چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال نهم، شماره ۳۶، زمستان ۱۳۹۸
شاپا چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۱۳۷ – ۱۰۷

ارائه مدل جامع چندهدفه زنجیره تأمین حلقه‌بسته سبز چندسطحی ـ چندمحصولی با رویکرد کلاسیک مجموع وزن‌دار: تولید جبهه پارتو (موردمطالعه: شرکت کفش شهپر ممتاز)

محمدرضا تقی‌زاده یزدی*، احسان سلمانی زارچی**

چکیده

در این پژوهش، برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی به‌عنوان عوامل مؤثر در فرآیند زنجیره تأمین حلقه‌بسته چندسطحی در جریان برگشت محصول از مصرف‌کنندگان به تولیدکنندگان بررسی شده است. ابتدا زنجیره تأمین مستقیم با مفهوم لجستیک معکوس با اضافه‌کردن یک مسیر برگشت ارتباط داده شده است. شبکه یکپارچه، شبکه زنجیره تامین حلقه بسته سبز (GCLSC) نامیده می‌شود. پژوهش حاضر درصدد است با ارائه مدل ریاضی چندهدفه برنامه‌ریزی آمیخته با اعداد صحیح و بهینه‌سازی آن به‌گونه‌ای عمل کند که مجموع هزینه‌ها و میزان مواجهه کارکنان با مواد شیمیایی زیان‌آور به حداقل مقدار ممکن برسد؛ بنابراین معیارهایی با عنوان «حدود مجاز مواجهه شغلی» به‌منظور صیانت نیروی انسانی برای کلیه مراکز تولید در نظر گرفته شده است. بر اساس مفهوم جبهه پارتو، یک الگوریتم جست‌وجوی چندهدفه ارائه شده است که برای تغییر جهت در فضای اهداف از مکانیسم پیشنهادی وزن‌های متغیر در روش مجموع وزن‌دار استفاده می‌کند. مقایسه عملکرد الگوریتم بر اساس توابع هدف، کارایی مناسب روش مجموع وزن‌دار در حل مسائل برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی را نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده میزان مواجهه کارکنان با عوامل شیمیایی در حدود مجاز استاندارد مواجهه است؛ به‌طوری‌که سایر هزینه‌ها در حداقل مقدار ممکن قرار گرفته‌اند. در پژوهش حاضر از نرم‌افزار GAMS استفاده شده است.

کلیدواژه‌ها: برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی؛ مدل ریاضی خطی چندهدفه؛ زنجیره تأمین حلقه‌بسته سبز؛ الگوریتم مجموع وزن‌دار؛ حدود مجاز مواجهه شغلی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۰۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۰۴.

* دانشیار، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول).

E-mail: mrtaghizadeh@ut.ac.ir

** دانشجوی دکتری، دانشگاه تهران، پردیس البرز.

۱. مقدمه

نیروی کار ماهر، گران‌بهاترین سرمایه در تحقق اهداف توسعه پایدار است و ارتقای سلامت این عزیزان از طریق تأمین محیط کار سالم، از مهم‌ترین اهداف دولت به شمار می‌رود. همگام با توسعه واحدهای صنعتی در کشور ایران و کشف و کاربرد ده‌ها هزار نوع ماده شیمیایی با خواص فیزیکی، شیمیایی و فیزیولوژیکی مختلف و به‌کارگیری بسیاری از دستگاه‌ها و ماشین‌آلات صنعتی، محیط‌های کاری به انواع آلاینده‌های شیمیایی و فیزیکی آلوده می‌شوند؛ همچنین در بسیاری از مناطق گرمسیر، گرمای طاقت‌فرسای اقلیمی در فصول گرم سال، به‌همراه گرمای ناشی از فرآیندهای گرمازا شاغلان را به خطر ابتلا به تنش‌های گرمایی تهدید می‌کند. مواجهه شاغلان با عوامل خطر یادشده احتمال میزان ابتلا به بیماری‌های شغلی و نوپدید را افزایش خواهد داد. برای دستیابی به یک توسعه پایدار باید با عوارض ناخواسته ناشی از این عوامل زیان‌بار مبارزه کرد تا شاغلان از محیط کار سالم برخوردار شوند. در این راه نخستین گام، تفریق محیط‌های کاری سالم و ناسالم از یکدیگر بر اساس معیارهایی با عنوان «حد مجاز مواجهه شغلی عوامل زیان‌آور محیط کار» است تا محیط‌های کاری که احتمال بروز بیماری را در میان شاغلان افزایش می‌دهند، شناسایی شوند. این حدود با هدف ارزیابی و کنترل مخاطرات محیط‌های کاری تعیین شده است و نباید در موارد دیگر مثل ارزیابی و کنترل آلودگی هوای مناطق شهری، روستایی یا زیست‌محیطی مورداستفاده قرار گیرند؛ همچنین از این حدود نباید برای برآورد ظرفیت سمیت مواجهه‌های مداوم و بی‌وقفه یا دوره‌های کاری طولانی‌مدت استفاده کرد.

حدود مجاز مواجهه شغلی با عوامل شیمیایی در سه گروه: ۱. متوسط وزنی – زمانی (OEL-TWA)؛ ۲. حد مواجهه شغلی کوتاه‌مدت (OEL-STEL) و ۳. حد مجاز مواجهه سقفی (OEL-C) با کاربردهای گوناگون و مکمل ارائه شده است. برای بیشتر عوامل، حد متوسط وزنی – زمانی به‌تنهایی یا همراه با حد مجاز مواجهه شغلی کوتاه‌مدت ارائه شده است. برای برخی از مواد نظیر گازهای محرک نیز فقط حد مجاز مواجهه سقفی کاربرد دارد. اگر میزان مواجهه شاغان از هر یک از سه حد ارائه‌شده فزونی یابد، احتمال مخاطرات شغلی ناشی از آن ماده شیمیایی وجود خواهد داشت؛ بنابراین زیربنای هر برنامه ارزیابی عوامل شیمیایی محیط کار، تعیین نوع حد مجاز مواجهه شغلی آن و انتخاب روش پایش متناسب با آن حد است. حدود مجاز مواجهه شغلی با مواد شیمیایی بر حسب ppm یا mg/m3 ارائه می‌شود. یک ماده شیمیایی استنشاق‌شده ممکن است به شکل گاز، بخار یا آئروسول[۱] باشد.

---

۱. سوسپانسیونی از ذرات جامد یا قطرات مایع در یک گاز است. انواع آئروسل‌ها عبارتند از: غبار، مسیت، دمه، مه، لیف، دود و مه‌دود. آئروسل‌ها ممکن است با رفتار آئرودینامیکی و محل(های) ته‌نشینی آن‌ها در سیستم تنفسی انسان متمایز شوند.

از جمله مباحثی که امروزه در حوزه لجستیک و مدیریت زنجیره تأمین صنایع مختلف مطرح است، موضوع «لجستیک معکوس[1] و «مدیریت بازگشتی‌ها» است؛ امری که به نظر می‌رسد تاکنون در صنایع مختلف کشور ایران به آن توجه جدی نشده است. طی دو دهه اخیر، شرکت‌ها و صنایع زیادی در کشورهای پیشرفته بررسی در این زمینه را آغاز کرده‌اند و لجستیک معکوس را یکی از فرآیندهای مهم در زنجیره تأمین خود در نظر گرفته‌اند. امروزه در کشورهای پیشرفته جهان، سازمان‌های صنعتی، دولتی، تجاری و خدماتی بر فرآیندهای لجستیک معکوس و زنجیره تأمین تمرکز کرده‌اند که این مقوله در ایجاد ارزش اقتصادی واقعی کالاها و خدمات به همراه پشتیبانی از ملاحظات زیست‌محیطی نقش مؤثری دارد. این تمرکز اکنون در کلیه بازارها ازجمله بخش‌های صنعتی و فناوری پیشرفته، تجاری و محصولات مصرفی رو به افزایش است.

آنچه در جریان سنتی کالا وجود دارد و مدیران صنایع بر کنترل و مدیریت آن جریان تأکید می‌کنند، جریان مستقیم یا روبه‌جلوی مواد و محصولات است که عمدتاً از طرف تأمین‌کنندگان به سازندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان و درنهایت مشتریان جریان دارد؛ اما در بسیاری از صنایع، جریان مهم دیگری نیز در زنجیره‌های تأمین وجود دارد که به‌صورت معکوس شکل گرفته‌اند و در آن، محصولات از سطوح پایینی زنجیره تأمین به سطوح بالاتر عودت داده می‌شوند. لجستیک معکوس به دنبال بررسی و مدیریت جریان‌های معکوس یا به‌عبارتی جریان‌های رو به عقب در زنجیره‌های تأمین است [۹].

اگرچه فعالیت‌های زیادی را می‌توان در قالب لجستیک معکوس در نظر گرفت، اما برخی از مهم‌ترین فعالیت‌های لجستیک معکوس که عمدتاً به‌طور اختصاصی در این حوزه مطرح است، عبارت‌اند از: تعمیر و تعویض؛ نوسازی محصول؛ ساخت مجدد؛ بازیافت؛ فروش مجدد و استفاده مجدد. البته لجستیک معکوس تنها به استفاده مجدد یا بازیافت محدود نمی‌شود؛ بلکه طراحی مجدد بسته‌بندی‌ها به‌منظور استفاده کمتر از مواد در آن‌ها و یا کاهش انرژی و آلودگی ناشی از حمل محصولات را نیز می‌توان بخشی از لجستیک معکوس با عنوان «لجستیک سبز[2]» دانست [۱۲].

در خصوص اهمیت و جایگاه لجستیک معکوس در هزینه‌ها و قیمت تمام‌شده محصولات می‌توان به برخی از بررسی‌های صورت‌گرفته در آمریکا اشاره کرد. این بررسی‌ها نشان می‌دهند که حدود ۴ درصد هزینه‌های لجستیکی هر شرکت، مربوط به لجستیک معکوس است که البته این سهم در شرکت‌ها و صنایعی که محصولات آن‌ها دارای کیفیت پایین‌تری است و از فناوری پیشرفته بهره‌مند نیستند، بالاتر است. لازم به تأکید است که لجستیک معکوس به ماهیت هر صنعت بستگی دارد؛ اما مسلماً، هزینه‌های مربوط به آن رقم قابل‌توجهی از هزینه‌های هر صنعت

1. Reverse Logistic
2. Green logistic

را به خود اختصاص می‌دهد. به‌طورکلی لجستیک معکوس در صنایعی که ارزش محصولات بسیار بالا است و یا درصد مرجوعی‌ها رقم قابل‌توجهی را نشان می‌دهد از اهمیت بیشتری برخوردار است. در برخی از مراجع و منابع علمی، مفهوم مدیریت زنجیره تأمین حلقه‌بسته و مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز معمولاً به‌جای یکدیگر به‌کار می‌روند؛ اما این دو مفهوم، کمی با یکدیگر فرق دارند. مدیریت زنجیره تأمین حلقه‌بسته دربرگیرنده ابعاد اقتصادی و پایداری اجتماعی و زیست‌محیطی است؛ بنابراین مفهوم مدیریت زنجیره تأمین حلقه‌بسته، وسیع‌تر از مدیریت زنجیره‌ی تأمین سبز است و مدیریت زنجیره تأمین سبز، بخشی از مدیریت زنجیره تأمین حلقه‌بسته است [۲۵].

