پنجمین کنفرانس بین المللی مطالعات بین رشته ای در مدیریت و مهندسی
۱۴ تیر ۱۴۰۱ | محل برگزاری: دانشگاه تهران
5th International Conference on Interdisciplinary Studies in Management & Engineering (ICISME-2022)
5 July 2022 | University of Tehran
OxfordCert Universal

تاثیر به روز رسانی تکنولوژی ماشین آلات بر هزینه های زنجیره تامین سبز

سارا محامدی
کارشناسی ارشد MBA، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
sara.mahamedi63@gmail.com

چکیده

در دنیای امروز اهمیت و ضرورت در نظر گرفتن جنبه‌های زیست‌محیطی در کنار زنجیره تامین سنتی، منجر به بکارگیری زنجیره تامین سبز در سازمانها و مراکز تولیدی شده است. مدیران زنجیره تامین باید اهمیت هزینه های اجتماعی و تخریب محیط‌زیست را در کنار سایر اهداف خود لحاظ کنند. لذا در سالهای اخیر طرح های مختلفی با هدف محدود ساختن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به صورت گستردهای در کشور-های مختلف دنیا مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای بهینه کردن هزینه های زنجیره تامین در محیط تجارت انتشار ارائه شده، که می‌توان رد پای انتشار کربن را در حمل‌ونقل، موجودی و نگهداری کالا و در بخش تولید محصول مشاهده کرد. علاوه بر این از آنجایی که به-روزرسانی ماشین‌آلات در هر دوره زمانی روی میزان انتشار آلاینده ها تاثیرگذار است، این امکان به مدل داده شده که با توجه به تابع هدف مساله تصمیم‌گیری شود که در چه دوره هایی باید این به‌روزرسانی انجام گیرد. سپس، تحلیل‌هایی در رابطه با تاثیرگذاری این به‌روزرسانی‌ها روی هزینه های زنجیره و میزان آلایندگی‌ها صورت گرفت. به‌علاوه مدلی برای تعویض ماشین‌آلات با در نظر گرفتن عوامل زیست‌محیطی ارائه شد. در این مدل فاکتورهای مختلف زیست‌محیطی در کنار فاکتورهای اقتصادی تعویض به‌منظور کاهش انتشار آلاینده ها مورد توجه قرار گرفته است.

واژه های کلیدی

زنجیره تامین سبز، برنامه‌ریزی زنجیره تامین، انتشار کربن، به‌روزرسانی ماشین‌آلات، تعویض ماشین‌آلات

مقدمه

جهانی شدن اقتصاد و توسعه فناوری اطلاعات باعث گردیده بازار عرضه محور به بازار تقاضا محور تغییر یابد و سازمانها برای حفظ و بقای خود به اهمیت ارضای نیاز مشتریان پی ببرند. بر این اساس مدیریت زنجیره تامین اهمیت پیدا کرده است، زیرا ارضای نیازها و علایق مشتریان فقط توسط آخرین موجودیت چسبیده به مشتری یعنی محصول نهایی نیست بلکه، توسط سایر تامین‌کنندگان بالا دست نیز صورت می‌گیرد. در دیدگاه مرسوم، مدیریت زنجیره تامین شامل هدایت تمام اعضای زنجیره تامین به صورت یکپارچه و هماهنگ با هدف بهبود عملکرد جهت ارتقا بهره وری و سود بیشتر بود و مدیران زنجیره تامین به دنبال تحویل سریع‌تر کالا و خدمات، کاهش هزینه و افزایش کیفیت بودند اما بهبود عملکرد زیست محیطی زنجیره تامین و اهمیت هزینه-های اجتماعی و تخریب محیط‌زیست لحاظ نمی‌گردید. با فشار مقررات دولتی برای اخذ استانداردهای زیست محیطی از یک طرف و از طرفی دیگر افزایش مشتریان برای خرید محصولات سبز (بدون اثر مخرب بر محیط-زیست) مفهوم زنجیره تامین سبز[1] و مدیریت آن را پدیدار ساخت. امروزه مدیران زنجیره تامین سبز در شرکت‌های پیشرو از طریق ایجاد مطلوبیت و رضایت‌مندی از منظر زیست‌محیطی در سراسر زنجیره تامین می‌کوشند تا از لجستیک سبز و بهبود عملکرد

[1] Green Supply Chain Management

www.SID.ir

زیست‌محیطی خود در کل زنجیره تامین به عنوان یک سلاح استراتژیک جهت کسب مزیت رقابتی پایدار سود ببرند.
از یک طرف با گسترش شبکه‌های جهانی زنجیره تامین و توزیع مواد و افزایش طول مسیرهای حمل‌ونقل به منظور جابه‌جایی مواد و کالاها، نیاز به استفاده از روشهای مختلف حمل‌ونقل به صورت روز افزونی در حال گسترش است، که به عنوان عاملی در آلودگی محیط‌زیست به‌شمار می‌رود، و از طرفی دیگر نیز با شروع انقلاب صنعتی در قرن نوزدهم میلادی نیاز بشر به استفاده از سوخت‌های فسیلی نظیر زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی افزایش یافت. بر این اساس انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده ها روند صعودی و شتابانی را یافت.
بنابراین، با افزایش گازهای گلخانه‌ای و وقوع پدیده اثر گلخانه‌ای در جو، مساله تغییر آب و هوا مطرح گردید. پدیده گلخانه‌ای در اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو و در نتیجه بر هم خوردن تعادل انرژی بین زمین و هوا رخ می‌دهد. یکی از اثرات پدیده گلخانه‌ای، افزایش میانگین دمای کره زمین است . در سال ۱۹۹۲ برای مقابله با پدیده گلخانه‌ای و گرمایش جهانی، کنفرانس تغییر آب و هوا تشکیل گردید و کنوانسیون سازمان ملل متحد در مورد تغییر آب و هوا (UNFCCC[2]) به تصویب رسید. این کنوانسیون به بررسی راهکارهای لازم به منظور جلوگیری از افزایش میانگین دمای جهانی که نتیجه آن تغییرات آب وهوا می‌باشد، می‌پردازد. به منظور بررسی مفاد کنوانسیون کنفرانس‌هاس سالانه (COP[3]) تشکیل می‌شود . در سال ۱۹۹۷ در سومین کنفرانس سالانه تغییر آب وهوا پروتکل کیوتو به تصویب رسید. بر اساس این پیمان کشورهای صنعتی متعهد شدند که ظرف ده سال آینده میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای[4] خود (CO2، N2O، CH4، SF6، HFCs، PFCs)را به اندازه ۵٪ کاهش دهند و به کشورهای در حال توسعه کمک‌های مالی برای افزایش ضریب نفوذ استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی و بادی اعطا نمایند. آخرین کنفرانس سالانه تا سال ۲۰۱۶ مربوط به بیست و یکمین کنفرانس سالانه تغییر آبوهوا در پاریس می‌باشد. این اجلاس با هدف دستیابی به یک پیمان جدید جهانی برای کاهش انتشار کربن و کمک به کشورهای فقیر برای مقابله با اثرات گرمایش جهانی و همین طور کاهش دو درجه‌ای گرمای زمین برگزار شد. طبق این سند برای اولین بارتقریبا تمامی کشورهای جهان متعهد به کاهش گازهای آلاینده می شوند. در پی این اجلاس، توافقنامه پاریس تصویب و منتشر گردید. یکی از توافقات به عمل آمده این است کشورهای توسعه یافته باید نیازهای مالی کشورهای در حال توسعه را فراهم کنند. بر این اساس از سال ۲۰۲۰ کشورهای ثروتمند هرسال ۱۰۰ میلیارد دلار به کشورهای در حال توسعه برای اعمال تغییرات لازم به منظور کاهش انتشار گازهای آلاینده کمک کنند .

ضرورت و اهمیت تحقیق

در این پژوهش مدلی برای تعیین زمان به‌روزرسانی ماشین‌آلات که می‌توان گفت جز تصمیم‌های کوتاه مدت و مرتبط با زنجیره تامین می‌باشد، ارائه شده است. زنجیره تامین مورد بررسی در محیط تجارت انتشار ارائه شده که می‌توان رد پای انتشار کربن در حمل‌ونقل، نگهداری و موجودی کالا و همچنین در بخش تولید مشاهده کرد. همچنین از آنجایی که ماشین‌آلات در هر دوره زمانی نیاز به به‌روزرسانی و تعمیر دارند و این به‌روزرسانی روی میزان آلاینده های تولیدی تاثیرگذار می‌باشد لذا امکان به‌روزرسانی و تعمیر ماشین‌آلات در مدل لحاظ شده است.
با توجه به این که مبحث تعویض ماشین آلات جز تصمیم‌گیری‌های استراتژیکی هستند که جدا از زنجیره تامین لحاظ می‌شود، لذا در ادامه مدلی جداگانه به منظور تعیین زمان مناسب تعویض ماشین‌آلات ارائه شده است. در این مدل علاوه بر در نظر گرفتن فاکتورهای اقتصادی برای تعیین عمر اقتصادی ماشین‌آلاتی که به منظور تولید محصول و برآورده کردن تقاضا مورد

[2] United Nations Framework Convention on Climate Change
[3] Conference Of the Parties
[4] Greenhouse gases

www.SID.ir

استفاده قرار می‌گیرند، فاکتورهای زیست-محیطی نیز لحاظ شده است. با کهنه شدن ماشین‌آلات علاوه بر بالا رفتن هزینه های نگهداری‌وتعمیرات آنها میزان گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته نیز افزایش می‌یابد و همچنین میزان بهره وری یا طول عمر مفید آنها کاهش می‌یابد. از طرفی دیگر با گسترش روز افزون تکنولوژی ماشین‌آلاتی با سرعت بالاتر، کیفیت بهتر و آلایندگی کمتر وارد بازار می‌شوند. لذا تصمیم‌گیری در رابطه با زمان مناسب خرید یا تعویض از بین ماشین‌آلاتی با فاکتورهای اقتصادی و زیست‌محیطی مختلف، با توجه به محدودیت‌های تقاضا و بودجه پیچیده تر شده است.

