مدیریت تولید و عملیات، دوره پنجم، پیاپی(۸)، شماره(۱)، بهار و تابستان ۱۳۹۳
دریافت: ۹۱/٤/۲٦ پذیرش: ۹۲/۳/۸
صص: ۳۸- ۲۱

رائه یک مدل CLSC غیرقطعی با رویکرد ترکیبی الگوریتم ژنتیک و ε-Constraint

راشد صحرائیان [۱*]، علیرضا طاهری مقدم[۲]

۱ – ستادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

۲ – دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران.

چکیده:

در این مقاله یک مدل غیر قطعی زنجیره تأمین حلقه بسته[۱]، توسعه داده شده است. هدف اول این مدل، حداکثر سازی سود کل زنجیره است. تابع هدف دوم، حداقل سازی استفاده از مواد خام است. به عبارت دیگر، هدف دوم حداکثر کردن میزان بازیافت است؛ که یکی از دلایل پیدایش سیستم‌های حلقه بسته نیز همین امر بود. بهینه سازی در مدل مذکور با الگوریتم ژنتیک صورت گرفته و با روش ε-Constraint به یافتن خط بهینه پارتو[۲] پرداخته شده است. در انتها نیز یک مثال عددی با این رویکرد حل و نتیجه آن با روش‌های قبل مقایسه شده است. همچنین، عملکرد مدل در ابعاد مختلف بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که رویکرد مذکور از کارایی خوبی برخوردار بوده و قادر است اطلاعات خوبی برای تصمیمات استراتژیک، در اختیار تصمیم گیرنده قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین با حلقه بسته، الگوریتم ژنتیک، ε-Constraint، برنامه ریزی تولید، مدل‌سازی عدم قطعیت

Archive of SID
www.SID.ir

نویسنده مسؤول: Sahraeian@shahed.ac.ir

مقدمه

در سالهای اخیر به علت افزایش نگرانی‌های زیست محیطی و وضع قوانینی در این زمینه از سوی دولت‌ها، همچنین محدودیت منابع تولیدی، توجه روزافزونی را به سمت زنجیره تأمین با حلقه بسته از سوی محققان شاهد هستیم؛ به طوری که صدها پژوهش در این زمینه در مجله‌های معتبر عملیاتی و مدیریتی به چاپ رسیده‌است (روبیوو[۳] و همکاران، ۲۰۰۸). علاوه براین، زنجیره تأمین با حلقه بسته در صنعت نیز بسیار به‌کار گرفته شده است. در ایالات متحده ۷۳۰۰۰ شرکت و مؤسسه به نوعی از زنجیره تأمین با حلقه بسته بهره می‌برند (گاید[۴] و همکاران، ۲۰۰۰).

در بسیاری از صنایع، تولیدکنندگان قطعات یدکی (OEM[۵]) به خوبی از مزایای بازیافت و بازتولید بهره می‌برند، زیرا این گونه شرکت‌ها دانش بیشتری نسبت به بازار و محصول دارند. همچنین، شرکت‌های فعال در این زمینه قادرند به‌طور همزمان به فعالیت‌های تولید و بازتولید، با هدف بهینه‌سازی ارزش کل زنجیره (حلقه بسته) بپردازند (شی[۶] و همکاران، ۲۰۱۱). برای مثال، شرکت کداک[۷] دوربین‌های یکبار مصرف استفاده شده را برای استفاده مجدد، از مشتریان (بازار) جمع‌آوری می‌کند (آراس[۸] و همکاران، ۲۰۰۶). استراتژی‌های مشابه بسیاری را می‌توان در صنایع مختلف مشاهده کرد؛ از جمله صنایع پرینتر، ماشین های الکترونیکی و قطعات ماشین (آراس و همکاران، ۲۰۰۶ و کیم[۹] و همکاران، ۲۰۰۶). بازتولید محصولات استفاده شده و برگرداندن آنها به بازار، نه تنها برای محیط زیست و مشتریان سودآور است، بلکه هزینه‌های تولید را نیز کاهش خواهد داد.

برای پیاده سازی یک سیستم حلقه بسته، چالش‌های بسیاری برای برنامه‌ریزی، پیش روی شرکت ها خواهد بود که اولین آنها تأمین تقاضاست. در این سیستم دو راه برای تأمین تقاضا وجود دارد: یکی تولید محصول با استفاده از مواد خام و دیگری بازتولید محصولات مستعمل (استفاده مجدد از قطعات سالم و تعویض قطعات معیوب). دومین چالش عدم قطعیت است؛ یعنی تقاضا و برگشت هر دو دارای عدم قطعیت هستند. سومین چالش، ظرفیت است. معمولاً ظرفیت تولید و بازتولید محدود است. هنگامی‌که ظرفیت محدود است، دستیابی به سیاست تخصیص بهینه دشوار خواهد بود. به‌علاوه، کیفیت و زمان بازتولید محصولات برگشتی (مستعمل) کاملاً غیر قطعی است (شی و همکاران، ۲۰۱۱). گایدو و سنهو (۲۰۰۱) مدلی پیشنهاد می‌دهند که در آن برنامه‌ریزی جمع‌آوری محصولات برگشتی جریان برگشت را کنترل می‌کند؛ به‌طوری‌که تولید کننده بر طبق برنامه ریزی صورت گرفته کیفیت و میزان برگشت را کنترل می‌کند. به این ترتیب، از عدم قطعیت کیفیت، کمیت و همچنین، زمان بازتولید کاسته خواهد شد.

در دهه‌های اخیر، در خصوص جنبه‌های بسیاری از زنجیره تأمین با حلقه بسته (CLSC) تحقیق شده است. از جمله پیش‌بینی، برنامه‌ریزی تولید، کنترل موجودی، مدیریت و مکان‌یابی. در این تحقیق، هدف یافتن یک توازن[۱۰] بین حداکثرسازی سود کل و حداقل‌سازی استفاده از مواد خام است که در آن جنبه‌های جمع‌آوری محصولات مستعمل، برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی در نظر گرفته شده‌است.

هنگامی که فعالیت‌های تولید و بازتولید در یک سیستم حلقه‌بسته می‌گنجند، اصلی‌ترین چالش،

Archive of SID

www.SID.ir

هماهنگی بین فرآیندهای تولید و بازتولید است. وندرلان[11] و همکاران (۱۹۹۹)، مدلی برای برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی یک سیستم حلقه بسته پیشنهاد داده‌اند که در آن فعالیت‌های تولید و بازتولید، همزمان در نظر گرفته شده‌اند. کلیه محصولات (تولید شده و بازتولید شده) می‌توانند برای برآورده سازی تقاضای مشتریان استفاده شوند. آنها دو استراتژی کنترل را بررسی کرده اند: استراتژی فشاری که در آن کلیه محصولات برگشتی در اولین فرصت بازتولید می‌شوند و استراتژی کششی که در آن کلیه محصولات برگشتی تا جایی که امکان دارد دیرتر بازتولید می‌شوند (تا زمانی‌که تقاضا نداشته باشند، تولید نمی‌شوند). ایندرفورت[12] (۲۰۰٤)، به بررسی حالت‌های بهینه یک سیستم ترکیبی تولید و بازتولید پرداخته‌است که در آن محصولات نو می‌توانند در هنگام کمبود، جایگزین محصولات بازتولید شده شوند.

زو[13] و همکاران (۲۰۰٦)، یک سیستم ترکیبی تولید و بازتولید پیشنهاد کرده‌اند که در آن به وسیله تئوری کنترل و شبیه سازی، عملکرد پویای سیستم ترکیبی تجزیه و تحلیل می‌شود. آراس و همکاران (۲۰۰٦)، به معرفی یک چارچوب مدل‌سازی برای تجزیه و تحلیل استراتژی‌های توالی (تقدم و تأخر) و هماهنگی بین تولید و بازتولید در یک سیستم هیبریدی پرداخته‌اند. کیم و همکاران (۲۰۰٦)، یک مدل عدد صحیح (MIP) چند دوره‌ای و چند محصولی ارائه کرده‌اند که در آن محصولات برگشتی برای بازتولید دمونتاژ می‌شوند. در مدل آنها تولید کننده برای تأمین قطعات دو انتخاب دارد: انتخاب اول شامل درخواست قطعه از تأمین کنندگان سطح بالاتر و انتخاب دوم انجام تعمیرات اساسی بر روی محصولات مستعمل و استفاده مجدد از آنهاست. لیکنس و وندال[14] (۲۰۰۷)، یک مدل عدد صحیح جایابی تسهیلات را در حوزه لجستیک معکوس بسط دادند. نقطه قوت مدل آنها ارتباط قیمت محصولات با زمان بود.

