مهندسی صنایع و مدیریت شریف
دوره‌ی ۱-۲۸، شماره‌ی ۱، ص. ۲۷-۴۱

Original Article

تعیین قیمت و مدت زمان تحویل در یک زنجیره‌ی تأمین غیر متمرکز در محیط رقابتی

مریم افضل‌آبادی (دانشجوی دکتری)
حسن شوندی* (دانشیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف

در این نوشتار یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی[۱]، شامل یک تولیدکننده[۲] و تعدادی تأمین‌کننده[۳] که با تقاضای حساس به قیمت و مدت زمان تحویل مواجه‌اند، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. برای تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری درباره‌ی قیمت و مدت زمان تحویل توسط تولیدکننده (به‌عنوان پیشرو[۴]) و تأمین‌کنندگان (به‌عنوان پسرو[۵])، از بازی استکلبرگ[۶] استفاده می‌شود. سپس به‌منظور تعیین قیمت و مدت زمان تحویل توسط تأمین‌کنندگان تحت شرایط رقابت افقی، از مفهوم نقطه‌ی تعادل نش[۷] استفاده شده است. هدف هر شرکت انتخاب بهترین قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده است، به‌گونه‌یی که سود عملیاتی آن شرکت بیشینه شود. در ادامه، با استفاده از مطالعات عددی چگونگی تأثیرگذاری ویژگی‌های متفاوت بازار و شرکت‌ها بر رقابت تعیین قیمت و مدت زمان تحویل نشان داده می‌شود.

واژگان کلیدی: زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز، مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده، بازی استکلبرگ، رقابت وابسته به قیمت و زمان، نقطه‌ی تعادل نش.

m_afzalabadi@ie.sharif.edu
shavandi@sharif.edu

۱. مقدمه

«قیمت» و «مدت زمان تحویل» دو عامل مهم برای موفقیت شرکت‌ها در بازار رقابتی امروزند و بسیاری از شرکت‌ها از مدت زمان تحویل کم به‌عنوان سلاح بازاریابی برای جذب مشتریان بیشتر استفاده می‌کنند. در این نوشتار تصمیم‌گیری درمورد قیمت و مدت زمان تحویل در یک زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز شامل یک تولیدکننده و تعدادی تأمین‌کننده مورد بررسی قرار می‌گیرد. موضوع رقابتی‌بودن این زنجیره‌ی تأمین با تصمیم‌گیری توسط این شرکت‌ها ایجاد می‌شود، به‌ویژه هنگامی که بازار به‌طور هم‌زمان حساس به قیمت و مدت زمان تحویل باشد. این که چگونه این شرکت‌ها با توجه به معیارهای خود تصمیم‌گیری می‌کنند و این که چگونه بازار و فاکتورهای عملیاتی بر تصمیم‌گیری‌های آن‌ها تأثیر می‌گذارد، موضوعات مهم و جالبی در زمینه‌ی مدیریت زنجیره‌ی تأمین است که در دنیای واقعی نیز قابل مشاهده است.

تصمیم‌گیری‌ها و رقابت در یک زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز به مدت زمان تحویل واقعی (مدت زمان سپری‌شده بین لحظه‌ی تأیید سفارش تا لحظه‌ی تحویل سفارشِ تکمیل‌شده به مشتری) بستگی دارد. به‌علت عدم قطعیت‌های موجود در قسمت‌های مختلفِ یک سیستم تولیدی، مدت زمان تحویل واقعی تأمین‌کننده معمولاً تصادفی است و ممکن است با مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده تفاوت داشته باشد. برای مثال ممکن است مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده توسط یک تأمین‌کننده ۷ روز باشد اما مدت زمان تحویل واقعی به‌علت تقاضای پیش‌بینی نشده‌ی بالا، طولانی‌تر شود و در مدت ۷ روز قابل تأمین نباشد.

قیمت و مدت زمان تحویل نیز کاملاً به هم وابسته‌اند. برخی مشتریان حاضرند برای زمانِ تحویل کوتاه‌تر قیمت بیشتری بپردازند، اما از دیدگاه شرکت‌ها، ارسال محصولات در مدت زمان کم‌تر هزینه‌بر است. از آنجا که مدت زمان تحویل معمولاً به ظرفیت در دسترس و کارایی عملیاتی سیستم بستگی دارد، یک شرکت با افزایش ظرفیت یا بهبود کارایی سیستم ارسال خود می‌تواند به عملکرد زمانی مطلوب دست یابد. هریک از این رویکردها می‌تواند هزینه‌های شرکت را افزایش دهد که این خود منجر به تأثیرگذاری بر قیمت و سود کلی شرکت می‌شود. بنابراین ارزیابی تأثیر راهکار تعیین قیمت و عملکرد زمانی بر تقاضا و تأثیرات تصمیم‌گیری‌های مربوط به ظرفیت و مسائل مربوط به عملیات شرکت بر این استراتژی‌ها بسیار مهم است.

تحقیقات متعددی در این زمینه صورت گرفته و مقالاتی نیز در رابطه با تصمیم‌گیری درمورد قیمت و عملکرد زمانی (نظیر مدت زمان تحویل، سرعت ارسال، دفعات ارسال و...) منتشر شده که در اینجا به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

در یکی از مقالاتی که به تجزیه و تحلیل این مدل بازی پرداخته[۱] یک جواب منحصر به فرد نش در هر دو مورد وجود دارد. یکی از مهم‌ترین مقالات در این زمینه مقاله‌یی است که زنجیره‌ی تأمینی شامل چندین شرکت که برای جلب مشتریان در بازار با یکدیگر رقابت می‌کنند، را در نظر گرفته است.[۲] تقاضای این مشتریان ثابت

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۸۸/۵/۵، اصلاحیه ۱۳۸۹/۱۲/۱، پذیرش ۱۳۹۰/۴/۸.

است ولی سهم بازار هر شرکت به قیمت و مدت زمان تحویل تضمین‌شده وابسته است. در این مسئله، این شرکت‌ها به‌صورت افقی با یکدیگر رقابت می‌کنند و شرکت i مقدار بهینه‌ی قیمت و مدت زمان تحویل تضمینی را چنان انتخاب می‌کند که تابع سود عملیاتی آن بیشینه شود. نتایج به دست آمده در این نوشتار بیان می‌دارد که مشخصات مختلف شرکت نقش کلیدی در متمایزسازی آن‌ها در بازارِ حساس به زمان ایفا می‌کند. محققین برای به‌دست آوردن نقطه‌ی تعادل نش از یک الگوریتم تکراری استفاده می‌کنند[۲] و ثابت می‌کنند که این الگوریتم به نقطه‌ی تعادلی منحصر به فرد نش همگراست.