تاریخچه و تعریف مدیریت زنجیره تامین سبز-

مدیریت زنجیره تأمین سبز توسط انجمن پژوهش صنعتی دانشگاه ایالتی میشیگان در سال ۱۹۹۶ معرفی شد که در واقع مدل مدیریت نوینی برای حفاظت از محیط‌زیست است . در گذشته چرخه عمر محصول شامل فرآیندها از فاز طراحی تا مصرف بود. در حالی که مدیریت زنجیره تامین سبز الزامات زیست‌محیطی را در تمام مراحل طراحی محصول، تهیه مواد اولیه، استفاده و بازیافت[5]و مصرف مجدد و تشکیل یک حلقه بسته از جریان مواد برای کاهش مصرف منابع و کاهش اثرات مخرب زیست محیطی لحاظ می‌کند. لذا سازمانها باید مدیریت محیط زیست را در تمام چرخه عمر محصولاتشان به کار گیرند تا از بهبود عملکرد زیست‌محیطی زنجیره تامین اطمینان حاصل کنند. در واقع اساس زنجیره تامین سبز بر یکپارچگی مدیریت محیط‌زیست و مدیریت زنجیره تامین برای کنترل اثرات زیست‌محیطی در چرخه عمر محصول به وسیله تسهیم اطلاعات و هماهنگی و همکاری تمام اعضای زنجیره است .

با استفاده از مدیریت زنجیره تامین و فناوری سبز، شرکت می‌تواند تاثیرات منفی زیست‌محیطی را کاهش داده و به استفاده مطلوب از منابع و انرژی دست یابد. اگر شرکت‌ها از مدیریت زنجیره تامین سبز استفاده کنند، نه تنها می‌توانند مشکلات زیست‌محیطی را حل کنند، بلکه می‌توانند به مزایای رقابتی دست یابند. بنابراین، باید به سمت پیاده سازی زنجیره تامین سبز برای به‌دست آوردن فرصت و مقابله با چالش‌ها و پیروزی حرکت کنند. بسیاری از شرکت‌های بزرگ دنیا مثل جنرال موتور[6]، هیولت پاکارد[7]، پراکتر و گمبل[8]و نایک اُ[9] طریق پژوهش و پیاده سازی مدیریت زنجیره تامین سبز توانستند شهرت و نام تجاری خوبی برای محصول سبز به دست آورند.

طراحی کلی فرآیند زنجیره تامین سبز

به منظور طراحی زنجیره تامین سبز، باید رویکردهایی مورد توجه قرار گیرد. این رویکردها در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. اینک به تعریف هر یک از این رویکردها پرداخته می‌شود.

طراحی سبز:[1]طراحی سبز بدین معناست که سازمان باید شرح کامل زیست محیطی، سلامت انسان و امنیت محصول را در طی تهیه مواد اولیه، تولید، توزیع در نظر بگیرد. در این میان باید به اثرات مختلف ساخت، فروش، بازاریابی و استفاده مجدد از منظر توسعه پاک توجه نموده و از سه گزینه اقتصاد بازیافت (کاهش، استفاده مجدد و بازیافت) به عنوان اصلی برای توسعه زنجیره تامین استفاده نمود .

[5] Recycle
[6] General Motors(GM)
[7] Procter & Gamble (P & G)
[8] Hewllet Packard (HP)
[9] Nike
[1] Green Design

www.SID.ir

مواد سبز:[1] به موادی اشاره دارد که منابع و انرژی کمتر مصرف نموده، سر و صدای کمتر ایجاد می‌نماید، غیرسمی بوده و موجب نابودی محیط‌زیست نمی‌شود. بنابراین شرکت‌ها باید در کنار حفظ عملکرد اصلی محصولات، از مواد سبز برای رسیدن به اهداف زیست‌محیطی و بالا بردن بازده اقتصادی و کاهش هزینه ها استفاده نمایند.

تولید سبز:[2] تولید سبز نیز به عنوان تولید پاک شناخته شده است. در مراحل مختلف توسعه و یا در کشورهای مختلف، نام های تولید سبز متفاوت است. اما معنای اصلی آن همان است و به معنای استفاده از استراتژی‌های دفاع از آلودگی برای کاهش آلودگی و با دیدگاه افزایش راندهمان تولید و کاهش مخاطرات انسانی و زیست‌محیطی می‌باشد.

بازاریابی سبز:[3] بازاریابی به معنای تحقیقات و طراحی محصول، قیمت‌گذاری محصول است. در صورتی که بازاریابی سبز به ارزش بالای حفاظت از محیط‌زیست نیز توجه می‌کند. در واقع در کنار مقدار منافع سرمایه-گذاران، نگران منافع جامعه نیز می‌باشد. این نگرانی‌ها شامل: اولا جمع‌آوری اطلاعات در خصوص سازگاری با محیط زیست، ثانیاً نگران در رابطه با اینکه بسته‌بندی محصول، حمل‌ونقل کالا، استفاده از محصول و دفع مواد زائد تا چه مقدار روی محیط‌زیست تاثیرگذار است، ثالثاً فروشی سازگار با محیط زیست، ایجاد تصویر خوب و سبز در جامعه، گسترش تمایل شرکت بر دوستی با محیط‌زیست، سازماندهی قیمت‌گذاری و توزیع تجاری سبز می‌باشد.

بازیافت سبز:[4] بازیافت سبز آخرین قسمت از مصرف سبز است که به معنای بازیافت محصولات استفاده شده و یا محصولاتی که دارای نقض بوده می‌باشد. دور نگه‌داشتن تولید از هدر رفتن منابع، ایجاد آلودگی کمتر و اجتناب از آسیب رساندن به محیط و جامعه در حین فرآیند بازیافت از اهداف بازیافت سبز می‌باشد. بازیافت نقش مهمی در چرخه‌ی عمر محصول بازی می‌کند. روشهای متفاوت بازیافت ممکن است چرخه حیات را به یک دایره تبدیل کند. بازیافت محصولات می‌تواند استفاده از منابع را بکاهد.

ضرورت سازمانها به سمت پذیرش زنجیره تامین سبز

فاکتورهای تاثیرگذار برسازمانها برای پذیرش مدیریت زنجیره تامین سبز یا محرکهای انطباق به سه دسته اصلی می‌شوند:

دولت: قوانین و لوایح دولتی، سازمانهای مسئول حفاظت محیط‌زیست مانند EPA[5] و استانداردهای زیست محیطی مانند ISO 14000 که در سال ۱۹۹۶ به وسیله موسسه بین‌المللی استاندارد تدوین شد، از جمله محرکهای مهم برای پذیرش مدیریت زنجیره تامین سبز در سازمانهاست.

بازار و رقبا: در تجارت جهانی امروز، رقابت میان سازمانها بسیار شدید است. و برای تحت تاثیر قرار دادن مشتریان، سازمانها نیاز دارند خودشان را در موقعیت برتری نسبت به رقبا قرار دهند. دوستدار محیط-زیست بودن و سازگاری با الزامات زیست محیطی راهی برای تمایز از سایر رقبا است. در صورتی که رقبا از مدیریت زنجیره تامین سبز بهره مند شده باشند، شرکت تحت فشار بیشتری برای استقرار مدیریت زنجیره تامین‌سبز خواهد بود. از طرفی مشتریان نیز روی تصمیم برای استقرار این سیستم نقش مهمی دارند. بعضی تحقیقات نشان داده است ارتباطی بین رضایت مشتریان یا ارضای نیازهای آنان با به کارگیری مدیریت زنجیره تامین سبز و بهبود عملکرد زیست محیطی شرکت وجود دارد.

سازمان: دو عامل بالا فاکتور خارجی هستند در حالی که بعضی از مواقع عامل سوق دهنده و محرک خود سازمان است.

---

1 [2] Green Materia
2 [1] Green Production
3 [1] Green Marketing
4 [1] Green Recycling
5 [1] United States Environmental Protection Agency

www.SID.ir

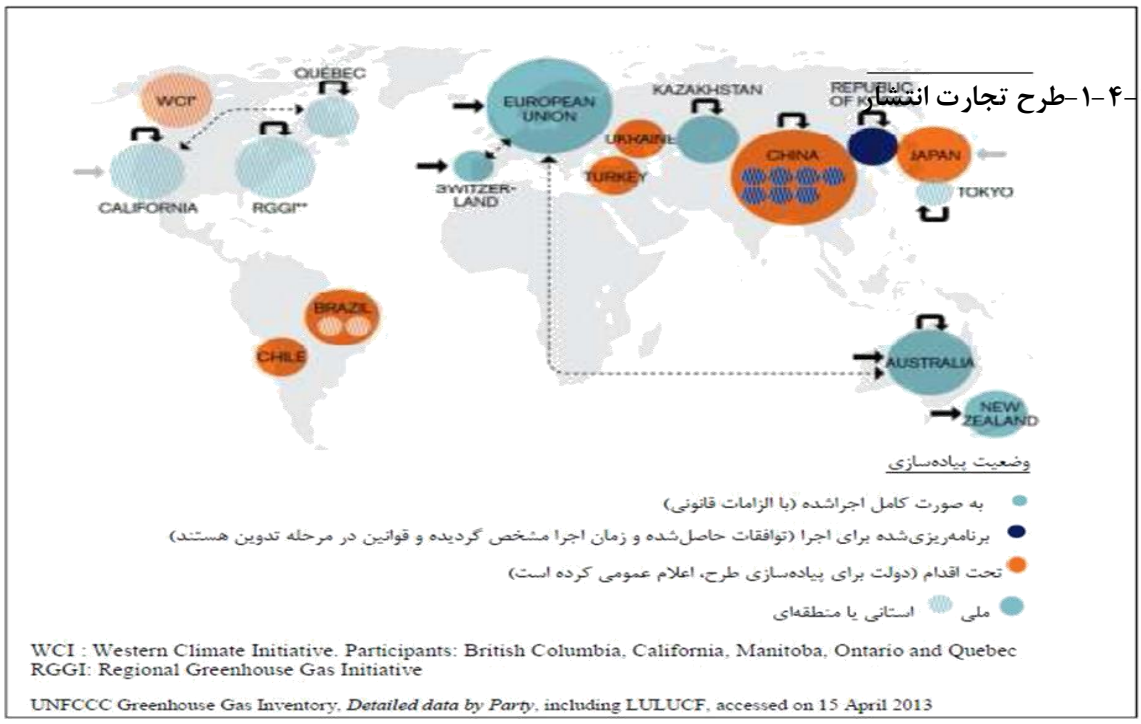
مطالعات نشان داده است که استقرار مدیریت زنجیره تامین سبز می‌تواند موجب کاهش هزینه ها شود. همچنین می‌تواند افزایش بازده، حذف یا کاهش آلاینده ها و ضایعات، شهرت تجاری و در مدیریت منابع انسانی دلگرمی بیشتر کارکنان را از برنامه‌های سبز باعث شود .

