چشم‌انداز مدیریت صنعتی
سال دهم، شماره ۳۷، بهار ۱۳۹۹
شاپا چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵
ص‌ص ۶۳ – ۴۱

به‌کارگیری الگوریتم تجزیه بندرز شتاب‌یافته برای زنجیره تأمین با درنظرگرفتن توسعه محصول جدید و مدیریت ارتباط با مشتری

اسماعیل رضایی*، محمدمهدی پایدار، عبدالستار صفائی*****

چکیده

توسعه محصول جدید در هر شرکتی از ملزومات اساسی است و هر شرکتی برای بقا در بازار رقابتی نیاز به توسعه فناوری و محصولات خود دارد. بیشتر سازمان‌ها امروزه بیش از هر زمان دیگری دریافته‌اند که تکیه و اعتماد به اهرم‌های رقابتی سنتی، همانند افزایش کیفیت، کاهش هزینه و تمایز در ارائه محصولات و خدمات، کافی نیست؛ بلکه پرداختن به ورود محصول جدید و همچنین خروج به‌موقع محصول قدیمی بسیار مهم است. در این پژوهش طراحی شبکه زنجیره تأمین زمانی که قرار است محصول جدید به خط تولید اضافه شود، بررسی می‌شود؛ همچنین مبحث مهم مدیریت ارتباط با مشتری که یکی از عوامل افزایش فروش محصولات در نتیجه سودآوردی بیشتر برای سازمان است، به‌صورت مدل ریاضی طراحی خواهد شد. در نهایت نسخه بهبود یافته از الگوریتم تجزیه بندرز با عنوان «بندرز شتاب یافته» برای مسئله ارائه می‌شود. نتایج محاسباتی عملکرد برتر روش حل را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: طراحی زنجیره تأمین؛ توسعه محصولات جدید؛ مدیریت ارتباط با مشتری؛ مدل ریاضی؛ الگوریتم تجزیه بندرز.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۶.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.
** دانشیار، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل (نویسنده مسئول).
E-mail: paydar@nit.ac.ir
*** دانشیار، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر با افزایش رقابت در بازار، چرخه عمر محصولات کوتاه‌تر شده است. در گذشته سازمان‌ها برای افزایش توان رقابتی خود از طریق بهبود فرآیندها محصولاتی باکیفیت‌تر و با هزینه کمتر تولید می‌کردند و عمده فعالیت‌های خود را به افزایش کارایی اختصاص می‌دادند [۱۱]؛ اما در سال‌های اخیر بیشتر سازمان‌ها به این موضوع پی برده‌اند که صرفاً توجه به افزایش کیفیت محصولات و کاهش هزینه‌ها کافی نیست. توجه به مسائلی همچون سرعت و انعطاف‌پذیری در ارائه محصولات جدید و توجه به خواسته‌های مشتریان و ارائه خدمت به آن‌ها در بازار رقابتی اهمیت زیادی یافته است. ازآنجاکه نوآوری برای پیشرفت سازمان‌ها امری ضروری است، سازمان‌ها می‌کوشند تا با سرعت بیشتری محصولات جدید را به بازار عرضه کنند. طراحی یک محصول جدید در کارخانه به عوامل درونی و عوامل بیرونی در زنجیره تأمین بستگی دارد. یکی از این عوامل مربوط به توانایی‌های متخصصان در استفاده از فناوری و ظرگرفتن ویژگی‌های موردنظر مشتریان است. یکی دیگر از این عوامل به عناصر موجود در زنجیره تأمین و انعطاف‌پذیری آن‌ها و یکپارچگی آن‌ها در زمان معرفی محصول جدید به بازار بستگی دارد [۹,۳۰].

متنوع‌شدن نیازهای مشتریان، پیشرفت فناوری و رقابتی‌شدن بازار از عوامل ترغیب‌کننده دستیابی به محصول و کالاهای جدید توسط سازمان‌ها است. سازمان‌ها عموماً مجبور به تصمیم‌گیری در مورد چگونگی طرح‌ریزی تولید محصولات در فرآیند توسعه محصول جدید هستند. فرآیند توسعه محصول جدید با خلق ایده‌هایی در رابطه با محصول جدید آغاز می‌شود. هرچه محصول به نیازهای مشتریان نزدیک‌تر باشد، امکان موفقیت آن در بازار بیشتر خواهد بود. محصولات جدیدی که بر اساس فناوری‌های نوآورانه طراحی شوند، مشخصه‌ها و مزایایی را ارائه می‌دهند که در محصولات موجود در بازارهای کنونی موجود نیستند. توسعه یک محصول نوآورانه نیازمند توجه به جنبه‌ها و عناصر اصلی و کلیدی فرآیند تولید است [۶]. دستیابی به نیازهای مشتری و ارائه مزایای استثنایی، اساس ایجاد ارزش و توسعه محصول جدید است. در زمینه ایجاد ارزش، فرآیند توسعه محصول جدید باید جنبه‌های مثبت را ارتقا دهد و از جنبه‌های منفی بکاهد و همچنین مزایا را افزایش داده و متقابلاً معایب و هزینه‌های مرتبط با هر محصول را کاهش دهد. برای حفظ موفق مشتری، بررسی نظرها و ایده‌های مشتریان و به‌کارگیری آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا زمانی که محصول روانه بازار می‌شود درنهایت به دست مشتری می‌رسد و باید بتواند خواسته‌ها و نیازمندی‌های او را تأمین کند. علاوه بر این مشتریان، منابع مختلف از جمله کارکنان، مدیران سازمان‌ها، رقبا و فناوری‌های نوین هر یک به‌نوبه خود می‌توانند در خلق ایده‌های جدید تأثیرگذار باشند [۲۲].

استراتژی ارائه محصول جدید و از رده‌خارج‌کردن محصولات قدیمی تأثیر بسیار زیادی بر طراحی شبکه زنجیره تأمین خواهد داشت. تولید محصولات جدید یک فرآیند چندجانبه است که جنبه‌های مختلفی نظیر تعامل و همکاری بین واحدهای تحقیق و توسعه با واحدهای بازاریابی، وجود زنجیره تأمین کارا و بهره‌گیری از دانش و مهارت گروه کاری چندمنظوره را دربرمی‌گیرد. در صورت عدم‌پاسخگویی به تغییرات محیطی، عمر سازمان‌های تولیدی کوتاه خواهد بود. ازآنجاکه در سازمان‌های تولیدی نسبت تغییرات در نیازهای مشتریان و سرعت ورود محصولات جدید به بازار بیش از سازمان‌های دیگر است، بهره‌گیری از استراتژی توسعه محصولات جدید با حفظ کیفیت و هزینه کمتر در این سازمان‌ها اهمیت بیشتری دارد که می‌تواند موفقیت و سودآوری این سازمان‌های تولیدی را در عرصه بازارهای رقابتی جهانی تضمین کند و روانه‌ساختن یک محصول جدید به بازار، نیازمند طراحی محصول جدید است. این طراحی باید به‌گونه‌ای باشد تا بتواند در بازار رقابت کند و نیازها و خواسته‌های مشتریان را برآورده سازد؛ همچنین محصول جدید تولیدشده باید به‌موقع به بازار عرضه شود [۹]. هر محصول جدید نیازمند خط تولیدی جدید و تأمین‌کننده مواد اولیه جدید است؛ ازاین‌رو سازمان‌ها باید با توجه به هزینه‌های موردنیاز و ظرفیت‌های موجود برای طراحی محصول جدید اقدام کنند. بیلینگتون و همکارانش (۱۹۹۸)، دو روش به‌منظور ارائه محصول جدید معرفی کرده است: ۱. استراتژی جایگزینی محصول یگانه؛ ۲. استراتژی جایگزینی محصول دوگانه. در حالت نخست، ابتدا محصول قدیمی از رده خارج شده و سپس کالای جدید وارد چرخه تولید می‌شود؛ اما در حالت دوم هم محصول قدیمی و هم محصول توسعه‌یافته به‌طور هم‌زمان تولید می‌شوند [۴]. در این مطالعه یک مدل ریاضی چندمحصولی پیشنهاد می‌شود که هم حالت استراتژی یگانه در آن استفاده شده و هم ارائه محصول جدیدی است که از محصولات دیگر مجزا می‌باشد.

علاوه بر نوآوری و ارائه محصول جدید، مدیریت ارتباط با مشتری نیز امری بسیار ضروری است. سیستم ارتباط با مشتری، بسیاری از کارکردهای تجارت الکترونیک و همچنین سیستم‌های سنتی ارتباط بین مشتریان و تأمین‌کنندگان محصول را دربرمی‌گیرد. این سیستم‌ها در استراتژی‌های اجرایی زنجیره تأمین نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند. سیستم‌های مدیریت ارتباط با مشتری در زنجیره تأمین به تأمین‌کننده‌ها در حداکثر توانایی‌شان در عملکرد متقابل با مشتریانشان کمک می‌کنند. این نه‌تنها به بهبود کیفیت منجر می‌شود، بلکه سرعت پاسخگویی به نیازهای مشتری را افزایش می‌دهد [۷].

