



زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار و تاب‌آور دارو با تأمین‌کننده پشتیبان تحت شرایط بیماری کرونا (کووید-۱۹)

داوود شیشه‌بری^{۱*}، امید عبدالعظیمی^۲، داوود عندلیب‌اردکانی^۳

۱. دانشیار، گروه مهندسی صنایع، پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، ایران
۲. کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران
۳. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه یزد، ایران

خلاصه

صنعت داروسازی در ایران دچار مشکلاتی مانند توزیع و زمان‌بندی نامناسب دارو است که موجب به‌موقع نرسیدن دارو به بیماران و یا از طرف دیگر حجم عظیم داروهای تاریخ‌گذشته شده است. همچنین توجه به مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی در کنار مسائل اقتصادی رویکرد جدی برای رسیدن به توسعه پایدار است. در این مقاله، برای توزیع دارو در سطح کشور با توجه به میزان تقاضا، توابع هدف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی در نظر گرفته شده است. هدف، طراحی مدلی نوین برای شبکه توزیع دارو منطبق با شرایط وجود یک اپیدمی (بیماری‌های همه‌گیر مانند کرونا) و بررسی اثر این بیماری بر زنجیره تأمین دارو است. همچنین، با اضافه شدن مرکز تأمین‌کننده پشتیبان سعی شده تا علاوه بر مدیریت نمودن تأثیرهای منفی بیماری کرونا، آثار آن نیز به‌صورت جامع بررسی و تحلیل شود. برای به‌دست‌آوردن جبهه جواب (مرز پارتو) روش اپسیلون محدودیت بهبود یافته افزوده ۲ (AUGMECON2) به کار رفته است. با استفاده از مدل پیشنهادی، مدیران زنجیره تأمین نه تنها قادر به تصمیم‌گیری‌های تاکتیکی (میزان جریان محصول در شبکه) با بیشترین سود، بیشترین تأثیر مثبت اجتماعی، کاهش ایجاد گازهای گلخانه‌ای و کاهش میزان سرایت بیماری می‌شوند؛ بلکه می‌توانند با ایجاد تاب‌آوری و پایداری در شبکه خود برای آینده، در شرایط بحرانی مانند وجود ویروس کرونا، مشکلات جدی شبکه زنجیره تأمین خود را تا حد زیادی کاهش داده یا از بین ببرند. نتایج نشان داد که رویکرد پیشنهادی برای شرایط بیماری کرونا از کارایی بسیار مناسبی برخوردار بوده و می‌تواند آثار مخرب و زیان‌بار این بیماری مهلک و خانمان سوز را تا اندازه قابل‌توجهی کاهش دهد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۰/۳/۶

پذیرش ۱۴۰۰/۹/۱۵

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

زنجیره تأمین حلقه بسته

دارو

پایداری و تاب‌آوری

بیماری کرونا

مسائل زیست‌محیطی و

اجتماعی

تأمین‌کننده پشتیبان

۱. مقدمه

صنعت دارو یکی از صنایع بسیار کلیدی در دنیای مدرن امروزی به حساب می‌آید و بدون آن هیچ داروی نجات‌بخشی در دسترس نخواهد بود تا بتواند بر سیستم مراقبت از سلامتی تأثیرگذار باشد. در واقع صنعت دارو مسئول توسعه، تولید و بازاریابی داروها بوده و نقطه اتکای سلامت عمومی در هر کشوری به حساب می‌آید. شرکت‌های

دارویی عمدتاً داروهای ژنریک (Generic)، داروهای تجاری (Branded)، داروهای ژنریک تجاری (Branded Generic)، و داروهایی که برای فروش آن‌ها نیازی به نسخه پزشک نیست (Over The Counter) را به فروش می‌رسانند. ممکن است شرکت‌ها در فرآیند تحقیق و توسعه یا ساخت دارو با هم مشارکت کرده و خدمات جامعی از کشف دارو گرفته تا فروش آن به شرکت‌های دارویی دیگر را

* نویسنده مسئول: داوود شیشه‌بری

تلفن: ۰۳۵-۳۱۲۳۲۴۱۰؛ پست الکترونیکی: shishebori@yazd.ac.ir

زنجیره‌تأمین چه مدت می‌تواند یک اختلال را حفظ کند؟ یا چه مدت طول می‌کشد تا بعد از شیوع بیماری همه‌گیر، یک زنجیره‌تأمین بهبود یابد؟ و آیا کدام خط‌مشی عملیاتی زنجیره‌تأمین (مثل پذیرش کمبودهای موقتی، استفاده از برنامه‌های از قبل آماده شده برای بیماری‌های فراگیر احتمالی، واکنش جدی نشان دادن با تغییر سیاست‌های عملیاتی در زمان اپیدمی و ...) برای مقابله با اختلالات در سطوح مختلف شدت پراکندگی اپیدمی موثر است؟ اقداماتی که اکنون برای کاهش آثار ویروس کرونا بر زنجیره‌های تأمین اجرا می‌شود می‌تواند در برابر شوک‌های آتی نیز تاب‌آوری ایجاد کند. حتی زمانی که عوارض بلافاصله گسترش ویروس کرونا در حال افزایش است، آثار اقتصادی این بحران در مرکز توجه قرار می‌گیرد. کسب‌وکارها باید به‌یکباره در چندین جبهه واکنش نشان دهند. هم‌زمان با تلاش برای حفظ ایمنی کارکنان خود، باید بقای عملیاتی خود را نیز حفظ کنند؛ عملیاتی که اکنون تحت فشار یک شوک تاریخی در زنجیره‌تأمین است. بسیاری از کسب‌وکارها می‌توانند به‌سرعت خود را بسیج کنند و سازوکارهای مدیریت بحران را به‌صورت ایده‌آل به‌شکل یک مرکز اعصاب راه‌اندازی کنند. این تمرکز معمولاً کوتاه‌مدت است. در دورنمای کنونی، واکنش کوتاه‌مدت کامل به‌معنای مواجهه با شش مسأله است (شکل (۱)) که مستلزم اقدام سریع در سرتاسر زنجیره ارزش است [۷]. این اقدامات باید به‌صورت موازی با گام‌های پشتیبانی نیروی کار انجام شود و مطابق با جدیدترین الزامات سیاستی باشد. خوانندگان برای اطلاعات بیشتر درخصوص شکل (۱) می‌توانند به مرجع [۷] مراجعه کنند.

شرکت‌ها و دولت‌ها با اقدام آگاهانه امروز و چند ماه آینده، می‌توانند با آمادگی بهتر برای بحران بعدی، از بحران فعلی خارج شوند. باتوجه به موارد ذکر شده اهمیت تأثیر بیماری کرونا بر ساختار یک زنجیره‌تأمین بیش از پیش احساس می‌شود تا با شناسایی شوک‌های وارد شده به ساختار زنجیره‌تأمین، تا حدودی بتوان به آن‌ها جواب‌های مناسبی داد و آثار آن‌ها را نیز کم و یا خنثی نمود.

تاب‌آوری زنجیره‌تأمین، زیرمجموعه‌ای از مبانی نظری مقوله مدیریت ریسک است [۵۸]. تاب‌آوری نه‌تنها اختلال را کاهش می‌دهد، بلکه قابلیت سیستم برای بازگشت از وضعیت اختلال به‌حالت مطلوب را ارتقا می‌بخشد [۵۹]. اختلالات در زنجیره‌های تأمین غیرقابل اجتناب هستند [۶۰]؛ بنابراین مدیران نباید بر وقایع مصیبت‌بار (که ممکن است رخ دهند یا خیر) تمرکز کنند؛ بلکه لازم است زنجیره‌تأمین را به‌گونه‌ای مدیریت کنند و توسعه دهند که زنجیره بتواند در مقابل اختلالات پیش‌رو به‌خوبی واکنش نشان دهد و به شرایط عادی بازگردد. برای کاهش ریسک، زنجیره‌های تأمین باید چندبعدی و چندرشته‌ای بوده و به‌گونه‌ای طراحی شوند که برای هرگونه رویدادی آمادگی داشته باشند تا بتوانند ضمن فراهم نمودن پاسخی کارا و اثربخش، توانایی بازگشت به وضعیت اولیه یا مطلوب‌تر پس از اختلال را داشته باشند که این همان معنای تاب‌آوری زنجیره‌تأمین است [۶۱]. تاکنون شاخص‌های متعددی برای ارزیابی و بهبود تاب‌آوری زنجیره‌تأمین

ارائه دهند. همه‌گیری ویروس جدید کرونا، کارخانه‌ها در سراسر جهان را مجبور به آهسته کردن و یا متوقف ساختن تولیداتشان کرده و روال تأمین کالا در اغلب زنجیره‌های تأمین را با اختلال مواجه کرده است. به‌گفته اقتصاددانان، بخشی از مشکل این است که زنجیره‌به‌اندازه کافی متنوع نیست. ریسک‌های زنجیره‌تأمین چندوجهی است و می‌تواند به ریسک‌های عملیاتی و اختلال طبقه‌بندی شود [۱]. درحالی‌که ریسک‌های عملیاتی با مواردی از قبیل اختلالات روزمره در عملیات زنجیره‌تأمین (برای مثال مدت زمان تحویل و نوسانات تقاضا) درگیر هستند، ریسک‌های مربوط به اختلال، با حوادث با فرکانس کم و تأثیر بالا ارتباط دارند [۲]. نمونه‌هایی از ریسک‌های مربوط به اختلال عبارتند از: بلایای طبیعی مانند زمین‌لرزه و سونامی (به‌عنوان مثال، سونامی در ژاپن در سال ۲۰۱۱ و تأثیر بسیار زیاد آن در زنجیره‌تأمین در سراسر جهان)، فاجعه‌های مصنوعی در اثر فعالیت‌های انسانی (به‌عنوان مثال، انفجار کارخانه Baden Aniline and Soda Factory (BASF) در آلمان در سال ۲۰۱۶ و در نتیجه آن کمبود مواد اولیه در زنجیره‌تأمین جهانی)، و اختلافات حقوقی یا اعتصاب [۳]. تأثیر این ریسک‌ها، به‌صورت فوری در ساختار و طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین مشخص می‌شوند و برخی از کارخانه‌ها، تأمین‌کنندگان و مراکز توزیع و پیوندهای حمل‌ونقل موقتاً از دسترس خارج خواهند شد. به‌دنبال آن، کمبود مواد و تأخیر در تحویل منجر به پایین آمدن جریان زنجیره‌تأمین و به‌دنبال آن اثر شلاق چرمی شده و عملکرد زنجیره را از نظر درآمد، سطح خدمات و بهره‌وری کاهش می‌دهد [۴].

در مواردی خاص اختلالات زنجیره‌تأمین ناشی از شیوع بیماری همه‌گیر است. شیوع بیماری‌های اپیدمی یک مورد خاص از ریسک‌های زنجیره‌تأمین است که به سه جزء مشخص می‌شود. این مؤلفه‌ها عبارتند از: الف) وجود اختلال درازمدت و مقیاس‌بندی غیرقابل پیش‌بینی آن، ب) انتشار هم‌زمان اختلال در زنجیره‌تأمین (به‌عنوان مثال، اثر موج‌دار) و انتشار شیوع اپیدمی در جمعیت (به‌عنوان مثال، انتشار همه‌گیر) و ج) ایجاد اختلال هم‌زمان در زیرساخت‌های عرضه، تقاضا و تدارکات. برخلاف سایر ریسک‌های ناشی از ایجاد اختلالات، شیوع یک بیماری همه‌گیر، ابتدا دارای آثار جزئی است اما بسیار سریع پیشرفت کرده و در بسیاری از مناطق جغرافیایی پراکنده می‌شود. نمونه‌های اخیر شامل سارس (SARS)، مرس (MERS)، ابولا (EBOLA)، آنفولانزای خوک، و اخیراً ویروس کرونا است. شیوع ویروس کرونا از شهر ووهان در چین شروع شد و بلافاصله بر صادرات چین تأثیر گذاشت و به‌طور چشم‌گیری میزان عرضه را در زنجیره‌تأمین جهانی کاهش داد. آراز و همکاران در سال (۲۰۲۰) تأکید می‌کنند که شیوع کووید-۱۹ نشان‌دهنده یکی از عمده‌ترین اختلالات در دهه‌های گذشته است که منجر به شکستن بسیاری از زنجیره‌های تأمین جهانی شده است [۶].

در چنین شرایط آشفته‌ای، شرکت‌هایی که با شیوع اپیدمی روبه‌رو هستند ممکن است با مجموعه‌ای از ابهام‌ها روبه‌رو شوند مانند: یک

۷- تخصیص استراتژیک ظرفیت‌ها و موجودی‌های مازاد به گلوگاه‌ها (نقاط تنگنا)، ۸- رویت‌پذیری در برنامه‌های تولید و خرید، ۹- کاهش زمان تأخیر، ۱۰- فرهنگ مدیریت ریسک زنجیره‌تأمین، ۱۱- ایجاد رویت‌پذیری کل زنجیره‌تأمین، ۱۲- فرهنگ همکاری به‌منظور کاهش ریسک؛

ج) شاخص‌های تاب‌آوری در سطح پایین‌دستی: ۱- حفظ یک ناوگان حمل‌ونقل اختصاصی، ۲- حمل‌ونقل انعطاف‌پذیر، ۳- رویت‌پذیری موجودی‌های نهایی و شرایط تقاضا، ۴- مدیریت تقاضا-مبنا.

مطرح شده‌اند [۶۲] که می‌توان مهم‌ترین شاخص‌های کلیدی آن را به‌صورت ذیل دسته‌بندی نمود:

الف) شاخص‌های تاب‌آوری در سطح بالادستی: ۱- استراتژی منبع‌یابی به‌منظور امکان تعویض تأمین‌کنندگان، ۲- تعهد به قراردادهای برای تأمین مواد، ۳- ایجاد رویت‌پذیری به‌منظور کسب اطلاعات شفاف از شرایط تأمین و موجودی‌های بالادستی؛

ب) شاخص‌های تاب‌آوری در عملیات داخلی زنجیره‌تأمین: ۱- طراحی سیستم‌های تولید با قابلیت انطباق با محصولات متفاوت، ۲- نیروی کار چندمهارته، ۳- ایجاد ظرفیت‌های مازاد، ۴- تعویق، ۵- حداقل‌سازی اندازه دسته‌ها، ۶- موجودی و ظرفیت مازاد استراتژیک،

ارزیابی تقاضای واقع بینانه مشتری نهایی

- همکاری با برنامه‌ریزی فروش و عملیات به منظور دریافت سیگنال تقاضا برای تعیین میزان تأمین لازم
- استفاده اهرمی از کانال‌های ارتباط مستقیم با مصرف‌کننده
- استفاده از بینش بازار/ پایگاه‌های داده بیرونی برای تخمین مشتریان مشتری



مدیریت نقدینگی و سرمایه در گردش خالص

- اجرای آزمون‌های فشار زنجیره‌تأمین در مقایسه با ترانزنامه‌های تأمین‌کنندگان اصلی به منظور درک زمان شروع تأثیرگذاری زنجیره‌تأمین بر مسائل مالی یا نقدینگی

بهینه‌سازی ظرفیت تولید و توزیع

- ارزیابی اثر بر عملیات و ظرفیت منابع موجود (به ویژه نیروی کار)
- تضمین ایمنی کارکنان و ارتباط شفاف با کارکنان
- برنامه‌ریزی سناریویی و ارزیابی اثر بر عملیات، بر مبنای ظرفیت موجود
- بهینه‌سازی تولید محدود، بر اساس اثر بر سلامت انسان، حاشیه سود و جریمه/ هزینه فرصت



شناسایی و حفظ ظرفیت لجستیک

- تخمین ظرفیت لجستیک در دسترس
- تسریع ترخیص کالا از گمرک
- تغییر سبک حمل‌ونقل و پیش‌ثبت نام برای رزرو ظرفیت حمل‌ونقل هوایی/ریلی، با توجه به آسیب‌پذیری کنونی
- همکاری با سایرین برای بهره‌برداری مشترک از ظرفیت حمل‌بار

ایجاد شفافیت در زنجیره‌تأمین چند لایه‌ای

- تعیین قطعات حیاتی و تعیین خاستگاه تأمین
- ارزیابی خطر فاسد شدن و شناسایی خطر احتمالی رده ۲ و رده‌های بعدی
- بررسی منابع جایگزین در صورت حضور تأمین‌کنندگان در مناطقی که به شدت تحت تأثیر قرار گرفته‌اند



تخمین موجودی در دسترس

- تخمین موجودی در طول زنجیره ارزش، شامل قطعات یدکی/ موجودی بازتولیدشده
- استفاده از موجودی قطعات لازم برای خدمات پس از فروش به عنوان پلی برای حفظ جریان تولید

شکل (۱): اقدامات زنجیره‌تأمین با هدف واکنش کوتاه‌مدت به مخاطرات و شوک‌های ناگهانی [۷]

اپیدمی به‌عنوان فرهنگ مدیریت ریسک زنجیره‌تأمین (مورد شماره ۱۰)، ملاک قرار گرفته‌اند.

