International Conference ON MANAGEMENT ECONOMICS AND INDUSTRIAL ENGINEERING 2015 june 16
کنفرانس بین المللی مدیریت، اقتصاد و مهندسی صنایع ۲۶ خرداد ۱۳۹۴

توسعه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای به منظور تعهددهی سفارشات در شرایط عدم قطعیت عرضه

محسن صادق عمل‌نیک[۱،*]، حامد رضائیان اول[۲]، احسان مردان[۳]

مشخصات نویسنده اول

۱ و *- نویسنده مسوول: دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تهران، (amalnick@ut.ac.ir)

مشخصات نویسنده دوم

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تهران، (h.rezaeian@ut.ac.ir)

مشخصات نویسنده سوم

۳- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تهران، (ehsanmardan@ut.ac.ir)

چکیده

با توجه به رقابتی شدن بازارهای جهانی و اهمیت نقش مشتری در توسعه سازمان‌ها، به کارگیری یک مکانیزم قدرمتند و قابل اطمینان به منظور پشتیبانی از تصمیم‌گیرندگان در مواجهه با سفارشات مشتریان اجتناب ناپذیر است. میزان محصول قابل تعهد (Available-To-Promise/ATP) مکانیزمی است که با در نظر گرفتن عوامل متعدد تولیدی به طور همزمان، اقدام به پذیرش یا رد سفارشات می‌نماید. در بیشتر مطالعات صورت گرفته در زمینه ATP افق زمانی تصمیم‌گیری و اجرای مدل به صورت کوتاه مدت در نظر گرفته شده است. از همین جهت این مطالعات با فرض آگاهی کامل و قطعیت شرایط صورت پذیرفته‌اند. اما در سیستم‌های تولیدی سفارش‌محور (Make-To-Order/MTO) محصولات پیچیده بوده و تولید محصول فقط پس از دریافت سفارش مشتری، صورت می‌پذیرد. از این‌رو تحویل سفارش مشتری نیاز به زمان طولانی‌تری داشته و در نتیجه افق تصمیم‌گیری میان مدت خواهد بود. در چنین شرایطی می‌توان فرض نمود که محیط تولیدی با عدم قطعیت‌های مختلف مواجه خواهد بود. یکی از عواملی که می‌تواند تأثیرات زیادی بر تعهدات سازمان به مشتری داشته باشد، عدم قطعیت عرضه مواد اولیه و قطعات می‌باشد. بنابراین در این تحقیق از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی چند مرحله‌ای به منظور توسعه مکانیزم ATP در شرایط عدم قطعیت عرضه استفاده شده است. در انتها از طریق آنالیز عددی، مدل ارائه شده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: میزان محصول قابل تعهد، عدم قطعیت عرضه، برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای

۱ و *- نویسنده مسوول: دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ، تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۲۱۰۶۷، نمابر: ۰۲۱-۸۸۰۱۳۱۰۲ (amalnick@ut.ac.ir)

Archive of SID
www.SID.ir

A multi-stage stochastic programming model based available-to-promise considering supply uncertainty

Abstract

Due to competitive global markets and the important role of customers in organizations development, It is unavoidable employing a powerful and reliable mechanism to support decision-makers in dealing with customer orders. The available-to-promise (ATP) activity is intended to provide the delivery date promise to customers for their specific orders considering various manufacturing factors simultaneously. In must studies supposed ATP system should operate within a short-term operational environment where full information exist for Decision making. But there are complex products in make-to-order (MTO) systems and production takes place only after receiving customer orders. Hence delivering customer orders needs longer time. As a result, ATP system should operate within a medium-term horizon. In such a situation it can be assumed that the production environment will be faced with a variety of uncertainties. The supply uncertainty could have a significant impact on the organization's commitment to customers. Therefore, in this study we develop ATP system using a mixed inteager multi-stage-stochastic programming model under supply uncertainty. Through numerical analyses, we indicate the benefit of our model.

Keywords : available to promise (ATP), supply uncertainty, multi-stage-stochastic programming

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

دنیای امروزی بیشتر از هر زمانی رقابتی شده است و صنعت به‌طور فزآینده‌ای به مدیریت زنجیره تأمین به عنوان یک سلاح رقابتی می‌نگرد. فضایی که در آن تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان تلاش می‌کنند تا با یک همکاری مؤثر و کارا مواد خام را بدست آورند، به محصول با کیفیت تبدیل کرده و در نهایت محصولات را به دست مشتریان برسانند (Beamon, ۱۹۹۸). بر اثر این تغییر نگرش به منظور مقابله با عدم قطعیت‌های موجود در تقاضا و زنجیره تأمین روش‌های برنامه‌ریزی سنتی جای خود را به روش‌های پیشرفته برنامه‌ریزی داده‌اند. از بین این روش‌ها با توجه به اینکه توانایی پاسخ‌گویی سریع و مؤثر به منظور جلب رضایت مشتری در بدست آوردن مزیت رقابتی در میان سایر شرکت‌های رقیب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، رویکرد میزان محصول قابل تعهد نقشی کلیدی در حرکت سازمان به سمت مشتری-محوری دارد. اما در چنین اقتصاد جهانی پیچیده و دشواری، تصمیمات در بسیاری از اوقات با آگاهی کامل نسبت به وقایع اتخاذ نمی‌گردند. وابستگی سازمان‌ها و گستردگی زنجیره تأمین موجب افزایش عدم قطعیت‌ها در تصمیم‌گیری شده است. در یک زنجیره تأمین منابع مختلف عدم قطعیت شامل تقاضا، فرآیند و عرضه مواد وجود دارند. در بیشتر مدل‌های تولید/موجودی که عدم قطعیت‌های موجود در محیط را در نظر گرفته‌اند، توجه بیشتر بر مدل‌سازی احتمالی تقاضای مشتری صورت گرفته است. در حالی که عدم قطعیت‌های مربوط به عرضه مطالعات کمتری را به خود اختصاص داده است (Gürler and Parlar, ۱۹۹۷).

در زمینه مکانیزم ATP بسیاری از مطالعات افق تصمیم‌گیری را به صورت کوتاه مدت در نظر گرفته‌اند. در یک افق کوتاه مدت غالباً ظرفیت‌های تولیدی به صورت قطعی محاسبه می‌شوند. از این‌رو بیشتر این مطالعات به صورت مدل‌سازی قطعی و تعدادی نیز با در نظر گرفتن تقاضای غیرقطعی صورت گرفته‌اند. در حالی که در یک سیستم تولیدی با محصولات پیچیده غالباً تحویل سفارشات از مدت زمانی بالایی برخوردار بوده و در نتیجه افق تصمیم‌گیری ATP نیز باید بازه زمانی گسترده‌ای را شامل شود. این افق تصمیم‌گیری خود موجب بروز عدم قطعیت‌های مربوط به فرآیند تولید و عرضه مواد اولیه در تصمیم‌گیری خواهد شد. اختلال در عرضه مواد اولیه می‌تواند هزینه‌های سنگینی برای شرکت‌ها داشته باشد. اگرچه کاهش و یا توقف خط تولید و از دست رفتن مشتریان جدید بخش زیادی از این هزینه‌ها را تشکیل می‌دهند، اما در بعد تعهددهی سفارشات، عرضه نامناسب مواد اولیه می‌تواند موجب هزینه‌های ناشی از دیرکرد در تحویل سفارشات پذیرفته شده و یا عدم قابلیت تأمین آن‌ها و همچنین از دست رفتن اعتبار سازمان گردد. به عنوان مثال در سال ۲۰۰۷ به علت کمبود عرضه پیچ و مهره، شرکت بوئینگ مجبور به تأخیر در تحویل سفارشات هواپیمای ۷۸۷ دریم لاینر[۱] به مدت شش ماه گشت. این تأخیر موجب از دست رفتن جریان نقدی در حدود ۲,۵ بیلیون دلار شد (Greising and Johnsson, ۲۰۰۷).