در مطالعه‌یی دیگر، یک مدل رقابت بازار مورد بررسی قرار گرفته[۳] که در آن اولویت‌های مشتری نه‌تنها قیمت و کیفیت، بلکه سرعت ارسال را نیز شامل می‌شود. در یکی از دیگر مقالات مهم در این زمینه[۴] یک زنجیره‌ی تأمینِ متمرکز ــ شامل یک تأمین‌کننده و یک تولیدکننده که با تقاضای حساس به قیمت و مدت زمان تحویل مواجه‌اند ــ مورد بررسی قرارگرفته است. برای تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری درمورد مدت زمان تحویل و قیمت توسط تأمین‌کننده به‌عنوان پیشرو و تولیدکننده به‌عنوان پسرو، از بازی استکلبرگ استفاده شده است. در نوشتار مذکور، تصمیم‌گیرندگان مستقل ــ یعنی تأمین‌کننده و تولیدکننده ــ با هدف بیشینه‌سازی تابع سود خود تصمیم‌گیری می‌کنند؛ همچنین با مقایسه‌ی جواب حالت غیرمتمرکز با حالت متمرکز نتیجه‌گیری می‌شود که کارایی عملیاتی داخلی نقش اساسی در تابع سود شرکت‌ها دارد و تأمین‌کننده به‌عنوان یک حلقه‌ی میانی در زنجیره‌ی تأمین باید کارایی عملیاتی خود را تقویت کند تا بتواند به مزیت رقابتی دست یابد.

در نوشتار حاضر نیز الگوی مشابهی برای تقاضا در نظرگرفته شده است، با این تفاوت که در مسئله‌ی مورد بحث با استفاده از تأمین‌کنندگان متعدد، مسئله‌ی وابستگی تقاضای بازار به مدت‌زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده برطرف شده و این وابستگی تنها نسبت به قیمت تعیین‌شده توسط تولیدکننده در نظر گرفته می‌شود. تولیدکننده نیز برای آن که بتواند قیمت تأمین‌کنندگان و همچنین مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده توسط آنان را کنترل کند و حتی‌الامکان از مقدار آن بکاهد، برای تخصیص سهم تقاضای بازار خود به تأمین‌کنندگان، از مدل تعامل رقابتی ضربی استفاده می‌کند که در آن پارامترهای قیمت و مدت زمان تحویل در کسب سهم بازارِ بیشتر نقش اساسی ایفا می‌کنند.

در مطالعه‌یی دیگر، یک مدل شامل دو شرکت در نظرگرفته شده[۵] که با اقتصاد لایه‌یی[۸] مواجه‌اند (یعنی هزینه‌ی هر واحد تقاضا نسبت به تقاضا نزولی است). چهارچوب کلیِ مورد استفاده در این نوشتار مشتمل است بر یک بازی صف (یعنی رقابت میان دو خدمت‌دهنده که با تقاضای حساس به قیمت و زمان مواجه‌اند) و یک بازی مقدار سفارش اقتصادی (یعنی رقابت میان دو تولیدکننده که دارای هزینه‌ی سفارش‌دهی ثابت و مشتریان حساس به قیمت‌اند).

از سوی دیگر، تصمیم‌گیری درمورد تعیین قیمت و دفعات ارسال در یک زنجیره‌ی تأمین ــ شامل دو تأمین‌کننده که برای تأمین یک مشتری رقابت می‌کنند ــ نیز مورد بررسی قرارگرفته است.[۶] در این نوشتار مسئله‌ی تصمیم‌گیری درمورد قیمت و دفعات ارسال توسط دو بازی سه‌سطحی غیرمشارکتی با قوانین تصمیم‌گیری مختلف طراحی‌شده برای هریک از بازیکنان، مورد تجزیه و تحلیل قرارگرفته است. با فرض این که ساختار هزینه‌یی تغییر نکند و تأمین‌کنندگان یکسان باشند، نشان داده شده، هنگامی که مشتری ارسال را کنترل می‌کند، به‌صورت استراتژیک برای کم‌کردن قیمت‌ها تعداد دفعات ارسال را افزایش می‌دهد. در این نوشتار فرض بر این است که تقاضای بازار قطعی است و به قیمت تعیین‌شده توسط تولیدکننده بستگی دارد. تولیدکننده نیز برای تخصیص تقاضای دریافت‌شده به تولیدکنندگان، از مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده و قیمت عمده‌فروشیِ تعیین‌شده توسط آن‌ها استفاده می‌کند.

ساختار نوشتار حاضر چنین است: در بخش ۲ مدل‌سازی مسئله ارائه می‌شود؛ ابتدا جواب بهینه‌ی تأمین‌کنندگان در پاسخ به قیمت تعیین‌شده توسط تولیدکننده به دست می‌آید و سپس تولیدکننده، با بهینه‌سازی تابع سود خود به‌عنوان پیشرو، قیمت تعادلی را اعلام می‌کند. در سطح تأمین‌کنندگان ابتدا مسئله‌ی تصمیم‌گیری ــ در حالی که قیمت و مدت زمان تحویلِ برنامه‌ریزی‌شده توسط دیگر شرکت‌ها ثابت باشد ــ فقط برای یک شرکت حل شده و نتایج تحلیلی محاسبه خواهد شد. با استفاده از نتایج به دست آمده در مسئله‌ی یک‌شرکتی، مسئله‌ی N شرکتی نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین اثبات می‌شود که یک نقطه‌ی تعادل نش منحصر به فرد وجود دارد که با استفاده از الگوریتمی تکراری به دست می‌آید. برای شرکت‌های یکسان جواب تعادلی نیز به دست آمده و در بخش آخر نیز نقطه‌ی تعادل استکلبرگ مورد بحث قرار خواهد گرفت. در بخش ۳ مطالعات عددی، با بررسی تأثیر پارامترهای کلیدی مدل بر نقطه‌ی تعادل، ارائه می‌شود. در بخش ۴ از مطالعات عددی برای بررسی رفتار رقابتی شرکت برتر استفاده خواهد شد و در نهایت، در بخش ۵ به نتیجه‌گیری و معرفی فرصت‌های تحقیقاتی آتی پرداخته می‌شود.

