

# طراحی قرارداد در زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی، در شرایط عدم قطعیت اطلاعات

ایمان نوحی\* (دانشجوی دکترا)

علی شاهنده نونک آبادی (استاد)

قاسم مصلحی (استاد)

دانشکده‌ی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه صنعتی اصفهان

در این تحقیق یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی، شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده به‌عنوان طرح قرارداد، و یک خرده‌فروش در نظر گرفته شده است. خرده‌فروش محصول نهایی را در فصل فروش با تقاضای تصادفی به فروش می‌رساند. تولیدکننده در زمان صدور سفارش تأمین، یک توزیع تصادفی پیوسته از هزینه‌ی پردازش خرده‌فروش در اختیار دارد، اما پس از سفارش‌دهی به تأمین‌کننده و با گذشت زمان، تولیدکننده از هزینه‌ی خرده‌فروش اطلاع پیدا می‌کند. در این شرایط، تصمیمات بهینه‌ی سفارش‌دهی تولیدکننده به تأمین‌کننده طبق یک قرارداد اختیار خرید، بررسی شده است. تولیدکننده همچنین یک قرارداد بازخريد هماهنگ‌کننده برای خرده‌فروش طراحی می‌کند. مقادیر بهینه‌ی پارامترهای قرارداد بازخريد، زمانی که تولیدکننده درصد مشخصی از سود کل سیستم تولیدکننده - خرده‌فروش را تصاحب کند، نیز محاسبه شده است. نتایج محاسبات عددی نشان می‌دهد، قراردادهای طراحی شده در هر سطح زنجیره وابسته به اطلاعات و قراردادهای سطوح دیگر زنجیره بوده و نباید مستقل از هم طراحی شوند.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی، قرارداد اختیار خرید، قرارداد بازخريد، عدم قطعیت اطلاعات.

## ۱. مقدمه

در زنجیره‌ی تأمین چندسطحی در شرایط عدم قطعیت اطلاعات پرداخته می‌شود. در این تحقیق با در نظر گرفتن یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی<sup>۶</sup> شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش، نحوه‌ی طراحی قرارداد تولیدکننده با خرده‌فروش و تأمین‌کننده در شرایط تقاضای تصادفی و اطلاع ناکافی از هزینه‌ی خرده‌فروش، بررسی می‌شود. در زنجیره‌ی تأمین مورد نظر، تولیدکننده مواد مورد نیاز خود را از تأمین‌کننده تهیه و پس از انجام عملیات پردازش، در اختیار خرده‌فروش قرار می‌دهد. خرده‌فروش نیز پس از دریافت تقاضا در فصل فروش، یک عملیات پردازش نهایی روی محصول انجام داده و تقاضای تصادفی مشتریان را برآورده می‌کند. به دلایل مختلف، مانند زمان‌بر بودن فرایند تأمین مواد، فرض شده تولیدکننده قبل از شروع فصل فروش اقدام به سفارش‌دهی به تأمین‌کننده می‌کند. این در حالی است که در زمان طراحی قرارداد تأمین برخی اطلاعات عضو پایین‌دست زنجیره - مانند هزینه‌ی عملیات پردازش - دقیقاً برای تولیدکننده مشخص نیست. ممکن است به دلایل مختلف، مانند در نوسان بودن شرایط بازارهای تأمین و خرید برای خریدار، هزینه‌ی پردازش نهایی او در زمان طراحی قرارداد تأمین تولیدکننده مشخص نباشد. البته در عمل، بسیاری از این عدم

مدیریت ارتباطات با تأمین‌کنندگان و طراحی قرارداد<sup>۱</sup> برای عضو بالادست<sup>۲</sup> زنجیره‌ی تأمین<sup>۳</sup>، از تصمیمات مهم تولیدکنندگان است. از طرف دیگر، تولیدکنندگان باید ضمن طراحی قرارداد برای عضو بالادست زنجیره، به طراحی قرارداد برای عضو پایین‌دست<sup>۴</sup> زنجیره نیز توجه داشته باشند. اغلب تحقیقات صورت گرفته در رابطه با مسائل هماهنگ‌سازی<sup>۵</sup> زنجیره‌ی تأمین و طراحی قرارداد، نحوه‌ی طراحی قرارداد در زنجیره‌های تأمین دوسطحی را بررسی کرده‌اند.<sup>[۱-۳]</sup> علی‌رغم اهمیت این تحقیقات، از آنجا که در عمل بیش از دو سطح در زنجیره‌های تأمین وجود دارد، موضوع طراحی قرارداد در زنجیره‌ی تأمین چندسطحی بسیار حائز اهمیت است.

نکته‌ی قابل توجه دیگر این که وجود اطلاعات کامل و دقیق در زنجیره‌های چندسطحی به ندرت اتفاق می‌افتد. مثلاً ممکن است هنگام طراحی قرارداد برای عضو بالادست زنجیره، مانند تأمین‌کننده، اطلاعات کافی از عضو پایین‌دست زنجیره، مانند خرده‌فروش یا خریدار، در دست نباشد. لذا در این تحقیق به موضوع طراحی قرارداد

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۳/۵/۱۲، اصلاحیه ۱۳۹۴/۴/۱۵، پذیرش ۱۳۹۴/۵/۱۳.

قطعیتهای اطلاعاتی، مانند عدم قطعیت هزینه خرید، با گذشت زمان رفع می‌شود.<sup>[۱۲]</sup>

از طرفی تولیدکننده در زمان طراحی قرارداد تأمین، نیازمند اطلاعات مربوط به خریده فروش است و به عبارتی، طراحی بهینه قرارداد تأمین نباید مستقل از روابط آتی تولیدکننده با خریده فروش در نظر گرفته شود. در چنین شرایطی، سؤال پیش روی تولیدکننده چگونگی طراحی قرارداد با تأمین‌کننده و خریده فروش، در وضعیت مشروح است.

در چنین شرایطی، سیاست مناسب برای تولیدکننده عبارت است از: «سفارش دهی به تأمین‌کننده طبق قرارداد اختیار خرید<sup>۷</sup>». این قرارداد کمک می‌کند تا قسمتی از تصمیمات تولیدکننده پس از رفع برخی عدم قطعیت‌ها اتخاذ شود. طبق این قرارداد، تولیدکننده علاوه بر صدور یک سفارش قطعی به تأمین‌کننده می‌تواند حق تغییر، یعنی کاهش یا افزایش در مقدار سفارش قطعی را نیز پیش خرید کند. در این شرایط، تولیدکننده می‌تواند بعد از تکمیل اطلاعات مربوط به هزینه خرید، خریده فروش، در صورت نیاز سفارش خود را افزایش یا کاهش دهد.

پس از انعقاد قرارداد تأمین و تهیه مواد از تأمین‌کننده، تولیدکننده مواد تهیه شده را پردازش کرده و ضمن اطلاع از هزینه خرید، خریده فروش، وارد قرارداد با او می‌شود. فرض بر آن است که در ارتباط تولیدکننده با خریده فروش، تولیدکننده طراح قرارداد است و یک قرارداد بازخرد<sup>۸</sup> به خریده فروش پیشنهاد می‌کند. علت در نظر گرفتن قرارداد بازخرد این است که طبق این قرارداد تولیدکننده می‌تواند ضمن کاهش ریسک سفارش دهی خریده فروش، میزان سفارش خریده فروش را با تنظیم پارامترهای قرارداد کنترل کند. خریده فروش نیز باید قبل از مشخص شدن تقاضای فصل فروش راجع به میزان صدور سفارش به تولیدکننده تصمیم‌گیری کند. در این تحقیق، تصمیمات بهینه تولیدکننده در چارچوب قراردادهای اختیار خرید و بازخرد بررسی می‌شود. نوآوری‌ها و ویژگی‌های این تحقیق در قیاس با سایر تحقیقات، خلاصه‌وار عبارت است از:

۱. بررسی تصمیمات تولیدکننده در زنجیره تأمین سه سطحی -- شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک خریده فروش -- به همراه عدم قطعیت تقاضای فصل فروش و هزینه خرید، خریده فروش. در این راستا، نحوه سفارش دهی تولیدکننده به تأمین‌کننده طبق قرارداد اختیار خرید و نحوه طراحی قرارداد بازخرد برای خریده فروش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲. بررسی اثرات قراردادهای سطوح مختلف زنجیره بر هم. در این تحقیق نشان داده می‌شود تصمیمات بهینه در هر سطح زنجیره وابسته به قرارداد و ارتباطات در سطح دیگر است.

تجزیه و تحلیل صورت گرفته در این تحقیق، می‌تواند کاربردهای عملی مختلفی داشته باشد. به عنوان مثال محصولات مد و ابداعی<sup>۹</sup> دارای تقاضای غیر قطعی و زمان تأمین طولانی هستند.<sup>[۱۳]</sup> تولیدکنندگان چنین محصولاتی، مشابه شرایط این تحقیق، ضمن انعقاد قرارداد مناسب با خریده فروش باید قرارداد تأمین مناسب را نیز طراحی کنند. همچنین، در نظر گرفتن عدم قطعیت در اطلاعات هزینه و تقاضا، منجر به کاربردی‌تر شدن تجزیه و تحلیل می‌شود.

در ادامه این تحقیق، در بخش دوم ادبیات موضوع مرور می‌شود. در بخش سوم علائم، فرضیات و مسئله مورد نظر معرفی، و سپس در بخش چهارم روابط بین تولیدکننده، تأمین‌کننده و خریده فروش در مقاطع مختلف زمان تشریح می‌شود. در بخش پنجم نیز تصمیمات تولیدکننده در مقاطع مختلف زمان، طبق قراردادهای اختیار خرید و بازخرد، در ارتباط با تأمین‌کننده و خریده فروش بررسی می‌شود.

در بخش ششم با تجزیه و تحلیل عددی، تصمیمات بهینه تولیدکننده در ارتباط با هر نوع قرارداد، تحت پارامترهای مختلف مرتبط با قرارداد دیگر تجزیه و تحلیل می‌شود. و نهایتاً در بخش هفتم نتایج و نیز پیشنهادها برای مطالعات آتی ارائه می‌شود.