با این وجود اگرچه مدل‌های تولید/موجودی مطالعاتی را در زمینه عدم قطعیت عرضه صورت داده‌اند، در زمینه مکانیزم ATP این منشأ مهم عدم قطعیت مورد توجه مناسب قرار نگرفته است. در حالی‌که در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در عرضه هنگام تعهددهی به سفارشات مشتریان و در نظر گرفتن مکانیزمی برای کاهش اثرات آن، می‌تواند منجر به تحویل سفارشات مشتریان در زمان و مقدار مناسب گردد . بنابراین در این تحقیق یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای به منظور بررسی تغییرات پویا در شرایط تأمین مواد اولیه توسعه داده شده است. در ادامه در بخش ۲ ادبیات مربوطه مورد بحث قرار می‌گیرد. در بخش ۳ فرضیات و اندیس‌های مدل تشریح می‌شود. در بخش ۴ مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای در غالب سناریو ارائه شده و در انتها در بخش ۴ و ۵ به بررسی عددی نتایج مدل و نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

۲- مرور ادبیات

در زمینه تعهددهی سفارشات و مکانیزم ATP مطالعات مختلفی صورت گرفته‌اند. در ابتدا تیلور و پلنرت (Taylor and Plenert, ۱۹۹۹) مدلی به منظور بررسی میزان ظرفیت‌های موجود و شناسایی میزان ظرفیت استفاده نشده ماشین‌ها جهت تعیین یک زمان تحویل واقع‌بینانه توسعه دادند. سپس ونگ و همکاران (Jeong et al., ۲۰۰۲) یک مدل ATP برای صفحه نمایش‌های کریستالی مایع ترانزیستور فیلم کوتاه[۲] و تعیین تاریخ تحویل سفارشات طراحی کردند. چن و همکاران (CHEN et al., ۲۰۰۲) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی ارائه کرده‌اند که در آن در دسترس بودن مواد، ظرفیت تولید و تطابق مواد برای تعیین ATP با توجه به اولویت‌های مشتری در نظر گرفته شده است. چنگ (Cheng, ۲۰۰۸)یک مدل تصمیم‌گیری چند هدفه برای تعیین قیمت مزایده و زمان ارسال بر پایه مفهوم موجودی ATP ارائه کرده است. این مدل تخمین دقیق قیمت محصولات را به همراه

[۱] ۷۸۷ Dreamliner

[۲] Thin Film Transistor - Liquid Crystal Display (TFT-LCD)

Archive of SID
www.SID.ir

تاریخ‌های ارسال مربوطه را محقق می‌کند. مدل چنگ را می‌توان در دسته مدل‌های ATP آنی دسته‌بندی کرد، بدین معنا که پاسخ مشتری پس از دریافت درخواست او داده خواهد شد.

در تعدادی از مطالعات صورت گرفته در زمینه مکانیزم ATP بحث عدم قطعیت در پارامترها نیز مد نظر قرار گرفته است. پیبرنیک و یاداو (Pibernik and Yadav, ۲۰۰۹) در مطالعه خود تقاضاها را تصادفی در نظر گرفته‌اند تا بتوانند در یک محیط تولید انبار محور، سیستم تکمیل سفارشی را ارائه دهند که قادر باشد ورود سفارشات مربوط به مشتری‌هایی با اولویت بالا در آینده را پیش‌بینی نماید و به منظور تعهد آنی چنین سفارش‌هایی به میزان کافی موجودی ذخیره کند. چن و هانگ (Chen and Huang, ۲۰۰۶) یک مدل فازی مثلثی جهت برآورده‌سازی سفارشات با زمان‌های عملیات غیر قطعی ارائه دادند. با توجه به فرضیات چن و هاگ هر عضو زنجیره تأمین دارای زمان عملیات غیر قطعی می‌باشد و تخمین زمان‌های عملیاتی به طور دقیق امکان‌پذیر نمی‌باشد. در نهایت مدل ارائه شده وضعیت هر عضو بحرانی در زنجیره تأمین را شناسایی می‌کند و در صورت تأخیر در تحویل سفارشات، زمان عملیاتی عضوهای بحرانی به منظور بهبود تحویل‌دهی سفارشات، تعدیل می‌شود.

چن ریتزو و همکاران (Chen-Ritzo et al., ۲۰۱۱) عدم قطعیت در مصرف مواد اولیه در محصولات سفارشی را به منظور تعهددهی سفارشات در یک محیط تولیدی چند محصولی بررسی کردند. هدف از این پژوهش بیشینه سازی سود از طریق در نظر گرفتن یک سیاست حدی می‌باشد. بدین صورت که سفارش برای یک محصول (با قطعات سفارشی شده) قابل پذیرش می‌باشد، در صورتی که برآورده‌سازی سفارش برای محصول درخواستی موجب پایین آمدن سطح موجودی هیچ یک از مواد اولیه، از حد مرزی آن‌ها نشود. این مسئله به صورت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح تصادفی دو مرحله‌ای فرموله شده است.

در زمینه عدم قطعیت عرضه در سیستم‌های موجودی نیز مطالعات مختلفی صورت گرفته است. رامسش و همکاران (Ramasesh et al., ۱۹۹۱) یک سیستم موجودی (s,Q) شامل دو تأمین‌کننده با زمان‌های تحویل غیرقطعی در نظر گرفته‌اند. آن‌ها همچنین فرض کرده‌اند که تأمین‌کنندگان از نظر هزینه‌ها و مدت زمان تحویل کالا قابل شناسایی هستند. نتیجه این تحقیق مزیت استفاده از دو تأمین‌کننده در مقایسه با یک تأمین‌کننده در شرایط عدم قطعیت مدت زمان تحویل را نشان می‌دهد. پارلار و ونگ (Parlar and Wang, ۱۹۹۳) یک مدل تک مرحله‌ای در شرایط نرخ تأمین تصادفی مواد اولیه در مسئله پسرک روزنامه‌فروش به منظور حداکثرسازی سود، ارائه کردند. در مدل آن‌ها موجودی مواد اولیه در نظر گرفته نشده و در نهایت جواب بهینه مدل آن‌ها استفاده از دو تأمین‌کننده در شرایط عدم قطعیت مفروض توصیه می‌نماید. آن‌ها همچنین یک الگوریتم برای تقریب مقدار سفارش به هریک از تأمین‌کنندگان ارائه کرده‌اند.

سه عامل مهم در سمت عرضه زنجیره تأمین، مدت زمان تحویل، مقدار و/یا کیفیت اجناس تحویل شده و قیمت خرید می‌باشند. هر کدام از این عوامل می‌تواند در معرض عدم قطعیت باشند. بنابراین سه نوع از عدم قطعیت معرفی شده در ادبیات عبارت است از:

۱) عدم قطعیت در زمان عرضه، که به عنوان زمان تحویل تصادفی در ادبیات اشاره شده است.

۲) عدم قطعیت در مقدار و/یا کیفیت عرضه، که می‌تواند به سه دسته زیر تقسیم شود.

- بهره‌دهی (نسبی) تصادفی: مقدار سفارش داده شده و مقدار دریافت شده یکسان نیستند.
- در دسترس بودن تصادفی تأمین‌کننده: یک تأمین‌کننده ممکن است برای یک مدت زمان تصادفی در دسترس نباشد. اگر تأمین‌کننده در دسترس باشد، کل اقلام درخواستی تحویل داده می‌شود؛ در غیر اینصورت کالایی تحویل نمی‌گردد.
- ظرفیت متغیر: ظرفیت عرضه‌کننده متغیر می‌باشد.

۳) عدم قطعیت در قیمت خرید

با توجه به اینکه در مکانیزم ATP، پذیرش یا رد سفارشات مشتریان بر اساس کلیه ظرفیت‌های موجود صورت می‌گیرد، تأمین به موقع، به اندازه و با کیفیت مناسب می‌تواند نقش بسیار مهمی در برآورده‌سازی سفارشات پذیرفته شده داشته باشد و در صورت اخلال در برنامه تأمین مواد، شرکت‌ها ممکن است قادر به اجرای تعهدات خود به مشتریان نباشند. از این جهت در این تحقیق عدم قطعیت در مقدار عرضه و کاهش اثرات آن با استفاده از توسعه مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای به منظور تعهددهی سفارشات، مورد بررسی قرار می‌گیرد. رویکرد استاندارد در حل مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای، استفاده از درخت سناریو برای نشان دادن عدم قطعیت پارامترهای مربوطه می‌باشد. در این تحقیق نیز از ساختار درخت سناریو برای ارائه مدل پیشنهادی استفاده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

۳- شرح مسئله و فرضیات

مدل توسعه داده شده در این تحقیق، برای یک محیط تولیدی چند محصوله با مدت زمان تولید میان مدت می‌باشد که فعالیت‌های تولیدی بر اساس دوره‌های زمانی گسسته سازماندهی می‌شود. هر دوره زمانی می‌تواند معادل یک شیفت کاری، روز کاری و ... در نظر گرفته شود. در اینجا دوره‌ای که تازه به اتمام رسیده است و مدل اجرا می‌شود، با t_e نشان داده می‌شود. افق تصمیم‌گیری اجرای مدل میان مدت و شامل T دوره زمانی متوالی می‌باشد. تصمیمات مربوط به تعهددهی سفارشات، برای یک دسته از سفارشات محصول نهایی که در بازه گردآوری[1] دریافت شده‌اند، صورت می‌پذیرد. بازه گردآوری شامل ψ دوره زمانی اخیر و یا همان فواصل اجرای مدل می‌باشد. در هنگام اجرای مدل، سفارشاتی وجود دارند که در دوره‌های گذشته تعهد شده، اما تولید آن‌ها هنوز به پایان نرسیده و تحویل داده نشده‌اند. مجموعه O و $\bar{O}$ به ترتیب نشان‌دهنده سفارشات تازه رسیده و سفارشات متعهد شده می‌باشند.