فعالیت‌های موجود در مدیریت زنجیره تأمین حلقه‌بسته بر اساس نوع کالاها و گردش اطلاعات موجود در زنجیره تأمین بعضاً متفاوت تعریف می‌شود. امروزه بر اساس نوع اقداماتی که در انتهای زنجیره تأمین در خصوص کالاهای مختلف باید انجام شود، برنامه‌ریزی متفاوتی توسط کارشناسان و مدیران لجستیکی در نظر گرفته می‌شود. مسئله اصلی در این پژوهش عبارت است از: محاسبه میزان ارسال[1]در فرآیند برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی به‌گونه‌ای که سیستم قادر به تأمین محصولات سفارش داده‌شده با حداقل زمان تأخیر[2]نسبت به سفارش‌های رسیده با حداقل هزینه‌ی زنجیره تأمین معکوس در کمترین میزان آلودگی محیط‌زیست، ضایعات و زمان باشد. پژوهش حاضر در ۵ بخش شامل بخش اول مقدمه، بخش دوم مبانی نظری و پیشینه پژوهش، بخش سوم ارائه مدل ریاضی، بخش چهارم اجرای مدل با استفاده از داده‌های «شرکت کفش شهپر ممتاز» و بخش پنجم ارائه نتایج و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده و پیشنهادهای کاربردی ارائه شده است. روش پژوهش از نظر هدف توسعه‌ای و از نظر گردآوری داده‌ها توصیفی است. با توجه به اینکه در این پژوهش به مدل‌سازی ریاضی پرداخته می‌شود، این پژوهش در دسته‌ی توصیفی– تحلیلی قرار می‌گیرد [۷]. با توجه به اینکه در طرح‌های پژوهشی مختلف هدف پژوهشگر متفاوت است، پژوهشگر از ابزارهای مختلفی برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده می‌کند. در این پژوهش از روش‌های مطالعات کتابخانه‌ای، مصاحبه عمیق با خبرگان و نظرسنجی از خبرگان برای گردآوری داده‌ها استفاده شده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مدل نشان‌دهنده برنامه زمان‌بندی غیرمعمول، مدل بریف و اسکالا[3]است. این مدل حد مجاز را متناسب با افزایش زمان مواجهه و کاهش زمان بهبود یا زمان بازگشت[4](زمان بدون مواجهه)،

1. Lot Sizing
2. Lead Time
3. Brief and Scala Model
4. Recovery Time

کاهش می‌دهد. این مدل معمولاً برای برنامه‌های زمان کار بیشتر از ۸ ساعت روزانه یا بیشتر از ۴۰ ساعت هفتگی مورداستفاده قرار می‌گیرد. این مدل نباید برای تحلیل مواجهه‌های بسیار زیاد تحت شرایطی که مدت‌زمان مواجهه خیلی کوتاه است مورداستفاده قرار گیرد (برای مثال، مواجهه ۸ برابر OEL-TWA در ظرف مدت ۱ ساعت و در باقی زمان نوبت کاری هیچ مواجهه‌ای نباشد). در این رابطه باید حدود نوسان یا OEL-STEL برای جلوگیری از کاربرد نامناسب این مدل برای نوبت‌ها یا دوره‌های مواجهه بسیار کوتاه‌مدت، به‌کار روند [۳۹، ۲].

در مدل بریف و اسکالا (۲۰۱۰) به این واقعیت توجه شده است که در هر روز کاری ۱۲ساعته، مواجهه با یک عامل شیمیایی ۵۰ درصد بیش از یک نوبت کاری ۸ساعته در شرایط مشابه است و دوره بازتوانی و سم‌زدایی بدن نسبت به آن عامل ۲۵ درصد کمتر از نوبت کاری ۸ساعته است (دوره سم‌زدایی از ۱۶ ساعت به ۱۲ ساعت کاهش می‌یابد). همچنین در این مدل به این نکته توجه شده است که تکرار مواجهه طی روزهای کاری در بعضی موارد ممکن است فشار زیادی را به مکانیسم‌های سم‌زدایی بدن وارد کند تا جایی که این احتمال وجود دارد که تجمع سموم در اندام‌های هدف هر ماده روی دهد. این مسئله اغلب باعث می‌شود که علی‌رغم وجود محدوده ایمنی برای مقادیر OEL، مصونیت در مقابل سمیت مواد در نوبت‌های کاری غیرمعمول کاهش یابد. برای به‌کارگیری مدل بریف و اسکالا در مواجهه‌های غیرمعمول ابتدا یک عامل یا ضریب کاهش روزانه و یا هفتگی با استفاده از روابط زیر محاسبه شده و سپس این ضریب در اعداد اعلام‌شده به‌عنوان OEL-TWA ضرب می‌شود تا OEL اصلاح‌شده به‌دست آید (مطابق رابطه زیر):

$$\text{OEL اصلاح‌شده} = \text{OEL-TWA} \times (\text{ضریب کاهش روزانه یا هفتگی}) \quad (۱)$$

اگر ساعات کار روزانه بیش از ۸ ساعت باشد از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{RF(ضریب کاهش روزانه)} = \frac{8}{hr} \times \frac{(24-hr)}{16} \quad (۲)$$

در رابطه بالا، hr ساعات کار روزانه است.

اگر ساعات کار هفتگی بیش از ۴۰ ساعت باشد از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{RF= (ضریب کاهش هفتگی)} \frac{40}{hr} \times \frac{(168-hr)}{128} \quad (۳)$$

در رابطه بالا، hr ساعات کار هفتگی است [۳۹، ۲].

در پژوهش پدرام و همکاران (۲۰۱۷)، با عنوان «زنجیره تأمین حلقه‌بسته چهارسطحی همراه با تولید مجدد»، ارتباط بین مقدار سفارش‌ها در زنجیره تأمین حلقه‌بسته چهارسطحی (CLSC) با تولید مجدد بررسی شده است. زنجیره تأمین چندسطحی موردبررسی شامل چند خریدار و تأمین‌کننده‌های تایر ۱ و تایر ۲ و تولیدکنندگان است. شبکه بازیافت از یک مرکز بازرسی، مرکز جداسازی قطعات و یک مرکز تولید مجدد تشکیل شده است. تقاضای مشتری از چند منبع پاسخ داده می‌شود: از طریق محصولاتی که به‌تازگی تولیدشده است یا محصولات تولیدشده حاصل از محصولات بازیافتی استفاده‌شده که از خریدارها جمع‌آوری شده است و یا از هر دو مورد برآورده می‌شود [۳۱].

بررسی وضعیت فعلی و چشم‌انداز آینده، نااطمینانی در کسب سود، فرآیند، بازار و سایر مراحل زنجیره تأمین حلقه‌بسته بر پیچیدگی تولید مجدد افزوده و باعث کاهش کارایی فرآیند شده و مانع توسعه پایدار صنایع و اقتصاد چرخشی شده است. اخیراً تعداد فزاینده‌ای از مطالعات منتشر شده است که بر تجزیه‌وتحلیل عدم‌اطمینان زنجیره تأمین حلقه‌بسته تمرکز دارد؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی پژوهش‌های قبلی در مورد عدم‌قطعیت‌هایی که ویژگی‌های ذاتی یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته هستند، فراهم می‌کند و چشم‌اندازهای سازنده‌ای برای پژوهش‌های آینده ارائه می‌دهد. بر اساس این اهداف، ۳۰۲ مقاله منتشرشده در پایگاه داده اصلی « Web of Science » از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ انتخاب و بررسی شده است. علل عدم‌قطعیت در مراحل مختلف تجزیه‌وتحلیل شده و روش‌های مناسبی برای تعیین تأثیر عدم‌قطعیت‌ها بر فرآیندهای تولید شناسایی می‌شود؛ درنتیجه با بهینه‌سازی تأثیرات عدم اطمینان در زنجیره تأمین حلقه بسته، می‌توان به‌طور مؤثر و کارآمد تحقق توسعه پایدار و تولید پاک‌تر در زنجیره تأمین حلقه بسته را تحقق بخشید [۲۸].

صنایع در مقیاس کوچک بخش بزرگی از مشاغل را تشکیل می دهند و نقش مهمی در رشد و پیشرفت اقتصادی اکثر کشورها دارند. به‌دلیل استفاده بسیار کم از تجهیزات ایمنی شخصی (PPE)[2]، کارمندان در معرض خطرهای جسمی، شیمیایی و خطرهای احتمالی متعددی در صنایع کوچک قرار دارند. تجهیزات ایمنی شخصی در به‌حداقل‌رساندن صدمات شغلی، حوادث و سایر خطرها بسیار مؤثر است که در غیر این‌صورت به ضررهای مالی و نیروی انسانی بسیاری منجر می‌شود. هدف از این مطالعه، ارزیابی میزان دسترسی و استفاده از تجهیزات ایمنی شخصی و همچنین مواجهه شغلی خودکار در میان کارگران در صنایع کوچک موردمطالعه در جده بود. این مطالعه شامل ۱۰۲ کارگر از ۲۸ صنعت در مقیاس کوچک (تعمیر وسیله نقلیه، جوشکاری و رنگ) بود. یک بررسی برای جمع‌آوری داده‌های مشخصات اجتماعی و جمعیت‌شناختی، قرارگرفتن در

1. Close Loop Supply Chain
2. Personal Protective Equipment (PPE)

معرض شغل خود گزارش شده و فراوانی PPE که توسط کارگران استفاده می‌شود، انجام شده است. مواجهه شغلی (هرگز در معرض، گاهی در معرض و همیشه در معرض قرار گرفتن) به‌صورت درصدی گزار ش شده است: قرارگرفتن در معرض سروصدا به‌ترتیب ۱۹/۶، ۷۳/۵ و ۶/۹ درصد؛ قرارگرفتن در معرض گردوغبار/ دود به‌ترتیب ۹/۸، ۶۹/۶ و ۶/ ۲۰ درصد؛ قرارگرفتن در معرض بخارات به‌ترتیب ۱۱/۸، ۶۰/۸ و ۲۷/۵ و قرارگرفتن در معرض نور مستقیم خورشید به ترتیب ۴۳/۱، ۵۶/۹ و صفر درصد. استفاده گزارش‌شده از PPE های مختلف به‌ترتیب نزولی بود. زانوبند: ۵۰ درصد، سپرهای جوشکاری: ۵۰ درصد، عینک ایمنی: ۳۳/۳ درصد، دستکش: ۲۷/۵ درصد، ماسک صورت: ۲۶/۵ درصد، کفش ایمنی: ۱۰/۸ درصد و گوش‌بند صدا: ۸/۸۸ درصد. بر اساس این یافته‌های پژوهش می‌توان بهداشت دست و آگاهی عمومی از OSH مانند مداخلات را توسعه داد که در کمترین میزان قرار گرفتن در معرض محل کار در میان کارگران صنعت در مقیاس کوچک کمک می کند [۴].

در پژوهش الارجا و سمیر آوادالا (۲۰۲۰)، قرارگرفتن در معرض سروصدا برای کارگران کارگاه آسیاب قهوه در منطقه عرب بررسی شد. این پژوهش با هدف شناسایی سطح نویزهای تولیدشده توسط دستگاه‌های آسیاب قهوه، تعیین میزان تأثیرات احتمالی سروصدا بر کارگران، مقایسه مقادیر اندازه‌گیری‌شده با مقادیر قرارگرفتن در معرض توصیه‌شده محلی و بین‌المللی و تعیین توصیه‌هایی برای بهتر کارکردن در محیط داخلی انجام شده است. شرایط کاری و تنظیمات داخلی از نظر میزان سروصدا برای ۱۰۰ کارگر در ۱۳ کارگاه آسیاب قهوه در اردن به‌عنوان یک مورد مطالعه موردارزیابی قرار گرفت. اندازه‌گیری قرارگرفتن در معرض سروصدا در سایت انجام شد و مقادیر عملی محاسبه و با استانداردهای محلی و بین‌المللی مقایسه شد. نتایج نشان داد، کارگرانی که به‌طور مداوم برای مدت طولانی کار می‌کنند، با احتمال بیشتری در معرض قرار گرفتن سروصدای بیش از مقادیر بالای عملکرد مواجهه هستند. متوسط میانگین مواجهه با سروصدای شخصی برای کارگران در کارگاه آسیاب قهوه،۸۶ دسیبل بود. برای کارگران در کارگاه آسیاب قهوه مشکلات ارتباطی، دلخوری، بهره‌وری کم، احساس خستگی، بی‌تابی و شکایات ازدست‌دادن شنوایی ثبت ثبت شده است. زمان پژواک (RT) در هر کارگاه آسیاب قهوه اندازه‌گیری شد. رابطه بین زمان پژواک، نویز محیط و خصوصیات فضا تشخیص داده شد؛ درنتیجه، نتایج نشان می‌دهد که خطرهای ایمنی ناشی از قرارگرفتن طولانی‌مدت در معرض سروصدای دستگاه‌های آسیاب قهوه یک موضوع ضروری است که نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد. تنظیم قوانین و مقررات و همچنین معرفی قوانین و مقررات جدید به‌عنوان اقدامات پیشگیرانه در برابر مسائل منفی بهداشتی و ایمنی مرتبط با این حرفه بسیار توصیه می‌شود [۱].