۲. مدل‌سازی مسئله

یک زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز شامل یک تولیدکننده و چند تأمین‌کننده را در نظر بگیرید. پس از دریافت سفارش از تولیدکننده، تأمین‌کنندگان سفارش را تکمیل و به تولیدکننده ارسال می‌کنند. این محصول در بازار منحصر به فرد نیست و مشتریان بالقوه‌ی محصول، به قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده حساس‌اند. این امر باعث می‌شود تا زنجیره‌ی تأمین یک قیمت تعادلی و مدت زمان تحویل رقابتی پیشنهاد دهد. تولیدکننده به‌منظورکاهش تأثیر حساسیت تقاضای بازار به مدت زمان تحویل، با چندین تأمین‌کننده به‌صورت هم‌زمان کار می‌کند و از مدت زمان تحویل، علاوه بر قیمت، به‌عنوان فاکتورهای رقابتی در هنگام تخصیص تقاضا به آنان استفاده می‌کند. در این حالت تأثیر مدت‌زمان تحویل بر تقاضای بازار هموار شده و کمینه می‌شود، و نیازی به‌منظورکردن آن در رابطه‌ی تقاضای بازار نیست و اثر آن فقط بر سهم بازار تأمین‌کنندگان در نظر گرفته می‌شود.

در این زنجیره، تولیدکننده به‌عنوان پیشرو با هدف کسب تقاضای بیشتر و با در نظرگرفتن قیمت و مدت‌زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده توسط تأمین‌کنندگان، قیمت را به مشتری اعلام می‌کند. با توجه به استقلالِ تصمیم‌گیرندگان، تأمین‌کنندگان و تولیدکننده هریک با هدف بیشینه‌کردن نرخ سود شخصی‌شان تصمیم‌گیری می‌کنند. هر تأمین‌کننده از امکانات تولیدی و سرعت پاسخ‌گویی خود به مشتری آگاهی کامل دارد. پس طبیعی است که تأمین‌کننده باید در رابطه با مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده و قیمت عمده‌فروشی با توجه به تقاضای موجود و برای کسب سهم بیشتر تصمیم‌گیری کند. از آنجا که قیمت و سهم تقاضای تأمین‌کنندگان بر هزینه‌ها و درنتیجه سود عملیاتی تولیدکننده تأثیرگذار است، تولیدکننده باید هنگام تصمیم‌گیری عکس‌العمل تأمین‌کنندگان را در نظر بگیرد. بنابراین، دو سطح زنجیره‌ی تأمین با یک بازی استکلبرگ با یکدیگر تعامل خواهند داشت که در آن تولیدکننده نقش پیشرو و تأمین‌کنندگان نقش پسرو را ایفا می‌کنند. در این مسئله فرض بر آن است که تأمین‌کنندگان اطلاعات مربوط به مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی شده را به‌صورت کامل در اختیار تولیدکننده قرار می‌دهند و از عکس‌العمل تولیدکننده نسبت به قیمت

و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده نیز آگاهی دارند. مشتریان نهایی نیز در فرایند تصمیم‌گیری به این صورت نقش ایفا می‌کنند که تصمیم‌گیری‌های مستقل آنان مجموعاً سطح تقاضا را با توجه به قیمت تولیدکننده مشخص می‌کند. تعامل میان تولیدکننده و مشتری زمانی موفقیت‌آمیز خواهد بود که قیمت پیشنهادی برای مشتری قابل قبول باشد. اگرچه قیمت یا مدت زمان تحویل باید انعطاف‌پذیر باشد، لازم است تولیدکننده و تأمین‌کنندگان صورت‌بهای استانداردی داشته باشند که در این مطالعه تمرکز بر این حالت است.

مشتریان چه در هزینه‌های انتظار و چه در ارزشی که انتظار دارند از خرید محصول به دست آورند، متفاوت‌اند. در این نوشتار لازم نیست تصمیم‌گیرندگان در تعیین قیمت و مدت زمان تحویل (استاندارد) با مشتریان مختلف رفتار متفاوتی داشته باشند، چرا که در این زنجیره‌ی تأمین تنها یک دسته‌ی مشخص از مشتریان مورد بررسی قرار می‌گیرند. با فرض رفتار منطقی، مشتریان بالقوه هنگامی به مشتریان واقعی تبدیل می‌شوند که ارزش مورد انتظار دریافتی‌شان از محصول، بزرگ‌تر یا مساوی هزینه‌یی باشد که برای محصول می‌پردازند. p_m قیمت تولیدکننده را نشان می‌دهد، پس مشتری فقط درصورتی محصول را خریداری می‌کند که ارزش مورد انتظار او بزرگ‌تر یا مساوی p_m باشد؛ یا به‌عبارت دیگر این هزینه برابر کم‌ترین ارزش مورد انتظار مشتریان واقعی است. λ نشان‌دهنده‌ی نرخ تقاضای واقعی است، یعنی تعداد خریدهای تحقق یافته در واحد زمان و $V(\lambda)$ کل ارزش اجتماعی مورد انتظار بر اثر تحقق تقاضای λ مشتری در واحد زمان است. در حالت تعادلی، ارزش اجتماعی حاشیه‌یی مورد انتظار $dV/d\lambda$ برابر ارزش مورد انتظار مشتری حاشیه‌یی است که باید مساوی کل هزینه‌یی قرارگیرد که مشتری متحمل می‌شود. پس خواهیم داشت:

$$\frac{dV(\lambda)}{d\lambda} = p_m \qquad (۱)$$

فرض کنید که ارزش هر مشتری از تابع یکنواخت پیروی می‌کند، پس تابع ارزش تابعی کوادراتیک خواهد بود:

$$V(\lambda) = \tau_۱\lambda - \tau_۲\lambda^۲, \tau_۱, \tau_۲ > ۰ \qquad (۲)$$

در این صورت با مشتق‌گیری از این رابطه و برابر قرار دادن آن با کم‌ترین ارزش مشتری خواهیم داشت:[۷و۸]

$$\lambda = \lambda_۰ - \alpha p_m \qquad (۳)$$

که در آن $\lambda_۰$ بازار بالقوه و $\alpha = \frac{۱}{۲\tau_۲} > ۰$ فاکتور حساسیت قیمت است.