## ۲. مرور ادبیات موضوع

مسائل مختلف زنجیره‌های تأمین چندسطحی در تحقیقات متعددی بررسی شده است. برخی از محققین مسائل خود را با فرض تقاضای قطعی و بر پایه مدل‌های سنتی مقادیر اقتصادی تولید<sup>۱۰</sup> بررسی کرده‌اند.<sup>[۱۴]</sup> برخی دیگر مدل‌های زنجیره‌ای تأمین چندسطحی خود را بر پایه مدل روزنامه فروش<sup>۱۱</sup> و تقاضای تصادفی بنا کرده‌اند.<sup>[۱۵]</sup>

در برخی از مسائل طراحی شبکه‌های زنجیره‌ای تأمین چندسطحی بررسی شده است.<sup>[۱۶]</sup> سیاست‌های کنترل موجودی در زنجیره‌ای تأمین چندسطحی نیز توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.<sup>[۱۷-۱۳]</sup> در جدول ۱ برخی از تحقیقات صورت گرفته در زنجیره‌های چندسطحی، به همراه ویژگی‌ها و رویکرد تجزیه و تحلیل آن‌ها ارائه شده است.

در جدول ۱، تنوع رویکردها و مسائل بررسی شده در زنجیره‌های چندسطحی را شاهدیم. یکی از خلأهای مهم مشاهده شده در ادبیات موضوع این است که هیچ‌یک از تحقیقات مذکور، به موضوع طراحی قرارداد در سطوح مختلف زنجیره و بررسی اثر قراردادهای بر تصمیمات بهینه طراح قرارداد توجه نداشته‌اند. در این تحقیق، ضمن توجه به این موضوع، شرایط عدم قطعیت اطلاعات نیز در مدل‌سازی‌ها لحاظ می‌شود. تجزیه و تحلیل مورد نظر در این تحقیق بر پایه دو قرارداد اختیار خرید و بازخرد است. قرارداد بازخرد در ادبیات موضوع به عنوان قرارداد رایج و هماهنگ‌کننده در زنجیره‌های تأمین مورد استفاده قرار گرفته است.<sup>[۱۸-۱۹]</sup> قرارداد اختیار خرید نیز در مسائل گوناگون به صورت مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی از تحقیقات از قرارداد اختیار خرید یک طرفه<sup>۱۲</sup> استفاده شده است.<sup>[۲۰-۲۱]</sup> طبق قرارداد اختیار خرید یک طرفه افزایشی، خریدار حق افزایش سفارش اولیه را دارد.

در برخی از تحقیقات از قرارداد اختیار خرید یک طرفه کاهش<sup>۱۳</sup> استفاده شده است.<sup>[۲۲-۲۳]</sup> طبق قرارداد اختیار خرید یک طرفه کاهش، خریدار حق کاهش سفارش اولیه را پیدا می‌کند. برخی از تحقیقات از قرارداد اختیار خرید دوطرفه<sup>۱۴</sup> یا ترکیبی استفاده کرده‌اند.<sup>[۲۴-۲۵]</sup> طبق قرارداد اختیار خرید دوطرفه، خریدار هم حق کاهش و هم حق افزایش سفارش اولیه خود را پیدا می‌کند. در این تحقیق شرایطی بررسی می‌شود که سفارش دهی تولیدکننده به تأمین‌کننده طبق کامل‌ترین حالت این قرارداد، یعنی قرارداد اختیار خرید دوطرفه انجام شود. چنان که بیان شد، در این تحقیق برخلاف سایر تحقیقات به نحوه طراحی و اثرات متقابل این قراردادها، هنگام استفاده در یک زنجیره‌ای تأمین سه سطحی توجه می‌شود.

## ۳. معرفی علائم، فرضیات و تعریف مسئله

در ابتدا علائم مورد استفاده معرفی می‌شوند. همه‌ی اقلام درآمد و هزینه، برحسب واحد پول به ازای هر واحد مواد/محصول بیان شده است.

جدول ۱. تحقیقات در زنجیره‌های چندسطحی.

مرجع	سال	ویژگی مسئله‌ی مورد بررسی	رویکرد تجزیه و تحلیل
[۴]	۲۰۰۱	هماهنگ‌سازی فعالیت‌های خرید و تولید در زنجیره‌ی سه‌سطحی شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش	سازوکار تخفیف
[۶]	۲۰۰۴	هماهنگ‌سازی یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل تولیدکننده، توزیع‌کننده و خرده‌فروش	سازوکار تسهیم سود
[۱۰]	۲۰۰۸	هماهنگ‌سازی یک زنجیره‌ی سه‌سطحی که در آن هر یک از اعضاء می‌تواند موجودی اضافی خود را به سطح بالاتر خود بازگرداند	سازوکار بازگشتی منعطف
[۱۲]	۲۰۰۹	به‌کارگیری همزمان قراردادهای تسهیم سود و تخفیف در یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل مشتری، خرده‌فروش و تأمین‌کننده	سازوکار تسهیم سود و تخفیف
[۵]	۲۰۱۰	توسعه‌ی یک مدل ریاضی برای زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش، که در آن عملیات تولیدی از یک فرایند بهبود مستمر پیروی می‌کند	مدل‌سازی ریاضی متمرکز
[۷]	۲۰۱۰	به‌کارگیری سازوکار تسهیم سود در زنجیره‌ی تأمین چندسطحی، که نزدیک‌ترین عضو زنجیره به مشتریان، مسئول انعقاد یک قرارداد با همه‌ی اعضای زنجیره می‌شود	سازوکار تسهیم سود
[۱۱]	۲۰۱۱	توسعه‌ی یک مدل موجودی یکپارچه در زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل تولیدکننده، توزیع‌کننده و خرده‌فروش، برای محصولات با نرخ فسادپذیری وابسته به زمان	مدل‌سازی سیاست کنترل موجودی
[۸]	۲۰۱۲	بررسی نقش سیاست موجودی یک شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین چندسطحی بر کاهش ریسک تأمین و خرابی	شبیه‌سازی
[۹]	۲۰۱۲	طراحی مجدد شبکه‌ی زنجیره‌ی تأمین چندسطحی با تسهیلات متعدد، شامل تخصیص مجدد تسهیلات موجود در شبکه به مکان‌های سرویس‌گیرنده‌ی جدید در شبکه	مدل برنامه‌ریزی ریاضی با اعداد صحیح
[۱۵]	۲۰۱۳	بررسی تصمیمات بهینه در رابطه با هزینه‌ی حمل و نقل، مقادیر سفارش و خرید و قیمت‌گذاری‌ها در زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی محصولات فاسدشدنی (با تقاضای تصادفی وابسته به قیمت و کیفیت محصول)	قراردادهای عمده‌فروشی و تخفیف
[۱۶]	۲۰۱۴	تعیین سطح موجودی و اندازه دسته تولیدی برای هر مرحله عملیاتی از زنجیره‌ی تأمین چندسطحی با الگوی تولید به‌هنگام	شبیه‌سازی
[۱۷]	۲۰۱۴	مدل‌سازی یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده‌فروش، با در نظر گرفتن امکان خرابی ماشین‌آلات و توقف در تولید و تأمین	مدل‌سازی ریاضی برای سیستم‌های متمرکز و بازی رهبر-پیرو
[۱۲]	۲۰۱۴	بررسی یکپارچه‌ی انتخاب تأمین‌کنندگان و سیاست کنترل موجودی مرور پیوسته، در یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل چندین تأمین‌کننده، یک خریدار و چندین خرده‌فروش	مدل برنامه‌ریزی غیرخطی با اعداد صحیح
[۱۸]	۲۰۱۵	توسعه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی با اهداف کمیته‌سازی هزینه کل و بیشینه‌سازی متوسط تعداد محصولات ارسالی به مشتریان در زنجیره‌ی تأمین چندمحصولی، چنددوره‌ی و سه‌سطحی	مدل برنامه‌ریزی دوهدفه با اعداد صحیح

### ۱.۳. پارامترها

- $c_m$ : هزینه‌ی حاشیه‌ی پردازش نزد تولیدکننده؛
- $c_r$ : هزینه‌ی حاشیه‌ی پردازش نزد خرده‌فروش؛
- $p$ : قیمت فروش محصول نهایی به مشتری؛
- $w$ : قیمت عمده‌فروشی برای خرید قطعی از تأمین‌کننده؛
- $o$ : قیمت خرید (رزرو) سفارش اختیار خرید ترکیبی از تأمین‌کننده؛
- $e$ : تبادل مالی بین تولیدکننده و تأمین‌کننده به دلیل تغییر سفارش قطعی؛
- $ep$ : مقدار پرداختی تأمین‌کننده به‌ازای هر واحد کاهش سفارش قطعی؛
- $ec$ : مقدار پرداختی تولیدکننده به تأمین‌کننده به‌ازای هر واحد افزایش سفارش قطعی؛
- $q$ : میزان سفارش خرده‌فروش به تولیدکننده؛
- $C$ : متغیر تصادفی هزینه‌ی خرده‌فروش،  $c_r \geq 0$ ؛
- $g_C(c_r)$ : تابع چگالی متغیر تصادفی هزینه‌ی خرده‌فروش؛
- $X$ : متغیر تصادفی تقاضای مشتری،  $x \geq 0$ ؛
- $f_X(x)$ : تابع چگالی متغیر تصادفی تقاضای مشتری؛
- $F(x)$ : تابع توزیع متغیر تصادفی تقاضای مشتری و  $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$

$S(q)$ : متوسط فروش خرده‌فروش در فصل فروش با موجودی  $q$ ,

$$S(q) = E[\text{Min}\{q, X\}] = q - \int_0^q F(x) dx$$

$\alpha_m$ : سهم تولیدکننده از سود سیستم تولیدکننده و خرده‌فروش در قرارداد بازخرد،  
 $0 \leq \alpha_m \leq 100\%$ .

### ۲.۳. متغیرهای تصمیم تولیدکننده

$q_d$ : میزان سفارش قطعی تولیدکننده به تأمین‌کننده؛

$q_o$ : میزان سفارش اختیار خرید ترکیبی به تأمین‌کننده (این مقدار دامنه‌ی مجاز افزایش یا کاهش سفارش قطعی را نشان می‌دهد)؛

$q_e$ : مقدار افزایش یا کاهش سفارش قطعی؛

$q_{ep}$ : مقدار کاهش سفارش قطعی؛

$q_{ec}$ : مقدار افزایش سفارش قطعی؛

$(w_m, b)$ : پارامترهای قرارداد بازخرد، طراحی شده توسط تولیدکننده برای خرده‌فروش.