در این مطالعه سعی شده است تا مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین با درنظرگرفتن توسعه محصول جدید و ارائه خدمات به‌صورت مدل‌سازی ریاضی بررسی شود. در مدل ارائه‌شده، زنجیره تأمین به همراه تنظیمات مربوط به زمان معرفی محصول جدید به بازار و مدیریت ارتباط با

مشتری به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته می‌شوند. درنهایت مدل ارائه‌شده با استفاده از الگوریتم بندرز در مثال‌های عددی متنوع حل شده و نتایج آن ارائه خواهد شد.

در ادامه پژوهش، ابتدا به مرور مبانی نظری و پیشینه پژوهش پرداخته می‌شود. سپس تعریف مسئله، فرمول‌بندی مدل و روش حل پیشنهادی ارائه می‌شود. در ادامه نیز محاسبات عددی و نتایج گزارش خواهد شد. درنهایت در قسمت آخر، نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی ارائه می‌شود.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

متغیربودن قوانین رقابتی در دنیای کسب‌وکار، فرآیند ارائه محصول جدید به بازار را با اهمیت خاصی جلوه می‌دهد. در پژوهش کویانچو و ریزوان (۲۰۱۵)، توسعه محصول جدید برای زمانی که منابع محدود باشد در نظر گرفته شده است و هدف آن کمینه‌کردن زمان ارائه محصول با درنظرگرفتن هم‌پوشانی برای بعضی از فعالیت است. درنهایت مسئله موردنظر برای یک مثال واقعی با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات تغییریافته حل و نتایج ارائه شد [۱۵]. پتریک و اچولس (۲۰۰۴)، توسعه محصول جدید را توسط مواد و سیستم تولیدی به سه بخش تقسیم کرده است: ۱. محصول جدید با استفاده از مواد اولیه موجود و سیستم تولیدی جدید ساخته شود؛ ۲. محصول جدید به‌وسیله مواد اولیه جدید و سیستم تولیدی موجود ساخته شود؛ ۳. محصول جدید با استفاده از مواد و اجزای جدید و سیستم جدید تولید شود [۲۲]. ونکلیف و همکاران (۲۰۰۵)، روش‌های مختلف توسعه محصول جدید را با هم مقایسه کرده‌اند و مزایا و معایب هر روش را ارائه داده‌اند [۲۷]. کتون و همکاران (۲۰۱۵)، مدلی ارائه داده‌اند که در آن شرایطی که سازمان در زمان توسعه محصول جدید با آن روبه‌رو می‌شوند را بررسی می‌کند. آن‌ها زمان ارائه محصول در بازار را بررسی کردند و نشان دادند که تأخیر و تعجیل در ارائه محصول به بازار چه تأثیراتی مثبت و منفی بر سازمان دارد [۱۴].

ارائه یک محصول جدید در بازار نیازمند طراحی محصول جدید است. این طراحی باید به‌گونه‌ای باشد که بتواند در بازار رقابت کند و نیازها و خواسته‌های مشتریان را برآورده سازد. جعفریان و بشیری (۲۰۱۴)، یک زنجیره تأمین چندسطحی ارائه دادند که شامل سطوح تأمین‌کننده مواد خام، تأمین‌کننده اجزا، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری است و به حل یک نمونه تصادفی بر روی وسایل الکتریکی در سه سطح مختلف کیفیت پرداختند. پیکربندی زنجیره تأمین در دوره‌های مختلف با توجه به زمان ورود محصول جدید تغییر می‌کند؛ همچنین تحلیل حساسیتی روی تأثیر زمان ورود محصول جدید و پیکربندی انجام شد [۱۲]. افروزی و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل چندهدفه با رویکردی جدید ارائه دادند که در آن علاوه بر توسعه محصول، ارائه محصول جدید که نسبت به محصولات قبلی هیچ وجه شباهتی ندارد، بررسی شده است.

آن‌ها سه نوع محصول را در نظر گرفتند و از روش فازی تصادفی برای غیرقطعی‌بودن پارامترهای تقاضا و ظرفیت استفاده کردند؛ درنهایت با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی مدل چندهدفه حل و نتایج گزارش شد [۱]. وانگ و همکاران (۲۰۰۷)، طراحی زنجیره تأمین برای محصول جدید را با درنظرگرفتن عوامل نامعین مطالعه کردند. در این مطالعه فرض اولیه بر این است که چون مدل‌سازی برای محصول جدید انجام می‌شود، اطلاعات قابل‌اعتمادی برای زنجیره تأمین آن وجود ندارد و درنتیجه طراحی شبکه زنجیره تأمین برای محصول جدید در شرایط عدم‌قطعیت خواهد بود که زمان تحویل و تقاضا فازی در نظر گرفته شده‌اند. هدف این تحقیق، مدل‌سازی زنجیره تأمین و توسعه آن برای تصمیم‌گیری در مورد پیکربندی زنجیره تأمین با درنظرگرفتن رضایت مشتری بوده است [۲۸]. فوزا و همکاران (۲۰۰۵)، انتخاب تأمین‌کنندگان و درگیرکردن آن‌ها در زمان‌بندی توسعه محصول جدید و به‌موقع ارائه‌دادن محصول جدید به بازار را از عوامل مؤثر موفقیت در پروژه توسعه محصول جدید در زنجیره تأمین می‌دانند. یکپارچگی زنجیره تأمین، انتخاب تأمین‌کنندگان، زمان درگیرکردن تأمین‌کنندگان و تنظیم بهینه زنجیره تأمین از عوامل دستیابی به زنجیره تأمین سودآور برای محصول جدید است. آنها بیان کردند که زنجیره تأمین باید منطبق بر تغییرات در بازار محصول باشد تا بتواند یک مزیت رقابتی خوب را به‌دست آورد که این امر به بازاریابی و یکپارچگی بین بخش‌های مختلف زنجیره تأمین بستگی دارد [۸].

نپال و همکاران (۲۰۱۱)، مدلی دوهدفه برای توسعه محصول جدید در زنجیره تأمین در نظر گرفتند. آن‌ها برای موفقیت زنجیره شاخصی به نام «شاخص سازگاری» تعریف کردند که هدف مدل آن‌ها بیشینه‌سازی این شاخص در مقابل کمینه‌سازی هزینه‌های زنجیره بود [۱۹]. پیترسن و همکاران (۲۰۰۵)، در مدل خود، توسعه محصول جدید را به ۲ عامل طراحی و طرح زنجیره تأمین مرتبط ساختند. نخستین عامل به توانایی متخصصان سازمان در استفاده از فناوری و طراحی محصول و دومین عامل به اجزای زنجیره تأمین و انعطاف‌پذیری آن‌ها در معرفی محصول جدید مرتبط است. در دوره‌های مختلف این امکان وجود دارد که سازمان تولیدی با افزایش تقاضای محصول جدید روبه‌رو شود که در این صورت شرکت مجبور است تا محصول جدید تولید کند. شرکت در کنار برنامه تولید محصول جدید باید به پیکربندی مجدد زنجیره تأمین برای توزیع محصول جدید نیز توجه کند [۲۱].

امینی و لی (۲۰۱۱)، پیکربندی شبکه زنجیره تأمین را زمانی که قرار است محصول جدید تولید شود برای یک زنجیره تأمین چندسطحی و تک‌محصولی بررسی کرد. مدل ارائه‌شده با توجه به اینکه نوسانات ناشی از تقاضا در طی فرآیند توسعه محصول جدید بر پیکره زنجیره تأمین تأثیر می‌گذارد، بررسی شد و هدف مدل بیشینه‌سازی سود بود [۳]. ناراهاریستی و کریمی (۲۰۱۰) پژوهشی در رابطه با تخصیص ظرفیت و فرآیند به تأمین‌کننده‌های مختلف در شبکه

زنجیره تأمین انجام دادند. جنبه کاربردی این مطالعه به صنعت تولید مواد شیمیایی مربوط می‌شود و فرض بر این است که کارخانه در دوره‌های مختلف نسبت‌های متفاوتی از مواد اولیه را برای تولید محصولات خود استفاده می‌کند که درنتیجه آن نسبت‌های متفاوتی از محصولات خروجی به‌دست می‌آید [۱۸]. به عقیده تراس و ناهاس (۲۰۱۳)، در زنجیره تأمین، توسعه محصول جدید در مقایسه با هزینه اهمیت بیشتری دارد و اصلی‌ترین هدف زنجیره تأمین، عرضه به‌موقع محصول به بازار و برآورد نیازهای مشتری است [۲۵].

