فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال نوزدهم/ شماره ۶۸/ تابستان ۱۴۰۳

برنامه‌ریزی تعاملی فازی برای طراحی مدل ریاضی چند هدفه چند محصولی، چند مرحله‌ای برنامه تولید ادغامی چند دوره‌ای دریک زنجیره تامین معکوس درشرایط عدم قطعیت

اصلان دوستی (نویسنده مسئول)
گروه ریاضی، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران
Email: doosti424@gmail.com
سعید رضایی مقدم
گروه مدیریت، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

چکیده

در همه سیستم‌ها اعم از تولیدی و خدماتی ضرورت و اهمیت برنامه‌ریزی امری غیر قابل اجتناب است. پژوهش حاضر در صدد طراحی یک مدل ریاضی برنامه تولید ادغامی چند هدفه چند محصولی چند مرحله‌ای و برای چند دوره در یک زنجیره تامین معکوس است. لذا برای حداقل سازی هزینه موجودی، تولید و نیروی انسانی حداقل، حداکثر کیفیت محصول تولیدی و ضریب اهمیت تامین کننده و کمینه سازی بیشترین وقوع عدم اطمینان در هر مرحله از تولید، که سبب تشخیص گلوگاه کاری صنعت مورد نظر شود، یک مدل ریاضی برنامه تولید ادغامی چند هدفه چند محصولی چندمرحله‌ای، برای چند دوره در یک زنجیره تامین معکوس در شرایط عدم قطعیت طراحی شده است. در این مدل ریاضی تابع هدف کیفیت و برخی از پارامترها در محدودیت‌ها در حالت عدم قطعیت به روش اعداد فازی مثلثی ارائه شده‌اند. برای حل مدل مذکور از یک رویکرد حل فازی تعاملی با برنامه نویسی در نرم افزار گمز و با داده‌های واقعی شرکت قطعات بتنی بروجن استحکام، استفاده می‌شود.

کلمات کلیدی: برنامه ریزی تعاملی فازی، مدل ریاضی چند هدفه، تولید ادغامی زنجیره تامین معکوس، عدم قطعیت.

۱- مقدمه

در عرصه فعلی صنعت، مدیران و مسئولین به دنبال بهبود بازدهی عملکرد سازمانشان با برنامه‌ریزی و تلاش در رسیدن به اهداف پیش رو با توسعه ارتباط با دیگر سازمان‌ها می‌باشند. زنجیره تأمین یکی از مبادی برقراری آن ارتباط بین صنایع است. چگونگی تدوین و طراحی زنجیره تأمین برای دستیابی به هماهنگی مذکور تصمیمی اساسی و ضروری می‌باشد و این امر بستگی به استراتژی تصمیم‌گیری در فرآیند مدیریت زنجیره تأمین داشته و نقش کلیدی در عملکرد بعدی زنجیره تأمین نیز خواهد داشت. آنچه در طراحی زنجیره تأمین تأثیر بسزایی دارد، ضایعات ایجادشده در این زنجیره و توجه خاص به محصولات برگشتی است، ازاین‌رو توجه به ایجاد زنجیره تأمین معکوس امروزه بیش از گذشته مورد توجه مسئولین و صاحبان بخش صنعت قرارگرفته است. بخش قابل‌توجهی از تحقیقات صورت گرفته در مورد زنجیره تأمین مربوط به زنجیره تأمین پیشرو است و در حقیقت از سال ۲۰۰۵ زنجیره تأمین معکوس به‌طور رسمی شناخته‌شده و مطالعه در مورد آن افزایش‌یافته است. در شبکه زنجیره تأمین معکوس بازسازی و احیا محصول‌هایی که دوره استهلاک آن‌ها فرارسیده است، انجام می‌شود. در این فرایند، محصولات برگشتی پس از بازرسی به دو دسته شامل محصولات قابل‌بازسازی و محصولات قراضه تقسیم می‌شوند. محصولات قابل‌بازسازی به مراکز احیا ارسال‌شده و تعمیر می‌شوند. در غیر این صورت این نوع محصولات به قطعات قابل‌استفاده تقسیم‌شده و در ساخت محصولات بکار می‌روند. دسته دوم که محصولات قراضه هستند و در مراکز انهدام، عملیات انهدام ایمن روی آن‌ها انجام می‌گیرد. در فرایند زنجیره تأمین معکوس صرفه‌جویی‌هایی در هزینه تولید، صرفه‌جویی در استفاده از امکانات جدید، استفاده مطلوب از تسهیلات موجود، می‌شود و این امر در تصمیمات تولیدکنندگان برای طرحی برنامه‌ریزی تولید ادغامی می‌تواند مؤثر باشد. برنامه‌ریزی تولید ادغامی فرایندی است که به تعیین سطح بهینه تولید و موجودی برای رویارویی با تقاضای تمام محصولات در یک دوره زمانی بلند مدت با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت منابع و امکانات می‌پردازد. در این پژوهش ارائه و حل مدل ریاضی چند هدفه چند محصولی چندمرحله‌ای برای چند دوره جهت برنامه‌ریزی تولید ادغامی در یک زنجیره تأمین معکوس در شرکت قطعات بتنی بروجن استحکام موردمطالعه قرار خواهد گرفت. این زنجیره سه سطحی شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکننده و مشتریان است و یک مرکز بازسازی نیز برای ترمیم محصولاتی که از مراحل فرایند تولید خارج‌شده و نیاز به ترمیم دارند، می‌باشد.

مهم‌ترین هدف از انجام تحقیق حاضر مطالعه نحوه عملکرد تولیدکننده در اخذ تصمیمات مرتبط به نحوه تولید و تأمین محصولات مورد نظر است. تولیدکننده یا می‌تواند محصولات موردنیازش را به‌تنهایی تولید کند و در مورد هزینه‌های تولید و کیفیت، تعداد نیروی کار، ساعات کار عادی و اضافه‌کاری و... تصمیم بگیرد و یا اینکه در برنامه‌ریزی تولید ادغامی تولیدکننده می‌تواند در تأمین بخشی از محصولات موردنیازش برون‌سپاری کرده و درواقع از تأمین‌کنندگان استفاده کند. در تصمیم به استفاده از تأمین‌کنندگان نیز تولیدکننده باید در مورد هزینه، سطح کیفیت و اولویت‌بندی هر یک از تأمین‌کنندگان نیز تصمیم بگیرد. در این راستا در مدل رسیدن به یک رابطه برد–برد با تأمین‌کنندگان مدنظر است؛ بنابراین در طراحی مدل کاربردی–توسعه‌یافته پیشنهادشده، تصمیماتی از قبیل تعیین سهم تأمین‌کنندگان، مرکز بازسازی و تولید در ساعات کار عادی و اضافه‌کاری در تولید هر یک از محصولات و میزان محصول ارسالی به هر یک از مشتریان در نظر گرفته‌شده است. به‌طوری‌که اهدافی از قبیل کمینه‌سازی هزینه‌های تولیدکننده نظیر هزینه‌های تولید، هزینه‌های نگهداری و کسری موجودی، هزینه تأمین محصولات از طریق برون‌سپاری، بیشینه‌سازی کیفیت محصولات تولیدی در ساعات کار عادی، اضافه‌کاری، توسط تولیدکننده، تأمین‌کنندگان و یا تهیه محصول از مرکز بازسازی در نظر گرفته‌شده است. علاوه براین به ارزیابی تأمین‌کنندگان نیز توجه شده است؛ بنابراین با توجه به عنایت خاص شرکت قطعات بتنی بروجن استحکام به موضوع برنامه‌ریزی تولید ادغامی، لذا تحقیق حاضر به‌عنوان پاسخی مناسب به نیاز آن صنعت در قالب مدلی ریاضی چندهدفه پیرامون برنامه‌ریزی تولید ادغامی در زنجیره تأمین معکوس با عنایت و توجه خاص به هر یک از اجزاء این زنجیره موردمطالعه قرار گرفت. همچنین با تبادل‌نظر اولیه با مسئولین آن صنعت و مطالعه تحقیقات موجود در این زمینه مبانی نظری تحقیق توسعه بیشتری و مدل در قالب یک زنجیره تأمین معکوس که پارامتر تابع هدف کیفیت محصول تولیدی تولیدکننده و مرکز بازسازی در ساعت کار عادی و اضافه‌کاری است. عدم دسترسی یا ناقص بودن داده‌ها در مسائل بهینه‌سازی شبکه در دنیای واقعی یک چالش مهم است که باعث ایجاد

عدم قطعیت‌های زیادی در چنین مسئله‌ای شده است. به‌منظور مواجهه با مشکل موردنظر، پارامترهای غیرقطعی از طریق اعداد فازی توضیح داده‌شده توسط توزیع احتمالی‌شان ارائه می‌گردد. توزیعات احتمالی بر اساس داده‌های ناکافی فعلی و دانش تصمیم‌گیرندگان در این زمینه تخمین زده می‌شود. موضوع اصلی در این برنامه تولید ادغامی درزمینه پارامترهای مربوط کیفیت محصولات تولیدی توسط تولیدکننده و مرکز بازسازی در ساعات عادی و اضافه‌کاری و نیز برخی از پارامترهای موجود در تعدادی از محدودیت‌های مدل در حالت عدم قطعیت به روش استوارسازی مالوی طراحی‌شده است. (Rezaie Moghaddam, (Yousefi, Karbasian & Khayyam, 2018)

در ادامه تحقیق حاضر ابتدا مروری بر پیشینه تحقیق بیان خواهد شد، سپس مدل ریاضی پیشنهادی معرفی می‌شود و بعدازآن روش حل مدل تشریح شده و در انتها مدل با داده‌های واقعی اخذشده از آن صنعت حل خواهد شد.

