

مدیریت زنجیره تأمین پایدار و مدل تصمیم‌گیری راهبردی با توجه به

هزینه‌های اجتماعی ناشی از آلودگی محیط‌زیست

محمد فلاح^{۱*}، عذرا قبادی^۲

۱. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد تهران مرکز

۲. دانشجوی دکتری گروه صنایع دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز

(تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۱۸، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۸/۰۳/۲۲، تاریخ تصویب: ۹۸/۰۳/۲۹)

چکیده

مقاله پیش‌رو یک مدل تصمیم‌گیری راهبردی را با توجه به هزینه‌های اجتماعی آلودگی محیط‌زیست ناشی از عملیات تولید و توزیع در شبکه زنجیره تأمین مورد نظر برای مدیریت زنجیره تأمین پایدار ارائه می‌دهد. مدیریت پایدار به کمتر شدن ریسک‌های زیست‌محیطی و اجتماعی در کسب‌وکار اطلاق می‌شود. این مدل به منظور ارزیابی هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن بر هزینه‌های عملیاتی تحت سناریوهای مختلف در یک شبکه زنجیره تأمین تولید مواد لبنی بررسی می‌کند. براساس نتایج، میزان کم انتشار دی‌اکسیدکربن به دلیل بالا بودن نرخ هزینه اجتماعی آن‌هاست. همچنین قوانینی که شرکت‌ها را مجبور به تحمل هزینه‌های اجتماعی آلودگی‌های محیط زیستی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی خود می‌کند، روشی مؤثر برای کاهش انتشار آلودگی خواهد بود. باید توجه داشت که کل انتشار گاز دی‌اکسیدکربن با افزایش نرخ هزینه‌های اجتماعی انتشار این گاز کاهش می‌یابد. اگر شرکت‌ها مجبور به پرداخت هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از عملیات شبکه‌های زنجیره تأمین خود باشند، تصمیم‌گیرندگان این شرکت‌ها راهبردهایی بهینه برای مبادلات میان هزینه‌های عملیاتی و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را ایجاد خواهند کرد؛ بنابراین تصمیم‌گیرندگان شرکت‌ها کارخانه‌هایی را انتخاب خواهند کرد که گاز دی‌اکسیدکربن کمتری منتشر می‌کنند؛ حتی اگر این کارخانه‌ها هزینه‌های بالاتری برای تولید داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: آلودگی محیط‌زیست، تصمیم‌گیری راهبردی، مدیریت زنجیره تأمین پایدار.

مقدمه

تولیدات و ارائه خدمات در طول زنجیره مشخص می‌شود. اثر آلودگی هوا بر اقتصاد، تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم ناشی از سلامت افراد و مسائل زیست‌محیطی را در برمی‌گیرد. کاهش آلودگی هوا می‌تواند منافع فراوانی برای بهبود زندگی اجتماعی - اقتصادی ساکنان تهران داشته باشد. این کاهش در میزان بیماری و مرگ‌ومیر، منافع اجتماعی مستقیمی دارد به‌علاوه هزینه‌های درمانی نیز کاهش می‌یابد، همچنین بهره‌وری صنایع مشغول به کار در تهران را افزایش می‌دهد. مطالعات متعددی در داخل کشور به‌منظور ارزش‌گذاری خسارت‌های آلودگی هوا صورت گرفته است که بیشتر آن‌ها هزینه‌های درمان بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا را زیان‌های اقتصادی آلودگی هوا می‌دانند. هزینه‌های هتلینگ، دارو و تجهیزات پزشکی، بیمه و... شامل این هزینه‌هاست. نکته مهم این است که هزینه‌های مذکور تنها هزینه‌های مستقیم و قابل مشاهده برای بیماری‌های حاد است؛ درحالی‌که بسیاری از بیماری‌های حاصل از آلودگی هوا، مزمن و با

موفقیت طولانی و شهرت شرکت‌ها به عملکرد اجتماعی و زیست‌محیطی آن‌ها وابسته است. در ادبیات زنجیره تأمین، مفاهیم مدیریت زنجیره تأمین پایدار^۱ و مدیریت زنجیره تأمین سبز^۲ معمولاً به جای یکدیگر به کار می‌روند. این دو مفهوم کمی با یکدیگر متفاوت‌اند. مدیریت زنجیره تأمین پایدار دربرگیرنده ابعاد اقتصادی، پایداری اجتماعی و زیست‌محیطی است؛ بنابراین مفهوم آن وسیع‌تر از مدیریت زنجیره تأمین سبز است. مدیریت زنجیره تأمین سبز نیز بخشی از مدیریت زنجیره تأمین پایدار به‌شمار می‌آید. در چند سال اخیر، ظهور فناوری‌های نوین و تحولات عظیم در بازارهای جهانی، لزوم توجه به مدیریت زنجیره تأمین پایدار را بیش‌ازپیش ضروری کرده است؛ به‌طوری‌که سازمان‌های مختلف برای ایجاد، حفظ موقعیت و جایگاه رقابتی خود، ناگزیر به استفاده از تئوری‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار هستند. توسعه پایدار تولیدات براساس روابط اجتماعی، محیط‌زیستی و اقتصادی است که تأثیرات آن بر

که در فرایند آن، ارضای نیازهای نسل حاضر، توانایی نسل‌های آینده برای ارضای نیازهای خود را از بین نمی‌برد. در گزارش کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه نیز در سال ۱۹۸۷ شروط لازم برای توسعه پایدار شامل موارد زیر است:

- ❖ نظام سیاسی که مشارکت مؤثر شهروندان را در تصمیم‌گیری تضمین می‌کند؛
- ❖ نظام اقتصادی که برای تنش‌های ناشی از توسعه ناهمگون راه‌حل‌های مناسب ارائه می‌دهد؛
- ❖ نظام تولیدی که الزامات حفاظت از محیط‌زیست را بنیاد توسعه واقعی می‌شمارد؛
- ❖ نظام فنی که الگوهای پایدار مبادله و سرمایه‌گذاری مناسب توسعه پایدار را آماده می‌کند؛
- ❖ نظام بین‌المللی که از الگوهای پایدار مبادله و سرمایه‌گذاری حمایت می‌کند؛
- ❖ نظام اداری که منعطف است و برای تصحیح خود ظرفیت لازم را دارد.

کارتز و راجرز [۴] مدیریت زنجیره تأمین پایدار را این‌گونه تعریف کرده‌اند: «یکپارچه کردن استراتژیک و شفاف کردن اهداف سازمانی در حوزه‌های اجتماعی، محیط‌زیست و اقتصادی و دستیابی به آن‌ها در یک همکاری و هماهنگی سیستماتیک در فرایندهای کلیدی بین سازمانی به‌منظور بهبود عملکرد بلندمدت اقتصادی شرکت و زنجیره تأمین». آن‌ها چارچوب مفهومی جامع را برای مدیریت زنجیره تأمین پایدار ارائه دادند. علاوه‌بر سه بعد اصلی پایداری ابعاد اقتصاد، محیط‌زیست و اجتماع که بیشتر به توضیح مبسوط آن‌ها پرداختیم، چهار جنبه دیگر راهبرد، مدیریت و عدم قطعیت، شفافیت و فرهنگ سازمانی نقش حمایت‌کننده از سه مفهوم اصلی پایداری را ایفا می‌کنند.