در سطح تأمین‌کنندگان نیز قیمت و مدت زمان تحویل بر سهم بازارِ تخصیص‌یافته به هر شرکت تأثیرگذار خواهد بود. در این مسئله از مدل تعامل رقابتی ضربی (MCI)[۹] برای نشان‌دادن تقاضای بازار هر تأمین‌کننده استفاده شده است:

$$\lambda_i = \lambda\left(\frac{L_i p_i^{-\alpha} l_i^{-\beta}}{\sum_{j=۱}^{N} L_j p_j^{-\alpha} l_j^{-\beta}}\right) \qquad (۴)$$

در اینجا عبارت $L_i p_i^{-\alpha} l_i^{-\beta}$ با فرض $\alpha, \beta > ۰$ نشان دهنده‌ی فاکتورهای حساسیت قیمت و مدت زمان تحویل‌اند و سهم بازار با استفاده از نسبت مطلوبیت تأمین‌کننده (i) تقسیم بر مجموع مطلوبیت کلیه‌ی تأمین‌کنندگان به‌دست می‌آید[۹و۱۰] مطلوبیت تأمین‌کننده (i) نشان می‌دهد که تولیدکننده نسبت به قیمت و مدت زمان تحویل پیشنهادی و دیگر فاکتورهای رقابتی (نظیر اعتبار تأمین‌کننده، کیفیت و...) چه احساسی دارد؛ همچنین پارامتر $L_i > ۰$ نشان‌گر اثر ترکیبی دیگر فاکتورهاست و مقدار L_i بزرگ‌تر بیان‌گر مطلوبیت بیشتر تأمین‌کننده است. در اینجا بیشترین قیمتی که تأمین‌کننده می‌تواند پیشنهاد دهد $\bar{p}$ فرض شده است. در این مسئله دو خصوصیت مهم تأمین‌کننده، یعنی اندازه و کارایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اندازه تأمین‌کننده با ظرفیت تولید آن و کارایی تأمین‌کننده با هزینه‌های تولیدی به‌ازای هر واحد تولید اندازه‌گیری می‌شود. μ_i نشان‌دهنده‌ی ظرفیت و c_i بیان‌گر هزینه‌ی تولید هر واحد محصول توسط تأمین‌کننده i است. μ_i و c_i در این مدل به‌عنوان پارامترهای ثابت در نظر گرفته می‌شود و p_i و L_i ــ که به‌ترتیب نماینده‌ی قیمت و مدت‌زمان تحویل تعیین‌شده توسط تأمین‌کننده‌ی i هستند ــ متغیر تصمیم‌اند. در واقع قیمت و مدت زمان تحویل، فاکتورهایی هستند که برای عکس‌العمل به شرایط رقابتی قابل تغییرند. اما ظرفیت، یک تصمیم راهبردی بلندمدت است و نمی‌تواند در زمان کوتاه قابل تغییر باشد؛ هزینه‌ی تولیدی نیز نمی‌تواند در کوتاه‌مدت بهبود یابد. در عوض این مدل ما را قادر می‌سازد تا برای درک چگونگی تأثیر پارامترهای مدل، ظرفیت و هزینه‌ی تولید واحد، بر متغیرهای تصمیم‌گیری، تحلیل حساسیت انجام دهیم.

چنان که مشاهده شد با استفاده از MCI سهم بازارِ تخصیص داده‌شده به هر تأمین‌کننده مشخص می‌شود. به‌هر حال در این نسبت، اثر قابلیت اعتماد در برآورده‌کردن مدت زمان تحویل در نظر گرفته نشده است. تأمین‌کنندگانی که نتوانند مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده را برآورده کنند اعتبار خود را نزد تولیدکننده و درنتیجه نزد مشتری برای تجارت آتی از دست می‌دهند. این عملکردِ زمانیِ ضعیف، هدف مدت زمان تحویل رقابتی را ــ که جذب تقاضای بیشتر است ــ تخریب می‌کند. برای در نظرگرفتن این مسئله در مدل، باید یک سطح خدمت الزامی توسط هر تأمین‌کننده برای برآورده‌کردن مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده رعایت شود. عملکردِ زمانیِ متوسط معمولاً به ظرفیت کل سیستم و بارِ کاری آن بستگی دارد. برای ایجاد محدودیتِ سطح خدمت قابل اندازه‌گیری برای تأمین‌کنندگان می‌توان از سیستم صف M/M/۱ با توزیع نمایی استفاده کرد. بنابراین، ضرورت احتمال برآورده‌کردن تقاضا در مدت‌زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده باید دست‌کم برابر مقدار P (مثلاً ۹۵٪) باشد. پس محدودیت مورد نظر را می‌توان چنین در نظر گرفت:

$$۱ - e^{-(\mu_i - \lambda_i)l_i} \geq P \qquad (۵)$$

$$(\mu_i - \lambda_i)l_i \geq -\log(۱ - P) \qquad (۶)$$

در این مدل، بحث فقط به موردی محدود می‌شود که در آن P برای همه‌ی تأمین‌کنندگان یکسان است. این فرض هنگامی قابل استفاده است که یک استاندارد صنعتی وجود داشته باشد. این محدودیت، تأمین‌کنندگان را از ارائه‌ی کالا در زمانی طولانی‌تر از آنچه که در سهم بازار در نظر گرفته شده، منع می‌کند. البته در این مدل می‌توان سطح خدمت‌های متفاوتی نیز برای تأمین‌کنندگان مختلف در نظر گرفت، اما این موضوع در اینجا ما را به اهداف مقایسه‌یی خاصی نمی‌رساند. یک رویکرد دیگر این است که چنانچه تأمین‌کننده‌ی i نتواند در مدت زمانِ اعلام‌شده پاسخ‌گو باشد، جریمه‌یی نظیر Z_i برای او در نظر گرفته شود. فرمولاسیون ارائه‌شده در این مدل می‌تواند با این رویکرد هم تغییر کند. برای اثبات این امر، در بخش بعد نشان داده می‌شود که محدودیت قابلیت اعتماد باید دقیقاً در مرز خود در تابع بهینگی رعایت شود. بنابراین جریمه‌ی مورد انتظار برابر $Z_i(۱ - \alpha)$ را می‌توان به پارامتر هزینه‌ی تولید هر واحد c_i در مدل اضافه کرد. (این مدل‌سازی موقعیتی را که در آن تقاضا وابسته به مقدار جریمه‌ی پیشنهادی باشد، در نظر نمی‌گیرد و فرض بر این است که تقاضا به قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده بستگی دارد.) این هزینه‌ی جریمه (Z_i) را می‌توان به‌صورت پرداخت نقدی به تولیدکننده برای تأخیر در دیرکرد کالا به‌علاوه‌ی هزینه‌ی خسارت به سرقفلی محسوب کرد که در عمل تخمین

آن بسیار دشوار است. بنابراین در این نوشتار محدودیت سطح خدمت در نظرگرفته می‌شود.

