پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، صص ۱۰۴-۱۲۴
نوع مقاله: پژوهشی

ارائه یک مدل نوین جهت طراحی یک شبکه زنجیره تأمین پایدار شامل مباحث توسعه یافتگی و تصمیمات زیست محیطی پله‌ای

مهتاب شرافتی[۱*]، سمیه نجفی قبادی[۲]

۱. استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸

چکیده

یکی از موضوعات حائز اهمیت در حیطه زنجیره تأمین پایدار که محیط زیست را تحت تاثیر قرار می‌دهد، میزان آلودگی منتشر شده از اجزای زنجیره تامین است. عدم توجه به این مسئله پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی فراوانی در پی خواهد داشت. بنابراین، در این تحقیق به این مهم پرداخته می‌شود. در این مطالعه، مدل نوینی برای طراحی شبکه زنجیره تامین پایدار ارائه می‌گردد که در آن تنها تسهیلات سازگار با محیط‌زیست می‌توانند فعالیت داشته باشند و سایر تسهیلات آسیب‌زا به محیط-زیست، باید تعمیر و نوسازی شوند. علاوه‌براین، جهت افزایش توسعه یافتگی و بهبود وضعیت معیشتی و اجتماعی مردم، در مدل پیشنهادی، مکان احداث تولیدکننده از میان مناطق کمتر توسعه یافته با پتانسیل رشد بیشتر انتخاب می‌گردد. برای محاسبه پتانسیل رشد مناطق معیارهایی مانند نزدیکی به کشورهای همسایه با GDP بالاتر، نرخ بیکاری، تعداد معادن و غیره در نظر گرفته شده و با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره یکپارچه می‌گردند. روش شناسی این پژوهش به این صورت است که ابتدا با روش‌های تصمیم‌گیری، برای هر منطقه امتیازی محاسبه شده و سپس مساله با این امتیازها بهینه سازی می‌گردد. در واقع، مدلسازی پیشنهادی شامل دو مرحله محاسبه امتیاز پتانسیل رشد هر منطقه با تکنیک‌های تصمیم گیری چند معیاره و سپس فرموله بندی مسأله شبکه زنجیره تأمین پایدار است. در پایان، عملکرد مدل پیشنهادی و کاهش اثرات زیست محیطی برای بهبود پایداری سیستم‌های لجستیک در یک مطالعه موردی بررسی و نشان داده می‌شود. جهت اعتبارسنجی مدل، چند تحلیل حساسیت متفاوت ارائه می‌گردد. نتایج تجزیه‌وتحلیل محاسباتی نشان‌دهنده کارایی و اثربخشی مدل است.

کلیدواژه‌ها: طراحی شبکه زنجیره تأمین ، اثرات زیست محیطی، توسعه پایدار، تصمیم گیری چند معیاره

---

* نویسنده مسئول مقاله E-mail: Mahtabsherafati۲@gmail.com

۱- مقدمه

آگاهی زیست محیطی رو به رشد جهانی و افزایش قوانین و مقررات، باعث شده است تا رویکرد پایداری و حرکت به سمت آن، به عنوان یکی از موضوعات مهم شرکت‌ها به منظور دستیابی به محیط زیست پایدار مطرح شود. توجه به اثرات زیست محیطی و اجتماعی در فعالیت‌های لجستیک منجر به ایجاد یک الگوی جدید به نام "زنجیره تأمین پایدار" شده است که مشتمل بر سه بعد مسائل اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی است [۱]. با وجود اهمیت این موضوع تعداد مقالات اندکی به این بحث پرداخته‌اند [۲]. بنابراین فرصت بسیاری برای این شکاف تحقیقاتی وجود دارد که این پژوهش درصدد پوشش آن است.

اکنون بیشتر شرکت‌ها به سمت مدیریت زنجیره تأمین پایدار حرکت می‌کنند و مسائل زیست محیطی و عملکرد زیست محیطی را در کل زنجیره تأمین لحاظ می‌کنند. همان طور که گویندان و همکاران[۱] [۳] در مقاله مروری بیان می‌کنند حدود نیم درصد مقالات لجستیک اخیر به طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز پرداخته‌اند و اکیداً به علاقه‌مندان، بررسی این مهم پیشنهاد شده است. در این پژوهش، توجه به اثرات محیط زیستی از دو جنبه مطرح می‌گردد تا بتوان این اثرات را به طور چشم گیری کاهش داد. در جنبه اول از آنجا که تجهیزات و تسهیلات به مرور زمان دچار فرسایش شده و موجب آلایندگی محیط زیست می‌شوند، هر چند سال یکبار میزان آلایندگی منتشر شده هر تولید کننده محاسبه و با دو حد آستانه سنجیده می‌شود. تسهیلات سازگار با محیط زیست می‌توانند در شبکه زنجیره تأمین فعالیت داشته و سایرین باید تعمیر شوند. اگر اثرات زیست محیطی آنها بیش از حد مجاز اولیه باشد، باید تعمیراتی صورت گیرد تا میزان آلایندگی تا حدی کاهش یابد. اما اگر میزان آلایندگی بیشتر از حد مجاز ثانویه باشد باید تعمیرات کلی و احتمالاً نوسازی انجام پذیرد. بر اساس میزان آلایندگی منتشر شده می‌توان اقداماتی از قبیل تعمیرات اساسی، بهبود روشهای تولید و نوسازی ماشین‌آلات انجام داد. این استراتژی تضمین خواهد کرد که زنجیره تأمین آسیب کمتری به محیط زیست وارد سازد. اگر این موضوع نادیده گرفته شود، اثرات محیط زیستی افزایش یافته و منجر به مشکلات اجتماعی فراوانی از قبیل بیماری شهروندان خواهد شد. تاکنون در مقالات طراحی شبکه زنجیره تأمین، در هیچ مطالعه‌ای به این موضوع مهم پرداخته نشده است، فقط شرافتی و همکاران [۴] تا حدودی این مسأله را مدنظر قرار داده اند که البته در آن مقاله فقط یک سطح مجاز در نظر گرفته شده است. مطالعه حاضر اولین کار تحقیقاتی است که در آن تصمیمات زیست محیطی با سطوح پله‌ای برای کاهش اثرات نامطلوب زیست محیطی مورد توجه قرار می‌گیرد.

از آن جایی که آلاینده ترین فعالیت شناخته شده در جهان اقدامات حمل‌ونقل بوده [۵, ۶] جنبه دوم کاهش اثرات زیست محیطی در این مقاله، انتخاب نوع سیستم حمل‌ونقلی است که کمترین آسیب را به محیط زیست وارد سازد. همانطور که قبلا اشاره شد با در نظر گرفتن مدل پیشنهادی در این مقاله می‌توان به انتخاب سیستم حمل‌ونقل بر اساس دو هدف اقتصادی و زیست محیطی همزمان دست یافت که این از مزایای تحقیق حاضر است.

