

ارائه یک مدل بهینه‌سازی استوار به‌منظور برنامه‌ریزی تولید ادغامی با در نظر گرفتن سیاست تعویق

عادل اعظمی^۱، آرمین جبارزاده^{۲*}، احمد ماکویی^۳

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
۲. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
۳. استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۱۴، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۵/۰۸/۲۳، تاریخ تصویب: ۹۵/۱۰/۰۲)

چکیده

قیمت محصولات فاسدشدنی پس از دوره‌ای مشخص برای مثال یک فصل، به‌طور مؤثر کاهش می‌یابد؛ بنابراین، تولید اضافی یا کمبود این محصولات به‌ترتیب همراه با زیان یا از دست‌دادن سود است. این پژوهش برنامه‌ریزی تولید ادغامی بهینه را برای تولید محصولات فاسدشدنی مانند پوشاک فصلی، هدیه‌های سال نو، تقویم‌ها و سررسیدها با استفاده از سیاست تعویق در شرایط عدم قطعیت تعیین می‌کند. پیشنهاد شده است فرایند تولید این محصولات با اعمال مفهوم تعویق به دو مرحله تقسیم شود. در نتیجه، سه فعالیت تولیدی شامل تولید مستقیم، تولید محصول نیمه‌ساخته و مونتاژ نهایی وجود دارد. مدل بهینه‌سازی استوار برای حل برنامه‌ریزی تولید ادغامی این محصولات توسعه داده شده و از مجموعه‌ای از داده‌ها برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. می‌توان از مدل پژوهش برای مسائل واقعی برنامه‌ریزی تولید ادغامی کارخانه‌ها در شرایط عدم قطعیت به‌خوبی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تولید ادغامی، بهینه‌سازی استوار، سیاست تعویق، عدم قطعیت، محصولات فاسدشدنی.

مقدمه

محصولات فاسدشدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم‌ها یا سررسیدها و هدیه‌های سال نو که مشخصات سال جدید روی آن‌ها درج می‌شود، بررسی می‌شود. هنگام نزدیک شدن اواخر چرخه عمر این نوع محصولات (مانند اواخر سال، قبل از رسیدن به سال نو)، تقاضا برای آن‌ها به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. در نتیجه، تقاضا برای محصولات فاسدشدنی بسیار به زمان حساس است؛ بنابراین، کنترل موجودی این نوع از محصولات دشوار است. همچنین، ذخیره محصولات فاسدشدنی، درحالی‌که تولید قابل‌فروش است، ممکن است درآمد کمتری را به‌دنبال داشته باشد؛ زیرا محصولات فاسدشدنی نمی‌توانند پس از یک روز معین سودآور باشند. برای مقابله با این نوع فسادپذیری از راهبرد 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، برای مثال اولین فاز تولید را گذرانده و طبق

برنامه‌ریزی تولید یکی از مهم‌ترین موضوعات در سیستم‌های تولیدی است که هدف آن برنامه‌ریزی مؤثر و هماهنگی تمام فعالیت‌های تولیدی است؛ به‌گونه‌ای که اهداف شرکت‌ها را بهینه کند. اهداف برنامه‌ریزی تولید، تعیین مقدار بهینه تولید، موجودی و دیگر پارامترهای با اهمیت تولیدی به‌منظور پاسخگویی به تقاضای متغیر در دوره مشخص برنامه‌ریزی است. در واقع، برنامه‌ریزی تولید، فرایند تصمیم‌گیری درمورد منابعی است که سازمان به‌منظور انجام دادن عملیات تولید در آینده به آن‌ها نیاز دارد. 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. در این پژوهش، مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی

مرور ادبیات

با و کوپر [۵] بیان کردند مزیت اصلی سیاست تعویق، کاهش یا حذف کامل ریسک و عدم قطعیت در تولید و عملیات لجستیکی است. گارگ و تانگ [۶] دو نوع از به تعویق افتادن در مراحل تولید-تعویق زودهنگام و تعویق دیر هنگام و همچنین اهمیت تنوع تقاضا و دامنه نسبی زمان‌های تحویل را در تعیین زمان مناسب تعویق بررسی کردند. آویو و فیدرگرن [۲] سود به تعویق انداختن را با توزیع‌های نامعلوم بررسی کردند. ون هوک [۳] مقالات در زمینه سیاست تعویق را مرور ادبیات نمود و فرصت‌های به تعویق انداختن در تولید و عملیات را شناسایی کرد.

ونگ و فانگ [۷] یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی را برای مسئله برنامه‌ریزی تولید توسعه دادند. راه‌حل‌ها به شکل اعداد فازی، انعطاف‌پذیری بیشتری را برای مدیریت تولید در یک محیط فازی فراهم می‌کند. بی کسینگ [۸] بیان کرد برنامه‌ریزی تولید ادغامی، حداقل سازی هزینه‌ها، سطح موجودی‌ها، تغییرات در سطح نیروی انسانی، دستمزدهای اضافه‌کاری در تولید، زمان بیکاری کارخانه و نیروی انسانی و خدمات مشتریان با اولویت بالاتر را در نظر می‌گیرد. در تحقیقی دیگر، ونگ و فانگ [۹] مدل برنامه‌ریزی تولید چهارهدفه را با پارامترهای فازی مانند تقاضای فازی، زمان ماشین فازی، ظرفیت ماشین فازی و هزینه‌های مربوطه فازی توسعه دادند. هولند و والاس [۱۰] مدل میانگین-واریانس را برای فرموله کردن ریسک‌گریزی در برنامه‌ریزی خطی تصادفی با استفاده از تابع مطلوبیت خطی پیشنهاد کردند. مدل بهینه‌سازی استوار، مدلی ویژه از مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی تصادفی، گسترش داده شد؛ به طوری که تابع ریسک‌گریز مقرر می‌تواند در مشخصات اهداف گنجانیده شود [۱۱]. جانگ و همکاران [۱۲] سه نوع فرموله‌بندی تجزیه‌شده و یک روش حل الگوریتم ژنتیک را برای برنامه‌ریزی تولید و عملیات توزیع ارائه دادند. پارک [۱۳] رویکردی یکپارچه‌تر با گسترش فرموله‌بندی عدد صحیح مختلط و یک روش حل ابتکاری دوفازی برای آن مدل معرفی کرد.