هدف تأمین‌کننده i انتخاب بهترین قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده است به‌گونه‌یی که سود آن با توجه به قیمت و مدت زمان تحویلِ تعیین‌شده توسط دیگر تأمین‌کنندگان و همچنین قیمت تعیین‌شده توسط تولیدکننده بیشینه شود. از نظر ریاضی، مسئله‌یی را که تأمین‌کننده‌ی i با آن مواجه است می‌توان چنین فرموله کرد:

$$\max \pi_i(p_i, l_i) = (p_i - c_i)\lambda_i \quad (۷)$$

$$s.t.(\mu_i - \lambda_i)l_i \geq k, p_i \leq \bar{p}, l_i \geq ۰ \quad (۸)$$

که در آن:

$$k = -\log(۱ - P) \quad (۹)$$

از سوی دیگر، برای هر i:

$$\gamma_i = \frac{\sum_{j \neq i} L_j p_j^{-\alpha} l_j^{-\beta}}{L_i} > ۰ \quad (۱۰)$$

با استفاده از تابع سهم بازار، مسئله‌ی بهینه‌سازی برای تأمین‌کننده‌ی i چنین نوشته می‌شود:

$$\max \pi_i(p_i, l_i) = \frac{(p_i - c_i)\lambda p_i^{-\alpha} l_i^{-\beta}}{p_i^{-\alpha} l_i^{-\beta} + \gamma_i} \quad (۱۱)$$

$$s.t.(\mu_i - \frac{\lambda p_i^{-\alpha} l_i^{-\beta}}{p_i^{-\alpha} l_i^{-\beta} + \gamma_i})l_i \geq k, p_i \leq \bar{p}, l_i \geq ۰ \quad (۱۲)$$

که در آن $\pi_i(۰, ۰)$ نشان‌دهنده‌ی تابع سود تأمین‌کننده‌ی i است. برای جواب موجه باید $\sum_{i=۱}^{N} \mu_i > \lambda$ باشد یعنی، باید ترکیب ظرفیت کل تأمین‌کنندگان از تقاضای بازار بیشتر باشد. در این رابطه c_i نیز نشان‌دهنده‌ی هزینه‌ی تولید هر واحد محصول توسط تأمین‌کننده i است.

ساختار هزینه‌یی تولیدکننده، هزینه‌های تولید یا مونتاژ c_m را شامل می‌شود. در اینجا فرض بر آن است که ظرفیت تولیدکننده برای پاسخ‌گویی به تقاضای مشتریان کافی است و همین امر منجر به قدرت رقابتی تولیدکننده به‌عنوان پیشرو است. بنابراین مسئله‌ی بهینه‌سازی تولیدکننده عبارت خواهد بود از:

$$\max_{p_m} \pi_m(p_m, p_i, l_i) = (p_m - \sum_{i=۱}^{N} x_i p_i - c_m)\lambda(p_m) \quad (۱۳)$$

برای هر $\lambda_۰$، α و β و مقادیر p_i و l_i داده شده، قیمت تولیدکننده محدود است. (مقدار تقاضا باید مثبت باشد)، یعنی:

$$\sum_{i=۱}^{N} x_i p_i + c_r < p_m < p_m^{\max} \quad (۱۴)$$

در این رابطه x_i بیان‌گر نسبت تقاضای تخصیص داده‌شده به تأمین‌کننده‌ی i است. در اینجا $p_m^{\max} = \frac{\lambda_۰}{\alpha}$ بیشترین قیمت قابل تعیین توسط تولیدکننده است.

۱.۲. بهترین پاسخ تولیدکننده

بهترین پاسخ تولیدکننده با در نظرگرفتن قیمت و زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده که توسط تأمین‌کنندگان اعلام می‌شود، با استفاده از لم ۱ به دست می‌آید.

لم ۱: با در نظرگرفتن مقادیر p_i و l_i، بهترین راهکار تعیین قیمت برای تولیدکننده p_m^* چنین به دست می‌آید:

$$p_m^* = \frac{۱}{۲}(p_m^{\max} + \sum_{i=۱}^{N} x_i p_i + c_r) \quad (۱۵)$$

که یک جواب درونی است و در رابطه‌ی ۱ صدق می‌کند. نرخ سود بیشینه‌ی تولیدکننده به‌عنوان تابعی از λ نیز عبارت خواهد بود از:

$$\pi_m^* = \frac{\lambda^۲}{\alpha} \quad (۱۶)$$

اثبات این لم در پیوست آمده است.

۲.۲. بهینه‌سازی تأمین‌کننده‌ی iام

در اینجا ابتدا مسئله‌ی بهینه‌سازی را برای تأمین‌کننده‌ی iام، با فرض ثابت‌بودنِ قیمت و زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده‌ی دیگر تأمین‌کنندگان، و نیز مشخص بودن قیمت تولیدکننده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

شیوه‌ی محاسبه‌ی p_i به‌عنوان تابعی از زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده (l_i) در مرز محدودیت سطح خدمت عبارت است از:[۲]

$$\rightarrow p_i(l_i) = (\frac{l_i\lambda + k - \mu_i l_i}{l_i^{\beta}\gamma_i(\mu_i l_i - k)})^{\frac{۱}{\alpha}} \quad (۱۷)$$

که در آن:

$$\begin{cases} ۱)\ \frac{k}{\mu_i} < l_i < \frac{k}{\mu_i - \lambda} & \text{اگر} \quad \mu_i > \lambda \\ ۲)\ \frac{k}{\mu_i} < l_i & \text{اگر} \quad \mu_i \leq \lambda \end{cases} \quad (۱۸)$$

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مسئله‌ی بهینه‌سازی می‌تواند به مسئله‌یی یک‌بعدی برمبنای l_i تبدیل شود. $p_i(l_i)$ نسبت به l_i نزولی است.[۲] بنابراین می‌توان با جایگزینی $p_i(l_i)$ در مسئله‌ی بهینه‌سازی و حل مسئله نسبت به l_i، مقدار بهینه‌ی l_i را به دست آورد و با جایگزینی آن در تابع $\pi_i(p_i, l_i)$ جواب بهینه را محاسبه کرد. با جایگزینی $p_i = p_i(l_i)$ در مسئله‌ی بهینه‌سازی، تابع سود تولیدکننده‌ی i را می‌توان به‌صورت تابعی از l_i نوشت:

$$\pi_i(l_i) = \pi_i(p_i, l_i) = (p_i(l_i) - c_i)(\mu_i - \frac{k}{l_i}) \quad (۱۹)$$