پایداری و راهبرد سازمانی نباید به‌صورت دو برنامه جدا از هم حرکت کنند. همچنین نباید پایداری را برنامه جنبی و فرعی دانست، بلکه باید با راهبردهای اصلی سازمان و زنجیره تأمین یکپارچه باشد. اهمیت یکپارچگی راهبردی با مفهوم پایداری سبب شده است که شرکت‌های موفق مانده نایک راهبردهای اصلی سازمان خود را طوری تدوین کنند که پایداری رکن اصلی آن‌ها باشد. براین‌اساس، علاوه‌بر راهبردهای سازمانی، راهبردهای زنجیره تأمین که بیشتر در

تأثیرات بلندمدت هستند که نمی‌توان هزینه‌های آن‌ها را به‌راحتی سنجش و اندازه‌گیری کرد. از سوی دیگر، آلودگی هوا نه‌تنها بر سلامت انسان‌ها اثرگذار است، بلکه بر سلامت دام و طیور، گیاهان و محصولات کشاورزی نیز تأثیرگذار خواهد بود. به نظر می‌رسد برآورد هزینه‌های ناشی از این مسئله نیز به بررسی و تأمل بیشتری نیاز دارد.

خسارت‌های محتمل آلودگی هوای تهران، به‌ویژه ریزگردها بر مستهلک‌شدن بناها و ماشین‌آلات تأثیرگذار است. در صورت تسریع روند استهلاک بناها و ماشین‌آلات و نیز اختلال در فعالیت ماشین‌آلات، خسارت‌های آلودگی بیش از آنچه تخمین زده شده است خواهد بود. کاهش آلودگی هوا از پتانسیل ارتقای بی‌واسطه بهره‌وری در صنایع جنگلداری، کشاورزی، ماهیگیری و گردشگری از طریق کاهش خسارات وارده به این صنایع برخوردار است. این هزینه‌ها را که تولیدکنندگان و دولت با آن از طریق مالیات و قیمت‌ها مواجه هستند، ساکنان شهرهای بزرگ پرداخت می‌کنند.

هرچند ممکن است هزینه‌های کاهش آلودگی هوا زیاد باشد، مطالعات اخیر هزینه-فایده درمورد کاهش آلودگی هوا نشان می‌دهد در سطوحی از آلودگی، منافع بالقوه کاهش آلودگی هوا برای مردم بسیار بیشتر از هزینه‌های کاهش آن است.

از دیدگاه اشتنزلر و همکاران [۱۹] مدیریت زنجیره تأمین در سه سطح بررسی می‌شود:

۱. سطح کلان: شامل چشم‌اندازها و اهداف بنیادی زنجیره تأمین، و درواقع چارچوب مدیریت راهبردی زنجیره تأمین است.

۲. سطح راهبردی: مدیریت راهبردی زنجیره تأمین به‌کمک توانمندکردن زنجیره تأمین، به‌دنبال حمایت راهبردهای رقابتی سازمان است.

۳. سطح عملیاتی: راهبردهای زنجیره تأمین را به‌کار می‌گیرد و شامل برنامه‌ریزی کنترل و اجرای فرایندهاست.

جریان صنعتی شدن و پیشرفت، هزینه‌های سنگینی به جامعه بشری تحمیل کرده است که مصرف منابع تجدیدناپذیر و آلودگی محیط‌زیست از جمله این هزینه‌هاست. در سال ۱۹۸۷، کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه (WCED)^۳ توسعه‌ای را پایدار نامید

آلوز و همکاران [۱] روش طراحی پایدار را برای به‌کارگیری مواد سبز در روش طراحی محصول توسعه داده‌اند. زو و همکاران [۲۵] نیز از پژوهش‌های تجربی برای بررسی این موضوع استفاده کردند که آیا انواع شرکت‌های تولیدی با همکاری زنجیره تأمین با گرایش زیست‌محیطی (ESCC) وجود دارند. بای و سرکیس [۲] رویکرد چندمرحله‌ای چندروشی را با توجه به عوامل اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی برای انتخاب تأمین‌کننده پایدار ارائه کردند. منسینی و همکاران [۱۴]

از روش MIPS (ورودی ماده در هر واحد خدمات) برای ارزیابی پایداری در امتداد زنجیره تأمین سه ماده غذایی ایتالیایی استفاده کردند. لئو و همکاران [۱۳] نیز مدل ادغام مرکز و انشعاب جدید را برای ادغام بازاریابی سبز و مدیریت زنجیره تأمین پایدار از شش بعد محصول، تبلیغات، برنامه‌ریزی، فرایند، مردم و پروژه ارائه کردند. کانیا تو و همکاران [۳] از روش مطالعه موردی متعدد برای تجزیه و تحلیل انواع شرکت‌هایی که به مسئله پایداری محیط زیست می‌پردازند استفاده کردند. گویندان و همکاران [۸] رویکرد چندمعیاره فازی را برای اندازه‌گیری عملکرد پایداری یک تأمین‌کننده براساس رویکرد خط پایین سه‌گانه اعمال کردند. منزینی و اکورسی [۱۵] رویکرد یکپارچه در کنترل کیفیت، ایمنی، پایداری و بهره‌وری لجستیک مواد غذایی و فرایندها را در طول کل زنجیره تأمین مواد غذایی، از مزرعه تا چنگال هم‌زمان ارائه کردند. شاوردی و همکاران [۲۰] رویکرد AHP فازی را برای ارزیابی مدیریت پایداری زنجیره تأمین در صنعت چاپ و نشر اعمال کردند.

در سال‌های اخیر، مطالعات گوناگونی به موضوع انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در مدیریت زنجیره تأمین پرداخته‌اند؛ برای مثال، ساندارکانی و همکاران [۲۳] از مدل‌های حمل‌ونقل اوپلری و لاگرانژی به‌منظور برآورد میزان انتشار کربن در سراسر زنجیره تأمین، از جمله انتشار ناشی از پردازش مواد، تولید، انبارداری، تدارکات درونی و تدارکات خروجی استفاده کردند. همچنین پیشنهاد دادند که انتشار کربن در مراحل زنجیره تأمین می‌تواند تهدیدی مهم باشد که نیازمند توجه دقیق در مرحله طراحی زنجیره تأمین است. لی [۱۱] نیز انتشار کربن را شاخصی برای مدیریت زنجیره تأمین خودرو دانست. چابین و همکاران [۵] مدلی

مهم‌ترین تصمیم راهبردی زنجیره طراحی شبکه زنجیره تأمین ظهور می‌یابد، از اهمیت بسیاری برخوردار است. سرورف [۲۱] قوانین زیست‌محیطی در حال رشد، فشارهای دولت، گواهینامه‌های استانداردهای بین‌المللی مثل ایزو ۱۴۰۰۱ (ISO) تغییر تقاضای مشتریان و درک مدیران از اینکه آلودگی نوعی هدررفت محسوب می‌شود را از دلایل عمده قلمداد کرد که بنگاه‌ها به‌موجب آن‌ها باید سیاست‌های زیست‌محیطی جدیدی را همگرا با قوانین توسعه دهند.

