فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال چهاردهم، شماره ۴۳، زمستان ۹۵
صفحات ۲۷-۵۱

مدل بهینه‌سازی استوار برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند کارخانه‌ای محصولات فاسدشدنی تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن سیاست تعویق

عادل اعظمی*، احمد ماکویی**

تاریخ دریافت:۹۴/۶/۲۸
تاریخ پذیرش:۹۵/۶/۹

چکیده

در این پژوهش، برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند کارخانه‌ای برای تولید محصولات فاسدشدنی مانند هدیه‌های سال نو، تقویم‌ها و سررسیدها با استفاده از سیاست تعویق در شرایط عدم قطعیت، تعیین می‌شود. فرایند تولید این محصولات با اعمال مفهوم تعویق، به دو مرحله‌ی تولید محصول نهایی و نیمه‌ساخته تقسیم می‌گردد. بنابراین سه فعالیت تولیدی شامل تولید مستقیم، تولید محصول نیمه‌ساخته و مونتاژ نهایی وجود دارد. همچنین، یک مدل بهینه‌سازی استوار جهت حل برنامه‌ریزی تولید ادغامی این محصولات، گسترش داده می‌شود. مجموعه‌ای از داده‌های واقعی شرکت تولید کننده انواع سالنامه در تهران به نام شرکت "سالنامه نیک" جهت اعتبارسنجی و نشان دادن کارایی مدل، مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج محاسباتی، به خوبی نشان می‌دهند که مدل این مقاله می‌تواند برای مسائل واقعی برنامه‌ریزی تولید ادغامی کارخانه‌های تولیدی مشابه در شرایط عدم قطعیت پارامترها، کاربرد مناسبی داشته باشد.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی استوار، برنامه‌ریزی تولید ادغامی، محصولات فاسدشدنی، سیاست تعویق.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران (نویسنده مسئول)
a_aazami@ind.iust.ac.ir

** دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

برنامه‌ریزی تولید، یکی از مهم‌ترین موضوعات در سیستم‌های تولیدی است که هدف از آن، برنامه‌ریزی مؤثر و هماهنگی تمام فعالیت‌های تولیدی است به گونه‌ای که اهداف شرکت‌ها را بهینه نماید. اهداف برنامه‌ریزی تولید، تعیین مقدار بهینه تولید، موجودی و دیگر پارامترهای با اهمیت تولیدی جهت پاسخگویی به تقاضای متغیر در دوره مشخص برنامه‌ریزی است. در واقع برنامه‌ریزی تولید، فرآیند تصمیم‌گیری در خصوص منابعی است که سازمان جهت انجام عملیات تولید در آینده به آن‌ها نیاز دارد؛ به گونه‌ای که تخصیص این منابع جهت تولید به مقدار مورد نیاز و نیز با صرف کمترین هزینه صورت گیرد. برنامه‌ریزی تولید ادغامی، تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی برای یک بازه زمانی مشخص در مواردی مانند حجم کلی تولید، میزان کسری، تعداد کارکنان، روش‌های مختلف تأمین و تسطیح ظرفیت با استفاده از دید گروهی و در سطح کلی است.

این پژوهش، مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی محصولات فاسدشدنی از قبیل سررسیدها و هدیه‌های سال نو را بررسی می‌نماید. وقتی که اواخر چرخه عمر این نوع محصولات (مانند اواخر سال، قبل از رسیدن به سال نو)، نزدیک می‌شود؛ به طور چشمگیری تقاضا برای آن‌ها، افزایش می‌یابد. بنابراین تقاضا برای محصولات فاسدشدنی، بسیار به زمان حساس است در نتیجه کنترل موجودی این نوع از محصولات دشوار است. از طرف دیگر، ذخیره محصولات فاسدشدنی در حالی که تولید، قابل فروش است؛ می‌تواند درآمد کمتری را نتیجه دهد؛ به این دلیل که محصولات فاسدشدنی نمی‌توانند پس از یک روز معین، سودآور باشند. برای مقابله با این نوع فسادپذیری از استراتژی تعویق برای حل مسئله برنامه‌ریزی تولید محصولات فاسدشدنی در شرایط منابع محدود تولیدی و رشد تقاضا، استفاده شده است.

منظور از تعویق تولید این است که محصول در وسط خط تولید، به طور مثال اولین فاز تولید را گذرانیده و طبق گزینه‌های مختلف به عنوان مثال رنگ، اندازه و نوع، فعالیت‌های خط تولید مانند ترکیب، بسته‌بندی، رنگ‌کاری و مونتاژ نهایی تا رسیدن به فاز بعدی به تعویق

Archive of SID

www.SID.ir

افتاده است. در واقع تا زمانی که سفارشات مشتریان دریافت شود؛ فازهای بعدی تولید به تعویق می‌افتند (Aviv & Federgruen, 2001a, 2001b; Van Hoek, 2001). تحقیقات اندکی، برنامه‌ریزی تولید ادغامی محصولات فاسدشدنی را تعیین نموده‌اند. در نتیجه، این مقاله می‌تواند مسئله برنامه‌ریزی تولید شرکت‌های تولید کننده‌ی این نوع محصولات را همانند شرکت "سالنامه نیک [1]" حل نماید.

هدف این پژوهش، گسترش مدل بهینه‌سازی استوار، تکنیک مول‌وی و همکاران (Mulvey, Vanderbei, & Zenios, 1995) برای بهینه‌سازی مسئله برنامه‌ریزی تولید محصولات فاسدشدنی برای تولیدات چند کارخانه و تحت شرایط عدم قطعیت است. نوآوری‌های اصلی این پژوهش، استفاده از سیاست تعویق برای تولید محصولات فاسدشدنی، استفاده از روش بهینه‌سازی استوار جهت حل عدم قطعیت مسئله و نیز چند کارخانه‌ای بودن مسئله برنامه‌ریزی تولید است که مسئله را به مسائل دنیای واقعی نزدیک‌تر خواهد ساخت. پیشنهاد شده است که فرایند تولید این نوع محصولات با اعمال مفهوم تعویق، به دو مرحله تقسیم شود. در نتیجه، سه فعالیت تولیدی یعنی تولید مستقیم، تولید محصول نیمه ساخته و مونتاژ نهایی در نظر گرفته خواهد شد. مدل پیشنهاد شده، تعیین می‌نماید که (۱) چه مقدار از محصولات نهایی باید از مواد خام به طور مستقیم، تولید شوند (تولید مستقیم)، (۲) چه مقدار از محصولات نیمه‌ساخته باید از مواد خام تولید شوند (تولید نیمه ساخته) و (۳) چه مقدار از محصولات نهایی باید از محصولات نیمه‌ساخته تولید شوند (مونتاژ نهایی) به طوری که منابع برای پاسخگویی به هر گونه رشد چشمگیر در تقاضا، به خوبی استفاده شوند. همچنین با استفاده از این مدل، کل هزینه‌ها شامل هزینه‌های راه اندازی، تولید، نیروی کار، موجودی، استخدام و اخراج مینیمم گردند.

ادامه این پژوهش بدین صورت ساختار یافته است: پس از این مقدمه، در بخش دوم، به مروری جامع بر مطالعاتی که روی حوزه برنامه‌ریزی تولید ادغامی و نیز تولید محصولات فاسدشدنی انجام گرفته؛ پرداخته شده است. در بخش سوم، مدل‌سازی ریاضی مسئله

1 -NIK Calendar

Archive of SID

www.SID.ir

برنامه‌ریزی تولید، ارائه شده است و در بخش چهارم، نتایج عددی مدل پیشنهاد شده با استفاده از حل دقیق به وسیله‌ی نرم‌افزار GAMS، آورده شده است. در بخش پایانی، نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه داده شده است.