1. Reverbberation Time (RT)

در پژوهش ژانگ و یانگ (۲۰۲۰)، دیدگاه مبتنی بر سلامت شغلی و نظارت بر ایمنی کارگران ساخت‌وساز بررسی شد. برای بیان این موضوع، نیاز فوری به وسیله‌ای کارآمد برای نظارت پیوسته بر سایت ساخت‌وساز به‌منظور ازبین‌بردن به‌موقع خطرهای احتمالی وجود دارد. تکنیک دید رایانه‌ای به‌عنوان یک ابزار قدرتمند و خودکار استخراج و پردازش اطلاعات ویدیویی و تصویری برای سایت‌های ساخت‌وساز، به‌عنوان یک راه‌حل مؤثر و کاربردی برای سلامت شغلی و نظارت بر ایمنی کارگران سایت ساخت‌وساز در نظر گرفته شده است. هدف این پژوهش استفاده از روش‌های تجزیه‌وتحلیل کتاب‌شناسی و مبتنی بر محتوا به‌منظور بررسی تلاش‌های قبلی در زمینه‌های مرتبط و ارائه وضعیت پژوهش در این زمینه است [۴۱].

در پژوهش حاسانوا و همکاران (۲۰۱۹)، مدل‌های ریاضی به‌منظور پیداکردن سیاست‌های تولید (تولید و تولید مجدد) و موجودی که هزینه کل زنجیره تأمین حلقه بسته چهار سطحی حداقل می‌کند، توسعه داده شده است. یکی از مدل‌ها، انتشار گاز ناشی از تولید و حمل‌ونقل را بررسی و مصرف انرژی را حساب می‌کند. نتایج نشان داد که نرخ‌های جمع‌آوری بالای محصولات مصرف‌شده، هزینه‌های زنجیره تأمین را کاهش می‌دهد و عملکرد محیطی آن را بهبود می‌بخشد. بر اساس نتایج، بهترین استراتژی در زنجیره تأمین، استراتژی ترکیبی تولید و تولید مجدد است [۱۷].

زنجیره تأمین حلقه‌بسته مفهومی برجسته است که بر جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی تأکید دارد. دیدگاه سنتی در مورد زنجیره‌های تأمین حلقه‌بسته برای تولید مجدد شامل دو مرحله است: لجستیک مستقیم و لجستیک معکوس. مبانی نظری بسیار کمی وجود دارد که تأثیر مشاغل دوگانه در طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته برای تولید مجدد را در نظر گرفته باشد. یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته در نظر گرفته شده، که در آنجا تولیدکننده مجدد باید نیازهای کانال‌های آنلاین و اداری را برآورده کند. یک برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح برای تعیین شبکه بهینه، بهای نرخ بازگشت آنلاین و اداری با هدف حداکثرکردن سود تولیدکننده، توسعه یافته است [۱۱].

پژوهش برنامه‌ریزی تولید یک سیستم تولید-بازتولید هیبریدی تحت شرایط عدم‌قطعیت درون یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته بررسی شده است. برنامه‌ریزی تولید و کنترل تک‌محصولی شامل عملکردهای تولید و بازیافت داخل یک شبکه نمایی معکوس حلقه‌بسته با ماشین‌های دارای خطاهای نامعین که نیاز به تعمیرات دارند، سروکار دارد؛ درحالی‌که به‌طور سنتی محصولات در انتهای چرخه عمرشان توسط مصرف‌کنندگان منهدم می‌شوند. با توجه به اینکه بازیافت محصولات از اهداف توسعه پایدار است، ممکن است به‌طور اقتصادی نیز بازیافت محصولات مصرف‌شده سودمندتر از منهدم‌کردن آن‌ها باشد. سه نوع موجودی در این شبکه درگیر می‌شوند. بخش های تولید و بازیافت در اولین و دومین موجودی ذخیره می‌شوند.

محصولات برگشت‌داده‌شده در سومین موجودی جمع می‌شوند و سپس دوباره تولید یا منهدم می‌شوند. هدف این پژوهش ارائه سیاست تولید-بازیافت به‌منظور حداقل‌کردن مجموع هزینه‌های نگهداری و انبارکردن برای تولید و بازیافت محصولات است. متغیرهای تصمیم‌گیری شامل نرخ تولید ماشین‌های تولید و بازیافت هستند. حالت‌های بهینه با استفاده از نظریه کنترل بهینه مبتنی بر برنامه‌ریزی پویای تصادفی توسعه یافته‌اند. یک الگوریتم محاسباتی بر اساس روش‌های عددی برای حل مسائل کنترل بهینه استفاده شده است. درنهایت نمونه‌ای عددی و تحلیل حساسیت برای تبیین سودمندی رویکرد، ارائه شده است. ساختار سیاست کنترل بهینه به عواملی چون ارزش هزینه‌ها و پارامترها و میزان توسعه شبکه‌های پشتیبانی معکوس پیچیده بستگی دارد [۱۹].

در پژوهش شکاریان (۲۰۲۰)، با عنوان «بررسی فاکتورهای مؤثر بر زنجیره تأمین حلقه‌بسته»، زنجیره تأمین حلقه‌بسته به‌عنوان یکی از اشکال مهم اقتصاد چرخشی، در مسائل پایداری پرداخته است. زنجیره تأمین حلقه‌بسته شامل ویژگی‌هایی است که در صورت شناسایی، مطالعه و طبقه‌بندی نه‌تنها به فهم بهتر محتوای فعلی در مبانی نظری کمک می‌کند، بلکه به ارائه مدل‌های جدید نیز منجر می‌شود. یکی از نخستین مطالعات عمیقی است که عوامل مؤثر بر زنجیره تأمین حلقه‌بسته را بررسی و ارائه می‌کند، به بررسی مدل‌هایی مربوط می‌شود که بر اساس نظریه بازی طراحی شده‌اند؛ بنابراین آثار بررسی‌شده بر همکاری و رقابت بین شرکت‌کنندگان در بازی متمرکز شده است. بررسی سیستماتیک مبانی نظری به‌صورت یک فرآیند چهارمرحله‌ای متشکل از مجموعه مواد، تجزیه‌وتحلیل توصیفی، انتخاب دسته و مرحله ارزیابی برای بررسی و بحث درباره آثاری که روی زنجیره تأمین حلقه‌بسته متمرکز هستند و هم‌زمان از نظریه بازی استفاده می‌کنند، انجام می‌شود [۳۳].

در پژوهش فیض اللهی و همکاران (۱۳۹۶)، با عنوان «مسئله تک‌ماشینی گسسته»، میزان ارسال چندمحصولی و زمان‌بندی در نظر گرفته شده و رویکرد تبرید شبیه‌سازی‌شده (SA)[1] همراه با روش تنظیم اصول آماری برای حل آن ارائه شده است. راه‌حل ارائه‌شده با روش‌های پیشرفته که بر پایه برنامه‌ریزی عدد صحیح (MIP)[2] هستند در هر دو مورد نمونه‌های دردسترس عموم و مجموعه جدید و موارد چالش‌برانگیز دیگر مقایسه شده است. به‌علاوه روش ترکیبی رویکرد تبرید شبیه‌سازی‌شده و برنامه‌ریزی عدد صحیح ارائه شده است. این روش مزایای روش‌های ناب بر نمونه‌های چالش‌برانگیز را ترکیب می‌کند. خروجی مدل ارائه‌شده این است که مدل قادر به پیداکردن راه‌حل‌های نزدیک به بهینه در کوتاه‌مدت برای همه نمونه‌ها شامل نمونه‌هایی که به‌وسیله مدل‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح حل نمی‌شوند، است [۱۴].

1. Simulated Annealing (SA)
2. Mixed Integer Programming (MIP)

در پژوهش لاماس و چوالیر (۲۰۱۷)، ارتباط قیمت‌گذاری پویا و مسئله میزان ارسال، درحالی‌که شرکت‌ها در یک محیط رقابتی فعالیت دارند، مطالعه شده است. با درنظرگرفتن این مسئله که استراتژی قیمت‌گذاری پویا زمانی موفق است که مشتری آن را درک کند، فرض شد که هر شرکتی قیمت‌ها را از یک مجموعه گسسته انتخاب می‌کند. مشکل مرتبط با مدل برت لند[1] این بود که استراتژی‌های قیمت‌گذاری شرکت‌ها باید تشکیل تعادل نش[2] بدهند. با توجه به ماهیت ترکیبی تصمیم‌ها، محاسبه تعادل در یک‌زمان قابل‌قبول ممکن است برای نمونه‌های بزرگ‌تر توجیه‌پذیر نباشد. به‌منظور محاسبه تعادل مؤثر، یک چارچوب متشکل از حل‌های تکراری فرمول‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح (MIP) ارائه شد. چارچوب، پیچیدگی‌های مسئله را کاهش می‌دهد. کاهش پیچیدگی‌ها با استفاده از این واقعیت که قیمت‌گذاری و برنامه‌ریزی موجودی برای متغیرهای حاشیه‌ای در قیمت‌های رقابت کنندگان ثابت می‌ماند، رخ می‌دهد [۲۶].

در پژوهش منتظری و سیف برقی (۱۳۹۶)، با عنوان «مدل‌سازی دوهدفه مسئله مکان‌یابی تخصیص در یک زنجیره تأمین سبز با درنظرگرفتن سیستم حمل‌ونقل و انتشار گاز CO2» به مطالعه مسئله مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره تأمین سه‌سطحی، شامل کارخانه‌ها، انبارها و خرده‌فروشان پرداخته شده است. انواع کالاها از طریق حالت‌های مختلف حمل‌ونقل بین سطوح زنجیره منتقل می‌شوند. امروزه یکی از چالش‌های بسیار مهم در سازمان‌ها، کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای در سراسر شبکه است؛ بااین‌حال با توجه به پیچیدگی‌های مشکلات زنجیره تأمین سبز، ارائه مدل قابل‌حل اهمیت زیادی دارد. در این پژوهش به‌منظور ساده‌سازی مدل ریاضی، تنها CO2 منتشرشده در شبکه زنجیره تأمین در نظر گرفته شده است. هر تسهیل مطابق با تقاضای ارسال‌شده، مقدار مشخصی از آلودگی را ایجاد می‌کند و آلودگی وسایل نقلیه به مسافت پیموده‌شده بستگی دارد. اهداف مدل پیشنهادی، کمینه‌کردن هزینه کل شبکه و کمینه‌کردن میزان انتشار گاز CO2 است. روش حل پیشنهادی برای حل مدل ارائه‌شده، روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای است. به‌منظور بررسی کارایی روش پیشنهادی، یافته‌ها با نتایج به‌دست‌آمده از روش محدودیت اپسیلون مقایسه شده و تحلیل حساسیت پارامترهای ضروری صورت گرفته است [۳۰].

امروزه بحث استفاده مجدد از محصولات مصرفی اهمیت خاصی یافته است. ازآنجاکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته نه‌تنها جریان روبه‌جلو، بلکه جریان معکوس را نیز شامل می‌شود، شرکت‌هایی موفق هستند که بین زنجیره تأمین مستقیم و معکوس، یکپارچگی ایجاد کنند. مدل ارائه‌شده در این پژوهش، چندهدفه، چندسطحی، چنددوره‌ای و تک‌محصولی در شرایط عدم‌قطعیت است. توابع هدف مدل شامل حداقل‌کردن هزینه‌ها، افزایش سود حاصل از محصول بازیافتی، کاهش

1. Bertland Model
2. Nash Equilibrium

اثرات منفی زیست‌محیطی ناشی از تولید، حمل و بازیافت محصول است. به‌منظور حل مسئله از رویکرد تابع تجمعی[1] استفاده شده که یکی از روش‌های تبدیل توابع چندهدفه به تک‌هدفه است. برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مثال‌های عددی متعدد طرح و حل شده‌اند. برای بررسی کاربرد مدل ارائه‌شده نیز یک مطالعه موردی روی محصول برانکارد در یکی از شرکت‌های صنایع بیمارستانی در تهران انجام شده است. به‌علاوه برای بررسی اثر تغییرات پارامترهای مؤثر بر بهبود اهداف، تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای بودجه، ظرفیت تولید و ضریب عدم‌قطعیت صورت گرفته است که نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه ظرفیت تولید و بودجه بر افزایش سود حاصل از قطعات بازیافتی و همچنین تأثیر ضریب تقاضای فازی بر توابع هدف هزینه و اثرات زیست‌محیطی به‌صورت افزایشی است [۱۸].

