

ارائه یک مدل بهینه سازی استوار به منظور برنامه ریزی 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 اصلاح شده: ۹۵/۰۸/۲۳، تاریخ تصویب: ۹۵/۱۰/۰۲)

چکیده

قیمت محصولات فاسدشدنی پس از دوره ای مشخص برای مثال یک فصل، به طور مؤثر کاهش می یابد؛ بنابراین، تولید اضافی یا کمبود این محصولات به ترتیب همراه با زیان یا از دست دادن سود است. این پژوهش برنامه ریزی تولید ادغامی بهینه را برای تولید محصولات فاسدشدنی مانند پوشاک فصلی، هدیه های سال نو، تقویم ها و سرسیدها با استفاده از سیاست تعویق در شرایط عدم قطعیت تعیین می کند. 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 نیمه ساخته و مونتاژ نهایی وجود دارد. مدل بهینه سازی استوار برای حل برنامه ریزی تولید ادغامی این محصولات توسعه داده شده و از مجموعه ای از داده ها برای اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. می توان از مدل پژوهش برای مسائل واقعی برنامه ریزی تولید ادغامی کارخانه ها در شرایط عدم قطعیت به خوبی استفاده کرد.

واژه های کلیدی: برنامه ریزی تولید ادغامی، بهینه سازی استوار، سیاست تعویق، عدم قطعیت، محصولات فاسدشدنی.

مقدمه

محصولات فاسدشدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم ها یا سرسیدها و هدیه های سال نو که مشخصات سال جدید روی آن ها درج می شود، بررسی می شود. هنگام نزدیک شدن اواخر چرخه عمر این نوع محصولات (مانند اواخر سال، قبل از رسیدن به سال نو)، تقاضا برای آن ها به طور چشمگیری افزایش می یابد. در نتیجه، تقاضا برای محصولات فاسدشدنی بسیار به زمان حساس است؛ بنابراین، کنترل موجودی این نوع از محصولات دشوار است. همچنین، ذخیره محصولات فاسدشدنی، در حالی که تولید قابل فروش است، ممکن است درآمد کمتری را به دنبال داشته باشد؛ زیرا محصولات فاسدشدنی نمی توانند پس از یک روز معین سودآور باشند. برای مقابله با این نوع فسادپذیری از راهبرد تعویق برای حل مسئله برنامه ریزی 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

برنامه ریزی تولید یکی از مهم ترین موضوعات در سیستم های تولیدی است که هدف آن برنامه ریزی مؤثر و هماهنگی تمام فعالیت های تولیدی است؛ به گونه ای که اهداف شرکت ها را بهینه کند. اهداف برنامه ریزی تولید، تعیین مقدار بهینه تولید، موجودی و دیگر پارامترهای با اهمیت تولیدی به منظور پاسخگویی به تقاضای متغیر در دوره مشخص برنامه ریزی است. در واقع، برنامه ریزی تولید، فرایند تصمیم گیری در مورد منابعی است که سازمان به منظور انجام دادن عملیات تولید در آینده به آن ها نیاز دارد. برنامه ریزی تولید ادغامی، تصمیم گیری و برنامه ریزی برای یک بازه زمانی مشخص در مواردی مانند حجم کلی تولید، میزان کسری، تعداد کارکنان، روش های مختلف تأمین و تسطیح ظرفیت با استفاده از دید گروهی و در سطح کلی است.

در این پژوهش، مسئله برنامه ریزی تولید ادغامی

مرور ادبیات

پا 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 زود هنگام و تعویق دیر هنگام و همچنین اهمیت تنوع تقاضا و دامنه نسبی زمان های تحویل را در تعیین زمان مناسب تعویق بررسی کردند. آویو و فیدرگرن [۲] سود به تعویق انداختن را با توزیع های نامعلوم بررسی کردند. ون هوک [۳] مقالات در زمینه سیاست تعویق را مرور ادبیات نمود و فرصت های به تعویق انداختن در تولید و عملیات را شناسایی کرد.

