چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۲۹ ـ بهار ۱۳۹۷
ص‌ص ۶۲ ° ۳۹

ارائه یک مدل برای برنامه‌ریزی اصلی زنجیره تأمین پایدار با ملاحظه یکپارچگی جریان مالی و فیزیکی

امیرسالار محمدی*، اکبر عالم تبریز، میرسامان پیشوایی*****

چکیده

رشد متوازن در سه بُعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی و یکپارچگی میان جریان‌های مالی و فیزیکی، ضامن بقا و توسعه هر زنجیره تأمین در بلندمدت است. بر این اساس در این پژوهش، مدلی برای برنامه‌ریزی یکپارچه مالی ـ فیزیکی زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار در میان‌مدت ارائه می‌شود. اهداف این مدل عبارت‌اند از: بیشینه‌سازی سود؛ کمینه‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی و همچنین کمینه‌سازی انحراف نامطلوب شاخص‌های مالی از حد مطلوب خود. برای مواجهه با ماهیت چندهدفه مدل، از روش برنامه‌ریزی آرمانی استفاده شده است و مدل در یک مورد واقعی در صنعت بازیافت پلاستیک اجرا شده است. مدل ارائه‌شده شامل برنامه‌ریزی تولید، توزیع و جمع‌آوری ضایعات می‌شود و به‌صورت چنددوره‌ای و چندمحصولی طراحی شده است. نتایج پژوهش تأثیر مثبت شاخص‌های مالی در عملکرد اقتصادی برنامه اصلی زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار را نشان می‌دهد؛ اما ملاحظه شاخص‌های مالی باعث افت عملکرد زنجیره در ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی می‌شود؛ درنتیجه می‌توان بیان کرد که طراحی یکپارچه مالی ـ فیزیکی برنامه‌ریزی اصلی زنجیره تأمین به تقویت بُعد اقتصادی زنجیره منجر می‌شود.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین پایدار؛ برنامه‌ریزی اصلی زنجیره تأمین؛ جریان مالی؛ برنامه‌ریزی آرمانی؛ صنعت بازیافت پلاستیک.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۶.

* دانشجوی دکتری، دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول).
Email: amirsalar.mohammadi@gmail.com
** استاد، دانشگاه شهید بهشتی.
*** استادیار، دانشگاه علم و صنعت.

۱. مقدمه

در سال‌های آخر دهه ۱۹۸۰ میلادی، توجه جوامع جهانی به سمت مفهومی جدید از توسعه به نام «توسعه پایدار» معطوف شد. در این رویکرد، توسعه‌ای پایدار است که با رشد متوازن در سه بُعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی همراه باشد. اهمیت توجه به این پارادایم فکری در توسعه از یک طرف و تأثیر بسزای مدیریت زنجیره تأمین در عملکرد اقتصاد در سطح خُرد و کلان، باعث شد تا با قراردادن مفهوم زنجیره تأمین در پارادایم توسعه پایدار، مفهومی جدید به نام «زنجیره تأمین پایدار» به‌وجود آید. متعاقب به‌وجودآمدن مفهوم زنجیره تأمین پایدار، مدیریت زنجیره تأمین پایدار نیز پدید آمد که عبارت است از: یکپارچگی شفاف و راهبردی میان ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی سازمان و دستیابی به این اهداف از طریق همکاری نظام‌مند بین سازمانی، در جهت بهبود برآیند عملکرد بلندمدت کل زنجیره تأمین [۶]. باوجود پژوهش‌هایی که در زمینه مدیریت زنجیره تأمین پایدار صورت گرفته است، همچنان مدل‌هایی که به‌صورت اثربخش و کارا، اصول توسعه پایدار را با حفظ یکپارچگی (در سه بُعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی) در سطح عملیاتی زنجیره تأمین نهادینه کنند، بسیار کم هستند [۴].

مدیریت زنجیره تأمین شامل مدیریت سه نوع جریان فیزیکی، اطلاعاتی و مالی در طول زنجیره تأمین می‌شود [۲۵]. همان‌طور که شاپیرو (۲۰۰۴)، اشاره کرده است در برنامه‌ریزی سازمانی، جریانات و تصمیم‌های مالی تعامل و ارتباط زیادی با برنامه‌ریزی زنجیره تأمین دارند [۲۴]. آنچه درنهایت عملکرد زنجیره تأمین را مشخص می‌کند، عملکرد مالی آن در افزایش سود سهامداران است؛ بنابراین برای عملکرد موفق زنجیره تأمین در بلندمدت، توجه و برنامه‌ریزی دقیق در زمینه جریان مالی در کنار جریان فیزیکی، امری حیاتی است. باوجود اهمیت جریان مالی، در مبانی نظری موضوع مدیریت زنجیره تأمین پایدار تنها به مدیریت جریان فیزیکی کالا در طول زنجیره تأمین پرداخته شده و مدلی به‌منظور برنامه‌ریزی یکپارچه مالی ـ فیزیکی در زنجیره تأمین پایدار ارائه نشده است. عوامل مالی تأثیر مستقیمی بر بخش‌های مختلف زنجیره تأمین، مانند تدارکات، تولید و توزیع دارند. بدون وجود جریان مالی مناسب امکان تدارک به‌موقع و متعاقب آن تولید و توزیع به‌موقع وجود ندارد؛ علاوه بر این، تنها در صورت برنامه‌ریزی مناسب مالی امکان توسعه تجهیزات، محصولات و بازار فروش وجود دارد [۲۲].

به‌طورکلی هدف این پژوهش عبارت است از: ارائه مدل تدوین یکپارچه مالی ـ فیزیکی برنامه اصلی زنجیره تأمین پایدار. اهداف مدل ارائه‌شده بر اساس ابعاد توسعه پایدار عبارت خواهند بود از: کمینه‌سازی سود و انحراف از شاخص‌های مالی در بُعد اقتصادی؛ کمینه‌سازی تأثیرات مخرب زیست‌محیطی در بُعد محیط‌زیست و بیشینه‌سازی تأثیرات اجتماعی در بُعد اجتماعی. در ادامه این مقاله، ابتدا در بخش دوم مبانی نظری و پیشینه پژوهش بررسی می‌شود؛

سپس روش‌شناسی و مدل‌سازی مسئله ارائه شده و در پایان نتایج پژوهش ارائه می‌شوند. درنهایت به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی پرداخته می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

برای بررسی پیشینه موضوع، ابتدا مدل‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین پایدار قطعی و چندهدفه در دو سطح راهبردی و تاکتیکی بررسی شده‌اند. منظور از مدل زنجیره تأمین پایدار مدلی است که حداقل دو بُعد از سه بُعد توسعه پایدار را در طراحی زنجیره تأمین مدنظر قرار داده باشد. در سطح راهبردی زنجیر تأمین مهم‌ترین مسائل پیش رو عبارت است از: تعیین تعداد، مکان و ظرفیت تسهیلات تولیدی و انباری و همچنین انتخاب تأمین‌کنندگان راهبردی. در سطح تاکتیکی مسئله موردتوجه نحوه و زمان جریان کالا در ساختار استراتژیک طراحی‌شده است. افق زمانی این سطح از برنامه بین ۶ تا ۲۴ ماه است [۲۵].

برگر و همکاران (۱۹۹۹)، یک مدل چندهدفه و چندمحصولی برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی برای برنامه‌ریزی راهبردی و تاکتیکی زنجیره تأمین ضایعات ارائه دادند [۵]. در این مدل دو بُعد اقتصاد و محیط‌زیست مدنظر قرار گرفته است. هگو و همکاران (۲۰۰۵)، با استفاده از ابزارهای برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی، به طراحی زنجیره تأمین سبز برای هیدروژن پرداخته‌اند [۱۳]. نتو و همکاران (۲۰۰۸)، یک مدل چندهدفه با اهداف کمینه‌سازی هزینه و کمینه‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی برای طراحی زنجیره تأمین حلقه‌بسته ارائه کردند [۲۰]. ارکوت و همکاران (۲۰۰۸)، یک مدل مکان‌یابی چندمعیاره برای بازیافت ضایعات شهری در یونان ارائه دادند [۹].