الف) مروری بر پیشینه تحقیق

در یک تحقیق انجام شده، به‌کارگیری برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی در برنامه‌ریزی تولید ادغامی نشان داده شده است. در آن مقاله کاربردی از برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی جهت حل مسائل تصمیم‌گیری برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصولی، در محیط فازی ارائه شده است. مدل پیشنهادی سعی بر این دارد که هزینه تولید کل، هزینه نگهداری و سفارشات عقب‌افتاده و نرخ تغییرات در نیروی انسانی را با در نظر گرفتن سطح موجودی، نیروی انسانی، ظرفیت فضای انبار و ارزش زمانی پول، کمینه کند. یک مثال عددی نیز جهت به‌کارگیری مدل پیشنهادی ارائه‌شده، و در مورد مزایای این مدل نیز بحث شده است. مدل پیشنهادی منجر به یک حل توافقی می‌شود که در آن تصمیم‌گیرنده موفق به ارضاء تمامی سطوح می‌گردد. درنهایت، این مدل با دیگر مدل‌های برنامه‌ریزی تولید ادغامی مقایسه شده و مشخصه‌های بارز و معنی‌دار این مدل ارائه‌شده است. (Hajji & Mohammad Rahimi,2019).

پژوهشگران دیگری به ارائه مدلی جهت بهینه‌سازی برنامه تولید و توزیع در زنجیره تأمین پرداختند. در آن تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط به‌منظور یکپارچه‌سازی برنامه تولید و توزیع در یک زنجیره تأمین ارائه شده است. هدف مورد نظر در مدل، کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل از طریق استفاده از تخفیفات قیمتی ارائه‌شده توسط شرکت‌های حمل‌ونقل می‌باشد. به دلیل پیچیدگی مسئله ارائه‌شده در ابعاد بزرگ و اثبات پیچیده بودن آن در ادبیات، از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید به‌عنوان دو الگوریتم فرا ابتکاری به‌منظور حل مدل پیشنهادی استفاده‌شده است. سپس عملکرد مناسب الگوریتم‌های فرا ابتکاری توسعه‌یافته در حل مسائل با ابعاد مختلف نشان داده و درنهایت نتایج به‌دست‌آمده از اجرای این الگوریتم‌ها مورد مقایسه قرارگرفته‌اند.(Kazemi, & Kongi, 2012).

در یک تحقیق، مدل بهینه‌سازی استوار برنامه تولید ادغامی در زنجیره تأمین سبز تحت شرایط عدم قطعیت برای انتخاب تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان شده است. توجه به آنکه برنامه‌ریزی تولید ادغامی یکی از فعالیت‌هایی می‌باشد که در سطح تاکتیکی و عملیاتی زنجیره تأمین مطرح می‌شود، در آن پژوهش به‌منظور یکپارچگی اعضای زنجیره و افزایش سود شرکت‌ها به ارائه مدل برنامه تولید ادغامی در زنجیره تأمین سبز برای انتخاب تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان پرداخته‌شده است. در مدل پیشنهادی چندین تأمین‌کننده، تولیدکننده و توزیع‌کننده در نظر گرفته‌شده و سه معیار قیمت، کیفیت و زمان تأخیر به‌عنوان معیارهای اصلی برای انتخاب اعضای زنجیره مدنظر قرار داده‌شده است. برای سبز در نظر گرفتن زنجیره تأمین هم مقدار گاز کربن منتشرشده در اثر حمل‌ونقل محصولات و مواد اولیه و تولید محصولات در مراکز تولیدی را لحاظ می‌کنند. همچنین برخی از پارامترهای مدل همچون تقاضا، قیمت خریدوفروش، هزینه‌های تولید، نگهداری و کمبود به علت ماهیت آن‌ها، به‌صورت غیرقطعی در نظر گرفته‌شده و برای مقابله با عدم قطعیت پارامترها، از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده می‌شود. همچنین جهت اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مطالعه موردی در شرکت کاغذسازی تبریز انجام‌گرفته و نتایج حاصل از مدل پیشنهادی با نتایج واقعی شرکت مقایسه شده است.(Mohammadzadeh, & Zare Mehrjoudi, 2014)

تحقیقی با عنوان حل مدل ریاضی جدید چند هدفه فازی زنجیره تأمین بر اساس اندازه لزوم فازی انجام شده است که در آن، با توجه به اهمیت تأثیرات زنجیره تأمین، یک مدل ریاضی چند هدفه فازی ارائه شده است. که علاوه بر در نظر گرفتن اثرات

زیست‌محیطی و اقتصادی، تأثیرات اجتماعی را نیز در نظر می‌گیرد. به‌منظور نزدیک شدن مدل ارائه‌شده به شرایط دنیای واقعی برخی از پارامترها تحت شرایط عدم قطعیت و به‌صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است. برای حل مدل پیشنهادی یک روش دومرحله‌ای ارائه می‌گردد. در مرحله اول مدل با استفاده از روش اندازه لزوم، به یک مسئله چند هدفه قطعی تبدیل می‌شود و در گام دوم مدل به‌دست‌آمده با استفاده از روش تابع تجمعی حل شده و درنهایت به‌منظور نشان دادن قابلیت کاربردی روش پیشنهادی، یک مطالعه موردی واقعی صنعتی ارائه شده است(Mansoori, Iranzadeh, & Hadi, 2012).

در مطالعه‌ای که توسط نویسندگان انجام گرفته، برنامه تولید تجمیعی در قالب یک زنجیره تأمین معکوس با استفاده از مدل‌سازی ریاضی چند هدفه در شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته‌شده است. فرایند زنجیره تأمین مذکور شامل سه سطح اعم از تأمین‌کنندگان، تولیدکننده و مشتریان است و یک مرکز نگهداری و تعمیرات و یک مرکز بازسازی نیز در آن وجود دارد. اولین تابع هدف مدل مذکور حداقل سازی انواع هزینه، تابع هدف دوم حداکثر سازی کیفیت محصول تولیدی در زنجیره تأمین مذکور، تابع هدف سوم و چهارم به ترتیب بیانگر حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان است. در این مدل تابع هدف سوم در شرایط عدم قطعیت با استفاده از روش استوار سازی مالوی بر اساس سناریو نویسی طراحی‌شده است. در این مطالعه جواب توابع هدف و مقدار متغیرهای تصمیم مطرح‌شده در مدل تعیین شدند و نتایج حاصل مورد تائید مسئولین صنعت مربوطه واقع شد. همچنین برای دستیابی به دامنه بیشتری از مجموعه جواب‌های پارتویی مناسب‌تر، از عملگرهای الگوریتم ژنتیک نیز در طراحی الگوریتم ازدحام ذرات در نرم‌افزار متلب استفاده شده است(Doosti & Rezaei Moghadam, 2020).

در مطالعه بعدی که توسط نویسندگان ارائه شده است. حل مدل ریاضی چند هدفه جهت برنامه‌ریزی تولید در شرکت قطعات بتنی بروجن استحکام موردمطالعه قرار گرفته. در این صنعت در کنار واحد تولید یک مرکز بازسازی نیز وجود دارد که محصولات نیازمند ترمیم به آنجا ارسال‌شده و در صورت تأیید کنترل کیفیت برای فروش ارسال می‌شوند. مهم‌ترین هدف از انجام آن تحقیق مطالعه نحوه برنامه‌ریزی تولیدکننده در اخذ تصمیمات مرتبط به تولید محصولات موردنظر است و تولیدکننده در این راستا در مورد هزینه‌های تولید و کیفیت محصولات تولیدی، تعداد نیروی کار، ساعات کار عادی و اضافه‌کاری مرکز تولید و مرکز بازسازی و حداقل سازی سطح سرویس به مشتریان و حداکثر سازی حداقل قابلیت اطمینان تصمیم گیرد؛ بنابراین با توجه به عنایت خاص مسئولین صنعت مذکور به موضوع برنامه‌ریزی تولید یک مدل ریاضی چند هدفه چند محصولی، چندمرحله‌ای و چند دوره‌ای احتمالی با استفاده از روش مارکویتز برای آن صنعت طراحی و در نرم‌افزار گمز حل گردید که به‌منظور اعتبارسنجی نتایج آن مورد تأیید مسئولین مربوطه قرار گرفت(Rezaei Moghadam, & Doosti, 2020). یک مدل ریاضی چندهدفه در مورد برنامه‌ریزی تولید تجمیع که در یک پژوهش ارائه‌شده است. محدودیت منابع مطرح و با الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک مورد بررسی قرارداده شده است. در طراحی آن مدل به اهدافی از قبیل حداکثر سازی سود، حداقل کردن کمبود، حداکثر کردن استفاده از امکانات موجود، حداقل زمان اضافه‌کاری و پارامترهایی مانند ساعات کار نیروی انسانی و زمان استفاده از ماشین برای تولید هر واحد از محصول، هزینه تولید و هزینه اضافه‌کاری تولید هر واحد محصول، ظرفیت ماشین در زمان عادی تولید هر واحد محصول و نظایر آن اشاره‌شده است (Rabieh & Fadaei, 2011). میرزاپور و همکارانش، مدل چندهدفه بهینه‌سازی استوار برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصولی در زنجیره تأمین در شرایط عدم اطمینان را بررسی کردند. در آن پژوهش زنجیره تأمین شامل تأمین‌کنندگان متعدد، تولیدکنندگان متعدد و مشتریانی متعدد است و مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند دوره‌ای، چند محصولی با شرایط عدم قطعیت در آن مطرح شده است. برای اولین بار مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه یک عدد صحیح مختلط جدید با رویکرد بهینه‌سازی استوار و در نظر گرفتن به‌طور هم‌زمان اهداف متضاد در یک زنجیره تأمین در حالت عدم قطعیت پیشنهاد شده است. هدف اول شامل به حداقل رساندن هزینه تولید، استخدام، اخراج و هزینه آموزش، تهیه مواد اولیه، هزینه نگهداری موجودی محصول، حمل‌ونقل و هزینه کمبود است. هدف دوم به حداقل رساندن مجموع حداکثر مقدار کمبود در میان مناطق مشتریان در تمام دوره با در نظر گرفتن رضایت مشتری توجه کرده است. در آن مطالعه، همچنین سطح کار، بهره‌وری کارگران، اضافه‌کاری، پیمانکاری، ظرفیت ذخیره‌سازی و زمان نیز در نظر گرفته شده. درنهایت، مدل ارائه‌شده به‌عنوان یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح حل‌شده است. نتایج حاصل از مطالعه نشان داده که مدل ارائه‌شده می‌تواند یک روش