لئونگ و وان [۱۴] مدل برنامه‌ریزی آرمانی را برای حل برنامه‌ریزی تولید ادغامی محصولات فاسدشدنی به کمک سه تابع هدف و با استفاده از سیاست تعویق گسترش

گزینه‌های مختلف مانند رنگ، اندازه و نوع، فعالیت‌های خط تولید تا رسیدن به فاز بعدی به تعویق افتاده است. درواقع، تا زمانی که سفارش‌های مشتریان دریافت شود، فازهای بعدی تولید به تعویق می‌افتند [۱]، [۲] و [۳]. تحقیقات اندکی، برنامه‌ریزی تولید ادغامی محصولات فاسدشدنی را تعیین کرده‌اند. در نتیجه، این پژوهش می‌تواند مسئله برنامه‌ریزی تولید شرکت‌های تولیدکننده محصولات فاسدشدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم‌ها یا سرسیدها را که مشخصات سال جدید روی آن‌ها درج می‌شود، حل کند. هدف پژوهش حاضر گسترش مدل بهینه‌سازی استوار (تکنیک مولوی [۴]) 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 برای حل مدل مسئله و نیز چندکارخانه‌ای بودن مسئله برنامه‌ریزی تولید است که موجب نزدیکی مسئله به شرایط دنیای واقعی می‌شود. پیشنهاد شده است فرایند تولید این نوع محصولات با اعمال مفهوم تعویق، به دو مرحله تقسیم شود. در نتیجه، سه فعالیت تولیدی یعنی تولید مستقیم، تولید محصول نیمه‌ساخته و مونتاژ نهایی در نظر گرفته می‌شود. مدل پیشنهاد شده تعیین می‌کند که ۱. چه مقدار از محصولات نهایی باید به طور مستقیم از مواد خام تولید شوند (تولید مستقیم)، ۲. چه مقدار از محصولات نیمه‌ساخته باید از مواد خام تولید شوند (تولید نیمه‌ساخته) و ۳. چه مقدار از محصولات نهایی باید از محصولات نیمه‌ساخته تولید شوند (مونتاژ نهایی)؛ به طوری که منابع برای پاسخگویی به هرگونه رشد چشمگیر در تقاضا به خوبی استفاده شوند.

در ادامه، مروری جامع بر مطالعات حوزه برنامه‌ریزی تولید ادغامی و نیز تولید محصولات فاسدشدنی صورت می‌گیرد. سپس مدل سازی ریاضی مسئله برنامه‌ریزی تولید ارائه می‌شود و نتایج عددی مدل پیشنهاد شده با استفاده از حل دقیق از طریق نرم‌افزار GAMS آورده می‌شود. در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

و شبیه‌سازی مونت کارلو برای حل مدل استفاده کردند. نیک نامفر و همکاران [۲۴] رویکرد بهینه‌سازی استوار را برای مسئله برنامه‌ریزی تولید-توزیع ادغامی در زنجیره تأمین سه‌سطحی استفاده کردند. هدف اصلی مدل آن‌ها، حداقل‌سازی کل هزینه یک زنجیره تأمین شامل تسهیلات تولید چندگانه، مراکز توزیع چندگانه و مناطق مشتری چندگانه با پارامترهای غیرقطعی در شرایط چند سناریو، بود. جبارزاده و همکاران [۲۵] یک رویکرد استوار بهبود یافته به نام «P-استوار الاستیک» را برای عامل تأمین به صورت چندمحصولی و چنددوره‌ای ارائه دادند. آن‌ها زنجیره‌ای را شامل کارخانه‌ها، مراکز توزیع و بازارها با هدف کمینه‌کردن مجموع هزینه‌های برنامه‌ریزی تولید-توزیع در نظر گرفتند.

با توجه به مرور ادبیات، مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی محصولات فاسدشدنی با سیاست تعویق برای تولیدات چند کارخانه، با استفاده از روش حل بهینه‌سازی استوار تجزیه و تحلیل نشده است. در این پژوهش، مسئله یادشده بررسی می‌شود.

مدل‌سازی ریاضی مسئله

بیان مسئله

مسئله مورد نظر این پژوهش، یافتن برنامه‌ریزی تولید بهینه محصولات فاسدشدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم‌ها یا سرسیدها و هدیه‌های سال نو برای یک دوره مشخص است. مدل و نتایج این مطالعه برای حل مسئله برنامه‌ریزی شرکت‌های تولیدکننده این نوع محصولات قابل استفاده است. برای مقابله با ویژگی فسادپذیری این نوع از محصولات، از سیاست تعویق استفاده می‌شود. سیاست تعویق به این صورت است که تولید محصول به سه روش تولید مستقیم محصول نهایی، تولید محصول نهایی از محصول نیمه‌ساخته و تولید محصول نیمه‌ساخته انجام می‌گیرد. در این مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی، هزینه‌ها شامل هزینه‌های راه‌اندازی، تولید، نیروی انسانی ماهر و ناماهر، موجودی، استخدام و اخراج است. برای حل مسئله نیز از رویکرد بهینه‌سازی استوار (تکنیک مولوی) استفاده می‌شود. به‌طور کلی، سه سطح نیروی انسانی وجود دارد: ۱. نیروی انسانی ماهر در اوقات عادی (به ازای هر کارگر پول

دادند. همچنین، لئونگ و وان [۱۵] در ادامه پژوهش‌های خود، مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را برای برنامه‌ریزی تولید محصولات فاسدشدنی با استفاده از سیاست تعویق ارائه دادند. لئونگ و همکاران [۱۶] مدل بهینه‌سازی استوار را برای مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی در شرایط عدم قطعیت به ادبیات اضافه کردند. آن‌ها با استفاده از تکنیک مولوی [۴]، برنامه بهینه تولید را با هدف کمینه‌سازی هزینه‌هایی مانند هزینه‌های تولید، موجودی، نیروی انسانی تعیین کردند. لئونگ و چان [۱۷] یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی را با هدف حداکثرسازی سود، حداقل‌سازی هزینه تعمیر و حداکثرسازی استفاده از ظرفیت تولید کارخانه مشخص، برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی با وجود محدودیت استفاده از منابع بررسی کردند. میرزاپور آل هاشم و همکاران [۱۸] مدل بهینه‌سازی استوار چندهدفه را برای برنامه‌ریزی تولید ادغامی چندمحصولی و چندکارخانه‌ای در زنجیره تأمین تحت شرایط عدم قطعیت ارائه دادند. آن‌ها در مدل خود نیروی انسانی را به چند سطح مهارت تقسیم کردند و امکان ارتقای نیروی‌های انسانی به سطوح بالاتر را در نظر گرفتند. قاسمی یقین و همکاران [۱۹] مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی را در یک زنجیره تأمین دومرحله‌ای همراه با قیمت‌گذاری بررسی کردند و از رویکرد چندهدفه فازی ترکیبی مرتبط با روش برنامه‌ریزی آرمانی برای حل مسئله استفاده کردند. مدل آن‌ها به‌طور همزمان کل سود تولیدکننده، کل سود خرده‌فروش و نیز سطح سرویس خرده‌فروش را حداکثر می‌کند. آلم و مورابیتو [۲۰] مسئله برش تولید را در صنعت تولید صندلی چوبی با استفاده از روش بهینه‌سازی استوار تجزیه و تحلیل کردند. آن‌ها برای حل مسئله موردنظر از تکنیک پرسیماس و سیم [۲۱] بهره بردند.

