

ارائه و حل یک مدل برنامه ریزی ریاضی برای زنجیره تأمین حلقه بسته تاب آور پایدار با در نظر

گرفتن معیار پاسخگویی و اثرات غیر قطعی کووید ۱۹

پیام محبی^۱، اکبر عالم تبریز^{۲*}، محمدجواد ارشادی^۳، امیر عزیزی^۴

۱- دانشجوی دکتری، ۲- استاد گروه مدیریت، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران ۳- دانشیار پژوهشگاه علوم و فناوری ایران (ایرانداک)، تهران، ایران ۴- استادیار، عضو هیئت

علمی گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰)

چکیده

هدف تحقیق حاضر ارائه یک مدل برنامه ریزی ریاضی برای زنجیره تأمین تاب آور با در نظر گرفتن معیار پاسخگویی و اثرات غیر قطعی کووید ۱۹ می باشد. برای این منظور پس از انجام مطالعات کتابخانه ای یک مدل زنجیره تأمین سه هدفه با لحاظ کردن اهداف پایداری و تاب آوری طراحی شد. تابع هدف اول به طور ترکیبی شامل تاب آوری و هزینه است و دو هدف بعدی شامل اهداف زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی می باشد. سپس مدل با استفاده از الگوریتم فراابتکاری NSGA-III مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که اعمال تاب آوری 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 می باشد. از سوی دیگر با توجه به عدم قطعیت در مدل نتایج نشان می دهد که عدم قطعیت بر هر سه تابع هدف اثر داشته و منجر به بدتر شدن آن می شود. در خصوص تحقق پاسخگویی این نتیجه حاصل می شود که تحقق پاسخگویی نیازمند هزینه بیشتر، تشدید مسائل زیست محیطی و البته بهبود مسئولیت اجتماعی می باشد. یعنی هر چه مسئولیت اجتماعی بیشتر شود پاسخگویی بیشتر می شود اما افزایش پاسخگویی مستلزم افزایش هزینه و بدتر شدن مسائل زیست محیطی نیز می باشد. در نهایت استراتژی های اثرگذار بر بهبود زنجیره تأمین در دوران کووید بررسی شد که استراتژی های افزایش ظرفیت به عنوان بهترین استراتژی ها تعیین شدند.

واژه های کلیدی: زنجیره تأمین تاب آور پایدار، معیار پاسخگویی، اثرات غیر قطعی کووید ۱۹

۱- مقدمه

زیست محیطی را در فرایند تصمیم گیری لحاظ نمایند. چالش هایی نظیر رشد جمعیت و تغییر آب و هوا باعث افزایش دغدغه ها در خصوص مسائل زیست محیطی صنایع شده است. عباس و همکاران [۲] صنایع حدود ۵۰ درصد انرژی جهان را مصرف کرده و مسئول نشر بیش از یک سوم دی اکسید کربن می باشند. رضانیان و همکاران [۳] در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی باعث تعمیم مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی شده و بر مواردی نظیر تسهیلات، ابزارها و حالات حمل و نقل، طراحی محصول و انتخاب تکنولوژی ها و غیره اثر می گذارد.

از سوی دیگر پایداری اجتماعی هم که توجه اندکی را نسبت به پایداری زیست محیطی معطوف خود داشته است با مسائلی نظیر توسعه ناحیه ای، عدالت اجتماعی و حقوق بشر مواجه است. در کل تحقیقاتی که در حوزه طراحی زنجیره تأمین به بعد اجتماعی پایداری توجه داشته اند سه موضوع را در نظر می گیرند از جمله: شرایط کاری، مؤلفه های اجتماعی و مسائل مشتری. از منظر شرایط کاری اشتغال و استخدام مهمترین عامل به شمار می رود. تعداد مشاغل ایجاد شده، شاخص مزیت اجتماعی، آسیب

زنجیره های تأمین به عنوان مبنای فعالیت های اقتصادی در کشورهای مختلف جهان شناخته شده اند. اهمیت این شبکه ها تولید کارآمد و به موقع و تحویل محصولات مختلف نظیر غذا، سوخت و دارو، پوشاک و قطعات کامپیوتر می باشد. این موضوع باعث توجه و انگیزه برای تحلیل آنها در بین محققان و متخصصین شده است. زیرساخت و ساختار فیزیکی زنجیره تأمین به وسیله طراحی شبکه زنجیره تأمین تعیین می شود که بخشی از مرحله برنامه ریزی در مدیریت زنجیره تأمین به شمار می رود. گویندان و همکاران [۱]

هدف مدل های ریاضی طراحی شبکه زنجیره تأمین عموماً حداقل ساختن هزینه یا حداکثر ساختن سود می باشد اما در سالیان اخیر توجه به موضوعات پایداری از جمله مسائل زیست محیطی و زنجیره های تأمین افزایش یافته است. افزایش اهمیت اهداف زیست محیطی و محدودیت ها در جهان امروز باعث شده که تصمیم گیران به این موضوع توجه داشته و عوامل

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

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 آب ارائه می کنند. آقاسمی 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 ۱۹ می پردازد. ربیرو 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 ساعت 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. پیرانی 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

به حوزه های مشتری و معیارهای امنیت شغلی عوامل مورد نظر در شرایط کاری در تحقیقات مختلف به شمار می روند. حوزه محیط اجتماعی شامل تصمیمات در خصوص بهبود سلامت عمومی، آموزش، فرهنگ و سیاست های توسعه ناحیه ای می شود.

تاب آوری در زنجیره تأمین مقوله مهم دیگری است که به قابلیت زنجیره تأمین برای مواجهه با پیامد رویدادهای ریسک به منظور بازگشت به وضعیت ناحیه ای یا رسیدن به یک وضعیت مطلوب تر پس از رخداد اختلاف تفسیر می شود. گانگولی و همکاران [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 هزینه 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 برآیند 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 دیگر تعریف محدودیت هایی در مدل بهینه سازی نظیر محدودیت ها بر نرخ تحقق تقاضای مشتریان می باشد. صبوچی 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 نتیجه گیری ارائه می شود.