به‌این ترتیب، یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته پایدار و تاب‌آور دارو در شرایط بیماری کرونا مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف، طراحی مدل ریاضی نوین و کارآمد برای مقایسه این زنجیره‌تأمین در صورت وجود و عدم وجود بیماری کرونا و بررسی آثار آن با به‌کارگیری تکنیک‌های بهبود تاب‌آوری فوق‌الذکر است. سؤالات این مطالعه به‌صورت زیر هستند:

- بیماری کرونا چه تأثیری بر ساختار یک زنجیره‌تأمین دارو وارد می‌کند و آیا می‌توان جواب‌های مناسبی به آن داد و آثار شوک آن را نیز کم یا خنثی کرد؟
- روش حل مناسب برای مدل پیشنهادی این مقاله چیست و آیا جواب‌های منطقی و قابل قبولی ارائه می‌دهد؟

پژوهش حاضر بر ضرورت و اهمیت پارادایم تاب‌آوری در حفظ عملکرد و رقابت‌پذیری زنجیره‌تأمین تأکید دارد. براین اساس، شاخص‌های تاب‌آوری لحاظ شده، در سطح بالادستی و عملیات داخلی زنجیره‌تأمین پیشنهادی در نظر گرفته شده است. درخصوص شاخص‌های تاب‌آوری در سطح بالادستی (قسمت الف)، در نظر گرفتن تأمین‌کننده پشتیبان و همچنین ظرفیت مربوط به آن به‌عنوان استراتژی منبع‌یابی به‌منظور امکان تعویض تأمین‌کنندگان (مورد شماره ۱)، ملاک قرار گرفته است. برای شاخص‌های تاب‌آوری در عملیات داخلی زنجیره (قسمت ب)، طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین با در نظر گرفتن محصولات متفاوت به‌عنوان طراحی سیستم‌های تولید با قابلیت انطباق با محصولات متفاوت (مورد شماره ۱)، و همچنین در نظر گرفتن هزینه‌های تولید و خرید به‌عنوان رویت‌پذیری در برنامه‌های تولید و خرید (مورد شماره ۸) و نهایتاً سازگاری با شرایط وجود یک

به‌عنوان ترکیبی از زنجیره‌تأمین پیش‌رو و معکوس تعریف شد که در زنجیره‌تأمین معکوس، مسائل زیست‌محیطی مورد تأکید واقع شد. گوویندان و همکاران [۱۷] یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن لجستیک معکوس دوسطحی و سه‌سطحی به مطالعه در صنعت کامپیوتر پرداختند و از طریق اشتراک سودبه‌سود، هر دو مدل دوسطحی و سه‌سطحی را بهبود دادند. سرانجام، کاردوسو و همکاران [۱۸] یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن آرایش ترکیبی در هر دو جهت روبه جلو و معکوس ارائه کردند.

در بیشتر تحقیقات صورت گرفته که در مورد اختلال عرضه هستند، یک تأمین‌کننده را شامل می‌شود. اما در محیط رقابتی تجاری مدرن، ممکن است به دلیل عدم قطعیت، وضعیت‌های کمبود موجودی یا فروش از دست‌رفته افزایش می‌یابد و این فرصتی را برای سایر رقبای ایجاد می‌کند [۱۹]. بنابراین به‌منظور مدیریت ریسک‌های عرضه، شرکت‌های تجاری اکنون یک یا چند تأمین‌کننده ثانویه را به‌عنوان منبع تأمین اضطراری نگه می‌دارند. بنابراین، این تأمین‌کننده پشتیبان به کاهش ریسک موجودی و کاهش آثار منفی اختلال در عرضه کمک می‌کند. به‌عنوان مثال، در آگوست ۲۰۰۵، زمانی که طوفان کاترینا به سواحل خلیج ایالات‌متحده رسید، وال‌مارت (Wal-Mart) توانست با استفاده از استراتژی منبع‌یابی پشتیبان خود به سرعت به اختلالات عرضه واکنش نشان دهد و پیامدهای کمبود عرضه را کاهش دهد [۲۰]. یکی دیگر از نمونه‌های واقعی انفجاری در شرکت فولادی آچی توپوتا (Aichi Steel Corporation)، این شرکت را مجبور به توقف تولید در کارخانه چیتا خود در ۸ ژانویه ۲۰۱۶ کرد. در نتیجه، توپوتا بزرگترین خودروساز جهان، با کمبود فولاد مواجه شد. اما توپوتا با استفاده از استراتژی تأمین منابع پشتیبان اضطراری توانست تنها در ۷ روز از بحران خود خلاص شود [۲۱]. بنابراین، معمولاً داشتن بیش از یک تأمین‌کننده برای کاهش ریسک‌های عرضه، ارزشمند است. در مقاله [۱۹]، با استفاده از یک چارچوب نظریه بازی، یک زنجیره‌تأمین شامل دو تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش با تقاضای تصادفی وابسته به قیمت را در نظر گرفته شد که در آن تأمین‌کنندگان مستعد اختلال هستند. برای بررسی تأثیر اختلال در عرضه، دو مدل در نظر گرفته شد: مدل زنجیره‌تأمین، که در آن خرده‌فروش هیچ منبع تأمین اضطراری را در برابر هرگونه اختلال عرضه حفظ نمی‌کند، و مدل زنجیره‌تأمین پشتیبان‌کننده، که در آن خرده‌فروش یک تأمین‌کننده پشتیبان برای کاهش تأثیر عرضه دارد. نتایج نشان داد که در صورت وجود اختلال در عرضه، حتی با احتمال‌های کمتر، خرده‌فروش همیشه ترجیح می‌دهد از مزیت تأمین‌کننده پشتیبان استفاده کند و مقدار ذخیره بهینه با احتمال اختلال افزایش می‌یابد. چوپرا و همکاران [۲۲] یک مدل دو تأمین‌کننده با منبع دوگانه را تحت هر دو اختلال عرضه و عدم قطعیت در نظر گرفتند. پس از آن، بسیاری از محققان (چن و یانگ (۲۰۱۴) [۲۳]؛ گیری و دی (۲۰۲۰) [۲۴]؛ زنگ و همکاران (۲۰۲۰) [۲۵]) همان استراتژی را برای کاهش اختلال عرضه در مدل‌های زنجیره‌تأمین خود در نظر گرفته‌اند.

• ساختار زنجیره‌تأمین دارو در شرایط بحران اپیدمی با شرایط عادی چه نقاط تمایزی دارد؟

از جمله نوآوری‌های این مطالعه را می‌توان طراحی یک مدل ریاضی منعطف برای یک شبکه زنجیره‌تأمین دارو دانست که هم برای شرایط عادی (بدون حضور بیماری‌های اپیدمی) و هم برای شرایط بحرانی اپیدمی مناسب است. برای مقابله با شوک‌های ناشی از بیماری‌های اپیدمی بر یک زنجیره‌تأمین، راهکارهای متعددی پیشنهاد شده‌اند [۸، ۹]، که در این مقاله از تأمین‌کننده پشتیبان استفاده شده است. با توجه به این‌که تأمین‌کنندگان نقش کلیدی را در یک زنجیره تأمین ایفا می‌کنند و عدم وجود آن‌ها یا هرگونه تأخیری در فراهم کردن مواد اولیه توسط آن‌ها خسارات جبران‌ناپذیری را به ساختار کلی زنجیره وارد می‌کند [۱۰]؛ بنابراین، نوآوری کلیدی این مطالعه می‌تواند استفاده از تأمین‌کنندگان پشتیبان برای برخورد با آثار منفی شرایط کرونا بر ساختار زنجیره‌تأمین دارو باشد که تاکنون مطالعه‌ای به این مهم نپرداخته است.

ادامه این مقاله به شرح زیر خواهد بود. در بخش ۲، ادبیات مربوط به ریسک‌های زنجیره‌تأمین با تمرکز بر شیوع یک اپیدمی تجزیه و تحلیل می‌شود. بخش ۳ به توصیف شبکه زنجیره‌تأمین حلقه‌بسته پیشنهادی مطالعه حاضر پرداخته و بخش ۴ مدل ریاضی را تشریح می‌کند. در بخش ۵، یک رویکرد حل کارآمد برای مدل ریاضی پیشنهادی ارائه شده است. مجموعه مثال‌های عددی و تحلیل نتایج در بخش ۶ نشان داده شده و نتایج کاربردی و مدیریتی نیز مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش ۷ بینش‌های مدیریتی ارائه شده‌اند. نهایتاً مقاله در بخش ۸، که به بررسی نتایج پایانی با توجه به مهم‌ترین بینش‌ها و همچنین تشریح برنامه‌های پژوهشی آینده می‌پردازد، پایان می‌یابد.

۲. مرور ادبیات

مفهوم زنجیره‌تأمین حلقه بسته در حال حاضر به‌طور گسترده‌ای مورد توجه است، زیرا هم زنجیره تأمین‌های روبه جلو و هم زنجیره‌تأمین‌های روبه عقب را به رسمیت می‌شناسد و آن‌ها را به‌طور مشترک اداره می‌کند. شبکه پیکربندی زنجیره‌های تأمین روبه جلو و روبه عقب تأثیر شدیدی بر عملکرد یکدیگر دارند. بنابراین، برای جلوگیری از نتایج زیربهبینی حاصل از یک طراحی از هم جدا، طراحی شبکه‌های روبه جلو و روبه عقب باید یکپارچه شوند [۱۱، ۱۲]. کیانگ و همکاران [۱۳] یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته شامل تصمیم‌گیرندگانی غیرمترکز متشکل از تأمین‌کنندگان مواد اولیه، خرده‌فروشی‌ها و تولیدکنندگانی که محصولات باز یافت شده را به‌طور مستقیم از بازار تقاضا جمع‌آوری می‌کنند، مورد بررسی قرار داده‌اند. وحدانی و همکاران [۱۴] یک مدل جدید برای طراحی یک شبکه قابل اعتماد تسهیلات در زنجیره‌تأمین حلقه بسته تحت عدم قطعیت پیشنهاد نمودند. امین و ژانگ [۱۵] یک شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته شامل چندین کارخانه، مراکز جمع‌آوری، بازارهای تقاضا و محصولات را مورد بررسی قرار دادند. در مقاله [۱۶] یک زنجیره‌تأمین حلقه بسته

وجود دارد. یوهانیس در سال (۲۰۰۷) از برنامه پاسخ همه‌گیر توسعه‌یافته در فرودگاه بین‌المللی تورنتو پیرسون (Toronto Pearson International Airport) به‌دنبال پیامدهای اپیدمی سارس در سال ۲۰۰۲-۲۰۰۳ گزارش داد [۳۲]. سارس تأثیر منفی بر صنعت هواپیمایی داشته است، به‌خصوص در تایوان هنگامی که حدود ۳۰٪ پروازهای بین‌المللی به حالت تعلیق درآمد [۳۳]. اما اندازه جهانی‌سازی و نقش چین در زنجیره‌تأمین‌های جهانی در زمان سارس با شرایط فعلی متفاوت بوده و تأثیرهای سارس بر روی زنجیره‌های تأمین نسبتاً کم بوده است. علاوه‌بر سارس، شیوع ویروس ابولا بر لجستیک جهانی نیز تأثیر منفی گذاشته است. کالن و همکاران (۲۰۱۸) [۳۴]، دروس آموخته شده در دوران ابولا را توصیف کرده و به نیاز به ایجاد یک چارچوب پشتیبانی از تصمیم‌گیری اشاره می‌کند که به پیش‌بینی تأثیر شیوع اپیدمی در زنجیره‌تأمین و هماهنگی سیاست‌های عملیاتی و لجستیکی در طول و پس از بحران کمک می‌کند.

انتظار می‌رود کاهش عملکرد عملیاتی (به‌عنوان مثال، سود قبل از بهره و مالیات (Earnings before interest and taxes (EBIT))، کمبود مواد و نوسانات قیمت در هنگام شیوع اپیدمی کاهش یابد. به‌عنوان مثال، نشریه جرمن پست (German Post) کاهش EBIT را در بازه ۶۰ تا ۷۰ میلیون یورو اعلام کرد. همچنین، قیمت‌های خرده‌فروشی در چین در فوریه ۲۰۲۰ به‌طور میانگین ۲/۱۹٪ افزایش یافته است [۳۵]. در ۱۷ فوریه، اپل اعلام کرد انتظار دارد درآمد سه ماهه‌اش کاهش یابد [۳۶]. در اواخر فوریه ۲۰۲۰، شیوع کووید-۱۹ تقریباً ۹٪ از ناوگان‌های حمل‌ونقل کانتینر را غیرفعال کرد و شاخص‌های تولید محصولات در چین به‌دلیل تعلیق در کارخانه‌ها تولید به‌منظور جلوگیری از گسترش کووید-۱۹ به پایین‌ترین نقطه از زمان رکود اقتصادی رسیدند [۳۷].

بیماری کروناویروس یا همان کووید-۱۹ نوعی بیماری همه‌گیر است که توسط موج تازه‌ای از دسته بیماری‌های کرونا کشف شده است [۳۸]. وقوع بحران همه‌گیر نظیر کروناویروس، بقای شرکت‌های تولیدی و به‌خصوص بخش دارو را در مقیاس جهانی تهدید می‌کند که نتایج ویرانگر اجتماعی و اقتصادی را برای بخش تولید در پی خواهد داشت [۲۸]. در همین راستا طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین در کنار تدوین استراتژی‌هایی جدیدی برای بررسی تأثیر این بیماری بر روی بخش دارو بسیار کارگشاست. لذا طراحی چنین زنجیره‌تأمینی غیرقابل اجتناب و ضروری می‌باشد. بسیار ضروری است که با این پدیده و نیز پدیده‌های مشابه در کم‌ترین زمان ممکن واکنش نشان داد تا بتوان از آثار مخرب و زیان‌بار آن جلوگیری کرد. این امر با طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین توانا، کارآمد، و سریع امکان‌پذیر خواهد بود. باتوجه به بررسی ادبیات فوق، تا جایی که نویسندگان اطلاع دارند مطالعه‌ای در شرایط بحران‌های ناشی از شیوع بیماری‌های واگیردار برای ایران و در مورد موضوع طراحی شبکه زنجیره‌تأمین دارو با استفاده از یک مدل ریاضی وجود ندارد. بنابراین، طراحی یک شبکه زنجیره‌تأمین مؤثر

به‌این ترتیب، براساس ادبیات تحقیق مروری، در مقاله حاضر نیز استراتژی مشابهی برای کاهش آثار منفی اختلال ناشی از یک اپیدمی در جریان عرضه اتخاذ شده است.

زنجیره‌تأمین دارو متشکل از سه بخش اصلی تولید، توزیع و فروش دارو است. تولید دارو شامل تعدادی مراحل اصلی مانند پژوهش و توسعه اولیه، کسب موافقت قانونی (با هدف کسب اجازه برای فروش دارو در بازار) و همچنین تجاری‌سازی دارو است [۲۶]. نحوه انجام این مراحل در بین کشورهای مختلف و برای داروهای متعدد، متفاوت است. توزیع دارو شامل انتقال از تولیدکنندگان یا واردکنندگان دارو به خرده‌فروشان زنجیره است. خرده‌فروشان در زنجیره‌تأمین دارو شامل داروخانه‌ها، بیمارستان‌ها و در برخی کشورها پزشکان‌اند. پیچیدگی این مرحله از زنجیره به عوامل مختلفی همچون مکان جغرافیایی تولیدکنندگان، واردکنندگان و مشتریان نهایی بستگی دارد؛ برای مثال فراهم کردن دسترسی به داروها در مناطق دورافتاده پیچیده‌تر از مناطق شهری است. فروش دارو به مشتری نهایی شامل رساندن دارو باکیفیت در زمان و مکان مناسب، مرحله نهایی در زنجیره ارزش دارو می‌باشد [۲۷].

منظور از عصر تولید در زمان وقوع بحران کرونا در بخش صنعت تنها معطوف به بحران اقتصادی پس از آن نیست؛ منظور دورانی است که به‌دلیل شیوع سریع این بیماری، صنایع مجبورند در محیطی فعالیت نمایند که از آنچه قبلاً کار می‌کردند متفاوت خواهد بود. این بحران و دوران کنترل کامل این بیماری و کشف درمان آن ادامه خواهد داشت. زمانی که حداقل تحقق آن را ۹ تا ۱۵ ماه پیش‌بینی می‌کنند. تأثیرات عمیق کرونا بر اقتصاد و صنایع تولیدی در خوشبینانه‌ترین حالت یک تا سه سال باقی می‌ماند [۲۸]. آنقدر پیچیدگی و امکان خطا در این دوران سهمگین است که واژه‌ای به نام کرونای صنعتی در حال شکل‌گیری است. منظور از این واژه، تأثیرگذاری عمیق فضای ناشناخته جدید بر کسب‌وکارها و تضعیف شدن و حتی مرگ بسیاری از بزرگان و مجموعه‌هایی است که خود را با این محیط یک تا سه ساله همراه نکرده باشند. باتوجه به رخدادهای بحرانی در سال‌های اخیر نظیر بحران اقتصادی آسیا در سال ۲۰۰۸، بحران هسته‌ای فوکوشیما در سال ۲۰۱۱، بحران مهاجرت سال ۲۰۱۵، بحران‌های مالی و اقتصادی نظیر برگزیت و بحران آب و هوا، گرم شدن زمین و ... نقطه مشترک همه بحران‌ها، پیامدهای فردی، اجتماعی، اقتصادی و طبیعی است. در نتیجه، پاسخ‌های راهبردی به بحران‌ها، به راهبردها و سیاست‌های رژیم حاکم بستگی دارد. بنابراین، بحران فعلی سؤالات مهمی را در مورد چگونگی راهکارها و راهبردهای پاسخ‌گویی شرکت‌ها به بحران‌هایی نظیر بیماری همه‌گیر کووید-۱۹ بیان می‌کند [۲۹].

