مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (زمستان ۱۳۹۹)
دوره‌ی ۱-۳۶، شماره‌ی ۲/۱، ص. ۷۳-۸۲

Original Article

انتخاب هم‌زمان تأمین‌کنندگان و تعیین سیاست موجودی زنجیره‌های تأمین غیرقطعی چندمحصولی با رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی

الناز توان (دانشجوی کارشناسی ارشد)
سیدمجتبی سجادی * (دانشیار)
دانشکده‌ی کارآفرینی، دانشگاه تهران

امروزه افزایش رقابت تجاری سازمان‌ها را مجبور به بهبود کارایی خود نموده است، از این رو در عرضه‌ی محصولات به خواسته‌های مورد نظر مشتری و به کیفیت و هزینه‌ی مورد نظر آنها توجه می‌شود. در این مقاله، سیستم زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک مشتری نهایی با فرض وجود چند محصول در نظر گرفته شده است. فرض بر این است که تولیدکننده در هر بار سفارش، مواد خام را بر اساس سیاست بهینه از یکی از تأمین‌کنندگان به مقدار Q دریافت می‌کند. هدف این نوشتار، تعیین سیاست کنترلی بهینه برای انتخاب تأمین‌کنندگان، بازپرسازی و تصمیمات بهینه‌ی کنترل کیفیت است به طوری که مجموع هزینه‌های متحمل شده ـ از جمله موجودی، تأخیر، بازرسی و بازپرسازی ـ و هزینه‌های تولید کمینه شود. رویکرد حل این مسئله بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی است. نتایج مثال عددی، کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین غیرقطعی، انتخاب بهینه‌ی تأمین‌کنندگان، کنترل کیفیت، بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی.

Elnaz_tavan@yahoo.com
msajadi@ut.ac.ir

۱. مقدمه و تاریخچه‌ی تحقیقات

در سال‌های اخیر، مطالعات مربوط به زنجیره‌ی تأمین پیشرفت خیلی سریعی داشته است و بر برنامه‌ریزی در این زنجیره تأکید شده است. زنجیره‌ی تأمین شبکه‌یی از واحدهایی را نشان می‌دهد که محصولی (کالا یا خدمات) را به مقدار مشخص، در زمان معین و در مکان معین تهیه کرده و آنها را به کالاهای واسطه‌یی و سپس به کالاهایی نهایی تبدیل کرده که عملکردشان در محدوده‌ی سطوح مختلف سازمانی و ملی قرار می‌گیرد. در نهایت محصولات نهایی از طریق سیستم توزیع به مصرف‌کنندگان (مشتریان) تحویل می‌شود تا ضمن کمینه‌سازی هزینه‌ی کل زنجیره، نیازهای مشتریان نیز با سطح سرویس بالا برآورده شود.[۱]

تمامی شرکت‌ها از مرحله‌ی مواد اولیه تا مصرف‌کننده‌ی نهایی در زنجیره‌ی تأمین مشارکت دارند. عوامل مختلفی نظیر پیچیدگی محصول، تعداد تأمین‌کنندگان موجود و در دسترس بودن مواد خام، کنترل و در حالت کلی اثربخشی و کارایی زنجیره‌ی تأمین، نظیر خرید، تولید، بازپرسازی، تأمین مالی و تدارکات را تحت تأثیر قرار می‌دهند. علاوه بر این، سطوح زنجیره‌ی تأمین و تعداد تأمین‌کنندگان و مشتریان در هر رده، مواردی هستند که در این زمینه باید مورد توجه قرار گیرد. از این رو بسیاری از شرکت‌ها با همکاری و هماهنگی زنجیره‌ی تأمین سازمان‌ها و به دنبال آن تصمیم‌گیری‌های استراتژیک بهتر، شروع به درک اهمیت استراتژیک برنامه‌ریزی، کنترل و طراحی یک زنجیره‌ی عرضه کرده‌اند. در بازار جهانی امروز، موفقیت نهایی شرکت بستگی به توانایی مدیریتی آن برای هماهنگی شبکه‌ی پیچیده و روابط تجاری بین شرکای زنجیره‌ی تأمین دارد.[۲ و ۳]

در انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب معیارهای کمی و کیفی بسیاری وجود دارد که باید آنها را مد نظر قرار داد. بنابراین انتخاب تأمین‌کننده‌ی صحیح ممکن است فرایندی پیچیده و سخت باشد.[۴] انتخاب تأمین‌کننده‌ی مناسب در طول سال‌های اخیر در زنجیره‌ی تأمین به یک مسئله‌ی مهم استراتژیک تبدیل شده است. لذا ماهیت تصمیم‌گیری در رابطه با انتخاب تأمین‌کننده‌ی مناسب به واسطه‌ی این حقیقت که در فرایند تصمیم‌گیری باید معیارهای مختلفی را مد نظر قرار داد، معمولاً پیچیده و ساختارنیافته است. از طرفی، از آن‌جا که تأمین‌کنندگان در تحقق محصولات با کیفیت، تأثیرگذارند انتخاب و توسعه‌ی تأمین‌کنندگان و تشخیص صلاحیت آنها از اهمیت زیادی برخوردار است.[۵]

مطالعه و بررسی تحقیقات و پژوهش‌های قبلی صورت گرفته در زمینه‌ی زنجیره‌ی تأمین غیرقطعی و موضوعات مشابه نشان می‌دهد که معیارهای اصلی و رایج در اکثر ادبیات‌های موضوع ارزیابی تأمین‌کنندگان، از جمله قیمت/هزینه، تحویل به موقع، کیفیت و ظرفیت تولید و جایابی آنهاست. بر این اساس می‌توان به این نتیجه رسید که علی‌رغم روند رو به رشد تقاضا برای بخش تولید و همچنین به علت پیچیدگی

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۵/۲۳، اصلاحیه ۱۳۹۸/۱۲/۱، پذیرش ۱۳۹۹/۲/۱۰.
DOI:10.24200/J65.2020.53191.1981

در سیستم زنجیره‌ی تأمین، در انتخاب تأمین‌کننده ویژگی‌هایی نظیر عدم قطعیت کمتر دیده شده است. بنابراین آنچه که این تحقیق را نسبت به تحقیقات دیگر متمایز می‌کند، چندمحصولی بودن و در نظرگرفتن عوامل قطعیت بیشتر آن است.

استراتژی‌های مختلفی درخصوص ارزیابی تأمین‌کنندگان درطول سالیان متمادی توسط پژوهشگران توسعه یافته و طبقه‌بندی شده است؛ این روش‌های انتخاب شده در طول فرایند زنجیره‌ی تأمین تأثیر زیادی بر نتیجه‌ی انتخاب دارند. در زنجیره‌ی تأمین می‌توان از شبیه‌سازی به عنوان یک روش کارآمد برای طراحی سناریوهای مختلف بهره‌مند شد.[۶] این ابزار، غالباً به عنوان مطالعه‌ی کاربردهای عملی در جهت مفروضات مدل تحلیلی قرار می‌گیرد.[۷]

۲. پیشینه‌ی تحقیق

ساویک[۸] مقاله‌یی تحت عنوان برنامه‌ریزی یکپارچه، برنامه‌ریزی تولید و توزیع تحت خطر اختلال ارائه داد. این مقاله یک روش برنامه‌نویسی مختلط تصادفی دوهدفه را برای انتخاب مشترک تأمین‌کنندگان و زمان‌بندی تولید و توزیع در یک موضوع زنجیره‌ی تأمین چندمرتبه به خطرات اختلال محلی و منطقه‌یی ارائه می‌کند. دو هدف متضاد کمینه‌سازی هزینه و بیشینه‌سازی سطح خدمات هستند. یافته‌ها نشان می‌دهد که برای تمام روش‌های حمل‌ونقل، پورتفولیوی تأمین خدمات‌گرا بیشتر از پورتفولیوی هزینه‌گراست و تصمیم‌گیری بیشتر در مورد هزینه، تأخیر تولید و زمان‌بندی توزیع است.

فیروز و همکاران[۹] در مطالعه‌شان تحت عنوان مسئله‌ی موجودی و انتخاب تأمین‌کننده‌ی یکپارچه با چند منبع و حمل‌ونقل جانبی، یک محصول و چند انبار را در نظرگرفته‌اند. فرض بر این است که انبارها با تقاضای تقریباً ثابت مواجه می‌شوند و موجودی خود را از طریق چندین تأمین‌کننده تأمین می‌کنند؛ این تأمین‌کننده‌ها از مجموعه‌یی از نامزدها با قیمت‌های متفاوت، ظرفیت و کیفیت و ویژگی‌های ناشی از آن تعیین می‌شود. علاوه بر این انبارها می‌توانند موجودی خود را از انبارهای دیگر تکمیل کنند. در انتها آنها مسئله را با استفاده از الگوریتم فراابتکاری حل کردند و با استفاده از شبیه‌سازی گسترش دادند. در حالی که الگوریتم یک جواب برای انتخاب تأمین‌کننده می‌دهد، شبیه‌سازی مقدار تابع هدف متناظر هر جواب تولید شده را ارزیابی می‌کند.