پیشینه پژوهش

در این بخش، نویسندگان ادبیات مربوط به مدیریت زنجیره تأمین پایدار (SSCM)^۴ و برآورد هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن (CO₂) را مرور کردند. همچنین به دنبال نشان دادن اهمیت ترکیب مدیریت زنجیره تأمین پایدار با هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن هستند.

مدیریت زنجیره تأمین پایدار

ادبیات موضوع در مورد مدیریت زنجیره تأمین، تمرکز بسیاری در مورد مسائل مربوط به پایداری دارد که دولت‌ها و سازمان‌های انتفاعی و غیرانتفاعی در دهه‌های گذشته آغاز کرده‌اند. مدیریت زنجیره تأمین پایدار، ادغام اهداف زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در هماهنگی سیستماتیک فرایندهای کلیدی کسب‌وکار سازمانی برای بهبود عملکرد اقتصادی بلندمدت شرکت فردی و زنجیره‌ای به‌منظور توسعه پایدار محسوب می‌شود. مطالعات پیشین به پایداری در مدیریت زنجیره تأمین از دیدگاه‌های مختلف، از جمله طراحی محصول، خرید مواد، انتخاب تأمین‌کننده، تولید، بازاریابی، لجستیک معکوس، مدیریت مواد زائد و... پرداخته‌اند. زیدیسین و سیفرد [۲۶] بر خرید سبز برای پرداختن به مسئله پایداری در مدیریت زنجیره تأمین متمرکز شده‌اند. مایکلسن و همکاران [۱۶] بهره‌وری سازگار با محیط زیست را ابزاری برای سنجش پایداری زنجیره تأمین تولید مبلمان می‌دانند. از دیدگاه لیتون و همکاران [۱۲]، پایداری باید فرایندها و جریان‌هایی را که در هسته زنجیره تأمین وجود دارند با هم یکپارچه کند. این فرایندها شامل طراحی محصول، تولید، توزیع و محصولات در پایان و فرایندهای احیاست.

را برای طراحی زنجیره تأمین پایدار با طرح تجارت انتشار کربن پیشنهاد کردند. این طرح در اتحادیه اروپا استفاده شده، اما به دلیل کاستی‌های جدی خود در طراحی شکست خورده است. اعتبارات تولید گازهای گلخانه‌ای به صورت رایگان به‌عنوان تابعی از تولید گازهای گلخانه‌ای گذشته توزیع شد؛ با این حال چنین امتیازی به شرکت‌ها انگیزه‌ای برای انتشار بیشتر در طول سال‌های اولیه برنامه برای دریافت تخصیص بیشتر در آینده می‌دهد. علاوه‌براین بسیاری از شرکت‌های کشورهای اروپایی خطوط اصلی خود و منحنی‌های کاهش هزینه خود را تعیین می‌کنند؛ بنابراین بیشتر شرکت‌ها به تجدیدنظر در برآورد خود به سمت بالا برای دستیابی به کمک‌هزینه سخاوتمندانه‌تر تمایل دارند.

در مقایسه با طرح تجاری انتشار، مالیات بر کربن شفاف‌تر و قابل‌مشاهده‌تر است. در نتیجه فرار یا جلوگیری از آن سخت‌تر است. مالیات کربن بهینه با هزینه‌های اجتماعی انتشار کربن برابر است؛ بنابراین در این مطالعه، نویسندگان یک مدل ریاضی را به کمک یکپارچه‌سازی هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در مدیریت زنجیره تأمین به‌منظور کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن برای پایداری توسعه دادند. در حوزه زنجیره تأمین مطالعات زیادی انجام شد که می‌توان به اکبری و همکاران (۱۳۹۵)، بابازاده (۱۳۹۷) و قسمتی و همکاران (۱۳۹۵) اشاره کرد.

هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن

کاپ [۱۰] هزینه‌های اجتماعی را تمام زیان‌های مستقیم و غیرمستقیم پایدار شده توسط اشخاص ثالث یا عموم مردم می‌داند که در نتیجه فعالیت‌های اقتصادی بی‌دروپیکر شکل گرفته است. این زیان‌های اجتماعی ممکن است به صورت خسارت به سلامت انسان، نابودی ارزش‌ها و تهی شدن زودرس اکوسیستم باشند. هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را می‌توان به‌عنوان ارزش پولی آسیب ناشی از انتشار یک تن اضافی از گاز دی‌اکسیدکربن در نقطه‌ای از زمان تعریف کرد.

با توجه به بسیاری از تأثیرات منفی در سیستم‌های فیزیکی، بیولوژیکی و انسانی ناشی از انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، در بیشتر مطالعات به برآورد هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن پرداخته شده و در آن‌ها یکی از دو روش جایگزین استفاده شده است. این

روش‌ها رویکرد تجزیه و تحلیل هزینه-فایده (CBA)^۷ و رویکرد هزینه نهایی (MC)^۸ هستند. براساس رویکرد تجزیه و تحلیل هزینه-فایده، هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به شکل سطح مالیات بر کربن لازم برای رسیدن به سطح مطلوب انتشار بیان شده است. در چارچوب هزینه-فایده، انتشار در سطح مطلوب خود قرار دارد که در آن هزینه‌های اجتماعی افزایشی کاهش یک تن تولید گازهای گلخانه‌ای با مزایای اجتماعی اضافی خسارات اجتناب‌شده برابر هستند. تجزیه و تحلیل هزینه-فایده مقدار بهینه کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را در نقطه‌ای تعیین می‌کند که در آن، هزینه‌های اجتماعی با هزینه‌های افزایشی کنترل انتشار برابر است. هرچه مقدار هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن بیشتر باشد، به کنترل بیشتری نیاز است. هرچه هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن بیشتر باشد، سرمایه‌گذاری در کاهش انتشار آن جذاب‌تر است. در مقابل رویکرد هزینه نهایی، برآورد هزینه‌های آسیب حاشیه‌ای گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن، آسیب ناشی از انتشار یک تن بیشتر گاز دی‌اکسیدکربن یا آسیب اجتناب‌شده با کاهش انتشار یک تن گاز دی‌اکسیدکربن است. بسیاری از مطالعات یا از رویکرد تجزیه و تحلیل هزینه-فایده یا هزینه نهایی به‌منظور برآورد هزینه‌های اجتماعی انتشار این گاز استفاده کردند؛ برای مثال، سلین [۶] از روش تجزیه و تحلیل هزینه-فایده برای برآورد هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن استفاده کرد در سال ۱۹۹۶، کار گروه IPCC III (هیئت بین‌دولتی تغییرات آب‌وهوا) نشان داد هزینه‌های اجتماعی گاز دی‌اکسیدکربن در بازه ۱/۶ دلار تا ۴۳/۶ دلار/تن CO₂ براساس قیمت‌های سال ۲۰۰۰ قرار دارد. استرن [۲۲] هزینه خسارت حاشیه‌ای انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و نتیجه‌ای حدود ۸۵ دلار/تن CO₂ را گزارش کرد.