با توجه به مطالب بیان شده که از بررسی مقالات مرتبط اخیر و پیشنهادات محققین اقتباس شده و نیاز دنیای واقعی برخی از مزایای اصلی این پژوهش عبارتند از:

- توجه به هر سه بعد توسعه پایدار یعنی اقتصاد، محیط زیست و اجتماع یکی از اهداف عمده این پژوهش است که با وجود اهمیت این موضوع تعداد مقالات اندکی به این بحث پرداخته‌اند [۲]. طراحی شبکه‌های زنجیره‌ی تأمین با در نظر گرفتن توأم فاکتورهای اجتماعی و زیست‌محیطی به عنوان یک شکاف مهم و قابل توجه توسط محققین متعددی از جمله گویندان و همکاران [۳]، اسکندرپور [۷] و یو و سولونگ[۲] [۸] پیشنهاد شده است که در این تحقیق سعی در پوشش این خلأ پر اهمیت داریم.
- در این تحقیق به مسئله محیط زیست و اثرات آن از دو جنبه پرداخته می‌شود، تا بتوان این اثرات را به طور چشم گیری کاهش داد. در نظر گرفتن طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز و توجه به محیط زیست در مدل های زنجیره تامین توسط پژوهشگرانی مانند گویندان و همکاران [۳] تاکید شده است. در مقالات قبلی برای جلوگیری از پیچیدگی مسئله اغلب یک جنبه لحاظ می‌گردد.
- مطالعه حاضر اولین کار تحقیقاتی است که در آن تصمیمات زیست محیطی با سطوح پله‌ای برای کاهش اثرات نامطلوب زیست محیطی مورد توجه قرار می‌گیرد. در مدل پیشنهادی، تنها تسهیلات سازگار با محیط‌زیست می‌توانند فعالیت داشته باشند و سایر تسهیلات آسیب‌زا به محیط‌زیست، باید تعمیر و نوسازی شوند. در مورد نوع اقدامات تعمیر و نوسازی در زنجیره تامین باید تصمیمات متناسبی اتخاذ گردد، یعنی تصمیمات زیست محیطی به صورت پله‌ای در نظر گرفته شود.
- در این مقاله، به انتخاب نوع سیستم حمل‌ونقل پرداخته می‌شود تا بتوان به دو هدف اقتصادی و زیست محیطی همزمان دست یافت. آلاینده ترین فعالیت شناخته شده در جهان اقدامات حمل‌ونقل بوده [۵, ۶] و همچنین با برنامه ریزی صحیح حمل‌ونقل می‌توان میزان قابل توجهی از هزینه های کل زنجیره تامین را کاهش داد [۹, ۱۰].

- این پژوهش افزایش توسعه یافتگی و بهبود وضعیت معیشتی و اجتماعی مردم را مدنظر قرار داده است و مکان احداث تسهیلات از میان مناطق کمتر توسعه یافته با پتانسیل رشد بیشتر انتخاب می‌گردد. به گفته محققین اصلی‌ترین و مهم‌ترین جنبه مسئولیت اجتماعی، توسعه جامعه است [۱۱]. همچنین ایجاد توسعه متوازن برای جوامع از اهداف اصلی بعد اجتماعی پایداری است [۱۲]. با توجه بیشتر به مناطق کمتر توسعه یافته و متوازن کردن توسعه می‌توان تأثیر چشم گیری بر کل جامعه گذاشت [۱۳]. با وجود اهمیت فراوان این موضوع، در ادبیات تعداد اندکی از مقالات به توسعه جامعه و متوازن کردن آن پرداخته اند [۱۴]. بنابراین با درنظر گرفتن مناطق کمتر توسعه یافته و تلاش در جهت رشد آن‌ها، می توان با پر کردن این شکاف تحقیقاتی، به جوامع کمک کرد و سطح زندگی و رفاه مردم را بهبود داد.
- برای محاسبه پتانسیل رشد هر استان، اطلاعات از مرکز آمار ایران گرفته شده و همچنین برای این مقیاس از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره به صورت ترکیبی و نوآورانه استفاده می‌گردد.
- یکی دیگر از مزایای این تحقیق در نظر گرفتن تصمیمات تاکتیکی در کنار مسأله پایداری است که مدلسازی توام آن‌ها توسط محققینی مانند کاپار[۳] [۱۰] پیشنهاد و تاکید شده است. همچنین طراحی شبکه زنجیره تأمین شامل تصمیمات موجودی توسط گویندان و همکاران [۱۵] به عنوان یک شکاف تحقیقاتی قابل توجه مطرح شده است. در پژوهش حاضر علاوه بر تصمیمات موجودی به دو تصمیم تاکتیکی دیگر یعنی حمل‌ونقل و قیمت گذاری نیز پرداخته شده است. بهترین نوع حمل‌ونقل انتخاب شده و همچنین قیمت به صورت یکی از متغیرهای تصمیم مطرح شده که می‌توان تقاضای مشتریان را تابعی از این متغیر فرض کرد.

ساختار این پژوهش به این صورت است که در بخش دوم بیان مسأله، مراحل و فرموله بندی مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار پیشنهادی به همراه مفروضات، پارامترها، متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت‌ها تشریح داده می‌شود. سپس در بخش سوم نتایج حاصل از بهینه‌سازی مدل پیشنهادی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲- بررسی پیشینه

در این بخش به مرور ادبیات مرتبط با مقاله از جنبه های مختلف پرداخته می‌شود.

از آن جایی که آلاینده ترین فعالیت شناخته شده در جهان اقدامات حمل‌ونقل بوده [۵, ۶] کاهش اثرات زیست محیطی و انتخاب نوع سیستم حمل‌ونقلی که کمترین آسیب را به محیط زیست وارد سازد از اهداف این پژوهش است. در ادامه برخی از روش‌های پیشنهاد شده در ادبیات که فعالیت‌های حمل‌ونقل را در نظر گرفته‌اند، ارائه می‌گردند. تسائو و همکاران[۴] [۹] یک شبکه زنجیره تامین تحت تخفیف‌های حجمی در هزینه‌های حمل‌ونقل را بررسی کرده و نشان می‌دهند که حمل‌ونقل با حجم بالاتر منجر به هزینه‌های پایین‌تر حمل‌ونقل می‌گردد. کاپار [۱۰] از ادغام مرسولات به عنوان یکی از ابزارهای کاهش هزینه حمل‌ونقل استفاده کرد. در این روش تامین کننده ارسال سفارش‌های کوچک را به تاخیر می‌اندازد تا یک محموله بزرگتر آماده شود. این امر موجب کاهش تعداد دفعات ارسال، کاهش هزینه حمل‌ونقل و بهبود استفاده از وسیله نقلیه می‌شود. گویندان و همکاران [۱۵] مدلی ارائه دادند که در آن انبارهای متقاطع، جهت نگهداری موقت محصولات برای مدیریت فعالیت‌های حمل‌ونقل به کار برده می‌شود. همچنین غفاری نسب و همکاران [۱۶] پیشنهاد می‌دهند که برای کاهش هزینه‌های کل می‌توان فعالیت‌های حمل-ونقل را به شرکت‌های ثالث برون سپاری کرد.

اکثر مقالات طراحی شبکه زنجیره تأمین که به موضوعات اقتصادی و زیست محیطی می-پردازند، اغلب این دو محور را به عنوان دو هدف جدا درنظر گرفته و سعی در حل مدل با روش بهینه سازی چند هدفه داشته اند. تحقیقاتی که به طراحی شبکه زنجیره تأمین و حفاظت از محیط زیست پرداخته‌اند، در ادامه ارائه می‌گردند. حداد و همکاران [۱۷] در یک شبکه دوسطحی در کنار کاهش هزینه‌های کل، اثرات گازهای گلخانه‌ای را حداقل کردند. احمدی و همکاران [۱۸] یک مدل زنجیره تأمین سه سطحی حلقه بسته را مدنظر قرار داده و سعی در بهینه سازی دو تابع هدف اقتصادی و زیست محیطی داشتند. در آن مقاله برای مدلسازی انتشار کربن به مسئله مسیریابی وسایل نقلیه سبز پرداخته شد. بررسی یک حل مدل زنجیره تأمین بر اساس داده‌های واقعی جمع آوری شده از یک صنعت لبنی نشان دهنده کارایی پژوهش مذکور بود. زهیری و همکاران [۱۱] یک مدل چند هدفه برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین پایدار ارائه دادند که شامل اعمال سیاست‌های کربن بود. توابع هدف حداقل کردن هزینه کل، به حداکثر رساندن تأثیر اجتماعی ناشی از کارخانجات و کمینه کردن اثرات محیط زیستی به طور همزمان بهینه شدند. یک مدل چندهدفه توسط ارامپنتزی و مینیس[۵] [۱۳] پیشنهاد شد که می‌توان با

استفاده از آن تصمیمات مهمی را در طراحی زنجیره تامین پایدار اخذ نمود. در آن پژوهش، به کاهش ضایعات پرداخته شده و نشان داده شد که مدل پیشنهادی منجر به کاهش هزینه‌های اقتصادی و زیست محیطی می‌شود. الویی و همکاران[۶] [۲] پس از مروری بر مقالات طراحی زنجیره‌های تامین پایدار، یک روش جدید دو مرحله‌ای پیشنهاد دادند و همزمان به هر سه بعد پایداری از جمله مسئله آب، پیامدهای اجتماعی و هزینه کل طراحی زنجیره تامین پرداختند. سایر جنبه‌های محیط زیستی مانند مصرف سوخت و انرژی توسط برخی دیگر از محققین از جمله ژاله چیان و همکاران [۱۲] در نظر گرفته شدند.

