مقاله پژوهشی

ارائه مدلی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز و در نظر گرفتن فروش ازدست‌رفته

سمانه بابایی مراد[1*]، محکام محبی[2]، حسن باقری[3]

دانشگاه الزهرا دانشگاه مالک اشتر

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۲۴

چکیده

در سال‌های اخیر افزایش روزافزون آلودگی محیط‌زیست و پیامدهای مخرب آن و همچنین افزایش نگرانی‌ها در این مورد سبب بروز مفاهیم و رویکردهای جدیدی برای کاهش این اثرات و اقدامات پیشگیرانه‌ی زیست‌محیطی شده است. ازجمله مهم‌ترین این رویکردها، زنجیره تأمین سبز است. زنجیره‌ی تأمین سبز، یکپارچه کننده‌ی مدیریت زنجیره‌ی تأمین با الزامات زیست‌محیطی در تمام مراحل طراحی محصول، انتخاب و تأمین مواد اولیه، تولید و ساخت، فرایندهای توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و بالاخره پس از مصرف، مدیریت بازیافت و مصرف مجدد به‌منظور بیشینه کردن میزان بهره‌وری مصرف انرژی و منابع همراه با بهبود عملکرد کل زنجیره تأمین است.

در این مقاله یک مدل چندهدفه برای شبکه زنجیره تأمین سبز ارائه‌شده است. برای حل آن از روش LP-متریک استفاده‌شده که در نرم‌افزار Gams کد شده است. نتایج نشان می‌دهد که بررسی دو عامل مهم هزینه و انتشار گاز کربن‌دی‌اکسیدی، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین آلاینده‌ها، باعث کاربردی شدن این مدل در شبکه‌ی زنجیره تأمین‌شده است و همچنین نتایج نشان می‌دهد که توجه به انتشار گازهای گلخانه‌ای در تقاضاهای بالاتر ضروری‌تر است.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین سبز، شبکه زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی آرمانی، روش LP-متریک

۱- مقدمه

با پیشرفت فنّاوری و صنایع، آلودگی‌ها و خطرات زیست‌محیطی نیز رشد کرده است و با جایگزینی توسعه پایدار به‌جای توسعه صنعتی، مردم جهان توجه بیشتری به حفاظت از محیط‌زیست و منابع زیستی دارند. این حساسیت مثبت تا به آنجا شدت گرفته که مدیران صنایع گوناگون به دنبال روش‌هایی باشند که ضمن حمایت از محیط‌زیست، عملکرد سازمان خود را افزایش داده و با بهره‌گیری از آن، گامی مؤثر در جهت مقبولیت کالای مورد عرضه خود به مشتریان برداشته و رعایت نکات زیست‌محیطی را به‌عنوان یک مزیت رقابتی مورد استفاده قرار دهند. از این‌رو تضمین توسعه‌ی پایدار هر کشور منوط به حفظ و استفاده بهینه از منابع محدود و غیرقابل جایگزین در آن کشور است و اقدامات گوناگونی برای مواجهه با این مسئله توسط دولت‌ها، انجام‌شده است که ازجمله‌ی آن‌ها استفاده از مواد خام سازگار با محیط‌زیست در مراکز تولیدی و صنعتی، کاهش استفاده از منابع انرژی فسیلی و نفتی و استفاده مجدد ضایعات می‌باشد. تسریع قوانین و مقررات دولتی جهت اخذ استانداردهای زیست‌محیطی و تقاضای روبه رشد مصرف‌کنندگان برای عرضه‌ی محصولات سبز به زنجیره تأمین که تمام فعالیت‌های مرتبط با جریان کالا از مرحله‌ی ماده‌ی خام تا تحویل کالا را در برمی‌گیرد، موجب ظهور مفهوم جدیدی به‌عنوان زنجیره تأمین سبز در سال‌های اخیر شده است که

۱*- دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه الزهرا، تهران، نویسنده مسئول، پست الکترونیک: babaei.samande1369@gmail.com نشانی: تهران، خیابان ده ونک، دانشگاه الزهرا

۲- دانش‌آموخته کارشناسی گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه الزهرا، تهران الکترونیک: mahkam.mohebbi@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران الکترونیک: hassan.bagheri1368@gmail.com

دربرگیرنده‌ی مراحل چرخه‌ی عمر محصول از طراحی تا بازیافت است. افزایش هزینه‌های ناشی از آسیب‌های زیست‌محیطی، افزایش دانش و آگاهی و نگرانی شرکت‌ها در مورد اثرات سوء فعالیت‌های اقتصادی بر روی منابع طبیعی و به‌تبع آن بدتر شدن کیفیت زندگی، این شرکت‌ها را بر آن داشته است که در راهکارهای رشد و توسعه اقتصادی خود بازنگری کنند و اتخاذ استراتژی سرمایه‌گذاری در زمینه بهبود عملکردی زیست‌محیطی زنجیره تأمین، مزایا و منافع زیادی را مانند صرفه‌جویی در منابع انرژی، کاهش آلاینده‌ها، حذف یا کاهش ضایعات، ایجاد ارزش برای مشتریان و درنهایت افزایش بهره‌وری برای سازمان‌های تولیدی و خدماتی به همراه خواهد داشت.

الفت و همکاران [۱] در تحقیقی به شناسایی مقتضیات لازم جهت دستیابی به مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنعت خودروسازی ایران پرداخته‌اند. سپس شاخص‌های لازم جهت دستیابی به مدیریت زنجیره تأمین سبز را استخراج نموده‌اند. یافته‌های تحقیق آن‌ها بیان می‌دارد که شاخص‌های طراحی برای محیط‌زیست، همکاری‌های زیست‌محیطی با ذینفعان و مدیریت ضایعات به ترتیب دارای اولویت اول تا سوم می‌باشند؛ لذا جهت دستیابی به مدیریت زنجیره تأمین سبز لازم است که به این شاخص‌ها توجه بیشتر گردد.