گرفتن دو استراتژی تاب‌آوری مهم در زنجیره تأمین یعنی تقویت تأمین‌کنندگان و استفاده از استراتژی‌های تأمین‌کنندگان 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 شکست‌های 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 تاب‌آوری

کمی برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در یک محیط فازی می‌باشند. وارد و هارگادان [۲۰] به توصیف ارزیابی کاوشگرانه اولیه از تاب‌آوری زنجیره تأمین در بخش پائین دستی زنجیره‌های تأمین دارویی پرداختند و با استفاده از رویکرد تأیید شده، دیتای پیمایش از چند مدیر زنجیره تأمین متخصص در بخش داروسازی جمع‌آوری شد. در مقاله زارع مهرجردی و همکاران در سال ۱۴۰۱ ارائه مدل ریاضی با رویکرد بهینه‌سازی استوار جهت طراحی زنجیره تأمین تاب‌آور و پایدار زیست‌توده تحت عدم قطعیت در تقاضای انرژی زیستی و اختلال در پالایشگاه انرژی زیستی ارائه شده است.

جدول (۱). مرور ادبیات تحقیق

محقق	سال	پایداری	تاب‌آوری	پاسخگویی	اثرات چند گانه کووید	عدم قطعیت	حلقه بسته	احیای کووید
عباسیان و همکاران	۲۰۲۳	✓				✓		
کرباسی یزدی و همکاران	۲۰۲۳		✓					
بسیم و همکاران	۲۰۲۳	✓				✓	✓	
گودرزیان و همکاران	۲۰۲۳	✓		✓		✓		
اقسمی و همکاران	۲۰۲۳	✓				✓		
ولیعصر و روغنیان	۲۰۲۲	✓	✓	✓			✓	
کومار پائول و همکاران	۲۰۲۲		✓		✓	✓		✓
رببیرو 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 هارگادان	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، تاب‌آور 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

برخی کارشناسان با توجه به اینکه همه‌گیری کووید ۱۹ تا حد زیادی کنترل شده می‌بایست تمرکز از تاب‌آوری به سمت پایداری حرکت کرده یا در بهترین حالت هر دو ویژگی در زنجیره‌های 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 می‌شود که این اثرات به شرح ذیل می‌باشد.

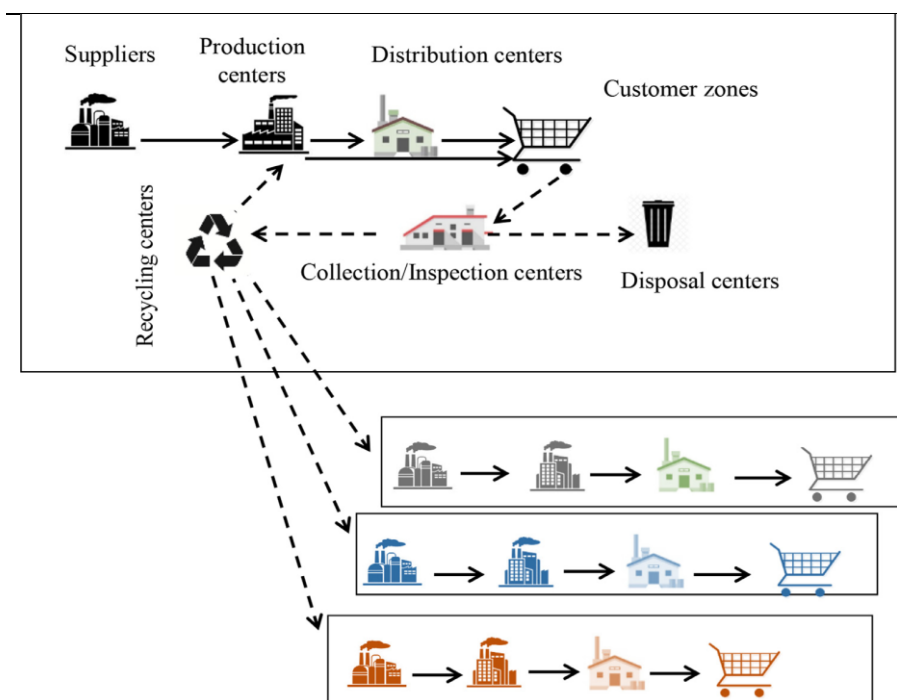
۱- افزایش تقاضا

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.

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 خفیف‌تر از همه‌گیری کووید ۱۹ باشد سوق داد. بنابراین دغدغه بسیاری از محققان و کارشناسان در حوزه زنجیره تأمین، ایجاد شبکه‌ای تاب‌آور از گره‌ها 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



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

۳-۱- مفروضات

- ۱- برخی پارامترها غیر قطعی می‌باشد.
- ۲- مدل چند دوره ای می‌باشد.
- ۳- مدل چند محصولی می‌باشد.
- ۴- محدودیت ظرفیت برای تمامی گره‌ها وجود دارد.

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 می‌گیرد. تکنولوژی‌های بازیافت و تولید متنوع در نظر گرفته شده است. در ادامه مفروضات مدل تعیین می‌شود.

۸- محصولات بازگشتی از مشتری به مراکز جمع‌آوری در نظر گرفته شده است.

۹- مسئولیت‌های اجتماعی براساس فرصت‌های شغلی ایجاد شده تعریف می‌شود.

CTM_{lmt}	هزینه انتقال محصول از مرکز جمع‌آوری l به مرکز بازیافت m در دوره زمانی t
CTO_{otp}	هزینه انتقال محصول از مرکز جمع‌آوری l به مرکز امحاء o در دوره زمانی t
DP_t	استهلاک سرمایه در دوره زمانی t
tr	مالیات
$ T $	تعداد دوره‌های زمانی در مدل
ID_{pt}	تقاضای محقق نشده محصول p در دوره زمانی t
D_{pt}	تقاضا برای هر محصول p در دوره زمانی t
$POPI_{it}$	میزان تولید آلاینده‌گی توسط تأمین‌کننده I در دوره زمانی t
$POPJ_{jnt}$	میزان تولید آلاینده‌گی توسط تولیدکننده J در دوره زمانی t با استفاده از تکنولوژی n
$FUELJ_{jtnp}$	میزان مصرف انرژی برای تولید محصول p توسط تولیدکننده J در دوره زمانی t با استفاده از تکنولوژی n
$FUELk_{ktp}$	میزان مصرف انرژی برای نگهداری محصول p توسط توزیع‌کننده k در دوره زمانی t
$FUELL_{lt}$	میزان مصرف انرژی برای جمع‌آوری محصول توسط مرکز جمع‌آوری l در دوره زمانی t
$POPM_{mnt}$	میزان تولید آلاینده‌گی توسط مرکز بازیافت m در دوره زمانی t با استفاده از تکنولوژی n
$FUELM_{mnt}$	میزان مصرف انرژی توسط مرکز بازیافت m برای محصول P در دوره زمانی t با استفاده از تکنولوژی n
$POPO_{ot}$	میزان تولید آلاینده‌گی توسط مرکز امحاء o در دوره زمانی t