دسته بعدی مقالات شامل جنبه اجتماعی در طراحی شبکه زنجیره تأمین که در ادامه معرفی می‌گردند: ارامپنتزی و مینیس [۱۳] علاوه بر ابعاد اقتصادی و زیست محیطی به دو مساله مهم اجتماعی یعنی افزایش توسعه منطقه‌ای و بهبود شرایط کار پرداختند. علیرغم پیچیدگی بالای مدل، نتایج یک مطالعه موردی از یک تولید کننده جهانی، عملکرد مطلوب مدل را نشان داد. شرافتی و همکاران [۱۴] یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین جدید را برای پوشش سه بعد پایداری، یعنی اقتصاد، محیط زیست و اجتماع معرفی کردند. مزیت مدل ارائه شده متعادل سازی توسعه منطقه ای است. بشیری و شرافتی [۱۹] تلاش کردند تا در مدل پیشنهادی رضایت مشتریان را به حداکثر برسانند. صاحب جمع نیا [۲۰] به بررسی یک مدل چند هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته پایدار تایر پرداختند. هدف مدل پیشنهادی بهینه سازی هزینه کل، اثرات زیست محیطی و همچنین اثرات اجتماعی از جمله فرصت‌های شغلی و آسیب‌های ناشی از کار است.

بر اساس مقالات مرتبط بررسی شده، مهمترین معیار اجتماعی شناخته شده افزایش توسعه یافتگی مناطق است، زیرا پیشرفت آن منجر به بهبود سایر جنبه‌های اجتماعی از جمله رفاه، انگیزه و روحیه مردم می‌گردد و بر کل جامعه اثرگذار است [۱۴]. لذا در مقاله حاضر، این امر مهم لحاظ شده است تا بتوان با احداث تولید کننده در مناطق کمتر توسعه یافته با پتانسیل رشد بیشتر به توسعه یافتگی کشور کمک کرد.

همچنین باید خاطر نشان کرد که در بازار جهانی تمرکز بر هماهنگی زنجیره تأمین به شدت در حال گسترش است [۲۱]. اگر در زنجیره تأمین هماهنگی نباشد اجزا به صورت مستقل عمل کرده و این تصمیمات مستقل نمی‌توانند تضمین کنند که همه اجزا به موقعیت بهینه برسند [۲۲]. بر اساس این تمایل، باید بر اقدامات هماهنگی که شامل تصمیمات حمل‌ونقل ، قیمت گذاری و موجودی باشد، تمرکز کرد [۲۳]. همان طور که در ادبیات مشهود است، با درنظر گرفتن این

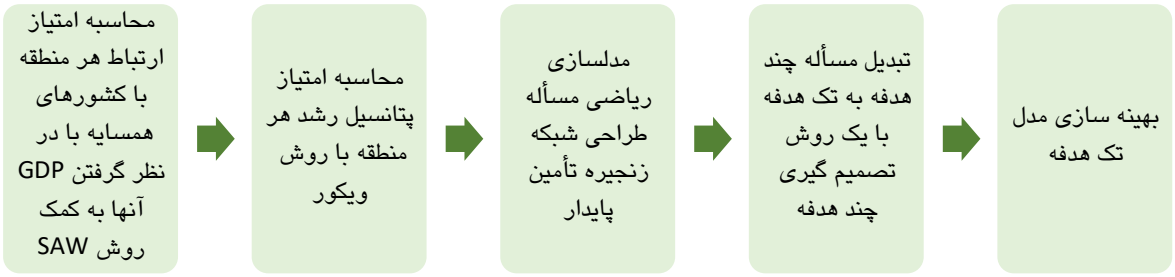
تصمیمات تاکتیکی در کنار یکدیگر می‌توان به نتایج کاراتری دست یافت [۲۴]. در تحقیق حاضر تصمیمات موجودی و انتخاب نوع حمل‌ونقل در نظر گرفته شده و همچنین قیمت محصول، به صورت متغیر تصمیم لحاظ شده تا بتوان بهینه آن را تعیین کرد. این موارد از سایر مزایای مدل پیشنهادی هستند که با وجود اهمیت فراوان، کمتر مورد توجه قرار گرفته اند [۳].

با توجه به مقالات مرتبط اخیر به طور خلاصه در رابطه با پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که در این پژوهش هدف طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار با در نظرگیری مسائل اقتصادی و محیط زیستی در کنار یکپارچه سازی تصمیمات تاکتیکی پر اهمیت و اثرگذار مانند سیاست قیمت گذاری، مسأله حمل‌ونقل و سیاست کنترل موجودی است. همچنین پژوهش حاضر با انتخاب بهترین سیستم حمل‌ونقل درصدد کاهش هر چه بیشتر اثرات مخرب زیست محیطی است. علاوه براین، برخلاف مقالات پیشین طراحی شبکه زنجیره تأمین، قیمت به صورت یکی از متغیرهای تصمیم مطرح شده و می‌توان تقاضای مشتریان را تابعی از این متغیر فرض کرد. همان طور که پیش تر بیان شد، در نظر گرفتن تصمیمات تاکتیکی در کنار مسأله پایداری یک شکاف قابل توجه محسوب می‌شود. همچنین در این تحقیق برای اولین بار چند حد آستانه برای میزان آلودگی انتشار یافته جهت جلوگیری از افزایش بی رویه آلایندگی و کمک به حفظ محیط زیست در نظر گرفته می‌شود، که براساس آنها تصمیمات نوسازی و تعمیر تسهیلات آلاینده صورت می‌گیرد. از دیگر مزایای عمده این پژوهش، مکانیابی و طراحی شبکه زنجیره تأمین از بین مناطق محروم کشور با پتانسیل رشد بیشتر است که برای این هدف از روش‌های تصمیم گیری چند معیاره به صورت ترکیبی و نوآورانه استفاده می‌گردد.

۳- روش‌شناسی پژوهش

مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی در این تحقیق چند دوره ای و چند محصولی بوده و شامل دو سطح تولیدکنندگان و مشتریان است. در هر دوره تاکتیکی قیمت محصولات تعیین شده و تصمیمات موجودی نیز گرفته می‌شوند. جهت ارسال محصولات به مشتریان چند نوع سیستم حمل‌ونقل وجود دارد که کم هزینه ترین و سازگارترین با محیط زیست انتخاب می‌گردد. میزان آلودگی هر تولید کننده در پایان هر دوره استراتژیک ارزیابی شده و بر اساس آن یکی از ۳ تصمیم زیر انتخاب می‌شود: (۱) اگر میزان آلایندگی کمتر از آستانه مجاز اولیه ($\theta 1$) باشد، هیچ اقدامی صورت نمی‌گیرد. (۲) اگر میزان آلایندگی بیشتر از $\theta 1$ و کمتر از آستانه مجاز ثانویه ($\theta 2$) باشد، با تعمیرات جزیی میزان آلایندگی تا حدی کاهش می‌یابد. (۳) اگر میزان آلایندگی بیشتر از $\theta 2$ باشد، تعمیرات کلی صورت گیرد و میزان آلایندگی به صفر برسد.

