

## طراحی مدل عملکرد اجتماعی شرکتی زنجیره تامین سبز با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی فازی در شرایط عدم قطعیت

علیرضا منصوری<sup>۱</sup>، سلیمان ایرانزاده<sup>۲\*</sup>، عبدالله هادی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، گروه مدیریت صنعتی، تبریز، ایران

۲- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، گروه مدیریت صنعتی، تبریز، ایران

۳- استاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، گروه ریاضی کاربردی، اصفهان، ایران

رسید مقاله: ۹ بهمن ۱۳۹۶

پذیرش مقاله: ۲۳ مرداد ۱۳۹۷

### چکیده

در سال‌های اخیر، محققان و متخصصان بر اهمیت عملکرد اجتماعی واحدهای تجاری و شرکتی به طور قابل توجهی، تاکید داشته‌اند. از آنجایی که زنجیره‌های تامین سبز نقش مهمی در کاهش آلودگی محیط کسب و کار و شرکت‌ها دارند، عملکرد اجتماعی شرکت‌ها نقش بسزایی در ایجاد و به وجود آوردن این زنجیره‌های تامین داشته و بنابراین در هنگام طراحی شبکه زنجیره تامین سبز، عملکرد اجتماعی آن باید با دقت مورد توجه قرار گیرد. این مقاله به مسأله طراحی عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز تحت شرایط عدم قطعیت اشاره دارد. برای این منظور ابتدا یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی چند هدفه طراحی شده است که شامل به حداقل رساندن هزینه‌ها و اثرات زیست محیطی و به حداکثر رساندن عملکرد اجتماعی شرکتی زنجیره تامین سبز می‌باشد. پس به منظور حل این مدل، یک روش حل فازی تعاملی استفاده شده است در انتها یک مطالعه موردی واقعی در صنعت برای سنجیدن صحت و اثر بخشی مدل ارائه می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** عملکرد اجتماعی شرکتی، زنجیره‌های تامین سبز، برنامه‌ریزی ریاضی فازی، شرایط عدم قطعیت.

### ۱ مقدمه

در سال‌های اخیر، عملکرد اجتماعی شرکتی، توجه روزافزون شرکت‌ها، جامعه مالی، قانون گذاران، سیاست گذاران را به خود جلب کرده است [۱]. عملکرد اجتماعی شرکتی یک ساختار چند بعدی مربوط به چگونگی مواجهه و پاسخگویی شرکت‌ها در رابطه با مسئولیت‌های اقتصادی، اخلاقی و حقوقی نسبت به گروه-های ذینفع مانند کارکنان، مشتریان، تامین کنندگان، محیط زیست و جوامع محلی می‌باشد [۲]. در واقع عملکرد اجتماعی شرکتی در سراسر طیف گسترده‌ای از صنایع با ویژگی‌های مختلف مهم تاریخی و عملکردی در حوزه‌های مختلف آن رخ می‌دهد. یک تعریف دقیق توافقی شده در این رابطه وجود ندارد؛ اما عملکرد اجتماعی

\* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: s.iranzadeh37@gmail.com

شرکتی به طور کلی عنوان یک ساختار گسترده شامل موضوع های اجتماعی و مدیریت ذینفعان را در بر می گیرد [۳]. برای یکی از شاخص های آشکارسازی عملکرد اجتماعی شرکتی می توان به ابعاد اخلاقی همچون تعهد به استانداردهای زیست محیطی مانند ISO 14000 اشاره کرد همچنین از ابعاد دیگر به بعد حکومت مانند ایجاد شغل، بعد کارکنان، استانداردهای ایمنی و سلامت، استخدام آن ها و بعد زیست محیطی، حفاظت از محیط زیست، آلودگی انتشار فرآیندهای کنترل آلودگی و بازیافت محصولات استفاده شده یا عمر آن ها به پایان رسیده (EOL)، پرداخت [۴]. همچنین از آنجا که عملکرد اجتماعی شرکتی تلاش می کند شرایط ایمن و سلامت شغلی کارکنان را در محیط کار ایجاد نماید [۵]، مزایای مهمی همچون افزایش شهرت و اعتبار و ایجاد مزیت رقابتی را برای شرکت فراهم می آورد [۶]. از سوی دیگر، نادیده گرفتن عملکرد اجتماعی شرکتی باعث می شود از سوی سیاست های دولتی، سازمان های غیر دولتی، رسانه ها و سایر گروه های اجتماعی فشار زیادی بر شرکت ها وارد کنند [۷]. به عنوان مثال گزارش های رسانه ای و کمپین های تبلیغاتی و گروه های اجتماعی به شهرت و فروش شرکت های معروفی مانند Wal-Mart, Shell, MC Donald's آسیب رسانده است. این فشارها موجبات بهبود عملکرد اجتماعی شرکت ها از جمله رضایت کارکنان و جامعه را فراهم می آورد. جامع ترین چارچوبی که شاخص های عملکرد اجتماعی را مشخص نموده است چارچوب گزارش اولیه جهانی<sup>۱</sup> می باشد [۸]، که بر این اساس شرکت ها متعهد می شوند گزارش های خود را بر اساس این چارچوب تنظیم نمایند. بر طبق مقالات منتشر شده بین سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ نرخ شهرت یکی از پرتعدادترین روش های اندازه گیری عملکرد اجتماعی شرکتی می باشد [۹].

مسئله طراحی زنجیره تامین سبز<sup>۲</sup> به عنوان مهم ترین مسأله استراتژیک در مدیریت زنجیره تامین<sup>۳</sup> مطرح می - باشد. با توجه به این که در اکثر مقالات مربوط به طراحی زنجیره تامین سبز تمرکز بیش تری بر روی عملکردهای اقتصادی و به خصوص زیست محیطی بوده است؛ اما عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز نادیده گرفته شده است در این زمینه تعدادی از تحقیقات انجام شده به مدیریت پایان عمر محصول<sup>۴</sup> اختصاص داده شده است که منجر به طراحی شبکه لجستیک معکوس<sup>۵</sup> (به عنوان مثال [۱۰، ۱۱]) و طراحی شبکه حلقه بسته (به عنوان مثال [۱۲، ۱۳]) شده است.

در حالی که برخی دیگر بر کاهش انتشار زیست محیطی زنجیره تامین تمرکز دارد که این مسأله به طراحی زنجیره تامین سبز یا زیست محیطی (به عنوان مثال [۱۴، ۱۵]) منتج می شود برای پر کردن این شکاف در بررسی پیشینه طراحی زنجیره تامین سبز این تحقیق علاوه بر عملکردهای اقتصادی و زیست محیطی، عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز را مورد توجه قرار می دهد. با توجه به این که تمرکز ما در این مقاله بر عملکرد اجتماعی می - باشد، عدم قطعیت داده های ورودی مورد توجه قرار می گیرد. این مقاله شامل دو بخش مهم نظری و عملی است. از دیدگاه عملی این مقاله یک مدل ریاضی سه هدفه را ارائه می دهد که به منظور دستیابی به عملکرد اجتماعی

1 Global Reporting Initiative ( GRI )  
2 Green Supply Chain Design ( GSCD )  
3 Supply Chain Management ( SCD )  
4 End - of - life ( EOL )  
5 Reverse Logistic (RL)

علاوه بر عملکردهای اقتصادی و زیست محیطی در طراحی شبکه زنجیره تامین سبز مورد توجه قرار می گیرد. با توجه به جنبه نظری در جهت مواجهه یا موضوع عدم قطعیت در مسأله طراحی مدل عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز از برنامه ریزی فازی چند هدفه استفاده شده است که مدل را به واقعیت نزدیک تر ساخته است. مابقی این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش ۲ مروری بر تحقیقات مشابه مرتبط با موضوع صورت گرفته است. در بخش ۳ به مسأله طراحی مدل عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز با در نظر گرفتن یک نمونه صنعتی واقعی به تعریف مسأله، مدل سازی مسأله پرداخته شده است. برنامه ریزی فازی چند هدفه در بخش ۴ و روش راه حل تعاملی در بخش ۵ ارایه شده است. مدل پیشنهادی جهت استفاده از یک نمونه صنعتی واقعی مورد استفاده قرار می گیرد و نتایج محاسباتی آن در بخش ۶ گزارش شده است. در نهایت نتیجه گیری و جمع بندی همراه با ارایه پیشنهادها جهت تحقیقات آتی در بخش ۷ ارایه شده است.

## ۲ پیشینه تحقیق

به طور خلاصه برخی از جدیدترین مطالعات صورت گرفته در حوزه عملکرد اجتماعی شرکتی و طراحی زنجیره تامین به شرح ذیل می باشد.

تارخ و همکاران [۱۶] تحقیقی را در زمینه طراحی شبکه زنجیره تامین یکپارچه مستقیم و معکوس سازگار با محیط زیست انجام داده اند. در این پژوهش یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط دو هدفه برای مطالعه نحوه ارتباط سبز بودن و سود در یک شبکه زنجیره تامین سبز توسعه داده شد.

کریمی و همکاران [۱۷] تحقیقی را در زمینه بهینه سازی و برنامه ریزی چند هدفه در زنجیره تامین سبز انجام داده اند. در این پژوهش یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط با دو تابع هدف بیشترین سود و کمترین میزان انتشار گاز دی اکسید کربن ارایه گردید. این مدل کمک خواهد کرد تا برای یک شبکه حمل بار موجود را برای یک صنعت بهترین وسیله های حمل انتخاب نماید تا علاوه بر افزایش سود، میزان انتشار گاز دی اکسید کربن حداقل گردد.