۱-۴-طرح های کاهش انتشار

در سالهای اخیر طرح های مختلفی با هدف محدود ساختن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به صورت گستردهای در کشورهای مختلف دنیا و در سطوح ملی، منطقه‌ای و استانی مورد توجه قرار گرفته‌اند. بر اساس آخرین اطلاعات بانک جهانی که در شکل ۱-۲ مشخص شده است، در حال حاضر طرح های انتشار در برخی از کشورها مانند استرالیا، نیوزیلند و کشورهای عضو اتحادیه اروپا در قالب قوانین مصوب، در حال اجرا است. در برخی دیگر نیز مانند چین، ژاپن، ترکیه و برزیل این طرحها در حال بررسی و در مرحله تصویب قرار دارند.

5

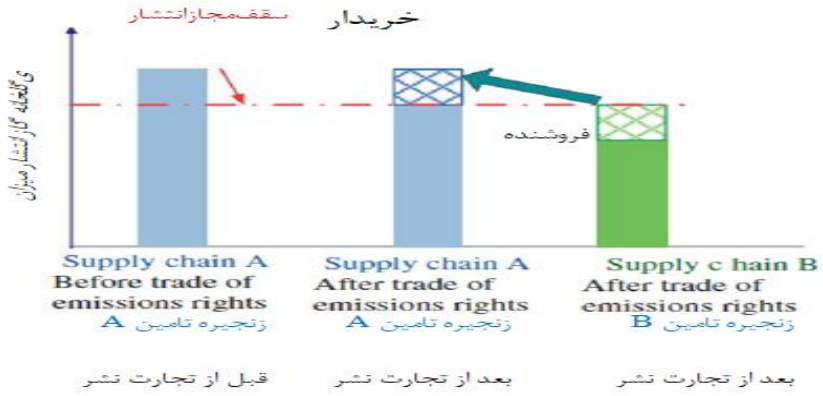
۱-۴-۱-طرح تجارت انتشار



ماده ۱۷ پروتکل کیوتو به سازوکار تجارت نشر اختصاص دارد. بر اساس این ساز و کار کل انتشار گازهای گلخانه‌ای از هریک از کشورهای عضو ضمیمه یک پروتکل کیوتو طبق توافقات به عمل آمده محدود خواهد شد. کشورهای متعهد ملزم به تخصیص "مقدار مشخص کاهش انتشار" خواهند شد و این مقدار نباید از محدودیت تعیین شده جهت انتشار گاز گلخانه‌ای در پروتکل

www.SID.ir

تجاوز نماید. بر اساس این سازوکار کشورها می‌توانند برای منابع نشر مجوزهای انتشار اختصاص دهند. مجوزهای انتشار در واقع کوپن یا سهمیه حق انتشار آلودگی است که در راستای سیاست کاهش و پایش آلودگی‌های زیست محیطی حاصل از فعالیت صنایع مختلف در اختیار آنان قرار می‌گیرد . به‌عبارتی دیگر این مکانیزم با اعمال جریمه برای تجاوز از سقف انتشار از یک طرف و ایجاد درآمد از نتیجه فروش سهام مازاد از طرف دیگر روند فرآیند کاهش انتشار آلودگی را امکان پذیر و منعطف می‌سازد .شکل ۱-۳ شماتیکی از طرح تجارت انتشار را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود این امکان به سازمانهایی که بیش از سقف انتشار تولید می‌کنند داده شده تا میزان مازاد خود را از سازمانهایی که کمتر از سقف انتشار تولید کردهاند خریداری کنند.از آنجایی که در این طرح کربن مانند هر کالایی دیگری قابل خرید و فروش است نام تجارت کربن[۱۶] در مورد این مکانیزم به کار گرفته می‌شود. به علاوه عنوان سهم و مبادله[۱۷] که گاهی اوقات به کار می‌رود، به حق هر عضو در تولید آلودگی و امکان تبادل آن با دیگر اعضا اشاره دارد. یک سهم کربن به معنای حق انتشار یک تن کربن‌دی‌اکسید یا مقدار معادل آن از سایر گازهای گلخانه‌ای است. در نتیجه دو عامل تعیین کننده در طرح تجارت انتشار عبارتند از: قیمت مجوزهای کربن و سقف مجاز آلودگی. طرح تجارت انتشار در سطح ملی و منطقه‌ای قابلیت اجرا دارد. دولت‌ها می‌توانند محدودیت‌هایی را برای بنگاههای شرکت کننده در طرح وضع نمایند. طرح تجارت انتشار اتحادیه اروپا[۱۸] بزرگترین طرحی است که در حال حاضر اجرا می‌شود و در آن ۱۱۰۰۰ نیروگاه برقی، واحد صنعتی و خطوط هوایی در ۳۱ کشور تحت پوشش این طرح قرار دارند. این طرح از سال ۲۰۰۵ در اتحادیه اروپا آغاز شده و هم اکنون در سومین فاز (۲۰۱۳-۲۰۲۰) خود قرار دارد .



شکل ۱-۳ شماتیکی از طرح تجارت انتشار[۱۹]

مکانیزم اجرای همکاری مشترک

پروژه همکاری مشترک (JIM) در ماده ۶ پروتکل کیوتو مطرح شده است. پروژههای JIM بین دو کشور عضو ضمیمه

1 Carbon trading
1 Cap and trade
1 European union emissions trading scheme (EU ETS)
6
7
8

www.SID.ir

یک پروتکل و از طریق انعقاد توافق رسمی مبنی بر انتقال "مقادیر مشخصی" از گازهای گلخانه‌ای انجام می‌گیرد. شرکت در فرآیند JIM داوطلبانه بوده و فرآیند سرمایه‌گذاری در آن از قوانین بازار طبعیت می‌کند .

مکانیزم سازوکار توسعه پاک

ماده ۱۲ پروتکل کیوتو به سازوکار توسعه پاک (CDM) می‌پردازد. پروژه های CDM میان کشور عضو ضمیمه یک پروتکل و یک کشور غیر عضو ضمیمه یک و به صورت داوطلبانه قابل انجام است. در پروتکل کیوتو سازوکار توسعه پاک تنها سازوکاری است که شامل کشورهای غیر ضمیمه یک نیز می‌شود، بدین ترتیب به آنها این امکان را می‌دهد تا در کشور خود میزبان پروژههای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باشند. هدف از سازوکار توسعه پاک کمک به طرفهای متعهد غیر ضمیمه یک جهت دستیابی به توسعه پایدار و هدف نهایی کنوانسیون و همچنین کمک به اعضای ضمیمه یک برای رسیدن به توافق در زمینه محدودیت کمی انتشار می‌باشد [۳].

طرح مالیات بر کربن

طرح مالیات بر کربن[1] نیز به عنوان یکی دیگر از راهکارهای محدود نمودن میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در بعضی کشورها در حال پیگیری و اجراست. در این طرح مراکز صنعتی به ازای تولید گازهای آلاینده موظف به پرداخت مالیات هستند. به عبارت دیگر، مراکز صنعتی موظف‌اند تا هر واحد آلاینده (کربن) را با قیمت مصوب، از دولت خریداری کنند. در این طرح بر خلاف طرح تجارت انتشار گزینه‌ای به عنوان خرید و فروش سهام کربن میان بنگاهها وجود ندارد. چالش عمده پیش روی این طرح نیز چگونگی تعیین قیمت هر واحد کربن است. این قیمت باید در عین اینکه حداکثر کاهش در میزان انتشار را به وجود می‌آورد، تضمین نماید که وضعیت اقتصادی بنگاهها دچار آسیب جدی نگردد .

شایان ذکر است که دو طرح مالیات بر کربن و تجارت نشر در سالهای اخیر به صورت گستردهای در کشورهای مختلف دنیا مورد توجه قرار گرفته‌اند .

مقالات در فضای تجارت انتشار

دسته اول مقالاتی هستند که در فضای تجارت انتشار به مدلسازی مساله خود پرداخته‌اند. در تابع هدف این دسته، تفاوت کل میزان کربن تولیدی با میزان مجاز انتشار به عنوان هزینه یا سود ناشی از خرید و فروش کربن، گنجانده می‌شود. مقادیر سقف مجاز انتشار و قیمت کربن به عنوان مفروضات مساله در نظر گرفته می‌شود. این دسته اکثریت مقالات مرور ادبیات را تشکیل می‌دهند. ابتدا به معرفی تعدادی از مقالاتی که در این دسته جای می‌گیرند پرداخته می‌شود.

Ramudhin و همکارانش مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط در فضای تجارت انتشار برای انتخاب مکان بهینه انبارها و نوع حمل‌ونقل در زنجیره تامین پایدار ارائه دادند. در این مقاله هر سه معیار پایداری زنجیره (اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی) لحاظ شده است. بعد اقتصادی آن به مینیمم کردن کل هزینه های لجستیکی در بین فعالیت‌های مختلف زنجیره (خرید، توزیع، انبارداری، تولید و بازیافت) می‌پردازد. بعد زیست‌محیطی آن با در نظر گرفتن قوانین انتشار گازهای گلخانه‌ای ارزیابی می‌شود، ودر نهایت بعد اجتماعی آن با بهینه کردن استانداردها و کیفیت زندگی اجتماعی لحاظ می‌شود. در این مقاله به منظور سنجش کل میزان انتشاری که در نتیجه کل فرآیندهای تولید و حمل‌ونقل ایجاد می‌گردد، کلیه گازهای گلخانه‌ای

[1] Carbon Tax

www.SID.ir

ایجاد شده در زنجیره به کمک معیار معادل کربن به مقدار کربن معادلشان تبدیل شده اند. مدل، CO_2 تولید شده در زنجیره را ارزیابی کرده، و میزان مجاز کربن تولید شده را برای پیکربندی‌های مختلف زنجیره تعیین می‌کند. متدولوژی ارائه شده اجازه می‌دهد که تصمیم‌های استراتژیک مختلفی مانند: انتخاب تامین‌کننده و پیمانکار[2]، تخصیص محصولات، به کارگیری ظرفیت، پیکربندی حمل‌ونقل و تاثیر آنها بر رد پای کربن مورد ارزیابی قرار گیرد. این مقاله در محیط تجارت انتشار مطرح شده است.