جهت رسیدن به "توسعه اجتماعی"، ساخت تسهیلات در مناطق کمتر توسعه یافته با پتانسیل رشد بیشتر در نظر گرفته می‌شود. در واقع در این تحقیق پیشنهاد می‌شود که مسأله به صورت دو مرحله‌ای حل شود. در مرحله اول امتیاز پتانسیل رشد هر استان توسعه نیافته یا کمتر توسعه یافته اندازه‌گیری می‌شود. این امتیاز در مرحله دوم به عنوان یک پارامتر در تابع هدف سوم برای انتخاب مکان تسهیلات نقش دارد. پتانسیل رشد هر منطقه با استفاده از روش ویکور[۷] و معیارهای زیر به دست می‌آید: امتیاز ارتباط با همسایگان، تعداد معادن، سطح اراضی کشاورزی، میزان جا به جایی کالای دارای بارنامه حمل‌ونقل، تعداد اعضای هیات علمی دانشگاه‌ها، جمعیت و نرخ بیکاری. امتیاز ارتباط با همسایگان عبارت است از که فاصله مرکز هر استان با کشورهای همسایه با در نظر گرفتن GDP[۸] آن کشورها. استان‌هایی که به کشورهای با GDP بالاتر نزدیک تر هستند امتیاز ارتباط با همسایگان بیشتری می‌گیرند. در بخش بعدی در رابطه با نحوه محاسبه توضیح داده می‌شود.



شکل ۱. روش‌شناسی تحقیق پیشنهادی

مرحله اول: محاسبه امتیاز پتانسیل رشد هر منطقه با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

برای محاسبه این امتیاز، روش تصمیم گیری مجموع وزین ساده[۹] به کار برده می‌شود و از مقدار GDP به عنوان وزن هر کشور (در اینجا هر معیار) استفاده می‌گردد. در ادامه گام‌های روش مجموع وزین ساده جهت تعیین امتیاز ارتباط با همسایگان شرح داده می‌شود. فرض می‌شود که ماتریس شامل m گزینه $(i= 1,...,m)$ و n گزینه $(j= 1,...,n)$ است.

گام ۱- ماتریس تصمیم گیری را تشکیل دهید. معیارهای کیفی را کمی کرده و با استفاده از فرمول زیر، ماتریس را نرمال کنید.

معیار منفی: (۱)

$$r_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}}$$

(۲) معیار مثبت:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}}$$

گام ۲- برای هر گزینه، ارزش نرمال سازی شده تک تک معیارهای آن را در وزن آن معیار ضرب کنید و مقادیر به دست آمده را جمع کرده، مجموع حاصل را امتیاز آن گزینه بنامید.

همان طور که پیش از این ذکر شد، برای هر استان یک امتیاز نزدیکی همسایگان با روش مجموع وزین ساده به دست آورده و این امتیاز به عنوان یکی از معیارها، جهت محاسبه امتیاز پتانسیل رشد با استفاده از روش ویکور در نظر گرفته می‌شود. روش ویکور برای تصمیم گیری مسائل گسسته، شامل معیارهای متعدد و متضاد بسیار پرکاربرد و موثر است [۲۵].

مرحله دوم: فرموله بندی مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار پیشنهادی

حال با به دست آوردن مقدار امتیاز پتانسیل رشد به مرحله دوم یعنی مدلسازی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار می‌رویم. مفروضات مدل پیشنهادی به صورت زیر است.

مفروضات

- دو افق برنامه ریزی زمانی استراتژیکی و تاکتیکی در این مدل مدنظر قرار می‌گیرد که هر دوره استراتژیک شامل چند دوره تاکتیکی است [۲۶].
- در ابتدای افق برنامه میزان موجودی صفر بوده، و فرض می‌شود که موجودی آخرین دوره تاکتیکی در هر دوره استراتژیکی به اولین دوره تاکتیکی دوره استراتژیکی بعدی منتقل می‌شود.
- آلایندگی‌های ایجاد شده در هر دوره به صورت تجمعی با دوره‌های قبلی در نظر گرفته می-شود. اگر تعمیرات جزیی صورت گیرد، درصدی از میزان انتشارات دوره قبلی که از بین نرفته اند، جمع شده و در صورت انجام تعمیرات کلی فرض بر آن است که کل آلایندگی‌های حاصل از دوره‌های قبلی پاک شده‌اند.

تعاریف مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم در ادامه ارائه خواهند شد.

مجموعه‌ها

مجموعه نقاط کاندید برای تولیدکنندگان، $i \in I$	I
مجموعه نقاط مشتریان، $j \in J$	J
مجموعه محصولات، $p \in P$	P
مجموعه دوره‌های زمانی تاکتیکی، $t \in T$	T
مجموعه دوره‌های زمانی استراتژیکی، $s \in S$	S
مجموعه سطوح قیمت، $l \in L$	L

مجموعه سیستم‌های حمل‌ونقل، $r \in R$	R

پارامترها

قیمت برای محصول p با سطح قیمت l در دوره تاکتیکی t و دوره استراتژیکی s.	b_{plst}
میزان تقاضای مشتری j برای محصول p با سطح قیمت l در دوره تاکتیکی t و دوره استراتژیکی s.	d_{jplst}
هزینه ارسال یک واحد محصول p از تولید کننده i به مشتری j با حمل‌ونقل نوع r.	c_{ijpr}
هزینه تولید برای یک واحد محصول p در تولید کننده i.	n_{ip}
هزینه احداث تولید کننده i.	f_i
حداکثر ظرفیت تولید برای تولید محصول p در تولیدکننده i در هر دوره.	m_{ip}
هزینه نگهداری محصول p در انبار تولید کننده i.	h_{ip}
هزینه تعمیرات جزیی.	g
هزینه تعمیرات کلی.	k
میزان آلایندگی به ازای تولید هر محصول p در تولیدکننده i.	e_{ip}
میزان آلایندگی به ازای ارسال یک واحد محصول p از تولید کننده i به مشتری j با حمل‌ونقل نوع r.	v_{ijpr}
پتانسیل رشد منطقه شامل تولید کننده i.	O_i
حد آستانه برای تعمیرات جزیی.	$\theta 1$
حد آستانه برای تعمیرات کلی.	$\theta 2$
درصدی از آلایندگی که در اثر تعمیرات جزیی از بین می‌رود.	λ
یک عدد بسیار بزرگ.	BN

متغیرهای تصمیم پیوسته

میزان آلایندگی تولید شده در دوره استراتژیکی s	q_{is}

متغیرهای تصمیم عدد صحیح

سهم تولیدکننده i برای براورده کردن تقاضای مشتری j از محصول p در دوره تاکتیکی t و دوره استراتژیکی s.	w_{ijpst}
میزان محصول p ارسالی از تولید کننده i به مشتری j با حمل‌ونقل نوع r در دوره تاکتیکی t و دوره استراتژیکی s.	z_{ijprst}
میزان محصول p نگهداری شده در تولیدکننده i در دوره تاکتیکی t و دوره استراتژیکی s.	u_{ipst}

متغیرهای تصمیم صفر و یک

x_i ۱ اگر تولید کننده i احداث شود و صفر در غیر اینصورت.

y_{plst} ۱ اگر سطح قیمت l برای محصول p در در دوره تاکتیکی t و دوره استراتژیکی s انتخاب شود و صفر در غیر اینصورت.

$a1_{is}$ ۱ اگر میزان آلایندگی تولید کننده i کمتر از آستانه مجاز اولیه بوده و هیچ اقدامی در دوره استراتژیکی s صورت نگیرد.

$a2_{is}$ ۱ اگر میزان آلایندگی تولید کننده i بیشتر از آستانه مجاز اولیه و کمتر از آستانه مجاز ثانویه باشد و در دوره استراتژیکی s تعمیرات جزیی صورت گیرد.