ونگ و فانگ [۷] یک مدل برنامه ریزی خطی فازی را برای مسئله برنامه ریزی تولید توسعه دادند. راه حل ها به شکل اعداد فازی، انعطاف پذیری بیشتری را برای مدیریت تولید در یک محیط فازی فراهم می کنند. بی کسینگ [۸] بیان کرد برنامه ریزی تولید ادغامی، حداقل سازی هزینه ها، سطح موجودی ها، تغییرات در سطح نیروی انسانی، دستمزدهای اضافه کاری در تولید، زمان بیکاری کارخانه و نیروی انسانی و خدمات مشتریان با اولویت بالاتر را در نظر می گیرد. در تحقیقی دیگر، ونگ و فانگ [۹] مدل برنامه ریزی تولید چهار هدفه را با پارامترهای فازی مانند تقاضای فازی، زمان ماشین فازی، ظرفیت ماشین فازی و هزینه های مربوطه فازی توسعه دادند. هولند و والاس [۱۰] مدل میانگین-واریانس را برای فرموله کردن ریسک گریزی در برنامه ریزی خطی تصادفی با استفاده از تابع مطلوبیت خطی پیشنهاد کردند. مدل بهینه سازی استوار، مدلی ویژه از مدل های برنامه ریزی غیر خطی تصادفی، گسترش داده شد؛ به طوری که تابع ریسک گریز مقعر می تواند در مشخصات اهداف گنجانیده شود [۱۱]. جانگ و همکاران [۱۲] سه نوع فرموله بندی تجزیه شده و یک روش حل الگوریتم ژنتیک را برای برنامه ریزی تولید و عملیات توزیع ارائه دادند. پارک [۱۳] رویکردی یکپارچه تر با گسترش فرموله بندی عدد صحیح مختلط و یک روش حل ابتکاری دوفازی برای آن مدل معرفی کرد.

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

گزینه های مختلف مانند رنگ، اندازه و نوع، فعالیت های خط تولید تا رسیدن به فاز بعدی به تعویق افتاده است. درواقع، تا زمانی که سفارش های مشتریان دریافت شود، فازهای بعدی تولید به تعویق می افتند [۱]، [۲] و [۳]. تحقیقات اندکی، برنامه ریزی تولید ادغامی محصولات فاسدشدنی را تعیین کرده اند. در نتیجه، این پژوهش می تواند مسئله برنامه ریزی تولید شرکت های تولیدکننده محصولات فاسدشدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم ها یا سرسیدها را که مشخصات سال جدید روی آن ها درج می شود، حل کند. هدف پژوهش حاضر گسترش مدل بهینه سازی استوار (تکنیک مولوی [۴]) برای بهینه سازی مسئله برنامه ریزی تولید محصولات فاسدشدنی برای تولیدات چند کارخانه و تحت شرایط عدم قطعیت است. نوآوری های اصلی این پژوهش، استفاده از سیاست تعویق برای تولید محصولات فاسدشدنی، استفاده از روش بهینه سازی استوار برای حل مدل مسئله و نیز چندکارخانه ای بودن مسئله برنامه ریزی تولید است که موجب نزدیکی مسئله به شرایط دنیای واقعی می شود. 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 نیمه ساخته و مونتاژ نهایی در نظر گرفته می شود. مدل پیشنهاد شده تعیین می کند که ۱. چه مقدار از محصولات نهایی باید به طور مستقیم از مواد خام تولید شوند (تولید مستقیم)، ۲. چه مقدار از محصولات نیمه ساخته باید از مواد خام تولید شوند (تولید نیمه ساخته) و ۳. چه مقدار از محصولات نهایی باید از محصولات نیمه ساخته 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 برنامه ریزی تولید ادغامی و نیز تولید محصولات فاسدشدنی صورت می گیرد. سپس مدل سازی ریاضی مسئله برنامه ریزی تولید ارائه می شود و نتایج عددی مدل پیشنهاد شده با استفاده از حل دقیق از طریق نرم افزار GAMS آورده می شود. در نهایت، نتیجه گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه می شود.

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 بهبودیافته به نام «P-استوار الاستیک» را برای عامل تأمین به‌صورت چندمحصولی و چنددوره‌ای ارائه دادند. آن‌ها زنجیره‌ای را شامل کارخانه‌ها، مراکز توزیع و بازارها با هدف کمینه‌کردن مجموع هزینه‌های برنامه‌ریزی تولید-توزیع درنظر 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 سررسیدها و هدیه‌های سال نو برای یک دوره مشخص است. مدل و نتایج این مطالعه برای حل مسئله برنامه‌ریزی شرکت‌های تولیدکننده این نوع محصولات قابل‌استفاده است. برای مقابله با ویژگی فسادپذیری این نوع از محصولات، از سیاست تعویق استفاده می‌شود. سیاست تعویق به این‌صورت 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 درنظر 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 فرموله‌کردن مسئله برنامه‌ریزی تولید استوار مربوطه گسترش دادند. اوبدو 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 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 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 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_{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 نیمه‌ساخته i در کارخانه j در دوره t
fk_{ijt}	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 به‌دست 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

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

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

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

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

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

برپایی تولید در رابطه با سه نوع مختلف تولید است. رابطه 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 ۷ 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 اضافه کاری و نیز نیروی کار نیمه ماهر در اوقات عادی را نشان می‌دهد.