۵- تکنولوژی‌های بخش تولید و بازیافت متفاوت می‌باشد.

۶- مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی در مدل لحاظ شده است.

۷- بر اساس تکنولوژی‌های مورد استفاده میزان تولید آلاینده‌گی، میزان مصرف سوخت و هزینه متفاوت می‌باشد.

i	تأمین‌کننده
j	تولیدکننده
k	توزیع‌کننده
l	مرکز جمع‌آوری
m	مرکز بازیافت
n	تکنولوژی
o	مرکز امحاء
q	ناحیه مشتری
t	دوره زمانی
ir	نرخ بهره
CI_{ipt}	هزینه خرید محصول p خریداری شده از تأمین‌کننده i در دوره t
CJ_{jtnp}	هزینه تولید کالای تولید شده p توسط تولیدکننده J در دوره زمانی t با استفاده از تکنولوژی n
CK_{ktp}	هزینه کالای نگهداری شده p توسط توزیع‌کننده توسط توزیع‌کننده k در دوره زمانی t
CL_{ltp}	هزینه جمع‌آوری محصول p توسط توزیع‌کننده l در دوره زمانی t
CM_{mntp}	هزینه بازیافت کالای p توسط مرکز بازیافت m در دوره زمانی t با استفاده از تکنولوژی n
CO_{otp}	هزینه امحای کالای p توسط مرکز امحاء o در دوره زمانی t
CTI_{ijt}	هزینه انتقال محصول از تأمین‌کننده i به تولیدکننده J در دوره t
CTJ_{jktp}	هزینه انتقال محصول از تولیدکننده J به توزیع‌کننده k در دوره t
CTK_{kqt}	هزینه انتقال کالا از توزیع‌کننده k به ناحیه مشتری q در دوره زمانی t
CTL_{lqt}	هزینه انتقال محصول بازگشتی از ناحیه مشتری q به مرکز جمع‌آوری l در دوره زمانی t

XI_{it}	اگر تأمین کننده i در دوره زمانی t انتخاب شود و در غیراینصورت صفر
XJ_{jtnp}	اگر تولید کننده j در دوره زمانی t برای تولید محصول p با تکنولوژی n انتخاب شود و در غیراینصورت صفر
XK_{ktp}	اگر توزیع کننده k در دوره زمانی t برای توزیع محصول p انتخاب شود و در غیراینصورت صفر
XL_{ltp}	اگر مرکز جمع آوری l در دوره زمانی t برای جمع آوری محصول p انتخاب شود و در غیراینصورت صفر
XM_{mtp}	اگر مرکز بازیافت m در دوره زمانی t برای بازیافت محصول p با تکنولوژی n انتخاب شود و در غیراینصورت صفر
XO_{otp}	اگر مرکز امحاء o در دوره زمانی t برای امحاء محصول p انتخاب شود و در غیراینصورت صفر
YI_{ipt}	میزان محصول p خریداری شده از تأمین کننده i در دوره t
YJ_{jtnp}	میزان کالای تولید شده p توسط تولید کننده j در دوره زمانی t با استفاده از تکنولوژی n
YK_{ktp}	میزان کالای توزیع شده p توسط توزیع کننده k در دوره زمانی t
YL_{ltp}	میزان کالای جمع آوری شده p توسط توزیع کننده l در دوره زمانی t
YM_{mtp}	میزان کالای بازیافت شده p توسط مرکز بازیافت m در دوره زمانی t با استفاده از تکنولوژی n
YO_{otp}	میزان کالای امحاء شده p توسط مرکز امحاء o در دوره زمانی t
NPV	ارزش فعلی خالص
CF_t	جریان نقدی در دوره زمانی t
NE_t	سود بعد از کسر مالیات در دوره زمانی t

$FUELO_{ot}$	میزان مصرف انرژی توسط مرکز امحاء o در دوره زمانی t
$JOB I_{it}$	تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط تأمین کننده i در دوره زمانی t
$JOB J_{jnt}$	تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط تولید کننده j در دوره زمانی t تحت تکنولوژی n
$JOB K_{kt}$	تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط توزیع کننده k در دوره زمانی t
$JOB L_{lt}$	تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط مرکز جمع آوری l در دوره زمانی t
$JOB M_{mnt}$	تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط مرکز بازیافت m در دوره زمانی t تحت تکنولوژی n
$JOB O_{ot}$	تعداد فرصت های شغلی ایجاد شده توسط مرکز امحاء o در دوره زمانی t
$Price_{pt}$	قیمت فروش محصول p در دوره زمانی t
$CAP I_{ipt}$	ظرفیت تأمین کننده i برای محصول p در دوره زمانی t
$CAP J_{jnpt}$	ظرفیت تولید کننده j برای تولید محصول p در دوره زمانی t با تکنولوژی n
$CAP K_{kpt}$	ظرفیت توزیع کننده k برای نگهداری محصول p در دوره زمانی t
$CAP L_{lpt}$	ظرفیت مرکز جمع آوری l برای جمع آوری محصول p در دوره زمانی t
$CAP M_{nlpt}$	ظرفیت مرکز بازیافت m برای بازیافت محصول p در دوره زمانی t با تکنولوژی n
$CAPO_{opt}$	ظرفیت امحاء کننده o برای امحاء محصول p در دوره زمانی t
FDC_t	بخشی از سرمایه مستهلک که می بایست در دوره زمانی t پرداخت شود.