مدیریت ارتباط با مشتری، مجموعه‌ای از روش‌هایی است که یک دیدگاه محکم، منسجم و یکپارچه از مشتریان در گستره کل کسب‌وکار فراهم می‌کند تا اطمینان حاصل شود هر مشتری بالاترین سطح خدمت را دریافت می‌کند. مدیریت ارتباط با مشتری، استراتژی جامع کسب‌وکار است که فناوری‌ها، فرآیندها و تمام فعالیت‌های کسب‌وکار را پیرامون مشتری یکپارچه می‌سازد تا به ایجاد و حفظ ارتباط بلند مدت و سودآور با مشتریان منجر شود [۱۳]. لیو (۲۰۰۹)، مدیریت ارتباط با مشتری را یک استراتژی کلیدی کسب‌وکار می‌داند که از این طریق بر نیازهای مشتریان تمرکز می‌شود و در سرتاسر سازمان، یک رویکرد مشتری‌محور را انسجام می‌بخشد. سیستم‌های مدیریت ارتباط با مشتری در زنجیره تأمین به تأمین‌کننده‌ها در حداکثرکردن توانایی‌شان در عملکرد متقابل با مشتریان خود کمک می‌کنند که نه‌تنها به بهبود کیفیت منجر می‌شود، بلکه سرعت پاسخگویی به نیازهای مشتری را افزایش می‌دهد [۱۶]. به‌منظور برجسته‌کردن نوآوری‌های این پژوهش و یافتن شکاف‌های پژوهشی پیشین، مروری مختصر بر مقاله‌های موردنظر در جدول ۱، ارائه شده است. طبق این جدول، این پژوهش‌ها از مباحثی همچون مدیریت ارتباط با مشتری، مبحث تبلیغات برای محصول جدید و بحث ضمانت محصولات غافل بوده‌اند؛ بنابراین پژوهش حاضر علاوه بر درنظرگرفتن مفروضات متداول همچون طراحی و توسعه محصول، هزینه‌ها و سود، تخصیص و زمان تولید محصول، به پوشش شکاف‌های نام‌برده می‌پردازد. در این پژوهش نسخه بهبودیافته از الگوریتم تجزیه بندرز با عنوان «بندرز شتاب‌یافته» نیز ارائه شده است که از دیگر جنبه‌های نوآوری این پژوهش محسوب می‌شود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

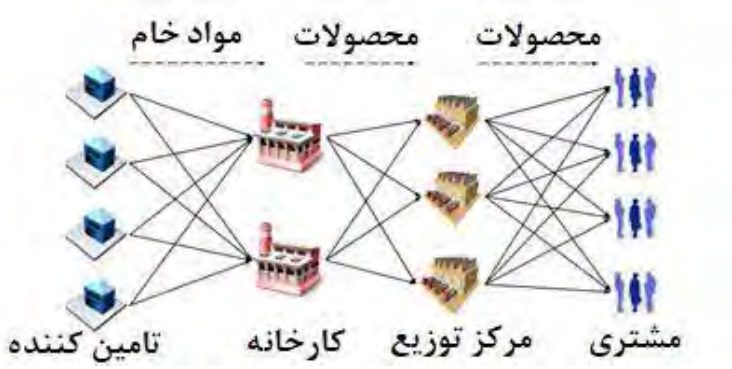
تعریف مسئله. امروزه با توجه به بازار رقابتی، هر زنجیره برای موفقیت و رسیدن به اهداف خود باید درصدد پاسخگویی هرچه سریع‌تر خواسته‌های مشتریان باشد. نوآوری برای حفظ پیشرفت بیشتر سازمان‌ها ضروری است. نوآوری یک محصول و توجه بیشتر به خواسته‌های مشتریان و درنظرگرفتن مزایایی برای مشتریان، راه‌حلی جدید و خلاقانه برای شرایط و تمایلات فعلی است. فرآیند توسعه محصول جدید باید جنبه‌های مثبت را ارتقا دهد و از جنبه‌های منفی بکاهد (توسعه

محصول) و در شرایط تغییرپذیر بازار انعطاف‌پذیر باشد (تولید محصول جدید) و همچنین به مشتری توجه کند.

اگرچه پژوهش‌های متعددی در حوزه توسعه محصول جدید و طراحی محصول جدید و مدیریت ارتباط با مشتری به‌صورت جداگانه صورت پذیرفته است، بیشتر مطالعات توسعه محصول جدید و مدیریت ارتباط با مشتری بر حوزه‌های توصیفی و مفهومی متمرکز بوده و تنها به ارزیابی تأثیر آن پرداخته است. در این بخش یک مدل ریاضی برای بیشینه‌کردن سود زنجیره تأمین با توجه به توسعه محصول جدید و درنظرگرفتن مدیریت ارتباط با مشتری ارائه خواهد شد. در مدل پیشنهادی چندمحصولی و چنددوره‌ای، محصولات به سه دسته تقسیم شده‌اند: محصولات در حال تولید؛ محصولات توسعه‌یافته و محصولات جدید.

جدول ۱. مروری بر مبانی نظری مرتبط با پژوهش حاضر

مراجع	مشخصه‌های مدل											
	طراحی محصولات	توسعه محصولات	ارتباط با مشتریان	سود کل	هزینه حمل و تولید	زمان تولید محصول	تبلیغات محصولات	ضمانت محصولات	تخصیص محصولات	چندمحصولی	چنددوره‌ای
[۲۸]	*	*			*	*					*
[۳]	*	*		*	*	*					*
[۱۹]		*		*	*	*			*		*
[۵]					*				*	*	*
[۱۲]	*	*		*	*	*			*	*	*
[۱۳]		*		*	*	*					*
[۱]	*	*		*	*				*	*	*
[۱۰]				*	*				*	*	*
[۲۳]	*				*				*	*	*
[۲]	*	*		*	*					*	
[۲۰]	*	*		*	*	*			*	*	*
[۲۴]		*		*	*	*				*	
[۱۷]	*	*			*	*				*	*
[۲۶]	*	*		*	*					*	*
[۲۹]	*	*		*	*	*				*	
تحقیق حاضر	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*



شکل ۱. ساختار زنجیره تأمین چهارسطحی

شمارنده‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله

شمارنده‌ها

t: شمارنده مربوط به دوره

s: شمارنده مربوط به تأمین‌کننده

f: شمارنده مربوط به تولیدکننده

d: شمارنده مربوط به توزیع‌کننده

g: شمارنده مربوط به گروه مشتری

r: شمارنده مربوط به مواد خام

i: شمارنده مربوط به محصول

v: شمارنده مربوط به نوع ضمانت

پارامترها

PD_i: قیمت فروش محصول i

PS_{srt}: قیمت خرید مواد اولیه r از تأمین‌کننده s

Cfi: هزینه متغیر تولید محصول i

$FCfi$: هزینه ثابت تولید محصول i

TPi: زمان موردنیاز برای تولید یک واحد محصول i

TCF_{fd}: هزینه حمل محصول بین کارخانه f و توزیع‌کننده d

TCD_{dg}: هزینه حمل محصول بین توزیع‌کننده d و مشتری g

TCR_{sf}: هزینه حمل مواد بین تأمین‌کننده s و کارخانه f

Cod_v: هزینه اجرای گزینه ضمانت به‌منظور حفظ مشتریان حاضر و تشویق مشتریان جدید برای پیوستن به گروه مشتریان

W_i: ضریب تأثیرگذاری گزینه‌های تعریف‌شده تبلیغات بر محصول i

EE_t: حداکثر بودجه برای تبلیغات محصولات در دوره t

O_{iv}: ضریب تأثیرگذاری گزینه‌های تعریف‌شده ضمانت v بر محصول i

NP_i: هزینه طراحی محصول جدید

P_{oj}: اگر محصول O بتواند به محصول j توسعه یابد، مقدار ۱ می‌گیرد؛ در غیر این صورت مقدار صفر.

dl_i: زمان طراحی محصول جدید i

B_{ir}: تعداد مواد خام r موردنیاز برای محصول i

DF_{git}: تقاضای مشتری g برای محصول iام در دوره t

CR_{srt}: ظرفیت تأمین مواد خام r توسط تأمین‌کننده s در دوره t

CF_{ft}: ظرفیت تولید محصول i در کارخانه f در دوره t

CD_d: ظرفیت توزیع‌کننده d در هر دوره

M: عدد مثبت بزرگ

متغیرهای تصمیم

X_{fdit}: جریان مواد بین تولیدکننده f و توزیع‌کننده d

Z_{sfrt}: جریان مواد بین تأمین‌کننده s و تولیدکننده f

Y_{dgit}: جریان مواد بین توزیع‌کننده d و مشتری g

PR_{fit}: میزان تولید محصول i در کارخانه f در دوره t

$DPit$: اگر شرکت تصمیم به طراحی محصول i در دوره t بگیرد ۱؛ در غیر این صورت صفر.

$ETit$: اگر محصول i در دوره t آمادگی حضور در بازار را داشته باشد ۱؛ در غیر این صورت صفر.