تعیین سیاست بهینه موجودی همواره یکی از چالش‌های مدیریت موجودی و تولید بوده و تاکنون تلاش‌های گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته و مدل‌های مختلفی ارائه شده است. بیشتر مدل‌هایی که مطرح شده‌اند تا حد امکان سعی در ساده‌سازی واقعیت‌ها داشته و پارامترهای مدل را به‌طور قطعی در نظر گرفته‌اند. در تعیین سیاست بهینه موجودی در زنجیره‌های تأمین چندسطحی، عدم‌قطعیت‌های بسیار زیادی تأثیرگذار هستند. در این پژوهش با استفاده از شبکه‌های بیزین، یک مدل یکپارچه احتمالی برای مدل‌سازی عدم‌قطعیت سیاست بهینه موجودی در زنجیره‌های تأمین چندسطحی توسعه یافته است. کاربرد اصلی شبکه‌های یادشده در وضعیت‌هایی است که نیازمند استنتاج آماری باشند. این روش یکی از ابزارهای جدید و پیشرفته هوش مصنوعی و مدل‌سازی ریسک است که سازوکاری برای ارزیابی روابط علت‌ومعلولی در بین مجموعه‌ای از متغیرها فراهم می‌آورد. در مدل پیشنهادی انواع متغیرهای کمّی و کیفی غیرقطعی در سطوح مشتری، خرده‌فروش، تولیدکننده و تأمین‌کننده فرمول‌نویسی شده‌اند. منطق مدل، تسخیر عدم‌قطعیت عوامل سازمانی و فنی برای استنتاج موجودی بهینه در سطوح مطلوب است و با استفاده از داده‌های یک مطالعه موردی در نرم‌افزار Agenarisk اجرا شده است [۲۰].

۳. روش‌شناسی پژوهش

مدل مفهومی پژوهش. بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه زنجیره تأمین برای انتخاب تأمین‌کنندگان در جریان مستقیم در شرایط تک‌محصولی و یا چندمحصولی طراحی شده‌اند و مطالعات بسیار اندکی در سال‌های اخیر (به‌دلیل پیچیدگی مدل و محاسبات ریاضی در حوزه زنجیره تأمین معکوس با توجه به نیاز روزافزون و سرمایه‌گذاری زیاد) در این قبیل پژوهش‌ها صورت گرفته است. مسئله اصلی در این پژوهش یک مسئله چندهدفه، چندمحصولی و

1. Aggregation Function

چنددوره‌ای است که نمایانگر زنجیره تأمین چندسطحی بوده و دارای سایت مرکزی تولید، کارگاه‌های تولیدی، مراکز فروش، مراکز بازیافت، سایت بازیافت، واحدهای بازیافت و انبار مواد اولیه است. در این مدل برنامه تولید اصلی[1] ثابت است؛ بدین معنی که برنامه تولید توسط پژوهشگر تغییر نمی‌کند. ازآنجاکه مراکز فروش دارای تقاضای ثابت (قطعی) هستند، برای تأمین تقاضای آن‌ها، باید نرخ تولید را طوری تعیین کرد که آلودگی محیط کار (میزان مواجهه کارکنان با مواد شیمیایی زیان‌آور) در حداقل مقدار ممکن قرار گیرد، هزینه کل شامل هزینه ساخت (تولید)، هزینه حمل‌ونقل، هزینه کمبود، هزینه نگهداری، هزینه راه‌اندازی و هزینه فرصت ازدست‌رفته حداقل شود و کیفیت محصولات افزایش یابد. یادآوری این نکته لازم است که کیفیت در این پژوهش از جنس بازگشتی[2]در نظر گرفته شده است؛ بدین معنا که کیفیت کمتر معادل افزایش نرخ بازگشتی‌ها است؛ همچنین برای تحقق هدف (تأمین تقاضای مراکز فروش) مشخص خواهد شد به کارگاه‌های تولیدی در چه زمانی و به چه میزان سفارش (از مراکز فروش) واصل شود.

مفروضات مدل ریاضی پژوهش

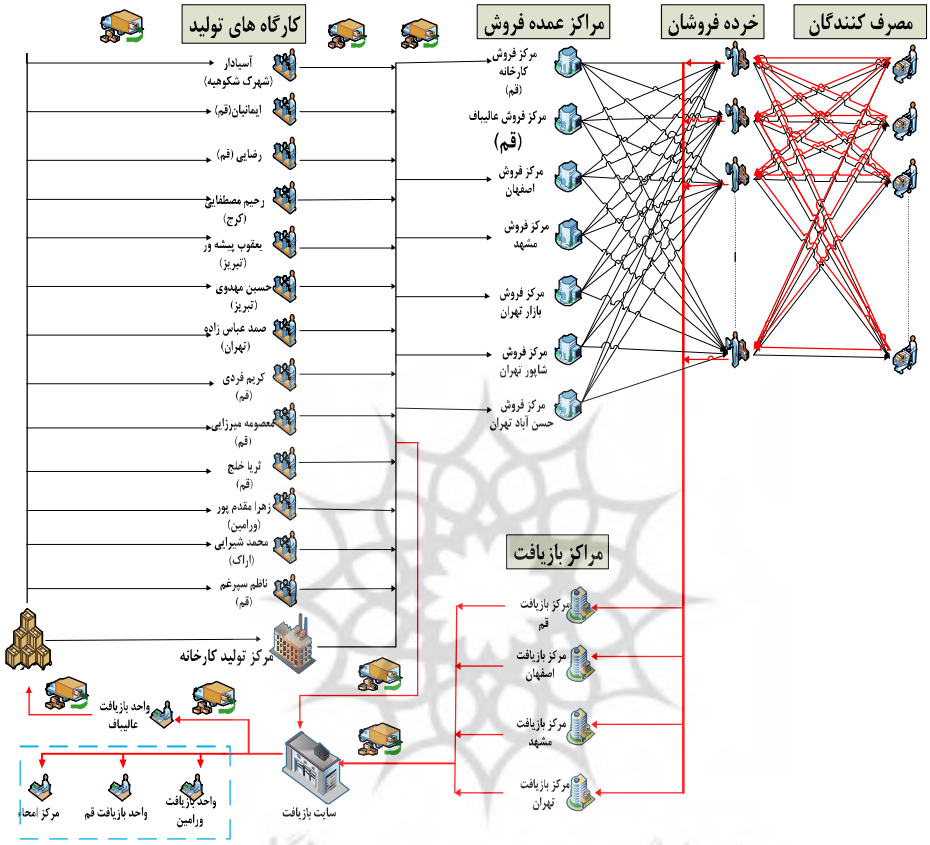
۱. مدل شامل خرابی تجهیزات نیست؛
۲. نرخ تقاضا برای محصول نهایی در هر مرکز فروش ثابت است؛
۳. هر ماده اولیه پس از مصرف، یک نوع آلاینده خاص (ماده شیمیایی زیان‌آور) متصاعد می‌کند؛
۴. هر مرکز تولید یک دستگاه دارد و هر دستگاه هم‌زمان می‌تواند چند نوع محصول را تولید کند؛
۵. کمبود موجودی مجاز است؛
۶. مراکز تولید و مراکز فروش توانایی نگهداری موجودی را دارند؛
۷. اقلام بازیافت‌شده به خوبی اقلام جدید خریداری‌شده هستند؛
۸. این مسئله شامل یک مرکز تولید اصلی (مرکز تولید کارخانه) است؛
۹. این مسئله شامل یک مرکز بازیافت اصلی (سایت بازیافت) است؛
۱۰. موجودی مواد اولیه نامحدود است؛
۱۱. محصولات بازیافتی از مراکز فروش به مراکز بازیافت همان شهرها ارسال می‌شوند؛
۱۲. فروش ازدست‌رفته مراکز فروش در هر دوره در دوره بعد تأمین می‌شود.

در پژوهش حاضر دو وظیفه تولید و احیا (بازیافت) را هم‌زمان بررسی می‌شود؛ بنابراین برنامه‌ریزی مرتبط با این امر بسیار پیچیده و دشوار خواهد شد و درواقع جزو چالش‌برانگیزترین مسائل سازمان است که بدین منظور و برای کاهش پیچیدگی و دغدغه‌ها باید الزاماً از

1. Master Production Schedule (MPS)
2. Reject

یکپارچه‌سازی کمک گرفت. با توجه به پیچیدگی و دشواری مسائل چند هدفه، با استفاده از نظرسنجی خبرگان از روش مجموع وزن دار استفاده شد.

شبکه ارائه‌شده در شکل ۱، شامل زنجیره تأمین مستقیم، تأمین‌کننده مواد اولیه (انبار مواد اولیه)، مراکز تولید و مراکز فروش است. زنجیره تأمین معکوس شامل مرکز بازیافت، سایت بازیافت، واحد بازیافت و مرکز انهدام است.



شکل ۱. زنجیره تأمین حلقه‌بسته ارائه‌شده

مدل ریاضی پژوهش. اندیس‌ها (مجموع‌ها)، نمادها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مورداستفاده در این مدل به شرح زیر است.

مجموعه‌ها

I: مجموعه محصولات $i \in I$

J: مجموعه مراکز فروش $j \in J$

K: مجموعه دوره‌های تحت بررسی	$k \in K$
L: مجموعه مراکز بازیافت	$l \in L$
H: مجموعه واحدهای بازیافت	$h \in H$
S: مجموعه مراکز تولید	$s \in S$
P: مجموعه مواد اولیه	$p \in P$
U: مجموعه آلاینده‌ها	$u \in U$
F: مجموعه انبار مواد اولیه	$f \in F$
M: مجموعه سایت بازیافت	$m \in M$

نمادها

TC_m: هزینه ساخت (تولید) کل

TC_t: هزینه حمل‌ونقل کل

TC_{sh}: هزینه کمبود کل

TC_h: هزینه نگهداری کل

TC_s: هزینه راه‌اندازی کل

TC_o: هزینه فرصت ازدست‌رفته کل

پارامترها

R_i: نرخ بازیافت حاصل از برگشت خرده‌فروشان محصول i ام

TH: تعداد شیفت‌های کاری در هر دوره

RP_i: نرخ بازیافت حاصل از تولید محصول i ام در مراکز تولید

SP_i: قیمت فروش هر واحد محصول i ام

SA_i: قیمت اسقاط هر واحد محصول i ام

MaxCah: حداکثر میزان ظرفیت نگهداری کالا در مراکز تولید و مراکز فروش در هر دوره

MaxMs: حداکثر میزان کمبود مجاز مراکز فروش در هر دوره

OEL_u: حدود مجاز مواجهه شغلی آلاینده u ام

CQ_i: هزینه فروش از دست رفته

C_i: هزینه تولید هر واحد محصول i ام

CR_s: هزینه راه‌اندازی مراکز تولید

CH_i: هزینه نگهداری هر واحد محصول i ام

CA_{si}: میزان ظرفیت تولید محصول i ام در مرکز تولید s ام

RA_{pu}: میزان آلاینده u ام حاصل از مصرف یک کیلوگرم ماده اولیه p ام (برحسب ppm)

UR_{ip}: ضریب مصرف مواد اولیه p ام در تولید محصول i ام

D_{jik}: مقدار تقاضای محصول i ام در مرکز فروش j ام در دوره k ام

HH_{sj}: فاصله بین مراکز تولید و مراکز فروش

HI_{sm}: فاصله بین مراکز تولید و سایت بازیافت

HE_{fs}: فاصله بین انبار مواد اولیه و مراکز تولید

HN_{lm}: فاصله بین مراکز بازیافت و سایت بازیافت

HL_{mh}: فاصله بین سایت بازیافت و واحد بازیافت

HH_{sj}: فاصله بین مراکز تولید و مراکز فروش

HM_{hf}: فاصله بین واحد بازیافت و انبار مواد اولیه

متغیرهای تصمیم

X_{sik}: مقدار تولید محصول i ام در مرکز تولید s ام در دوره k ام

Y_{sjik}: مقدار ارسال محصول i ام از مرکز تولید s ام به مرکز فروش j ام در دوره k ام