امیدبخش به انجام یک برنامه‌ریزی تولید کارآمد در یک زنجیره تأمین منجر شود. (Mirzapour, Malekly & Aryanezhad, 2011). پژوهشگران، ارائه یک الگوریتم کارآمد برای حل مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی چندهدفه استوار در حالت عدم قطعیت را مطالعه و نتایج آن را گزارش داده‌اند. در آن تحقیق یک مدل چندهدفه برای حل مشکل برنامه‌ریزی تولید ادغامی برای چند دوره چند محصولی را برای یک افق میان‌مدت تحت عدم قطعیت ارائه داده شده است. در مدل مذکور، هدف اول تلاش برای به حداقل رساندن مجموع ارزش مورد انتظار و هزینه کلی تعداد موجودی، هزینه اضافه‌کاری و پیمانکاری، سفارشات برگشتی، ظرفیت ماشین‌آلات و ظرفیت انبار مطرح شده است. در تابع هدف دوم نیز حداقل رساندن کمبود در میان مناطق تمام مشتریان موردتوجه قرار گرفته است. علاوه براین آخرین تابع هدف در مورد به حداکثر رساندن بهره‌وری کارگران، میانگین وزنی سطح بهره‌وری در تمام کارخانه‌ها و در تمام دوره بوده است. پس‌ازآن، مدل با الگوریتم ژنتیک حل‌شده استنتاج کارایی مدل را نشان داده است. (Mirzapour, Aryanezhad & Sadjadi, 2012). مدل برنامه‌ریزی تولید ادغامی در یک زنجیره تأمین سبز با توجه به زمان تأخیر انعطاف‌پذیر، با توابع هزینه کمبود و خرید غیرخطی مورد بررسی قرار داده شده است. محقق، در پی توسعه یک روش برنامه‌ریزی تولید ادغامی برای چند دوره، چند محصولی در زنجیره تأمین سبز برای یک افق میان‌مدت با فرض عدم اطمینان تقاضا است. مدل ارائه‌شده به ویژگی‌هایی مانند هزینه حمل، رابطه بین زمان تأخیر تا دریافت و هزینه حمل، مقدار تخفیف برای تشویق سازنده به سفارش بیشتر توجه نموده است. مدل ارائه‌شده برای اولین بار یک برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی است و درنهایت، با یک مثال عددی برای نشان دادن اعتبار مدل ارائه‌شده است. (Mirzapour, Baboli & Sazvar, 2013)

یزدانی و همکارانش، در مقاله‌ای به طراحی یک شبکه زنجیره تأمین بسته چند محصولی پرداخته‌اند که در آن برخی از مراکز تولید اختلالات جزئی و کلی را تجربه می‌کند. شبکه پیشنهادی دارای سه سطح در جهت جلو (به‌عنوان‌مثال، تأمین‌کنندگان، کارخانه‌ها و توزیع‌کنندگان) و سه سطح در جهت معکوس (به‌عنوان‌مثال، مراکز جمع‌آوری، توزیع مجدد و دفع) است. در ابتدا، گیاهان مواد اولیه موردنیاز خود را از تأمین‌کنندگان تهیه می‌کنند. پس از تولید در گیاهان، محصولات نهایی از طریق مراکز توزیع به مشتریان تحویل داده می‌شود، درصدی از این محصولات توسط مراکز جمع‌آوری از مشتریان جمع می‌شود. در مراکز جمع‌آوری، درصد محصولات برای بازیافت به کارخانه‌های تولیدی بازگردانده می‌شود، درصدی از آن‌ها برای فروش به مشتریان ثانویه به مراکز توزیع مجدد ارسال می‌شود و درصدی که توانایی اقلام ذکرشده را نداشته باشد، به مراکز دفع ارسال می‌شود. مدل ریاضی ارائه‌شده در این مطالعه یک مدل غیرخطی عدد صحیح مختلط دو هدفه است و در عین حال حداکثر سود، زمان تحویل به مشتریان به حداقل می‌رسد. برای اعتبارسنجی مدل، یک مثال عددی توسط منحنی پارتو ارائه‌شده است که در آن سود در مقابل زمان است. .(Yazdani, Tavakoli Moghadam, & Bashiri, 2013). رامیار و همکاران، یک مدل برنامه تولید ادغامی چند هدفه، چند محصولی و چندمرحله‌ای را در یک زنجیره تأمین ارائه دادند. در مدل پیشنهادی اهدافی از قبیل به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره تأمین اشاره‌شده است که هزینه‌ها شامل به حداقل رساندن هزینه موجودی، هزینه‌های تولید، هزینه‌های نیروی کار، هزینه‌های استخدام بوده است و تابع هدف دوم به حداکثر رساندن حداقل قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن زمان‌های تأخیر مجاز برای بهبود کارایی سیستم تولیدی موردنظر پرداخته است. ازآنجاکه مسائل NP-Hard[1] یا مسائل چندجمله‌ای پیچیده غیر قطعیت است، از الگوریتم جستجو چند هدفه برای حل آن استفاده‌شده است که برای مقایسه پاسخ‌ها از الگوریتم ژنتیک استفاده‌شده که مجموعه پاسخ‌های پارتویی در خصوص پایداری مدل رضایت‌بخش بوده است. . (Ramyar, Mehdizadeh & Hadji Molana, 2017)

در یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی ادغامی چند محصولی و چند دوره‌ای برای یک سیستم تولیدی ارائه شده در یک تحقیق، به دلیل مشارکت بیش‌ازحد ذینفعان و همچنین عدم اطمینان، برنامه‌ریزی تولید ادغامی در معاملات گاهی با تمام معیارهای هزینه مربوطه بسیار پیچیده می‌شود. بیشتر رویکردهای موجود فقط به حداقل رساندن هزینه‌های مربوط به تولید توجه کرده‌اند، درنتیجه

[1] Nondeterministic polynomial time hard problem

سایر هزینه‌ها، مانند هزینه‌های مربوط به زنجیره تأمین را نادیده گرفته‌اند. مدل پیشنهادی تلاش کرده است که تمام هزینه‌های مربوط به زنجیره تأمین در نظر مانند هزینه خرید مواد اولیه، سفارش و موجودی کالا، موجودی کالاهای نهایی و هزینه‌های تحویل در قابل در نظر گرفته است. فاکتورهای هزینه و فرآیند فرمول‌بندی در مدل ریاضی – سایپرز، باشگاه دانش یک مورد صنعتی واقعی مسئله با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک برای نشان دادن کاربرد و فرموله سازی و حل می‌شود امکان‌پذیری مدل پیشنهادی. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی قادر به حل هر نوع برنامه‌ریزی تولید ادغامی به‌طور کارآمد است (Ahmed, Biswas & Nundy, 2019).

اطلاعات جدول شماره (۱) به‌صورت: فرآیند (۱– مرکز تولید و ۲– مرکز بازسازی)، مرحله و دوره (۱– تک‌مرحله‌ای و ۲– چندمرحله‌ای و ۳– چند دوره‌ای)، محصولات (۱– تک‌محصولی و ۲– چند محصولی)، شرایط مدل (۱– قطعیت، ۲– عدم قطعیت، ۳– فازی،۴– استوار فازی ۵– استوار فازی احتمالی ۶– احتمالی ۷– اندازه لزوم فازی) است. نوع زنجیره تأمین (۱– مستقیم ۲– معکوس).

جدول شماره (۱): تحقیقات انجام‌شده

نویسنده/ سال	تعداد اهداف	مطالعه موردی	ابزار روش حل	فرآیند	مرحله و دوره	محصولات	شرایط مدل	نوع زنجیره تأمین
	چند هدفه – تک هدفه			۱یا ۲	۱–۳	۱ یا۲	۱–۷	۱یا ۲
حجی /۲۰۰۷	چند هدفه–هزینه تولید کل، هزینه نگهداری و سفارشات عقب‌افتاده و نرخ تغییرات در نیروی انسانی را با در نظر گرفتن سطح موجودی، نیروی انسانی، ظرفیت فضای انبار و ارزش زمانی پول، کمینه کند	مثال عددی	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	۱	۲	۲	۳	
کاظمی /۲۰۱۲	کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل		الگوریتم ژنتیک و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید	۱	۲	۲	۱	۱
خاتمی فیروزآبادی/۲۰۱۲	چند هدفه- حداکثر سازی درآمد و حداقل سازی هزینه تولید	شرکت لوله و ماشین‌سازی ایران	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	۱	۳	۲	۱	۲
محمدزاده/۲۰۱۴	تک هدفه	کاغذسازی تبریز	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار گمز	۲	۲	۲	۴	۱
طلوعی / ۲۰۱۴	چند هدفه- حداکثر سازی سود و رضایت مشتریان و حداقل سازی هزینه‌های تولید	شرکت پلیمر البرز	حل با الگوریتم ژنتیک	۱	۲	۲	۳	۲
آذر/۲۰۱۳	چند هدفه- به حداقل رساندن هزینه‌های لجستیک و هزینه تأخیرها و به حداکثر رساندن سود	گروه صنعتی برنز	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	۱	۲	۲	۱	۱
کوپایی حاجی /	چند هدفه- حداکثر سازی سود و	مثال عددی	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار	۱	۲	۲	۱	1