مرور ادبیات

پا و کوپر بیان کردند که مزیت اصلی سیاست تعویق، کاهش یا حذف کامل ریسک و عدم قطعیت در تولید و عملیات لجستیکی است (Pagh & Cooper, 1998). گارگ و تانگ دو نوع از به تعویق افتادن در مراحل تولید -تعویق زود هنگام و تعویق دیر هنگام- و همچنین اهمیت تنوع تقاضا و دامنه نسبی زمان‌های تحویل را در تعیین موقع مناسب تعویق بررسی کردند (Garg & Tang, 1997). آویو و فیدرگرن سود به تعویق انداختن را با توزیع‌های نامعلوم مورد مطالعه قرار دادند (Aviv & Federgruen, 2001b). ون هوک روی مقالات با سیاست تعویق مرور ادبیات کرد و فرصت‌های به تعویق انداختن در تولید و عملیات را شناسایی نمود (Van Hoek, 2001). ونگ و فانگ یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی را برای مسئله برنامه‌ریزی تولید توسعه دادند. راه حل‌ها به شکل اعداد فازی، انعطاف‌پذیری بیشتری را برای مدیریت تولید در یک محیط فازی فراهم می‌نماید (Wang & Fang, 2000). بی کسیگ بیان کرد که برنامه‌ریزی تولید ادغامی، حداقل سازی هزینه‌ها، سطح موجودی‌ها، تغییرات در سطح نیروی انسانی، دستمزدهای اضافه کاری در تولید، تغییرات در نرخ تولید، تعداد دفعات راه اندازی ماشین، زمان بیکاری کارخانه و نیروی انسانی و حداکثر سازی سود و خدمات مشتریان با اولویت بالاتر را در نظر می‌گیرد (Baykasoglu, 2001). ونگ و فانگ مدل برنامه‌ریزی تولید چهار هدفه را با پارامترهای فازی مانند تقاضای فازی، زمان ماشین فازی، ظرفیت ماشین فازی و هزینه‌های مربوطه فازی توسعه دادند (Wang & Fang, 2001). بیشتر مطالعات اخیر، فرموله کردن ریسک‌گریزی تصمیم گیرنده را در مدل های برنامه‌ریزی تصادفی، تعیین کردند.

Archive of SID

www.SID.ir

هولند و والاس یک مدل میانگین-واریانس برای فرموله کردن ریسک‌گریزی در برنامه‌ریزی خطی تصادفی با استفاده از تابع مطلوبیت خطی قطعه‌ای، پیشنهاد کردند (Høyland & Wallace, 2001). مدل بهینه‌سازی استوار، مدل خاصی از مدل‌های برنامه‌ریزی غیر خطی تصادفی، گسترش داده شد؛ به طوری که تابع ریسک گریز مقعر می‌تواند در مشخصات اهداف گنجانیده شود (Bai, Carpenter, & Mulvey, 1997).

جانگ و همکاران سه نوع فرموله بندی تجزیه شده و یک روش حل الگوریتم ژنتیک را برای برنامه‌ریزی تولید و عملیات توزیع، ارائه دادند (Jang, Jang, Chang, & Park, 2002). پارک رویکردی یکپارچه‌تر با گسترش فرموله‌بندی عدد صحیح مختلط واحد و یک روش حل ابتکاری دو فازی برای آن مدل معرفی کرد (Park, 2005).

لئونگ و اِنجی یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی را برای حل برنامه‌ریزی تولید ادغامی محصولات فاسدشدنی به کمک سه تابع هدف و با استفاده از سیاست تعویق گسترش دادند (Leung & Ng, 2007a). همچنین لئونگ و اِنجی در ادامه ی پژوهش‌های خود، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی را برای برنامه‌ریزی تولید محصولات فاسدشدنی با استفاده از سیاست تعویق ارائه دادند (Leung & Ng, 2007b). آن‌ها یک برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله ای را با تقاضا و پارامترهای غیر قطعی برای تعیین برنامه بهینه تولید، گسترش دادند. لئونگ و همکاران مدل بهینه‌سازی استوار را برای مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی در شرایط عدم قطعیت به ادبیات برنامه‌ریزی تولید ادغامی اضافه نمودند (Leung, Tsang, Ng, & Wu, 2007c). آن‌ها با استفاده از تکنیک مول‌وی و همکاران (Mulvey et al., 1995)، برنامه بهینه تولید را با هدف کمینه سازی هزینه‌هایی مانند هزینه‌های تولید، موجودی، نیروی انسانی و ... تعیین کردند. لئونگ و چان یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی را با هدف حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی هزینه تعمیر و حداکثرسازی استفاده از ظرفیت تولید کارخانه چین به ترتیب، برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی با وجود محدودیت استفاده از منابع، مورد تحقیق قرار دادند (Leung & Chan, 2009).

میرزاپور آل هاشم و همکاران یک مدل بهینه‌سازی استوار چند هدفه برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند محصولی و چند کارخانه‌ای در زنجیره تامین تحت عدم قطعیت ارائه دادند. آن‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

در مدلی که ارائه کردند؛ نیروی انسانی را به چند سطح مهارت تقسیم نمودند و در مدل خود، امکان ارتقاء نیروهای انسانی به سطوح بالاتر را در نظر گرفتند و با استفاده از تکنیک مولوی و همکاران، مدل مربوطه را حل کردند (Mirzapour Al-e-hashem, Malekly, & Aryanezhad, 2011). قاسمی یقین و همکاران مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی را در یک زنجیره تامین دو مرحله ای همراه با قیمت‌گذاری مورد بررسی قرار دادند و از رویکرد چند هدفه فازی ترکیبی مرتبط با روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی برای حل مسئله استفاده نمودند (Ghasemy Yaghin, Torabi, & Fatemi Ghomi, 2012). مدلی که آن‌ها ارائه کردند؛ به طور همزمان کل سود تولید کننده، کل سود خرده فروش و نیز سطح سرویس خرده فروش را حداکثر می نماید. جوزآلم و مورابیتو مسئله برش تولید را در صنعت تولید صندلی چوبی با استفاده از روش بهینه‌سازی استوار مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند (José Alem & Morabito, 2012). آن‌ها برای حل مسئله مورد نظر از تکنیک برسیماس و سیم (Bertsimas & Sim, 2003)، با توجه به عدم قطعیت در پارامترهای هزینه و نیز تقاضا، استفاده نمودند.

رحمانی و همکاران یک مدل بهینه‌سازی استوار برای برنامه‌ریزی تولید دو مرحله ای چند محصولی با وجود محدودیت ظرفیت تحت شرایط عدم قطعیت به ادبیات افزودند. آن‌ها، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را برای فرموله کردن مسئله برنامه‌ریزی تولید استوار مربوطه گسترش دادند و برای اعتبارسنجی مدل خود، یک مسئله از کارخانه یخچال سازی را در ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند (Rahmani, Ramezanian, Fattahi, & Heydari, 2013). اویدو و ژنگ برنامه‌ریزی تولید احتمالی را برای یک زنجیره تامین سوخت‌های زیستی تحت شرایط عدم قطعیت در پارامترهای تقاضا و قیمت، مطالعه کردند. آن‌ها از تجزیه بندرز با تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو برای حل مدل پیشنهادی استفاده نمودند (Awudu & Zhang, 2013).