۲-۳- معیار پاسخگویی

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

۳-۲-۱- ارزش فعلی خالص مورد انتظار

ارزش فعلی خالص مورد انتظار برای هر سناریو و دوره با در نظر گرفتن جریان نقدی و نرخ بهره محاسبه می‌شود. در روابط ۳ و ۲ عایدات خالص محاسبه می‌شود در حالی‌که در رابطه اول ارزش فعلی خالص مورد انتظار برای هر سناریو و با در نظر گرفتن جریان نقدی محاسبه می‌گردد.

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

$$CF_t = NE_t - FDC_t \quad (2)$$

جریان نقدی به وسیله رابطه فوق بر اساس تفاوت بین عایدات خالص و سرمایه‌مستهلك محاسبه می‌شود. معادله ذیل به محاسبه عایدات خالص می‌پردازد.

$$\begin{aligned} NE_{st} = & (1 - tr)[\sum_p \sum_t Price_{pt} \cdot YJ_{tntp} - \\ & \sum_i \sum_p \sum_t CI_{ipt} \cdot YI_{ipt} + \\ & \sum_j \sum_p \sum_t CJ_{ipt} \cdot YJ_{ipt} + \\ & \sum_k \sum_p \sum_t CK_{ipt} \cdot YK_{ipt} + \\ & \sum_l \sum_p \sum_t CL_{ipt} \cdot YL_{ipt} + \\ & \sum_m \sum_p \sum_t CM_{ipt} \cdot YM_{ipt} + \\ & \sum_o \sum_p \sum_t CO_{ipt} \cdot YO_{ipt}] + (tr \cdot DP_t) \quad (3) \end{aligned}$$

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

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 دوره‌های زمانی محاسبه شود که بر تفاوت بین تقاضای

واقعی و جریان ارسالی به هر بازار اثر می‌گذارد. سطح خدمت تقاضای مورد انتظار مشتری به صورت رابطه ذیل تعیین می‌شود.

$$ESC = \frac{\sum_{t=1}^T [\frac{\sum_{v=1}^V \sum_{p=1}^P ID_{pust}}{\sum_{v=1}^V \sum_{p=1}^P D_{pust}}]}{|T|} \quad (4)$$

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

$$ID_{pt} = D_{pt} - \sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T Q_{pt} \quad (5)$$

۳-۴- معیار عملکرد تاب‌آوری زنجیره تأمین

بر اساس تحقیق ریبریو و باریوسا پوونا در سال ۲۰۱۸ و نگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ کمال احمدی و پرست در سال ۲۰۱۶ هوهنشتین و همکاران در سال ۲۰۱۵ نیاز به توسعه معیارهای زنجیره تأمین تاب‌آور به شکل جامع‌تر وجود دارد. در این تحقیق این هدف دنبال شده و یک معیار تاب‌آوری زنجیره تأمین که شامل اهداف اقتصادی و سطح خدمت می‌باشد توسعه می‌یابد. این در مدل به صورت یک تابع هدف در نظر گرفته شده و به شکل ذیل نشان داده می‌شود.

$$\max \frac{NPV_s}{NPV_{ref}} = \frac{\sum_{v=1}^V \sum_{p=1}^P ID_{pt}}{[\frac{\sum_{v=1}^V \sum_{p=1}^P D_{pt}}{|T|}]} \quad (6)$$

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 می‌باشد که می‌تواند ارزش فعلی مورد انتظار خالص را در زمانی که هیچ اختلالی رخ نمی‌دهد حداکثر نماید. این عبارت برای هر رقم مثبت کوچکتر از ۱ در صورتی تغییر می‌کند که ارزش فعلی مورد انتظار خالص کمتر از مرجع باشد. اما اینکه ارزش فزاینده از ارزش واحد برود این موضوع مورد انتظار نیست چرا که ارزش فعلی خالص مرجع بهترین عملکرد اقتصادی در قیاس با موقعیتی می‌باشد که در آن اختلال رخ می‌دهد. به طور کلی این بخش علت انحرافات مشمول جریمه از بهترین ارزش فعلی خالص مورد

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

رابطه فوق به بحث فرصت های شغلی پرداخته و مبنای حداکثر ساختن مسئولیت های اجتماعی با انتخاب بهترین گره هایی می 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 شده از کل 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 کل محصول تولیدی باید 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 کل محصولات جمع آوری شده نمی تواند از کل محصولات توزیع شده بیشتر باشد.

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

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

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

انتظار ممکن می باشد که نزدیکترین مقادیر به یک مقداری می باشد که سرانجام بر عملکرد زنجیره تأمین به شکلی مثبت اثرگذار می باشد.

عبارت دوم تحقق تقاضای مشتری را به عنوان یک عامل تصمیم کلیدی در نظر می گیرد که در آن تصمیم استراتژیک اتخاذ می شود. این عبارت فرض می کند که مقدار بین صفر و ۱ بوده و نشانگر ارزش میانگین کسر بین تقاضای تحقق نشده و کل تقاضا می باشد. به طور کلی این بخش علت عدم اجازه به افت سطح خدمت مشتری به نفع بازده اقتصادی بوده و باعث ایجاد بیشترین مزیت می شود. رابطه بین دو بخش دلالت بر این دارد که این مدل بر افزایش ارزش فعلی خالص مورد انتظار به اندازه کاهش تقاضای محقق نشده اثرگذار می باشد.