### ۳.۳. نمادهای متوسط سود

$\Pi_{m,1}$ : متوسط سود تولیدکننده طبق مرحله‌ی اول ساختار تصمیم‌گیری معرفی شده در بخش ۵؛

$\Pi_{m,2}$ : متوسط سود تولیدکننده طبق مرحله‌ی دوم ساختار تصمیم‌گیری معرفی شده در بخش ۵؛

$\Pi_{m,2,1}$ : متوسط سود تولیدکننده در مرحله‌ی دوم، هنگام تعیین مقدار بهینه‌ی  $q_e$ ؛

$\Pi_{m,2,2}$ : متوسط سود تولیدکننده در مرحله‌ی دوم، هنگام تعیین مقادیر بهینه‌ی  $w_m, b$ ؛

$\Pi_r$ : متوسط سود خرده‌فروش تحت قرارداد بازخرد.

چنان‌که پیش‌تر بیان شد، یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش را در نظر بگیرید. تولیدکننده مواد مورد نیاز خود را از تأمین‌کننده تهیه و پس از انجام عملیات پردازش، در اختیار خرده‌فروش قرار می‌دهد. خرده‌فروش نیز پس از دریافت تقاضا در فصل فروش، یک عملیات پردازش نهایی روی محصول انجام داده و تقاضای تصادفی مشتریان را برآورده می‌کند. اگر فرض کنیم که:

- تولیدکننده در زمان صدور سفارش به تأمین‌کننده از هزینه‌ی پردازش خرده‌فروش اطلاع دقیق نداشته باشد و یک تابع چگالی احتمال از هزینه‌ی پردازش خرده‌فروش در اختیار داشته باشد؛
  - با گذشت زمان و قبل از انعقاد قرارداد تولیدکننده با خرده‌فروش، تولیدکننده از هزینه‌ی پردازش خرده‌فروش مطلع شود؛
  - در ارتباط بین تأمین‌کننده و تولیدکننده، تأمین‌کننده سازوکار قیمت را به تولیدکننده پیشنهاد می‌کند و تولیدکننده راجع به مقدار سفارش به تأمین‌کننده تصمیم می‌گیرد؛
  - در ارتباط بین تولیدکننده و خرده‌فروش، تولیدکننده سازوکار قیمت را به خرده‌فروش پیشنهاد کرده و خرده‌فروش راجع به مقدار سفارش به تولیدکننده تصمیم می‌گیرد.
- در چنین شرایطی، تولیدکننده در زمان طراحی قرارداد تأمین با عدم قطعیت در رابطه با هزینه و تقاضا، و در زمان طراحی قرارداد با خرده‌فروش نیز فقط با عدم قطعیت تقاضای فصل فروش روبه‌رو است. یکی از سازوکارهای قرارداد مناسب برای چنین وضعیتی قرارداد اختیار خرید است. این قرارداد کمک می‌کند تا تولیدکننده قسمتی از تصمیمات خود را پس از رفع برخی عدم قطعیت‌ها اتخاذ کند. یادآوری

می‌شود در این تحقیق سفارش‌دهی تولیدکننده به تأمین‌کننده طبق کامل‌ترین حالت قرارداد اختیار خرید، یعنی قرارداد اختیار خرید دوطرفه، انجام می‌شود.

طبق قرارداد اختیار خرید، تولیدکننده متعهد به خرید از تأمین‌کننده به میزان  $q_d$  واحد با قیمت  $w$  به‌عنوان سفارش قطعی می‌شود. همچنین تولیدکننده می‌تواند مقداری سفارش اختیار خرید  $q_o$ ، به قیمت  $o$  واحد پول، از تأمین‌کننده خریداری کند. پس از مشخص شدن هزینه‌ی پردازش خرده‌فروش، تولیدکننده می‌تواند در صورت نیاز از سفارش اختیار خرید نیز، به میزان  $q_o \leq q_e \leq q_o - q_e$  واحد، استفاده کند. اگر  $q_e > 0$  باشد، تولیدکننده اقدام به افزایش سفارش قطعی می‌کند. در این صورت تولیدکننده متعهد به پرداخت  $ec \geq w$  واحد پول دیگر به‌ازای هر واحد افزایش سفارش قطعی می‌شود. اگر  $q_e < 0$  باشد، تولیدکننده اقدام به کاهش سفارش قطعی می‌کند. در این صورت، تأمین‌کننده متعهد به پرداخت  $ep \leq w$  واحد پول، به‌ازای هر واحد کاهش سفارش قطعی می‌شود. این سازوکار قیمت‌گذاری مشابه سازوکار استفاده شده در مطالعات وانگ و تسائو<sup>[۲۶]</sup> است. تولیدکننده پس از شروع فصل فروش دیگر امکان تهیه‌ی مواد از تأمین‌کننده را نخواهد داشت.

پس از انعقاد قرارداد تأمین و تهیه‌ی مواد از تأمین‌کننده، تولیدکننده مواد تهیه شده به میزان  $q_d + q_e$  را پردازش کرده و ضمن اطلاع از هزینه‌ی خرده‌فروشی وارد قرارداد با او می‌شود. قرارداد تولیدکننده و خرده‌فروش پیش از شروع فصل فروش منعقد می‌شود. فرض کنید در ارتباط تولیدکننده با خرده‌فروش، تولیدکننده طراح قرارداد باشد و یک قرارداد بازخرد با پارامترهای  $(w_m, b)$  به خرده‌فروش پیشنهاد کند. طبق این قرارداد، قیمت عمده‌فروشی هر واحد از محصول تولیدکننده برای خرده‌فروش برابر  $w_m$  است. همچنین تولیدکننده، برای کاهش ریسک سفارش‌دهی خرده‌فروش، متعهد می‌شود در پایان فصل فروش  $b$  واحد پول به‌ازای هر واحد محصول مازاد خرده‌فروش به او پرداخت کند. در چنین شرایطی به دنبال بررسی تصمیمات بهینه‌ی تولیدکننده در ارتباط با تأمین‌کننده و خرده‌فروش هستیم.

یادآوری می‌شود، فرضیات و شرایط یادشده در این بخش، برای شرکت‌های تولیدکننده‌ی طیف وسیعی از محصولات نوع ابداعی و مد، شامل قطعات الکترونیکی و رایانه‌یی، مصداق دارد.<sup>[۲۶]</sup>

## ۴. تشریح روابط بین اعضای زنجیره در مقاطع مختلف زمانی

در شکل ۱ تصمیمات تولیدکننده در مقاطع مختلف زمانی و در ارتباط با تأمین‌کننده و خرده‌فروش نشان داده شده است.

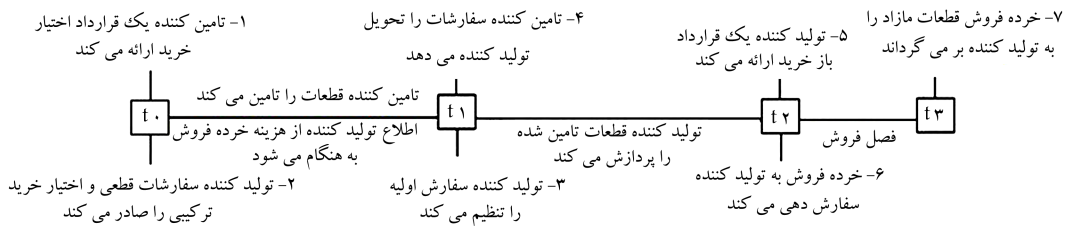
چنان‌که مشاهده می‌شود، گام‌های قرارداد تولیدکننده با تأمین‌کننده و خرده‌فروش را می‌توان چنین خلاصه کرد:

گام ۱. در زمان  $t^0$  تولیدکننده پس از دریافت پارامترهای قرارداد اختیار خرید  $(w, o, ec, ep)$ ، سفارشات  $q_d, q_o$  را به تأمین‌کننده صادر می‌کند.

گام ۲. در فاصله‌ی زمانی  $t^0$  تا  $t^1$  تولیدکننده از هزینه‌ی خرده‌فروش مطلع می‌شود. همچنین تأمین‌کننده به‌اندازه‌ی  $q_d + q_o$  تولید می‌کند.

گام ۳. در زمان  $t^1$  تولیدکننده با توجه به مقدار  $c_r$  اقدام به تنظیم، یعنی افزایش یا کاهش سفارش قطعی می‌کند. تأمین‌کننده نیز سفارشات تولیدکننده به میزان  $q_d + q_e$  را به او منتقل می‌کند.

گام ۴. در فاصله‌ی زمانی  $t^1$  تا  $t^2$  تولیدکننده سفارشات دریافت شده از تأمین‌کننده را پردازش و آماده‌ی ارائه به خرده‌فروش می‌کند.



شکل ۱. رخدادهای زنجیره‌ی تأمین در مقاطع مختلف زمانی.

عبارت‌های موجود در تابع هدف تولیدکننده در مرحله‌ی دوم به ترتیب شامل هزینه‌ی تنظیم سفارش اولیه، هزینه‌ی پردازش کل سفارشات دریافت شده از تأمین‌کننده، درآمد فروش به خرده‌فروش و پرداختی برای مواد مازاد خرده‌فروش در انتهای فصل فروش است. این تابع هدف به صورت مشروط بر مقادیر  $c_r, q_d, q_o$  در نظر گرفته شده است. طبق محدودیت ۲ بازه‌ی تنظیم سفارش اولیه باید در محدوده‌ی اختیار خرید باشد. طبق محدودیت ۳ سفارش خرده‌فروش به تولیدکننده نباید از کل موجودی تولیدکننده بیشتر باشد. حد پایین و حد بالای  $w_m$  در محدودیت ۴ به ترتیب از تمایل خرده‌فروش به سفارش بی‌نهایت یا صفر جلوگیری می‌کنند. در این مرحله می‌توان ابتدا مسئله‌ی تولیدکننده در ارتباط با خرده‌فروش را تفکیک کرد و مقادیر بهینه‌ی  $w_m, b$  را برحسب سایر متغیرهای تصمیم به دست آورد. پس از آن مقدار بهینه‌ی  $q_e$  محاسبه می‌شود.