Q_{jik}: مقدار کمبود محصول i ام در مرکز فروش j ام در دوره k ام

II_{pfsk}: مقدار ارسال مواد اولیه p ام از انبار مواد اولیه f ام به مرکز تولید s ام در دوره k ام

YY_{smik}: مقدار ارسال محصول i ام از مرکز تولید s ام به سایت بازیافت m ام در دوره k ام

G_{jlik}: مقدار محصول i ام که از مرکز فروش j ام به مرکز بازیافت l ام در دوره k ام ارسال می‌شود

E_{lmik}: مقدار محصول i ام که از مرکز بازیافت l ام به سایت بازیافت m ام در دوره k ام ارسال می‌شود

B_{mhik}: مقدار محصول i ام که از سایت بازیافت m ام به واحد بازیافت h ام در دوره k ام ارسال می‌شود

N_{hfpk}: مقدار مواد اولیه p ام که از واحد بازیافت h ام به انبار مواد اولیه f ام در دوره k ام ارسال می‌شود

In_{jik}: مقدار موجودی نگهداری شده محصول i ام در مرکز فروش j ام در دوره k ام

Im_{sik}: مقدار موجودی نگهداری شده محصول i ام در مرکز تولید s ام در دوره k ام

متغیرهای تصمیم باینری

T_{jik}: یک وقتی موجودی داشته باشیم و صفر در غیر این صورت

TT_{jik}: یک وقتی کمبود داشته باشیم و صفر در غیر این صورت

EF_{sk}: یک وقتی تولید صورت گیرد و صفر در غیر این صورت

هدف فرمول‌سازی مدل ریاضی حداقل‌کردن هزینه کل ((7)-(OF.(1)) و حداقل‌کردن میزان آلودگی محیط کار ((OF.(8)) است. (OF.(2) نشان‌دهنده هزینه ساخت (تولید)، (OF.(3) نشان‌دهنده هزینه حمل و توزیع، (OF.(4) نشان‌دهنده هزینه کمبود، (OF.(5) نشان‌دهنده هزینه نگهداری، (OF.(6) نشان‌دهنده هزینه راه‌اندازی مراکز تولید و (OF.(7) نشان‌دهنده هزینه فرصت ازدست‌رفته است. محدودیت (Eq.(9 محدودیت ظرفیت را نشان می‌دهد. محدودیت (Eq.(10 نمایانگر محدودیت عرضه و محدودیت (Eq.(11 نشان‌دهنده محدودیت تقاضا است. محدودیت (Eq.(12 نشان‌دهنده توانایی نگهداری موجودی در مراکز فروش، محدودیت (Eq.(13 نشان‌دهنده کمبود مجاز در مراکز فروش و محدودیت (Eq.(14 کنترل‌گر موجودی و کمبود در مراکز فروش است؛ بدین معنا که موجودی و کمبود هم‌زمان نمی‌توانند مقدار بگیرند. محدودیت (Eq.(15، حداکثر ظرفیت مراکز تولید در نگهداری کالا و محدودیت (Eq.(16، حداکثر ظرفیت مراکز فروش در نگهداری کالا را نشان می‌دهد. محدودیت (Eq.(17 میزان خرابی‌های مراکز تولید را نشان می‌دهد که به زنجیره برگشت وارد می‌شوند. محدودیت (Eq.(18 نمایانگر میزان‌مصرف مواد اولیه برای تولید محصولات جدید است. محدودیت (Eq.(19، راه‌اندازی یا عدم‌راه‌اندازی کارگاه‌های تولیدی در دوره‌های مختلف را کنترل می‌کند. محدودیت (Eq.(20، رعایت حد استاندارد میزان مواجهه کارکنان با عوامل شیمیایی زیان‌آور محیط کار را لحاظ می‌کند. محدودیت (Eq.(21، حداکثر میزان کمبود مجاز در هر دوره را نشان می‌دهد. محدودیت (Eq.(22 نمایانگر میزان برگشتی محصولات مصرف‌شده توسط خرده‌فروش‌ها است. محدودیت (Eq.(23، میزان کالاهای معیوب که به سایت بازیافت ارسال می‌شوند را کنترل می‌کند. محدودیت (Eq.(24 نمایانگر محدودیت کالاهای قابل‌برگشت به واحد بازیافت برای تولید مجدد است. محدودیت (Eq.(25، میزان مواد اولیه به‌دست‌آمده از زنجیره معکوس را کنترل می‌کند.

محدودیت‌های Eq.(26)، Eq.(27) و Eq(28)، متغیرهای مثبت، متغیرهای عدد صحیح و متغیرهای باینری برای تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی تولید را فراهم می‌کنند. شکل نهایی مدل برنامه‌ریزی آمیخته با اعداد صحیح در این پژوهش به‌صورت زیر است:

توابع هدف

$$MinZ_1 = TC_m + TC_t + TC_{sh} + TC_h + TC_s + TC_o \quad (۴)$$

$$TC_m = \sum_s \sum_i \sum_k X_{sik} \times C_i \quad (۵)$$

$$\begin{aligned} TC_t = & \sum_s \sum_j \sum_i \sum_k Y_{sjik} \times CT \times HH_{sj} \\ & + \sum_s \sum_m \sum_i \sum_k YY_{smik} \times HI_{sm} \times CT \\ & + \sum_p \sum_f \sum_s \sum_k II_{pfsk} \times HE_{fs} \times CM \\ & + \sum_l \sum_m \sum_i \sum_k E_{lmik} \times HN_{lm} \times CT \\ & + \sum_m \sum_h \sum_i \sum_k B_{mhik} \times HL_{mh} \times CT \\ & + \sum_h \sum_f \sum_p \sum_k N_{hfpk} \times HM_{hf} \times CM \end{aligned} \quad (۶)$$

$$TC_{sh} = \sum_j \sum_i \sum_k Q_{jik} \times CQ_i \quad (۷)$$

$$\begin{aligned} TC_h = & \sum_j \sum_i \sum_k In_{jik} \times CH_i \\ & + \sum_s \sum_i \sum_k \mathrm{Im}_{sik} \times CH_i \end{aligned} \quad (۸)$$

$$TC_s = \sum_s \sum_k EF_{sk} \times CR_s \quad (۹)$$

$$\begin{aligned} TC_o = & \sum_s \sum_m \sum_i \sum_k YY_{smik} \times (SP_i - SA_i) \\ & + \sum_l \sum_m \sum_i \sum_k E_{lmik} \times (SP_i - SA_i) \end{aligned} \quad (۱۰)$$

$$MinZ_2 = \sum_s \sum_i \sum_p \sum_u \sum_k X_{sik} \times UR_{ip} \times RA_{pu} \quad (۱۱)$$

محدودیت‌ها[1]

$$X_{sik} \le CA_{si} \quad \forall s,i,k \tag{۱۲}$$

$$\sum_{j} Y_{sjik} + \sum_{m} YY_{smik} \le X_{sik} + \mathrm{Im}_{si(k-1)} - \mathrm{Im}_{sik} \quad \forall s,i,k \tag{۱۳}$$

$$\sum_{s} Y_{sjik} \ge D_{jik} - Q_{jik} + In_{jik} - In_{ji(k-1)} + Q_{ji(k-1)} \quad \forall j,i,k \tag{۱۴}$$

$$In_{jik} \le MM \times T_{jik} \quad \forall j,i,k \tag{۱۵}$$

$$Q_{jik} \le MM \times TT_{jik} \quad \forall j,i,k \tag{۱۶}$$

$$T_{jik} + TT_{jik} \le 1 \quad \forall j,i,k \tag{۱۷}$$

$$\mathrm{Im}_{sik} \le MaxCah \quad \forall \mathrm{s,i,k} \tag{۱۸}$$

$$\mathrm{In}_{jik} \le MaxCah \quad \forall \mathrm{j,i,k} \tag{۱۹}$$

$$\sum_{m} YY_{smik} = RP_i \times X_{sik} \quad \forall \mathrm{s,i,k} \tag{۲۰}$$

$$\sum_{f} II_{pfsk} = \sum_{i} X_{sik} \times UR_{ip} \quad \forall s,p,k \tag{۲۱}$$

$$\sum_{i} X_{sik} \le MM \times EF_{sk} \quad \forall \mathrm{s,k} \tag{۲۲}$$

$$\sum_{i} X_{sik} \times UR_{ip} \times RA_{pu} \le OEL_u \times \mathrm{TH} \quad \forall \mathrm{s,p,u,k} \tag{۲۳}$$

$$\mathrm{Q}_{jik} \le MaxMs \quad \forall j,i,k \tag{۲۴}$$

$$\sum_{l} G_{jlik} = R_i \times D_{ji(k-1)} \quad \forall j,i,k \tag{۲۵}$$

$$\sum_{m} E_{lmik} = \sum_{j} G_{jlik} \quad \forall l,i,k \tag{۲۶}$$

$$\sum_{h} B_{mhik} = \sum_{l} \sum_{i}^{eva\&boot} E_{lmik} + \sum_{s} \sum_{i}^{eva\&boot} YY_{smik} \quad \forall \mathrm{m,i,k} \tag{۲۷}$$

$$\mathrm{N}_{hfpk} = \sum_{m} \sum_{i}^{eva\&boot} B_{mhik} \times UR_{ip} \quad \forall h,f,p,k \tag{۲۸}$$

$$X,Y,Q,II,G,E,B,N \ge 0 \tag{۲۹}$$

$$YY,In,\mathrm{Im} \in Integer \tag{۳۰}$$

$$T,TT,EF \in \{0,1\} \tag{۳۱}$$

1. Constraints

الگوریتم حل مدل ریاضی پژوهش. در دنیای واقعی، مسائل خیلی پیچیده‌ای وجود دارد که با روش‌های معمول بهینه‌سازی قابل‌حل نیستند. عیب الگوریتم‌های قدیمی در سرعت میزان همگرایی و مهم‌تر از آن پیدا نکردن اکسترمم سراسری است. ازاین‌رو الگوریتم‌های کارا و پرقدرتی مانند روش‌های بهینه‌سازی طبیعی، پا به عرصه ظهور گذاشتند. بیشتر مسائل بهینه‌سازی که تصمیم‌گیرنده در دنیای واقعی با آن‌ها سروکار دارد، بیش از یک هدف را در برمی‌گیرند؛ به‌طوری‌که پاسخ بهینه مسئله هنگامی حاصل می‌شود که کلیه اهداف به یک مرز خاص از بهینگی رسیده باشند؛ بنابراین این‌گونه مسائل، «مسائل بهینه‌سازی چندهدفه» نامیده می‌شوند. مسائل بهینه‌سازی از نظر تعداد توابع هدف و معیارهای بهینه‌سازی به دو نوع تقسیم‌پذیر هستند: ۱. مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه و ۲. مسائل بهینه‌سازی چندهدفه. در مسائل بهینه‌سازی تک‌هدفه، هدف از حل مسئله، بهبود یک شاخص عملکرد[1] یگانه است که مقدار کمینه یا بیشینه آن، کیفیت پاسخ به‌دست‌آمده را به‌طور کامل منعکس می‌کند؛ اما در برخی موارد نمی‌توان صرفاً با اتکا به یک شاخص، یک پاسخ فرضی برای مسئله بهینه‌سازی را امتیازدهی کرد. در این نوع مسائل باید چندین تابع هدف یا شاخص عملکرد را تعریف کرد و به‌طور هم‌زمان، مقدار همه آن‌ها را بهینه نمود.