رحمانی و همکاران [۲۲] مدل بهینه‌سازی استوار را برای برنامه‌ریزی تولید دومرحله‌ای با وجود محدودیت ظرفیت به ادبیات افزودند. آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای فرموله کردن مسئله برنامه‌ریزی تولید استوار مربوطه گسترش دادند. اویسو و ژنگ [۲۳] برنامه‌ریزی تولید احتمالی را برای زنجیره تأمین سوخت‌های زیستی در شرایط عدم قطعیت روی پارامترهای تقاضا و قیمت مطالعه کردند. آن‌ها از الگوریتم تجزیه بندرز

پرداخت می‌شود؛ ۲. نیروی انسانی ماهر در اوقات نیروی انسانی نیمه‌ماهر در اوقات عادی (به ازای هر ساعت، اضافه‌کاری (به ازای هر ساعت، پول پرداخت می‌شود)؛ ۳. پول پرداخت می‌شود).

نمادها

مجموعه‌ها

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

پارامترها

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/دلار)
cmp_{ijk}^s	هزینه تولید یک واحد محصول نیمه‌ساخته i در کارخانه j توسط کارگر سطح k تحت سناریوی s (واحد/دلار)
cfp_{ijk}^s	هزینه تولید یک واحد محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته در کارخانه j توسط کارگر سطح k تحت سناریوی s (واحد/دلار)
cl_{jk}^s	هزینه نیروی انسانی سطح k در کارخانه j تحت سناریوی s (دوره-نفر/دلار)
clf_{ij}^s	هزینه نگهداری محصول نهایی i در کارخانه j تحت سناریوی s (واحد/دلار)
clm_{ij}^s	هزینه نگهداری محصول نیمه‌ساخته i در کارخانه j تحت سناریوی s (واحد/دلار)
cwH_j	هزینه استخدام نیروی انسانی ماهر در کارخانه j (نفر/دلار)
cwL_j	هزینه اخراج نیروی انسانی ماهر در کارخانه j (نفر/دلار)
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 نیمه‌ساخته i توسط کارگر سطح k (واحد/نفر-ساعت)
fa_{ik}	زمان لازم برای تولید محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته با کارگر سطح k (واحد/نفر-ساعت)
db_{ik}	زمان ماشین برای تولید محصول نهایی i به روش مستقیم با کارگر سطح k (واحد/ماشین-ساعت)
mb_{ik}	زمان ماشین برای تولید محصول نیمه‌ساخته 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)
α	درصد زمان در دسترس کارگران ماهر در اوقات اضافه‌کاری
ε_j	درصد مجاز تغییر در نیروی انسانی
M	یک مقدار بزرگ
BUF_{jt}	حداکثر ظرفیت در دسترس 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 (دلار)

cmk_{ij}	هزینه برپایی تولید محصول نیمه‌ساخته i در کارخانه j (دلار)
cfk_{ij}	هزینه برپایی تولید محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته در کارخانه j (دلار)
vf_i	حجم اشغال یک واحد محصول نهایی i (واحد)
vm_i	حجم اشغال یک واحد محصول نیمه‌ساخته 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 نیمه‌ساخته i در کارخانه j توسط کارگر سطح k در دوره t (واحد)
fp_{ijkt}	میزان تولید محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته 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 نیمه‌ساخته i در کارخانه j در دوره t تحت سناریوی s (واحد)
W_{jt}	تعداد نیروهای ماهر در کارخانه j در دوره t (نفر-دوره)
wH_{jt}	تعداد نیروهای ماهر استخدام‌شده در کارخانه j در دوره t (نفر-دوره)
wL_{jt}	تعداد نیروهای ماهر اخراج‌شده 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_{ijkt}	متغیر صفر و یک برپایی تولید محصول نهایی i به روش مستقیم در کارخانه j در دوره t
mk_{ijkt}	متغیر صفر و یک برپایی تولید محصول نیمه‌ساخته i در کارخانه j در دوره t
fk_{ijkt}	متغیر صفر و یک برپایی تولید محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته در کارخانه j در دوره t

تابع هدف و محدودیت‌ها

(WC)، هزینه نگهداری (IC) و هزینه نیروی کار (LC) است. هرکدام از این هزینه‌ها با توجه به تعریف پارامترها و متغیرها از روابط ۱ تا ۵ به دست می‌آیند.

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

$$PC_s (\text{هزینه تولید}) = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_t (cdp_{ijk}^s \cdot dp_{ijkt} + cmp_{ijk}^s \cdot mp_{ijkt} + cfp_{ijk}^s \cdot fp_{ijkt}) \quad (1)$$

$$SC_s (\text{هزینه برپایی تولید}) = \sum_i \sum_j \sum_t (cdk_{ij} \cdot dk_{ijkt} + cmk_{ij} \cdot mk_{ijkt} + cfk_{ij} \cdot fk_{ijkt}) \quad (2)$$

$$WC_s (\text{هزینه تغییر نیروی انسانی}) = \sum_j \sum_t (cwH_j \cdot wH_{jt} + cwL_j \cdot wL_{jt}) \quad (3)$$

$$IC_s (\text{هزینه نگهداری}) = \sum_i \sum_j \sum_t (cIf_{ij}^s \cdot If_{ijt}^s + cIm_{ij}^s \cdot Im_{ijt}^s) \quad (4)$$

$$LC_s (\text{هزینه نیروی کار}) = \sum_j \sum_t [cl_{j1}^s \cdot W_{jt} + \sum_{k=2}^3 cl_{jk}^s \times \sum_i (da_{ik} \cdot dp_{ijkt} + ma_{ik} \cdot mp_{ijkt} + fa_{ik} \cdot fp_{ijkt})] \quad (5)$$