نیک نامفر و همکاران رویکرد بهینه‌سازی استوار را برای یک مسئله برنامه‌ریزی تولید-توزیع ادغامی در یک زنجیره تامین سه سطحی، استفاده کردند. آن‌ها، رویکرد بهینه‌سازی استوار را در یک مسئله برنامه‌ریزی تولید-توزیع به منظور حداقل‌سازی کل هزینه یک زنجیره تامین سه سطحی شامل تسهیلات تولید چندگانه، مراکز توزیع چند گانه و مناطق مشتری چندگانه با

Archive of SID

www.SID.ir

پارامترهای غیر قطعی در شرایط مجموعه‌ای از سناریوهای گسسته اقتصادی، گسترش دادند (Niknamfar, Niaki, & Pasandideh, 2014). جبارزاده و همکاران یک رویکرد استوار بهبود یافته به نام "P-استوار الاستیک" را برای عامل تامین و تحت شرایط عدم قطعیت در تقاضا ارائه نمودند (Jabbarzadeh, Fahimnia, & Sheu, 2015). آن‌ها، مسئله را به صورت چند محصولی و چند دوره ای مطالعه کردند و زنجیره‌ای را شامل کارخانه‌ها، مراکز توزیع و بازارها با هدف کمینه کردن مجموع هزینه‌های برنامه‌ریزی تولید-توزیع از جمله هزینه‌های تولید در اوقات معمولی و اضافه کاری، نیروی انسانی، حمل و نقل، فروش از دست رفته و موجودی در نظر گرفتند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که به ازای افزایش مقدار کم هزینه، استواری مدل برنامه‌ریزی تولید، افزایش چشمگیری می‌یابد.

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته، مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی محصولات فاسدشدنی با در نظر گرفتن سیاست تعویق برای تولیدات چند کارخانه با استفاده از روش حل بهینه‌سازی استوار، مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته است. این پژوهش، سعی بر آن دارد تا این مسئله را مورد مدل‌سازی و بررسی قرار دهد.

مدل‌سازی ریاضی مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی

بیان مسئله

مسئله‌ی موردنظر این مطالعه، یافتن برنامه‌ریزی تولید بهینه محصولات فاسد شدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم‌ها یا سررسیدها و هدیه‌های سال نو که مشخصات سال جدید روی آن‌ها درج می‌شود، است. یک مثال واقعی از مسئله، تعیین برنامه تولید شرکت "سالنامه نیک"، تولید کننده انواع سالنامه، تقویم و دفاتر تلفن، برای یک دوره‌ای مشخص است. مدل و نتایج این مطالعه برای حل مسئله برنامه‌ریزی تولید شرکت‌های تولید کننده‌ی این نوع محصولات، قابل استفاده است. برای مقابله با مشخصه‌ی فسادپذیری این نوع از محصولات، از سیاست تعویق استفاده می‌شود. سیاست تعویق به این صورت است که تولید محصول به سه

Archive of SID

www.SID.ir

روش: تولید مستقیم محصول نهایی، تولید محصول نهایی از محصول نیمه‌ساخته، تولید محصول نیمه‌ساخته انجام می‌شود. در تحقیقات پیشین برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند کارخانه‌ای این نوع محصولات خاص یعنی سررسیدها، مدلی ارائه نشده است. مدل این مقاله برگرفته از مدل پایه لئونگ و همکاران (Leung, Tsang, Ng, & Wu, 2007c) است با این تفاوت که آن‌ها، رویکرد بهینه‌سازی استوار را برای برنامه‌ریزی تولید نوع دیگری از محصولات بدون در نظر گرفتن سیاست تعویق (بدون شکسته شدن روش تولید به سه نوع) استفاده نموده‌اند. در نتیجه، تاکنون رویکرد بهینه‌سازی استوار برای حل عدم قطعیت درونی پارامترها با در نظر گرفتن سیاست تعویق و برای برنامه‌ریزی تولید چند کارخانه‌ای این نوع محصولات خاص، استفاده نشده است.

در این مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی، هزینه‌ها شامل هزینه‌های راه اندازی، تولید، نیروی انسانی ماهر و ناماهر، موجودی، استخدام و اخراج است. برای حل مسئله نیز از رویکرد بهینه‌سازی استوار، تکنیک مولوی و همکاران استفاده خواهد شد. به طور کلی، سه سطح نیروی انسانی، خواهیم داشت:

۱- نیروی انسانی ماهر در اوقات عادی (به ازای هر کارگر، پول پرداخت می‌شود)

۲- نیروی انسانی ماهر در اوقات اضافه‌کاری (به ازای هر ساعت، پول پرداخت می‌شود)

۳- نیروی انسانی نیمه‌ماهر در اوقات عادی (به ازای هر ساعت، پول پرداخت می‌شود)

نمادها

مجموعه‌ها

I	مجموعه محصولات	T	مجموعه دوره‌های زمانی
J	مجموعه کارخانه‌ها	S	مجموعه سناریوهای عدم قطعیت
K	سطوح نیروی انسانی		

پارامترها

Archive of SID

www.SID.ir

D_{it}^{s} تقاضای محصول i در دوره t تحت سناریوی s (واحد)

cdp_{ijk}^{s} هزینه تولید یک واحد محصول نهایی i به روش مستقیم در کارخانه j توسط کارگر سطح k تحت سناریوی s (واحد/ریال)

cmp_{ijk}^{s} هزینه تولید یک واحد محصول نیمه ساخته i در کارخانه j توسط کارگر سطح k تحت سناریوی s (واحد/ریال)

cfp_{ijk}^{s} هزینه تولید یک واحد محصول نهایی i از محصول نیمه ساخته در کارخانه j توسط کارگر سطح k تحت سناریوی s (واحد/ریال)

cl_{jk}^{s} هزینه نیروی انسانی سطح k در کارخانه j تحت سناریوی s (دوره–نفر/ ریال)

cIf_{ij}^{s} هزینه نگهداری محصول نهایی i در کارخانه j تحت سناریوی s (واحد/ ریال)

cIm_{ij}^{s} هزینه نگهداری محصول نیمه ساخته i در کارخانه j تحت سناریوی s (واحد/ ریال)

cwH_j هزینه استخدام نیروی انسانی ماهر در کارخانه j (نفر/ ریال)

cwL_j هزینه اخراج نیروی انسانی ماهر در کارخانه j (نفر/ ریال)

da_{ik} زمان لازم برای تولید محصول نهایی i به روش مستقیم توسط کارگر سطح k (واحد/نفر–ساعت)

ma_{ik} زمان لازم برای تولید محصول نیمه ساخته i توسط کارگر سطح k (واحد/نفر–ساعت)

fa_{ik} زمان لازم برای تولید محصول نهایی i از محصول نیمه ساخته توسط کارگر سطح k (واحد/نفر–ساعت)

db_{ik} زمان ماشین برای تولید محصول نهایی i به روش مستقیم توسط کارگر سطح k (واحد/ماشین–ساعت)

mb_{ik} زمان ماشین برای تولید محصول نیمه ساخته i توسط کارگر سطح k (واحد/ماشین–ساعت)

fb_{ik} زمان ماشین برای تولید محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته توسط کارگر سطح k (واحد/ماشین–ساعت)