همانطور که گفته شد در این تحقیق فرض شده است که تولید کننده چندین محصول ارائه می‌دهد و هر مشتری i می‌تواند یک یا چند نوع از محصول j را سفارش دهد. برای تولید هر واحد محصول نوع j بر اساس لیست مواد تعداد $b_{j,k}$ واحد ماده اولیه نوع k لازم می‌باشد. همچنین تولید محصول j شامل γ_j دوره زمانی است که ω_j آخرین سیکل تولید محصول می‌باشد. در ابتدای دوره تولید هر محصول، تمامی مواد اولیه مورد نیاز آن درخواست شده، در بازه γ_j دوره زمانی محصول به صورت نیم‌ساخته و پس از آن محصول آماده می‌باشد. یکی از محدودیت‌هایی که در مدل ارائه شده به منظور تعهددهی سفارشات در نظر گرفته شده است، ظرفیت تولیدی می‌باشد. ظرفیت تولیدی در دوره t با Cap_t نشان داده می‌شود و α_j بیانگر نرخ مصرف هر واحد محصول j از ظرفیت تولیدی می‌باشد.

دو بعد انعطاف‌پذیری ارائه شده در مدل، مقدار قابل تحویل و زمان تحویل کالا می‌باشد. معیارهای در نظر گرفته برای سفارشات بدین صورت است که هر مشتری i برای تحویل $l^f_{i,j}$ واحد از محصول j در زمان مطلوب $t^f_{i,j}$، درخواستی ارائه می‌دهد. اما در صورت کمبود ظرفیت‌های تولیدی، با توافق مشتری می‌توان حداقل مقدار $l^{\min}_{i,j}$ واحد از محصول j را جایگزین درخواست صورت گرفته کرد. همچنین تحویل کالا با توافق مشتری می‌تواند در حداکثر زمان $t^{\max}_{i,j}$ تحویل داده شود. البته به ازای هر واحد زمانی تأخیر در تحویل کالا از زمان مطلوب مشتری، تولید کننده باید هزینه دیرکرد $\phi_{i,j}$ را بپردازد. برنامه سفارشات مواد اولیه که توسط MPS تعیین می‌شود، به عنوان پارامتر ورودی مدل می‌باشد. $S_{k,t}$ بیانگر میزان دریافتی ماده اولیه نوع k در دوره t بر اساس برنامه سفارشات مواد می‌باشد.

تابع هدف مسئله شامل درآمد فروش و چندین جزء هزینه‌ای می‌باشد. هر محصول نهایی j دارای قیمت فروش v_j و هر ماده اولیه نوع k دارای قیمت خرید cm_k می‌باشد. در صورتی که تولید کننده سفارش مشتری i برای محصول نوع j را رد کند، متحمل هزینه $\theta_{i,j}$ خواهد شد. این هزینه می‌تواند شامل هزینه آشکار پرداخت غرامت به مشتری و یا هزینه‌های پنهان کوتاه مدت و بلند مدت ناشی از سود از دست رفته، کاهش اعتبار و ... باشد. هر واحد محصول نهایی موجود در انتهای هر دوره دارای هزینه نگهداری hp_j می‌باشد. هزینه نگهداری محصول نیم‌ساخته j که در مرحله γ_j تولید قرار دارد، hw_{j,γ_j} می‌باشد. هر واحد ماده اولیه نوع k نیز دارای هزینه نگهداری hm_k می‌باشد.

در این تحقیق به منظور کاهش تأثیر عدم قطعیت تأمین، فرض می‌شود که تولیدکننده علاوه بر تأمین‌کننده اصلی از یک تأمین‌کننده پشتیبان نیز در صورت لزوم بهره می‌برد. تأمین‌کننده نوع اصلی اگرچه دارای هزینه پایین سفارش‌دهی است، اما غیر قابل اطمینان می‌باشد؛ به عبارت دیگر با اختلالات تصادفی همراه است. اما تأمین‌کننده پشتیبان قابل اطمینان بوده و در طول اختلالات تأمین مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ هرچند هزینه سفارش‌دهی بالاتری نسبت به تأمین‌کننده اصلی دارد. در اینجا چون تأمین‌کننده پشتیبان فقط در مواقع اختلال به کار گرفته می‌شود، فرض می‌شود که بر خلاف تأمین کننده اصلی، دارای ظرفیتی محدود برای تأمین سفارشات است.

در ادبیات عدم قطعیت عرضه زنجیره تأمین، از توزیع‌های احتمالی پیوسته و گسسته مختلفی برای نشان دادن عرضه احتمالی استفاده شده است. به عنوان مثال آنوپندی و آکلا (Anupindi and Akella, ۱۹۹۳) از یک توزیع احتمال برنولی و همچنین یک توزیع احتمال یکنواخت $[0,1]$ برای نشان دادن عدم قطعیت مقداری تأمین استفاده کردند. در واقع طبق فرض آن‌ها، مقدار سفارشی که به تأمین‌کننده ارسال می‌گردد، با ضریب مقداری بین صفر تا یک تحویل می‌گردد. گولو و همکاران (Güllü et al., ۱۹۹۹) از توزیع

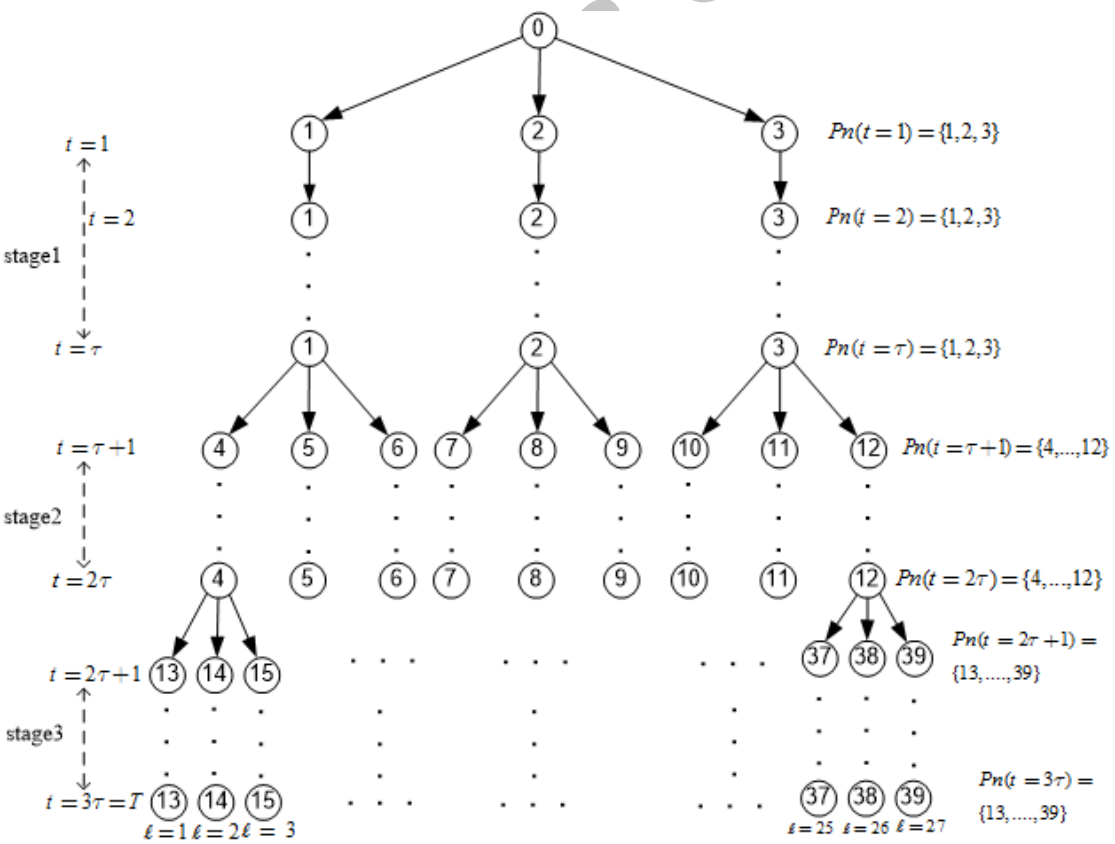
[1] Batching interval

Archive of SID
www.SID.ir

گسسته با سه رویداد استفاده کردند. طبق فرض آن‌ها با احتمال p_1 تأمین‌کننده به طور کامل سفارش درخواستی را عرضه می‌کند. با احتمال p_2 بخشی از سفارش و با احتمال p_3 توانایی تأمین هیچ مقداری از سفارش داده شده، را نخواهد داشت $(p_1 + p_2 + p_3 = 1)$.