چوی[15] و همکاران (۲۰۰۷)، یک مدل توأم EOQ و EPQ برای کنترل موجودی در یک سیستم حلقه بسته ارائه داده‌اند که در آن تقاضا می‌تواند از طریق خرید محصولات نو یا بازتولید محصولات مستعمل ارضا شود. روبیو و کرومیناس[16] (۲۰۰۸)، یک سیستم لجستیک معکوس را در محیط تولید ناب بررسی کرده‌اند. آنها به تجزیه و تحلیل هماهنگی ظرفیت بین تولید و بازتولید پرداخته و به یافتن سیاست بهینه برای این گونه سیستم‌ها پرداخته‌اند.

در یک سیستم حلقه بسته، تولیدکننده علاوه بر ایجاد هماهنگی در فرآیند تولید، باید به ایجاد توازن در عدم قطعیت تقاضا و برگشت نیز توجه داشته باشد. از جمله مواردی که باعث ایجاد پیچیدگی در سیستم‌های بازتولید می‌شوند، می‌توان به ایجاد توازن بین تقاضا و برگشت و همچنین، عدم قطعیت در کیفیت و کمیت محصولات برگشتی اشاره کرد (گاید، ۲۰۰۳). فلشمن[17] و همکاران (۲۰۰۲)، به تجزیه و تحلیل مسأله کنترل موجودی در سیستم‌های حلقه بسته پرداخته‌اند. آنها فرض کرده‌اند که تقاضا و برگشت به یکدیگر وابسته نبوده و از توزیع پواسون پیروی می‌کنند. فلشمن و کویک[18] (۲۰۰۳)، بر روی کنترل موجودی در یک مدل لجستیک معکوس مطالعه کرده‌اند که در آن با استفاده از فرایند مارکوف به بررسی تأثیر میزان برگشت محصول بر روی برنامه بهینه موجودی می‌پردازند. ایندرفورت[19] (۲۰۰۵)، چالش‌های بازیافت محصول در یک سیستم حلقه

Archive of SID

www.SID.ir

بسته را مطالعه و نشان داده است که توازن فعالیت‌های تولید، بازیافت و معدوم کردن محصولات باید با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و برگشت صورت گیرد.

گاید و ون‌وسنهو[۲۰] (۲۰۰۱)، چهارچوبی برای تحلیل جذابیت‌های اقتصادی بالفعل بازتولید محصولات ارائه کردند. نتایج تجربیات آنها نشان می‌دهد که بهتر است هنگام جمع‌آوری محصولات مستعمل به کیفیت آنها توجه شود. همچنین، مدیریت برگشت محصولات مستعمل می‌تواند به عنوان اصلی‌ترین ابزار برای کنترل میزان برگشت استفاده شود. گاید و همکاران (۲۰۰۳)، سیستم بازتولیدی پیشنهاد می‌کنند که در آن کیفیت و کمیت محصولات برگشتی به قیمت برگشت (قیمت خرید محصولات مستعمل از بازار) بستگی دارد. آنها برای ارزیابی مدل خود، از صنعت تلفن همراه استفاده کرده‌اند.

دوبوس و ریشتر[۲۱] (۲۰۰٦)، یک مدل جامع تولید- بازیافت ارائه کردند که در آن هدف حداقل سازی هزینه کل بود. نتایج آنها حاکی از این امر است که بهتر است تولید کننده تنها محصولاتی را که قابل بازیافت و بازتولید هستند، جمع‌آوری کند. کو و ویلیامز[۲۲] (۲۰۰۸)، برای مدل‌سازی مسأله برنامه‌ریزی تولید معکوس و قیمت- گذاری در صنعت اتومبیل سازی، یک مدل غیرخطی پیشنهاد می‌دهند که در آن میزان برگشت محصولات مستعمل تابعی از قیمت برگشت محصولات است. به‌علاوه، قیمت برگشت نیز براساس هزینه‌های تولید و میزان پیش‌بینی شده برای قیمت فروش محصولات بازتولید شده، تعیین می‌شود. لیانگ[۲۳] و همکاران (۲۰۰۹)، مدلی برای ارزیابی قیمت برگشت محصولات مستعمل ارائه داده‌اند.

مدیریت برگشت محصولات مستعمل، ابزار شناخته شده و کارایی در برای کنترل عدم قطعیت کیفیت، کمیت و زمان‌بندی میزان برگشت محسوب می‌شود، ولی هنوز خلأهایی در زمینه چگونگی تجمیع آن با برنامه‌ریزی تولید و فعالیت‌های دیگر زنجیره تأمین حلقه بسته وجود دارد (شی و همکاران، ۲۰۱۱).

در بین سال های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ بیش از ۱۸۰ پژوهش در زمینه زنجیره تأمین حلقه بسته منتشر شده‌است (روبیو و همکاران، ۲۰۰۸). سیستم‌های حلقه بسته شامل: ورودی، فرآیند، ساختار و خروجی می‌شوند که همگی آنها به‌طور جداگانه بررسی شده‌اند. امّا اکثر مدل های ریاضی موجود در این زمینه، قطعی بوده و توجه کافی به ذات غیرقطعی تقاضا و برگشت در این‌گونه مسائل صورت نگرفته‌است (پوخارل و موتا[۲٤]، ۲۰۰۹). برای حداکثرسازی سود بخشی زنجیره تأمین حلقه بسته، مدلی جامع لازم و ضروری است. از سوی دیگر، هنگامی که جنبه‌های مختلف در یک مدل تجمیع می‌شوند، حل آن بسیار پیچیده می‌شود. بنابراین، ارائه یک رویکرد حل کارا برای مدل جامع بسیار ضروری است. شی و همکاران (۲۰۱۱)، به ارائه یک مدل حلقه بسته برنامه‌ریزی تولید چند محصولی پرداختند که در آن میزان تقاضا و برگشت به صورت غیرقطعی بوده و همچنین، میزان و کیفیت محصولات برگشتی تابعی بر حسب قیمت برگشت در نظر گرفته شده است. در این مدل، تولید کننده توانایی تعیین قیمت برگشت محصولات و همچنین، کیفیت محصولات برگشتی را داراست. آنها برای حل این مدل، رویکرد آزادسازی لاگرانژ را پیشنهاد می‌دهند که روش خوبی برای یافتن جواب نزدیک بهینه به نظر می‌رسد. طاهری‌مقدم و صحرائیان (۱۳۹۱)، به حل مدل ارائه

Archive of SID

www.SID.ir

شده دیگری (شی و همکاران، ۲۰۱۱) با رویکرد الگوریتم ژنتیک پرداخته و با این رویکرد، کیفیت جواب را بهبود بخشیدند.

با توجه به اینکه یکی از مهمترین اهداف شکل گیری زنجیره تأمین حلقه بسته، جلوگیری از تخریب محیط زیست و بازیافت محصولاتِ استفاده شده است (روبیو[۲۵] و همکاران، ۲۰۰۸)، ارائه مدلی که در آن به این امر بیشتر پرداخته شود، لازم به نظر می‌رسد. در این مقاله، تابع هدف دوم برای حداقل سازی استفاده از مواد خام در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی، بسط یافته مدل ارائه شده (شی و همکاران، ۲۰۱۱) است و برای حل آن از رویکرد (طاهری‌مقدم و صحرائیان، ۱۳۹۱) استفاده شده است. نتایج حاصله حاکی از این امر است که با رویکرد حل مورد نظر، جواب‌های بهینه پارتو به خوبی پیدا شده و اطلاعات مفیدی در اختیار تصمیم گیرنده قرار خواهد گرفت. این اطلاعات برای تصمیمات سطح استراتژیک بسیار مفید خواهد بود.