شاهبندرزاده و همکاران [۲] ، در تحقیقی با عنوان کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌های فازی با رویکرد مدل‌سازی غیرخطی در شناسایی و رتبه‌بندی شاخص‌های مؤثر بر ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین سبز شرکت‌های صنعتی کشور، ضمن ارائه مدلی در زمینه ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین سبز، مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر بر عملکرد زنجیره تأمین سبز را محدودیت مالی، مشتری، انعطاف‌پذیری و محیط دانستند و در پایان نشان دادندکه از بین شاخص‌های مؤثر بر عملکرد زنجیره تأمین سبز، شاخص محیطی، مهم‌ترین شاخص مؤثر بر ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین سبز می‌باشد. شفیعی و تارمست[۳]، به بررسی تأثیر فرایندهای مدیریت زنجیره تأمین بر مزیت رقابتی و عملکرد شرکت ساپکو پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد مدیریت زنجیره تأمین به‌طور مستقیم بر مزیت رقابتی و نیز عملکرد شرکت تأثیر می‌گذارد. همچنین مزیت رقابتی با عملکرد شرکت ارتباط معنادار دارد. با میانجیگری مزیت رقابتی، شدت رابطه بین مدیریت زنجیره تأمین و عملکرد شرکت بهبود می‌یابد. معتمدی و همکاران [۴]، در مقاله‌ای تحت عنوان مدیریت زنجیره تأمین، چالش رقابتی قرن حاضر، بابیان فواید مدیریت زنجیره تأمین سبز بیان داشته‌اند که استفاده از استراتژی‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز باعث کاهش ضایعات، کاهش استفاده از منابع و به‌تبع آن کاهش مصرف انرژی و آلودگی محیط‌زیست می‌شود و این امر درنهایت باعث افزایش راندمان و بهبود عملکرد در سازمان‌ها و شرکت‌ها می‌گردد. شفیع‌پور و اسماعیل‌پور [۵]، در پژوهشی تحت عنوان ارائه مدلی جهت عوامل مؤثر بر مدیریت زنجیره تأمین سبز با رویکرد بررسی متون و مطالعات جدید پرداختند که نتایج حاکی از ارائه یک مدل مفهومی (۱۳) بعدی است که در این مدل بر طبق نظرسنجی به‌عمل‌آمده عوامل حفاظت از محیط‌زیست، نگرانی‌های زیست‌محیطی مشتریان و تولید سبز تأثیر بیشتری را بر موضوع داشته و توجه محققان را بیشتر به خود معطوف کرده است.

زنجیرچی و همکاران [۶]، درمقاله‌ای تحت عنوان ارائه چارچوب ارزیابی سبز بودن صنایع تولیدی بر اساس عملکرد محیطی و رویکرد فازی در صنایع کاشی، فولاد و نساجی استانی زد نشان دادند که با استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی، سبز بودن زنجیره تأمین در قالب پنج معیار کلی شامل تأمین و خرید سبز، طراحی سبز، تولید سبز، حمل‌ونقل سبز و بسته‌بندی سبز، ارزیابی‌شده است. فهیم‌نیا و همکاران [۷]، به ارائه مدل تکنیکال برنامه‌ریزی زنجیره تأمین پرداختند که با استفاده از این مدل می‌توان توازنی بین هزینه و فعالیت‌های مخرب محیط‌زیست ایجاد نمود. وو و همکاران، تحقیقی را با عنوان شناسایی عوامل حیاتی در مدیریت زنجیره تأمین سبز با رویکرد دیمتل انجام دادند. این پژوهشگران بامطالعه و بررسی ادبیات تحقیق، تعداد چهار عامل اصلی شامل مدیریت تأمین‌کننده، بازیافت کالا، دخالت سازمانی و مدیریت چرخه عمر محصول و بیست شاخص فرعی را شناسایی نمودند. نتایج نشان می‌دهد که در مقایسه با ابعاد دیگر، عامل‌های مدیریت تأمین‌کننده و دخالت سازمانی مهم‌ترند و شاخص‌های حمایت مدیریت عالی سازمان، اتخاذ سیاست زیست‌محیطی، طراحی سبز، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان سبز، خرید سبز، برآوردن احتیاجات محیطی از طریق استفاده مواد سازگاربامحیط‌زیست، نسبت به سایر شاخص‌های فرعی شناسایی‌شده در این تحقیق جهت

مدیریت زنجیره تأمین سبز مؤثرتر و حیاتی‌تر هستند [۸]. گوین‌دان و همکاران [۹]، پژوهشی را باهدف بررسی و توسعه‌ی اقدامات سبز در زنجیره تأمین انجام دادند. ایشان معتقدند سازمان‌ها جهت دستیابی به مزیت رقابتی پایدار و ارتقاء عملکرد محیطی خود، نیازمند اجرای مدیریت زنجیره تأمین سبز می‌باشند. نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های حمایت مدیران عالی سازمان، خرید سبز، دریافت گواهینامه ایزو (۱۴۰۰۱) و لجستیک معکوس نسبت به سایر شاخص‌ها پراهمیت‌ترند. لاری و همکاران [۱۰]، تحقیقی را با عنوان « بررسی رابطه عملکرد بین فعالیت‌های مدیریت زنجیره سبز و عملکرد مالی و محیطی در تولید» انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد که توجه به فعالیت‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز باعث ارتقاء عملکرد سازمان در ابعاد مالی و محیطی خواهد شد. کانان و همکاران [۱۱] نیز از یک روش ترکیبی شامل تئوری، مطلوبیت چند ویژگی فازی و برنامه‌ریزی چندهدفه برای رتبه‌بندی و انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان سبز با توجه به معیاری‌های محیطی و اقتصادی و سپس تخصیص مقدار بهینه به هرکدام از آن‌ها استفاده کردند. آن‌ها در ابتدا، به‌منظور تعیین اولویت‌بندی از روش AHP فازی و تکنیک‌های فازی استفاده کردند و سپس از برنامه‌ریزی خطی چندهدفه به‌منظور مدل‌سازی محدودیت‌هایی مانند کنترل کیفیت، ظرفیت و سایر اهداف استفاده کردند. هدف آن‌ها از آن مدل ریاضی ماکسیمم کردن ارزش کل خرید و هم‌زمان با آن، مینیمم کردن کل هزینه خرید بود، به‌منظور در نظر گرفتن عملکردهای شخصی تصمیم گیران، از منطق فازی استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده به شرکت‌ها کمک می‌کرد که روشی سیستماتیک برای مواجه با مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان سبز و مسائل تخصیص سفارش در موقعیت‌های واقعی داشته باشند. والکر و همکاران [۱۲] موانع اجرای زنجیره تأمین سبز را به دو دسته موانع داخلی و موانع خارجی تقسیم کردند. موانع داخلی عبارت‌اند از: هزینه و فقدان قوانین و موانع خارجی شامل قوانین، تعهد ضعیف تأمین‌کنندگان و موانع خاص صنعت خاص. چیبلسمارتین و همکاران [۱۳]، یک مدل برنامه‌ریزی چندهدفه خطی عدد صحیح مختلط را برای تعیین مکان و ظرفیت کارخانه‌ها، انبارها و مراکز توزیع در زنجیره تأمین سبز ارائه کردند و برای حل آن از الگوریتم آنلینگ شبیه‌سازی‌شده بهره جستند. احمدرضایی و همکاران [۱۴] یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین سبز در یک محیطی که کربن مبادله می‌شود، ارائه کردند، مدل آن‌ها یک مسئله مکان‌یابی گسسته را حل می‌کند و جریان بهینه مواد و هزینه‌های مبادله کربن را تعیین می‌کند. سمی کوسکون و همکاران [۱۵] شبکه زنجیره تأمین سبز بر اساس تقسیم‌بندی مصرف‌کننده طراحی کردند. یافته‌های تحقیق روشی برای سنجش روابط بین زنجیره‌های عرضه سبز و رفتار مصرف‌کننده ارائه می‌دهد. رضا صادقی راد و نسیم نهاوندی [۱۶] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی یکپارچه برای زنجیره تأمین سبز حلقه بسته چند دوره‌ای و چند محصولی که در آن تأمین‌کنندگان تخفیف‌های کمی را ارائه می‌دهند تا انگیزه مشتریان را برای خرید بیشتر را ایجاد کند.