تول [۲۴] با بررسی مطالعات قبلی، هزینه‌های اجتماعی انتشار کربن را محاسبه کرد و دریافت به‌طور متوسط هزینه، ۳۱ دلار/تن CO₂ می‌شود. هوپ [۹] نیز از مدل PAGE09 برای برآورد هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن استفاده کرد و دریافت به‌طور متوسط هزینه انتشار این گاز ۱۰۰ دلار/تن CO₂ است. اچارت و همکاران [۷] مطالعات قبلی را بررسی کردند و دریافتند هزینه‌های اجتماعی انتشار

غیررسمی است و موجب نابودی محیط‌زیست نمی‌شود. باید توجه داشت که بهره‌وری سبز بسیار بیشتر از تمام بهره‌وری مدیریت است. تولید سبز نیز به‌عنوان تولید پاک شناخته شده است. در مراحل مختلف توسعه یا در کشورهای مختلف، نام‌های تولید سبز متفاوت، اما معنای اصلی آن همان است. همچنین هدف از بازاریابی سبز هماهنگی میان اهداف توسعه اقتصاد، توسعه محیط‌زیست، توسعه اجتماعی و ارتقای ادراک توسعه پایدار کل است.

مصرف سبز یعنی تلاش در انتخاب محصول و خدمات سازگار با محیط‌زیست برای استفاده و مقابله با محصول زائدی که ممکن است برای محیط‌زیست مضر باشد. مطالعات حاکی از آن است که امروزه مدیریت محیطی با تأکید بر حفاظت از محیط‌زیست به یکی از مهم‌ترین مسائل مشتریان، سهامداران، دولت‌ها، کارکنان و رقبا تبدیل شده و فشارهای جهانی، سازمان‌ها را ملزم به تولید محصولات و خدمات سازگار با محیط‌زیست کرده است. بیشتر افراد تصور می‌کنند زنجیره تأمین سبز یعنی کاهش یا استفاده نکردن از مواد مضر شیمیایی. این تصور غلط است؛ زیرا زنجیره پا را فراتر از این مرحله گذاشته و تمام بخش‌های یک سازمان را مدنظر قرار می‌دهد. درواقع زنجیره تأمین سبز حاصل پیوند اهداف اقتصادی با اهداف زیست‌محیطی سازمان است.

مدیریت زنجیره تأمین سبز به‌دنبال تغییر مدل زنجیره خطی سنتی از تأمین‌کنندگان به کاربر است و سعی دارد اقتصاد بازیافت را به مدیریت زنجیره تأمین ملحق کند. با این کار می‌توان یک حلقه بسته با حالت زنجیره چرخه‌ای داشت. اگر شرکت از مدیریت زنجیره تأمین سبز استفاده کند، علاوه بر حل مشکلات محیط‌زیست به پیروزی نسبی در مزیت رقابتی نیز دست می‌یابد. علاوه بر این، اجرای مدیریت زنجیره تأمین سبز می‌تواند از موانع سبز در تجارت بین‌المللی اجتناب کند؛ بنابراین باید به‌سرعت به اجرای مدیریت زنجیره تأمین سبز برای به‌دست آوردن فرصت و مقابله با چالش‌ها و پیروزی حرکت کرد. بسیاری از شرکت‌های بزرگ خارجی مانند جنرال موتورز (GM)، هیولت پاکارد (HP)، پراکتر و گمبل (P&G) نایک (NIKE) و بسیاری از شرکت‌های دیگر، شهرت و تصویر نام تجاری خوبی برای محصول سبز به‌کمک پژوهش و اجرای مدیریت زنجیره تأمین سبز به‌دست آورده‌اند.

گاز دی‌اکسیدکربن حدود ۵ تا ۲۰۰ دلار/تن CO₂ است. محدوده گسترده نتایج برآوردشده برای هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن می‌تواند به‌دلیل وسعت عدم قطعیت تغییرات آینده آب‌وهوا، متغیرهای اقتصادی و اجتماعی آینده، پارامترهای اخلاقی خاص در هر مدل، نمایش‌های مختلف از چرخه کربن، تخمین‌های مختلف از نرخ گرم‌شدن کره زمین و... باشد. نویسندگان حاضر دریافتند نتایج برآورد نرخ هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به‌تدریج طی بررسی‌های ادبیات موضوع افزایش یافته است.

بیان مسئله

این مطالعه بر عملیات بهینه شبکه‌های تولید و عرضه توزیع زنجیره‌ای جهانی، با توجه به هر دو هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از عملیات چنین شبکه‌ای برای کاهش هزینه‌های کل تأکید دارد. این شبکه متشکل از تعدادی تأمین‌کنندگان مواد، کارخانه‌های تولیدی و مراکز توزیع است. در این مطالعه، نویسندگان فرض می‌کنند تأمین‌کنندگان مواد و مکان توزیع‌کنندگان از پیش مشخص است و کارخانه‌های فعال و ظرفیت‌های آن‌ها نیز شناخته شده است. علاوه بر این، فرض شده که تولید یک واحد از محصول به یک واحد از ظرفیت تولید بدون در نظر گرفتن نوع محصول نیاز دارد. برای هر تأمین‌کننده مواد، کارخانه و مرکز توزیع، تصمیم‌گیری باید درباره میزان مواد خریداری‌شده از هر تأمین‌کننده برای هر کارخانه، کل واحدهای محصولات که باید در هر کارخانه تولید شود و مقدار محصولات حمل‌شده از هر کارخانه به هر مرکز توزیع انجام شود.

هزینه‌های عملیاتی شامل هزینه‌های مرتبط با خرید مواد، تولید و حمل‌ونقل است. انتشار گاز دی‌اکسیدکربن نیز شامل انتشار ناشی از فرایند تولید و حمل‌ونقل است. تصمیمی که باید تعیین شود نیاز تقاضای هر توزیع‌کننده هدف به کاهش هزینه‌های کل با در نظر گرفتن هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن است.

طراحی سبز شرکت باید شرح کامل زیست‌محیطی، سلامت انسان و ایمنی محصول را در روند کسب مواد اولیه، تولید، توزیع در نظر بگیرد که هدف آن جلوگیری از آلودگی در منبع است. مواد سبز موادی است که منابع و انرژی کمتر مصرف می‌کند و سر و صدای کمتری دارد. همچنین

مدل مدیریت زنجیره تأمین پایدار و تشکیل مدل

نویسندگان مدل بهینه‌سازی غیرخطی عدد صحیح مختلط را برای ارائه راهنما به منظور مدیریت زنجیره تأمین پایدار به تصمیم‌گیرندگان شرکت‌ها توسعه داده‌اند و برای این منظور هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را در نظر گرفته‌اند.

