالی اصلاح شده باید به شکل ذیل در بیاید.

$$Pro(\sum_{v=1}^{V} a_{cv}\, x_v \leq \tilde{b}) \geq \Psi_c \qquad (۵۰)$$

به منظور محاسبه معادل قطعی رابطه فوق فرمول ذیل بدست می آید.

$$\sum_{v=1}^{V} a_{cv}\, x_v \leq \hat{F}_{\tilde{b}c}^{-1}(1-\Psi_c).\, c \qquad (۵۱)$$

که در اینجا $\hat{F}_{\tilde{b}c}^{-1}(1-\Psi_c)$ تابع چگالی تجمعی معکوس پارامترهای عدد سمت راست غیر قطعی در معادله محدودیت می باشد.

۳-۶- مدل احیای اصلاح شده بر اساس برنامه ریزی محدودیت احتمالی

اکنون فرایند مواجهه با پارامترهای غیر قطعی و مدل ریاضی اصلاح شده تبیین می شود. چرا که اثرات ظرفیت تأمین کننده در کووید ۱۹ در دوره زمانی ظرفیت تولید کارخانه تولیدی و ظرفیت تأمین برای تأمین کننده اضطراری دارای ماهیت تصادفی می باشد.

برای پارامتر تصادفی اول یعنی S'_{in} فرض می شود که

$$S'_{in} = (S'_{1n}.\dots.S'_{In}) \qquad (۵۲)$$

N بردار ظرفیت تأمین کننده برای تمامی تأمین کنندگان در دوره n در افق احیاء می باشد. بردار تصادفی با تابع توزیع تجمعی پیوسته تصادفی می باشد. به سبب ماهیت تصادفی محدودیتهای تأمین دیگر تعریف نمی شود. یک روش برای پیکربندی این محدودیت با در نظر گرفتن محافظه کارانه ترین مقادیر و در واقع حداقل مقادیر ظرفیت تأمین می باشد که در مقابل ممکن است منجر به یک سناریوی ایجاد محصول شودکه مرتبط با یک آینده بسیار بعید است. تأثیر عکس آن نیز ممکن است اگر ما یک رقم بهینه را برای بردار مربوطه در نظر بگیریم لذا در نظر گرفتن محدودیتهای احتمالی تضمین کننده یک آستانه تعریف شده توسط کاربر است. اگر $\boldsymbol{\theta}1$ یک مقدار حد فوقانی یا سطح اعتبار باشد که تضمین می کند که احتمال مقدار تأمین کل از تأمین کننده i به کارخانه تولیدی در دوره n می بایست کمتر یا برابر با حداکثر ظرفیت تأمین، تأمین کننده باشد.

با این فرض بر اساس ساختار محدودیت احتمالی وضعیت قطعی معادله مربوط به کمبود ظرفیت به این صورت بازنویسی می شود.

$$\sum_{j=1} X'_{ijn} \leq \hat{F}_{S'_{in}}^{-1}\big(1-\theta1\big) \qquad (۵۳)$$

به منظور حل پارامتر تصادفی یک متغیر تصمیم می تواند از هر توزیع احتمال بر اساس داده های تاریخی قبلی یا نوع توزیع مجهول استفاده کند. بر اساس سطح اطمینان یا درجه باور$\theta1$ یک تصمیم گیرنده دارای یک مجموعه متفاوت از معادلات محدودیت می باشد که در نتیجه ارائه گر یک مجموعه متفاوت از متغیرهای تصمیم بر اساس تحقق سطح اطمینان می باشد.

با توجه به ماهیت تصادفی ظرفیت برای تأمین کننده اضطراری e در دوره n در افق احیاء تعیین می شود که بردار ظرفیت تأمین

تصادفی برای تمامی تأمین کنندگان اضطراری به صورت زیر می باشد.

$$ES_{en} = (ES_{1n}. \dots ES_{\Gamma n}) \qquad (۵۴)$$

در اینجاΓ نشانگر کل تعداد تأمین کنندگان اضطراری می باشد. همچنین به سبب این ماهیت تصادفی نیاز است که بر اساس برنامه ریزی احتمالی محدودیت مربوط به درستی انجام شود. در این مرحله فرض می شود که$\boldsymbol{\theta}$۲ سطح اطمینان تعریف شده توسط کاربر یا درجه باور است که تضمین می کند که احتمال مقدار تأمین کل از تأمین کننده اضطراری e به کارخانه تولیدی j در دوره n می بایست کمتر یا برابر با حداکثر ظرفیت تأمین کننده برای تأمین کننده اضطراری e در دوره $ES_{\Gamma n}$ باشد. در نتیجه معادل قطعی محدودیت مربوطه به شرح ذیل می باشد.

$$\sum_{j=1} E'_{ejn} \le \hat{F}^{-1}_{ES_{en}}(1-\theta 2) \qquad (۵۵)$$

از آنجایی که ظرفیت تولید افزوده یک کارخانه در دوره n به صورت یک پارامتر تصادفی در نظرگرفته می شود فرض می شود که P'_{jn} بردار ظرفیت تولید دردوره n در افق احیاء بوده و به این صورت تعریف می شود.