سان[۱۰] مقاله‌یی تحت عنوان مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده توسط شاخصه‌ی تجزیه‌وتحلیل ترکیبی ارائه داد. در این مقاله علاوه بر هزینه، هم‌افزایی در میان اجزای محصول و معیارهای انتخاب تأمین‌کننده در طول فرایند انتخاب تأمین‌کننده به صورت جامع در نظر گرفته شده است. شاخصه‌های کلیدی از قبیل هزینه‌ی کل، کیفیت، قابلیت اطمینان و زمان تحویل محصول نهایی، شناسایی و فرموله شده است. هدف از این مقاله ارائه‌ی یک مدل بیشینه ـ بیشینه برای کمک به انتخاب ترکیبی اختیاری از تأمین‌کنندگان طراحی شده است. در نهایت نتایج به دست آمده با انتخاب تأمین‌کننده‌ی فردی مقایسه می‌شود.

صاحب جمع‌نیا[۱۱] مقاله‌یی تحت عنوان مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده‌ی انعطاف‌پذیرو تخصیص سفارش به آن تحت عدم قطعیت ارائه داد. معیارهایی از قبیل کیفیت، تحویل، تکنولوژی، تداوم، توانایی‌های محیطی برای تعیین انعطاف‌پذیری وزن تأمین‌کنندگان مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مقاله برای به دست آوردن عملکرد کلی هر تأمین‌کننده، از روش‌های Dematel و ANP فازی استفاده شده است. هدف از این مقاله ارائه‌ی یک مدل ریاضی توسعه‌یافته برای بیشینه‌سازی عملکرد کلی تأمین‌کنندگان است به طوری که کل هزینه‌ی شبکه کمینه شود. مدل ریاضی پیشنهاد شده به تصمیم گیرندگان برای انتخاب تأمین‌کنندگان کمک می‌کند و با توجه به کمبود، مقادیر سفارش مطلوب را ترتیب می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان دهنده سودمندی و کاربرد مدل ریاضی پیشنهادی است.

علیخانی و همکاران[۱۲] مقاله‌یی با عنوان انتخاب تأمین‌کننده‌ی استراتژیک تحت معیارهای پایداری و ریسک ارائه دادند. روش مورد استفاده در این پژوهش مطالعات تجربی کمّی و مدل‌سازی تحلیلی است. در این مقاله از دو مجموعه‌ی فازی برای کمّی کردن ورودی تصمیم‌گیرندگان و نیز از یک مدل طراحی آزمایش ـ شامل ورودی‌ها و خروجی‌های نامطلوب برای ارزیابی تأمین‌کنندگان ـ استفاده شده است. این رویکرد به طور هم‌زمان فاکتورهای ریسک و تأمین‌کنندگان را در مسئله‌ی انتخاب عرضه‌کننده قرار می‌دهد. این مدل هم برای تصمیم‌گیرندگان ریسک و هم مخالفان ریسک توسعه داده می‌شود. در پایان یک مثال عددی برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که معیارهای پایداری یا فاکتورهای ریسک به طور جداگانه منجر به تصمیمات نادرست می‌شود.

۳. تشریح مسئله

مسئله‌ی مورد بررسی در این مقاله، انتخاب هم‌زمان تأمین‌کنندگان و تعیین سیاست موجودی زنجیره‌های تأمین غیرقطعی تولیدی چندمحصولی با رویکرد بهینه‌سازی مبتنی بر شبیه‌سازی است. در این مقاله، بهینه‌سازی تولید یکپارچه، بازپرسازی، کیفیت و مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده به زمان تحویل تصادفی، دسترسی تصادفی به سیستم تولید، هزینه‌ی خرید تصادفی و نسبت تصادفی مواردِ نامنطبق مرتبط است.

سیستم زنجیره‌ی تأمین مورد مطالعه، سه‌مرحله‌یی شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده، چند نوع محصول و یک مشتری نهایی است که فرض خرابی و شکست ماشین آلات و محصولات به آن وارد است. در زمان سالم بودن ماشین‌آلات، محصولات با نرخ $0 < U_i(t) \leq U_{Max}$ تولید می‌شود و پس از هر مرحله از تولید، انباری وجود دارد که میزان موجودی باقی‌مانده، در آن ذخیره می‌شود تا در زمان خرابی و شکست ماشین مرحله‌ی (i-۱)، فرایند تولید متوقف نشود. در واقع می‌توان گفت که انبار، از تأثیر مستقیم شکست ماشین بر تقاضا جلوگیری می‌کند. به عبارت دیگر، با خرابی ماشین، تقاضای جاری مورد نیاز از انبار برداشته می‌شود تا ماشین تعمیر و به فرایند تولید باز شود.

فرضیات مدل مفروض در این نوشتار عبارت است از:

- تقاضای محصول نهایی، گسسته و همواره موجود است.
- نرخ تولید گسسته است.
- برای محصول نهایی کمبود از نوع پس‌افت مجاز است.
- ظرفیت تأمین‌کننده نامحدود است.
- در زمان شروع سیستم، تمامی ماشین‌ها سالم و آماده انجام عملیات هستند.
- فرایند تولید می‌تواند محصولات نامنطبق اضافی تولید کند و تولید کننده می‌تواند به علت خرابی و عملیات تعمییر در دسترس نباشد.
- زمان خرابی (شکست) و تعمیر کلیه‌ی ماشین‌ها نمایی است.
- تقاضا از تابع توزیع گسسته پیروی می‌کند.

- برای ماشین‌ها دو نوع تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه در نظر گرفته شده است.
- به تعداد نوع محصولات، ماشین و انبار نگهداری محصول نهایی وجود دارد.

۴. علائم، نمادها و رابطه‌های ریاضی

۱.۴. علائم و نمادها

نمادهای مورد استفاده در این نوشتار عبارت‌اند از:

$AOQ_k(\circ)$: میانگین کیفیت خروجی مواد نامنطبق در مواد خام؛

$AOQ_{SOk}(\circ)$: میانگین کیفیت خروجی مواد نامنطبق در مواد خام هنگامی که سیاست انتخاب تأمین‌کننده SO انتخاب می‌شود.

$AOQ_{SMk}(\circ)$: میانگین کیفیت خروجی مواد نامنطبق در مواد خام هنگامی که سیاست انتخاب تأمین‌کننده SM انتخاب می‌شود.

$p^{Prod_k}(\circ)$: نسبت مواد نامنطبق تولید شده در سیستم تولیدی؛

Dem_k: نرخ تقاضای محصول نهایی برای هر یک از محصولات؛

u_k^{max}: بیشینه‌ی نرخ تولید ماشین؛

M_i: ماشین iام؛

FP_i: انبار مربوط به ماشین iام؛

X_L: انبار مربوط به مواد خام تأمین‌کننده‌ی Lام؛

K: تعداد محصولات یا ماشین‌ها؛

n: اندازه‌ی نمونه؛

C: عدد پذیرش محموله؛

d: تعداد اقلام خام نامنطبق در یک نمونه؛

L: تعداد تأمین‌کنندگان؛

$P^j(\circ)$: مقدار تولید نامنطبق که از تأمین‌کننده‌ی j ارسال می‌شود؛

$\delta^j(\circ)$: تأخیر در بازپرسازی برای ارسال مواد خام از تأمین‌کننده‌ی jام؛

τ_{insp}: تأخیر در بازرسی هر واحد؛

W^j: هزینه‌ی ثابت سفارش تأمین‌کننده‌ی jام؛

$CR^j(\circ)$: هزینه‌ی خرید مواد خام از تأمین‌کننده‌ی jام؛

C_R^H: هزینه‌ی نگهداری مواد خام؛

C_{RFk}^T: هزینه‌ی انتقال مواد خام تا محصول نهایی؛

C_{Fk}^H: هزینه‌ی نگهداری محصول نهایی؛

C_{Fk}^B: هزینه‌ی کمبود محصول نهایی؛

C_{inspk}: هزینه‌ی بازرسی مواد خام؛

C_{NC}^R: هزینه‌ی پذیرش مواد خام نامنطبق.

۲.۴. متغیرهای تصمیم

متغیرهای تصمیم در این نوشتار عبارت است از:

Q: مقدار سفارش مواد اولیه؛

S: نقطه‌ی سفارش مواد اولیه؛

Z_{prk}: نقطه‌ی محدودکننده‌ی محصول نهایی هر یک از محصولات برای سیاست تولیدکننده؛

Z_{sk}: نقطه‌ی محدودکننده‌ی محصول نهایی هر یک از محصولات برای سیاست انتخاب تأمین‌کننده.