۲۰۱۴	تعیین میزان خرید از تأمین‌کنندگان		گمز					
اعظمی /۲۰۱۵	چند هدفه- حداقل سازی هزینه	مقال عددی		۱	۲	۲	۳	۱
نوبیل /۲۰۱۶	چند هدفه- حداقل سازی کل هزینه‌ها و کل زمان ارسال	مثال عددی	الگوریتم ژنتیک	۱	۳	۲	۳	۲
جبارزاده /۲۰۱۶	چند هدفه- توابع حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی هزینه	مثال عددی	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار گمز	۱			۱	
زرین پور/۲۰۱۷	تک هدفه- کمینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی	مثال عددی	در نرم‌افزار گمز	۱	۲	۲	۴	۱
رضایی مقدم/۲۰۱۷	چند هدفه- توابع حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی کیفیت، حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان	Hig-Tech	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار گمز	۲	۲	۲	۱	۲
منصوری و همکاران/ ۲۰۱۸	-حداقل کردن هزینه کل - حداقل کردن تأثیرات کلی زیست‌محیطی - حداکثر کردن تأثیر اجتماعی	شرکت تولید نوشابه	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار گمز	۱	۱	۲	۷	۱
رضایی مقدم/۲۰۱۸	چند هدفه- توابع حداقل سازی هزینه (عدم قطعیت) و حداکثر سازی کیفیت، حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان	Hig-Tech	حل با الگوریتم ژنتیک	۲	۲	۲	۵	۲
رضایی مقدم/۲۰۲۰	توابع حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی کیفیت، حداقل کردن مجموع وزنی حداکثر کمبود در میان مشتریان و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان	High-tech	حل با الگوریتم ترکیبی MPSOGA	۲	۲	۲	۲	۲
رضایی مقدم/۲۰۲۰	حداکثر سازی سود و کیفیت مرکز تولید و مرکز بازسازی، حداکثر سازی قابلیت اطمینان و سطح سرویس	شرکت قطعات بتنی بروجن استحکام	Lp متریک و کد نویسی در نرم‌افزار گمز	۲	۲	۲	۶	
حسینی /۲۰۱۹	چند هدفه- هزینه و حداکثر سازی	مثال عددی	حل با الگوریتم	۱	۲	۲		۱

	رضایت مشتریان		ژنتیک					
نظری /۲۰۱۸	چند هدفه– سود هزینه	مثال عددی	حل با الگوریتم تابوسرچ	۱	۲	۲	۲	۱
ربیعه / ۲۰۱۱	چند هدفه– حداکثر سازی سود، حداقل کردن کمبود	مثال عددی	الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک	۱	2	2	۱	۱
میرزاپور/۲۰۱۱	چند هدفه– حداکثر سازی سود و مینیمم سازی مواد خام مازاد	مثال عددی	با روش p متریک و کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	۱و۲	۲	۲	۵	۲
میرزاپور/۲۰۱۲	چند هدفه– مینیمم سازی مجموع ارزش انتظاری از کل هزینه، ماکزیمم سازی خدمات به مشتریان و ماکزیمم سازی بهره‌وری	مثال عددی	الگوریتم ژنتیک برای حل مدل چندهدفه	۱	۲	۲	۵	۲
میرزاپور/۲۰۱۳	چند هدفه– حداکثر سازی سود و مینیمم سازی مواد خام مازاد	مثال عددی	کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	۱	۲	۲	۵	۱
یزدانی /۲۰۱۳	چند هدفه– حداکثر سود، حداقل سازی زمان تحویل به مشتریان	مثال عددی		۲	۲	۲	۱	۲
رامیار/ ۲۰۱۷	چند هدفه– حداقل سازی هزینه تولید حداکثر سازی قابلیت اطمینان تأمین‌کنندگان	مثال عددی	الگوریتم جستجووژنتیک برای حل مدل چندهدفه	۲	۲	۲	۱	۱
سوتریسنو/۲۰۱۹	کمینه‌سازی هزینه خرید و حداکثر سازی تعداد کل تولید	مثال عددی	کد نویسی در نرم‌افزار لینگو	1	۲	۲	۶	
احمید /۲۰۱۹	حداقل رساندن هزینه‌های مربوط به تولید	باشگاه دانش	الگوریتم ژنتیک	۱	۲	۲	۱	
مهرمنش/۲۰۲۰	حداکثر رساندن سود	خط تولید قوطی و سطل زباله	کد نویسی در نرم افزارگمز	1	۲	۲	1	1
مدل پیشنهادی	چند هدفه– توابع حداقل سازی هزینه حداکثر سازی کیفیت (فازی) و حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا وکمینه‌سازی حداکثر عدم قابلیت اطمینان در هر مرحله از تولید	شرکت قطعات بتنی بروجن استحکام	روش تعاملی، تابع تجمعی و کد نویسی در نرم‌افزار گمز	۲	۲	۲	۷	۲

۲- روش شناسی تحقیق

زنجیره تأمین مدل پیشنهادی دارای ۳ سطح اصلی شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکننده و مشتری می‌باشد همچنین این زنجیره از مرکز بازسازی برخوردار است. در این زنجیره تأمین معکوس، یک تولیدکننده مبادرت به ارسال چندین محصول برای مشتریان می‌نماید. بخشی از نیاز مشتریان در ساعات کار عادی و ساعات اضافه‌کاری توسط خود تولیدکننده، تولید می‌شود. همچنین بخش دیگری از نیاز تولیدکننده توسط تأمین‌کنندگان مختلف برای تولیدکننده ارسال و از طریق آن برای مشتریان فرستاده می‌شود. در ادامه این فرایند در زنجیره تأمین مذکور محصول ارسال‌شده به مشتریان در صورت خراب بودن توسط مشتریان به مرکز بازسازی ارسال‌شده و در این مرکز بعد از انجام اقدامات اصلاحی مربوطه به‌صورت محصول نهایی برای تولیدکننده ارسال می‌گردد تا در سیکل‌های بعد مجدداً برای مشتریان ارسال شود.

الف) مفروضات مدل پیشنهادی

محصولات در یک زنجیره تأمین سه سطحی حلقه بسته تأمین و تولیدشده و به فروش می‌رسد. این زنجیره شامل چندین تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چندین مشتری بوده و از یک مرکز بازسازی برخورداراست

- ✓سیستم تولید چندمرحله‌ای است
- ✓در این سیستم تولیدی چند محصول هم‌خانواده تولید می‌شود
- ✓برای چند دوره برنامه‌ریزی انجام می‌شود
- ✓ پارامترهای کیفیت محصول تولیدی مدل در حالت عدم قطعیت است
- ✓در این فرایند یک واحد بازسازی وجود دارد که محصولات نیاز به رفع نواقص ناشی از تولید به آن مرکز ارسال می‌شود
- ✓کیفیت محصولات تولیدی در زمان عادی و اضافه‌کاری یکسان در نظر گرفته‌شده‌اند
- ✓کیفیت محصولات خارج‌شده از مرکز بازرسی یکسان با محصولات سالمی که از خط تولید برای واحد فروش ارسال می‌شوند فرض شده است
- ✓ کیفیت محصولات تولیدی تأمین‌کنندگان با تولیدکننده متفاوت است.
- ✓ظرفیت تولید در ساعات کار عادی و اضافه‌کاری متفاوت در نظر گرفته‌شده است
- ✓هزینه تولید در ساعات اضافه‌کاری و ساعات کار عادی متفاوت است
- ✓سطح موجودی، نیروی کار، فضای انبار از ماکزیمم سطح مجاز نمی‌تواند تجاوز کند
- ✓به دلیل تفاوت اندک در حجم تقاضای مستقل، برای محصولات خانواده یکسان در نظر گرفته‌شده است
- ✓تأمین‌کنندگان ازلحاظ قیمت، زمان تحویل محصول متفاوت‌اند.
- ✓ کلیه هزینه‌ها و قیمت در این زنجیره در شرایط قطعیت هستند.

ب) مجموعه اندیس‌ها

i	مجموعه محصولات	$i = \{1,2,\dots,I\}$
k	مجموعه مشتریان	$k = \{1,2,\dots,K$
t	مجموعه دوره زمانی	$t = \{1,2,\dots,T\}$
j	مجموعه تأمین‌کننده	$j = \{1,2,\dots,J\}$
m	مجموعه مراحل تولید	$m = \{1,2,\dots,M\}$

ج) پارامترهای مدل

d_{ikt} تقاضای پیش‌بینی‌شده محصول i در دوره t برای مشتریk .

$\propto_{ikt}$ درصد محصول i برگشتی توسط مشتری k به مرکز تولید در دوره t.

$\widehat{CAPP}$ ظرفیت نگهداری کالا در مرکز تولیدکننده

$\widehat{CAPD}$ ظرفیت نگهداری کالا در مرکز بازسازی

CPR_i هزینه تولید یک واحد محصول i در ساعات عادی

CPO_i هزینه تولید یک واحد محصول i در ساعات اضافه‌کاری.

CD_i هزینه تهیه یک واحد محصول i از مرکز بازسازی

CLR_t هزینه یک نفر کارگر در دوره t در زمان عادی

CLO_t هزینه یک نفر کارگر در دوره t در زمان اضافه‌کاری

HC_t هزینه استخدام یک نفر نیروی انسانی در دوره t.