غالباً بهینه‌سازی چندهدفه[2] با نام‌های «بهینه‌سازی چندمعیاره»[3] و «بهینه‌سازی برداری»[4] نیز شناخته می‌شود. روش‌های فراوانی تاکنون برای حل این مسائل ارائه شده‌اند که در حالت کلی می‌توان آن‌ها را به دو دسته تقسیم کرد: روش‌های کلاسیک که اغلب مسئله چندهدفه را به یک مسئله یک‌هدفه تقلیل می‌دهند و روش‌های تکاملی که اغلب مسئله بهینه‌سازی چندهدفه را واقعاً به‌صورت چندهدفه حل می‌کنند.موضوع موردبحث، مبانی نظری بهینه‌سازی چندهدفه و روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه کلاسیک است. روش‌های کلاسیک در برخی متون به نام «روش‌های تجزیه»[5] شناخته می‌شوند. یکی از روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی چندهدفه که در این پژوهش بررسی و اجرا شده، روش مجموع وزن‌دار[6] است. با استفاده از روش مجموع وزن‌دار، یک مدل چندهدفه می‌تواند به‌صورت زیر نشان داده شود:

$$\max_{x\in X} (f_1(x),\ldots,f_n(x)) \qquad (۳۲)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Performance index
2. Multi-objective Optimization
3. Multi-criteria Optimization
4. Vector Optimization
5. Decomposition
6. Weighted-sum method

در رابطه بالا X ناحیه موجه است. این مدل می‌تواند به‌وسیله راه‌حل مسئله تک‌هدفه[1] به‌صورت زیر حل شود:

$$\underset{x\in X}{\text{Max}} \sum_{i=1}^{n} w_i.f_i \qquad (۳۳)$$

در ابتدا هر تابع هدف به‌صورت جداگانه بهینه شده و نتیجه ایده‌آل منفی (بدترین پاسخ) و نتیجه ایده‌آل مثبت (بهترین پاسخ) آن‌ها پیدا می‌شود. تا زمانی که مقادیر تابع هدف f_i)(در مقیاس‌های مختلف، متنوع است، معادله زیر برای نرمال‌سازی توابع هدف استفاده می‌شود.

$$f_i=\begin{cases}\dfrac{NIS_{fi}-f_i}{NIS_{fi}-PIS_{fi}} & \text{for minimization objective function}\\ \dfrac{f_i-NIS_{fi}}{PIS_{fi}-NIS_{fi}} & \text{for maximization objective function}\end{cases} \qquad (۳۴)$$

که در آن f_i مقدار نرمال‌شده تابع هدف iام، NIS_{f_i} بدترین پاسخ تابع هدف iام و PIS_{f_i} بهترین پاسخ تابع هدف iام است؛ بنابراین به هر تابع نرمال‌شده که به‌وسیله FAHP مشخص شده است، یک وزن W_i اختصاص داده می‌شود؛ سپس مدل به‌وسیله جمع‌بندی تمام توابع هدف وزن‌دار که در معادله زیر نشان داده شده است، به یک تابع تک‌هدفه تبدیل می‌شود.

$$MAX(f)=\sum_{i=1}^{n} w_i.f_i \qquad (۳۵)$$

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

اجرای مدل ریاضی پژوهش با استفاده از داده‌های شرکت کفش شهپر ممتاز. این مدل در صنعت تولید کفش برای کمک به تصمیم‌گیرندگان در تصمیم‌گیری بهتر در مواردی همچون کاهش هزینه‌ها و برقراری محیط کاری سالم استفاده شده است. در مدل موردبررسی محصولات طی مراحل مختلف در کارگاه‌های خیاطی، رنگ‌رزی، چاپ و غیره تولید می‌شوند. مرکز تولید کارخانه و کارگاه‌های کارکشی[2] که محصول نهایی تولید می‌کنند، با عنوان مراکز تولید بررسی می‌شوند. محصولات تولیدی (جدول ۱) در مرکز تولید کارخانه و سایر کارگاه‌ها با ظرفیت‌های مختلف تولید می‌شوند (جدول ۶). بنا به یک یا چند عیب فنی محصولات به چرخه بازیافت وارد می‌شوند. بعضی از محصولات در حین تولید (درصدی از مقدار تولید هر دوره) بر اساس عیب فنی برگشت می‌خورند و به سایت بازیافت ارسال می‌شود. عیوب برخی دیگر از محصولات توسط

1. Single-objective problem

۲. کارکشی عبارت از کشیدن پس لایی و کفی روی قالب کفش و ثابت‌کردن آن توسط میخ و چسب است.

خرده‌فروشان مشخص شده و به چرخه بازیافت برگشت داده می‌شوند. در زنجیره تأمین حلقه‌بسته موردبررسی در هر دوره، محصولات بازیافتی بر اساس درصدی از تقاضای دوره قبل ابتدا توسط خرده‌فروش به مراکز بازیافت ارسال شده و بدین ترتیب به چرخه بازیافت وارد می‌شوند (جدول ۷). بدین منظور محصولات عودتی در مراکز بازیافت جمع‌آوری شده و به سایت بازیافت منتقل می‌شوند. در سایت بازیافت پس از فرآیند جداسازی و تفکیک محصولات برحسب نوع مواد اولیه مصرف‌شده در آن‌ها به یکی از واحدهای بازیافت و یا مرکز انهدام منتقل می‌شود. از مجموع محصولات بازیافتی، محصولات EVA و چکمه برای تبدیل به مواد اولیه و استفاده مجدد در چرخه تولید به واحد بازیافت ارسال می‌شوند و الباقی به‌عنوان دورریز و ضایعات به مرکز انهدام ارسال می‌شوند (جدول‌های ۲ و ۳). یک مدل برنامه‌ریزی آمیخته عدد صحیح برای زنجیره تأمین حلقه‌بسته سبز (GCLSC) جهت حداقل‌کردن میزان انتشار مواد شیمیایی زیان‌آور و حداقل‌کردن هزینه کمبود (فروش ازدست‌رفته) طراحی شده است (جدول‌های ۴ و ۷). مدل ارائه‌شده مقدار بهینه تولید در هر مرکز تولید، مقدار بهینه ارسال به مراکز فروش، مقادیر بازیافتی و میزان تولید مواد اولیه حاصل از بازیافت و ورود آن به چرخه بازیافت را در شرایطی که میزان مواجهه کارکنان با عوامل شیمیایی زیان‌آور از حدود استاندارد تجاوز نکند، تعیین می‌کند. مسئله موردبررسی در طی یک سال معادل با ۴۸ دوره (هر دوره معادل یک هفته کاری یا شش نوبت تولیدی ۸ ساعته) است.

با توجه به مدل ارائه‌شده در پژوهش، در گام نخست وزن‌های هر یک از اهداف با استفاده از مقایسه زوجی محاسبه شد. در فرآیند تحلیل، اهداف به‌صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن‌ها محاسبه می‌شود که این وزن‌ها، «وزن نسبی» نامیده می‌شوند. سپس برای مقایسات زوجی، ماتریسی با عنوان «ماتریس مقایسات زوجی»[1] اهداف تهیه شد؛ ازاین‌رو پس از تبدیل اعداد پرسشنامه بر اساس طیف نُه‌گزینه‌ای لیکرت، ارجحیت (وزن) هر یک از اهداف نسبت به یکدیگر به‌دست آمد (جدول ۱۳). این اعداد برای مقایسات زوجی از مجموع امتیازهای داده‌شده (ترجیحات قضاوت شفاهی) استفاده شده است؛ ازاین‌رو برای به‌دست‌آوردن مقدار عددی ترجیحات هر یک از اهداف از تکنیک مجموع سطری (در این روش ابتدا مجموع عناصر هر سطر محاسبه می‌شود تا یک بردار ستونی حاصل شود، آنگاه این بردار ستونی نرمالیزه می‌شود. بردار ستونی نرمالیزشده، بردار عددی ترجیحات است) استفاده شده است؛ بنابراین پس از به‌دست‌آوردن مجموع سطرها، مجموع هر سطر بر تعداد افراد پاسخ‌دهنده (۱۲ نفر) تقسیم شد. بدین ترتیب مقدار عددی هر یک از مقایسات زوجی به‌دست آمد و درنهایت با رُندکردن ستون میانگین‌ها، مقدار عددی نهایی هر یک از مقایسات زوجی محاسبه شد که در جدول ۱۴، مشاهده

1. Pairwise Comparison

می‌شود؛ سپس بر اساس این جدول مقادیر وزن اهداف به‌دست آمد؛ ازاین‌رو برای ایجاد ماتریس بی‌مقیاس وزین از روش تقریبی میانگین حسابی استفاده می‌شود که این روش شامل سه مرحله زیر است:

ـ مرحله نخست: مقادیر هر یک از ستون‌ها باهم جمع می‌شود؛

ـ مرحله دوم: هر عنصر در ماتریس مقایسه زوجی به جمع ستون خودش تقسیم می‌شود تا ماتریس مقایسه زوجی نرمالیزه شود؛

ـ مرحله سوم: مقدار متوسط (میانگین) عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه محاسبه می‌شود. این مقادیر متوسط، یک تخمین از وزن‌های موردنظر است (جدول ۱۵).

در گام دوم برای حل مدل پژوهش و تبدیل مسئله (فضای هدف) به یک مسئله (فضای هدف) ترکیب‌پذیر و یافتن جبهه پارتو[1](مجموع پاسخ‌های نامغلوب[2]) از روش کلاسیک مجموع وزن‌دار از نرم‌افزار GAMS استفاده شد.

جدول ۱. محصولات موردبررسی

ردیف	نوع محصول
۱	سرپایی
۲	EVA
۳	چکمه
۴	کفش چرمی

جدول ۲. مواد اولیه مصرفی

	گرانول	پی‌وی‌سی	پی یو	متیلن کلراید
سرپایی			●	●
EVA	●			
چکمه		●		
کفش چرمی			●	●

جدول ۳. ضریب مصرف مواد اولیه به‌ازای هر زوج محصول (کیلوگرم)

	گرانول EVA	پی‌وی‌سی	پی یو	متیلن کلراید
سرپایی	-	-	۰/۱۰۲	۰/۰۰۱۱۵
EVA	۰/۰۱۵۵	-	-	–
چکمه	-	۰/۸۵۰	-	–
کفش چرمی	-	-	۰/۰۲۰	۰/۰۰۲۳

1. Pareto front
2. Non-Dominated solutions

جدول ۴. میزان انتشار آلاینده هر یک کیلوگرم مواد اولیه **(ppm)**

	استات وینیل	کلرید هیدروژن	دی ایزو سیانات	دی کلرو متان
گرانول EVA	۰/۴۲۳۲	-	-	-
پی‌وی‌سی	-	۰/۰۰۰۸۶	-	-
پی یو	-	-	۰/۰۰۰۰۰۵	-
متیلن کلراید	-	-	-	۱/۱۱۶

جدول ۵. حدود مجاز مواجهه شغلی[2] مواد زیان‌آور

حدود مجاز مواجهه شغلی ـ وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی				
نام علمی ماده شیمیایی	وزن مولکولی	حد مجاز مواجهه شغلی		نمادها	مبنای تعیین حد مجاز مواجهه
		TWA	STEL/C		
Vinyl Acetate	۸۶/۰۹	۱۰ ppm	۱۵ ppm	A3	تحریک قسمت فوقانی تنفسی، چشم و پوست، اختلال سیستم اعصاب مرکزی
Hydrogen Chloride	۳۶/۴۷	-	۲ ppm	A4	تحریک قسمت فوقانی تنفسی
Di Isocyanate	۱۷۴/۱۵	۰/۰۰۵ ppm	۰/۰۲ ppm	حساسیت (A4)	حساسیت‌های تنفسی
Dichloromethane	۸۴/۹۳	۵۰ ppm	-	A3 BEI	کربوکسی هموگلوبینی؛ اختلال سیستم

جدول ۶. ظرفیت تولید مراکز تولید در هر دوره بر اساس واحد زوج

	سرپایی	EVA	چکمه	کفش چرمی
مرکز تولید کارخانه	۲۴۱۰۰	۱۳۵۰۰	۷۷۷۵	۱۱۲۸
ناظم سپر غم فرد (قم)	۳۶۰۶			
محمد شیرایی (اراک)	۳۶۶۰			
زهرا مقدم‌پور (ورامین)	۳۵۸۴			
ثریا خلج (قم)	۲۸۲۴			
معصومه میرزایی (قم)	۱۳۴۰			۳۰۰
کریم فردی (قم)				۴۷۰
صمد عباس‌زاده (تهران)		۱۱۰۰۰		۲۴۵
حسین مهدوی (تبریز)				۷۱۵
یعقوب پیشه‌ور (تبریز)				۴۷۵
رحیم مصطفایی (کرج)	۱۲۵۰			۴۸۶
رضایی (قم)		۸۳۵۰		