در این مدل که از نوع عدد صحیح ترکیبی بود، درمجموع ۵ هدف (۱ هدف اقتصادی و ۵ هدف زیست‌محیطی) موردتوجه قرار گرفت. آکگول و همکاران (۲۰۱۲)، در مدل خود اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی را برای طراحی زنجیره تأمین چندسوختی[1] در نظر گرفتند و با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی در شرایط چنددوره‌ای و چندمحصولی زنجیره تأمین بهینه را طراحی کردند [۱]. چابان و همکاران (۲۰۱۲)، علاوه بر هدف اقتصادی، کمینه‌کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای را نیز به‌عنوان هدف زیست‌محیطی در مدل خود در نظر گرفتند [۷]. گویندان و همکاران (۲۰۱۴)، در طراحی زنجیره تأمین پایدار برای محصولات غذایی فاسدشدنی کمینه‌سازی هزینه‌های ثابت و متغیر را به‌عنوان هدف اقتصادی و کمینه‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی افتتاح تسهیلات تولید و توزیع را به‌عنوان هدف زیست‌محیطی مدنظر قرار دادند [۱۰].

1. Biofuel

در مدل‌های بالا، دو بُعد اقتصادی و زیست‌محیطی مدنظر قرار گرفته‌اند؛ اما در برخی از پژوهش‌ها بُعد اجتماعی نیز به‌عنوان بُعد سوم توسعه پایدار در طراحی زنجیره تأمین پایدار موردتوجه قرار گرفته است. یو و همکاران (۲۰۱۲)، برای طراحی زنجیره تأمین پایدار اتانول سلولزی، در بُعد اقتصادی، کمینه‌سازی هزینه‌های سالانه، در بُعد زیست‌محیطی، کمینه‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای و در بُعد اجتماعی، ایجاد اشتغال بیشتر را در نظر گرفتند [۲۸]. در پژوهش آنان برای حل این مسئله چندهدفه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی توسعه داده شده است. دویکا و همکاران (۲۰۱۴)، در طراحی زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار، هر سه بُعد توسعه پایدار را مدنظر قرار دادند [۸].

روش مورداستفاده آن‌ها برای حل مدل، یک روش فراابتکاری ترکیبی بود و مدل را در یک کارخانه شیشه اجرا کردند. موتا و همکاران (۲۰۱۴) در یک مدل چندهدفه هر سه بُعد توسعه پایدار را در طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار مدنظر قرار دادند [۱۹]. سانتیبانز و همکارن (۲۰۱۴)، برای طراحی زنجیره تأمین یک پالایشگاه زیستی[1] در مکزیک، مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی را نیز در کنار مسائل اقتصادی در نظر گرفتند [۲۳]. بهشتی‌فر و علی‌محمدی (۲۰۱۵)، در یک مدل غیرخطی چندهدفه، به طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار در بخش سلامت پرداختند [۳]. یکی از اهداف این مدل کمینه‌کردن نابرابری‌ها در دسترسی به تسهیلات درمانی بود و مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شد.

بررسی مدل‌های ارائه‌شده برای طراحی راهبردی و تاکتیکی زنجیره تأمین پایدار نشان می‌دهد که علی‌رغم اهمیت جریان مالی و یکپارچگی آن با جریان فیزیکی، در مدل‌های طراحی زنجیره تأمین پایدار این موضوع در نظر گرفته نشده است و تنها جریان و تصمیم‌های فیزیکی بهینه‌سازی شده‌اند؛ البته پژوهش‌های اندکی در زمینه ارائه مدل برای طراحی یکپارچه مالی ـ فیزیکی زنجیره تأمین صورت گرفته که در آن‌ها پارادایم توسعه پایدار موردتوجه قرار نگرفته است. در ادامه بررسی پیشینه موضوع، مهم‌ترین پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه بررسی می‌شود.

گایلن و همکاران (۲۰۰۶، ۲۰۰۷)، برای طراحی زنجیره تأمین محصولات شیمیایی، علاوه بر زمان‌بندی و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، جریان مالی و بودجه را نیز در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ترکیبی خود بهینه‌سازی کردند [۱۲، ۱۱]. لاینز و همکاران (۲۰۰۷)، مدلی برای بهینه‌سازی برنامه‌ریزی زنجیره تأمین شیمیایی ارائه دادند که در آن فرآیندهای شیمیایی و مالی به‌صورت هم‌زمان و یکپارچه بهینه می‌شوند [۱۵]. نیکل و همکاران (۲۰۱۲)، مدلی طراحی کردند که در کنار تصمیم‌های فیزیکی طراحی شبکه زنجیره تأمین، تصمیم‌های مالی در زمینه

1. Bio refinery

سرمایه‌گذاری‌های دیگر غیر از زنجیره تأمین و همچنین میان اخذ وام نیز در مدل اخذ شود [۲۱]. در این مدل عدم‌اطمینان در زمینه میزان بازگشت سرمایه‌گذاری‌ها و همچنین میزان تقاضا در نظر گرفته شده است.

لانگیندیس و جورگیادس (۲۰۱۳)، وضعیت مالی و توانایی پرداخت بدهی‌ها را به‌عنوان دو عامل حیاتی در وضعیت مالی شرکت در نظر گرفتند و تأثیر آن را در طراحی شبکه زنجیره تأمین لحاظ کردند [۱۷]. در مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح پیشنهادی، یکپارچگی میان طراحی شبکه زنجیره تأمین و وضعیت مالی و اعتباری در شرایط عدم‌اطمینان اقتصادی برقرار می‌شود. کلانتری و همکاران (۲۰۱۵)، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه برای یکپارچه‌سازی جریان مالی و فیزیکی در برنامه اصلی زنجیره تأمین ارائه کردند [۱۴].

اهداف این مدل عبارت‌اند از: بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی انحراف شاخص‌های مالی از حدود مطلوب. اخیراً وفا آرانی و ترابی (۲۰۱۸)، مدلی چندهدفه برای برنامه‌ریزی تاکتیکی جریان مالی و فیزیکی زنجیره تأمین ارائه داده‌اند [۲۷]. در پژوهش آنان اثربخشی رویکرد فازی بررسی و تأیید شد. همچنین محمدی و همکاران (۲۰۱۷) یک زنجیره تأمین چهارسطحی با در نظر گرفتن همزمان ابعاد عملیاتی و مالی با نگرش کل‌گرا و سیستمی طراحی می‌نمایند. در مدل این محققین حداکثرسازی ثروت سهامداران مدنظر قرار گرفته‌است [۱۸].

به‌طور خلاصه می‌توان بیان داشت که از یک طرف یکپارچگی جریان مالی و فیزیکی در زنجیره تأمین پایدار موردتوجه پژوهشگران قرار نگرفته و از طرف دیگر در پژوهش‌هایی که این یکپارچگی مالی و فیزیکی در طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است، پارادایم توسعه پایدار مدنظر قرار نگرفته است؛ به عبارت دیگر تنها به بُعد اقتصادی توسعه توجه شده است و ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی موردتوجه قرار نگرفته‌اند. بر این اساس مهم‌ترین نوآوری این پژوهش نسبت به پژوهش‌های موجود در حوزه مدیریت زنجیره تأمین پایدار، عبارت است از: درنظرگرفتن یکپارچه جریان مالی و فیزیکی در طراحی زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار.

۳. روش‌شناسی پژوهش

مراحل انجام این پژوهش که در زمره پژوهش‌های کمّی و کاربردی قرار دارد بدین‌صورت است که پس از مطالعه پیشینه نظری پژوهش، مسئله پژوهش ابتدا به‌صورت مفهومی و سپس به‌وسیله مدل ریاضی تبیین می‌شود. در گام بعد مدل ریاضی حل‌شده و داده‌ها و نتایج تحلیل می‌گردند. در مرحله پایانی نیز نتایج بررسی و تحلیل می‌شوند. داده‌های پژوهش با روش میدانی و مصاحبه با خبرگان صنعت بازیافت پلاستیک جمع‌آوری شده و با مقایسه با اطلاعات مندرج در سامانه جامع اطلاع‌رسانی «سازمان بورس اوراق بهادار (کدال)» صحت‌سنجی شده‌اند.