در حالی که تحقیقات مقابله با شیوع بیماری‌های همه‌گیر از دیدگاه لجستیک‌های بشردوستانه دانش کاملی را فراهم می‌کند [۳۰، ۳۱]، ادبیات مربوط به تجزیه و تحلیل تأثیر شیوع بیماری همه‌گیر بر روی زنجیره‌های تأمین تجاری کمیاب است. برخی از اطلاعات کمیاب در مورد شیوع اپیدمی قبلی (سارس) در رابطه با عملیات زنجیره‌تأمین

برای مدل‌سازی شبکه به‌صورت پایدار و تاب‌آور، سه تابع هدف حداکثرکردن سود، حداقل‌کردن آثار مخرب زیست‌محیطی و حداکثرکردن میزان اشتغال و سطح امنیت باتوجه به احداث بعضی مراکز، تعریف می‌شود. پیچیدگی این مرحله از زنجیره به عوامل مختلفی مانند مکان جغرافیایی تولیدکنندگان، واردکنندگان و مشتریان نهایی بستگی دارد؛ برای مثال فراهم کردن دسترسی به محصولات در مناطق دورافتاده پیچیده‌تر از مناطق شهری است.

هدف حداکثرسازی سود همواره جزء اهدافی است که در همه مطالعات زنجیره تأمین مورد بررسی قرار گرفته است. برای مثال نانس و همکاران (۲۰۲۰) [۳۹]؛ وفایی و همکاران (۲۰۲۰) [۴۰]؛ عبدالعظیمی و خاکستری (۲۰۲۰) [۴۱] و عبدالعظیمی و همکاران (۲۰۲۱) [۴۲] در مقالاتشان از این تابع هدف استفاده کرده‌اند. یکی دیگر از مسائلی که به‌خصوص در بخش حمل‌ونقل و توزیع محصول مطرح می‌شود، آثار سوء زیست‌محیطی هریک از اشکال حمل‌ونقل [۴۳، ۴۴، ۴۵] (مانند اثر بر منابع طبیعی، آلودگی هوای شهری، آلودگی صوتی، آلودگی آب‌های زیرزمینی و ...) است. باتوجه به گزارش‌های وزارت راه و شهرسازی ایران در سال ۱۳۹۶، امروزه برنامه‌های مدیریتی برای کنترل و کاهش آلودگی هوا و گازهای گلخانه‌ای، از مهمترین مسائل در صنایع جهان محسوب می‌شوند. نهایتاً اهمیت تابع هدف اجتماعی نیز امروزه بیش از پیش در مطالعات مربوط به زنجیره تأمین افزایش یافته است. مقالاتی نظیر پورمهدی و همکاران (۲۰۲۰) [۴۶]؛ ونکاتش و همکاران (۲۰۲۰) [۴۷] و گاویندان و همکاران (۲۰۲۰) [۴۸] از جمله این مطالعات هستند. باتوجه به موارد مطرح شده، در این مقاله سه بعد پایداری یعنی سود، مسائل زیست‌محیطی و مسائل اجتماعی در طراحی شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه مفروضات مدل شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی ارائه می‌شود که به شرح زیر است:

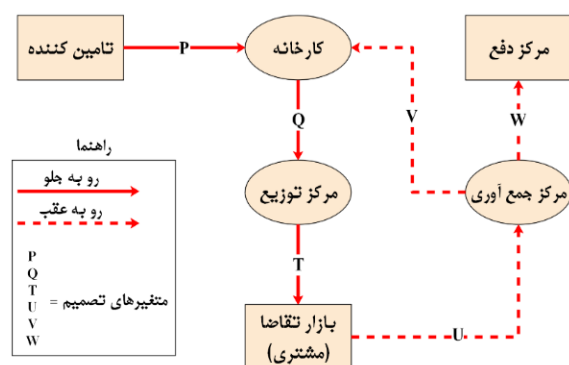
- کمبود محصول در شبکه وجود ندارد؛
 - بین مراکز توزیع اصلی مبادله محصول وجود ندارد؛
 - بین تأمین‌کنندگان مبادله مواد خام اولیه وجود ندارد.
- برای بررسی تأثیر بیماری کرونا بر روی زنجیره تأمین پیشنهادی، مدل این مقاله براساس برخی تغییرات، از مدل در شرایط عادی به مدل برای شرایط اپیدمی (کرونا) تبدیل می‌شود. به‌همین منظور، در حالت وجود بیماری کرونا، یک مرکز به‌عنوان تأمین‌کننده پشتیبان به ساختار زنجیره تأمین پیشنهادی اضافه شده و تأثیر آن، به‌عنوان یک راهکار مناسب بر روی جواب کلی بررسی شده است. همچنین تعدادی مجموعه، پارامتر، متغیر تصمیم‌گیری، محدودیت و یک تابع هدف مخصوص شرایط کرونا نیز به مدل شرایط عادی اضافه شده است تا براساس تغییرات ذکر شده مدل مذکور به یک مدل ریاضی برای شرایط اپیدمی تبدیل شود.

زنجیره‌های تأمین به‌طور کلی دارای ساختارهای پیچیده‌تری نسبت به گذشته شده‌اند. شرکت‌های بیشتری برای فرآیندهای تولید خود بر تأمین‌کنندگان واسط تکیه می‌کنند. دیوید سیمچی - لیوی،

تحت شرایط بیماری‌های اپیدمی مانند کرونا و پروس با تمرکز بر امکانات موجود بسیار مورد نیاز است.

۳. توصیف زنجیره تأمین پیشنهادی

شکل (۲) یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته دارو را در شرایط عادی (بدون وجود اپیدمی) نشان می‌دهد که شامل چندین تأمین‌کننده، کارخانه، مراکز توزیع، بازارها (مشتریان در اینجا بیمارستان‌ها) و مراکز جمع‌آوری است. علاوه بر این، یک مرکز دفع وجود دارد. محصولات از مراکز تولید به مراکز توزیع ارسال می‌شوند. سپس از آنجا به بازارهای تقاضا (بیمارستان‌ها) منتقل می‌شوند. برخی از محصولات توسط مشتریان بازگردانده می‌شوند و در مراکز جمع‌آوری، جمع‌آوری شده و سپس، آن‌ها از هم جدا و قسمت‌های قابل استفاده به کارخانه‌ها فرستاده شده تا مجدداً مورد استفاده قرار گیرند (منظور ظروف برخی از داروها می‌باشد که در صورت قابل استفاده بودن می‌توانند جمع‌آوری شده و برای جلوگیری از هزینه‌های اضافی مجدداً مورد استفاده قرار گیرند و داروی سالم درون آن‌ها قرار گیرد). مراکز تولید محصولات براساس محصولات برگشتی از مراکز جمع‌آوری و محصولات جدید، که مواد خام آن‌ها از تأمین‌کنندگان خریداری می‌شود، تولید می‌کنند. به این ترتیب، یکی از اهداف مطالعه حاضر، حداکثر کردن سود شبکه لجستیکی زنجیره تأمین پیشنهادی است. فرض بر این است که کارخانه‌ها، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و مراکز دفع در یک کشور قرار دارند. علاوه بر این، شبکه توسط صاحبان مراکز تولید اداره می‌شود. آن‌ها علاقه‌مند هستند که جریان محصولات را در هر قسمت از شبکه (به‌عنوان مثال بین بازارها و مراکز جمع‌آوری) بدانند. علاوه بر این، آن‌ها به دنبال فهمیدن این هستند که کدام تسهیلات (به‌عنوان مثال مراکز تولید) باید براساس سود کل احداث شوند.



شکل (۲): ساختار زنجیره تأمین حلقه بسته داروی مورد مطالعه در شرایط عادی

هدف از انجام پژوهش حاضر، ارائه مدلی چندهدفه برای یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته دارو و سپس بررسی تأثیر یک اپیدمی مانند بیماری کرونا بر این زنجیره و میزان جریان مواد به هر قسمت باتوجه به مقوله پایداری و تاب‌آوری در طراحی شبکه است. برای این کار ابتدا به طراحی یک شبکه زنجیره تأمین در شرایط عادی پرداخته شده است.

C_l هزینه ثابت برای احداث مرکز جمع‌آوری l

P_{snt} هزینه خرید ماده خام n از تأمین‌کننده s در دوره t

D_{nt} هزینه حمل‌ونقل ماده خام n برای هر کیلومتر بین تأمین‌کنندگان و کارخانه‌ها در دوره t

G_{jt} هزینه حمل‌ونقل محصول j برای هر کیلومتر بین کارخانه‌ها و مراکز توزیع در دوره t

H_{jt} هزینه حمل‌ونقل محصول j برای هر کیلومتر بین مراکز توزیع و مشتریان در دوره t

M_{jt} هزینه حمل‌ونقل محصول j برای هر کیلومتر بین مشتریان و مراکز جمع‌آوری در دوره t

B_{jt} هزینه حمل‌ونقل محصول j برای هر کیلومتر بین مراکز جمع‌آوری و کارخانه‌ها در دوره t

O_{jt} هزینه حمل‌ونقل محصول j برای هر کیلومتر بین مراکز جمع‌آوری و مراکز دفع در دوره t

E_{si} فاصله بین تأمین‌کننده s و کارخانه i

E_{ri} فاصله بین کارخانه i و مرکز توزیع r

E_{rk} فاصله بین مرکز توزیع r و مشتری k

E_{kl} فاصله بین مشتری k و مرکز جمع‌آوری l

E_{li} فاصله بین مرکز جمع‌آوری l و کارخانه i

E_{lp} فاصله بین مرکز جمع‌آوری l و مرکز دفع p

F_{jt} هزینه تولید محصول j در دوره t

q_{jt} هزینه دفع محصول j در دوره t

a_{jt} صرفه‌جویی در هزینه محصول j (به‌دلیل بازیابی محصول) در دوره t

D_{kjt} تقاضای مشتری k برای محصول j در دوره t

e_j حداقل کسری دفع محصول j

g_{kjt} محصول بازگشتی j از مشتری k در دوره t

Ca_{sn} ظرفیت تأمین‌کننده s برای ماده خام n

Ca_{ij} ظرفیت کارخانه i برای محصول j

Ca_{rj} ظرفیت مرکز توزیع r برای محصول j

Ca_{lj} ظرفیت مرکز جمع‌آوری l برای محصول j

Ca_{pj} ظرفیت مرکز دفع p برای محصول j

M_{snt} میزان انتشار کربن توسط تأمین‌کننده s برای حمل ماده خام n در دوره t

M_{ijt} میزان انتشار کربن توسط کارخانه i برای تولید محصول j در دوره t

M_{rt} میزان انتشار کربن توسط مرکز توزیع r در دوره t

M_{lt} میزان انتشار کربن توسط مرکز جمع‌آوری l در دوره t

M_{pt} میزان انتشار کربن توسط مرکز دفع p در دوره t

W_{sit} میزان انتشار کربن در هر کیلومتر به‌وسیله حمل‌ونقل از تأمین‌کننده s به کارخانه i در دوره t

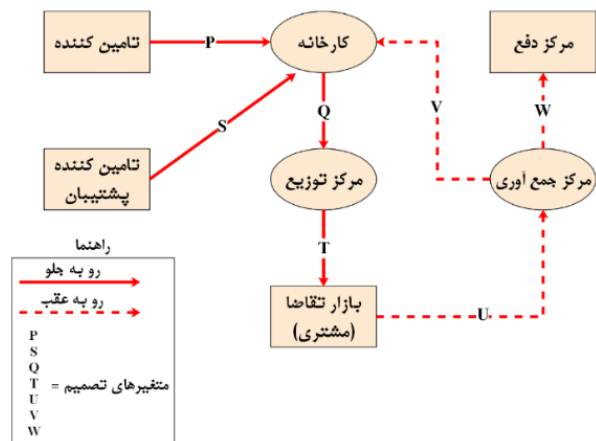
W_{irt} میزان انتشار کربن در هر کیلومتر به‌وسیله حمل‌ونقل از کارخانه i به مرکز توزیع r در دوره t

W_{rkt} میزان انتشار کربن در هر کیلومتر به‌وسیله حمل‌ونقل از مرکز توزیع r به مشتری k در دوره t

W_{rkt} میزان انتشار کربن در هر کیلومتر به‌وسیله حمل‌ونقل از مشتری k به مرکز جمع‌آوری l در دوره t

W_{klt} میزان انتشار کربن در هر کیلومتر به‌وسیله حمل‌ونقل از مشتری k به مرکز جمع‌آوری l در دوره t

یکی از بزرگترین صاحب‌نظران در زمینه لجستیک و زنجیره‌تأمین در مؤسسه فناوری ماساچوست به این نکته اشاره می‌کند که شرکت‌های سراسر جهان بایستی با دقت بیشتری در طراحی زنجیره‌تأمین سرمایه‌گذاری کنند [۴۹]. آن‌ها باید نه‌تنها تأمین‌کنندگان خود را بشناسند، بلکه باید تأمین‌کنندگان تأمین‌کنندگان خود را نیز بشناسند. وی معتقد است که شرکت‌ها همچنین می‌بایست از نظر انتخاب تأمین‌کننده متنوع‌تر شوند. اطمینان پیدا کنند که تأمین‌کننده‌هایشان دارای کارخانه‌های متعدد در مناطق مختلف هستند، یا این‌که چند تأمین‌کننده مختلف را برگزینند تا بتوانند در صورت نیاز به هر کدام که می‌خواهند مراجعه کنند؛ یا میزان موجودی خود را بیش از حد معمول افزایش دهند. باتوجه به ملاحظات قابل توجه فوق‌الذکر، در مقاله حاضر به تأثیر اضافه شدن تأمین‌کننده پشتیبان برای شرایط بحرانی (مانند اپیدمی کرونا) بر زنجیره‌تأمین دارو پرداخته شده است. شکل (۳) ساختار زنجیره‌تأمین مورد مطالعه در شرایط اپیدمی کرونا و اثر اضافه شدن تأمین‌کنندگان پشتیبان را نمایش می‌دهد.



شکل (۳): ساختار زنجیره‌تأمین داروی پیشنهادی در شرایط اپیدمی کرونا و افزوده شدن تأمین‌کننده پشتیبان

۴. مدل ریاضی

در این بخش، مسأله به‌صورت یک مدل خطی برنامه‌ریزی مخلوط عددصحیح فرموله می‌شود. مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیمی که در مدل‌سازی استفاده می‌شوند، به‌صورت زیر تعریف می‌شوند.