Ramudhin و همکارانش در سال ۲۰۱۱ مقاله‌ای ارائه دادند که گسترش کارهای قبلی بود. در این مقاله مجدداً یک مدل با دو هدف اقتصادی و زیست محیطی درنظر گرفته شده است. به منظور انطباق با مقررات مربوط به طرح تجارت انتشار دو رویه داخلی و خارجی معرفی گردیده است. رویه داخلی به امکان تغییر در فناوری یا راهبردهای مربوط به زنجیره تامین اشاره دارد. رویه خارجی نیز همان مکانیزم خرید و فروش سهام کربن (تجارت انتشار) است.

Ramudhin و همکارانش در سال۲۰۱۲ حالت معکوس زنجیره تامین را در کنار زنجیره مستقیم در نظر گرفتند. این مدل نیز در فضای تجارت انتشار در نظر گرفته شده، اما محدودیت میزان کربن به محدودیت‌ها اضافه شده است. با استفاده از روش ارزیابی چرخه عمر (LCA[1]) ، کربنی که در زنجیره ایجاد می‌شود را لحاظ کردند. LCA روشی است که کربن ایجاد شده برای تولید یک محصول را در مراحل مختلف (تولید، انبارداری، حمل‌ونقل...) مورد بررسی قرارداده و با هدف کاهش میزان آلایندگی به دنبال ایجاد زنجیره تامین پایدار می‌گردد. و در نهایت تحلیل بر روی قیمت کربن به عنوان یک فاکتور تاثیرگذار بر پیکربندی زنجیره ارائه گردیده است.

مقالات در فضای مالیات بر کربن

دسته دوم مقالاتی هستند که زنجیره تامین مساله خود را در فضای مالیات بر کربن مدل نموده اند به این صورت که هزینه ناشی از خرید مجوزهای کربن را علاوه بر سایر هزینه های زنجیره، در تابع هدف لحاظ نمودهاند. البته تعدادی از مقالات در کنار مدلسازی در فضای مالیات بر کربن، طرح های دیگری را به منظور کاهش انتشار کربن در زنجیره برای مدلسازی مساله خود به کار گرفته‌اند و به مقایسه طرح های مختلف بر روی ساختار شبکه زنجیره تامین پرداخته‌اند.

Fahimnia- و همکاران ابتدا یک مدل غیر خطی به منظور کاهش هزینه های زنجیره در محیط مالیات بر کربن ارائه دادند. میزان آلایندگی انتشار یافته برای حمل‌ونقل با توجه به سوخت مصرفی که خود به‌صورت تابعی از سطح ناهمواری جاده ها و سرعت وسیله نقلیه می‌باشد، محاسبه می‌شود. سپس به وسیله تابع قطعه‌ای و تقریب خط مماس مدل خطی شده و تحلیل‌هایی به ازای قیمت‌های مختلف کربن انجام شده است.

Jin و همکارانش در سال ۲۰۱۴ زنجیره تامین سه سطحی شامل منبع، مراکز توزیع و خردهفروش در نظر گرفتند. هدف در این مقاله تحلیل سیاست‌های مختلف کربن بر روی زنجیره است. سه سیاست کربن بررسی شد: مالیات بر کربن، محدودیت انتشار و تجارت نشر. ابتدا مدلی پایه‌ای بدون در نظر گرفتن انتشار کربن در نظر گرفته شد؛ سپس تفاوت سیاست‌های مختلف با مدل پایه بررسی شد.

Martí- و همکارانش در سال ۲۰۱۵ انتشار ناشی از فرآیندهای مختلف زنجیره که بر روی طراحی ساختار زنجیره تاثیرگذار

[2] Subcontractor
[2] Life Cycle Assessment

www.SID.ir

بود، در مدل خود در نظر گرفته‌اند. بر این اساس انتشار ناشی از نگهداری کالا، مواد خام، تولید و حمل‌ونقل در مدل لحاظ شده است. علاوه بر مدلسازی مساله در فضای مالیات بر کربن، بر اساس دو سیاست SCCFC[2] و MCFC[3] نیز مدلسازی شده است.. در سیاست SCCFC میزان کربن انتشار یافته (از ابتدای تولید محصول تا رسیدن به دست مشتری) برای هر واحد محصول محاسبه شده و سقفی برای حداکثر انتشار به ازای مجموع انتشار حاصل از کل کالاهای فروخته شده در تمام مراکز فروش در نظرگرفته می‌شود. سیاست MCFC مطابق سیاست قبل است اما در سیاست MCFC این سقف انتشار برای هر مرکز فروش به صورت جدا لحاظ می‌شود. سپس به مقایسه این سه سیاست بر روی ساختار شبکه پرداخته شده است.

مقالات بدون طرح های تجارت انتشار و مالیات بر کربن

Mallidis- و همکارانش یک مدل دو هدفه را برای زنجیره تامین خود در نظر گرفتند. هدف اول بر اساس کمینه کردن کل هزینه های موجود در زنجیره و هدف دوم بر اساس کمینه کردن کل آلودگی‌های منتشر شده در زنجیره است. عوامل مخرب زیست‌محیطی در این مقاله کربن و ذرات گردوغبار در نظر گرفته شده است. لذا کل آلودگی منتشر شده در زنجیره در نتیجه دو عامل حمل‌ونقل و انتشار آلاینده های کربن و ذرات گردوغبار ایجاد شده است. لازم به ذکر است هدف تنها، کمینه کردن سطح انتشار آلودگی بوده و طرح خاصی برای کاهش انتشار در نظر گرفته نشده است. در این مدل امکان انتخاب انبارها و روش حمل‌ونقل هم به صورت اختصاصی[4] و هم به صورت مشترک[5] در نظر گرفته شده است.

Li و همکارانش‌مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط دو هدفه ارائه دادند، که هدف اول ماکزیمم کردن سود و هدف دوم مینیمم کردن میزان انتشار برای به دست آوردن مکان بهینه انبار و انتخاب نوع وسیله حمل‌ونقل می‌باشد. معیار بهینگی بر اساس هزینه های حمل‌ونقل و CO2 انتشار یافته است. کربن انتشار یافته مرتبط با تولید و حمل‌ونقل می‌باشد. کربن دی اکسید طی فرآیند تولید محصول و حمل‌ونقل و انرژیی که طی این فرآیندها مصرف می‌شود ایجاد می‌شود. در این مقاله نحوه بهبود تکنولوژی تولید در هر کارخانه برای کاهش انتشار کربن در نظر گرفته نشده است

معرفی پارامترها و متغیرهای مدل

زنجیره تامینی که در این پژوهش در نظر گرفته شده است، یک زنجیره تامین چند کالایی و چند دوره‌ای است که در محیط تجارت انتشار فعالیت می‌کند. در این زنجیره مطابق شکل ۳-۱ مجموعه‌ای از I نوع کالا (با اندیس i) بر روی مجموعه‌ای از M نوع ماشین (با اندیس m) در P سایت تولیدی (با اندیس p) تولید می‌شود. هزینه های تولید و نرخ انتشار کربن بر اساس زمانهای پردازش، عمر ماشین و فناوری تولید مورد استفاده برای ماشین‌های مختلف متفاوت است. میزان آلایندگی برای تولید هر واحد کالا در یکی از k سطح تعریف شده می‌باشد. کالاهای ساخته شده می‌توانند به صورت مستقیم از سایت تولیدی به مشتری C (با اندیس c) در نقاط مختلف جغرافیایی ارسال شده و یا از طریق انبارها D (با اندیس d) به دست مشتریان برسد.

J نوع وسیله حمل‌ونقل (با اندیس j) هر یک با هزینه های جابه‌جایی و مقدار انتشار متفاوت مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مورد انبارها و محل‌های نگهداری کالا در سایت‌های تولیدی نیز وضعیت مشابهی وجود دارد؛ هزینه های انبارداری و میزان

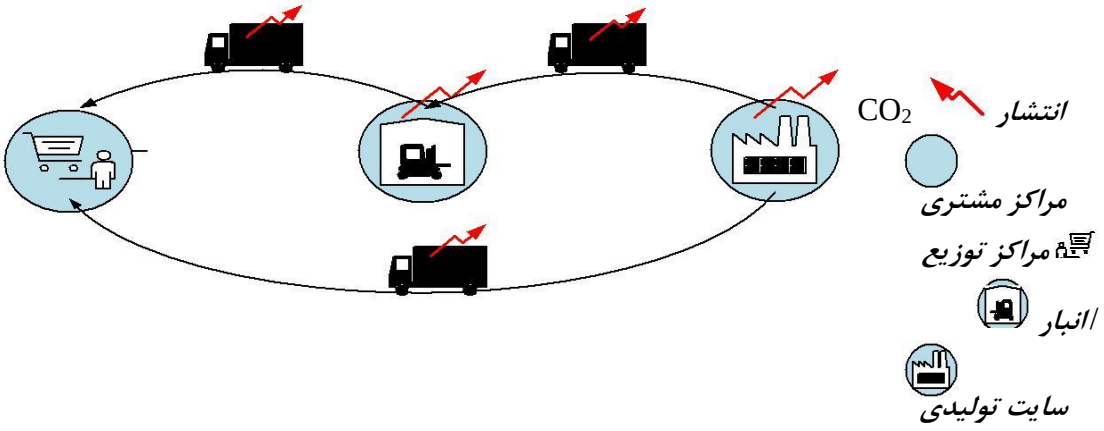
[2] Supply Chain Carbon Footprint Cap
[2] Market Carbon Footprint Cap
[2] Dedicated Warehouse
[2] Shared Warehouse

www.SID.ir

انتشار در نتیجه نگهداری کالا برای انبارهای مختلف، متفاوت است.