مارکو و همکاران [۱۷] شبکه زنجیره تأمینی طراحی کرده‌اند که در آن، به‌طور جامع مسائل گسترده زیست‌محیطی و اجتماعی که امروزه با سازمان‌های صنعتی روبرو هستند را در نظر می‌گیرد. این روش مبتنی بر استفاده از ارزیابی چرخه زندگی، بهینه‌سازی چندهدفه از طریق الگوریتم‌های ژنتیک و ابزارهای تصمیم‌گیری معیارهای چندگانه (نوع TOPSIS) است؛ که سه سطح بازار، تأمین‌کننده و تولیدکننده را در نظر گرفته است. ازنظر روش‌شناختی، نشان داده است که توسعه مدل‌سازی و بهینه‌سازی چارچوب زنجیره تأمین سبز در زمینه زنجیره تأمین مواد غذایی سازگار با محیط‌زیست مفید است. چارچوب پیشنهادی می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان کمک کند تا پیچیدگی را توصیف کنند. برزین پور و تاکی[۱۸]، مدل ریاضی برای شناسایی مکان تولید و مقدار حمل به‌وسیله برقراری تعادل بین هزینه‌ها و تولید گازهای گلخانه‌ای برای یک شبکه زنجیره تأمین کانال دوگانه ارائه کردند. در این مقاله، حمل‌ونقل به‌عنوان یک تصمیم تاکتیکی در نظر گرفته‌شده است که می‌تواند بر هزینه و انتشار آن تأثیر بگذارد. زمان تحویل و فروش ازدست‌رفته در مدل‌سازی برای دستیابی به واقعیت بیشتر در نظر گرفته‌شده است. مدل ریاضی توسعه‌یافته یک برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی است که توسط نرم‌افزار GAMS حل‌شده است. با توجه به مدل پیشنهادی و مدت‌زمان طولانی برای مسائل در اندازه‌های بزرگ توسط GAMS، از الگوریتم سیستم ایمنی مصنوعی مبتنی بر CLONALG، الگوریتم‌های ژنتیکی و ممتیک استفاده‌شده است. ربانی و همکاران[۱۹]،

مدل شبکه زنجیره تأمین مکان‌یابی تخصیص چند دوره‌ای پایدار چندهدفه ارائه کردند. سطوح مختلف فن‌آوری ناوگان وسیله نقلیه، که منجر به هزینه‌های مختلف پولی و محیطی می‌شود و انتشار CO2 آزادشده متفاوت برای هر مکان بالقوه تسهیلات برای دستیابی به یک شبکه زنجیره تأمین سبز، در نظر گرفته‌شده است. از رویکردی به نام برنامه‌ریزی احتمالی روباست استفاده‌شده است. در این مقاله، یک مدل چندهدفه مختلط برای مشکل طراحی شبکه زنجیره تأمین ارائه می‌شده است. مدل چند هدفی صریحاً با معرفی دسته جدیدی از متغیرهای تصمیم‌گیری، مسائل محیطی را در نظر می‌گیرد. این نوع جدید از متغیرها، تصمیم سرمایه‌گذاری زیست‌محیطی را در مرحله برنامه‌ریزی و همچنین تأثیر محیط در مرحله بهره‌برداری را پیوند می‌دهد.

در ادامه توضیح مدل در بخش (۲) ارائه‌شده است. در بخش (۳)، مثال عددی ارائه‌شده است و در بخش (۴)، نتیجه‌گیری و مطالعات آتی آورده شده است.

۲- توضیح مدل

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، افزایش نگرانی‌ها و دغدغه‌های زیست‌محیطی از جانب مشتریان و صنعتگران و تلاش برای بهبود وضعیت و کاهش آلاینده‌ها، ضرورت اجراشدن زنجیره تأمین سبز را بیان می‌کند. یکی از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین آلاینده‌ها، گاز کربن‌دی‌اکسید است. همچنین بحث هزینه‌ها همیشه یکی از مهم‌ترین مسائل در هر سازمان است. ازاین‌رو، در این مقاله، مدلی دو هدفه ارائه‌شده است که هر دو هدف را در برمی‌گیرد.

یک شبکه زنجیره تأمین G = (N, A) را در نظر بگیریدکه N مجموعه گره‌ها و A مجموعه‌ای از بردارها است. در اینجا، N از مجموعه‌ی تأمین‌کنندگانS ، تسهیلات Fو مشتریان C ، ساخته‌شده است؛ یعنی N = SUFUC .

زمانی که باید با توجه به‌پیش بینی تقاضا برای مراحل بعدی تصمیم‌گیری کنیم، هدف ما فقط انتخاب تأمین‌کنندگان بالقوه از مجموعه‌ی تأمین‌کنندگان، تعیین و تصمیم‌گیری برای فعال کردن تسهیلات مختلف و سرانجام نحوه توزیع محصول نیست؛ بلکه انتشار گازCO2 در هر فرایند از کل شبکه را نیز در نظر می‌گیریم.