ساختار این مقاله به این صورت است: در قسمت بعد به معرفی مدل و مفروضات آن پرداخته می‌شود. در قسمت سوم مدل معرفی شده به صورت برنامه‌ریزی غیر خطی مدل سازی می‌شود. در قسمت چهارم به معرفی رویکرد حل پرداخته شده است. در قسمت پنجم برای ارزیابی و تحلیل بیشتر مدل و رویکرد حل، یک مثال عددی حل شده و نتایج آن با رویکردهای دیگری که برای مسأله مشابه استفاده شده‌اند، مقایسه می‌شود. همچنین، بر روی پارامترهای حیاتی آن تحلیل حساسیت صورت گرفته و عملکرد مدل در ابعاد مختلف نیز بررسی می‌شود. قسمت پایانی نیز به نتیجه گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی اختصاص داده شده است.

۱- معرفی مدل

مدل پیشنهاد شده در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی تولید تک دوره‌ای برای یک سیستم حلقه بسته است، که در آن تقاضا و برگشت غیرقطعی است. از جمله کاربردهای این مدل می‌توان به محصولات با طول عمر کم اشاره کرد، مانند: دوربین‌های یکبار مصرف، کارتریج‌های پرینتر و دستگاه کپی و قطعات کامپیوتر. در این مدل فرض می‌شود فرآیند تولید انعطاف پذیر بوده و تولیدکننده قادر است محصولات مختلف را تولید یا بازتولید نماید. در فرآیند بازتولید، محصولات مستعمل از دارندگان آنها خریداری شده و در موجودی‌های بازیافتی ذخیره خواهد شد. سپس به ترتیب سفارش‌ها، محصولات مستعمل وارد سایت تولیدی می‌شوند. در سایت تولیدی محصولات مستعمل دمونتاژ و بازرسی شده و اجزایی که عملکرد خوبی دارند، مجدداً استفاده می‌شوند. این درحالی است که اجزای با کیفیت پایین‌تر تعمیر یا تعویض می‌شوند. پس از فرایند بازتولید، محصولات برگشتی مانند محصولات نو فرض شده و به همراه محصولات نو در موجودی محصولات برای فروش قرار خواهند گرفت. معمولاً مقدار محصولات بازتولید شده کمتر از مقدار تقاضاست و به همین دلیل تولید کننده مجبور خواهد بود محصولاتی را نیز با استفاده از مواد خام تولید کند. این مدل یک مدل ترکیبی تولید/بازتولید محسوب می‌شود و محققان مدل‌های مشابهی نیز برای آن پیشنهاد داده‌اند. از جمله آنها می‌توان به وندرلان و همکاران (۱۹۹۹)، آراس و همکاران (۲۰۰۶)، کیم و همکاران (۲۰۰۶) و چویی و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد.

Archive of SID

www.SID.ir

مفروضات مدل به شرح زیر است:

- بین محصولات نو و محصولات بازتولید شده تفاوتی وجود ندارد و این محصولات با هم و با یک قیمت عرضه می‌شوند (شی و هکاران، ۲۰۱۱؛ آراس و همکارارن، ۲۰۰۶ و وندرلان و همکاران، ۱۹۹۹).
- کلیه محصولات برگشتی را می‌توان بازتولید کرد (شی و همکاران، ۲۰۱۱؛ وندرلان و همکاران، ۱۹۹۹ و لیانگ و همکاران، ۲۰۰۹).
- تقاضای محصولات مختلف احتمالی بوده و به یکدیگر وابسته است (شی و همکاران، ۲۰۱۱).
- مقدار برگشت وابسته به قیمت است و احتمالی است. همچنین، رابطه بین مقدار برگشت و قیمت برگشت محصولات مستعمل، معلوم بوده و از این رابطه به دست می‌آید: $a_i+b_iPr_i+u_i$ که در آن Pr_i قیمت برگشت محصول i بوده و u_i عددی تصادفی است که از توزیع $N(\mu_i^r,(\sigma_i^r)^2)$ تبعیت می‌کند. در این مقاله $\mu_i^r=0$ در نظر گرفته شده‌است. به‌علاوه $a_i\geq 0$ و $b_i>0$ است (شی و همکاران، ۲۰۱۱).
- هزینه بازتولید شامل هزینه صرف شده برای برگشت محصولات است ولی هزینه‌های دمونتاژ، بازرسی، تضمین کیفیت، تعمیر، بازتولید، هزینه قطعاتی که باید تعویض شوند و سایر هزینه‌های مدیریتی را شامل می‌شود (شی و همکاران، ۲۰۱۱).
- هزینه تولید محصول جدید شامل هزینه‌های تولید، مواد خام و قطعات، مونتاژ و سایر هزینه‌های مدیریتی است (شی و همکاران، ۲۰۱۱).
- به دلیل اینکه این مدل تک دوره‌ای است، میزان تقاضا و برگشت از یکدیگر مستقل فرض می‌شود (شی و همکاران، ۲۰۱۱).

در رابطه خطی بین میزان برگشت و قیمت برگشت که پیشنهاد شده است (باکال و آکالی[۲۶]، ۲۰۰۶)، قیمت بازیافت بسته به خصوصیات محصول ممکن است مثبت یا منفی باشد ولی از آنجا که در این مقاله فرض شده‌است که تولیدکننده تنها محصولات بازتولیدی را برمی گرداند، قیمت بازیافت مثبت فرض می‌شود (شی و همکاران، ۲۰۱۱).

۲- مدل سازی

اندیس‌ها و پارامترهای مدل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

i (۱، ...، I) : اندیس محصولات

پارامترها:

p_i: قیمت فروش محصول i

cp_i: هزینه تولید هر واحد محصول i

g_i: هزینه کمبود موجودی هر واحد محصول نو i

s_i: هزینه مازاد هر واحد محصول i

cr_i: هزینه بازتولید محصول برگشتی i، که معمولاً کمتر از cp_i است.

vr_i: هزینه کمبود هر واحد محصول برگشتی i

hr_i: هزینه مازاد هر واحد محصول برگشتی i

ms_i: میزان منبع مصرفی برای تولید هر واحد محصول i

rs_i: میزان منبع مصرفی بازتولید یک واحد محصول برگشتی i که معمولاً کمتر از ms_i است.

μ_i^d: میانگین تقاضای محصول i

σ_i^d: انحراف معیار تقاضای محصول i

Archive of SID

www.SID.ir

$f_i^d(D_i)$, $F_i^d(D_i)$: تابع توزیع تجمعی و تابع چگالی توزیع تقاضای محصول i

μ_i^r: میانگین قسمت تصادفی برگشت u_i

σ_i^r: انحراف معیار قسمت تصادفی برگشت u_i

$f_i^r(u_i)$, $F_i^r(u_i)$: تابع توزیع تجمعی و تابع چگالی توزیع قسمت تصادفی برگشت u_i

متغیرهای تصمیم:

Q_i: کل تولید و بازتولید محصول i

Xp_i: میزان تولید محصول i

Pr_i: قیمت برگشت هر واحد محصول مستعمل i

Xr_i: میزان بازتولید محصول i

برای مدل‌سازی مسأله، ابتدا فرمولی برای تخمین هزینه بازتولید با در نظر گرفتن عدم قطعیت ارائه می‌شود. در ابتدای دوره تولید کننده مقدار بازتولید و هزینه‌های بازیافت محصولات مستعمل را تعیین می‌کند. اگر مقدار واقعی برگشت محصول i از مقدار مورد نظر کمتر باشد، باید هزینه کمبود در نظر گرفته شود. این امر به این خاطر است که وقتی تولید کننده با کمبود محصولات مستعمل مواجه می‌شود، مجبور خواهد بود از کیفیت محصولات برگشتی بکاهد و یا قیمت برگشت محصول را بالا ببرد تا میزان محصولات برگشتی افزایش یابد، در غیر این صورت باید محصولات نو بیشتری تولید کند. تمامی این راه‌حل‌ها هزینه خواهند داشت و هزینه آنها در هزینه کمبود محصولات مستعمل گنجانده می‌شود. باید توجه داشت که جمع هزینه‌های کمبود محصولات مستعمل و هزینه بازتولید، نباید از هزینه تولید بیشتر شود، در غیر این صورت تولید کننده مایل به بازتولید نخواهد بود. $vr_i+cr_i>cp_i$.