#### ۱.۱.۵. تصمیم بهینه برای تعیین پارامترهای قرارداد بازخرید

تصمیم این مرحله متناظر با زمان  $t_2$  است. قسمتی از مدل که مربوط به تعیین  $w_m, b$  است را چنین در نظر بگیرید:

$$\text{Max}_{w_m, b} \Pi_{m,2} | c_r, q_d, q_e = w_m q - b(q - S(q)) \quad (5)$$

s.t.

$$0 \leq q \leq q_d + q_e \quad (6)$$

$$b \leq w_m \leq p - c_r \quad (7)$$

در مدل فوق به دنبال تعیین مقادیر بهینه برای متغیرهای تصمیم در قرارداد بازخرید، یعنی پارامترهای  $(w_m, b)$ ، برحسب سایر متغیرهای مدل هستیم. تابع هدف متوسط سود تولیدکننده در ارتباط با خرده‌فروشی که هزینه‌ی  $c_r$  دارد نشان می‌دهد. تابع هدف تولیدکننده را می‌توان چنین بازنویسی کرد:

$$\text{Max}_{(w_m, b)} \Pi_{m,2} | c_r, q_d, q_e = (w_m - b)q + bS(q) \quad (8)$$

فرض کنید  $b \geq 0$  باشد. با توجه به مثبت بودن ضرایب  $q$  در رابطه‌ی ۸، مقدار بهینه‌ی سفارش خرده‌فروش برای تولیدکننده زمانی حاصل می‌شود که  $q$  بیشترین مقدار یعنی  $q_d + q_e$  را داشته باشد. همچنین اگر مقدار  $b$  منفی باشد، باز هم تابع هدف با افزایش  $q$  بهبود می‌یابد. زیرا با بررسی مشتق تابع هدف نسبت به  $q$  داریم:

$$\frac{\partial \Pi_{m,2} | c_r, q_d, q_e}{\partial q} = (w_m - b) + b[1 - F(q)] > 0 \quad (9)$$

بنابراین، همواره تصمیم بهینه برای تولیدکننده این است که خرده‌فروش را به خرید بیشتر -- به میزان همه‌ی سفارشات تهیه شده از تأمین‌کننده -- ترغیب کند. لم ۱ ارتباط بین  $w_m$  و  $b$  را در این راستا بیان می‌کند:

لم ۱. برای ترغیب خرده‌فروش به سفارش‌دهی به میزان  $q_d + q_e$ ، باید:

$$w_m = p - c_r - (p - c_r - b)F(q_d + q_e) \quad (10)$$

گام ۵. در زمان  $t_2$  تولیدکننده یک قرارداد بازخرید به خرده‌فروش پیشنهاد می‌کند و در مقابل، خرده‌فروش به اندازه‌ی  $q$  واحد به تولیدکننده سفارش و از او تأمین می‌کند. در این زمان با شروع فصل فروش، خرده‌فروش می‌تواند پس از تکمیل محصول نهایی آن را به مشتریان ارائه کند.

گام ۶. در طول فصل فروش، خرده‌فروش محصول نهایی را طبق نظر مشتری، پس از دریافت تقاضا، پردازش کرده و به فروش می‌رساند. در انتهای فصل فروش، خرده‌فروش به ازای هر واحد محصول مازاد،  $b$  واحد پول از تولیدکننده دریافت خواهد کرد.

در ادامه تجزیه و تحلیل تصمیمات تولیدکننده بر اساس شکل ۱ خواهد بود.

## ۵. ساختار تصمیمات تولیدکننده

می‌توان تصمیمات تولیدکننده در مقاطع مختلف زمانی را با توجه به اطلاع از هزینه‌ی خرده‌فروش در قالب دو مرحله بررسی کرد. در مرحله‌ی اول، متناظر با زمان  $t_0$ ، تولیدکننده باید ضمن عدم دسترسی به هزینه‌ی دقیق،  $c_r$ ، راجع به مقادیر سفارش قطعی و اختیار خرید  $(q_d, q_o)$  تصمیم‌گیری کند. در مرحله‌ی دوم، متناظر با زمان‌های  $t_1$  و  $t_2$ ، تولیدکننده باید ضمن اطلاع از هزینه‌ی  $c_r$ ، راجع به  $q_e$  و همچنین پارامترهای قرارداد بازخرید  $(w_m, b)$  تصمیم‌گیری کند. در این تحقیق، برای تعیین تصمیمات بهینه‌ی تولیدکننده از یک رویه‌ی حرکت به عقب<sup>۱۵</sup> استفاده می‌شود. طبق این رویه، ابتدا تصمیمات تولیدکننده در مرحله‌ی دوم و سپس در مرحله‌ی اول بررسی می‌شوند. برای این منظور با شروع از مرحله‌ی دوم، سعی می‌شود مقادیر بهینه‌ی متغیرهای تصمیم آن مرحله، برحسب متغیرهای تصمیم مرحله‌ی اول محاسبه شوند. سپس با جایگزینی مقادیر بهینه‌ی متغیرهای تصمیم در مسئله‌ی مرحله‌ی اول، مقادیر بهینه‌ی متغیرهای تصمیم در مرحله اول محاسبه می‌شوند.

#### ۱.۵. تصمیم‌گیری در مرحله‌ی دوم

مسئله‌ی تولیدکننده در مرحله‌ی دوم، متناظر با زمان‌های  $t_1$  و  $t_2$ ، عبارت است از:

$$\text{Max}_{q_e, w_m, b} \Pi_{m,2} | c_r, q_d, q_o = -eq_e - c_m(q_d + q_e) + w_m q - b(q - S(q)) \quad (1)$$

s.t.

$$-q_o \leq q_e \leq q_o \quad (2)$$

$$0 \leq q \leq q_d + q_e \quad (3)$$

$$b \leq w_m \leq p - c_r \quad (4)$$

اثبات: تابع هدف خرده‌فروش تحت قرارداد بازخريد عبارت است از:

$$\text{Max}_q \Pi_r = (p - c_r)S(q) - w_m q + b(q - S(q)) \quad (11)$$

خرده‌فروش سعی می‌کند مقدار سفارش خود را به گونه‌ی تعیین کند که متوسط سود او در رابطه‌ی ۱۱ بیشینه شود. با بررسی مشتقات اول و دوم تابع هدف نسبت به  $q$  داریم:

$$\frac{\partial \Pi_r}{\partial q} = (p - c_r)(1 - F(q)) - w_m + bF(q) \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_r}{\partial q^2} = -\underbrace{(p - c_r - b)}_{>0} f(q) < 0 \quad (13)$$

مشاهده می‌شود که تابع هدف نسبت به  $q$  مقعر است. بنابراین مقدار بهینه‌ی  $q$  با برابر صفر قراردادن مشتق اول در رابطه‌ی ۱۴ صدق می‌کند:

$$F(q) = \frac{p - c_r - w_m}{p - c_r - b} \quad (14)$$

تولیدکننده می‌تواند با در نظر گرفتن  $q = q_d + q_e$ ، پارامترهای قرارداد بازخريد را چنان تنظیم کند که خرده‌فروش تشویق به سفارش‌دهی به میزان  $q_d + q_e$  شود. بنابراین اثبات کامل است. ■

لم ۱ نحوه‌ی تنظیم پارامترهای قرارداد بازخريد یعنی  $w_m$  و  $b$  را مشخص می‌کند. طبق رابطه‌ی ۱۰، مشاهده می‌شود که بین این دو پارامتر یک ارتباط مستقیم خطی وجود دارد. به عبارتی با افزایش (کاهش) یکی دیگری نیز افزایش (کاهش) می‌یابد. چنین ارتباطی مطابق انتظار است، زیرا تولیدکننده با افزایش (کاهش) قیمت عمده‌فروشی خود برای خرده‌فروش باید محصول مازاد خرده‌فروش در انتهای فصل فروش را نیز با قیمت بیشتری (کم‌تری) خریداری کند.

فرض کنید تولیدکننده به عنوان طراح قرارداد به دنبال تصاحب حداقل  $\alpha_m$  درصد از سود کل سیستم باشد. در این صورت باید مقادیر در نظر گرفته شده برای  $w_m$  و  $b$ ، ضمن ارضای لم ۱، در رابطه‌ی ۱۵ نیز صدق کنند:

$$w_m q - b(q - S(q)) \geq \alpha_m (p - c_r) S(q_d + q_e) \quad (15)$$

براین اساس، سود تولیدکننده در قرارداد بازخريد طراحی شده باید دست کم برابر با  $\alpha_m$  درصد از سود کل سیستم باشد. فرض کنید بخواهیم مقادیر  $w_m$  و  $b$  را به گونه‌ی تعیین کنیم که رابطه‌ی ۱۵ به صورت تساوی برقرار باشد. در این صورت با استفاده از دو معادله‌ی ۱۰ و ۱۵ به فرم تساوی، می‌توان مقادیر دو مجهول  $w_m$  و  $b$  را به دست آورد.

لم ۲. با تصاحب  $\alpha_m$  درصد از سود کل سیستم تولیدکننده - خرده‌فروش توسط تولیدکننده، مقادیر بهینه‌ی پارامترهای قرارداد بازخريد عبارت‌اند از:

$$w_m = (p - c_r)(1 - F(q_d + q_e)) + (p - c_r) \left[ \frac{(q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) - \alpha_m S(q_d + q_e)}{(q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) - S(q_d + q_e)} \right] F(q_d + q_e) \quad (16)$$

$$b = (p - c_r) \left[ \frac{(q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) - \alpha_m S(q_d + q_e)}{(q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) - S(q_d + q_e)} \right] \quad (17)$$

اثبات: با بازنویسی سود تولیدکننده برحسب پارامتر  $b$ ، طبق رابطه‌ی ۱۰ و سپس جایگزینی آن در سمت چپ رابطه‌ی ۱۵، به فرم تساوی، خواهیم داشت:

$$(p - c_r)(1 - F(q_d + q_e))(q_d + q_e) - b(q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) + bS(q_d + q_e) = \alpha_m (p - c_r) S(q_d + q_e) \Rightarrow b = (p - c_r) \left[ \frac{(q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) - \alpha_m S(q_d + q_e)}{(q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) - S(q_d + q_e)} \right] \quad (18)$$

با جایگزینی رابطه‌ی ۱۸ در رابطه‌ی ۱۰، رابطه‌ی ۱۶ به دست می‌آید. در ادامه نشان داده می‌شود که مقادیر مشخص شده در روابط ۱۶ و ۱۷ برای  $w_m$  و  $b$  محدوده‌ی مجاز این متغیرها خواهند بود. ابتدا ثابت می‌شود که  $b < p - c_r$  است. بدین منظور باید داشته باشیم:

$$\left[ \frac{(q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) - \alpha_m S(q_d + q_e)}{(q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) - S(q_d + q_e)} \right] \leq 1 \quad (19)$$

می‌دانیم که مخرج عبارت سمت چپ رابطه‌ی ۱۹ غیر مثبت است، زیرا:

$$[q_d + q_e - S(q_d + q_e) - (q_d + q_e)F(q_d + q_e)] = \int_{q_d + q_e}^{\infty} F(x) dx - (q_d + q_e)F(q_d + q_e) \leq 0 \quad (20)$$

بنابراین برای اینکه رابطه‌ی ۱۹ برقرار باشد، باید داشته باشیم:

$$(q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) - \alpha_m S(q_d + q_e) \geq (q_d + q_e)(1 - F(q_d + q_e)) - S(q_d + q_e) \Rightarrow -\alpha_m S(q_d + q_e) \geq -S(q_d + q_e) \quad (21)$$

براین اساس، رابطه‌ی ۲۱ برقرار است و داریم:  $b < p - c_r$ . با توجه به برقراری  $b < p - c_r$  و رابطه‌ی ۱۰ واضح است که  $b \leq w_m$  نیز برقرار است. همچنین، برای این که  $w_m \leq p - c_r$  باشد، باید داشته باشیم:

$$p - c_r - (p - c_r - b)F(q_d + q_e) \leq p - c_r \Rightarrow bF(q_d + q_e) \leq (p - c_r)F(q_d + q_e) \Rightarrow b \leq (p - c_r) \quad (22)$$

با توجه به برقراری رابطه‌ی ۲۲ داریم:  $w_m \leq p - c_r$ . بنابراین اثبات کامل است. ■ در این قسمت مقادیر نهایی  $w_m$  و  $b$ ، زمانی که تولیدکننده به عنوان طراح قرارداد  $\alpha_m$  درصد از سود کل سیستم تولیدکننده و خرده‌فروش را تصاحب کند، به دست آمدند. با در نظر گرفتن همین مقادیر به عنوان مقادیر نهایی برای  $w_m$  و  $b$ ، در ادامه به تجزیه و تحلیل تصمیم بهینه‌ی تولیدکننده در مرحله‌ی دوم، در رابطه با  $q_e$ ، خواهیم پرداخت.