برپایی تولید در رابطه با سه نوع مختلف تولید است. رابطه ۱ با هزینه مستقیم، تولید محصول نیمه‌ساخته و تولید محصول نهایی از نیمه‌ساخته است. رابطه ۲ کل هزینه با رابطه ۱ کل هزینه تولید را نشان می‌دهد که در رابطه با تولید مستقیم، تولید محصول نیمه‌ساخته و تولید محصول نهایی از نیمه‌ساخته است. رابطه ۳ هزینه تغییر نیروی انسانی را شامل استخدام و اخراج نشان می‌دهد. رابطه ۴ هزینه نگهداری موجودی را در انبار

رابطه ۱ کل هزینه تولید را نشان می‌دهد که در رابطه با تولید مستقیم، تولید محصول نیمه‌ساخته و تولید محصول نهایی از نیمه‌ساخته است. رابطه ۲ کل هزینه

دوم در تابع هدف به ترتیب مقدار میانگین و واریانس کل هزینه‌ها هستند و استواری حل را اندازه‌گیری می‌کنند. عبارت سوم در تابع هدف، استواری مدل را با توجه به نشدنی بودن در ارتباط با محدودیت‌های کنترلی γ تحت سناریوی s نشان می‌دهد.

نشان می‌دهد و رابطه ۵ هزینه نیروی کار در ارتباط با نیروی کار ماهر در اوقات معمولی و نیروی کار ماهر در اوقات اضافه‌کاری و نیز نیروی کار نیمه‌ماهر در اوقات عادی را نشان می‌دهد.

تابع هدف برای مسئله برنامه‌ریزی تولید مربوطه با داده‌های غیرقطعی به صورت رابطه ۶ است. عبارات اول و

$$\begin{aligned} \min \sum_{s \in S} p_s(PC_s + SC_s + WC_s + IC_s + LC_s) \\ + \lambda \sum_{s \in S} p_s[(PC_s + SC_s + WC_s + IC_s + LC_s) \\ - \sum_{s \in S} p_s(PC_s + SC_s + WC_s + IC_s + LC_s) + 2\theta_s] + \omega \sum_s \sum_i \sum_t p_s \cdot \delta_{it}^s \end{aligned} \quad (6)$$

Subject to:

$$\sum_j (If_{ij,t-1}^s + \sum_k (dp_{ijkt} + fp_{ijkt}) - If_{ijt}^s) + \delta_{it}^s = D_{it}^s \quad \forall i, t, s \quad (7)$$

$$Im_{ij,t-1}^s + \sum_k (mp_{ijkt} - fp_{ijkt}) = Im_{ijt}^s \quad \forall i, j, t, s \quad (8)$$

$$\sum_t (vf_i \cdot If_{ijt}^s + vm_i \cdot Im_{ijt}^s) \leq BUF_{jt} \quad \forall j, t, s \quad (9)$$

$$W_{jt} = W_{j,t-1} + wH_{jt} - wL_{jt} \quad \forall j, t \quad (10)$$

$$W_{jt}^{min} \leq W_{jt} \leq W_{jt}^{max} \quad \forall j, t \quad (11)$$

$$wH_{jt} + wL_{jt} \leq \varepsilon_j \cdot W_{j,t-1} \quad \forall j, t \quad (12)$$

$$\sum_i (da_{i1} \cdot dp_{ij1t} + ma_{i1} \cdot mp_{ij1t} + fa_{i1} \cdot fp_{ij1t}) \leq \tau \cdot W_{jt} \quad \forall j, t \quad (13)$$

$$\sum_i (da_{i2} \cdot dp_{ij2t} + ma_{i2} \cdot mp_{ij2t} + fa_{i2} \cdot fp_{ij2t}) \leq \alpha \cdot \tau \cdot W_{jt} \quad \forall j, t \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \sum_i (db_{i1} \cdot dp_{ij1t} + mb_{i1} \cdot mp_{ij1t} + fb_{i1} \cdot fp_{ij1t} + db_{i3} \cdot dp_{ij3t} + mb_{i3} \cdot mp_{ij3t} + fb_{i3} \cdot fp_{ij3t}) \\ \leq M_{jt} \quad \forall j, t \end{aligned} \quad (15)$$

$$\sum_i (db_{i2} \cdot dp_{ij2t} + mb_{i2} \cdot mp_{ij2t} + fb_{i2} \cdot fp_{ij2t}) \leq \beta \cdot M_{jt} \quad \forall j, t \quad (16)$$

$$\sum_k dp_{ijkt} \leq M \cdot dk_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (17)$$

$$\sum_k mp_{ijkt} \leq M \cdot mk_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (18)$$

$$\sum_k fp_{ijkt} \leq M \cdot fk_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (19)$$

$$(PC_s + SC_s + WC_s + IC_s + LC_s) - \sum_{s \in S} p_s(PC_s + SC_s + WC_s + IC_s + LC_s) + \theta_s \geq 0 \quad \forall s \quad (20)$$

$$dp_{ijkt}, mp_{ijkt}, fp_{ijkt}, If_{ijt}^s, Im_{ijt}^s, W_{jt}, wH_{jt}, wL_{jt}, \delta_{it}^s, \theta_s \geq 0 \quad \forall i, j, k, t, s \quad (21)$$

$$dk_{ijt}, mk_{ijt}, fk_{ijt} = \{0, 1\} \quad \forall i, j, t \quad (22)$$

میزان عدم پاسخگویی به تقاضای بازار استفاده می‌شود. اگر مقدار کل محصول نهایی تولیدشده در دوره t به اضافه

محدودیت γ یک محدودیت تعادلی کنترلی است که برای تعیین مقدار محصول نهایی ذخیره‌شده در انبار و

نهایی از نیمه‌ساخته نشان می‌دهند. محدودیت ۲۰ معادله کمکی در رابطه با روش بهینه‌سازی استوار مولوی است. با وجود محدودیت ۲۱، اطمینان حاصل می‌شود که تمامی متغیرهای تصمیم نامنفی هستند. محدودیت ۲۲ نیز متغیرهای باینری را نشان می‌دهد.