ابوهانی و همکاران [۱۸] تحقیقی را در زمینه سیستم پشتیبانی تصمیم گیری برای عملکرد اجتماعی در کشور فلسطین انجام داده اند. این پژوهش برای ارایه یک مدل ریاضی به نام سهم ارزش جهت اندازه گیری عملکرد اجتماعی صنایع سنگ مرمر در کشور فلسطین ارایه شده است. این پژوهش در نهایت بر روی ۱۰ کارخانه سنگ مرمر در فلسطین انجام گردید و نتایج نهایی نشان می دهد که صنایع را می توان بر اساس عملکرد مثبت بالای خود ارزیابی کرد. تصمیم گیرندگان می توانند از نتایج این مطالعه و موارد مشابه به عنوان یک ابزار ارزیابی برای حمایت از صنایع دارای بالاترین عملکرد کلی استفاده کنند.

بایرکا [۱۹] تحقیقی را در زمینه اهمیت فاکتورهای اجتماعی در مدل سازی گسترش محصولات و اقدامات سبز در کشورهای هلند و لهستان انجام داده است. در این مقاله یک مدل ساده مبتنی بر عامل دو نوع واکنش اجتماعی شامل تطابق و استقلال و همچنین دشواری رفتاری را در نظر می گیرد که می تواند به طور جدی بر گسترش نوآوری محصولات و اقدامات سبز اثر گذار باشد.

نورجانی و همکاران [۱۰] تحقیقی را در زمینه طراحی زنجیره تامین سبز با یک رویکرد مدلسازی ریاضی بر اساس بهینه سازی مدل چند هدفه انجام داده اند. در این مقاله یک مدل ریاضی دو هدفه برای حداقل کردن هزینه کل و به حداقل رساندن انتشار گاز دی اکسید کربن در سراسر زنجیره تامین ارائه گردیده است. در این پژوهش جهت پیدا کردن جواب های غیر مغلوب (کارا) از روش چیشیف استفاده شده است و نتایج به دست آمده نشان می دهد این مدل برای حل مسایل زنجیره تامین سبز در شرایط پیچیده واقعی مناسب نیست؛ بنابراین کارهای بیش تری برای بهبود مدل ریاضی از طریق تعدیل سناریوی مدل و استفاده از سایر روش های حل برای بهینه سازی مدل های چند هدفه، انجام می گیرد.

کای و همکاران [۲۰] تحقیقی را در زمینه اینکه چرا عملکرد اجتماعی شرکت ها برای کشورها از اهمیت شایانی برخوردار است، انجام داده اند. این پژوهش به دنبال جواب این سوال می باشد که چرا سطح عملکرد اجتماعی شرکت ها در کشورهای مختلف تا این حد متفاوت می باشد؛ لذا با بررسی عملکرد اجتماعی ۲۶۰۰ شرکت از ۳۶ کشور مختلف به دنبال پاسخ این سوال می باشد. نتایج نهایی نشان می دهد که در کشورهایی که سطح درآمد سرانه شهروندان آن بالاست و از آزادی های مدنی و حقوقی سیاسی پایدار برخوردارند و فرهنگ آن ها متمایل به هارمونی و استقلال است، میزان عملکرد اجتماعی شرکت ها نیز بالاست و همچنین عوامل ملی و میهنی در تغییرات عملکرد اجتماعی شرکت های چند ملیتی نسبت به شرکت های غیر چند ملیتی و داخلی آن چنان دخیل نیست.

مورایس و همکارش [۲۱] تحقیقی را در زمینه اندازه گیری عملکرد اجتماعی برای مدیریت زنجیره تامین پایدار انجام داده اند. این پژوهش با بررسی ۷۶ معیار مختلف اجتماعی در راستای پاسخگویی به سوال تعیین معیارهای اصلی در مقالات برای اندازه گیری عملکرد به ویژه اجتماعی در مفهوم زنجیره تامین پایدار بوده است و نتایج دلالت بر آن دارد که دو معیار که بیش تر بر عملکرد اجتماعی تمرکز دارد، جامعه، ایمنی و سلامت می باشد و یک توصیه برای انتخاب و سازماندهی مناسب ترین معیارها برای هر یک از شرکای زنجیره تامین ایجاد یک چارچوب ماتریسی می باشد.

موگینی و همکارش [۲۲] تحقیقی را در زمینه تأثیر اقدامات لجستیک سبز بر عملکرد زنجیره تامین در سازمان های چند ملیتی در کنیا انجام داده اند. این پژوهش با بررسی ۱۰ سازمان چند ملیتی در کنیا به ویژه متمرکز بر بخش های تدارکات، منابع انسانی، متخصصان محیط زیست و مدیران بوده است که بتواند اندازه گیری مناسبی از عملکرد زنجیره تامین در سازمان های چند ملیتی در کنیا داشته باشد و در نهایت نتایج نشان می دهد که عواملی که بر عملکرد زنجیره تامین تأثیر گذار است به ترتیب خرید سبز، بسته بندی پاسخگو، اقدامات طراحی مجدد و لجستیک معکوس می باشد.

ژاو و همکاران [۱۴] تحقیقی را در زمینه بهینه سازی یک مدل برای مدیریت زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد تجزیه و تحلیل داده بزرگ انجام داده اند. در این مدل سه سناریو برای بهبود مدیریت زنجیره تامین سبز پیشنهاد شده است. سناریوی اول ابتدا به دنبال کم ترین ریسک بعد انتشار کربن و در نهایت هزینه اقتصادی می باشد. سناریوی دوم به دنبال کم ترین هزینه اقتصادی با کم تر کردن هر دو پارامتر ریسک و انتشار کربن است. این

در حالی است که سناریوی سوم تلاش دارد که ریسک انتشار کربن و هزینه اقتصادی را به طور همزمان حداقل کند. این مدل با استفاده از نرم افزار Lingo حل شده است و نتایج نشان می‌دهد که سناریوی اول نسبت به سناریوی دوم و سوم به لحاظ کاهش ریسک و انتشار کربن، ارتقاء مدیریت زنجیره تامین سبز و دستیابی به موفقیت اقتصادی در دراز مدت، برتری دارد.

شهزاد و همکاران [۲] تحقیقی را در زمینه اجرای منابع متفاوت برای ارتباط عملکرد اجتماعی شرکت و منابع متعدد انجام داده‌اند. این پژوهش با بررسی ۱۴۳۹ شرکت در ایالات متحده آمریکا در راستای آزمون ۶ فرضیه انجام پذیرفته است و نتایج دلالت بر آن دارد که اگر شرکت‌ها بخواهند تعهد خود را به عملکرد اجتماعی زیست محیطی به طور گسترده‌ای از طریق عملکرد اجتماعی شرکت افزایش دهند اگر بر منابع انسانی سرمایه گذاری کنند، امری ضروری به نظر می‌رسد.

آهی و همکارش [۲۳] تحقیقی را در زمینه تجزیه و تحلیل معیارهای استفاده شده برای اندازه گیری عملکرد در زنجیره‌های تأمین سبز و پایدار انجام داده‌اند. این تحقیق با بررسی ۴۴۵ مقاله با هدف شناسایی و تجزیه و تحلیل معیارهایی که در تحقیقات مدیریت زنجیره تامین سبز و مدیریت زنجیره تامین پایدار منتشر شده، انجام شده است. بر اساس تحلیل انجام شده، یک چارچوب مفهومی اصلی برای ساختار بندی توسعه معیارها در مدیریت زنجیره تامین و مدیریت زنجیره تامین سبز بر اساس ۳ فرض اصلی ارائه می‌دهد که نشان می‌دهد مدیریت زنجیره تامین پایدار شکل گسترش یافته از مدیریت زنجیره تامین سبز می‌باشد.

کریستانا و همکاران [۲۴] تحقیقی را در زمینه دستیابی به مسئولیت اجتماعی زنجیره تامین از طریق ارزیابی و همکاری در شرکت‌های تولیدی اسپانیا انجام داده‌اند. این تحقیق با بررسی ۱۲۰ شرکت تولیدی اسپانیایی در راستای آزمون ۸ فرضیه انجام پذیرفته است و نتایج دلالت بر آن دارد که با ارزیابی تامین کنندگان، عملکرد اجتماعی شرکت‌های خریدار و با همکاری، عملکرد اجتماعی تامین کنندگان افزایش می‌یابد.

چن و همکاران [۲۵] تحقیقی را در زمینه آشکار شدن ارتباط بین عملکرد اجتماعی شرکتی و عملکرد مالی شواهدی از گزارش های GRI در صنایع تولیدی انجام داده‌اند. این پژوهش با بررسی ۷۵ شرکت در سراسر اروپا، آسیا و آمریکا در راستای آزمون ۲ فرضیه انجام پذیرفته است و نتایج دلالت بر آن دارد که هیچ تفاوت قابل توجهی در خصوص گزارش دهی عملکرد مسئولیت اجتماعی شرکت در میان بخش‌های مختلف صنعتی در صنایع مختلف تولیدی وجود ندارد.