$$P'_{jn} = (P'_{1n}. \dots P'_{Jn}) \qquad (۵۶)$$

به سبب ماهیت تصادفی P'_{jn} محدودیت مربوطه می بایست بر اساس برنامه ریزی احتمالی محدودیت اصلاح شود. فرض می شود که $\boldsymbol{\theta}$3 سطح اطمینان تعریف شده توسط کاربر یا درجه باور می باشد که تضمین می کند که احتمال مقدار تولید درکارخانه j در دوره n در افق احیاء کمتر یا برابر با افزایش ظرفیت تولید می باشد بنابراین معادله قطعی محدودیت مربوطه به صورت زیر می باشد.

$$Y'_{jn} \le \hat{F}^{-1}_{p1_{jn}}(1-\theta 3) \ + \hat{F}^{-1}_{p2_{jn}}(1-\theta 3) \qquad (۵۷)$$

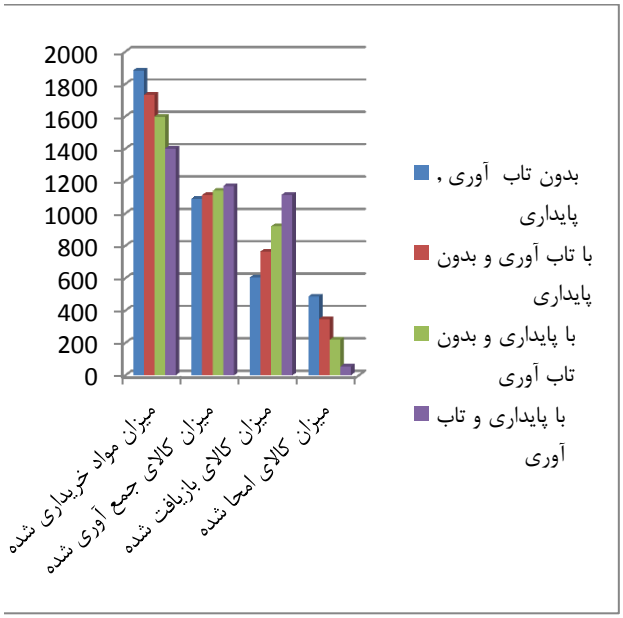
به منظور توسعه مدل ریاضی اصلاح شده برای طرح احیاء تمامی روابط قطعی بر اساس برنامه ریزی احتمال محدودیت بازنویسی می شود.

۴- تجزیه و تحلیل

در این بخش در ابتدا بررسی اثر استراتژی های مختلف تاب آوری و پایداری بر میزان مواد خریداری شده، میزان کالای جمع آوری شده، میزان کالای بازیافت شده و میزان کالای امحاء شده ارائه می شود. این استراتژی‌ها در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲). بررسی اثر استراتژی های تاب آوری و پایداری بر مواد خریداری شده، جمع آوری شده و بازیافتی و امحاء شده

استراتژی ها	میزان مواد خریداری شده(تن)	میزان کالای جمع آوری شده(تن)	میزان کالای بازیافت شده(تن)	میزان کالای امحاء شده(تن)
بدون تاب آوری , پایداری	۱۸۸۵	۱۰۹۳	۶۰۶	۴۸۷
با تاب آوری و بدون پایداری	۱۷۳۳	۱۱۱۵	۷۶۶	۳۴۹
با پایداری و بدون تاب آوری	۱۵۹۹	۱۱۴۲	۹۲۲	۲۲۰
با پایداری و تاب آوری	۱۴۰۲	۱۱۷۱	۱۱۱۷	۵۴

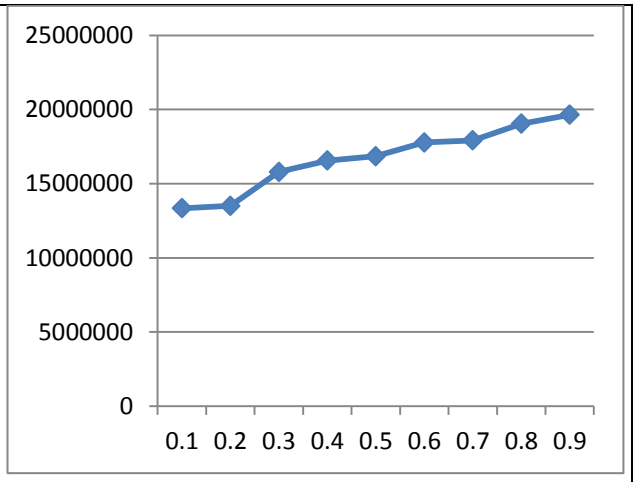


نمودار (۱). بررسی اثر استراتژی های تاب آوری وپایداری بر مواد خریداری شده، جمع آوری شده، بازیافتی وامحاء شده