۵. معادلات و ساختار سیاست‌های کنترل

حال با استفاده از نمادهای ذکر شده، معادلات مسئله‌ی مورد بررسی را تبیین و فرمول‌ها و مدل ریاضی مربوطه را توضیح می‌دهیم. در فرمول‌بندی مسئله، سه مؤلفه برای تعریف وضعیت زنجیره‌ی تأمین در زمان t در نظر گرفته شده است:

- بخش گسسته $a(t)$، که وضعیت سیستم تولیدی را توصیف می‌کند. تولیدکننده در هنگام عملیات در دسترس است ($a(t)=1$) و در زمان خرابی (شکست) در دسترس نیست ($a(t)=2$).
- بخش پیوسته $y_x(t)$، میزان تجمعی محصول نهایی را توصیف می‌کند. این بخش می‌تواند برای موجودی مثبت و برای عقب افتادگی (پس‌افت) منفی باشد.
- بخش پیوسته $x(t)$، میزان تجمعی مواد خام را توصیف می‌کند. این بخش پس از بازرسی نمونه‌برداری by-lot-lot، با یک تأمین‌کننده‌ی بالادست و تقاضای پیوسته‌ی پایین‌دست مواجه می‌شود. (برای مثال، نرخ تولید هر نوع محصول $U_k(\circ)$ است.

پویایی سطح موجودی $y_k(t)$ و $x(t)$ توسط معادلات دیفرانسیل زیر مطرح می‌شود:

$$\dot{y}_k(t) = u_k(t.\alpha) - \frac{Dem_k}{(1-AOQ_k(t)).(1-pProd_k(t))}.y_k(\circ)$$

$$= y_{\circ k} \forall t \geq \circ \quad (1)$$

$$\dot{x}(t) = -u_k(t.\alpha).x(\circ) = x_\circ \forall t \in]\xi_i.\xi_{i+1}[\quad (2)$$

$$x\left(\xi_i^+\right) = x\left(\xi_i^-\right) + Q_i \forall i = 1 \ldots N \quad (3)$$

که $y_{\square k}$ و $x_\circ$ سطح موجودی اولیه، Dem_k نرخ تقاضای مشتری برای هر یک از محصولات، $u_k(t.a)$ میزان محصول سیستم تولیدی در حالت a، $AOQ_k(t)$ میانگین کیفیت خروجی مواد نامنطبق در مواد خام، $p^{Prod}(t)$ نسبت مواد نامنطبق تولید شده توسط سیستم تولیدی و ξ_i^+، ξ_i^- حد پذیرش مثبت و منفی N نمونه بعد از عملیات کنترل کیفیت را نشان می‌دهند.

۱.۵. سیاست تولید، بازپرسازی، کنترل کیفیت

چندین مدل برای یکپارچگی تصمیم‌گیری‌های تولید و بازپرسازی یک زنجیره‌ی تأمین در یک زمینه پویا تصادفی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.[۱۳]

محققین با فرض مواد اولیه‌ی با کیفیت کافی یک زنجیره‌ی تأمین شامل چند تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک مشتری را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه نویسندگان نشان دادند که سیاست بازپرسازی می‌تواند توسط سیاست HPP و یک سیاست $(s.Q)$ تعریف شود. سیاست HPP شامل حفظ و نگهداری ذخیره‌ی اطمینان Z_{prk} است که با تأخیر در عملیات عرضه، عملیات تعمیر تولیدکننده و کمبود ظرفیت مواجه است و سیاست $(s.Q)$ شامل مقدار سفارش اقتصادی به میزان Q از مواد خام در مواقعی است که سطح موجودی مواد اولیه به مقدار s کاهش می‌یابد.

محققین با فرض مواد اولیه با کیفیت ناکافی یک زنجیره‌ی تأمین، شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک مشتری را مورد بررسی قرار دادند[۱۴ و ۱۵] و نشان دادند که سیاست تولید توسط MHPP (اصلاح شده‌ی سیاست نقطه‌ی هجایی) کنترل می‌شود و همچنین سیاست بازپرسازی توسط سیاست $(s.Q)$ کنترل می‌شود.

$$u(\cdot)=\begin{cases} u_k{}^{max} & if\ (y_k(t)<Z_{Prk})\ and\ (x(t)>0)\ and\ (\alpha=1) \\ \frac{Dem_k}{(1-AOQ_k(t)).(1-pProd_k(t))} & if\ (y_k(t)=Z_{Prk})\ and\ (x(t)>0)\ and\ (\alpha=1) \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (4)$$

۲.۵. سیاست تولید[1]

برای کنترل نرخ تولید $U_k(0)$، سیاست نقطه‌ی محدودکننده‌ی اصلاح شده MHPP [2] به کار گرفته می‌شود.[۱۳] این سیاست به ما اجازه می‌دهد تا به نسبت آیتم‌های مواد خام نامنطبق بعد از کنترل کیفیت AOQ_k در زمانی که نرخ تولید از نرخ تقاضا پیروی می‌کند، توجه کنیم. اگر چه بر خلاف مطالعات فوق، این نسبت باید با توجه به تأمین‌کنندگان انتخاب شده مختلف معادله‌ی ۱۰ و ماهیت تصادفی نامنطبق محاسبه شود معادله‌های ۶ و ۱۰ در این صورت، MHPP چنین نمایش داده می‌شود:

که در آن u_k^{max}، بیشترین میزان نرخ تولید و Z_{prk} سطح محدودکننده‌ی محصول نهایی برای سیاست تولیدکننده را نشان می‌دهد.

۳.۵. سیاست بازپرسازی[3]

سیاست $(s.Q)$ در دو حالت مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱- کنترل بازپرسازی برای چند تأمین‌کننده و مواد خام با کیفیت عالی[۱۳]

۲- کنترل بازپرسازی یک تأمین‌کننده وکیفیت ناکافی موادخام (مواد خام نامنطبق)[۱۴]

این سیاست سطح بالایی از اثربخشی و سطح قابل توجهی از تعامل با سایر پارامترهای کنترل $(Z_{prk}...)$را نشان می‌دهد. بنابراین، انتخاب این سیاست به نظر می‌رسد که به خوبی توجیه شده باشد که در آن S نقطه‌ی سفارش مواد اولیه و Q مقدار سفارش مواد خام است.

۴.۵. سیاست کنترل کیفیت[4]

این سیاست طی نمونه گیری پذیرش انباشته به انباشته[5]، برای کنترل کیفیت مواد خام تحویل داده شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از بازرسی اگر محموله رد شود، آن محموله به تأمین‌کننده‌ی اصلی خود بازگردانده می‌شود و سپس یک سفارش جدید قرار می‌گیرد. از آن‌جا که تأمین‌کنندگان با پارامترهای تصادفی (هزینه، تأخیر در تحویل و کیفیت) مشخص می‌شود، ممکن است تأمین‌کننده‌ی رد شده برای تصمیم بعدی انتخاب خوبی نباشد. اگر تأمین‌کننده‌ی دیگر از نظر معیارهای هزینه، تأخیر در تحویل و کیفیت بهتر از تأمین‌کننده‌های دیگر بود، آن تأمین‌کننده انتخاب خواهد شد.

احتمال پذیرش محموله‌یی که از تأمین‌کننده‌ی j دریافت می‌شود، می‌تواند با استفاده از توزیع احتمال دو جمله‌یی زیر محاسبه شود:

$$P_\alpha^j\left(p^j(t)\right)=\sum_{d=0}^{c}\frac{n!}{d!\,(n-d)!}\left(p^j(t)\right)^d\left(1-p^j(t)\right)^{n-d} \quad (5)$$

۵.۵. ساختار سیاست انتخاب تأمین‌کننده[6]

در این بخش، دو سیاست انتخاب تأمین‌کننده را ارائه می‌دهیم:

۱.۵.۵. سیاست تأمین‌کننده‌ی بسیار مناسب ((SO(j)

سیاست $SO(j)$ شامل انتخاب مناسب ترین تأمین‌کننده از بین تمامی تأمین‌کننده‌ها و حفظ دائمی آنها است.

در این روش تصمیم‌گیرنده مراحل زیر را طی می‌کند: مرحله‌ی ۰) تقسیم مرحله‌ی ادغام شده به L مسئله‌ی مستقل با در نظر گرفتن یک تأمین‌کننده در یک زمان. بنابراین زمانی که یک تأمین‌کننده‌ی j در نظر گرفته می‌شود، $AOQ_{So(j)k}(0)$ می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$AOQ_{SO(j)_k}(.)=\frac{\sum_{i=1}^{N(t)}\left(P^i(t)\right)_i.Q}{\sum_{i=1}^{N(t)}Q} \quad (6)$$

که در آن $N(t)$ نشان دهنده‌ی تعداد موارد پذیرفته شده پس از بازرسی $(P^j(t))_i$، نسبت اقلام معیوب از تأمین‌کننده‌ی j در iامین محموله پذیرفته می‌شود.

مرحله‌ی ۱) تعیین هزینه‌ی کل برای هر مسئله L:

$$Cost_j.j=1.....l$$

مرحله‌ی ۲) به دست آوردن کل هزینه‌ی بهینه در زمان انتخاب تأمین‌کننده‌ی j برای هر مسئله‌ی L:

$$Cost_j^*.j=1.....l$$

مرحله‌ی ۳) انتخاب تأمین‌کننده‌یی که کم‌ترین هزینه را دارد.

$$\min(Cost_j^*).j=1.....l$$

که $Cost_j^*$ نشان دهنده‌ی کل هزینه‌ی بهینه در زمان انتخاب تأمین‌کننده‌ی j است.