تابع هدف برای مسئله برنامه ریزی 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

محدودیت ۷ یک محدودیت تعادلی کنترلی است که برای تعیین مقدار محصول نهایی ذخیره شده 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 پیشنهادشده 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^۲، خوب^۳، متوسط^۴ و ضعیف^۵ 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 هریک از هزینه‌های تولید به سه روش مختلف تولید را نشان می‌دهند.

میزان موجودی در دوره $t-1$ (یعنی $If_{ij,t-1}^S$) از تقاضای بازار ($\sum_k (dp_{ijkt} + fp_{ijkt})$) بیشتر باشد، 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. درحالی‌که اگر $If_{ij,t-1}^S + \sum_k (dp_{ijkt} + fp_{ijkt}) < D_{it}^S$ باشد، میزان انحراف برابر صفر ($\delta_{it}^S = 0$) خواهد بود. از تقاضای بازار باشد، $If_{ij,t}^S = 0$ و $\delta_{it}^S = D_{it}^S - If_{ij,t-1}^S - \sum_k (dp_{ijkt} + fp_{ijkt})$ 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 ۲. برخی هزینه های تولید یک واحد محصول نهایی آ به روش مستقیم در کارخانه J توسط کارگر سطح k تحت سناریوی S

هزینه تولید توسط کارگر سطح ۱														
cdp_{ij1}^s														
j	i						j	i						
	s	۱	۲	۳	۴	۵		۶	s	۱	۲	۳	۴	۵
۱	رونق	۷۰	۸۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۳۰	۱۴۰	رونق	۱۶۰	۱۷۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۲۰	۲۳۰
	خوب	۵۰	۶۰	۸۰	۹۰	۱۱۰	۱۲۰	خوب	۱۴۰	۱۵۰	۱۷۰	۱۸۰	۲۰۰	۲۱۰
	متوسط	۴۰	۵۰	۷۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	متوسط	۱۳۰	۱۵۰	۱۷۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۱۰
	ضعیف	۳۰	۴۰	۶۰	۷۰	۹۰	۱۰۰	ضعیف	۱۲۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۹۰

هزینه تولید توسط کارگر سطح ۲														
cdp_{ij2}^s														
j	i						j	i						
	s	۱	۲	۳	۴	۵		۶	s	۱	۲	۳	۴	۵
۱	رونق	۷۰	۸۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۳۰	۱۴۰	رونق	۱۶۰	۱۷۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۲۰	۲۳۰
	خوب	۵۰	۶۰	۸۰	۹۰	۱۱۰	۱۲۰	خوب	۱۴۰	۱۵۰	۱۷۰	۱۸۰	۲۰۰	۲۱۰
	متوسط	۴۰	۵۰	۷۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	متوسط	۱۳۰	۱۵۰	۱۷۰	۱۹۰	۲۰۰	۲۱۰
	ضعیف	۳۰	۴۰	۶۰	۷۰	۹۰	۱۰۰	ضعیف	۱۲۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۹۰

هزینه تولید توسط کارگر سطح ۳															
cdp_{ij3}^s															
j	i						j	i							
	s	۱	۲	۳	۴	۵		۶	s	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	رونق	۷۰	۸۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۳۰	۱۴۰	رونق	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۲۰۰	۲۱۰	۲۳۰	۲۴۰
	خوب	۵۰	۶۰	۸۰	۹۰	۱۱۰	۱۲۰	خوب	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۱۰	۲۲۰
	متوسط	۴۰	۵۰	۷۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	متوسط	۱۳۰	۱۴۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۹۰	۲۱۰	۲۰۰
	ضعیف	۳۰	۴۰	۶۰	۷۰	۹۰	۱۰۰	ضعیف	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۹۰	۲۰۰

جدول ۳. برخی هزینه های تولید یک واحد محصول نیمه ساخته آ در کارخانه J توسط کارگر سطح k تحت سناریوی S