همچنین، اگر مقدار واقعی برگشت، از مقدار پیش بینی شده آن بیشتر باشد، هزینه‌های مازاد موجودی خواهیم داشت. هزینه مازاد هر واحد محصول مستعمل i، (hr_i) شامل هزینه موجودی، هزینه سرمایه گذاری و سایر هزینه‌های دور ریز محصولات است.

بنابراین، کل هزینه بازتولید محصول مستعمل i از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$RC_i(Xr_i,\Pr_i)=\begin{cases}\left[\begin{array}{l}(cr_i+\Pr_i)(a_i+b_i\Pr_i+u_i)\\+(cr_i+vr_i)(Xr_i-\tilde{R}_i(\Pr_i,u_i))\end{array}\right]\\,\ (a_i+b_i\Pr_i+u_i)\le Xr_i\\\left[\begin{array}{l}cr_iXr_i+\Pr_i(a_i+b_i\Pr_i+u_i)\\+hr_i((a_i+b_i\Pr_i+u_i)-Xr_i)\end{array}\right]\\,\ (a_i+b_i\Pr_i+u_i)\ge Xr_i\end{cases}$$

با استفاده از روش «شی و همکاران» (۲۰۱۱)، برای سهولت در مدل‌سازی، متغیر جدیدی تعریف می‌کنیم: $z_i=Xr_i-R(Pr_i)$، بنابراین، فرمول قبلی به فرمول زیر تبدیل می‌شود:

$$RC_i(z_i,\Pr_i)=\begin{cases}\left[\begin{array}{l}(cr_i+\Pr_i)(a_i+b_i\Pr_i+u_i)\\+(cr_i+vr_i)(z_i-u_i)\end{array}\right]\\,\quad u_i\le z_i\\\left[\begin{array}{l}cr_i(a_i+b_i\Pr_i+z_i)+\\\Pr_i(a_i+b_i\Pr_i+u_i)\\+hr_i(u_i-z_i)\end{array}\right]\\,\ u_i\ge z_i\end{cases}$$

در فرمول بالا اگر $z_i<u_i$ باشد، کمبود و اگر $z_i>u_i$ باشد مازاد خواهیم داشت.

با استفاده از هزینه بازتولید که در بالا محاسبه شد، می‌توان امید ریاضی هزینه بازتولید محصول i را به صورت زیر محاسبه کرد:

Archive of SID

www.SID.ir

$$ERC_i(z_i, \mathrm{Pr}_i) = \int_{A_i}^{z_i} \begin{bmatrix} (cr_i + \mathrm{Pr}_i) \times (a_i + b_i\ \mathrm{Pr}_i + u_i) \\ +(cr_i + vr_i)(z_i - u_i) \end{bmatrix} \times f_i^{\,r}(u_i)du_i + \int_{z_i}^{B_i} \begin{bmatrix} (cr_i + \mathrm{Pr}_i)(a_i + b_i\ \mathrm{Pr}_i + z_i) \\ +\mathrm{Pr}_i(a_i + b_i\ \mathrm{Pr}_i + u_i) \\ +hr_i(u_i - z_i) \end{bmatrix} \times f_i^{\,r}(u_i)du_i = cr_i(a_i + b_i\ \mathrm{Pr}_i + z_i) + \mathrm{Pr}_i(a_i + b_i\ \mathrm{Pr}_i + \mu_i^r) + \int_{A_i}^{z_i} vr_i(z_i - u_i) f_i^{\,r}(u_i)du_i + \int_{z_i}^{B_i} hr_i(u_i - z_i) f_i^{\,r}(u_i)du_i$$

بنابراین، مدل برنامه‌ریزی تولید دو هدفه حلقه بسته پیشنهادی به صورت زیر خواهد بود:

$$Max\ OF1 = \sum_{i=1}^{I} \left\{ \begin{array}{l} \int_0^{Q_i} \left[p_i D_i - s_i (Q_i - D_i) \right] \\ \quad f_i^{\,d}(D_i)dD_i \\ +\int_{Q_i}^{\infty} \left[p_i Q_i - g_i (D_i - Q_i) \right] \\ \quad f_i^{\,d}(D_i)dD_i \end{array} \right\} - \sum_{i=1}^{I} cp_i Xp_i - \sum_{i=1}^{I} cr_i (a_i + b_i\ \mathrm{Pr}_i + z_i) - \sum_{i=1}^{I} \mathrm{Pr}_i (a_i + b_i\ \mathrm{Pr}_i) - \sum_{i=1}^{I} \int_{A_i}^{z_i} vr_i (z_i - u_i) f_i^{\,r}(u_i)du_i - \sum_{i=1}^{I} \int_{z_i}^{B_i} hr_i (u_i - z_i) f_i^{\,r}(u_i)du_i \quad (۱)$$

$$Max\ OF2 = \frac{\sum_{i=1}^{I} Xr_i}{\sum_{i=1}^{I} Xp_i + \varepsilon} \quad (۲)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{I} ms_i Xp_i + \sum_{i=1}^{I} rs_i (a_i + b_i\ \mathrm{Pr}_i + z_i) \le PC, \quad (۳)$$

$$Q_i = Xp_i + (a_i + b_i\ \mathrm{Pr}_i + z_i), \quad \forall i, \quad (٤)$$

$$a_i + b_i\ \mathrm{Pr}_i + z_i \ge 0, \quad \forall i, \quad (۵)$$

$$A_i \le z_i \le B_i, \quad \forall i, \quad (٦)$$

$$Xp_i \ge 0, \quad \mathrm{Pr}_i \ge 0, \quad Q_i \ge 0, \quad \forall i. \quad (۷)$$

تابع هدف اول حداکثر سازی سود کل است که در آن عبارت اول برابر است با امید ریاضی کل عایدی منهای هزینه مازاد، به شرطی که میزان تولید کل از تقاضای واقعی بیشتر باشد. عبارت دوم امید ریاضی کل عایدی منهای هزینه کمبود موجودی است، به شرطی که مقدار کل تولید از تقاضای واقعی کمتر باشد. عبارت سوم هزینه تولید محصولات نو است. چهار عبارت بعدی نیز امید ریاضی کل هزینه‌های بازیافت و بازتولید محصولات مستعمل است.

تابع هدف دوم باعث خواهد شد که میزان بازتولید حداکثر شده و میزان استفاده از مواد خام تا حد ممکن کاسته شود. در مخرج کسر، یک عدد بسیار کوچک اضافه شده تا از صفر شدن مخرج و در نتیجه مبهم شدن کسر جلوگیری شود.

محدودیت (۳) محدودیت ظرفیت تولید کننده برای تولید و بازتولید است. محدودیت (٤) تضمین می‌کند که میزان کل تولید برابر با مجموع تولید محصولات نو و مستعمل خواهد بود. محدودیت (۵) باعث می‌شود میزان بازتولید هیچ یک از محصولات کوچکتر از صفر نشود. محدودیت (٦) برای محدود کردن بازه z_i به‌کار می‌رود. البته، در این مقاله $A_i=+\infty$ و $B_i=-\infty$ در نظر گرفته شده‌اند. محدودیت (۷) نیز برای تعیین نوع متغیرها (غیر منفی) استفاده می‌شود.

۳- رویکرد حل

مدل ارائه شده، یک مدل برنامه ریزی غیر خطی با پیچیدگی بالا (NP-hard) است (شی و همکاران، ۲۰۱۱). به همین دلیل حل آن مشکل بوده و به الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری نیاز است. شی و همکاران (۲۰۱۱)، برای مدل تک هدفه مشابه (تابع

Archive of SID

www.SID.ir

هدف اول در این مدل) روش آزادسازی لاگرانژ[۲۷] را پیشنهاد داده‌اند. طاهری مقدم و صحرائیان (۱۳۹۱)، برای همان مدل تک هدفه الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد کرده و کیفیت جواب شی و همکاران (۲۰۱۱) را بهبود بخشیده‌اند. به همین دلیل، برای حل مدل ارائه شده در این مقاله، از رویکرد ترکیبی الگوریتم ژنتیک و روش E.C[۲۸] (ماوروتاس[۲۹]، ۲۰۰۹) استفاده می‌شود. روش E.C روشی کارا برای یافتن نقاط بهینه پارتو در مسائل چند هدفه است. در ادامه، به توضیح رویکرد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی و تعیین پارامترهای آن پرداخته و پس از آن مدل ترکیبی توضیح داده می‌شود.