این‌گونه تعریف می‌کنیم:

۲-۱- نمادها

N	تشکیل‌شده از مجموعه تأمین‌کنندگان، تسهیلات و مشتریان
F	تسهیلات
C	مشتریان

۲-۲-اندیس‌ها و پارامترها

P	مجموعه‌ای از محصولات
S	مجموعه‌ای از تأمین‌کننده‌ها
C	مجموعه‌ای از مشتری‌ها
I	اندیس گره که ممکن است مشتری یا تأمین‌کننده باشد.
J	اندیس تسهیلات
d_{jc}^{p}	تقاضای مشتری c از تسهیل i برای محصولp
s_{s}^{p}	عرضه محصولp توسط تأمین‌کننده s
c_{ij}^{p}	هزینه‌ی حمل محصول p از تسهیل به تسهیل دیگر
f_j	هزینه راه‌اندازی تسهیل j
u_j	ظرفیت کنترل در تسهیل j
r_{j}^{p}	ظرفیت مصرف‌شده به‌وسیله کنترل کردن یک واحد از محصول p توسط تسهیل j
l_{j}^{p}	هزینه نگهداری محصول p در تسهیل j
C_m	هزینه تقاضای برآورده نشده
q_{j}^{p}	میزان تولید محصول p توسط تسهیل j

۲-۳- متغیرهای تصمیم

y_i	اگر تسهیل i فعال باشد، (۱) و در غیر این صورت (۰)
x_{ij}^{p}	جریان محصول از گره تسهیل i به تسهیل j
z_i	سطح حفاظت از محیط‌زیست در تسهیل i
x_i	اگر تقاضا بیشتر از تولید باشد ۱ در غیر این صورت ۰ یعنی اگر $d_{ic}^{p} > q_{i}^{p}$ باشد تقاضای برآورده نشده داریم و هزینه‌ای بابت تقاضای برآورده نشده پرداخته شود، در غیر این صورت، مقدار صفر را می‌گیرد.

۲-۴- مدل ارائه‌شده

در این مدل، منظور از "محصول" می‌تواند محصولی خاص و یا مجموعه‌ای از محصولات باشد. برای سادگی، فرض شده است که تأمین‌کنندگان و تسهیلات (امکانات)، نیازی به لحاظ کردن تعرفه ندارند و مستقیماً از هزینه حمل‌ونقل استفاده می‌کنند و برای محصولات لیست مواد در نظر گرفته نشده است. برای سهولت، فقط انتشار گاز CO2 را به‌عنوان تنها اثر زیست‌محیطی که یک شاخص محیطی شناخته‌شده‌تر است و به‌راحتی قابل‌اندازه‌گیری است، در نظر گرفته‌شده است. علاوه بر این، نوع جدیدی از متغیر تصمیم‌گیری، z_j، را معرفی می‌کنیم که در ادبیات طراحی شبکه زنجیره تأمین کلاسیک این‌چنین نبوده است. تابع $G_j(Z_j)$، تابعی برحسب Z_j است. Z_j نوع جدیدی از متغیر تصمیم‌گیری است که با تسهیلات j همراه است و "سطح حفاظت از محیط‌زیست" را نشان می‌دهد. به‌طور خاص، مقدار بالاتر از z_j سرمایه‌گذاری سنگین زیست‌محیطی دارد؛ اما منجر به انتشار گاز CO2 کمتری می‌شود. به‌عبارت‌دیگر متغیر تصمیم Z_j نشان‌دهنده مقداری که هر تسهیل j می‌تواند از محیط‌زیست در برابر آلودگی‌ها محافظت کند. تابع یکنوای صعودی $G_j(Z_j)$ را برای نشان دادن سرمایه‌گذاری زیست‌محیطی در تسهیل j معرفی می‌کنیم. سرمایه‌گذاری زیست‌محیطی را می‌توان برای خرید تجهیزات یا فناوری برای حفاظت از محیط‌زیست استفاده کرد. یعنی با خرید تجهیزات و نصب آن‌ها در هر تسهیل j ، تسهیلات دارای تجهیزی می‌شوند که آلایندگی کمتری را تولید می‌کنند. برای کاهش آلایندگی تجهیز j می‌توان $G_j(Z_j)$ بزرگ‌تر بدان معنی است که تجهیزات یا فناوری پیشرفته‌تری نصب‌شده است. بنابراین هرچه از تجهیزات پیشرفته‌تری استفاده شود، هزینه و سرمایه‌گذاری بیشتری موردنیاز است و در عوض، آلایندگی کمتری خواهد داشت. شرکت‌های تولیدی به دلیل محدودیت در سرمایه، به دنبال سیستمی هستند که بین هزینه و میزان آلایندگی تعادل برقرار بکنند. درنتیجه در بلندمدت، انتشار گاز CO2 در تسهیل i برای دستیابی به محصول p، که به این صورت نمایش داده می‌شود $W_j^p(z_j)$، باید پایین‌تر باشد. در این مدل فرض می‌کنیم z_j یک عدد گسسته است و $z_j \in \{0,1,2,\dots,L\}$. حال می‌توان توابع هدف زیر را تعریف کرد:

OBJ1: (۱)

$$Minimize: \beta_1 d_a^+ + \beta_2 d_b^+$$

OBJ2: (۲)

$$\begin{aligned} & min \sum_{j\in F} f_j\, y_j + \sum_{j\in F} g_j\,(z_j) \\ & + \sum_{p\in P}\sum_{j}\sum_{i\in S} c_{ij}^p\, x_{ij}^p \\ & + \sum_{p\in P}\sum_{i\in S} l_j^p \sum_{j\in F} x_{ij}^p \\ & + \sum_{i} C_m(\, q_i^p - d_{ic}^p)\, x_i \end{aligned}$$