فرضیات مدل:

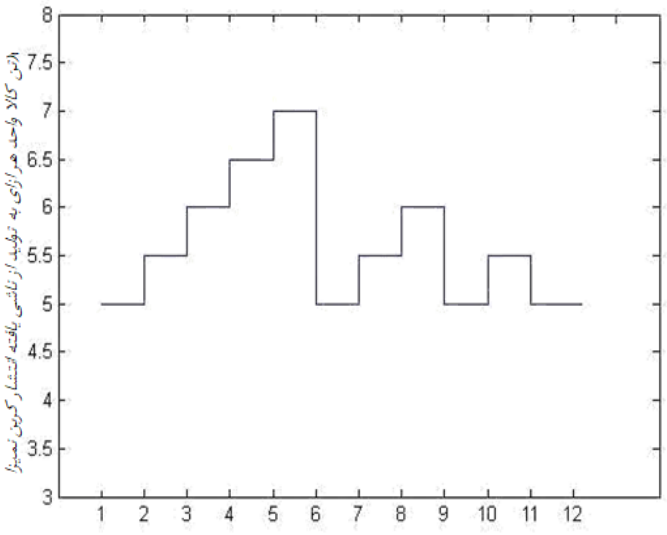
- تعداد و مکان و ظرفیت سایت‌های تولیدی و انبار معلوم است.
- تعداد و مکان نقاط تقاضا مشخص است.
- مجموع تقاضای هر کالا برای هر دوره زمانی در کل افق برنامه‌ریزی مشخص است.
- تقاضای عقب افتاده برای یک کالای مشخص در تمامی دورههای زمانی به غیر از دوره آخر افق برنامه‌ریزی مجاز است. به این معنا که تقاضای پیش‌بینی شده برای هر نوع کالا در همان دوره یا دورههای قبل از اتمام افق برنامه‌ریزی باید پاسخ داده شود.
- یک انبار یا یک نقطه تقاضا می‌تواند توسط بیش از یک سایت تولیدی تامین شود.
- تعداد ساعات در دسترس ماشین‌ها، کل مواد خام در دسترس، ظرفیت ذخیره انبارها و محل نگهداری موجودی در سایت تولیدی و ظرفیت حمل‌ونقل همگی معلوم اند.
- تولید مواد خام به محصول به صورت یک به یک صورت می‌گیرد.
- محدودیتی برای خرید و فروش مجوزهای انتشار کربن وجود ندارد.
- امکان به‌روز شدن ماشین‌آلات تولیدی در ابتدای هر دوره زمانی می‌باشد و این به‌روز شدن در میزان آلاینده های ناشی از تولید تاثیرگذار است. مقدار آلاینده ها به کمک معیار معادل کربن تبدیل می‌شود. منظور از به‌روزرسانی به طور مثال می‌تواند تعویض یک قطعه از ماشین، روغن‌کاری ماشین و یا قرار دادن یا تعویض فیلتر برای به دام انداختن آلاینده ها و یا انجام فعالیت‌های دیگر به منظور کاهش میزان ضایعات و انتشارآلاینده ها باشد. میزان آلایندگی ماشین‌آلات تولیدی به ازای تولید هر واحد محصول i به طور نمونه مطابق شکل ۳-۲ فرض شده است. در شکل ۳-۲ مشاهده می‌شود انتشار آلاینده ها تا دورهای که به‌روزرسانی صورت گیرد به صورت خطی افزایش می‌یابد و در صورت به‌روزرسانی در دوره ۱، ۶، ۹ و ۱۱ به مقدارمشخصی می‌رسد.



شکل ۳-۱ ساختار زنجیره تامین مورد بررسی

www.SID.ir

دوره زمانی شکل ۳-۲ نمونه‌ای از تغیرات میزان آلایندگی ایجاد شده برای تولید هر واحد محصول در صورت به‌روزرسانی و عدم به‌روزرسانی



تعریف و حل مدل

در مدلی که در این پژوهش برای تعویض ماشین آلات ارائه شده، علاوه بر فاکتورهای اقتصادی تعویض ماشین آلات، میزان آلایندگی که به دلیل دور انداختن ماشین قدیمی و یا خرید ماشین جدید انتشار یافته و همچنین میزان آلایندگی ایجاد شده به ازای هر ساعت کار ماشین با توجه به سن هر ماشین و سطح تکنولوژی هر ماشین مورد ملاحظه قرار گرفته است. وقتی یک نوع ماشین با چندین سطح تکنولوژی تعریف میشود به این معنا است که در سطوح مختلف تکنولوژی، ماشین آلات از نظر میزان آلایندگی ایجاد شده به ازای هر ساعت کار ماشین، سرعت و ظرفیت ماشین برای تولید یک واحد محصول، یا در مشخصههای دیگر با هم متفاوت میباشند. مساله بر اساس سیاست مالیات بر کربن و تجارت نشر مدلسازی شده است. فرض بر این است که ماشین آلات در بیشترین ظرفیت ممکن خود در هر دوره کار میکنند و تمامی ماشین آلات در انتهای افق زمانی باید فروخته شوند. تصمیم گیری برای هر دوره در انتهای دوره قبلش صورت میگیرد. شایان ذکر است که مدل ارائه شده تنها برای ماشین آلات تولیدی تعریف نشده و به راحتی برای مجموع ماشین آلات حمل ونقل قابل تعمیم است.

هر ماشین $m \in \{1, 2, \dots, M\}$، در سطح تکنولوژی $s \in \{1, 2, \dots, S\}$، موجود و اندیس $i \in I_{sm} = \{1, 2, \dots, I_{sm}\}$ نشان دهنده سن ماشین m در سطح تکنولوژی s میباشد. تصمیمگیری در انتهای دوره زمانی $t \in T = \{0, 1, 2, \dots, T\}$ گرفته میشود.

www.SID.ir

پارامترهای ورودی مساله به شرح زیر میباشد:

v_{mst} : هزینه خرید ماشین m در سطح تکنولوژی s در انتهای دوره t

m_{imso} : هزینه نگهداری و تعمیرات ماشین i ساله m در سطح تکنولوژی s (ساعت/دلار)

s_{ims} : قیمت فروش ماشین i ساله m در سطح تکنولوژی

dr_t : نرخ تنزیل بهره در دوره

b_t : بودجه در دسترس در انتهای دوره t

d_t : تقاضا در دوره $t+1$

u_{imst} : بهرهوری ماشین i ساله m در سطح تکنولوژی s در دوره t (بیشتری ظرفیت (ساعت) ماشین i ساله m در سطح تکنولوژی s در دوره t که میتواند مورد استفاده قرار گیرد.)

I_{ms} : بیشترین سن ماشین m در سطح تکنولوژی s (وقتی ماشین به این سن میرسد باید فروخته شود.)

h_{ims} : تعداد ماشین در دسترس i ساله m در سطح تکنولوژی s در دوره صفر

es_{ms} : میزان گازگلخانهای انتشار یافته برای دورانداختن ماشین m در سطح تکنولوژی s (تن)

ep_{ms} : میزان گازگلخانهای انتشار یافته برای خرید ماشین m در سطح تکنولوژی s (تن)

em_{ims} : میزان گاز گلخانهای انتشار یافته به ازای هر ساعت کار ماشین i ساله m در سطح تکنولوژی s (تن)

متغیرهای مدل:

x_{imst} : تعداد ماشین مورد استفاده i ساله m در سطح تکنولوژی s برای دوره $t+1$: y_{imst}
تعداد ماشین فروخته شده i ساله m در سطح تکنولوژی s در انتهای دوره t
p_{mst} : تعداد ماشین خریداری شده m در سطح تکنولوژی s در انتهای دوره t

مدل بدون در نظر گرفتن فاکتورهای زیست محیطی

در ابتدا مساله را با توجه به فاکتورهای اقتصادی تعویض ماشین آلات و بدون در نظر گرفتن فاکتورهای زیست- محیطی فرمولبندی میکنیم. بر این اساس هیچ یک از سیاستها در مدلسازی مساله مورد ملاحظه قرار نمیگیرد.

www.SID.ir

$$\forall t \in \{۰, ۱, ۲, \dots, T-۱\} \quad (۲-۴$$

$$\sum \sum Mm Ss\ ximstvmst \le bt$$

$$\sum lism \sum \sum Mm Ss\ ximstuimst \ge dmt \quad \forall t \in \{۰, ۱, ۲, \dots, T-۱\} \quad (۳-۴)$$

$$pmst = x۰mst \quad \forall t \in \{۱, ۲, \dots, T-۱\} \quad \forall m \in M \quad (۴-۴)$$

$$Pms۰ + h۰ms = x۰ms۰ \quad \forall m \in M \quad \forall s \in S \quad (۵-۴)$$

$$xims۰ + yims۰ = hims \quad \forall i \in \{۱,۲, \dots, I_{sm}\} \quad \forall m \in M \quad \forall s \in S \quad (۶-۴)$$

$$x(i-۱)ms(t-۱) = ximst + yimst \quad \forall i \in \{۱,۲, \dots, I_{sm}\} \quad \forall t \quad \forall s \in S \quad (۷-۴)$$

$$x_{im}sT = ۰ \quad \forall i \in \{۰, ۱, ۲, \dots, I_{sm}-۱\} \quad \forall m \in M \quad \forall s \in S \quad (۸-۴)$$

$$xmsI_{ms}t = ۰ \quad \forall t \in \{۰, ۱, ۲, \dots, T\} \quad \forall m \in M \quad \forall s \in S \quad (۹-۴)$$

$$y.mst = ۰ \quad \forall j \in \{۰, ۱,۲, \dots, T\} \quad \forall k \in K \quad (۱۰-۴)$$

$$p \quad , x \quad , y \quad \in I = \{۰, ۱, ۲, \dots\} \quad (۱۱-۴)$$

Min $\sum$ Iims $\sum$ $\sum \sum$ Mm Ss T-۱t

$\sum \sum \sum$ Mm Ss t۱T-

۱vmstpmst(+ drt)-t -

$\sum$ Ism $\sum \sum$ Ss $\sum$ Mm

۱Tt simsyimst(+

محدودیتها: drt)-t

Mst imst imst

مدل بدون در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی از شماره (۴-۱) تا (۴-۱۱) تعریف شده است. این مدل مرسوم تعویض ماشین آلات است که عوامل مختلف انتشار کربن در آن لحاظ نشده است. تابع هدف (۴-۱) به ترتیب هزینه های نگهداری، خرید و فروش ماشین آلات را در طی افق زمانی حداقل میکند. محدودیت (۴-۲) بیان میکند هزینه های خرید ماشین آلات نباید از بودجه در دسترس بیشتر باشد. در محدودیت (۴-۳) تعداد