فراگ و همکاران [۴] تحقیقی را در زمینه عملکرد اجتماعی، زیست محیطی و اخلاقی در شرکت‌های پذیرفته شده در بورس شانگهای چین انجام داده‌اند. این پژوهش با بررسی ۱۴۹ شرکت در بورس شانگهای چین در راستای آزمون ۲ فرضیه انجام پذیرفته است و نتایج دلالت بر آن دارد که رابطه مثبتی بین عملکرد اجتماعی، زیست محیطی و اخلاقی با عملکرد مالی وجود ندارد و همچنین رابطه‌ای بین عملکرد اجتماعی شرکت و عملکرد مالی در شرکت‌های پذیرفته شده در بورس مشاهده نگردید.

مارتینز و همکاران [۲۶] تحقیقی را در زمینه طراحی و برنامه ریزی شبکه زنجیره تامین سبز با استفاده از رویکرد فراابتکاری چند هدفه انجام داده‌اند. در این پژوهش یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته چند

هدفه برای حداکثر کردن سود و حداقل کردن اثرات زیست محیطی ارایه گردید در این مقاله با استفاده از الگوریتم فراابتکاری چند هدفه به حل مدل پرداخته شد و در نهایت آن‌ها با استفاده از روش فراابتکاری چند هدفه تعادل بین اهداف زیست محیطی و اقتصادی ایجاد کردند.

سرانو و همکاران [۲۷] تحقیقی را در زمینه مدل‌های پویا برای طراحی شبکه‌های لجستیک سبز انجام داده‌اند. در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط جهت طراحی یک شبکه لجستیک معکوس پیشنهاد شده است. برای حل مساله، یک رویکرد مبتنی بر سیمپلکس و روش شاخه و کران در نظر گرفته شده است و از نرم افزار CPLEX برای حل مساله استفاده شده است.

طوسی و همکاران [۲۸] تحقیقی را در زمینه مدلی برای ارزیابی زنجیره‌تأمین سبز انجام داده‌اند. در این پژوهش از روش DEMATEL جهت تجزیه و تحلیل و اولویت‌بندی عوامل ضروری در انتخاب تأمین کنندگان سبز در صنایع خودروسازی استفاده نموده و بر این اساس لجستیک سبز، عملکرد سازمانی، فعالیت‌های سبز سازمانی، عملکرد زیست محیطی و ارزیابی تأمین کنندگان سبز بر اساس قدرت نفوذ و درجه اهمیت در کل شبکه زنجیره‌تأمین سبز رده بندی شدند که نتایج نشان می‌دهد که ارزیابی تأمین کنندگان سبز و فعالیتهای سبز سازمانی، تأثیر قابل توجهی بر روی شاخص‌های دیگر دارد؛ بنابراین با توسعه این دو شاخص، شاخص‌های دیگر نیز به طور خودکار، توسعه می‌یابد.

نیکان و همکاران [۲۹] تحقیقی را در زمینه یک مدل ریاضی چند هدفه برای سازمان‌دهی مجدد زنجیره‌تأمین سبز انجام داده‌اند. در این پژوهش یک مدل ریاضی دو هدفه برای حداقل کردن هزینه‌های حمل و نقل و کاهش انتشار دی‌اکسید کربن ارایه گردید. در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی مدل پرداخته شد و در نهایت با استفاده از این روش مشخص گردید که کدام انبارها یا مخازن را باید به عنوان مرکز توزیع انتخاب کرد و همچنین شکل حمل و نقل مناسب و تعداد وسیله نقلیه برای انتقال محصولات میان تأمین کنندگان، مرکز توزیع و انبارها تعیین گردد.

ال هدلی و همکارش [۳۰] تحقیقی را در زمینه طراحی شبکه زنجیره‌تأمین سبز با استفاده از کاهش انتشار کربن انجام داده‌اند. در این پژوهش یک مدل ریاضی تک هدفه برای حداقل کردن هزینه‌های لجستیک و هزینه‌های زیست محیطی انتشار گاز دی‌اکسید کربن ارایه گردید. در این مقاله با استفاده از روش جدا سازی لاگرانژ به بهینه‌سازی مدل پرداخته شد و در نهایت مشخص گردید که افزایش مراکز توزیع جهت کاهش فواصل حمل و نقل به بالا بردن سود کمک می‌کند.

یوآن [۳۱] تحقیقی را در زمینه ارایه یک مدلی جهت ارزیابی عملکرد اجتماعی مدیریت زباله ساخت و ساز انجام داده‌اند. این مدل با استفاده از رویکرد پویای سیستم به ارزیابی عملکرد اجتماعی مدیریت زباله ساخت و ساز پرداخته است و در نهایت نشان می‌دهد که متغیرهای محیط کاری، ایمنی و سلامت افراد بر عملکرد اجتماعی مدیریت زباله ساخت و ساز تأثیرگذار بوده و این یافته‌های مدل، بینشی مفید جهت ارتقاء موثر عملکرد اجتماعی مدیریت زباله ساخت و ساز ارایه می‌دهد.

بر اساس مرور پیشینه تحقیق، پژوهش خاصی که به طراحی مدل عملکرد اجتماعی زنجیره تامین پردازد، مشاهده نشده است؛ بنابراین طراحی مدل عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز با استفاده از برنامه ریزی ریاضی فازی چند هدفه را می توان از نوآوری این مقاله در نظر گرفت.

### ۳ فرمول بندی مساله

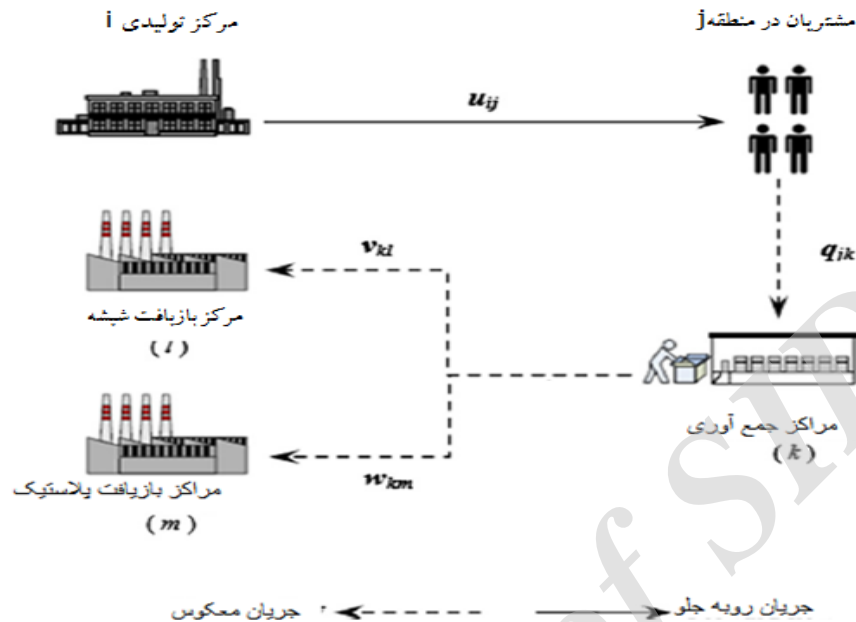
#### ۳-۱ تعریف مساله

در این مقاله یک شبکه زنجیره تامین به وسیله یک نمونه صنعتی واقعی در نظر گرفته شده است. یک شبکه زنجیره تامین تولید نوشابه که حدود ۶۵٪ از تقاضای داخلی استان فارس را تامین می کند. تولید این کارخانه با ظرفیت حدود ۶۰۰ هزار واحد محصول در سال می باشد. سیستم حمل و نقل شبکه زنجیره تامین شامل تأثیر زیست محیطی مانند دی اکسید کربن است که در مقابل مشکلات زیست محیطی باید پاسخ گو باشد. جهت غلبه بر این مشکل یک شبکه زنجیره تامین چند هدفه پیشنهاد شده است که شامل شبکه های رو به جلو و معکوس در شکل (۱) نشان داده شده است. در شبکه رو به جلو محصولات جدید تولید شده به وسیله کارخانه (مراکز تولید) بین مناطقی که مشتریان در آن قرار دارند، توزیع می شود. در شبکه لجستیک معکوس، محصولات استفاده شده به مراکز جمع آوری انتقال داده می شود. همه تقاضای مشتریان باید تامین و محصولات استفاده شده توسط مشتریان به مراکز جمع آوری تحویل داده شود. همچنین درصدی از پیش تعریف شده از تقاضا از هر مشتری جهت محصولات برگشت داده شده توسط مشتری فرض می شود. عدم دسترسی یا ناقص بودن داده ها در مسایل طراحی شبکه در دنیای واقعی یک چالش مهم است که باعث ایجاد عدم قطعیت های زیادی در چنین مساله ای شده است. برای مواجهه با این مشکل مورد نظر، پارامترهای غیر قطعی از طریق اعداد فازی توضیح داده شده توسط توزیع احتمالی شان ارائه می شود. توزیعات احتمالی بر اساس داده های ناکافی فعلی و دانش تصمیم گیرندگان در این زمینه تخمین زده می شود [۳۲-۳۴].

موضوعات اصلی که باید در زنجیره تامین یکپارچه در شرایط عدم قطعیت مورد توجه قرار گیرد شامل تعیین تعداد و موقعیت های مراکز تولید و جمع آوری و همچنین گزینه های EOL و میزان جریان مواد اولیه بین تسهیلات مختلف، پارامترهای اجتماعی مانند اشتغال ایجاد شده و تعداد حوادث در کار با در نظر گرفتن سه تابع هدف (۱) حداقل کردن هزینه کل (۲) حداقل کردن تأثیرات کلی زیست محیطی (۳) حداکثر کردن عملکرد اجتماعی می باشد؛ بنابراین بهینه سازی ساختار استراتژیک شبکه زنجیره تامین شامل یک تعادل منطقی بین سه تابع هدف است.