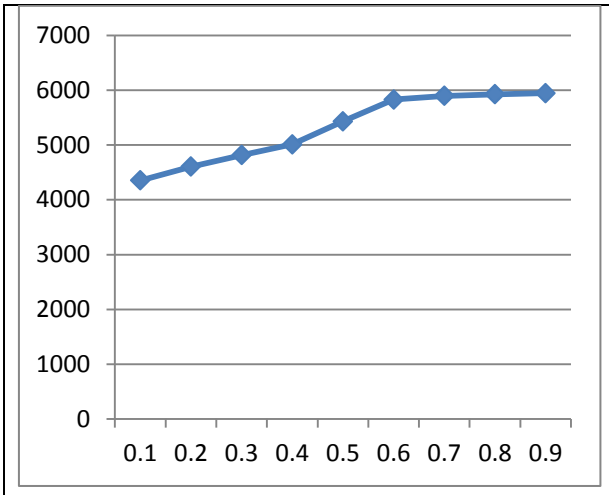
همانگونه که مشاهده می شود استراتژی بدون پایداری و تاب آوری منجر به بیشترین میزان مواد خریداری شده می شود که به دلیل افزایش هزینه برای زنجیره تأمین قطعاً به صرفه نمی باشد. اما استراتژی پایداری و تاب آوری به صورت توأم منجر به میزان بالای کالای بازیافتی و کالای جمع آوری شده و کمترین میزان کالای امحاء شده می شود. در حالی که تفاوت بین این استراتژی و استراتژی عدم تاب آوری و پایداری در خصوص مواد خریداری فاصله زیادی را نشان می دهد. از سوی دیگر میزان کالای بازیافت شده در خصوص استراتژی تاب آوری و پایداری و استراتژی عدم تاب آوری و پایداری تفاوت قابل توجهی را نشان می دهد. بنابراین هر چه تاب آوری و پایداری افزایش یابد میزان کالای بازیافت شده بیشتر شده و میزان کالای خریداری شده کاهش می یابد. ضمن اینکه میزان کالای امحاء شده نیز کاهش می یابد. استراتژی های بینابینی یعنی تاب آوری و عدم پایداری و همچنین عدم تاب آوری و پایداری نقش میانه را در بین این دو استراتژی ایفا می کنند.در ادامه واکنش توابع هدف به افزایش میزان پاسخگویی در زنجیره تأمین بررسی می شود.

جدول(۳). واکنش توابع هدف مسئله به افزایش میزان پاسخگویی

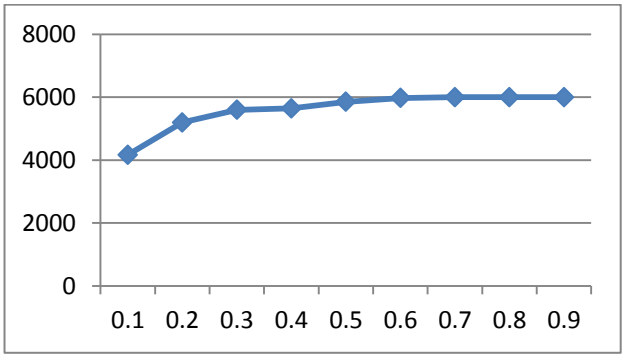
سطح پاسخگویی	هزینه	مسائل زیست محیطی	مسئولیت اجتماعی
۰,۱	۱۳۳۴۱۴۹۴	۴۳۵۲	۴۱۶۹
۰,۲	۱۳۵۰۸۱۷۶	۴۶۰۳	۵۱۹۴
۰,۳	۱۵۷۹۴۹۵۶	۴۸۱۶	۵۵۹۵
۰,۴	۱۶۵۶۳۰۵۵	۵۰۰۹	۵۶۴۲
۰,۵	۱۶۸۵۳۸۶۳	۵۴۳۲	۵۸۵۰
۰,۶	۱۷۷۷۳۵۸۱	۵۸۲۸	۵۹۷۲
۰,۷	۱۷۹۲۳۴۲۴	۵۸۹۴	۵۹۹۷
۰,۸	۱۹۰۳۸۷۶۴	۵۹۲۳	۶۰۰۰
۰,۹	۱۹۶۴۵۵۸۱	۵۹۴۵	۶۰۰۰



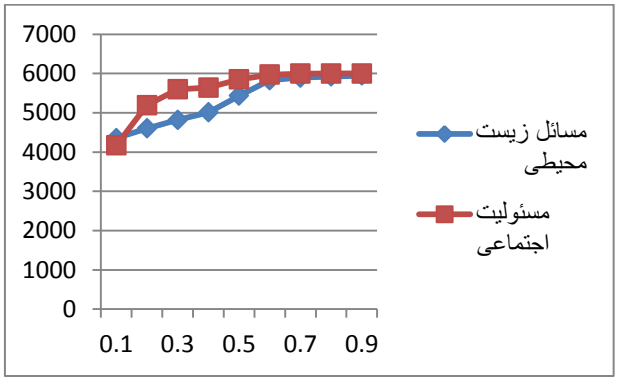
نمودار (۲). واکنش تابع هدف هزینه به افزایش میزان پاسخگویی