$Cobit$: هزینه تبلیغات محصول i در دوره t

$Odiv$: اگر ضمانت نوع v برای محصول i انتخاب شود ۱؛ در غیر این صورت صفر

توابع هدف

$$MAX\ Z1 = \sum_g \sum_d \sum_i \sum_t PD_i Y_{dgit} - \sum_s \sum_f \sum_r \sum_t PS_{srt} Z_{sfrt} - \sum_f \sum_i \sum_t (C_{fi} pr_{fit} + FC_{fi} DP_{it}) - \sum_s \sum_f \sum_r \sum_t TCR_{sf} Z_{sfrt} \quad (۱)$$

$$-\sum_{f}\sum_{d}\sum_{i}\sum_{t} TCF_{fd} X_{fdit} - \sum_{d}\sum_{g}\sum_{i}\sum_{t} TCD_{dg} Y_{dgit}$$
$$-\sum_{i}\sum_{t} NP_i DP_{it} - \sum_{i}\sum_{v} Cod_v Od_{iv} - \sum_{i}\sum_{t} Cob_{it} ET_{it}$$
$$MAXZ2 = \sum_{i}\sum_{t} W_i Cob_{it} ET_{it} + \sum_{i}\sum_{v} O_{iv} Od_{iv} \qquad (۲)$$

تابع هدف اول شامل بیشینه‌سازی سود در کل افق برنامه‌ریزی است. در عبارت اول، تابع هدف اول شامل درآمد حاصل از فروش محصولات در طول افق برنامه‌ریزی‌شده است. عبارت دوم، هزینه تدارکات مواد اولیه از تأمین‌کنندگان را در طول افق برنامه‌ریزی محاسبه می‌کند. عبارت سوم، هزینه‌های تولید اعم از هزینه تولید هر واحد از محصول در هر کارخانه و هزینه‌های ثابت تولید را نشان می‌دهد عبارت‌های چهارم تا ششم نشان‌دهنده هزینه حمل‌ونقل بین بخش‌های مختلف زنجیره تأمین هستند. عبارت هفتم، هزینه طراحی محصولات توسعه‌یافته و جدید را در طول افق برنامه‌ریزی محاسبه می‌کند. عبارت‌های هشتم و نهم مربوط به هزینه‌های مدیریت ارتباط با مشتری است که به‌ترتیب هزینه ضمانت محصول و هزینه تبلیغات محصول در دوره‌های مختلف است.

تابع هدف دوم از جنس بیشینه‌سازی ارزش هزینه‌های CRM است. در این هدف از مفهوم CRM به‌منظور جذب مشتریان بیشتر و تبدیل آن‌ها به مشتریان وفادار از طریق تبلیغات و ضمانت برای محصولات استفاده شده است. ازآنجاکه هر چه میزان تبلیغات و میزان ضمانتی که برای محصولات در نظر گرفته می‌شود، بیشتر باشد باعث جلب مشتری بیشتر و رضایت‌مندی آن‌ها می‌شود، درنتیجه با افزایش مشتری میزان تولید افزایش می‌یابد که سود بیشتر در زنجیره تأمین را به همراه دارد.

محدودیت‌ها

$$\sum_{i} Cob_{it} \le EE_t \qquad \forall t \qquad (۳)$$

$$\sum_{v} Od_{iv} = 1 \qquad \forall i \qquad (۴)$$

$$\sum_{s} Z_{sfrt} = \sum_{i} B_{ir} pr_{fit} \qquad \forall f,t,r \qquad (۵)$$

$$pr_{fit} = \sum_{d} X_{fdit} \qquad \forall f,i,t \qquad (۶)$$

$$\sum_{f} X_{fdit} = \sum_{f} Y_{dgit} \qquad \forall d,i,t \qquad (۷)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$\sum_{d} Y_{dgit} \le DF_{git} \qquad \forall g,i,t \qquad (۸)$$

$$\sum_{f} Z_{sfrt} \le CR_{srt} \qquad \forall s,r,t \qquad (۹)$$

$$pr_{fit} TP_{fi} \le CF_{ft} \qquad \forall f,i,t \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{f}\sum_{i}\sum_{t} X_{fdit} \le CD_{d} \qquad \forall d \qquad (۱۱)$$

$$pr_{fit} \le M * ET_{it} \qquad \forall f,t,i \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{h=t+dl_i+1}^{T} ET_{oh} < DP_{jt} P_{oj} \qquad \forall t, i \in o, j \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{h=1}^{t+dl_i} ET_{ih} \le DP_{it} \qquad \forall t, i \in j, n \qquad (۱۴)$$

$$\sum_{t} DP_{it} = 1 \qquad \forall i \in j, n \qquad (۱۵)$$

$$X, Z, Y, LS, pr, ID, IR, IF, COB \ge 0 \qquad (۱۶)$$

$$DP, ET, Od \in \{0,1\} \qquad \forall i,t,f,d,s,g,r \qquad (۱۷)$$

معادلات ۳ و ۴، مربوط به مفهوم CRM هستند که محدودیت ۳، تضمین می‌کند هزینه تبلیغات از حداکثر مقدار هزینه درنظرگرفته‌شده برای بحث تبلیغات بیشتر نشود و محدودیت ۴، تضمین می‌کند برای هر محصول یکی از حالت‌های ضمانت در نظر گرفته شود. معادلات ۵ تا ۷، به‌ترتیب محدودیت‌های تعادل بین محصولات نهایی در کارخانه‌ها و محصولات نهایی در توزیع‌کنندگان هستند. محدودیت ۸، جریان مواد از توزیع‌کننده به دست مشتری و برآورده‌شدن تقاضا را نشان می‌دهد. معادله ۹، تضمین می‌کند که ماده اولیه rام ارسال‌شده از تأمین‌کننده s به تمام کارخانه‌ها در دوره tام از ظرفیت همان تأمین‌کننده تجاوز نکند. به‌طور مشابه نامعادلات ۱۰ و ۱۱، به‌ترتیب محدودیت ظرفیت هر کارخانه و توزیع‌کننده را برای محصول نهایی در هر دوره کنترل می‌کنند. محدودیت ۱۲، تضمین می‌کند که تولید محصول در هر دوره به شرطی صورت می‌پذیرد که آن محصول دردسترس باشد. محدودیت ۱۳، مربوط به محصولاتی است که شرکت قادر به توسعه آن‌ها است. محدودیت ۱۴، زمان حضور محصول توسعه‌یافته و جدید در بازار را کنترل می‌کند. محدودیت ۱۵، تضمین می‌کند که هر محصول توسعه‌یافته و یا جدید تنها یک‌بار در طول افق برنامه‌ریزی طراحی شود. عبارت‌های ۱۶ و ۱۷، نوع متغییرهای تصمیم را مشخص می‌کنند.

خطی‌سازی مدل. واضح است که به‌علت ضرب چندین متغیر در تابع هدف اول و سوم، مدل غیرخطی است. در ادامه با معرفی یک متغیر کمکی و چندین محدودیت، مدل خطی‌سازی می‌شود. متغیر کمکی $Coeb_{it}$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Coeb_{it} = Cob_{it} * ET_{it}$$

اضافه‌کردن محدودیت‌های زیر به مدل غیرخطی ارائه‌شده، موجب خطی‌شدن مدل می‌شود.

$$Coeb_{it} \geq Cob_{it} - MM(1 - ET_{it}) \qquad \forall t,i \qquad (۱۸)$$

$$Coeb_{it} \leq Cob_{it} + M(1 - ET_{it}) \qquad \forall t,i \qquad (۱۹)$$

$$Coeb_{it} \leq M * ET_{it} \qquad \forall t,i \qquad (۲۰)$$

$$Coeb_{it} \geq 0, \qquad \forall t,i \qquad (۲۱)$$

الگوریتم تجزیه بندرز. معمولاً برای حل مدل‌های ریاضی در ابعاد بزرگ از روش‌های ابتکاری، فراابتکاری و دقیق استفاده می‌شود. روش‌های ابتکاری و فراابتکاری در قالب منطق، نظری و ریاضیاتی اثبات نشده‌اند؛ ولی به‌صورت تجربی نتیجه خوبی داده‌اند و همگرایی را معمولاً به همراه دارند. در طرف مقابل این روش‌ها، روش‌های دقیق قرار دارند که اگر همه شرایط استفاده از این روش‌ها به‌درستی در نظر گرفته شود، مدل ریاضی را به جواب دقیق می‌رسانند. معمولاً وقتی بین جواب دقیق و جواب به‌دست‌آمده فاصله وجود داشته باشد و در پی آن جریمه خیلی زیادی متحمل است رخ دهد، بهتر است که از روش دقیق استفاده شود. از انواع روش‌های دقیق می‌توان «الگوریتم تجزیه بندرز» و «تولید ستون» را نام برد. الگوریتم‌هایی مانند تجزیه بندرز مسئله اصلی را به زیرمسائل کوچک‌تر تجزیه می‌کنند تا از پیچیدگی موجود مسئله کاسته شود و بتواند در طی تکرارهای کمتری به جواب بهینه همگرا شود.