٤-١- الگوریتم ژنتیک

اولین قدم در الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری شیوه نمایش جواب‌ها[۳۰] ست. در الگوریتم ژنتیک برای نمایش جواب‌ها از کروموزوم استفاده می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی، کروموزوم‌ها به صورت برداری از اعداد هستند که درایه اول معرف مقدار تابع هدف به ازای جواب مورد نظر بوده و درایه‌های بعدی به ترتیب Xpi، Pri و Xri هستند. تعداد جمعیت اولیه در این الگوریتم ۱۰ انتخاب شده‌است؛ یعنی ابتدا به تعداد ۱۰ جواب شدنی به صورت تصادفی تولید می‌شود. سپس برای تغییر جمعیت اولیه و یافتن جواب‌های بهتر از سه مرحله عبور می‌شود.

در مرحله اول کروموزوم‌های جواب اولیه را دو به دو به عنوان والدین در نظر گرفته، با احتمال ۰/۵ هر یک از درایه‌های آنها با یکدیگر تعویض می‌شوند. به عبارت دیگر، برای هر درایه یک بار یک عدد تصادفی با توزیع برنولی و احتمال پیروزی ۰/۵ تولید کرده و اگر این عدد برابر با ۱ بود، درایه مورد نظر را در والدین جا به جا می‌کنیم (بجز درایه اول که مقدار تابع هدف است و باید محاسبه شود). در این مرحله دقیقاً ۱۰ فرزند تولید می‌شود.

در مرحله دوم به ازای هر یک از فرزندان تولید شده در مرحله قبل یک عدد تصادفی برنولی با p=۰/۳ تولید می‌شود و اگر مقدار آن ۱ بود، یکی از درایه‌های فرزند مورد نظر را با یک عدد تصادفی طوری تعویض می‌نماییم که یک جواب شدنی حاصل شود. در این مرحله حداکثر ۱۰ فرزند دیگر تولید خواهد شد.

در مرحله سوم با احتمال ۰/۳ تمامی درایه‌های همجنس را در فرزندان مرحله اول، به صورت تصادفی طوری تغییر می‌دهیم که یک جواب شدنی تولید شود (برای مثال، تمامی Xpi ها را برای یکی از فرزندان تغییر می‌دهیم). در این مرحله نیز حداکثر ۱۰ جواب جدید تولید می‌شود. در مرحله آخر، یک عدد تصادفی B(۱۰و۰/۲)[۳۱] تولید کرده و به اندازه آن عدد، جمعیت تصادفی شدنی تولید می‌شود. برای مثال، اگر متغیر تصادفی مورد نظر برابر با عدد ٤ گردید، ٤ جواب تصادفی تولید کرده و در مجموعه فرزندان قرار می‌دهیم. در این مرحله نیز حداکثر ۱۰ جواب جدید تولید می‌شود.

پس از تولید فرزندان، مقدار تابع هدف را برای کلیه فرزندان تولید شده محاسبه می‌کنیم. سپس شدنی بودن جواب‌ها را بررسی کرده و اگر جوابی نشدنی بود، مقدار تابع هدف آن را صفر در نظر می‌گیریم. سپس جواب‌ها را به ترتیب از بهترین جواب، به بدترین جواب مرتب نموده و اگر جوابی تکراری بود، از مجموعه جمعیت حذف می‌نماییم.

Archive of SID

www.SID.ir

پس از آن ۱۰ جواب برتر را به عنوان جمعیت اولیه در نظر گرفته و همین مراحل را ۵۰ بار تکرار می‌کنیم.

٤-۲- روش E.C

روش E.C برخی از نقاط خط بهینه پارتو را طی چند مرحله به دست آورده و در نهایت با اتصال این نقاط، خط بهینه پارتو مشخص خواهد شد. این روش با افزودن یک محدودیت به مسأله و کوچک کردن فضای جواب در هر مرحله، می‌تواند یکی از نقاط بهینه پارتو را بیابد و در مرحله بعد، محدودیت اضافه شده را برای یافتن نقطه بعدی به روز می‌کند.

برای حل مدل چند هدفه با این روش، ابتدا باید مدل را به صورت جداگانه با هر یک از توابع هدف، حل نماییم. برای مثال، پس از حل مدل با تابع هدف اول و به دست آوردن جواب بهینه برای آن، مقدار توابع هدف را به ازای آن جواب محاسبه می‌کنیم. مسلماً مقدار تابع هدف دوم به ازای آن جواب بهینه نخواهد بود و آن را حد پایین تابع هدف دوم می‌نامیم (در حالت ماکزیمم سازی). البته، باید توجه داشت که این امکان وجود دارد که تابع هدف دوم مقدار کمتری به خود بگیرد، ولی امکان ندارد که آن جواب بهینه پارتو باشد؛ به دلیل اینکه مسلماً در آن جواب، مقدار تابع هدف اول از مقدار بهینه اش کمتر خواهد بود. به این ترتیب، حدود توابع هدف در خط بهینه پارتو به دست می‌آید.

در مرحله بعد یکی از توابع هدف (برای مثال، تابع هدف دوم) را حذف کرده و در محدودیت‌ها به این صورت قرار می‌دهیم: $OF2 \geq \min(OF2)+\varepsilon$ که در آن منظور از min(OF2) همان حد پایین برای تابع هدف دوم است که در مرحله قبل به دست آمد. مقدار ε از صفر شروع شده و در هر مرحله قدری افزایش می‌یابد به طوری که در مرحله آخر رابطه $\min(OF2)+\varepsilon=\max(OF2)$ برقرار باشد. شایان ذکر است که جواب‌های به دست آمده در مرحله اول و آخر با جواب هایی که با حل مدل با توابع هدف به صورت مجزا به دست آمد، یکسان خواهد بود.

٤-۳- روش ترکیبی

در این روش بهینه سازی در هر یک از مراحل E.C با الگوریتم ژنتیک صورت می‌گیرد. به این ترتیب نقاط بهینه پارتو مدل ارائه شده، به دست می‌آیند.

برای این کار ابتدا مدل، تنها با در نظر گرفتن تابع هدف اول و با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل می‌شود. جواب حاصل را x_1 می‌نامیم که در واقع جواب تقریباً بهینه برای تابع هدف اول محسوب می‌شود. سپس مدل با در نظر گرفتن تابع هدف دوم به صورت جداگانه حل شده و جواب حاصل را x_2 می‌نامیم. به صورت مشابه x_2 جواب تقریباً بهینه برای تابع هدف دوم است. سپس به محاسبه مقادیر $OF1(x_1)$، $OF2(x_1)$، $OF1(x_2)$ و $OF2(x_2)$ می‌پردازیم، که در واقع همان حدود توابع هدف هستند.

در مرحله بعد تابع هدف دوم را از مدل حذف کرده، آن را به صورت زیر در محدودیت ها قرار می‌دهیم:

$$\frac{\sum_{i=1}^{I} Xr_i}{\sum_{i=1}^{I} Xp_i + \varepsilon} \geq OF2(x_1) + \alpha_j \times (OF2(x_2) - OF2(x_1)) \qquad (۸)$$

که معرف محدودیت جدید در مرحله j ام است. شایان ذکر است که $۰ \leq \alpha_j \leq ۰/۵$ و مقادیر آن به تعداد مراحلی که انتخاب می‌شود بستگی دارد. هرچه تعداد

Archive of SID

www.SID.ir

مراحل بیشتر باشد، دقت خط بهینه پارتو بیشتر بوده، و هرچه تعداد آن کمتر باشد، زودتر به خط بهینه پارتو می‌رسیم.