#### ۲.۱.۵. تصمیم بهینه برای تعیین میزان تغییر سفارش قطعی

پس از طراحی قرارداد بازخريد در این مرحله متناظر با زمان  $t$ ، مسئله‌ی تولیدکننده تعیین مقدار بهینه‌ی میزان استفاده از اختیار خرید  $(q_e)$  و به عبارتی میزان تغییر

سفارش قطعی است. مدل زیر را در نظر بگیرید:

عبارت خواهد بود از:

$$\text{Max}_{q_{ep}} \Pi_{m,2,1} | c_r, q_d, q_o = -(ep)q_{ep} - c_m(q_d + q_{ep}) + \alpha_m(p - c_r)S(q_d + q_{ep}) \quad (28)$$

s.t.

$$-q_o \leq q_{ep} \leq 0 \quad (29)$$

در این حالت تولیدکننده به میزان  $ep$  واحد، به ازای کاهش هر واحد از سفارش قطعی، از تأمین‌کننده دریافت می‌کند. طبق محدودیت ۲۹ میزان کاهش سفارش قطعی نباید از حد اختیار خرید تجاوز کند. با بررسی مشتقات اول و دوم تابع هدف داریم:

$$\frac{\partial \Pi_{m,2,1}}{\partial q_{ep}} = -ep - c_m + \alpha_m(p - c_r)(1 - F(q_d + q_{ep})) \quad (30)$$

$$\frac{\partial^2 \Pi_{m,2,1}}{\partial q_{ep} \partial q_{ep}} = -\alpha_m(p - c_r)f(q_d + q_{ep}) < 0 \quad (31)$$

بنابراین تابع هدف مقعر است. اگر مشتق اول را برابر صفر قرار دهیم، مجموع  $q_d + q_{ep}$  در رابطه‌ی ۳۲ صدق خواهد کرد:

$$F(q_d + q_{ep}) = \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} \quad (32)$$

مقدار بهینه‌ی  $q_{ep}$  را می‌توان ضمن توجه به منفی نبودن عبارت سمت راست رابطه‌ی ۳۲ و همچنین برقراری محدودیت ۲۹، از رابطه‌ی ۳۲ به دست آورد. با این فرض که عبارت سمت راست رابطه‌ی ۳۲ مثبت باشد، اگر  $F(q_d)$  از عبارت سمت راست رابطه‌ی ۳۲ بزرگ‌تر باشد، مقدار  $q_{ep}$  منفی و موجبه می‌شود و اگر  $F(q_d)$  از عبارت سمت راست رابطه‌ی ۳۲ کوچک‌تر باشد، مقدار  $q_{ep}$  مثبت و غیرموجبه می‌شود. بنابراین، مقدار بهینه‌ی  $q_{ep}$  چنین نمایش داده می‌شود:

$$q_{ep} = \begin{cases} -q_o & \text{If } \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} \leq 0 \\ 0 & \text{If } \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} > 0, \\ & F^{-1} \left[ \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} \right] - q_d \geq 0 \\ & -q_d \geq 0 \\ F^{-1} \left[ \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} \right] - q_d & \text{If } \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} > 0, -q_o \\ & < F^{-1} \left[ \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} \right] \\ & -q_d < 0 \\ -q_o & \text{If } \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} > 0, \\ & F^{-1} \left[ \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} \right] - q_d \leq -q_o \end{cases} \quad (33)$$

ضابطه‌ی اول در رابطه‌ی ۳۳ بیان‌گر حالتی است که عبارت سمت راست رابطه‌ی ۳۲ مثبت نباشد. در این شرایط کاهش سفارش قطعی، تا حد ممکن برای تولیدکننده تصمیم بهینه خواهد بود. ضابطه‌ی دوم در رابطه‌ی ۳۳ بیان‌گر حالتی است که مقدار  $q_{ep}$  غیرموجبه مثبت است. در این حالت مقدار بهینه‌ی  $q_{ep}$  معادل صفر در نظر

$$\text{Max}_{q_e} \Pi_{m,2,1} | c_r, q_d, q_o = -eq_e - c_m(q_d + q_e) + \Pi_{m,2,2} | c_r, q_d, q_e \quad (23)$$

s.t.

$$-q_o \leq q_e \leq q_o \quad (24)$$

تابع هدف شامل هزینه‌ی تغییر سفارش قطعی و هزینه‌ی پردازش کل مواد تأمین شده از تأمین‌کننده است. متوسط درآمد تولیدکننده در ارتباط با خرده‌فروش نیز مشروط بر مقادیر  $q_d, q_e, c_r$  در تابع هدف نمایش داده شده است. در این مرحله تولیدکننده باید ضمن اطلاع از هزینه‌ی خرده‌فروش مقدار بهینه‌ی  $q_e$  را برحسب متغیرهای تصمیم مرحله اول، یعنی  $q_d, q_o$  تعیین کند. طبق محدودیت ۲۴ مقدار بهینه‌ی  $q_e$  نباید از محدوده‌ی اختیار خرید ترکیبی تعیین شده در  $t^0$  تجاوز کند. با در نظر گرفتن مقادیر  $w_m$  و  $b$  برحسب  $q_d$  و  $q_e$ ، طبق لم ۲، می‌توان مسئله‌ی تولیدکننده را چنین بازنویسی کرد:

$$\text{Max}_{q_e} \Pi_{m,2,1} | c_r, q_d, q_o = -eq_e - c_m(q_d + q_e) + \alpha_m(p - c_r)S(q_d + q_e) \quad (25)$$

s.t.

$$-q_o \leq q_e \leq q_o \quad (26)$$

در این شرایط می‌توان مقدار بهینه‌ی  $q_e$  را طبق لم ۳ محاسبه کرد. لم ۳. مقدار بهینه‌ی تغییر در سفارش قطعی برابر است با:

$$q_e = \begin{cases} q_o & \text{If } c_r < p - \left[ \frac{c_m + ec}{\alpha_m(1 - F(q_d + q_o))} \right] \\ F^{-1} \left[ \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ec}{\alpha_m(p - c_r)} \right] - q_d & \text{If } p - \left[ \frac{c_m + ec}{\alpha_m(1 - F(q_d + q_o))} \right] \leq c_r < p - \left[ \frac{c_m + ec}{\alpha_m(1 - F(q_d))} \right] \\ 0 & \text{If } p - \left[ \frac{c_m + ec}{\alpha_m(1 - F(q_d))} \right] \leq c_r \leq p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d))} \right] \\ F^{-1} \left[ \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} \right] - q_d & \text{If } p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d))} \right] \leq c_r \leq p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d - q_o))} \right] \\ -q_o & \text{If } p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d - q_o))} \right] < c_r \end{cases} \quad (27)$$

اثبات: با در نظر گرفتن دو حالت کاهش و افزایش سفارش قطعی، مقدار بهینه‌ی تغییر در سفارش قطعی به دست می‌آید. در اینجا تنها حالتی بررسی می‌شود که  $q_e = q_{ep} \leq 0$  باشد. حالت دیگر، یعنی  $q_e = q_{ec} \geq 0$  نیز مشابه این حالت قابل بررسی است. در حالت  $q_e = q_{ep} \leq 0$  مسئله‌ی تولیدکننده در زمان  $t^1$

$$Z1 = [-wq_d - (o + ec)q_o - c_m(q_d + q_o) + \alpha_m(p - c_r)S(q_d + q_o)]g(c_r)$$

$$Z2 = -wq_d - oq_o - ec(F^{-1}(Z_c) - q_d) - c_m F^{-1}(Z_c) + \alpha_m(p - c_r)S(F^{-1}(Z_c))g(c_r)$$

$$Z3 = [-wq_d - oq_o - c_m q_d + \alpha_m(p - c_r)S(q_d)]g(c_r)$$

$$Z4 = -wq_d - oq_o - ep(F^{-1}(Z_p) - q_d) - c_m F^{-1}(Z_p) + \alpha_m(p - c_r)S(F^{-1}(Z_p))g(c_r)$$

$$Z5 = [-wq_d - (o - ep)q_o - c_m(q_d - q_o) + \alpha_m(p - c_r)S(q_d - q_o)]g(c_r)$$

$$Z_c = \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ec}{\alpha_m(p - c_r)}$$

$$Z_p = \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} \quad (37)$$

در رابطه‌ی فوق مقدار بهینه‌ی  $q_e$  با توجه به رابطه‌ی ۲۷ در متوسط سود تولیدکننده بازنویسی شده است. حدود انتگرال در رابطه‌ی ۳۷ با توجه به حدود مشخص شده در ضوابط رابطه‌ی ۲۷ در نظر گرفته شده است.

لم ۴. تابع هدف مرحله‌ی اول نسبت به سفارشات قطعی و اختیار خرید ترکیبی مقعر است.