که با مشتق‌گیری از آن خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \pi_i'(l_i) &= p_i'(l_i)(\mu_i - \frac{k}{l_i}) + (p_i(l_i) - c_i)\frac{k}{l_i^۲} \\ &= -p_i(l_i)\left[\frac{k\lambda l_i + \beta(l_i\lambda + k - \mu_i l_i)(\mu_i l_i - k)}{\alpha l_i^۲(l_i\lambda + k - \mu_i l_i)}\right] \\ &+ \frac{p_i(l_i)k}{l_i^۲} - \frac{c_i k}{l_i^۲} = \frac{p_i(l_i)H_i(L_i)}{\alpha l_i^۲} \end{aligned} \quad (۲۰)$$

و در آن تابع $H_i(L_i)$ چنین تعریف شده است:

$$H_i(L_i) = \frac{-k\lambda l_i}{(l_i\lambda + k - \mu_i l_i)} - \beta(\mu_i l_i - k) + k\alpha - \frac{c_i k\alpha}{p_i(l_i)} \quad (۲۱)$$

یک جواب منحصر به فرد برای قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده (p_i^*, l_i^*) وجود دارد که تابع سود تأمین‌کننده‌ی i، یعنی $\pi_i(p_i, l_i)$، را بیشینه می‌کند.[۲] مشاهده می‌شود که قیمت و مدت زمان تحویل بهینه برای تأمین‌کننده‌ی i را با

توجه به قیمت و مدت زمان تحویل دیگر تأمین‌کنندگان نمی‌توان با استفاده از یک رابطه‌ی ریاضی مشخص به‌دست آورد، بلکه جواب بهینه به‌صورت عددی با حل $H_i(l_i) = 0$ و سپس محاسبه‌ی $p_i^* = \min(p_i(\hat{l}_i), \bar{p})$ به دست می‌آید. (مقدار $\hat{l}_i$ را می‌توان به‌راحتی با استفاده از الگوریتم نصف‌کردن به دست آورد). همچنین زمانی که فاکتور حساسیت به قیمت α کم‌تر یا مساوی مقدار ۱ باشد، تأمین‌کننده‌ی i باید همیشه قیمت بیشینه (یعنی $\bar{p}$) را تعیین کند. درنتیجه هنگامی که $\alpha \leq 1$، همه‌ی تأمین‌کنندگان بیشینه‌ی قیمت را تعیین خواهند کرد و هیچ رقابت قیمتی در بازار وجود نخواهد داشت؛ و این مسئولیت به‌عهده‌ی تولیدکننده خواهد بود. به‌عبارت دیگر، هنگامی که فاکتور حساسیت قیمت کم باشد، زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده برای تأمین‌کنندگان استراتژی بحرانی برای به دست آوردن سهم بازار بیشتر خواهد بود. بنابراین، در این مسئله فقط مواردی در نظر گرفته می‌شود که در آن $\alpha > 1$ باشد.

قضیه‌ی بعد یک نتیجه‌ی کلیدی ارائه می‌کند که در تجزیه و تحلیل مسئله با N تأمین‌کننده در بخش بعد مفید خواهد بود. این نتیجه نشان می‌دهد هنگامی که برآیند مطلوبیت دیگر تأمین‌کنندگان (γ_i) افزایش می‌یابد، تأمین‌کننده باید با قیمت و زمان تحویل کم‌تری به رقابت بپردازد.

تعریف ۱: قیمت بهینه (p_i^*) نسبت به γ_i نزولی است و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده بهینه (l_i^*) نسبت به γ_i اکیداً نزولی است.[۲] این نکته بیان می‌دارد که علاوه برکاهش قیمت‌ها، افزایش رقابت زمانی در بازار نیز می‌تواند به زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده‌ی کوتاه‌تر بینجامد.

در ادامه، چگونگی تأثیر پارامترهای مختلف مدل بر قیمت بهینه (p_i^*) و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده‌ی بهینه‌ی (l_i^*) توسط تأمین‌کننده تشریح می‌شود.

ویژگی‌های قیمت بهینه و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده عبارت است از:[۲]

الف) با افزایش L_i، بر مقدار p_i^* و l_i^* افزوده می‌شود.

ب) با افزایش c_i، بر مقدار p_i^* افزوده می‌شود و l_i^* کاهش می‌یابد.

ج) با افزایش مقدار μ_i، از مقدار l_i^* کاسته می‌شود.

براساس ویژگی الف، هنگامی که دیگر فاکتورهای مطلوبیت تأمین‌کننده (L_i) ــ نظیر مارک تجاری بهتر یا کیفیت بالاتر ــ بهبود یابند، تأمین‌کننده می‌تواند قیمت بالاتر و مدت زمان تحویل طولانی‌تری پیشنهاد دهد. به‌عبارت دیگر هنگامی که همه‌ی پارامترها ثابت باشند، شرکت با اعتبارکم‌تر یا کیفیت محصول پایین‌تر، تمایل به تعیین قیمت کم‌تر و مدت زمان تحویل کوتاه‌تر برای رقابت دارد. براساس ویژگی ب، هنگامی که هزینه‌ی تولید واحد افزایش می‌یابد تأمین‌کننده باید قیمت خود را افزایش دهد، اما برای جبران قیمت افزایش‌یافته، نیازمند به کوتاه‌ترکردن مدت زمان تحویل خواهیم بود. ویژگی ج بیان می‌دارد که در صورت افزایش ظرفیت تأمین‌کننده، کاهش مدت زمان تحویل منجر به افزایش سهم بازار برای پرکردن این ظرفیت اضافه‌شده خواهد شد.

۳.۲. مسئله در حالت وجود N تأمین‌کننده

اکنون مسئله‌ی تعیین قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده با N تأمین‌کننده بررسی می‌شود. سؤال اساسی که مطرح می‌شود این است که آیا نقطه‌ی تعادل در حالت رقابتی برای این مسئله وجود دارد یا نه؟ و اگر وجود دارد، این نقطه‌ی تعادل چگونه با تغییر پارامترهای مختلف تغییر خواهد کرد؟ یک بردار تصمیم‌گیری Nتایی به‌صورت $(p_1^*, l_1^*), (p_2^*, l_2^*), ..., (p_N^*, l_N^*)$ را در نظر بگیرید که در آن (p_i^*, l_i^*) قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده برای تأمین‌کننده‌ی i است. به این بردار «نقطه‌ی تعادل نش» گفته می‌شود، اگر برای هر i، (p_i^*, l_i^*) بهترین پاسخ تأمین‌کننده‌ی i به قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی (p_j^*, l_j^*) تعیین‌شده توسط دیگر تأمین‌کنندگان (j) باشد. به‌عبارت دیگر (p_i^*, l_i^*) پاسخ بهینه برای مسئله‌ی بهینه‌سازی تأمین‌کننده i است، اگر قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده برای تأمین‌کننده j، $j \neq i$، در نقطه‌ی (p_j^*, l_j^*) ثابت باشد. نقطه‌ی تعادل نش بیان می‌دارد که هیچ تولیدکننده‌یی با انحراف از این نقطه‌ی تعادل به‌تنهایی منفعتی حاصل نمی‌کند. در این مسئله، از یک الگوریتم تکراری برای محاسبه‌ی این نقطه‌ی تعادل استفاده می‌شود.