برای اندازه گیری تابع هدف دوم از یک روش ارزیابی چرخه عمر (LCA) بر اساس روش ارزیابی اثر زیست محیطی که آن را شاخص Eco-Indicator99 نامیده اند، استفاده شده است [۳۵]. این شاخص اعدادی هستند که بیان کننده اثرات کلی زیست محیطی یک فرآیند یا محصول هستند. در خصوص پارامترهای عملکرد

اجتماعی از طریق بررسی ادبیات تحقیق و مقالات متعدد دو پارامتر مهم ایجاد اشتغال و تعداد حوادث در محیط کار مشخص گردید.



شکل ۱. زنجیره تامین یکپارچه مدل

#### • اندیس‌ها

- $i$  موقعیت های انتخاب شده برای مراکز تولید
- $j$  موقعیت های ثابت مشتری در مناطق
- $k$  موقعیت های انتخاب شده برای مراکز جمع آوری
- $l$  مراکز موجود بازیافت شیشه
- $m$  مراکز موجود بازیافت پلاستیک

#### • پارامترهای مدل

- $\tilde{d}_j$  تقاضای مشتری در منطقه  $j$
- $\tilde{w}_j$  درصد میزان بازگشت محصولات استفاده شده توسط مشتری در منطقه  $j$
- $\tilde{f}_i$  هزینه ثابت مرکز تولیدی فعال  $i$
- $\tilde{g}_k$  هزینه ثابت مرکز جمع آوری فعال  $k$
- $\tilde{c}_{ji}$  تعداد شغل ایجاد شده در مرکز تولید  $i$
- $\tilde{c}_{jk}$  تعداد شغل ایجاد شده در مرکز جمع آوری  $k$



تعداد حوادث ایجاد شده در مرکز تولید $i$	$\tilde{p}_{ai}$
تعداد حوادث ایجاد شده در مرکز جمع آوری $k$	$\tilde{p}_{ak}$
هزینه حمل و نقل هر واحد تولیدی از مرکز تولید $i$ به مشتری در منطقه $j$	$\tilde{c}_{ij}$
هزینه حمل و نقل هر واحد محصول استفاده شده از مشتری در منطقه $j$ به مرکز جمع آوری $k$	$\tilde{a}_{jk}$
هزینه حمل و نقل هر واحد محصول استفاده شده در بخش شیشه از مرکز جمع آوری $k$ به مرکز باز یافت شیشه $l$	$\tilde{b}_{kl}$
هزینه حمل و نقل هر واحد محصول استفاده شده در بخش پلاستیک از مرکز جمع آوری $k$ به مرکز باز یافت پلاستیک $m$	$\tilde{h}_{km}$
هزینه ساخت هر واحد محصول در مرکز تولید $i$	$\tilde{p}_i$
هزینه فرآیند هر واحد محصول استفاده شده در مرکز جمع آوری $k$	$\tilde{\varphi}_k$
هزینه فرآیند هر واحد محصول استفاده شده بخش شیشه در مرکز باز یافت شیشه $l$	$\tilde{\beta}_l$
هزینه فرآیند هر واحد محصول استفاده شده بخش پلاستیک در مرکز باز یافت پلاستیک $m$	$\tilde{\tau}_m$
حداکثر ظرفیت مرکز تولید $i$	$\tilde{\pi}_i$
حداکثر ظرفیت مرکز جمع آوری $k$	$\tilde{\eta}_k$
حداکثر ظرفیت مرکز باز یافت شیشه $l$	$\tilde{\delta}_l$
حداکثر ظرفیت مرکز باز یافت پلاستیک $m$	$\tilde{\zeta}_m$
اثر زیست محیطی هر واحد محصول تولید شده	$e_i^{pro}$
اثر زیست محیطی ارسال یک واحد محصول از مرکز تولید $i$ به مشتری در منطقه $j$	$ei_{ij}^{tpc}$
اثر زیست محیطی ارسال یک واحد محصول استفاده شده از مشتری در منطقه $j$ به مرکز جمع آوری $k$	$ei_{jk}^{tcc}$
اثر زیست محیطی ارسال هر واحد محصول استفاده شده بخش شیشه از مرکز جمع آوری $k$ به مرکز باز یافت شیشه $l$	$ei_{kl}^{tes}$
اثر زیست محیطی ارسال هر واحد محصول استفاده شده بخش پلاستیک از مرکز جمع آوری $k$ به مرکز باز یافت پلاستیک $m$	$ei_{km}^{tcp}$
اثر زیست محیطی جابه جایی هر واحد محصول استفاده شده جمع آوری شده به مراکز جمع آوری	$ei^{col}$
اثر زیست محیطی باز یافت بخش شیشه برای هر واحد محصول استفاده شده	$ei^{src}$
اثر زیست محیطی باز یافت بخش پلاستیک برای هر واحد محصول استفاده شده	$ei^{prc}$

• متغیرهای تصمیم مدل

میزان محصولات ارسال شده از مرکز تولید $i$ به مشتری در منطقه $j$	$u_{ij}$
میزان ارسال محصولات استفاده شده مشتری در منطقه $j$ به مرکز جمع آوری $k$	$q_{jk}$
میزان ارسال محصولات استفاده شده بخش شیشه از مرکز جمع آوری $k$ به مرکز باز یافت شیشه $l$	$v_{kl}$

$w_{km}$  میزان ارسال محصولات استفاده شده بخش پلاستیک از مرکز جمع آوری  $k$  به مرکز بازیافت پلاستیک  $m$   
 $x_i$  متغیر صفر و یک - اگر مرکز تولیدی فعال باشد یک و در غیر این صورت صفر  
 $y_k$  متغیر صفر و یک - اگر مرکز جمع آوری فعال باشد یک و در غیر این صورت صفر

### ۳-۲ مدل مساله

$$\text{Min } w_v = \sum_i f_i x_i + \sum_k g_k y_k + \sum_i \sum_j (\rho_i + \tilde{c}_{ij}) u_{ij} + \sum_j \sum_k (\varphi_k + \tilde{a}_{jk}) q_{jk} + \sum_k \sum_l (\beta_l + \tilde{b}_{kl}) v_{kl} + \sum_k \sum_m (\tilde{\tau}_m + h_{km}) w_{km} \quad (1)$$

$$\text{Min } w_v = \sum_i \sum_j (ei^{pro} + ei^{tpc}) u_{ij} + \sum_j \sum_k (ei^{col} + ei^{tcc}) q_{jk} + \sum_k \sum_l (ei^{src} + ei^{tcs}) v_{kl} + \sum_k \sum_m (ei^{prc} + ei^{tcp}) w_{km} \quad (2)$$

$$\text{Max } w_v = \sum_i (\tilde{c}_{ji} - \tilde{p}_{ai}) x_i + \sum_k (\tilde{c}_{jk} - \tilde{p}_{ak}) y_k \quad (3)$$

s.t.

$$\sum_i u_{ij} \geq \tilde{d}_j, \forall j, \quad (4)$$

$$\sum_k q_{jk} \geq \tilde{d}_j \tilde{w}_j, \forall j, \quad (5)$$

$$\sum_j q_{jk} = \sum_m w_{km}, \forall k, \quad (6)$$

$$\sum_m w_{km} = \sum_l v_{kl}, \forall k, \quad (7)$$

$$\sum_j u_{ij} \leq \hat{\pi}_i x_i, \forall i, \quad (8)$$

$$\sum_j q_{jk} \leq \tilde{\eta}_k y_k, \forall k, \quad (9)$$

$$\sum_k w_{km} \leq \tilde{\zeta}_m, \forall m, \quad (10)$$

$$\sum_k v_{kl} \leq \tilde{\delta}_l, \forall l, \quad (11)$$

$$x_i, y_k \in \{0, 1\}, \forall i, k \quad (12)$$

$$u_{ij}, q_{jk}, v_{kl}, w_{km} \geq 0, \forall i, j, k, l, m. \quad (13)$$

#### • تشریح توابع هدف و محدودیت‌ها

تابع هدف (۱) به حداقل رسانیدن هزینه کل در شبکه زنجیره تامین شامل هزینه‌های ثابت مراکز فعال، هزینه‌های حمل و نقل و هزینه فرآیند هر واحد محصول می‌باشد.

تابع هدف (۲) به حداقل رسانیدن تأثیرات زیست محیطی می‌باشد. که در این رابطه جهت اندازه‌گیری اثرات زیست محیطی از شاخص Eco-indicator99 استفاده شده است که برای استفاده از این روش در ابتدا

محدوده‌ی سیستم واحد کاربردی و هدف استفاده از این شاخص‌ها باید تعریف شود که از تولید تا بازیافت شیشه و پلاستیک جزء این چرخه قرار گرفته است. در مرحله سوم مواد و فرآیندها از طریق مراحل چرخه عمر اندازه‌گیری شده و در مرحله چهارم امتیاز نهایی آن محاسبه شده است.

تابع هدف (۳) حداکثر کردن عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز می‌باشد که شامل ایجاد اشتغال و تعداد حوادث ایجاد شده در مراکز فعال می‌باشد.

محدودیت‌های (۴) و (۵) این اطمینان را به وجود می‌آورد که تقاضای همه مشتریان برآورده شده و همه محصولات استفاده شده توسط مشتریان در آن مناطق جمع‌آوری شود.