۴-۱. مجموعه‌ها

S	تأمین‌کنندگان	L	مراکز جمع‌آوری
J	محصولات	T	دوره زمانی
I	مراکز تولید (کارخانه‌ها)	N	مواد خام
R	مراکز توزیع	P	مراکز دفع
K	بازارهای تقاضا (بیمارستان‌ها)		

۴-۲. پارامترها

t_{jt}	قیمت فروش محصول j در دوره t
A_i	هزینه ثابت برای احداث کارخانه i
B_r	هزینه ثابت برای احداث مرکز توزیع r

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_3 = & \sum_i \sum_t \left(\frac{U_{it} \times De_{it}}{N} \right) X_{it} + \sum_r \sum_t \left(\frac{U_{rt} \times De_{rt}}{N} \right) Y_{rt} \\ & + \sum_i \sum_t \left(\frac{U_{it} \times De_{it}}{N} \right) Z_{it} + \sum_i \sum_t \left(\frac{HL - L_{it}}{ML} \right) X_{it} \\ & + \sum_r \sum_t \left(\frac{HL - L_{rt}}{ML} \right) Y_{rt} + \sum_i \sum_t \left(\frac{HL - L_{it}}{ML} \right) Z_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

Subject to:

$$\sum_s P_{sint} + \sum_l V_{lijt} = \sum_r Q_{irjt} \quad \forall i, j, n, t \quad (4)$$

$$\sum_i Q_{irjt} \geq \sum_k T_{rkjt} \quad \forall r, j, t \quad (5)$$

$$\sum_r T_{rkjt} \leq D_{kjt} \quad \forall k, j, t \quad (6)$$

$$\sum_r T_{rkjt} \leq BN \times R_{kjt} \quad \forall k, j, t \quad (7)$$

$$\sum_r T_{rkjt} \geq \sum_l U_{kljt} \quad \forall k, j, t \quad (8)$$

$$\sum_l U_{kljt} = g_{kjt} \quad \forall k, j, t \quad (9)$$

$$e_j \times \sum_k U_{kljt} \leq \sum_p W_{lpjt} \quad \forall l, j, t \quad (10)$$

$$\sum_k U_{kljt} = \sum_i V_{lijt} + \sum_p W_{lpjt} \quad \forall l, j, t \quad (11)$$

$$\sum_s \sum_n P_{sint} + \sum_l \sum_j V_{lijt} \leq X_{it} \times \sum_j Ca_{ij} \quad \forall i, t \quad (12)$$

$$\sum_i \sum_n P_{sint} \leq \sum_n Ca_{sn} \quad \forall s, t \quad (13)$$

$$\sum_i \sum_j Q_{irjt} \leq Y_{rt} \times \sum_j Ca_{rj} \quad \forall r, t \quad (14)$$

$$\sum_k \sum_j U_{kljt} \leq Z_{it} \times \sum_j Ca_{ij} \quad \forall l, t \quad (15)$$

$$\sum_l \sum_j W_{lpjt} \leq \sum_j Ca_{pj} \quad \forall p, t \quad (16)$$

$$P_{sint}, Q_{irjt}, T_{rkjt}, U_{kljt}, V_{lijt}, W_{lpjt} \geq 0 \quad (17)$$

$$X_{it}, Y_{rt}, Z_{it} \in \{0,1\} \quad (18)$$

اولین تابع هدف (معادله (۱)) حداکثر سود کل (تفاوت بین درآمد کل و هزینه کل) در شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته را به‌دست می‌آورد. بخش اول آن مربوط به سود فروش محصولات در بازارها است. بخش دوم، هزینه‌های خرید و حمل‌ونقل مواد خام از تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد. عبارت ترمی سوم شامل هزینه‌های تولید و حمل‌ونقل محصولات از کارخانه‌ها به مراکز توزیع می‌باشد. قسمت بعدی، هزینه‌های حمل‌ونقل محصولات برگشتی و قسمت پنجم آن هزینه‌های دفع و حمل‌ونقل محصولات در مراکز دفع را در مدل نشان می‌دهد. صرفه‌جویی در هزینه محصولات برگشتی و هزینه حمل‌ونقل برای ارسال محصولات از مراکز جمع‌آوری به مراکز تولید در قسمت ششم نشان داده شده است. نهایتاً، عبارت‌های ترمی (۷)، (۸)، (۹) از تابع هدف اول، هزینه‌های احداث تسهیلات (مراکز تولید، توزیع و جمع‌آوری) را نشان می‌دهد. باتوجه به مسائل زیست‌محیطی برای انتخاب سبزترین تأمین‌کننده‌ها، مراکز تولید، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و مراکز دفع، یک تابع هدف دیگر (معادله (۲)) برای به حداقل رساندن میزان انتشار کربن منتشر شده توسط فعالیت‌های مراکز نام برده به مدل اضافه شده است. معادله (۳) تابع هدف سوم را نشان می‌دهد که در آن مسئولیت اجتماعی زنجیره‌تأمین حداکثر

W_{lat} میزان انتشار کربن در هر کیلومتر به‌وسیله حمل‌ونقل از مرکز جمع‌آوری l به مرکز دفع a در دوره t
 W_{lit} میزان انتشار کربن در هر کیلومتر به‌وسیله حمل‌ونقل از مرکز جمع‌آوری l به کارخانه i در دوره t
 De_{it} تراکم جمعیت در منطقه کارخانه i در دوره t
 De_{rt} تراکم جمعیت در منطقه مرکز توزیع r در دوره t
 De_{lt} تراکم جمعیت در منطقه مرکز جمع‌آوری l در دوره t
 U_{it} نرخ بیکاری در منطقه کارخانه i در دوره t
 U_{rt} نرخ بیکاری در منطقه مرکز توزیع r در دوره t
 U_{lt} نرخ بیکاری در منطقه مرکز جمع‌آوری l در دوره t
 L_{it} سطح امنیت در منطقه کارخانه i در دوره t
 L_{rt} سطح امنیت در منطقه مرکز توزیع r در دوره t
 L_{lt} سطح امنیت در منطقه مرکز جمع‌آوری l در دوره t
 N تراکم جمعیت در سطح ملی
 HL بالاترین سطح امنیت در سطح ملی
 ML دامنه سطح امنیت (بالاترین - پایین‌ترین سطح امنیت در سطح ملی)

BN یک عدد بسیار بزرگ

۳-۴. متغیرهای تصمیم‌گیری

P_{sint} مقدار ماده خام n خریداری شده برای کارخانه i از تأمین‌کننده s در دوره t
 Q_{irjt} مقدار محصول j تولید شده توسط کارخانه i برای مرکز توزیع r در دوره t
 T_{rkjt} مقدار محصول j توزیع شده توسط مرکز توزیع r برای تقاضای بازار k در دوره t
 U_{kljt} مقدار محصول برگشتی j از بازار تقاضا k به مرکز جمع‌آوری l در دوره t
 V_{lijt} مقدار محصول برگشتی j از مرکز جمع‌آوری l به مرکز تولید i در دوره t
 W_{lpjt} مقدار محصول برگشتی j از مرکز جمع‌آوری l به مرکز دفع p در دوره t
 X_{it} اگر مرکز تولید i در دوره t احداث شود ۱ در غیر این صورت ۰
 Y_{rt} اگر مرکز توزیع r در دوره t احداث شود ۱ در غیر این صورت ۰
 Z_{it} اگر مرکز جمع‌آوری l در دوره t احداث شود ۱ در غیر این صورت ۰
 R_{kjt} اگر محصول j در دوره t به مشتری k برسد ۱ در غیر این صورت ۰

مدل ریاضی شبکه زنجیره‌تأمین حلقه بسته پیشنهادی در شرایط

عادی به‌صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Max } Z_1 = & \sum_i \sum_k \sum_j \sum_t (t_{ij} - H_{ij} E_{ik}) T_{rkjt} - [\sum_i \sum_n \sum_t (P_{sint} + D_{in} E_{in}) P_{sint} \\ & + \sum_i \sum_r \sum_j \sum_t (F_{ij} + G_{ij} E_{ir}) Q_{irjt} + \sum_i \sum_r \sum_j \sum_t M_{ij} E_{it} U_{kljt} \\ & + \sum_i \sum_p \sum_j \sum_t (q_{ij} + O_{ij} E_{ip}) W_{lpjt} + \sum_i \sum_r \sum_j \sum_t (-a_{ij} + B_{ij} E_{in}) V_{lijt} \\ & + \sum_i \sum_r A_{ir} X_{it} + \sum_i \sum_r B_{ir} Y_{rt} + \sum_i \sum_r C_{ir} Z_{it}] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } Z_2 = & \sum_i \sum_k \sum_j \sum_t (M_{in} + W_{in} E_{in}) P_{sint} + \sum_i \sum_r \sum_j \sum_t (M_{ij} + W_{ij} E_{ir}) Q_{irjt} \\ & + \sum_i \sum_k \sum_j \sum_t (M_{in} + W_{in} E_{in}) T_{rkjt} + \sum_i \sum_r \sum_j \sum_t W_{kl} U_{kljt} \\ & + \sum_i \sum_p \sum_j \sum_t (M_{ip} + W_{ip} E_{ip}) W_{lpjt} + \sum_i \sum_r \sum_j \sum_t (M_{it} + W_{it} E_{in}) V_{lijt} \end{aligned} \quad (2)$$

W_t اگر در دوره t بیماری کرونا وجود داشته باشد ۱ در غیر این صورت ۰

α_t درصد سرایت بیماری کووید-۱۹ در یک محیط بسته در این قسمت نیز به دلیل اضافه شدن سطح تأمین‌کننده پشتیبان به زنجیره تأمین مورد مطالعه، یک متغیر تصمیم جدید به مدل ریاضی افزوده شده و در نتیجه داریم:

۴-۶. متغیر تصمیم‌گیری جدید

O_{uint} مقدار ماده خام n خریداری شده برای کارخانه i از تأمین‌کننده پشتیبان u در دوره t

۴-۷. توابع هدف و محدودیت‌های جدید

$$\text{Max } Z_1 = \sum_r \sum_k \sum_j \sum_t (t_{jt} - H_{jt} E_{rk}) T_{rkt} - [\sum_s \sum_i \sum_n \sum_t (P_{sint} + D_{nt} E_{si}) P_{sint} + \sum_u \sum_i \sum_n \sum_t (p_{uint} + D_{nt} E_{ui}) O_{uint} + \sum_r \sum_j \sum_t (F_{jt} + G_{jt} E_{ir}) Q_{ijt} + \sum_k \sum_j \sum_t M_{jt} E_{kl} U_{kljt} + \sum_p \sum_j \sum_t (q_{jt} + O_{jt} E_{ip}) W_{lpjt} + \sum_r \sum_j \sum_t (-a_{jt} + B_{jt} E_{ir}) V_{ljt} + \sum_i \sum_t A_{it} X_{it} + \sum_r \sum_t B_{rt} Y_{rt} + \sum_i \sum_t C_{it} Z_{it}] \quad (19)$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum_s \sum_i \sum_n \sum_t (M_{sint} + W_{snt} E_{si}) P_{sint} + \sum_u \sum_i \sum_n \sum_t (M_{uint} + W_{uint} E_{ui}) O_{uint} + \sum_r \sum_j \sum_t (M_{rjt} + W_{rjt} E_{ir}) Q_{ijt} + \sum_k \sum_j \sum_t (M_{kjt} + W_{kjt} E_{kl}) U_{kljt} + \sum_p \sum_j \sum_t (M_{lpjt} + W_{lpjt} E_{ip}) W_{lpjt} + \sum_i \sum_t (M_{it} + W_{it} E_{ir}) V_{ljt} \quad (20)$$

معادله (۲۰)؛ (بدون تغییر می‌ماند): تابع هدف سوم

$$\text{Min } Z_4 = \sum_k \sum_j \sum_t \alpha_t (1 - R_{kjt}) \quad (21)$$

Subject to:

محدودیت‌های (۵) تا (۱۱) و (۱۴) تا (۱۶) (بدون تغییر می‌مانند)

$$\sum_s P_{sint} + \sum_l V_{lijt} = \sum_r Q_{irjt} \quad \forall i, j, n, t, W_t = 0 \quad (22)$$

$$\sum_s P_{sint} + \sum_l V_{lijt} + \sum_u O_{uint} = \sum_r Q_{irjt} \quad \forall i, j, n, t, W_t = 1 \quad (23)$$

$$\sum_s \sum_n P_{sint} + \sum_l \sum_j V_{lijt} \leq X_{it} \times \sum_j Ca_{ij} \quad \forall i, t, W_t = 0 \quad (24)$$

$$\sum_s \sum_n P_{sint} + \sum_l \sum_j V_{lijt} + \sum_u \sum_n O_{uint} \leq X_{it} \times \sum_j Ca_{ij} \quad \forall i, t, W_t = 1 \quad (25)$$

$$\sum_i \sum_n P_{sint} \leq \sum_n Ca_{sn} \quad \forall s, t, W_t = 0 \quad (26)$$

$$\sum_i \sum_n P_{sint} \leq \sum_n Ca_{sn} \quad \forall s, t, W_t = 1 \quad (27)$$

$$\sum_i \sum_n O_{uint} \leq \sum_n Ca_{un} \quad \forall u, t, W_t = 1 \quad (28)$$

$$P_{sint}, Q_{irjt}, T_{rkt}, U_{kljt}, V_{lijt}, W_{lpjt}, O_{uint} \geq 0 \quad (29)$$

$$X_{it}, Y_{rt}, Z_{it} \in \{0, 1\} \quad (30)$$

در شرایط گسترش بیماری‌های واگیردار نظیر کرونا تغییراتی در مدل ایجاد می‌شود؛ به این ترتیب که در توابع هدف اول و دوم، به ترتیب هزینه خرید مواد خام از تأمین‌کنندگان پشتیبان و میزان انتشار کربن به وسیله فعالیت‌های این مراکز به این توابع اضافه شده و به صورت معادله‌های (۱۹) و (۲۰) نشان داده شده‌اند. اما مهم‌ترین تغییر، اضافه شدن تابع هدف چهارم می‌باشد. تابع هدف چهارم (معادله (۲۱)) میزان سرایت بیماری کرونا را در داخل محیط‌های بسته محاسبه می‌کند. در این تابع هدف با استفاده از پارامتر α که بیانگر درصد سرایت بیماری کرونا از یک فرد دارای بیماری کووید-۱۹ در محیط بسته به افراد سالم

می‌شود. در تابع هدف سوم، در بخش اول، فعالیت‌های زنجیره به طور عادلانه‌ای بین مناطق با سطح بیکاری مختلف تقسیم می‌شود و در واقع هر منطقه‌ای که نسبت بیکاری به جمعیت آن بیشتر باشد (با لحاظ نمودن جمعیت کل در سطح ملی) فعالیت‌های زنجیره در آن بخش بیشتر متمرکز می‌شوند. در بخش دوم، فعالیت‌های زنجیره به طور عادلانه‌ای بین مناطق با سطح امنیت مختلف تقسیم شده و در واقع هر منطقه‌ای که امن‌تر باشد (با لحاظ کردن محدوده امنیت در سطح ملی) فعالیت‌های زنجیره در آن بخش بیشتر متمرکز می‌شوند. هدف از این کار ایجاد تعادل بین توسعه مناطق مختلف است [۵۰].

محدودیت (۴) رابطه بین مقدار کالاهای ارسال شده از مراکز تولید و تعداد محصولاتی که از آنجا خارج می‌شوند را نشان می‌دهد. محدودیت (۵) بیان می‌کند که میزان محصولات ارسال شده از کارخانه به خرده‌فروشان از تعداد کالاهای ارسال شده به مشتریان بیشتر است. محدودیت (۶)، محدودیت (۸) و محدودیت (۹) به ترتیب مربوط به تقاضا، شبکه و کالاهای برگشتی می‌باشند. محدودیت (۷) بیانگر ارتباط بین متغیرهای مثبت و صفر-یک مدل است. محدودیت (۱۰) بیان می‌کند که بخشی از محصولات بازگردانده شده دفع می‌شوند. محدودیت (۱۱) بیانگر آن است که تعداد محصولاتی را که به مراکز جمع‌آوری منتقل می‌شوند برابر با تعداد محصولاتی که از این مرکز ارسال می‌شوند، می‌باشد. محدودیت‌های (۱۲) تا (۱۶) مربوط به ظرفیت تسهیلات (تأمین‌کنندگان، مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری و دفع) هستند. محدودیت (۱۷) متغیرهای غیر منفی مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد و سرانجام، متغیرهای صفر-یک در محدودیت (۱۸) نشان داده شده است.

در این مقاله، برای بررسی تأثیر بیماری کووید-۱۹ بر زنجیره تأمین پیشنهادی، در مدل ریاضی تغییراتی ایجاد شده است. برای این کار و برای خنثی کردن و یا کاهش آثار منفی شرایط کرونا که بر زنجیره تأمین وارد می‌شود، (همان‌طور که در قسمت مرور ادبیات به این آثار اشاره شد) سطح تأمین‌کنندگان پشتیبان به شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی اضافه شده و به این ترتیب تعدادی پارامتر و محدودیت جدید و یک تابع هدف جدید به آن افزوده می‌شود و بعضی از محدودیت‌ها و توابع هدف قبلی نیز دچار تغییراتی می‌شوند و نهایتاً مدل تحت شرایط بیماری کرونا به وجود می‌آید که شامل موارد زیر است:

۴-۴. مجموعه جدید

U تأمین‌کنندگان پشتیبان

۴-۵. پارامترهای جدید

P_{uint}	هزینه خرید ماده خام n از تأمین‌کننده پشتیبان u در دوره t
E_{ui}	فاصله بین تأمین‌کننده پشتیبان u و کارخانه i
M_{uint}	میزان انتشار کربن توسط تأمین‌کننده پشتیبان u برای حمل ماده خام n در دوره t
W_{uit}	میزان انتشار کربن در هر کیلومتر به وسیله حمل و نقل از تأمین‌کننده پشتیبان u به کارخانه i در دوره t
Ca_{un}	ظرفیت تأمین‌کننده پشتیبان u برای ماده خام n

2 AUGMECON از اطلاعات ارائه شده توسط متغیرهای مازاد (کمکی) توابع هدف، که به شکل محدودیت درآمده‌اند، استفاده می‌کند تا از تکرارهای غیرضروری جلوگیری کرده و راه‌حل را تسریع کند. همچنین این روش می‌تواند مجموعه دقیق پارتو را شناسایی کند [۵۴]. به همین دلیل، رویکرد بهبودیافته‌ی محدودیت‌اپسیلون افزوده ۲ به‌عنوان رویکردی تلقی می‌گردد که قادر به رقابت با رویکردهای پارتو محور چندهدفه‌ی فراابتکاری است [۵۳]. نحوه‌ی کارکرد رویکرد بهبود یافته‌ی محدودیت‌اپسیلون افزوده ۲ به شرح ذیل می‌باشد:

Problem P

$$\min \left(-Z_1(x) - e \times \left(\frac{S_2}{r_2} + 10^{-1} \times \frac{S_3}{r_3} + \dots + 10^{-(P-2)} \times \frac{S_P}{r_P} \right) \right) \quad (31)$$