تعریف مسئله. زنجیره تأمین موردبررسی در این پژوهش زنجیره تأمین تولید و بازیافت پلاستیک است. ساختار این زنجیره تأمین در شکل ۱، مشاهده می‌شود. در این زنجیره تأمین، ابتدا محصولات نایلونی توسط تولیدکننده تولید (بازیافت) شده و تبدیل به محصول نهایی می‌شود؛ سپس محصولات به توزیع‌کنندگان ارسال می‌شود و توزیع‌کنندگان نیز محصولات را به مشتریان می‌فروشند. ضایعات برای بازیافت توسط مشتریان به توزیع‌کنندگان فروخته می‌شود و توزیع‌کنندگان پس از تحویل ضایعات آنان را به مرکز جمع‌آوری ضایعات منتقل می‌کنند. در مرکز جمع‌آوری بخش قابل‌بازیافت ضایعات به مرکز بازیافت و تولید منتقل و مابقی به محل دفن ضایعات منتقل می‌شوند. هدف این پژوهش عبارت است از: ارائه مدلی برای بهینه‌سازی اقتصادی ـ مالی، زیست‌محیطی و اجتماعی برنامه‌ریزی اصلی (برنامه میان‌مدت) زنجیره تأمین ارائه‌شده در شکل ۱. این برنامه‌ریزی شامل برنامه تولید (بازیافت)، برنامه توزیع و برنامه‌ریزی جمع‌آوری ضایعات می‌شود. اهداف اصلی برنامه ارائه‌شده عبارت‌اند از: بیشینه‌سازی درآمد؛ کمینه‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی و اجتماعی و همچنین کمینه‌سازی انحراف نامطلوب شاخص‌های مالی از حد ایده‌آل. مفروضات این مسئله به شرح زیر است:

ـ مکان و تعداد تولیدکنندگان، خرده‌فروشان و مراکز جمع‌آوری از قبل مشخص است؛

ـ همه تولیدکنندگان قابلیت تولید همه محصولات را دارند؛

ـ مراکز تولید و جمع‌آوری دارای ذخیره اطمینان مواد اولیه و محصولات هستند؛

ـ تقاضای خرده‌فروشی‌ها در همان دوره پاسخ داده می‌شود و به دوره بعد منتقل نمی‌شود؛

ـ موجودی مواد و محصولات به دوره بعد منتقل می‌شود؛

ـ شبکه زنجیره تأمین، چندمحصولی است؛

ـ مواد اولیه مراکز جمع‌آوری، ضایعات برگشتی خرده‌فروشی‌ها است که در این مراکز تفکیک و پرس می‌شوند.

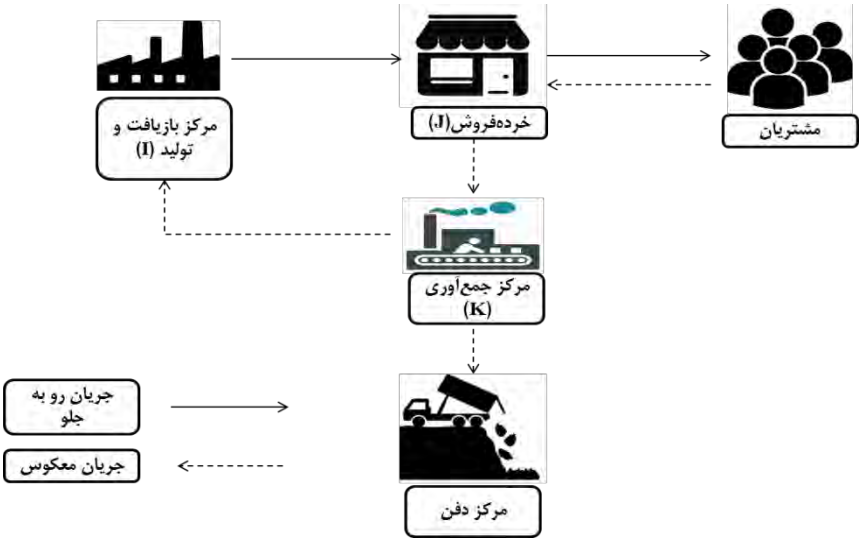
ـ مواد اولیه تولید محصول تنها شامل ضایعات تفکیک و پرس‌شده ارسالی از مراکز جمع‌آوری است؛

ـ ظرفیت مراکز تولید و جمع‌آوری محدود است؛

ـ انبار مواد اولیه و محصول در مراکز تولید و همچنین انبار ضایعات تفکیک‌نشده و تفکیک‌شده در مراکز جمع‌آوری مشترک است و ساختمان جداگانه در نظر گرفته نشده است؛

ـ حساب‌های دریافتنی هر دوره در دوره آتی تبدیل به پول نقد می‌شود؛

ـ دارایی‌های غیرجاری فقط شامل دارایی ثابت است و دارایی‌های نامشهود در نظر گرفته نشده است.



شکل ۱. ساختار زنجیره تأمین موردبررسی

فرمول‌بندی مسئله

اندیس‌ها

i : اندیس مراکز تولید و بازیافت

j : اندیس مراکز خرده‌فروشی

f : اندیس شاخص‌های‌مالی

k : اندیس مراکز جمع‌آوری ضایعات

p : اندیس محصولات

t : اندیس دوره‌های زمانی

پارامترهای جریان فیزیکی بُعد اقتصادی

$\mathrm{d_{jpt}}$: تقاضای خرده‌فروشی j برای محصول p در دوره t

$jcap_{pkt}$: حداکثر ظرفیت جمع‌آوری و پرس ضایعات محصول p در مرکز جمع‌آوری k در دوره t

dfr_p: نرخ افت محصول p در تبدیل ضایعات به محصول

rs_p: میزان حجم فضایی موردنیاز برای انبارش هر واحد ضایعات محصول p قبل از پرس در مراکز جمع‌آوری

sk_k: ظرفیت انبار مرکز جمع‌آوری k

vk_{pt}: هزینه متغیر جمع‌آوری هر واحد محصول p در دوره t

bnc_{pt}: هزینه نگهداری هر واحد ضایعات پرس‌نشده محصول p در دوره t

bc_{pt}: هزینه نگهداری هر واحد ضایعات پرس‌شده محصول p در دوره t

ssc_{pt}: ذخیره اطمینان ضایعات محصول p در دوره t پس از پرس در مرکز جمع‌آوری

ssp_{pt}: ذخیره اطمینان محصول p در دوره t در مراکز تولید و بازیافت

pc_{pt}: قیمت خرید هر واحد از ضایعات پرس‌نشده محصول p در دوره t

$mcap_{pit}$: حداکثر ظرفیت تولید محصول p در مرکز تولید و بازیافت i دوره t

gv_p: میزان حجم فضایی موردنیاز برای انبارش هر واحد محصول p

rv_p: میزان حجم فضایی موردنیاز برای انبارش هر واحد ضایعات محصول p پرس‌شده

sc_i: ظرفیت انبار مرکز تولید و بازیافت j

vc_{pt}: هزینه متغیر تولید هر واحد محصول p در دوره t

ec_{pt}: هزینه نگهداری هر واحد محصول p در دوره t

$dfrj_p$: نرخ افت محصول p در جمع‌آوری و پرس ضایعات در مرکز جمع‌آوری

ssr_{pt}: ذخیره اطمینان ضایعات محصول p در دوره t قبل از پرس در مرکز جمع آوری

ssa_{pt}: ذخیره اطمینان ضایعات پرسشده محصول p در دوره t در مراکز تولید و بازیافت

rab_p: ضریب بازیافت محصول p در مرکز جمع‌آوری (درصدی از ضایعات ارسال‌شده به مرکز جمع‌آوری که قابل‌بازیافت و ارسال به مرکز تولید است)

پارامترهای جریان فیزیکی بُعد زیست‌محیطی

eii_{ijp}: تأثیر زیست‌محیطی حمل یک واحد از محصول p از مرکز تولید i به خرده‌فروشی j

eit_{kip}: تأثیر زیست‌محیطی حمل یک واحد از ضایعات پرس‌شده محصول p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز تولید و بازیافت i

eis_{jkp}: تأثیر زیست‌محیطی حمل یک واحد از ضایعات محصول p از خرده‌فروشی j به مرکز جمع‌آوری k

ein_p: تأثیر زیست‌محیطی دفن یک واحد از ضایعات محصول p

پارامترهای جریان فیزیکی بعد اجتماعی

raf_{ij}: نرخ تصادفات جاده‌ای در مسیر مرکز تولید i به خرده‌فروشی j

rat_{ki}: نرخ تصادفات جاده‌ای در مسیر مرکز جمع‌آوری k به مرکز تولید و بازیافت i

hel_p: میزان تأثیر منفی بالقوه ضایعات محصول p بر سلامت کارکنان مراکز جمع‌آوری

ras_{jk}: نرخ تصادفات جاده‌ای در مسیر خرده‌فروشی j به مرکز جمع‌آوری k

hec_p: میزان تأثیر منفی بالقوه محصول p بر سلامت مصرف‌کننده

hep_p: میزان تأثیر منفی بالقوه تولید محصول p بر سلامت کارکنان مراکز تولید و بازیافت