محدودیت‌های (۶) و (۷) از توازن جریان در مراکز جمع‌آوری اطمینان حاصل می‌کنند. با توجه به مدیریت عمر محصولاتی که عمر آن‌ها به پایان رسیده (EOL)، محصولات استفاده شده جمع‌آوری می‌شود و بعد از تفکیک شیشه و پلاستیک به مراکز بازیافت شیشه و پلاستیک ارسال می‌شود که در این رابطه این مقادیر طبق محدودیت (۷) با هم برابر هستند.

محدودیت‌های (۸) تا (۱۱) محدودیت‌های ظرفیتی به ترتیب در مراکز تولید، جمع‌آوری، بازیافت شیشه، بازیافت پلاستیک هستند.

محدودیت‌های (۱۲) و (۱۳) مرتبط با متغیرهای تصمیم صفر و یک و غیرمنفی می‌باشند.

## ۴ برنامه‌ریزی فازی

### ۴-۱ مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی مبتنی بر اعتبار

در این مقاله از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی محدودیت‌شناسی مبتنی بر اندازه اعتبار استفاده شده است. به طور کلی برنامه‌ریزی محدودیت‌شناسی مبتنی بر اعتبار یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی فازی کارآمد که مبتنی بر مفاهیم قوی ریاضی می‌باشد. [۳۶، ۳۷]. به عنوان مثال: ارزش مورد انتظار از یک عدد فازی و اندازه اعتبار آن می‌تواند از انواع مختلفی از اعداد فازی همچون مثلثی و ذوزنقه‌ای پشتیبانی کند و همچنین تصمیم‌گیرنده را قادر می‌سازد تا با محدودیت‌های شناسی، حداقل سطوح اطمینان را بدهد. اگر  $\tilde{z}$  یک عدد فازی مثلثی باشد و  $\alpha$  بزرگ‌تر از  $0/5$  باشد؛ بنابراین:

$$\text{if } \tilde{z} = (z^p, z^m, z^o) \quad (14)$$

$$cr\{\tilde{z} \geq r\} \geq \alpha \Leftrightarrow r \leq (2\alpha - 1)z^o + 2(1 - \alpha)z^m \quad (15)$$

$$cr\{\tilde{z} \leq r\} \geq \alpha \Leftrightarrow r \geq (2\alpha - 1)z^p + 2(1 - \alpha)z^m \quad (16)$$

رابطه (۱۴) و (۱۵) مستقیماً و راحت‌تر زمانی به کار می‌روند که هنگامی مقادیر  $\alpha$  بحرانی با هم مقایسه می‌شود تا محدودیت‌های شناسی فازی را تبدیل به مقادیر قطعی‌شان کند [۳۷]. در جهت مقابله با عدم قطعیت در

طراحی مدل عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز، پارامترهای عدم قطعیت به صورت اعداد فازی مثلثی، مستقل فرض می شود.

به طور کلی سه مدل ریاضی فازی مبتنی بر اعتبار وجود دارد به عنوان مثال ارزش مورد انتظار [۳۶]، برنامه ریزی محدودیت های شانس [۳۸] و برنامه ریزی محدودیت های شانس وابسته [۳۹].

مدل ارزش مورد انتظار یکی از ساده ترین مدل هاست که می توان بدون افزایش محاسبات پیچیده مدل اصلی، آن را به کار برد؛ اما همزمان هیچ کنترلی بر سطح اطمینان رضایتمندی و محدودیت های شانس وجود ندارد.

برنامه ریزی محدودیت های شانس قادر به کنترل درجه رضایتمندی از محدودیت های شانس می باشد؛ اما همزمان پیچیدگی محاسبات با اضافه شدن محدودیت به مدل اصلی برای هر تابع هدف افزایش پیدا می کند و همچنین جهت تعیین مقادیر سمت راست محدودیت های اضافه شده به اطلاعات بیش تری در رابطه با مقدار مناسب توابع هدف نیاز است.

مدل برنامه ریزی شانس وابسته شبیه به مدل برنامه ریزی محدودیت شانس است؛ اما زمانی که سطوح اطمینان برای تصمیم گیرنده محافظه کار اهمیت بیش تری داشته باشد، این روش مناسب تر است.

در این مقاله ترکیبی از مدل های برنامه ریزی دو روش ارزش مورد انتظار و محدودیت های شانس استفاده می شود. از مدل ارزش مورد انتظار برای توابع هدف استفاده می شود و رویکرد برنامه ریزی محدودیت شانس در مدل محدودیت های شانس که شامل پارامترهای مهم و نادقیق هستند، مورد استفاده قرار می گیرد. براساس توضیحاتی که مطرح شد برنامه ریزی ریاضی فازی مبتنی بر اعتبار به صورت زیر فرموله شده است:

$$\begin{aligned} \text{Min } E[w_r] = & \sum_i E[\tilde{f}_i]x_i + \sum_k E[\tilde{g}_k]y_k + \sum_i \sum_j (E[\tilde{p}_i] + E[\tilde{c}_{ij}])u_{ij} \\ & + \sum_j \sum_k (E[\tilde{\varphi}_k] + E[\tilde{a}_{jk}])q_{jk} + \sum_k \sum_l (E[\tilde{\beta}_l] + E[b_{kl}])v_{kl} \\ & + \sum_k \sum_m (E[\tau_m] + E[\tilde{h}_{km}])w_{km} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{Min } w_r = & \sum_i \sum_j (ei^{pro} + ei_{ij}^{tpc})u_{ij} + \sum_j \sum_k (ei^{col} + ei_{jk}^{tcc})q_{jk} + \sum_k \sum_l (ei^{src} + ei_{kl}^{tcs})v_{kl} \\ & + \sum_k \sum_m (ei^{prc} + ei_{km}^{tcp})w_{km} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\text{Max } E[w_r] = \sum_i (E[\tilde{c}_{ji}] - E[\tilde{p}_{ai}])x_i + \sum_k (E[\tilde{c}_{jk}] - E[\tilde{p}_{ak}])y_k \quad (19)$$

s.t.

$$cr \left\{ \sum_i u_{ij} \geq \tilde{d}_j \right\} \geq \alpha_j, \forall j, \quad (20)$$

$$cr \left\{ \sum_k q_{jk} \geq \tilde{d}_j \tilde{w}_j \right\} \geq \beta_j, \forall j, \quad (21)$$

$$\sum_k q_{jk} = \sum_m w_{km}, \forall k, \quad (22)$$

$$\sum_m w_{km} = \sum_l v_{kl}, \forall k, \quad (23)$$

$$cr \left\{ \sum_j u_{ij} \leq \tilde{\pi}_i x_i \right\} \geq \phi_i, \forall i, \quad (24)$$

$$cr \left\{ \sum_j q_{jk} \leq \tilde{\eta}_k y_k \right\} \geq \delta_k, \forall k, \quad (25)$$

$$cr \left\{ \sum_k w_{km} \leq \tilde{\xi}_m \right\} \geq \mu_m, \forall m, \quad (26)$$

$$cr \left\{ \sum_k v_{kl} \leq \tilde{\delta}_l \right\} \geq N_l, \forall l, \quad (27)$$

$$x_i, y_k \in \{0, 1\}, \forall i, k, \quad (28)$$

$$u_{ij}, q_{jk}, v_{kl}, w_{km} \geq 0, \forall i, j, k, l, m. \quad (29)$$

#### ۴-۲ تبدیل مدل به حالت قطعی با استفاده از روش اعتبار

بر طبق روابط (۱۶) و (۱۵) با توجه به ارزش مورد انتظار اعداد فازی مثلثی می‌توان با استفاده از مدل برنامه‌ریزی محدودیت شانس مبتنی بر اعتبار تبدیل به مدل قطعی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چند هدفه نمود.

$$Min w_\gamma = \sum_i \left( \frac{f_i^{pes} + \gamma f_i^{mos} + f_i^{opt}}{\varphi} \right) x_i + \sum_k \left( \frac{g_k^{pes} + \gamma g_k^{mos} + g_k^{opt}}{\varphi} \right) y_k \quad (30)$$

$$+ \sum_i \sum_j \left( \left( \frac{p_i^{pes} + \gamma p_i^{mos} + p_i^{opt}}{\varphi} \right) + \left( \frac{c_{ij}^{pes} + \gamma c_{ij}^{mos} + c_{ij}^{opt}}{\varphi} \right) \right) u_{ij}$$

$$+ \sum_j \sum_k \left( \left( \frac{\varphi_k^{pes} + \gamma \varphi_k^{mos} + \varphi_k^{opt}}{\varphi} \right) + \left( \frac{a_{jk}^{pes} + \gamma a_{jk}^{mos} + a_{jk}^{opt}}{\varphi} \right) \right) q_{jk}$$

$$+ \sum_k \sum_l \left( \left( \frac{\beta_l^{pes} + \gamma \beta_l^{mos} + \beta_l^{opt}}{\varphi} \right) + \left( \frac{b_{kl}^{pes} + \gamma b_{kl}^{mos} + b_{kl}^{opt}}{\varphi} \right) \right) v_{kl}$$

$$+ \sum_k \sum_m \left( \left( \frac{\tau_m^{pes} + \gamma \tau_m^{mos} + \tau_m^{opt}}{\varphi} \right) + \left( \frac{h_{km}^{pes} + \gamma h_{km}^{mos} + h_{km}^{opt}}{\varphi} \right) \right) w_{km}$$

$$Min w_\gamma = \sum_i \sum_j (ei^{pro} + ei_{ij}^{tpc}) u_{ij} + \sum_j \sum_k (ei^{col} + ei_{jk}^{tcc}) q_{jk} + \sum_k \sum_l (ei^{src} + ei_{kl}^{tcs}) v_{kl} \quad (31)$$

$$+ \sum_k \sum_m (ei^{prc} + ei_{km}^{tcp}) w_{km}$$

$$Max w_\tau = \sum_i \left( \frac{c_{ji}^{pes} + \gamma c_{ji}^{mos} + c_{ji}^{opt}}{\varphi} \right) - \left( \frac{p_{ai}^{pes} + \gamma p_{ai}^{mos} + p_{ai}^{opt}}{\varphi} \right) x_i \quad (32)$$

$$+ \sum_j \left( \left( \frac{c_{jk}^{pes} + \gamma c_{jk}^{mos} + c_{jk}^{opt}}{\varphi} \right) - \left( \frac{g_{jk}^{pes} + \gamma g_{jk}^{mos} + g_{jk}^{opt}}{\varphi} \right) \right) y_k$$

s.t.