با توجه به اینکه هر چه مقدار j افزایش می‌یابد، فضای شدنی مسأله کوچکتر خواهد شد و لذا یافتن جواب‌های شدنی سخت‌تر می‌شود. در نتیجه، حل آن به وسیله الگوریتم ژنتیک مشکل‌تر می‌شود. به همین دلیل، نیمی از مراحل را با تابع هدف اول و نیم دیگر را با استفاده از تابع هدف دوم حل می‌نماییم. به همین علت، حداکثر مقدار α_j در مرحله قبل به جای ۱ برابر با ۰,۵ در نظر گرفته می‌شود. برای به دست آوردن نیمه دوم از خط بهینه پارتو، تابع هدف اول را از مدل حذف کرده و آن را به صورت زیر در محدودیت ها قرار می‌دهیم: (شایان ذکر است که در این مرحله نیز عبارت $0 \le \alpha_j \le 0/5$ صادق است)

$$OF1(x) \ge OF1(x_2) + \alpha_j \times (OF1(x_1) - OF1(x_2)) \quad (9)$$

این کار باعث می‌شود الگوریتم ژنتیک راحت‌تر نقاط بهینه پارتو را پیدا کند. به عبارت دیگر، برای یافتن نیمه اول خط بهینه پارتو، مدل به صورت زیر در می‌آید:

Max *OF1*

Subject to (3)-(8)

برای یافتن نیمه دوم خط بهینه پارتو نیز، مدل را به صورت زیر تبدیل می‌کنیم:

Max *OF2*

Subject to (3)-(7) and (9)

پس از حل این دو مدل در مراحل مختلف، و اتصال نقاط به دست‌آمده به یکدیگر، خط بهینه پارتو حاصل می‌شود و می‌توان آن را برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم گیرنده (Decision Maker: D.M.) قرار داد.

٤- ارزیابی مدل و روش حل

در این قسمت رویکرد پیشنهادی با یک مسأله که براساس شرایط واقعی طراحی شده است (شی و همکاران، ۲۰۱۱)، ارزیابی شده است. سپس برای بررسی مسأله در شرایط مختلف، تحلیل حساسیت روی پارامترهای آن صورت گرفته است. در انتها نیز مدل و روش حل در ابعاد مختلف بررسی می شود. شایان ذکر است، کلیه الگوریتم‌ها با نرم‌افزار MATLAB R2010a کد نویسی شده‌است. کلیه محاسبات با کامپیوتر مجهز به CPU Intel Core 2 Duo 2.40 GHz و 2 GB RAM انجام می‌شود. اگرچه مثال‌های بخش انتهایی به صورت تصادفی تولید شده‌اند، ولی سعی شده است که تولید آنها بسیار شبیه به واقعیت باشد.

۵-۱- مثال عددی

در این بخش، مدل مذکور براساس داده‌های یک مسأله پنج محصولیِ شی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حل می‌شود. تقاضای کلیه محصولات نرمال فرض می‌شود. همچنین u_i نیز از توزیع نرمال با میانگین صفر تبعیت می‌کند. ظرفیت برابر با PC=۳۲۰۰۰ در نظر گرفته شده است. سایر پارامترهای مسأله در جدول (۱) ذکر شده‌است.

مسأله مورد نظر با رویکرد پیشنهادی حل شده و نتایج آن را در شکل ۱ و جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد.

۵-۲- حل مسأله و ارزیابی روش حل

برای ارزیابی رویکرد حل، به حل مثال عددی و مقایسه نتایج آن با سایر روش‌ها پرداخته شده است.

Archive of SID

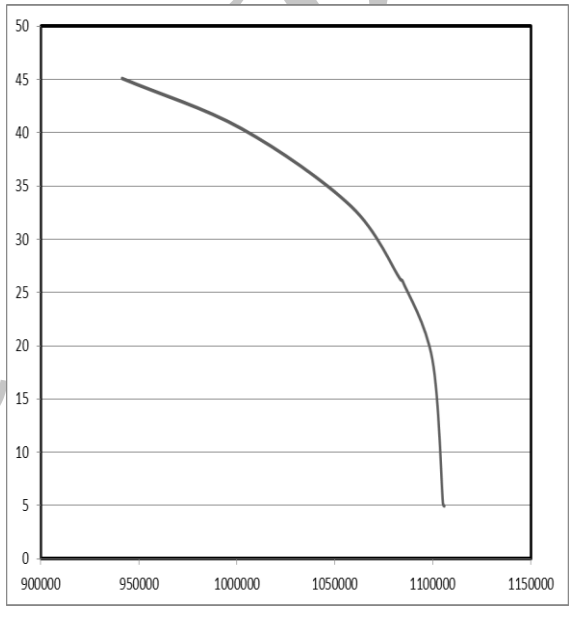
www.SID.ir

مسأله یاد شده با رویکرد پیشنهادی حل شده و خط بهینه پارتو به خوبی با این روش پیدا شده است (شکل ۱). همچنین، مقدار متغیرهای تصمیم متناظر با پنج نقطه از خط بهینه پارتو نیز در جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد.

همان طور که ملاحظه می‌شود، خط پارتو به دست آمده می‌تواند برای تصمیم گیری بسیار مفید باشد. برای مثال، تصمیم‌گیرنده قادر خواهد بود با صرف نظر از ۰/۵ درصد سود بهینه، ۲۷۶/۷ درصد افزایش در تابع هدف دوم را شاهد باشد.

جدول (۱) پارامترهای مسأله

محصول	۱	۲	۳	٤	٥
p_i	۱۹۵	۱۷۰	۱۹۰	۱٦۰	۱۸٥
cp_i	۹۷/٦٥	۸٥/۲۰	۹۷/٦۹	۷۹/۹۰	۹۲/۰٥
g_i	۷۸/۱۰	٦۸/۱٥	۷۸/۱٦	٦۳/۹۳	۷۳/٦٤
s_i	۳۹/۰٥	۳٤/۰۸	۳۹/۰۷	۳۱/۹٦	۳٦/۸۱
μ_i^d	۱۸۰۰	۲۲٥۰	۲۰۰۰	۲٥۰۰	۲٤۰۰
σ_i^d	٦٤۰	۷٥۰	٦۹۰	۹۰٥	۸٥٥
a_i	٥۰۰	٤۸۰	۳٦۰	٤٥۰	٤۲٥
b_i	۲۰	۲٥	۲۲	۲۸	۲٦,٥
σ_i^r	۳٤۰	۳۲۰	۲٦۰	۳۰۰	۲۸۰
cr_i	۳۸/٤٥	۳۷/۰۸	٤۱/۷٥	۳۳/۲۸	٤۹/۳٥
vr_i	۹۲/۸٥	۸۳/۲٥	۹۰/٦۰	۷٥/٤۰	۸٤/٦٥
hr_i	۱۳/٦٥	۱۱/۹۳	۱۲/٦۷	۱۲/۱۸	۱۰/۸۹
ms_i	٦۲,۳	۳/۳٤	۲/۹٥	۳/۸٥	۳/۰٥
rs_i	۲/۷۲	۲/٥٥	۲/۰۹	۲/۸٦	۲/۱٤



شکل ۱. خط بهینه پارتو

جدول۲. مقدار متغیرهای تصمیم در برخی نقاط خط بهینه پارتو

مقدار توابع هدف		متغیرهای تصمیم														
		Xp_i					Pr_i					Xr_i				
OF1	OF2	۱	۲	۳	٤	٥	۱	۲	۳	٤	٥	۱	۲	۳	٤	٥
۹٤۱٤۱۸	٤٥/۱۰۱	۲۲	۷	٤٥	٤٤	٤۰	٥۰	٤۷	٤۹	٤۸	۳۲	۱٤۱٥	۱٤۳۰	۱٤٦۰	۱٥۰۰	۱۳۲۱
۱۰۰۲٦٤۷	٤۰/۳٥۹	٥۳	۱۷	۷۰	۱۰	۲۸	۱	۳۱	۳۹	۲۳	٤۱	۱٤۰٦	۱٤٦۷	۱۳۸٦	۱٤۹٦	۱٤۲۹
۱۰۸٤٦٥۳	۲٦/۰٤۲	۸	٥۹	٤	۱٦	۸۰	۱	۱۸	۲۰	۱	۲۸	۳۷	۱۳٥٤	۷٥٤	٥۱۸	۱٦۸٦
۱۰۹۹۷٥۱	۱۸/۷۰۷	۲۹	۱٤	٤۱	۱۳۷	۸	۲	٥	۲۰	۱٦	٤	٦۱	۹٤۱	۱۱۳۹	۱۳٥۰	۷۹۳
۱۱۰٥۸۳۸	٤/۹٦٦	۷۲	۷۱	۲٦٦	۱٥۳	۱٥۲	۱	۲۱	۲۳	٦	۱٤	۳۲	۸۷۱	٦٥٥	۱۰٤٥	۹٤۳

Archive of SID

www.SID.ir

برای ارزیابی رویکرد حل، نتیجه آن را با نتایج روش‌های قبلی مقایسه می‌کنیم. مسأله مذکور (بدون در نظر گرفتن تابع هدف دوم) با رویکرد آزاد سازی لاگرانژ (شی و همکاران، ۲۰۱۱) و رویکرد الگوریتم ژنتیک (طاهری‌مقدم و صحرائیان، ۱۳۹۱) حل شده است. در اینجا قصد داریم برای مقایسه، نقطه اول از خط بهینه پارتو را (که در آن فقط تابع هدف اول در نظر گرفته شده‌است) نسبت به پاسخ های به دست آمده از طریق رویکردهای قبلی، بسنجیم. نتایج این بررسی در جدول۳ آمده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، رویکرد پیشنهادی قادر است جواب بسیار خوبی نسبت به رویکردهای قبل به دست آورد.