پارامترهای مالی

scf_{ijp}: هزینه حمل یک واحد از محصول p از مرکز تولید i به خرده‌فروشی j

sct_{kip}: هزینه حمل یک واحد از ضایعات پرس‌شده محصول p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز تولید و بازیافت i

DR_t: نرخ استهلاک در دوره t

CWR_t: نرخ حقوق گمرکی در انتهای دوره t

CCR_t: کران پایین نرخ پوشش پول در انتهای دوره t

cur_t: نرخ ارز در انتهای دوره t

CR_t: نرخ نقدینگی در دوره t

$STIR_t$: نرخ بهره کوتاه‌مدت در انتهای دوره t

TDR_t: حد بالای نسبت کل بدهی‌ها به دارایی‌ها در انتهای دوره t

rt_t: نرخ مالیات بر درآمد در انتهای دوره t

QR_t: حد پایین نسبت آنی در انتهای دوره t

RTR_t: حد پایین نسبت گردش حساب‌های دریافتی در انتهای دوره t

scs_{jkp}: هزینه حمل یک واحد از ضایعات محصول p از خرده‌فروشی j به مرکز جمع‌آوری k

sc_{pt}: قیمت فروش هر واحد از محصول p در انتهای دوره t

$FATR_t$: حد پایین نرخ گردش دارایی‌های ثابت در انتهای دوره t

$LTIR_t$: نرخ بهره بلندمدت در انتهای دوره t

PMR_t: حد پایین نرخ حاشیه سود در انتهای دوره t

$ROAR_t$: حداقل نرخ بازده دارایی‌ها در انتهای دوره t

$VATR_t$: نرخ مالیات بر ارزش‌افزوده واردات در انتهای دوره t

FAI_t: میزان سرمایه‌گذاری برای دارایی‌های ثابت در طول دوره t

ctr_t: نرخ عوارض گمرکی در انتهای دوره t

$IRPA_t$: نرخ بهره مربوط به حساب‌های دریافتی دوره t

$ROER_t$: حد پایین نرخ بازگشت دارایی صاحبان سهام انتهای دوره t

متغیرهای تصمیم

fgp_{ipt}: میزان محصول p تولیدشده در مرکز تولید i در دوره t

wpp_{kpt}: میزان ضایعات محصول p پرس شده در مرکز جمع‌آوری k در دوره t

fgs_{ijpt}: میزان محصول p حمل شده از مرکز تولید i به خرده‌فروشی j در دوره t

pps_{kipt}: میزان ضایعات پرس‌شده محصول p حمل‌شده از مرکز جمع‌آوری k به مرکز تولید و بازیافت i در دوره t

plf_{kpt}: سطح نهایی موجودی ضایعات پرس شده محصول p در مرکز جمع‌آوری k در دوره t

d_{nt}^{-}: مقدار انحراف روبه پایین شاخص مالی نوع n در دوره t

CSH_t: میزان پول نقد دردسترس در انتهای دوره t

$RBIT_t$: میزان درآمد قبل از پرداخت بهره و مالیات در انتهای دوره t

FA_t: دارایی‌های ثابت در انتهای دوره t

PI_t: بهره پرداختی در انتهای دوره t

SQV_t: ارزش موجودی انبار در انتهای دوره t

NCS_t: خالص فروش در انتهای دوره t

NMS_t: درآمد انتشار سهام جدید در انتهای دوره t

$NMSB_t$: سهام جدید سهامداران در طول دوره t

$NOIA_t$: سود بعد از پرداخت مالیات در انتهای دوره t

$slpf_{ipt}$: سطح نهایی موجودی ضایعات پرس‌شده محصول p در مرکز تولید i در دوره t

ups_{jkpt}: میزان ضایعات محصول p حمل‌شده از خرده‌فروشی j به مرکز جمع‌آوری k در دوره t

slf_{ipt}: سطح نهایی موجودی محصول p در مرکز تولید i در دوره t

$pnlf_{kpt}$: سطح نهایی موجودی ضایعات پرس‌نشده محصول p در مرکز جمع‌آوری k در دوره t

d_{nt}^{+}: مقدار انحراف روبه بالای شاخص مالی نوع n در دوره t

$DPRT_t$: استهلاک در دوره t

SHR_t: حقوق صاحبان سهام در انتهای دوره t

RA_t: حساب‌های قابل‌وصول در انتهای دوره t

SPD_t: بدهی‌های کوتاه‌مدت در انتهای دوره t

LPD_t: بدهی‌های بلندمدت در انتهای دوره t

TI_t: درآمد مشمول مالیات در طول دوره t

OTI_t: سود عملیاتی مشمول مالیات در طول دوره t

CA_t: دارایی‌های جاری در انتهای دوره t

AAG_t: حساب‌های قابل‌وصول در انتهای دوره t

تابع هدف. برای برخورد با ماهیت چندهدفه مسئله برنامه اصلی زنجیره تأمین پایدار از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی بهره گفته شده است؛ بر این اساس برای هر هدف مسئله حد مطلوبی (آرمان) در نظر گرفته شده و سپس طبق اصول برنامه‌ریزی آرمانی سعی در کمینه‌سازی انحرافات نامطلوب از حد مطلوب شده است [۲]. در تابع هدف طراحی‌شده، با توجه به اهمیت هر کدام از اهداف، به متغیر انحراف مربوط به آن هدف، یک وزن تعلق گرفته است. رابطه ۱، نشان‌دهنده این تابع هدف است.

$$Min\ D = \sum_{t=1}^{T} (w_1.d_{1t}^- + w_2.d_{2t}^+ + w_3.d_{3t}^+ + w_4.d_{4t}^- + w_5.d_{5t}^+ + w_6.d_{6t}^- + w_7.d_{7t}^-) \quad (۱)$$

تابع هدف ۱، برای ۱. بیشینه‌سازی درآمد، ۲. کمینه‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی، ۳. کمینه‌سازی تأثیرات منفی اجتماعی و ۴. کمینه‌سازی انحراف شاخص‌های مالی از حدود مطلوب طراحی شده است.

تعریف روابط مدل. رابطه ۲، انحراف از حد مطلوب سود پس از کسر مالیات را نشان می‌دهد. بر این اساس با کسر نرخ مالیات بر درآمد از عدد ۱ و ضرب آن در میزان سود قبل از کسر مالیات، میزان سود پس از کسر مالیات، محاسبه می‌شود؛ سپس این مقدار با انحرافات مثبت و منفی جمع شده و برابر حد مطلوب می‌شود؛ بنابراین هرچقدر میزان انحراف منفی کمتر باشد بهتر است.

$$\sum_{t=1}^{T}\left((1 - rt_t).TI_t\right) - d_{1t}^+ + d_{1t}^- = I \quad (۲)$$

رابطه ۳، مقدار حد بالای تأثیرات زیست‌محیطی را نشان می‌دهد. مهم‌ترین تأثیر زیست‌محیطی حمل عبارت است از: نشر گازهای گلخانه‌ای و مهم‌ترین تأثیر زیست‌محیطی دفن ضایعات، تأثیر مخرب آن بر خاک و زمان جذب بسیار طولانی پلاستیک در طبیعت است. در تابع هدف، میزان انحراف مثبت از حد بالای تأثیرات زیست‌محیطی کمینه شده است.

$$\begin{aligned}&\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} fgs_{ijpt}.eii_{ijp}\right) + \\ &\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} ups_{jkpt}.eis_{jkp}\right) + \\ &\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} pps_{kipt}.eit_{kip}\right) + \\ &\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J} ups_{jkpt}.ein_p.\left(1 - rab_p\right)\right) - d_{2t}^+ + d_{2t}^- = E\end{aligned} \quad (۳)$$