اثبات: می‌توان تابع هدف را متشکل از قسمت‌های  $Z1, Z2, Z3, Z4, Z5$  دانست. با تشکیل ماتریس هسین و محاسبه‌ی مقادیر ویژه‌ی آن‌ها برای هر یک از قسمت‌های  $Z1, Z3, Z5$  می‌توان نشان داد که این قسمت‌ها نسبت به  $q_d$  و  $q_o$  مقعرند. با توجه به خطی بودن  $Z2, Z4$  برحسب  $q_d$  و  $q_o$ ، این دو قسمت از تابع هدف نیز نسبت به  $q_d$  و  $q_o$  مقعرند. بنابراین، با توجه به این که تابع هدف، به‌ازای هر مقدار برای حدود انتگرال، شامل مجموع چند تابع مقعر است، کل تابع هدف نیز مقعر خواهد بود. بنابراین اثبات کامل است. ■

با استفاده از لم ۴ می‌توان مقادیر بهینه‌ی سفارشات قطعی و اختیار خرید را به‌راحتی و با روش‌های جست‌وجوی عددی محاسبه کرد.

## ۶. تجزیه و تحلیل عددی

هدف این بخش نمایش اثرات قراردادهای زنجیره بر هم، به‌ازای مقادیر مختلف پارامترهای کلیدی مدل است. مقادیر زیر را به‌عنوان مقادیر اولیه برای پارامترهای مدل در نظر بگیرد:

$$p = 150\$, \quad c_m = 50\$, \quad (w, o, ec, ep) = (40\$, 3\$, 42\$, 37\$)$$

$$X \sim \text{Uniform}[10 - 50], \quad C \sim \text{Normal}(\mu = 50, \sigma = 20)$$

در این بخش تصمیمات بهینه‌ی سفارش‌دهی تولیدکننده به تأمین‌کننده و همچنین نحوه‌ی طراحی قرارداد با خرید برای خرده‌فروش، به‌ازای مقادیر مختلف برای پارامترهای کلیدی مدل بررسی می‌شود. هر بار با تغییر مقدار برخی از این پارامترها، مقدار سایر پارامترهای مدل برابر مقدار اولیه باقی می‌ماند. مقادیر بهینه‌ی سفارشات  $q_d$  و  $q_o$  با استفاده از یک برنامه‌ی رایانه‌ی در نرم‌افزار مطلب<sup>۱۶</sup> با دقت ۰٫۱٪ محاسبه شده است.

گرفته می‌شود. ضابطه‌ی سوم در رابطه‌ی ۳۳ مستقیماً از رابطه‌ی ۳۲ به دست آمده است. ضابطه‌ی چهار در رابطه‌ی ۳۳ تضمین‌کننده‌ی برقراری رابطه‌ی ۲۹ است. با بازنویسی ضوابط رابطه‌ی ۳۳ برحسب  $c_r$  و پس از ساده‌سازی، خواهیم داشت:

$$q_{ep} = \begin{cases} 0 & \text{If } c_r \leq p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d))} \right] \\ F^{-1} \left[ \frac{\alpha_m(p - c_r) - c_m - ep}{\alpha_m(p - c_r)} \right] - q_d & \text{If } p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d))} \right] < c_r \\ & \leq p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d - q_o))} \right] \\ -q_o & \text{If } p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d - q_o))} \right] < c_r \end{cases} \quad (34)$$

با در نظر گرفتن حالت دیگر، یعنی  $q_e = q_{ec} \geq 0$ ، ضوابط دیگر طبق رابطه‌ی ۲۷ به دست می‌آید. بنابراین اثبات کامل است. ■

طبق لم ۳، تولیدکننده پس از تشخیص هزینه‌ی خرده‌فروش ممکن است اقدام به کاهش یا افزایش سفارش قطعی خود کند. چنین شرایطی مطابق انتظار است، زیرا انتظار می‌رود تولیدکننده برای مواجهه با خرده‌فروشی که هزینه‌ی کم‌تری دارد، مواد بیشتری از تأمین‌کننده تهیه کند و برعکس. در ادامه، تصمیم بهینه‌ی تولیدکننده در مرحله‌ی اول یا  $t^0$  بررسی می‌شود.

## ۲.۵. تصمیم‌گیری در مرحله‌ی اول

طبق آنچه در عمل اتفاق می‌افتد، تولیدکننده ابتدا با مسئله‌ی مرحله‌ی اول متناظر با زمان  $t^0$  روبه‌رو است؛ به این صورت که:

$$\text{Max}_{q_d, q_o} \Pi_{m,1} = -wq_d - oq_o + E[\Pi_{m,2} | C, q_d, q_o] \quad (35)$$

$$\text{s.t. } 0 \leq q_d, \quad 0 \leq q_o \leq q_d \quad (36)$$

قسمت اول تابع هدف تولیدکننده در این مرحله شامل هزینه‌ی سفارشات قطعی و اختیار خرید (ترکیبی) است. قسمت دوم شامل متوسط سود تولیدکننده در سایر مقاطع تصمیم‌گیری، مشروط بر مقادیر اتخاذ شده برای سفارش قطعی و اختیار خرید و همچنین هزینه‌ی واقعی خرده‌فروش است. در این مرحله تولیدکننده اطلاع دقیقی از هزینه‌ی خرده‌فروش ندارد. غیرقطعی بودن هزینه‌ی خرده‌فروش منجر به غیرقطعی شدن سود تولیدکننده در این مرحله می‌شود. می‌توان با توجه به نمایش  $q_e$  برحسب هزینه‌ی خرده‌فروش در لم ۳ و تابع چگالی احتمال  $c_r$ ، تابع هدف تولیدکننده را چنین بازنویسی کرد:

$$\Pi_{m,1} = \int_0^{p - \left[ \frac{c_m + ec}{\alpha_m(1 - F(q_d + q_o))} \right]} Z1 dc_r + \int_0^{p - \left[ \frac{c_m + ec}{\alpha_m(1 - F(q_d))} \right]} Z2 dc_r + \int_0^{p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d))} \right]} Z3 dc_r + \int_0^{p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d - q_o))} \right]} Z4 dc_r + \int_0^\infty Z5 dc_r + \int_0^{p - \left[ \frac{c_m + ep}{\alpha_m(1 - F(q_d - q_o))} \right]}$$



جدول ۴. اثر پارامترهای مربوط به قرارداد با خرده فروش، بر سفارش دهی به تأمین کننده ( $\alpha_m = 100\%$ ).

	$\mu$	$\sigma$	$q_d$	$q_o$	متوسط سود تولیدکننده
۵۰	۱۰	۱۰	۱۳,۸۳	۱,۲۲	۱۲۱,۱۳
	۱۵	۱۵	۱۲,۳۳	۴,۸۷	۱۲۸,۹۱
	۲۰	۲۰	۹,۵۱	۹,۵۱	۱۵۰,۰۱
	۲۵	۲۵	۹,۸۵	۹,۸۵	۱۶۲,۳۹
۵۵	۱۰	۱۰	۱۱,۸۸	۱,۵۴	۵۶,۹۳
	۱۵	۱۵	۷,۹۳	۷,۹۳	۷۷,۴۲
	۲۰	۲۰	۸,۷۶	۸,۷۶	۱۰۳,۹۱
	۲۵	۲۵	۹,۲۹	۹,۲۹	۱۲۳,۵۳
۶۰	۱۰	۱۰	۵,۷۷	۵,۷۷	۱۴,۶۸
	۱۵	۱۵	۶,۸۸	۶,۸۸	۳۸,۷۸
	۲۰	۲۰	۷,۹۰	۷,۹۰	۶۵,۲۲
	۲۵	۲۵	۸,۶۴	۸,۶۴	۸۸,۳۳

سفارشات  $q_d, q_o$  و متوسط سود تولیدکننده طبق ارتباط با هر دو عضو زنجیره نشان داده شده است.

با دقت در این جداول مشاهده می شود که با ثابت ماندن پارامترهای مختلف، طبق انتظار، در پی افزایش میانگین هزینهی خرده فروش، مجموع سفارشات  $q_d$  و متوسط سود تولیدکننده در مقاطع مختلف زمان کاهش می یابد. در هر جدول مشاهده می شود که در پی افزایش پراکندگی هزینهی خرده فروش، همواره سفارش  $q_o$  برای مقابله با این نوسانات و متوسط سود تولیدکننده نیز افزایش می یابد. بهبود توانایی تولیدکننده برای مقابله با نوسانات هزینهی خرده فروش و تنظیم سفارشات قطعی، منجر به بهبود متوسط سود او می شود.

در جداول ۲ تا ۴ مشاهده می شود که قدرت چانه زنی تولیدکننده در ارتباط با عضو پایین دست زنجیره، هنگام سفارش دهی به عضو بالادست زنجیره، نباید نادیده گرفته شود. به عنوان نمونه، اگر میانگین هزینهی خرده فروش  $60^\circ$  و انحراف استاندارد آن  $10^\circ$  باشد، تولیدکننده باید هنگامی اقدام به صدور سفارشات قطعی و اختیار خرید به تأمین کننده کند که  $\alpha_m = 100\%$  باشد. لازم به ذکر است با توجه به مقادیر سایر پارامترهای مدل در مثال بررسی شده، اگر  $\alpha_m \leq 85\%$  باشد، در بیشتر مواقع صدور سفارش به تأمین کننده برای تولیدکننده به صرفه نخواهد بود، یعنی  $q_o = q_d = 0$  می شود.

### ۲.۶. وابستگی قرارداد با عضو پایین دست زنجیره، به قرارداد با عضو بالادست زنجیره

در جدول ۵ پارامترهای قرارداد با خرید در ارتباط بین تولیدکننده با عضو پایین دست زنجیره، یعنی خرده فروش، به ازای قراردادهای مختلف اختیار خرید با عضو بالادست زنجیره، یعنی تأمین کننده، نشان داده شده است. در این جدول، ستون متوسط سود تولیدکننده نشانگر متوسط سود او در ارتباط با تأمین کننده و خرده فروش در مقاطع مختلف زمانی، از  $t^\circ$  تا  $t^3$  است. همچنین فرض شده قدرت چانه زنی تولیدکننده در ارتباط با خرده فروش برابر  $95\%$  و هزینهی خرده فروش در زمان  $t^1$  نیز برابر  $40^\circ$  بوده باشد. ستون سود تولیدکننده به ازای  $c_r = 40^\circ$  سود تولیدکننده را در مقاطع

جدول ۲. اثر پارامترهای مربوط به قرارداد با خرده فروش، بر سفارش دهی به تأمین کننده ( $\alpha_m = 90\%$ ).