Subject to:

$$Z_k(x) - S_k = \varepsilon_k$$

در معادله‌ی (۳۱)، $Z_k(x)$ نشان‌دهنده‌ی توابع هدفی است که باید بهینه شوند. علاوه بر این، x المان فضای شدنی مسئله است و e بین بازه‌ی 10^{-6} و 10^{-7} مقدار می‌گیرد. همچنین، ε_k پارامتر طرف راست معادله برای تابع هدف k ام با در نظرگیری این‌که $k \in \{2, \dots, P\}$ می‌باشد. به‌علاوه، r_2, r_3, \dots, r_P به ترتیب پارامترهای دامنه برای دومین، سومین تا P امین تابع هدف می‌باشند. علاوه بر این، متغیرهای مازاد مسئله توسط S_2, S_3, \dots, S_P نشان داده می‌شوند. لازم به ذکر است در رویکرد بهبودیافته‌ی محدودیت‌اپسیلون افزوده ۲ به جای S_i باید $\frac{S_i}{r_i}$ قرار داد. این عمل از مشکلات مقیاس‌گذاری جلوگیری می‌کند. گام‌های کلی روش اپسیلون محدودیت بهبودیافته افزوده ۲ به صورت زیر است [۵۵، ۵۶]:

قدم اول: با اجرای بهینه‌سازی لغت‌نامه‌ای، جدول بازده (Payoff Table) را ایجاد کنید؛

قدم دوم: دامنه‌ها (r_k) را محاسبه کنید و یک حد پایین (lb_k) برای تابع هدف k براساس جدول بازده تعیین کنید؛

قدم سوم: با تقسیم دامنه تابع هدف k ام فواصل یکسان (g_k) ایجاد کنید؛

قدم چهارم: با استفاده از $\varepsilon_k = lb_k + i_k \times step_k$ سمت راست محدودیت مربوط به تابع هدف خاص را به دست آورید که در آن i_k شماره‌نده تابع هدف k ام است و $step_k$ با استفاده از $step_k = \frac{r_k}{g_k}$ محاسبه می‌شود؛

قدم پنجم: مسئله را حل کنید؛

قدم ششم: S_k مرتبط با درونی‌ترین عملکرد هدف را برای هر تکرار

با استفاده از ضریب بای‌پس بررسی کنید: $b = \text{int} \left(\frac{S_k}{step_k} \right)$

هنگامی که S_k بزرگتر از $step_k$ باشد، برای تکرار بعدی همان راه‌حل تنظیم می‌شود که تنها تفاوت آن متغیر مازاد است. این موضوع باعث تکرار زائد می‌شود، بنابراین می‌توان آن را دور زد، درحالی‌که هیچ راه‌حل جدید بهینه پارتو ایجاد نمی‌شود؛

قدم هفتم: مجموعه پارتو را براساس بای‌پس و شماره نقاط شبکه

است، درصد سرایت بیماری در داخل مراکز مشتری (بیمارستان) محاسبه می‌شود. نحوه تخمین درصد مورد استفاده برای پارامتر α در قسمت حل مدل ریاضی توضیح داده خواهد شد.

همچنین محدودیت‌ها نیز دست‌خوش تغییراتی می‌شوند. با توجه به وجود پارامتر W_i که نشان‌دهنده وجود و یا عدم وجود بیماری کرونا در دوره‌های زمانی مختلف است، محدودیت (۴) و (۱۲) هر کدام به دو و محدودیت (۱۳) به سه محدودیت (محدودیت‌های (۲۲) تا (۲۸)) تبدیل می‌شوند و این به دلیل اضافه شدن سطح تأمین‌کننده پشتیبان به مدل پیشنهادی است. به صورت دقیق‌تر با در نظر گرفتن پارامتر W_i که بیانگر وجود و یا عدم وجود بیماری کرونا در مدل است این محدودیت‌ها فعال می‌شوند. مثلاً وقتی شرایط عادی باشد مقدار W_i صفر می‌باشد و تنها تأمین‌کننده اصلی در شبکه وجود دارد و مانند مدل اصلی محدودیت‌های (۲۲)، (۲۴) و (۲۶) فعال هستند ولی در زمان کرونا این محدودیت‌ها غیرفعال شده و به جای آن‌ها محدودیت‌های (۲۳)، (۲۵)، (۲۷) و (۲۸) فعال می‌شوند چون پارامتر W_i مقدار یک می‌گیرد و همچنین تأمین‌کننده پشتیبان نیز به مدل پیشنهادی اضافه می‌گردد. نهایتاً معادله‌های (۲۹) و (۳۰) نیز مربوط به متغیرهای تصمیم است. بقیه محدودیت‌های (۵) تا (۱۱) و نیز محدودیت‌های (۱۴) تا (۱۶) به همراه تابع هدف سوم (معادله (۳)) مدل اولیه بدون تغییر باقی می‌مانند.

۵. روش حل

امروزه، تصمیم‌گیرندگان اغلب مجبورند با اهداف مختلفی که در تضاد با یکدیگر هستند، کنار بیایند. به‌طور کلی، مسائل چندهدفه را می‌توان با روش‌های مبتنی بر پارتو یا روش‌های جمع وزنی حل کرد. روش‌های مبتنی بر پارتو از طریق ایجاد یک مجموعه پارتو تعادل بین اهداف را ایجاد می‌کنند. درحالی‌که، روش‌های جمع وزنی مسئله چندهدفه را به مسئله‌ای تک‌هدفه تبدیل می‌کنند و مسئله را حل می‌کنند [۵۱]. در این مطالعه، سعی در ایجاد تعادل بین همه توابع هدف می‌باشد. بنابراین، برای جلوگیری از اولویت‌بندی یک هدف نسبت به اهداف دیگر، از نسخه بهبود یافته روش اپسیلون محدودیت افزوده ۲ برای ایجاد راه‌حل‌های پارتو استفاده می‌شود. در ادامه، رویکرد حل پیشنهادی برای حل کارآمد مدل ارائه شده بیان می‌شود:

۵-۱. روش اپسیلون محدودیت بهبود یافته افزوده ۲ (The improved version of augmented ε -constraint (AUGMECON2))

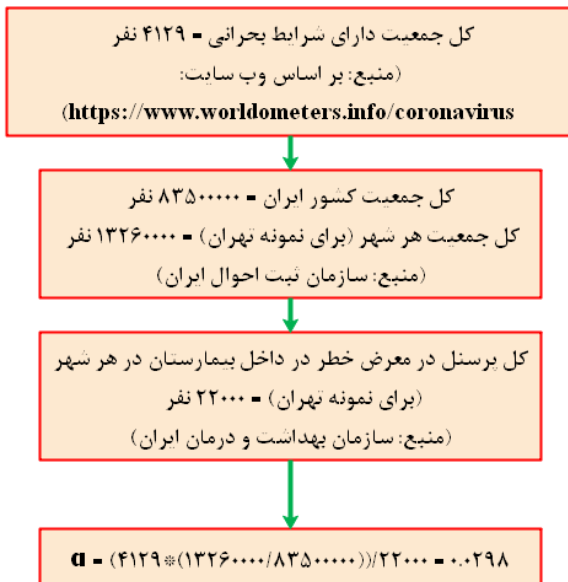
روش اپسیلون محدودیت سنتی دارای نقطه ضعف بزرگی بود که برای حل هر مسئله با بیش از دو تابع هدف بسیار وقت‌گیر بود. این نقطه ضعف موجب شد تا روش بهبودیافته اپسیلون محدودیت افزوده (AUGMECON) ایجاد شود [۵۲]. در ادامه [۵۳] با معرفی یک ضریب بای‌پس (Bypass Coefficient) و همچنین نوعی بهینه‌سازی لغت‌نامه‌ای (Lexicographic Optimization) برای همه توابع هدف، این الگوریتم را بیشتر گسترش دادند و الگوریتم AUGMECON 2 را ایجاد کردند. با استفاده از ضریب بای‌پس،

(Grid Points) به دست آورید.

۶. نتایج عددی

هدف از این بخش، اعتبارسنجی مدل ریاضی پیشنهادی می‌باشد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، در این مقاله، یک مدل ریاضی به منظور بررسی اثر بیماری کرونا بر روی یک زنجیره تأمین داروی چندسطحی ارائه شده است. در قسمت اول، مدل ریاضی در شرایط عدم وجود تأمین‌کننده پشتیبان (مدل (الف)) حل شده است. بر این اساس، مجموعه‌های مدل به صورت $T=5, K=4, R=5, J=4, N=5, L=10, P=2, S=5$ ، مقاله، به دلیل برخی محدودیت‌ها در ایران، مطالعه موردی واقعی مورد استفاده قرار نگرفته است، لذا این مقادیر کاملاً تصادفی بوده و فقط برای بررسی مدل کاربرد دارند و هدف از آن‌ها مقادیر ویژه‌ای نیست و باتوجه به نظر تصمیم‌گیرنده هر مقدار دیگری نیز می‌توانند بگیرند. در قسمت دوم، همین مدل در شرایط وجود تأمین‌کننده پشتیبان حل شده است (مدل (ب)). به همین منظور مقادیر مجموعه‌ها بدون تغییر باقی می‌مانند اما در این قسمت یک سطح جدید در جهت روبه جلو، به نام تأمین‌کنندگان پشتیبان، به شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی اضافه می‌شود که تعداد آن نیز برابر ۳ می‌باشد. این مقدار نیز کاملاً تصادفی بوده و باتوجه به نظر تصمیم‌گیرنده، هر مقدار دیگری نیز می‌تواند بگیرد. این مقاله از نوع توسعه‌ای-کاربردی است و همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد، داده‌های پژوهش به صورت آزمایشی تولید شده‌اند. همچنین، مقادیر پارامترهای مورد استفاده در این مثال عددی نیز در

جدول (۱) نمایش داده شده‌اند که تمامی آن‌ها براساس توزیع یکنواخت در بازه‌های عددی مشخص شده می‌باشند. این مقادیر برای شرایط وجود و یا عدم وجود تأمین‌کننده پشتیبان یکسان در نظر گرفته شده‌اند. اما نکته مهم دیگر افزوده شدن پارامتر α_t به مدل ریاضی تحت شرایط بیماری کرونا است که مقدار آن بین $(0.03/0.02)$ در نظر گرفته شده است. نحوه محاسبه این پارامتر به صورت شکل (۴) است:



شکل (۴). نحوه محاسبه پارامتر آلفا [۵۷]

جدول (۱): بازه‌های تصادفی پارامترهای مورد استفاده در مثال عددی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
t_{jt}	(۳۰۰۰۰۰ و ۲۵۰۰۰۰)	E_{ji}	(۳۵ و ۵)	M_{rt}	(۱۵۰ و ۱۰۰)	L_{it}	(۱۸ و ۱۲)
A_i	(۵۰۰۰۰۰ و ۴۰۰۰۰۰)	E_{lp}	(۴۰ و ۱۵)	M_{lt}	(۹۰ و ۷۰)	L_{rt}	(۳۰ و ۱۵)
B_r	(۳۰۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰)	F_{jt}	(۲۰۰ و ۱۵۰)	M_{pt}	(۴۰۰ و ۳۵۰)	L_{lt}	(۱۰ و ۵)
C_l	(۱۰۰۰۰۰ و ۵۰۰۰۰۰)	q_{jt}	(۲۰۰ و ۱۰۰)	W_{sit}	(۱۰۰ و ۵۰)	N	۴۹
P_{snt}	(۲۵۰ و ۲۰۰)	a_{jt}	(۲۰۰ و ۱۰۰)	W_{irt}	(۷۰ و ۳۰)	HL	۰
D_{nt}	(۲۰۰ و ۱۰۰)	D_{kjt}	(۵۰۰ و ۳۰۰)	W_{rkt}	(۸۰ و ۶۰)	ML	-۱۰۰
G_{jt}	(۲۰۰ و ۱۰۰)	e_j	(۰/۵ و ۱/۱)	W_{klt}	(۵۰ و ۲۰)	P_{unt}	(۲۰۰ و ۱۵۰)
H_{jt}	(۲۰۰ و ۱۰۰)	g_{kjt}	(۲۰۰ ، ۱۲۰)	W_{lpt}	(۸۵ و ۷۵)	E_{ui}	(۵۰ و ۱۰)
M_{jt}	(۲۰۰ و ۱۰۰)	Ca_{sn}	(۳۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰)	W_{lit}	(۱۲۰ و ۱۰۰)	M_{unt}	(۴۵۰ و ۲۵۰)
B_{jt}	(۲۰۰ و ۱۰۰)	Ca_{ij}	(۵۰۰۰ و ۳۰۰۰)	De_{it}	(۴۰۰ و ۲۵۰)	W_{uit}	(۹۰ و ۷۰)
O_{jt}	(۲۰۰ و ۱۰۰)	Ca_{rj}	(۴۰۰۰ و ۲۰۰۰)	De_{rt}	(۳۰۰ و ۱۵۰)	Ca_{un}	(۳۰۰۰ و ۱۵۰۰)
E_{si}	(۵۰ و ۱۰)	Ca_{lj}	(۳۰۰۰ و ۱۰۰۰)	De_{lt}	(۳۰۰ و ۱۵۰)	W_t	(۱ و ۰)
E_{ri}	(۶۰ و ۳۰)	Ca_{pj}	(۳۰۰۰ و ۱۰۰۰)	U_{it}	(۲۰۰ و ۵۰)	α_t	(۰/۰۳ و ۰/۰۲)
E_{rk}	(۸۰ و ۵۰)	M_{snt}	(۵۰ و ۳۰)	U_{rt}	(۱۵۰ و ۳۰)		
E_{kl}	(۱۰۰ و ۷۰)	M_{ijt}	(۳۰ و ۲۰)	U_{lt}	(۱۵۰ و ۳۰)		

ریاضی با استفاده از روش اِیسیلون محدودیت بهبود یافته افزوده ۲، از نرم‌افزار گمز (GAMS) نسخه ۳، ۱، ۲۴ و سالور سیپلکس (CPLEX) و در سیستمی با مشخصات CPU=Core i7 6700 HQ

جهت ارزیابی نوآوری رویکرد پیشنهادی، شرایط زنجیره تأمین بدون و با در نظر گرفتن بیماری کرونا، در دو بخش مقادیر توابع هدف و متغیرهای تصمیم‌گیری با یکدیگر مقایسه می‌شوند. برای حل مدل

RAM=16 GB DDR4 استفاده شده است.

باتوجه به توضیحات فوق و تعیین مقادیر ورودی، مدل پیشنهادی به‌وسیله روش AUGMECON2 در دو حالت (الف) و (ب) حل شد که نتایج حاصل از اجرای این روش در جداول (۲) و (۳) گردآوری شده‌اند. لازم به توضیح است که تعداد تکرارها در این روش برای این مقاله ۲۰ درنظر گرفته شد. همچنین تمامی جواب‌های این روش نامغلوب هستند.