OBJ3:

$$\begin{aligned} & min \sum_{j\in F}\sum_{p\in P} w_j^p\,(z_j) \sum_{i\in S} x_{ij}^p \\ & + \sum_{p\in P}\sum_{j\in F}\sum_{i\in A} e_{ij}^p\, x_{ij}^p \end{aligned} \qquad (۳)$$

$$\sum_{i\in S} x_{ij}^p - \sum_{i\in C} x_{ji}^p = 0 \qquad (۴)$$

$$\forall\, j\in F,\ p\in P$$

$$\sum_j x_{ij}^p = d_{ic}^p \qquad (۵)$$

$$\forall\, i \in C\,, p \in P$$

$$\sum_j x_{ij}^p \le S_i^p \qquad (۶)$$

$$\forall\, i \in S, \qquad p \in P$$

$$\sum_{p\in P} r_j^p \sum_{i\in S} x_{ij}^p \le\ u_j y_j \qquad (۷)$$

$$\forall j \in F$$

$$z_j \le y_j L \quad (۸)$$

$$\forall j \in F$$

$$x_{ij}^{p} \ge 0 \quad (۹)$$

$$\forall (i,j) \in A, p \in P$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad (۱۰)$$

$$\forall j \in F$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad (۱۱)$$

$$\forall i \in C$$

$$z_j \in Z \; and \; z_j \in [0,L] \quad (۱۲)$$

$$\forall j \in F$$

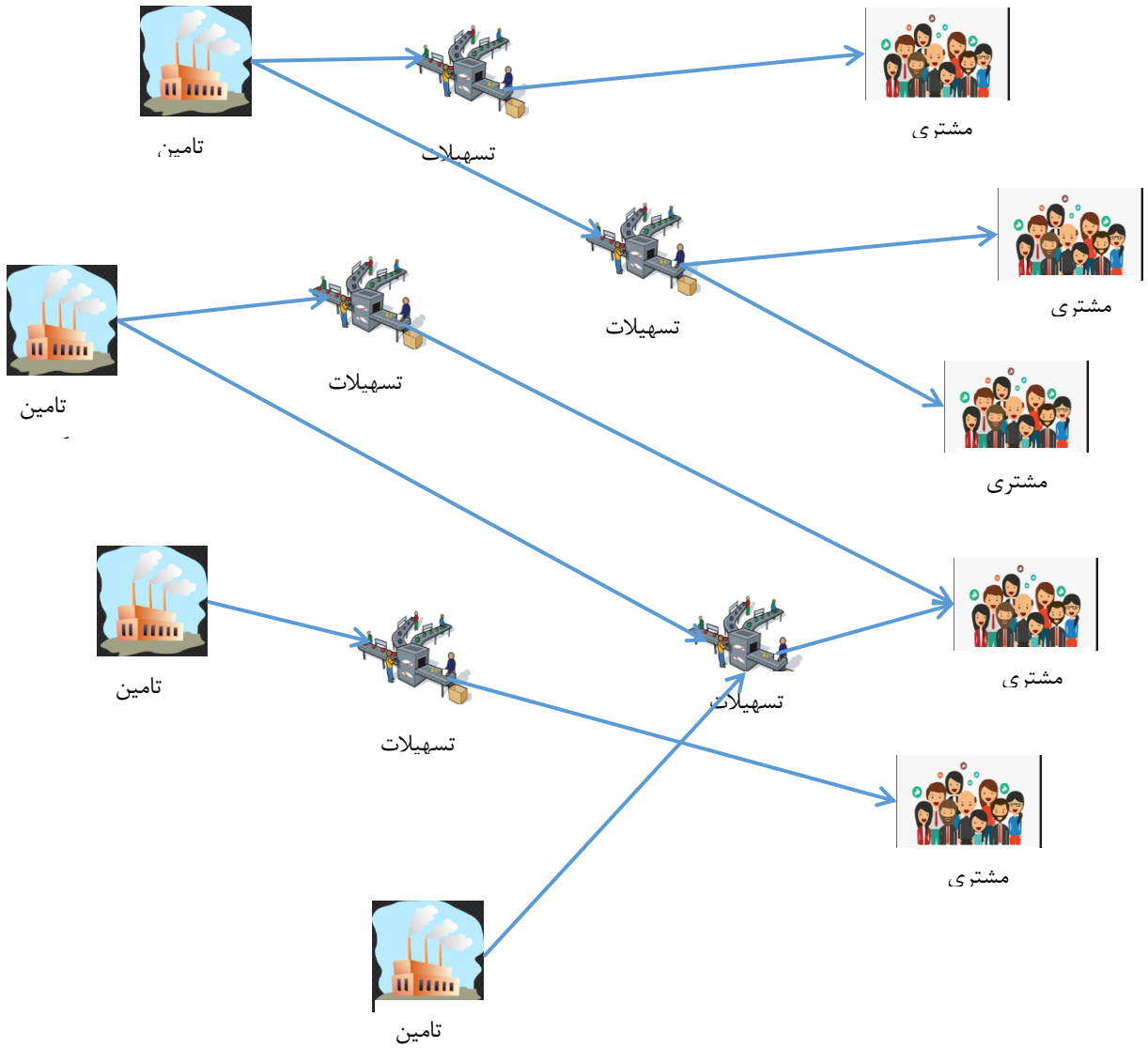
به دلیل روش حل برنامه‌ریزی آرمانی وزن دهی شده، یک تابع هدف دیگر به آن اضافه می‌شود. رابطه (۱) تابع هدفی است که انحراف از آرمان‌ها را مینیمم می‌کند. دو تابع هدف را در نظر گرفته‌شده است. رابطه (۲)، هزینه کل را اندازه‌گیری می‌کند. بخش اول هزینه ثابت راه‌اندازی است و بخش دوم سرمایه‌گذاری در زمینه حفاظت از محیط زیست، بخش سوم کل هزینه حمل‌ونقل و قسمت آخر چهارم هزینه کنترل است و درنهایت قسمت آخر، هزینه فروش ازدست‌رفته را در نظر می‌گیرد.

رابطه (۳) میزان کل انتشار CO2 را در کل زنجیره تأمین اندازه‌گیری می‌کند. بخش اول میزان انتشار CO2 در کلیه تسهیلات است. برای هر محصول p، تسهیل j و هر واحد جریان در تسهیل، مقدار $W_j^p(z_j)$ برای CO2 تولیدشده است. علاوه بر انتشار CO2 مربوط به تسهیلات، انتشار CO2 وابسته به قوس (بردار)، که دومین مورد از رابطه (۳) است و با انتخاب تأمین‌کنندگان و چگونگی حمل محصول نهایی، تصمیم گرفته می‌شود. برای هر بردار(قوس) و هر جریان در بردار، مقداری انتشار $CO2e_{ij}^{p}$ تولید می‌شود.