نتایج عددی

داده‌های مسئله

در این قسمت از پژوهش، به‌منظور نشان دادن انعطاف‌پذیری مدل بهینه‌سازی استوار پیشنهاد شده برای برنامه‌ریزی شرکت‌های تولیدکننده محصولات فاسدشدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم‌ها یا سرسیدها و هدیه‌های سال نو که مشخصات سال جدید روی آن‌ها درج می‌شود، با استفاده از داده‌های موجود در پژوهش لئونگ و همکاران [۱۶] مدل و نتایج آن تجزیه و تحلیل می‌شوند. تنوع محصولات فاسدشدنی تولیدشده شامل شش محصول ($i=1,2,\dots,6$) می‌شود که در سه کارخانه اصلی ($j=1,2,3$) تولید می‌شوند. دوره زمانی تولید شامل ۱۲ هفته ($t=1,2,\dots,12$) است که در سه ماه پایانی سال انجام می‌گیرد. براساس اسناد فروش، قراردادهای کوتاه‌مدت و بلندمدت آتی، شاخص قیمت مصرف‌کننده و تولید ناخالص داخلی (GDP^t) می‌توان فرض کرد سناریوهای اقتصادی آینده، یکی از چهار سناریوی ممکن یعنی رونق^۴، خوب^۵، متوسط^۶ و ضعیف^۷ خواهد بود که احتمالات وقوع این سناریوها در جدول ۱ آورده می‌شود. همان‌طور که اشاره شد، سه سطح نیروی انسانی ($k=1,2,3$) وجود دارد: 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).

جدول‌های ۲ تا ۴ هر یک از هزینه‌های تولید به سه روش مختلف تولید را نشان می‌دهند.

میزان موجودی در دوره $t-1$ (یعنی $I_{ij,t-1}^S$) از تقاضای بازار (D_{it}^S) بیشتر باشد، میزان موجودی در دوره t ، برابر با $I_{ij,t}^S = I_{ij,t-1}^S + \sum_k (dp_{ijkt} + fp_{ijkt}) - D_{it}^S$ خواهد بود و با مینیمم‌سازی، میزان انحراف برابر صفر ($\delta_{it}^S = 0$) خواهد بود. درحالی‌که اگر $I_{ij,t-1}^S + \sum_k (dp_{ijkt} + fp_{ijkt}) < D_{it}^S$ از تقاضای بازار باشد، $I_{ij,t}^S = 0$ و $\delta_{it}^S = D_{it}^S - I_{ij,t-1}^S - \sum_k (dp_{ijkt} + fp_{ijkt})$ نشان‌دهنده میزان عدم پاسخگویی به تقاضای بازار است. در نتیجه، یک راه‌حل نشدنی به دست می‌آید. شایان ذکر است هیچ تقاضای پس‌افتی در این مدل در نظر گرفته نشده است؛ بنابراین، $\delta_{i,t-1}^S$ به‌عنوان تقاضای اضافی برای دوره t نیست. محدودیت ۸ یک رابطه تعادلی برای میزان موجودی محصول نیمه‌ساخته است. با وجود محدودیت ۹، اطمینان حاصل می‌شود که میزان موجودی محصول نهایی و نیمه‌ساخته از حداکثر ظرفیت نگهداری در انبار کارخانه مربوطه کمتر است. محدودیت ۱۰ بیان می‌کند که نیروی کار در دسترس در هر دوره برابر با نیروی کار در دوره قبل به اضافه تغییر تعداد نیروی کار در دوره جاری است. محدودیت ۱۱ نشان می‌دهد تعداد نیروی انسانی ماهر در هر کارخانه و در هر دوره نمی‌تواند از حدی بیشتر یا کمتر باشد. در ادامه، محدودیت ۱۲ بیان می‌کند 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 در دسترس محدود می‌کند. در ادامه، محدودیت ۱۴ تولید در اوقات اضافه‌کاری را به کل ساعات نیروی انسانی ماهر در دسترس محدود می‌کند. محدودیت ۱۵ کل تولید را در هر دوره توسط نیروی انسانی سطح ۱ و ۳ از طریق ظرفیت تولید ماشین در دسترس محدود می‌کند و نیز محدودیت ۱۶، کل تولید را در هر دوره توسط نیروی انسانی سطح ۲ به وسیله ظرفیت تولید ماشین در دسترس محدود می‌کند. محدودیت‌های ۱۷ تا ۱۹ رابطه بین تولید محصول و برپایی تولید را به ترتیب برای روش تولید مستقیم، تولید محصول نیمه‌ساخته و تولید محصول

جدول ۱. مجموعه سناریوها و احتمالات وقوع آن‌ها

سناریو	رونق	خوب	متوسط	ضعیف
احتمال وقوع سناریو (p_s)	۰/۴	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۵

جدول ۴. برخی هزینه‌های تولید یک واحد محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته در کارخانه k توسط کارگر سطح s

		هزینه تولید توسط کارگر سطح ۱						هزینه تولید توسط کارگر سطح ۲						هزینه تولید توسط کارگر سطح ۳									
		cfp_{ij}^1		cfp_{ij}^2		cfp_{ij}^3		cfp_{ij}^1		cfp_{ij}^2		cfp_{ij}^3		cfp_{ij}^1		cfp_{ij}^2		cfp_{ij}^3					
j	s	۱	۲	۳	۴	۵	۶	j	s	۱	۲	۳	۴	۵	۶	j	s	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	رونیق	۴۲	۵۲	۷۲	۸۲	۱۰۲	۱۱۲	رونیق	۱۳۲	۱۴۲	۱۶۲	۱۷۲	۱۹۲	۲۰۲	رونیق	۱۴۲	۱۵۲	۱۷۲	۱۸۲	۱۹۲	۲۰۲	۲۱۲	۲۱۲
	خوب	۳۰	۴۰	۶۰	۷۰	۹۰	۱۰۰	خوب	۱۲۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۹۰	خوب	۱۳۰	۱۴۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۰۰
	متوسط	۲۴	۳۴	۵۴	۶۴	۷۴	۹۴	متوسط	۱۱۴	۱۲۴	۱۴۴	۱۵۴	۱۷۴	۱۸۴	متوسط	۱۲۴	۱۳۴	۱۵۴	۱۶۴	۱۷۴	۱۸۴	۱۹۴	۱۹۴
	ضعیف	۱۸	۲۸	۴۸	۵۸	۷۸	۸۸	ضعیف	۱۰۸	۱۱۸	۱۳۸	۱۴۸	۱۶۸	۱۷۸	ضعیف	۱۱۸	۱۲۸	۱۴۸	۱۵۸	۱۶۸	۱۷۸	۱۸۸	۱۸۸