جدول۳. مقایسه رویکرد پیشنهادی با رویکردهای مشابه

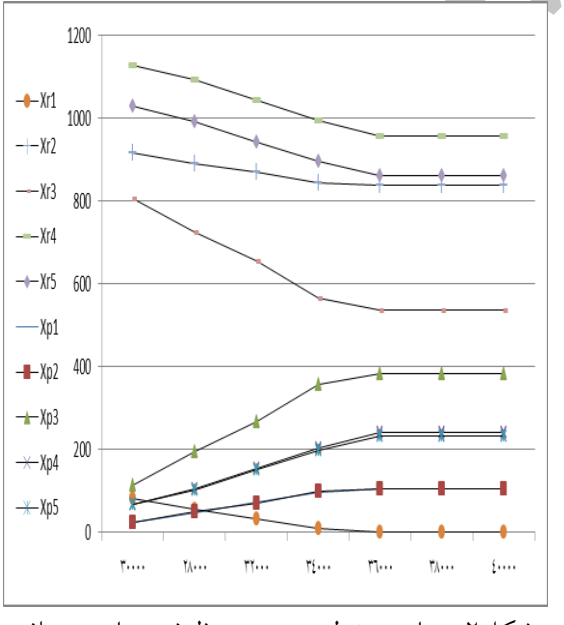
رویکرد حل	مقدار بهینه تابع هدف اول
الگوریتم ژنتیک بهبود یافته	۱۱۰۵۸۳۸
الگوریتم ژنتیک (طاهری‌مقدم و صحرائیان، ۱۳۹۱)	۱۰۶۸۲۷٤
آزادسازی لاگرانژ (شی، ۲۰۱۱)	۸۸۲۸٤٥

۵-۳- تحلیل حساسیت

در این بخش برای نشان دادن رفتار مدل در حالات مختلف و اتخاذ تصمیمات مدیریتی، تحلیل حساسیت بر روی ظرفیت و میزان تولید، بازتولید و قیمت برگشت هر واحد محصول برگشتی در مثال عددی ارائه شده در بخش ۵-۱ انجام می‌گیرد. شایان ذکر است که در تحلیل‌های صورت گرفته تنها میزان سود در نظر گرفته می‌شود.

۵-۳-۱- سیاست تولید در ظرفیت‌های مختلف

پس از انجام تحلیل حساسیت مشاهده گردید که سیاست‌های تولید و بازتولید، در ظرفیت‌های مختلف تغییر می‌یابد (با فرض ثابت بودن سایر پارامترها). همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با افزایش ظرفیت، میزان تولید محصولات نو نیز افزایش یافته امّا میزان بازتولید محصولات مستعمل کاهش می‌یابد. از آنجا که میزان منابع مورد نیاز برای بازتولید کمتر از منابع مورد نیاز برای تولید است، با افزایش ظرفیت، تولید کننده منابع بیشتری برای تولید در اختیار خواهد داشت و دیگر نیازی به پیشنهاد قیمت‌های بالا برای برگشت محصولات مستعمل نخواهد بود. هنگامی‌که میزان ظرفیت از ۳٦۰۰۰ بیشتر شود، تغییری در برنامه تولید رخ نخواهد داد. این امر نشان می‌دهد که در این حالت با افزایش میزان تولید نمی‌توان میزان سود را افزایش داد و میزان سودآوری تولید و بازتولید به نقطه سربه سر خود رسیده است.

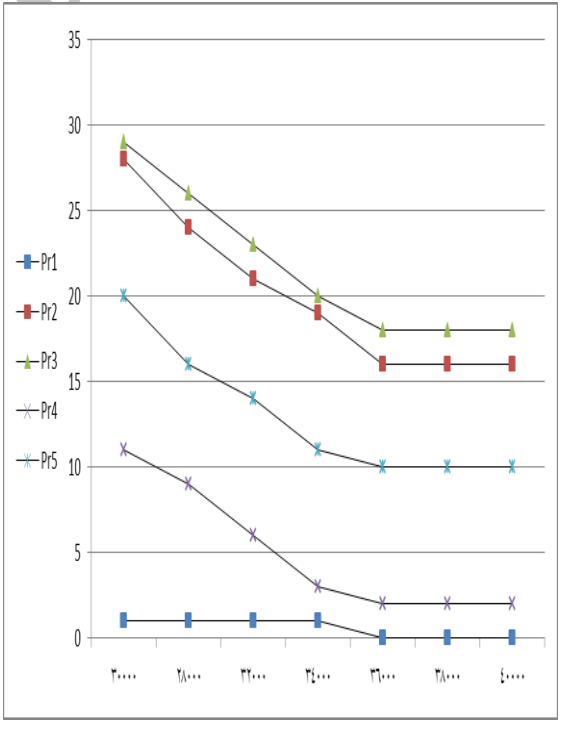


شکل۲. سیاست تولید بهینه در ظرفیت‌های مختلف

www.SID.ir

۵-۳-۲- سیاست برگشت محصولات مستعمل در ظرفیت‌های مختلف

همان طور که شکل ۳ نشان می‌دهد، در ظرفیت‌های کمتر از ۳٦۰۰۰ با افزایش ظرفیت، قیمت برگشت هر واحد محصول مستعمل کاهش یافته و در ظرفیت‌های بیشتر از ۳٦۰۰۰ با افزایش ظرفیت، تغییری در قیمت برگشت هر واحد محصول مستعمل رخ نخواهد داد. دلیل این رخداد نیز دقیقاً مشابه قسمت قبل است. هنگامی‌که ظرفیت منابع بیشتر می‌شود، دیگر نیازی به پرداخت هزینه‌های اضافی برای تأمین محصولات مستعمل نخواهد بود، ولی اگر ظرفیت بیش از اندازه افزایش یابد، تأثیری در میزان سودآوری ندارد، زیرا عوامل دیگری همچون میزان تقاضا و برابر شدن هزینه‌های تولید و بازتولید مانع از افزایش سود می‌شوند.



شکل۳. سیاست برگشت بهینه در ظرفیت‌های مختلف

۵-٤- ارزیابی مدل در ابعاد بزرگ

به منظور ارزیابی مدل و روش حل در ابعاد بزرگ، در این قسمت ۱۵۰ مسأله در ابعاد مختلف ۵، ۱۰، ۲۰، ٤۰ و ۸۰ محصول (هر مورد ۳۰ مسأله) به صورت تصادفی تولید و حل می‌شود. برای به دست آوردن میزان حداکثر خطا، از روش گسترش فضای حل استفاده شده‌است. به این طریق که پس از حل مسأله، یکی از محدودیت‌ها برای بهینه سازی حذف و مسأله دوباره حل می‌شود. پس از بررسی نشدنی بودن جواب حاصل در مسأله اصلی، می‌توان نتیجه گرفت که جواب جدید یک جواب بهینه و نشدنی برای مسأله اصلی بوده و می‌توان آن را حد بالای مسأله اصلی دانست و به این طریق می‌توان حداکثر درصد خطا را محاسبه نمود. نتایج حاصل از این ارزیابی را می‌توان در جدول ٤ مشاهده کرد. همان طور که ملاحظه می‌شود، عملکرد مدل و روش حل در ابعاد بزرگ، پذیرفتنی است. شایان ذکر است که حد بالای محاسبه شده از این طریق، به پارامترهای مسأله و محدودیت حذف شده بسیار وابسته است، زیرا ممکن است جواب بهینه مسأله اصلی با مسأله توسعه یافته تفاوت زیادی داشته باشد و میزان حد بالا به خوبی تخمین زده نشود.