1. Parts Per Million
2. Occupational Exposure Limit

ایمانیان (قم)	۱۳۵۰		۸۰۰
آسیادار (شهرک شکوهیه)	۲۷۰۰		

جدول ۷. نرخ بازیافت، هزینه‌ها و قیمت‌ها (ریال)

	سرپایی	EVA	چکمه	کفش چرمی
هزینه کمبود هر واحد محصول	۳۴۵۰۰۰	۱۲۳۰۰	۳۳۶۰۰۰	۸۲۵۱۰۰
نرخ بازیافت حاصل از تولید در مراکز تولید	۲٪	۱٪	۲٪	۲٪
نرخ بازیافت حاصل از برگشت خرده‌فروش‌ها و مراکز فروش	۱٪	۱٪	۲٪	۱٪
قیمت فروش هر واحد محصول نهایی	۲۴۵۰۰۰	۵۲۰۰۰	۲۲۵۰۰۰	۶۷۰۰۰۰
بهای تمام‌شده هر واحد محصول (هزینه تولید)	۱۳۴۷۵۰	۱۸۲۰۰	۱۰۱۲۵۰	۴۳۵۵۰۰
هزینه نگهداری هر واحد محصول	۴۹۰۰۰	۱۰۴۰۰	۴۵۰۰۰	۱۳۴۰۰۰
حداکثر ظرفیت نگهداری محصول در مراکز تولید و فروش	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰
حداکثر کمبود مجاز مراکز فروش	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰	۶۰۰۰
قیمت فروش هر واحد محصول اسقاط	۱۱۵۰۰	۳۳۰۰	۱۳۵۰۰	۹۸۰۰

جدول ۸. هزینه حمل/ توزیع هر کیلومتر برای هر واحد محصول/ مواد اولیه (ریال)

	یک زوج محصول	یک کیلوگرم مواد اولیه
هزینه حمل/ توزیع	۵	۱۰۸۰

جدول ۹. هزینه راه‌اندازی مراکز تولید (ریال)

مرکز تولید کارخانه	ناظم سیر غم فرد (قم)	محمد شیرایی (اراک)	زهرا مقدم‌پور (ورامین)	ثریا خلج (قم)	معصومه میرزایی (قم)	کریم فردی (قم)	صمد عباس‌زاده (تهران)	حسین مهدوی (تبریز)	یعقوب پیشه‌ور (تبریز)	رحیم مصطفایی (کرج)	رضایی (قم)	ایمانیان (قم)	آسیادار (شهرک شکوهیه)
سایت بازیافت	۴۹۰۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰۰۰	۲۹۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰۰	۴۵۰۰۰۰۰۰	۵۲۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۱۴۰۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰۰۰

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۱۰. فاصله بین مراکز تولید و مراکز فروش (کیلومتر)

	مرکز فروش کارخانه (قم)	مرکز فروش عالیاف (قم)	مرکز فروش اصفهان	مرکز فروش مشهد	مرکز فروش بازار (تهران)	مرکز فروش شاهپور (تهران)	مرکز فروش حسن‌آباد (تهران)
مرکز تولید کارخانه	۰	۳۲	۲۹۳	۹۷۴	۱۳۸	۱۳۹	۱۳۶
ناظم سپر غم فرد (قم)	۷	۱۵	۴۲۹	۹۶۹	۱۳۲	۱۳۷	۱۳۴
محمد شیرایی (اراک)	۱۳۳	۱۴۹	۳۳۳	۱۰۹۵	۲۷۹	۲۷۶	۲۸۱
زهرا مقدم‌پور (ورامین)	۱۱۹	۱۲۲	۴۲۱	۸۶۸	۵۹	۶۰	۵۷
ثریا خلج (قم)	۸	۱۰	۲۹۶	۹۷۰	۱۳۳	۱۳۹	۱۳۵
معصومه میرزایی (قم)	۶	۱۲	۲۹۷	۹۷۳	۱۳۴	۱۳۶	۱۳۳
کریم فردی (قم)	۷	۱۱	۲۹۶	۹۷۲	۱۳۵	۱۳۷	۱۳۴
صمد عباس‌زاده (تهران)	۱۴۱	۱۴۴	۴۴۸	۱۲۴۹	۷	۹	۵
حسین مهدوی (تبریز)	۶۶۰	۶۶۸	۸۹۶	۱۵۲۱	۶۳۲	۶۳۵	۶۳۶
یعقوب پیشه‌ور (تبریز)	۶۶۳	۶۶۹	۸۹۷	۱۵۱۹	۶۳۱	۶۳۳	۶۳۰
رحیم مصطفایی (کرج)	۱۷۷	۲۰۶	۴۴۳	۹۵۳	۵۳	۵۴	۵۰
رضایی (قم)	۴۳	۴۲	۳۱۹	۳۱۱	۹۴	۹۷	۹۹
ایمانیان (قم)	۹	۱۱	۲۹۹	۹۹۰	۱۲۳	۱۴۹	۱۴۵
آسیادار (شهرک شکوهیه)	۶۹	۶۸	۳۶۲	۸۵۳	۱۱۱	۱۱۳	۱۱۸

جدول ۱۱. فاصله بین سایت بازیافت و مراکز بازیافت (کیلومتر)

	مرکز بازیافت قم	مرکز بازیافت اصفهان	مرکز بازیافت مشهد	مرکز بازیافت تهران
سایت بازیافت	۱۱	۲۹۳	۹۷۴	۱۳۷

جدول ۱۲. فاصله بین سایت بازیافت، انبار مواد اولیه، مراکز تولید و واحدهای بازیافت (کیلومتر)

سایت / انبار	مرکز تولید کارخانه	ناظم سپر غم فرد (قم)	محمد شیرایی (اراک)	زهرا مقدم‌پور (ورامین)	ثریا خلج (قم)	معصومه میرزایی (قم)	کریم فردی (قم)	صمد عباس‌زاده (تهران)	حسین مهدوی (تبریز)	یعقوب پیشه‌ور (تبریز)	رحیم مصطفایی (کرج)	رضایی (قم)	ایمانیان (قم)	آسیادار (شهرک	واحد بازیافت عالیاف
	۰	۷	۱۳۳	۱۱۹	۸	۶	۷	۱۴۱	۶۶۰	۶۶۳	۱۷۷	۱۶	۱۰	۴۶	۳۲

جدول ۱۳. طیف نُه‌گزینه‌ای لیکرت

ترجیحات قضاوت شفاهی	مقدار عددی	ترجیحات قضاوت شفاهی	مقدار عددی
ارجحیت یکسان	۱	میانه خیلی قوی	۶
میانه ارجح	۲	ارجحیت خیلی قوی	۷
کمی ارجح	۳	میانه مطلق	۸
میانه قوی	۴	ارجحیت مطلق	۹
ارجحیت قوی	۵		

جدول ۱۴. مقدار نهایی ماتریس مقایسات زوجی اهداف

	TC_m	TC_t	TC_{sh}	TC_h	TC_s	TC_o	Z_2
TC_m	۱	۲	۳	۴	۵	۷	۰/۲۳
TC_t	۰/۵	۱	۰/۸	۲	۳	۷	۰/۱۲
TC_{sh}	۰/۳۳	۱/۲۵	۱	۵	۴	۲	۰/۱۱
TC_h	۰/۲۵	۰/۵	۰/۲	۱	۲	۳	۰/۳۱
TC_s	۰/۲	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۵	۱	۱	۰/۲۳
TC_o	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۰/۰۷
Z_2	۴/۳۵	۸/۳۳	۹/۰۹	۳/۲۳	۴/۳۵	۱۴/۲۹	۱

جدول ۱۵. اوزان به دست آمده اهداف

اهداف	اوزان نهایی	اهداف	اوزان نهایی
TC_m	۰/۱۸۶	TC_s	۰/۰۴۶
TC_t	۰/۱۰۴	TC_o	۰/۰۲۵
TC_{sh}	۰/۱۱۹	Z_2	۰/۴۵۲
TC_h	۰/۰۶۹		

جدول ۱۶. مقادیر توابع پس از اجرای مدل

	Model
Solver status	Normal completion
Model status	Optimal
Number of single variables	42145
Number of discrete variables	10080
Number of constraint	27361
Objective valueZ_1	2.12859E+11
Objective valueZ_2	2373.750
Objective valueZ_3	3.23763E+10

جدول ۱۷. نتایج حاصل پس از اجرای مدل

	سرپایی	EVA	چکمه	کفش چرمی
مجموع مقادیر تولید	۱۲۰۹۶۰۰	۲۶۰۱۰۰	۷۶۳۰۰	۲۱۳۶۰۰
مجموع مقادیر کمبود	۹۱۰۳۷	–	۱۹۰۶	۱۵۲۳۲
مجموع تعداد دوره‌هایی که موجودی نگه داشته شده است	۲۶	۱۳	۶۲	۲۵
مجموع تعداد دوره‌هایی که کمبود بوده است	۳۱۰	۳۲۳	۲۷۴	۳۱۱

پژوهش حاضر، طبق مدل ارائه‌شده به بررسی ۴ محصول بر اساس ۱۴ متغیر در ۴۸ دوره (هر دوره معادل یک هفته کاری یا شش شیفت تولیدی ۸ ساعته) می‌پردازد. پس از اجرای مدل مقادیر بهینه توابع هدف به‌دست آمد (جدول ۱۶). در این پژوهش یک شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه‌بسته چندسطحی مدل‌سازی شد که با کنترل عواملی از جمله هزینه فروش ازدست‌رفته، تقاضای بازار را درحالی‌که میزان مواجهه کارکنان با عوامل شیمیایی زیان آور محیط کار از حدود استاندارد مواجهه تجاوز نکند، تأمین می‌کند. نتایج نشان می‌دهد برای پاسخ به تقاضای مراکز فروش و جلوگیری از فروش ازدست‌رفته، مراکز تولید و مراکز فروش بر اساس ظرفیت‌های اسمی خود و با توجه به میزان هزینه نگهداری در بعضی از دوره‌ها از یک یا تعدادی محصولات موجودی نگه‌داری می‌کنند. در صورتی که تقاضای یک (یا چند) دوره بعد تأمین شود، متغیر راه‌اندازی در یک (یا چند) مرکز تولید، در یک (یا چند) محصول و در یک (یا چند) دوره صفر می شود و آن مرکز تولید در سطح بدون تولید قرار می گیرد. یادآوری این نکته لازم است که متغیرهای موجودی و کمبود در هیچ دوره ای هم‌زمان مقدار نگرفته‌اند. بر این اساس نرخ تولید به‌گونه‌ای تعیین شده است که میزان تولید مراکز تولید در دوره‌های مختلف بر اساس حدود مجاز مواجهه کنترل‌شده است تا کارکنان در طول دوره موردبررسی بیش از حد استاندارد با عوامل شیمیایی زیان‌آور مواجهه نداشته باشند و سایر هزینه‌ها در حداقل مقدار ممکن قرار گرفته‌اند. طبق نتایج (جدول ۱۷)، ۶۹ درصد از کل تولیدات شرکت محصولات سرپایی است؛ همچنین ۸۴ درصد از کل کمبودها در دوره بررسی نیز مربوط به محصولات سرپایی است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدل با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز ورژن ۲۴،۷،۳ از طریق Baron Solver اجرا شد. جدول ۱۶، مقدار بهینه کل هزینه 2.12859+E11 و توابع هدف دیگر را برای یک شبکه توسعه‌یافته نشان می‌دهد. با توجه به افزایش اهمیت رقابت‌پذیری اقتصادی، امروزه سازمان‌ها به سلامت کارکنان خود توجه ویژه‌ای دارند و کارکنان قلب سازمان محسوب می‌شوند. مدیریت

زنجیره تأمین معکوس، موضوع مشخصی برای اقتصاد پایدار، بازیافت محصول و تفکر سبز است. در مدل پژوهش با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی از وزن‌های مختلف بر اساس نظر خبرگان برای رتبه‌بندی توابع هدف استفاده شده است (جدول ۱۵). مدل کمک می‌کند که در راستای تأمین تقاضای مراکز فروش، نرخ تولید در کارگاه‌های مختلف به‌گونه‌ای تعیین شود که علی‌رغم حداقل‌سازی هزینه‌ها، اعم از هزینه‌های راه‌اندازی و هزینه فروش ازدست‌رفته و بیشینه کردن درآمدها، میزان مواجهه کارکنان با مواد شیمیایی زیان‌آور از مقدار استاندارد مواجهه تجاوز نکند. در این پژوهش یک شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه‌بسته چندسطحی مدل‌سازی شد که با کنترل عواملی از جمله هزینه فروش ازدست‌رفته، تقاضای بازار را درحالی‌که میزان مواجهه کارکنان با عوامل شیمیایی زیان‌آور محیط کار از حدود استاندارد مواجهه تجاوز نکند، تأمین می‌کند. برای انجام پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که در حوزه‌های زیر مطالعات آینده صورت پذیرد:

ـ این پژوهش در صنعت پایپوش و چندمحصولی صورت گرفته است؛ پیشنهاد می‌شود در صنایع دیگری مانند لاستیک‌سازی و پلاستیک‌سازی نیز صورت گیرد؛

ـ برای محاسبه اوزان از روش‌های احتمالی یا فازی استفاده شود.