FC_t هزینه اخراج یک نفر نیروی انسانی در دوره t

HIP_{it} هزینه نگهداری یک واحد محصول i در دوره t در انبار تولیدکننده.

HID_{it} هزینه نگهداری یک واحد محصول i در انبار مرکز بازسازی در دوره t.

π_{ikt} هزینه کمبود یک واحد کالا i برای مشتری k در دوره t .

$\widetilde{QR_{it}}$ ضریب کیفیت تولید محصول i در دوره t در ساعات عادی.

$\widetilde{QO_{it}}$ ضریب کیفیت تولید محصول i در دوره t در ساعات اضافه‌کاری.

$\widetilde{QD_{it}}$ ضریب کیفیت تولید محصول i در دوره t توسط مرکز بازسازی.

Re_m ضریب عدم احتمال کارکرد سالم مرحله m

MW_t ماکزیمم نیروی کار در دسترس در دوره t

$\widetilde{MOT_t}$ ماکزیمم ساعات اضافه‌کاری در دسترس در دروه t

TW حداکثر تعداد ساعات کاری در زمان عادی

TP_i میزان نفر–ساعت موردنیاز برای تولید محصول i (در ساعات اضافه‌کاری و ساعات کار عادی).

γ_t درصد تغییر مجاز در نیروی انسانی در دوره t.

P_{ikt} قیمت فروش محصول نهایی i به مشتری k در دوره t.

WSC_j ضریب اهمیت تأمین‌کننده j

CSC_{ij} هزینه تأمین یک واحد محصول نهایی از تأمین‌کننده j

$\widetilde{QSC_{ijt}}$ ضریب کیفیت تولید محصول i توسط تأمین‌کننده j در دوره t.

MSC_{ijt} حداکثر مجاز تأمین محصول i از تأمین‌کننده j

$CPRD_i$ هزینه تولید یک واحد محصول i در ساعات عادی واحد بازسازی.

$CPOD_i$ هزینه تولید یک واحد محصول i در ساعات اضافه‌کاری واحد بازسازی.

VAR واریانس پارامترهای کیفیت مدل.

λ پارامتر وزن دهی است و مقدار آن در بازه [۱و۰] تغییر می‌کند.

د) متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی

B_{ikt} میزان کسری (سفارش عقب‌افتاده) محصول نهایی i در دوره t برای مشتری k

XP_{it} میزان تولید محصولات خانواده i در زمان تولید عادی در دوره t

YP_{it} میزان تولید محصولات خانواده i در زمان اضافه‌کاری در دوره t

ZD_{it} میزان تأمین محصولات خانواده i توسط مرکز بازسازی در دوره t

F_{ikt} میزان محصول ارسالی خانواده i در دوره t برای مشتری k

OT_t ساعات اضافه‌کاری موردنیاز در دوره t

IP_{it} سطح موجودی محصول خانواده i در انتهای دوره t برای تولیدکننده

WL_t تعداد نیروی کار موردنیاز در دوره t

HL_t تعداد نیروی کار استخدام‌شده در دوره t

FL_t تعداد نیروی کار اخراج شده در دوره t

ZC_{ikt} میزان محصولات ارسالی خانواده i در دوره t برای مشتری k

ID_{it} سطح موجودی محصول خانواده i در انتهای دوره t در مرکز بازسازی

XD_{it} میزان تولید محصول خانواده i در زمان کار عادی در دوره t واحد بازسازی

YD_{it} میزان تولید محصول خانواده i در زمان اضافه‌کاری در دوره t واحد بازسازی

SC_{ijt} میزان تولید محصول خانواده i که در دوره t توسط تأمین‌کننده j تهیه می‌شود

AA_{imt} اگر مرحله m در دوره t برای تولید محصول i آماده باشد یک و در غیر این صورت صفر

ه) روابط مدل ریاضی پیشنهادی

$$\text{Min}z_1 = \sum_t\sum_i(CPR_i\,XP_{it} + CPO_i YP_{it} + CPRD_i XD_{it}) + \sum_t\sum_j\sum_i(CSC_{ij}\,.\,SC_{ijt}) + \sum_t\sum_i(CD_i\,.\,ZD_{it}) + \sum_t(CLR_t\,.\,WL_t + CLO_t OT_t) + \sum_t(HL_t\,.\,HC_t + FL_t.\,FC_t) + \sum_t\sum_i IP_{it}\,.\,HIP_{it} + ID_{it}.HID_{it} + \sum_t\sum_i\sum_k B_{ikt}.\pi_{ikt} - \sum_t\sum_i\sum_k F_{ikt}\,.\,P_{ikt}$$ رابطه ۱)

$$\text{Max}z_2 = \sum_t\sum_i(XP_{it}\,.\,\widetilde{QR_{it}} + YP_{it}.\,\widetilde{QO_{it}}) + \sum_t\sum_i\sum_j(SC_{ijt}.\,\widetilde{QSC_{ijt}}) + \sum_t\sum_i(ZD_{it}\,.\,\widetilde{QD_{it}})$$ رابطه ۲)

$$\text{Max}z_3 = \sum_t \min_j(WSC_j.\sum_i SC_{ijt})$$ رابطه ۳)

$$\text{Min}_4 = \sum_t \max_m(1 - Re_m.\sum_i AA_{imt})$$ رابطه ۴)

Subject to:

$$IP_{i(t-1)} + XP_{it} + YP_{it} + \sum_j SC_{ijt} + ZD_{it} + \sum_k B_{ik(t-1)} = \sum_k B_{ik(t-1)} + \sum_k F_{ikt} + IP_{it}\ \forall i,t$$ رابطه ۵)

$$ID_{it} = ID_{i(t-1)} + \sum_k \alpha_{ikt}\,.\,F_{ikt} - ZD_{it}\ \forall i,t$$ رابطه ۶)

$$\sum_i IP_{it} \le \widetilde{CAPP}\ \forall t$$ رابطه ۷)

$$\sum_i ID_{it} \le \widetilde{CAPD}\ \forall t$$ رابطه ۸)

$$WL_t \le MW_t\ \forall t$$ رابطه ۹)

$$WL_t = WL_{(t-1)} + HL_t - FL_t \qquad \forall t$$ رابطه ۱۰)

$$HL_t\,.\,FL_t = 0 \qquad \forall t$$ رابطه ۱۱)

$$OT_t \le \widetilde{MOT_t} \qquad \forall t$$ رابطه ۱۲)

$$\sum_i \widetilde{TP_i}\ .X\,P_{it} \le \widetilde{TW} \qquad \forall t$$ رابطه ۱۳)

$$\sum_i \widetilde{TP_i}\ .YP_{it} \le OT_t \qquad \forall t$$ رابطه ۱۴)

$$FL_t + HL_t \le \gamma_{t-1} WL_{t-1} \qquad \forall t$$ رابطه ۱۵)

$$B_{ikt} = B_{(t-1)ik} + d_{ikt} - F_{ikt} - ZC_{ikt} \quad \forall i,k,t$$ رابطه ۱۶)

$$ZD_{it} \le \widetilde{CAPD} \qquad \forall t,i$$ رابطه ۱۷)

$$SC_{ijt} \leq \widehat{MSC}_{ijt} \quad \forall i > 1, j, t$$ رابطه ۱۸)

$$\mathrm{YP_{it}, ZD_{it}, F_{ikt}, OT_t, IP_{it}, WL_t, HL_t, FL_t, ZC_{ikt}, XD_{it}, YD_{it}, XP_{it}, ID_{it}, SC_{ijt} \geq 0, AA_{imt} \in \{0,1\}}$$ رابطه ۱۹)

رابطه (۱) در مدل اولین تابع هدف مسئله را نشان می‌دهد که برای کمینه‌سازی هزینه‌ها است. هزینه‌ها شامل هزینه‌های تولید یک واحد محصول در ساعت عادی، ساعات اضافه‌کاری و مرکز بازسازی، هزینه یک نفر کارگر در ساعت کار عادی هزینه یک نفر کارگر در ساعت کار اضافه‌کاری، هزینه استخدام و اخراج نیروی انسانی، هزینه نگهداری یک واحد محصول در انبار تولیدکننده و در انبار مرکز بازسازی، هزینه کمبود یک واحد محصول و تقاضای پیش‌بینی‌شده است. در این رابطه همه هزینه‌ها دارای قطعیت هستند. رابطه (۲) تابع هدف دوم مدل است که برای بیشینه‌سازی ضریب کیفیت محصول دریافتی از مرکز بازسازی و ضریب کیفیت محصول دریافتی از مرکز تولیدکننده یا خط تولید در ساعات عادی و اضافه‌کاری و ضریب کیفیت محصول دریافتی از تأمین‌کنندگان است. رابطه (۳) تابع هدف سوم حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میران تأمین کالا از تأمین‌کنندگان است. رابطه (۴) تابع هدف چهارم کمینه کردن حداکثر عدم قابلیت اطمینان در میان مراحل تولید است. رابطه (۵) این رابطه تعادل موجودی تولیدکننده را نشان می‌دهد. رابطه (۶) بیانگر تعادل موجودی در مرکز بازسازی است. رابطه (۷) ظرفیت نگهداری محصول در مرکز تولیدکننده است. رابطه (۸) نشان‌دهنده ظرفیت نگهداری محصول در مرکز بازسازی است. رابطه (۹) محدودیت حداکثر تعداد نیروی انسانی در دسترس را نشان می‌دهد. رابطه (۱۰) بیانگر تعادل نیروی انسانی تولیدکننده است. در رابطه (۱۱) استخدام و یا اخراج کارکنان در هر دوره نشان داده‌شده است. رابطه (۱۲) محدودیت سقف اضافه‌کاری را نشان می‌دهد. رابطه (۱۳) نشان می‌دهد که زمان تولید محصول در هر دوره از زمان‌های عادی در دسترس کمتر است. رابطه (۱۴) نشان می‌دهد زمان تولید محصول از زمان‌های اضافه‌کاری در دسترس کمتر باشد. رابطه (۱۵) درصد تغییر مجاز در نیروی انسانی در هر دوره را نشان می‌دهد. رابطه (۱۶) تعادل کمبود محصول تولیدکننده را با توجه به کمبود دوره قبل، میزان محصول ارسال‌شده از تولیدکننده را در هر دوره نشان می‌دهد رابطه‌های (۱۷) بیانگر حداکثر محصول تهیه‌شده از مرکز بازسازی است. رابطه (۱۸) حداکثر خرید از تأمین‌کننده را در هر دوره نشان می‌دهد. رابطه (۱۹) بیانگر نامنفی و باینری بودن متغیرهای تصمیم مدل است. رابطه‌های (۲۰،۲۲،۲۱) در زیر بیانگر فرم خطی سازی شده رابطه (۱۱) در مدل است. در این روابط $\mathrm{Y_t}$ یک متغیر باینری است

$$\mathrm{Y_t \leq FL_t \ \forall t}$$ رابطه ۲۰)

$$\mathrm{Y_t \leq HL_t \ \forall t}$$ رابطه ۲۱)

$$\mathrm{Y_t \geq FL_t + HL_t - 1 \ \forall t}$$ رابطه ۲۲)