جدول ٤. عملکرد مدل در ابعاد مختلف

ابعاد مسأله (تعداد محصولات)	تابع هدف اول		تابع هدف دوم	
	میانگین زمان حل (ثانیه)	میانگین حداکثر درصد خطا	میانگین زمان حل (ثانیه)	میانگین حداکثر درصد خطا

Archive of SID

www.SID.ir

۵	۲,۰۳	٪۰,۰۰	۰,۰۲	٪۰,۰۰
۱۰	٦,٤۲	٪۰,۰۰	۰,۰۵	٪۰,۰۰
۲۰	۲۱,۳۷	٪۰,۹۳	۰,۹۸	٪۰,۹۳
٤۰	۷۰,۷۲	٪۱,۸۱	۱,۰٤	٪۱,۹٤
۸۰	۲۹۷,۱۵	٪۰,۰۱	۲,۱۳	٪۰,۰۱

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مسأله برنامه‌ریزی تولید دو هدفه در یک سیستم زنجیره تأمین با حلقه بسته معرفی گردید. متغیرهای تصمیم این مدل عبارتند از: میزان تولید محصولات نو، میزان بازتولید محصولات مستعمل و قیمت خرید محصولات مستعمل از بازار. توابع هدف نیز، حداکثرسازی سود کل و حداقل سازی استفاده از مواد خام هستند. میزان تقاضا و برگشت در این مدل غیر قطعی فرض شده‌اند. مدل مذکور با استفاده از الگوریتم ژنتیک و روش E.C حل شده است. برای ارزیابی روش حل، یک مسأله با این رویکرد حل شد و خط بهینه پارتو به دست آمد. این خط می‌تواند به عنوان راهنمای خوبی برای تصمیم گیری‌های استراتژیک سیستم عمل نماید. همچنین، جواب رویکرد پیشنهادی با جواب روش هایی که برای مدل مشابه (تک هدفه) ارائه شده بود، مقایسه گردید. نتایج حاکی از بهبود کیفیت جواب در الگوریتم پیشنهادی هستند. همچنین، بر روی پارامترهای اصلی مدل، تحلیل حساسیت صورت گرفته و سیاست‌های تولید و بازتولید در شرایط مختلف مشخص گردید. مدل پیشنهادی در ابعاد مختلف بررسی و نتایج حاصل نشان از عملکرد خوب مدل دارد.

به عنوان تحقیقات آتی می‌توان مواردی از جمله پیش بینی دقیق‌تر میزان برگشت با استفاده از شبکه عصبی یا سایر روش‌های سری‌های زمانی را نام برد. همچنین، قیمت گذاری محصولات تولید/ بازتولید شده نیز می‌تواند به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته شود. از این طریق، تصمیم گیرنده قادر خواهد بود بین تقاضا و برگشت تعادل ایجاد نماید.

منابع (References):

Taheri Moghadam, A., Sahraeian, R., (2012). "A new solution approach for an uncertain closed-loop supply chain problem", *The 5th International Conference of Operations Research* Tabriz, Iran, .96.

Aras N, Verter V, Boyaci T., (2006) "Coordination and priority decisions in hybrid manufacturing/ remanufacturing systems", *Production and Operations Management*, **15**(4), 528–543.

Bakal IS, Akcali E., (2006) "Effects of random yield in remanufacturing with price sensitive supply and demand", *Production and Operations Management*, **15**(3),.407–420.

Choi DW, Hwang H, Koh SG., (2007) "A generalized ordering and recovery policy for reusable items", *European Journal of Operational Research*, **182**(2), 764–774.

Dobos I, Richter K., (2006) "A production/recycling model with quality consideration", *International Journal of Production Economics*, **104**(2), 571–579.

Fleischmann M, Kuik R., (2003) "On optimal inventory control with independent stochastic item returns", *European Journal of Operational Research*, **151**(1), 25–37.

Fleischmann M, Kuik R, Dekker R., (2002) "Controlling inventories with stochastic item returns: a basic model", *European*

Archive of SID

www.SID.ir

lead times", *Computers and Operations Research*, **34**(2), 395–416.

Mavrotas G., (2009) "Effective implementation of the ε-constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems", *Applied Mathematics and Computation*, **213**(2), 455-465.

Pokharel S, Mutha A., (2009) "Perspectives in reverse logistics: a review", *Resources, Conservation and Recycling*, **53**(4), 175–182.

Qu X, Williams JAS., (2008) "An analytical model for reverse automotive production planning and pricing", *European Journal of Operational Research*, **190**(3), 756–767.

Rubio S, Chamorro A, Miranda F., (2008) "Characteristics of the research on reverse logistics (1995–2005)", *International Journal of Production Research*, **46**(4), 1099–1120.

Rubio S, Corominas A., (2008) "Optimal manufacturing–remanufacturing policies in a lean production environment", *Computers and Industrial Engineering*, **55**(1), 234–242.

Shi J, Zhang G, Sha J., (2011) "Optimal production planning for a multi-product closed loop system with uncertain demand and return", *Computers & Operations Research*, **38**,.641-650.

Van Der Laan E, Salomon M, Dekker R, Van Wassenhove L., (1999) "Inventory control in hybrid systems with remanufacturing", *Management Science*, **45**(5), .733–747.

Zhou L, Naim MM, Tang Q, Towill QR., (2006) "Dynamic performance of a hybrid inventory system with a Kanban policy in remanufacturing process", *Omega*, **34**,.585–598.

Journal of Operational Research, **138**(1),.63–75.

Guide Jr VDR., (2000) "Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs", *Journal of Operations Management*, **18**(4),.467–483.

Guide Jr VDR, Teunter RH, Van Wassenhove LN., (2003) "Matching demand and supply to maximize profits from remanufacturing", *Manufacturing and Service Operations Management*, **5**(4), 303–316.

Guide Jr VDR, Jayaraman V, Srivastava R, Benton WC., (2000) "Supply chain management for recoverable manufacturing systems", *Interfaces*, **30**, 125–142.

Guide Jr VDR, Van Wassenhove LN., (2001) "Managing product returns for remanufacturing", *Production and Operations Management*, **10**(2), 142–155.

Inderfurth K., (2005) "Impact of uncertainties on recovery behavior in a remanufacturing environment: a numerical analysis", *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, **35**(5), 318–336.

Inderfurth K., (2004) "Optimal policies in hybrid manufacturing/remanufacturing systems with product substitution", *International Journal of Production Economics*, **90**(3), 325–343.

Kim K, Song I, Kim J, Jeong B., (2006) "Supply planning model for remanufacturing system in reverse logistics system", *Computers & Industrial Engineering*, **51**, 279–287.

Liang Y, Pokharel S, Lim GH., (2009) "Pricing used products for remanufacturing", *European Journal of Operational Research*, **193**(2), 390–395.

Lieckens K, Vandaele N., (2007) "Reverse logistics network design with stochastic

پانوشت

[1] Closed-loop supply chain (CLSC)
[2] Pareto optimal
[3] Rubio

Archive of SID

www.SID.ir

[4] Guide
[5] Original Equipment Manufacturer
[6] Shi
[7] Kodak
[8] Aras
[9] Kim
[10] Trade-off
[11] Van Der Laan
[12] Inderfurth
[13] Zhou
[14] Lieckens and Vandaele
[15] Choi
[16] Rubio and Corominas
[17] Fleischmann
[18] Fleischmann and Kuik
[19] Inderfurth
[20] Guide and Van Wassenhove
[21] Dobos and Richter
[22] Qu and Williams
[23] Liang
[24] Pokharel and Mutha
[25] Rubio
[26] Bakal and Akcali
[27] Lagrangian relaxation method
[28] Epsilon-Constraint
[29] Mavrotas
[30] Solution Representation
[31] Binom Distribution

Archive of SID

www.SID.ir