جدول ۵. برخی هزینه‌های نگهداری محصول i در کارخانه k تحت سناریوی s

		هزینه نگهداری محصول نهایی i						هزینه نگهداری محصول نیمه ساخته i							
		clm_{ij}^1		clm_{ij}^2		clm_{ij}^3		clm_{ij}^1		clm_{ij}^2		clm_{ij}^3			
j	s	۱	۲	۳	۴	۵	۶	j	s	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	رونیق	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۵	۵۰	رونیق	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۸	۲۰	۲۰
	خوب	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۴۰	۵۰	خوب	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۸	۲۰	۲۰
	متوسط	۱۲	۱۷	۲۲	۲۷	۳۷	۴۷	متوسط	۴/۸	۶/۸	۸/۸	۱۰/۸	۱۴/۸	۱۸/۸	۲۰/۸
	ضعیف	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۵	۴۵	ضعیف	۴	۶	۸	۱۰	۱۴	۱۸	۲۰

مرتبط با زمان ماشین برای تولید محصولات مشاهده می‌شود. جدول ۱۲ حجم اشغال یک واحد محصول را برای نگهداری و جدول ۱۳، هزینه برپایی تولید محصول در کارخانه‌ها را نشان می‌دهند.

جدول ۷ هزینه‌های استخدام و اخراج؛ جدول ۸ برخی مقادیر تقاضای محصول و جدول ۹ حداکثر زمان در دسترس ماشین در اوقات معمولی را نشان می‌دهد. در جدول ۱۰، داده‌های مربوط به زمان لازم برای تولید محصولات توسط نیروی انسانی و در جدول ۱۱ داده‌های

جدول ۶. برخی هزینه‌های نیروی انسانی سطح k در کارخانه z تحت سناریوی s

j	s	cl_{jk}^s		
		k		
		۱	۲	۳
۱	رونق	۲۷۰	۱۰	۱۲
	خوب	۲۵۰	۸	۱۰
	متوسط	۲۴۰	۷	۹
	ضعیف	۲۳۰	۶	۸

جدول ۷. هزینه استخدام و اخراج در کارخانه z و داده‌های مربوط به نیروی انسانی

j	cwH_j	cwL_j	W_{jt}^{min}	W_{jt}^{max}	ε_j	نیروی انسانی اولیه
۱	۱۰۰	۱۲۰	۳۰۰	۱۵۰۰	۰/۴	۳۰۰
۲	۹۰	۱۱۰	۳۰۰	۱۵۰۰	۰/۴۵	۳۰۰
۳	۸۰	۱۰۰	۳۰۰	۱۵۰۰	۰/۵	۳۰۰

جدول ۸. برخی مقادیر تقاضای محصول i در دوره t تحت سناریوی s

i	s	D_{it}^s											
		t											
		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱	رونق	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۱۶۰۰	۱۷۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۱۷۰۰	۱۹۰۰	۲۰۰۰	۲۳۰۰	۲۴۰۰	۲۵۰۰
	خوب	۱۱۰۰	۱۶۰۰	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۱۶۰۰	۱۴۰۰	۱۳۰۰	۱۵۰۰	۱۶۰۰	۱۹۰۰	۲۰۰۰	۲۱۰۰
	متوسط	۷۰۰	۱۲۰۰	۸۰۰	۹۰۰	۱۲۰۰	۱۰۰۰	۹۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۱۶۰۰	۱۷۰۰
	ضعیف	۳۰۰	۸۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۸۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۱۱۰۰	۱۲۰۰	۱۳۰۰

جدول ۹. برخی از مقادیر حداکثر زمان در دسترس ماشین در اوقات معمولی در کارخانه z در دوره t

j	M_{jt}											
	t											
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
۱	۵۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۵۵۰	۴۰۰	۴۵۰	۵۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۵۵۰	۴۰۰	۴۰۰

جدول ۱۰. برخی زمان‌های لازم برای تولید محصول i توسط کارگر سطح k

زمان لازم برای تولید محصول نهایی i به روش مستقیم				زمان لازم برای تولید محصول نیمه‌ساخته i				زمان لازم برای تولید محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته			
da _{ik}				ma _{ik}				fa _{ik}			
i	k			i	k			i	k		
	۱	۲	۳		۱	۲	۳		۱	۲	۳
۱	۱	۱/۱	۱/۵	۱	۰/۴	۰/۴۴	۰/۶	۱	۰/۶	۰/۶۶	۰/۹
۲	۱	۱/۱	۱/۵	۲	۰/۴	۰/۴۴	۰/۶	۲	۰/۶	۰/۶۶	۰/۹
۳	۱/۵	۱/۶	۲	۳	۰/۶	۰/۶۴	۰/۸	۳	۰/۹	۰/۹۶	۱/۲

جدول ۱۱. برخی زمان‌های ماشین برای تولید محصول i توسط کارگر سطح k

زمان ماشین برای تولید محصول نهایی i به روش مستقیم				زمان ماشین برای تولید محصول نیمه‌ساخته i				زمان ماشین برای تولید محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته			
db _{ik}				mb _{ik}				fb _{ik}			
i	k			i	k			i	k		
	۱	۲	۳		۱	۲	۳		۱	۲	۳
۱	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۵	۱	۰/۳	۰/۳۴	۰/۶	۱	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۹
۲	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۵	۲	۰/۳	۰/۳۴	۰/۶	۲	۰/۴۵	۰/۵۱	۰/۹
۳	۱	۱/۱	۱/۷۵	۳	۰/۴	۰/۴۴	۰/۷	۳	۰/۶	۰/۶۶	۱/۰۵

جدول ۱۲. برخی حجم‌های اشغال توسط یک واحد محصول i

حجم اشغال یک واحد محصول نهایی i			حجم اشغال یک واحد محصول نیمه‌ساخته i		
i	vf _i		i	vm _i	
۱	۱		۱	۰/۴	
۲	۱		۲	۰/۴	
۳	۱/۲		۳	۰/۴۸	