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

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

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

رابطه فوق به دنبال حداقل ساختن مسائل زیست محیطی با انتخاب بهترین گره ها می باشد. مسائل زیست محیطی شامل مصرف انرژی و تولید آلاینده می باشد.

$$YM_{mntp} \leq CAPM_{lpt} \quad (25)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت ظرفیت بازیافت می باشد.

$$YO_{otp} \leq CAPO_{opt} \quad (26)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت ظرفیت امحاء می باشد.

$$\sum_n \sum_j YJ_{jtnp} \geq D_{pst} \quad (27)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت تقاضا است.

$$NPV = \sum_{t=1} \frac{CF_t}{(1+ir)^t} \quad (28)$$

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

$$CF_t = NE_{st} - FDC_t \quad (29)$$

رابطه فوق نشانگر محاسبه جریان نقدی می باشد.

$$\begin{aligned} NE_{st} = & (1 - tr) [\sum_p \sum_t Price_{pt} \cdot YJ_{jtnp} - \\ & \sum_i \sum_p \sum_t CI_{ipt} \cdot YI_{ipt} + \\ & \sum_j \sum_p \sum_t CJ_{ipt} \cdot YJ_{ipt} + \\ & \sum_k \sum_p \sum_t CK_{ipt} \cdot YK_{ipt} + \\ & \sum_l \sum_p \sum_t CL_{ipt} \cdot YL_{ipt} + \\ & \sum_m \sum_p \sum_t CM_{ipt} \cdot YM_{ipt} + \\ & \sum_o \sum_p \sum_t CO_{ipt} \cdot YO_{ipt}] + (tr \cdot DP_t) \end{aligned} \quad (30)$$

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.

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

$$YJ_{jtnp} \leq M \cdot XJ_{jtnp} \quad (16)$$

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

$$YK_{ktp} \leq M \cdot XK_{ktp} \quad (17)$$

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

$$YL_{ltp} \leq M \cdot XL_{ltp} \quad (18)$$

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

$$YM_{mntp} \leq M \cdot XM_{mntp} \quad (19)$$

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

$$YO_{otp} \leq M \cdot XO_{otp} \quad (20)$$

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

$$YI_{ipt} \leq CAPI_{ipt} \quad (21)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت ظرفیت تأمین می باشد.

$$YJ_{jtnp} \leq CAPJ_{jpt} \quad (22)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت ظرفیت تولید می باشد.

$$YK_{ktp} \leq CAPK_{kpt} \quad (23)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت ظرفیت توزیع می باشد.

$$YL_{ltp} \leq CAPL_{lpt} \quad (24)$$

رابطه فوق نشانگر محدودیت ظرفیت جمع آوری می باشد.

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 باشد.

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 می شود. 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 می بایست با تعدیل در تأمین تولید و توزیع در طی افق احیاء به منظور حداکثر ساختن سود زنجیره تأمین ایجاد شود.

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

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 تولیدکننده j در دوره زمانی n در افق احیاء که قطعی نمی باشد.
$P2_{jn}$	افزایش در ظرفیت تولیدکارخانه j در دوره زمانی n در افق احیاء که قطعی نمی باشد.
P'_{jn}	ظرفیت کل تولیدکارخانه j در دوره زمانی n در افق احیاء
P'_{in}	کاهش ظرفیت تأمین، توسط تأمین کننده i در

	دوره n در افق احیاء که غیر قطعی می باشد.
ESET	تأمین کنندگان اضطراری
ES_{in}	ظرفیت تأمین، توسط تأمین کننده اضطراری e در دوره زمانی n در افق احیاء که قطعی نمی باشد
$\tilde{D}_n$	افزایش تقاضا در افق احیای n
$T1_{ijn}$	هزینه انتقال مواد از تأمین کننده i به کارخانه j در دوره n در افق احیاء
$T2_{jn}$	هزینه تولیدکارخانه j در دوره n در افق احیاء
$T3_{jkn}$	هزینه انتقال از تولیدکننده j به توزیع کننده k در دوره n در افق احیاء
$T4_{ejn}$	هزینه انتقال از تأمین کننده اضطراری e به تولید کننده j در دوره n در افق احیاء
F_j	هزینه ثابت افزایش ظرفیت برای تولیدکننده j در افق احیاء
C_j	هزینه متغیر افزایش ظرفیت برای تولیدکننده j در افق احیاء
$SPrice$	قیمت فروش هر واحد محصول
X'_{ijn}	مقدار تأمین محصول از تأمین کننده i برای تولیدکننده j در دوره زمانی n
Y'_{jn}	میزان تولید در کارخانه j در دوره n در افق احیاء
Z'_{jkn}	میزان تحویل از تولید کننده j به توزیع کننده k در دوره احیای n
E'_{ejn}	میزان تأمین از تأمین کننده اضطراری e به کارخانه j در دوره زمانی n در افق احیاء

بر این اساس معادلات ذیل برای هزینه و درآمد ارائه می‌شود.

$$\sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{n=1} T1_{ijn} X'_{ijn} + \sum_{i=1} \sum_{j=1} \sum_{n=1} T1_{ijn} X'_{ijn} \quad (31)$$

هزینه حمل و نقل و مواد خام از تأمین کنندگان فعلی

$$\sum_{e=1} \sum_{j=1} \sum_{n=1} T4_{ejn} E'_{ejn} + \sum_{j=1} \sum_{n=1} T2_{jn} Y'_{jn} + \sum_{j=1} F_j + \sum_{j=1} C_j (\sum_{n=1} Y'_{jn} - \sum_{n=1} P1_{jn}) + \sum_{e=1} \sum_{j=1} \sum_{n=1} T4_{ejn} E'_{ejn} \quad (32)$$

هزینه انتقال و مواد خام از تأمین کنندگان اضطراری

$$\sum_{j=1} \sum_{k=1} \sum_{n=1} T3_{jkn} Z'_{jkn} + \sum_{k=1} \sum_{n=1} \tilde{D}_{kn} - \sum_{j=1} \sum_{n=1} T2_{jn} Y'_{jn} \quad (33)$$

$$\sum_{j=1} \sum_{k=1} \sum_{n=1} Z'_{jkn} \quad (39)$$

هزینه تولید

$$\sum_{j=1} X'_{ijn} \leq S'_{in} \quad (40)$$

محدودیت تأمین از تأمین کنندگان اضطراری

$$\sum_{j=1} E'_{ejn} \leq ES_{en} \quad (41)$$

محدودیت های تولیدی

$$Y'_{jn} \leq p1_{jn} + p2_{jn} \quad (42)$$

هزینه افزایش ظرفیت

محدودیت تقاضا

$$\sum_{j=1} Z'_{jkn} \leq \tilde{D}_n \quad (43)$$

هزینه حمل و نقل از کارخانه های تولیدی به توزیع کنندگان

محدودیت تقاضای از دست رفته

$$\sum_{k=1} \sum_{n=1} \tilde{D}_{kn} - \sum_{j=1} \sum_{k=1} \sum_{n=1} Z'_{jkn} \geq 0 \quad (44)$$