در اینجا نیز همچون گولو و همکاران(Güllü et al., ۱۹۹۹) فرض می‌شود عدم قطعیت تأمین‌کننده از ۳ سناریو شامل (۱) تأمین کامل و ۱۰۰٪ سفارش داده شده (۲) تأمین بهره‌دهی که فقط بخشی از سفارش داده شده تأمین می‌گردد و (۳) عدم تأمین هیچ مقداری از کالای سفارش داده شده، تشکیل شده باشد. اصولاً می‌توان فرض نمود که الگوی تحویل کالا توسط تأمین‌کننده در بازه‌های زمانی خاصی می‌تواند دچار تغییر شود. غالباً تمامی سفارشاتی که به تأمین‌کننده ارسال می‌شود، در مدت زمانی خاص با سیاستی مشابه توسط تأمین‌کننده عرضه خواهد شد. در این مدت زمان تمامی سفارشات یا به طور کامل تأمین می‌شود، یا به طور نسبی و یا با عدم تأمین روبه‌رو خواهند گشت. در اینجا فرض می‌شود که مراحل تغییر الگوی عرضه‌کننده هر t دوره زمانی می‌باشد. بنابراین یک افق تصمیم‌گیری با T دوره زمانی دارای $R = T/t$، مرحله خواهد بود. در هر مرحله الگوی عرضه کالا توسط تأمین‌کننده به صورت برنامه‌ریزی شده و یا به صورت اجباری عوض می‌گردد.

فرض می‌کنیم بردار تصادفی $X = (X_0,\ldots,X_R)$، دارای یک توزیع احتمالی گسسته با S حالت ممکن می‌باشد. هر حالت $x^S = (x_0^S,\ldots,x_R^S)$، یک سناریو با احتمال رویداد p^S نامیده می‌شود. تمامی سناریوها دارای یک ریشه مشترک خواهند بود $(x_0^1 = x_0^2 = \ldots = x_0^S)$. این اطلاعات می‌تواند در غالب یک درخت سناریو نمایش داده شود، که گره‌ها در هر مرحله r از درخت نشان دهنده اطلاعات موجود تا مرحله r می‌باشد. درخت سناریو شامل مجموعه محدودی از گره‌ها $(N = \{0,\ldots,\mathrm{N}\})$ می‌باشد. شکل (۱) نشان دهنده یک درخت سناریو سه مرحله‌ای با سه پیشامد ممکن است که در مجموع دارای ۳۹ گره می‌باشد. هر مرحله دارای چندین دوره زمانی (t دوره) می‌باشد که الگوی عرضه در این دوره‌ها ثابت می‌باشد، اما پس از آن سیاست عرضه می‌تواند دچار تغییر گردد. هر گره n خ N ، به جز گره ریشه دارای یک پیش‌نیاز (پدر) و چندین پس‌نیاز (فرزند) می‌باشد، که به ترتیب با $a(n)$ و $C(n)$ نمایش داده می‌شوند.



شکل (۱) درخت سناریو سه مرحله‌ای با سه پیشامد ممکن

www.SID.ir

اگر مجموعه گره‌های موجود در دوره زمانی t را با $\mathrm{Pn}(t)$ نام‌گذاری کنیم، $\mathrm{Pn(T)} = L = \{0,...,\mathrm{L}\}$ نشان دهنده مجموعه گره‌های پایانی (برگ) خواهد بود. باید به این نکته توجه داشت که تولید هر محصول به اندازه w_j دوره زمانی طول می‌کشد. بنابراین عدم قطعیت مربوط به تأمین مواد اولیه در دوره t، موجب عدم قطعیت تولید محصول j در دوره $(t + w_j)$ شده و این موجب انتقال درخت سناریو به اندازه w_j واحد به جلو برای محصول j می‌گردد. در این صورت برای محصول j، مجموعه گره‌های موجود در دوره زمانی t به صورت $\mathrm{Pn(j,t)} = \mathrm{Pn(t-}\ w_j)$ می‌باشد.

درخت سناریو دارای چندین مرحله و هر مرحله دارای چندین دوره زمانی می‌باشد. در هر مرحله چندین گره n داریم که برای تمامی دوره‌های زمانی آن مرحله ثابت می‌باشند. مجموعه دوره‌های زمانی موجود در هر مرحله که شامل گره n می‌باشند، را با $tn(n)$ نمایش می‌دهیم. به عنوان مثال در شکل (۱)، $tn(n = 1) = \{\mathrm{t} = 1, \mathrm{t} = 2, ..., \mathrm{t} = t\}$، می‌باشد.

همانطور که فرض شد، L گره برگ در درخت سناریو وجود دارد. در نتیجه تعداد L مسیر بین گره ریشه تا گره‌های برگ داریم، که هر مسیر را با $path(\mathrm{l})$، $\mathrm{l} = L$ $\{0, .., L,$ مشخص می‌کنیم. هر $path(\mathrm{l})$ شامل چندین گره n می‌باشد. به عنوان مثال در شکل (۳-۱) $path(\mathrm{l} = 1) = \{n_0, n_1, n_4, n_{13}\}$ می‌باشد. همچنین هر گره n می‌تواند در چندین مسیر واقع گردد. مجموعه مسیرهای شامل گره n را با $r(n)$ نشان می‌دهیم. برای مثال در شکل (۱) $r(n = 4) = \{\mathrm{l} = 1, \mathrm{l} = 2, \mathrm{l} = 3\}$ می‌باشد. برای هر گره درخت یک احتمال رویداد p^n وجود دارد، که از حاصل‌ضرب احتمال رویداد گره پدر در احتمال رویداد شاخه مربوط به n بدست می‌آید؛ به عبارت دیگر $p^n = p^{a(n)} \cdot p(n)$.

هر گره n در درخت سناریو، نشان دهنده یکی از پیشامدهای ضریب عرضه کامل $(ts = 1)$، ضریب عرضه نسبی $(\mathrm{ts} = b)$ و یا ضریب عرضه صفر $(\mathrm{ts} = 0)$ می‌باشد. این بدان معنا می‌باشد که اگر O مقدار سفارش ارسالی به تأمین‌کننده اصلی باشد، تحت پیشامد n، سفارش دریافتی به مقدار $S(n) = ts(n) \cdot O$ می‌باشد.

اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری مورد استفاده در مدل عبارتند از:

اندیس‌ها	
t	دوره‌های زمانی افق تصمیم‌گیری
i	مجموعه سفارشات مشتریان
j	مجموعه محصولات
k	مجموعه مواد اولیه
γ_j	مجموعه مراحل باقیمانده تا تولید محصول نوع j
n	مجموعه گره‌های درخت سناریو
l	مجموعه مسیرهای درخت سناریو

پارامترها	
v_j	قیمت فروش محصول نوع j
cm_k	هزینه خرید هر واحد ماده اولیه نوع k
hm_k	هزینه نگهداری هر واحد ماده اولیه نوع k
hp_j	هزینه نگهداری هر واحد محصول j
hw_{j,γ_j}	هزینه نگهداری هر واحد محصول نیم‌ساخته نوع j در مرحله γ_j تولید
$\theta_{i,j}$	هزینه رد کردن سفارش نوع i برای کالای نوع j
δ_k	هزینه ثابت سفارش‌دهی ماده اولیه نوع k به تأمین‌کننده اصلی
δ'_k	هزینه ثابت سفارش‌دهی ماده اولیه نوع k به تأمین‌کننده پشتیبان
$\phi_{i,j}$	هزینه دیرکرد برای سفارش نوع i برای محصول نوع j به ازای هر واحد زمانی

Archive of SID
www.SID.ir

$l_{i,j}^{f}$	مقدار محصول مطلوب j ام درخواست شده توسط سفارش i
$l_{i,j}^{\min}$	حداقل مقدار قابل قبول محصول j ام درخواست شده سفارش i
$t_{i,j}^{f}$	زمان مطلوب تحویل محصول نوع j درخواست شده سفارش i
$t_{i,j}^{\max}$	حداکثر زمان تحویل محصول نوع j درخواست شده سفارش i
$S_{k,t}$	مقدار ماده اولیه نوع k سفارش داده شده برای تحویل در زمان t
$b_{j,k}$	نرخ مصرف ماده اولیه نوع k به ازای هر واحد محصول نوع j
ω_j	تعداد سیکل‌های تولید محصول نوع j
Cap_t	ظرفیت تولیدی در دوره t
α_j	نرخ مصرف هر واحد از محصول نوع j از ظرفیت تولیدی
$\bar{r}_{k,t_e}$	مقدار موجودی ماده اولیه نوع k در اولین دوره
$\bar{f}_{j,t_e}$	موجودی محصول نوع j در اولین دوره
$\bar{p}_{j,\gamma_j}$	موجودی اولین دوره کالای نیم‌ساخته نوع j که در مرحله γ_j تولید قرار دارد
LT_k	مدت زمان تحویل ماده اول نوع k از لحظه ارسال سفارش به تأمین‌کننده اصلی
LT_k'	مدت زمان تحویل ماده اول نوع k از لحظه ارسال سفارش به تأمین‌کننده پشتیبان
h_k	حداکثر مقدار ماده اولیه نوع k قابل عرضه توسط تأمین‌کننده پشتیبان
M و $\not{c}M$	اعداد بزرگ

متغیرها

$Q_{i,j,t,n}$	مقدار محصول j تحویل داده شده به سفارش i در دور t تحت رویداد n
$Z_{i,j}$	۱ اگر سفارش i برای محصول نوع j پذیرفته شود؛ ۰ در غیر اینصورت
$D_{i,j,t,n,\ell}$	۱ اگردر مسیر l، گره n در زمان t موجود باشد که بتوان سفارش i برای محصول نوع j را تأمین کرد؛ ۰ در غیر اینصورت
$V_{k,t}$	۱ اگر زمان t برای ماده اولیه نوع k به تأمین‌کننده اصلی سفارشی ارسال شود؛ ۰ در غیر اینصورت
$V'_{k,t,n}$	۱ اگر تحت رویداد n در زمان t برای ماده اولیه نوع k به تأمین‌کننده پشتیبان سفارشی ارسال شود؛ ۰ در غیر اینصورت
$F_{j,t,n}$	موجودی انبار محصول نوع j در انتهای دوره t تحت رویداد n
$P_{j,t,n}$	مقدار محصول تولید شده نوع j در دوره t تحت رویداد n
$R_{k,t,n}$	موجودی ماده اولیه نوع k در انتهای دوره t تحت رویداد n
$lag_{i,j,n}$	مدت زمان دیرکرد در تحویل محصول نوع j درخواست شده توسط سفارش i تحت رویداد n
$X_{k,t,n}$	مقدار ماده اولیه نوع k مصرف شده در دوره t تحت رویداد n
$Y_{k,t,n}$	مقدار سفارش اولیه نوع k در دوره t به تأمین‌کننده پشتیبان تحت رویداد n

در ادامه مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای، بر اساس توصیف درخت سناریو و بر مبنای گره، به همراه اندیس‌ها و متغیرهای جدید ارائه می‌گردد.

۴- مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای

مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای، بر اساس توصیف درخت سناریو و بر مبنای گره عبارت است از:

Maximize (۱)

Archive of SID
www.SID.ir

$$\left[\sum_{n=1}^{N}\pi^{n}\times\left[\begin{array}{l}\sum_{t\in tn(n)}\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\upsilon_{j}\times Q_{i,j,t+\omega_{j},n}-\sum_{t\in tn(n)}\sum_{j=1}^{J}hp_{j}\times F_{j,t+\omega_{j},n}\\-\sum_{t\in tn(n)}\sum_{j=1}^{J}\sum_{\gamma=1}^{\omega_{j}}hw_{j,\gamma_{j}}\times P_{j,t+\omega_{j},n}-\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\mathrm{lag}_{(i,j,n)}\times\phi_{i,j}\\-\sum_{t\in tn(n)}\sum_{k=1}^{K}cm_{k}\times X_{k,t,n}-\sum_{t\in tn(n)}\sum_{k=1}^{K}\delta'_{k}\times V'_{k,t,n}\\-\sum_{t\in tn(n)}\sum_{k=1}^{K}hm_{k}\times R_{k,t,n}\end{array}\right]\right.$$
$$\left.-\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\theta_{i,j}\times(1-Z_{i,j})-\sum_{t=t_{e}+1}^{T}\sum_{k=1}^{K}\delta_{k}\times V_{k,t},\right]$$

تعهددهی سفارشات:

$$Q_{i,j,t,n}\ \pounds\ l^{f}_{i,j}\ '\ D_{i,j,t,n,l},\qquad(۲)$$
$$\forall i\in\{O,\bar{O}\},\forall j,t_{e}+1\le t\le T,\forall n\in Pn(t-\omega_{j}),\forall\ell\in r(n),$$

$$Q_{i,j,t,n}\ ^{3}\ l^{\min}_{i,j}\ '\ D_{i,j,t,n,l},\qquad(۳)$$
$$\forall i\in\{O,\bar{O}\},\forall j,t_{e}+1\le t\le T,\forall n\in Pn(t-\omega_{j}),\forall\ell\in r(n),$$

$$\sum_{t=t_{e}+1}^{T}\sum_{n\in Pn(t-\omega_{j})}\sum_{\ell\in r(n)}D_{i,j,t,n,\ell}=\sum_{\ell=1}^{L}\ell\times Z_{i,j},\quad\forall i\in\{O,\bar{O}\},\forall j,\qquad(۴)$$

$$\sum_{t=t_{e}+1}^{T}\sum_{n\in path(l)}D_{i,j,t,n,l}\ \pounds\ 1,\quad\forall i,\forall j,\forall l,\qquad(۵)$$

$$D_{i,j,t,n,\ell}=0,\qquad(۶)$$
$$\forall i\in\{O,\bar{O}\},\forall j,\forall\{t\le t^{f}_{i,j}\ or\ \ t\ ^{3}\ t^{\max}_{i,j}\},\forall n\in Pn(t-w_{j}),\forall l\in r(n),$$

$$Z_{i,j}=1,\qquad\forall i\in\{\bar{O}\},\forall j,\qquad(۷)$$

$$\sum_{t\in tn(n)}\sum_{\ell\in r(n)}(t-t^{f}_{i,j})\times D_{i,j,t,n,\ell}=lag_{i,j,n},\qquad(۸)$$
$$\forall i\in\{O,\bar{O}\},\forall j,\forall n$$

جریان محصولات نهایی:

$$F_{j,t-1,n}+P_{j,t,n}+\sum_{i=1}^{N}Q_{i,j,t,n}=F_{j,t,n},\qquad(۹)$$
$$\forall j,\forall t\in\{t_{e}+1,...,T\}/\{t_{e}+\tau+1,t_{e}+2\tau+1,....,T\},\forall n\in Pn(t-\omega_{j}),$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$F_{j,t-1,n} + P_{j,t,n'} + \sum_{i=1}^{N} Q_{i,j,t,n'} = F_{j,t,n'}, \qquad (۱۰)$$
$$\forall j, \forall t \in \{t_e + \tau + 1, t_e + 2\tau + 1, ..., T\}, \forall n \in Pn(t - \omega_j), \forall n' \in C(n),$$

$$F_{j,t,n} = \bar{f}_{j,t_e}, \qquad \forall j, t = t_e, n = 0 \qquad (۱۱)$$

جریان مواد اولیه:

$$R_{k,t-1,n} + S'_{k,t,n} + Y_{k,t,n} - X_{k,t,n} = R_{k,t,n}, \qquad (۱۲)$$
$$\forall k, \forall t \in \{t_e + 1, ..., T\} / \{t_e + \tau + 1, t_e + 2\tau + 1, ..., T\}, \forall n \in Pn(t)$$