محدودیت (۴) محدودیت حفظ جریان است. توجه داشته باشید که این مدل یک مدل تک دوره‌ای است و در آن هیچ موجودی در هیچ تسهیلی ذخیره نشده است. محدودیت (۵) برآورده شدن تقاضاها را اقتضا می‌کند درحالی‌که محدودیت (۶) این اطمینان را می‌دهد که هر محصول p که از تأمین‌کننده i جریان می‌یابد نباید از مقدار کل عرضه فراتر رود. محدودیت (۷) اظهار می‌کند که نیاز به پردازش کل از همه محصولات کنترل‌شده در تسهیل j نباید از ظرفیت تسهیل u_j زمانی که فعال است $y_j = 1$، تجاوز کند و تضمین می‌کند که $x_{ij}^{p}=0$ زمانی که $y_j = 0$. محدودیت (۸) ایجاب می‌کند که تصمیم‌گیرندگان تنها می‌توانند سطح محیطی کمتر از L برای تسهیل باز k انتخاب کنند. محدودیت‌های (۹)، (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) مشخص می‌کند که x_{ij}^{p} غیر منفی هستند، y_j و x_i متغیرهای عدد صحیح باینری هستند، و z_j اعداد صحیح در فاصله [0, L] هستند. آن‌ها مدل فوق را به‌عنوان یک مدل کلی (GM) معرفی می‌کنند. این مدل یک مدل دو هدفه غیرخطی است و بنابراین، حل آن آسان نیست حتی وقتی شبکه کوچک باشد.

مثال عددی

فرض کنید در منطقه‌ای (۵) تسهیل وجود دارد که نیازهای تقاضا را تولید می‌کنند، به‌عبارت‌دیگر j=5 (۴) نقطه برای تأمین‌کننده وجود دارد و (۵) نقطه برای مشتری در نظر گرفته‌شده است. مواد موردنیاز تسهیلات از تأمین‌کننده به تسهیلات ارسال‌شده و از تسهیلات به مشتری انتقال می‌یابد. شکل (۱)، نمایی از زنجیره تأمین را نشان می‌دهد. در ابتدا، هریک از توابع هدف با محدودیت‌ها به‌صورت جداگانه حل می‌شوند و سپس با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی وزن دهی شده که روش رایج در حل مسائل چندهدفه است، نتایج جدول (۲) به‌دست‌آمده است.



شکل(۱) - ساختار شبکه زنجیره تأمین مدل پیشنهادی

۳- روش حل

روش معیار جامع (LP-metric) از روشهای تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) است که به حل مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه (MODM) می‌پردازد.

تکنیک‌های برنامه‌ریزی آرمانی و معیار جامع، از متدولوژی‌های مطرح در تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه می‌باشند. این رویکردها دارای ریشه مشترک هستند و از یک نقطه هدف قطعی در فضای معیار به‌منظور مدل‌سازی ترجیحات تصمیم‌گیرنده استفاده می‌کنند. این نقطه هدف قطعی مطابق تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی، برداری از سطوح انتظار است که این سطوح انتظار بیان‌کننده مطلوب‌ترین مقادیر برای معیارهای مختلف می‌باشد. مطابق تکنیک معیار جامع نیز این نقطه هدف، برداری از سطوح مرجع است .

در این روش مجموع توان انحرافات نسبی اهداف را از مقدار بهینه‌شان حداقل می‌کنیم. بدین‌صورت که برای یک مسئله با n تابع هدف باید مقدار بهینه هر تابع هدف را (از اولین تا n مین) مستقل از بقیه n-1 تابع هدف دیگر و با در نظرگیری تمامی محدودیت‌های مسئله حساب کرد. ازآنجایی‌که هرچه توابع هدف به مقادیر بهینه‌شان نزدیک‌تر باشد برای ما مطلوب‌تر است بنابراین به دنبال تابع هدفی هستیم که با استفاده از آن‌همه توابع به مقدار بهینه‌شان نزدیک شوند بدین منظور باید مجموع انحراف‌های نسبی اهداف از مقادیر بهینه‌شان حداقل شود.

روش LP متریک به دو دلیل بیشتر موردتوجه قرار گرفت:

- به اطلاعات کمتری نیاز دارد.
- استفاده از آن در عمل ساده است.

روش LP متریک به‌منظور سنجش نزدیکی یک راه‌حل، از ایده آل مورداستفاده قرار می‌گیرد. این سنجش از انحراف به‌صورت زیر خواهد بود، پس برای مینیمم تابع هدف‌داریم:

$$minimize: \sum_{i=1}^{n} \beta_i \frac{d_i^+}{Coal\ Target} \quad (۱۳)$$

اهمیت (وزن) هدف i ام می‌باشد. برای از بین بردن مشکل تفاوت مقیاس‌های اهداف ، میزان انحراف جواب ایده آل هدف iام را بر Coal Target تقسیم می‌کنیم. مشخص‌کننده درجه تأکید بر انحرافات است به گونه ایی که هر چه این ارزش بزرگ‌تر باشد تأکید بیشتری بر بزرگ‌ترین انحراف خواهد بود. تابع هدف کلی روش LP متریک نیز به‌منظور حداقل کردن انحرافات از ایده آل باید کمینه گردد.

۴- نتایج محاسباتی

چون دو تابع هدف‌داریم برای حل از روش LP- متریک در نرم‌افزار گمز استفاده می‌کنیم. بنابراین توابع هدف زیر به مدل اضافه می‌شوند:

تابع هدف(۱): $Minimize: \beta_1 d_a^+ + \beta_2 d_b^+$ (۱٤)

با توجه به اینکه اهداف دارای واحد یکسانی نیستند، تابع هدف تبدیل به معادله (۱۵) می‌شود.

$$Minimize: \beta_1 \frac{d_a^+}{Coal\ (A) Target} + \beta_2 \frac{d_b^+}{Coal\ (B) Target} \quad (۱۵)$$

به d ها ضرایب مختلف می‌دهیم و نتایج محاسبات در جدول (۱) آورده شده است:

جدول(۱)- مجموعه جواب مسئله تحت حالت‌های مختلف

حالت اول $\beta_1 = 0.6, \beta_2 = 0.4$	حالت دوم $\beta_1 = 0.4, \beta_2 = 0.6$
۳۵۶۷۰= مقدار بهینه تابع هدف اول ۹۸۶۵= مقدار بهینه تابع هدف دوم	۲۳۴۰۱= مقدار بهینه تابع هدف اول ۱۲۴۹۰= مقدار بهینه تابع هدف دوم
$d_a^+ =$٦٦٧٠ $d_b^+ =$٦٦٧٥	$d_a^+ =$١١٥٠٠ $d_b^+ =$٤.٦٦٧
$y_1 =1$	$y_1 =0$
$y_2 =1$	$y_2 =1$
$y_3 = 0$	$y_3 = 0$
$y_4 = 1$	$y_4 = 0$
$y_5 =0$	$y_5 =0$
$x_{11} =17$	$x_{11} =25$
$x_{12} =17$	$x_{12} =23$
$x_{13} =19$	$x_{13} =16$

