

**کالج پروژه**

**[www.collegeprozheh.ir](http://www.collegeprozheh.ir)**



**دانلود پروژه های دانشگاهی**

**بانک موضوعات پایان نامه**

**دانلود مقالات انگلیسی با ترجمه فارسی**

**آموزش نگارش پایان نامه ، مقاله ، پروپوزال**

## تعادل شبکه های زنجیره تأمین مالی با پوشش ریسک مالی استراتژیک با

### استفاده از قراردادهای آتی

**کلمات کلیدی:** مدیریت زنجیره تأمین، پوشش ریسک مالی، قراردادهای آتی

#### چکیده

در این مقاله، یک مدل تعادل شبکه ای را برای شبکه های زنجیره تأمین با پوشش ریسک مالی استراتژیک ایجاد می کنیم. چندین شرکت رقیب را در نظر می گیریم که چندین مواد و قطعه را برای تولید محصول خود خریداری می کنند. فعالیت های تدارکاتی شرکت های زنجیره تأمین در معرض خطر قیمت کالا و ریسک نرخ مبادله قرار دارد. شرکت ها می توانند قراردادهای آتی را برای جبران این خطرات استفاده کنند. تحقیقات ما، تعادل کل شبکه را مورد مطالعه قرار می دهد که در آن هر یک از شرکت ها عملیات خود و تصمیمات پوشش ریسک مالی خود را بهینه می کنند. از نظریه نابرابری متغیر برای فرمول کردن مدل تعادل استفاده می کنیم و ویژگی های کیفی را ارائه می دهیم. نتایج تحلیلی را برای یک مورد خاص با رقابت دو طرفه ارائه می دهیم و شبیه سازی هایی را برای بررسی یک مورد انحصاری مورد استفاده قرار می دهیم. مطالعات تحلیلی و شبیه سازی، بینش های مدیریتی جالبی را نشان می دهد.

#### ۱- مقدمه

امروزه، زنجیره تأمین به طور فزاینده ای پیچیده و جهانی شده است که باعث شده که شرکت ها در مراحل مختلف زنجیره تأمین با عوامل مختلف ریسک بیشتر و بیشتر آسیب پذیرتر شوند. درک و مدیریت این خطرات و همچنین تأثیرات آنها بر عملیات زنجیره تأمین و سودآوری، برای بسیاری از شرکت های تجاری ضروری می باشد. بنابراین، مدیریت ریسک زنجیره تأمین توجه بیشتری را از سوی اعضای آکادمی و متخصصان به خود جلب کرده است. در این تحقیق، بر روی استفاده از قراردادهای آتی برای پوشش ریسک ارز خارجی و قیمت کالاها در زنجیره تأمین متمرکز می شویم. یک نظر سنجی توسط اسکات (۲۰۰۹) نشان داد که ریسک ارز خارجی به عنوان دومین عامل

مهم توسط هیأت مدیریت ریسک ۵۰۰ شرکت جهانی شناخته شده است. نوسانات ارزش پول می تواند باعث ضرر و زیان قابل ملاحظه ای در شرکت هایی شود که در معاملات جهانی شرکت می کنند. به عنوان مثال، در ژانویه ۲۰۱۵، مدیر عامل اجرایی شرکت Procter & Gamble هشدار داد که ارزش ارزش گذاری دلار منجر به کاهش ۵ درصدی فروش های سال ۲۰۱۵ شرکت و کاهش ۱۲ درصدی در سود شرکت آنها شده است (Narvaez, 2015). به عنوان یک مثال دیگر، در سال ۲۰۱۶، شرکت های بریتانیایی به پوشش ریسک ارز خارجی خود برای حفاظت از خطر رشد برکسیت (Brexit) پرداختند (Nag, ۲۰۱۶). علاوه بر این، زنجیره تأمین نیز به طور مستقیم توسط ریسک قیمت کالا و قیمت مواد خام و به طور غیر مستقیم توسط هزینه های انرژی و حمل و نقل تحت تأثیر قرار گرفت (Zsidisin, Hartley, & Gaudenzi, 2016). به عنوان مثال، در سال ۲۰۱۱، شرکت محصولات مصرفی (تولیدی لوازم خانگی) Kimberly-Clark به علت افزایش قیمت خمیر چوب، کاهش فروش و کاهش سود را تجربه کرد. قیمت کالاها در بازار جهانی می تواند بسیار ناپایدار باشد. به عنوان مثال، از آگوست ۲۰۰۳ تا مارس ۲۰۰۴، قیمت سویا ۷۴٪ از ۲۳۷ دلار تا ۴۱۳ دلار افزایش یافت و سپس در طی دو سال بعد تا ۲۵۶ دلار کاهش قیمت داشت. به عنوان یک مثال دیگر، از آوریل ۲۰۱۰ تا آوریل ۲۰۱۱، قیمت نقره در بازار کالا سه برابر شد.

بر اساس یک پژوهش انجام شده، بیش از ۷۰۰۰ شرکت غیر مالی از ۵۰ کشور، حدود ۶ درصد از شرکت های مورد بررسی، برخی از روش های پوشش ریسک را با استفاده از مشتقات مالی انجام داده اند. تحقیقات ما بر استفاده از قراردادهای آتی تمرکز دارد تا مانع ریسک ارز خارجی و قیمت کالاها شود. در بزرگترین بازار معاملات آتی و تدارکات جهان، گروه CME (معاملات بورس شیکاگو و هیأت تجاری شیکاگو)، قراردادهای آتی، شکل غالبی از قرارداد مشتق شده برای نرخ ارز خارجی و قیمت کالاها است. به عنوان مثال، از اکتبر سال ۲۰۱۷، برای نرخ ارز خارجی، ADV (میانگین حجم روزانه) معاملات آتی، ۸۳۲،۱۶۵ و ADV تدارکات مالی ۷۸،۶۸۸ است؛ برای فلزات، ADV معاملات آتی ۵۰۶،۰۴۹ و ADV تدارکات ۴۷،۴۶۲ است و برای کالاها و سرمایه گذاری های جایزگین، ADV معاملات آتی ۱،۱۱۶،۰۸۹ و ADV تدارکات ۲۴۹،۴۶۸ است (گروه CME، ۲۰۱۷). همچنین CME راهنماهای مفصلی برای تجارت در مراحل مختلف زنجیره های تأمین تا مشارکت در پوشش ریسک مالی را ارائه می دهد.

مقاله ما در جریان تحقیقاتی پوشش ریسک زنجیره تأمین قرار گرفته است که دو رویکرد اصلی را مورد استفاده قرار می دهد؛ پوشش ریسک عملیاتی و پوشش ریسک مالی (به عنوان مثال، Van Mieghem، ۲۰۰۳ را مشاهده فرمایید). پوشش ریسک عملیاتی از انعطاف پذیری عملیاتی و پردازشی برای کاهش خطرات زنجیره تأمین استفاده می کند. چنین انعطاف پذیری عملیاتی ممکن است در تصمیمات مختلف زنجیره تدمنی مانند مکان های تسهیلات، چند منظوره سازی، قراردادهای فرعی و غیر گنجانده شود. به عنوان مثال، Huchzermeier و Cohen (۱۹۹۶)، ارزش انعطاف پذیری عملیاتی را تحت تأثیر ریسک نرخ مبادله مورد مطالعه قرار دادند. Dada و Kazaz و Moskowitz (۲۰۰۵)، انتخاب خط مش های تولید را با انتخاب تصمیمات تخصیص معوق تحت ریسک مبادله خارجی مورد بررسی قرار دادند. Lim، Goh و Meng (۲۰۰۷)، یک شبکه چند مرحله ای زنجیره تأمین را با خطر ارز خارجی، ریسک عرضه و تقاضا و ریسک خرابی با استفاده از یک مدل تصادفی را بررسی کردند.

از سوی دیگر، پوشش ریسک مالی از بازارهای مالی و ابزارهای مالی مانند قراردادهای پیشنهادی، معاملات اتی و تدارکات برای مقابله با عوامل مختلف ریسک استفاده می کند. پوشش ریسک مالی در زمینه امور مالی به مدت طولانی مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی دقیق و جامع مشتقات مالی و استراتژی های پوشش ریسک مالی، مخاطبان را به کتاب Hull (۲۰۰۲) ارجاع می دهیم. همچنین بررسی مقالات، روابط بین پوشش ریسک عملیاتی و پوشش ریسک مالی و استراتژی ها را برای ادغام دو رویکرد مورد بررسی قرار داده است. Parsons، Mello و Triantis (۱۹۹۵) یک شرکت چند ملیتی را مورد بررسی قرار دادند که دارای انعطاف پذیری منابع تولید و ابزارهای پوشش ریسک مالی برای کاهش ریسک ارز خارجی می باشد. Dong، Ding و Kouvelis (۲۰۰۷) نیز ادغام پوشش ریسک مالی و عملیاتی را برای شرکت بین المللی مورد مطالعه قرار دادند. این شرکت در این پژوهش اجازه ریسک ارز خارجی را به صورت بهینه با استفاده از گزینه های مالی و / یا تأخیر تخصیص تولید در بازارهای مختلف ممنوع نمود. روش مدل میانگین- واریانس برای مدل کردن رفتار ریسک پذیر شرکت استفاده شده است. Van Mieghem (۲۰۰۳)، مقالات مربوط به مدیریت ظرفیت در عدم قطعیت را مورد بحث قرار داده است. در این مقاله، مدل های سرمایه گذاری ظرفیت مورد بررسی قرار گرفت و روش های پوشش ریسک مالی و عملیاتی مورد

مقایسه قرار گرفت. Haugh و Caldentey (۲۰۰۹) یک بازی استاکلبرگ را برای بررسی قراردادهای زنجیره تدمین انعطاف پذیر بین تولید کننده و یک خرده فروش با و بدون پوشش ریسک مالی را طراحی کردند. نویسندگان نشان دادند که تولید کننده ترجیح می دهد که قرارداد انعطاف پذیر با پوشش ریسک را در نظر بگیرد در حالی که اولویت خرده فروش به پارامترهای مدل بستگی دارد. Hummel (۲۰۰۳) یک رویکرد تدارکاتی واقعی را استفاده کرد تا نشان دهد که پوشش ریسک عملیاتی که از طریق انعطاف پذیری ایجاد شده است، به عنوان یک مکمل استراتژیک برای هر گونه پوشش ریسک مالی بر اساس کمیه سازی واریانس به کار برده شده است. علاوه ب راین، انعطاف پذیری عملیاتی نیز بر ترکیب دارایی (سهام) پوشش ریسک مالی تأثیر گذار است. Chowdhry و Howe (۱۹۹۹) شرایطی را مورد بررسی قرار دادند که شرکت های چند ملیتی می توانند خطر مواجهه با پوشش ریسک عملیاتی را کاهش دهند. در این مقاله نشان داده شده است که شرکت ها تنها زمانی که هم با ریسک نرخ مبادله و هم با ریسک تقاضا مواجه هستند، از پوشش ریسک عملیاتی استفاده خواهند کرد. همچنین این مقاله در مورد تصمیمات مربوط به محل و ظرفیت کارخانه تحت شرایط مختلف نرخ تقاضا و ارزش خارجی بحث کرده اتس. علاوه بر این، نویسندگان نشان دادند که شرکت ها می توانند خط مش پوشش ریسک مالی بهینه را با تماس و قراردادهای پیشنهادی به اجرا در آوردند. Li, Chen و Wang ()، از رویکرد میانگین واریانس برای بررسی مسأله پوشش ریسک ظرفیت یک شرکت با پوشش ریسک مالی استفاده کردند، در حالی که چندین کشور ارزان قیمت تأمین کنندگان بالقوه داشتند و با ریسک ارزش خارجی و عدم قطعیت تقاضا مواجه بودند. این مقاله مزایای استراتژی های پوشش ریسک در سناریوهای مختلف را مورد بررسی قرار داده است. همچنین نویسندگان دریافتند که پوشش ریسک مالی و عملیاتی برای به حداکثر رساندن سودمندی شرکت، یا یکدیگر تعامل می کنند. Rudi, Chod و Van Mieghem (۲۰۱۰) سرمایه گذاری ظرفیت شرکت را تحت عدم قطعیت تقاضا مورد بررسی قرار دادند. این مقاله دو هامل ریسک را در نظر گرفته است: عدم سازگاری (تطابق) بین ظرفیت و تقاضا و تغییر پذیری سود. این نشان داد که انعطاف پذیری عملیاتی می تواند ریسک عدم سازگاری را کاهش دهد، در حالی پوشش ریسک مالی می تواند مکمل یا جایگزین وابسته به نوع انعطاف پذیری عملیاتی باشد. Zhao و Huchzermeier (۲۰۱۵)

مقالاتی را مورد بررسی قرار دادند و یک چارچوب مدیریت ریسک برای ادغام مدل های رابط کاربری عملیاتی-مالی پیشنهاد کردند. همچنین این مقاله شرایطی را بررسی کرد که در آن عملیات و امور مالی باید ادغام شوند و دسته بندی هایی از پوشش ریسک عملیاتی و مالی ارایه شود. علاوه بر این، نویسندگان ارتباط بین تجزیه و تحلیل روابط و انتخاب رویکرد را مورد بحث قرار دادند. Zhao و Huchzermeier (۲۰۱۷) یک شرکت چند ملیتی را مورد مطالعه قرار دادند که می توانست تعویض تولید، بازدهی ظرفیت و پوشش ریسک مالی را برای کاهش عدم سازگاری عرضه و تقاضا و ریسک نرخ مبادله استفاده کند. نویسندگان عملیات و امور مالی را برای بهینه سازی میانگین شرطی ارزش در ریسک (value-at-risk) را تجزیه کردند. تین مقاله نشان داد که پوشش ریسک مالی و عملیاتی می تواند در بهینه سازی سود و ریسک مکمل یکدیگر باشد. علاوه بر این، این مقاله نشان داد که دو روش پوشش ریسک جایگزین هایی در کاهش خطر می باشد و هماهنگی برای به حداقل رساندن تأثیرات جایگزینی مهم می باشد. Kazaz, Park و Webster (۲۰۱۷) بررسی کردند که چگونه یک شرکت می تواند از طریق پوشش ریسک تولید، قیمت گذاری و پوشش ریسک مالی تحت نرخ مبادله و عدم قطعیت تقاضا، ریسک جهانی اقتصادی را کاهش دهد. مدل آنها فرض می کند که این شرکت سود مورد انتظار با توجه به محدودیت ارزش در ریسک به حداکثر می رساند. Gamba و Triantis (۲۰۱۴) یک استراتژی مدیریت ریسک پویای یکپارچه را که شامل مدیریت نقدینگی، پوشش ریسک مالی و انعطاف پذیری عملیاتی است، مورد بررسی قرار دادند و تأثی اجزای مختلف و تعاملات آنها بر مدیریت ریسک را تجزیه و تحلیل نمودند. Haugh و Caldenty (۲۰۰۶) یک مدل کنترل بهینه را توسعه دادند که به شرکت اجازه داد که به صورت پویا خط مش عملیاتی و استراتژی پوشش ریسک را بر اساس بازارهای مالی بهینه سازی کند.

توجه داشته باشید که این تحقیقات در مقالات معمولاً بر روی استراتژی های بهینه یک شرکت واحد یا یک زنجیره تأمین واحد متشکل از یک شرکت و تأمین کننده آن متمرکز است. تحقیقات ما از تحقیقات فوق متفاوت است، زیرا مدل ما بر اساس رویکرد تعادل یک شبکه است که اجازه رقابت چندین زنجیره تأمین ناهمسان با یا بدون ابزارهای

پوشش ریسک مالی در بازارهای بزرگ و واقع بینانه رقابتی را می دهد. به ویژه، مشارکت پژوهش ما در مقالات به شرح زیر است:

۱- پژوهش ما، اولین تلاش برای مدلسازی تصمیمات پوشش ریسک مالی و عملیاتی شرکت های ناهمسان در شبکه های زنجیره تأمنی بزرگ است. وجود راه حل تعادل برای مدل شبکه جهانی را اثبات می کنیم. همچنین یکنواختی مدلی را اثبات می کنیم که تضمین می کند که الگوریتم مورد استفاده در این مقاله، به راه حلی تعادلی همگرا است.

۲- برای یک مدل خاص از مدل، شکل بسته نتایج تحلیلی را ارائه داده و مورد بحث قرار می دهیم و در مورد اینکه چگونه نوسانات و ریسک اولیه بر سودآوری و خطرات رقابتی دو شرکت زنجیره تأمین تأثیر می گذارد که در مقالات گزارش نشده است، صحبت می کنیم.

۳- مدل شبکه جهانی ما یک رویکرد انعطاف پذیر، واقع بینانه و قدرتمند را ارائه می دهد که می تواند برای بررسی مشکلات بزرگ در دنیای واقعی استفاده شود. مطالعات موردی شبیه سازی ما بر اساس مدل شبکه جهانی، یافته هایی را کشف می کند که نمی توان از طریق نتایج تحلیلی نشان داد.

۴- پژوهش ما، بینش های مدیریتی جالبی را تولید می کند که می تواند به مدیران و سیاست گذاران کمک کند تا ارتباط بین پوشش ریسک مالی و فعالیت های دیگر در شبکه زنجیره تأمین در یک محیط رقابتی را بهتر درک کنند. در این مقاله، رفتارهای مخالف ریسک زنجیره تأمین شرکت ها با استفاده از رویکرد میانگین-واریانس کلاسیک مدل سازی شده است. چارچوب میانگین-واریانس در ابتدا توسط برنده جایزه نوبل Harry Markowitz در کار اصلی خود در زمینه انتخاب اسناد بهادار جمع آوری شده که بخشی از اساس تئوری سرمایه مدرن شده است، توسعه داده شد. رویکرد میانگین-واریانس، تقریب بسیار خوبی برای انواع تابع سودمند و توزیع های احتمال غیر عادی فراهم می آورد و پیشنهادات خوبی را ارائه می دهد که منجر به حداکثر رساندن سودمندی شرکت می شود. بنابراین، چارچوب میانگین-واریانس نیز توسط محققان در زمینه حوزه عملیات و مدیریت زنجیره تأمین به طور گسترده اقتباس شده است تا رفتارهای غلط ریسک تصمیم گیرندگان در محیط غیر قطعی را مدل نماید. Hodder (۱۹۸۴)، Hodder و Jucker (۱۹۸۵) و Hudder و Dincer (۱۹۸۶)، رویکرد میانگین - واریانس را در بررسی مسائل

مکان تسهیلات به کرا بردند. Chen و Federgruen (۲۰۰۰) مرز کارآمدی را برای مسأله موجودی پلکانی واحد بر اساس رویکرد میانگین-واریانس توسعه دادند. Liv و Nagurney (۲۰۱۱)، چارچوب میانگین-واریانس را برای بررسی پوشش ریسک عملیاتی در برابر ریسک نرخ مبادله با رقابت مورد استفاده قرار دادند. رویکرد میانگین-واریانس در مدیریت ریسک زنجیره تأمین، در مقاله Chiu و Choi (۲۰۱۶) را مشاهده فرمایید.