$$R_{k,t-1,n} + S'_{k,t,n'} + Y_{k,t,n'} - X_{k,t,n'} = R_{k,t,n'}, \qquad (۱۳)$$
$$\forall k, \forall t \in \{t_e + \tau + 1, t_e + 2\tau + 1, ..., T\}, \forall n \in Pn(t), \forall n' \in C(n),$$

$$S_{k,t,n} = ts(n)' \; S_{k,t}, \qquad (۱۴)$$
$$\forall k, t_e + 1 \le t \le T, \forall n \in Pn(t),$$

$$R_{k,t,n} = \bar{r}_{k,t_e}, \qquad \forall k, t = t_e, n = 0, \qquad (۱۵)$$

$$Y_{k,t,n} = 0, \qquad \forall k, t_e + 1 \le t \le t_e + LT'_k, \forall n \in Pn(t), \qquad (۱۶)$$

$$Y_{k,t,n} \le h_k, \qquad \forall k, t_e + 1 \le t \le T, \forall n \in Pn(t), \qquad (۱۷)$$

$$M \times V_{k,t} - S_{k,t-LT_k} \ge 0, \quad \forall k, t_e + LT_k + 1 \le t \le T, \qquad (۱۸)$$

$$M' \times V'_{k,t,n} - Y_{k,t-LT'_k,n} \ge 0, \quad \forall k, t_e + LT'_k + 1 \le t \le T, \forall n \in Pn(t), \qquad (۱۹)$$

احتیاجات مواد اولیه:

$$\sum_{j=1}^{J} b_{j,k} \times P_{j,t+\omega_j,n} = X_{k,t,n} \qquad (۲۰)$$
$$\forall k, t_e + 1 \le t \le T, \forall n \in Pn(t)$$

جریان تولید:

$$\sum_{j=1}^{N} \alpha_j \times P_{j,t+\omega_j,n} \le Cap_t, \qquad t_e + 1 \le t \le T, \forall n \in Pn(t), \qquad (۲۱)$$

$$P_{j,t+\gamma_j,n} = \bar{p}_{j,\gamma_j}, \qquad \forall j, t = t_e, 1 \le \gamma_j \le \omega_j, n = 0, \qquad (۲۲)$$

محدودیت‌های غیرکارکردی:

$$Z_{i,j} \in \{0,1\}, \qquad \forall i \in \{O, \bar{O}\}, \forall j, \qquad (۲۳)$$
$$D_{i,j,t,n,\ell} \in \{0,1\}, \qquad \forall i \in \{O, \bar{O}\}, \forall j, t_e + 1 \le t \le T, \forall n, \forall \ell, \qquad (۲۴)$$
$$V_{k,t} \in \{0,1\}, \qquad \forall k, t_e + 1 \le t \le T, \qquad (۲۵)$$
$$V_{k,t,n} \in \{0,1\}, \qquad \forall k, t_e + 1 \le t \le T, \forall n, \qquad (۲۶)$$
$$Q_{i,j,t,n} \ge 0, \qquad \forall i \in \{O, \bar{O}\}, \forall j, t_e + 1 \le t \le T, \forall n, \qquad (۲۷)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$P_{j,t,n} \geq 0, \qquad \forall j, t_e+1 \leq t \leq T, \forall n, \qquad (۲۸)$$

$$R_{k,t,n} \geq 0, \qquad \forall k, t_e+1 \leq t \leq T, \forall n, \qquad (۲۹)$$

$$X_{k,t,n} \geq 0, \qquad \forall k, t_e+1 \leq t \leq T, \forall n, \qquad (۳۰)$$

$$Y_{k,t,n} \geq 0, \qquad \forall k, t_e+1 \leq t \leq T, \forall n, \qquad (۳۱)$$

تابع هدف (۱) به منظور حداکثرسازی سود شامل دو قسمت هزینه‌های قطعی و هزینه‌های مورد انتظار می‌باشد. هزینه‌های قطعی مربوط به تصمیمات مرحله اول، شامل هزینه رد کردن سفارشات و هزینه سفارش‌دهی به تأمین‌کننده اصلی می‌باشد. جزء انتظاری شامل درآمد فروش، هزینه‌های نگهداری محصول نهایی، محصول نیم‌ساخته، مواد اولیه، هزینه خرید مواد اولیه، هزینه دیرکرد در تحویل سفارشات و هزینه سفارش‌دهی به تأمین‌کننده پشتیبان می‌باشد.

محدودیت (۲) و (۳) نشان می‌دهد که مقدار کالای قابل تحویل به مشتری، باید در بازه درخواستی وی باشد. باید توجه شود، در مدل ارائه شده پذیرش یا رد سفارشات به عنوان یک متغیر تصمیم مرحله اول و به صورت قطعی صورت می‌گیرد. اما موعد تحویل سفارش در بازه مجاز، بر اساس سناریوهای مختلف می‌تواند دچار تغییر شود. در واقع اگر برای یک سفارش در دوره t و به ازای رویداد n مربوط به این دوره $(n \in Pn(t))$، موعد تحویل معین گردد؛ این موعد تحویل برای تمامی سناریوهای l شامل گره n $(l \in r(n))$، تعهد شده است. محدودیت (۴) بیانگر این است که یک سفارش پذیرفته می‌شود اگر و تنها اگر به ازای تمامی سناریوهای موجود، بتوان برای آن موعد تحویلی مشخص کرد. به عبارت دیگر سفارش تحت هر شرایط و پیشامدی در آینده، به میزان درخواستی و در زمان درخواستی قابل تحویل به مشتری باشد.

محدودیت (۵) بیانگر این است که در افق برنامه‌ریزی، حداکثر یک موعد تحویل t برای هر سفارش به ازای هر سناریو موجود قابل تعیین است. محدودیت (۶) موجب تعیین موعد تحویل برای سفارشات در بازه زمانی درخواست شده توسط مشتری می‌گردد. محدودیت (۷) موجب باقی ماندن تعهد برای سفارشاتی است، که در دوره‌های قبلی پذیرفته شده‌اند. محدودیت (۸) دیرکرد در تحویل سفارشات به ازای رویدادهای مختلف را محاسبه می‌کند.

محدودیت (۹) تعادل موجودی محصول نهایی در دوره‌های واقع در هر مرحله را برقرار می‌سازند. در این معادله تعادل تمامی متغیرها دارای گره یکسان می‌باشند. چون تمامی آن‌ها در یک مرحله قرار داشته و در نتیجه دارای پیشامد ثابت می‌باشند. محدودیت (۱۰) تعادل موجودی را در حالتی که دوره $t-1$ و دوره t در دو مرحله متوالی درخت سناریو باشند، نشان می‌دهد. در این حالت هر گره موجود در دوره $t-1$ دارای چندین رویداد متعاقب $(C(n))$ در دوره t می‌باشد. محدودیت (۱۱) موجودی محصول نهایی در دوره ابتدایی را نشان می‌دهد که اطلاعات لازم در مورد آن وجود دارد $(n=0)$.

محدودیت‌های (۱۲) و (۱۳) تعادل موجودی مواد اولیه را به ترتیب در دوره‌های واقع در یک مرحله و دوره‌های گذر از یک مرحله به مرحله بعد، نشان می‌دهند. در این محدودیت‌ها S مقدار مواد اولیه دریافتی از تأمین‌کننده اصلی و Y مقدار سفارش ارسالی به تأمین‌کننده پشتیبان تحت رویداد n می‌باشد. محدودیت (۱۴) میزان تأمین کالا نسبت به سفارش داده شده را تحت پیشامدهای مختلف تعیین می‌کند. در این مسأله پیشامدهای ممکن به سه گروه تامین کامل، تأمین نسبی و یا عدم تأمین تقسیم می‌شوند. $(\xi = \{ts(full)=1, ts(yield)=0 \text{ و } ts(empty)=0\})$.

محدودیت (۱۵) موجودی مواد اولیه را در دوره ابتدایی مشخص می‌کند. محدودیت (۱۶) بیانگر عدم امکان‌پذیری عرضه در LT (مدت زمان تحویل کالا توسط تأمین‌کننده پشتیبان) دوره ابتدایی اجرای مدل توسط تأمین‌کننده پشتیبان می‌باشد. محدودیت (۱۷) بیانگر حداکثر مقدار کالای قابل سفارش به تأمین‌کننده پشتیبان می‌باشد. محدودیت‌های (۱۸) و (۱۹) به ترتیب تعیین‌کننده سفارش و یا عدم سفارش به تأمین‌کننده اصلی و پشتیبان می‌باشند.