هزینه تولید توسط کارگر سطح ۱													هزینه تولید توسط کارگر سطح ۲													هزینه تولید توسط کارگر سطح ۳												
cmp ^s _{ij1}													cmp ^s _{ij2}													cmp ^s _{ij3}												
j	i						j	i						j	i						j	i																
	s	۱	۲	۳	۴	۵		۶	s	۱	۲	۳	۴		۵	۶	s	۱	۲	۳		۴	۵	۶														
۱	رونق	۲۸	۳۸	۵۸	۷۸	۹۸	۱۰۸	رونق	۱۱۸	۱۲۸	۱۴۸	۱۶۸	۱۷۸	۱۸۸	رونق	۱۲۸	۱۳۸	۱۵۸	۱۶۸	۱۸۸	۱۹۸																	
	خوب	۲۰	۳۰	۵۰	۶۰	۸۰	۹۰	خوب	۱۱۰	۱۲۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۷۰	۱۸۰	خوب	۱۲۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۹۰																	
	متوسط	۱۶	۲۶	۴۶	۵۶	۷۶	۸۶	متوسط	۱۰۶	۱۱۶	۱۳۶	۱۴۶	۱۶۶	۱۷۶	متوسط	۱۱۶	۱۲۶	۱۴۶	۱۵۶	۱۷۶	۱۸۶																	
	ضعیف	۱۲	۲۲	۴۲	۵۲	۷۲	۸۲	ضعیف	۱۰۲	۱۱۲	۱۳۲	۱۴۲	۱۶۲	۱۷۲	ضعیف	۱۱۲	۱۲۲	۱۴۲	۱۵۲	۱۷۲	۱۸۲																	

هزینه تولید توسط کارگر سطح ۲

هزینه تولید توسط کارگر سطح ۳													
cmp ^s _{ij3}													
j	i						j	i					
	s	۱	۲	۳	۴	۵		s	۱	۲	۳	۴	۵
۱	رونق	۲۸	۳۸	۵۸	۷۸	۹۸	۱۰۸	رونق	۲۸	۳۸	۵۸	۷۸	۹۸
	خوب	۲۰	۳۰	۵۰	۶۰	۸۰	۹۰	خوب	۲۰	۳۰	۵۰	۶۰	۸۰
	متوسط	۱۶	۲۶	۴۶	۵۶	۷۶	۸۶	متوسط	۱۶	۲۶	۴۶	۵۶	۷۶
	ضعیف	۱۲	۲۲	۴۲	۵۲	۷۲	۸۲	ضعیف	۱۲	۲۲	۴۲	۵۲	۷۲

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

هزینه تولید توسط کارگر سطح ۱													هزینه تولید توسط کارگر سطح ۲													هزینه تولید توسط کارگر سطح ۳												
cfp ^s _{ij1}													cfp ^s _{ij2}													cfp ^s _{ij3}												
j	i												j	i												j	i											
	s	۱	۲	۳	۴	۵	۶	s	۱	۲	۳	۴		۵	۶	s	۱	۲	۳	۴	۵	۶																
۱	روفق	۴۲	۵۲	۷۲	۸۲	۱۰۲	۱۱۲	روفق	۱۳۲	۱۴۲	۱۶۲	۱۷۲	۱۹۲	۲۰۲	روفق	۱۴۲	۱۵۲	۱۷۲	۱۸۲	۲۰۲	۲۱۲																	
	خوب	۳۰	۴۰	۶۰	۷۰	۹۰	۱۰۰	خوب	۱۲۰	۱۳۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۸۰	۱۹۰	خوب	۱۳۰	۱۴۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۹۰	۲۰۰																	
	متوسط	۲۴	۳۴	۵۴	۶۴	۷۴	۹۴	متوسط	۱۱۴	۱۲۴	۱۴۴	۱۵۴	۱۷۴	۱۸۴	متوسط	۱۲۴	۱۳۴	۱۵۴	۱۶۴	۱۸۴	۱۹۴																	
	ضعیف	۱۸	۲۸	۴۸	۵۸	۷۸	۸۸	ضعیف	۱۰۸	۱۱۸	۱۳۸	۱۴۸	۱۶۸	۱۷۸	ضعیف	۱۱۸	۱۲۸	۱۴۸	۱۵۸	۱۷۸	۱۸۸																	

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

هزینه نگهداری محصول نهایی i															
clm ^{ij} _{ij}															
j	s	i						j	s	i					
		۱	۲	۳	۴	۵	۶			۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	رونق	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۵	۵۰	۱	رونق	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۸	۲۰
	خوب	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۴۰	۵۰		خوب	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۶	۲۰
	متوسط	۱۲	۱۷	۲۲	۲۷	۳۷	۴۷		متوسط	۴/۸	۶/۸	۸/۸	۱۰/۸	۱۲/۸	۱۴/۸
	ضعیف	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۵	۴۵		ضعیف	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۶

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

مرتبط با زمان ماشین برای تولید محصولات مشاهده می شود. جدول ۱۲ حجم اشغال یک واحد محصول را برای نگهداری و جدول ۱۳، هزینه برپایی تولید محصول در کارخانه ها را نشان می دهند.