به ویژه، در مقالات مربوط به زنجیره تأمین، واریانس پوشش ریسک مالی به طور گسترده پذیرفته شده و معمولاً برای اندازه گیری ریسک مورد استفاده قرار می گیرد. به عنوان مثال، Tekin و Zekici (۲۰۱۵) یک رویکرد میانگین-واریانس را برای مدل روزنامه فروش توسعه دادند که بهینه سازی سیاست سفارش پذیری و پورتفولیو (اسناد بهادار) مالی را در نظر می گیرد. Goel و Tanrisever (۲۰۱۷)، پوشش ریسک مالی بهینه و سیاست های تدارکات مالی یک شرکت را مورد بررسی قرار دادند که یک کالای ورودی را برای تولید یک کالای خروجی خریداری می نماید. همچنین این مقاله واریانس و کواریانس را برای مدلسازی ریسک استفاده کرده است. برای تحقیقات بیشتر در رابطه با زنجیره تأمین و پوشش ریسک مالی که واریانس یا نوسانات را برای مدل کردن ریسک استفاده می کند، مقالات Gamba (2007), Ding et al. (2010), Chod et al. (2014), Chen et al. (2014), Sayin, Kouvelis, Li, and Ding (2013), Hommel (2003), and Triantis (2014), Karaesmen, and zekici (2014), Sun, Wissel, and Jackson (2016), and Sun, Chen, Ren, and Liu (2017) را مشاهده فرمایید. از آنجا که این پژوهش در همان جریان تحقیق می باشد، این پژوهش ها را در مقالات دنبال می کنیم تا واریانس را به عنوان معیار اندازه گیری ریسک مورد استفاده قرار دهیم. تحقیقات آتی ما برای گسترش مدل برای ترکیب سایر معیارهای اندازه گیری ریسک مانند ارزش در خطر و ارزش در خطر شرطی را در نظر می گیریم.

سپس، خلاصه ای از نظریه نابرابری متغیر بر اساس مدل خود را توسعه می دهیم. مسأله نابرابری متغیر با ابعاد محدود،  $VI(F,K)$ ، برای پیدا کردن بردار  $X^* \in K \subset R^n$  است، به طوری که:

$$\langle F(X^*)^T, X - X^* \rangle \geq 0, \quad \forall X \in K, \quad (1)$$



که در آن  $F$  یک تابع پیوسته از  $K$  تا  $R^n$  است،  $K$  یک مجموعه بسته و محدب می باشد و  $< \cdot$  و  $> \cdot$  ضرب داخلی در فضای اقلیدسی  $n$  بعدی است.

نظریه نابرابری متغیر، ارتباط نزدیکی با بسیاری از مسائل برنامه نویسی ریاضی از جمله مسائل مکمل، مسائل نقطه ثابت و مسائل بهینه سازی دارد. Nagurney (۱۹۹۹)، بحث مفصلی در موردی تئوری نابرابری متغیر و کاربردهای آن در زمینه های مختلف را ارائه داده است. یکی از مزایای نظریه نابرابری متغیر این است که اجازه می دهد که به طور طبیعی مشکلات تعادل (توازن) و بهینه سازی برای مدلسازی و تحلیل مشکلات بزرگ و پیچیده دنیای واقعی در بسیاری از زمینه ها از جمله حمل و نقل، زنجیره های تأمین، قدرت مال و الکترونیکی ترکیب شوند (به عنوان مثال، Cruz & Wakolbinger, 2008; Dong, Zhang, Yan, & Nagurney, 2005; Liu & Nagurney & Ke, 2006 ; Nagurney, 2009 را مشاهده فرمایید). به ویژه، در زمینه مدیریت زنجیره تأمین، نظریه نابرابری متغیر برای مدل کردن رقابت و همکاری شرکت ها در مراحل مختلف شبکه زنجیره تأمین استفاده شده است. به عنوان مثال، Cruz, Nagurney و Wakolbinger (۲۰۰۶) نظریه نابرابری متغیر را برای بررسی شبکه های اجتماعی و زنجیره های تأمین جهانی با مهندسی مالی و مدیریت ریسک استفاده کردند. برای مثال، مدل های نابرابری متغیر در مسائل بزرگ را با استفاده از داده های دنیای واقعی به کار بردند، مقاله Liu و Nagurney (۲۰۰۹) را مشاهده فرمایید.

این مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: در بخش ۲، مدل شبکه زنجیره تأمین با پوشش ریسک مالی و رقابت را توسعه می دهیم. رفتارهای چندین شرکت زنجیره تأمین در بازارهای رقابتی را مدل می کنیم، شرایطی را مطرح می کنیم که بر تعادل شبکه مدیریت می کند و فرمول نابرابری متغیر را ارائه می دهیم. سپس، در بخش ۳، ویژگی های کیفی مدل را مورد بحث قرار می دهیم. در بخش ۴، موارد خاص مدل را تجزیه و تحلیل می کنیم و راه حل های بسته و نتایج تحلیلی را ارائه می دهیم. در بخش ۵، مدلی را برای انجام مطالعات مورد شبیه سازی استفاده می کنیم. بخش ۶، خلاصه ای از بینش های مدیریتی است. بخش ۷، نتیجه گیری را ارائه می دهد.

## ۲- مدل زنجیره تأمین با پوشش ریسک مالی با استفاده از قراردادهای آتی

در حال حاضر، مدل توازن شبکه از شبکه زنجیره تأمین را با پوشش ریسک مالی توسعه می دهیم.  $\phi \in \Phi$  را به عنوان سناریوهای عدم قطعیت تعریف می کنیم. فضای غیر قطعی  $\Phi$  شامل چهار عامل است: قیمت نقطه ای نرخ مبادله در مرحله ۲، قیمت آتی نرخ مبادله در مرحله ۲، قیمت نقطه ای کالاها در مرحله ۲، قیمت آتی کالاها در مرحله ۲. فرض می کنیم که  $j = 1, \dots, J$  شرکت زنجیره تأمین وجود دارد.  $N = 1, \dots, n$  را برای نشان دادن کشورهای خارجی استفاده می کنیم،  $i = 1, \dots, I$  را برای نشان دادن اجزا/ قطعه استفاده می کنیم. علاوه بر این، مواد کالاها توسط  $m = 1, \dots, M$  نشان داده می شود. در جدول ۱ و ۲، تعاریف متغیرهای تصمیم و پارامترهای مدل مورد استفاده را ارائه داده ایم. متغیرهای راه حل تعادل توسط «\*» نشان داده می شود.

## ۲-۱- رفتار تصمیم گیری چند معیاری شرکت های زنجیره تأمین

اکنون رفتار شرکت های زنجیره تأمین تحت ریسک نرخ مبادله و ریسک قیمت کالاها را مورد بحث قرار می دهیم. یک مثال ساده عدیی از پوشش ریسک مالی با استفاده از معاملات آینده در پیوست ارائه شده است. ما، فرایند تصمیم گیری را در دو مرحله زمانی با  $J$  شرکت زنجیره تأمین و  $M$  بازار تقاضا در نظر می گیریم. هر شرکت با دو نوع تصمیم گیری مواجه می باشد: تصمیم گیری زنجیره مالی و تصمیم گیری های مربوط به پوشش ریسک مالی. شکل ۱، جدول زمانی مدل را با زنجیره تأمین و فعالیت های مالی که در هر مرحله زمانی رخ می دهد را نشان می دهد.

ابتدا، فرایند تصمیم گیری زنجیره تأمین شرکت ها را توصیف می کنیم. در مرحله زمانی اول، هر شرکت تولیداتی را مطرح می کند و قطعاتی را که نیاز دارد از تأمین کنندگان خارجی سفارش می دهد. این قطعات در مرحله بعد تحویل داده خواهد شد. در مرحله زمانی دوم، شرکت ها در مورد مقادیر مواد کالاهای مورد نیاز را برای خرید از بازار آنی و تولید محصول تصمیم گیری می کنند. در مرحله دوم، شرکت ها نیز پس از دریافت قطعات نیاز به پرداخت هزینه به تأمین کنندگان خارجی دارند. در نهایت، شرکت ها محصولات را در بازارهای تقاضا می فروشند. توجه داشته باشید که مدل ما به شرکت های زنجیره تأمین اجازه می دهد تا سطح تولید خود را در مرحله ۲ تنظیم کنند به طوری که تولید واقعی ممکن است با تولید برنامه ریزی شده برابر نباشد. به عنوان مثال، اگر در مرحله دوم، قیمت

واقعی مواد بسیار بالا باشد، هزینه های تولید به میزان قابل توجهی افزایش خواهد یافت. افزایش هزینه ها باعث افزایش قیمت نهایی محصول خواهد شد که تقاضا را در بازار کاهش می دهد. در این مورد، شرکت ها ممکن است کمتر از برنامه ریزی خود تولید کنند. این انعطاف پذیری عملیاتی اضافی می تواند به شرکت ها کمک کند تا با ریسک بهتر برخورد کنند.

با توجه به عدم قطعیت نرخ ارز خارجی و قیمت کالاها، شرکت ها ممکن است استفاده از بازارهای مالی برای رفع چنین خطراتی را انتخاب کنند. اکنون در مورد تصمیمات پوشش ریسک مالی شرکت بحث می کنیم. از آنجا که شرکت ها از تأمین کنندگان خارجی در مرحله اول سفارش می گیرند و به بخش های در مرحله ۲ پرداخت می کنند، آنها با ریسک ارز خارجی مواجه هستند. به شرکت ها اجازه می دهیم که از معاملات آتی نرخ مبادله برای رفع این ریسک استفاده کنند. به ویژه، در مرحله اول، زمانی که شرکت ها سفارشات خود را به تأمین کنندگان خارجی ارائه می دهند، می توانند مقدار مشخصی از قراردادهای آتی نرخ مبادله را بخرند. در مرحله ۲، زمانی که شرکت ها قطعات را دریافت می کنند، به تأمین کنندگان خارجی هزینه ای پرداخت می نمایند و قراردادهای آتی نرخ مبادله را به فروش می رسانند.

جدول ۱: متغیرهای تصمیم گیری برای شبکه زنجیره تأمین جهانی با مدل پوشش ریسک مالی استراتژیک

نماد	تعریف
$X_{ji}$	بردار $NI$ بعدی مرتبط با شرکت $j$ ؛ $j = 1, \dots, J$ با مولفه های: $\{x_{jmi}; n = 1, \dots, N, i = 1, \dots, I\}$ مقدار قطعی $i$ سفارش داده شده از کشور $n$ را نشان می دهد. تمام $X_{js}$ ها را $X$ بردار گروه بندی می کنیم.
$Y_{ji}$	بردار $M$ بعدی مرتبط با شرکت $j$ ؛ با $m = 1, \dots, M$ مؤلفه: $\{y_{jm}; m = 1, \dots, M\}$ مقدار $m$ مواد شرکت $j$ که انتظار می رود از بازار آتی در مرحله ۲ خریداری شود. تمام $Y_{js}$ ها را در $Y$ بردار گروه بندی می کنیم.
$W_{ji}$	بردار $N$ بعدی مرتبط با شرکت $j$ ؛ با $m = 1, \dots, M$ مؤلفه $\{w_{jm}; n = 1, \dots, N\}$ مقدار $n$ قرارداد پوشش ریسک مبادله که توسط شرکت $j$ خریداری شده است. تمام $W_{js}$ ها را در $W$ بردار گروه بندی می کنیم.

$U_j$	بردار $M$ بعدی مرتبط با شرکت؛ با $j$ مؤلفه $j=1, \dots, J$ : $\{u_{jm}; m=1, \dots, M\}$ مقدار $M$ قرارداد پوشش ریسک کالا که توسط شرکت $j$ خریداری شده است. همه $U_{js}$ ها را در $U$ بردار گروه بندی می کنیم.
$S_{jk\phi}$	تأمین از شرکت در $k$ بازار در $\phi$ سناریو. $S_{jk\phi}$ ، شرکت را در $\phi$ سناریو به $S_{j\phi}$ بردار، $S_{jk\phi}$ را در $\phi$ سناریو به $S_{\phi}$ بردار و تمام $S_{\phi}$ ها را به $S$ بردار گروه بندی می کنیم.
$S_{k\phi}^{all}$	کل تأمین تمام شرکت ها در $m$ بازار، یعنی $\sum_{j=1}^J S_{jk\phi}$ .
$\hat{y}_{jm\phi}$	مقدار واقعی $m$ مواد از شرکت که از بازارهای آنی در $\phi$ سناریو در مرحله ۲ خریداری شده است، $S_{jm\phi}$ از شرکت در $\phi$ سناریو را به $\hat{y}_{j\phi}$ بردار، و تمام $S_{jm\phi}$ در $\phi$ سناریو را به $\hat{Y}_{\phi}$ بردار و تمام $\hat{Y}_{jm\phi}$ ها را به $\hat{Y}$ بردار گروه بندی می کنیم.
$z_{jni\phi}$	مقدار استفاده نشده قطعه $i$ ، شرکت که بعد از مرحله ۲ در $\phi$ سناریو دارد. $z_{jni\phi}$ از شرکت در $\phi$ سناریو را به $z_{j\phi}$ بردار، $z_{jni\phi}$ در $\phi$ سناریو را به $z_{\phi}$ بردار و تمام $z_{\phi}$ ها را به $Z$ بردار گروه بندی می کنیم.

جدول ۲: پارامترهایی برای شبکه زنجیره تأمین با مدل پوشش ریسک مالی

نماد	تعریف
$\alpha_j$	عامل مخالف ریسک شرکت
$\beta_{1ji}$	مقدار $i$ قطعه مورد نیاز توسط شرکت برای تولید یک واحد از محصول
$\beta_{2jm}$	مقدار $m$ مواد کالای مورد نیاز توسط شرکت برای تولید یک واحد از محصول
$\rho_k(S_{k\phi}^{all})$	تابع تقاضای معکوس در $K$ بازار تقاضا
$p_{\phi}^1$	بردار قیمت قطعات وارداتی به دلار آمریکا در $\phi$ سناریو با مؤلفه ای برای $i$ قطعه از $n$ کشور توسط $p_{\phi ni}^1$ نشان داده می شود.
$p_{\phi}^2$	بردار قیمت کالا در بازارهای آنی در $\phi$ سناریو با مؤلفه ای برای $m$ مواد که توسط $p_{\phi m}^2$ نشان داده می شود.
$CAP_i$	ظرفیت تولید شرکت
$c_{jni}(x_{jni})$	هزینه معامله و حمل و نقل شرکت در خرید $i$ قطعه از $n$ کشور
$c_{jm}(\hat{y}_{jm\phi})$	هزینه معامله و حمل و نقل متعارف توسط شرکت در خرید $m$ کالا از بازارهای آنی
$c_{jk}(S_{jk\phi})$	هزینه معامله و حمل و نقل بین شرکت و $k$ بازار تقاضا
$c_j(S_{j\phi})$	هزینه تولید شرکت
$h_{jn}(w_{jn})$	هزینه متعارف توسط شرکت در پوشش ریسک مالی برای ریسک نرخ مبادله $n$ کشور

هزینه متعارف توسط J شرکت در پوشش ریسک مالی برای m کالا	$h_{jm}(u_{jm})$
قیمت معاملات آتی نرخ مبادلت جاری n کشور در مرحله ۱	$\eta_n^0$
قیمت معاملات آتی نرخ مبادلت جاری n کشور در مرحله ۲، در $\phi$ سناریو	$\eta_{n\phi}$
قیمت معاملات آتی m کالا در مرحله ۱	$\theta_m^0$
قیمت معاملات آتی m کالا در مرحله ۲ در $\phi$ سناریو	$\theta_{m\phi}$
عامل تخفیف J شرکت برای i قطعه بدون استفاده در پایان افق برنامه ریزی	$\gamma_{ji}$
ماتریس واریانس- کواریانس $(NI + 2M + N) \times (NI + 2M + N)$ بعدی نرخ ارز خارجی، $p_{\phi ni}^1$ ،	$V$
قیمت لحظه ای کالا، $p_{\phi m}^2$ ، قیمت قراردادهای آتی مبادله، $\eta_{n\phi}$ ، و قیمت قراردادهای آتی کالا، $\theta_{m\phi}$	
کران بالای برای $x_{jni}$	$B_{x_{jni}}$
کران بالای برای $u_{jm}$	$B_{u_{jm}}$
کران بالای برای $s_{jk\phi}$	$B_{s_{jk\phi}}$
کران بالای برای $s_{jni\phi}$	$B_{z_{jni\phi}}$

علاوه بر این، با توجه به نوسانات قیمت کالاها، هنگامی که این برای تولید مطرح می شود، هر شرکت برای خرید مقدار زمان مشخصی را برای معاملات آتی کالا در مرحله ۱ انتخاب می کند. در مرحله ۲، زمانی که این مواد را از بازار آنی خریداری می نماید، شرکت معاملات آتی خود را می فروشد.

از چارچوب میانگین- واریانس کلاسیک برای مدلسازی مسائل بهینه سازی شرکت های زنجیره تأمین استفاده می کنیم که در آن سود مورد انتظار را حداکثر می کنند و ریسک ارز خارجی و قیمت کالا را به حداقل می رسانند. هر فرایند تصمیم گیری شرکت زنجیره تدمین می تواند به عنوان یک مسأله برنامه نویسی تصادفی دو مرحله ای فرموله شود (به عنوان مثال، Barbarsoglu و Arda، ۲۰۰۴؛ Dupacova، ۱۹۹۶ را مشاهده فرمایید). به ویژه، هر شرکت زنجیره تأمین نیاز به تعیین مقادیر سفارشات قطعه بهینه و مقادیر قراردادهای آتی در هر مرحله و پاسخ های بهینه در هر سناریوی نرخ ارز خارجی و قیمت کالا در مرحله ۲ را دارد. بنابراین، هر شرکت سود مورد انتظار خود را به حداکثر می رساند و ریسک آن را کاهش می دهد. وضعیت تعادل شبکه، جایی است که شرایط بهینه همه شرکت

های زنجیره تأمین همزمان رضایت بخش باشد به طوری که هیچ شرکتی نتواند با تغییر یک جانبه تصمیمات خود، بهتر باشد.

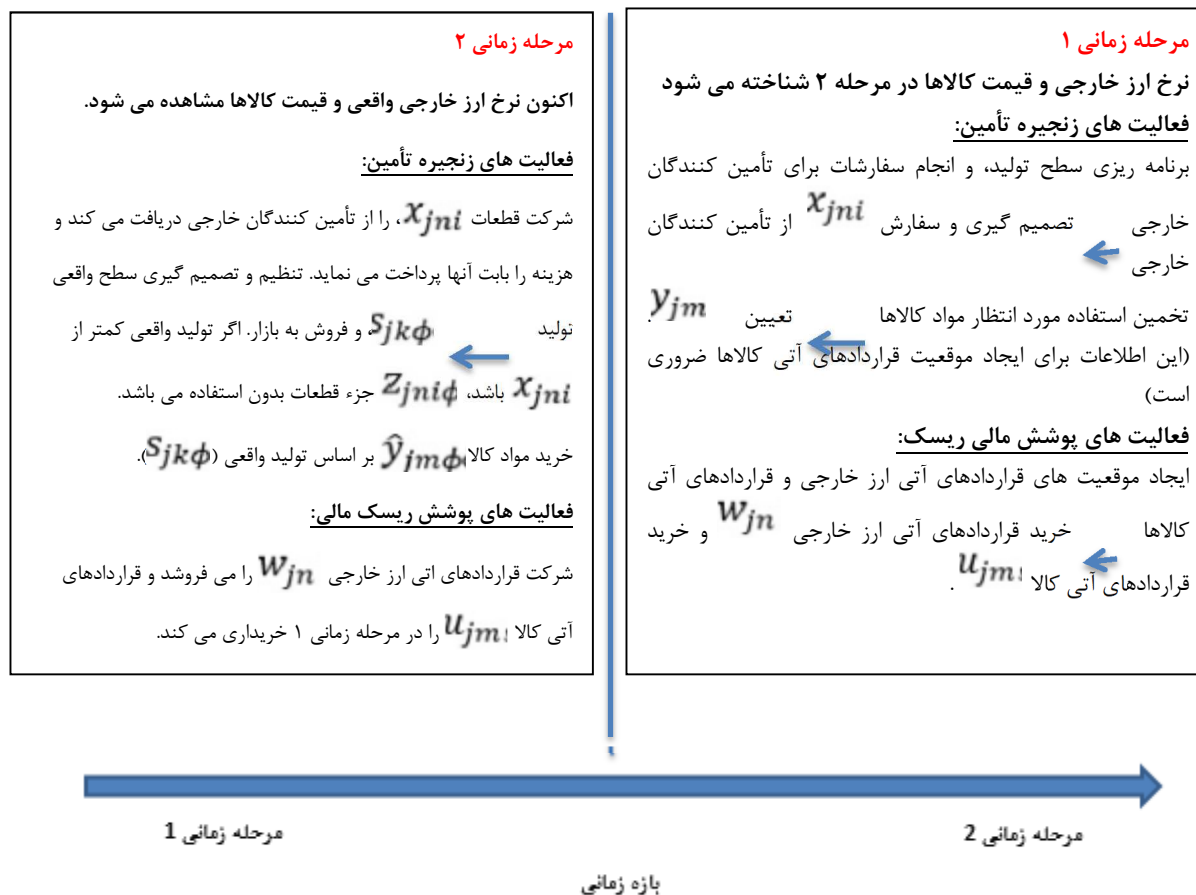
شرایط بهینه همه شرکت های زنجیره تأمین می تواند به عنوان یک مسأله نابرابری متغیر محدود فرمول بندی شود. سپس، ابتدا مسأله تصمیم گیری شرکت های زنجیره تأمین را به عنوان یک مسأله برنامه ریزی تصادفی دو مرحله ای مدل می کنیم. سپس، فرمول بندی نابرابری متغیر را توسعه می دهیم که حالت تعادلی تمام شرکت های زنجیره تأمین را مدیریت می کند.