رابطه ۴، مربوط به تأثیرات زنجیره تأمین در بُعد اجتماعی است. در این رابطه، حد بالای خطر سلامت کارکنان در بخش تولید و حمل‌ونقل و میزان انحراف از آن نشان داده می‌شود.

$$\begin{aligned}&\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} fgs_{ijpt}.raf_{ij}\right)+\\&\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} ups_{jkpt}.ras_{jk}\right)+\\&\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} pps_{kipt}.rat_{ki}\right)+\\&\left(\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} fgs_{ijpt}.hec_p.hep_p\right)+\\&\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} ups_{jkpt}.hec_p.hel_p\right)+\\&\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=1}^{I}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} pps_{kipt}.hep_p.hel_p\right)-d_{3t}^{+}+d_{3t}^{-}=S\end{aligned} \qquad (۴)$$

برای به‌دست‌آوردن مقدار درآمد قبل از کسر مالیات در هر دوره، باید میزان بهره پرداختی در آن دوره از مقدار درآمد قبل از پرداخت بهره و مالیات کسر شود.

$$TI_t = RBIT_t - PI_t \qquad (۵)$$

رابطه ۶، میزان بهره پرداختی را نشان می‌دهد که شامل بهره بدهی‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت می‌شود.

$$IP_t = LTIR_t.LPD_t + STIR_t.SPD_t \qquad (۶)$$

رابطه ۷، نحوه محاسبه مقدار درآمد قبل از پرداخت بهره و مالیات را نشان می‌دهد.

$$RBIT_t = NCS_t - TCOL_t - DPRT_t \qquad (۷)$$

برای محاسبه میزان استهلاک در هر دوره، طبق رابطه ۸، نرخ استهلاک را باید در میزان دارایی‌های ثابت در انتهای دوره ضرب کرد.

$$DPRT_t = DR_t.FA_t \qquad (۸)$$

ارزش فروش خالص طبق رابطه ۹، عبارت است از: حاصل‌ضرب میزان فروش محصولات به خرده‌فروشان ضرب‌در قیمت فروش.

$$NSC_t = \sum_{p=1}^{P} SC_{pt} \cdot \sum_{j=1}^{J} fgs_{ijpt} \quad (۹)$$

هزینه کل لجستیک شامل هزینه کل خرید، تولید و توزیع است (رابطه ۱۰).

$$TCOL_t = OCOS_t + OCOP_t + OCOD_t \quad (۱۰)$$

هزینه کل خرید عبارت است از: هزینه‌های سفارش‌دهی، خرید مواد اولیه (ضایعات)، حمل ضایعات از خرده‌فروشی‌ها به مراکز جمع‌آوری، جمع‌آوری، حمل ضایعات پرس‌شده از مراکز جمع‌آوری به مراکز تولید و موجودی ضایعات در مراحل مختلف.

$$OCOS_t = thh_t + pkh_t + khm_t + khj_t \quad (۱۱)$$

هزینه خرید مطابق عبارت ۱۲، محاسبه می‌شود.

$$pkh_t = \sum_{p=1}^{P} \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} pc_{pt}.ups_{jkpt} \quad (۱۲)$$

هزینه حمل از رابطه ۱۳، محاسبه می‌شود.

$$thh_t = \sum_{p=1}^{P} \sum_{j=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} scs_{jkp}.ups_{jkpt} + \sum_{p=1}^{P} \sum_{i=1}^{J} \sum_{k=1}^{K} sct_{kip}.pps_{kipt} \quad (۱۳)$$

هزینه موجودی بر اساس رابطه ۱۴، برای سه نوع موجودی ۱) ضایعات پرس‌نشده در مراکز جمع‌آوری، ۲) ضایعات پرس‌شده در مراکز جمع‌آوری و ۳) ضایعات پرس‌شده در مراکز تولید محاسبه می‌شود.

$$khm_t = \sum_{p=1}^{P} \sum_{k=1}^{K} bnc_{pt}.\left(\frac{pnlf_{kpt} + pnlf_{kpt-1}}{2}\right) + \sum_{p=1}^{P} \sum_{k=1}^{K} bc_{pt}.\left(\frac{plf_{kpt} + plf_{kpt-1}}{2}\right) \quad (۱۴)$$

هزینه جمع‌آوری در مراکز جمع‌آوری که بخشی از هزینه‌های تهیه مواد اولیه است مطابق عبارت ۱۵، محاسبه می‌شود.

$$khj_t = \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{J}\sum_{k=1}^{K} vk_{pt}.pps_{kipt} \qquad (۱۵)$$

هزینه کل تولید، مطابق عبارت ۱۶ و بر اساس هزینه‌های متغیر تولید و نگهداری محصولات محاسبه می‌شود.

$$OCOP_t = \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I} vc_{pt}.fgp_{ipt} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I} ec_{pt}.(\frac{slf_{ipt} + slf_{ipt-1}}{2}) \qquad (۱۶)$$

هزینه توزیع نیز برابر است با میزان محصولات حمل‌شده به خرده‌فروشی‌ها ضرب‌در هزینه حمل هر واحد (عبارت ۱۷).

$$OCOD_t = \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{J}\sum_{j=1}^{J} fgs_{ijpt}.scf_{ijpt} \qquad (۱۷)$$

محدودیت‌های مدل. نخستین دسته از محدودیت‌ها مسئله مربوط به موجودی در بخش‌های مختلف زنجیره تأمین است. محدودیت‌های ۱۸ و ۱۹، به‌ترتیب مربوط به برقراری توازن موجودی مواد اولیه (ضایعات پرس شده) و محصولات در مراکز تولید و بازیافت هستند.

$$slpf_{ipt-1} + \sum_{k=1}^{K} pps_{kipt} - slpf_{ipt} = \frac{fgp_{ipt}}{(1 - dfr_p)} \quad \forall p, i, t \qquad (۱۸)$$

$$slf_{ipt-1} + fgp_{ipt} - slf_{ipt} = \sum_{j=1}^{J} fgs_{ijpt} \quad \forall p, i, t \qquad (۱۹)$$

محدودیت‌های ۲۰ و ۲۱، نمایانگر محدودیت توازن موجودی برای ضایعات پرس‌نشده و ضایعات پرس‌شده در مراکز جمع‌آوری است.

$$pnlf_{kpt-1} + \sum_{j=1}^{J} urs_{jkpt} - pnlf_{kpt} = \frac{pps_{kipt}}{(1 - dfrj_p)} \quad \forall p, k, t \qquad (۲۰)$$

$$plf_{kpt-1} + wpp_{kpt} - plf_{kpt} = \sum_{i=1}^{I} pps_{kipt} \qquad \forall p, i, t \qquad (۲۱)$$

محدودیت ۲۲، مربوط به ارضای تقاضای خرده‌فروشی‌ها در هر دوره است. محدودیت‌های ۲۳ تا ۲۶ نیز مربوط به رعایت ذخیره اطمینان موجودی ضایعات و محصول در مراحل مختلف در مراکز جمع‌آوری و تولید و بازیافت است.

$$\sum_{i=1}^{I} fgs_{ijpt} = d_{jpt} \qquad \forall p, j, t \qquad (۲۲)$$

$$plf_{kpt} \geq ssc_{pt} \qquad \forall p, k, t \qquad (۲۳)$$

$$pnlf_{kpt} \geq ssr_{pt} \qquad \forall p, k, t \qquad (۲۴)$$

$$slf_{ipt} \geq ssp_{pt} \qquad \forall p, i, t \qquad (۲۵)$$

$$slpf_{ipt} \geq ssa_{pt} \qquad \forall p, k, t \qquad (۲۶)$$

محدودیت‌های ۲۷ و ۲۸ مربوط به ظرفیت مراکز تولید و بازیافت و مراکز جمع‌آوری است.

$$fgp_{ipt} \geq mcap_{pit} \qquad \forall p, i, t \qquad (۲۷)$$

$$wpp_{kpt} \geq jcap_{pkt} \qquad \forall p, k, t \qquad (۲۸)$$

محدودیت‌های ۲۹ و ۳۰، به‌ترتیب نمایانگر محدودیت ظرفیت انبار در مراکز تولید و بازیافت و مراکز جمع‌آوری است. با توجه به اینکه مواد اولیه (ضایعات) و محصولات در یک مکان (سوله) انبارش می‌شوند، ظرفیت برای مجموع موجودی مواد اولیه و محصولات در نظر گرفته شده است.