جدول ۱۳. برخی هزینه‌های برپایی تولید محصول i در کارخانه j

هزینه برپایی تولید محصول نهایی i به روش مستقیم				هزینه برپایی تولید محصول نیمه‌ساخته i				هزینه برپایی تولید محصول نهایی i از محصول نیمه‌ساخته			
cdk _{ij}				cmk _{ij}				cfk _{ij}			
i	j			i	j			i	j		
	۱	۲	۳		۱	۲	۳		۱	۲	۳
۱	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۱۰۰	۱	۱۰۰۰	۹۰۰	۱۱۰۰	۱	۱۴۰۰	۱۳۰۰	۱۵۰۰
۲	۲۵۰۰	۲۳۰۰	۲۶۰۰	۲	۱۳۰۰	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۲	۱۷۰۰	۱۶۰۰	۱۸۰۰
۳	۲۱۰۰	۱۹۰۰	۲۲۰۰	۳	۱۰۰۰	۹۰۰	۱۱۰۰	۳	۱۵۰۰	۱۳۰۰	۱۵۰۰

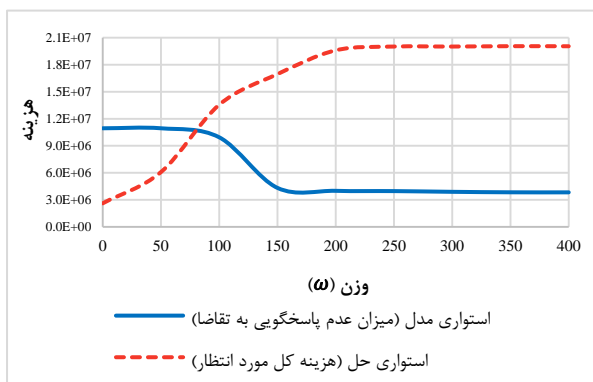
جدول ۱۶. مقادیر متغیر در رابطه با روش بهینه‌سازی استوار برای هر سناریو

s	θ_s
رونق	.
خوب	۲۶۸۵۰۹/۵۶
متوسط	۷۹۴۱۲۴/۴۴
ضعیف	۱۱۵۳۳۷۹/۸

جدول ۱۷. تفکیک هزینه‌ها

s	PC (تولید)	SC (برپایی تولید)	WC (تغییر نیروی انسانی)	IC (نگهداری)	LC (نیروی کار)	هزینه کل
رونق	۶۰۶۳۹۹۲	۱۰۱۰۰۰	.	۴۸۰۰	۲۶۴۶۰۰۰	۸۸۱۵۷۹۲
خوب	۴۹۳۹۲۸۵	۱۰۱۰۰۰	.	۷۹۶۰۰	۲۴۳۰۰۰۰	۷۵۴۹۸۸۵
متوسط	۴۳۷۶۹۳۱	۱۰۱۰۰۰	.	۲۲۴۳۳۹	۲۳۲۲۰۰۰	۷۰۲۴۲۷۰
ضعیف	۳۸۱۴۵۷۷	۱۰۱۰۰۰	.	۵۳۵۴۳۷	۲۲۱۴۰۰۰	۶۶۶۵۰۱۴

کل هزینه مورد انتظار برنامه‌ریزی تولید بهینه، برابر با ۲۰۰۱۹۹۱۰ واحد است.



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

با افزایش وزن ω ، هزینه کل مورد انتظار نشان‌دهنده استواری حل به‌طور شایان توجه افزایش می‌یابد و میزان عدم پاسخگویی نشان‌دهنده استواری مدل کاهش می‌یابد؛ زیرا برای مقادیر بزرگ‌تر ω ، راه‌حل به‌دست آمده برای تحقق هر سناریو از طریق پرداخت هزینه کل بیشتر تقریباً نزدیک به راه‌حل شدنی است. در نهایت، میزان عدم پاسخگویی به تقاضای مورد انتظار با افزایش در مقدار ω به صفر کاهش می‌یابد. نتایج این پژوهش با نتایج مولوی و روس شینسکی [۲۶] سازگار است. در نتیجه، برنامه بهینه با

میزان عدم پاسخگویی به تقاضای محصول i در دوره t تحت سناریوی s (δ_{it}^s) در جدول ۱۵ مشاهده می‌شود. این مقادیر بیان می‌کنند تحت هر سناریو، چه مقدار کمبود از هر محصول برای یک دوره مشخص وجود دارد. مقادیر متغیر در رابطه با روش بهینه‌سازی استوار (θ_s)، برای هر سناریو به‌صورت جدول ۱۶ هستند. تفکیک هزینه‌های بهینه برنامه‌ریزی تولید مربوطه برای هر سناریو در جدول ۱۷ آورده می‌شود. در نتیجه، زمانی که سناریوها بدتر می‌شوند، به دلیل نیاز به محصولات کمتر در بازار، هزینه‌های تولید و نیروی کار کاهش می‌یابند.

تبادل بین استواری حل و استواری مدل

نقش وزن ω در تابع هدف ۶ پیدا کردن تبدالی بین استواری حل (نزدیکی به راه‌حل بهینه) و استواری مدل (نزدیکی به راه‌حل شدنی) است. زمانی که $\omega = 0$ باشد؛ δ_{it}^s در محدودیت ۷ به دلیل حداقل‌سازی اهداف برابر با D_{it}^s است. در نتیجه، میزان کل عدم پاسخگویی به تقاضا به بالاترین مقدار خود می‌رسد. در نتیجه، ضروری است بهینه‌سازی استوار پیشنهاد شده با مقادیر ω مختلف آزمایش شود. نمودار تبادل مورد نظر بین استواری حل و استواری مدل در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

استفاده از پارامترهای $\lambda = 1$ و $\omega = 250$ به دست می‌آید؛ زیرا میزان عدم پاسخگویی مورد انتظار به تقاضا در محدوده قابل قبولی قرار می‌گیرد؛ یعنی هر دو عامل استواری مدل و استواری حل به میزان یکنواخت و ثابتی میل می‌کنند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک مدل بهینه‌سازی استوار برای مسئله برنامه‌ریزی تولید ادغامی چندکارخانه‌ای محصولات فاسدشدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم‌ها یا سرسیدها و هدیه‌های سال نو با استفاده از سیاست تعویق در شرایط عدم قطعیت توسعه داده شد. برای مقابله با فساد، تولید محصول به دو مرحله (نیمه‌ساخته و نهایی) یعنی سه نوع فعالیت تولیدی از جمله تولید محصول نهایی به روش مستقیم، تولید محصول نیمه‌ساخته و تولید محصول نهایی از محصول نیمه‌ساخته تقسیم شد. برنامه‌ریزی تولید بهینه با در نظر گرفتن سناریوهای اقتصادی نسبت به تغییر داده‌های غیرقطعی، حساسیت کمتری دارد. در نتیجه، مدل‌سازی مسئله به صورت چند سناریو انجام گرفت. مدیریت می‌تواند با تبادل بین بهینگی و نشدنی بودن، یک راه‌حل استوار به دست آورد. با تجزیه و تحلیل پارامترهای جریمه، مدیریت تولید می‌تواند 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 نشان می‌دهد مدل پیشنهاد شده برای سناریوهای اقتصادی غیرقطعی، معتبر است. می‌توان از مدل پیشنهادی برای مسائل واقعی برنامه‌ریزی تولید شرکت‌های تولیدکننده محصولات فاسدشدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم‌ها یا سرسیدها و هدیه‌های سال نو در شرایط عدم قطعیت به خوبی استفاده کرد.