جدول (۲): نتایج حاصل از اجرای مدل (الف) به روش

AUGMECON2				
تکرار	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم	
۱	۵۹۶۰۹۵۸۳۴۳۶	۱۹۹۸۸۵۴۷۱۲	۲۴۱۴۷/۷۷	
۲	۵۸۴۹۲۷۳۸۲۷۴	۲۰۷۸۲۱۵۱۵۵	۲۳۷۱۷/۷۴	
۳	۵۹۴۸۴۶۲۳۸۹۶	۱۹۷۸۱۸۶۷۳۰	۲۶۱۵۳/۵۸	
۴	۵۹۲۹۶۶۰۱۸۰۹	۲۰۱۳۷۵۹۱۷۹	۲۲۷۲۱/۱۰	
۵	۵۹۳۳۷۰۸۹۴۳۶	۲۱۰۰۷۵۶۵۳۸	۲۶۹۵۸/۱۰	
۶	۵۸۳۷۵۲۰۱۵۶۶	۲۰۵۹۱۴۱۹۳۶	۲۳۲۳۵/۹۸	
۷	۵۷۹۵۱۰۰۱۶۵۴	۱۹۷۴۶۳۴۸۰۷	۲۷۵۱۳/۲۷	
۸	۵۹۵۰۹۶۵۲۶۱۱	۱۹۷۱۶۶۶۶۳۰	۲۷۶۲۰/۵۵	
۹	۵۹۷۸۸۹۵۵۸۹۳	۲۰۷۰۵۱۹۶۸۸	۲۴۱۶۵/۷۸	
۱۰	۵۹۸۱۱۶۵۳۵۰۲	۲۱۵۹۶۹۷۶۹۳	۲۴۴۸۳/۰۹	
۱۱	۵۹۲۲۹۷۹۷۲۲۴	۲۲۲۸۲۹۴۳۶۴	۲۵۳۰۰/۰۷	
۱۲	۵۹۳۱۸۵۱۸۸۸۸	۲۰۲۱۳۰۱۵۹۷	۲۷۱۴۱/۵۳	
۱۳	۵۷۴۶۷۲۱۸۹۰۰	۱۹۹۶۹۱۴۱۳۲	۲۸۵۷۹/۱۵	
۱۴	۵۸۱۷۰۰۰۲۹۱۰	۲۱۴۴۸۳۸۴۵۷	۲۴۰۲۱/۵۷	
۱۵	۵۹۸۶۰۳۰۰۰۰۰	۱۹۷۰۶۷۲۰۰۰	۲۷۶۷۹/۴۵	
۱۶	۵۹۰۹۶۱۲۶۷۰۹	۲۰۵۰۶۲۸۱۰۲	۲۵۶۹۰/۷۴	
۱۷	۵۹۱۲۷۲۸۹۹۱۳	۲۱۳۸۸۵۳۷۴۹	۲۵۳۵۸/۳۷	
۱۸	۵۸۹۶۸۳۴۵۳۰۴	۲۲۸۷۹۰۷۳۱۴	۲۵۷۸۶/۲۷	
۱۹	۵۹۶۶۸۰۴۵۱۱۶	۱۹۷۹۵۰۴۵۳۵	۲۷۵۷۵/۶۸	
۲۰	۵۹۸۳۶۰۰۷۴۲۴	۲۰۰۲۲۴۷۰۶۸	۲۶۳۹۴/۳۹	

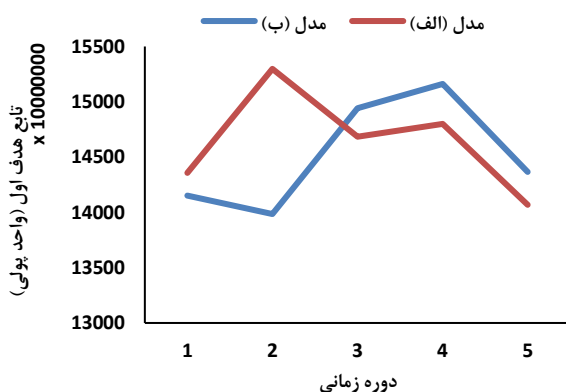
سپس باتوجه به جداول (۲) و (۳) بهترین مقدار نامغلوب از بین مقادیر ارائه‌شده جهت بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج انتخاب شدند که مربوط به تکرار ۱۵ برای هر دو مدل (الف) و (ب) می‌باشد. هرچند که برای تابع هدف سوم، تکرار ۱۳ در هر دو مدل بهتر بود ولی چون بقیه توابع هدف بهتر نبودند، لذا این تکرار انتخاب نشد. در ادامه به تجزیه و تحلیل نتایج پرداخته می‌شود. لازم به یادآوری است که روش AUGMECON2 در تکرارهای مختلف جواب‌های نزدیک به بهینه یا حتی بهینه تولید و در نهایت برای هر تابع هدف بهترین جواب را از بین آن‌ها انتخاب می‌کند. برای مدل حاضر نیز همین‌طور است به‌طوری‌که طبق جداول (۲) و (۳) همه جواب‌ها نامغلوب هستند ولی از بین آنها سطر ۱۵ از همه بهتر بوده که برای قسمت‌های بعدی انتخاب شده است. از طرفی روش حل پیشنهادی، نسخه بهبودیافته روش اپسیلون بوده و تنها جواب نامغلوب تولید می‌کند.

۶-۱. مقدار توابع هدف

درخصوص تابع هدف اول، طبق جدول (۴) و همچنین شکل (۵)، همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار سود کل در مدل پیشنهادی در شرایط کرونا نسبت به شرایط عادی در همه دوره‌ها، به‌جز دوره اول و دوم، افزایش یافته ولی باتوجه به جدول، میزان میانگین افزایش سود کل به‌ازای همه دوره‌ها به میزان ناچیز ۰/۸۲ درصد با کاهش همراه بوده است. از طرف دیگر باتوجه به جدول (۸) و شکل (۹)، مقدار سود نهایی زنجیره‌تأمین مطالعه موردی در شرایط کرونا نسبت به شرایط عادی دارای افزایش ۱/۶۴ درصدی می‌باشد.

جدول (۳): نتایج حاصل از اجرای مدل (ب) به روش

AUGMECON2				
تکرار	تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم	تابع هدف چهارم
۱	۶۰۲۴۷۲۱۵۷۳۲	۲۰۳۶۴۱۳۸۷۷	۲۴۶۶۲/۱۹	۵/۹۹
۲	۶۰۴۸۱۳۵۷۷۹۰	۱۹۸۱۹۵۸۳۵۱	۲۴۲۷۱	۶/۴۸
۳	۶۰۴۱۰۱۹۲۷۷۶	۱۸۹۹۷۲۹۳۸۵	۲۵۶۱۸/۸۲	۵/۴۶
۴	۶۰۱۳۶۸۳۳۶۰۴	۱۹۳۱۸۰۵۳۳۹	۲۵۲۶۷/۵۶	۵/۷۴
۵	۶۰۶۹۸۸۲۳۴۱۱	۲۰۵۶۵۸۰۸۷۱	۲۵۶۰۶/۶۱	۵/۷۶
۶	۶۰۴۳۹۵۱۳۹۸۴	۲۱۱۲۸۳۰۲۷۷	۲۴۶۵۷/۹۸	۶/۸۴
۷	۶۰۴۸۴۸۷۰۲۲۶	۱۸۹۵۳۵۰۳۸۷	۲۴۵۲۳/۱۶	۷/۲۷
۸	۶۰۴۱۱۴۴۵۰۳۶	۱۹۵۷۸۹۳۲۳۶	۲۵۱۸۹/۹۰	۵/۳۹
۹	۶۰۳۴۳۶۳۹۷۴۴	۲۰۵۱۳۸۴۸۲۰	۲۵۴۳۴/۰۷	۶/۳۶
۱۰	۶۰۲۱۰۶۵۵۸۵۲	۲۱۱۸۲۲۴۷۰۹	۲۵۸۸۰/۰۸	۶/۹۸
۱۱	۶۰۷۱۷۰۲۶۹۹۴	۱۹۱۱۴۷۲۱۳۲	۲۴۲۸۰/۲۲	۷/۱۷
۱۲	۶۰۰۷۹۲۹۰۷۳۵	۱۹۱۸۲۵۵۲۲۹	۲۵۰۴۶/۲۳	۵/۶۸
۱۳	۶۰۲۴۱۳۸۲۰۳۴	۱۸۹۴۸۰۷۵۴۹	۲۶۰۰۷/۷۶	۵/۴۵
۱۴	۶۰۸۲۸۶۰۰۲۹۶	۱۹۱۰۱۲۹۲۴۷	۲۵۵۴۲/۲۱	۶/۸۸
۱۵	۶۰۸۶۲۹۰۰۰۰۰	۱۸۹۰۲۵۹۰۰۰	۲۵۸۹۷/۷۹	۵/۳۷
۱۶	۶۰۷۰۸۴۴۴۴۳۲	۱۹۱۶۴۹۹۴۹۸	۲۴۴۳۴/۱۴	۵/۵۵
۱۷	۶۰۵۳۶۱۵۱۷۹۶	۱۹۶۴۸۶۶۲۵۹	۲۵۶۹۰/۰۸	۶/۳۱
۱۸	۶۰۸۲۷۵۹۲۳۸۰	۱۹۱۲۸۲۸۹۹۹	۲۴۳۰۸	۷/۲۲
۱۹	۵۹۹۶۲۵۵۵۶۷۸	۲۰۸۴۰۴۸۱۵۵	۲۳۹۱۳/۹۷	۶/۸۸
۲۰	۶۰۰۲۷۳۰۶۶۷۷	۲۱۰۷۰۹۱۶۷۱	۲۵۸۶۳/۸۴	۵/۷۳



شکل (۵): مقدار سود کلی زنجیره‌تأمین

جدول (۴): روند تغییرات تابع هدف اول (سود) زنجیره تأمین در شرایط کرونا

میانگین	دوره ۵	دوره ۴	دوره ۳	دوره ۲	دوره ۱	
مدل (ب)	۱۴۵۲۱۲۲۶۷۸۷	۱۴۳۶۵۲۵۶۰۴۱۷	۱۵۱۶۱۲۲۴۱۳۳۸	۱۴۹۴۲۳۰۰۲۱۸۴	۱۳۹۸۴۷۴۹۲۸۷۵	۱۴۱۵۲۶۰۴۲۵۴۱
مدل (الف)	۱۴۶۴۱۹۰۸۴۲۹۴	۱۴۰۶۸۳۱۷۵۴۹	۱۴۸۰۰۱۸۲۱۵۵۷	۱۴۶۸۵۰۸۶۲۶۵۴	۱۵۲۹۷۶۰۹۷۵۱۴	۱۴۳۵۸۳۴۶۴۲۵۴
درصد تغییر	-۰/۸۲	۲/۱۱	۲/۴۳	۱/۷۵	-۸/۵۸	-۱/۴۳

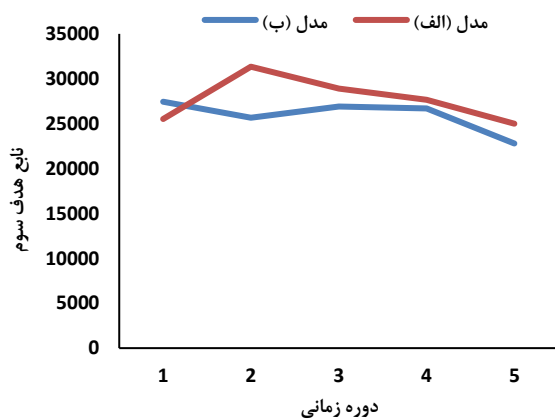
جدول (۵): روند تغییرات تابع هدف دوم (میزان انتشار کربن)

میانگین	دوره ۵	دوره ۴	دوره ۳	دوره ۲	دوره ۱	تابع هدف دوم
مدل (ب)	۱۸۹۶۹۸۳۱۹۱	۱۸۲۰۹۰۸۷۷۳	۱۹۰۸۵۵۶۴۰۴	۱۹۴۶۱۴۷۲۶۴	۱۹۷۶۳۷۳۲۱۵	۱۸۳۲۹۳۰۲۹۶
مدل (الف)	۱۸۲۶۲۷۱۸۳۴	۱۷۰۶۷۴۷۵۶۱	۱۸۲۰۹۷۵۸۲۷	۱۷۰۵۰۲۹۴۱۳	۲۰۰۷۶۴۲۷۵۴	۱۸۹۰۹۶۳۶۱۵
درصد تغییر	۳/۷۲	۶/۲۶	۴/۵۸	۱۲/۳۸	-۱/۵۸	-۳/۱۶

جدول (۶): روند تغییرات تابع هدف سوم (مسئولیت اجتماعی)

میانگین	دوره ۵	دوره ۴	دوره ۳	دوره ۲	دوره ۱	تابع هدف سوم
مدل (ب)	۲۵۸۹۷	۲۲۷۹۰	۲۶۶۷۷	۲۶۹۰۹	۲۵۶۷۰	۲۷۴۴۲
مدل (الف)	۲۷۶۷۹	۲۴۹۹۵	۲۷۶۴۵	۲۸۹۰۵	۳۱۳۴۴	۲۵۵۰۶
درصد تغییر	-۶/۸۷	-۹/۶۷	-۳/۶۲	-۷/۴۱	-۲۲/۱۰	۷/۰۵

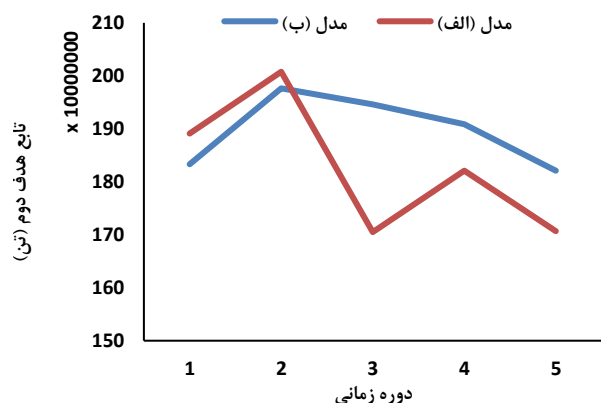
دوره اول با وجود بیماری کرونا نسبت به حالت عدم وجود این بیماری بهتر شده و در طرف مقابل، برای بقیه دوره‌ها این میزان بدتر شده است. همچنین، میانگین این مقادیر به‌ازای همه دوره‌ها نیز به‌میزان ۶/۸۷ درصد رشد منفی داشته است. علاوه بر این، مقدار کلی تابع هدف سوم نیز طبق جدول (۸) و شکل (۹) و باتوجه به بیماری کرونا به میزان ۶/۸۷ درصد بدتر شده است. همچنین، باتوجه به جدول (۸)، چون تابع هدف سوم مطالعه حاضر، رشد منفی را تجربه کرده پس می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط بیماری کرونا این مدل باعث کاهش بعد اجتماعی و به‌صورت دقیق‌تر، کاهش میزان سطح امنیت و اشتغال شده است.



شکل (۷): روند تغییرات تابع هدف سوم

درنهایت در مورد تابع هدف چهارم که بیانگر میزان سرایت بیماری در یک محیط بسته (بیمارستان) می‌باشد، همان‌گونه که در جدول (۷) و شکل (۸) مشاهده می‌شود، این تابع هدف در تمامی دوره‌ها به‌جز دوره‌های ۳ و ۵، با اضافه شدن تأمین‌کننده پشتیبان به مدل (مدل

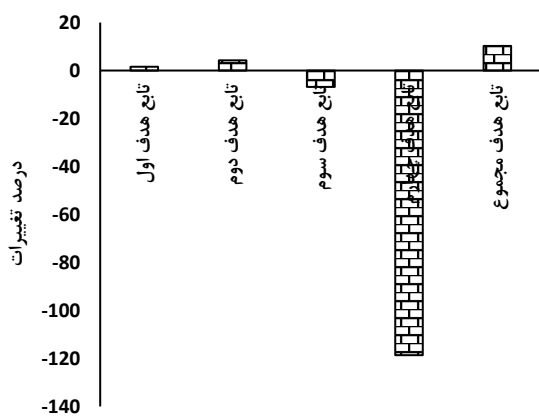
برای تابع هدف دوم، طبق جدول (۵) و شکل (۶)، میزان تولید کربن برای کل زنجیره تأمین (شامل تمامی مراکز) در حالت بیماری کرونا در همه دوره‌ها، به‌جز دوره‌های اول و دوم که کاهش داشته و بهتر شده، افزایش یافته و بدتر شده و همچنین میزان میانگین تولید کربن نیز به‌ازای همه دوره‌ها در حالت بیماری کرونا نسبت به شرایط عادی به اندازه ۳/۷۲ درصد بدتر شده که بدین معنی است میزان تولید کربن در شرایط بیماری کرونا بیشتر شده است. به‌علاوه، باتوجه به جدول (۸) و شکل (۹) مقدار کلی این تابع هدف در حالت وجود بیماری کرونا ۴/۲۵ درصد افزایش یافته و بدتر شده است. باتوجه اضافه شدن سطح تأمین‌کنندگان پشتیبان و باتوجه به این‌که میزان حمل‌ونقل و تردد در کل شبکه زنجیره تأمین رشد داشته، افزایش میزان تولید کربن می‌تواند امری طبیعی قلمداد شود.



شکل (۶): روند تغییرات تابع هدف دوم

تابع هدف سوم مسئولیت اجتماعی زنجیره تأمین را حداکثر می‌کند. طبق جدول (۶) و شکل (۷)، مقادیر این تابع هدف فقط در

به‌صورت کلی، باتوجه به نتایج عددی همان‌طور که مشاهده می‌شود تابع هدف اول طبق جدول (۴) به‌جز دو دوره در همه دوره‌ها میزان تابع هدف بهتر شده ولی میانگین دوره‌ها به‌میزان ناچیزی کاهش یافته است. همچنین طبق جدول (۸) میزان کلی تابع هدف اول نسبت به شرایط عادی بهبود داشته است. اما در مورد تابع هدف دوم، شرایط برعکس بوده و به‌جز دو دوره در بقیه دوره‌ها بدتر شده و در حالت کلی نیز نسبت به شرایط عادی بدتر شده است. ولی برای تابع هدف سوم نیز نتایج منفی بوده و این تابع هدف بدتر شده است و این کاملاً طبیعی است چون در شرایط کرونا مدل باعث کاهش بعد اجتماعی و به‌صورت دقیق‌تر، کاهش میزان سطح امنیت و اشتغال شده است. نهایتاً در مورد تابع هدف چهارم، همان‌گونه که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، این تابع هدف در تمامی دوره‌ها به‌جز دوره‌های ۳ و ۵، با اضافه شدن تأمین‌کننده پشتیبان به مدل، نسبت به شرایط عادی بهبود یافته است. بنابراین، چون توابع هدف در تضاد هستند پس توابع هدف ۱ و ۴ بهبود یافته و توابع هدف ۲ و ۳ بدتر شده‌اند.