## ۲-۲- مسأله بهینه سازی شرکت های زنجیره تأمین

در مرحله اول، شرکت ها نیاز به تعیین مقدار خرید قطعه خود،  $x_{jm}^i$ ، از تأمین کنندگان خارجی را دارند. توجه داشته باشید که این قطعات تحویل داده شده و سپس در مرحله دوم مبلغ آنها پرداخت می شود. همچنین در مرحله اول آنها نیاز به خرید یا زمان بندی طولانی قراردادهای آتی نرخ مبادله برای رفع ریسک ارز خارجی را دارند. مقادیر قراردادهای آتی نرخ ارز خارجی،  $w_{jm}^S$ ، با استفاده از کل مدل بهینه سازی تعیین می شود. علاوه بر این، در مرحله اول، شرکت ها می توانند قراردادهای آتی کالا را به مدت طولانی خریداری کنند. به ویژه، به منظور تعیین مقدار قراردادهای آتی کالا،  $u_{jm}^S$ ، هر شرکت باید،  $y_{jm}^{Si}$ ، مقادیر مورد انتظار مواد کالاها را تخمین بزنند و این در مرحله دوم نیاز خواهد شد. همچنین مقادیر قراردادهای آتی کالا با استفاده از کل مدل بهینه سازی تعیین می شود.

در مرحله دوم، نرخ واقعی ارز و سناریوی قیمت کالا،  $\phi \in \Phi$  نشان داده شده است. شرکت ها به تأمین کنندگان هزینه ای را پرداخت می کنند و قراردادهای آتی نرخ ارز خارجی را بعد از اینکه قطعات را از تأمین کنندگان خارجی تحویل گرفتند، به فروش می رسانند. شرکت ها نیز مواد کالاها را از بازارهای لحظه ای (آنی) خریداری می کنند و قراردادهای آتی کالاها را به فروش می رسانند. مقادیر مواد کالاها،  $\hat{y}_{jm}^{\phi S}$ ، بر اساس مقادیر واقعی تولید محصول،  $s_{jk}^{\phi S}$  در مرحله ۲ تعیین می شوند. توجه داشته باشید که از آنجا که سفارش قطعات در مرحله اول انجام می گیرد، قبل از سناریوی  $\phi$  شناخته می شود و مقدار تولید واقعی را تعیین می نماید، مقدار قطعات سفارش داده شده

ممکن است بیشتر از مقدار مورد نیاز تولید باشد. قطعات بدون استفاده،  $Z_{jni}$ ، می تواند در موجودی برای آینده نگهداری شود. با این حال، ارزش قطعات بدون استفاده با توجه به هزینه موجودی تخفیف داده می شود.



شکل ۱: بازه زمانی فعالیت های زنجیره تأمین و پوشش ریسک مالی

هدف هر شرکت زنجیره تأمین، به حداکثر رساندن سود مورد انتظار و به حداقل رساندن واریانس هزینه با توجه به ریسک نرخ ارز و قیمت کالا است. اکنون، مسأله بهینه سازی را که با  $j$  شرکت زنجیره تأمین  $j = 1, \dots, J$  مواجه است را به صورت زیر فرمول بندی می کنیم:

$$\begin{aligned} \text{MAX} \quad & - \sum_{n=1}^N (\eta_n^0 w_{jn} + h_{jn}(w_{jn})) - \sum_{m=1}^M (\theta_m^0 u_{jm} + h_{jm}(u_{jm})) \\ & - \alpha_j R(X_j, Y_j, W_j, U_j) + E[(G_{j\phi}(X_{jni}, \hat{Y}_{j\phi}, S_{j\phi}, Z_{j\phi})] \end{aligned} \quad (2)$$

مشروط به اینکه:



$$y_{jm} = E[\hat{y}_{jm\phi}], \quad m = 1, \dots, M \quad (3)$$

$$\begin{aligned} B_{x_{jni}} &\geq x_{jni} \geq 0, \quad n = 1, \dots, N, \quad i = 1, \dots, I, \\ B_{w_{jn}} &\geq w_{jn} \geq 0, \quad n = 1, \dots, N, \\ B_{u_{jm}} &\geq u_{jm} \geq 0, \quad m = 1, \dots, M, \quad B_{y_{jm}} \geq y_{jm} \geq 0, \quad m = 1, \dots, M, \\ B_{s_{jk}} &\geq s_{jk\phi} \geq 0, \quad k = 1, \dots, K, \quad B_{\hat{y}_{jm}} \geq \hat{y}_{jm\phi} \geq 0, \quad m = 1, \dots, M, \\ B_{z_{jni}} &\geq z_{jni\phi} \geq 0, \quad n = 1, \dots, N, i = 1, \dots, I. \end{aligned} \quad (4)$$

که در آن،  $R(X_j, Y_j, W_j, U_j) = [X_j^T, Y_j^T, W_j^T, U_j^T] V [X_j^T, Y_j^T, W_j^T, U_j^T]^T$  می باشد.

محدودیت (۳)،  $y_{jm}$  را به عنوان مقدار مواد کالای مورد انتظار  $j$  شرکت تعریف می کند که در مرحله ۲ مورد نیاز است. محدودیت (۴) نشان می دهد که متغیرهای تصمیم گیری غیر منفی و کردان دار هستند. دو جمله اول در تابع هدف به ترتیب مربوط به هزینه های قراردادهای آتی ترخ ارز و هزینه معامله در تجارت این قراردادهای آتی است. جمله سوم و چهارم به ترتیب نشان دهنده هزینه های قراردادهای آتی قیمت کالاها و هزینه های مربوط به معامله ها می باشد. جمله پنجم تابع هد، تابع ریسک نرخ ارز خارجی و قیمت کالا است که توسط واریانس کل هزینه مواد و قطعات و همچنین قراردادهای آتی مرتبط می باشد. جمله آخر، مقدار مورد انتظار در آمد خالص شرکت زنجیره تأمین در دوره دوم،  $G_{j\phi}(X_{jni}, \bar{Y}_{j\phi}, S_{j\phi}, Z_{j\phi})$ ، تمام سناریوها را نشان می دهد.

توجه داشته باشید که هر شرکت زنجیره تأمین تلاش می کند تا سود مورد انتظار را حداکثر کند و واریانس هزینه را با توجه به ریسک نرخ ارز و قیمت کالا به حداقل برساند. در مرحله اول، هر شرکت تولید مورد نظر خود را برنامه ریزی می کند و سود مورد انتظار را بهینه می نماید و موقعیت هایی را برای قراردادهای آتی ایجاد می کند. این رفتارها در مسأله بهینه سازی (۲) نگاشت شده است. قراردادهای آتی در اینجا برای کاهش مقدار تغییرات هزینه استفاده می شود.

به ویژه،  $G_{j\phi}(X_{jni}, \hat{Y}_{j\phi}, S_{j\phi}, Z_{j\phi})$  زیر مسأله  $j$  شرکت زنجیره تأمین در  $\phi$  سناریو را نشان می دهد:

$$\begin{aligned} MAX \quad G_{j\phi} = & \sum_{k=1}^K (\rho_k(s_{k\phi}^{all}) s_{jk\phi}) \\ & + \sum_{n=1}^N \eta_{n\phi} w_{jn} + \sum_{m=1}^M \theta_{m\phi} u_{jm} - c_j(S_{j\phi}) - \sum_{m=1}^M p_{m\phi}^2 \hat{y}_{jm\phi} \\ & - \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I p_{ni\phi}^1 x_{jni} + \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \gamma_{ji} p_{ni\phi}^1 z_{jni\phi} \end{aligned} \quad (5)$$



مشروط به اینکه:

$$\beta_{1ji} \sum_{k=1}^K s_{jk\phi} + \sum_{n=1}^N z_{jni\phi} \leq \sum_{n=1}^N x_{jni}, \quad i = 1, \dots, I, \quad (6)$$

$$z_{jni\phi} \leq x_{jni}, \quad i = 1, \dots, I, \quad (7)$$

$$\beta_{2jm} \sum_{k=1}^K s_{jk\phi} \leq \hat{y}_{jm\phi}, \quad m = 1, \dots, M. \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^K s_{jk\phi} \leq CAP_j, \quad (9)$$

$$B_{s_{jk}} \geq s_{jk\phi} \geq 0, \quad k = 1, \dots, K, \quad B_{\hat{y}_{jm}} \geq \hat{y}_{jm\phi} \geq 0, \quad m = 1, \dots, M, \\ B_{z_{jni}} \geq z_{jni\phi} \geq 0, \quad n = 1, \dots, N, i = 1, \dots, I. \quad (10)$$

توجه داشته باشید، از آنجا که شرکت های زنجیره تأمین سفارش قطعات را از تأمین کنندگان خارجی در دوره اول تهیه می کنند، بنابراین نمی توانند  $x_{jni}S$  را در دوره دوم تغییر دهند. در نتیجه،  $x_{jni}S$  به  $\phi$  سناریوی منحصر بفرد بستگی ندارد. جمله اول، تابع هدف معادله (۵)، مجموع درآمد فروش شرکت زنجیره تأمین از تمام بازارهای تقاضا را نشان می دهد. قیمت محصول شرکت  $k$  در بازار،  $\rho_k(s_{k\phi}^{all})$ ، به  $s_{k\phi}^{all}$ ، کل تأمین کنندگان تمام شرکت ها در  $k$  بازار بستگی دارد. جمله دوم و سوم در معادله (۵) به ترتیب نشان دهنده هزینه تولید محصولات است. جمله پنجم در معادله (۵) کل هزینه خرید مواد کالا از بازار لحظه ای را نشان می دهد. توجه داشته باشید که قیمت لحظه ای کالا،  $p_{im\phi}^2$  به  $\phi$  سناریوی نامشخص بستگی دارد که در مرحله ۱ ناشناخته است. پس از اینکه  $\phi$  در مرحله ۲،  $p_{im\phi}^2$  را نشان داد به عنوان یک ثابت در نظر گرفته می شود. جمله ششم در معادله (۵)، کل هزینه پرداختی به تأمین کنندگان خارجی را نشان می دهد. توجه داشته باشید که قیمت واحد قطعه،  $p_{jni\phi}^1$  به  $\phi$  سناریوی نامشخص بستگی دارد که در مرحله ۱ ناشناخته است. بعد از اینکه  $\phi$  در مرحله ۲ نشان داده شد،  $p_{jni\phi}^1$  یک پارامتر ثابت می شود. جمله آخر در معادله (۵)، پایان مقدار قطعات بدون استفاده را نشان می دهد که در آن  $\gamma_j$  عامل تخفیف است.

محدودیت (۶) نشان می دهد که تعداد کل قطعات خریداری شده بیشتر یا مساوی مقادیر قطعات مورد استفاده به اضافه قطعات بدون استفاده را نشان می دهد. محدودیت (۷) تضمین می کند که مقدار قطعات استفاده نشده

خریداری شده از یک تأمین کننده نمی تواند بیش از مقدار قطعات خریداری شده از همان تأمین کننده باشد. محدودیت (۸)، به نوبه خود، نشان می دهد که مقدار مواد کالا مورد استفاده در تولید کمتر یا مساوی مقدار کلی خریداری شده از بازارهای لحظه ای است. محدودیت (۹) محدودیت ظرفیت تولید را می دهد. محدودیت (۱۰) نشان می دهد که متغیرهای تصمیم گیری غیر منفی و کران دار هستند.

توجه داشته باشید که مرحله دوم پس از چهار عامل نامعین، نرخ ارز، قیمت قراردادهای آتی مبادله، قیمت های لحظه ای کالا و قیمت قراردادهای آتی کالا مشخص می شود، عدم قطعیت هایی در سناریو وجود نخواهد داشت. این مسأله تبدیل به یک بازی کلاسیک Cournot می شود. در حال حاضر، هر شرکت تصمیم گیری واقعی تولید  $S_{jk\phi}$ ، خرید کالا،  $\hat{Y}_{jm\phi}$ ، و موجودی استفاده نشده،  $Z_{jni\phi}$ ، را با توجه به قیمت های نشان داده شده و قطعات تحویل داده شده را بهینه می کند.

با استفاده از یک تبدیل استاندارد نظریه برنامه ریز تصادفی دو مرحله ای شرکت می تواند به عنوان مسأله به حداکثر رساندن مجدد بازنویسی شود:

$$\begin{aligned} \text{MAX} - \sum_{n=1}^N (\eta_n^0 w_{jn} + h_{jn}(w_{jn})) - \sum_{m=1}^M (\theta_m^0 u_{jm} + h_{jm}(u_{jm})) \\ - \alpha_j R(X_j, Y_j, W_j, U_j) + \sum_{\phi \in \Phi} f(\phi) \left[ \sum_{k=1}^K (\rho_k(s_{k\phi}^{\text{all}}) S_{jk\phi}) \right. \\ + \sum_{n=1}^N \eta_{n\phi} w_{jn} + \sum_{m=1}^M \theta_{m\phi} u_{jm} - c_j(S_{j\phi}) - \sum_{m=1}^M p_{m\phi}^2 \hat{Y}_{jm\phi} \\ \left. - \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I p_{ni\phi}^1 x_{jni} + \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \gamma_{ji} p_{ni\phi}^1 z_{jni\phi} \right] \end{aligned} \quad (11)$$

مشروط به اینکه:

$$y_{jm} = \sum_{\phi \in \Phi} f(\phi) \hat{Y}_{jm\phi}, \quad i = m, \dots, M \quad (12)$$

$$\beta_{1ji} \sum_{k=1}^K S_{jk\phi} + \sum_{n=1}^N z_{jni\phi} \leq \sum_{n=1}^N x_{jni}, \quad i = 1, \dots, I, \quad \phi \in \Phi, \quad (13)$$

$$z_{jni\phi} \leq x_{jni}, \quad i = 1, \dots, I, \quad \phi \in \Phi, \quad (14)$$

$$\beta_{2jm} \sum_{k=1}^K s_{jk\phi} \leq \hat{y}_{jm\phi}, \quad m = 1, \dots, M, \quad \phi \in \Phi, \quad (15)$$

$$\sum_{k=1}^K s_{jk\phi} \leq CAP_j, \quad \phi \in \Phi, \quad (16)$$

$$\begin{aligned} B_{x_{jni}} &\geq x_{jni} \geq 0, & n = 1, \dots, N, & i = 1, \dots, I, \\ B_{w_{jn}} &\geq w_{jn} \geq 0, & n = 1, \dots, N, \\ B_{u_{jm}} &\geq u_{jm} \geq 0, & m = 1, \dots, M, \\ B_{y_{jm}} &\geq y_{jm} \geq 0, & m = 1, \dots, M, \\ B_{s_{jk}} &\geq s_{jk\phi} \geq 0, & k = 1, \dots, K, \\ B_{\hat{y}_{jm}} &\geq \hat{y}_{jm\phi} \geq 0, & m = 1, \dots, M, \\ B_{z_{jni}} &\geq z_{jni\phi} \geq 0, & n = 1, \dots, N, i = 1, \dots, I. \end{aligned} \quad (17)$$

## ۲-۳- تعادل شبکه زنجیره تأمین

**تعریف ۱:** (تعادل شبکه زنجیره تأمین با پوشش ریسک مالی). حالت تعادل کل شبکه زنجیره تأمین جایی است که شرایط بهینه را برای همه شرکت ها به طور همزمان در بر می گیرد، به طوری که هیچ یک از شرکت های زنجیره تأمین نمی تواند به طور یکجانبه تصمیمات خود را تغییر دهد.

**قضیه ۱ (فرمول نابرابری متغیر).** فرض کنید که تابع هزینه تولید و هزینه های پوشش ریسک برای هر شرکت زنجیره تأمین به طور مداوم قابل تفکیک و محدب (از این رو می توانند خطی باشند) باشد و توابع تقاضای معکوس نیز پیوسته و متمایز می باشد که توابع تأمین را کاهش می دهند. علاوه بر این، فرض کنید که شرکت های زنجیره تأمین به یک روش غیر همکاری رقابت می کنند. وضعیت متعادل شبکه زنجیره تأمین می تواند به صورت نابرابری متغیر زیر بیان شود: تعیین  $(W^*, U^*, X^*, Y^*, \hat{Y}^*, S^*) \in \mathcal{K}^1$ ، رابطه زیر را برآورده می سازد:

$$\begin{aligned} &\sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \left[ \eta_n^0 + \frac{\partial h_{jn}(w_{jn}^*)}{\partial w_{jn}} + \alpha_j \frac{\partial R(X_j^*, Y_j^*, W_j^*, U_j^*)}{\partial w_{jn}} - \sum_{\phi \in \Phi} f(\phi) \eta_{n\phi} \right] \\ &\quad \times [w_{jn} - w_{jn}^*] + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \left[ \theta_m^0 + \frac{\partial h_{jm}(u_{jm}^*)}{\partial u_{jm}} \right. \\ &\quad \left. + \alpha_j \frac{\partial R(X_j^*, Y_j^*, W_j^*, U_j^*)}{\partial u_{jm}} - \sum_{\phi \in \Phi} f(\phi) \theta_{m\phi} \right] \times [u_{jm} - u_{jm}^*] \\ &\quad + \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \left[ \alpha_j \frac{\partial R(X_j^*, Y_j^*, W_j^*, U_j^*)}{\partial x_{jni}} + \sum_{\phi \in \Phi} f(\phi) p_{jni\phi}^1 \right] \\ &\quad \times [x_{jni} - x_{jni}^*] + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \alpha_j \frac{\partial R(X_j^*, Y_j^*, W_j^*, U_j^*)}{\partial y_{jm}} \times [y_{jm} - y_{jm}^*] \\ &\quad + \sum_{\phi \in \Phi} \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M f(\phi) p_{m\phi}^2 \times [\hat{y}_{jm\phi} - \hat{y}_{jm\phi}^*] \\ &\quad - \sum_{\phi \in \Phi} \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I f(\phi) \gamma_{ji} p_{ni\phi}^1 \times [z_{jni\phi} - z_{jni\phi}^*] \\ &\quad - \sum_{\phi \in \Phi} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K f(\phi) \left[ \rho_k(s_{jk\phi}^{all*}) + \frac{\partial \rho_k(s_{jk\phi}^{all*})}{\partial s_{jk\phi}} s_{jk\phi}^* - \frac{\partial c_j(s_{jk\phi}^*)}{\partial s_{jk\phi}} \right] \\ &\quad \times [s_{jk\phi} - s_{jk\phi}^*] \geq 0, \\ &\quad \forall (W, U, X, Y, \hat{Y}, Z, S) \in \mathcal{K}^1, \end{aligned} \quad (18)$$

که در آن:

$$\mathcal{K}^1 \equiv ((W, U, X, Y, \hat{Y}, Z, S) | (W, U, X, Y, \hat{Y}, Z, S) \in R_+^{N(1+I)+2JM+|\Phi|J(NI+M+K)})$$

و روابط (۱۲) و (۱۷) برقرار می باشد.