محدودیت (۲۰) میزان مصرف مواد اولیه را بر اساس محصولات تولید شده مشخص می‌کند. محدودیت (۲۱) نیز سقف استفاده از ظرفیت تولیدی را برقرار می‌سازد. در ابتدای افق تصمیم‌گیری محصولاتی به صورت نیم‌ساخته می‌باشند که یک یا چند دوره زمانی از زمان تولید آن‌ها باقی مانده است و در مورد آن‌ها آگاهی کامل وجود دارد $(n=0)$. محدودیت (۲۲) برنامه ساخت این محصولات را در w_j دوره ابتدایی نشان می‌دهد.

محدودیت‌های (۲۳) تا (۲۴) تعیین کننده متغیرهای صفر و یک و محدودیت‌های (۲۵) تا (۳۱) شرط نامنفی بودن متغیرها را مشخص می‌کنند.

Archive of SID
www.SID.ir

مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای ارائه شده به منظور بیشینه‌سازی سود انتظاری، از طریق تعهددهی مناسب به سفارشات مشتریان در شرایط عدم قطعیت عرضه می‌باشد. در این مدل مقدار سفارشات ارسالی به تأمین‌کننده اصلی و هم‌چنین پذیرش یا رد سفارشات، متغیرهای تصمیم مرحله اول می‌باشند. سایر متغیرهای تصمیم‌گیری پس از آشکار شدن وقایع و رخداد یکی از سناریوهای موجود، تعیین می‌شوند. در این مدل استفاده از تأمین‌کننده پشتیبان، یک اقدام جبرانی جهت مقابله با عدم قطعیت‌های مربوط به تأمین‌کننده نوع اول می‌باشد.

۵- تحلیل نتایج

در این بخش یک مطالعه عددی به منظور بررسی منافع مدل ارائه شده، در شرایط عدم قطعیت پویای عرضه انجام می‌گیرد.

مدل تولیدی مورد بررسی برای یک افق زمانی ۱۲ هفته‌ای صورت می‌گیرد. سفارشات در طول یک هفته جمع‌آوری شده و در انتهای هفته در مورد پذیرش یا رد آن‌ها تصمیم‌گیری می‌شود. فرض می‌شود که الگوی عرضه توسط تأمین‌کننده هر ۴ هفته دچار تغییر می‌گردد. بنابراین افق تصمیم‌گیری دارای ۳ مرحله خواهد بود. در هر مرحله سه پیشامد برای عرضه مواد اولیه فرض می‌شود. هر پیشامد با احتمال رخداد آن در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) پیشامدهای ممکن برای عرضه غیرقطعی

پیشامد	ضریب عرضه (ts)	احتمال رویداد (π)
تأمین کامل	۱	۰,۶
تأمین نسبی	۰,۶	۰,۳
عدم تأمین	۰	۰,۱

در اینجا فرض شده است که در تمامی مراحل احتمال رویداد پیشامدها ثابت باشد. بر این اساس در مرحله اول درخت سناریو دارای ۳ گره، در مرحله دوم دارای ۹ گره و در مرحله سوم دارای ۲۷ گره می‌باشد. بنابراین در مجموع ۲۷ سناریوی ممکن در افق تصمیم‌گیری قابل فرض است.

در مدل مورد بررسی یک محیط تولیدی با ۱۰ محصول مختلف در نظر گرفته شده که ۳ نوع از مواد اولیه به کار رفته شده در این محصولات در معرض عدم قطعیت می‌باشند. همچنین سفارشات مشتریان، برنامه سفارشات مواد اولیه، ظرفیت تولیدی، هزینه‌های تولید و نگهداری و ... در افق زمانی ۱۲ هفته جمع‌آوری شده است. روش آزمایش مدل بدین صورت می‌باشد که هر هفته با توجه به سفارشات تازه رسیده مشتریان، سفارشاتی متعهد شده در دوره‌های قبل و سایر اطلاعات موجود، مدل اجرا می‌شود. سپس با توجه به نتایج مدل در مورد سفارشات تازه رسده تصمیم‌گیری می‌شود. همچنین برای ۱۲ هفته آتی منابع و ظرفیت تولید به سفارشات پذیرفته شده تخصیص یافته و راهکارهای لازم برای رویداد هر پیشامد ارائه می‌شود.

از آنجایی‌که مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی از محاسبات دشواری برای حل برخوردارند؛ تصمیم‌گیرندگان معمولا تمایل دارند از راه‌های آسان‌تری به جواب برسند. یکی از راه‌حل‌های متداول جایگزینی مقدار انتظاری (امید ریاضی) متغیرهای تصادفی در مدل و حل یک مدل قطعی می‌باشد. همچنین ممکن است به ازای هر سناریو یکبار مدل اجرا شده و جواب‌های موجود با استفاده از روش‌های ابتکاری به منظور بدست آمدن یک تصمیم نهایی ترکیب شود. دقت این چنین رویکردهایی با استفاده از دو معیار ارزش مورد انتظار از اطلاعات کامل[۱] و ارزش حل تصادفی[۲] سنجیده می‌شود.

ارزش مورد انتظار از اطلاعات کامل (EVPI): این معیار نشان دهنده حداکثر میزانی است که تصمیم‌گیرنده در ازای اطلاعات کامل در مورد آینده، حاضر به پرداخت آن می‌باشد. فرض می‌کنیم ξ بردار نشان دهنده حالت‌های مختلف ممکن برای رویداد متغیرهای تصادفی باشد. همچنین Z_0^* جواب بهینه حاصل از حل مدل تصادفی و $\bar{Z}(x)$ جواب بهینه حاصل از حل مدل قطعی مربوط به سناریو x می‌باشد. مقدار WS (Wait-and-See) که مقدار انتظاری از جواب بهینه هر سناریو می‌باشد به صورت $WS = E_x(\bar{Z}(x))$ محاسبه می‌شود. در اینصورت ارزش مورد انتظار از اطلاعات کامل عبارت است از: $EVPI = WS - Z_0^*$.

ارزش حل تصادفی (VSS): حل مدل برنامه‌ریزی تصادفی نیاز به محاسبات پیچیده‌ای دارد. بنابراین در بسیاری از موارد تصمیم‌گیرندگان از حل مدل قطعی با جایگزینی امید ریاضی متغیر تصادفی استفاده می‌کنند. مقدار ارزش حل تصادفی معیاری است

[۱] Expected Value of Perfect Information (EVPI)
[۲] Value of the Stochastic Solution (VSS)

Archive of SID
www.SID.ir

که ارزش حل مدل تصادفی را نسبت به مدل قطعی مذکور نشان می‌دهد. اگر $\bar{Q}(\bar{x})$ جواب بهینه حل مدل قطعی با جایگزاری امید ریاضی متغیرهای تصادفی باشد؛ ارزش حل تصادفی عبارت است از: $VSS = Z_0^* - \bar{Q}(\bar{x})$.

سود تولید کننده در مدل‌های قطعی و تصادفی چند مرحله‌ای در هر دوره از یک افق زمانی ۱۲ هفته‌ای به صورت جدول (۲) محاسبه شده است.

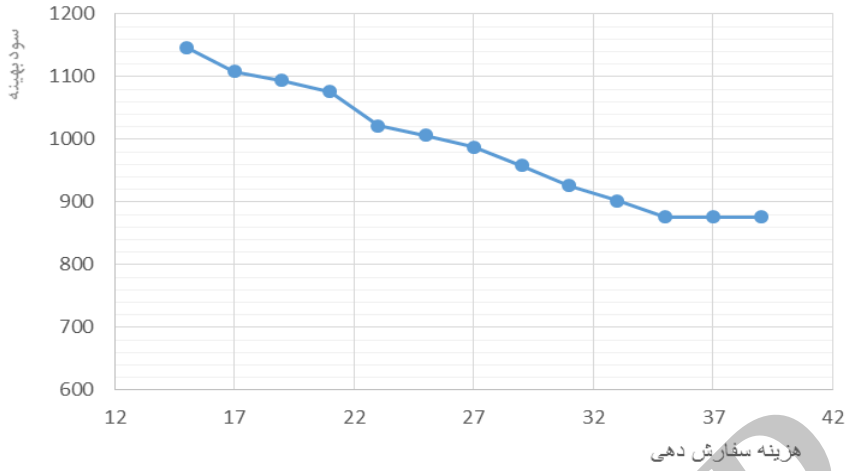
جدول (۲) نتایج محاسباتی برای ارزش انتظاری اطلاعات کامل و ارزش حل مدل برنامه‌ریزی تصادفی