مسئله‌ی بهینه‌سازی سیاست $SO(j)$ شامل یافتن مقادیر بهینه‌ی نقطه‌ی سفارش S، اندازه انباشته مواد خام Q و سطح محصول نهایی Z_{Prk} است به طوری که، کل هزینه‌ی ایجاد شده مورد انتظار $(Cost(0))$ کمینه شود. این هزینه‌ها شامل، هزینه‌ی سفارش‌دهی، هزینه‌ی مواد خام و هزینه‌ی نگهداری مواد خام، هزینه‌ی نگهداری/کمبود محصول نهایی، هزینه‌ی ارسال، هزینه‌ی نمونه گیری و هزینه‌ی جایگزینی محصولات نامنطبق است.

۲.۵.۵. سیاست انتخاب تأمین‌کننده‌ی پویا $(SM(1,2,.....L))$

در این سیاست، استدلال می‌کنیم که انتخاب تأمین‌کننده بر کل زنجیره‌ی تأمین از جمله هزینه، تأخیر در تحویل، کیفیت و وضعیت سیستم (سطح موجودی مواد خام و محصول نهایی) تأثیر می‌گذارد. یک سیاست انتخاب تأمین‌کننده‌ی جدید که شامل انتخاب بهترین تأمین‌کننده‌ی پویا با در نظرگرفتن عملکرد ارائه دهنده نه تنها از نظر هزینه، تأخیر در تحویل و کیفیت، بلکه همچنین با توجه به وضعیت سیستم (سطح موجودی مواد خام و محصول نهایی) ارائه می‌دهیم. متغیرهای تصمیم سیاست $SM(1,2,.....l)$، نقطه‌ی سفارش S، اندازه انباشته مواد خام Q، نقطه‌ی محدود کننده‌ی محصول نهایی هر یک از محصولات برای سیاست تولیدکننده‌ی Z_{Prk}،

نقطه‌ی محدودکننده‌ی محصول نهایی هر یک از محصولات برای سیاست انتخاب تأمین‌کننده‌ی Z_{Sk} می باشند. هدف کمینه‌سازی مجموعه هزینه‌ی مورد انتظار است که این هزینه شامل متوسط هزینه‌ی نگهداری مواد خام، هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های نگهداری/کمبود محصول نهایی، متوسط هزینه‌های سفارش و کیفیت است.

این سیاست از کنترل یک سیستم تولیدی با مسئله‌ی ظرفیت پذیری الهام گرفته شده است.[۱۶] در این مقاله نویسندگان نشان دادند که هنگامی که یک سطح موجودی تمام شده‌ی قابل توجهی وجود نداشته باشد، سیستم ممکن است با خطر زیاد کمبود مواجه شود. بنابراین سیستم تولید، ظرفیت تولید خود را با دو ماشین به منظور اجتناب از هزینه‌های قابل توجه افزایش می‌دهد، حتی اگر چنین تصمیمی هزینه‌های تولید را افزایش دهد. هنگامی که سطح قابل توجهی از موجودی نهایی وجود داشته باشد، سیستم ممکن است با خطر پایین کمبود کالا مواجه شود، پس سیستم تولیدی تنها با یک ماشین تولید می‌کند تا هزینه‌های کل تولید را کاهش دهد.

در این نوشتار، همانطورکه طرح پذیرش Lot by Lot در نظرگرفته شده است، تصمیم‌گیرنده نه تنها در مواقعی که سازنده مجبور به جایگزینی سفارش تضمین شده از مواد خام کافی برای سیستم تولیدی است بلکه در هر زمانی که نمونه تحویل گرفته شده بعد از بازرسی‌های کنترلی رد شود مجبور به جایگزینی سفارش مواد خام است.

در حالت کلی انتخاب تأمین‌کننده طبق حالت‌های زیر انجام می‌پذیرد:

حالت ۱) در صورتی که سطح موجودی هریک از محصولات نهایی بیشتر از Z_{Sk} باشد، تصمیم‌گیرنده فرض می‌کند که به اندازه‌ی کافی از محصول نهایی وجود دارد، پس بهتر است که کل هزینه‌ی خرید را کاهش دهیم. (طبق معادله‌ی ۷).

$$CQ^{jk}(t)=\sum_{J=1}^{L}\frac{CR^{jk}(t)+\frac{W^{jk}}{Q}}{P_{\alpha}^{j}\left(p^{j}(t)\right)} \qquad (۷)$$

در این صورت ممکن است کیفیت محموله پایین آید و باعث رد محموله شود. با این حال تصمیم‌گیرنده نباید اثر تواتر بازگشت محموله بعد از کنترل کیفیت را نادیده بگیرد. تواتر بازگشت بالای محموله باعث افزایش تأخیر در تحویل مواد خام و محصول نهایی می‌شود. بنابراین باید تواتر تصمیم بازگشت را به وسیله‌ی انتخاب تأمین‌کننده با بیشترین احتمال پذیرش محموله $\max\left(P_{a}^{j}\left(p^{j}(t)\right)\right)$ یا $\min\left(\frac{1}{P_{a}^{j}\left(p^{j}(t)\right)}\right)$ کاهش دهیم. پس باید جنبه‌ی کیفی محموله‌ی ارسالی را بررسی کنیم طبق معادله‌ی ۷ در این شرایط، تأمین‌کننده‌یی که کم‌ترین $\sum_{J=1}^{L}CQ^{j}(t)$ را دارد باید انتخاب شود. در این صورت به طور هم‌زمان هزینه‌ی کاهش و کیفیت افزایش پیدا می‌کند.

حالت ۲) در صورتی که سطح موجودی هریک از محصولات نهایی کم است (زیر آستانه Z_{Sk}) تصمیم‌گیرنده باید روی تأمین‌کننده‌یی تمرکز کند که سریع‌ترین بازپرسازی را ارائه می‌دهد $\left(Min\left(\delta^{jk}(t)\right)\right)$. انتخاب تأمین‌کننده‌یی که تأخیر در تحویل کم‌تری دارد ممکن است میزان مواد خام را افزایش داده و تداوم روند تولید تضمین شده است که بدین ترتیب هزینه‌ی پس‌افت محصول نهایی کاهش پیدا می‌کند. اگر چه تواتر بازگشت محموله، تأخیر در تحویل مواد خام و محصول نهایی را افزایش می‌دهد، این امر به این دلیل است که ما باید به طور پیوسته جنبه‌ی کیفیتی محصول ارسال شده را مورد بررسی قرار دهیم. معادله ۳-۸ را نگاه کنید. در این شرایط، تأمین‌کننده‌یی که کم‌ترین مقدار $\sum_{J=1}^{L}DQ^{j}(t)$ را دارد باید انتخاب شود. در این صورت به طور هم‌زمان تأخیر در تحویل کاهش و کیفیت افزایش پیدا می‌کند.

$$DQ^{jk}(t)=\sum_{J=1}^{L}\frac{\delta^{jk}(t)}{P_{\alpha}^{j}\left(p^{j}(t)\right)} \qquad (۸)$$

پس سیاست تأمین‌کننده‌ی پویا $SM(1,2,....l)$ مطابق رابطه‌ی ۹ تعریف می‌شود:

$$\text{سیاست SM}\begin{cases} Min\left(\sum_{J=1}^{L}CQ^{j}(t)\right).if\, x(t)\le sandy_{k}(t)\ge Z_{Sk} \\ Min\left(\sum_{J=1}^{L}DQ^{j}(t)\right).if\, x(t)\le sandy_{k}(t)< Z_{Sk}\end{cases} \qquad (۹)$$

که در آن Z_{Sk} سطح محدودکننده‌ی محصول نهایی هریک از محصولات برای سیاست انتخاب تأمین‌کننده‌ی $Z_{Sk}\le Z_{Prk}$ و l تعداد تأمین‌کنندگان است. زمانی که سیاست $SM(1,2,....l)$ اعمال می‌شود، [۵] $AOQ_{SM(1,2,....l)}$ می‌تواند به صورت هم‌زمان از رابطه‌ی ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$AOQ_{SM(1,2,....l)}(t)=\frac{\sum_{i=1}^{N(t)}\left(p^{\lambda\left(H_{rej}\right)}(t)\right)_{i}.Q}{\sum_{i=1}^{N(t)}Q} \qquad (۱۰)$$

که در آن N(t) نشان‌دهنده‌ی تعداد آیتم‌های پذیرفته شده پس از بازرسی در زمان t است و $\left(P^{\lambda\left(H_{rej}\right)}(t)\right)_{i}$ نشان‌دهنده‌ی نسبت آیتم‌های نامنطبق در iامین قطعه‌ی پذیرفته شده است که توسط تأمین‌کننده‌ی منتخب $\lambda(H_{rej})$ تحویل داده شده است.