اثبات: این نظریه بر مبنای نظریه نابرابری متغیر استاندارد مشتق شده است.

توجه داشته باشید که در مدل ما، در مرحله دوم پس از چهار عامل نامشخص، نرخ های ارز، قیمت های ارز آتی، قیمت های لحظه ای کالا و قیمت های آتی کالا مشاهده می شود، هیچ عدم قطعیتی در سناریو وجود ندارد. این مسأله یک بازی Cournot می باشد. بنابراین،  $S_{jk\phi}$  و  $\hat{Y}_{jm\phi}$  در این  $\phi$  سناریوی خاصی تواند به دقت تعیین شود. در راه حل تعادل در قضیه ۱، بردارهای  $\hat{Y}$  و  $S$  به سادگی متشکل از لیستی از راه حل های تعادل در هر سناریو پس از مشخص شدن عوامل نامعین می باشد.

شایان ذکر است که وقتی که یک راه حل، نا برابری متغیر معادله (۱۸) را برآورده می کند، سپس تمانن شرکت های زنجیره تأمین به طور همزمان به شرایط بهینه می رسند. می توانیم فرمول نابرابری متغیر معادله (۱۸) را به شکل استاندارد به صورت زیر بازنویسی کنیم: تعیین  $X^* \in \mathcal{K}$  روابط زیر را برآورده می سازد:

$$\langle F(X^*)^T, X - X^* \rangle \geq 0, \quad \forall X \in \mathcal{K}, \quad (19)$$

که در آن:

$$X \equiv (W, U, X, Y, \hat{Y}, Z, S)^T, \quad \mathcal{K} \equiv \mathcal{K}^1,$$

$$F(X) \equiv (F_{jn}^W, F_{jm}^U, F_{jni}^X, F_{jm}^Y, F_{jm\phi}^{\hat{Y}}, Y_{jni\phi}^Z, Y_{jk\phi}^S), \quad (20)$$

با جملات عملیاتی و کاربردی  $(F_{jn}^W, F_{jm}^U, F_{jni}^X, F_{jm}^Y, F_{jm\phi}^{\hat{Y}}, Y_{jni\phi}^Z, Y_{jk\phi}^S)$ ، علامت ضرب در معادله (۱۸) جلوتر قرار می گیرد. در اینجا،  $\langle \cdot \rangle$  و  $\langle \cdot \rangle$  ضرب داخلی در فضای اقلیدسی  $\mathcal{H}$  بعدی را نشان می دهد که در آن

$$\mathcal{H} = N(1+I) + 2JM + |\Phi|J(NI+M+K)$$

### ۳- وجود راه حل توازن برای مدل عمومی

برخی از ویژگی های کیفی مهم مدل را مورد بحث قرار می دهیم. به ویژه، ابتدا شرایطی را مطرح می کنیم که در آن راه حل تعادل وجود دارد. همچنین یکنوایی مدل مان را اثبات می کنیم، بدین معنی که ماتریس ژاکوبین تابع  $F(X)$  که توسط معادله (۲۰) داده شده است، نیمه مطلق مثبت می باشد. شایان ذکر است که نقش یکنوایی در نابرابری متغیر مشابه محدب در مسائل بهینه سازی است. همچنین برای مدل الزامی است زیرا الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق برای همگرایی به راه حل تعادل می باشد.

**قضیه ۲ (وجود):** نابرابری متغیر معادله (۱۶) یک راه حل دارد اگر توابع هزینه معامله، توابع هزینه تولید، توابع هزینه پوشش ریسک و توابع تقاضای معکوس در تمام بازارهای تقاضا به طور پیوسته قابل تشخیص است. **اثبات:** با توجه به این که تمام متغیرهای تصمیم گیری کران دار هستند (محدوده ستند)، مجموعه امکان پذیر معامله (۱۸) متراکم و غیر تهی می باشد. از آنجا که  $F(X)$  در معادله (۱۸) پیوسته است، نابرابری متغیر معادله (۱۸) یک راه حل دارد.

اکنون شرایط یکنوایی تابع  $F$  را مورد بحث قرار می دهیم که نابرابری متغیر معادله (۱۸) را وارد می کند. خصوصیات یکنوایی برای ایجاد همگرایی روش محاسباتی مورد استفاده برای مدل مهم است.

**قضیه ۳ (یکنوایی):** فرض کنید که توابع تقاضای معکوس در تمام بازارهای تقاضا کاهش می یابد، و مقعر (مانند توابع خطی) و توابع هزینه پوشش ریسک در مدل به طور پیوسته قابل تشخیص و محدب (مانند توابع خطی) هستند. سپس، فرمول نابرابری متغیر برای شبکه زنجیره تأمین با پوشش ریسک مالی، یکنواخت است، یعنی،

$$\langle (F(X') - F(X''))^T, X' - X'' \rangle \geq 0, \quad \forall X', X'' \in \mathcal{K}, X' \neq X''. \quad (21)$$

**اثبات:** ابتدا می توانیم ماتریس ژاکوبین  $F(X)$  را بنویسیم که معادله (۲۰) را به صورت زیر وارد می کند:

$$Jacobian = \begin{pmatrix} \Omega_{wuxy} & 0 & 0 \\ 0 & \Omega_{\hat{y}z} & 0 \\ 0 & 0 & \Omega_s \end{pmatrix}, \quad (22)$$

که در آن:  $\Omega_{wuxv}$ ، زیر ماتریس  $JN(1+I) + 2JM \times JN(1+I) + 2JM$  مرتبط با  $F_{jn}^W, F_{jm}^U, F_{jni}^X$  و

$F_{jm}^Y$ ،  $i=1, \dots, I$  و  $m=1, \dots, M$  و  $j=1, \dots, J$  است؛  $\Omega_{\hat{y}z}$  زیر ماتریس  $J(NI+M)|\Phi| \times J(NI+M)|\Phi|$

مرتبط با  $F_{jm\phi}^{\hat{Y}}$  و  $F_{jni\phi}^Z$ ،  $i=1, \dots, I$  و  $m=1, \dots, M$  و  $j=1, \dots, J$  و  $\phi \in \Phi$  می باشد.  $\Omega_s$  زیر ماتریس

$JK|\Phi| \times JK|\Phi|$  مرتبط با  $F_{jk\phi}^S$ ،  $k=1, \dots, K$  و  $j=1, \dots, J$  و  $\phi \in \Phi$  است.

ابتدا، از آنجا که توابع هزینه ارز و توابع هزینه پوشش ریسک به طور پیوسته قابل تشخیص و محدب می باشد، و

ماتریس کواریانس نیمه مطلق و مثبت می باشد،  $\Omega_{wuxy}$  نیمه مطلق مثبت است. علاوه بر این، از آنجا که  $F_{jm\phi}^{\hat{Y}}$  و

$F_{jni\phi}^Z$  ثابت هستند،  $\Omega_{\hat{y}z}$  یک ماتریس صفر می باشد.

در حال حاضر، اثبات می کنیم که زیر ماتریس  $\Omega_s$  نیز نیمه مطلق و مثبت است. ابتدا  $\Omega_s$  را به صورت زیر

بازنویسی می نماییم:

$$\Omega_s = \Omega_s^c + \Omega_s^p \quad (23)$$

که در آن  $\Omega_s^c$  متناظر با  $\frac{\partial c_j(S_{j\phi}^*)}{s_{jk\phi}}$  در  $F_{jk\phi}^S$  و  $\Omega_s^p$  متناظر با  $-\left[\rho_k(s_{k\phi}^{all*}) + \frac{\partial \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{jk\phi}} s_{jk\phi}^*\right]$  در  $F_{jk\phi}^S$

می باشد. از آنجا که  $c_j(S_{j\phi}^*)$  محدب است،  $\Omega_s^c$  نیمه مطلق و مثبت می باشد.

اکنون، ثابت می کنیم که  $\Omega_s^p$  نیز نیمه مطلق و مثبت است.  $\Omega_s^p$  می تواند به صورت زیر بازنویسی شود:

$$\Omega_s^p = \begin{pmatrix} f(\phi_1)A_{\phi_1}^1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \dots & f(\phi)A_{\phi}^k & \dots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & f(\phi_{|\Phi|})A_{\phi_{|\Phi|}}^K \end{pmatrix}, \quad (24)$$

که در آن  $A_{\phi}^k$  یک ماتریس  $J^*J$  است که با  $-\left[\rho_k(s_{k\phi}^{all*}) + \frac{\partial \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all}} s_{jk\phi}^*\right]$  در  $F_{jk\phi}^S$  با  $k$  بازار تقاضا و  $\phi$  سناریو مرتبط است.

توجه داشته باشید که عنصر ردیف  $j$  و ستون  $1$  از  $A_{\phi}^k$ ،  $-2 \frac{\partial \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all}} - \frac{\partial^2 \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all^2}} \times s_{jk\phi}$  می باشد، اگر  $1$

برابر با  $j$  است، اگر  $1$  برابر با  $j$  نباشد. بنابراین، می توانیم  $A_{\phi}^k$  را به سه

ماتریس مختلف  $A_{\phi}^k = A_{\phi}^{k1} + A_{\phi}^{k2} + A_{\phi}^{k3}$  تجزیه کنیم که در آن:

$$A_{\phi}^{k1} = - \begin{pmatrix} \frac{\partial \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all}} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \dots & \frac{\partial \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all}} & \dots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & \frac{\partial \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all}} \end{pmatrix}, \quad (25)$$

$$A_{\phi}^{k2} = - \frac{\partial \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all}} \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & \dots & 1 \\ 1 & \ddots & \dots & \dots & 1 \\ \vdots & \dots & 1 & \dots & \vdots \\ 1 & \dots & \dots & \ddots & 1 \\ 1 & \dots & \dots & 1 & 1 \end{pmatrix}, \quad (26)$$

9

$$A_{\phi}^{k3} = - \frac{\partial^2 \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all^2}} \times \begin{pmatrix} s_{1k\phi} & s_{1k\phi} & \dots & \dots & s_{1k\phi} \\ s_{2k\phi} & \ddots & \dots & \dots & s_{2k\phi} \\ \vdots & \dots & s_{jk\phi} & \dots & \vdots \\ s_{(j-1)k\phi} & \dots & \dots & \ddots & s_{(j-1)k\phi} \\ s_{jk\phi} & \dots & \dots & s_{jk\phi} & s_{jk\phi} \end{pmatrix}. \quad (27)$$

از آنجا که تابع تقاضای معکوس  $\rho_k(s_{k\phi}^{all})$  یک تابع نزولی از  $s_{k\phi}^{all}$  است، غیر منفی می باشد.

بنابراین،  $A_{\phi}^{k1}$  نیمه مطلث مثبت می باشد. علاوه بر این، تنها مقدار مشخصه غیر صفر ماتریس  $A_{\phi}^{k2}$ ، برابر با



می باشد. از آنجا که  $-\frac{\partial \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all}}$  مثبت است،  $A_{\phi}^{k2}$  یک ماتریس نیمه مطلق مثبت می باشد.

ماتریس  $A_{\phi}^{k3}$  نیز یک مقدار مشخصه غیر صفر دارد که برابر با  $-\frac{\partial^2 \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all^2}} s_{k\phi}^{all}$  است. از آنجا که  $\rho_k(s_{k\phi}^{all})$

محدب می باشد،  $-\frac{\partial^2 \rho_k(s_{k\phi}^{all*})}{\partial s_{k\phi}^{all^2}} s_{k\phi}^{all} \geq 0$  است. بنابراین،  $A_{\phi}^{k3}$  نیز نیمه مطلق مثبت می باشد. اکنون می دانیم

که  $A_{\phi}^{m2}$ ،  $A_{\phi}^{m3}$  و نیمه مطلق و مثبت می باشند که بدان معنی است که  $\Omega_s$  و  $A_{\phi}^k$  هر دو نیمه مطلق و مثبت هستند.

بنابراین، سه زیر ماتریس ژاکوبین  $\Omega_{\hat{y}z}$ ،  $\Omega_{wuxy}$  و  $\Omega_s$  نیمه مطلق و مثبت می باشند، ماتریس ژاکوبین مدل، نیز نیمه مطلق و مثبت است. بدان معنی که فرمول نابرابری متغیر شبکه زنجیره تأمین یکنواست.

در بخش ۵، روش پیش افکنی را برای محاسبه مدل اصلاح می کنیم. این الگوریتم به یک راه حل همگرا می شود اگر  $F(X)$  یکنوا و پیوستگی Lipschitz داشته باشد و یک راه حل وجود داشته باشد که موردی برای مدل ما باشد.

#### ۴- نتایج تحلیل برای موارد خاص

در این بخش، دو مورد خاص از مدل را مورد بررسی قرار می دهیم که در آن راه حل های تعادل به شکل بسته و بینش های مدیریتی را ارائه می دهیم. به ویژه، بر روی دو شرکت زنجیره تأمین متمرکز می شویم که در معرض خطر ارزش خارجی قرار دارند. مدل کلی را ساده تر می کنیم تا بر روی نوسان و ریسک اولیه متمرکز شویم که همچنان به رفع این مشکل به صورت تحلیلی و قابل ردیابی کمک می کند. به ویژه، فرض می کنیم که هر شرکت دارای یک تأمین کننده خارجی می باشد و یک بازار تقاضا وجود دارد. همچنین فرض می کنیم که مقدار واقعی تولید  $s$ ، همیشه برابر با مقدار تولید/سفارش برنامه ریزی شده  $X$  می باشد. توجه داشته باشید که تأثیر این فرضیه این است که شرکت ها برخی از انعطاف پذیری های عملیاتی را از دست می دهند و بیشتر به پوشش ریسک مالی متکی هستند.



همچنین فرض می کنیم که هزینه معامله برای قراردادهای آتی صفر است و هزینه تولید خطی می باشد. بر روی دو متغیر تصمیم، مقدار تولید/سفارش  $X$  و مقدار پوشش ریسک ارز خارجی  $W$  تمرکز می کنیم.

این به هیچ وجه ارزش ندارد، اگر چه در این بخش بر روی ریسک ارز خارجی متمرکز هستیم، تحت همان فرضیات، نتایج تحلیلی برای ریسک قیمت کالا، یکسان می باشد.

دو مورد را مورد مقایسه قرار می دهیم که در آن در اولین مورد، هر دو شرکت می توانند با استفاده از قراردادهای آتی تأمین شوند در حالی که در مورد دوم تنها یک شرکت می تواند از قراردادهای آتی استفاده کند. راه حل های تحلیلی را ارایه خواهیم داد و نتایج را مورد بحث قرار می دهیم.

**مورد خاص ۱:** هر دو شرکت می توانند با استفاده از قراردادهای آتی تأمین شوند.

فرض می کنیم که هر دو شرکت  $A$  و  $B$  قادر به پوشش ریسک مالی با استفاده از قراردادهای آتی هستند. در این مورد، مدل های بهینه سازی شرکت  $A$  و شرکت  $B$  را می توان به صورت زیر ساده کرد:

شرکت  $A$ :

$$\begin{aligned} & MAX - \eta^0 w_A - \alpha_A R(x_A, w_A) + \rho(x_A + x_B)x_A - c_A x_A \\ & + \sum_{\phi \in \Phi} f(\phi)[\eta_{\phi} w_A - p_{\phi}^1 x_A] \end{aligned} \quad (28)$$

شرکت  $B$ :

$$\begin{aligned} & MAX - \eta^0 w_B - \alpha_B R(x_B, w_B) + \rho(x_A + x_B)x_B - c_B x_B \\ & + \sum_{\phi \in \Phi} f(\phi)[\eta_{\phi} w_B - p_{\phi}^1 x_B] \end{aligned} \quad (29)$$

از آنجا که بر روی اثرات ریسک ارز خارجی و ریسک اولیه متمرکز هستیم، تمام عوامل دیگر مالی و هزینه های دو شرکت را کنترل می کنیم. به ویژه، فرض می کنیم که بازده مورد انتظار از قراردادهای آتی صفر است، یعنی:

$\eta^0 = \sum_{\phi \in \Phi} \eta_{\phi}$ . فرض می کنیم که دو شرکت هزینه تولید یکسانی داشته باشند، و اجازه می دهیم که  $C$

مجموع هزینه واحد و هزینه خرید واحد مورد انتظار برای دو شرکت را نشان دهد. یعنی:

خطی  $c = \sum_{\phi \in \Phi} p_{\phi}^1 + c_A = \sum_{\phi \in \Phi} p_{\phi}^1 + c_B$ . علاوه بر این، فرض می کنیم که تابع تقاضای معکوس،

است و به شکل زیر می باشد:  $\rho(x_A + x_B) = a - b(x_A + x_B)$ . همچنین فرض می کنیم که دو شرکت

دارای عامل مخالف ریسک یکسان،  $\alpha$  است. اکنون، مسایل بهینه سازی دو شرکت می تواند به صورت زیر بیان شود:

شرکت A:

$$\text{MAX } \rho(x_A + x_B)x_A - cx_A - \alpha \times (x_A, w_A) \begin{pmatrix} \sigma_p^2 & \sigma_{p\eta} \\ \sigma_{p\eta} & \sigma_{\eta}^2 \end{pmatrix} (x_A, w_A)^T \quad (30)$$

که در آن  $\sigma_p^2$ ،  $\sigma_{p\eta}$  و  $\sigma_{\eta}^2$  به ترتیب واریانس نرخ ارز، واریانس قیمت قراردادهای آتی و کواریانس بین دو عامل می باشد. مسأله بهینه شرکت B می تواند به روش متقارن باز نویسی شود.