دوره (t)	Z_0^*	WS	EVPI	$\bar{Q}(\bar{\xi})$	VSS
۱	۱۰۲۹,۱۷	۱۰۷۹,۳۷	۵۰,۲	۱۰۱۰,۷۸	۱۸,۳۹
۲	۱۲۱۵,۲۳	۱۲۷۴,۳۴	۵۹,۱۱	۱۱۹۸,۲۷	۱۶,۹۶
۳	۱۴۵۱,۵۳	۱۴۸۲,۴۲	۳۰,۸۹	۱۴۰۴,۱۵,۵	۴۷,۳۸
۴	۱۱۶۰,۸۹	۱۱۸۶,۲۱	۲۵,۳۲	۱۱۴۲,۳	۱۸,۵۹
۵	۹۵۰,۱	۹۸۱,۷۶	۳۱,۶۶	۹۱۲,۳۳	۳۷,۷۷
۶	۱۳۲۱,۲۶	۱۳۴۵,۲	۲۳,۹۴	۱۳۱۴,۷۹	۶,۴۷
۷	۱۱۶۸,۳۲	۱۱۹۲,۲	۲۳,۸۸	۱۱۵۱,۵	۱۶,۸۲
۸	۱۰۲۴,۵	۱۰۳۶,۴۳	۱۱,۹۳	۱۰۰۴,۳۱	۲۰,۱۹
۹	۱۱۸۴,۴۱	۱۲۱۱,۹۱	۲۷,۵	۱۱۷۰,۴۶	۱۳,۹۵
۱۰	۱۲۵۱,۳۲	۱۲۶۷,۴۵	۱۶,۱۳	۱۲۰۳,۹	۴۷,۷۲
۱۱	۹۹۶,۷۱	۱۰۱۳,۵۲	۱۶,۸۱	۹۴۸,۲۱	۴۸,۵
۱۲	۱۲۶۵,۶۳	۱۲۸۴	۱۸,۳۷	۱۲۲۳,۳	۴۲,۳۳

در مدل برنامه‌ریزی تصادفی ارائه شده، تصمیمات مرحله اول که در شرایط عدم قطعیت صورت می‌پذیرند، شامل پذیرش یا رد سفارشات مشتریان می‌باشد. تصمیمات مرحله دوم که پس از آگاهی از شرایط بدست می‌آید، شامل تعیین برنامه سفارشات جبرانی به تأمین‌کننده پشتیبان می‌باشد. در ادبیات عدم قطعیت عرضه مطالعات مختلفی بر سودآوری تأمین‌کننده پشتیبان صورت گرفته است. به طور معمول عواملی چون عدم قطعیت بالای تأمین‌کننده اصلی و هزینه مناسب استفاده از تأمین‌کننده پشتیبان موجب ترغیب تولیدکننده به استفاده از تأمین‌کننده جایگزین خواهد شد. در اینجا به منظور بررسی اثر تأمین‌کننده پشتیبان، مدل با هزینه‌های مختلف سفارش‌دهی به تأمین‌کننده پشتیبان اجرا شده است. همان‌طور که در نمودار (۱) مشخص است، به ازای هزینه‌های سفارش‌دهی بالاتر از ۳۵ واحد، مقدار سفارش‌دهی به تأمین‌کننده پشتیبان به صفر می‌رسد و سود بهینه ثابت و برابر با مدل بدون در نظر گرفتن تأمین‌کننده پشتیبان خواهد شد. در واقع اگر تأمین‌کننده پشتیبان هزینه سفارش‌دهی کمتر از ۳۵ واحد داشته، در شرایط عدم قطعیت موجود استفاده از تأمین‌کننده پشتیبان صرفه اقتصادی خواهد داشت.

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار (۱) مقدار بهینه سود به ازای مقادیر مختلف هزینه سفارش‌دهی تأمین‌کننده پشتیبان

۶- نتیجه‌گیری

ما از یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای جبرانی به منظور تعهددهی سفارشات برای سیستم‌های تولیدی MTO در شرایط عدم قطعیت عرضه استفاده کردیم. یکی از ویژگی‌های مدل ارائه شده در نظرگیری تمامی ظرفیت‌های تولیدی شامل ظرفیت فرآیند تولید، موجودی محصول نهایی، نیم‌ساخته، مواد اولیه و برنامه سفارشات مواد اولیه می‌باشد. همچنین از یک توزیع احتمالی گسسته برای پارامتر عرضه احتمالی تأمین‌کننده اصلی استفاده شده و پیشامدهای ممکن در غالب درخت سناریو مورد بررسی قرار گرفت. به منظور کاهش اثرات عدم قطعیت و ارائه راهکارهای جبرانی پس از رویدادهای ناگوار از ایده تأمین‌کننده پشتیبان در مدل استفاده شد. با توجه به بررسی عددی صورت گرفته منفعت‌پذیری استفاده از تأمین‌کننده پشتیبان ارتباط مستقیمی با هزینه‌های سفارش‌دهی و همچنین میزان عدم قطعیت تأمین‌کننده اصلی دارد. همچنین مقدار مثبت ارزش حل مدل تصادفی (VSS) در آنالیزهای عددی صورت گرفته، معیاری برای سود بیشتر تولیدکننده در ازای مدل برنامه‌ریزی تصادفی ارائه شده می‌باشد.

منابع و مراجع

ANUPINDI, R. & AKELLA, R. ۱۹۹۳. Diversification under supply uncertainty. Management Science, ۳۹, ۹۴۴-۹۶۳.

BEAMON, B. M. ۱۹۹۸. Supply chain design and analysis:: Models and methods. International journal of production economics, ۵۵, ۲۸۱-۲۹۴.

CHEN-RITZO, C.-H., ERVOLINA, T., HARRISON, T. P. & GUPTA, B. ۲۰۱۱. Component rationing for available-to-promise scheduling in configure-to-order systems. European Journal of Operational Research, ۲۱۱, ۵۷-۶۵.

CHEN, C.-T. & HUANG, S.-F. ۲۰۰۶. Order-fulfillment ability analysis in the supply-chain system with fuzzy operation times. International Journal of Production Economics, ۱۰۱, ۱۸۵-۱۹۳.

CHEN, C. Y., ZHAO, Z. & BALL, M. O. ۲۰۰۲. A MODEL FOR BATCH ADVANCED AVAILABLE-TO-PROMISE. Production and Operations Management, ۱۱.۴۴۰-۴۲۴ ,

CHENG, C.-B. ۲۰۰۸. Solving a sealed-bid reverse auction problem by multiple-criterion decision-making methods. Computers & Mathematics with Applications, ۵۶, ۳۲۶۱-۳۲۷۴.

GREISING, D. & JOHNSSON, J. ۲۰۰۷. Behind Boeing's ۷۸۷ delays. Chicago Tribune, ۱۰, ۲۰۰۷.

GULLU, R., ÖNOL, E. & ERKIP, N. ۱۹۹۹. Analysis of an inventory system under supply uncertainty. International Journal of Production Economics, ۵۹, ۳۷۷-۳۸۵.

Archive of SID
www.SID.ir

GURLER, Ü. & PARLAR, M. ۱۹۹۷. An inventory problem with two randomly available suppliers. Operations Research, ۴۵, ۹۰۴-۹۱۸.

JEONG, B., SIM, S.-B., JEONG, H.-S. & KIM, S.-W. ۲۰۰۲. An available-to-promise system for TFT LCD manufacturing in supply chain. Computers & Industrial Engineering, ۴۳, ۱۹۱-۲۱۲.

PARLAR, M. & WANG, D. ۱۹۹۳. Diversification under yield randomness in inventory models. European Journal of Operational Research, ۶۶, ۵۲-۶۴.

PIBERNIK, R. & YADAV, P. ۲۰۰۹. Inventory reservation and real-time order promising in a make-to-stock system. OR spectrum, ۳۱, ۲۸۱-۳۰۷.

RAMASESH, R. V ,.ORD, J. K., HAYYA, J. C. & PAN, A. ۱۹۹۱. Sole versus dual sourcing in stochastic lead-time (s, Q) inventory models. Management Science, ۳۷, ۴۲۸-۴۴۳.

TAYLOR, S. G. & PLENERT, G. J. ۱۹۹۹. Finite capacity promising. Production and Inventory Management Journal, ۴۰, ۵۰-۵۶.

Archive of SID

www.SID.ir