هزینه تقاضای از دست رفته

محدودیت توازن تقاضا

$$Y'_{jn} = \sum_{k=1} Z'_{jkn} \quad (45)$$

درآمدکل

$$\sum_{i=1} X'_{jkn} = Y'_{jn} \quad (46)$$

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

$$NE_{st} = (1 - tr) [SPRICE \sum_{j=1} \sum_{k=1} \sum_{n=1} Z'_{jkn} -$$

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

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

$$S'_{in} = (S'_{1n} \dots S'_{In}) \quad (52)$$

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 شود که 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 θ_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.

$$\sum_{j=1} X'_{ijn} \leq \hat{F}_{S'_{in}}^{-1}(1 - \theta_1) \quad (53)$$

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 θ_1 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

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

$$pro[g(x, \zeta) \geq \beta] \geq \Psi \quad (47)$$

در اینجا $\zeta = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ یک بردار تصادفی می باشد تابع $g(x, \zeta)$ دارای فرم زیر می باشد.

$$g(x, \zeta) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (48)$$

و β 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 تأیید 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

$$\tilde{A}x \leq \tilde{b} \quad (49)$$

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 محدودیتهای 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.

$$Pro(\sum_{v=1}^V a_{cv} x_v \leq \tilde{b}) \geq \Psi_c \quad (50)$$

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

$$\sum_{v=1}^V a_{cv} x_v \leq \hat{F}_{\tilde{b}_c}^{-1}(1 - \Psi_c).c \quad (51)$$

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.

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

$$ES_{en} = (ES_{1n} \dots ES_{\Gamma n}) \quad (54)$$

در اینجا Γ 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 θ_2 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.

$$\sum_{j=1} E'_{ejn} \leq \hat{F}_{ES_{en}}^{-1}(1 - \theta_2) \quad (55)$$

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

$$P'_{jn} = (P'_{1n} \dots P'_{\Gamma n}) \quad (56)$$

به سبب ماهیت تصادفی P'_{jn} محدودیت مربوطه می بایست بر اساس برنامه ریزی احتمالی محدودیت اصلاح شود. فرض می شود که θ_3 سطح اطمینان تعریف شده توسط کاربر یا درجه باور می باشد که تضمین می کند که احتمال مقدار تولید در کارخانه 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.

$$Y'_{jn} \leq \hat{F}_{p1jn}^{-1}(1 - \theta_3) + \hat{F}_{p2jn}^{-1}(1 - \theta_3) \quad (57)$$

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

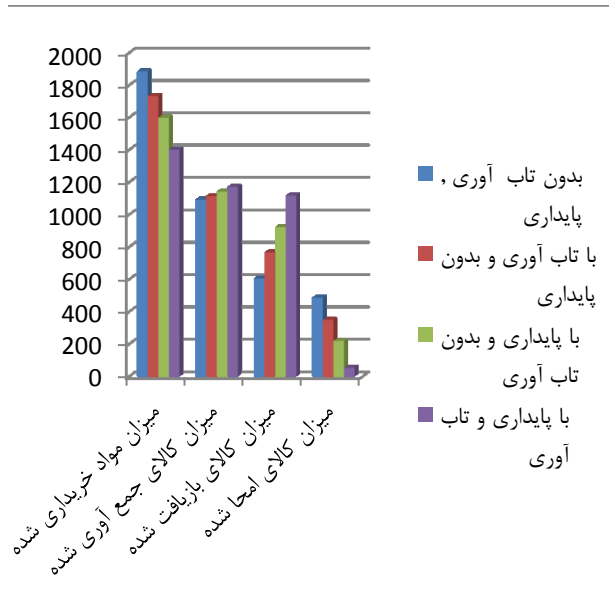
۴- تجزیه و تحلیل

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 استراتژی ها 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 و 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

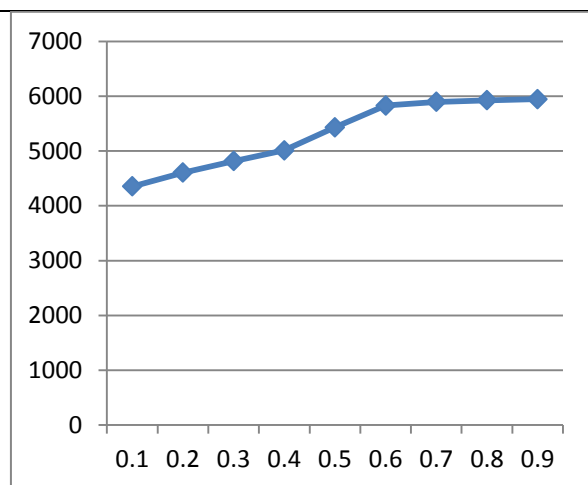
همانگونه که مشاهده می شود استراتژی بدون پایداری و تاب آوری منجر به بیشترین میزان مواد خریداری شده می شود که به دلیل افزایش هزینه برای زنجیره تأمین قطعاً به صرفه نمی باشد. اما استراتژی پایداری و تاب آوری به صورت توأم منجر به میزان بالای کالای بازیافتی و کالای جمع آوری شده و کمترین میزان کالای امحاء شده 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.