الف) نمادها و تعاریف پارامتر

پیش از ارائه فرمول مدل، نمادهای پارامتر عمومی و تعاریف بیان شده‌اند. در این مطالعه، از شاخص‌های زیر استفاده شده است: $J \in \mathcal{J}$ ، مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان نامزد، $k \in \mathcal{K}$ ، مجموعه‌ای از کارخانه‌های بالقوه، $l \in \mathcal{L}$ ، مجموعه‌ای از مراکز توزیع ممکن، $m \in \mathcal{M}$ ، مجموعه‌ای از مواد مورد نیاز برای تولید و $i \in \mathcal{I}$ ، مجموعه‌ای از محصولات.

ب) پارامترها

$MSP_{m,j,k}$ هزینه هر واحد مواد m سفارش داده شده از تأمین‌کننده j برای کارخانه k
 $SCap_{m,j}$ محدودیت ظرفیت مواد m تأمین‌کننده j
 $PCap_k$ محدودیت ظرفیت کارخانه k
 $PCos_{i,k}$ هزینه تولید هر واحد محصول i در کارخانه k
 $TCos_{i,k,l}$ هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصول i از کارخانه k به توزیع‌کننده l
 $UpPc_{i,k}$ ، $LowPc_{i,k}$ حد پایین و بالای ظرفیت تولید محصول i در کارخانه k

$GC02_{i,k}$ انتشار گاز دی‌اکسیدکربن واحد محصول i تولیدشده در کارخانه k
 $GC02_r$ انتشار گاز دی‌اکسیدکربن واحد وزن و واحد فاصله با استفاده از نوع حمل‌ونقل r
 WM_m وزن هر واحد ماده m
 WP_i وزن هر واحد محصول i

پ) متغیرهای تصمیم

$TM_{m,j,k}$ کل واحدهای ماده m خریداری شده از تأمین‌کننده j برای کارخانه k
 $TOT_{i,k,l}$ کل واحدهای محصول i حمل‌شده از کارخانه k به توزیع‌کننده l
 $T_{m,r}$ فاصله حمل مواد m در حالت r
 $T_{i,r}$ فاصله حمل‌ونقل محصول i با استفاده از نوع حمل‌ونقل r
 SOC_{CO2} نرخ هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن

ت) تابع هدف

کل هزینه تابع هدف شامل هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن است. هزینه‌های عملیاتی زنجیره تأمین هزینه‌های خرید، هزینه‌های تولید و هزینه‌های حمل‌ونقل را شامل می‌شود. هزینه‌های اجتماعی انتشار کربن زنجیره تأمین شامل انتشار کربن ناشی از فرایند تولید محصولات و حمل‌ونقل محصولات است؛ بنابراین تابع هدفی که باید به حداقل برسد برابر است با:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \text{Min} \left[\sum_{m,j,k} MSP_{m,j,k} TM_{m,j,k} + \sum_{i,k,l} PCos_{i,k} TOT_{i,k,l} + \sum_{i,k,l} TCos_{i,k,l} TOT_{i,k,l} \right. \\ & + \left(\sum_{i,k,l} GC02_{i,k} TOT_{i,k,l} + \sum_{m,j,k,r} GC02_r WM_m TM_{m,j,k} T_{m,r} \right. \\ & \left. \left. + \sum_{i,k,l,r} GC02_r WP_i TOT_{i,k,l} T_{i,r} \right) SOC_{CO2} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

حمل‌ونقل مواد و حمل‌ونقل کالا) است.

ث) محدودیت‌ها

برای مدل مدیریت زنجیره تأمین، بسیاری از محدودیت‌های عمومی در نظر گرفته می‌شود؛ از جمله محدودیت تعادل مواد و محصولات، محدودیت ظرفیت و محدودیت حد توان.

عبارت اول در تابع هدف هزینه خرید کل مواد از تأمین‌کنندگان (از جمله هزینه‌های حمل‌ونقل مواد)، عبارت دوم کل هزینه‌های تولید در تمام کارخانه‌ها، عبارت سوم کل هزینه حمل‌ونقل تمام محصولات و آخرین عبارت کل هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن (از جمله تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید محصولات،

تولیدی از هر کارخانه به هر توزیع‌کننده با نرخ‌های هزینه اجتماعی مختلف انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، با در نظر گرفتن هر دو هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن برای به حداقل رساندن هزینه‌های کل است.

فرض این است که کل تقاضای مورد نیاز ۱۸۰,۰۰۰ پنیر فتا از دو توزیع‌کننده سفارش داده شده است. در جدول ۱ تقاضای مورد نیاز هر توزیع‌کننده آمده است. مواد اولیه پنیر شیر است و به کمک سه تأمین‌کننده بالقوه ارائه شده است.

جدول ۱. مقدار تقاضای مورد نیاز هر یک از مراکز توزیع (تن)

مورد نیاز	مرکز توزیع
۹۰	DC1
۹۰	DC2

جدول ۲. هزینه خرید مواد کارخانه‌ها از تأمین‌کنندگان

(ریال / کیلوگرم)			کارخانه
S3	S2	S1	
۴/۹	۵/۱	۴/۵	PL1
۴/۶۲	۴/۸۵	۴/۶۷	PL2
۴/۷۷	۴/۹	۴/۶۸	PL3

در جدول ۲، هزینه‌های واحد خرید (از جمله هزینه حمل‌ونقل مواد خام) مواد خام از هر تأمین‌کننده به هر کارخانه آمده است. در جدول ۳ نیز ظرفیت تولید، هزینه‌های واحد تولید (از جمله هزینه‌های مرتب‌سازی، هزینه‌های بسته‌بندی، هزینه‌های نیروی کار و...) و مقدار انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در فرایند تولید یک کیلوگرم پنیر تولیدشده در هر کارخانه قابل مشاهده است. همچنین ظرفیت عرضه مواد هر تأمین‌کننده در جدول ۴ آمده است. فاصله حمل‌ونقل مواد خام از تأمین‌کنندگان به کارخانه‌ها و محصولات حمل‌شده از کارخانه‌ها به توزیع‌کنندگان در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است. در جدول ۷ نیز انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از حمل‌ونقل نشان داده شده است. یک قوطی پنیر فتای ۱ کیلوپی، به حدود ۵ تا ۸ لیتر شیر نیاز دارد که در اینجا ۷ کیلوگرم در نظر گرفته شده است.

در ادامه به بررسی این محدودیت‌ها پرداخته شده است: $RP_{m,i}$: واحدهای ماده m مورد نیاز برای تولید یک واحد از محصول i .