$a3_{is}$ ۱ اگر میزان آلایندگی تولید کننده i بیشتر از آستانه مجاز ثانویه باشد و در دوره استراتژیکی s تعمیرات کلی و نوسازی صورت گیرد.

مدل ریاضی

$$\begin{aligned}\max Z_1 = &\sum_j \sum_p \sum_l \sum_s \sum_t b_{plst} \times d_{jplst} \times y_{plst} \\ &- \sum_i f_i \times x_i \\ &- \sum_i \sum_j \sum_p \sum_s \sum_t n_{ip} \times w_{ijpst} \\ &- \sum_i \sum_j \sum_p \sum_r \sum_s \sum_t c_{ijpr} \times z_{ijprst} \\ &- \sum_i \sum_p \sum_s \sum_t h_{ip} \times u_{ipst} \\ &- \sum_i \sum_s a2_{is} \times g - \sum_i \sum_s a3_{is} \times k\end{aligned} \quad (۳)$$

$$\min Z_2 = \sum_i \sum_j \sum_p \sum_r \sum_s \sum_t v_{ijpr} \times z_{ijprst} \quad (۴)$$

$$\max Z_3 = \sum_i o_i \times x_i \quad (۵)$$

s.t.

$$\sum_i w_{ijpst} \ge \sum_l \left(d_{jplst} \times y_{plst} \right) \qquad \forall j, p, s, t \quad (۶)$$

$$\sum_l y_{plst} = 1 \qquad \forall p, s, t \quad (۷)$$

$$\sum_j w_{ijpst} \le m_{ip} \times x_i \qquad \forall i, p, s, t \quad (۸)$$

$$u_{i,p,s,t-1} + \sum_{j} w_{ijpst} = u_{ipst} + \sum_{j}\sum_{r} z_{ijrpst} \qquad \forall i, p, s, t \geq 2 \qquad (۹)$$

$$u_{i,p,s-1,T} + \sum_{j} w_{i,j,p,s,1} = u_{i,p,s,1} + \sum_{j}\sum_{r} z_{i,j,r,p,s,1} \qquad \forall i, p, s \geq 2 \qquad (۱۰)$$

$$q_{i,1} = \sum_{j}\sum_{p}\sum_{t} e_{ip} \times w_{ijp1t} \qquad \forall i, s = 1 \qquad (۱۱)$$

$$q_{is} = \sum_{j}\sum_{p}\sum_{t} e_{ip} \times w_{ijpst} + q_{i,s-1} \times a1_{i,s-1} + (1-\lambda) \times q_{i,s-1} \times a2_{i,s-1} \qquad \forall i, s \geq 2 \qquad (۱۲)$$

$$q_{is} \leq \theta 1 \times a1_{is} + \theta 2 \times a2_{is} + BN \times a3_{is} \qquad \forall i, s \qquad (۱۳)$$

$$a1_{is} + a2_{is} + a3_{is} = 1 \qquad \forall i, s \qquad (۱۴)$$

$$q_{is} \geq ۰ \qquad \forall i, s \qquad (۱۵)$$

$$w_{ijpst},\ z_{ijprst},\ u_{ijpst} \geq ۰ \text{ and Integer} \qquad \forall i, j, p, r, s, t \qquad (۱۶)$$

$$x_i,\ y_{plst},\ a1_{is},\ a2_{is},\ a3_{is} \in \{۰,۱\} \qquad \forall i, p, l, s, t \qquad (۱۷)$$

تابع هدف (۳) برای حداکثرسازی سود و کمینه کردن هزینه‌های احداث، تولید، حمل‌ونقل، نگهداری محصولات، تعمیرات جزیی و تعمیرات کلی در نظر گرفته شده است. بر اساس تابع هدف (۴) سیستم حمل‌ونقلی انتخاب می‌شود که به محیط زیست آسیب کمتری وارد می‌سازد. براساس تابع هدف (۵) از بین مناطقی کمتر توسعه‌یافته‌ای که جهت احداث تولید کننده در نظر گرفته شده اند، مکان‌هایی با پتانسیل رشد بیشتر انتخاب می‌شوند. رابطه (۶) جهت برقراری تعادل میزان کالاهای تولیدی و تقاضای مشتریان است. براساس رابطه (۷) فقط یک سطح قیمت برای هر محصول در هر دوره انتخاب می‌شود. محدودیت ظرفیت (۸) میزان تولیدات هر کارخانه را محدود می‌کند. محدودیت‌های (۹) و (۱۰) بیانگر محدودیت‌های بالانس موجودی در کارخانه هستند و موجب تساوی میزان موجودی دوره قبل بعلاوه کالای تولید شده در این دوره با میزان موجودی و کالای ارسال شده همین دوره می‌شوند. رابطه (۱۱) میزان آلایندگی در دوره استراتژیک اول و رابطه (۱۲) میزان آلایندگی در سایر دوره‌های استراتژیک را نشان می‌دهد. بر اساس روابط (۱۳) و (۱۴) متناظر با آلایندگی ایجاد شده و آستانه‌های آلایندگی تصمیم بهینه اتخاذ می‌گردد. نوع متغیرهای تصمیم به کمک روابط (۱۵) تا (۱۷) تعیین می‌شوند.

مدل پیشنهادی جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن توسعه پایدار، حاوی دو ترم غیرخطی در رابطه (۱۲) است که به صورت زیر خطی سازی می‌گردد:

دو متغیر تصمیم $qa1_{is}$ و $qa2_{is}$ به ترتیب جایگزین $q_{is} \times a1_{is}$ و $q_{is} \times a2_{is}$ در رابطه (۱۲) شده و ۶ محدودیت زیر جهت خطی سازی به مدل اضافه می‌گردند.

$$qa1_{is} \le q_{is} \qquad \forall i,s \qquad (۱۸)$$

$$qa1_{is} \le BN \times a1_{is} \qquad \forall i,s \qquad (۱۹)$$

$$qa1_{is} + BN \times (1 - a1_{is}) \ge q_{is} \qquad \forall i,s \qquad (۲۰)$$

$$qa2_{is} \le q_{is} \qquad \forall i,s \qquad (۲۱)$$

$$qa2_{is} \le BN \times a2_{is} \qquad \forall i,s \qquad (۲۲)$$

$$qa2_{is} + BN \times (1 - a2_{is}) \ge q_{is} \qquad \forall i,s \qquad (۲۳)$$

پس از خطی سازی مدل، برای یکپارچه کردن سه تابع هدف روش پیشنهادی الویی و همکاران [۲] به کار برده شده، و سپس با نرم افزار بهینه سازی گمز مدل حل می‌شود.

۴- نتایج محاسباتی

در مقاله پیشنهادی برای نخستین بار تعمیرات چند سطحی به مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین اضافه می‌شود، که به طور چشم گیری می‌تواند به حفاظت از محیط زیست کمک کند. همان طور که قبلا ذکر شد، از آن جهت که حمل‌ونقل به عنوان آلاینده‌ترین فعالیت در شبکه زنجیره تأمین به شمار می‌رود و در مقالات کمتر مورد توجه قرار گرفته است، از مزایای مدل پیشنهادی، کاهش میزان آلودگی ایجاد شده از طریق حمل‌ونقل است. در واقع سیستم حمل‌و-نقلی انتخاب می‌شود که کمترین آسیب را به محیط زیست وارد کند. در این بخش درصدد اثبات این ادعاها برای یک مطالعه موردی زنجیره تأمین اقتباس شده از مقاله حسنی و همکاران [۲۷] هستیم.