ادامه جدول(۱)- مجموعه جواب مسئله تحت حالت‌های مختلف

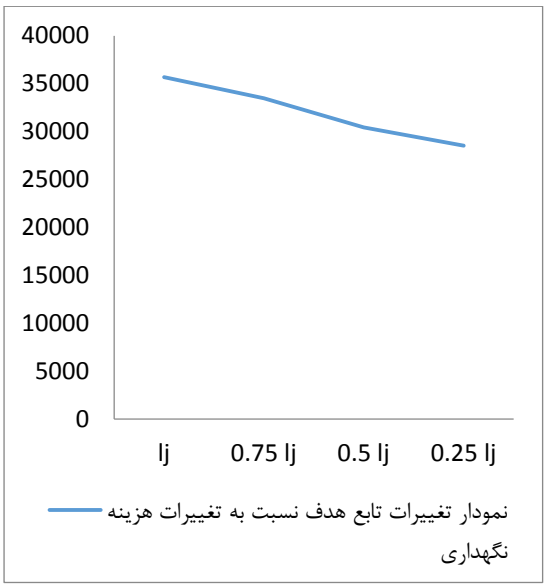
حالت اول $\beta_1 = 0.6, \beta_2 = 0.4$	حالت دوم $\beta_1 = 0.4, \beta_2 = 0.6$
x_{14} =20	x_{14} =0
x_{15} =22	x_{15} =0
x_{21} =26	x_{21} =17
x_{22} = 29	x_{22} = 19
x_{23} =32	x_{23} =20
x_{24} =20	x_{24} =23
x_{25} =0	x_{25} =0
z_{11} =14	z_{11} =12
z_{21} = 15	z_{21} = 19
z_{31} =0	z_{31} =23
z_{41} =20	z_{41} =25
z_{51} =15	z_{51} =29
z_{12} =15	z_{12} =20
z_{22} = 22	z_{22} = 0
z_{32} =0	z_{32} =20
z_{42} =0	z_{42} =20
z_{52} =0	z_{52} =20
x_1 =1	x_1 =0
x_2 = 0	x_2 =1
x_3 = 0	x_3 = 0
x_4 = 1	x_4 =1
x_5 = 1	x_5 = 0

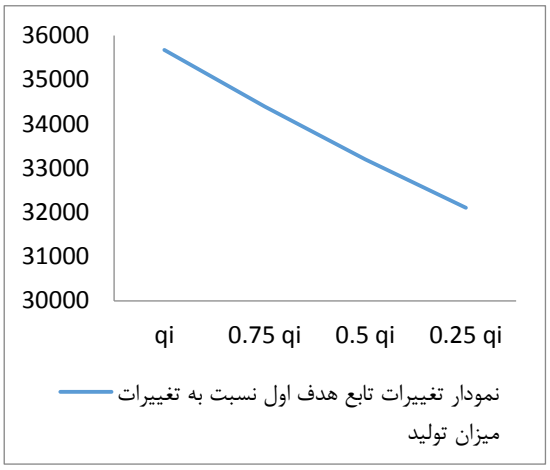
۵- تحلیل حساسیت

برای تحلیل حساسیت در این مدل، از پارامتر هزینه نگهداری و میزان تولید استفاده‌شده است.

۵-۱- تحلیل حساسیت هزینه نگهداری

با ثابت بودن سایر عوامل، مقدار هزینه نگهداری برای حالت (۱)، کاهش داده‌شده است و نتایج شکل (۲)، نتایج را برای مقدار تغییرات تابع هدف آورده شده است. شکل (۲)، نشان می‌دهد تابع هدف نسبت به کاهش هزینه نگهداری و میزان تولید حساس است.





شکل (۲)- میزان تغییرات تابع هدف نسبت به تغییرات هزینه نگهداری و میزان تولید

۶- نتیجه‌گیری:

امروزه رشد و گسترش غول‌آسای فنّاوری و صنعت، سبب بروز تغییرات شدید زیست‌محیطی مانند گرم شدن کره زمین، وارونگی شدید الگوهای آب و هوایی، تخریب لایه ازن، بارش باران‌های اسیدی و آلودگی آب‌وهوا و خاک و از طرفی کاهش شدید منابع انرژی در دنیا شده است. افزایش نگرانی‌ها در مورد هشدارهای زیست‌محیطی و تلاش برای کاهش هرچه بیشتر آلاینده‌ها موجب ظهور مفهوم جدید زنجیره تأمین سبز گردیده است. مدیریت زنجیره تأمین سبز، یکپارچه کننده مدیریت زنجیره تأمین با الزامات زیست‌محیطی در تمام مراحل طراحی محصول، انتخاب و تأمین مواد اولیه، تولید و ساخت، فرایندهای توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و بالاخره پس از مصرف، مدیریت بازیافت و مصرف مجدد به‌منظور بیشینه کردن میزان بهره‌وری مصرف انرژی و منابع همراه با بهبود عملکرد کل زنجیره تأمین است. از مزایا و نتایج زنجیره تأمین سبز می‌توان به افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها، کاهش آلاینده‌ها و خطرات زیست‌محیطی، حفظ منابع طبیعی و ایجاد مزیت رقابتی برای سازمان، اشاره کرد.

در این پژوهش، مدلی چندهدفه برای زنجیره تأمین سبز برای کاهش هزینه و انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید معرفی و با استفاده از نرم‌افزار Gams و روش LP متریک حل شد. مدل ارائه‌شده، یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز مبتنی بر مسئله کلاسیک محل استقرار تسهیلات برای برنامه‌ریزی استراتژیک شرکت معرفی شد. ویژگی متمایز این مدل توجه به عناصر محیطی که شامل سطح محیط-زیستی بودن تسهیلات و تأثیر بر محیط‌زیست در زمان کنترل و روند حمل‌ونقل، است. این مدل کاربرد مهمی در طراحی شبکه زنجیره تأمین منطقه‌ای یا جهانی با ملاحظات سبز خواهد داشت. مدل ارائه‌شده یک مدل چندهدفه برای به حداقل رساندن هزینه کل و تأثیرات زیست‌محیطی است. با انجام تحلیل حساسیت برای مطالعه موردی انجام‌شده و نشان می‌دهد که افزایش ظرفیت شبکه و افزایش عرضه به تسهیلات می‌تواند انتشار گاز CO_2 در کل شبکه و هزینه کل را کاهش دهد. از طرف دیگر توجه به انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از شبکه زنجیره تأمین در سطح تقاضای بالا، مؤثرتر و ضروری‌تر است.