شکل (۹): درصد تغییرات در توابع هدف مدل پیشنهادی

۶-۲. متغیرهای تصمیم‌گیری

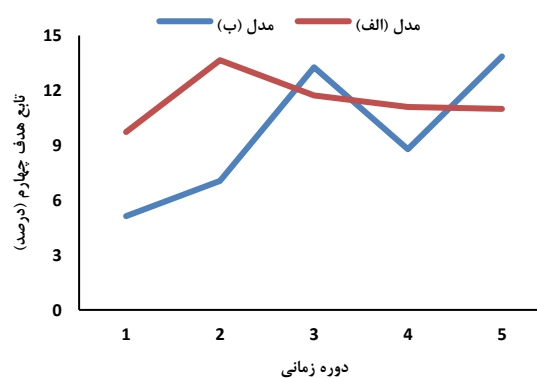
هدف از این مقایسه، بررسی آثار پیاده‌سازی مدل در درآمدها، هزینه‌ها، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و مسئولیت اجتماعی توسط برخی مراکز موجود در زنجیره‌تأمین است. مدل پیشنهادی با افزایش سطوح در مسیر روبه جلو به‌دنبال افزایش درآمد متناسب با کاهش هزینه است. همچنین با ایجاد جهت برگشت علاوه‌بر کاهش آثار زیست‌محیطی با درنظر گرفتن بازار فروش پی‌درپی به‌دنبال افزایش سود کل زنجیره می‌باشد. جدول (۹) میزان درآمد کلی شبکه زنجیره‌تأمین پیشنهادی را در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد.

جهت کسب درآمد در شرایط کرونا نسبت به شرایط عادی علاوه‌بر درنظر گرفتن فروش محصولات نهایی به مشتریان نهایی، تأمین‌کنندگان پشتیبان نیز درنظر گرفته شده است. از همین رو و باتوجه به جدول (۹)، مشاهده می‌شود به‌جز در دوره‌های اول و دوم، در بقیه دوره‌ها افزایش یافته است و در دوره چهارم بیشترین افزایش را تجربه کرده است.

(ب)) نسبت به عدم اضافه‌شدن این مرکز (مدل (الف))، بهبودیافته است. این بدان معناست که این مرکز نقش قابل توجهی در کاهش میزان سرایت بیماری کرونا داشته است. چون با افزایش تعداد تأمین‌کنندگان، تولیدکننده می‌تواند بدون کمبود مواد اولیه داروهای مورد نیاز بیمارستان‌ها و نهایتاً بیماران را سریع‌تر تولید کند و برای اساس بیماران داروهای موردنیاز خود را سریع‌تر دریافت کرده و پس‌از بهبودی از بیمارستان مرخص می‌شوند. این روند موجب می‌شود که از تعداد افراد بیمار کاسته شده و درصد سرایت بیماری در محیط بسته بیمارستان کاهش یابد. همچنین باتوجه به جدول (۷) میانگین سرایت بیماری به‌ازای کل دوره‌ها نیز در مدل (ب) نسبت به مدل (الف) به میزان ۳۵ درصد کاهش (بهبود) یافته است. ضمناً، باتوجه به جدول (۸) و شکل (۹)، میزان کلی تابع هدف چهارم به‌اندازه ۱۱۸/۶۲ درصد کاهش (بهبود) یافته است که این نشان‌دهنده تأثیر افزودن تأمین‌کنندگان پشتیبان به مدل ریاضی پیشنهادی در خنثی کردن شوک‌های ناشی از بیماری کرونا است.

جدول (۷): روند تغییرات تابع هدف چهارم (میزان سرایت

بیماری کرونا		دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵	میانگین
تابع هدف چهارم	مدل (ب)	۵/۱۲	۷/۰۴	۱۳/۲۶	۸/۷۸	۱۳/۸۵	۹/۶۱
	مدل (الف)	۹/۷۲	۱۳/۶۴	۱۱/۷۲	۱۱/۱۰	۱۰/۹۸	۱۱/۴۳
درصد تغییر		-۸۹/۸	-۹۳/۷	۱۱/۶۱	-۲۶/۴۲	۲۰/۷۲	-۳۵/۵۳



شکل (۸): روند تغییرات تابع هدف چهارم

جدول (۸) و شکل (۹) درصد تغییرات هر چهار تابع هدف و تابع هدف مجموع را در شرایط بیماری کرونا می‌دهند. همچنین طبق این جدول، در مجموع در شرایط بیماری، اگرچه توابع هدف دوم و سوم نسبت به قبل (وضعیت عدم اضافه‌شدن تأمین‌کنندگان پشتیبان) بدتر شده‌اند اما تابع هدف مجموع به میزان ۱۰/۱۸ درصد بهبود پیدا کرده است. این موضوع نشان از اثربخش بودن اضافه‌شدن تأمین‌کننده پشتیبان و به‌دنبال آن مدل پیشنهادی این مقاله برای شرایط بیماری کرونا می‌باشد.

جدول (۸): مقادیر توابع هدف و تابع هدف مجموع و درصد تغییرات آن‌ها

تابع هدف اول	تابع هدف دوم	تابع هدف سوم	تابع هدف چهارم	تابع هدف مجموع	
۶۰۸۶۲۹۰۰۰۰	۱۸۹۰۲۵۹۰۰۰	۲۵۸۹۷۷۹	۵/۳۷	۷۰/۷۰	مدل (ب)
۵۹۸۶۰۳۰۰۰۰۰	۱۹۷۰۶۷۲۰۰۰	۲۷۶۷۹/۴۵	۱۱/۷۴	۶۳/۵۰	مدل (الف)
۱/۶۴	۴/۲۵	-۶/۸۷	-۱۱۸/۶۲	۱۰/۱۸	درصد تغییرات

جدول (۹): درآمد کل زنجیره تأمین

سود کل	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵
مدل (ب)	۱۴۶۴۷۲۲۵۰۴۴۶	۱۴۳۴۴۵۵۱۰۰۸۲	۱۵۲۴۶۶۵۸۰۲۹۴	۱۵۵۰۲۷۳۶۹۵۸۱	۱۴۶۹۶۴۹۳۳۴۷۶
مدل (الف)	۱۴۸۵۳۴۲۳۴۴۳۸	۱۵۶۴۲۰۴۸۶۲۸۷	۱۵۰۳۸۹۹۶۴۴۵۲	۱۵۱۴۶۳۰۰۲۳۹۲	۱۴۴۰۷۸۱۶۱۵۶۹
درصد تغییر	-۱/۴۰	-۹/۰۴	۱/۳۶	۲/۲۹	۱/۹۶

جدول (۱۰): هزینه‌های تولید

هزینه تولید	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵
مدل (ب)	۱۶۸۹۷۴۱۸۲۸	۱۷۶۵۴۴۲۲۱۱	۱۷۶۵۴۷۲۰۲۵	۱۷۵۴۷۴۶۵۴۳	۱۸۴۵۴۴۱۱۲۹
مدل (الف)	۱۵۷۴۶۹۳۱۸۴	۱۶۶۵۶۹۵۴۸۲	۱۵۹۶۸۹۲۳۱۱	۱۶۷۶۵۴۳۱۷۹	۱۶۵۴۷۹۲۱۸۲
درصد تغییر	۶/۸۰	۵/۶۵	۹/۵۴	۴/۴۵	۱۰/۳۳

جدول (۱۱): هزینه‌های خرید از تأمین‌کنندگان

هزینه خرید از تأمین‌کننده	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵
مدل (ب)	۲۷۶۱۸۰۲۵۳	۴۲۸۵۰۹۵۴۸	۱۸۹۶۹۳۴۴۶	۳۳۷۰۹۸۹۷۶	۳۹۱۲۲۸۴۷۵
مدل (الف)	۳۳۸۹۵۰۷۴۱	۳۰۵۹۸۶۶۰۹	۲۷۳۱۹۲۴۱۳	۳۱۷۰۱۴۶۵۶	۲۵۱۴۹۵۶۴۱
درصد تغییر	-۲۲/۲۷	۲۸/۵۹	-۴۴/۰۱	۵/۹۵	۳۵/۷۱

جدول (۱۲): مجموع سایر هزینه‌های زنجیره تأمین

مجموع سایر هزینه‌ها	دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵
مدل (ب)	۲۹۸۰۲۸۵۸۲۳	۱۴۰۴۰۶۵۴۴۶	۱۰۹۱۴۱۲۶۳۸	۱۳۲۳۲۸۲۷۲۴	۱۰۷۵۷۰۳۴۵۵
مدل (الف)	۳۰۳۷۱۲۶۲۵۸	۱۴۷۲۷۰۶۶۸۲	۱۶۶۹۰۱۷۰۷۴	۱۴۶۷۶۲۳۰۰۱	۱۴۸۸۶۹۸۲۵۲
درصد تغییر	-۱/۹۰	-۴/۸۸	-۵۲/۹۲	-۱۰/۹۰	-۳۸/۳۹

تولید نبوده‌اند، از این رو از تأمین‌کنندگان پشتیبان هم خرید صورت می‌گرفته است که این میزان خرید نسبت به شرایط عادی بیشتر بوده است. اما در مورد سایر دوره‌ها، هزینه خرید از تأمین‌کنندگان در مدل (الف) بیشتر بوده است و باتوجه به درصد تغییرات نیز این نتایج قابل برداشت می‌باشند.

در نهایت، در جدول (۱۲) مجموع سایر هزینه‌های زنجیره تأمین در مدل‌های (الف) و (ب) باهم مقایسه شده‌اند. این هزینه‌ها شامل: هزینه ثابت احداث مراکز، هزینه حمل‌ونقل محصولات برگشتی، هزینه‌های دفع محصولات و صرفه‌جویی در هزینه محصولات برگشتی و هزینه حمل‌ونقل برای ارسال محصولات از مراکز جمع‌آوری به مراکز تولید می‌شوند. باتوجه به افزایش تعداد سطوح، مشاهده می‌شود که این هزینه‌ها در هر دو مدل دارای روند کاهشی بودند در حالی که در مجموع در مدل (الف)، میزان این هزینه‌ها بیشتر بوده است چون درصد تغییرات مدل (ب) نسبت به (الف) در همه دوره‌ها رشد منفی داشته است و حتی در دوره‌های سوم و پنجم، این میزان بیشترین بوده است.

با افزایش فروش و میزان تقاضا، مجموع هزینه‌های تولید افزایش می‌یابد. طبق جدول (۱۰)، هزینه‌های تولید در مدل (ب) نسبت مدل (الف) با افزایش میزان تولید، در همه از دوره‌ها بیشتر بوده است. اگرچه این روند همیشه روبه افزایش نبوده است؛ برای مثال باتوجه به درصد تغییرات، از دوره سوم به چهارم دارای روند نزولی است و به میزان ۵/۰۹ درصد کاهش یافته است.

هزینه‌های خرید از تأمین‌کننده به‌عنوان یکی از معیارهای مهم در پیکربندی شبکه تسهیلات این مقاله باتوجه به وجود بیماری کرونا می‌باشد. از همین رو در این مقایسه به‌عنوان یک متغیر تصمیم این هزینه‌ها در مدل (ب) نسبت به مدل (الف) مقایسه می‌گردد. با افزایش تعداد سطوح به‌جهت افزایش سطح تأمین‌کننده پشتیبان، مطابق جدول (۱۱) همان‌طور که مشاهده می‌شود در دوره‌های دوم، چهارم و پنجم این هزینه نسبت به مدل (الف) بیشتر شده است و این بدین معنی است که در این دوره‌ها به‌دلیل اثر بسیار زیاد بیماری کرونا، تأمین‌کنندگان اصلی به‌تنهایی قادر به برآورده کردن احتیاجات مراکز

- در نظر گرفتن راهکار ارائه شده (در نظر گرفتن تأمین‌کننده پشتیبان) برای مقابله با شوک‌های ناشی از یک اپیدمی؛
- امکان مقایسه نتایج در شرایط وجود و عدم وجود تأمین‌کننده پشتیبان (با افزودن هر مرکز دیگر) با استفاده از مدل ریاضی طراحی شده در این مطالعه و بررسی تأثیر اپیدمی بر ساختار زنجیره‌تأمین دارو.

۸. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آینده

تأثیر کووید-۱۹ بر زنجیره‌تأمین دارو که منجر به بروز مشکلات در تولید، توزیع و خرده‌فروشی می‌شود، نیاز شدید استراتژی‌های پیش‌گیرانه را نشان داده است. در مقاله حاضر، طراحی و تبیین یک مدل ریاضی برای کاهش مشکلات در زنجیره‌تأمین دارو به‌خصوص در قسمت توزیع و در شرایط وجود و یا عدم وجود بیماری کرونا باهم مقایسه و بررسی شده است. برای این منظور یک مرکز به‌عنوان تأمین‌کننده پشتیبان به ساختار شبکه در شرایط بیماری کرونا افزوده شده است. هدف از این کار جلوگیری از کمبود محصول (دارو) در کل جریان شبکه و همچنین جلوگیری از افزایش بیکاری و کاهش امنیت (بعد اجتماعی) است. مطالعه حاضر، شبکه تأمین دارو را برای تصمیم‌گیری در تصمیمات تاکتیکی (مربوط به برنامه‌ریزی میان‌مدت مثل بهینه کردن جریان مواد عبوری در شبکه زنجیره‌تأمین)، در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، بررسی بعد اجتماعی (امنیت و اشتغال) و نهایتاً بررسی میزان سرایت بیماری در یک محیط بسته مثل بیمارستان را برای رسیدن به پایداری، بررسی کرده است. مدل پیشنهادی این شبکه زنجیره‌تأمین، مدل چهارهدفه‌ای است که اهداف آن را سه بُعد پایداری و یک بُعد مربوط به بیماری کرونا تشکیل می‌دهند و یک مدل برنامه‌ریزی خطی مخلوط عدد صحیح محسوب می‌شود. در این مدل هدف، تعیین میزان بهینه جریان محصول در بخش‌ها و بررسی تأثیر بیماری کرونا بر توزیع آن‌ها می‌باشد.

مدل در نرم‌افزار گمز و با استفاده از روش اپسیلون محدودیت بهبود یافته افزوده ۲ اجرا شد. نتایج پیاده‌سازی مدل با شرایط مشابه قبل از پیاده‌سازی در متغیرهای تصمیم‌گیری و توابع هدف مورد بررسی قرار گرفت که علاوه بر جواب‌های بهتر برای بسیاری از متغیرهای تصمیم و معیارها، دارای ثبات و سازگاری بالاتری بود. اجرای مدل باعث بهتر شدن توابع هدف اول و چهارم و بدتر شدن توابع هدف دوم و سوم شد بدین صورت که تابع هدف اول (حداکثرسازی سود کل شبکه) به میزان ۱/۶۴ درصد بهتر، تابع هدف دوم (حداقل‌سازی مسائل زیست‌محیطی) به اندازه ۴/۲۵ درصد بدتر، تابع هدف سوم (حداکثرسازی بعد اجتماعی) به میزان ۶/۸۷- درصد بدتر و در نهایت تابع هدف چهارم (حداقل‌سازی میزان سرایت بیماری در یک محیط بسته) به میزان ۱۱۸/۶۲- درصد بهتر شدند. باتوجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت مدل ریاضی پیشنهادی به‌خوبی با شرایط بیماری کرونا سازگار است و باعث افزایش سود و کاهش میزان سرایت بیماری کرونا در یک محیط بسته (بیمارستان) می‌شود ولی از لحاظ زیست‌محیطی و اجتماعی به‌دلیل

در ادامه به مقایسه اجزای تابع هدف سوم پرداخته می‌شود. باتوجه به جدول (۱۳)، همان‌طور که قابل ملاحظه است میزان اشتغال در مدل (ب) تنها در دوره اول بهبود داشته است ولی در بقیه دوره‌ها این میزان برای مدل (الف) بهتر بوده است. باتوجه به شرایط بحرانی بیماری کرونا تا حدودی این افزایش و کاهش‌ها منطقی است زیرا این بیماری تأثیر بسیار زیادی بر کل ساختار زنجیره‌تأمین می‌گذارد و همچنین می‌تواند بر اقتصاد جامعه نیز اثرگذار باشد و مانع رونق تولید شود. از این‌رو بر میزان اشتغال نیز تأثیر منفی گذاشته و باعث می‌شود عده زیادی شغل خود را از دست بدهند.

در مورد سطح امنیت که قسمتی از تابع هدف سوم این مقاله است، همان‌گونه که در جدول (۱۴) مشاهده می‌شود این میزان در مدل (ب) نسبت به (الف) (باتوجه به درصد تغییرات) در همه دوره‌ها بدتر شده است. لازم به ذکر است که در دوره‌های سوم و پنجم این میزان به‌ترتیب با مقادیر ۲۲/۸۵- و ۱۵/۵۸- درصد، بالاترین رشد منفی را تجربه کرده‌اند.

جدول (۱۳): میزان اشتغال در شرایط وجود و یا عدم وجود بیماری

کرونا		دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵
میزان اشتغال	مدل (ب)	۲۷۴۳۴	۲۵۶۶۲	۲۶۹۰۱	۲۶۶۶۹	۲۲۷۸۲
	مدل (الف)	۲۵۴۹۷	۳۱۳۳۶	۲۸۸۹۶	۲۷۶۳۶	۲۴۹۸۷
درصد تغییر		۷/۰۶	-۲۲/۱۱	-۷/۴۱	-۳/۶۲	-۹/۶۷

جدول (۱۴): میزان سطح امنیت در شرایط وجود و یا عدم وجود

بیماری کرونا		دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵
سطح امنیت	مدل (ب)	۷/۵۰	۷/۷۰	۷/۴۵	۷/۷۰	۷/۶۰
	مدل (الف)	۸/۳۵	۸/۴۰	۹/۶۰	۸/۹۰	۸/۴۵
درصد تغییر		-۱۱/۳۳	-۹/۰۹	-۲۸/۸۵	-۱۵/۵۸	-۱۱/۱۸

لازم به ذکر است در مورد جزئیات تابع هدف چهارم نیز قبلاً توضیحات لازم ارائه شد.