$$\sum_i u_{ij} \geq (\gamma \alpha_i^j - 1) d_j^l + \gamma (1 - \alpha_i^j) d_j^r, \forall j, \quad (33)$$

$$\sum_k q_{jk} \geq (\alpha_j^j - 1) d_j^l w_j^l + \alpha_j^j d_j^r w_j^r, \quad \forall j, \quad (34)$$

$$\sum_k q_{jk} = \sum_m w_{km}, \quad \forall k, \quad (35)$$

$$\sum_m w_{km} = \sum_l v_{kl}, \quad \forall k, \quad (36)$$

$$\sum_j u_{ij} \leq (\alpha_i^i - 1) \pi_i^r x_i + \alpha_i^i \pi_i^l, \quad \forall i, \quad (37)$$

$$\sum_j q_{jk} \leq (\alpha_k^k - 1) \eta_k^r y_k + \alpha_k^k \eta_k^l, \quad \forall k, \quad (38)$$

$$\sum_k w_{km} \leq (\alpha_m^m - 1) \zeta_m^r + \alpha_m^m \zeta_m^l, \quad \forall m, \quad (39)$$

$$\sum_k v_{kl} \leq (\alpha_l^l - 1) \delta_l^r + \alpha_l^l \delta_l^l, \quad \forall l, \quad (40)$$

$$x_i, y_k \in \{0, 1\}, \quad \forall i, k, \quad (41)$$

$$u_{ij}, q_{jk}, v_{kl}, w_{km} \geq 0, \quad \forall i, j, k, l, m. \quad (42)$$

فرض می کنیم محدودیت های شانسی که ارضا شوند بالاتر از سطح اطمینان ۰/۵ باشد.  $(\alpha_j, \beta_j, \phi_j, \delta_k, \mu_m, N_l \geq 0.5)$ .

## ۵ روش حل

مدل به دست آمده یک مدل قطعی برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط پارامتریک چند هدفه (MOLPMILP) می باشد. جهت حل این مدل از روش تعاملی استفاده می شود، یکی از روش های تعاملی تابع تجمعی TH می باشد، [۴۰] که جهت تبدیل مدل سه هدفه به تک هدفه به کار می رود. بر خلاف روش های کلاسیک که منجر به جواب های ضعیف کارا می شود روش TH تضمین می کند که جواب های کارا مناسب را پیدا کند. گام های این روش حل تعاملی فازی به طور خلاصه به صورت زیر می باشد:

گام اول: استفاده از ارزش مورد انتظار پارامترهای مبهم و تبدیل آن از توابع هدف فازی به مقادیر قطعی شان.

گام دوم: تعیین حداقل سطح اطمینان قابل قبول برای محدودیت های شانسی مانند  $(\alpha_j, \beta_j, \phi_j, \delta_k, \mu_m, N_l)$  و استفاده از روابط (۱۶) و (۱۵) که محدودیت های شانسی را به مقادیر قطعی شان تبدیل می کند.

گام سوم: مشخص کردن جواب ایده آل  $(\alpha - PIS)$  مثبت و جواب ایده آل منفی  $(\alpha - NIS)$  برای هر یک از توابع هدف. برای به دست آوردن جواب های ایده آل آلفای مثبت و مقادیر توابع هدف متناظر با آن مانند  $(w_1^{\alpha - PIS}, x_1^{\alpha - PIS}), (w_r^{\alpha - PIS}, x_r^{\alpha - PIS}), (w_p^{\alpha - PIS}, x_p^{\alpha - PIS})$  مدل قطعی متناظر با آن ها باید برای هر یک از توابع هدف به صورت جداگانه حل شود و پس از آن جواب های ایده آل منفی می تواند به صورت زیر تخمین زده

$$\text{شود. } w_1^{\alpha - NIS} = w_1(x_1^{\alpha - PIS}), w_r^{\alpha - NIS} = w_r(x_r^{\alpha - PIS}), w_p^{\alpha - NIS} = w_p(x_p^{\alpha - PIS})$$

گام چهارم: تعیین یک تابع عضویت خطی برای هر یک از توابع هدف:

$$\mu_1(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & \text{if } w_1 < w_1^{\alpha-PIS} \\ \frac{w_1^{\alpha-NIS} - w_1}{w_1^{\alpha-NIS} - w_1^{\alpha-PIS}}, & \text{if } w_1^{\alpha-PIS} \leq w_1 \leq w_1^{\alpha-NIS} \\ 0, & \text{if } w_1 > w_1^{\alpha-NIS} \end{array} \right\} \quad (43)$$

$$\mu_r(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & \text{if } w_r < w_r^{\alpha-PIS} \\ \frac{w_r^{\alpha-NIS} - w_r}{w_r^{\alpha-NIS} - w_r^{\alpha-PIS}}, & \text{if } w_r^{\alpha-PIS} \leq w_r \leq w_r^{\alpha-NIS} \\ 0, & \text{if } w_r > w_r^{\alpha-NIS} \end{array} \right\} \quad (44)$$

$$\mu_p(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & \text{if } w_p < w_p^{\alpha-PIS} \\ \frac{w_p^{\alpha-NIS} - w_p}{w_p^{\alpha-NIS} - w_p^{\alpha-PIS}}, & \text{if } w_p^{\alpha-PIS} \leq w_p \leq w_p^{\alpha-NIS} \\ 0, & \text{if } w_p > w_p^{\alpha-NIS} \end{array} \right\} \quad (45)$$

$\mu_k(x)$  نشان دهنده درجه رضایت از تابع هدف  $k$ th می باشد

گام پنجم: تبدیل مدل قطعی متناظر سه هدفه به تک هدفه با استفاده از تابع تجمعی TH است که مدل آن به صورت زیر می باشد:

$$\text{Max } \lambda(x) = \gamma\lambda + (1-\gamma) \sum_{k=1}^k \theta_k \mu_k \quad (46)$$

$$\text{s.t. } \lambda \leq \mu_k(x), \quad k = 1, \dots, k, \quad (47)$$

$$x \in F(x) \quad (48)$$

$$\gamma, \lambda \in [0, 1], \quad k = 1, \dots, k. \quad (49)$$

جایی که  $F(x)$  نشان دهنده منطقه قابل قبول که شامل محدودیت های متناظر با مدل قطعی و  $\lambda$  نشان دهنده کم ترین سطح رضایت مندی توابع هدف می باشد به علاوه  $\theta_k$  و  $\gamma$  نشان دهنده اهمیت تابع  $k$ th و ضریب جبران است، به علاوه تابع تجمعی TH برای جستجوی واقعی مقادیر متعادل بین عملیات کم تر و مجموع وزنی بر اساس مقادیر  $\gamma$  [۴۰] می باشد.

گام ششم: تعیین اهمیت اهداف فازی ( $\theta_k$ ) و مقدار ضریب جبران ( $\gamma$ ) بر اساس اولویت تصمیم گیرنده. اگر تصمیم گیرنده از جواب کارای به دست آمده راضی باشد سپس توقف و انتخاب جواب کنونی به عنوان تصمیم نهایی است در غیر این صورت برای جستجوی جواب های کارا جدید تصمیم گیرنده باید با تغییر پارامترهای ( $\alpha_j, \beta_j, \phi_i, \delta_k, \mu_m, N_l, \theta_k, \gamma$ ) بر اساس اولویت های تجدیدنظر شده و به روز شده به مرحله ۲ باز گردد.

## ۶ مطالعه موردی و نتایج

جهت نشان دادن کارایی مدل برنامه ریزی فازی مبتنی بر اعتبار و روش حل تعاملی برای طراحی مدل عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز، یک مطالعه موردی صنعتی ارائه شده است. مورد مطالعه یک شرکت تولیدی نوشابه در استان فارس می باشد. جهت تخمین پارامترهای مورد نیاز گروهی از متخصصان و مدیران شرکت برای مشخص کردن اعداد فازی مثلثی بر اساس اطلاعات و دانش خود دور هم جمع شدند که برآورد نیازهای تقاضای مشتریان و درصد بازگشت محصولات استفاده شده توسط مشتریان در جدول ۱ آورده شده است. در حال حاضر شرکت دارای یک مرکز تولیدی فعال می باشد و جهت تأسیس مراکز جدید تولیدی ۷ مرکز دیگر در نظر می گیرد که تمامی اطلاعات مربوط به هزینه ثابت، ظرفیت، تعداد شغل ایجاد شده و تعداد حوادث ایجاد شده در مراکز تولیدی در جدول ۲ ذکر شده است، این نکته باید مورد توجه قرار گیرد که هزینه های ثابت مراکز تولیدی فعال صفر در نظر گرفته شده است. در شبکه معکوس ۸ مرکز جمع آوری، ۴ مرکز بازیافت شیشه و پلاستیک در نظر گرفته شده است که اطلاعات در جدول ۳ آورده شده است، همچنین به علت محدودیت صفحات بقیه جداول آورده نشده است و در صورت درخواست ارائه خواهد شد. جهت نشان دادن عملکرد مدل ریاضی فازی مبتنی بر اعتبار و اجرای روش حل تعاملی به وسیله نرم افزار GAMS کد گذاری و حل شده است.