و) روش حل پیشنهادی

همان طور که در مدل اصلی مسئله مشاهده می شود برخی پارامترهای مدل از نوع فازی که آن شامل پارامترهای تابع هدف، مقادیر سمت راست و ضرایب تکنولوژیکی است.

برای حل مدل ارائه‌شده در این مقاله از یک رویکرد دومرحله‌ای استفاده‌شده است. در مرحله اول، مدل فازی اولیه به یک مدل قطعی کمکی معادل تبدیل می‌شود. (Amir Khan, Nurang & Tawakli Moghadam, 2014).

در مرحله دوم نیز برای ترکیب کردن توابع هدف از روش معیار جامع یا LP متریک طبق رابطه (۲۳) استفاده می شود. دراین بخش فقط تابع هدف دوم رابطه(۲۳) و محدودیتهایی که دارای پارامترفازی هستندرابطه های (۲۴–۳۱) با اعمال تغییرات مورد نظرآورده شده اند وسایرتوابع و محدودیت ها به حالت قبلی بوده است.

$$Lp: \{\left(\frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^*}\right)^p + \left(\frac{Z_2^* - Z_2}{Z_2^*}\right)^p + \left(\frac{Z_3^* - Z_3}{Z_3^*}\right)^p + \left(\frac{Z_4 - Z_4^*}{Z_4^*}\right)^p\}^{1/p}$$ رابطه ۲۳)

مفروضات رابطه (۲۳) به اختصار به‌صورت زیر است.

$1 \leq p \leq \infty$ بوده و ارزش آن مشخص‌کننده درجه تاکید به انحرافات موجود است به گونه‌ای که هر چه این ارزش بزرگتر باشد تاکید بیشتری بر بزرگترین انحراف خواهد بود(Makoei, Turkestani & Serajian, 2016).

Z_i تابع هدف iام مسئله i=, ۴،۳،۲،۱

Z_1^*: جواب بهینه به ازای تابع هدفiام

ز) مدل قطعی معادل

در اینجا برای تبدیل مدل امکانی مسئله که شامل ضرایب غیردقیق هم در تابع هدف و هم در محدودیت‌ها است، به مدل قطعی معادل از روش خیمنز، آرناس و بیلباو (۲۰۰۷) استفاده‌شده است. روش مذکور ازلحاظ محاسباتی بسیار کارآمدتر است، زیرا خاصیت خطی بودن را حفظ می‌کند و همچنین، تعداد توابع هدف و محدودیت‌های نامساوی را افزایش نمی‌دهد. به سبب کارایی محاسباتی و سادگی در کسب داده‌ها، از توزیع فازی مثلثاتی برای مدل کردن ماهیت غیردقیق پارامترهای مبهم مسئله استفاده می‌شود. فرض کنید$\tilde{c} = (c^p, c^m, c^o)$ یک عدد فازی مثلثی باشد، آنگاه تابع عضویت آن $\mu_{\tilde{c}}(x)$ به صورت زیر است .

$$\mu_{\tilde{c}}(x) = \begin{cases} f_c(x) = \frac{x-c^p}{c^m-c^p} & if \;\; c^p \le x \le c^m \\ 1 & if \quad x = c^m \\ g_c(x) = \frac{c^o-x}{c^o-c^m} & if \;\; c^m \le x \le c^o \\ 0 & if \quad x < c^p \; or \; x > c^o \end{cases}$$ رابطه ۲۳)

همچنین بازه مورد انتظار (EI) و مقدار مورد انتظار (EV) از عدد فازی$\tilde{c}$ به‌صورت ذیل تعریف می‌شود (هیلپرن، ۱۹۹۲).

$$EI(\tilde{c}) = [E_1^c, E_2^c] = [\int_0^1 f_c^{-1}(x)dx \,, \int_0^1 g_c^{-1}(x)dx]$$ رابطه ۲۴)

$$EV(\tilde{c}) = \frac{E_1^c + E_2^c}{2}$$ رابطه ۲۵)

با توجه به اینکه برای نمایش پارامترها از توزیع فازی مثلثی استفاده‌شده است، داریم:

$$EI(\tilde{c}) = \left[\frac{1}{2}(c^p + c^m), \frac{1}{2}(c^m + c^o)\right]$$ رابطه ۲۶)

$$EV(\tilde{c}) = \frac{c^p + 2c^m + c^o}{4}$$ رابطه ۲۷)

حال مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی زیر را که در آن‌همه پارامترها به‌صورت فازی تعریف‌شده‌اند، در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} & Min\; Z = \tilde{c}X \\ & s.t \quad \tilde{a_i}X \ge \tilde{b_i} \qquad i = 1, \dots, l \\ & \tilde{a_i}X = \tilde{b_i} \qquad i = l+1, \dots, m \\ & X \ge 0 \end{aligned}$$ رابطه ۲۸)

ماهیت غیردقیق و غیرقطعی پارامترهای مسئله باعث می‌شود که ما اعداد فازی را مقایسه کنیم، که شامل دو مسئله عمده است. شدنی بودن و بهینگی، بنابراین، پاسخ به دو سؤال زیر ضروری است

۱-چگونگی تعریف شدنی بودن بردار تصمیم x، هنگامی‌که محدودیت‌ها شامل اعداد فازی است.

۲- چگونگی تعریف بهینگی تابع هدف با ضرایب فازی.

مطابق با روش رتبه‌بندی خیمنز (۱۹۹۶) برای هر جفت از اعداد فازی $\tilde{b}$ و $\tilde{a}$ درجه‌ای که در آن $\tilde{a}$ بزرگ‌تر از $\tilde{b}$ است به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{\tilde{c}}(x) = \begin{cases} 0 & if \quad E_2^a - E_1^b < 0 \\ \frac{E_2^a - E_1^b}{E_2^a - E_1^b - (E_1^a - E_2^b)} & if \quad 0 \in [E_1^a - E_2^b, E_1^a - E_1^b] \\ 1 & if \quad E_1^a - E_2^b > 0 \end{cases}$$ رابطه ۲۹)

وقتی $\mu_M(\tilde{a}, \tilde{b}) \ge a$ باشد، آنگاه گفته می‌شود که دست‌کم در درجه $\tilde{a}$ بزرگ‌تر یا مساوی $\tilde{b}$ است و آن به‌صورت $\tilde{a} \succeq_a \tilde{b}$ نمایش داده می‌شود با توجه به روش خیمنز، آرناس و بیلباو (۲۰۰۷)، بردار تصمیم $X \epsilon R$ در درجه a شدنی است اگر $min_{i=1,\dots,m}\{\mu_M(\tilde{a_i}x, \tilde{b_i})\}$ برابر α باشد. لذا برای محدودیت‌های مسئله (۲۸) داریم:

$$\frac{E_2^{a_i x} - E_1^{b_i}}{E_2^{a_i x} - E_1^{a_i x} + E_2^{b_i} - E_1^{b_i}} \ge \alpha \quad i = 1, \dots, l$$ رابطه ۳۰)

حال با ساده‌سازی رابطه فوق داریم:

$$[(1-\alpha)E_2^{a_i}+\alpha E_1^{a_i}]x \geq \alpha E_2^{b_i}+(1-\alpha)E_1^{b_i} \quad \text{رابطه ۳۱)}$$

برای حالت تساوی نیز داریم:

$$\tilde{a} \geq_{\alpha/2} \tilde{b}, \qquad \tilde{a} \leq_{\alpha/2} \tilde{b} \quad \text{رابطه ۳۲)}$$

که با بازنویسی رابطه فوق داریم:

$$\frac{\alpha}{2} \leq \mu_M(\tilde{a},\tilde{b}) \leq 1-\frac{\alpha}{2} \quad \text{رابطه ۳۳)}$$

جواب شدنی، X^o یک جواب بهینه قابل‌قبول برای مدل (۲۸) است، اگر شرط زیر صادق باشد:

$$\mu_M(\tilde{c}x,\tilde{c}x^o) \geq \frac{1}{2} \quad \text{رابطه ۳۴)}$$

ازاین‌رو X^o حداقل در درجه $\frac{1}{2}$ جواب بهتری را نسبت به بردارهای شدنی دیگر (باهدف کمینه‌سازی) ارائه می‌کند، همچنین داریم:

$$\tilde{c}x \geq_{1/2} \tilde{c}x^o \quad \text{رابطه ۳۵)}$$

که با استفاده از روابط قبلی داریم:

$$\frac{E_2^{cx}-E_1^{cx^o}}{E_2^{cx}-E_1^{cx}+E_2^{cx^o}-E_1^{cx^o}} \geq \frac{1}{2} \quad \text{رابطه ۳۶)}$$

$$\frac{E_2^{cx}+E_1^{cx}}{2} \geq \frac{E_2^{cx^o}+E_1^{cx^o}}{2} \quad \text{رابطه ۳۷)}$$