از آنجا که تابع هدف شامل تابع درجه دوم  $\rho(x_A + x_B)x_A = ax_A - bx_A^2 - bx_Ax_B$  و ماتریس کواریانس

می باشد، ماتریس Hessian نیمه مطلق منفی است. بنابراین، می

توانیم راه حل تعادل مدل را با حل شرایط مرتبه اول دو شرکت به دست آوریم. راه حل های تعادل بسته دو شرکت

به شرح زیر است:

شرکت A:

$$x_A^* = \frac{\sigma_{\eta}^2 (a - c)}{-2\alpha\sigma_{p\eta}^2 + 3b\sigma_{\eta}^2 + 2\alpha\sigma_{\eta}^2\sigma_p^2} \quad (31)$$

$$w_A^* = \frac{-\sigma_{p\eta} (a - c)}{-2\alpha\sigma_{p\eta}^2 + 3b\sigma_{\eta}^2 + 2\alpha\sigma_{\eta}^2\sigma_p^2} \quad (32)$$

از آنجا که شرکت A و شرکت B یکسان هستند، راه حل شرکت B همان به صورت راه حل شرکت A می باشد. بر

اساس راه حل تعادل، می توانیم سود و ریسک دو شرکت را به صورت زیر به دست آوریم:

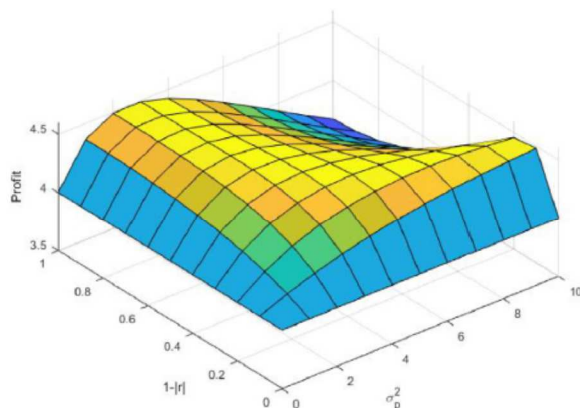
$$\text{Profit}_A^* = \frac{(a - c)^2 (-2\alpha\sigma_p^2 (1 - r_{p\eta}^2) + b)}{(2\alpha\sigma_p^2 (1 - r_{p\eta}^2) + 3b)^2} \quad (33)$$

$$\text{Risk}_A^* = \frac{-\sigma_p^2 (r_{p\eta}^2 - 1) (a - c)^2}{(-2\alpha\sigma_p^2 r_{p\eta}^2 + 3b + 2\alpha\sigma_p^2)^2} \quad (34)$$

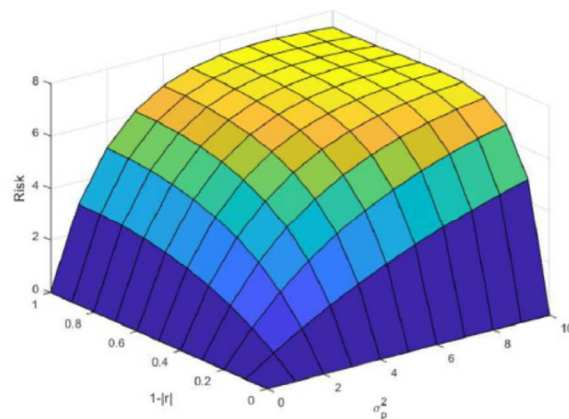
که در آن  $r_{p\eta} = \frac{\sigma_{p\eta}}{\sigma_p \sigma_\eta}$ ، ضریب همبستگی بین قیمت لحظه ای و قیمت قرارداد آتی را نشان می دهد. از آنجا که شرکت A و شرکت B یکسان هستند، سود و ریسک های آنها باهم برابر می باشد.

سپس، گزاره هایی را ارائه می دهیم که اثرات نوسانات ارز و ریسک اولیه را بر سود، ریسک و هزینه پرداختی بازار توسط مشتریان را تجزیه و تحلیل می کند. در تحلیل ما، نوسانات نرخ ارز توسط  $\sigma_p^2$  و اندازه گیری می شود و ریسک اولیه توسط  $1 - |r|$  اندازه گیری می شود.

توجه داشته باشید که  $\sigma_p^2$  مقدار ریسک ارز خارجی را نشان می دهد در حالی که  $1 - |r_{p\eta}|$  نشان می دهد که چقدر ریسک ارز خارجی می تواند به لحاظ مالی تأمین شود. در کل این بخش، فرض می کنیم که  $r_{p\eta} \neq \alpha$  می باشد.



(ب) ریسک شرکت ها



(الف) سود شرکت ها

شکل ۲: سود و ریسک شرکت ها در مورد ۱

گزاره ۱: چنانچه نوسانات نرخ ارز  $\sigma_p^2$  افزایش یابد، و در صورتی که  $\nu_1 > 0$  باشد، سود دو شرکت افزایش خواهد یافت و اگر  $\nu_1 < 0$  باشد، سود هر دو شرکت کاهش خواهد یافت. که در آن:

$$\nu_1 \equiv (1 - r_{p\eta}^2)(b - 2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2)). \quad (35)$$

اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

گزاره ۲: چنانچه ریسک اولیه  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد، و اگر  $\nu_2 > \alpha$  باشد، سود هر دو شرکت افزایش خواهد یافت و اگر  $\nu_2 < 0$  باشد، سود هر دو شرکت کاهش خواهد یافت، که در آن:

$$\nu_2 \equiv b - 2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2). \quad (36)$$

اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

گزاره ۳: چنانچه نوسانات نرخ ارز  $\sigma_p^2$  افزایش یابد و اگر  $\nu_3 > 0$  باشد، سود هر دو شرکت افزایش خواهد یافت و اگر  $\nu_3 < 0$ ، سود شرکت ها کاهش خواهد یافت، که در آن:

$$\nu_3 \equiv (1 - r_{p\eta}^2)(3b - 2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2)). \quad (37)$$

اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

گزاره ۴: چنانچه ریسک اولیه  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد و اگر  $\nu_4 > 0$  باشد، سود هر دو شرکت افزایش خواهد یافت و اگر  $\nu_4 < 0$  باشد، سود هر دو شرکت کاهش خواهد یافت که در آن:

$$\nu_4 \equiv r_{p\eta}(3b - 2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2)). \quad (38)$$

اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

همچنین شکل ۲ (الف) و ۲ (ب) ساخته شده است تا گزاره های ۱-۴ را بر اساس مقادیر پارامتر نشان دهد:  $a=10$ ،  $c=4$ ،  $b=1$  و  $\alpha=0.2$ ، توجه داشته باشید که شکل ۱ (الف) و (ب) تصویر کلی از تأثیرات را نشان نمی دهد، اما تجسم چنین تأثیراتی تحت پارامترهای مشخص شده می باشد.

### بحث و گفتگو

ابتدا، می بینیم که گزاره های ۱ و ۲ و شکل ۲ (الف)، روابط پیچیده بین عوامل ریسک و سود شرکت را نشان می دهد. می بینیم که در سطوح بسیار پایین نوسانات نرخ ارز و ریسک اولیه، زمانی که این عوامل خطر افزایش می یابد، سود دو شرکت نیز افزایش می یابد. توضیح اقتصادی به شرح زیر است. بهطور کلی، در یک بازی دو طرفه بدلیل رقابت، دو شرکت تمایل به تولید بیشتر را دارند و قیمت بازار پایین تری را نسبت به شرایط غیر رقابتی دریافت می

نمایند. بنابراین، با توجه به رقابت مستقیم، سود دو شرکت در این مورد پایین تر از سود انهایی است که می توانند بدون رقابت به این سود برسند. در حال حاضر، همانطور که عوامل خطر اندکی از هر سطوح بسیار پایین افزایش می یابد، با توجه به این واقعیت که وجود ریسک اولیه در شرکت ها از پوشش کامل ریسک ارزش خارجی جلوگیری می کند و همچنین دو شرکت باید تولید و سطح عرضه را به میزان کمتری کاهش دهند. کاهش عرضه در بازار به طور غیر منتظره موجب کاهش شدید رقابت و افزایش قیمت محصولات می شود که این امر منجر به افزایش سود دو شرکت می شود. با این حال، همانطور که مقادیر عوامل ریسک بیشتر افزایش می یابد، چنین تأثیری با کاهش بیشتر تولید منجر به کاهش سود می گردد.

دوم، گزاره های ۳-۴ و شکل ۲ (ب)، تأثیر نوسانات ارزش خارجی و ریسک اولیه شرکت را نشان می دهد. می بینیم که در سطوح پایین و متوسط ریسک، همانطور که عوامل خطر افزایش می یابد، ریسک شرکت ها هموار می ماند یا کمی افزایش می یابد. این نشان می دهد که وقتی عوامل خطر از سطوح بالا افزایش یابد، شرکت ها تولید خود را کاهش داده و سود را به کنترل ریسک قربانی می کنند.

**گزاره ۵:** چنانچه نوسانات نرخ مبادله  $\sigma_p^2$  افزایش یابد، قیمت بازار برای مشتریان افزایش خواهد یافت. اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

**گزاره ۶:** چنانچه ریسک اولیه  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد، قیمت بازار برای مشتریان افزایش خواهد یافت. اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

اگر چه تأثیر  $\sigma_p^2$ ،  $1 - |r_{p\eta}|$  بر روی سود و ریسک پیچیده است، گزاره های ۵ و ۶ به وضوح نشان می دهد که این خطرات همیشه قیمت پرداختی مشتریان را افزایش می دهد. بنابراین، ابزارهایی خوبی برای پوشش ریسک مالی و بازارهای آتی از طریق کاهش قیّم ها، به نفع مشتریان خواهد بود.

**مورد خاص ۲:** تنها یک شرکت می تواند با استفاده از قراردادهای آتی تأمین مالی شود.

در این مورد، فرض می کنیم که شرکت A قادر به پوشش ریسک (تأمین مالی) با استفاده از قراردادهای آتی است در حالی که شرکت B قادر به انجام پوشش ریسک مالی نیست. در این سناریو، مدل های بهینه سازی شرکت A و شرکت B به صورت زیر ساده می شود:

شرکت A:

$$MAX \quad \rho(x_A + x_B)x_A - cx_A - \alpha \times (x_A, w_A) \begin{pmatrix} \sigma_p^2 & \sigma_{p\eta} \\ \sigma_{p\eta} & \sigma_\eta^2 \end{pmatrix} (x_A, w_A)^T \quad (39)$$

شرکت B:

$$MAX \quad \rho(x_A + x_B)x_B - cx_B - \alpha \times \sigma_p^2 x_B^2. \quad (40)$$

که در آن  $\sigma_p^2$ ،  $\sigma_\eta^2$  و  $\sigma_{p\eta}$  به ترتیب واریانس نرخ مبادله، واریانس قیمت قراردادهای آتی و کواریانس بین دو عامل است. شبیه به مورد خاص، ماتریس Hessian برای هر شرکت نیمه مطلق منفی است. بنابراین، می توانیم راه حل مدل را با حل شرایط مرتبه اول پیدا کنیم. راه حل های تعادل بسته دو شرکت به صورت زیر نشان داده می شود:

شرکت A:

$$x_A^* = \frac{\sigma_\eta^2(a-c)(b+2\alpha\sigma_p^2)}{-4\alpha^2\sigma_{p\eta}^2\sigma_p^2 + 4\sigma_\eta^2\alpha^2\sigma_p^4 - 4\alpha b\sigma_{p\eta}^2 + 8\sigma_\eta^2\alpha b\sigma_p^2 + 3\sigma_\eta^2b^2} \quad (41)$$

$$w_A^* = \frac{-\sigma_{p\eta}(a-c)(b+2\alpha\sigma_p^2)}{-4\alpha^2\sigma_{p\eta}^2\sigma_p^2 + 4\sigma_\eta^2\alpha^2\sigma_p^4 - 4\alpha b\sigma_{p\eta}^2 + 8\sigma_\eta^2\alpha b\sigma_p^2 + 3\sigma_\eta^2b^2}. \quad (42)$$

شرکت B:

$$x_B^* = \frac{(a-c)(-2\alpha\sigma_{p\eta}^2 + b\sigma_\eta^2 + 2\alpha\sigma_\eta^2\sigma_p^2)}{-4\alpha^2\sigma_{p\eta}^2\sigma_p^2 + 4\sigma_\eta^2\alpha^2\sigma_p^4 - 4\alpha b\sigma_{p\eta}^2 + 8\sigma_\eta^2\alpha b\sigma_p^2 + 3\sigma_\eta^2b^2}. \quad (43)$$

توجه داشته باشید که از آنجا که شرکت B قابلیتی برای پوشش ریسک مالی ندارد، این  $w_B$  ندارد. براساس راه حل تعادل، می توانیم سود و ریسک دو شرکت را به صورت زیر بدست آوریم:

شرکت A:

$$Profit_A^* = \frac{(a-c)^2(b+2\alpha\sigma_p^2)(2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+b)}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2+3b^2)^2} \quad (44)$$

$$Risk_A^* = \frac{\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)(a-c)^2(b+2\alpha\sigma_p^2)^2}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2+3b^2)^2} \quad (45)$$

شرکت B:

$$Profit_B^* = \frac{(a-c)^2(b+2\alpha\sigma_p^2)(2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+b)^2}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2+3b^2)^2} \quad (46)$$

$$Risk_B^* = \frac{\sigma_p^2(a-c)^2(2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+b)^2}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2+3b^2)^2} \quad (47)$$

که در آن،  $r = \frac{\sigma_{p\eta}}{\sigma_p\sigma_\eta}$  ضریب همبستگی بین قیمت لحظه ای و قیمت آتی را نشان می دهد.

بعد، گزاره هایی را ارایه خواهیم کرد که اثرات نوسانات نرخ ارز و ریسک اولیه بر سود، ریسک و قیمت پرداخت شده بازار توسط مشتریان را تجزیه و تحلیل می کند.

گزاره ۷: چنانچه نوسانات نرخ ارز،  $\sigma_p^2$  افزایش یابد، و اگر  $v_5 > 0$  باشد، سود شرکت A افزایش خواهد و اگر  $v_5 < 0$  باشد، سود شرکت A کاهش می یابد، و اگر  $v_6 > 0$  باشد، سود شرکت B افزایش خواهد یافت و اگر  $v_6 < 0$  باشد، سود شرکت B کاهش می یابد. که در آن،

$$v_5 \equiv \frac{2\alpha b^2\sigma_p^2(1+r_{p\eta}^2)(1-r_{p\eta}^2)+b^3(1+r_{p\eta}^2)-8\alpha^3\sigma_p^6(r_{p\eta}^2-1)^2}{-4\alpha^2b\sigma_p^4(r_{p\eta}^2-1)^2} \quad (48)$$

$$v_6 \equiv \frac{4\alpha b^3\sigma_p^2(r_{p\eta}^4-3r_{p\eta}^2+1)+b^4-16\alpha^4\sigma_p^8(1-r_{p\eta}^2)^3}{-16\alpha^3b\sigma_p^6(1-r_{p\eta}^2)^2-12\alpha^2b^2\sigma_p^4r_{p\eta}^2(1-r_{p\eta}^2)(1-2r_{p\eta}^2)} \quad (49)$$

اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

گزاره ۸: چنانچه ریسک اولیه  $1-|r_{p\eta}|$  افزایش یابد سود شرکت A کاهش خواهد یافت و سود شرکت B افزایش خواهد یافت.



اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

گزاره ۹: چنانچه نوسانات نرخ ارز  $\sigma_D^2$  افزایش یابد و اگر  $\nu_7 > 0$  باشد، ریسک شرکت A افزایش خواهد یافت و اگر  $\nu_7 < 0$  باشد، ریسک شرکت A کاهش خواهد یافت؛ اگر  $\nu_8 > 0$  ریسک شرکت B افزایش خواهد یافت و اگر  $\nu_8 < 0$  باشد، ریسک شرکت B کاهش خواهد یافت، که در آن:

$$\nu_7 \equiv (1 - r_{p\eta}^2)[-8\alpha^3\sigma_p^6(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha^2b\sigma_p^4(r_{p\eta}^2 + 1) + 4\alpha b^2\sigma_p^2r_{p\eta}^2 + 10\alpha b^2\sigma_p^2 + 3b^3] \quad (50)$$

$$\nu_8 \equiv 12\alpha^2b^2\sigma_p^4(3r_{p\eta}^2 - 2)(r_{p\eta}^2 - 1) + 4\alpha b^3\sigma_p^2(4 - 5r_{p\eta}^2) + 3b^4 - 16\alpha^4\sigma_p^8(1 - r_{p\eta}^2)^3 - 16\alpha^3b\sigma_p^6r_{p\eta}^2(1 - r_{p\eta}^2)^2 \quad (51)$$

اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

گزاره ۱۰: چنانچه ریسک اولیه  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد، ریسک شرکت B همیشه افزایش خواهد یافت و ریسک شرکت A اگر  $\nu_9 > 0$  باشد، افزایش خواهد یافت و اگر  $\nu_9 < 0$  باشد، ریسک شرکت A کاهش خواهد یافت، که در آن:

$$\nu_9 \equiv 4\alpha^2\sigma_p^4(r_{p\eta}^2 - 1) + 4\alpha b\sigma_p^2r_{p\eta}^2 + 3b^2. \quad (52)$$

اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

همچنین شکل ۳ (الف) - (د) را برای نشان دادن گزاره های ۷-۱۰ بر اساس مقادیر پارامترها مشابه در مورد خاص ۱ ساختم. توجه داشته باشید که این اشکال، تصویر کلی این اثرات را نشان نیم دهد، بلکه تجسم چنین اثراتی تحت پارامترهای مشخص شده را نشان می دهد.

### بحث و گفتگو

اول، گزاره ۸ و شکل ۳ (الف) و ۳ (ب) نشان می دهد که همانطور که ابزار پوشش ریسک مالی مؤثرتر می شود، و ریسک اولیه کاهش می یابد، زمیت رقابتی شرکت A قوی تر می شود که همیشه سود شرکت A افزایش یافته و سود شرکت B کاهش می یابد. گزاره ۷ و شکل ۳ (الف) نشان می دهد که افزایش نوسانات مزتی رقابتی شرکت A را



تقویت خواهد کرد و هنگامی که ریسک اولیه کم می شود، سود شرکت A به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد و ممکن است هنگامی که ریسک اولیه بالاست، سود شرکت A کاهش یابد. فقط در برخی از موارد شدید که در آن سطح نوسانات پایین است و ریسک اولیه بالا می باشد، سود شرکت B به دلیل کاهش شدید رقابت، می تواند کمی افزایش یابد، همانطور که در مورد خاص ۱ مورد بحث قرار گرفت.

دوم، شکل ۳ (ج) و (د) نشان می دهد که در بیشتر موارد، همانطور که نوسانات افزایش می یابد، ریسک هر دو شرکت A و B افزایش خواهد یافت. گزاره ۹، آستانه بیسته این تأثیرات را ارایه می دهد. گزاره ۱۰ و شکل ۳ (ج) و (د) نشان می دهد که در بیشتر موارد، ریسک اولیه، ریسک هر دو شرکا افزایش می یابد.

شایان ذکر است که هم گزاره ۱۰ و هم شکل ۳ (د) نشان می دهد که افزایش ریسک اولیه همیشه ریسک شرکت B را افزایش خواهد داد که حتی از چوشش ریسک مالی استفاده نمی کنند. این تأثیر غیر مستقیم ریسک اولیه به دلیل رقابت بازار است. هنگامی که ریسک اولیه، پوشش ریسک مالی را افزایش می دهد، کم تر تأثیر گذار می شود. بنابراین، شرکت A تولید را بخاطر ریسک کاهش می دهد که شرکت B اجازه افزایش تولید را پیدا می کند تا سهم بیشتری را در بازار به دست آورد. در نتیجه، مواجه شرکت B با ریسک نیز افزایش پیدا خواهد کرد.

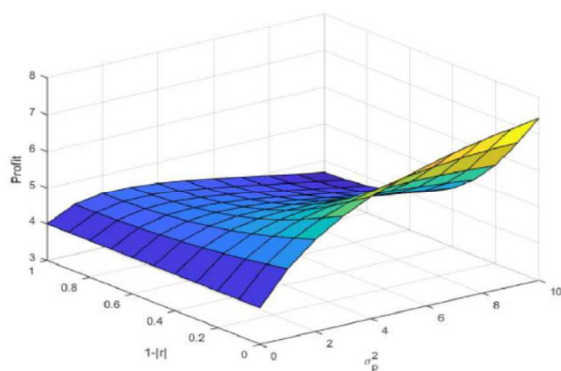
گزاره ۱۱: شرکت A همیشه سود بالاتر از شرکت B دارد.

اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

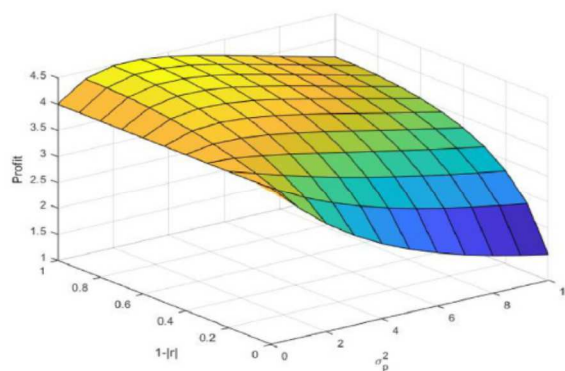
اگر چه تأثیرات  $\sigma_D^2$  و  $1 - |r_{p\eta}|$  با وجود سود و ریسک بسیار پیچیده است، گزاره ۱۱ تأیید می کند که پوشش ریسک مالی با استفاده از قراردادهای آتی همیشه شرکت A یک مزیت رقابتی در برابر شرکت B را فراهم می آورد.

گزاره ۱۲: چنانچه نوسانات نرخ مبادله  $\sigma_D^2$  افزایش یابد، قیمت بازار برای مشتریان افزایش خواهد یافت.

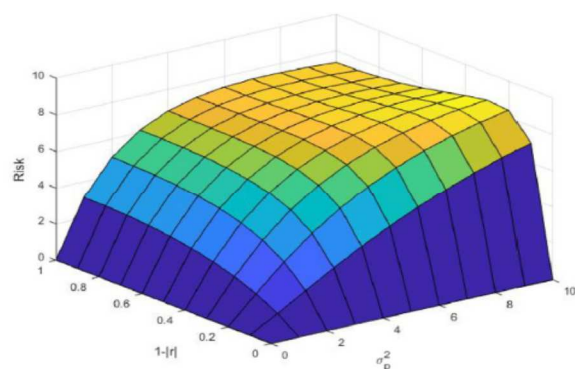
اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.



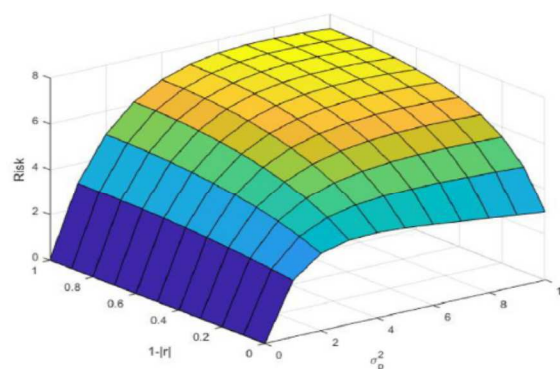
(ب) سود شرکت B



(الف) سود شرکت (A)



(د) ریسک شرکت B



(ج) ریسک شرکت A

شکل ۳: سود و ریسک شرکت ها در مورد ۲

گزاره ۱۳: چنانچه ریسک اولیه  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد، قیمت بازار برای مشتریان افزایش خواهد یافت.

اثبات: پیوست را مشاهده فرمایید.

همانند مورد خاص ۱، گزاره های ۵ و ۶ نشان می دهند که نوسانات نرخ ارز بالاتر و ریسک اولیه همیشه با افزایش قیمت محصول به مشتریان آسیب می رساند.

## ۵- مطالعه موردی شبیه سازی

مدل خود را با استفاده از دو مطالعه موردی شبیه سازی نشان می دهیم که بر پایه انحصار چندتایی با ۵ شرکت زنجیره تأمین ( $J=5$ ) و یک بازار تقاضا ( $k=1$ ) تمرکز دارد. مطالعه موردی شبیه سازی اول بر تأثیر نوسانات نرخ ارز و قیمت کالا متمرکز می شود، و مطالعه موردی دوم بر تأثیر ریسک اولیه، اثر بخشی ابزارهای پوشش ریسک مالی متمرکز خواهد شد.

مطالعات موردی شبیه سازی نتایج را بر اساس راه حل های بسته موارد خاص گسترش و تکمیل می کند. به ویژه، نتایج تحلیلی تنها مبتنی بر دو شرکت است در حالی که مطالعات شبیه سازی ما می تواند یک محیط واقعی تر با شرکت های ناهمسان چندگانه را مورد بررسی قرار می دهد که نتایج جالبی را پیدا می کند که توسط راه حل های تحلیلی موارد خاص نشان داده نمی شود. به عنوان مثال، نتایج شبیه سازی ما نشان می دهد که تأثیر نوسانات و ریسک اولیه نیز به طور قابل توجهی نسبت به شرکت هایی که در زمینه پوشش ریسک مالی فعالیت می کنند، بستگی دارد.

توجه داشته باشید که مدل ما قادر به پوشش ریسک حتی در شبکه های بزرگتر با چندین شرکت، کشورهای مختلف و تأمین کنندگان و بازارهای متعدد و مواد کالای مختلف است. در مطالعه شبیه سازی بر روی مسأله ای متمرکز هستیم که برای بررسی ان تلاش می کنیم در حالی که عوامل دیگر و کنترل شده نیز وجود دارند.

### مطالعه موردی شبیه سازی ۱

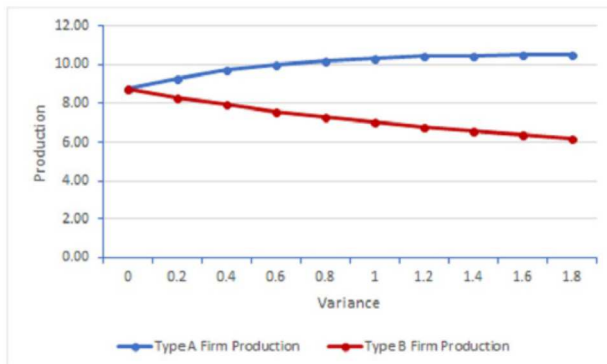
در مثال ۱، مدل خود را برای بررسی تأثیر نوسانات ارزش خارجی و قیمت کالا در تصمیم گیری، سودآوری و ریسک های ۵ شرکت زنجیره تأمین ناهمسان ( $J=5$ ) مورد استفاده قرار می دهیم. به ویژه، دو نوع شرکت را در نظر می گیریم: شرکت های نوع A که قادر به استفاده از قراردادهای آتی برای پوشش ریسک مالی هستند و شرکت های نوع B که نمی توانند پوشش ریسک مالی را انجام دهند.

یک ماده کالا ( $M=1$ ) و یک کشور خارجی ( $N=1$ ) را در نظر می گیریم که در آن یک تأمین کننده ( $I=1$ ) وجود دارد. از آنجاییکه در این مثال بر تأثیر پوشش ریسک مالی در تصمیمات زنجیره تأمین سود و ریسک شرکت ها متمرکز هستیم، فرض می کنیم که ۵ شرکت زنجیره تأمین همان پارامترهای هزینه تولید را دارند.

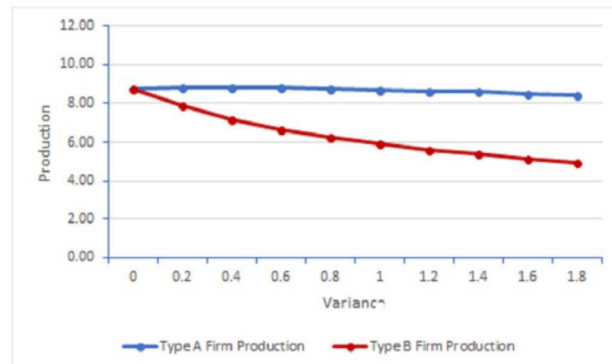
فرض می کنیم که ماتریس کواریانس نرخ ارزش خارجی، قیمت قرارداد آتی نرخ ارزش، قیمت کالا و قیمت قراردادهای آتی به صورت زیر است:

$$\text{Covariance Matrix} = \begin{pmatrix} \sigma^2 & 0.8\sigma^2 & 0 & 0 \\ 0.8\sigma^2 & \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^2 & 0.8\sigma^2 \\ 0 & 0 & 0.8\sigma^2 & \sigma^2 \end{pmatrix}, \quad (53)$$

توجه داشته باشید که قیمت قراردادهای آتی نرخ ارز (قیمت کالا) با نرخ ارز (قیمت کالا) با توجه به ریسک اولیه، کاملاً مرتبط نیست.

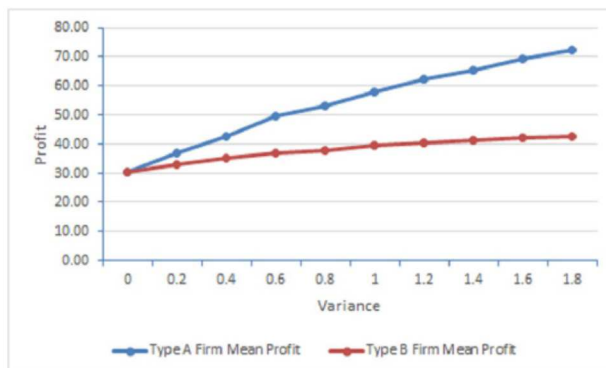


(ب) تولید در مورد ۱-۲

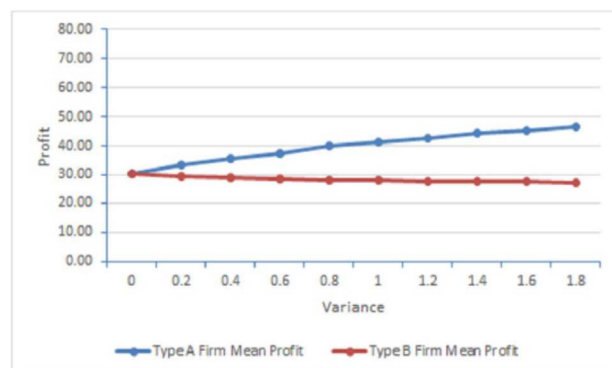


(الف) تولید در مورد ۱-۱

شکل ۴: مورد ۱- سطح تولید



(ب) سود در مورد ۱-۲



(الف) سود در مورد ۱-۱

شکل ۵- مورد ۱: سود

جدول ۳: پارامترهای مدل مثال ۱

Notation	Value
$\alpha_j$	0.1, $\forall j$
$\beta_{1ji}$	1 $\forall i, j$
$\beta_{2jm}$	1 $\forall j, m$
$\rho_k(s_{k\phi}^{all})$	$\rho_k(s_{k\phi}^{all}) = 30 - 0.5s_{k\phi}^{all}, \forall k$
$CAP_j$	15, $\forall j$
$c_j(S_{j\phi})$	$c_j(S_{j\phi}) = 1 * S_{j\phi}, \forall j$
$\eta_n^0$	4, $\forall n$
$\theta_m^0$	4, $\forall m$
$\gamma_{ji}$	0.8, $\forall i, j$

دو زیر مورد را در نظر می گیریم: ۱- یک شرکت نوع A و ۴ شرکت نوع B وجود دارد؛ ۲- ۴ شرکت نوع A و یک شرکت نوع B وجود دارد. برای هر مورد،  $\sigma^2$  را از ۰ تا ۰.۹ تغییر می دهیم.

در هر سطح از  $\sigma^2$ ، شبیه سازی مونت کارلو برای تولید ۱۰۰۰ سناریو ( $|\Phi| = 1000$ ) تولید می کنیم که در آن  $p_{ini\phi}^1, \eta_{n\phi}, p_{m\phi}^2, \theta_{m\phi}$  یک توزیع چند متغیره با میانگین  $[4, 4, 4, 4]$  و ماتریس کواریانس تعریف شده توسط معادله (۲۸) را دنبال می کند. سپس، راه حل تعادل مدل را برای هر سطح  $\sigma^2$  حل می کنیم.

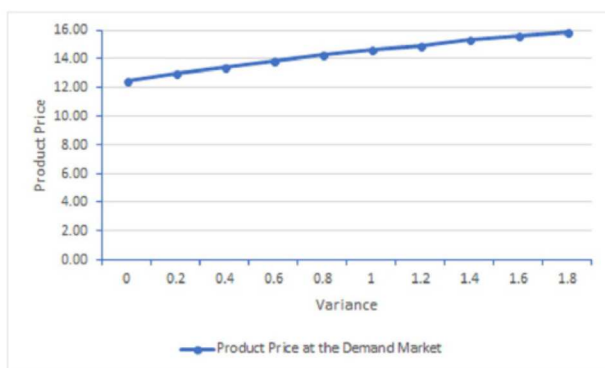
### بحث و گفتگو

شکل های ۴-۶، نتایج مورد ۱ را نشان می دهد. اول، در شکل ۵ می بینیم که در هر دو زیر مورد و در هر سطح نوسان، سود شرکت های نوع A همیشه بالاتر از شرکت های نوع B می باشد که با نتایج تحلیلی مورد خاص مطابقت دارد. علاوه بر این، شکل ۶ نشان می دهد که در هر دو زیر مورد، همانطور که نوسان افزایش می یابد قیمت تولید بازار افزایش می یابد که این به مشتریان آسیب می رساند.

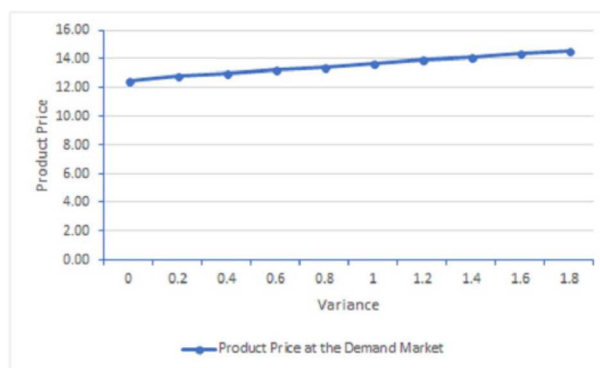
مطالعه موردی شبیه سازی نیز بینش های منحصر بفرد را ارائه می دهد. در شکل ۴ (الف) (مورد ۱-۱) که در آن تنها یک نوع شرکت A وجود دارد، سطح تولید شرکت نوع A هنگامی که نرخ ارز خارجی و نوسان قیمت کالا را افزایش یابد، افزایش خواهد یافت در حالی که در شکل ۴ (ب) (مورد ۱-۲) که در آن ۴ شرکت نوع A وجود دارد تولید شرکت نوع A کاهش می یابد زیرا نوسان افزایش می یابد. چنین نتایجی نشان می دهد که ترکیبی از شرکت

های ناهمسان بر استراتژی بهینه تأثیر می گذارد. در مورد ۱-۱، زمانی که تناسب شرکت نوع A کم است، شرکت نوع A می تواند بیشترین مزین رقابتی خود را نسبت به شرکت های نوع B ایجاد کند و سهم بازار خود را افزایش داده و سود خود را نیز افزایش دهد. با این حال، در مورد ۲-۱، زمانی که اکثر شرکت ها قادر به استفاده از پوشش ریسک مالی هستند، مزیت رقابتی کوچکتر می شود و خود پوشش ریسک مالی برای کنترل تمام دیسکها کافی نیست. در نتیجه، اکنون ۴ شرکت نوع A باید سطوح تولید خود را کاهش دهند تا به مدیریت ریسک کمک نمایند.

شکل ۵ (الف) و (ب) نیز نشان می دهد که سود شرکت نوع A افزایش می یابد زیرا نوسان افزایش می یابد که با شکل ۲ (الف) در نتایج تحلیلی مطابقت دارد، زمانی که ریسک اولیه،  $1 - |r|$  نسبتاً پایین می باشد (ضریب همبستگی مساوی ۰.۸، در موارد ۲-۱). با این حال، سود شرکت های نوع B روند مختلف در شکل ۵ (الف) و (ب) را نشان می دهد. در مورد ۱-۱ (شکل (الف)) که در آن تنها یک شرکت نوع A وجود دارد، سود شرکت های نوع B افزایش می یابد زیرا نوسان افزایش یافته است در حالی که در مورد ۲-۱ (شکل ۵ (ب))، سود شرکت نوع B به دلیل افزایش نوسان، کاهش می یابد. این به این دلیل است که در مورد ۲-۱، زمانی که اکثر شرکت ها می توانند پوشش ریسک مالی را استفاده کنند، شرکت نوع b بیشتر به علت ضعف رقابتی تقویت می شود

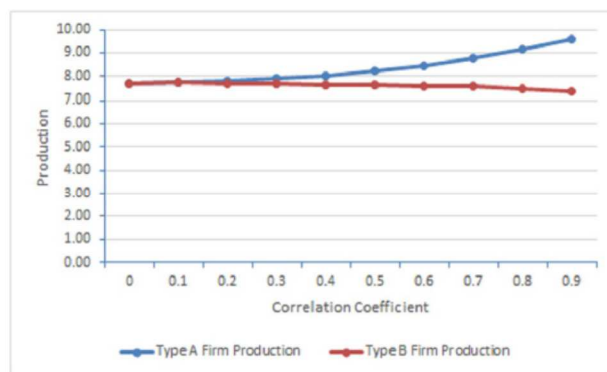


(ب) قیمت در مورد ۲-۱

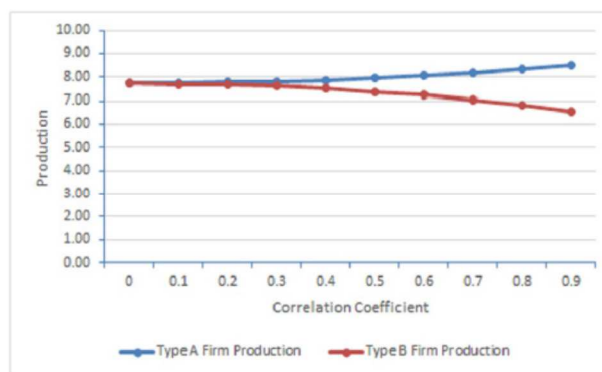


(الف) قیمت در مورد ۱-۱

شکل ۶-۱: قیمت تولید بازار



(ب) تولید در مورد ۲-۲



(الف) تولید در مورد ۱-۲

شکل ۷-۲: سطح تولید

نتایج در این مطالعات موردی نشان می دهد که نسبت پوشش ریسک مالی شرکت ها تا حد زیادی به اثرات نرخ ارز خارجی و نوسانات قیمت کالا بر استراتژی های تولید و سود شرکتها تأثیر گذار است. ترکیب متفاوتی از شرکت ها می تواند منجر به نتایج بسیار متفاوتی شود.

## مطالعه موردی شبیه سازی ۲

مطالعه موردی شبیه سازی بررسی می کند که چگونه ریسک اولیه بر تصمیمات، سود و خطرات شرکت های زنجیره تأمین تأثیر می گذارد. همانند اولین مطالعه موردی شبیه سازی فرض می کنیم که در زیر مورد اول یک نوع شرکت A و چهار نوع شرکت B وجود دارد. در زیر مورد دوم چهار نوع شرکت A و یک نوع شرکت B وجود دارد. پارامترهای مدل در این مورد با پارامترهای مطالعه موردی ۱ مشابه می باشد بجز ماتریس کواریانس که در حال حاضر به صورت زیر تعریف شده است:

$$Covariance Matrix = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.8 * r & 0 & 0 \\ 0.8 * r & 0.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.8 * r \\ 0 & 0 & 0.8 * r & 0.8 \end{pmatrix}, \quad (54)$$

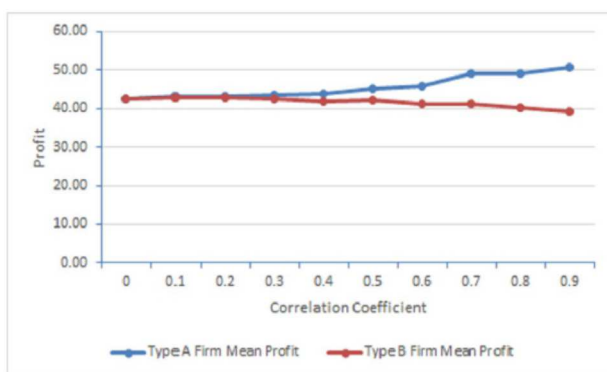
پارامتر  $r$  از ۰ تا ۰,۹ تغییر می کند و در هر سطح کواریانس مدل تعادل را حل می نماید. توجه داشته باشید که همانطور که ضریب همبستگی بین قیمت لحظه ای و قیمت معاملات آتی ،  $r$ ، افزایش می یابد ریسک اولیه کاهش می یابد که نشان می دهد که ابزار پوشش ریسک مالی مؤثرتر می باشد.