محدودیت تعادل مواد عبارت است از:

$$\sum_k TOT_{i,k,l} RP_{m,i} \leq \sum_j TM_{m,j,k} \quad \forall m \in M, k \in K \quad (2)$$

محدودیت‌های ظرفیت تأمین‌کننده

محدودیت‌های ظرفیت برای تأمین‌کننده j را می‌توان به صورت رابطه زیر فرموله کرد.

$$\sum_k TM_{m,j,k} \leq SCap_{m,j} \quad \forall m \in M \quad (3)$$

محدودیت‌های ظرفیت تولید کارخانه‌ها

محدودیت بالا و پایین ظرفیت تولید محصول I در کارخانه k وجود دارد؛ بنابراین برای هر کارخانه k محدودیت ظرفیت تولید عبارت است از:

$$LowPc_{i,k} \leq \sum_l TOT_{i,k,l} \leq \sum_j UpPc_{i,k} \quad \forall l \in L \quad (4)$$

محدودیت حد توان

حد توان برای کارخانه k عبارت است از:

$$\sum_{i,l} TOT_{i,k,l} \leq PCap_k \quad (5)$$

(توجه: در هر کارخانه باید داشته باشیم: $\sum_j UpPc_{i,k} = PCap_k$)

مثال کاربردی

داده‌ها

مدیریت بالقوه یک شبکه زنجیره تأمین توسط یک شرکت تولیدی پنیر (شامل سه تأمین‌کننده شیر، سه کارخانه تولید پنیر و دو توزیع‌کننده) در نظر گرفته شده است. این سه تأمین‌کننده به ترتیب در S1، S2، S3، سه کارخانه تولید پنیر فتا به ترتیب در PL1، PL2، PL3 و دو توزیع‌کننده عمده در DC1، DC2 واقع شده‌اند. هدف مدل مدیریت زنجیره تأمین تصمیم درباره مقدار بهینه شیر خریداری‌شده از تأمین‌کنندگان مختلف برای هر کارخانه، تولید پنیر در کارخانه‌های مختلف و حمل‌ونقل پنیر

جدول ۳. ظرفیت تولید، هزینه تولید و انتشار CO₂ هر کارخانه

کارخانه	ظرفیت تولید (تن/ماه)	هزینه تولید (تومان/کیلوگرم)	معادل انتشار CO ₂ فرایند تولید (کیلوگرم/تن)
PL1	۸۴	۱/۹۰۸	۱۸
PL2	۷۲	۲/۷۵۵	۱۴
PL3	۶۶	۲/۴۱	۱۶

جدول ۴. ظرفیت عرضه مواد هر تأمین کننده (تن)

تأمین کننده	ظرفیت عرضه
S1	۷۸
S2	۷۲
S3	۶۰

جدول ۵. فاصله حمل و نقل میان تأمین کنندگان و کارخانه‌ها (کیلومتر)

تأمین کننده مواد	نوع حمل و نقل	کارخانه		
		PL1	PL2	PL3
S1	قطار	۳۹۴	۴۱۷	۴۸۵
	کامیون	۴۵۰	۴۰۰	۳۵۰
S2	قطار	۰	۵۶۴	۴۱۰
	کامیون	۳۵۰	۳۸۰	۳۵۰
S3	قطار	۲۰۰	۰	۳۰۰
	کامیون	۳۵۰	۳۰۰	۲۵۰

جدول ۶. فاصله حمل و نقل میان کارخانه‌ها و توزیع کنندگان (کیلومتر)

کارخانه	نوع وسیله حمل	مرکز توزیع	
		DC1	DC2
PL1	قطار	۹۶۵۴	۹۲۳۲
	کامیون	۸۵۰۰	۸۳۰۰
PL2	قطار	۳۴۳۰	۱۴۸۸
	کامیون	۲۰۰۰	۱۸۰۰
PL3	قطار	۲۶۹۲	۲۲۷۲
	کامیون	۱۹۰۰	۲۰۰۰

جدول ۷. انتشار CO₂ وسیله حمل و نقل (منبع NTM) [۱۷ و ۱۸]

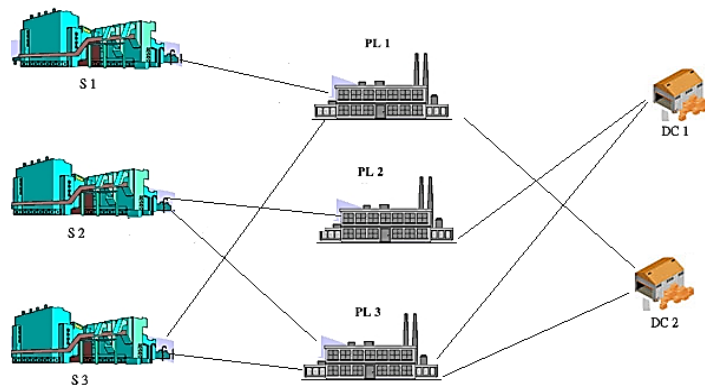
وسيلة حمل و نقل	انتشار CO ₂ (g/t/km)
قطار دیزلی	۱۷
کامیون	۵۰

بحث و یافته‌ها

تعداد ۹ سناریو در نظر گرفته شدند که برای تجزیه و تحلیل نتایج از آن‌ها استفاده شد. مدل طراحی شده در بخش سوم به کمک نرم‌افزار LINGO حل شد. در صورت افزایش ابعاد مسئله باید یکی از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری را برای حل آن به کار برد. در سناریوی ۱، نویسندگان تنها هزینه‌های عملیاتی را در نظر گرفتند. از سناریوی ۲-۹ هشت نرخ‌های مختلف هزینه اجتماعی انتشار به واحد دلار/تن CO₂ به ترتیب ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۱۷۵، ۲۰۰ در نظر

گرفته شده است، تا درباره اندازه مطلوب خرید مواد از هر تأمین‌کننده، اندازه تولید محصول مطلوب در هر کارخانه و مقدار بهینه محصولات حمل شده از هر کارخانه به هر توزیع‌کننده تصمیم گرفته شود. علاوه بر این، برای حل مدل ارائه شده از برنامه‌نویسی گمز (GAMS) استفاده شد.

مقدار شیر خریداری شده از هر تأمین‌کننده برای هر کارخانه، پنیر تولید شده در هر کارخانه و پنیر حمل شده از هر کارخانه به هر توزیع‌کننده یکی از سناریوها را شامل می‌شوند. در شکل ۱، شمایی از سناریوها نشان داده شده است.



شکل ۱. فقط بادر نظر گرفتن هزینه‌های عملیاتی (سناریوی اول)

جدول ۸. مقایسه سناریوهای مختلف

سناریو	هزینه واحد انتشار CO ₂ (دلار / تن)	مقدار انتشار CO ₂ تن	هزینه‌های اجتماعی انتشار CO ₂ دلار	هزینه‌های عملیاتی (م ریال)	هزینه کل (م ریال)
۱	۰	۷۹۵۲/۰۵۲	۰	۷۵۴۸۵۸۹	۷۵۴۸۵۸۹
۲	۲۵	۷۹۵۲/۰۵۲	۱۷۶۹۴۲/۳	۷۵۴۸۵۸۹	۷۷۲۵۵۳۱/۳
۳	۵۰	۷۹۰۰/۵	۲۹۵۴۶۴/۵	۷۵۵۸۹۹۷	۷۸۵۴۴۶۱/۵
۴	۷۵	۷۸۵۰/۳۶۲	۳۵۸۷۷۲/۴	۷۵۷۶۵۴۴	۷۹۳۵۳۱۶/۴
۵	۱۰۰	۷۷۲۰/۶۹۸	۴۱۲۷۴۳/۹	۷۵۸۰۸۱۴	۷۹۹۳۵۵۷/۹
۶	۱۲۵	۷۶۳۶/۲۲۴	۵۰۵۰۴۳/۹	۷۵۹۲۳۹۱	۸۰۹۷۴۳۴/۹
۷	۱۵۰	۷۴۰۰/۵۲	۵۹۵۴۴۶/۹	۷۵۹۵۴۱۴	۸۱۹۰۸۶۰/۹
۸	۱۷۵	۷۲۱۰/۳۵۹	۷۱۰۸۶۳/۵	۷۵۹۷۵۱۸	۸۳۰۸۳۸۱/۵
۹	۲۰۰	۶۹۰۰/۲	۸۷۶۴۸۴/۴	۷۶۰۵۰۵۷	۸۴۸۱۵۴۱/۴