	$\mu$	$\sigma$	$q_d$	$q_o$	متوسط سود تولیدکننده
۵۰	۱۰	۱۰	۵,۵۵	۵,۵۵	۱۰,۳۵
	۱۵	۱۵	۶,۵۴	۶,۵۴	۳۰,۸۹
	۲۰	۲۰	۷,۳۵	۷,۳۵	۵۰,۵۸
	۲۵	۲۵	۷,۸۲	۷,۸۲	۶۳,۲۴
۵۵	۱۰	۱۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
	۱۵	۱۵	۵,۴۸	۵,۴۸	۷,۳۵
	۲۰	۲۰	۶,۵۰	۶,۵۰	۲۵,۸۹
	۲۵	۲۵	۷,۱۸	۷,۱۸	۴۱,۱۲
۶۰	۱۰	۱۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
	۱۵	۱۵	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
	۲۰	۲۰	۵,۵۶	۵,۵۶	۷,۴۹
	۲۵	۲۵	۶,۴۵	۶,۴۵	۲۲,۴۷

جدول ۳. اثر پارامترهای مربوط به قرارداد با خرده فروش، بر سفارش دهی به تأمین کننده ( $\alpha_m = 95\%$ ).

	$\mu$	$\sigma$	$q_d$	$q_o$	متوسط سود تولیدکننده
۵۰	۱۰	۱۰	۱۱,۹۳	۱,۲۹	۵۶,۴۵
	۱۵	۱۵	۷,۷۸	۷,۷۸	۷۳,۰۶
	۲۰	۲۰	۸,۴۹	۸,۴۹	۹۵,۱۹
	۲۵	۲۵	۸,۸۹	۸,۸۹	۱۰۸,۳۶
۵۵	۱۰	۱۰	۵,۷۳	۵,۷۳	۱۳,۹۶
	۱۵	۱۵	۶,۷۷	۶,۷۷	۳۶,۴۹
	۲۰	۲۰	۷,۶۹	۷,۶۹	۵۹,۹۷
	۲۵	۲۵	۸,۳۰	۸,۳۰	۷۸,۰۳
۶۰	۱۰	۱۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
	۱۵	۱۵	۵,۶۸	۵,۶۸	۱۰,۵۴
	۲۰	۲۰	۶,۷۹	۶,۷۹	۳۱,۸۰
	۲۵	۲۵	۷,۶۱	۷,۶۱	۵۱,۳۶

### ۱.۶. وابستگی سفارشات برای عضو بالادست زنجیره، به قرارداد با عضو پایین دست زنجیره

در جداول ۲ تا ۴ وابستگی سفارشات تولیدکننده به تأمین کننده، طبق قرارداد اختیار خرید، به پارامترهای مربوط به قرارداد تولیدکننده با خرده فروش نشان داده شده است. در هر یک از این جداول، یک مقدار مشخص برای قدرت چانه زنی تولیدکننده در ارتباط با خرده فروش در نظر گرفته شده است، زیرا با توجه به «لم ۲» پارامترهای قرارداد با خرید طراحی شده برای خرده فروش در نهایت وابسته به قدرت چانه زنی تولیدکننده هستند. در سطرهای این جداول نیز مقادیر مختلف برای میانگین ( $\mu$ ) و انحراف استاندارد ( $\sigma$ ) هزینهی خرده فروش در نظر گرفته شده است. در هر جدول

جدول ۵. اثر پارامترهای مربوط به قرارداد تأمین بر قرارداد با خرده‌فروش.

سود تولیدکننده، به‌ازای $c_r = 40$	متوسط سود تولیدکننده	پارامترهای قرارداد بازخريد		سفارش‌دهی به تأمین‌کننده			پارامترهای قرارداد اختیار خرید
		$b$	$w_m$	$q_e$	$q_o$	$q_d$	$(w, o, ec, ep)$
۱۶۴٫۶۱	۱۱۳٫۲۵	۵۶٫۲۱	۱۰۳٫۵۷	۵٫۰۷	۹٫۷۱	۹٫۷۱	(۳۸٫۳، ۴۲٫۳۷)
۱۴۶٫۴۱	۹۵٫۱۹	۵۶٫۲۱	۱۰۳٫۵۷	۶٫۲۹	۸٫۴۹	۸٫۴۹	(۴۰٫۳، ۴۲٫۳۷)
۱۳۱٫۶۵	۷۸٫۹۹	۵۶٫۲۱	۱۰۳٫۵۷	۷٫۰۳	۷٫۷۵	۷٫۷۵	(۴۲٫۳، ۴۲٫۳۷)
۱۶۴٫۶۱	۱۱۳٫۲۵	۵۶٫۲۱	۱۰۳٫۵۷	۵٫۰۷	۹٫۷۱	۹٫۷۱	(۴۰٫۱، ۴۲٫۳۷)
۱۳۱٫۶۵	۷۸٫۹۹	۵۶٫۲۱	۱۰۳٫۵۷	۷٫۰۳	۷٫۷۵	۷٫۷۵	(۴۰٫۵، ۴۲٫۳۷)
۱۶۶٫۱۵	۵۵٫۷۳	۱۹٫۱۷	۱۰۳٫۸۹	۰٫۷۰	۰٫۷۰	۱۱٫۹۹	(۴۰٫۱۰، ۴۲٫۳۷)
۱۶۰٫۱۳	۱۰۲٫۴۶	۶۲٫۹۵	۱۰۳٫۴۷	۷٫۱۸	۸٫۳۷	۸٫۳۷	(۴۰٫۳، ۴۰٫۳۷)
۱۴۰٫۳۱	۹۱٫۸۴	۵۲٫۰۰	۱۰۳٫۶۲	۵٫۸۱	۸٫۵۹	۸٫۵۹	(۴۰٫۳، ۴۳٫۳۷)
۱۳۰٫۰۵	۸۵٫۷۶	۴۱٫۰۴	۱۰۳٫۷۳	۴٫۷۵	۸٫۸۹	۸٫۸۹	(۴۰٫۳، ۴۵٫۳۷)
۱۴۶٫۶۸	۸۹٫۷۷	۵۶٫۲۱	۱۰۳٫۵۷	۶٫۵۶	۸٫۲۲	۸٫۲۲	(۴۰٫۳، ۴۲٫۳۵)
۱۴۶٫۲۴	۹۸٫۲۱	۵۶٫۲۱	۱۰۳٫۵۷	۶٫۱۲	۸٫۶۶	۸٫۶۶	(۴۰٫۳، ۴۲٫۳۸)
۱۴۵٫۸۴	۱۰۴٫۹۸	۵۶٫۲۱	۱۰۳٫۵۷	۵٫۷۲	۹٫۰۶	۹٫۰۶	(۴۰٫۳، ۴۲٫۴۰)

است.<sup>[۳-۱]</sup> این در حالی است که در عمل شرکت‌های تولیدی با اعضای مختلف در سطوح مختلف زنجیره در ارتباط‌اند. نتایج تجزیه و تحلیل صورت گرفته در بخش‌های ۱.۶ و ۲.۶. نشان می‌دهد که تولیدکنندگان هنگام طراحی قرارداد برای یک سطح از زنجیره نباید از ارتباطات خود با سطوح دیگر زنجیره غافل شوند. به‌عنوان نمونه، با مقایسه‌ی جداول ۲ تا ۴، مشاهده می‌شود که در پی افزایش قدرت چانه‌زنی تولیدکننده در ارتباط با خرده‌فروش، سفارشات تولیدکننده به تأمین‌کننده و متوسط سود تولیدکننده نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، سفارشات تولیدکننده به تأمین‌کننده متأثر از روابط تولیدکننده با خرده‌فروش است. نادیده‌گرفتن اثرات قراردادهای سطوح مختلف بر هم منجر به تصمیمات غیر بهینه از جانب تولیدکننده و در نتیجه کاهش سود او می‌شود. همچنین، نباید از اهمیت استفاده از قرارداد اختیار خرید دوطرفه، به‌عنوان کامل‌ترین حالت قرارداد اختیار خرید، برای تولیدکننده غافل شد. این نوع قرارداد برای تولیدکننده هم حق کاهش و هم حق افزایش سفارش اولیه را ایجاد می‌کند. بنابراین در شرایطی که تولیدکننده امکان به‌روزرسانی برخی اطلاعات مانند هزینه خرده‌فروش را داشته باشد، می‌تواند منجر به بهبود توانایی تولیدکننده برای مقابله با نوسانات اطلاعات شود.

## ۷. نتیجه‌گیری

به‌طور معمول هنگام طراحی قرارداد در زنجیره‌های چندسطحی ممکن است، در یک برهه‌ی زمانی و هنگام طراحی یک قرارداد، اطلاعات کافی از برخی عوامل مانند تقاضا یا هزینه در اختیار نباشد. در چنین شرایطی نحوه‌ی طراحی قرارداد با اعضای بالادست و پایین‌دست زنجیره‌ی تأمین اهمیت خاصی پیدا می‌کند. در این تحقیق، با در نظر گرفتن یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی شامل یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و یک خرده‌فروش، نحوه‌ی طراحی قرارداد تولیدکننده با خرده‌فروش و تأمین‌کننده، در شرایط تقاضای تصادفی و همچنین اطلاع ناکافی از هزینه‌ی خرده‌فروش، بررسی شد. به‌دلایل مختلف، مانند زمان‌بر بودن فرایند تأمین مواد، فرض شد که تولیدکننده قبل از شروع فصل فروش اقدام به سفارش‌دهی به تأمین‌کننده می‌کند. تولیدکننده

مختلف زمان، به‌طور خاص در ارتباط با خرده‌فروشی که هزینه‌ی ۴۰ دارد، نشان می‌دهد. طبق لم ۳، بسته به ارتباط  $c_r = 40$  با حدود مشخص شده در ضوابط رابطه‌ی ۲۷، مقدار بهینه‌ی  $q_e$  مشخص می‌شود که این مقدار نیز به‌همراه  $q_o$  و  $q_d$  در جدول ۵ نمایش داده شده است. مقادیر بهینه‌ی قرارداد بازخريد نیز طبق لم ۲ محاسبه شده‌اند.

در جدول ۵ مشاهده می‌شود که، مطابق انتظار، متوسط سود تولیدکننده با افزایش پارامترهای  $w, o, ec$  کاهش، و با افزایش  $ep$  افزایش می‌یابد. افزایش  $o, w$  به ترتیب منجر به کاهش سفارشات  $q_d$  و  $q_o$  می‌شود. از طرفی، افزایش  $ep, ec$  به ترتیب منجر به افزایش سفارشات  $q_d$  و  $q_o$  می‌شود.