جدول ۶. برخی هزینه های نیروی انسانی سطح k در کارخانه j 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 j و داده های 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 j 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

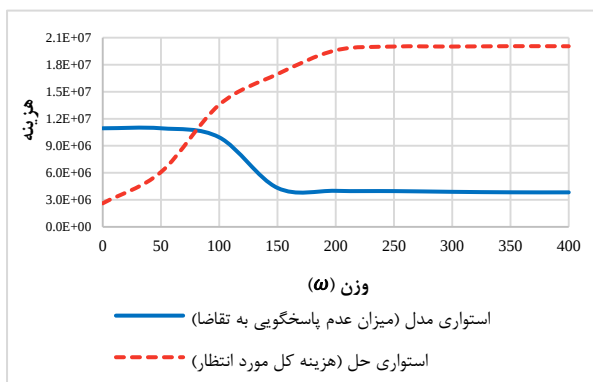
جدول ۱۶. مقادیر متغیر در رابطه با روش بهینه‌سازی استوار برای هر سناریو

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

جدول ۱۷. تفکیک هزینه‌ها

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

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 w ، 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 w ، راه‌حل به‌دست آمده برای تحقق هر سناریو از طریق پرداخت هزینه کل بیشتر تقریباً نزدیک به راه‌حل شدنی است. درنهایت، میزان عدم پاسخگویی به تقاضای مورد انتظار با افزایش در مقدار w به صفر کاهش می‌یابد. نتایج این پژوهش با نتایج مولوی و روس شینسکی [۲۶] سازگار است. درنتیجه، 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. درنتیجه، 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 w در تابع هدف ۶ پیدا کردن تبدیلی بین استواری حل (نزدیکی به راه‌حل بهینه) و استواری مدل (نزدیکی به راه‌حل شدنی) است. زمانی که $w = 0$ باشد؛ δ_{it}^s در محدودیت ۷ به دلیل حداقل‌سازی اهداف برابر با D_{it}^s است. درنتیجه، میزان کل عدم پاسخگویی به تقاضا به بالاترین مقدار خود می‌رسد. درنتیجه، ضروری است بهینه‌سازی استوار پیشنهادشده با مقادیر w 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 می آید؛ زیرا میزان عدم پاسخگویی مورد انتظار به تقاضا در محدوده قابل قبولی قرار می گیرد؛ یعنی هر دو عامل استواری مدل و استواری حل به میزان یکنواخت و ثابتی میل می کنند.

نتیجه گیری

در این پژوهش، یک مدل بهینه سازی استوار برای مسئله برنامه ریزی تولید ادغامی چندکارخانه ای محصولات فاسدشدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم ها یا سررسیدها و هدیه های سال نو با استفاده از سیاست تعویق در شرایط عدم قطعیت توسعه داده شد. برای مقابله با فساد، تولید محصول به دو مرحله (نیمه ساخته 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. برنامه ریزی تولید بهینه با در نظر گرفتن سناریوهای اقتصادی نسبت به تغییر داده های غیرقطعی، حساسیت کمتری دارد. در نتیجه، مدل سازی مسئله به صورت چند سناریو انجام گرفت. مدیریت می تواند با تبادل بین بهینگی و نشدنی بودن، یک راه حل استوار به دست آورد. با تجزیه و تحلیل پارامترهای جریمه، مدیریت تولید می تواند برنامه ریزی 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 می دهد مدل پیشنهاد شده برای سناریوهای اقتصادی غیرقطعی، معتبر است. می توان از مدل پیشنهادی برای مسائل واقعی برنامه ریزی تولید شرکت های تولیدکننده محصولات فاسدشدنی از قبیل پوشاک فصلی، تقویم ها یا سررسیدها و هدیه های سال نو در شرایط عدم قطعیت به خوبی استفاده کرد.

می توان این پژوهش را به شکل های مختلف توسعه داد. نخست، از داده های واقعی از شرکت های تولیدی برای اعتبارسنجی مدل و آنالیز حساسیت مدل نسبت به تغییرات راهبردهای برنامه ریزی تولید استفاده شود. دوم، آنالیز حساسیت روی مقدار وزن ω در تابع هدف می تواند به بررسی تبادل بین استواری راه حل و استواری مدل منجر شود. سوم، انتخاب سناریوها بیشتر بررسی شود. چهارم، در این مدل می توان هدف کاهش آلاینده های ناشی از تولید یا هدف کمینه کردن مدت زمان تحویل را تابع هدف دوم در نظر گرفت. باید توجه شود محاسبات و آنالیز مدل تحت سناریوهای مختلف، به نتیجه های متفاوتی منجر می شود.

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 Ruszczynski, 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
-