روش تجزیه بندرز به تجزیه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به یک مسئله اصلی و یک زیرمسئله وابسته است که به شکل تکراری با استفاده از جواب یکدیگر حل می‌شوند. زیرمسئله شامل متغیرهای پیوسته و محدودیت‌های مربوط به آن است؛ درحالی‌که مسئله اصلی شامل متغیرهای صحیح و یک متغیر پیوسته است که دو مسئله را به هم مرتبط می‌کند و حل بهینه مسئله MP یک حد پایین برای هدف موردنظر فراهم می‌آورد. با استفاده از حل به‌دست آمده توسط مسئله اصلی با ثابت‌کردن متغیرهای صحیح به‌عنوان ورودی زیرمسئله یک دوگان برای زیرمسئله حل می‌شود. با استفاده از این حل می‌توان یک حد بالا برای هدف کلی مسئله تعریف کرد؛ همچنین حل DSP برای ساخت یک برش بندرز که شامل متغیرهای پیوسته اضافه‌شده به مسئله اصلی است، مورداستفاده قرار می‌گیرد. در تکرار بعدی این برش به مسئله

اصلی اضافه می‌شود و با استفاده از حل این مسئله یک حد پایین جدید برای مسئله کلی به‌دست می‌آید که تضمین می‌شود بدتر از حد پایین کنونی نباشد.

به‌طور معمول در اغلب مسائل، به‌کارگیری مستقیم الگوریتم کلاسیک بندرز سرعت همگرایی پایینی دارد. برای افزایش سرعت همگرایی موارد زیر توصیه می‌شود:

ـ انتخاب خوب برش‌های اولیه؛ یعنی با انتخاب جواب‌های اولیه مناسب و به‌دست‌آوردن مقادیر مناسب برای متغیرهای مسئله دوگان می‌توان برش‌های اولیه مطلوبی را به مسئله اصلی اضافه کرد.

ـ اصلاح مسئله اصلی در هر گام و انتخاب برش‌های مناسب و افزودن آن‌ها به مسئله اصلی در هر تکرار الگوریتم.

یکی از دلایل سرعت پایین همگرایی الگوریتم بندرز کلاسیک، کیفیت پایین جواب‌های به‌دست‌آمده از مسئله MP است. برای جلوگیری از این ناکارایی می‌توان با استفاده از تعریف نامساوی‌های معتبر (محدودیت) و اضافه‌کردن آن‌ها به مسئله MP، فضای جواب این مسئله را محدود کرده و جواب‌های باکیفیت بیشتری تولید کرد. این نامساوی‌ها با توجه به شرایط موجود در مسئله و مفروضات درنظرگرفته‌شده تعریف می‌شود. مدل DSP ممکن است در بعضی از تکرارها جواب بهینه چندگانه داشته باشد؛ ازاین‌رو چندین برش بهینه معتبر با قدرت‌های متفاوت مرتبط با مجموعه‌ای از راه‌حل‌های بهینه می‌تواند تولید شود. در این حالت بهتر است که از میان جواب‌های ممکن دنبال برشی بود که یک برش قوی‌تر را تولید می‌کند. برش بهینه پارتو یکی دیگر از شتاب‌دهنده‌های الگوریتم بندرز است و در حالتی که مسئله DSP با جواب بهینه چندگانه روبه‌رو باشد از این شتاب‌دهنده استفاده می‌شود. به‌این‌ترتیب بر اساس توضیحات بیان‌شده ترتیب مسئله اصلی و زیرمسئله مکرراً تا زمان رسیدن به یک شرط خاتمه، حل شد که عبارت است از: کمترشدن فاصله حد بالا و حد پایین از یک عدد کوچک. روش تجزیه بندرز در تکرارهای متناهی به جواب بهینه می‌رسد.

تک‌هدفه‌کردن مدل پیشنهادی. ازآنجاکه مدل پیشنهادی موردمطالعه به‌صورت چندهدفه است، باید مدل ریاضی را با استفاده از روش‌های موجود تک‌هدفه کرده و سپس مسئله را حل کرد. روش‌های مختلفی برای تبدیل توابع چندهدفه به تک‌هدفه و حل مسائل چندهدفه وجود دارد که در این پژوهش از روش برنامه‌ریزی اهداف برای تبدیل مسئله چندهدفه به تک‌هدفه استفاده شده است. در این روش، تصمیم‌گیرنده با توجه به مطلوبیت هر هدف به اهداف مختلف وزن اختصاص می‌دهد و با ضرب‌کردن توابع هدف در وزن‌های تخصیص‌داده‌شده، درنهایت تابع هدف یگانه‌ای به‌دست خواهد آمد. در این روش باید به سه نکته توجه کرد:

۱. اگر w_i وزن اختصاص‌داده‌شده به تابع هدف iام باشد، آنگاه:

$$0 \le w_i \le 1$$

$$\sum w_i = 1$$

برای مثال، اگر دو تابع هدف داشته باشیم و اولی n برابر دومی اهمیت یا مطلوبیت داشته باشد، وزن هر یک به‌صورت زیر می‌شود:

$$w_1 = \frac{n}{n+1} \qquad w_2 = \frac{n}{n+1}$$

۲. همگی توابع هدف یا باید به‌صورت *Max* و یا همگی به‌صورت *Min* باشند.

اگر در توابع هم تابع *Max* و هم *Min* وجود داشته باشد، می‌توان با ضرب یک منفی در تابع هدف *Max* آن را به *Min* تبدیل کرد و برعکس.

۳. ضرایب متغیرهای تصمیم در توابع هدف باید دارای یک رده و بزرگی و مقیاس و به‌عبارتی نیز دارای یک یکا باشند، اگر ضرایب هم‌یکا نباشند، قابل‌جمع نیستند. برای مثال، جمع مقادیر سود با مقادیر زمان با مقیاس‌ها و یکایی‌های متفاوت، بی‌معنا است. در واقع باید ضرایب هر تابع هدف را یکنواخت کرد. برای این کار می‌توان هر یک از ضرایب تابع هدف را بر مجموع ضرایب آن ضرب نمود.

$$Z_{sobj} = w_1 * Z_1 + w_2 * Z_2$$

مسئله اصلی بندرز. در تابع هدف اول متغیرهای باینری موجود ET_{it}، DP_{it} و od_{iv} هستند و در تابع هدف دوم نیز تنها متغیر od_{iv} حضور دارد؛ بنابراین در تابع هدف مسئله *MP* باید قسمتی از تابع هدف تک‌هدفه مسئله اصلی که در آن متغیر باینری وجود دارد، آورده شود و محدودیت‌های از مسئله اصلی که تنها دارای متغیرهای صفر و یک هستند به‌عنوان محدودیت‌های مسئله *MP* در نظر گرفته شوند تا در مراحل بعد در صورت نیاز برش‌های بهینگی و شدنی‌بودن به این مسئله اضافه شوند؛ بنابراین مسئله *MP* به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Min = \Gamma - W_1 * \begin{pmatrix} -\sum_f \sum_i \sum_t FC_{fi} ET_{it} \\ -\sum_i \sum_t NP_i DP_{it} \\ -\sum_i \sum_v Cod_v Od_{iv} \end{pmatrix} - W_2 * \left(\sum_i \sum_v O_{iv} Od_{iv} \right) \qquad (۲۲)$$

$$\sum_v Od_{iv} = 1 \qquad \forall i \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{h=t+dl_i}^{T} DP_{jt} P_{oj} > ET_{it} \qquad \forall t, i \in o, j \qquad (۲۴)$$

$$\sum_{h\geq t+dl(i)}^{T} DP_{ih} \leq ET_{it} \qquad \forall t,i \in j,n \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{t} DP_{it} = 1 \qquad \forall i \in j,n \qquad (۲۶)$$

مقدار تابع هدف حاصل از حل مدل بالا در هر مرحله به‌عنوان حد پایین الگوریتم تجزیه بندرز در نظر گرفته می‌شود که در هر مرحله در صورت نیاز تغییر می‌کند؛ البته در مرحله اول اجرای الگوریتم تمامی متغیرهای صفر و یک مقدار یک می‌گیرند و در مراحل بعدی این مقادیر با استفاده از حل مدل بالا به‌روز می‌شوند. بعد از تعیین مقدار متغیرهای صفر و یک حاصل از حل مدل MP، مقدار این متغیرها در مسئله اصلی پیشنهادی گذاشته می‌شود و این مسئله فقط شامل متغیرهای پیوسته خواهد بود. علامت‌های $\overline{ET_{it}}$، $\overline{DP_{it}}$ و $\overline{od_{iv}}$ نشان‌دهنده این هستند که مقدار آن‌ها مشخص است.