τ ساعات کاری کارگران ماهر در هر دوره (نفر–دوره/نفر–ساعت)

Archive of SID

www.SID.ir

α درصد زمان دردسترس کارگران ماهر در اوقات اضافه‌کاری

ε_j درصد مجاز تغییر در نیروی انسانی

M یک مقدار بزرگ

BUF_{jt} حداکثر ظرفیت دردسترس نگهداری محصول در کارخانه j در دوره t (واحد)

W_{jt}^{min} حداقل نیروی انسانی ماهر در کارخانه j در دوره t (نفر–دوره)

W_{jt}^{max} حداکثر نیروی انسانی ماهر در کارخانه j در دوره t (نفر–دوره)

β درصد موجود ماشین‌آلات در اوقات اضافه‌کاری در هر دوره

M_{jt} حداکثر زمان در دسترس ماشین در اوقات معمولی در کارخانه j در دوره t (ماشین–ساعت)

cdk_{ij} هزینه برپایی تولید محصول نهایی i به روش مستقیم در کارخانه j (ریال)

cmk_{ij} هزینه برپایی تولید محصول نیمه ساخته i در کارخانه j (ریال)

cfk_{ij} هزینه برپایی تولید محصول نهایی i از محصول نیمه ساخته در کارخانه j (ریال)

vf_i حجم اشغال توسط یک واحد محصول نهایی i (واحد)

vm_i حجم اشغال توسط یک واحد محصول نیمه ساخته i (واحد)

متغیرهای تصمیم

dp_{ijkt} میزان تولید محصول نهایی i به روش مستقیم در کارخانه j توسط کارگر سطح k در دوره t (واحد)

mp_{ijkt} میزان تولید محصول نیمه ساخته i در کارخانه j توسط کارگر سطح k در دوره t (واحد)

fp_{ijkt} میزان تولید محصول نهایی i از محصول نیمه ساخته در کارخانه j توسط کارگر سطح k در دوره t (واحد)

If_{ijt}^{s} میزان موجودی محصول نهایی i در کارخانه j در دوره t تحت سناریوی s (واحد)

Im_{ijt}^{s} میزان موجودی محصول نیمه ساخته i در کارخانه j در دوره t تحت سناریوی s

Archive of SID

www.SID.ir

(واحد)

W_{jt} تعداد نیروهای ماهر در کارخانه j در دوره t (نفر–دوره)

wH_{jt} تعداد نیروهای ماهر استخدام شده در کارخانه j در دوره t (نفر–دوره)

wL_{jt} تعداد نیروهای ماهر اخراج شده در کارخانه j در دوره t (نفر–دوره)

δ_{it}^{s} میزان عدم پاسخگویی به تقاضای محصول i در دوره t تحت سناریوی s (واحد)

dk_{ijt} متغیر صفر و یک برپایی تولید محصول نهایی i به روش مستقیم در کارخانه j در دوره t

mk_{ijt} متغیر صفر و یک برپایی تولید محصول نیمه ساخته i در کارخانه j در دوره t

fk_{ijt} متغیر صفر و یک برپایی تولید محصول نهایی i از محصول نیمه ساخته در کارخانه j در دوره t

تابع هدف و محدودیت‌ها

هدف این پژوهش، یافتن برنامه‌ریزی تولید ادغامی بهینه تحت هر سناریو با حداقل هزینه‌ها شامل هزینه تولید (PC)، هزینه برپایی تولید (SC)، هزینه تغییر نیروی انسانی (WC)، هزینه نگهداری (IC) و هزینه نیروی کار (LC) است. هر کدام از این هزینه‌ها با توجه به تعریف پارامترها و متغیرها، از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$PC_s\left(\text{هزینه تولید}\right) = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t (cdp_{ijk}^{s}.dp_{ijkt} + cmp_{ijk}^{s}.mp_{ijkt} + cfp_{ijk}^{s}.fp_{ijkt}) \quad (۱)$$

$$SC_s\left(\text{هزینه برپایی تولید}\right) = \sum_i \sum_j \sum_t (cdk_{ij}.dk_{ijt} + cmk_{ij}.mk_{ijt} + cfk_{ij}.fk_{ijt}) \quad (۲)$$

$$WC_s\left(\text{هزینه تغییر نیروی انسانی}\right) = \sum_j \sum_t (cwH_j.wH_{jt} + cwL_j.wL_{jt}) \quad (۳)$$

$$IC_s\left(\text{هزینه نگهداری}\right) = \sum_i \sum_j \sum_t (cIf_{ij}^{s}.If_{ijt}^{s} + cIm_{ij}^{s}.Im_{ijt}^{s}) \quad (۴)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$LC_s\left(\text{هزینه نیروی کار}\right) = \sum_j \sum_t [cl_{j1}^s . W_{jt} + \sum_{k=2}^{3} cl_{jk}^s \times \sum_i (da_{ik} . dp_{ijkt} + ma_{ik} . mp_{ijkt} + fa_{ik} . fp_{ijkt})] \quad (۵)$$

رابطه (۱)، کل هزینه تولید را نشان می‌دهد که در رابطه با تولید مستقیم، تولید محصول نیمه ساخته و تولید محصول نهایی از نیمه ساخته است. رابطه (۲)، کل هزینه برپایی تولید در رابطه با سه نوع مختلف تولید است. رابطه (۳)، هزینه تغییر نیروی انسانی را شامل استخدام و اخراج نشان می‌دهد. رابطه (۴)، هزینه نگهداری موجودی را در انبار نشان می‌دهد و رابطه (۵)، هزینه نیروی کار در ارتباط با نیروی کار ماهر در اوقات معمولی و نیروی کار ماهر در اوقات اضافه کاری و نیز نیروی کار نیمه ماهر در اوقات عادی را نشان می‌دهد.

تابع هدف برای مسئله برنامه‌ریزی تولید مربوطه با داده‌های غیر قطعی به صورت رابطه (۶) است. عبارات اول و دوم در تابع هدف به ترتیب مقدار میانگین و واریانس کل هزینه‌ها هستند و استواری حل را اندازه‌گیری می‌نمایند. عبارت سوم در هدف، استواری مدل را با توجه به نشدنی بودن در ارتباط با محدودیت‌های کنترلی (۷) تحت سناریوی s نشان می‌دهد.

$$\text{Min} \sum_{s\in S} p_s(PC_s + SC_s + WC_s + IC_s + LC_s) + \lambda \sum_{s\in S} p_s[(PC_s + SC_s + WC_s + IC_s + LC_s) - \sum_{\acute{s}\in S} p_{\acute{s}}(PC_{\acute{s}} + SC_{\acute{s}} + WC_{\acute{s}} + IC_{\acute{s}} + LC_{\acute{s}}) + 2\theta_s] + \omega \sum_s \sum_i \sum_t p_s . \delta_{it}^s \quad (۶)$$