### بحث و گفتگو

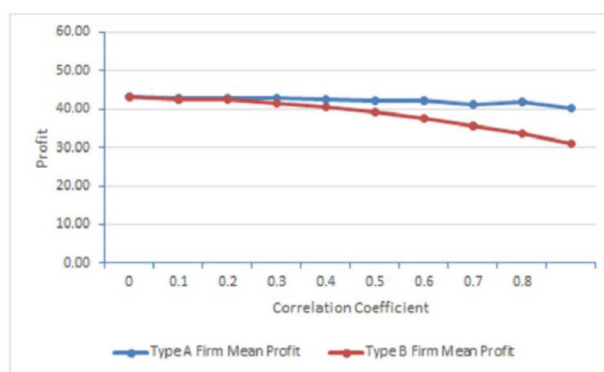
شکل های ۷-۹ نتایج مورد شبیه سازی را نشان می دهد. اول، از شکل ۷ می بینیم که در هر دو زیر مورد و هر سطح ضریب همبستگی، سطح تولید شرکت نوع A همیشه بالاتر از سود شرکت نوع B می باشد. همچنین ، شکل ۸ نشان می دهد که سود شرکت A همیشه بالاتر از شرکت نوع B می باشد. علاوه بر این، شکل ۹ نشان می دهد که در هر دو زیر مورد، افزایش ضریب همبستگی بین قیمت های لحظه ای و قراردادهای آتی، قیمت پرداخت شده محصول توسط مشتریان را کاهش خواهد داد. به طور کلی، این یافته ها با نتایج حاصل از راه حل های تحلیلی موارد خاص مطابقت دارد.

همچنین، مطالعات شبیه سازی بینش های منحصر بفردی را ایجاد کرده است. از شکل ۸ می بینیم که در حالی که سود شرکت های نوع B همیشه به دلیل افزایش ضریب همبستگی کاهش یافته است، سود شرکت نوع A روند متفاوتی را در دو زیر مورد نشان می دهد. به ویژه، در زیر مورد ۱ که در آن تنها یک نوع شرکت A وجود دارد سود شرکت نوع A به دلیل افزایش ضریب همبستگی افزایش خواهد یافت. در زیر موردی که در آن چهار شرکت نوع A وجود دارد، سود شرکت های نوع A به دلیل افزایش ضریب همبستگی کاهش خواهد یافت. توجه داشته باشید که افزایش ضریب همبستگی از یک طرف، مزیت رقابتی شرکت های نوع A را نسبت به شرکت های نوع B تقویت می کند، از سوی دیگر، شدت رقابت در میان شرکت های نوع A نیز افزایش خواهد یافت. بنابراین، نتایج ما نشان می دهد که آیا چنین مزیتی می تواند به سود بیشتر تبدیل شود یا خیر. این بستگی به ترکیبی از شرکت ها در صنعت دارد.



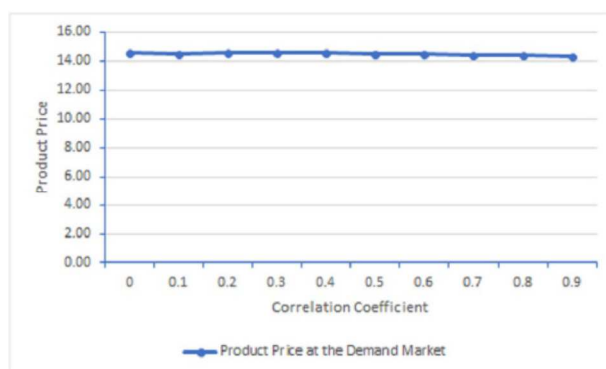


(ب) سود در مورد ۲-۲

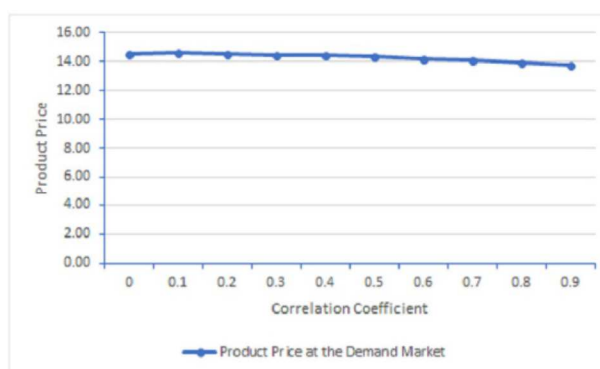


(الف) سود در مورد ۱-۲

شکل ۸- مورد ۲: سودها



(ب) قیمت در مورد ۲-۲



(الف) قیمت در مورد ۱-۲

شکل ۹- مورد ۲: قیمت محصول در بازار

علاوه بر این، این مورد یک تناقض بالقوه برای صنعت را نشان می دهد، یعنی، ابزار پوشش ریسک مالی مؤثرتر ممکن است منجر به یک تعادل شود که در آن هر شرکت سود کمتری را به دست می آورد. از شکل ۸ (ال) و (ب) می بینیم که در هر زیر نمونه و در سطح ضریب همبستگی، شرکت های نوع A سود بالاتری از شرکت های نوع B دارند. همچنین شکاف سود افزایش می یابد زیرا ابزار پوشش ریسک مالی ضریب همبستگی بهتری دارد. اکنون، فرض می کنیم که در ابتدا، ابزار پوشش ریسک مالی کاملاً بی تأثیر است (ضریب همبستگی = ۰) و شرکت ها در صنعت پوشش ریسک مالی را مورد استفاده قرار نمی دهند که مشابه مورد ۱-۲ می باشد. از شکل ۸ (الف) می بینیم که سود این شرکت ها کمی بالاتر از ۴۰ می باشد، زمانی که ضریب همبستگی نزدیک به صفر است. اگر ابزار پوشش

ریسک مالی بهبود یابد و ضریب همبستگی آن بالاتر و بالاتر می شود. افزایش شکاف سود بین شرکت های نوع A و نوع B، شرمات های نوع B را بیشتر جذب خواهد کرد تا استفاده از پوشش ریسک مالی را آغاز کند و تبدیل به شرکت های نوع B شود. بنابراین، صنعت مشابه مورد ۲-۲ است که در آن اکثر شرکت ها، شرکت های نوع A هستند. اکنون، فرض کنید که ابزار پوشش ریسک مالی بسیار مؤثرتر شده است و ضریب همبستگی ۰,۹ می باشد. از شکل ۸ می بینیم که سود شرکت نوع A حدود ۴۰ است و سود شرکت B تنها حدود ۳۰ می باشد. بنابراین، هر شرکت در حال حاضر سود کمتری نسبت به قبل دارد. به طور خلاصه، در این مورد، افزایش اثر بخشی ابزار پوشش ریسک مال، شرکت های بیشتری را برای استفاده از آن جذب می کند که رقابت صنعت را تشدید می کند و منجر به تعادل نامطلوب برای شرکت ها در صنعت می گردد. از شکل ۹ می بینیم که مشتریان از طریق این فرایند با پراخ قیمت پایین تر سود بیشتری را به دست می آورند.

#### ۶- بینش های مدیریتی

اکنون، برخی از بینش های مدیریتی جالب تولید شده از نتایج تحلیلی خودمان و مطالعات مورد شبیه سازی را مورد بحث قرار می دهیم.

نتایج نشان می دهد که اگر ریسک نوسانات از یک سطح بالاتری افزایش یابد، سود شرکت ها با ظرفیت پوشش ریسک مالی احتمالاً افزایش می یابد.

علاوه بر این، دریافتیم که ابزار پوشش ریسک مالی مؤثرتر دارای ریسک اولیه کمتر می باشد که به طور کلی تأثیر مثبت بر سود شرکت ها با استفاده از پوشش ریسک مالی دارد. با این حال، هنگامی که دو شرکت با پوشش ریسک مالی با همدیگر رقابت می کنند و نوسانات در سطح پایینی می باشد، ابزار پوشش ریسک مؤثرتر واقعاً می تواند رقابت را با اجازه دادن به شرکت هایی که تولید بیشتر و عرضه بیشتری به بازار دارند، منجر به کاهش قیمت بازار و سود برای هر دو شرکت می شود. همچنین جالب است که بدانید که افزایش ریسک اولیه همیشه، ریسک شرکت هایی که حتی از پوشش ریسک مالی استفاده نمی کنند را افزایش می دهد. اثبات می کنیم که افزایش نوسانات و

ریسک اولیه همیشه قیمت بازار محصول را افزایش می دهد که به مصرف کنندگان آسیب می رساند. بنابراین، یک بازار لحظه ای خوب و کارآمد همیشه به نفع مصرف کنندگان خواهد بود.

نتایج شبیه سازی ما نشان می دهد که ممارست شایع نیز یک عامل بسیار مهم است. ترکیبی از شرکت ها با و بدون پوشش ریسک مالی گاهی اوقات می تواند تأثیر تعیین کننده ای بر چگونگی تأثیر ریسک نوسانات و ریسک اولیه بر سودآوری شرکت ها داشته باشد.

مطالعات موردی شبیه سازی یک پدیده متناقض بالقوه را نشان می دهد. یک ابزار پوشش ریسک مالی به طور فزایندهای ممکن است شرکت ها را بیشتر و بیشتر جذب کند تا از پوشش ریسک مالی استفاده کنند. افزایش تعداد شرکت ها که از پوشش ریسک مالی استفاده می کنند می تواند رقابت بازار را تشدید کند، قیمت محصول را کاهش دهد و در نهایت منجر به تعادل نا مطلوب برای صنعت شود که در آن هیچ شرکتی سود بیشتری نسبت به قبل ندارد. توجه داشته باشید که که یافته های مطالعات شبیه سازی بر مبنای چندین شرکت ناهمسان است که سخت است تا از طریق نتایج مبتنی بر راه حل های بسته به دست می آید.

### نتیجه گیری

این مقاله، تصمیمات پوشش ریسک مالی و تصمیمات عملیاتی شرکت های زنجیره تأمین تحت رقابت را مورد بررسی قرار می دهد. به ویژه، یک مدل نابرابری متغیر را توسعه دادیم که چندین شرکت زنجیره تأمین را با چندین تأمین کننده خارجی و مواد کالا در نظر می گیرد. به شرکت های زنجیره تأمین اجازه دادیم تا از قراردادهای آتیس برای تأمین مالی عوامل مختلف ریسک استفاده کنند. ویژگی های کیفی مهم را برای مدل ثابت کردیم. نتایج تحلیلی برای یک مورد خاص با رقابت دو طرفه را ارائه دادیم و شبیه سازی هایی را برای بررسی مورد انصاری چند جانبه استفاده کردیم. همچنین، درباره بینش های مدیریتی تولید شده توسط مطالعات تحلیلی و شبیه سازی بحث کردیم. یکی از محدودیت های این مدل این است که تنها قراردادهای آتی را به عنوان پوشش ریسک مالی در نظر می گیرد. مطالعات آینده ممکن است مدلی را برای در نظر گرفتن هر دو قرارداد آتی و تدارکات گسترش دهد. علاوه بر این، تحقیقات آتی می تواند ابزار اندازه گیری ریسک مانند ارزش در خطر و ارزش در خطر شرطی در تصمیم گیری باشد.

## پیوست

اثبات گزاره ۱: مشتق جزئی رابطه (۳۳) را با توجه به  $\sigma_p^2$  می گیریم و رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$\frac{\partial Profit_A^*}{\partial \sigma_p^2} = \frac{2\alpha(1-r_{p\eta}^2)(a-c)^2(-2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+b)}{(2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+3b)^3} \quad (55)$$

از آنجا که  $a > c$  و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ می باشد، مشتق جزئی اگر

$$v_1 \equiv (1-r_{p\eta}^2)(b-2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)) > 0$$

باشد، بزرگتر از صفر است.

اثبات گزاره ۲: مشتق جزئی معادله (۳۳) را با توجه به  $r_{p\eta}$  می گیریم و رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$\frac{\partial Profit_A^*}{\partial r_{p\eta}} = \frac{-4\alpha\sigma_p^2 r_{p\eta} (a-c)^2 (-2\alpha\sigma_p^2 (1-r_{p\eta}^2) + b)}{(2\alpha\sigma_p^2 (1-r_{p\eta}^2) + 3b)^3} \quad (56)$$

از آنجا که  $a > c$  و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ می باشد، اگر  $r_{p\eta} > 0$  و  $v_2 \equiv (b-2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)) < 0$  باشد،

یا اگر  $r_{p\eta} < 0$  و  $v_2 \equiv (b-2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)) > 0$  برقرار باشد، مشتق جزئی بزرگتر از صفر است. بنابراین، زمانی که

$$1 - |r_{p\eta}| \text{ افزایش یابد، اگر } r_{p\eta} \neq 0 \text{ و } v_2 > 0 \text{ باشد، سود افزایش می یابد.}$$

اثبات گزاره ۳: مشتق جزئی رابطه (۳۳) را با توجه به  $\sigma_p^2$  می گیریم و رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$\frac{\partial Risk_A^*}{\partial \sigma_p^2} = \frac{(1-r_{p\eta}^2)(a-c)^2(-2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+3b)}{(2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+3b)^3} \quad (57)$$

از آنجا که  $a > c$  و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ می باشد، اگر  $v_3 \equiv (1-r_{p\eta}^2)(3b-2\alpha\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)) > 0$  باشد،

مشتق جزئی بزرگتر از صفر می باشد.

اثبات گزاره ۴: مشتق جزئی رابطه (۳۳) را با توجه به  $\sigma_p^2$  می گیریم و رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$\frac{\partial Risk_A^*}{\partial r_{p\eta}} = \frac{-2\sigma_p^2 r_{p\eta} (a-c)^2 (2\alpha\sigma_p^2 r_{p\eta}^2 + 3b - 2\alpha\sigma_p^2)}{(2\alpha\sigma_p^2 (1-r_{p\eta}^2) + 3b)^3} \quad (58)$$

از آنجا که  $a > c$  و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ می باشد، اگر  $r_{p\eta} > 0$  و  $v_4 \equiv (3b - 2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2)) < 0$  باشد یا اگر  $r_{p\eta} < 0$  و  $v_4 > 0$  باشد، مشتق جزیی بزرگتر از صفر می شود. بنابراین، زمانی که  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد، اگر  $r_{p\eta} \neq 0$  و  $v_4 > 0$  باشد، سود افزایش می یابد.

اثبات گزاره ۵: بر اساس راه حل تعادل، قیمت بازار را به صورت زیر به دست می آوریم:

$$\rho^* = \frac{a - 2b(\alpha\sigma_\eta^2 - c\sigma_\eta^2)}{-2\alpha\sigma_{p\eta}^2 + 3b\sigma_\eta^2 + 2\alpha\sigma_\eta^2\sigma_p^2} \quad (59)$$

مشتق جزیی قیمت را با توجه به  $\sigma_p^2$  می گیریم و رابطه زیر را بدست می آوریم:

$$\frac{\partial \rho^*}{\partial \sigma_p^2} = \frac{4\alpha b(1 - r_{p\eta}^2)(a - c)}{(2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + 3b)^2} \quad (60)$$

از آنجا که  $a > c$  و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ می باشد، مشتق جزیی همیشه غیر منفی است.

اثبات گزاره ۶: مشتق جزیی قیمت (اثبات گزاره ۵ را مشاهده فرمایید) را با توجه به  $r_{p\eta}$  می گیریم و رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$\frac{\partial \rho^*}{\partial r_{p\eta}} = \frac{-8\alpha b\sigma_p^2 r_{p\eta}(a - c)}{(2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + 3b)^2} \quad (61)$$

از آنجا که  $a > c$  و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ می باشد، اگر  $r_{p\eta} > 0$  باشد، مشتق جزیی کمتر از صفر است و اگر  $r_{p\eta} < 0$  باشد، مشتق جزیی بیشتر از صفر است. بنابراین، زمانی  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد، قیمت افزایش می یابد.

اثبات گزاره ۷: برای شرکت A مشتق جزیی رابطه (۴۴) را با توجه به  $\sigma_p^2$  می گیریم و رابطه زیر را بدست می آوریم:

$$\frac{\partial \text{Profit}_A^*}{\partial \sigma_p^2} = \frac{2\alpha(a - c)^2(b + 2\alpha\sigma_p^2) * v_5}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2 + 3b^2)^3} \quad (62)$$

که در آن:

$$\nu_5 \equiv -8\alpha^3\sigma_p^6(r_{p\eta}^2 - 1)^2 - 4\alpha^2b\sigma_p^4(r_{p\eta}^2 - 1)^2 + 2\alpha b^2\sigma_p^2(1 + r_{p\eta}^2)(1 - r_{p\eta}^2) + b^3(1 + r_{p\eta}^2) \quad (63)$$

از آنجا که  $a > c$  و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ می باشد، مشتق جزئی بزرگتر از صفر می شود.

برای شرکت B مشتق جزئی رابطه (۴۶) را با توجه به  $\sigma_p^2$  می گیریم و رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$\frac{\partial Profit_B^*}{\partial \sigma_p^2} = \frac{2\alpha(a-c)^2\nu_6}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2 + 3b^2)^3} \quad (64)$$

که در آن

$$\nu_6 \equiv 4\alpha b^3\sigma_p^2(r_{p\eta}^4 - 3r_{p\eta}^2 + 1) + b^4 - 16\alpha^4\sigma_p^8(1 - r_{p\eta}^2)^3 - 16\alpha^3b\sigma_p^6(1 - r_{p\eta}^2)^2 - 12\alpha^2b^2\sigma_p^4r_{p\eta}^2(1 - r_{p\eta}^2)(1 - 2r_{p\eta}^2) \quad (65)$$

از آنجا که  $a > c$  است، اگر  $\nu_6 > 0$  باشد، مشتق جزئی بزرگتر از صفر خواهد شد.

اثبات گزاره ۸: برای شرکت A، مشتق جزئی رابطه (۴۴) را با توجه به  $r_{p\eta}$  می گیریم و رابطه زیر را بدست می آوریم:

$$\frac{\partial Profit_A^*}{\partial r_{p\eta}} = \frac{4\alpha\sigma_p^2r_{p\eta}(a-c)^2(b + 2\alpha\sigma_p^2)^2(2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + b)^2}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2 + 3b^2)^3} \quad (66)$$

از آنجا که  $a > c$  است و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ است، اگر  $r_{p\eta} > 0$  باشد، مشتق جزئی بزرگتر از صفر

است و اگر  $r_{p\eta} < 0$  باشد، مشتق جزئی کمتر از صفر است. بنابراین، زمانی که  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد، سود افزایش می یابد.

برای شرکت B مشتق جزئی رابطه (۴۶) را با توجه به  $r_{p\eta}$  می گیریم و رابطه زیر را بدست می آوریم:

$$\frac{\partial Profit_B^*}{\partial r_{p\eta}} = \frac{-8\alpha b\sigma_p^2r_{p\eta}(a-c)^2(b + 2\alpha\sigma_p^2)^2(2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + b)}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2 + 3b^2)^3} \quad (67)$$

از آنجا که  $a > c$  است و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ است، اگر  $r_{p\eta} < 0$  باشد، مشتق جزیی بزرگتر از صفر و اگر  $r_{p\eta} > 0$  باشد، مشتق جزیی کمتر از صفر است. بنابراین، زمانی که  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد، سود کاهش می یابد.