نمودار (۳). واکنش تابع هدف مسائل زیست محیطی به افزایش میزان پاسخگویی



نمودار (۴). واکنش تابع هدف مسائل اجتماعی به افزایش میزان پاسخگویی



نمودار (۵). مقایسه واکنش توابع هدف زیست محیطی و اجتماعی به افزایش میزان پاسخگویی

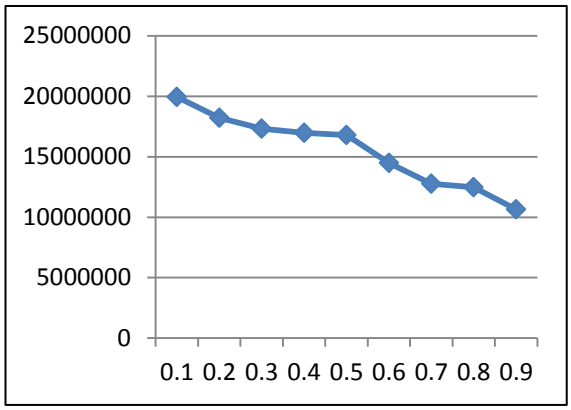
براساس نمودارهای فوق می توان دریافت که با افزایش پاسخگویی، هزینه زنجیره تأمین و همچنین مسائل زیست محیطی افزایش می یابد اما در مسئولیت اجتماعی در زنجیره تأمین بهبود حاصل می شود و لذا می توان گفت افزایش پاسخگویی منجر به بهبود مسائل اجتماعی و بدتر شدن مسائل هزینه و مسائل زیست محیطی در زنجیره تأمین می شود.

در ادامه واکنش توابع هدف به وزن ها پرداخته می شود.

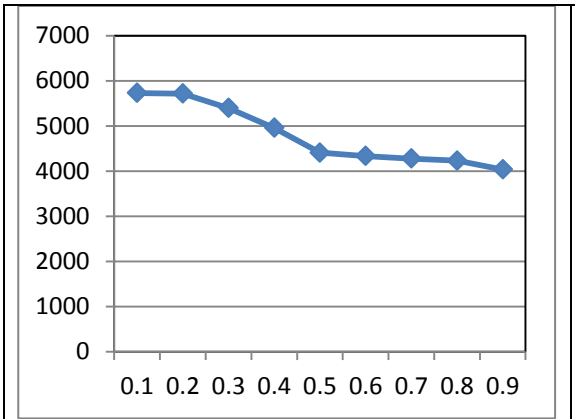
جدول (۴). واکنش توابع هدف به افزایش وزن توابع هدف

سطح پاسخگویی	هزینه	مسائل زیست محیطی	مسئولیت اجتماعی
۰,۱	۱۹۹۲۲۶۸۰	۵۷۲۸	۴۲۳۰
۰,۲	۱۸۲۰۵۰۹۴	۵۷۱۶	۴۵۹۷
۰,۳	۱۷۳۰۳۹۵۹	۵۳۹۵	۴۷۴۸
۰,۴	۱۶۹۶۷۳۳۲	۴۹۵۵	۴۸۸۳

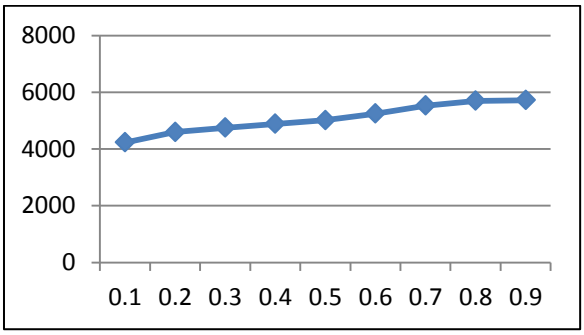
سطح پاسخگویی	هزینه	مسائل زیست محیطی	مسئولیت اجتماعی
۰,۵	۱۶۷۷۶۸۱۱	۴۴۰۸	۵۰۱۵
۰,۶	۱۴۴۸۱۳۹۲	۴۳۳۱	۵۲۴۲
۰,۷	۱۲۷۶۱۷۲۰	۴۲۷۶	۵۵۲۴
۰,۸	۱۲۴۷۱۶۳۵	۴۲۲۹	۵۶۹۸
۰,۹	۱۰۶۴۶۲۱۲	۴۰۳۵	۵۷۱۸