Subject to:

$$\sum_j (If_{ij,t-1}^s + \sum_k (dp_{ijkt} + fp_{ijkt}) - If_{ijt}^s) + \delta_{it}^s = D_{it}^s \quad \forall i,t,s \quad (۷)$$

$$Im_{ij,t-1}^s + \sum_k (mp_{ijkt} - fp_{ijkt}) = Im_{ijt}^s \quad \forall i,j,t,s \quad (۸)$$

$$\sum_i (vf_i . If_{ijt}^s + vm_i . Im_{ijt}^s) \le BUF_{jt} \quad \forall j,t,s \quad (۹)$$

$$W_{jt} = W_{j,t-1} + wH_{jt} - wL_{jt} \quad \forall j,t \quad (۱۰)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$W_{jt}^{min} \le W_{jt} \le W_{jt}^{max} \quad \forall j,t \tag{۱۱}$$

$$wH_{jt} + wL_{jt} \le \varepsilon_j . W_{j,t-1} \quad \forall j,t \tag{۱۲}$$

$$\sum_i (da_{i1}.dp_{ij1t} + ma_{i1}.mp_{ij1t} + fa_{i1}.fp_{ij1t}) \le \tau . W_{jt} \quad \forall j,t \tag{۱۳}$$

$$\sum_i (da_{i2}.dp_{ij2t} + ma_{i2}.mp_{ij2t} + fa_{i2}.fp_{ij2t}) \le \alpha.\tau . W_{jt} \quad \forall j,t \tag{۱۴}$$

$$\sum_i (db_{i1}.dp_{ij1t} + mb_{i1}.mp_{ij1t} + fb_{i1}.fp_{ij1t} + db_{i3}.dp_{ij3t} + mb_{i3}.mp_{ij3t} + fb_{i3}.fp_{ij3t}) \le M_{jt} \quad \forall j,t \tag{۱۵}$$

$$\sum_i (db_{i2}.dp_{ij2t} + mb_{i2}.mp_{ij2t} + fb_{i2}.fp_{ij2t}) \le \beta . M_{jt} \quad \forall j,t \tag{۱۶}$$

$$\sum_k dp_{ijkt} \le M.dk_{ijt} \quad \forall i,j,t \tag{۱۷}$$

$$\sum_k mp_{ijkt} \le M.mk_{ijt} \quad \forall i,j,t \tag{۱۸}$$

$$\sum_k fp_{ijkt} \le M.fk_{ijt} \quad \forall i,j,t \tag{۱۹}$$

$$(PC_s + SC_s + WC_s + IC_s + LC_s) - \sum_{s\in S} p_s(PC_s + SC_s + WC_s + IC_s + LC_s) + \theta_s \ge 0 \quad \forall s \tag{۲۰}$$

$$dp_{ijkt}, mp_{ijkt}, fp_{ijkt}, If_{ijt}^s, Im_{ijt}^s, W_{jt}, wH_{jt}, wL_{jt}, \delta_{it}^s, \quad \theta_s \ge 0 \quad \forall i,j,k,t,s \tag{۲۱}$$

$$dk_{ijt}, mk_{ijt}, fk_{ijt} = \{0,1\} \quad \forall i,j,t \tag{۲۲}$$

محدودیت (۷)، یک محدودیت تعادلی کنترلی است که برای تعیین مقدار محصول نهایی ذخیره شده در انبار و میزان عدم پاسخگویی به تقاضای بازار استفاده می‌شود. اگر مقدار کل محصول نهایی تولید شده در دوره t به اضافه‌ی میزان موجودی در دوره $t-1$ (یعنی $If_{ij,t-1}^s + \sum_k(dp_{ijkt} + fp_{ijkt})$) از تقاضای بازار ($D_{it}^s$) بیشتر باشد آن‌گاه میزان موجودی در دوره t، برابر با $If_{ij,t}^s = If_{ij,t-1}^s + \sum_k(dp_{ijkt} + fp_{ijkt}) - D_{it}^s$ خواهد بود و با مینیمم سازی، میزان انحراف برابر صفر ($\delta_{it}^s = 0$) خواهد بود. در حالی که اگر $If_{ij,t-1}^s + \sum_k(dp_{ijkt} + fp_{ijkt})$ کمتر از تقاضای بازار باشد؛ آن‌گاه $If_{ij,t}^s = 0$ و $\delta_{it}^s = D_{it}^s - If_{ij,t-1}^s - \sum_k(dp_{ijkt} + fp_{ijkt})$ نشان دهنده ی میزان عدم پاسخگویی به تقاضای بازار است. در نتیجه، یک راه حل

Archive of SID

www.SID.ir

نشدنی به دست می آید. لازم به یادآوری است که هیچ تقاضای پس افتی در این مدل در نظر گرفته نشده است؛ بنابراین $\delta_{i,t-1}^{S}$ به عنوان تقاضای اضافی برای دوره t نیست. محدودیت (۸)، یک رابطه تعادلی برای میزان موجودی محصول نیمه ساخته است. با وجود محدودیت (۹)، اطمینان حاصل می‌شود که میزان موجودی محصول نهایی و نیمه ساخته از حداکثر ظرفیت نگهداری در انبار کارخانه مربوطه، کمتر است. محدودیت (۱۰)، بیان می کند که نیروی کار درسترس در هر دوره برابر با نیروی کار در دوره قبل به اضافه تغییر تعداد نیروی کار در دوره جاری است. محدودیت (۱۱)، نشان می‌دهد که تعداد نیروی انسانی ماهر در هر کارخانه و در هر دوره، از حدی نمی‌تواند بیشتر یا کمتر باشد. در ادامه، محدودیت (۱۲)، بیان می کند که تغییرات در تعداد نیروی انسانی در یک دوره، نمی‌تواند از درصدی از تعداد نیروی انسانی در دوره قبل بیشتر باشد.

محدودیت (۱۳)، تولید در اوقات معمولی را به کل ساعات نیروی انسانی ماهر دردسترس محدود می کند. در ادامه، محدودیت (۱۴)، تولید در اوقات اضافه کاری را به کل ساعات نیروی انسانی ماهر دردسترس محدود می‌نماید. محدودیت (۱۵)، کل تولید را در هر دوره توسط نیروی انسانی سطح ۱ و ۳ به وسیله ی ظرفیت تولید ماشین دردسترس محدود می کند و نیز محدودیت (۱۶)، کل تولید را در هر دوره توسط نیروی انسانی سطح ۲ به وسیله‌ی ظرفیت تولید ماشین دردسترس محدود می کند. محدودیت‌های (۱۷)، (۱۸) و (۱۹)، رابطه بین تولید محصول و برپایی تولید را به ترتیب برای روش تولید مستقیم، تولید محصول نیمه‌ساخته و تولید محصول نهایی از نیمه ساخته نشان می‌دهد. محدودیت (۲۰)، معادله کمکی در رابطه با روش بهینه‌سازی استوار، تکنیک مول‌وی است. محدودیت‌های (۲۱) و (۲۲)، تمامی متغیرهای تصمیم را تعریف می‌نمایند.

نتایج عددی

Archive of SID

www.SID.ir

داده‌های مسئله

در این قسمت از پژوهش، به منظور اعتبارسنجی و نشان دادن انعطاف‌پذیری مدل بهینه‌سازی استوار، با استفاده از داده‌های واقعی به دست آمده از شرکت تولید کننده انواع سالنامه، تقویم و دفاتر تلفن به نام شرکت "سالنامه نیک" واقع در تهران، مدل پیشنهادی و نتایج آن مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. مسئله اساسی اعلام شده‌ی این شرکت، نیاز به تولید زیاد سالنامه در ماه‌های پایانی هر سال و بیکاری خطوط تولید در دیگر ماه‌های سال است که با استفاده از سیاست تعویق تولید و تولید محصول به صورت نیمه‌ساخته، سعی شده است تا این مسئله در تولید سالنامه حل و برنامه‌ریزی گردد. قابل توجه این که با استفاده از این پژوهش، مسئله دشوار برنامه‌ریزی تولید ادغامی این شرکت، حل شده است و مدیریت تولید این شرکت، تحقیق حاضر را در راستای حل مسئله برنامه‌ریزی تولید شرکت خود، بسیار ارزشمند معرفی نموده است.