نکته‌ی حائز اهمیت این است که پارامترهای  $ep, ec$  در قرارداد اختیار خرید بر حدود ضوابط رابطه‌ی ۲۷ تأثیر می‌گذارند. مقدار بهینه‌ی  $q_e$  نیز بسته به این حدود تغییر می‌کند و در نتیجه متوسط فروش خرده‌فروش، یعنی  $S(q_d + q_e)$ ، تغییر می‌کند. تغییر  $S(q_d + q_e)$  منجر به تغییر سود سیستم تولیدکننده و خرده‌فروش و در نتیجه سهم تولیدکننده از سود سیستم می‌شود. بنابراین، ملاحظه می‌شود که مقادیر پارامترهای قرارداد بازخريد، در مواجهه با یک خرده‌فروش با هزینه‌ی خاص، متأثر از قرارداد تأمین از قبل طراحی شده است. از این رو نمی‌توان طراحی قرارداد با خرده‌فروش را مستقل از قرارداد تأمین در نظر گرفت.

گفتنی است علت یکسان بودن پارامترهای قرارداد بازخريد به‌ازای برخی پارامترها در قرارداد اختیار خرید، یکسان بودن مجموع سفارشات  $q_d + q_e$ ، یعنی ۱۴٫۷۸ است. با توجه به این که در مثال‌های بررسی شده مقدار  $c_r = 40$  در ضوابط اول یا دوم رابطه‌ی ۲۷ صدق می‌کند، مشاهده می‌شود که همواره مقدار  $q_e$  در جدول ۵ مثبت است. به‌عبارتی همواره تولیدکننده در مثال‌های بررسی شده تمایل به افزایش سفارش قطعی خود خواهد داشت.

## ۳.۶. یافته‌های مدیریتی

در اغلب تحقیقات صورت گرفته در رابطه با مسائل هماهنگ‌سازی زنجیره‌ی تأمین و طراحی قرارداد، نحوه‌ی طراحی قرارداد در زنجیره‌های تأمین دوسطحی بررسی شده

کند، محاسبه شد. در قسمت محاسبات عددی، نحوه تغییر تصمیمات بهینه‌ی تولیدکننده و سود او به‌ازای مقادیر مختلف پارامترهای کلیدی مدل بررسی شدند. در این قسمت، نحوه اثرگذاری هر یک از قراردادهای تولیدکننده با پایین‌دست و بالادست زنجیره بر قرارداد دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌های عددی نشان می‌دهد که قراردادهای طراحی شده در هر سطح زنجیره وابسته به اطلاعات و قراردادهای سطوح دیگر زنجیره بوده و نباید مستقل از هم طراحی شوند.

پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی با رعایت نکات زیر انجام شود:

- توسعه‌ی مدل مذکور با در نظر گرفتن تقاضا به‌صورت تصادفی و وابسته به قیمت؛
- در نظر گرفتن چندین عضو تصمیم‌گیرنده در هر یک از سطوح زنجیره‌ی تأمین و بررسی مدل‌های چانه‌زنی با حضور تصمیم‌گیرندگان متعدد در هر یک از سطوح زنجیره؛
- در نظر گرفتن محدودیت‌های تکنولوژیکی در مدل، مانند محدودیت ظرفیت تولید، زمان تحویل محصول نهایی به مشتری یا سطح کیفی محصول نهایی.

زمان طراحی قرارداد تأمین، یک توزیع پیوسته از هزینه‌ی پردازش نهایی خرده‌فروش در اختیار دارد.

در این شرایط، سفارش‌دهی تولیدکننده به تأمین‌کننده طبق کامل‌ترین حالت قرارداد اختیار خرید، یعنی قرارداد اختیار خرید ترکیبی، بررسی شد. تولیدکننده ابتدا در شرایط عدم قطعیت هزینه‌ی خرده‌فروش و تقاضا، راجع به سفارش قطعی و اختیار خرید ترکیبی  $(q_d, q_o)$  تصمیم‌گیری می‌کند. سپس با مشخص شدن هزینه‌ی خرده‌فروش، راجع به میزان تغییر سفارش قطعی  $(q_e)$  تصمیم می‌گیرد. مقدار بهینه‌ی افزایش یا کاهش در سفارش قطعی، پس از مشخص شدن هزینه‌ی خرده‌فروش به‌صورت تحلیلی به‌دست آمد. همچنین، ثابت شد تابع هدف تولیدکننده نسبت به میزان سفارشات قطعی و اختیار خرید ترکیبی به تأمین‌کننده، مقعر است و بنابراین به‌راحتی می‌توان مقادیر این متغیرها را محاسبه کرد. در ارتباط بین تولیدکننده و خرده‌فروش یک قرارداد بازخرید هماهنگ‌کننده از جانب تولیدکننده برای خرده‌فروش طراحی شد. مقادیر بهینه‌ی پارامترهای قرارداد بازخرید، زمانی که تولیدکننده به‌طور مشخص  $\alpha_m$  درصد از سود کل سیستم تولیدکننده‌ی - خرده‌فروش را تصاحب

## پانویس‌ها

1. contract design
2. up-stream member
3. supply chain
4. down-stream member
5. coordination
6. three-echelon
7. option contract
8. buy-back contract
9. fashion and innovative products
10. economical production quantity (EPQ)
11. news-vendor model
12. call option
13. put option
14. bidirectional option
15. backward movement
16. MATLAB software

## منابع (References)

1. Frascatore, M.R. and Mahmoodi, F. "Long-term and penalty contracts in a two stage supply chain with stochastic demand", *European Journal of Operational Research*, **184**, pp. 147-156 (2008).
2. Cachon, G.P. "Supply chain coordination with contracts", In: Graves, S.C., de Kok, A.G. (Eds.), *Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management: Design, Coordination and Operation*, North-Holland, Amsterdam, **11**, pp. 227-339 (2004).
3. Arshinder, K.A. and Deshmukh, S.G. "A framework for evaluation of coordination by contracts: A case of two-level supply chains", *Computers and Industrial Engineering*, **56**(4), pp. 1177-1191 (2008).
4. Munson, C.L. and Rosenblatt, M.J. "Coordinating a three-level supply chain with quantity discounts", *IIE Transactions*, **33**(5), pp. 371-384 (2001).
5. Jaber, M.Y., Bonney, M. and Guiffrida, A.L. "Coordinating a three-level supply chain with learning-based continuous improvement", *International Journal of Production Economics*, **127**, pp. 27-38 (2010).
6. Giannoccaro, I. and Pontrandolfo, P. "Supply chain coordination by revenue sharing contracts", *International Journal of Production Economics*, **89**, pp. 131-139 (2004).
7. Van der Rhee, B., Van der Veen, J.A., Venugopal, V. and Nalla, V.R. "A new revenue sharing mechanism for coordinating multi-echelon supply chains", *Operations Research Letters*, **38**, pp. 296-301 (2010).
8. Schmitt, A.J. and Singh, M. "A quantitative analysis of disruption risk in a multi-echelon supply chain", *International Journal of Production Economics*, **139**(1), pp. 22-32 (2012).
9. Melo, M.T., Nickel, S. and Saldanha-da-Gama, F. "A tabu search heuristic for redesigning a multi-echelon supply chain network over a planning horizon", *International Journal of Production Economics*, **136**(1), pp. 218-230 (2012).
10. Ding, D. and Chen, J. "Coordinating a three level supply chain with flexible return policies", *Omega*, **36**, pp. 865-876 (2008).
11. Wang, K.J., Lin, Y.S. and Yu, J.C.P. "Optimizing inventory policy for products with time-sensitive deteriorating rates in a multi-echelon supply chain", *International Journal of Production Economics*, **130**(1), pp. 66-76 (2011).

12. Guo, C. and Li, X. "A multi-echelon inventory system with supplier selection and order allocation under stochastic demand", *International Journal of Production Economics*, **151**, pp. 37-47 (2014).
13. Jokar, M.R. "Joint economic lot sizing models in multi-stage supply chains: Review and directions for future research", *Industrial Engineering and Management (Sharif Journal)*, **26**, pp. 127-136 (2010).
14. Bellantuono, N., Giannoccaro, I. and Pontrandolfo, P. "The implications of joint adoption of revenue sharing and advanced booking discount programs", *International Journal of Production Economics*, **121**, pp. 383-394 (2009).
15. Cai, X., Chen, J., Xiao, Y., Xu, X. and Yu, G. "Fresh-product supply chain management with logistics outsourcing", *Omega*, **41**, pp. 752-765 (2013).
16. Chaharsooghi, S.K. and Sajedinejad, A. "Simulation of multistage supply chain and optimization of objectives", *Industrial Engineering and Management (Sharif Journal)*, **2**, pp. 73-81 (2014).
17. Pal, B., Sana, S.S. and Chaudhuri, K. "A multi-echelon production-inventory system with supply disruption", *Journal of Manufacturing Systems*, **33**, pp. 262-276 (2014).
18. Pasandideh, S.H.R., Niaki, S.T.A. and Asadi, K. "Optimizing a bi-objective multi product multi period three echelon supply chain network with warehouse reliability", *Expert Systems with Applications*, **42**, pp. 2615-2623 (2015).
19. Pasternack, B.A., "Optimal pricing and return policies for perishable commodities", *Marketing Science*, **4**(2), pp. 166-176 (1985).
20. Chen, J. and Bell, P.C. "Coordinating a decentralized supply chain with customer returns and price-dependent stochastic demand using a buyback policy", *European Journal of Operational Research*, **212**(2), pp. 293-300 (2011).
21. Wang, X. and Liu, L. "Coordination in a retailer-led supply chain through option contract", *International Journal of Production Economics*, **110**, pp. 115-127 (2007).
22. Buzacott, J., Yan, H. and Zhang, H. "Risk analysis of commitment-option contracts with forecast updates", *IIE Transactions*, **43**, pp. 415-431 (2011).
23. Chen, F. and Parlar, M. "Value of a put option to the risk-averse newsvendor", *IIE Transactions*, **39**, pp. 481-500 (2007).
24. He, Y., Zhao, X., Zhao, L. and He, J. "Coordinating a supply chain with effort and price dependent stochastic demand", *Applied Mathematical Modeling*, **33**, pp. 2777-2790 (2009).
25. Milner, M.J. and Rosenblatt, J.M. "Flexible supply contracts for short life-cycle goods: the buyer's perspective", *Naval Research Logistics*, **49**, pp. 25-45 (2002).
26. Wang, Q. and Tsao, D. "Supply contract with bidirectional options: The buyer's perspective", *International Journal of Production Economics*, **101**, pp. 30-52 (2006).
27. Zhao, Y., Ma, L., Xie, G. and Cheng, T.C.E. "Coordination of supply chains with bidirectional option contracts", *European Journal of Operational Research*, **229**, pp. 375-381 (2013).