می‌توان این پژوهش را به شکل‌های مختلف توسعه داد. نخست، از داده‌های واقعی از شرکت‌های تولیدی برای اعتبارسنجی مدل و آنالیز حساسیت مدل نسبت به تغییرات راهبردهای برنامه‌ریزی تولید استفاده شود. دوم، آنالیز حساسیت روی مقدار وزن ω در تابع هدف می‌تواند به بررسی تبادل بین استواری راه‌حل و استواری مدل منجر شود. سوم، انتخاب سناریوها بیشتر بررسی شود. چهارم، در این مدل می‌توان هدف کاهش آلاینده‌های ناشی از تولید یا هدف کمینه کردن مدت‌زمان تحویل را تابع هدف دوم در نظر گرفت. باید توجه شود محاسبات و آنالیز مدل تحت سناریوهای مختلف، به نتیجه‌های متفاوتی منجر می‌شود.

مراجع

1. Aviv, Y. and Federgruen, A. (2001a). "Capacitated multi-item inventory systems with random and seasonally fluctuating demand: implications for postponement strategies", *Management Science*, Vol. 47, PP. 512-531.
2. Aviv, Y. and Federgruen, A. (2001b). "Design for postponement: A comprehensive characterization of its benefits under unknown demand distributions", *Operations Research*, Vol. 49, No. 4, PP. 578-598.
3. Van Hoek, R. I. (2001). "The rediscovery of postponement a literature review and directions for research", *Journal of Operations Research*, Vol. 19, PP. 161-184.
4. Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J. and Zenios, S. A. (1995). "Robust optimization of large-scale systems", *Operations Research*, Vol. 43, PP. 264-281.
5. Pagh, J. D. and Cooper, M. C. (1998). "Supply chain postponement and speculation strategies: How to choose the right strategy", *Journal of Business Logistics*, Vol. 19, PP. 13-33.
6. Garg, A. and Tang, C. S. (1997). "On postponement strategies for product families with multiple points of differentiation", *IIE Transactions*, Vol. 29, PP. 641-650.
7. Wang, R. C. and Fang, H. H. (2000). "Aggregate production planning in a fuzzy environment", *International Journal of Industrial Engineering Theory, Applications, and Practice*, Vol. 7, PP. 5-14.
8. Baykasoglu, A. (2001). "MOAPPS 1.0: Aggregate production planning using the multiple-objective tabu search", *International Journal of Production Research*, Vol. 39, No. 16, PP. 3685-3702.

9. Wang, R. C. and Fang, H. H. (2001). "Aggregate production planning with multiple objectives in a fuzzy environment", *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, PP. 521-536.
 10. Høyland, K. and Wallace, S. W. (2001). "Generating scenario trees for multistage decision problems", *Management Science*, Vol. 47, PP. 295-307.
 11. Bai, D., Carpenter, T. and Mulvey, J. (1997). "Making a case for robust optimization models", *Management Science*, Vol. 43, No. 7, PP. 895-907.
 12. Jang, Y. J., Jang, S. Y., Chang, B. M. and Park, J. (2002). "A combined model of network design and production/distribution planning for a supply network", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 43, No. 1, PP. 263-281.
 13. Park, Y. (2005). "An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management", *International Journal of Production Research*, Vol. 43, PP. 1205-1224.
 14. Leung, S. C. H. and Ng, W. L. (2007a). "A goal programming model for production planning of perishable products with postponement", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 53, No. 3, PP. 531-541.
 15. Leung, S. C. H. and Ng, W. L. (2007b). "A stochastic programming model for production planning of perishable products with postponement", *Production Planning & Control*, Vol. 18, No. 3, PP. 190-202.
 16. Leung, S. C., Tsang, S. O., Ng, W. L. and Wu, Y. (2007c). "A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment", *European Journal of Operational Research*, Vol. 181, No. 1, PP. 224-238.
 17. Leung, S. C. H. and Chan, S. S. W. (2009). "A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 56, No. 3, PP. 1053-1064.
 18. Mirzapour Al-e-hashem, S. M. J., Malekly, H. and 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*, Vol. 134, No. 1, PP. 28-42.
 19. Ghasemy Yaghin, R., Torabi, S. A. and 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*, Vol. 36, No. 12, PP. 6011-6030.
 20. José Alem, D. and Morabito, R. (2012). "Production planning in furniture settings via robust optimization", *Computers & Operations Research*, Vol. 39, No. 2, PP. 139-150.
 21. Bertsimas, D. and Sim, M. (2003). "Robust discrete optimization and network flows", *Mathematical Programming*, Vol. 98, No. 1-3, PP. 43-71.
 22. Rahmani, D., Ramezani, R., Fattahi, P. and Heydari, M. (2013). "A robust optimization model for multi-product two-stage capacitated production planning under uncertainty", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, No. 20, PP. 8957-8971.
 23. Awudu, I. and Zhang, J. (2013). "Stochastic production planning for a biofuel supply chain under demand and price uncertainties", *Applied Energy*, Vol. 103, PP. 189-196.
 24. Niknamfar, A. H., Niaki, S. T. A. and Pasandideh, S. H. R. (2014). "Robust optimization approach for an aggregate production-distribution planning in a three-level supply chain", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 76, No. 1-4, PP. 623-634.
 25. Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B. and Sheu, J. B. (2015). "An enhanced robustness approach for managing supply and demand uncertainties", *International Journal of Production Economics*, Vol. 183, PP. 620-631.
 26. Mulvey, J. M. and Ruszczyński, A. (1995). "A new scenario decomposition method for large-scale stochastic optimization", *Operations Research*, Vol. 43, PP. 477-490.
-

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Elastic p -Robustness
 2. Gross Domestic Product
 3. Boom
 4. Good
 5. Fair
 6. Poor
-