تنوع محصولات فاسدشدنی تولید شده، شش محصول ($i=1,2,\ldots,6$) را شامل می‌شود که در سه کارخانه اصلی ($j=1,2,3$) تولید می‌شوند. تولید هر نوع سالنامه، دو بخش اساسی دارد؛ بخش اول شامل تولید صفحات سفید آن در طرح و اندازه‌های مشخص و نیز چاپ تاریخ‌های سال جدید روی صفحات آن به عنوان محصول نیمه‌ساخته است و بخش دوم، شامل چاپ تبلیغات خاص و لوگو های شرکت‌های مشخص درخواست کننده سالنامه در صفحات آن، صحافی و چسباندن جلد سالنامه، به عنوان محصول نهایی است. طبق اطلاعات داده شده‌ی شرکت "سالنامه نیک"، در صورتی که تقاضای شرکت‌های دیگر برای یک نوع خاص سالنامه، تعداد قابل توجهی باشد؛ می‌توان این دو بخش را بدون وقفه در میان آن‌ها و به طور مستقیم انجام داد که همان، تولید به روش مستقیم است. دوره زمانی تولید شامل ۱۲ هفته ($t=1,2,\ldots,12$) است که در سه ماه پایانی سال انجام می‌شود. براساس اسناد گذشته‌ی فروش، قراردادهای کوتاه‌مدت و بلندمدت آتی، شاخص قیمت مصرف‌کننده، تولید ناخالص داخلی (GDP) و ... می‌توان فرض کرد که سناریوهای اقتصادی آینده، یکی از چهار سناریوی ممکن

Archive of SID

www.SID.ir

یعنی: رونق، خوب، متوسط و ضعیف خواهد شد که احتمالات وقوع این سناریوها در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱. مجموعه سناریوها و احتمالات وقوع آن‌ها

سناریو	رونق	خوب	متوسط	ضعیف
احتمال وقوع سناریو (p_s)	0.4	0.25	0.2	0.15

در این پژوهش، جهت اختصار در بیان داده‌ها از ذکر تمامی داده‌های مربوطه صرف نظر شده است و تنها داده‌های با اهمیت، آورده شده‌اند.

درصد موجود ماشین‌آلات در اوقات اضافه‌کاری در هر دوره (β) برابر با 30 درصد و درصد زمان در دسترس کارگران ماهر در اوقات اضافه‌کاری (α) برابر با 40 درصد در نظر گرفته شده است. از آن‌جا که کارخانه‌ها، پنج روز در هفته فعالیت می‌کنند و در هر روز 8 ساعت کاری برای کارگران ماهر در نظر گرفته شده است؛ ساعات کاری کارگران ماهر در هر دوره (τ) برابر 40 ساعت به دست می‌آید. حداکثر ظرفیت در دسترس نگهداری محصول در کارخانه j در دوره t (BUF_{jt}) برای تمام کارخانه‌ها و تمام دوره‌ها برابر 800 واحد است.

نتایج و تحلیل آن‌ها

روش حل پیشنهادی برای مدل بیان شده، روش دقیق بهینه‌سازی استوار است که نتایج با استفاده از نرم‌افزار GAMS به دست می‌آید. برای حل مدل از نرم‌افزار GAMS 23.6.2 و حل‌کننده CPLEX 12.2.1 روی رایانه‌ای شخصی با مشخصات Intel Core i5 و CPU 2.30 GHz و 4 GB memory استفاده شده است. با اجرای مدل ارائه شده در این نرم افزار بهینه‌سازی، جواب شدنی و منطقی به دست می‌آید. همچنین، شکاف بهینگی نسبی[1] در پایان اجرا برابر 0.6 ٪ است که پایین بودن این مقدار، اعتبار مدل ارائه شده را به خوبی نشان می‌دهد.

1 -Relative Optimality Gap

Archive of SID

www.SID.ir

در ادامه به منظور توضیح راه‌حل، نتایج با مقادیر $\lambda = 1$ و $\omega = 250$ تشریح می‌شود. برنامه‌ریزی تولید بهینه برای شش محصول، سه کارخانه، ۱۲ هفته و چهار سناریوی عدم قطعیت تعیین می‌شود. در جدول ۲، میزان تولید بهینه محصول نهایی ۱ به روش مستقیم آورده شده که تمام این مقادیر، مربوط به تولید توسط نیروی انسانی سطح ۱ است. میزان تولید بهینه محصول نهایی به روش مستقیم توسط سطوح دیگر نیروی انسانی برابر صفر است؛ یعنی در برنامه‌ریزی بهینه تولید، سطوح نیروی انسانی ۲ و ۳ در تولید محصول نهایی به روش مستقیم نقشی ندارند.

جدول ۲. میزان تولید محصول نهایی i به روش مستقیم در کارخانه j توسط کارگر سطح ۱ در دوره t

dp_{ij1t}

		t											
i	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1500	0	0	1300	0	1100	0	950	1200	450	1200	2380
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

تمامی مقادیر میزان تولید بهینه محصول نیمه ساخته ۱ در کارخانه j توسط کارگر سطح ۱ در دوره t و میزان تولید بهینه محصول نهایی ۱ از محصول نیمه ساخته در کارخانه j توسط کارگر سطح ۱ در دوره t به ترتیب در جداول ۳ و ۴ آورده شده‌اند. میزان تولید محصول نیمه‌ساخته نوع ۱ در کارخانه ۱ برای تمام دوره‌ها برابر صفر است. این موضوع بدین علت است که هزینه نگهداری محصول نیمه‌ساخته در این کارخانه به اندازه‌ای بالا است که باعث می‌شود از لحاظ اقتصادی، انبار کردن هیچ محصولی به صرفه نباشد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. میزان تولید محصول نیمه‌ساخته i در کارخانه j توسط کارگر سطح ۱ در دوره t

mp_{ij1t}

i	j	t=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	900	950	0	700	0	1200	400	0	300	0	0
	3	0	550	600	0	450	0	0	850	0	550	0	0

جدول ۴. میزان تولید محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته در کارخانه j توسط کارگر سطح ۱ در دوره t

fpij1t

i	j	t=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	750	800	0	500	0	1000	400	0	300	0	0
	3	0	500	600	0	300	0	0	850	0	500	0	0

تعداد نیروهای ماهر در کارخانه j در دوره t (W_{jt}) در هر سه کارخانه و در تمامی دوره‌ها برابر ۳۰۰ نفر است. همچنین تعداد نیروهای ماهر استخدام شده در کارخانه j در دوره t (wH_{jt}) و تعداد نیروهای ماهر اخراج شده در کارخانه j در دوره t (wL_{jt}) در هر سه کارخانه و در تمامی دوره‌ها برابر صفر است که نشان می‌دهد؛ سطح نیروی انسانی در تمامی دوره ها، هیچ تغییری نمی‌کند.

میزان عدم پاسخگویی به تقاضای محصول i در دوره t تحت سناریوی s (δ_{it}^{s}) فقط برای محصول ۱ در جدول ۵ آورده شده است. این مقادیر بیانگر این هستند که تحت هر سناریو، چه مقدار کمبود از هر محصول مشخص برای یک دوره، وجود دارد.