جدول ۱. تقاضای مشتریان  $\tilde{d}$  و درصد بازگشت محصولات استفاده شده  $\tilde{w}$

منطقه مشتریان	تقاضا (هزار)	درصد بازگشت محصولات استفاده شده
فیروزآباد	(۲۳۴ و ۲۵۴ و ۲۹۲)	(۰/۶۵ و ۰/۷۵ و ۰/۸۵)
سپیدان	(۲۹۵ و ۳۳۰ و ۳۹۰)	(۰/۶۵ و ۰/۷۵ و ۰/۸۵)
استهبان	(۱۱۲ و ۱۲۴ و ۱۳۸)	(۰/۶۵ و ۰/۷۵ و ۰/۸۵)
ارسنجان	(۹۸ و ۱۱۰ و ۱۲۷)	(۰/۵۵ و ۰/۶۵ و ۰/۷۵)
کوار	(۸۴ و ۹۳ و ۱۱۰)	(۰/۷۰ و ۰/۸۰ و ۰/۹۰)
آباده	(۱۰۰ و ۱۱۸ و ۱۳۱)	(۰/۶۵ و ۰/۷۵ و ۰/۸۵)
جهرم	(۲۱۵ و ۲۴۰ و ۲۷۰)	(۰/۷۰ و ۰/۸۰ و ۰/۹۰)



**جدول ۲.** هزینه ثابت  $f_i$ ، ظرفیت  $\bar{\pi}_i$ ، تعداد شغل ایجاد شده  $\bar{c}_{ji}$ ، تعداد حوادث ایجاد شده در مراکز تولیدی  $\bar{p}_{ai}$

مراکز تولیدی	هزینه ثابت (میلیون ریال)	ظرفیت (هزار)	تعداد شغل ایجاد شده (نفر)	تعداد حوادث ایجاد شده
فیروزآباد	(۱۳۳۰۰ و ۱۴۵۰۰ و ۱۵۳۰۰)	(۱۹۰ و ۲۰۰ و ۲۱۰)	(۸۵ و ۹۵ و ۱۰۵)	(۳ و ۴ و ۵)
سپیدان	(۱۳۵۰۰ و ۱۴۷۰۰ و ۱۵۴۰۰)	(۱۹۰ و ۲۰۰ و ۲۱۰)	(۸۵ و ۹۵ و ۱۰۵)	(۲ و ۴ و ۶)
کوار	(۱۳۶۰۰ و ۱۴۸۰۰ و ۱۵۵۰۰)	(۲۰۰ و ۲۱۰ و ۲۲۰)	(۹۰ و ۱۰۰ و ۱۱۰)	(۳ و ۴ و ۵)
استهبان	(۱۳۵۰۰ و ۱۴۷۰۰ و ۱۵۴۰۰)	(۱۶۵ و ۱۸۰ و ۱۹۵)	(۷۵ و ۸۰ و ۸۵)	(۳ و ۴ و ۵)
ارسنجان	(۱۳۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ و ۱۵۰۰۰)	(۱۹۰ و ۲۰۰ و ۲۱۰)	(۸۵ و ۹۵ و ۱۰۵)	(۲ و ۴ و ۶)
آباده	(۱۳۶۰۰ و ۱۴۷۰۰ و ۱۵۴۰۰)	(۱۹۰ و ۲۰۰ و ۲۱۰)	(۸۵ و ۹۵ و ۱۰۵)	(۲ و ۴ و ۶)
جهرم	(۱۳۴۰۰ و ۱۴۲۰۰ و ۱۵۲۰۰)	(۱۶۵ و ۱۸۰ و ۱۹۵)	(۷۵ و ۸۰ و ۸۵)	(۳ و ۴ و ۵)
شیراز	(۰ و ۰ و ۰)	(۱۷۰ و ۱۹۰ و ۲۱۰)	(۷۵ و ۸۰ و ۸۵)	(۲ و ۴ و ۶)

**جدول ۳.** هزینه ثابت  $\bar{g}_k$ ، ظرفیت  $\bar{\pi}_k$ ، تعداد شغل ایجاد شده  $\bar{c}_{jk}$ ، تعداد حوادث ایجاد شده در مراکز تولیدی  $\bar{p}_{ak}$

مراکز جمع آوری	هزینه ثابت (میلیون ریال)	ظرفیت (هزار)	تعداد شغل ایجاد شده (نفر)	تعداد حوادث ایجاد شده (نفر)
فیروزآباد	(۱۷۰۰ و ۱۷۴۰ و ۱۷۸۰)	(۲۴۰ و ۲۴۵ و ۲۵۰)	(۱۷ و ۱۸ و ۱۹)	(۲ و ۳ و ۴)
سپیدان	(۱۷۵۰ و ۱۷۹۰ و ۱۸۳۰)	(۲۴۰ و ۲۴۵ و ۲۵۰)	(۱۷ و ۱۸ و ۱۹)	(۲ و ۳ و ۴)
استهبان	(۱۷۰۰ و ۱۷۴۰ و ۱۷۸۰)	(۲۵۰ و ۲۵۵ و ۲۶۰)	(۱۸ و ۲۰ و ۲۲)	(۲ و ۳ و ۴)
ارسنجان	(۱۶۸۰ و ۱۷۲۰ و ۱۷۴۰)	(۲۲۰ و ۲۲۵ و ۲۳۰)	(۱۵ و ۱۶ و ۱۷)	(۱ و ۲ و ۳)
کوار	(۱۷۸۰ و ۱۸۳۰ و ۱۸۸۰)	(۲۳۰ و ۲۳۵ و ۲۴۰)	(۱۶ و ۱۷ و ۱۸)	(۲ و ۳ و ۴)
آباده	(۱۷۶۰ و ۱۸۱۰ و ۱۸۶۰)	(۲۰۵ و ۲۱۰ و ۲۲۰)	(۱۱ و ۱۲ و ۱۳)	(۱ و ۲ و ۳)
جهرم	(۱۷۲۰ و ۱۷۵۰ و ۱۷۸۰)	(۲۱۰ و ۲۱۵ و ۲۲۰)	(۱۳ و ۱۴ و ۱۵)	(۱ و ۲ و ۳)
شیراز	(۱۷۳۰ و ۱۷۷۰ و ۱۸۱۰)	(۲۲۵ و ۲۳۰ و ۲۳۵)	(۱۶ و ۱۷ و ۱۸)	(۲ و ۳ و ۴)

**جدول ۴.** خلاصه نتایج حل مدل

$(\alpha_j, \beta_j, \phi_i, \delta_k, \mu_m, N_l)$	/۵۵	/۷۰	/۸۰	/۹۰	۱
$W_1 - PIS$	۱۵۵۳۹۱۹۰/۰۰	۱۵۰۱۸۶۹۰/۰۰	۱۴۶۵۹۷۵۰/۰۰	۱۴۳۱۹۰۸۰/۰۰	۱۳۹۷۹۱۴۰/۰۰
$W_1 - NIS$	۲۵۵۲۹۱۰۰	۲۵۹۸۱۳۸۰/۰۰	۲۶۲۸۱۶۷۰/۰۰	۲۶۵۸۱۹۶۰/۰۰	۲۶۸۸۲۲۵۰/۰۰
$W_2 - PIS$	۱۰۰۱۶۱/۶	۹۶۷۵۵/۴۰	۹۴۴۸۴/۶۰	۹۲۲۱۷/۲۰	۸۹۹۷۴/۰۰
$W_2 - NIS$	۳۸۳۲۷۹/۶	۳۸۹۶۴۱/۴	۳۹۳۸۷۴/۶۰	۳۹۸۰۷۹/۸۰	۴۰۲۲۸۵/۰۰
$W_3 - PIS$	۵۹۲/۰۰	۵۳۶	۵۰۱	۵۰۱	۵۰۱
$W_3 - NIS$	۱۳۷۹/۷۵	۱۳۷۹/۷۵	۱۳۷۹/۷۵	۱۳۷۹/۷۵	۱۳۷۹/۷۵
$W_1$	۲۲۷۶۰۴۷۰/۰۰	۲۰۸۸۱۴۶۰	۲۰۸۵۶۵۱۰	۲۱۱۱۷۶۶۰	۲۱۳۵۹۰۳۰
$W_2$	۳۵۰۳۸۰	۳۳۶۸۱۷۸/۵۳	۳۳۰۱۶۳/۷۳	۳۳۲۹۹۱/۵۴	۳۳۵۸۲۴/۵۱
$W_3$	۱۲۲۸/۷۵	۱۲۲۷/۷۵	۱۱۹۲/۷۵	۱۱۹۲/۷۵	۱۱۹۲/۷۵

ضریب جبران (Z)، 0/4 در نظر گرفته شده است.