اطلاعات مربوط به توسعه یافتگی از مرکز آمار ایران[۱۰] گرفته شده است. از بین همه استان‌های کشور، استان‌هایی که میزان توسعه یافتگی کمتری دارند در نظر گرفته شده و از بین آن‌ها استان‌های که پتانسیل رشد بیشتری دارند، برای ساخت کارخانه انتخاب می‌شوند. بر اساس نتایج مقاله تقدیسی و حجاریان [۲۸] استان تهران بسیار توسعه یافته و استان اصفهان توسعه یافته تشخیص داده شده و سایر استان‌ها محروم و خیلی محروم هستند. پس در مرحله اول همه استان‌های کشور بجز تهران و اصفهان در نظر گرفته می‌شوند و استان‌هایی که پتانسیل رشد (امتیاز ویکور) بالاتری دارند، در مرحله دوم مد نظر قرار می‌گیرند که در ادامه توضیح داده می‌شود. فاصله بین استان‌ها با کشورهای همسایه ایران یعنی پاکستان، افغانستان، ترکمنستان، جمهوری آذربایجان، ارمنستان، ترکیه، عراق، کویت، عربستان، بحرین،

قطر، امارات و عمان محاسبه شده و سپس با در نظر گرفتن GDP آن کشورها با روش مجموع وزین ساده که قبلا گفته شد، امتیاز معیار ۱ به دست می‌آید. جدول ۱ میزان این امتیاز را برای ۱۰ استان که بالاترین مقدار را دارند، نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، اکثر استان‌ها، در نواحی غربی ایران هستند، یکی از دلایل این امر، نزدیکی به کشور ترکیه است که بالاترین GDP را در بین همسایگان ایران دارد.

جدول ۱. امتیاز ارتباط با همسایگان برای ۱۰ استان با بالاترین مقدار

آذربایجان شرقی	لرستان	ایلام	کرمانشاه	خوزستان	**استان**
۰.۶۴۰۰	۰.۶۶۲۶	۰.۶۶۶۸	۰.۶۶۷۱	۰.۷۹۳۹	**امتیاز**
قم	مرکزی	کردستان	همدان	آذربایجان غربی	**استان**
۰.۶۲۹۰	۰.۶۲۹۶	۰.۶۳۲۹	۰.۶۳۳۳	۰.۶۳۷۶	**امتیاز**

با استفاده از روش ویکور و سایر معیارهایی که میزان آن‌ها از مرکز آمار ایران گرفته شده، استان‌های خوزستان، کرمانشاه، کرمان، یزد و بوشهر به ترتیب استان‌های با بالاترین پتانسیل رشد شناخته می‌شود. مقادیر مربوط به روش ویکور به صورت جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. رتبه بندی ۵ استان محروم ایران با بالاترین پتانسیل رشد بر اساس شاخص‌های ویکور

	شاخص مطلوبیت	**شاخص نارضایتی**	**امتیاز ویکور**
خوزستان	۰.۳۵۹۷	۰.۱۲۶۴	۰.۲۹۴۰
کرمانشاه	۰.۴۶۶۵	۰.۱۱۸۴	۰.۳۲۶۴
کرمان	۰.۵۸۶۰	۰.۱۱۹۷	۰.۴۹۳۸
یزد	۰.۵۲۱۸	۰.۱۳۱۴	۰.۵۵۸۲
بوشهر	۰.۶۱۰۱	۰.۱۲۵۷	۰.۵۹۶۳

پس از تعیین پتانسیل رشد، مرحله دوم آغاز می‌گردد. لازم به ذکر است اگر کارخانه در استان‌های مذکور ساخته نشود و تنها ملاک مکان‌یابی، هزینه باشد، در شبکه زنجیره تأمینی که طراحی می‌شود هزینه کل کاهش می‌یابد. اما با استفاده از روش دو مرحله ای پیشنهادی، استان‌هایی جهت احداث کارخانه انتخاب می‌گردند که توسعه یافتگی کمتری دارند ولی قابلیت رشدشان نسبت به سایر استان‌های توسعه نیافته بیشتر است. چنانچه کارخانه در این استان‌ها احداث گردد، هم از تراکم و آلودگی جلوگیری شده، محیط زیست پاکیزه تر می‌ماند و هم

توسعه یافتگی استان‌های محروم و در نتیجه کل کشور افزایش می‌یابد. با کاهش آلودگی و بهبود توسعه یافتگی، سلامتی روحی و جسمی مردم بهبود یافته، روحیه مردم بهتر شده و رفاه آن‌ها بیشتر می‌شود. همچنین از آنجا که نرخ بیکاری در نظر گرفته شده است، با احداث کارخانه میزان بیکاری و به تبع آن جرم، جنایت و فساد کاهش می‌یابد و به کل جامعه کمک می‌شود. از طرف دیگر، همان طور که شرافتی و همکاران [۴] بیان می‌کنند، توجه به مسائل زیست محیطی و اجتماعی، برای شرکت‌ها شهرت، اعتبار و ایجاد مزیت رقابتی را به همراه دارد.

از این رو این مقاله یک روش موثر و کارا برای رسیدن به توسعه پایدار است که فقدان چنین پژوهشی توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است.

بدیهی است که مدل پیشنهادی در مقایسه با سایر مدلهای قبلی از نقطه نظر زیست محیطی عملکرد کاراتری دارد. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بدون در نظر گرفتن تابع هدف دوم، کم هزینه ترین نوع حمل‌ونقل انتخاب می‌شود، اما اگر میزان اثرات زیست محیطی ناشی از حمل‌ونقل کمینه گردد، می‌توان ٪۱۶ از اثرات وارده بر محیط زیست کاست. همچنین از آنجا که تسهیلات هر چند سال یکبار کنترل و تعمیر می‌شوند، اثر زیست محیطی کمتری دارند که نسبت به سایر مدل‌هایی که تصمیمات تعمیر را نادیده می‌گیرند، ٪۱۷۰ آسیب کمتری به محیط زیست وارد می‌کنند. جدول ۴ نشان دهنده این موضوع است.

جدول ۳. مزیت تابع هدف دوم در کاهش میزان آلایندگی

تاثیر مدل پیشنهادی	با در نظر گرفتن تابع هدف دوم	بدون در نظر گرفتن تابع هدف دوم	
((۱۶۵۷۹۳-۱۴۲۹۰۷)/۱۴۲۹۰۷) × ۱۰۰ =٪۱۶	۱۴۲۹۰۷	۱۶۵۷۹۳	**میزان آلایندگی**

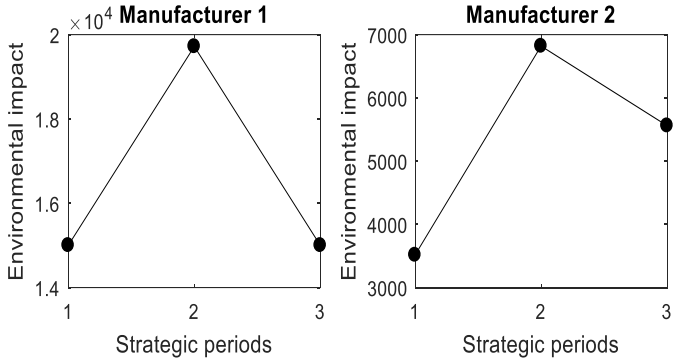
جدول ۴. مزیت اعمال تصمیمات کنترل و تعمیر تسهیلات آلاینده در کاهش میزان آلایندگی

تاثیر مدل پیشنهادی	با در نظر گرفتن تصمیمات کنترل و تعمیر تسهیلات آلاینده	بدون در نظر گرفتن تصمیمات کنترل و تعمیر تسهیلات آلاینده	
((۵۵۵۶۸-۲۰۵۹۹)/۲۰۵۹۹) × ۱۰۰ =٪۱۷۰	۲۰۵۹۹	۵۵۵۶۸	**میزان آلایندگی**

همان طور که تعداد مقالات پرشماری مانند رکاوندی و همکاران [۲۹]، تسائو و همکاران [۹]، گویندان و همکاران [۱۵]، شرافتی و همکاران [٤]، زهیری و همکاران [۱۱]، صاحب جمع نیا و همکاران [۲۰]، شرافتی و همکاران [۱۴] و فخرزاد و همکاران [۳۰] و ... بیان کرده‌اند، برای اعتبار سنجی مدل های زنجیره تامین می‌توان از تحلیل حساسیت‌های مختلف استفاده کرد و رفتار مدل را بررسی نمود.