نمودار (۶). واکنش تابع هدف هزینه به افزایش وزن این تابع هدف



نمودار (۷). واکنش تابع هدف مسائل زیست محیطی به افزایش وزن این تابع هدف



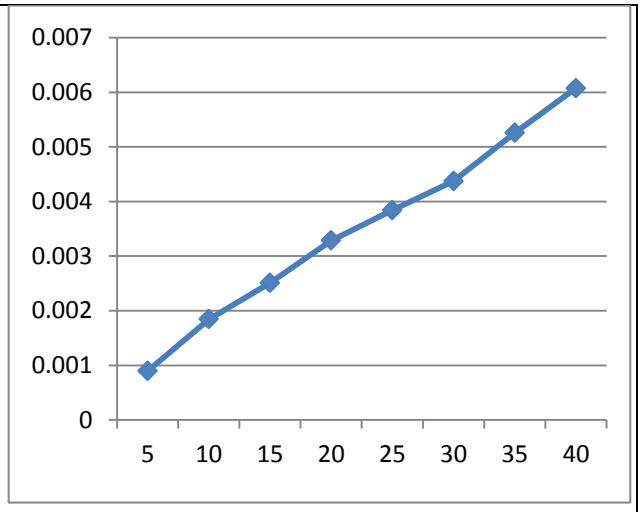
نمودار (۸). واکنش تابع هدف مسائل اجتماعی به افزایش وزن این تابع هدف

همانگونه که مشاهده می شود با افزایش وزن تابع هدف شاهد بهبود در میزان توابع هدف می‌باشیم. با افزایش وزن میزان هزینه کاهش می یابد و همچنین مسائل زیست محیطی نیز بهبود می یابد. اما مسائل اجتماعی نیز افزایش می یابد و این نشانگر اثر وزن بر مقادیر تابع هدف می باشد.

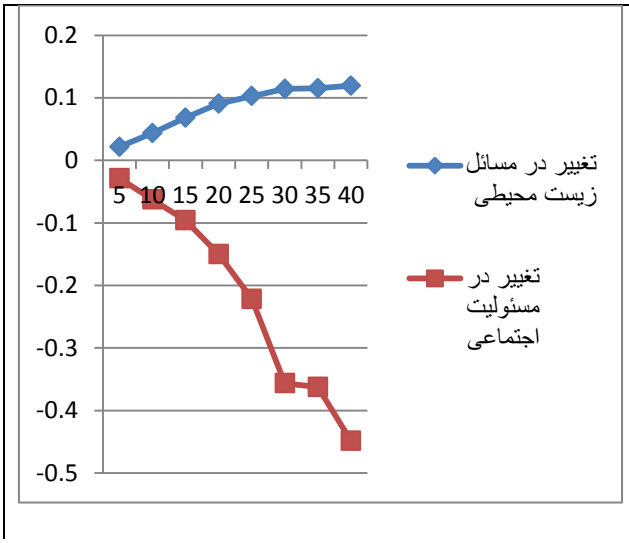
در ادامه به بررسی اثر عدم قطعیت بر توابع هدف مدل پرداخته می شود نتیجه در جدول ذیل ارائه شده است.

جدول (۵). بررسی اثر عدم قطعیت بر توابع هدف هزینه، مسائل زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی

سطح عدم قطعیت	هزینه	مسائل زیست محیطی	مسئولیت اجتماعی	تغییردر هزینه	تغییر در مسائل زیست محیطی	تغییر در مسئولیت اجتماعی
۰	۱۹۹۲۲۶۸۰	۵۷۲۸	۴۲۳۰			
۵	۱۹۹۴۰۵۳۷	۵۸۵۱	۴۱۰۹	۰,۰۰۰۸۹۶	۰,۰۲۱۴۷۳	-۰,۰۲۸۶۱
۱۰	۱۹۹۷۷۲۸۲	۶۱۰۶	۳۸۵۱	۰,۰۰۱۸۴۳	۰,۰۴۳۵۸۲	-۰,۰۶۲۷۹
۱۵	۲۰۰۲۷۳۸۱	۶۵۲۱	۳۴۸۱	۰,۰۰۲۵۰۸	۰,۰۶۷۹۶۶	-۰,۰۹۶۰۸
۲۰	۲۰۰۹۳۱۷۲	۷۱۱۲	۲۹۵۹	۰,۰۰۳۲۸۵	۰,۰۹۰۶۳	-۰,۱۴۹۹۶
۲۵	۲۰۱۷۰۲۹۵	۷۸۴۱	۲۳۰۳	۰,۰۰۳۸۳۸	۰,۱۰۲۵۰۳	-۰,۲۲۱۷
۳۰	۲۰۲۵۸۴۷۹	۸۷۳۵	۱۴۸۲	۰,۰۰۴۳۷۲	۰,۱۱۴۰۱۶	-۰,۳۵۶۴۹
۳۵	۲۰۳۶۴۹۶۴	۹۷۴۱	۹۴۵	۰,۰۰۵۲۵۶	۰,۱۱۵۱۶۹	-۰,۳۶۲۳۵
۴۰	۲۰۴۸۸۶۱۶	۱۰۹۰۲	۵۲۱	۰,۰۰۶۰۷۲	۰,۱۱۹۱۸۷	-۰,۴۴۸۶۸