$$\sum_{P=1}^{P} gv_p . slf_{ipt} + \sum_{P=1}^{P} rv_p . slpf_{ipt} \leq sc_i \qquad \forall i, t \qquad (۲۹)$$

$$\sum_{P=1}^{P} rs_p . pnlf_{kpt} + \sum_{P=1}^{P} rv_p . plf_{kpt} \leq sk_k \qquad \forall k, t \qquad (۳۰)$$

محدودیت ۳۱، نشان‌دهنده محدودیت مربوط به متغیرهای تصمیم است.

$$fgp_{ipt}, slfp_{ipt}, wpp_{kpt}, fgs_{ijpt}, ups_{jkpt}, pps_{kipt}, slf_{ipt}, plf_{kpt}, pnlf_{kpt} \geq 0 \quad \forall i,j,k,p,t \qquad (۳۱)$$

محدودیت‌های تعریف روابط مالی. میان متغیرهای مالی مسئله، روابطی منطقی حاکم است که از طریق محدودیت‌های زیر بیان می‌شوند. رابطه ۳۲، نشان‌دهنده محاسبه سود خالص پس از کسر مالیات است که بر اساس نرخ مالیات بر درآمد و سود مشمول مالیات محاسبه می‌شود.

$$NOIA_t = (1 - rt_t).OTI_t \quad \forall t \qquad (۳۲)$$

مطابق رابطه ۳۳، برای محاسبه سود عملیاتی در هر دوره، باید کل هزینه لجستیک (که پیش‌تر محاسبه شد) از میزان خالص فروش کسر شود.

$$OTI_t = NCS_t - TCOL_t \quad \forall t \qquad (۳۳)$$

رابطه ۳۴، نمایانگر رابطه میان کل بدهی‌ها، سرمایه و دارایی‌ها است که به آن «معادله اساسی حسابداری» می‌گویند. بر این اساس مجموع دارایی‌ها برابر با مجموع بدهی‌ها و حقوق صاحبان سهام است.

$$FA_t + CA_t = SHR_t + LPD_t + SPD_t \quad \forall t \qquad (۳۴)$$

دارایی‌های جاری عبارت است از: وجوه نقد، سرمایه‌گذاری‌های کوتاه‌مدت، حساب‌های دریافتنی، موجودی کالاها و پیش‌پرداخت‌های هزینه [۲۶] که مطابق مفروضات مسئله، سرمایه‌گذاری‌های کوتاه‌مدت و پیش‌پرداخت‌های هزینه در سازمان موردمطالعه وجود ندارد؛ بنابراین دارایی‌های جاری مطابق رابطه ۳۵، شامل پول نقد، حساب‌های دریافتنی و موجودی می‌شود.

$$CA_t = CSH_t + RA_t + SQV_t \quad \forall t \qquad (۳۵)$$

میزان پول نقد در انتهای دوره از رابطه ۳۶، به‌دست می‌آید. پول نقد در هر دوره شامل دو بخش است: بخش اول درصدی از سود پس از کسر مالیات همان دوره است که به‌صورت نقد

دریافت شده و بخش دوم، درصدی از فروش دوره قبل است که به‌صورت حساب‌های دریافتنی لحاظ شده و به دوره بعد منتقل شده است (مطابق یکی از مفروضات مسئله، حساب‌های دریافتنی هر دوره در دوره آتی تبدیل به پول نقد می‌شود)؛ البته میزان سرمایه‌گذاری صورت‌گرفته در آن دوره باید از مقدار محاسبه‌شده کسر شود.

$$CSH_t = CR_t.NOIA_t + RA_{t-1} - FAI_t \qquad \forall t \qquad (۳۶)$$

حساب‌های دریافتنی طی هر دوره نیز از رابطه ۳۷، به‌دست می‌آید. بر این اساس حساب‌های دریافتنی در انتهای هر دوره عبارت است از: درصدی از سود پس از کسر مالیات که به‌صورت غیرنقدی است و در نرخ بهره حساب‌های دریافتنی ضرب شده است.

$$RA_t = (1 - CR_t).(1 + IRPA_t).NOIA_t \qquad \forall t \qquad (۳۷)$$

سومین بخش از دارایی‌های جاری در هر دوره ارزش موجودی‌ها در شبکه است که مطابق رابطه ۳۸، محاسبه می‌شو.

$$SQV_t = \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I} vc_{pt}.slf_{ipt} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K} vk_{pt}.plf_{kpt} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{i=1}^{I} vk_{pt}.slfp_{ipt} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K} pc_{pt}.pnlf_{kpt} \qquad \forall t \qquad (۳۸)$$

میزان دارایی‌های ثابت در انتهای هر دوره، از مجموع سرمایه‌گذاری‌های صورت‌گرفته در زمینه دارایی‌های ثابت در دوره‌های قبل به‌دست می‌آید (رابطه ۳۹).

$$FA_t = \sum_{t=1}^{t} FAI_t \qquad \forall t \qquad (۳۹)$$

رابطه ۴۰، نشان‌دهنده نحوه محاسبه حقوق صاحبان سهام است.

$$SHR_t = NMS_t \qquad \forall t \qquad (۴۰)$$

حدود نسبت‌های مالی. آخرین بخش از روابط و محدودیت‌ها مربوط به تعیین حدود مطلوب برای نسبت‌های مالی است. نخستین نسبت عبارت است از: نسبت آنی که نمایانگر توانایی شرکت در پرداخت بدهی‌های کوتاه‌مدت است. برای محاسبه این نسبت، ارزش موجودی از ارزش دارایی‌های جاری کسر شده و بر میزان بدهی‌ها کوتاه‌مدت تقسیم می‌شود. هرچقدر این نسبت بیشتر باشد، نمایانگر توانایی بیشتر شرکت در پرداخت بدهی‌های کوتاه‌مدت است.

$$\frac{CA_t - SQV_t}{SPD_t} - d_{4t}^{+} + d_{4t}^{-} = QR_t \qquad \forall t \qquad (۴۱)$$

در رابطه ۴۲، حد بالای نسبت بدهی به دارایی‌ها محاسبه می‌شود. برای محاسبه این نسبت میزان کل بدهی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت به میزان کل دارایی‌ها تقسیم می‌شود. بالارفتن بیش‌ازحد این نسبت نشان‌دهنده ریسک بالا در میزان بدهی‌های شرکت است.

$$\frac{SPD_t + LPD_t}{FA_t + CA_t} - d_{5t}^{+} + d_{5t}^{-} = TDR_t \qquad \forall t \qquad (۴۲)$$

نرخ بازگشت دارایی‌ها نشان می‌دهد که شرکت به ازای هر واحد دارایی چه میزان سود خالص به‌دست می‌آورد. رابطه ۴۳، این نسبت را نشان می‌دهد.

$$\frac{NOIA_t}{FA_t + CA_t} - d_{6t}^{+} + d_{6t}^{-} = ROAR_t \qquad \forall t \qquad (۴۳)$$

آخرین نسبت عبارت است از نرخ بازگشت حقوق صاحبان سهام. بر این اساس میزان سود پس از مالیات بر حقوق صاحبان سهام تقسیم می‌شود. این نسبت مشخص می‌کند صاحبان سهام به‌ازای هر واحد از سرمایه‌گذاری خود چه میزان سود کسب می‌کنند.

$$\frac{NOIA_t}{SHR_t} - d_{7t}^{+} + d_{7t}^{-} = ROER_t \qquad \forall t \qquad (۴۴)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

مدل ارائه‌شده در بخش قبل در یک مورد واقعی در صنعت پلاستیک به‌کارگیری شده است. ساختار زنجیره تأمین موردمطالعه مطابق شکل ۱، و ابعاد آن مطابق جدول ۱، است. پارامترهای مسئله بر اساس اطلاعات واقعی موردمطالعه تنظیم شده‌اند. برنامه‌ریزی در ۴ دوره سه‌ماهه

صورت گرفته است تا کل دوره برنامه‌ریزی یک‌ساله باشد. مدل ریاضی تدوین‌شده در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS کدنویسی و با حل‌کننده CPLEX حل شده است.

جدول ۱. ابعاد مسئله

	تعداد محصول	تعداد مراکز تولید و بازیافت	تعداد مراکز جمع‌آوری	تعداد مشتریان	تعداد دوره‌ها
موردمطالعه	۲	۵	۵	۲۰	۴

جدول ۲، نشان‌دهنده حد مطلوب برای ابعاد عملکردی توسعه پایدار و نسبت‌های مالی است.