۶. مدل‌سازی شبیه‌سازی

انتخاب تأمین‌کننده یکی از اجزای مهم و حیاتی برای تولید و مدیریت زنجیره‌ی تأمین بسیاری از سازمان‌هاست. یکی از روش‌های کارا در این زمینه، استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌یی با هدف‌گذاری‌های مختلف است. همان طورکه در فصل اول بیان شد، به علت پیچیدگی حل مسئله سیستم‌های زنجیره‌ی تأمین و نیز عدم قطعیت آنها، شبیه‌سازی ابزار مناسبی برای حل این گونه مسائل است. در نوشتار حاضر، شبیه‌سازی سیستم مفروض با استفاده از نرم‌افزار ARENA ۱۴/۰انجام شده است. شبیه‌سازی سیستم زنجیره‌ی تأمین مورد مطالعه در این مقاله در قالب چهار بخش مجزا اعم از بخش انتخاب تأمین‌کننده، بخش تولید، بخش نگهداری تعمیرات پیشگیرانه و بخش پاسخ به نیاز مشتری انجام می‌شود که در آن$(s.Q.Z_{prk}\ and\ Z_{sk})$ به عنوان ورودی و جمع کل هزینه‌های وارده به عنوان خروجی مدل در نظرگرفته می‌شود.

۱.۶. تعریف متغیرها و پارامترهای مدل

در ابتدای شبیه‌سازی، پارامترها و متغیرهای مدل مفروض، تعیین می‌شود. مقادیر متغیرهای تصمیم Z_{prk}، Q، S و Z_{Sk} قبل از شروع مدل‌سازی، تعریف و برای یک بار مقداردهی می‌شود. در طول اجرای شبیه‌سازی، با استفاده از روش OptQuest، مقادیر آنها تغییر می‌کند. متغیرهای دیگر مدل، اعم ازکل هزینه‌ی نگهداری موجودی، کل هزینه‌ی کمبود، کل هزینه‌ی تولید و فساد کالا و ... نیز تعریف می‌شود که در طول اجرای شبیه‌سازی مقادیر آنها تعیین می‌شود.

پارامترهای سیستم جزء پارامترهای سراسری مدل است و مقادیر آنها در طول اجرای شبیه‌سازی با سناریوهای متفاوت، ثابت است. از جمله‌ی این پارامترها می‌توان

به هزینه‌ی ثابت سفارش تأمین‌کننده‌ی j‌ام، هزینه‌ی خرید مواد خام، تأخیر در بازپرسازی برای ارسال مواد خام از تأمین‌کننده‌ی j‌ام، مقدار تولید نامنطبق که از تأمین‌کننده‌ی j ارسال می‌شود، هزینه‌ی نگهداری، کمبود به ازای هر واحد محصول در دوره، میزان موجودی اولیه‌ی انبار و . . . اشاره کرد.

۲.۶. ورود قطعات

در این مرحله قطعات بر حسب یک زمان‌بندی خاص وارد سیستم می‌شوند و این ماژول را برای انجام فعالیتی در سیستم ترک می‌کنند. ورود هر نهاده در بخش انتخاب تأمین‌کننده، تولید، مشتری به ترتیب به عنوان شروع یک فرایند اطلاعات از جانب تأمین‌کننده، شروع یک فرایند تولید، شروع یک فرایند پاسخ به نیاز مشتری در هر دوره‌ی شبیه‌سازی است. خلق نهاده بر حسب ساعت انجام می‌شود.

۱.۲.۶. بخش انتخاب تأمین‌کننده

بعد از تولید نهاد در بخش انتخاب تأمین‌کننده و ورود اطلاعات، ابتدا پارامترهای مربوطه تعریف می‌شود. اگر موجودی مواد خام (مواد اولیه) کم‌تر از نقطه‌ی سفارش مواد اولیه باشد، در این صورت سطح محصول نهایی هر یک از محصولات $y_k(t)$ با نقطه‌ی محدودکننده‌ی محصول نهایی هر یک از محصولات برای سیاست انتخاب تأمین‌کننده (Z_{SK}) مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس با توجه به حالات ۱ و ۲ در فوق‌الذکر فرمول ۷ و ۸ در جهت انتخاب تأمین‌کننده‌ی مطلوب تصمیم‌گیری انجام می‌گیرد؛ در این صورت به منظور تولید نهاد سیگنالی به بخش تولید ارسال می‌شود.

۲.۲.۶. بخش تولید محصول نهایی

پس از ارسال سیگنال از بخش انتخاب تأمین‌کننده و آزاد شدن نهاد در بخش تولید، تولیدکننده یک طرح نمونه‌گیری به کار می‌گیرد به این صورت که یک نمونه‌ی تصادفی n تایی و یک معیار پذیرش C مشخص می‌شود. بر اساس این طرح بازرسی، اگر تعداد اقلام نامنطبق d که در این نمونه‌ی n تایی یافت می‌شود، برابر یا کم‌تر از C باشد، انباشته قابل قبول خواهد بود و پذیرفته می‌شود؛ در غیر این صورت اقلام تحویل شده به تأمین‌کننده بازگردانده می‌شود و مجدداً سفارش جدید داده می‌شود. در این لحظه تولیدکننده موظف به حفظ همان تأمین‌کننده نیست و ممکن است برای تصمیم‌گیری بعدی انتخاب خوبی نباشد. لذا تولیدکننده می‌تواند هر تأمین‌کننده‌دیگری را که شرایط بازپرسازی بهتری از نظر هزینه، تأخیر تحویل و کیفیت مواد اولیه داشته باشد، انتخاب کند. پس از انجام نمونه‌گیری، مواد خام با توجه به نوع محصولات تولیدی به k بخش تولیدی تقسیم می‌شود و حالات ماشین اعم از خراب، سالم، بیکار مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر ماشین خراب باشد تولید صورت نمی‌گیرد و قطعه از سیستم خارج می‌شود. به منظور شبیه‌سازی فرایند شکست و تعمیر ماشین‌آلات برای هر ماشین به طور جداگانه، خرابی را تعریف و زمان بین دو خرابی[۷] و مدت زمان خرابی[۸] هر ماشین بر حسب دقیقه تعریف می‌شود. فرایند سالم بودن و شکست ماشین‌آلات یک فرایند مارکوف زمان پیوسته بوده و از توزیع نمایی پیروی می‌کند. این شکست‌ها به هر ماشین اختصاص می‌یابد.

اگر ماشین سالم باشد، قبل از تولید محصول، سطح کلیه‌ی مواد مورد نیاز در دسترس بررسی می‌شود که این نیز با استفاده از همین ماژول انجام می‌شود. در صورتی که میزان موجودی در اختیار، به اندازه‌ی کافی نباشد تولید متوقف می‌شود و در غیر این صورت فرایند تولید ادامه می‌یابد. در این زمان، بر اساس سیاست کنترلی طبق فرمول ۴، سه حالت ممکن است رخ دهد:

۱. اگر میزان موجودی در اختیار در زمان t ,$(Y_k(t))$، بیشتر از نقطه‌ی محدودکننده‌ی محصول نهایی هریک از محصولات برای سیاست انتخاب تأمین‌کننده (Z_{Sk}) باشد فرایند تولید متوقف می‌شود و تولید صورت نمی‌گیرد.

۲. در صورتی که رابطه‌ی $Y_k(t) < Z_{Sk}$ برقرار باشد، تولید با بیشینه توان انجام می‌شود.

۳. در غیر این صورت تولید با نرخ $\frac{Dem_k}{(1-AOQ_k(t)).(1-pProd_k(t))}$ انجام می‌گیرد.

سپس فرایند تولید محصول انجام می‌گیرد؛ بدین صورت که ماشین، منبع مورد نیاز را اختیار کرده و پس از مدتی تأخیر بابت تولید کالا، منبع آزاد می‌شود. نوع تأخیر، ثابت بوده و مدت زمان به کارگیری منبع برابر با عکس نرخ تولید و بر حسب ساعت است که بیان‌گر فاصله‌ی میان تولید دو کالاست. بعد از تولید، یک واحد به موجودی انبار مربوطه اضافه می‌شود. به منظور تولید نهاده سیگنالی به بخش رفع نیاز مشتری ارسال می‌شود.

۳.۲.۶. بخش ورود مشتری و فرایند تأمین تقاضا و کمبود

با ارسال سیگنال از بخش تولید، مشتریان با نرخ d در واحد زمان (بر حسب روز) وارد سیستم می‌شوند. در نتیجه، زمان بین دو ورود برابر با $1/d$ است.

$$Time\ Between\ Arrival = 1/d \qquad (11)$$

این فرایند نیز مانند ورود قطعات به سیستم، با نرخ ثابت نشان داده شده است. وقتی مشتری وارد سیستم می‌شود، چنانچه موجودی کافی در انبار نباشد، مشتریان منتظر تولید و دریافت کالا می‌مانند. اما در صورتی که موجودی در انبار وجود داشته باشد، کالا به مشتری تحویل داده می‌شود.

۴.۲.۶. بخش فرایند نگهداری تعمیرات پیشگیرانه

پس از تولید قطعات در این بخش، فرایند تعمیرات محصول انجام می‌گیرد بدین صورت که ماشین، منبع مورد نیاز (ماشین و تکنسین) را به خدمت می‌گیرد و پس از مدتی تأخیر در تولید کالا، منبع آزاد می‌شود.