با توجه به اینکه در این پژوهش سلامت محیط کار از منظر میزان مواجهه کارکنان با عوامل شیمیایی زیان‌آور بررسی شد، پیشنهاد می‌شود پژوهشگران آتی به بررسی سلامت محیط کار بر اساس عوامل زیر بپردازند:

ـ حدود مجاز شاخص‌های بیولوژیکی مواجهه؛

ـ حدود مجاز مواجهه شغلی[1] با عوامل فیزیکی محیط کار؛

ـ حدود مجاز در ارگونومی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. OEL

منابع

1. Al-Arja, O.A., Awadallah, T.S. (2020). Assessment of occupational noise exposure in coffee grinding shops. *Applied Acoustics, (158),* 107047.
2. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Threshold Limit Values (TLV) and Biological Exposure Index (BEI), ACGIH, Cincinnati, 2011.
3. Andriolo, A., & Battini, D., & Grubbström, R. W., & Persona, A., & Sgarbossa, F. (2014). A century of evolution from Harris' s basic lot size model: Survey and research agenda. *International Journal of Production Economics, (155),* 16-38.
4. Balkhyour, M.A., Ahmad, I., & Rehan, M. (2019). Assessment of personal protective equipment use and occupational exposures in small industries in Jeddah: Health implications for workers. *Saudi Journal of Biological Sciences, 26(4),* 653-659.
5. Beemsterboer, B., & Land, M., & Teunter, R. (2017). Flexible Lot Sizing in Hybrid make-to-order / make-to-stock Production Planning. *European Journal of Operational Research, 260(3),* 1014-1023.
6. Bitran, G.R., & Yanasse, H.H. (1982). Computational Complexity of the Capacitated Lot Size Problem. *Management Science, (28),* 1174-1186.
7. Blackbum, J., & Guide, V., & Souza, G., & Vanwassenhove, L. (2004). Reverse Supply Chains for Commercial Returns. *California Management Review, 46(2),* 6-22.
8. BRIEF, R. S., & SCALA, R.A. (2010). Occupational Exposure Limits For Novel Work Schedules. *American Industrial Hygiene Association Journal, (36)6,* 467-469.
9. Blumberg.Donald F. (2005). *Introduction to management of reverse logistics and closed loop supply chain processes*. CRC Press.
10. Ceschia, S., & Gaspero, L, D., & Schaerf, A. (2017). Solving Discrete Lot-Sizing and Scheduling by Simulated Annealing and Mixed Integer Programming. *Computers & Industrial Engineering, (114),* 235-243.
11. Chao Chen., Guoqing Zhang., Jianmai shi., & Yangsheng Xia. (2019). Remanufacturing Network Design for Dual-Channel Closed-Loop Supply Chain. *Procedia CIRP, (83),* 479-484.
12. Dondo, R. G., & Méndez, C, A. (2016). Operational planning of forward and reverse logistic activities on multi-echelon supply-chain networks. *Computers & chemical Engineering (88),* 170-184.
13. Fatemi Qomi, S.M.T., & Mirkazemi, S.M. (2009). Determine the Amount of Sending in Multi-Step Issues with Production Capacity Constraints Per Step. *Amirkabir Scientific and Research Journal, 23(2),* 168-177. (In Persian)
14. Feizollahi, S., Soltan Panah, H., Farooghi, H., Rahim Zadeh, A. (2018). Developing a Multi-Objective and Multi-purpose Vhain Network Supply Chain Model under Uncertainty. *Journal of Industrial Management Perspective, 8(4),* 32, 61-95. (In Persian)
15. Glock, C. H., & Grosse, E. H., & Ries, J. M. (2014). The lot sizing problem: A tertiary study. *International Journal of Production Economics, (155),* 39-51.
16. Goyal, S.K., & Giri, B.C. (2001). Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of operational research, (134),* 1-16.
17. Hasanov, P., & Jaber, M.Y., & Tahirov, N. (2019). Four-level Closed Loop Supply Chain with Remanufacturing. *Journal of Applied Mathematical Modelling, 66 (3),* 141-155.

18. Hejazi, E. (2003). Classification of Models and Methods for Determining Single-Step Transmission Solving Problem. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management, (Industrial Journal of Engineering Science), 14(3),* 111-140. (In Persian)
19. Hong, X., Wang, Z., Wang, D., & Zhang, H. (2013). Decision models of closed-loop supply chain with remanufacturing under hybrid dual-channel collection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 68 (5-8),* 1851-1865.
20. Jeilan Broujeni, A., & Amoo Zadeh Mehdireji, H. (2014). Modeling the Inventory Control System in the Multi-Level Supply Chain Using Bayesian Networks. *Journal of Industrial Management Perspective, 4(3),* 61-84. (In Persian)
21. Jorgensen, B. (2005). The Greening of the Supply Chain. *Electronic Business, 3(6),* 29-30.
22. Karimi, B., & Fatemi Qomi, S.M.T. (2002). New Innovative Methods for Determining the Amount of Ttansfering Issues, the Dynamic Multi Production, Single Steps Forwarding with Capacity ConstraintSteps Forwarding with Capacity Constraint, Along with the Ability to Move Startup to Future Periods. *Journal of Engineering Faculty, 36(3)*, 467-476. (In Persian)
23. Kherkhah, A.S., Rohani Nejad, M., & Fatahi, P. (2014). Simultaneous Optimization of Delivery and Timing of Operation in a Flexible Workshop Production Environment. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management, 25(3),* 343-363. (In Persian)
24. KO, H. J., & Evans, G. W. (2007). A Genetic Based Heuristic for the Dynamic Integrated Forward/ Reverse Logistics Network for 3PLs. *Computers & Operations Research, 34(2),* 346-366.
25. Kord, B., Jamshidi, M.J. (2015). *Management of Supply Chain. Zahedan.* University of Sistan Baluchestan.
26. Lamas, A., & Chevalier, Ph. (2017). Joint Dynamic Pricing and Lot-Sizing under Competition. *European Journal of Operational Research, 266(3),* 864-876.
27. Luk, N., & Wassenhove, V. (2008). *Closed-Loop Supply Chains.* Academic Director INSEAD Social Innovation Centre.
28. Master, H.P., Shen, N., Liao, H., & Xue, H. (2020). Uncertainty factors, methods, and solutions of closed-loop supply chain: A review for current situation and future prospects. *Journal of Cleaner Production, (254),* 120032.
29. Mehdizadeh, E., & Valizadeh, S. & Pasandideh, H.R. (2013). A multi-product inventory model with capacity warehouse constraints, budget and minimum service level in partial backlogging shortage. *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management, (29),* 101-111.
30. Montazeri, S., Seif Barghi, M. (2018). Two-Objective Modeling of the Assignment Location Problem in a Green Supply Chain Considering the CO_2 Transport and Emission System. *Journal of Industrial Management Perspective, 8(1),* 163-185. (In Persian)
31. Pedram, A., & Bin Yousof, N., & Udoncy, O.E., & Mahat, A.B., & Pedram, P., & Babalola, A. (2017). Integrated Forwaed and Reverse Supply Chain: A Tire Case Study. *Journal of Applied Mat, 60 (3),* 460-470.
32. Ramezanian, R., Saidi Mehrabad, M. (2012). Determination of delivery rate and Timing Integrated in Permutation Workshop Production Environment. *International Conference of Non Linear Modeling and Optimization, Amol, University of North.* (In Persian)

33. Shekarian, E. (2020). A review of factors affecting closed-loop supply chain models. *Journal of Cleaner Production, (253),* 119823.
34. Stadtler, H., & Sahling, F. (2013). A Lot-Sizing and Scheduling Model for Multi-Stage Flow Lines with Zero Lead Times. *European Journalof Operational Research, (225),* 404-419.
35. Talei Zade, A., Nobil, A.H. (2017). Determine the Amount of Sending By Considering of Defective Goods Under the Constraints and Cost of Space Construction. *Modeling in Engineering. 15(51),* 2-2. (In Persian)
36. Using guide of the last occupational exposure limits organizations such as OSHA, NIOSH, ACGIH, European Standards and Occupational Exposure Limits countries like Japan and Russia. (In Persian)
37. Vahdani, M., & Dolati, A. (2015). Application of Multi-Level Lot Sizing By Considering Destructible Inventory and Disposal Costs. *Production and Operatioan Management, 6(2),* 55-78. (In Persian)
38. Whitin, T.M. (1953). *The theory of inventory management*. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA.
39. Writers Group [National Centerfor Occupational Health Science and Education], (2016). Occupational Exposure Limits. Implementer of the national Center for Occupational Health Education. [Fourth edition]. Publication specifications Hamedan, Ministry of health, Medical treatment and education , Health center of environment and occupation, Health center of environment and occupation stion student publicatudent publications. (In Persian)
40. www.blumbergassociates.com, accessed date 2014.
41. Zhang, M., Shi, R., & Yang, Zh. (2020). A critical review of vision-based occupational health and safety monitoring of construction site workers. *Safety Science, 126,* 104658.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Presenting a Comprehensive Multi-Objective Model of the Multi level – Multi Product Green Closed-Loop Supply Chain with a Weighted Sum Method Approach: Pareto Front Generation (Case Study: Shahpar Momtaz Shoes Co.)

Mohammad Reza Taghizadeh Yazdi*, Ehsan Salmani Zarchi**

Abstract

Planning and inventory control are considered the main factors affecting multi-level closed loop supply chain processes in the process of returning product from consumers to manufacturers. The integrated network is called a Green Closed-Loop Supply Chain (GCLSC). By introducing a mathematical multi-objective model for linear mixed-integer programming and optimizing it through appropriate technical, engineering and management methods, this research aims to eliminate or control the workplace pathogens with a view to minimizing the employees' limit of exposure and total cost. Thus, a set of criteria titled "Occupational Exposure Limits" are defined to ensure the safety of the workforce in all production centers. Based on the concept of the Pareto Front, a multi-objective algorithm is proposed which uses the proposed mechanism of variable weight in the weighted-sum method to change the direction in the objective space. Comparison of the performance of the algorithm based on the objective functions: minimizing both the emission of hazardous chemical substances and the costs in the workplace, demonstrates the proper performance of the weighted sum method in solving production planning and inventory control issues. The results show that staff exposure to chemical agents is within the permissible range, so that other costs are kept to a minimum.

Keywords: Production Planning & Inventory Control; Multi-Objective Linear Mathematical Model; Green Closed-Loop Supply Chain; Weighted Sum Algorithm; Occupational Exposure Limits.

Received: June 26, 2019, Accepted: Feb. 23, 2020.

* Associate Professor, University of Tehran (Corresponding Author).
E-mail: mrtaghizadeh@ut.ac.ir
** Ph.D Student, Alborz Campus, University of Tehran.