بهینه را برای مبادلات میان هزینه‌های عملیاتی و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ایجاد خواهند کرد؛ بنابراین تصمیم‌گیرندگان شرکت‌ها کارخانه‌هایی را انتخاب خواهند کرد که گاز دی‌اکسیدکربن کمتری منتشر می‌کنند؛ حتی اگر آن کارخانه‌ها هزینه‌های بیشتری برای تولید داشته باشند؛ زیرا مقدار کلی هزینه کمتر از کارخانه‌هایی خواهد

مقایسه نتایج سناریوها در جدول ۸ آورده شده است. کل انتشار گاز دی‌اکسیدکربن با افزایش نرخ هزینه‌های اجتماعی انتشار این گاز کاهش می‌یابد. براساس نتایج، اگر شرکت‌ها مجبور به پرداخت هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از عملیات شبکه‌های زنجیره تأمین خود باشند، تصمیم‌گیرندگان این شرکت‌ها راهبردهای

کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به‌منظور کاهش تأثیرات گرمایش جهانی در سطح جهانی، به مسئله‌ای فوری تبدیل شده است. با در نظر داشتن این امر، نویسندگان این مطالعه اهمیت توجه به هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را در مدیریت زنجیره تأمین برجسته کردند و یک مدل ریاضی عمومی را با در نظر گرفتن هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن برای کمک به تصمیم‌گیرندگان در مدیریت زنجیره تأمین ارائه دادند.

تصمیم‌گیرندگان شرکت‌ها با گنجاندن هزینه‌های اجتماعی در مدیریت زنجیره تأمین می‌توانند هزینه‌های عملیاتی را در عملیات شبکه‌های زنجیره تأمین برآورد کنند. مدل ارائه شده پتانسیل تبدیل شدن به ابزاری مفید را دارد که درک درستی از راهبرد زنجیره تأمین بهینه با در نظر گرفتن هزینه‌های اجتماعی دی‌اکسیدکربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای ناشی از ضایعات عملیات چنین شبکه زنجیره تأمین را تسهیل می‌کند. علاوه بر این می‌توان مدل ارائه شده را مرجعی مفید برای قانون‌گذاران در برآورد زیان مالی ناشی از انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در عملیات شبکه زنجیره عرضه پیشنهاد کرد. همچنین قانون‌گذاران می‌توانند این مدل را برای پیشنهاد قوانین جهت وادار کردن شرکت‌ها برای پرداخت هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن استفاده کنند؛ بنابراین شرکت‌ها باید در کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن عملیات شبکه‌های زنجیره تأمین سرمایه‌گذاری کنند.

اگرچه مدل ریاضی پیشنهادی سهم بسیاری در مطالعات اخیر مدیریت زنجیره تأمین پایدار داشته است، محدودیت‌هایی نیز دارد. نخست اینکه برآوردی که در مورد محاسبه هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در مدیریت زنجیره تأمین وجود دارد، تنها می‌تواند در این مرحله آزمایشی دیده شود. دوم اینکه همان‌طور که شبکه زنجیره تأمین تولید مواد لبنی را به‌عنوان مثال در نظر گرفتیم، مطالعات دیگر می‌تواند این مدل را به صنایع دیگر اعمال کند. سوم اینکه مدل ارائه شده، به‌ویژه برای مالک کارخانه‌های تولیدی که تأمین‌کنندگان خارجی دارند و در کشورهای مختلف واقع هستند مناسب است. در نهایت اینکه هزینه‌های اجتماعی انتشار سایر مواد زائد ناشی از عملیات شبکه زنجیره تأمین مانند آلودگی آب یا خاک می‌تواند در مطالعات بیشتر در نظر گرفته شود.

شد که انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را جدی نمی‌گیرند. به این ترتیب، نویسندگان این مقاله پیشنهاد می‌کنند دولت‌ها باید قوانینی را تحمیل کنند تا شرکت‌ها را به پرداخت برای هزینه‌های اجتماعی انتشار دی‌اکسیدکربن وادار کنند. این امر سبب می‌شود شرکت‌ها برای کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن سرمایه‌گذاری کنند.

تجزیه و تحلیل حساسیت در نرخ‌های هزینه اجتماعی مختلف انتشار گاز دی‌اکسیدکربن

در این پژوهش، تغییر در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کل براساس نرخ‌های هزینه اجتماعی مختلف انتشار این گاز بررسی شد و تجزیه و تحلیل حساسیت با توجه به هزینه اجتماعی گاز دی‌اکسیدکربن صورت گرفت. تغییر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کل و کل هزینه را با تغییر نرخ هزینه اجتماعی انتشار این گاز مشاهده کردیم. هزینه‌های اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از ۰ تا ۲۰۰ دلار/تن متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد که چگونه نرخ هزینه اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن بر کل انتشار این گاز و کل هزینه‌های تحت نرخ‌های هزینه اجتماعی مختلف انتشار گاز دی‌اکسیدکربن اثرگذار است. همچنین می‌توان دریافت که با افزایش نرخ هزینه اجتماعی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، به ترتیب کل انتشار این گاز کاهش می‌یابد و کل هزینه بیشتر می‌شود.

نتیجه‌گیری

توجه مدیران به‌ویژه مدیران صنایع تولیدی به مقوله زنجیره تأمین سبز، مدیران و تصمیم‌گیران صنایع را به سرمایه‌گذاری در فناوری سبز ترغیب می‌کند. در سطح فردی، برنامه زنجیره سبز سبب مزایای رقابتی معینی می‌شود (هزینه کمتر، محصولات سبز و ادغام بهتر با تأمین‌کنندگان). در سطح ملی، بازاریابی را برای محصولات سبز ایجاد می‌کند و سبب تطبیق بهتر تأمین‌کنندگان با مسائل محیطی و بهبود موقعیت رقابتی شرکت از طریق کاهش هزینه‌ها می‌شود. مدیران صنایع نباید توجه به مسائل زنجیره تأمین سبز را زمینه تحمیلی به سازمان تصور کنند، بلکه ضروری است با برنامه‌ریزی بلندمدت به دنبال کسب حداکثر بهره‌گیری از پتانسیل عملکردهای زنجیره تأمین سبز باشند.