زیرمسئله بندرز. زیرمسئله SP به‌صورت یک مسئله کمینه‌سازی بازنویسی می‌شود:

$$Min\ Z_{sobj} = -W_1 * \left(\begin{array}{l} \sum_{g}\sum_{d}\sum_{i}\sum_{t} PD_i Y_{dgit} \\ -\sum_{s}\sum_{f}\sum_{r}\sum_{t} PS_{srt} Z_{sfrt} \\ -\sum_{f}\sum_{i}\sum_{t} C_{fi} pr_{fit} \\ -\sum_{s}\sum_{f}\sum_{r}\sum_{t} TCR_{sf} Z_{sfrt} \\ -\sum_{f}\sum_{d}\sum_{i}\sum_{t} TCF_{fd} X_{fdit} \\ -\sum_{d}\sum_{g}\sum_{i}\sum_{t} TCD_{dg} Y_{dgit} \\ -\sum_{i}\sum_{t} Coeb_{it} \end{array} \right) - W_2 * \left(\sum_{i}\sum_{t} W_i Coeb_{it} \right) \qquad (۲۷)$$

$$-\sum_{i} Cob_{it} \geq -EE_t \qquad \forall t \qquad (۲۸)$$

$$Coeb_{it} \geq Cob_{it} - M(1-\overline{ET_{it}}) \qquad \forall t,i \qquad (۲۹)$$

$$-Coeb_{it} \geq -Cob_{it} - M(1-\overline{ET_{it}}) \qquad \forall t,i \qquad (۳۰)$$

$$-Coeb_{it} \geq -M * \overline{ET_{it}} \qquad \forall t,i \qquad (۳۱)$$

$$\sum_{s} Z_{sfrt} = \sum_{i} B_{ir} pr_{fit} \qquad \forall f,t,r \qquad (۳۲)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$pr_{fit} = \sum_{d} X_{fdit} \qquad \forall f,i,t \qquad (۳۳)$$

$$\sum_{f} X_{fdit} = \sum_{f} Y_{dgit} \qquad \forall d,i,t \qquad (۳۴)$$

$$-\sum_{d} Y_{dgit} \geq -DF_{git} \qquad \forall g,i,t \qquad (۳۵)$$

$$-\sum_{f} Z_{sfrt} \geq -CR_{srt} \qquad \forall s,r,t \qquad (۳۶)$$

$$-\sum_{i} pr_{fit} TP_{fi} \geq -CF_{ft} \qquad \forall f,t \qquad (۳۷)$$

$$-\sum_{f}\sum_{i}\sum_{t} X_{fdit} \geq -CD_{d} \qquad \forall d \qquad (۳۸)$$

$$-pr_{fit} \geq -M * \overline{ET_{it}} \qquad \forall f,t,i \qquad (۳۹)$$

محدودیت‌های این مسئله شامل تمامی محدودیت‌های مسئله اصلی به‌علاوه محدودیت‌هایی است که برای خطی‌سازی مسئله اضافه شده است و تنها محدودیت‌های ۴، ۱۳، ۱۴ و ۱۵، در این مسئله در نظر گرفته نمی‌شود؛ همچنین متغییرهای باینری به‌صورت ثابت در نظر گرفته می‌شود. به‌منظور تولید برش‌های بندرز برای مسئله اصلی از دوگان SP استفاده می‌شود. برای به‌دست‌آوردن دوگان این مسئله از متغیرهای دوگان برای هر یک از محدودیت‌های ۲۸ تا ۳۹، استفاده می‌شود. با درنظرگرفتن این متغیرها مسئله دوگان زیرمسئله با نام DSP به شکل زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} Max\ ZDSP\ = \\ -\sum_{t} v1_t * E_E_t - \sum_{i,t} v3_{it} * (M*(1-ET_{it})) - \sum_{i,t} v4_{it} * (M*(1-ET_{it})) - \sum_{i,t} v5_{it} * (M*ET_{it}) \\ -\sum_{g,i,t} v9_{git} * DF_{git} - \sum_{s,r,t} v10_{srt} * CR_{srt} - \sum_{f,i,t} v11_{fit} * CF_{fit} - \sum_{d} v12_{d} * CD_{d} - \sum_{f,i,t} v13_{fit} * M * ET_{it} \end{aligned} \qquad (۴۰)$$

$$-v8_{dit} - v9_{git} \leq -w1 * pd_i + w1 * TCD_{dg} \qquad \forall d,g,i,t \qquad (۴۱)$$

$$v6_{frt} - v10_{srt} \leq w1 * (PS_{srt} + TCR_{sf}) \qquad \forall s,f,r,t \qquad (۴۲)$$

$$-\sum_{r} v6_{frt} * B_{ir} + v7_{fit} - v11_{fit} * TP_{fi} + v13_{fit} \leq w1 * C_{fi} \qquad \forall f,i,t \qquad (۴۳)$$

$$-v7_{fit} + v8_{dit} - v12_{d} \leq w1 * TCF_{fd} \qquad \forall f,d,i,t \qquad (۴۴)$$

$$v1_t - v3_{it} - v4_{it} \leq 0 \qquad \forall i,t \qquad (۴۵)$$

$$-v3_{it} - v4_{it} - v5_{it} \leq w1 * w_i - w3 * w_i \qquad \forall i,t \qquad (۴۶)$$

$$v_1(t),\ v_3(i,t),\ v_4(i,t),\ v_5(i,t),\ v_9(g,i,t), \qquad (۴۷)$$

$$v_{10}(s,r,t), v_{11}(f,i,t), v_{12}(d),\ \ v_{13}(f,i,t), \geq 0$$

افزودن برش‌های بهینگی و شدنی‌بودن. جواب حاصل از حل مسئله SP در صورت وجود، حد بالای الگوریتم تجزیه بندرز در نظر گرفته می‌شود. درواقع دوگان این مسئله مشخص می‌کند که چه برشی باید به مسئله MP اضافه شود که در ادامه این برش‌ها آورده شده است.

برش بهنیگی:

$$\Gamma \geq -\sum_{t} v1_t * E_E_t - \sum_{i,v} v2_i * (1 - od_{iv})$$
$$-\sum_{i,t} v3_{it} * (M * (1 - ET_{it}))$$
$$-\sum_{i,t} v4_{it} * (M * (1 - ET_{it}))$$
$$-\sum_{i,t} v5_{it} * (M * ET_{it}) - \sum_{g,i,t} v9_{git} * DF_{git}$$
$$-\sum_{s,r,t} v10_{srt} * CR_{srt} - \sum_{f,i,t} v11_{fit} * CF_{fit}$$
$$-\sum_{d} v12_d * CD_d - \sum_{f,i,t} v13_{fit} * M * ET_{it}$$

برش شدنی:

$$-\sum_{t} v1_t * E_E_t - \sum_{i,v} v2_i * (1 - od_{iv})$$
$$-\sum_{i,t} v3_{it} * (M * (1 - ET_{it})) - \sum_{i,t} v4_{it} * (M * (1 - ET_{it}))$$
$$-\sum_{i,t} v5_{it} * (M * ET_{it}) - \sum_{g,i,t} v9_{git} * DF_{git}$$
$$-\sum_{s,r,t} v10_{srt} * CR_{srt} - \sum_{f,i,t} v11_{fit} * CF_{fit}$$
$$-\sum_{d} v12_d * CD_d$$
$$-\sum_{f,i,t} v13_{fit} * M * ET_{it} \leq 0$$

افزودن نامساوی معتبر به مسئله MP. در این پژوهش بر اساس جریان بین سطح‌های مختلف زنجیره تأمین و تقاضا محصولات نامساوی معتبر زیر به MP اضافه می‌شود.

$$\sum_{f,r,i,t} B_{ir} pr_{fit} \leq \sum_{s,r,t} CR_{srt} \qquad (۴۸)$$

$$\sum_{f,d,g,i,t} TP_{fi} * Y_{dgit} \leq \sum_{f,t} CF_{ft} \qquad (۴۹)$$

$$\sum_{f,i,t} pr_{fit} \leq \sum_{g,i,t} DF_{git} \qquad (۵۰)$$

بعد از به‌دست‌آوردن حدود بالا و پایین، این حدود با یکدیگر مقایسه می‌شوند و در صورتی که اختلاف آن‌ها از مقدار مشخصی کمتر شود، اجرای الگوریتم به اتمام می‌رسد؛ در غیر این صورت اجرای الگوریتم ادامه می‌یابد تا به این شرط برقرار شود. همان‌طور که در بالا توضیح داده شد، ابتدا باید یک جواب شدنی برای مسئله اصلی پیدا شود که این کار با استفاده از حل مسئله اصلی بدون هیچ نوع برشی صورت می‌گیرد؛ سپس جواب‌های به‌دست‌آمده توسط مسئله اصلی به زیرمسئله داده شده و زیر مسئله حل می‌شود. درصورتی‌که زیرمسئله شدنی نباشد و جواب دوگان زیرمسئله بی‌نهایت باشد، یک جهت بی‌نهایت از دوگان گرفته با استفاده از این‌جهت یک برش شدنی‌بودن تولید شده و این برش به مسئله اصلی اضافه می‌شود. درصورتی‌که زیرمسئله شدنی بوده و دارای جواب بهینه باشد، با استفاده از جواب‌های بهینه زیرمسئله دوگان یک برش بهینگی تولید شده و به مسئله اصلی اضافه می‌شود. درصورتی‌که جواب به‌دست‌آمده حد بالای بهتری به‌دست می‌دهد، حد بالا به‌روز می‌شود؛ سپس مسئله اصلی با استفاده از برش جدید دوباره حل شده و حد پایین به‌روز می‌شود. این کار تا زمانی تکرار می‌شود که فاصله بین حد بالا و حد پایین از یک مقدار مشخصی کمتر شود.