۷. مثال عددی

در این نوشتار به مسئله‌ی ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان در ساختار یک زنجیره‌ی تأمین غیرقطعی پرداخته می‌شود. همچنین به منظور محاسبه‌ی شاخص‌های عملکردی سیستم و بهینه‌سازی آن به روش OptQuest از مثال عددی استفاده شده است. لازم به توضیح است که در مثال عددی این تحقیق، در رابطه با تعیین پارامترهای سیستم، بالانس خط در نظر گرفته شده است. برای اجرای مدل لازم است بعضی از پارامترهای مدل به صورت زیر تنظیم شود:

سیستم تولیدی زنجیره‌ی تأمین با چند تأمین‌کننده، دو ماشین و دو مشتری، به منظور تعیین نرخ بهینه‌ی تولید، نقطه‌ی سفارش اولیه، نقطه‌ی محدودکننده‌ی محصول نهایی برای سیاست انتخاب تأمین‌کننده، نقطه‌ی محدودکننده‌ی محصول نهایی برای سیاست تولیدکننده مورد بررسی قرار می‌گیرد. پارامترهای تقاضای کالای نهایی برای هر مشتری یک و دو، به صورت جدول ۱ است.

همچنین بیشترین نرخ تولید ماشین‌ها $u_1^{max} = 50$ و $u_2^{max} = 50$ (واحد کالا در واحد زمان) است. هزینه‌ی نگهداری هر واحد کالا از هر یک از محصولات تولید شده معادل $C_{Fk}^H = 2$ و هزینه‌ی نگهداری هر واحد کالا از هریک از مواد خام معادل $C_R^H = 1$ واحد پولی است. هزینه‌ی کمبود پس‌افت هر واحد کالا معادل $C_{Fk}^B = 16$ واحد پولی است. هزینه‌ی انتقال هرواحد کالا از مواد

جدول ۱. احتمال و مقدار تقاضا کالای نهایی هر مشتری.

مشتری	تقاضای کالای نهایی هر مشتری	احتمال
مشتری ۱	۲	۰/۱۶۷
	۳/۵	۰/۵
	۵	۰/۸۳۳
	۴	۱
مشتری ۲	۶	۰/۱۶۷
	۵	۰/۵
	۷	۰/۸۳۳
	۴	۱

خام تا محصول نهایی معادل ۲ C^T_{RFk} و هزینه‌ی بازرسی مواد خام معادل ۵۰ C_{inspk} واحد پولی است. هزینه‌ی ثابت سفارش تأمین‌کنندگان به ازای هر واحد محصول در واحد زمان به ترتیب معادل ۵۰۰۰ W^1 و ۴۰۰۰ W^2، همچنین هزینه‌ی خرید مواد خام از تأمین‌کنندگان به ازای هر واحد محصول در واحد زمان به ترتیب $CR^1(0) = UNIF(2/8)$ و $CR^2(0) = UNIF(3/9)$ است. به منظور میانگین مدت زمان بین شکست (خرابی) ماشین‌آلات از توزیع نمایی با پارامترهای ۲۰ $\mu_1 = 150.\mu_2$ (واحد زمان) و متوسط زمان تعمیر ۱/۶۰ $\lambda_1 = 1/65.\lambda_2$ (واحد زمان) استفاده شده است. همچنین فرض شده است که در زمان صفر شبیه‌سازی، انبار ماشین‌های ۱ و ۲ مقداری موجودی اولیه و موجودی نهایی دارد. بنابراین میزان موجودی اولیه و نهایی، از هر محصول به ترتیب چنین تعریف شده است:

$$(X_1 = 30.X_2 = 40)\,,\ (FP_1 = 40.FP_2 = 50)$$

مشخصات اولین جواب (سناریو) عبارت است از:

$$(Q = 310.S = 300.Z_{pr_1} = 80.Z_{pr_2} = 80.Z_{s_1} = 20.Z_{s_2} = 10)$$

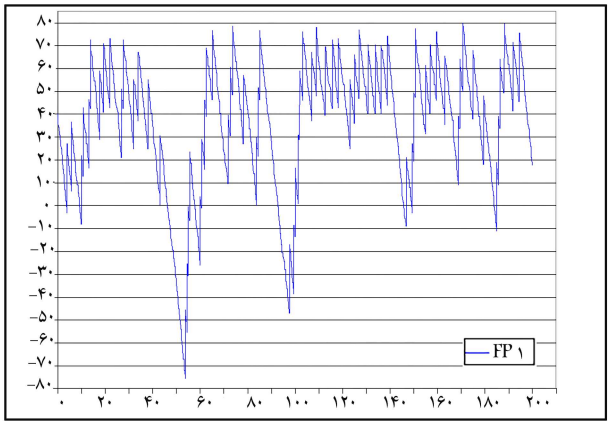
مدت زمان اجرای شبیه‌سازی برابر با ۲۰۰ روز و هر روز معادل ۸ ساعت در نظر گرفته شده است. همچنین تعداد تکرارهای هر سناریو برابر ۳ تکرار است.

اطلاعات مثال عددی فوق در مدل، درج می‌شود و پس از پایان شبیه‌سازی برای بهینه‌سازی مدل و تعیین سناریو بهینه از ابزار OptQuest استفاده می‌شود. در ادامه، تحلیل نمودارهای سطح موجودی اولیه و نهایی و نیز تجزیه‌وتحلیل هزینه‌های سیستم به ترتیب توضیح داده خواهد شد.

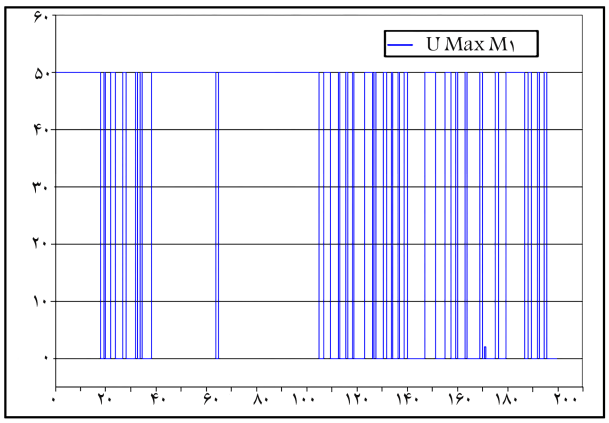
۱.۷. تحلیل نمودارهای مربوط به سطح موجودی

در این قسمت از تحقیق، با توجه به سیاست کنترلی SM(۱/۲) تعریف شده برای ماشین‌های موجود در سیستم با دو تأمین‌کننده (۲=۱)، می‌توان به تحلیل نمودارهای مربوط به سطح موجودی محصول نهایی و نرخ تولید پرداخت.

نمودار مربوط به سطح موجودی انبار ماشین اول و همچنین نمودار وضعیت نرخ تولید ماشین اول در هر لحظه از زمان، به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. چنان‌که در شکل ۱ مشخص است، ابتدا سیستم مفروض به علت وجود محصول تمام شده، شروع به رفع نیاز مشتری می‌کند. تا زمانی که سیستم تولید، غیر قابل دسترس باشد یا مواد خام غیرموجود $(x(t) = 0)$ باشد، روند تبدیل مواد خام به محصول نهایی متوقف می‌شود. وقتی سیستم تولید قابل دسترس است و سطح



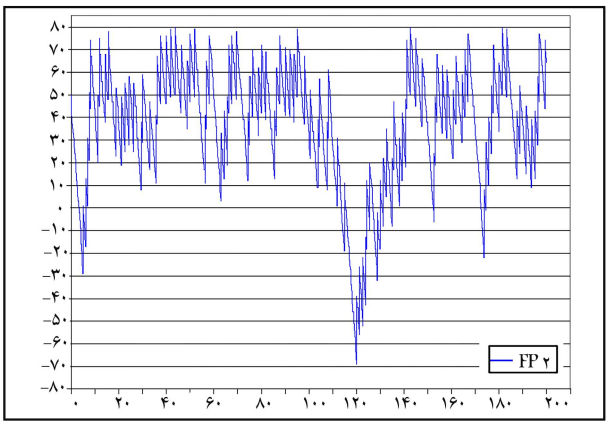
شکل ۱. نمودار مربوط به سطح موجودی ماشین ۱ (تکرار اول).



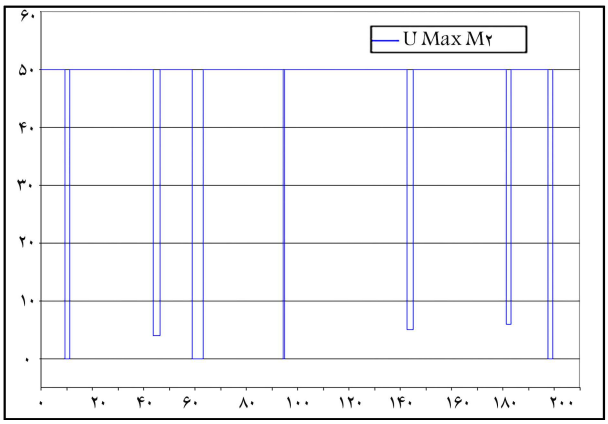
شکل ۲. نمودار مربوط به نرخ تولید ماشین ۱ (تکرار اول).