۷. بینش‌های مدیریتی

- برای اثبات صحت مدل پیشنهادی، همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، مدل در یک مثال عددی حل شد. این امر برخی از بینش‌های مدیریتی را برای تصمیم‌گیرندگان در این زمینه به شرح زیر فراهم کرده است:
- اتخاذ بهترین تصمیم در یک زنجیره‌تأمین دارو در شرایط شیوع و عدم شیوع یک اپیدمی؛
 - اتخاذ بهترین تصمیم برای تجهیزات مراکز و مکان‌یابی تسهیلات در شبکه؛
 - استفاده از نتایج مدل پیشنهادی برای صنایع مختلف مشابه به‌خصوص در شرایط وجود یک اپیدمی؛

- [11] Fleischmann, M., Beullens, P., BLOEMHOF-RUWAARD, J. M., & Van Wassenhove, L. N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production and operations management*, 10(2), 156-173.
- [12] Pishvaei, M. S., Rabbani, M., & Torabi, S. A. (2011). A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Applied mathematical modelling*, 35(2), 637-649.
- [13] Qiang, Q., Ke, K., Anderson, T., & Dong, J. (2013). The closed-loop supply chain network with competition, distribution channel investment, and uncertainties. *Omega*, 41(2), 186-194.
- [14] Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Modarres, M., & Baboli, A. (2012). Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: a robust-M/M/c queuing model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(6), 1152-1168.
- [15] Amin, S. H., & Zhang, G. (2013). A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Applied Mathematical Modelling*, 37(6), 4165-4176.
- [16] Papen, P., & Amin, S. H. (2019). Network configuration of a bottled water closed-loop supply chain with green supplier selection. *Journal of Remanufacturing*, 9(2), 109-127.
- [17] Govindan, K., & Popiuc, M. N. (2014). Reverse supply chain coordination by revenue sharing contract: A case for the personal computers industry. *European Journal of Operational Research*, 233(2), 326-336.
- [18] Cardoso, S. R., Barbosa-Póvoa, A. P. F., & Relvas, S. (2013). Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty. *European journal of operational research*, 226(3), 436-451.
- [19] Chakraborty, T., Chauhan, S. S., & Ouhimmou, M. (2020). Mitigating supply disruption with a backup supplier under uncertain demand: competition vs. cooperation. *International Journal of Production Research*, 58(12), 3618-3649.
- [20] Leonard, D. 2005. "The Only Lifeline Was the Wal-Mart." *Fortune Magazine*, October 3. http://archive.fortune.com/magazines/fortune/fortune_archive/2005/10/03/8356743/index.htm/.
- [21] Reuters Staff. 2016. "Toyota Resumes Production at Japan Plants After Steel Shortage." *Reuters*, February 14. <https://www.reuters.com/article/autos-toyota-production-idUSL3N15U0J3/>.
- [22] Chopra, S., Reinhardt, G., & Mohan, U. (2007). The importance of decoupling recurrent and disruption risks in a supply chain. *Naval Research Logistics (NRL)*, 54(5), 544-555.
- [23] Chen, K., & Yang, L. (2014). Random yield and coordination mechanisms of a supply chain with emergency backup sourcing. *International Journal of Production Research*, 52(16), 4747-4767.
- [24] Giri, B. C., & Dey, S. (2020). Game theoretic models for a closed-loop supply chain with stochastic demand and backup supplier under dual channel recycling. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 3(1), 108-125.
- [25] Zeng, N., Zeng, D., Liu, A., & Jin, L. (2020). Drop-Shipping and Backup-Sourcing Strategies Under the Risk of Supply Disruption. *IEEE Access*, 8, 169496-169515.
- [26] Janatyan, N., Zandieh, M., Alem Tabriz, A., & Rabieh, M. (2019). Optimizing Sustainable Pharmaceutical
- آثار بسیار زیان‌آور ویروس کرونا بر اقتصاد و حمل‌ونقل هر کشور، این مدل نیز از این آثار بی‌نصیب نمانده و باعث کاهش این مقادیر شده است. به‌طور خاص، نتایج این تحقیق می‌تواند توسط تصمیم‌گیرندگان مورد استفاده قرار گیرد تا آثار عملیاتی و طولانی مدت شیوع بیماری‌های همه‌گیر بر روی زنجیره‌تأمین دارو و برنامه‌های بیماری همه‌گیر را پیش‌بینی کند.
- در نهایت پیشنهادهایی به‌شرح ادامه، برای کارهای آینده بیان می‌شود. در این مقاله به تأثیر بیماری کرونا بر روی زنجیره‌تأمین توزیع دارو پرداخته شد که برای مطالعات آتی می‌توان هر نوع بیماری اپیدمی را بررسی کرد و نتایج را در دو حالت وجود و یا عدم وجود بیماری مورد بررسی و مقایسه قرار داد. همچنین، در پژوهش‌های آتی، مطالعه مدل در شرایط غیرقطعی و پارامترهای غیرقطعی مثل میزان تقاضا و یا قیمت پیشنهاد می‌شود. همچنین در صورت امکان، پیاده‌سازی مدل ریاضی پیشنهادی در یک مطالعه موردی واقعی بسیار می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

مراجع

- [1] Choi, T. M., Wen, X., Sun, X., & Chung, S. H. (2019). The mean-variance approach for global supply chain risk analysis with air logistics in the blockchain technology era. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 127, 178-191.
- [2] Hosseini, S., Ivanov, D., & Dolgui, A. (2019). Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125, 285-307.
- [3] Ivanov, D., Dolgui, A., & Sokolov, B. (Eds.). (2019). *Handbook of ripple effects in the supply chain* (Vol. 276). New York: Springer.
- [4] Dolgui, A., Ivanov, D., & Rozhkov, M. (2020). Does the ripple effect influence the bullwhip effect? An integrated analysis of structural and operational dynamics in the supply chain. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1285-1301.
- [5] Li, Y., & Zobel, C. W. (2020). Exploring supply chain network resilience in the presence of the ripple effect. *International Journal of Production Economics*, 107693.
- [6] Araz, O. M., Choi, T. M., Olson, D., & Salman, F. S. (2020). Data analytics for operational risk management. *Decision Sciences*.
- [۷] شاوردی، مرضیه. (۱۳۹۵). طراحی و مدیریت زنجیره عرضه. موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران، چاپ دوم، شهریور ۱۳۹۵.
- [8] Aday, S., & Aday, M. S. (2020). Impact of COVID-19 on the food supply chain. *Food Quality and Safety*, 4(4), 167-180.
- [9] Guan, D., Wang, D., Hallegatte, S., Davis, S. J., Huo, J., Li, S., ... & Gong, P. (2020). Global supply-chain effects of COVID-19 control measures. *Nature human behaviour*, 4(6), 577-587.
- [10] Abdolazimi, O., Esfandarani, M. S., Salehi, M., & Shishebori, D. (2020a). Robust design of a multi-objective closed-loop supply chain by integrating on-time delivery, cost, and environmental aspects, case study of a Tire Factory. *Journal of Cleaner Production*, 121566.

- [43] Rasi, R. E., & Sohanian, M. (2020). A multi-objective optimization model for sustainable supply chain network with using genetic algorithm. *Journal of Modelling in Management*.
- [44] Micheli, G. J., Cagno, E., Mustillo, G., & Trianni, A. (2020). Green supply chain management drivers, practices and performance: A comprehensive study on the moderators. *Journal of Cleaner Production*, 259, 121024.
- [45] Gao, J., Xiao, Z., Wei, H., & Zhou, G. (2020). Dual-channel green supply chain management with eco-label policy: A perspective of two types of green products. *Computers & Industrial Engineering*, 146, 106613.
- [46] Pourmehdi, M., Paydar, M. M., & Asadi-Gangraj, E. (2020). Scenario-based design of a steel sustainable closed-loop supply chain network considering production technology. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123298.
- [47] Venkatesh, V. G., Kang, K., Wang, B., Zhong, R. Y., & Zhang, A. (2020). System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 63, 101896.
- [48] Govindan, K., Shaw, M., & Majumdar, A. (2020). Social sustainability tensions in multi-tier supply chain: A systematic literature review towards conceptual framework development. *Journal of Cleaner Production*, 123075.
- [۴۹] شاوردی، مرضیه. (۱۳۹۹). بازیابی زنجیره‌تأمین در عصر کروناویروس - برنامه‌ریزی برای حال و آینده. سلسله گزارش‌های میز رصد کرونا- گزارش (۸)، بهار ۱۳۹۹.
- [50] Anvari, S., & Turkay, M. (2017). The facility location problem from the perspective of triple bottom line accounting of sustainability. *International Journal of Production Research*, 55(21), 6266-6287.
- [51] Abdolazimi, O., Salehi Esfandarani, M., Salehi, M., & Shishebori, D. (2020). A Comparison of Solution Methods for the Multi-Objective Closed Loop Supply Chains. *Advances in Industrial Engineering*, 54(1), 75-98.
- [52] Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ϵ -constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied mathematics and computation*, 213(2), 455-465.
- [53] Florios, K., & Mavrotas, G. (2014). Generation of the exact pareto set in multi-objective traveling salesman and set covering problems. *Applied Mathematics and Computation*, 237, 1-19.
- [54] Nikas, A., Fountoulakis, A., Forouli, A., & Doukas, H. (2020). A robust augmented ϵ -constraint method (AUGMECON-R) for finding exact solutions of multi-objective linear programming problems. *Operational Research*, 1-42.
- [55] Shafiee, M., Zare Mehrjerdi, Y., & Keshavarz, M. (2021). Integrating lean, resilient, and sustainable practices in supply chain network: mathematical modelling and the AUGMECON2 approach. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 1-21.
- [۵۶] فخرزاد، محمدباقر، لطفی، رضا. (۱۳۹۶). مدل سبز مدیریت موجودی توسط فروشنده با مجاز بودن کمبود در زنجیره تأمین دوسطحی با رویکردهای حل اپسیلون محدودیت و NSGA-II. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید. دوره ۵، شماره ۱۱، پاییز و زمستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۹۳-۲۰۹.
- [57] Abdolazimi, O., Esfandarani, M. S., Salehi, M., Shishebori, D., & Shakhshi-Niaei, M. (2021). Development of sustainable and resilient healthcare and non-cold Distribution Network Model with Evolutionary Multi-objective Algorithms (Case Study: Darupakhsh Company). *Journal of Production and Operations Management*, 10(1), 133-153.
- [27] Ahmadi, A., Mousazadeh, M., Torabi, S. A., & Pishvaei, M. S. (2018). Or applications in pharmaceutical supply chain management. In *Operations research applications in health care management* (pp. 461-491). Springer, Cham.
- [۲۸] سلیمی زاویه، سید قاسم. (۱۳۹۹). راهبردهای پاسخ به بحران در زمان بحران کرونا ویروس (کووید ۱۹) در بخش تولید و صنعت. فصل‌نامه توسعه تکنولوژی صنعتی، شماره ۳۹، بهار ۱۳۹۹، صفحه ۶۳-۷۶.
- [29] Wenzel, M., Stanske, S., & Lieberman, M. B. (2020). Strategic responses to crisis. *Strategic Management Journal*, 41(7/18).
- [30] Dubey, R., Gunasekaran, A., & Papadopoulos, T. (2019). Disaster relief operations: past, present and future. *Annals of Operations Research*, 283(1-2), 1-8.
- [31] Farahani, R. Z., Lotfi, M. M., Baghaian, A., Ruiz, R., & Rezapour, S. (2020). Mass casualty management in disaster scene: A systematic review of OR&MS research in humanitarian operations. *European Journal of Operational Research*.
- [32] Johannis, D. (2007). How Toronto Pearson International Airport applied lessons from SARS to develop a pandemic response plan. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, 1(4), 356-368.
- [33] Chou, J., Kuo, N. F., & Peng, S. L. (2004). Potential impacts of the SARS outbreak on Taiwan's economy. *Asian Economic Papers*, 3(1), 84-99.
- [34] Calnan, M., Gadsby, E. W., Kondé, M. K., Diallo, A., & Rossman, J. S. (2018). The response to and impact of the Ebola epidemic: towards an agenda for interdisciplinary research. *International journal of health policy and management*, 7(5), 402.
- [35] Bild, 2020. <https://www.bild.de/news/inland/news-inland/coronavirus-rki-erklart-ganz-italien-zum-sperrgebiet-weltweit-nehmen-faelle-zu-69089326.bild.html>, accessed on March 10, 2020.
- [36] Apple, 2020. Investor update on quarterly guidance [February 17, 2020], accessed on March 11, 2020.
- [37] Retaildive, 2020. <https://www.retaildive.com/news/the-impact-of-the-coronavirus-on-retail/573522/>, accessed on March 10, 2020.
- [38] Who. (2020). WHO announces COVID-19 outbreak a pandemic. <https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-emergencies/coronavirus-covid-19/news/news/2020/3/who-announces-covid-19-outbreak-a-pandemic>. Accessed December 1, 2020.
- [39] Nunes, L. J. R., Causer, T. P., & Ciolkosz, D. (2020). Biomass for energy: A review on supply chain management models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109658.
- [40] Vafaei, A., Yaghoubi, S., Tajik, J., & Barzinpour, F. (2020). Designing a sustainable multi-channel supply chain distribution network: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119628.
- [41] Abdolazimi, O., & Khakestari, M. (2020). Determine the optimal number of item groups in the warehouse based on ABC analysis within the framework of a supply chain network.
- [42] Abdolazimi, O., Esfandarani, M. S., & Shishebori, D. (2021). Design of a supply chain network for determining the optimal number of items at the inventory groups based on ABC analysis: a comparison of exact and meta-heuristic methods. *Neural Computing and Applications*, 33(12), 6641-6656.

- and resilience: the keys to mitigating supply chain vulnerabilities. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 2(2), 107-119.
- [61] Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009). Understanding the concept of supply chain resilience. *The international journal of logistics management*.
- [۶۲] جعفرنژاد، احمد، محسنی، مریم. (۱۳۹۴). ارائه چارچوبی برای بهبود عملکرد زنجیره تأمین تاب آور. *فصلنامه علمی-ترویجی مدیریت زنجیره تأمین*. سال ۱۷، شماره ۴۸، تابستان ۱۳۹۴، صفحه ۳۸-۵۱.
- pharmaceutical distribution supply chain for COVID-19 pandemic: a case study. *The International Journal of Logistics Management*.
- [۵۸] رحیمی شیخ، حبیب اله، شریفی، مانی، شهریار، محمدرضا. (۱۳۹۶). طراحی مدل زنجیره تأمین تاب آور (مورد مطالعه: سازمان بهزیستی کشور). *چشم اندازی مدیریت صنعتی*. شماره ۲۷، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۱۲۷-۱۵۰.
- [59] Pettit, T. J., Fiksel, J., & Croxton, K. L. (2008). Can you measure your supply chain resilience. *Supply Chain and Logistics Journal*, 10(1), 21-22.
- [60] Glickman, T. S., & White, S. C. (2006). Security, visibility



DOI: 10.22084/ier.2022.24657.2035

Sustainable and Resilient Closed-Loop Drug Supply Chain with Backup Suppliers under Coronavirus Disease Pandemic (COVID-19)

D. Shishebori^{1*}, O. Abdolazimi², D. Andalib Ardakani³

¹ Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Technical and Engineering Campus, Yazd University, Iran

² Master's degree, Industrial Engineering, Faculty of Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economics, Yazd University, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 May 2021

Accepted 6 December 2021

Keywords:

Closed-loop Drug Supply Chain
Sustainability and Resilience
Coronavirus Disease
Environmental and Social Issues
Backup Supplier

ABSTRACT

The pharmaceutical industry in Iran suffers from problems such as improper distribution and scheduling of drugs that have delayed the delivery of drugs to patients or on the other hand a huge volume of expired drugs. Also, paying attention to environmental and social issues along with economic ones is a serious approach to achieving sustainable development. Therefore, in this paper, economic, environmental, and social objective functions are considered for drug distribution in Iran according to the amount of demand. The purpose is to design a new model for the drug distribution network following the conditions of an epidemic (COVID-19) and to investigate its effect on the drug supply chain. Besides, in this paper, by adding backup suppliers, in addition to neutralizing the negative effects of Coronavirus, its effects are also examined and analyzed. To obtain the Pareto front, the improved version of augmented ϵ -constraint (AUGMECON2) has been utilized. Using the proposed model, supply chain managers are able to make tactical decisions (product flow rate in the network) with the most profit, the most positive social impact, reduce greenhouse gases, and reduce disease transmission. They can also greatly reduce or eliminate the serious problems of their supply chain network by creating resilience and sustainability in their network for the future, in critical situations such as the COVID-19 pandemic. The results showed that the suggested model has suitable efficiency for Coronavirus conditions, and can significantly reduce the destructive and harmful effects of this deadly epidemic.

* Corresponding author. D. Shishebori

Tel.: 035-31232410; E-mail address: shishebori@yazd.ac.ir