## ۷ نتیجه گیری و پیشنهادها

در این مقاله جهت طراحی مدل عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز تحت شرایط عدم اطمینان یک مدل ترکیبی برنامه ریزی ریاضی فازی مبتنی بر اعتبار ارایه شده است. مدل پیشنهاد شده جنبه های اقتصادی، زیست محیطی و عملکرد اجتماعی زنجیره تامین سبز را با هم در نظر می گیرد. بیش تر پارامترهای این مدل مبهم (نادقیق) بوده و در مواجهه با این چالش مدل پیشنهادی یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر اعتبار ارایه می دهد که ترکیبی از ارزش مورد انتظار و رویکردهای برنامه ریزی محدودیت شانس است، همچنین مدل پیشنهاد شده در مواجهه با توابع هدف مبهم (نادقیق) از ارزش مورد انتظار استفاده می کند. رویکرد برنامه ریزی محدودیت شانس جهت کنترل سطوح اطمینان از رضایت مندی محدودیت های مبهم (نادقیق) استفاده می کند. روش حل فازی تعاملی برای حل مدل قطعی شده برنامه ریزی عدد صحیح مختلط سه هدفه به کار برده می شود. یک نمونه صنعتی نیز جهت نشان دادن قابلیت اجرایی مدل پیشنهادی و همچنین رویکرد حل تعاملی ارایه شده است. جهت تحقیقات آینده می توان پارامترهایی با ماهیت عدم اطمینان و پویایی آن در نظر گرفت که در این رابطه می توان ترکیبی از ابزارهای بهینه سازی و شبیه سازی استفاده کرد، همچنین برای توسعه مدل می توان به حالت چند کالایی و چند دوره ای با هم پرداخت و در نهایت می توان به روش های حل فراابتکاری جهت رسیدن سریع به جواب مدل در اندازه های بزرگ اشاره کرد.

## منابع

- [۱۶] تاریخ، م.، غالب لو، س. (۱۳۹۴). طراحی شبکه لجستیک معکوس یکپارچه با ردر نظر گرفتن کیفیت محصولات بازگشتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک. نشریه تخصصی مهندسی صنایع، ۴۹، ۱۰۶-۹۳.
- [۱۷] آذر، ع.، محمودیان، ا.، هاشمی، م. (۱۳۹۵). ارایه روشی به منظور ارزیابی عملکرد زنجیره تامین سبز پتروشیمی های عسلویه با استفاده از ترکیب روش فازی و مدل سازی غیر خطی. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۴۸، ۱۹۴-۱۷۳.
- [1] Bouslah, K., Kryzanowski, L., Mzali, B., (2013). The impact of the dimensions of social performance on firm risk. *Journal of Banking & Finance*, 37, 1258 – 1273.
- [2] Shahzad, A., Mousa, F., Sharfman, M., (2016). The implications of slack heterogeneity for the slack – resources and corporate social performance relationship. *Journal of Business Research*, 1-8.
- [3] Mahoney, L., Roberts, R. (2007). Corporate social performance, financial performance and institutional ownership in Canadian firms. *Accounting Forum*, 31, 233-253.
- [4] Farag, H., Meng, Q., Malling, C., (2015). The social, environmental and ethical performance of Chinese companies: Evidence from the shanghai stock Exchange. *International Review of financial Analysis*, 787, 1-11..
- [5] Wang, H., Lu, W., Shang, X., (2016). The curvilinear relationship between corporate social performance and corporate financial performance: Evidence from the international construction industry. *Journal of cleaner production*, (16), 1-28.
- [6] Carroll, A., Shabana, K., (2010). The business case for corporate social responsibility: Are view of concepts, research and practice. *Journal of management Review*, 12, 85-105.
- [7] Wu, C., (2016). The performance impact of social media in the chain store industry. *Journal of Business Research*, 1-7.
- [8] Rokhmawati, A., Sathye, M., Sathye, S., (2015). The Effect of GHG Emission, Environmental Performance, and Social performance on Financial performance of Listed Manufacturing Firms in Indonesia. *Procedia-social and Behavioral sciences*, 211, 461-470.

- [9] Lu, W., Wang, D., Pan, W., (2014). A decade's debate on the nexus between corporate social and corporate financial Performance: a critical review of empirical Studies 2002-2011. *Journal of cleaner production*, 79, 195-206.
- [10] Nurjanni, K., Carvalho, M., Costa, L., (2016). Green supply chain design: a mathematical modeling Approach based on multi-objective optimization model. *Journal of production Economics*, 16, 1-24.
- [11] Nikolaou, I., Evangelinos, K., Allan, S., (2013). A reverse logistics Social responsibility evaluation frame work based on the triple bottom line approach. *Journal of cleaner production*, 56, 173-184.
- [12] Soleimani, H., Esfahani, M., Govindan, K., (2013). Incorporating risk measures in closed-loop supply chain network design. *International Journal of production Research*, 1-25.
- [13] Devika, K., Jafarian, A., Nourbakhsh, V., (2014). Designing a sustainable closed-loop supply chain network based on triple bottom line approach: A comparison of meta heuristics hybridization techniques. *European journal of operational Research*, 235, 594-615.
- [14] Zhao, R., Liu, Y., Hung, T., (2016). An Optimization Model for Green supply chain Management by Using a Big Data Analytic Approach. *Journal of cleaner production*, 1-38.
- [15] Miretphilippe, C., Montastruc, C., Domenech, N., (2015). Design of bioethanol green supply chain: comparison between first and second generation biomass Concerning economic, environmental and social criteria. *Computers & chemical Engineering*, 15, 1-54.
- [18] Abuhanieh, A., Abdelall, S., Hasan, A., (2016). Decision support system for Industrial Social Performance. *Procedia CIRP*, 40, 329-334.
- [19] Byrka, K., Jedrzejewski, A., Weron, R., (2016). Difficulty is critical: The importance of Social factors in modeling diffusion of green products and practices. *Renewable and sustainable Energy Reviews*, 62, 723-735.
- [20] Cai, Y., Pan, C., Statman, M., (2016). Why do countries matter so much in corporate social performance? *Journal of corporate Finance*, 1-19.
- [21] Morais, D., Barbieri, J., (2016). Social Performance measurement for Sustainable supply chain management. *Production and Operations Management Society*, 27, 1-10.
- [22] Mogeni, L., Kiarie, D., (2016). Effect of Green Logistics Practices on Performance of Supply chain In Multinational Organizations in Kenya. *Journal of Business & Management*, 4, 189-198.
- [23] Ahi, P., Searcy, C., (2015). An analysis of metrics Used to measure Performance in green and sustainable supply chains. *Journal of cleaner production*, 86, 360-377.
- [24] Sancha, C., Gimenez, C., Sierra, V., (2015). Achieving a Socially responsible supply chain through assessment and Collaboration. *Journal of cleaner production*, 1-14.
- [25] Chen, L., Feldman, A., Tang, O., (2015). The relationship between disclosures of Corporate Social Performance and Financial performance: Evidences from GRI reports in manufacturing industry. *Journal of production Economics*, 170, 445-456.
- [26] Martins, N., Varela, T., Novais, A., (2015). A multi-objective meta-heuristic approach for the design and Planning of green supply chains-MBSA. *Expert systems with Applications*, 1-14.
- [27] Serrano, C., Malta, W., Sauer, (2013). Dynamic Models for Green Logistic Networks Design. *International Federation of Automatic Control*, 7, 736-741.
- [28] Falatoonitoosi, E., Leman, Z., Sorooshian, S., (2013). Modeling for Green supply chain Evaluation. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-9.
- [29] Niakan, F., Boboli, A., Moyaux, T., (2015). A new multi-objective mathematical model for dynamic cell formation under demand and cost uncertainty considering social criteria. *Applied Mathematical Modelling*, 1-34.
- [30] ELhedhli, S., Merrick, R., (2012). Green supply chain network design to reduce carbon emissions. *Transportation Research*, 17, 370-379.
- [31] Yuan, H., (2012). A model for evaluating the social performance of construction Waste management. *Waste management*, 32, 1218-1228.
- [32] Zadeh, L., (1978). Fuzzy Sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets system*, 1, 3-28.
- [33] Tanaka, H., (1987). Fuzzy data analysis by possibility linear models. *Fuzzy Sets system*, 24, 363-375.
- [34] Lai, Y.J., Hwang, C.L., (1992). A new approach to some Possibility Linear programming problems. *Fuzzy sets system*, 49, 121-133.
- [35] Goedkoop, M., Spriensma, R., (2000). The Eco-indicator 99, A damage oriented method for life cycle Impact Assessment, Methodology Report, 3, Amersfoort, Netherlands.
- [36] Liu, B., Liu, Y. K., (2002). Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models. *IEEE Transaction on fuzzy systems*, 10(4), 445-450.
- [37] Liu, B., (2004). Uncertainty theory: An introduction to its axiomatic foundations. Berlin: Springer-Verlag.

- [38] Liu, B., Imamura, K., (1998). Chance constrained Programming with Fuzzy Parameters .fuzzy Sets and systems, 94,227-237.
- [39] Liu, B., (1999). Dependent- chance programming with fuzzy decisions. IEEE Transactions on fuzzy systems, 7,354-360.
- [40] Torabi, S.A., Hassini, E., (2008). An interactive possibility programming approach for multiple objective supply chain Master planning. Fuzzy sets system,159,193-214.

Archive of SID