جدول ۵. میزان عدم پاسخگویی به تقاضای محصول i در دوره t تحت سناریوی s

δ_{it}^{s}

i	s	t=1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	رونق	0	2000	1600	400	2000	700	1700	950	800	1850	1200	120
	خوب	0	1200	1200	0	1600	300	1300	550	400	1450	800	0
	متوسط	0	400	800	0	800	0	800	150	0	1050	400	0
	ضعیف	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Archive of SID

www.SID.ir

مقادیر متغیر در رابطه با روش بهینه‌سازی استوار (θ_s)، برای هر سناریو به صورت جدول ۶ هستند.

جدول ۶. مقادیر متغیر در رابطه با روش بهینه‌سازی استوار برای هر سناریو

s	θ_s
رونق	0
خوب	268509.56
متوسط	794124.44
ضعیف	1153379.8

تفکیک هزینه‌های بهینه برنامه‌ریزی تولید مربوطه برای هر سناریو در جدول ۷، لیست شده‌اند. نتیجه گرفته می‌شود، زمانی که سناریوهای اقتصادی بدتر می‌شوند؛ به دلیل نیاز به محصولات کمتر در بازار، هزینه‌های تولید و نیروی کار کاهش می‌یابند. کل هزینه مورد انتظار برنامه‌ریزی تولید بهینه، برابر با ۲۰۰۱۹۹۱۰ هزار ریال است.

جدول ۷. تفکیک هزینه ها

s	PC (تولید)	SC (برپایی تولید)	WC (تغییر نیروی انسانی)	IC (نگهداری)	LC (نیروی کار)	هزینه کل
رونق	6063992	101000	0	4800	2646000	8815792
خوب	4939285	101000	0	79600	2430000	7549885
متوسط	4376931	101000	0	224339	2322000	7024270
ضعیف	3814577	101000	0	535437	2214000	6665014

با توجه به استفاده از داده‌های شرکت سالنامه نیک، نتایج به دست آمده کاملاً مورد تأیید این شرکت و مقادیر بسیاری از متغیرهای به دست آمده از حل مدل پیشنهادی نزدیک به مقادیری از این متغیرهاست که شرکت مربوطه قبلاً برحسب تجربه تخمین می‌زده است؛ با این تفاوت که با استفاده از مدل پیشنهاد شده و با توجه به مقدار بهینه متغیرهای به دست آمده از مدل، هزینه‌های شرکت به طور قابل توجهی کاهش پیدا نموده است. این موضوع، نشان دهنده‌ی اعتبار بالای جواب بهینه‌ی به دست آمده از مدل پیشنهادی است.

Archive of SID

www.SID.ir

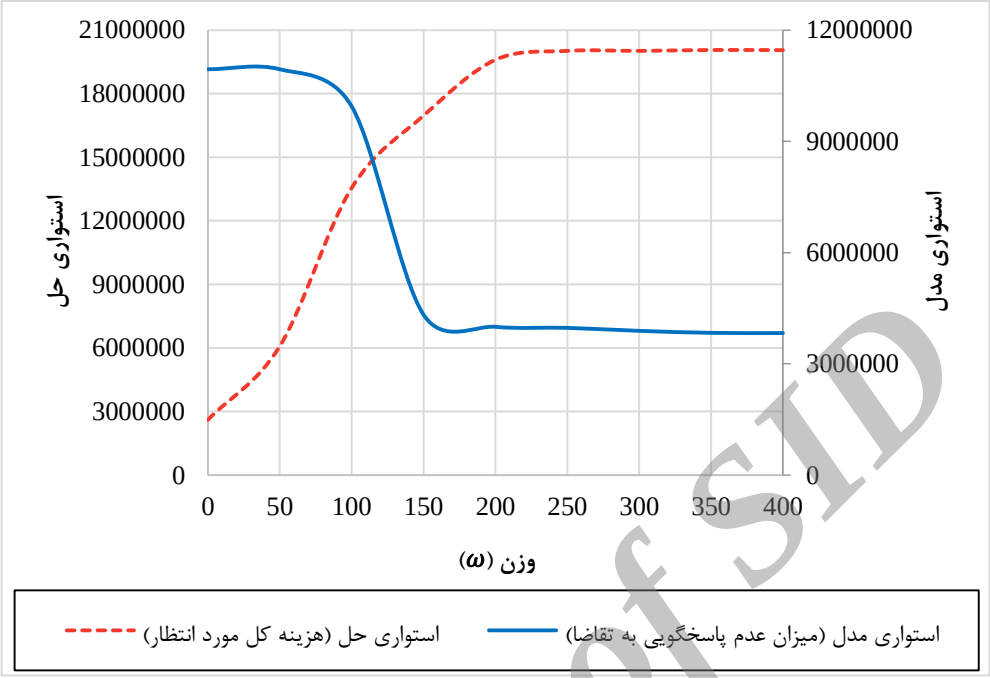
تبادل بین استواری حل و استواری مدل

نقش وزن ω در تابع هدف (۶) پیدا کردن تبادلی بین استواری حل (نزدیکی به راه‌حل بهینه) و استواری مدل (نزدیکی به راه‌حل شدنی) است. بهینه‌سازی استوار با استفاده از مقادیر جریمه، امکان شدنی بودن محدودیت‌های کنترلی را فراهم می‌نماید. زمانی‌که $\omega = 0$ باشد؛ δ_{it}^{s} در محدودیت (۷) به دلیل حداقل‌سازی اهداف برابر با D_{it}^{s} است: از این رو هیچ تولیدی در برنامه بهینه، پیشنهاد نمی‌شود. در نتیجه، میزان کل عدم پاسخگویی به تقاضا به بالاترین مقدار خود می‌رسد. کاملا واضح است که این برنامه نمی‌تواند انتخاب شود. بنابراین ضروری است که بهینه‌سازی استوار پیشنهاد شده با مقادیر ω مختلف روی یک مسئله برنامه‌ریزی تولید چند کارخانه‌ای آزمایش شود. نمودار تبادل مورد نظر بین استواری حل و استواری مدل در شکل ۱ نشان داده شده است. با افزایش وزن ω، هزینه کل مورد انتظار نشان دهنده استواری حل به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و میزان عدم پاسخگویی مورد انتظار به تقاضا نشان دهنده استواری مدل کاهش می‌یابد. این موضوع به این معنی است که برای مقادیر بزرگتر ω، راه‌حل به دست آمده برای تحقق هر سناریوی s از طریق پرداخت هزینه کل بیشتر تقریبا نزدیک به راه‌حل شدنی است. در نهایت، میزان عدم پاسخگویی به تقاضای مورد انتظار با افزایش در مقدار ω به صفر کاهش خواهد یافت. نتایج این پژوهش کاملا با نتایج به دست آمده توسط مول‌وی و روس شِنسکی سازگار هستند(Mulvey & Ruszczynski, 1995).