ماشین آلات در هر دوره باید تقاضای آن دوره را پاسخ دهد. در محدودیت (۴-۴) تعداد ماشین آلات جدید در هر دوره زمانی به جز دوره صفر برابر با تعداد ماشین آلات خریداری شده میباشد. محدودیت (۴-۵) نشان میدهد تعداد ماشین آلات جدید در دوره یک، برابر با مجموع تعداد ماشین جدید در دسترس و ماشین خریداری شده در دوره صفر میباشد. محدودیت (۴-۶) بیان میکند تعداد ماشین آلات i سالهای که در دوره یک مورد استفاده قرار میگیرد باید برابر با اختلاف تعداد ماشین در

www.SID.ir

دسترس و تعداد فروخته شده باشد. محدودیت۷) نشان میدهد سن هر ماشین بعد از گذشت هر دوره یک سال افزایش مییابد. در محدودیت (۴-۸) همه ی ماشین آلات در انتهای افق زمانی و در محدودیت (۴-۹) هر ماشین بعد از رسیدن به بیشترین سن خود باید فروخته شود. محدودیت (۴-۱۰) بیان میکند ماشین جدید خریداری شده نباید قبل از استفاده فروخته شود. محدودیت (۴-۱۱) نشان میدهد متغیرها باید دارای مقادیر صحیح باشند.

مدل در سیاست مالیات بر کربن

از آنجایی که سیاست مالیات بر کربن یکی از راهکارهای کاهش انتشار کربن میباشد لذا مساله در محیط مالیات بر کربن مدل خواهد شد. ec_t هزینه های انتشار به ازای هرتن کربن تولید شده در هر دوره (دلار بر تن) تعریف شده است. حال اثر انتشار آلایندههای زیستمحیطی به صورت زیر تابع هدف را تغییر میدهد.

Min ∑Iism∑ ∑ ∑MmSs T-۱t omimsuimstximst (۱ + drt)-t +

(۴-۱۲) ∑Iims ∑ ∑ ∑Mm Ss T-۱t emimsuimst ximst ect(۱ + drt)-t +

∑ ∑SsT-۱t (vmst + epms ect)pmst(۱ + drt)-t -

$\sum_i^{I_{sm}} \sum\sum\sum_s^S {}_t^T(s_{ims}$-esms ect)yimst(۱ + drt)-t

تابع هدف (۴-۱۲) هزینه های انتشار را در کنار سایر هزینه ها حداقل میکند. محدودیت ها نیز همان محدودیت های (۴-۲) تا (۴-۱۱) میباشد. همانطور که دیده میشود مدل مالیات بر کربن تقریبا مشابه مدل مرسوم تعویض میباشد اما وارد کردن هزینه های انتشار ممکن است که بر روی زمان و انتخاب نوع ماشین برای تعویض تاثیر گذار باشد که در نمونه حل شده در قسمتهای بعدی نشان داده خواهد شد.

مدل در سیاست تجارت نشر

تابع هدف به صورت زیر میباشد.

Min ∑Iism∑ ∑ ∑MmSs T-۱t omimsuimstximst (۱ + drt)-t +

(۴-۱۲) ∑ ∑ ∑Mm Ss T-۱t vsmtpsmt(۱ + drt)-
t -∑Iism∑ ∑ ∑mM sS Tt simsyimst(۱ + drt)-t +

∑Tt Ect(Tet - Tetmax)

www.SID.ir

اینک مساله را در محیط تجارت نشر مدل میکنیم. در سیاست تجارت نشر پارامتر Te_t^{max} بیانگر بیشترین مقدار مجاز سقف انتشار در هر دوره میباشد. در سیاست تجارت نشر اختلاف بین میزان انتشار در هر دوره با Te_t^{max} میتواند به عنوان سود یا هزینه در تابع هدف گنجانده شود. همچنین پارامتر Ec_t معرف قیمت کربن در محیط تجارت نشر میباشد. Te_t کل کربن انتشار یافته در هردوره زمانی را نشان میدهد. در محدودیت (۴-۱۴) کل کربن انتشار یافته در هر دوره زمانی به جز دوره T که به ترتیب برابر با مجموع میزان انتشار ناشی از دور انداختن ماشین مستهلک شده، میزان انتشار ناشی از مدت زمان کارکرد ماشین و انتشار ناشی از خرید ماشین جدید میباشد. در دوره T انتشار تنها ناشی از فروش ماشین آلات را داریم که به همین دلیل محدودیت (۴-۱۵) آورده شده است.

$$Tet = \sum iIsm \sum \sum MmSs\ esms\ yimst + \sum iIsm \sum \sum MmSs\ emimsuimstximst + \qquad (۱۴-۴)$$

$$\sum \sum_m {}^{S_s} ep_{ms} p_{mst} \qquad \forall\ t = ۱,۲, \dots, T - ۱$$

$$Te۱۲ = \sum Iism \sum \sum MmSs\ esms\ yimst \qquad (۱۵-۴)$$

در جدول ۴-۱ مدل تحت سیاستهای مختلف به طور خلاصه آورده شده است.

۴-۱-۱-۱ حل و تحلیل مدل

به منظور نشان دادن کاربردی بودن مدل برنامه ریزی عدد صحیح ارائه شده، به کمک داده های فرضی مساله با روش دقیق توسط نرم افزار CPLEX 12.3 حل شده است. در مثال حل شده یک نوع ماشین با دو نوع سطح تکنولوژی در نظر گرفته شده که ماشین با سطح تکنولوژی A از نظر کربن تولیدی بیشتر از ماشین با سطح تکنولوژی B و همچنین قیمت خرید ماشین با سطح A کمتر از سطح B میباشد. هزینه ها و میزان انتشار به صورت خطی با گذشت هر دوره افزایش میابد. در جدول ۴-۲ و ۴-۳ به ترتیب میزان انتشار کربن و قیمت خرید دو ماشین آورده شده است در پارامترهای دیگر دو ماشین با هم برابر فرض شده است. ارزش زمانی پول نیز در تمام دوره ها ثابت و برابر با ۰/۱ در نظر گرفته شده است. در ابتدای افق زمانی نیز هیچ ماشینی موجود نمی باشد. افق زمانی برابر با ۰۱ سال میباشد که در انتهای هر سال برای سال بعد تصمیم گیری میشود.

با توجه به شکل ۴-۱ و ۴-۲ همانطور که انتظار میرفت در هر دو محیط مالیات بر کربن و تجارت نشربا افزایش نرخ کربن ترجیح داده شود از ماشین آلاتی با میزان آلایندگی کمتر استفاده شود. مشاهده میشود در محیط مالیات بر کربن در نرخ مالیات بالاتر از ۰۹ دلار ماشین آلاتی با سطح تکنولوژی B استفاده میشود. این در حالی است که در محیط تجارت نشر در قیمت ۰۹ دلار حدود ۵۵٪ از ماشین آلات سطح A استفاده میشود. همچنین میتوان اظهار داشت در قیمتهای بالا ۰۱ دلار در هر دو محیط به دلیل کاهش انتشار استفاده از تکنولوژی B مورد ملاحظه قرار میگیرد. به طور کلی میتوان گفت در قیمتهای برابر کربن در محیط مالیات بر کربن تمایل بیشتری به استفاده از ماشین آلاتی با میزان آلایندگی کمتر میباشد. اما با توجه به شکل ۴-۳ نمیتوان اظهار داشت که تعداد دفعات تعویض در طی افق زمانی در محیط مالیات بر کربن تحت هر قیمتی بیشتر از محیط تجارت نشر است.

جدول ۴-۱ خلاصه سه مدل تحت سیاستهای مختلف کربن

www.SID.ir

نام مدل	سیاست	پارامتر متناسب با هر سیاست	تابع هدف	محدودیتها
مدل اقتصادی	بدون سیاست کربن		(۱-۴) -	(۲-۴) تا (۱۱-۴)
مدل مالیات بر کربن	سیاست مالیات برکربن	ec_t: نرخ مالیات به ازای هر تن CO_2 تولید شده(تن/دلار)	(۱۲-۴)	(۲-۴) تا (۱۱-۴)
مدل تجارت نشر	سیاست تجارت نشر	Ec_t: هزینه هر تن CO_2 تولید شده(تن/دلار) Te_t^{max}: بیشترین مقدار مجاز انتشار(تن) در هر دوره Te_t: مقدار کربن تولید شده در هر دوره. $(Te_t - Te_t^{max})$: مقدار کربن خریداری یا فروخته شده	(۱۳-۴)	(۲-۴) تا (۱۱-۴) و (۱۴-۴) و (۱۵-۴)