جدول ۲. حد مطلوب ابعاد عملکردی

متغیر مبین عملکرد	حد مطلوب	وزن اهمیت پارامتر
حد پایین درآمد	۲۰۰۰۰۰۰۰۰	۰/۲
حد بالای تأثیر زیست‌محیطی	۱۲۰۰۰۰۰۰	۰/۱
حداکثر تأثیر اجتماعی	۳۵۰۰۰۰۰۰	۰/۱۵
حد پایین نسبت آنی	۱	۰/۱
حد بالای نسبت بدهی به دارایی	۰/۶	۰/۱
حد پایین نرخ بازگشت دارایی	۰/۰۴	۰/۱۵
حد پایین نسبت بازگشت حقوق صاحبان سهام	۰/۱	۰/۲

در پژوهش حاضر، سه بُعد عملکرد در توسعه پایدار به همراه چهار شاخص مالی، در یک هدف با رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی وزنی مدل‌سازی شده‌اند. برنامه‌ریزی آرمانی وزنی، این فرصت را در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد تا با تغییر وزن اهمیت آرمان‌ها، تصمیم‌های مختلفی اتخاذ کرده و تأثیر تغییر اهمیت آرمان‌ها را مشاهده کند. پژوهش حاضر همچنین بر اساس اطلاعات یک نمونه واقعی مدل‌سازی و حل شده است.

جدول ۳، نتایج مدل را به‌صورت خلاصه نمایش می‌دهد. نتایج این جدول بر اساس وزن اهمیت‌های نشان‌داده‌شده در جدول ۲، است. نکته قابل‌ذکر این است که نتایج بر اساس مجموع نتایج چهار دوره بیان می‌شود. با توجه به جدول ۲، درآمد به‌دست‌آمده از حداقل موردانتظار بیشتر است و انحراف از آرمان اقتصادی به سمت ایده‌آل است. در بُعد اجتماعی نیز انحراف به سمت ایده‌آل است؛ اما تأثیرات زیست‌محیطی از حد مجاز بیشتر شده است. این موضوع به علت وزن اهمیت پایین بُعد زیست‌محیطی است. در میان شاخص‌های مالی، تنها نسبت آنی است که انحراف آن به سمت ایده‌آل نیست؛ زیرا نسبت آنی نیز دارای وزن اهمیت پایینی است.

جدول ۳. نتایج

متغیر مبین عملکرد	مقدار خروجی مدل	d_{nt}^{+}	d_{nt}^{-}
درآمد	۲۱۳۴۲۵۷۸۱۳	۱۳۴۲۵۷۸۱۳	۰
تأثیر زیست‌محیطی	۱۳۱۲۴۶۲۴	۱۱۲۴۶۲۴	۰
تأثیر اجتماعی	۳۴۲۵۷۵۴۳۲	۰	۷۴۲۴۵۶۸
نسبت آنی	۰/۹۹۵	۰	۰/۰۰۵
نسبت بدهی به دارایی	۰/۵۳۵	۰	۰/۰۶۵
نرخ بازگشت دارایی	۰/۰۵۵	۰/۰۱۵	۰
نسبت بازگشت حقوق صاحبان سهام	۰/۱۱۸	۰/۰۱۸	۰

در پژوهش کلانتری و همکاران (۱۳۹۴)، برای درنظرگرفتن نسبت‌های مالی، یک هدف با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی تدوین شده است و در این هدف، حداقل انحراف هفت نسبت مالی از حد مطلوب موردنظر قرار گرفته‌اند [۱۴]. هدف دیگر تدوین‌شده در پژوهش یادشده مربوط به بیشینه‌سازی درآمد است و درمجموع مدل این پژوهشگران به‌صورت چندهدفه تدوین شده است. در پژوهش لانجینیدیس و جورجیادیس (۲۰۱۱)، نسبت‌های مالی به‌عنوان محدودیت در مدل در نظر گرفته‌شده‌اند تا از اهمیت بیشتری نسبت به سودآوری برخوردار باشند [۱۶].

تفاوت مدل مالی و غیر مالی. برای بررسی تأثیر یکپارچگی جریان مالی ـ فیزیکی، در این بخش از پژوهش بر روی آرمان‌های مربوط به جریان مالی، تحلیل حساسیت صورت گرفته است؛ بر این اساس وزن اهمیت آرمان‌های مالی صفر قرار داده شده و مدل تنها با سه آرمان اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی و به همان نسبت قبلی (نرمالایز شده) حل شده است. نتایج این تحلیل حساسیت را می‌توان در جدول ۴، مشاهده کرد.

جدول ۴. مقایسه مدل مالی و غیرمالی

متغیر مبین عملکرد	مقدار خروجی مدل مالی	مقدار خروجی مدل غیرمالی
درآمد	۲۱۳۴۲۵۷۸۱۳	۲۰۰۳۵۱۷۳۱۷
تأثیر زیست‌محیطی	۱۳۱۲۴۶۲۴	۱۲۲۱۶۱۵۹
تأثیر اجتماعی	۳۴۲۵۷۵۴۳۲	۳۳۵۸۳۲۱۹۰
نسبت آنی	۰/۹۹۵	۰/۸۳
نسبت بدهی به دارایی	۰/۵۳۵	۰/۶۹
نرخ بازگشت دارایی	۰/۰۵۵	۰/۰۴۸
نسبت بازگشت حقوق صاحبان سهام	۰/۱۱۸	۰/۱۰۱

مطابق یافته‌ها، حذف آرمان‌های مربوط به شاخص‌های مالی به کاهش درآمد و دورشدن شاخص‌های مالی از میزان ایده‌آل منجر می‌شود؛ اما در عملکرد زیست‌محیطی و اجتماعی مدل می‌توان بهبود را مشاهده کرد. با توجه به جدول ۴، حذف آرمان‌های مالی ۶ درصد کاهش درآمد، ۷ درصد کاهش تأثیرات زیست‌محیطی و ۲ درصد کاهش تأثیرات اجتماعی را در پی داشته است. بررسی تغییرات هر چهار شاخص مالی نشان از دورشدن این شاخص‌ها از حد ایده‌آل دارد. با توجه به حرکت عملکرد زیست‌محیطی و اجتماعی به سمت ایده‌آل و دورشدن عملکرد درآمدی از حد ایده‌آل می‌توان اذعان داشت که درنظرگرفتن شاخص‌های مالی کنترل عملکرد درآمدی را به‌دنبال دارد و با حذف شاخص‌ها، با وجود حفظ نسبت اهمیت سه آرمان درآمدی، زیست‌محیطی و اجتماعی، میزان درآمد کاهش داشته است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی اصلی برای زنجیره تأمین پایدار به‌صورت چندمحصوله و چنددوره‌ای در صنعت پلاستیک با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی ارائه شد. اهداف مدل ارائه‌شده عبارت‌اند از: بیشینه‌سازی درآمد، کمینه‌سازی تأثیرات منفی زیست‌محیطی و اجتماعی، بهینه‌سازی نسبت آنی و نسبت بدهی به دارایی و همچنین بیشینه‌سازی نرخ بازگشت دارایی‌ها و نرخ بازگشت حقوق صاحبان سهام. بر اساس چارچوب برنامه‌ریزی آرمانی، برای هر یک از اهداف بالا حد مطلوبی در نظر گرفته شده و در تابع هدف نهایی مدل، میزان انحراف از مقادیر مطلوب کمینه شده است.

تصمیم‌های فیزیکی اخذشده شامل میزان جریان مستقیم و معکوس مواد میان تسهیلات تولیدی و جمع‌آوری و مشتریان می‌شود. متعاقب تصمیم‌گیری در زمینه جریان فیزیکی، خروجی‌های مالی مدل تعیین می‌شود و با توجه به اینکه خروجی‌های مالی مدل در تابع هدف مدنظر قرار گرفته‌اند، حد ایده‌آل شاخص‌های مالی بر تصمیم‌های فیزیکی تأثیر می‌گذارد.