۱.۳.۲. الگوریتم تکراری برای تعیین نقطه‌ی تعادل نش

گام ۱ (شروع): برای هر تأمین‌کننده‌ی i مقدار $l_i = \frac{k}{\mu_i}$ و $p_i = c_i$ قرار دهید.

گام ۲ (تکرار): از $i = 1$ شروع کنید. از روابط ۱۷ و ۲۱ برای پیدا کردن l_i بهینه و $p_i = p_i(l_i)$ با استفاده از مقادیر l_j و p_j دیگر تولیدکنندگان درگام قبل استفاده کنید و این کار را برای N تا $i = N$ انجام دهید و مقادیر l_i و p_i را برای $i = 1, ..., N$ به‌روز کنید.

گام ۳ (معیار هم‌گرایی): گام ۲ را تا آنجا ادامه دهید که اختلاف l_i نسبت به مقدار قبلی خود کوچک‌تر یا مساویِ مقدار تعیین‌شده‌ی ε باشد.

پیش‌تر محققین نیز با استفاده از یک الگوریتم تکراری برای به دست آوردن نقطه‌ی تعادل نش ثابت کرده‌اند که این الگوریتم به نقطه‌ی تعادلی منحصر به فرد نش همگرا خواهد بود.[۲] تفاوت این دو الگوریتم درگام تکرار آن است. بدین صورت که در الگوریتم پیشین، در این گام مدت زمان تحویل و قیمت تولیدکنندگان براساس اطلاعات به‌روز شده و به‌صورت متوالی به دست می‌آید؛ یعنی برای به دست آوردن $l_2^{(2)}$ و $p_2^{(2)}$ از مقادیر:

$$[(p_1^{(2)}, l_1^{(2)}), (p_3^{(1)}, l_3^{(1)}), (p_4^{(1)}, l_4^{(1)}), ..., (p_N^{(1)}, l_N^{(1)})]$$

استفاده می‌شود. اشکال این روش در آن است که ویژگی تصمیم‌گیری به‌صورت هم‌زمان را نادیده می‌گیرد و باعث می‌شود که الگوریتم با سرعت کمی به سمت جواب بهینه همگرا شود و جواب دقیق را ارائه نکند. در حالی که در الگوریتم پیشنهادی در این نوشتار، در هرگام، قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده همه‌ی شرکت‌ها، با استفاده از اطلاعات به دست آمده ازگام قبل به دست می‌آید؛ یعنی مثلاً برای به دست آوردن $l_2^{(2)}$ و $p_2^{(2)}$ از مقادیر:

$$[(p_1^{(1)}, l_1^{(1)}), (p_3^{(1)}, l_3^{(1)}), (p_4^{(1)}, l_4^{(1)}), ..., (p_N^{(1)}, l_N^{(1)})]$$

استفاده شده است که باعث می‌شود، همه‌ی شرکت‌ها با اطلاعات مساوی تصمیم‌گیری کنند و با تعداد گام‌های کم‌تر به جواب دقیق رهنمون می‌شود.

قضیه‌ی ۱ نشان می‌دهد که نقطه‌ی تعادل منحصر به فرد نش وجود دارد و الگوریتم تکراری بالا همواره به جواب تعادلی بهینه همگرا می‌شود.

قضیه‌ی ۱: الگوریتم تکراری بالا به جواب تعادلی منحصر به فرد نش برای مسئله‌ی با N تأمین‌کننده همگراست.

اثبات این قضیه در پیوست ارائه‌شده است.

جواب تعادلی را هنگامی که N تأمین‌کننده یکسان باشند، می‌توان به‌صورت رابطه‌ی ریاضی محاسبه کرد. به‌طور مشخص، در ادامه اثبات می‌شود که جواب تعادلی نش منحصر به فرد است و چگونگی تأثیر پارامترهای مختلف مدل بر این

جواب تعادلی نیز بررسی خواهد شد. حال فرض کنید N تأمین‌کننده‌ی یکسان باشند، آنگاه:

الف) جواب تعادلی نش برای همه‌ی تأمین‌کنندگان یکسان است.

ب) مدت زمان تحویل تعادلی l^* و قیمت p^* و سود π^* برای تأمین‌کننده (i) به‌صورت زیر به دست می‌آید:[۲]

$$l^* = \frac{Nk}{N\mu_i - \lambda} \qquad (۲۲)$$

$$p^* = \begin{cases} \min\{\frac{c_i\alpha}{\alpha - \frac{N}{N-1} - \frac{\beta\lambda}{N\mu_i - \lambda}}, \bar{p}\} & \text{اگر } \alpha - \frac{N}{N-1} - \frac{\beta\lambda}{N\mu_i - \lambda} > 0 \\ \bar{p} & \text{اگر } \alpha - \frac{N}{N-1} - \frac{\beta\lambda}{N\mu_i - \lambda} \leq 0 \end{cases} \qquad (۲۳)$$

$$\pi^* = \frac{(p^* - c_i)}{N} \qquad (۲۴)$$

در جدول ۱ تأثیر پارامترهای مختلف مدل بر p^*، l^* و π^* ارائه شده است.[۲] خلاصه‌ی نتایج به دست آمده در این مورد عبارت است از:

الف) تأثیر پارامترهای مختلف مدل بر رفتار جواب تعادلی ــ یعنی قیمت و مدت زمان تحویل تعادلی ــ تا حدی شهودی است. برای نمونه، ظرفیت تأمین‌کننده ممکن است منجر به قیمت کم‌تر و مدت زمان تحویل کوتاه‌تر شود. همچنین درصورت افزایش فاکتور حساسیت قیمت (یعنی α)، تأمین‌کنندگان رقابت شدیدتری بر سر قیمت خواهند داشت که این باعث کاهش قیمت‌ها می‌شود. از سوی دیگر، هنگامی که فاکتور حساسیت زمان β افزایش می‌یابد، تأمین‌کنندگان تمایل بیشتری به رقابت بر سر زمان دارند و رقابت بر سر قیمت کم‌تر خواهد بود که این منجر به افزایش قیمت‌ها می‌شود. در هر دو مورد، از آنجا که سهم بازار برای همه‌ی تأمین‌کنندگان یکسان است، مدت زمان تحویل تعادلی بدون تغییر باقی خواهد ماند.