مواد خام $x(t) > 0$ است، سیستم با در نظرگرفتن سیاست کنترلی که در فرمول ۴ آمده است، شروع به تولید می‌کند تا سطح موجودی به سطح انبار برسد. این تبدیل با نرخ تولیدی که با بیشینه نرخ برابر است تأمین می‌شود. وقتی که سطح موجودی به سطح انبار رسید، تولید متوقف می‌شود و میزان مورد نیاز مشتری اول، از انبار تأمین می‌شود، لذا سطح موجودی انبار پایین می‌آید. زمانی که تولید متوقف می‌شود، نرخ تولید به صفر می‌رسد. در لحظه‌ی ۴۵، موجودی انبار به صفر می‌رسد و ماشین به منظور تأمین تقاضای مشتری با بیشینه توان خود شروع به تولید می‌کند تا فرایند تولید در سیستم متوقف نشود. در لحظاتی مانند بازه‌ی ۸۰-۷۰، سطح موجودی انبار صفر نیست اما ماشین با بیشینه توان خود تولید می‌کند؛ این بدان علت است که سیستم با شکست ماشین روبه‌رو می‌شود. در این بازه، سطح موجودی انبار به دلیل شکست ماشین و تأمین نیاز مشتری، کاهش یافته و بعد از بازگرداندن ماشین به فرایند تولید دوباره سطح موجودی افزایش می‌یابد. از شکل سطح موجودی مربوط به این ماشین می‌توان دریافت که سطح موجودی بین ۸۰ـ تا ۸۰ تغییر می‌کند که این نشان می‌دهد که این ماشین در بعضی لحظات با کمبود مواجه خواهد شد و این خود از تعاریف و فرضیات مسئله بوده که در فصل اول و سوم به آن اشاره شد.

شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب سطح موجودی انبار ماشین دوم و نرخ تولید ماشین دوم در هر لحظه از زمان را نشان می‌دهند. نرخ تولید ماشین دوم بین ۸۰ـ تا ۸۰، در حال تغییر است که این نشان می‌دهد که این ماشین در بعضی لحظات با کمبود مواجه خواهد شد. در لحظه‌ی ۹، سطح موجودی انبار به صفر می‌رسد که در این لحظه ماشین از بیشینه توان خود برای تولید استفاده می‌کند. در لحظه‌ی



شکل ۳. نمودار مربوط به سطح موجودی ماشین ۲ (تکرار اول).



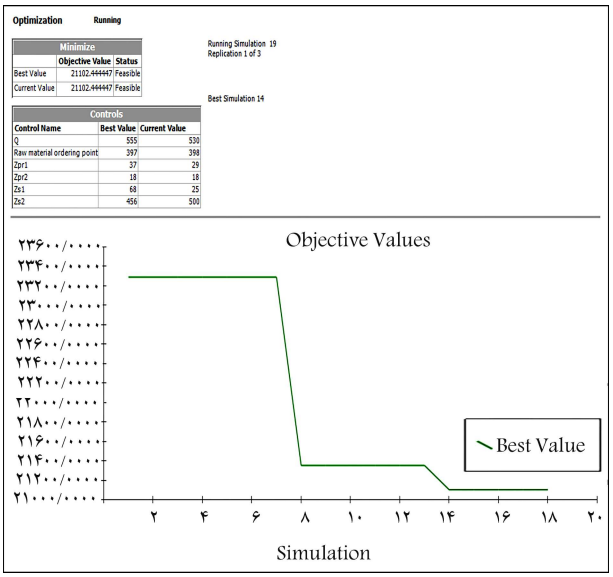
شکل ۴. نمودار مربوط به نرخ تولید ماشین ۲ (تکرار اول).

۴۵ چون میزان محصول نهایی $Y(t)$ با سطح انبار Zpr برابر است لذا در آن لحظه، رابطه‌ی $\frac{Dem_k}{(1-AOQ_k(t)).(1-pProd_k(t))}$ برقرار است. همچنین در لحظه‌ی ۵ شکست ماشین رخ داده است؛ به همین علت از سطح موجودی انبار کاسته می‌شود. بعد از این لحظه، زمانی که ماشین تعمیر می‌شود دوباره به موجودی سطح انبار افزوده می‌شود.

۲.۷. بهینه‌سازی مدل با استفاده از ابزار OptQuest

در این نوشتار ۴ متغیر تصمیم و ۱ شاخص عملکردی در نظرگرفته شده است. اگر بخواهیم تمامی سناریوهای ممکن را شبیه‌سازی کنیم، باید تعداد زیادی سناریو ساخته و در مدل اصلی جایگزین کرده و سپس با توجه به محدودیت‌های موجود بهترین سناریو را انتخاب کنیم، که این فرایند یک امر بسیار زمان‌بر است. به همین منظور برای انتخاب بهترین سناریو از OptQuest که یکی از ابزارهای موجود در نرم‌افزار Arena است استفاده می‌کنیم. OptQuest ابزاری مناسب برای جستجوی راه‌حل‌های بهینه با استفاده از روش‌های ابتکاری[۱۷] است. ازجمله، جستجوی ممنوع[۹] و جستجوی پراکنشی[۱۰] (و روش‌های دیگر) است.

در این نوشتار ابتدا محدودیت‌ها و حدود پیشنهادی و حد بالا و پایین متغیرهای تصمیم را تعیین کردیم. همچنین توابع هدف یا به عبارتی شاخص‌های عملکردی را مشخص کرده سپس برای هریک از شاخص‌های عملکردی یک بار نرم‌افزار را اجرا می‌کنیم. در این صورت نرم‌افزار در هر بار اجرا یک سری نقاط قابل قبول و غیر قابل قبول را با توجه به محدودیت‌ها و متغیرهای تصمیم را نمایش می‌دهد. در نمودار



شکل ۵. خروجی اطلاعات ابزار بهینه‌سازی.

شکل ۵ OptQuest، ۱۷ سناریو را ارزیابی کرد. بهترین مقدار تابع هدف تا کنون، مقدار تابع هدف کنونی و تعداد سناریوهایی که تا کنون اجرا شده‌اند نشان داده شده است.

می‌توان بهترین کنترل‌های کنونی و محدودیت‌هایی که در طی جستجو صدق می‌کند را مشاهده کرد؛ در این‌جا می‌توان بهترین را در ۱۴امین سناریو یافت که بهترین هزینه‌ی کل آن ۲۱۱۰۲٫۴۴ است و این هزینه نسبت به هزینه‌ی اولیه ۰٫۰۹ کاهش یافته است. در قسمت پایین شکل ۵ نیز بهترین (کوچک‌ترین) هدف یافته شده (تا کنون) رسم می‌شود، به عنوان تابعی که نشان‌دهنده‌ی تعداد شبیه‌سازی (سناریویی) که تا به حال امتحان شده است. نمای نهایی این اطلاعات در شکل ۵ وجود دارد، که بهترین مجموعه‌ی کنترل‌های یافته شده و تابع هدف مرتبط با آن را نمایش می‌دهد. این نمودار نشان‌دهنده‌ی بهبودها (کاهش‌ها)ی بزرگ در ابتدا و به دنبال آن بهبودهای مختصرتر و در نهایت ثابت ماندن در یک مقدار است.

۳.۷. تحلیل حساسیت

در این تحقیق، تحلیل حساسیت بر روی دو پارامتر مدل اعم از هزینه‌ی ثابت سفارش تأمین‌کننده‌ی J ام و هزینه‌ی خرید مواد خام انجام می‌گیرد.

به منظور تحلیل حساسیت بر روی هزینه‌ی ثابت سفارش تأمین‌کننده‌ی J ام، هزینه‌ی ثابت هر یک از تأمین‌کننده‌ها ۵۰٪ افزایش و۵۰٪ کاهش داده شده است که نتایج در جدول ۲ آمده است.

چنان که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، افزایش هزینه‌ی ثابت بر کمبود از نوع پس‌افت و هزینه‌ی نگهداری تأثیری ندارد، اما هزینه‌ی سفارش و میانگین هزینه‌ی کل با افزایش هزینه‌ی ثابت افزایش می‌یابد و برعکس. کاهش هزینه‌ی ثابت باعث افزایش هزینه‌ی کمبود پس‌افت ماشین ۱ و هزینه‌ی نگهداری مواد خام و هزینه‌ی نگهداری ماشین ۲ و همچنین باعث کاهش هزینه‌ی کمبود پس‌افت ماشین ۲ و هزینه‌ی کمبود پس‌افت ماشین ۲ می‌شود.

با اعمال هر دو تغییر فوق در مدل با شرط ثابت نگه‌داشتن شرایط اولیه، جواب بهینه در حالت افزایش و کاهش به صورت زیر است:

جدول ۲. تغییرات میانگین هزینه‌ی کل با تغییر هزینه‌ی ثابت.