با جایگذاری روابط (۳۱) و (۳۳) و (۳۷) در مدل (۲۸) فرم α– پارامتری آن به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$\begin{aligned}
&\text{Min } Z = EV(\tilde{c})X \\
&\text{s.t} \\
&[(1-\alpha)E_2^{a_i}+E_1^{a_i}]x \geq E_2^{b_i}+(1-\alpha)E_1^{b_i} \quad i=1,\dots,m \\
&[(1-\tfrac{\alpha}{2})E_2^{a_i}+\tfrac{\alpha}{2}E_1^{a_i}]x \geq \tfrac{\alpha}{2}E_2^{b_i}+\left(1-\tfrac{\alpha}{2}\right)E_1^{b_i} \quad i=l+1,\dots,m \\
&[\tfrac{\alpha}{2}.E_2^{a_i}+\left(1-\tfrac{\alpha}{2}\right).E_1^{a_i}]x \leq \left(1-\tfrac{\alpha}{2}\right).E_2^{b_i}+\tfrac{\alpha}{2}.E_1^{b_i} \quad i=l+1,\dots,m \\
&X \geq 0
\end{aligned} \quad \text{رابطه ۳۸)}$$

مطابق با آنچه در قسمت قبل توضیح داده شد، می‌توانیم مدل قطعی کمکی معادل مدل مسئله اصلی به‌صورت فوق فرمول‌بندی کنیم، که البته مدل حاصل به‌صورت ذیل خواهد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تعداد محدودیت‌های مسئله کمکی معادل از تعداد محدودیت‌های مسئله اصلی بیشتر است و آن به خاطر این است که هر محدودیت مساوی در مدل اصلی به دو محدودیت نامساوی در مدل کمکی معادل تبدیل‌شده است. در انتها نیز برای ترکیب کردن توابع هدف از روش معیار جامع یا LP متریک استفاده می‌شود.

$$Maxz_2 = \sum_t \sum_i (XP_{it} . \frac{QR_{it}^{p} + 2QR_{it}^{m} + QR_{it}^{o}}{4} + YP_{it} . \frac{QO_{it}^{p} + 2QO_{it}^{m} + QO_{it}^{o}}{4}) + \sum_t \sum_i \sum_j (SC_{ijt} . \frac{QSC_{ijt}^{p} + 2QSC_{ijt}^{m} + QSC_{ijt}^{o}}{4}) + \sum_t \sum_i (ZD_{it} . \frac{QD_{it}^{p} + 2QD_{it}^{m} + QD_{it}^{o}}{4})$$ رابطه ۳۹)

Subject to:

$$\sum_i IP_{it} \leq \alpha \frac{CAPP^{maxp} + CAPP^{maxm}}{2} + (1-\alpha) \frac{CAPP^{maxp} + CAPP^{max\,m}}{2} \quad \forall t$$ رابطه ۴۰)

$$\sum_i ID_{it} \leq \alpha \frac{CAPD^{maxp} + CAPD^{maxm}}{2} + (1-\alpha) \frac{CAPD^{maxp} + CAPD^{max\,m}}{2} \quad \forall t$$ رابطه ۴۱)

$$WL_t \leq MW_t \quad \forall t$$ رابطه ۴۲)

$$OT_t \leq \alpha \frac{MOT_t^{maxp} + MOT_t^{maxm}}{2} + (1-\alpha) \frac{MOT_t^{maxp} + MOT_t^{max\,m}}{2} \quad \forall t$$ رابطه ۴۳)

$$\sum_i TP_i . XP_{it} \leq TW \quad \forall t$$ رابطه ۴۴)

$$\sum_i TP_i . YP_{it} \leq OT_t \quad \forall t$$ رابطه ۴۵)

$$ZD_{it} \leq \alpha \frac{CAPD^{maxp} + CAPD^{maxm}}{2} + (1-\alpha) . \frac{CAPD^{maxp} + CAPD^{max\,m}}{2} \quad \forall t, i$$ رابطه ۴۶)

$$\sum_i TP_i . YP_{it} \leq OT_t \quad \forall t$$ رابطه ۴۷)

۳- بحث و نتایج

در این مقاله ابتدا یک مدل ریاضی چند هدفه برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصولی، چندمرحله‌ای برای چند دوره در قالب یک زنجیره تأمین معکوس ارائه شد. در مواجهه با پارامترهای مبهم (نادقیق) یک مسئله بهینه‌سازی چهار هدفه با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی فازی که به دنبال کمترین اثرات یا تغییرات مربوط به داده‌های کیفیت و برخی دیگر از پارامترهای موجود در محدودیت‌های مدل برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی شرکت موردمطالعه است، استفاده شد. به‌منظور حل مدل چند هدفه فازی در گام اول مدل موردنظر را با استفاده از اندازه لزوم به یک مدل قطعی تبدیل نموده و در گام دوم با استفاده از روش معیار جامع مدل قطعی را حل نموده است. یک مطالعه موردی واقعی صنعتی به‌منظور نشان دادن قابلیت مدل با کد نویسی در نرم‌افزار گمز ارائه‌شده است. نتایج مربوط به توابع هدف و متغیرهای تصمیم که خروجی اساسی درنرم افزارگمز بوده و به ترتیب در جداول (۲)و(۳) ارائه شده اند؛ موردتایید مسئولین شرکت قطعات بتنی بروجن استحکام واقع شدندکه بیانگر اعتبارمدل ریاضی پیشنهادی است. از مهم‌ترین مزایا تحقیق حاضر می‌توان به در نظر گرفتن تأثیرات کیفیت محصول تولیدی تولیدکننده و مرکز بازسازی و در نظر گرفتن شرایط قطعی در تابع هدف کیفیت مدل اشاره نمود. آنچه در طراحی این مدل که به‌صورت برنامه‌ریزی غیرخطی فرمول شده است، اهمیت دارد و در پژوهش‌های مشابه مشاهده نشده است، وجود مرکز بازسازی و در نظر گرفتن رضایت تأمین‌کنندگان و نیز توجه به کیفیت محصول دریافت شده از تأمین‌کنندگان و محصول تولیدشده به‌وسیله تولیدکننده در ساعات عادی و اضافه‌کاری، حداکثر کردن مجموع وزنی حداقل میزان تأمین کالا از تأمین‌کنندگان و کمینه کردن حداکثر عدم قابلیت اطمینان در مراحل تولید است.

الف) پیشنهادها بر اساس تحقیق

در مدل ریاضی پیشنهادی سایر توابع هدف را برحسب اهمیت بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت اعم از فازی، استوار فازی، استوار فازی احتمالی، روش‌های احتمالی و روش‌های بهینه‌سازی تصادفی نیز در حل مدل استفاده نمایند و پاسخ‌ها را با شرایط قطعیت مقایسه کنند و میزان تأثیر شرایط عدم قطعیت را بر نتایج حاصل از حل مدل توضیح دهند. علاوه براین بر سایر توابع هدف و پارامترهای موجود در محدودیت‌ها نیز روش مدل موردنظر را با استفاده از اندازه لزوم به یک مدل قطعی تبدیل نموده و در گام دوم با استفاده از تابع تجمعی مدل قطعی را حل نمایند. همچنین در نظر گرفتن مرکز نگهداری و تعمیرات به‌عنوان یک مسئله مهم و اساسی در حفظ و افزایش اثربخشی تجهیزات و در نظر گرفتن معیارهای سبزینگی و محیط زیست علاوه براین

کمینه نمودن مدت‌زمان تولید و تحویل و حداقل سازی حداکثر کمبود محصول ارسالی به مشتریان در راستای افزایش رضایت‌مندی مشتریان به مدل مذکور افزوده شود. همچنین درصورت نداشتن موردمطالعه مشخص ، ابعاد مسئله را افزایش داده وبا مثال عددی تحلیل حساسیتی را انجام دهند و در صورت عدم دستیابی به جواب با استفاده از نرم‌افزارهای ابتکاری مانند گمز و لینگو و طولانی شدن زمان حل مدل با ذکر شرایط لازم از روش‌های فراابتکاری در حل مدل ریاضی پیشنهادی نیزاستفاده کنند.