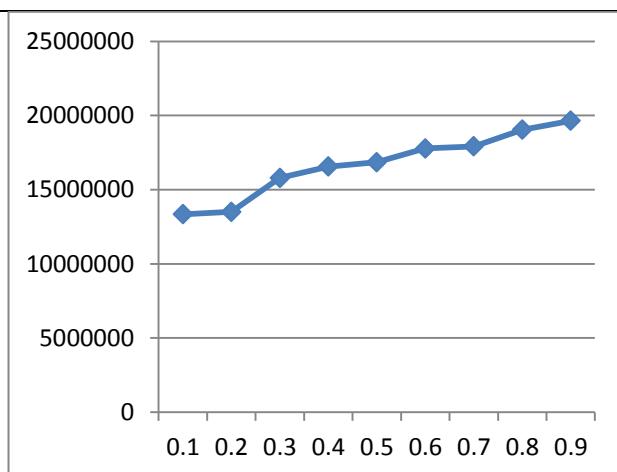
نمودار (۱). بررسی اثر استراتژی های تاب آوری و پایداری بر مواد خریداری شده، جمع آوری شده، بازیافتی و امحاء شده

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

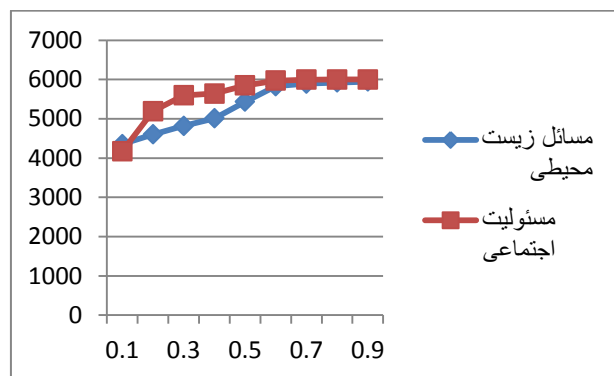
سطح پاسخگویی	هزینه	مسائل زیست محیطی	مسئولیت اجتماعی
۰,۱	۱۳۳۴۱۴۹۴	۴۳۵۲	۴۱۶۹
۰,۲	۱۳۵۰۸۱۷۶	۴۶۰۳	۵۱۹۴
۰,۳	۱۵۷۹۴۹۵۶	۴۸۱۶	۵۵۹۵
۰,۴	۱۶۵۶۳۰۵۵	۵۰۰۹	۵۶۴۲
۰,۵	۱۶۸۵۳۸۶۳	۵۴۳۲	۵۸۵۰
۰,۶	۱۷۷۷۳۵۸۱	۵۸۲۸	۵۹۷۲
۰,۷	۱۷۹۲۳۴۲۴	۵۸۹۴	۵۹۹۷
۰,۸	۱۹۰۳۸۷۶۴	۵۹۲۳	۶۰۰۰
۰,۹	۱۹۶۴۵۵۸۱	۵۹۴۵	۶۰۰۰



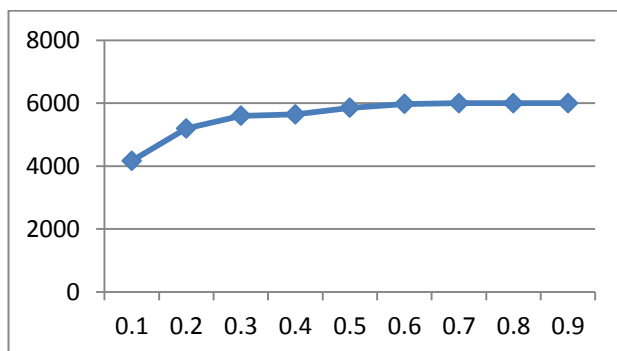
نمودار (۳). واکنش تابع هدف مسائل زیست محیطی به افزایش میزان پاسخگویی



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



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



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

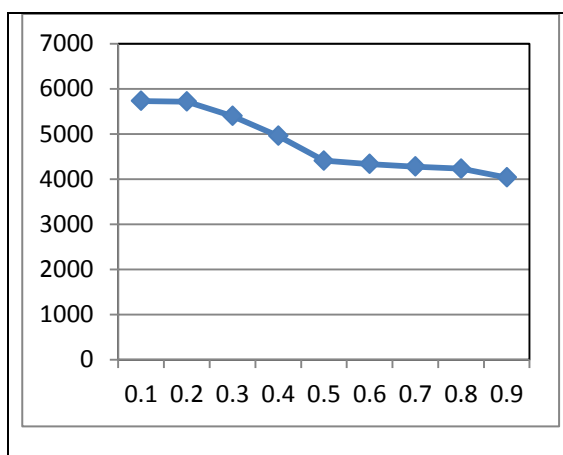
پاسخگویی منجر به بهبود مسائل اجتماعی و بدتر شدن مسائل هزینه و مسائل زیست محیطی در زنجیره تأمین می‌شود. در ادامه واکنش توابع هدف به وزن‌ها پرداخته می‌شود.

براساس نمودارهای فوق می‌توان دریافت که با افزایش پاسخگویی، هزینه زنجیره تأمین و همچنین مسائل زیست محیطی افزایش می‌یابد اما در مسئولیت اجتماعی در زنجیره تأمین بهبود حاصل می‌شود و لذا می‌توان گفت افزایش

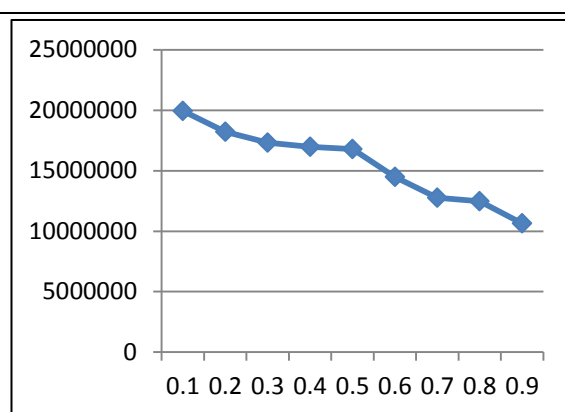
جدول (۴). واکنش توابع هدف به افزایش وزن توابع هدف

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



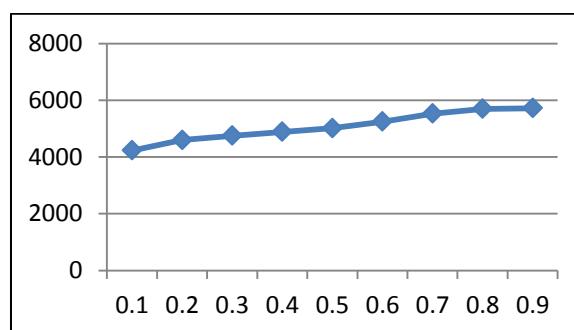
نمودار (۷). واکنش تابع هدف مسائل زیست محیطی به افزایش وزن این تابع هدف



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

همانگونه که مشاهده می شود با افزایش وزن تابع هدف شاهد بهبود در میزان توابع هدف می باشیم. 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.