نمودار (۹). واکنش تابع هدف هزینه افزایش سطح عدم قطعیت

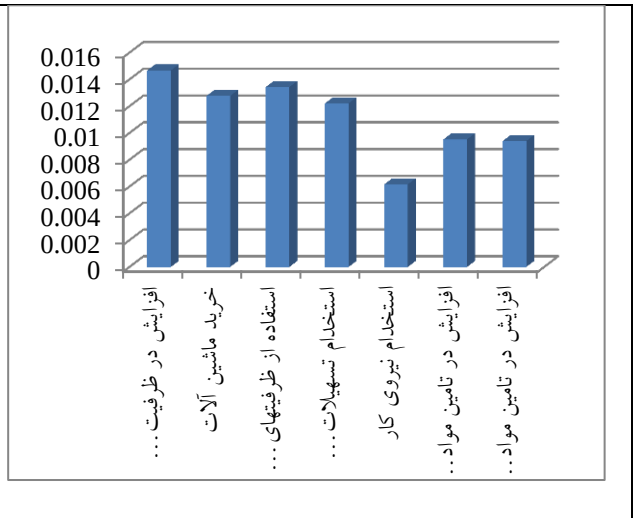


نمودار (۱۰). واکنش تابع هدف مسائل زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی به افزایش سطح عدم قطعیت

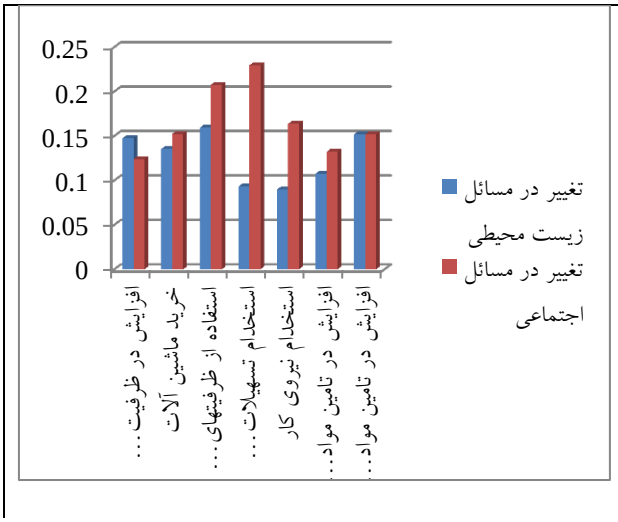
همانگونه که مشاهده می شود با افزایش سطح عدم قطعیت میزان تابع هدف هزینه افزایش یافته و لذا مسئله بدتر شده است این در حالی است که تابع هدف مسائل زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی به افزایش عدم قطعیت نیز کاملاً نشانگر بدتر شدن جواب می باشد. در خصوص مسئولیت اجتماعی به دلیل آنکه هدف حداکثر سازی می باشد لذا تابع هدف ماهیت نزولی یافته است.

جدول (۶). بررسی اثر استراتژی های مختلف مقابله با کووید با توابع هدف مسئله

استراتژیها	هزینه	مسائل زیست محیطی	مسئولیت اجتماعی	تغییر درهزینه	تغییر در مسائل زیست محیطی	تغییر در مسائل اجتماعی
وضعیت عادی	۱۹۹۲۲۶۸۰	۵۷۲۸	۴۲۳۰			
افزایش در ظرفیت تولید با استفاده از شیفتهای کاری	۱۹۶۳۰۳۴۷	۴۸۸۳	۴۷۵۵	۰,۰۱۴۶۷۳	۰,۱۴۷۵۲۱	۰,۱۲۴۱۱۳
خرید ماشین آلات	۱۹۶۶۸۳۸۶	۴۹۵۳	۴۸۷۴	۰,۰۱۲۷۶۴	۰,۱۳۵۳	۰,۱۵۲۲۴۶
استفاده از ظرفیت های قطعات یدکی	۱۹۶۵۵۱۴۹	۴۸۱۶	۵۱۰۸	۰,۰۱۳۴۲۸	۰,۱۵۹۲۱۸	۰,۲۰۷۵۶۵
تسهیلات تولیدی	۱۹۶۷۹۳۹۳	۵۱۹۵	۵۲۰۱	۰,۰۱۲۲۱۲	۰,۰۹۳۰۵۲	۰,۲۲۹۵۵۱
استخدام نیروی کار	۱۹۷۹۹۸۸۷	۵۲۱۴	۴۹۲۲	۰,۰۰۶۱۶۳	۰,۰۸۹۷۳۵	۰,۱۶۳۵۹۳
افزایش در تأمین مواد خام با استفاده از منبع یابی اضطراری	۱۹۷۳۲۹۶۹	۵۱۱۲	۴۷۸۹	۰,۰۰۹۵۲۲	۰,۱۰۷۵۴۲	۰,۱۳۲۱۵۱
افزایش در تأمین مواد خام با استفاده از همکاری با شرکاء	۱۹۷۳۵۳۷۰	۴۸۵۸	۴۸۷۲	۰,۰۰۹۴۰۲	۰,۱۵۱۸۸۵	۰,۱۵۱۷۷۳