٤. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

انعطاف‌پذیری مدل زنجیره تأمین ارائه‌شده و عملکرد تجزیه بندرز شتاب‌یافته مبتنی بر الگوریتم برای چندین مثال عددی انجام شده و نتایج مربوطه در جدول ۴، گزارش شده است. به‌منظور تولید مثال عددی برای استفاده در الگوریتم بندرز، ۸ مثال عددی با استفاده از داده‌های تصادفی تولید گردیده که در جدول ۳ ارائه شده است. ابعاد مثال‌های تولید شده با توجه به مقادیر پارامترها در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات مسائل برای حل مسئله با روش بندرز

شماره	مواد اولیه	تأمین‌کننده	تولیدکننده	توزیع‌کننده	مشتری	محصول	دوره
اندازه کوچک							
۱	۶	۳	۳	۴	۲	۴	۱۰
۲	۶	۳	۴	۴	۲	۴	۱۰
۳	۷	۳	۴	۶	۳	۴	۱۲
اندازه متوسط							
۴	۷	۵	۴	۶	۴	۴	۱۳
۵	۸	۵	۵	۷	۵	۴	۱۴
۶	۸	۶	۶	۷	۵	۴	۱۴
اندازه بزرگ							
۷	۹	۶	۶	۸	۶	۴	۱۶
۸	۹	۸	۶	۸	۷	۴	۱۷

با درنظرگرفتن ابعاد بالا به‌صورت تصادفی تولید می‌گردند. از الگوهای جدول ۳، برای تولید داده‌های تصادفی استفاده شده است. داده‌ها بر اساس توزیع یکنواخت تولید شده‌اند. مدل ارائه‌شده در نرم‌افزار گمز با استفاده از سالور *Cplex* اجرا شده است. جدول ۴، محاسبات آماری بعد از حل هر نمونه آزمایش با الگوریتم تجزیه بندرز کلاسیک، الگوریتم تجزیه بندرز شتاب‌یافته و *Cplex* را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد. در این جدول، زمان حل در ثانیه (زمان)، تعداد تکرار و ارزش تابع هدف برای هر الگوریتم گزارش شده است. همان‌طور که در شکل‌های ۲ و ۳، مشخص است الگوریتم بندرز برای حالت کلاسیک بعد از ۵ تکرار به جواب بهینه همگرا شده است و حالت شتاب‌دهنده بعد از ۳ تکرار، ولی در زمان بیشتر از حالت کلاسیک، به جواب بهینه همگرا شده است. یکی از ویژگی‌های روش بندرز این است که حد پایین این روش همواره صعودی و حد بالای آن دارای نوسان است که این موضوع در شکل‌های ۲ و ۳، مشاهده می‌شود.

زمان حل مسائل در مقیاس‌های مختلف توسط نرم‌افزار گمز و الگوریتم بندرز کلاسیک و شتاب‌یافته در شکل ۴، مقایسه شده است. همان‌طور که مشخص است، زمان حل الگوریتم بندرز و شتاب‌یافته نسبت به گمز کمتر است.

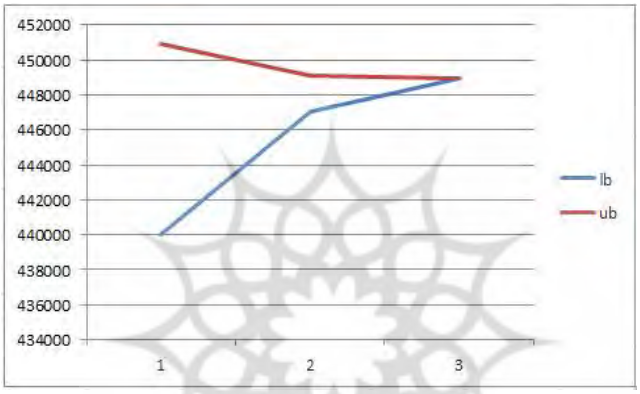
جدول ۳. مقادیر پارامترهای مدل پیشنهادی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
C_{fi}	[۱,۵,۲,۵]	Cod_v	[۱۰۰,۳۵۰]
FC_{fi}	[۱,۴]	W_i	[۰,۱]
TP_i	[۳,۷]	EE_t	[۶۰۰۰,۶۵۰۰]
TCF_{fdl}	[۰,۱,۱]	O_{iv}	[۰,۱]
TCD_{dg}	[۱,۵,۲]	PS_{srt}	[۵,۱۵]
TCR_{sf}	[۰,۱۳,۰,۲]	B_{ir}	[۰,۴]
CR_{srt}	[۳۰۰۰,۳۲۰۰]	DF_{git}	[۴۰۰,۵۰۰]
CF_{fi}	[۷۰۰,۱۵۰۰]	PD_i	[۱۲۰۰,۱۷۰۰]
CD_d	[۱۲۰۰,۱۷۰۰]	NP_i	[۱۷۰,۳۰۰]

پرتال جامع علوم انسانی

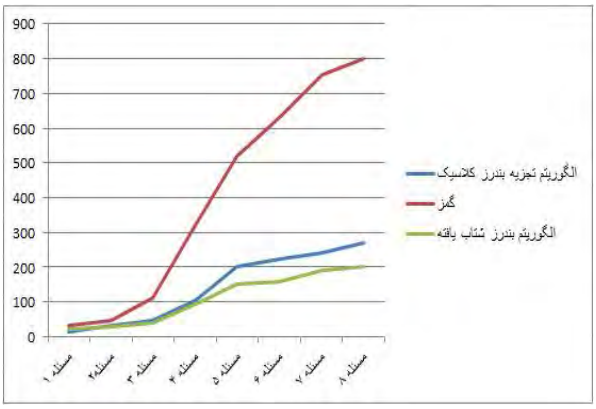
جدول ۴. مقایسه بین الگوریتم بندرز و Cplex

مجموعه	الگوریتم تجزیه بندرز کلاسیک			الگوریتم تجزیه بندرز شتاب‌یافته			سیپلکس	
	زمان	تعداد تکرار	مقدار هدف	زمان	تعداد تکرار	مقدار هدف	زمان	مقدار هدف
۱	۱۶	۵	۴۴۸۹۷۹۰	۲۳	۳	۴۴۸۹۷۹۰	۳۱	۴۴۸۹۷۹۰
۲	۳۲	۷	۴۵۰۳۴۶۰	۳۰	۶	۴۵۰۳۴۶۰	۴۸	۴۵۰۳۴۶۰
۳	۴۵	۱۰	۵۸۶۹۳۶۰	۳۹	۸	۵۸۶۹۳۶۰	۱۱۳	۵۸۶۹۳۶۰
٤	۱۰۵	۱۲	۵۹۴۳۷۱۰	۹۳	۱۰	۵۹۴۳۷۱۰	۳۲۱	۵۹۴۳۷۱۰
۵	۲۰۳	۱۶	۸۰۲۴۸۵۰	۱۵۳	۱۴	۸۰۲۴۸۵۰	>۵۰۰	۸۰۲۴۸۵۰
٦	۲۲۵	۱۹	۸۰۴۱۲۲۰	۱۶۰	۱۷	۸۰۴۱۲۲۰	>۵۰۰	۸۰۴۱۲۲۰
۷	۲۴۳	۲۳	۹۲۷۶۷۷۰	۱۹۲	۱۹	۹۲۷۶۷۷۰	>۵۰۰	۹۲۷۶۷۷۰
۸	۲۷۰	۲۵	۹۲۸۷۹۹۰	۲۰۰	۲۱	۹۲۸۷۹۹۰	>۵۰۰	۹۲۸۷۹۹۰