جدول شماره (۲): طراحی پارامترهای ورودی در شرایط اندازه لزوم فازی

پارامتر	تنظیمات	پارامتر	تنظیمات
$\widetilde{CAPP}$	U(6500,7500,9500)	TP_i	12
TW	600	α	0.5
$HID_{(i,t)}$	U(600000,700000)	$\widetilde{MW(t)}$	U(2,4,6)
$CPR_{(i)}$	U(120000, 135000)	$\widetilde{MOT_{(t)}}$	U(12,150,170)
$CPO_{(i)}$	U (130000, 145000)	$HIP_{i,t}$	U(600000,700000)
$CLR_{(t)}$	U(28000000,28900000)	$QCR_{(i,t)}$	U (0.95,0.98)
$CLO_{(t)}$	U (25000,67000)	$HID_{(i,t)}$	U (400000,600000)
$HC_{(t)}$	U (1000000,2000000)	$CD_{(i)}$	U (130000,145000)
$FC_{(t)}$	U (40000000,50000000)	QD_{it}	U(0.8,0.86,0.97)
$\pi_{(i,k\,t)}$	U (360000,375000)	$P_{(i,k,t)}$	U(165000,170000)
$QO_{(i,t)}$	U(0.70,0.850.95)	$CPOD_i$	U(140000,145000))
$Re_{(m)}$	U (0.94,0.98)	$ALFA_{(i,k,t}$	U(0.03,0.05)
$QR_{(i,t)}$	U(0.70, 0.95)	$CPRD_{(i)}$	U(140000,145000)
$ID_{(i,k,t)}$	U (7000,9000)	$D_{(i,k,t)}$	U (4000,7500)
$WSC_{(j)}$	U(0.5, 0.8)	$CSC_{(j.j)}$	U(120000, 145000)
QSC_{ijt}	U (0.70,0.80 0.90)	$\widetilde{CAPD}$	U(7500,8000,8500)
MSC_{ijt}	U(30000,40000)		

جدول شماره (۳): مجموعه جواب‌های پارتویی مدل ریاضی چند هدفه پیشنهادی در شرایط اندازه لزوم فازی

P,I=T=K=3	F1	F2	F3	F4	F5	LP
P1	1.30831E+10	3504.280	0.15	0.631	7009.704	2.59206E+10
P2	1.30831E+10	3504.280	0.15	0.631	2.455575E+7	2.77359E+10
P3	1.30831E+10	3504.280	0.15	0.631	1.00000E+1	2.59227E+10
P4	1.30831E+10	3504.280	0.15	0.631	1.00000E+1	2.59227E+10
P9	1.30831E+10	3504.280	0.15	0.631	1.00000E+1	2.59227E+10
P10	1.30831E+10	3504.280	0.15	0.631	0	2.59227E+10

جدول شماره (۴): حدود جواب‌های متغیر تصمیم از حل مد ریاضی چند هدفه پیشنهادی در شرایط اندازه لزوم فازی

حدود جواب‌های متغیر تصمیم	توضیح متغیر تصمیم
$B_{(ik,t)}$=[4.000,8526.000]	میزان سفارشات عقب افتاد محصول در مرحله نهایی تولید
$F_{(i,k,t)}$=[1000]	میزان تولید محصول در ساعات اضافه‌کاری
$X_{(i,t)}$=[2.0007.000],	میزان تولید محصول در ساعات کار عادی
$Y_{(i,t)}$=[0,1.000]	میزان تولید محصول در ساعات اضافه‌کاری
$IP_{(i,t)}$=[0]	سطح موجودی تولیدکننده در هر دوره به‌طور متوسط
$ZD_{(i,t)}$=[1.000,407.000]	سطح موجودی محصول واحد بازسازی در هر دوره
$HL_{(t)}$=[0, 1,0]	تعداد نیروی کار استخدام‌شده در هر دوره

$SC_{(ijt)}$=[0]	تعداد نیروی کار موردنیاز در دوره
$FL_{(t)}$=[۰]	تعداد نیروی کار اخراج شده در دوره را نشان می‌دهد
$OT_{(t)}$= [40.000, 90000]	ساعات اضافه‌کاری مورد نیاز در دوره را نشان می‌دهد
$F_{(i,k,t)}$=[2.000,10000000]	تعداد محصول مرحله آخر تولید که برای فروش ارسال‌شده است
$WL_{(t)}$=[0, 1000]	تعداد نیروی کار مورد نیاز در هر دوره

٤- منابع

Ahmed, S. A. Biswas, T. K. Nundy, C. K. (2019). An Optimization Model for Aggregate Production Planning and Control: A Genetic Algorithm Approach. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 8, (3). 203–22

Amir Khan, M., Nurang, A., & Tawakli Moghadam, R. (2014). A fuzzy interactive planning approach for multi-level, multi-product, and multi-period supply chain network design under uncertainty conditions considering cost and time. *Production and Operations Management*, *6* (1), 127-148. [In Persian]

Azar, A., & Sadat Hosseini, A. (2014). Designing a multi-product production planning model in the supply chain based on the ideal planning approach: Case study of Burns Industrial Group. *Quarterly Journal of Industrial Meditation Studies*, *12* (34), 1-17. [In Persian]

Azami, A., & Makoei, A. (2015). A robust optimization model for planning the integrated production of multi-factory perishable products under uncertainty conditions with a deferral policy. *Scientific Quarterly: Research in Industrial Management Studies*, *43*, 27-51. [In Persian]

Doosti, A., & Rezaei Moghadam, S. (2020). Presenting a multi-objective mathematical model for planning the production of several products and multiple stages for several periods using the Markowitz method in Gomz software. *Quarterly Journal of Contemporary Research in Management and Accounting*, *3* (8). [In Persian]

Haji, A., & Mohammad Rahimi. (2007). Application of fuzzy multi-objective linear programming in integrated production planning. In *Proceedings of the 6th International Industrial Engineering Conference*, Tehran. [In Persian]

Hosseini, S. M. H. (2019). Modeling and integrated problem-solving in integrated production planning and maintenance in a two-purpose mode with a customer dissatisfaction approach. *Scientific-Research Journal: Industrial Management Studies, 56*. [In Persian]

Khatami Firoozabadi, S. M. A., & Makoei, A. (n.d.). Integrated production planning of Iran Pipe and Machinery Company with the ideal gray planning approach. *Management Research Journal of Tomorrow*, *12* (35). [In Persian]

Makoei, A., Turkestani, S., & Serajian, A. (2016). *Multi-objective optimization*. University of Science and Technology Publications. [In Persian]

Mirzapour, Al-e-hasema, S. M. J., Malekly, H., & Aryanezhada, M. B. (2011). A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production planning in a supply chain under uncertainty. *International Journal of Production Economics*, *134* (1), 28–42.

Mirzapour, Al-e-hasema, S. M. J., Aryanezhada, M. B., & Sadjadi, S. J. (2012). An efficient algorithm to solve a multi-objective robust aggregate production planning problem in an uncertain environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *58* (5), 765-782.

Mirzapour, Al-e-hasema, S. M. J., Baboli, A., & Sazvar, C. (2013). A stochastic aggregate production planning model in a green supply chain: Considering flexible lead times, nonlinear purchase, and shortage cost functions. *European Journal of Operational Research*, *230* (1), 26–41.

Nobil, A. H., & Kazemi, A. (2016). Presenting a multi-objective fuzzy model for integrated production-distribution planning in a four-level closed-loop supply chain. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 27 (1). [In Persian]

Ramyar, M., Mehdizadeh, E., & Hadji Molana, M. (2017). Optimizing reliability and cost of the system for aggregate production planning in supply chain. *Scientia Iranica*, *24*(6), 3394-3408.

Rezaie Moghaddam, S., Yousefi, A., Karbasian, M., & Khayyam, B. B. (2018). A robust optimization model for multi-factory integrated production planning of perishable products under uncertainty with a deferral policy. *Quarterly Journal of Industrial Management Studies*, *43*, 27-51. [In Persian]

Rezaei Moghadam, S., & Doosti, A. (2018). Designing a multi-objective mathematical model of aggregate production planning in a reverse supply chain with a production quality function under uncertainty using the industry-studied MPSOGA algorithm. *High-Tech Engineering Management and Computing So*ft, *5* (2), 325-356. [In Persian]

Mehrmanesh, H., & Karimi, M. (2020). An integrated mathematical model of production planning considering order acceptance, production, and customer delivery at Marun Petrochemical Company. *Journal of Quality Engineering and Production Optimization*. [In Persian]

Sutrisno, P. A., Wicaksono, & Solikhin. (2019). Probabilistic multi-objective optimization approach to solving production planning and raw material supplier selection problems under probabilistic demand values. *Journal of Physics: Conference Series*, The 6th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Science, Yogyakarta, Indonesia.

Tolouei Ashlaghi, A., Ehtesham, R. R., Nazemi, J., & Alborzi, M. (2014). Design and mathematical model of the production planning process and inventory control in a reverse supply chain. *Journal of Development and Transformation Management*, 8. [In Persian]

Yazdani, F., Tavakoli Moghadam, R., & Bashiri, M. (2013). Presenting a two-objective optimization model for the design of a closed-loop supply chain network, considering disruptions in production centers. *Proceedings of the First National Industrial Engineering Research Conference*. [In Persian]

Zarrinpour, N., Didar, E., & Mansouri, N. (2018). Presenting a robust optimization model for mass production planning in green supply chain management. *Proceedings of the 15th International Conference on Industrial Engineering*. [In Persian]

Fuzzy Interactive Programming to Design a Multi-Objective Multi-Product Mathematical Model, a Multi-Stage Multi-Cycle Integrated Production Program in an Inverse Supply Chain Under Uncertainty Conditions

Aslan Doosti (Corresponding Author)
Department of Mathematics, Omidiyeh Branch, Islamic Azad University, Omidiyeh, Iran
Email: doosti424@gmail.com
Saeed Rezaei Moghaddam
Department of Manegment, Omidiyeh Branch, Islamic Azad University, Omidiyeh, Iran

Abstract
In all systems, whether in production or service, the necessity and importance of planning are undeniable. This research aims to develop a mathematical model for a multi-objective, multi-product, multi-stage integrated production program over several periods within a reverse supply chain. The objectives include minimizing inventory, production costs, and manpower while maximizing the quality of the manufactured products and considering the supplier's importance. Additionally, the model seeks to reduce uncertainties at each production stage, which can lead to identifying industry bottlenecks. The proposed mathematical model incorporates a multi-stage, multi-objective, multi-product integration for multiple periods in a reverse supply chain under conditions of uncertainty. In this model, the quality objective function and various parameters are expressed in the constraints using triangular fuzzy numbers to account for uncertainty. To solve this model, an interactive fuzzy solution approach is employed, utilizing Games software and real data from Borojan Teght Concrete Parts Company.

Keywords: Fuzzy Interactive Programming, Multi-Objective Mathematical Model, Reverse Supply Chain Integrative Manufacturing, Uncertainty.