در ادامه جهت نشان دادن صحت عملکرد مدل پیشنهادی چند تحلیل حساسیت در رابطه با مزیت اصلی مقاله یعنی تصمیمات زیست محیطی با سطوح پله ای انجام می‌شود.

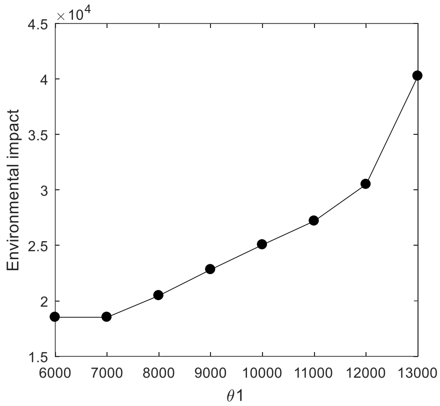
اولین تحلیل حساسیت مربوط به عملکرد دو کارخانه در ۳ دوره استراتژیک با حدود آستانه به ترتیب ۸۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ است. همان طور که در شکل ۲ نشان داده می‌شود، میزان آلایندگی کارخانه اول در دوره‌های استراتژیک ۱ و ۳، از حد آستانه اولیه عبور کرده و با تعمیرات جزیی مقداری از اثرات زیست محیطی آن کاهش یافته است. در دوره ۲ به علت زیاد شدن آلایندگی تولید شده و تجاوز از حد آستانه ثانویه و اعمال تعمیرات کلی، کاهش قابل توجه اثرات زیست محیطی مشاهده می‌شود. کارخانه دوم میزان آلایندگی کمتری نسبت به حد مجاز ثانویه داشته و تعمیرات کلی روی آن صورت نگرفته است و فقط در دوره ۲ به علت عبور از آستانه اولیه، تحت تعمیرات جزیی قرار گرفته است.



شکل ۲. میزان آلایندگی کل تولید شده توسط کارخانه اول و دوم در دوره‌های استراتژیک

با افزایش حدود مجاز، کارخانجات آلودگی بیشتری ایجاد می‌کنند. برای نشان دادن این بحث و صحه گذاری بر عملکرد مدل تحلیل حساسیتی بر حد آستانه تعمیرات جزیی (که میزان آلایندگی تولید شده نسبت به این پارامتر حساسیت بیشتری داشته) صورت گرفته و نتیجه آن در شکل ۳ مشاهده می‌گردد.

همان طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، میزان آلایندگی انتشار یافته توسط کارخانجات به آستانه مجاز اولیه وابسته بوده و با افزایش آن، آسیب بیشتری به محیط زیست وارد می‌شود. با تحلیل حساسیت می‌توان بهترین سطح حد آستانه را برای مدل پیدا کرد و در نظر گرفت. شکل ۳ نشان دهنده آن است که عملکرد مدل صحیح بوده و رویکرد ارائه شده، چارچوب کارامدی برای توسعه پایدار است.



شکل ۳. اثر آستانه مجاز اولیه بر میزان آلایندگی

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در تحقیق حاضر یک مدل نوین جهت طراحی یک شبکه زنجیره تأمین چند محصولی- چند دوره‌ای پیشنهاد شده و پس از بهینه سازی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در نظر گرفتن معیارهایی چون توسعه یافتگی استان‌های محروم (و به طور کلی کل کشور) توجه به محیط زیست، انتخاب نوع سیستم حمل‌ونقل و پرداختن به تصمیمات تاکتیکی و ... مدل را کاراتر و به دنیای واقعی نزدیکتر می‌کند، لذا در این پژوهش به آن‌ها پرداخته شده است. برای بهبود شبکه از نظر زیست محیطی، انتخاب نوع سیستم حمل‌ونقل در نظر گرفته شده و نشان داده می‌شود که با این سیاست می‌توان علاوه بر کاهش هزینه‌ها، از محیط زیست بیشتر حفاظت کرد. همچنین در این تحقیق برای اولین بار چند حد آستانه برای میزان آلودگی انتشار یافته، جهت جلوگیری از افزایش بی رویه آلایندگی و کمک به حفظ محیط زیست در نظر گرفته می‌شود، که براساس آنها تصمیمات نوسازی و تعمیر تسهیلات آلاینده صورت می‌گیرد. واضح است که مزایای کاهش تأثیرات زیست محیطی علاوه بر ذینفعان زنجیره تأمین، تأثیرات مفیدی بر جامعه

نیز خواهد گذاشت. ساخت کارخانجات در مناطق توسعه یافته، موجب آلوده‌تر شدن محیط زیست شده و کمکی به توسعه یافتگی کشور نمی‌کند. در این پژوهش جهت برقراری عدالت اجتماعی و افزایش توسعه یافتگی کل کشور پیشنهاد می‌شود که تصمیم گیری در خصوص مناطق محروم و خیلی محروم صورت گیرد و شبکه زنجیره تأمین در استان‌های کمتر توسعه یافته با پتانسیل رشد بالاتر طراحی گردد. برای این هدف، از تکنیک‌های تصمیم گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. حل یک مطالعه موردی واقعی و انجام تحلیل حساسیت‌های مختلف نشان می‌دهند که مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی هزینه کمتری داشته، منجر به پاکیزه نگه داشتن محیط زیست شده و می‌تواند توسعه پایدار را ارتقا دهد.

در پایان جهت تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد که جهت نزدیک کردن مسأله به دنیای واقعی مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار در محیط غیرقطعی مدلسازی شود. به عنوان مثال می‌توان تقاضا را به صورت فازی یا تصادفی درنظر گرفت زیرا پارامترهای زنجیره تامین اغلب غیرقابل پیش‌بینی هستند. همچنین با در نظر گرفتن بحث‌های لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه‌بسته، می‌توان به حفاظت هر چه بیشتر محیط زیست کمک کرد. به عنوان مثال پیشنهاد می‌شود که مدل از طریق مراکز جمع‌آوری، بازیافت یا ... به یک زنجیره تامین حلقه بسته گسترش یابد. علاوه بر این، به عنوان پژوهش آتی می‌توان معیارهای مسئولیت اجتماعی مانند حقوق مصرف کننده، شرایط کاری، رفاه و راحتی اپراتور ها را در نظر گرفت. برای سنجش سطح توسعه یافتگی مناطق و ارزیابی پایداری می‌توان معیارهای دیگر توسعه مانند بهداشت، آموزش و غیره را مدنظر قرار داد. همچنین، با توجه به اهمیت مبحث حمل‌ونقل و تاثیر چشمگیر آن بر هزینه کل و محیط زیست، تعمیم مدل با به کارگیری مسئله مسیریابی وسیله نقلیه در تحقیقات آتی ارزشمند خواهد بود. در مدل این پژوهش پیشنهاد شد که تولیدکنندگان هر چند وقت یکبار از نظر میزان خسارت به محیط زیست مورد بررسی قرار گرفته و در صورت لزوم تعمیر شوند، می‌توان این اقدامات را در خصوص تسهیلات دیگر و وسایل نقلیه نیز انجام داد و از محیط زیست حفاظت کرد.

۶- تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه در انجام این تحقیق تشکر نمایند. این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان "طراحی شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن توسعه پایدار" بوده که با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه انجام یافته است.

۷- پی‌نوشت‌ها

[۱] Govindan et al.
[۲] Yu and Solvang
[۳] Çapar
[۴] Tsao et al.
[۵] Arampantzi and Minis
[۶] Allaoui et al.
[۷] VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (VIKOR)
[۸] Gross Domestic Product
[۹] Simple additive weighting (SAW)
[۱۰] https://www.amar.org.ir/

۸- منابع

[۱] Abdollahi, A., M. Valipour, and M. Ebrahimpour, *Determining Competitive Priorities in Hierarchical Sustainable Supply Chain in Uncertain Situation (Case Study: Pars Toosheh Company)*. Modern Research in Decision Making, ۲۰۱۸. ۲(۴): p. ۱۵۳-۱۷۷.