منابع

۱. اکبری جوکار، محمدرضا؛ ابوچناری موسی‌الرضا و حسین عاکفی (۱۳۹۵)، «طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته کامل تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا و بازگشت محصولات»، نشریه مهندسی صنایع، دوره پنجاهم، شماره ۳، صص ۳۵۵-۳۶۹.
۲. بابازاده، رضا (۱۳۹۷)، «ارائه مدل ریاضی جامع به‌منظور برنامه‌ریزی تولید-توزیع یکپارچه در زنجیره تأمین حلقه بسته»، نشریه مهندسی صنایع، دوره پنجاه‌ودوم، شماره ۲، صص ۱۴۹-۱۶۱.
۳. قسمتی رضا؛ غضنفری مهدی و میرسامان پیشوایی (۱۳۹۵)، «یک مدل برنامه‌ریزی فازی-احتمالی استوار برای طراحی پایایی شبکه زنجیره تام»، نشریه مهندسی صنایع، دوره پنجاهم، شماره ۱، صص ۵۳-۶۸.
4. Alves, C., Ferrao, P. M. C., Preitas, M., Silva, A. J., Luz, S. M., and Alves, D. E., (2009). "Sustainable design Procedure: The Role of Composite Materials to Combine Mechanical and Environmental Features for Agricultural Machines", *Mater. Des*, Vol. 30, No. 10, PP. 4060-4068.
5. Bai, C., Sarkis, J., (2010). "Integrating Sustainability Into Supplier Selection with Grey System and Rough Set Methodologies", *Int. J. Prod. Econ*, Vol. 124, No. 1, PP. 252-264.
6. Caniato, F., Caridi, M., Crippa, L., and Moretto, A., (2012). "Environmental Sustainability in Fashion Supply Chains: An Exploratory Case Based Research", *Int. J. Prod. Econ*, Vol. 135, No. 2, PP. 659-670.
7. Carter, G. R., and Rogers, D. S., (2008). "A Framework of Sustainable Supply Chain Management: Moving Toward New Theory", *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manage*, Vol. 38, No. 5, PP. 360-387.
8. Chaabane, A., Ramudhin, A., and Paquet, M., (2012). "Design of Sustainable Supply Chains Under the Emission Trading Scheme", *Int. J. Prod. Econ*, Vol. 135, No. 1, PP. 37-49.
9. Cline, W. R., (1992). *The Economics of Global Warming, Institute for International Economics, Washington DC*.
10. Etchart, A., Sertysilisik, B., and Mill, G., (2012). "Environmental Effects of Shipping Imports From China and Their Economic Valuation: The Case of Metallic Valve Components", *J. Clean. Prod*, Vol. 21, No. 1, PP. 51-61.
11. Govindan, K., Khodaverdi, R., and Jafarian, A., (2013). "A Fuzzy Multi Criteria Approach for Measuring Sustainability Performance of a Supplier Based on Triple Bottom Line Approach", *J. Clean. Prod*, No. 47, PP. 345-354.
12. Hope, C., (2011). "The Social Cost of CO2 from the PAGE09 Mode", *Economics Discussion Paper No. 2011-39*. available at ssrn: <http://ssrn.com/abstract=1973863> <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1973863>.
13. Kapp, K. W., (1963). *The Social Costs of Business Enterprise, Second Ed.* Spokesman, Nottingham.
14. Lee, K. H., (2011). "Integrating Carbon Footprint Into Supply Chain Management: The Case of Hyundai Motor Company (HMC) in the Automobile Industry", *J. Clean. Prod*, Vol. 19, No. 11, PP. 1216-1223.
15. Linton J. D, Klassen, R., and Jayaraman, V., (2007). "Sustainable Supply Chains: An Introduction", *Journal of Operations Management*, Vol. 25, No. 6, PP. 1075-1082.
16. Liu, S., Kasturiratne, D., and Moizer, J., (2012). "A Hub-and-Spoke Model for Multidimensional Integration of Green Marketing and Sustainable Supply Chain Management", *Indus. Market. Manage*, Vol. 41, No. 4, PP. 581-588.
17. Mancini, L., Lettenmeier, M., Rohn, H., and Liedtke, C., (2012). "Application of the MIPS Method for Assessing the Sustainability of Production-consumption Systems of Food", *J. Econ. Behav. Organ*. Vol. 81, No. 3, PP. 779-793.
18. Manzini, R., and Accorsi, R., (2013). "The New Conceptual Framework for Food Supply Chain Assessment", *J. Food Engineer*, Vol. 115, No. 2, PP. 251-263.
19. Michelsen, O., Fet, A. M., and Dahlsrud, A., (2006). "Eco-Efficiency in Extended Supply Chains: A Case Study of Furniture Production", *J. Environ. Manage*, Vol. 79, No. 3, PP. 290-297.
20. Mohajeri, A., and Fallah, M., (2016). "A carbon footprint-based closed-loop supply chain model under uncertainty with risk analysis: A case study", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 48, PP. 425-450.
21. NTM Rail. (2008). Environmental Data for International Cargo Transport. NTM.
22. Schnetzler, M. J., Sennheiser, A., and Schönsleben, P., (2007). "A Decomposition- Based Approach for the Development of a Supply Chain Strategy", *International Journal of Production Economics*, No. 105, PP. 21-42.
23. Shaverdi, M., Heshmati, M. R., Eskandaripour, E., and Tabar, A. A. A., (2013). "Developing Sustainable SCM Evaluation Model Using Fuzzy AHP in Publishing Industry", *Proc. Comput. Sci*, No. 17, PP. 340-349.
24. Sroufe, R., (2003). "Effects of Environmental Management Systems on Environmental Management Practices and Operations", *Production and Operations Management*, Vol. 12, No. 3, PP. 416-431.

25. Stern, N., (2007). *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, New York.
26. Sundarakani, B., De Souza, R., Goh, M., Wagner, S. M., and Manikandan, M., (2010). "Modeling Carbon Footprints Across the Supply Chain", *Int. J. Prod. Econ*, Vol. 128, No. 1, PP. 43-50.
27. Tol, R. S. J., (2011). "The Social Cost of Carbon", *The Economic and Social Research Institute (ESRI) Working Paper*, No. 377 <http://hdl.handle.net/10419/50128>.
28. Zhu, Q., Geng, Y., and Lai, K. H., (2010). "Circular Economy Practices Among Chinese Manufacturers Varying in Environmental-Oriented Supply Chain Cooperation and the Performance Implications", *J. Environ. Manage*, Vol. 91, No. 6, PP. 1324-1331.
29. Zsidisin, G. A., and Siferd, S. P., (2001). "Environmental Purchasing: A Framework for Theory Development", *Eur. J. Purch. Suppl*, Chain 7, No. 1, PP. 61-73.

واژه‌های لاتین به ترتیب استفاده در متن

1. Sustainable Supply Chain Management (SSCM)
 2. Green Supply Chain Management (GSCM)
 3. World Commission on Environment and Development
 4. Nike
 5. International Standard Organization
 6. Sustainable supply chain management
 7. Cost-Benefit Analysis
 8. Marginal Cost
-