تغییر هزینه‌ی ثابت			میانگین هزینه‌ها
سناریو بهینه	۵۰٪ کاهش	۵۰٪ افزایش	
۴۱٫۵۹۳۱	۵۲٫۳۸۸۹	۴۱٫۵۹۳۱	هزینه‌ی کمبود پس‌افت ماشین ۱
۳۱٫۳۲۳۹	۲۴٫۹۱۵۰	۳۱٫۳۲۳۹	هزینه‌ی کمبود پس‌افت ماشین ۲
۷۴٫۵۳۷۱	۷۴٫۸۶۰۲	۷۴٫۵۳۷۱	هزینه‌ی نگهداری مواد خام
۷۸٫۷۲۶۶	۷۷٫۴۳۴۹	۷۸٫۷۲۶۶	هزینه‌ی نگهداری ماشین ۱
۷۸٫۹۹۹۸	۸۲٫۲۷۴۲	۷۸٫۹۹۹۸	هزینه‌ی نگهداری ماشین ۲
۲۴۲۴۶٫۲۷	۱۷۴۸۰٫۱۰	۲۹۲۴۰٫۷۲	هزینه‌ی سفارش
۲۴۴۷۶٫۹۱	۱۷۷۱۷٫۱۲	۲۹۴۷۱٫۳۶	هزینه‌ی کل

جدول ۳. تغییرات میانگین هزینه‌ی کل با تغییر هزینه‌ی ثابت.

تغییر هزینه‌ی ثابت			میانگین هزینه‌ها
سناریو بهینه	۵۰٪ کاهش	۵۰٪ افزایش	
۴۱٫۵۹۳۱	۴۱٫۵۹۳۱	۳۱٫۵۳۲۱	هزینه‌ی کمبود پس‌افت ماشین ۱
۳۱٫۳۲۳۹	۳۱٫۳۲۳۹	۲٫۷۱۱۳	هزینه‌ی کمبود پس‌افت ماشین ۲
۷۴٫۵۳۷۱	۷۴٫۵۳۷۱	۷۵٫۰۰۶۱	هزینه‌ی نگهداری مواد خام
۷۸٫۷۲۶۶	۷۸٫۷۲۶۶	۷۵٫۴۱۶۵	هزینه‌ی نگهداری ماشین ۱
۷۸٫۹۹۹۸	۷۸٫۹۹۹۸	۹۴٫۷۳۸۷	هزینه‌ی نگهداری ماشین ۲
۲۴۲۴۶٫۲۷	۱۹۲۰۹٫۸۷	۱۶۵۳۴٫۸۹	هزینه‌ی سفارش
۲۴۴۷۶٫۹۱	۱۷۴۴۰٫۵۱	۱۶۷۳۹٫۲۹	هزینه‌ی کل

$(Q = ۵۵۵, S = ۳۹۷, Z_{pr۱} = ۳۷, Z_{pr۲} = ۱۸,$
$Z_{s۱} = ۶۸, Z_{s۲} = ۴۵۶)$

همچنین به منظور تحلیل حساسیت بر روی هزینه‌ی خرید مواد خام، هزینه‌ی خرید هریک از تأمین‌کننده‌ها ۵۰٪ افزایش و ۵۰٪ کاهش داده شده است. نتایج در جدول ۳ آمده است.

چنان که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، کاهش هزینه‌ی خرید برکمبود از نوع پس‌افت و هزینه‌ی نگهداری تأثیری ندارد، اما هزینه‌ی سفارش و میانگین هزینه‌ی کل با کاهش هزینه‌ی خرید کاهش می‌یابد و برعکس. افزایش هزینه‌ی خرید باعث کاهش هزینه‌ی کمبود پس‌افت ماشین ۱، هزینه‌ی کمبود پس‌افت ماشین ۲ و هزینه‌ی نگهداری ماشین ۱ و همچنین باعث افزایش هزینه‌ی نگهداری مواد خام و هزینه‌ی نگهداری ماشین ۲ می‌شود.

با اعمال هر دو تغییر فوق در مدل و با شرط ثابت نگه‌داشتن شرایط اولیه، جواب بهینه در حالت افزایش و کاهش به عبارت است از:

$(Q = ۵۵۵, S = ۳۹۷, Z_{pr۱} = ۳۷, Z_{pr۲} = ۱۸,$
$Z_{s۱} = ۶۸, Z_{s۲} = ۴۵۶)$

۸. نتیجه‌گیری

در این نوشتار ابتدا مدلی از سیستم انتخاب تأمین‌کننده طراحی شد و با هدف پی بردن به رفتار سیستم و در محدوده‌یی که به وسیله‌ی معیارها اعمال شده بود، آزمایش‌هایی با این مدل انجام گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش عبارت است از:

۱.۸. نتایج پژوهش

- در این الگوریتم، امکان تجزیه‌وتحلیل عوامل زنجیره‌ی تأمین در حضور عوامل عدم قطعیت وجود دارد.
- در این الگوریتم می‌توان به بررسی مدل در شرایط زمانی مختلف پرداخت، حتی می‌توان چندین سال از فعالیت سیستم را ملاحظه و بررسی کرد.
- مدت زمانی که مشتری در سیستم منتظر می‌ماند به راحتی در این الگوریتم قابل بررسی و تجزیه‌وتحلیل است.
- این الگوریتم امکان حل مسائل پیچیده‌تر در صورت افزایش ابعاد مسئله را دارد.

۲.۸. پیشنهادهای تحقیقاتی

- پیشنهاد می‌شود سایر عوامل قطعیت نظیر حمل‌ونقل مورد مطالعه قرار گیرند.
- در این مقاله فرض شده که مشتری متقاضی تنها یک نوع کالا است، حال آن که در عمل ممکن است مشتری چندین نوع کالا دریافت کند.
- برای حل مدل ریاضی مسئله، می‌توان از روش‌های دیگر از جمله الگوریتم‌های فراابتکاری و مقایسه‌ی آنها با مدل ارائه شده در این مقاله استفاده کرد.
- این مقاله می‌تواند با درنظر گرفتن هزینه‌های تعمیر ماشین آلات، هزینه‌های حمل‌ونقل و غیره انجام شود.
- بحث تورم در بالا رفتن هزینه‌های تولید، نگهداری موجودی و غیره می‌تواند لحاظ شود.

پانوشت‌ها

1. prodtion policy
2. modify hedging point policy
3. reinstatement policy
4. quality policy
5. Lot By Lot
6. supplier selection policy
7. up time
8. down time
9. tabu search
10. scatter search

منابع (References)

1. Rabie, M. "Mathematical model of supply chain" *Ph.d. Thesis. Field Management. Tarbiat Modares University (In Persian) (2010).*
2. *Drucker, P. F. J. F. M. "Management's new paradigms",* **10***(2), pp. 98-99 (1998).*
3. *Lambert, D. M. and Cooper, M. C. J. I. M. M. "Issues in supply chain management*, **29**(1), pp. 65-83 (2000).
4. Lim, J. J. and Zhang, A. N. "A DEA approach for supplier selection with AHP and risk consideration. Paper presented at the big data (Big Data)" *2016 IEEE International Conference on* (2016).
5. De Boer, L., Labro, E., Morlacchi, P. J. E. j. o. p. and et al. "A review of methods supporting supplier selection", **7**(2), pp. 75-89 (2001).
6. Aghabozorgi, N., Alinaghian, M., Sajadi, S. M. J. I. J. o. P. M. and et al. "A New robust model for location-inventory in three echelon supply chain with uncertain demand in small and medium business enterprises", **7**(1), pp. 38-58 (2017).
7. Dehaghi, Z. H., Sajadi, S. M. and Ahmadabadi, M. N. J. I. J. o. E. "Determine the optimal order quantities in lot sizing models regarding minimum order quantity with simulation" **2**(8). pp. 399-403 (2013).
8. Sawik, T. J. O. "Integrated supply, production and distribution scheduling under disruption risks", **62**, pp. 131-144 (2016).
9. Firouz, M., Keskin, B. B. and Melouk, S. H. J. O. "An integrated supplier selection and inventory problem with multi-sourcing and lateral transshipments" **70**, pp. 77-93 (2017).
10. Sun, X. J. M. P. i. E. "Supplier Selection by Coupling-Attribute Combinatorial Analysis" (2017).
11. Sahebjamnia, N. J. S. I. "Resilience supplier selection and order allocation under uncertainty" (2018).
12. Alikhani, R., Torabi, S. A. and Altay, N. J. I. J. o. P. E. "Strategic supplier selection under sustainability and risk criteria" **208**, pp. 69-82 (2019).
13. Hajji, A., Gharbi, A., Rekik, M. "Decision support system for production and supplier selection in unreliable supply chains", *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management. Metz.* France (2011b).
14. Hlioui, R., Gharbi, A. and Hajji, A. J. I. J. o. P. E. "Replenishment. production and quality control strategies in three-stage supply chain" **166**, pp.90-102 (2015).
15. Hlioui, R., Gharbi, A. and Hajji, A. J. T. I. J. o. A. M. T. "Integrated quality strategy in production and raw material replenishment in a manufacturing-oriented supply chain", **81**(1-4), pp. 335-348 (2015).
16. Gharbi, A., Hajji, A. and Dhouib, K. J. I. J. o. P. R. "Production rate control of an unreliable manufacturing cell with adjustable capacity", **49**(21), pp. 6539-6557 (2011).
17. Afshar-Bakeshloo, M., Bozorgi-Amiri, A., Sajadi, S. M. and et al. "A multi-objective Environmental Hedging Point Policy with customer satisfaction criteria", **179**, pp. 478-494 (2018).