بررسی و تحلیل نتایج حاکی از آن است که درنظرگرفتن اهداف و شاخص‌های مالی به بهبود سودآوری منجر می‌شود و با حذف شاخص‌های مالی از مدل، سودآوری کاهش می‌یابد. کاهش سودآوری در مدل برنامه‌ریزی اصلی زنجیره تأمین پایدار ارائه‌شده به معنای بهبود عملکرد زیست‌محیطی و اجتماعی زنجیره تأمین است. بر این اساس می‌توان بیان کرد که تأثیر یکپارچگی مالی و فیزیکی تنها به ابعاد اقتصادی زنجیره تأمین محدود می‌شود و ابعاد زیست‌محیطی و اجتماعی زنجیره از درنظرگرفتن شاخص‌های مالی تأثیر منفی می‌پذیرند؛ بنابراین ملاحظه ابعاد مالی برای شرایطی توصیه می‌شود که اهداف اقتصادی در اولویت تصمیم‌گیران باشد.

در میان شاخص‌های مالی، مهم‌ترین شاخصی که مدنظر سهامداران و تصمیم‌گیرندگان اصلی در هر سازمان انتفاعی است نسبت بازگشت حقوق صاحبان سهام است که در مدل مالی ۰/۱۱۸ و در مدل غیرمالی ۰/۱۰۱ است و به‌طور تقریبی ۱۰ درصد افزایش در مدل مالی را نشان می‌دهد که می‌تواند رقم قابل‌توجهی باشد. دو شاخص نسبت آنی و نسبت بدهی به دارایی نیز در مدل مالی تفاوت زیادی با مدل غیرمالی دارند و هر دو شاخص به سمت کاهش ریسک حرکت کرده‌اند. بدین‌صورت که نسبت آنی که افزایش آن نشان‌دهنده کاهش ریسک عدم‌پرداخت بدهی‌ها در کوتاه‌مدت است از ۰/۸۳ به ۰/۹۹۵ افزایش داشته است و نسبت بدهی به دارایی که افزایش آن به افزایش ریسک عدم پرداخت بدهی‌ها منجر می‌شود در مدل مالی ۰/۵۳۵ و در مدل غیرمالی ۰/۶۹ است. تغییرات سه شاخص فوق‌الذکر نشان می‌دهد که افزایش بازگشت حقوق صاحبان سهام نه‌تنها با ریسک همراه نیست؛ بلکه ریسک عدم‌پرداخت بدهی‌ها در کوتاه‌مدت و بلندمدت کاهش داشته است که این امر شرایطی ایده‌آل برای سرمایه‌گذار را فراهم می‌آورد.

برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود پژوهشگران شرایط عدم‌قطعیت پارامترهایی مانند تقاضا، تولید و بازگشت ضایعات توسط مشتریان را در مدل در نظر بگیرند؛ به‌علاوه مدل ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی اصلی زنجیره تأمین پایدار در صنایع دیگر قرار گیرد و نیازهای و اقتضائات صنایع دیگر در مدل لحاظ شده و تأثیرات آن بر مدل بررسی شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

1. Akgul, O., Shah, N., & Papageorgiou, L. G. (2012). An optimisation framework for a hybrid first/second generation bioethanol supply chain. *Computers & Chemical Engineering*, *42*, 101-114.

2. Amoozad Mahdirji, H., Mokhtarzadeh, N., & Radmand, S. (2017). Fazzy grey goal programming model for balancing time, cost, risk and quality of project. *Journal of Industrial Management Perspective, 27,* 47-80 (In Persian).

3. Beheshtifar, S., & Alimohammadi, A. (2015). A multiobjective optimization approach for location-allocation of clinics. *International Transactions in Operational Research, 22(2),* 313-328.

4. Boukherroub, T., Ruiz, A., Guinet, A., & Fondrevelle, J. (2015). An integrated approach for sustainable supply chain planning. *Computers and Operations Research*, 54, 180˚194. https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.09.002

5. C. Berger, G. Savard, A. W. (1999). An optimisation model for integrated regional solid waste management planning. *International Journal of Environment and Pollution* (IJEP), *12(2/3),* 280-307.

6. Carter, C. R., & Rogers, D. R. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 38(5),* 360-387.

7. Chaabane, A., Ramudhin, A., & Paquet, M. (2012). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics*, *135(1),* 37-49.

8. Devika, K., Jafarian, a., & Nourbakhsh, V. (2014). Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of metaheuristics hybridization techniques. *European Journal of Operational Research, 235(3),* 594-615.

9. Erkut E, Karagiannidis A, Perkoulidis G, T. S. (2008). A multicriteria facility location model for municipal solid waste management in North Greece. *European Journal of Operational Research*, *187(3),* 1402-1421.

10. Govindan, K., Jafarian, A., Khodaverdi, R., & Devika, K. (2014). Two-echelon multiple-vehicle location˚routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*, *152,* 9-28.

11. Guillén, G., Badell, M., Espuna, A., & Puigjaner, L. (2006). Simultaneous optimization of process operations and financial decisions to enhance the integrated planning/scheduling of chemical supply chains. *Computers & Chemical Engineering*, *30(3),* 421-436.

12. Guille´ n, G., Badell, M., & Puigjaner, L. (2007). Aholisticframeworkforshort-term supplychain management integrating production and corporate financial planning. *International Journal of Production Economics*, *106(1),* 288-306.

13. Hugo, A., Rutter, P., Pistikopoulos, S., Amorelli, A., & Zoia, G. (2005). Hydrogen infrastructure strategic planning using multi-objective optimization. *International Journal of Hydrogen Energy*, *30(15),* 1523-1524.

14. Kalantari, M., Pishvaee, M. S., & Yaghoubi, S. (2015). A multi-objective optimization model for integrating financial and physical flow in supply chain master planning. *Journal of Industrial Management Perspective, 19,* 9-31 (In Persian).

15. La .J.M, Guille, G, Badell, M, Espun, A, Puigjaner, L. (2007). Enhancing Corporate Value in the Optimal Design of Chemical Supply Chains. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *46(23)*, 7739-7757.

16. Longinidis, P., & Georgiadis, M. C. (2011). Integration of financial statement analysis in the optimal design of supply chain networks under demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, *129(2)*, 262-276.

17. Longinidis, P., & Georgiadis, M. C. (2013). Managing the trade-offs between financial performance and credit solvency in the optimal design of supply chain networks under economic uncertainty. *Computers and Chemical Engineering*, *48*, 264-279.

18. Mohammadi, A., Khalifeh, M., Abbasi, A., Ali Mohammadloo, M., & Eghtesadifard, M. (2017). Supply chain design and integrating financial and operational approaches. *Journal of Industrial Management Perspective*, *26*, 139-168 (In Persian).

19. Mota, B., Gomes, M. I., Carvalho, A., & Barbosa-Povoana, P. (2014). Towards supply chain sustainability: economic, environmental and social design and planning. *Journal of Cleaner Production*, *105*, 14-27.

20. Neto, J. Q. F., Nunen, J. A. E. E. Van, & Heck, H. W. G. M. Van. (2008). Designing and Evaluating Sustainable Logistics Networks. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 195-208.

21. Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., & Ziegler, H.-P. (2012). A multi-stage stochastic supply network design problem with financial decisions and risk management. *Omega*, *40(5)*, 511-524.

22. Rushinek, A., & Rushinek, S. F. (1987). Using financial ratios to predict insolvency. *Journal of Business Research*, *15(1)*, 93-100.

23. Santibañez-Aguilar, J. E., González-Campos, J. B., Ponce-Ortega, J. M., Serna-González, M., & El-Halwagi, M. M. (2014). Optimal planning and site selection for distributed multiproduct biorefineries involving economic, environmental and social objectives. *Journal of Cleaner Production*, *65*, 270-294.

24. Shapiro, J. F. (2004). Challenges of strategic supply chain planning and modeling. *Computers & Chemical Engineering*, *28(6)*, 855-861.

25. Stadtler, H., & Kilger, C. (2005). Supply chain management and advance planning (3rd ed.). *Springer*.

26. Tehran stock exchange. (2011). Investing in stock exchange. *Tehran stock exchange* (In Persian).

27. VafaArani, H., & Torabi, S.A. (2018). Integrated material-financial supply chain master planning under mixed uncertainty. *Information Sciences*, *423*, 96-114.

28. You, F., Tao, L., Graziano, D., & Synder, S. W. (2012). Optimal design of sustainable cellulosic biofuel supply chains: Multiobjective optimization coupled with life cycle assessment and input˚output analysis. *AIChE Journal*, *58(4)*, 115-1180.