شکل ۲. نحوه همگرایی الگوریتم بندرز شتاب‌یافته به جواب بهینه

شکل ۳. نحوه همگرایی الگوریتم بندرز کلاسیک به جواب بهینه



شکل ۴. مقایسه زمان حل توسط نرم‌افزار گمز و الگوریتم بندرز

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش، طراحی شبکه زنجیره تأمین هنگامی که محصول جدیدی قرار است تولید شود، به همراه مدیریت ارتباط با مشتری بررسی شد. مسئله به‌صورت یک مدل دوهدفه عدد صحیح مختلط فرموله شد. هدف اول بیشینه‌سازی سود بود که شامل اختلاف فروش محصولات و هزینه‌ها است و هدف دوم، بیشینه‌سازی ارزش هزینه‌های مدیریت ارتباط با مشتری بود که هر چه ضمانت و تبلیغات محصولات بیشتر باشد، باعث جلب رضایت مشتری و در نتیجه افزایش فروش خواهد شد. به‌منظور حل مسئله موردنظر در مقیاس بزرگ از الگوریتم تجزیه بندرز کلاسیک و شتاب‌یافته استفاده شد که عملکرد هر دو روش در مثال‌های مختلف نشان داده شده است. برای توسعه مسئله در دنیای واقعی و مدل ریاضی پیشنهاد شده در این تحقیق پیشنهادات زیر توصیه می‌گردد:

- در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای کلیدی به ویژه تقاضای محصولات جدید
- حل مدل با الگوریتم‌های فرا ابتکاری و مقایسه‌ی عملکرد آن با روش فعلی
- انجام تحقیقات در حوزه‌ی زمان‌بندی فرآیندهای تولیدی به ویژه محصولات جدید
- در نظر جریان برگشتی در شبکه زنجیره تأمین زمانی که محصول جدیدی ارائه می‌شود
- انجام مطالعات بر روی مسیریابی وسایل نقلیه بین تسهیلات مختلف زنجیره تامین
- تحقیق بر روی طرح‌های قیمت‌گذاری محصولات و همچنین قیمت خرید

منابع

1. Afrouzy, A.Z., Nasseri, S.H., Mahdavi, I., & Paydar, M.M. (2016). A fuzzy stochastic multi-objective optimization model to configure a supply chain considering new product development. *Applied Mathematical Modelling, 40(17)*, 7545-7570.
2. Altuntas, S., Beşir Özsoy, E., & Mor, Ş. (2019). Innovative new product development: a case study. *Procedia Computer Science, 158(1)*, 214-221.
3. Amini, M., & Li, H. (2011). Supply chain configuration for diffusion of new products: an integrated optimization approach. *Omega, 39(3),* 313-322.
4. Billington, C., Lee, H. L., & Tang, C. S. (1998). Product rollover: process, strategies and opportunities. *Sloan Management Review, 39(1)*, 23-30.
5. Chaharsoghi, K., & Ashrafi, M. (2014). Integrating Sustainability into Supplier Selection and Order Quantity Allocation. *Journal of Industrial Management Perspectives, 3(12)*, 63-85 (In Persian).
6. Cheng, C., & Yang, M. (2019). Creative process engagement and new product performance: The role of new product development speed and leadership encouragement of creativity. *Journal of Business Research, 99(1)*, 215-225.
7. Cruz-Jesus, F., Pinheiro, A., & Oliveira, T. (2019). Understanding CRM adoption stages: empirical analysis building on the TOE framework. *Computers in Industry, 109(1)*, 1-13.
8. Forza, C., Salvador, F., & Rungtusanatham, M. (2005). Coordinating product design, process design, and supply chain design decisions: Part B. Coordinating approaches, tradeoffs, and future research directions. *Journal of Operations Management, 23(3)*, 319-324.
9. Hajli, N., Tajvidi, M., Gbadamosi. A., & Nadeem, W. (2019). Understanding market agility for new product success with big data analytics. *Industrial Marketing Management,* (In press).
10. Hasani, P., & Mohammaditabar, D. (2018). A Multi Period Lot-Sizing Model in Three-Echelon Supply Chain by Considering Payment Methods and Joint Replenishment of Inventory Items. *Journal of Industrial Management Perspectives, 8(31)*, 141-165 (In Persian).
11. Horvat, A., Granato, G., Fogliano, V., & Luning, P. (2019). Understanding consumer data use in new product development and the product life cycle in European food firms – An empirical study. *Food Quality and Preference, 76(1)*, 20-32.
12. Jafarian, M., & Bashiri, M. (2014). Supply chain dynamic configuration as a result of new product development. *Applied Mathematical Modelling, 38(3),* 1133-1146.
13. Karakostas, B., Kardaras, D., & Papathanassiou, E. (2005). The state of CRM adoption by the financial services in the UK: an empirical investigation. *Information & Management, 42(6)*, 853-863.
14. Kettunen, J., Grushka-Cockayne, Y., Degraeve, Z., & De Reyck, B. (2015). New product development flexibility in a competitive environment. *European Journal of Operational Research, 244(1),* 892-904.
15. Koyuncu, E., & Erol, R. (2015). PSO based approach for scheduling NPD projects including overlapping process. *Computers & Industrial Engineering, 85(1)*, 316-327.

16. Liou, J. J. (2009). A novel decision rules approach for customer relationship management of the airline market. *Expert Systems with Applications, 36(3),* 4374-4381.
17. Liu, S., Papageorgiou, L.G., & Shah, N. (2020). Optimal design of low-cost supply chain networks on the benefits of new product formulations. *Computers & Industrial Engineering, 139(1),* 1-42.
18. Naraharisetti, P. K., & Karimi, I. A. (2010). Supply chain redesign and new process introduction in multipurpose plants. *Chemical Engineering Science, 65(8),* 2596-2607.
19. Nepal, B., Monplaisir, L., & Famuyiwa, O. (2011). A multi-objective supply chain configuration model for new products. *International Journal of Production Research, 49(23),* 7107-7134.
20. Ouhimmou, M., Rönnqvist, M., & Lapointe, L. (2019). Assessment of Sustainable Integration of New Products into Value Chain through a Generic Decision Support Model: An Application to the Forest Value Chain. *Omega,* (In press).
21. Petersen, K. J., Handfield, R. B., & Ragatz, G. L. (2005). Supplier integration into new product development: coordinating product, process and supply chain design. *Journal of operations management, 23(3)*, 371-388.
22. Petrick, I. J., & Echols, A. E. (2004). Technology road mapping in review: A tool for making sustainable new product development decisions. *Technological Forecasting and Social Change, 71,* 81-100.
23. Radfar, A., & Mohammaditabar, D. (2019). Bi-Objective Optimization of Vendor Managed Inventory Problem in a Multi Echelon Green Supply Chain. *Journal of Industrial Management Perspectives, 9(35)*, 109-134 (In Persian).
24. Thakur-Wernz, P., Bruyaka, O., & Contractor, F. (2019). Antecedents and relative performance of sourcing choices for new product development projects. *Technovation,* (In press).
25. Tracey, M., & Neuhaus, R. (2013). Purchasing's role in global new product-process development projects. *Journal of Purchasing and Supply Management, 19(2),* 98-105.
26. Yu, L., Duan, Y., & Fan, T. (2020). Innovation performance of new products in China's high-technology industry. *International Journal of Production Economics, 219(1),* 204-215.
27. Van Kleef, E., van Trijp, H. C., & Luning, P. (2005). Consumer research in the early stages of new product development: a critical review of methods and techniques. *Food Quality and Preference, 16(3)*, 181-201.
28. Wang, J., & Shu, Y. F. (2007). A possibilistic decision model for new product supply chain design. *European Journal of Operational Research, 177(2),* 1044-1061.
29. Wang, L., Jin, J.L., Zhou, K.Z., Bingxin Li, C., & Yin, E. (2020). Does customer participation hurt new product development performance? Customer role, product newness, and conflict. *Journal of Business Research, 109(1),* 246-259.
30. Wu, L., Heng, L., & Kun, S. (2020). Exploring the dual effect of effectuation on new product development speed and quality. *Journal of Business Research, 106(1),* 82-93.

Implementation of Accelerating Benders Decomposition Algorithm for Supply Chain Considering New Product Development and Customer Relationship Management

Esmaeel Rezaei*, Mohammad Mahdi Paydar, Abdul Sattar Safaei*****

Abstract

New product development is an essential requirement in any company and every company needs to develop its technology and products to survive in a competitive market. Most organizations nowadays have more than ever realized that relying on traditional competitive levers such as quality enhancement, cost reduction and differentiation is not enough to provide products and services, but it is important to pay attention to new product entry as well as early product exit. In this research we examine supply chain network design when a new product is added to the product line. Also, the important topic of customer relationship management, which is one of the factors driving the increase in product sales as a result of profitability for the organization, has been designed as a mathematical model. Finally, an improved version of the benders decomposition algorithm is presented as the accelerating benders for the proposed problem. The computational results show the superior performance of the solution method.

Keywords: Supply Chain Design; New Product Development; Customer Relationship Management; Mathemtical Model; Benders Decomposition Algorithm.

Received: May 05, 2019, Accepted: Feb. 15, 2020.
* M.Sc. Student, Babol Noshirvani University of Technology.
** Associate Professor, Babol Noshirvani University of Technology (Corresponding Author).
E-mail: paydar@nit.ac.ir
*** Associate Professor, Babol Noshirvani University of Technology.