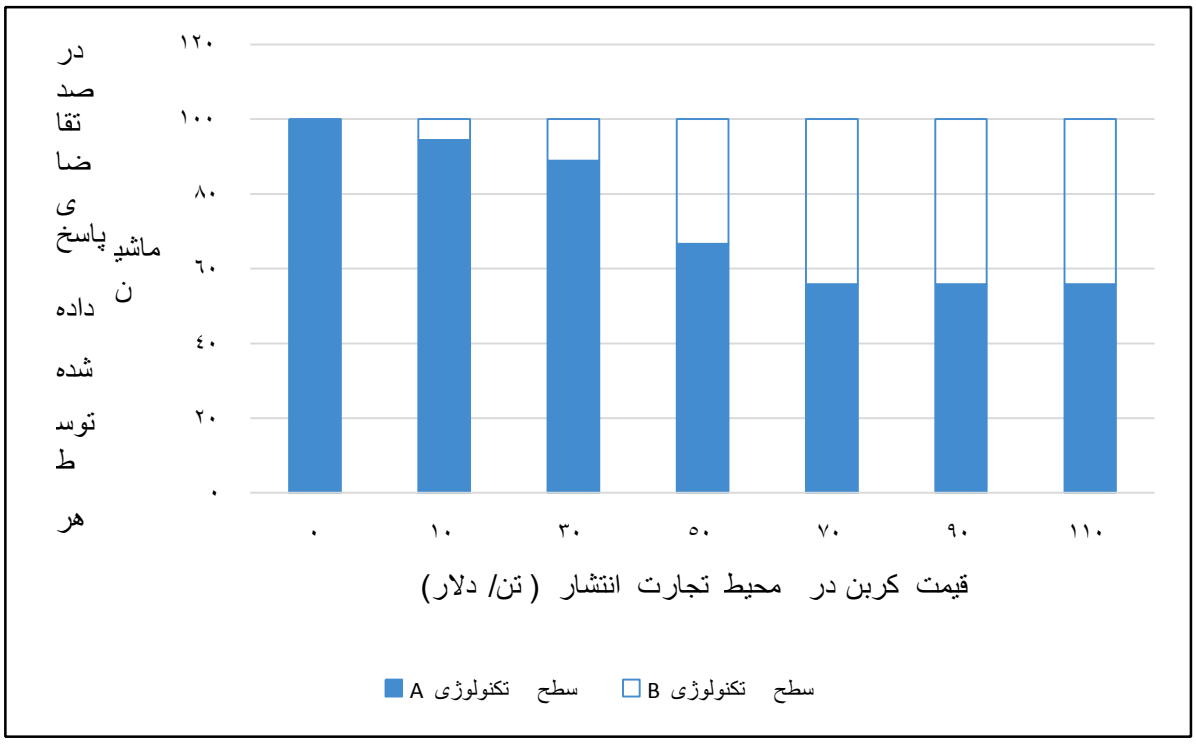
جدول ۴-۲ میزان کربن انتشار یافته به ازای هر ساعت کار ماشین با سطوح مختلف تکنولوژی

سن ماشین	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
میزان انتشار کربن به ازای هر ساعت کار ماشین در سطح تکنولوژی A (تن)	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵	۵۶	۵۷	۵۸	۵۹	۶۰
میزان انتشار کربن به ازای هر ساعت کار ماشین در سطح تکنولوژی B (تن)	۲۱/۶	۲۲/۶	۲۳/۶	۲۴/۶	۲۵/۶	۲۶/۶	۲۷/۶	۲۸/۶	۲۹/۶	۳۰/۶	۳۱/۶

جدول ۴-۳ قیمت خرید هر ماشین در هر سطح تکنولوژی

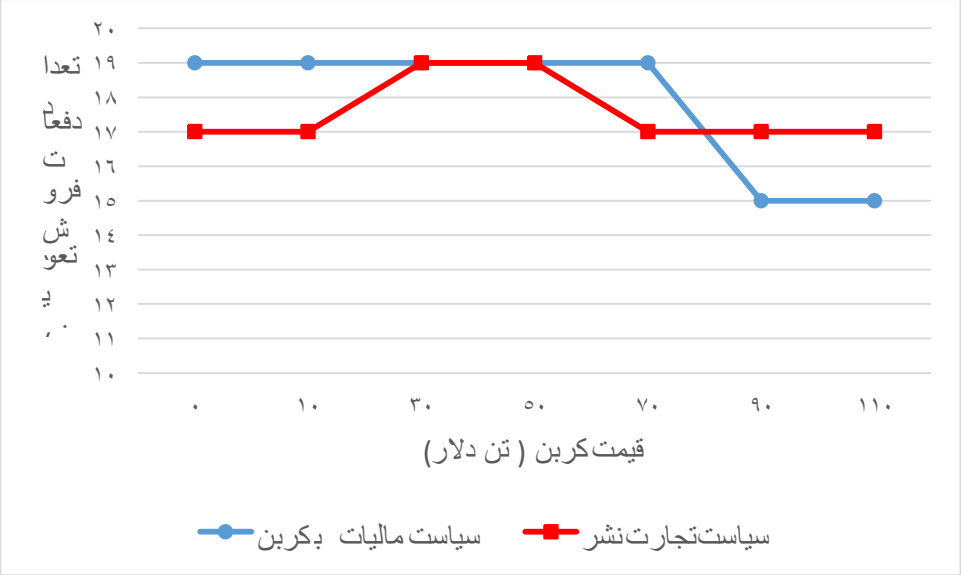
www.SID.ir

سال خرید	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
قیمت خرید ماشین با سطح تکنولوژی A	۱۴۰۰۰	۱۴۵۰۰	۱۵۰۰۰	۱۵۵۰۰	۱۶۰۰۰	۱۶۵۰۰	۱۷۰۰۰	۱۷۵۰۰	۱۸۰۰۰	۱۸۵۰۰
قیمت خرید ماشین با سطح تکنولوژی B	۱۶۰۰۰	۱۷۰۰۰	۱۸۰۰۰	۱۹۰۰۰	۲۰۰۰۰	۲۱۰۰۰	۲۲۰۰۰	۲۳۰۰۰	۲۴۰۰۰	۲۵۰۰۰



شکل ۴-۲ درصد تقاضای پاسخ داده شده توسط هر ماشین نسبت نرخ کربن در محیط تجارت نشر

www.SID.ir



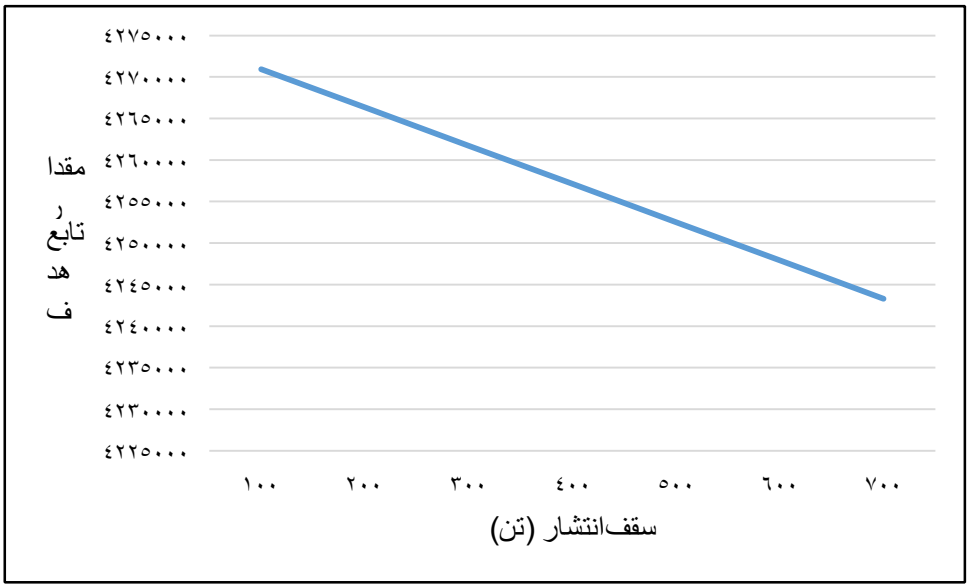
شکل ۴-۳ مقایسه تعداد دفعات تعویض در طی افق زمانی در قیمتهای مختلف کربن

جدول ۴-۴ به ازای سقف انتشارهای مختلف در محیط تجارت نشر به آنالیز تعویض میپردازد. سقف انتشار در زمانبندی تعویض ماشین آلات تاثیر نمیگذارد همانطور گفته شد در قیمت کربن ۰۱ دلار تنها ۵/۶ درصد از ماشین آلات در سطح تکنولوژی B در طی افق زمانی انتخاب میشوند. جدول۴-۴ نشان میدهد که در طی افق زمانی چه مقدار کربن بیشتر از حد مجاز تولید شده است. مشاهده میشود که وقتی سقف انتشاربرابر یا بیشتر از ۰۰۵ تن در هر دوره باشد، مجبور به خرید کربن می باشیم.

جدول ۴-۴ تحلیل حساسیت بر روی سقف انتشار در سیاست تجارت نشر با قیمت کربن تن/دلار۰۱

سقف انتشار در هر دوره (تن)	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰
درصد تقاضای پاسخ داده شده توسط ماشین با سطح تکنولوژیA	۹۴/۴	۹۴/۴	۹۴/۴	۹۴/۴	۹۴/۴	۹۴/۴
درصد تقاضای پاسخ داده شده توسط ماشین با سطح تکنولوژی B	۵/ ۶	۵/۶	۵/۶	۵/۶	۵/۶	۵/۶
مقدار کربن خریداری شده (تن)	۲۳۴۸/ ۵۸۹	۲۰۴۸/۵۸۹	۱۰۴۸/۵۸۹	۴۸/۵۸۹	۰	۰
مقدار کربن فروخته شده (تن)	۰	۰	۰	۰	۹۵۱/۴۱۱	۱۹۵۱/۴۱۱
میزان انتشار کربن (تن)	۴۰۴۸/ ۵۸۹	۴۰۴۸/۵۸۹	۴۰۴۸/۵۸۹	۴۰۴۸/۵۸۹	۴۰۴۸/۵۸۹	۴۰۴۸/۵۸۹

www.SID.ir



شکل ٤-٤ مقادیر تابع هدف نسبت به سقف‌انتشار

اینک مساله نسبت به سقف انتشار کربن در هر دوره (TE_t^{max}) مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا به بررسی تاثیر تغییرات TE_t^{max} بر روی کلیه هزینه ها (تابع هدف) میپردازیم. مطابق شکل ۴-۴ مشاهده میشود که با افزایش مقدار TE_t^{max} مقدار تابع هدف که همان هزینه ها است به صورت خطی کاهش مییابد. دلیل این امر هم مشخص است، چرا که TE_t^{max} در تابع هدف به صورت خطی وجود دارد.