نمودار (۱۱). مقایسه اثر استراتژیهای مقابله با کووید بر تابع هدف هزینه



نمودار (۱۲). اثر استراتژیهای مقابله با کووید بر توابع زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی

بر اساس نمودارهای فوق می توان دریافت که افزایش ظرفیت تولید دارای بیشترین اثر بر هزینه بوده و بیش از همه می تواند منجر به کاهش آن شود پس از آن استفاده از ظرفیت های قطعات یدکی قرار دارد. پس از این دو استراتژی خرید ماشین آلات بیش از همه می تواند منجر به کاهش هزینه شود اما کم اثرترین استراتژی، استراتژی استخدام نیروی کار می باشد که تقریبا ۶ دهم درصد می تواند باعث کاهش هزینه شود در حالیکه اثر افزایش در ظرفیت تولید با استفاده از شیفت های کاری ۱,۴ درصد می باشد. استراتژیهای افزایش در تأمین مواد خام با استفاده از منبع یابی اضطراری و افزایش در تأمین مواد خام با استفاده از همکاری با شرکاء با ۹ دهم درصد اثرگذاری تقریباً وضعیت یکسانی را در خصوص هزینه ایجاد می کنند.

در خصوص اثرگذاری استراتژی ها بر مسائل زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی می توان دریافت که استخدام، تسهیلات

تولیدی ۲۲ درصد می تواند موجب بهبود مسئولیت اجتماعی شود و پس از آن استفاده از ظرفیت های قطعات یدکی قرار دارد. اما در خصوص اثرگذاری بر مسائل زیست محیطی استفاده از ظرفیت های قطعات یدکی و افزایش در تأمین مواد خام با استفاده از همکاری با شرکاء دارای بیشترین اثر در میزان ۱۵ درصد بر مسائل زیست محیطی می باشد.

۵- نتیجه‌گیری

هدف تحقیق حاضر ارائه یک مدل زنجیره تأمین تاب آور و پایدار در شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن معیار پاسخگویی و اثرات غیر قطعی کووید۱۹ می باشد. نتایج تحقیق نشان می دهد که اعمال استراتژی پایداری و تاب آوری می تواند شرایط مواد در زنجیره را بهبود بخشیده و هر چه این دو استراتژی بیشتر استفاده شود میزان کالای بازیافتی افزایش می یابد که این منجر به بهبود مواد می شود از سوی دیگر اعمال توأم استراتژی های تاب آوری و پایداری می تواند امحاء و در مجموع کالای بازگشتی را کاهش دهد.

معیار دیگر مورد استفاده در تحقیق حاضر معیار پاسخگویی است که بر اساس این معیار هدف تحقق حداکثری تقاضا و کاهش تقاضای از دست رفته می باشد. نتایج نشان می دهد که افزایش پاسخگویی مستلزم هزینه است چرا که با افزایش پاسخگویی هزینه افزایش می یابد ضمن اینکه برای تحقق پاسخگویی مسائل زیست محیطی نیز تشدید می شود اما در عوض بهبود پاسخگویی می تواند بهبود مسئولیت اجتماعی را در کل زنجیره تأمین دربرداشته باشد.

عدم قطعیت نیز در مسئله حاضر می تواند منجر به بدتر شدن جواب شود. به عبارت دیگر هر چه سطح محافظه کاری در زنجیره تأمین مورد بررسی افزایش یابد می توان انتظار افزایش هزینه، افزایش مسائل زیست محیطی و کاهش مسئولیت اجتماعی را داشت. البته به نظر می رسد تأثیراین عامل بر مسئولیت اجتماعی بیش از مسائل زیست محیطی می باشد. به عبارت دیگر واکنش بخش مسئولیت اجتماعی به عدم قطعیت بیش از مسائل زیست محیطی می باشد. در نهایت استراتژی های مختلف مقابله با کووید بررسی شد که نشان داده شد افزایش ظرفیت تولید دارای بیشترین اثر بر هزینه بوده و بیش از همه می تواند منجر به کاهش آن شود پس از آن استفاده از ظرفیت قطعات یدکی قرار دارد و بعد از این دو استراتژی خرید ماشین آلات بیش از همه می تواند منجر به کاهش هزینه شود اما کم اثرترین استراتژی، استراتژی استخدام نیروی کار می باشد.

۶- مراجع

[۱] زارع مهرجردی، یحیی، صالحی، سمیه، صادقیه، احمد، و حسینی نسب، حسن، ارائه مدل ریاضی برای طراحی زنجیره تأمین تاب آور و پایدار زیست توده تحت عدم قطعیت و اختلال .نشریه علمی ارائه مدیریت زنجیره تأمین، ص ۳۱-۱۸، سال ۲۱ (پیاپی ۶۲)، ۱۴۰۱.