با استفاده از این پژوهش نتیجه می‌شود که برنامه بهینه با استفاده از پارامترهای $\lambda = 1$ و $\omega = 250$ به دست می‌آید؛ چون میزان عدم پاسخگویی مورد انتظار به تقاضا در محدوده‌ی قابل قبولی قرار می‌گیرد و هزینه کل مورد انتظار نیز برابر **۲۰۰۱۹۹۱۰** هزار ریال می‌شود. یعنی هر دو عامل استواری مدل و استواری حل به میزان یکنواخت و ثابتی میل می‌نمایند. بدون شک، پارامترهای دیگری وابسته به آرمان‌های تصمیم‌گیرنده و طبیعت خاص مسئله، ممکن است در تصمیم‌گیری استفاده شوند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. تبادل بین کل هزینه مورد انتظار و میزان عدم پاسخگویی مورد انتظار به تقاضا

نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این پژوهش، یک مدل بهینه‌سازی استوار برای مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی چند کارخانه‌ای محصولات فاسدشدنی از قبیل تقویم‌ها و هدیه‌های سال نو با استفاده از سیاست تعویق در شرایط عدم قطعیت، گسترش داده شد. برای در نظر گرفتن فساد، تولید محصول به دو مرحله (نیمه‌ساخته و نهایی) یعنی سه نوع فعالیت تولیدی از جمله تولید محصول نهایی به روش مستقیم، تولید محصول نیمه ساخته و تولید محصول نهایی از محصول نیمه ساخته، تقسیم شد. یک برنامه‌ریزی تولید بهینه با در نظر گرفتن سناریوهای اقتصادی نسبت به تغییر داده‌های غیر قطعی، حساسیت کمتری دارد. در نتیجه، مدل‌سازی مسئله به صورت چند سناریو، در نظر گرفته شد. مدیریت تولید می‌تواند با تبادل بین بهینگی و نشدنی بودن، یک راه حل استوار به دست آورد. با تجزیه و تحلیل پارامترهای جریمه، مدیریت تولید می‌تواند

Archive of SID

www.SID.ir

برنامه‌ریزی تولید بهینه را با سطح نیروی کار با کمترین هزینه و با محدوده قابل قبول از میزان عدم پاسخگویی به تقاضای بازار به دست آورد. نتایج محاسباتی به دست آمده از داده‌های بیان شده نشان می‌دهد که مدل پیشنهاد شده برای سناریوهای اقتصادی غیر قطعی، مناسب و معتبر است. مدل ارائه شده، می‌تواند برای مسائل واقعی برنامه‌ریزی تولید ادغامی شرکت‌های تولید کننده‌ی محصولات فاسدشدنی همانند شرکت تولیدی "سالنامه نیک" در شرایط عدم قطعیت به خوبی استفاده گردد. با استفاده از این مقاله، مسئله دشوار برنامه‌ریزی تولید ادغامی شرکت نامبرده، حل شد و مدیریت تولید این شرکت، تحقیق حاضر را در راستای حل مسئله برنامه‌ریزی تولید شرکت خود، بسیار ارزشمند معرفی نمود.

برای مدل ارائه شده در این پژوهش، توسعه‌های زیادی وجود دارد. اول، آنالیز حساسیت روی مقدار وزن ω در تابع هدف می‌تواند به بررسی تبادل بین استواری راه حل و استواری مدل منجر شود. دوم، انتخاب سناریوها، می تواند بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. سوم، در این مدل، می‌توان هدف کاهش آلاینده‌های ناشی از تولید و یا هدف کمینه نمودن مدت زمان تحویل را به عنوان تابع هدف دوم در نظر گرفت که می‌تواند به عنوان توسعه‌ای از این مدل باشد. باید توجه شود که محاسبات و آنالیز مدل تحت سناریوهای مختلف، منجر به نتیجه‌های متفاوتی خواهد شد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

Aviv, Y., & Federgruen, A. (2001a). *Capacitated multi-item inventory systems with random and seasonally fluctuating demand: implications for postponement strategies*. *Management Science, 47*(4), 512–531.

Aviv, Y., & Federgruen, A. (2001b). *Design for Postponement: A Comprehensive Characterization of Its Benefits Under Unknown Demand Distributions*. *Operations Research, 49*(4), 578-598.

Awudu, I., & Zhang, J. (2013). *Stochastic production planning for a biofuel supply chain under demand and price uncertainties. Applied Energy, 103*, 189-196.

Bai, D., Carpenter, T., & Mulvey, J. (1997). *Making a Case for Robust Optimization Models*. *Management Science, 43*(7), 895-907.

Baykasoglu, A. (2001). MOAPPS 1.0: Aggregate production planning using the multiple-objective tabu search. *International Journal of Production Research, 39*(16), 3685-3702.

Bertsimas, D., & Sim, M. (2003). *Robust discrete optimization and network flows .Mathematical Programming, 98*(1-3), 43-71.

Garg, A., & Tang, C. S. (1997). *On postponement strategies for product families with multiple points of differentiation. IIE Transactions, 29*, 641–650.

Ghasemy Yaghin, R., Torabi, S. A., & Fatemi Ghomi, S. M. T. (2012). *Integrated markdown pricing and aggregate production planning in a two echelon supply chain: A hybrid fuzzy multiple objective approach. Applied Mathematical Modelling, 36*(12), 6011-6030.

Høyland, K., & Wallace, S .W. (2001). *Generating Scenario Trees for Multistage Decision Problems*. *Management Science, 47*, 295-307.

Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Sheu, J.-B. (2015). An enhanced robustness approach for managing supply and demand uncertainties. *International Journal of Production Economics*.

Archive of SID

www.SID.ir

Jang, Y. J., Jang, S. J., Chang, B. M., & Park, J. (2002). *A combined model of network design and production/distribution planning for a supply network. Computers & Industrial Engineering, 43*, 263-281.

José Alem, D., & Morabito, R. (2012). *Production planning in furniture settings via robust optimization. Computers & Operations Research, 39*(2), 139-150.

Leung, S. C. H., & Chan, S. S. W. (2009). *A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint. Computers & Industrial Engineering, 56*(3), 1053-1064.

Leung, S. C. H., & Ng, W. L. (2007a). *A goal programming model for production planning of perishable products with postponement. Computers & Industrial Engineering, 53*(3), 531-541.

Leung, S. C. H., & Ng, W. L. (2007b). *A stochastic programming model for production planning of perishable products with postponement. Production Planning & Control, 18*(3), 190-202.

Leung, S. C. H., Tsang, S. O. S., Ng, W. L., & Wu, Y. (2007c). A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment. *European Journal of Operational Research, 181*(1), 224-238.

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

Mulvey, J. M., & Ruszczynski, A. (1995). *A new scenario decomposition method for large-scale stochastic optimization. Operations Research, 43*, 477–490.

Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995). *Robust optimization of large-scale systems. Operations Research, 43*, 264–281.

Niknamfar, A. H., Niaki, S. T. A., & Pasandideh, S. H. R. (2014). Robust optimization approach for an aggregate production–

Archive of SID

www.SID.ir

distribution planning in a three-level supply chain. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 76*(1-4), 623-634.

Pagh, J. D., & Cooper, M. C. (1998). Supply chain postponement and speculation strategies: How to choose the right strategy. *Journal of Business Logistics, 19*, 13–33.

Park, Y. (2005). An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management. *International Journal of Production Research, 43*, 1205-1224.

Rahmani, D., Ramezanian, R., Fattahi, P., & Heydari, M. (2013). *A robust optimization model for multi-product two-stage capacitated production planning under uncertainty. Applied Mathematical Modelling, 37*(20-21), 8957-8971.

Van Hoek, R. I. (2001). The rediscovery of postponement a literature review and directions for research. *Journal of Operations Research, 19*, 161-184.

Wang, R. C., & Fang, H. H. (2000). Aggregate production planning in a fuzzy environment. *International Journal of Industrial Engineering Theory, Applications, and Practice, 7*, 5-14.

Wang, R. C., & Fang, H. H. (2001). Aggregate production planning with multiple objectives in a fuzzy environment. *European Journal of Operational Research, 133*, 521-536.

Archive of SID

www.SID.ir