بر اساس داده های بالا برنامه زمان بندی خرید به گونه ای است که تحت هر قیمتی در تمام دوره ها خرید انجام میشود. اما با افزایش قیمت کربن تعداد ماشین خریداری شده در سطح تکنولوژی B افزایش مییابد. جدول ۴-۵ و ۴-۶ به ترتیب زمانبندی خرید ماشین آلات در محیط مالیات بر کربن و تجارت نشر را نشان میدهد.

جدول ۴-۵ زمانبندی خرید ماشین آلات در محیط مالیات بر کربن

قیمت کربن (تن/دلار)	نوع ماشین	دوره زمانی									
		۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۰	A	۳		۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
	B		۱								
۳۰	A	۳		۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
	B		۲								

www.SID.ir

	A	۳		۲	۲		۲	۲	۲	۲
۵۰										
	B		۲			۲				۲
	A	۳		۲	۲		۲	۲	۲	
۷۰										
	B		۲			۲				۲

جدول ۴-۶ زمانبندی خرید ماشین آلات در محیط تجارت نشر

		دوره زمانی									
قیمت کربن (تن/دلار)	نوع ماشین	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۱۰	A	۲		۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
	B		۲								
۳۰	A					۲	۲	۲	۲	۲	۲
	B	۳	۲	۲	۲						
۵۰	A										۲
	B	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	
۷۰	A										۲
	B	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	

پیشنهادات

امروزه حفظ محیط زیست و استراتژی های مربوط به آن در اولویت برنامه ها، به عنوان یک نوآوری سازمانی قرار گرفته است. سازمان از یک طرف باید به سود دهی و مزیت رقابتی، از طرف دیگر به از بین بردن و حداقل رساندن ضایعات (انرژی، تولید گازهای گلخانهای، مواد زائد، مواد شیمیایی و خطرناک) توجه کند. در این زنجیره تامین چند محصولی در نظر گرفته شده

www.SID.ir

شامل سایت های تولیدی، انبار/مراکز توزیع و مراکز مشتری میباشد. امکان ارسال مستقیم محصولات از سایت های تولیدی به مراکز مشتری و همچنین از انبار به مراکز مشتری میباشد.

کربن انتشار یافته ناشی از تولید، نگهداری و حمل ونقل است. با توجه به این که میزان آلایندگی ماشین آلات با گذشت دوره های زمانی روند صعودی دارد، به نقش به روزرسانی ماشین آلات در برنامه ریزی زنجیره تامین پرداخته شده است. لذا با به روزرسانی در هر دوره میزان آلایندگی ها برای تولید هر واحد محصول کاهش مییابد. به روزرسانی فعالیتی هزینهبر برای زنجیره میباشد. اما از آنجایی که زنجیره در محیط تجارت انتشار فعالیت میکند افزایش آلایندگی موجب بالا رفتن هزینه های انتشار میشود.

انتخاب زمان مناسب به روزی میتواند موجب کاهش هزینه ها شود. لذا با توجه به محدودیت های ظرفیت سایت های تولیدی برای تولید، ظرفیت انتقال، ظرفیت نگهداری، ظرفیت ماده خام در دسترس، محدودیت های مربوط به برآورده کردن تقاضا و تعادل موجودی زمان به روز رسانی ماشین آلات در یک زنجیره تامین با داده های فرضی تعیین شد. سپس تحلیل هایی در پارامترهای مختلف مساله از جمله قیمت کربن، سقف انتشار کربن، مقادیر تقاضا، هزینه های به روز رسانی، مقادیر افزایش آلایندگی در صورت عدم به روز رسانی صورت گرفت. مشاهده شد به روزرسانی نقش موثری در کاهش میزان انتشار کربن و کاهش هزینه های زنجیره دارد. امکان به روز رسانی در زنجیره موجب تغییر در برنامه ریزی زنجیره میشود. تعداد دفعات و زمان به روز رسانی به پارامترهای مختلفی در زنجیره مثل تقاضا، هزینه های به روز رسانی قیمت کربن وابسته میباشد، که باید در طراحی زنجیره لحاظ شود.

به منظور تعویض ماشین آلات که از تصمیمات استراتژیک در سازمان ها میباشد در این پژوهش به معرفی مدلی برای تعویض موازی ماشین آلات با توجه به فاکتورهای زیست محیطی در محیط های مالیات بر کربن و تجارت نشر پرداخته شده است. فاکتورهای زیست محیطی مرتبط با میزان آلایندگی انتشار یافته ناشی از خرید ماشین جدید، فروش ماشین مستهلک شده و میزان آلایندگی انتشار یافته در زمان کاری هر ماشین در نظر گرفته شده است. تصمیم گیری ها بر مبنای نوع ماشین، سن ماشین، سطح تکنولوژی هر ماشین و نرخ تنزیل بهره در انتهای هر افق زمانی برای دوره بعد گرفته میشود. مشاهده شد زمانبندی تعویض ماشین آلات در سیاستهای مختلف کاملا متفاوت میباشد. به طوری که در محیط مالیات بر کربن تمایل بیشتری به استفاده از ماشین آلات با آلایندگی کمتر میباشد.
در تحقیقات آتی تحلیل مدلهای زنجیره تامین با کمک محدوده وسیع تری از داده های اقتصادی از زنجیره ها با مشخصات متفاوت و همچنین وارد نمودن مباحثی نظیر بودجه در دسترس و محدودیت در زمانهای به روز رسانی و در نظر گرفتن عمر مفید دستگاه ها می توان به نتایج اعتبار بیشتری بخشید. از دیگر پیشنهادها میتوان ادغام کردن تصمیمات در سطوح عملیاتی با تصمیمات راهبردی و کلان از جمله امکان تغییر در فناوری و تجهیزات مطرح کرد.

منابع

and A. Stevels, Essential perspectives for design for environment. Experience from the electronics industry, *International Journal of Production Research*, 45, 4021-4039, (2007).

S. Elhedhli and R. Merrick, Green supply chain network design to reduce carbon

www.SID.ir

emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17, 370-379, (2012).

United Nations Framwork Convention on Climate Change websit http://unfccc.int/2860.php, available at 2016.

Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015, available at United Nations Framwork Convention on Climate Change websit: http://unfccc.int/2860.php.

S Labatt, RR With, *Carbon finance: the financial implications of climate change*, John Wiley & Sons, (2011).

A. Sachan, S. Datta, Review of supply chain management and logistics research, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35, 664 - 705, (2005)

M. Birou, S. E. Fawcett, and G. M. Magnan,The product life cycle: a tool for functional strategic alignment, *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 34, 37-52, (1998)

P. W. Stonebraker and J. Liao, Supply chain integration: exploring product and environmental contingencies, *Supply Chain Management*: *An International Journal*, 11, 34-43, (2006).

S. K. Srivastava, Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review, *International journal of management reviews*,9 ,53-80, (2007).

M. E. Porter, Location, competition, and economic development: Local clusters in a global economy, *Economic development quarterly*, 14, 15-34, (2000)

Management Zhongyuan University of Technology, P.R.China, 450007

F. Montabon, S. A. Melnyk, R. Sroufe, and R . J. Calantone, ISO 14000: assessing its perceived impact on corporate performance, *Journal of Supply Chain Management*, 36, 4-16, (2000).

K. Demeter, D. Simpson, D. Power, and D. Samson, Greening the automotive supply chain: a relationship perspective, *International Journal of Operations & Production*

www.SID.ir

Management, 27, 28-48, (2007).

Q. Zhu and J. Sarkis, The moderating effects of institutional pressures on emergent green supply chain practices and performance, *International Journal of Production Research*, 45, 4333-4355, (2007).

J. Sarkis, P. Gonzalez-Torre, and B. Adenso-Diaz, Stakeholder pressure and the adoption of environmental practices: The mediating effect of training, *Journal of Operations Management*, 28, 163-176, (2010).

A. Chaabane, A. Ramudhin, M. Kharoune, and M. Paquet, Trade-off model for carbon market sensitive green supply chain network design, *International Journal of Operational Research*, 10, 416-441, (2011).

Eropean commission website. Available*: http://ec.europa.eu*

K. O. A. Kossoy, R. C. Reddy, M. Bosi and S. Boukerche. *Mapping carbonpricing initiatives : developments and prospects, carbon finance at the world bank. Available:* http://documents.worldbank.org/curated/en/2013/05/17751166/mappingcarbon-pricing prospects_developments_initiatives

A. Diabat, T. Abdallah, A. Al-Refaie, D. Svetinovic, and K. Govindan, Strategic closed-loop facility location problem with carbon market trading, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60, 398-408,(2013).

Chaabane, A. Ramudhin, and M. Paquet, Designing supply chains with considerations, Production Planning & Control, 22, 727-741, (2011). *] A. Chaabane, A. Ramudhin, and M. Paquet, Design of sustainable supply chains under*

the emission trading scheme, *International Journal of Production Economics* , 135, 37-49,

(2012).] D. Kannan, A. Diabat, M. Alrefaei, K. Govindan, and G. Yong, A carbon footprint based۲۶[

reverse logistics network design model, *Resources, Conservation and Recycling*, 67, 75-

79, (2012).] A. D. Bojarski, J. M. Laínez, A. Espuña, and L. Puigjaner, Incorporating environmental

impacts and regulations in a holistic supply chains modeling: An LCA approach,

Computers & Chemical Engineering, 33, 1747-1759, (2009). *] B. Fahimnia, M. Raeisi, T. Paksoy and E. Ozceylan, The Implications of Carbon [*

www.SID.ir

pricing in Australia : An Industrial Logistics Planning Case Study. *Transportation*

Research PartD: Transport and Environment, 18, 78-85, (2013). *] M. Jin, N. A. Granda-Marulanda ,and I. Down, The impact of carbon policies on supply*

chain design and logistics of a major retailer, *Journal of Cleaner Production*, 85, 453-461,

(2014).

J. M. C. Martí, J .-S. Tancrez, and R. W. Seifert, Carbon footprint and responsiveness -offs in supply chain network design, *International Journal of Production*

Economics, 166, 129-142, (2015).

I. Mallidis ,R. Dekker, and D. Vlachos, The impact of greening on supply chain design

and cost: a case for a developing region, *Journal of Transport Geography*, 22, 118-128,

(2012).

www.SID.ir