[۲] Allaoui, H., et al., *Sustainable agro-food supply chain design using two-stage hybrid multi-objective decision-making approach.* Computers & Operations Research, ۲۰۱۸. ۸۹: p. ۳۶۹-۳۸۴.

[۳] Govindan, K., H. Soleimani, and D. Kannan, *Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future.* European journal of operational research, ۲۰۱۵. ۲۴۰(۳): p. ۶۰۳-۶۲۶.

[۴] Sherafati, M., et al., *Supply chain network design considering sustainable development paradigm: A case study in cable industry.* Journal of Cleaner Production, ۲۰۱۹. ۲۳۴: p. ۳۶۶–۳۸۰.

[۵] Dekker, R., J. Bloemhof, and I. Mallidis, *Operations Research for green logistics–An overview of aspects, issues, contributions and challenges.* European journal of operational research, ۲۰۱۲. ۲۱۹(۳): p. ۶۷۱-۶۷۹.

[۶] Sherafati, M. and M. Bashiri, *Closed loop supply chain network design with fuzzy tactical decisions.* Journal of Industrial Engineering International, ۲۰۱۶. ۱۲(۳): p. ۲۵۵-۲۶۹.

[۷] Eskandarpour, M., et al., *Sustainable supply chain network design: An optimization-oriented review.* Omega, ۲۰۱۵. ۵۴: p. ۱۱-۳۲.

[۸] Yu, H. and W.D. Solvang, *A fuzzy-stochastic multi-objective model for sustainable planning of a closed-loop supply chain considering mixed uncertainty and network flexibility.* Journal of Cleaner Production, ۲۰۲۰: p. ۱۲۱۷۰۲.

[۹] Tsao, Y.-C., Q. Zhang, and T.-H. Chen, *Multi-item distribution network design problems under volume discount on transportation cost.* International Journal of Production Research, ۲۰۱۶. ۵۴(۲): p. ۴۲۶-۴۴۳.

[۱۰] Çapar, İ., *Joint shipment consolidation and inventory decisions in a two-stage distribution system.* Computers & Industrial Engineering, ۲۰۱۳. ۶۶(۴): p. ۱۰۲۵-۱۰۳۵.

[۱۱] Zahiri, B., J. Zhuang, and M. Mohammadi, *Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study.* Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ۲۰۱۷. ۱۰۳: p. ۱۰۹-۱٤۲.

[۱۲] Zhalechian, M., et al., *Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty.* Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ۲۰۱٦. ۸۹: p. ۱۸۲-۲۱٤.

[۱۳] Arampantzi, C. and I. Minis, *A new model for designing sustainable supply chain networks and its application to a global manufacturer.* Journal of Cleaner Production, ۲۰۱۷. ۱٥٦: p. ۲۷٦-۲۹۲.

[۱٤] Sherafati, M., et al., *Achieving sustainable development of supply chain by incorporating various carbon regulatory mechanisms.* Transportation Research Part D: Transport and Environment, ۲۰۲۰. ۸۱: p. ۱۰۲۲٥۳.

[۱٥] Govindan, K., A. Jafarian, and V. Nourbakhsh, *Bi-objective integrating sustainable order allocation and sustainable supply chain network strategic design with stochastic demand using a novel robust hybrid multi-objective metaheuristic.* Computers & Operations Research, ۲۰۱٥. ٦۲: p. ۱۱۲-۱۳۰.

[۱٦] Ghaffari-Nasab, N., M. Ghazanfari, and E. Teimoury, *Hub-and-spoke logistics network design for third party logistics service providers.* International Journal of Management Science and Engineering Management, ۲۰۱٦. ۱۱(۱): p. ٤۹-٦۱.

[۱۷] Haddad, H., et al., *Presenting a Bi-Level programming approach for Unit commitment in Iran with minimization of greenhouse gas emission.* Modern Research in Decision Making, ۲۰۲۱. ٦(٤): p. ٥٥-۷٤.

[۱۸] Ahmadi, S.M., et al., *A Mixed Integer Nonlinear Programming Model for a Green Closed-Loop Supply Chain Optimization (Case Study: Kalleh Dairy Company).* Modern Research in Decision Making, ۲۰۲۲. ۷(۱): p. ۱۳٤-۱٦٤.

[۱۹] Bashiri, M. and M. Sherafati, *Advanced Bi-objective closed loop supply chain network design considering correlated criteria in fuzzy environment.* Journal of industrial engineering research in production systems, ۲۰۱۳. ۱(۱): p. ۲٥-۳٦.

[۲۰] Sahebjamnia, N., A.M. Fathollahi-Fard, and M. Hajiaghaei-Keshteli, *Sustainable tire closed-loop supply chain network design: Hybrid metaheuristic algorithms for large-scale networks.* Journal of cleaner production, ۲۰۱۸. ۱۹٦: p. ۲۷۳-۲۹٦.

[۲۱] Çetinkaya, S. and C.-Y. Lee, *Stock replenishment and shipment scheduling for vendor-managed inventory systems.* Management Science, ۲۰۰۰. ٤٦(۲): p. ۲۱۷-۲۳۲.

[۲۲] Sajadieh, M.S. and M.R.A. Jokar, *Optimizing shipment, ordering and pricing policies in a two-stage supply chain with price-sensitive demand.* Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ۲۰۰۹. ٤٥(٤): p. ٥٦٤-٥۷۱.

[۲۳] Hong, K.-s. and C. Lee, *Optimal time-based consolidation policy with price sensitive demand.* International Journal of Production Economics, ۲۰۱۳. ۱٤۳(۲): p. ۲۷٥-۲۸٤.

[۲۴] Mohammadi, A., et al., *Designing Operational and Financial Multi Echelon Supply Chain System in Strategic and Tactical Levels of Decision-Making.* Modern Research in Decision Making, ۲۰۱۸. ۳(۱): p. ۲۶۷-۲۹۷.
[۲۵] Yazdani, M., R. Tavakkoli-Moghaddam, and E. Najafi, *Project manager selection by using a fuzzy hybrid Delphi-VIKOR approach.* Management Research in Iran, ۲۰۲۱. ۱۶(٤): p. ۱۹-٤٤.
[۲۶] Badri, H., M. Bashiri, and T.H. Hejazi, *Integrated strategic and tactical planning in a supply chain network design with a heuristic solution method.* Computers & Operations Research, ۲۰۱۳. ٤۰(٤): p. ۱۱٤۳-۱۱٥٤.
[۲۷] Hasani, A., H. Mokhtari, and M. Fattahi, *A multi-objective optimization approach for green and resilient supply chain network design: a real-life Case Study.* Journal of Cleaner Production, ۲۰۲۰. ۲۷۸: p. ۱۲۳۱۹۹.
[۲۸] Taghedisi, Ahmad, & Hajjarian, Ahmad. (۲۰۱۳). Spatial distribution of industrial indicators in the provinces of the country using the characteristic coefficient model. Geographical Sciences (Applied Geography), ۱۰(۲۱), ۱۶-۳۲. [in Persian]
[۲۹] Omidi-Rekavandi, M., R. Tavakkoli-Moghaddam, and A. Ghodratnama, *Mathematical modeling for the forward and reverse logistics network design.* Management Research in Iran, ۲۰۲۱. ۱۷(٤): p. ٤۳-۶۳.
[۳۰] Fakhrzad, M.B., M. Keshavarz, and A. Jafari Nodoushan, *A mathematical model in the smart supply chain based on ICPT in the MTS environment.* Modern Research in Decision Making, ۲۰۲۱. ۶(۲): p. ۹۷-۱۲۳.