**اثبات گزاره ۹:** برای شرکت A، مشتق جزیی رابطه (۴۵) را با توجه به  $\sigma_p^2$  می گیریم و رابطه زیر را بدست می آوریم:

$$\frac{\partial Risk_A^*}{\partial \sigma_p^2} = \frac{(a-c)^2(b+2\alpha\sigma_p^2)v_7}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2+3b^2)^3} \quad (68)$$

که در آن:

$$v_7 \equiv (1-r_{p\eta}^2)(-8\alpha^3\sigma_p^6(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha^2b\sigma_p^4(r_{p\eta}^2+1)+4\alpha b^2\sigma_p^2r_{p\eta}^2+10\alpha b^2\sigma_p^2+3b^3) \quad (69)$$

از آنجا که  $a > c$  است و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ است، اگر  $v_7 > 0$  باشد، مشتق جزیی بزرگتر از صفر است.

برای شرکت B مشتق جزیی رابطه (۴۷) را با توجه به  $\sigma_p^2$  می گیریم و رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$\frac{\partial Risk_B^*}{\partial \sigma_p^2} = \frac{(a-c)^2v_8}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2+3b^2)^3} \quad (70)$$

که در آن:

$$v_8 \equiv 12\alpha^2b^2\sigma_p^4(3r_{p\eta}^2-2)(r_{p\eta}^2-1)+4\alpha b^3\sigma_p^2(4-5r_{p\eta}^2)+3b^4-16\alpha^4\sigma_p^8(1-r_{p\eta}^2)^3-16\alpha^3b\sigma_p^6r_{p\eta}^2(1-r_{p\eta}^2)^2. \quad (71)$$

از آنجا که  $a > c$  است و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ است، اگر  $v_8 > 0$  باشد، مشتق جزیی بزرگتر از صفر می شود.

**اثبات گزاره ۱۰:** برای شرکت A مشتق جزیی رابطه (۴۵) را با توجه به  $r_{p\eta}$  می گیریم و رابطه زیر را به دست می آوریم:



$$\frac{\partial Risk_A^*}{\partial r_{p\eta}} = \frac{-2\sigma_p^2 r_{p\eta} (b + 2\alpha\sigma_p^2)^2 \nu_9}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2 + 3b^2)^3} \quad (72)$$

که در آن:

$$\nu_9 \equiv 4\alpha^2\sigma_p^4(r_{p\eta}^2 - 1) + 4\alpha b\sigma_p^2 r_{p\eta}^2 + 3b^2. \quad (73)$$

از آنجا که  $a > c$  است و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ است، اگر  $r_{p\eta} > 0$  و  $\nu_9 < \alpha$  باشد، یا اگر  $r_{p\eta} < 0$  و  $\nu_9 > \alpha$  باشد، مشتق جزیی بزرگتر از صفر است. بنابراین، زمانی  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد، اگر  $r_{p\eta} \neq 0$  و  $\nu_9 > \alpha$  باشد، سود افزایش می یابد.

برای شرکت B مشتق جزیی رابطه (۴۷) را با توجه به  $r_{p\eta}$  می گیریم و رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$\frac{\partial Risk_A^*}{\partial r_{p\eta}} = \frac{-8\alpha b\sigma_p^4 r_{p\eta} (a - c)^2 (b + 2\alpha\sigma_p^2) (2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + b)}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2 + 3b^2)^3} \quad (74)$$

از آنجا که  $a > c$  است و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ است، اگر  $r_{p\eta} < 0$  باشد مشتق جزیی بزرگتر از صفر و اگر  $r_{p\eta} > 0$  باشد مشتق جزیی کمتر از صفر است. بنابراین، زمانی  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد ریسک شرکت B در صورتی که  $r_{p\eta} \neq 0$  باشد، افزایش می یابد.

اثبات گزاره ۱۱: سود شرکت B را از سود شرکت A کم می کنیم و رابطه زیر را بدست می آوریم:

$$\begin{aligned} & Profit_A - Profit_B \\ &= \frac{2\alpha\sigma_p^2 r_{p\eta}^2 (a - c)^2 (b + 2\alpha\sigma_p^2) (2\alpha\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + b)}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2(1 - r_{p\eta}^2) + 4\alpha b\sigma_p^2 + 3b^2)^2} \end{aligned} \quad (75)$$

از آنجا که  $a > c$  است و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ است، این اختلاف بزرگتر از صفر می باشد.

اثبات گزاره ۱۲: بر اساس راه حل تعادل، قیمت بازار را به صورت زیر به دست می آوریم:

$$\rho^* = \frac{ab^2\sigma_\eta^2 + 2b^2c\sigma_\eta^2 - 2\alpha b\sigma_{p\eta}^2 - 2\alpha b\sigma_{p\eta}^2 - 4\alpha^2\sigma_{p\eta}^2\sigma_p^2 + 4\alpha^2\sigma_\eta^2\sigma_p^4 + 4\alpha b\sigma_\eta^2\sigma_p^2 + 4\alpha b\sigma_\eta^2\sigma_p^2}{-4\alpha^2\sigma_{p\eta}^2\sigma_p^2 + 4\sigma_\eta^2\alpha^2\sigma_p^4 - 4\alpha b\sigma_{p\eta}^2 + 8\sigma_\eta^2\alpha b\sigma_p^2 + 3\sigma_\eta^2b^2} \quad (76)$$

مشتق جزیی قیمت را با توجه به  $\sigma_p^2$  می گیریم و رابطه زیر را بدست می آوریم:



$$\frac{\partial \rho^*}{\partial \sigma_p^2} = \frac{2\alpha b(a-c)(4\alpha^2\sigma_p^4((r_{p\eta}^2-1)^2+1-r_{p\eta}^2)+8\alpha b\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+b^2(2-r_{p\eta}^2))}{(-4\alpha^2\sigma_p^4r_{p\eta}^2+4\alpha^2\sigma_p^4-4\alpha b\sigma_p^2r_{p\eta}^2+8\alpha b\sigma_p^2+3b^2)^2} \quad (77)$$

از آنجا که  $a > c$  است و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ است، مشتق جزئی همیشه غیر منفی است.

اثبات گزاره ۱۳: مشتق جزئی قیمت (اثبات گزاره ۱۲ را مشاهده فرمایید) را با توجه به  $r_{p\eta}$  می گیریمو رابطه زیر را به دست می آوریم:

$$\frac{\partial \rho^*}{\partial r_{p\eta}} = \frac{-4\alpha b\sigma_p^2r_{p\eta}(a-c)(b+2\alpha\sigma_p^2)^2}{(4\alpha^2\sigma_p^4(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2(1-r_{p\eta}^2)+4\alpha b\sigma_p^2+3b^2)^2} \quad (78)$$

از آنجا که  $a > c$  است و  $r_{p\eta}$  ضریب همبستگی بین ۰ و ۱ است، مشتق جزئی اگر  $r_{p\eta} > 0$  باشد، کمتر از صفر و اگر  $r_{p\eta} < 0$  باشد، بیشتر از صفر خواهد بود. بنابراین، زمانی که  $1 - |r_{p\eta}|$  افزایش یابد، قیمت افزایش می یابد.

### مثال ساده ای از پوشش ریسک مالی با استفاده از قراردادهای آتی

قراردادهای آتی به طور گسترده توسط شرکت های زنجیره تأمین شامل تأمین کنندگان و تولیدکنندگان برای جلوگیری از خطرات مختلف، مانند ریسک ارز خارجی، و ریسک قیمت کالا، مورد استفاده قرار می گیرد. در حال حاضر، یک مثال ساده را به طور خلاصه توضیح می دهیم که نشان می دهد که چگونه قراردادهای آتی می تواند برای جلوگیری از ریسک ارز خارجی استفاده شود. فرض کنید که یک شرکت تولیدی در ایالات متحده برخی از قطعات را از یک تأمین کننده واقع در کشور X سفارش می دهد. این قطعات در ۸ ماه پس از قرارداد تحویل داده خواهد شد و در همان موقع عملیات پرداخت به ارز کشور X انجام خواهد شد. قیمت کل سفارش به پول رایج کشور X، یک میلیون می باشد. فرض کنید که نرخ ارز خارجی پول رایج کشور X به دلار آمریکا ۲ به ۱ است، بدان معنی که هزینه فعلی سفارش ۵۰۰/۰۰۰ دلار آمریکا می باشد. اگر بعد از ۸ ماه، نرخ ارز به ۱٫۵ تا ۱ افزایش یابد، تولید کننده باید ۱ میلیون دلار آمریکا/۱٫۵ = ۶۶۶/۶۶۶/۶۷ پرداخت کند. به منظور جلوگیری از چنین خطراتی، شرکت آمریکایی می تواند قراردادی ۱ میلیون پول رایج کشور X را به خود اختصاص دهد که به این شرکت اجازه می دهد تا ۱ میلیون پول رایج کشور X را برای ۵۰۰ هزار دلار در ۸ ماه خریداری کند. در ۸ ماه پس از اینکه قطعات تحویل داده شد، شرکت آمریکایی قراردادهای آتی را به فروش می رساند و مبلغ

را دریافت می کند. سپس، این شرکت می تواند این درآمد  $\$666,666.67 - \$500,000 = \$166,666.67$

اضافی از بازار قرارداد آتی را به ۵۰۰ هزار دلار اضافه کند و مبلغ ۶۶۶/۶۶۶/۶۷ دلار را به تأمین کننده پرداخت نماید. توجه داشته باشید که افزایش ارزش قراردادهای آتی، هزینه اضافی را به دلیل تغییر نرخ ارز جبران می کند. از سوی دیگر، اگر نرخ ارز به نفع تولید کننده حرکت کند، سود حاصل از دست دادن قرارداد آتی نیز جبران خواهد شد. با این حال، در واقع، قیمت قرارداد آتی معمولاً برابر با نرخ ارز در بازار لحظه ای است که ریسک اولیه نامیده می شود. با توجه به ریسک اولیه، نرخ ارز نمی تواند به طور کامل پوشش داده شود و اثر بخشی بستگی به این دارد که چقدر قیمت قرارداد آتی و قیمت بازار لحظه ای همبستگی دارد. ریسک قیمت کالا می تواند به روش مشابهی پوشش داده شود که به ریسک اولیه نیز بستگی دارد.

برای بحث و بررسی کامل قراردادهای آتی و استراتژی های پوشش ریسک، مخاطبان را به کتاب Hull (۲۰۰۲) ارجاع می دهیم.

## References

- Barbarosoglu, G., & Arda, Y. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*, 55, 43-53.
- Bartram, S. M., Brown, G. W., & Fehle, F. R. (2009). International evidence on financial derivatives usage. *Financial Management*, 38(1), 185-206.
- Bazaraa, M. S., Sherali, H. D., & Shetty, C. M. (1993). *Nonlinear programming: theory and algorithms*. New York, NY: John Wiley & Sons.
- Birge, J., & Louveaux, F. (2011). *Introduction to stochastic programming* (2nd edition). Heidelberg London, New York Dordrecht: Springer.
- Caldentey, R., & Haugh, M. B. (2009). Supply contracts with financial hedging. *Operations Research*, 57(1), 47-65, 2009.
- Caldentey, R., & Haugh, M. B. (2006). Optimal control and hedging of operations in the presence of financial markets. *Mathematics of Operations Research*, 31, 285-304.
- Chen, F., & Federgruen, A. (2000). *Mean-variance analysis of basic inventory models*. Columbia Business School, Columbia University, New York (Master's thesis). Working paper.
- Chen, L., Li, S., & Wang, L. (2014). Capacity planning with financial and operational hedging in low-cost countries. *Production and Operations Management*, 23, 1495-1510.
- Chiu, C. H., & Choi, T. M. (2016). Supply chain risk analysis with mean-variance models: a technical review. *Annals of Operations Research*, 240(2), 489-507.
- Chod, J., Rudi, N., & Van Mieghem, J. A. (2010). Operational flexibility and financial hedging: Complements or substitutes. *Management Science*, 56, 1030-1045.
- Choi, T. M., Li, D., & Yan, H. (2001). Newsvendor problems with mean-variance objectives. In *Proceedings of the 5th international conference on optimization: techniques and applications* (pp. 1860-1870).
- Choi, T. M., Li, D., Yan, H., & Chui, C. (2008). Channel coordination in supply chains with agents having mean-variance objectives. *Omega*, 36, 565-576.
- Chowdhry, B., & Howe, J. T. B. (1999). Corporate risk management for multinational corporations: Financial and operational hedging policies. *European Finance Review*, 2, 229-246.
- CME Group. (2017). CME Group Exchange ADV Report - Monthly, October 2017. URL: <https://www.cmegroup.com/market-data/volume-open-interest.html?redirect=/market-data/volume-open-interest/index.html>.

- Cruz, J. M., Nagurney, A., & Wakolbinger, T. (2006). Financial engineering of the integration of global supply chain networks and social networks with risk management. *Naval Research Logistics*, 53, 674-696.
- Cruz, J. M., & Wakolbinger, T. (2008). Multiperiod effects of corporate social responsibility on supply chain networks, transaction costs, emissions, and risk. *International Journal of Production Economics*, 116(1), 61-74.
- Ding, Q., Dong, L., & Kouvelis, P. (2007). On the integration of production and financial hedging decisions in global markets. *Operations Research*, 55(3), 470-489.
- Dong, J., Zhang, D., Yan, H., & Nagurney, A. (2005). Multitiered supply chain networks: Multicriteria decision-making under uncertainty. *Annals of Operations Research*, 135, 155-178.
- Dupacova, J. (1996). Scenario-based stochastic programs: Resistance with respect to sample. *Annals of Operations Research*, 64, 21-38.
- Gabay, D., & Moulin, H. (1980). On the uniqueness and stability of nash equilibria in noncooperative games. In A. Bensoussan, P. Kleindorfer, & C. S. Tapiero (Eds.), *Applied stochastic control in econometrics and management science* (pp. 271-294). Amsterdam, The Netherlands: North-Holland.
- Gamba, A., & Triantis, A. J. (2014). Corporate risk management: Integrating liquidity, hedging, and operating policies. *Management Science*, 60, 246-264.
- Gan, X., Sethi, S. P., & Yan, H. (2004). Coordination of supply chains with risk-averse agents. *Production and Operations Management*, 13, 135-149.
- Goel, A., & Tanrisever, F. (2017). Financial hedging and optimal procurement policies under correlated price and demand. *Production and Operations Management*, 26(10), 1924-1945.
- Goh, M., Lim, J. Y. S., & Meng, F. (2007). A stochastic model for risk management in global supply chain networks. *European Journal of Operational Research*, 182, 164-173.
- Hodder, J. E. (1984). Financial market approaches to facility location under uncertainty. *Operations Research*, 32, 1374-1380.
- Hodder, J. E., & Dincer, M. C. (1986). A multifactor model for international plant location and financing under uncertainty. *Computer and Operations Research*, 13, 601-609.
- Hodder, J. E., & Jucker, J. V. (1985). A simple plant-location model for quantity-setting firms subject to price uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 21, 39-46.
- Hommel, U. (2003). Financial versus operative hedging of currency risk. *Global Finance Journal*, 14, 1-18.
- Huchzermeier, A., & Cohen, M. A. (1996). Valuing operational flexibility under exchange rate risk. *Operations Research*, 44(1), 100-113.
- Hull, J. (2002). *Options, futures and other derivatives* 5th edition. Prentice Hall.
- Kazaz, B., Dada, M., & Moskowitz, H. (2005). Global production planning under exchange-rate uncertainty. *Management Science*, 51(7), 1101-1119.
- Kouvelis, P., Li, R., & Ding, Q. (2013). Managing storable commodity risks: The role of inventory and financial hedge. *Manufacturing & Service Operations Management*, 12(3), 507-521.
- Kroll, Y., Levy, H., & Markowitz, H. M. (1984). Mean-variance versus direct utility maximization. *Journal of Finance*, 39(1), 47-61.
- Lau, H. S., & Lau, A. H. L. (1999). Manufacturer's pricing strategy and returns policy for a single-period commodity. *European Journal of Operational Research*, 116, 291-304.
- Levy, H., & Markowitz, H. M. (1979). Approximating expected utility by a function of mean and variance. *American Economic Review*, 69, 308-317.
- Liu, Z., & Nagurney, A. (2009). An integrated electric power supply chain and fuel market network framework: Theoretical modeling with empirical analysis for new england. *Naval Research Logistics*, 56(7), 600-624.
- Liu, Z., & Nagurney, A. (2011). Supply chain outsourcing under exchange rate risk and competition. *Omega*, 39, 539-549.
- Mello, A. S., Parsons, J. E., & Triantis, A. J. (1995). An integrated model of multinational flexibility and financial hedging. *Journal of International Economics*, 39, 27-51.
- Nag, A. (2016). UK companies rush to hedge currency exposure as 'brexit' risk grows, *Reuters Business News*. Feb 22, 2016.
- Nagurney, A. (1999). *Network economics: a variational inequality approach*. The Netherlands, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Nagurney, A., & Ke, K. (2006). Financial networks with intermediation: Risk management with variable weights. *European Journal of Operational Research*, 172, 40-63.
- Narvaez, K. (2015). What CFOs should know about foreign exchange risks. CFO.com website. URL: <http://www2.cfo.com/risk-management/2015/05/cfos-know-foreign-exchange-risks/>.
- Park, J. H., Kazaz, B., & Webster, S. (2017). Risk mitigation of production hedging. *Production Operations Management*, 26(7), 1299-1314.
- Sayin, F., Karaesmen, F., & zekici, S. (2014). Newsvendor model with random supply and financial hedging: Utility-based approach. *International Journal of Production Economics*, 154, 178-189.
- Scott, I. (2009). Managing supply-chain risk for reward. The Economist Intelligence Unit, October 2009. URL: <http://www.eiuperspectives.economist.com/sites/default/files/Oct%202009%20Supply%20Chain%20Risk.pdf>.
- Sun, H., Chen, W., Ren, Z., & Liu, B. (2017). Optimal policy in a hybrid manufacturing/remanufacturing system with financial hedging. *International Journal of Production Research*, 55(19), 5728-5742.
- Sun, Y., Wissel, J., & Jackson, P. L. (2016). Separation results for multi-product inventory hedging problems. *Annals of Operations Research*, 237, 143-159.
- Tekin, M., & zekici, S. (2015). Mean-variance newsvendor model with random supply and financial hedging. *IE Transactions*, 47(9), 910-928.
- Tsay, A. A. (2002). Risk sensitivity in distribution channel partnerships: implications for manufacturer return policies. *Journal of Retailing*, 78, 147-160.
- Van Mieghem, J. A. (2003). Capacity management, investment, and hedging: Review and recent developments. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(4), 269-302.
- Van Mieghem, J. A. (2007). Risk mitigation in newsvendor networks: resource diversification, flexibility, sharing, and hedging. *Management Science*, 53(8), 1269-1288.
- Wu, J., Li, J., Wang, S., & Cheng, T. C. E. (2009). Mean-variance analysis of the newsvendor model with stockout cost. *Omega*, 37, 724-730.
- Zhao, L., & Huchzermeier, A. (2015). Operations-finance interface models: A literature review and framework. *European Journal of Operational Research*, 244, 905-917.
- Zhao, L., & Huchzermeier, A. (2017). Integrated operational and financial hedging with capacity reshoring. *European Journal of Operational Research*, 260, 557-570.
- Zsidisin, G. A., & Hartley, J. L. (2012). A strategy for managing commodity price risk. *Supply Chain Management Review*, 16(2), 46-53.
- Zsidisin, G. A., Hartley, J. L., & Caudenzi, B. (2016). *Managing commodity price risk: A supply chain perspective supply and operations management collection*. Business Expert Press. ISSN 2156-8200