[2] S. Abbas, L.H.C. Hsieh, K. Techato, Supply chain integrated decision model in order to synergize the energy system of textile industry from its resource waste, Energy 229, 120754, 2019.

[3] A. Ganguly, D. Chatterjee, H. Rao, The role of resiliency in managing supply chains disruptions. In: Supply Chain Risk Management. Springer, Singapore, pp. 237–251, 2018.

[4]K. Govindan, J. D. Darbari, V. Agarwal, P. C. Jha, A Fuzzy multi-objective approach for optimal selection of suppliers and transportation decisions in an eco-efficient closed-loop supply chain network. J. Clean. Prod. 165, pp. 1598–1619, 2017.

[5]D. Ivanov, A. Dolgui, Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivatedby COVID-19 outbreak. Int. J. Prod. Res. 58 (10), pp. 2904–2915, 2020.

[6] R. Katiyar, P. L. Meena, M. K. Barua, R. Tibrewala, and G. Kumar, "Impact of sustainabilityand manufacturing practices on supply chain performance: findings from an emerging economy," Int. J. Prod. Econ. 197, pp. 303–316, 2018.

[7] F. D. Keskin, "A Fuzzy Integrated Approach for Rrsilient Supply Chain Network Dedign Problem," Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, vol. 11(28), pp. 770-789, 2020.

[8] X. Mao, X. Lou, C. Yuan, & J. Zhou, "Resilience-based restoration model for supply chain networks," Mathematics, vol. 8(2), p. 163, 2020.

[9] S. Mari, M. Memon, M. Ramzan, S. Qureshi, and M. Iqbal, "Interactive Fuzzy Multi Criteria Decision Making Approach for Supplier Selection and Order Allocation in a Resilient Supply Chain," Mathematics, vol. 7, no. 2, p. 137, Feb. 2019, doi: 10.3390/math7020137.

[10] M. M. Vali-Siar, E. Roghanian Sustainable, resilient and responsive mixed supply chain network design under hybrid uncertainty with considering COVID-19 pandemic disrupti, Sustainable Production and Consumption 30 (2022), pp. 278–300, 2020.

[11]A. Z. Piprani, N. I. Jaafar, & S. M. Ali, Prioritizing resilient capability factors of dealing with supply chain disruptions: an analytical hierarchy process (AHP) application in the textile industry Benchmarking: An International Journal. (2020).

[12]R. Ramezanian, M.M. Vali-Siar, M. Jalalian, Green permutation flowshop scheduling problem with sequence-dependent setup times: a case study, Int. J. Prod. Res. 57 (10) , 3311–3333, 2019.

[13]Resilient supply chains, Annals of Operations Research https://doi.org/10.1007/s10479-022-04521-w

[14]M. Reyna-Castillo, A. Santiago, S. I. Martínez, and J. A. C. Rocha, "Social Sustainability and Resilience in Supply Chains of Latin America on COVID-19 Times: Classification Using Evolutionary Fuzzy Knowledge," Mathematics, vol. 10, no. 14, p. 2371, Jul. 2022, doi: 10.3390/math10142371. [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.3390/math10142371

[15] F. Sabouhi, M.S. Jabalameli, A. Jabbarzadeh, B.Fahimnia, A multi-cutl -shaped method for resilient and responsive supply chain network design. Int. J. Prod. Research 1–29, (2020).

[16] S. Kumar Paul, P. Chowdhury, R. Kumar Chakrabortty, D. Ivanov ,K. Sallam, A mathematical model for managing the multi-dimensional impacts of the COVID-19 pandemic in supply chain of a high-demand item, (2022), Annals of Operations Research https://doi.org/10.1007/s10479-022-04650-2

[17]Y. Tao, J. Lin, Y. S. Lee, H. S. Gan, G. Y. Tu, C. S. Using a Product Life Cycle Cost Model to Solve Supplier Selection Problems in a Sustainable, Resilient Supply Chain. Sustainability, 14, 2423. https://doi.org/10.3390/su14042423, 2022.

[18] R.Ward,& V. Hargaden An exploratory assessment of risk and resilience in pharmaceutical supply chains. In Pharmaceutical Supply Chains-Medicines Shortages , pp. 111-123, Springer, Cham, 2019.

[19] Y. Yang, S. Pan, & E. Ballot, Innovative vendor-managed inventory strategy exploiting interconnected logistics services in the Physical Internet. International Journal of Production Research, (2017) 55(9), 2685-2702.

[20]Y. Zare Mehrjerdi, M. Shafiee, A resilient and sustainable closed-loop supplychain using multiple sourcing and information sharing strategies. J. Clean. Prod.289, 125141, 2021.

[21] S. Zhao, & F. You, Resilient supply chain design and operations with decision dependent uncertainty using a data-driven robust optimization approach. AIChE Journal, 65(3), pp. 1006-1021, 2019.