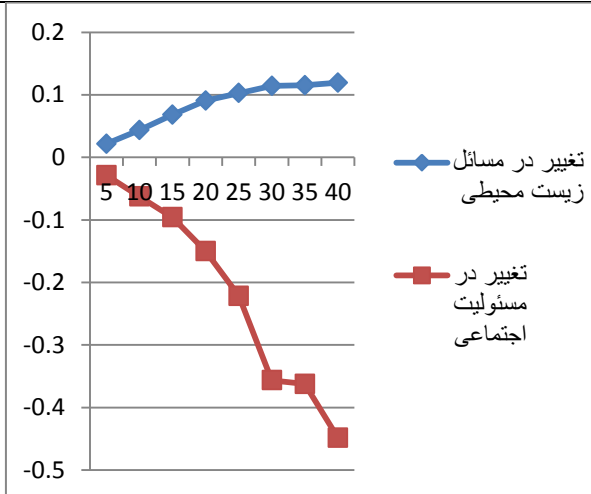
در ادامه به بررسی اثر عدم قطعیت بر توابع هدف مدل پرداخته می شود نتیجه در جدول ذیل ارائه شده است.



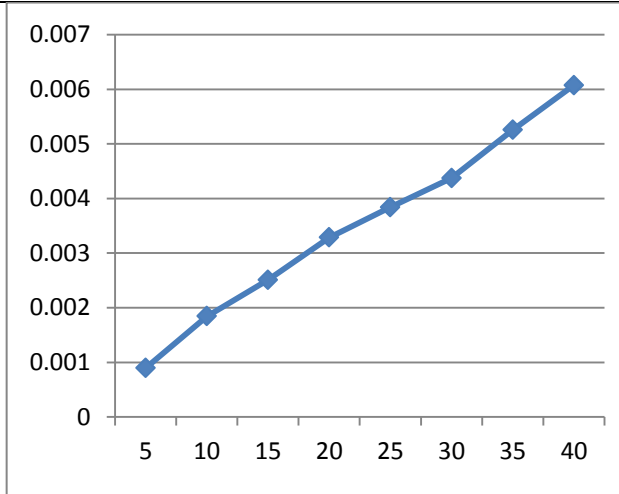
نمودار (۸). واکنش تابع هدف مسائل اجتماعی به افزایش وزن این تابع هدف

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



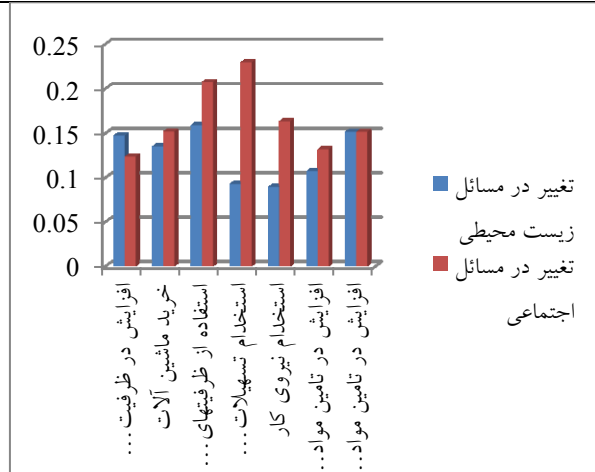
نمودار (۹). واکنش تابع هدف هزینه افزایش سطح عدم قطعیت

شدن جواب می باشد. در خصوص مسئولیت اجتماعی به دلیل آنکه هدف حداکثر سازی می باشد لذا تابع هدف ماهیت نزولی یافته است.

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

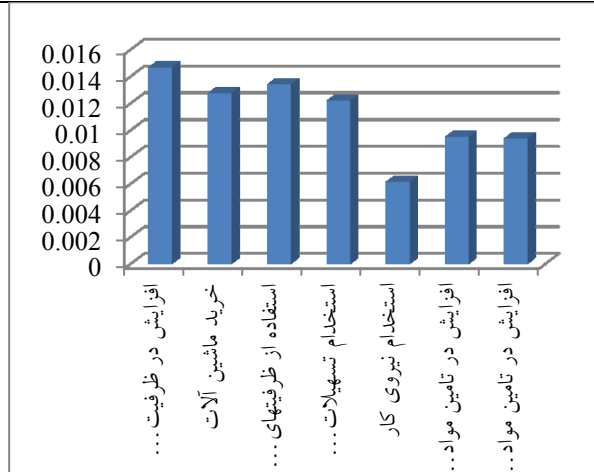
جدول (۶). بررسی اثر استراتژی‌های مختلف مقابله با کووید بر توابع هدف مسئله

استراتژیها	هزینه	مسائل زیست محیطی	مسئولیت اجتماعی	تغییر در هزینه	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 (۱۲). اثر استراتژیهای مقابله با کووید بر توابع زیست محیطی و مسئولیت اجتماعی

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



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

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 تقریباً ۶ دهم درصد می تواند باعث کاهش هزینه شود در حالیکه

۶- مراجع

[۱] زارع مهرجردی، یحیی، صالحی، سمیه، صادقیه، احمد، و حسینی نسب، حسن، ارائه مدل ریاضی برای طراحی زنجیره تأمین تاب‌آور 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 motivated by 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 sustainability and 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 Resilient Supply Chain Network Design 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. Ramezani, 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-cut method for resilient and responsive supply chain network design. *Int. J. Prod. Research* 1–29, (2020).

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- نتیجه گیری

هدف تحقیق حاضر ارائه یک مدل زنجیره تأمین تاب‌آور و پایدار در شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن معیار پاسخگویی و اثرات غیر قطعی کووید ۱۹ می باشد. نتایج تحقیق نشان می دهد که اعمال استراتژی پایداری و تاب‌آوری 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 تاب‌آوری 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 تأثیر این 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.

[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.

[16] S. Kumar Paul, P. Chowdhury, R. Kumar Chakraborty, 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.

Presenting and Solving a 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; Accepted: 31/05/2023)

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.

^{*}Corresponding Author E-mail: a-tabriz@sbu.ac.ir