۷- پیشنهادهای دیگر عبارتند از:

۷-۱- مطالعه‌ی موردی ترکیب مدیریت زنجیره‌ی تأمین و محیط‌زیست در بخش‌های خدماتی، بیمارستانی و صنعت بیمه و تأمین‌کنندگان کالاهای این بخش‌ها با رویکرد زیست‌محیطی و کاهش ضایعات و آلودگی‌های آب، هوا و خاک.

۷-۲- با توجه به آلودگی فراوان زیست‌محیطی، صنایع تولیدی مانند پتروشیمی، سیمان و صنایع شیمیایی پیشنهاد می‌شود پایان‌نامه‌های تحقیقاتی با موضوع شناسایی مقتضیات تحقق زنجیره تأمین سبز در این‌گونه صنایع تعریف و اجرا شود.

۷-۳- مطالعات موردی در خصوص تجزیه‌وتحلیل موانع و ریسک‌های موجود در پذیرش و اجرای زنجیره تأمین سبز و بررسی عملکرد و پیاده‌سازی آن در صنایع مختلف.

۸- منابع و مآخذ

[۱] الفت،ل.، فیروزآبادی، ع.، خداوردی، ر.، مقتضیات تحقق ***مدیریت زنجیره تأمین سبز در صنعت خودروسازی ایران***، فصلنامه علوم مدیریت ایران(۲۱)، (۱۳۹۰) .

[۲] شاهبندرزاده، ح.، جمالی، غ.، هاشمی،م .***«ارائه روشی برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین سبز شرکت پتروشیمی برزویه با استفاده از روش فازی»***، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت، دانشگاه خلیج‌فارس(۱۳۹۰).

[۳] شفیعی، م .و تارمست، پ .(۱۳۹۰)، ***تأثیر فرایندهای مدیریت زنجیره تأمین بر مزیت رقابتی و عملکرد سازمانی***، مطالعات کمی در مدیریت، ۵(۲) ،(۱۰۵-۱۲۴).

[۴] معتمدی م. نوروز زاده ق. نوروز زاده م. ***مدیریت زنجیره تأمین سبز، چالش رقابتی قرن حاضر***. دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، تهران، (۲۶) و (۲۷) اردیبهشت، (۱۳۹۱).

[۵] شفیع پور، زهرا، اسماعیل‌پور، مجید، ***ارائه مدلی جهت عوامل مؤثر بر مدیریت زنجیره تأمین سبز با رویکرد بررسی متون و مطالعات جدید***، اولین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در کسب‌وکار، دانشگاه تبریز، (۱۳۹۳).

[6] Zanjirchi, S. M.; ***Fuzzy AHP,*** Tehran: SaneeiShahmirzadi, (2012).

[7] Fahimnia, B., Sarkis, J., & Eshragh, A. , ***A trade off model for green supply chain planning: A leanness-versus-Greenness analysis.*** International journal of management science (omega), 45: 173-190, (2015).

[8] Wu, K., Liao, C, Tseng, M., Chiu, A. ***Exploring decisive factors in green supply chain practices under uncertainty.*** *Production Economics*, 159; 147-157, (2015).

[9] Govindan, K., Khodaverdi, R., Vafadarnikjoo***, A, Intuitionistic fuzzy based dematel method for developing green practices and performances in agreen supply chain",*** *Expert Systems withApplications*.42(20): 7207–7220, (2015).

[10] Laari, S., Töyli, J., Solakivi, T., Ojal, L, ***Firm performance andcustomer-driven greensupply chain management",*** *Journal of CleanerProduction*, 112(3):1960–1970, (2015).

[11] Kannan, D., Khodaverdi, R., Olfat, L., Jafarian, A., &Diabat, A. ***Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain***. Journal of Cleaner Production, 47, 355-367, (2013).

[12] Walker, H., Di Sisto, L. &McBain D. ***drivers and barriers to environmental supply chain managment practices; Lesson from the public and private sectors.*** Journal of Purchasing and Supply Management, 14(1). 69-85, (2008).

[13] Chibeles-Martins N., Pinto-Varela T., Barbosa-Povoa A. P., &Novais A.Q., A ***multi-objective meta-heuristic approach for thedesign and planning of green supply chains*** – *MBSA*. Expert Systemswith Applications, (2015).

[14] Rezaee, A., Dehghanian, F., Fahimnia, B. et al. ***Green supply chain network design with stochastic demand and carbon price.*** Ann Oper Res 250, 463–485 (2017). https://doi.org/10.1007/s10479-015-1936-z

[15] Semih,Coskun, Leyla, Ozgur, Olcay, Polat, Askiner, Gungor, ***A model proposal for green supply chain network design based on consumer segmentation,*** Journal of Cleaner Production Volume 110, 1 January 2016, Pages 149-157, (2016),

[16] Reza, Sadeghi Rad , Nasim, Nahavandi, ***A novel multi-objective optimization model for integrated problem of green closed loop supply chain network*** design and quantity discount, International Journal of Production Economics Volume 208, February 2019, Pages 305-318 , (2019).

[17] Marco A. Miranda-Ackermanab Catherine Azzaro- Pantelb ***Alberto A.Aguilar- Lasserre, A green supply chain network design framework for the processed food industry: Application to the orange juice agrofood cluster***, Computers & Industrial Engineering Volume 109, Pages 369-389, (2017).

[18] Barzinpour, F., Taki, P. A dual-channel ***network design model in a green supply chain considering pricing and transportation mode choice***. J Intell Manuf 29, 1465–1483 (2018). https://doi.org/10.1007/s10845-015-1190-x.

[19] Masoud Rabbani, Seyed Ali Akbar Hosseini-Mokhallesun, Amir Hossein Ordibazar & Hamed Farrokhi-Asl (2020) ***A hybrid robust possibilistic approach for a sustainable supply chain location-allocation network design, International Journal of Systems Science: Operations & Logistics,*** 7:1, 60-75, DOI: 10.1080/23302674.2018.1506061