ب) رفتار سود تأمین‌کننده π^* در حالتی که یک تأمین‌کننده وجود دارد با حالتی که چند تأمین‌کننده‌ی مشابه وجود دارند متفاوت است. برای مثال، ظرفیت بالاتر، درموردی که یک تأمین‌کننده را در نظر می‌گیریم، منجر به افزایش قیمت‌ها می‌شود. در حالی که با حضور N تأمین‌کننده‌ی مشابه، افزایش ظرفیت به کاهش سود می‌انجامد، چرا که افزایش ظرفیت منجر به فشار بیشتری بر قیمت رقابتی و کاهش سود تأمین‌کننده خواهد شد. در حالتی که یک تأمین‌کننده وجود دارد، با افزایش ظرفیت می‌توان انعطاف‌پذیری بیشتری در تعیین قیمت و مدت زمان تحویل داشت که این منجر به افزایش سود کلی تأمین‌کننده خواهد بود. در هر دو مورد، از آنجا که سهم بازار برای همه‌ی تأمین‌کنندگان یکسان است مدت زمان تحویل تعادلی بدون تغییر باقی خواهد ماند.

جدول ۱. تحلیل حساسیت در شرایطی که تأمین‌کنندگان یکسان باشند.

پارامتر ↑	l^*	p^*	π^*
N	↓	↓	↓
μ_i	↓	↓	↓
c_i	-	↑	↑
α	-	↓	↓
β	-	↑	↑
K یا p	↑	-	-

ج) روابط p^* و l^* نشان می‌دهد که اگر تعداد تأمین‌کنندگان رقیب افزایش یابد اما کل ظرفیت بازار $(N\mu_i)$ ثابت باشد، شرایطی پیش می‌آید که در آن تعداد کمی تأمین‌کننده‌ی بزرگ (با ظرفیت بالا) یا تعداد زیادی تأمین‌کننده‌ی کوچک (با ظرفیت پایین) در بازار وجود داشته باشد. این مدل می‌تواند پیش‌بینی کند هنگامی که تعداد زیادی تأمین‌کننده‌ی کوچک داشته باشیم، جواب تعادلی منجر به قیمت پایین‌تر، اما زمان تحویل طولانی‌تر خواهد بود. مدت زمان تحویل طولانی‌تر نتیجه‌ی مستقیم سطح خدمت الزامی است، در حالی که قیمت پایین‌تر به این دلیل به وقوع می‌پیوندد که رقابت در بازار بیشتر شده و در نتیجه، تولیدکننده سود خواهد برد.

برای مواردی که در آن تأمین‌کنندگان یکسان نیستند می‌توان از الگوریتم تکراری برای محاسبه‌ی جواب تعادلی مدل به‌صورت عددی استفاده کرد. در بخش‌های بعدی این نتایج عددی فراهم شده‌اند. در اینجا، ابتدا با فرض مقدار λ ثابت می‌توان جواب بهینه را محاسبه کرد، ولی با توجه به فرضیات مسئله می‌دانیم که λ ثابت نیست و به تصمیم‌گیری تولیدکننده در رابطه با قیمت بستگی دارد. اگر برای λ مقدار بهینه‌اش (یعنی λ^*) را در مسئله‌ی بهینه‌سازی تأمین‌کننده قرار دهیم، به معادله‌یی می‌رسیم که حل آن بسیار مشکل خواهد بود. در بخش بعد چگونگی به دست آوردن جواب بهینه‌ی نهایی نشان داده می‌شود.

۴.۲. نقطه‌ی تعادل استکلبرگ

برای آن که بتوانیم تعامل میان تولیدکننده به‌عنوان پیشرو و تأمین‌کنندگان به‌عنوان پسرو را در بازی استکلبرگ در نظر بگیریم، به‌صورت بازگشتی عمل می‌کنیم. برای این کار، ابتدا نقطه‌ی تعادل نش را که همان پاسخ تأمین‌کنندگان به شرایط رقابت افقی و عمودی است، با استفاده از الگوریتم تکراری تشریحی به دست می‌آوریم. سپس مقدار بهینه‌ی p_m با در نظر گرفتن قیمت و مدت زمان تحویل تأمین‌کنندگان با استفاده از لم ۱ به دست خواهد آمد.

با توجه به مقعر بودن تابع بهینه‌سازی تولیدکننده، نشان داده می‌شود که این نقطه‌ی تعادل منحصر به فرد است. اثبات این مطلب در پیوست ارائه شده است.

یادآور می‌شود که الگوریتم حل ارائه‌شده در این نوشتار یک الگوریتم تکراری است که در هر تکرار از دو رابطه‌ی ساده برای محاسبه استفاده می‌کند؛ و بنابراین پیچیدگی محاسباتی آن به‌صورت چندجمله‌یی خطی از اندازه‌ی مسئله است. اندازه‌ی مسئله نیز به تعداد تأمین‌کنندگان بستگی دارد. در مسائل دنیای واقعی تعداد تأمین‌کنندگان در یک محیط رقابتی چندجانبه[۱۰] محدود و کوچک است. در این نوشتار نیز تعداد تولیدکنندگان در مطالعات عددی ۲ و ۳ در نظر گرفته شده و برای تعداد محدود و کوچک تأمین‌کنندگان نیز الگوریتم به‌سرعت حل شده و جواب به دست می‌آید.

۳. مطالعات عددی

در این بخش یک سری آزمایشات عددی برای نشان دادن رفتار نقطه‌ی تعادل قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده، هنگامی که تأمین‌کنندگان متفاوت در شرایط بازار مختلف با یکدیگر رقابت می‌کنند، ارائه می‌شود. اگرچه نمی‌توان این نتایج را به‌صورت تحلیلی بیان کرد، نتایجی که از این آزمایشات عددی به دست می‌آید را می‌توان در تحلیل عددی موارد کلی‌تر نیز به کار گرفت. این مدل دو ویژگی مهم تأمین‌کننده را در نظر می‌گیرد: ظرفیت (اندازه) و هزینه‌ی تولید واحد (کارایی). در این

قسمت، اثرات هر یک از این ویژگی‌ها بر نقطه‌ی تعادل قیمت و مدت زمان تحویل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

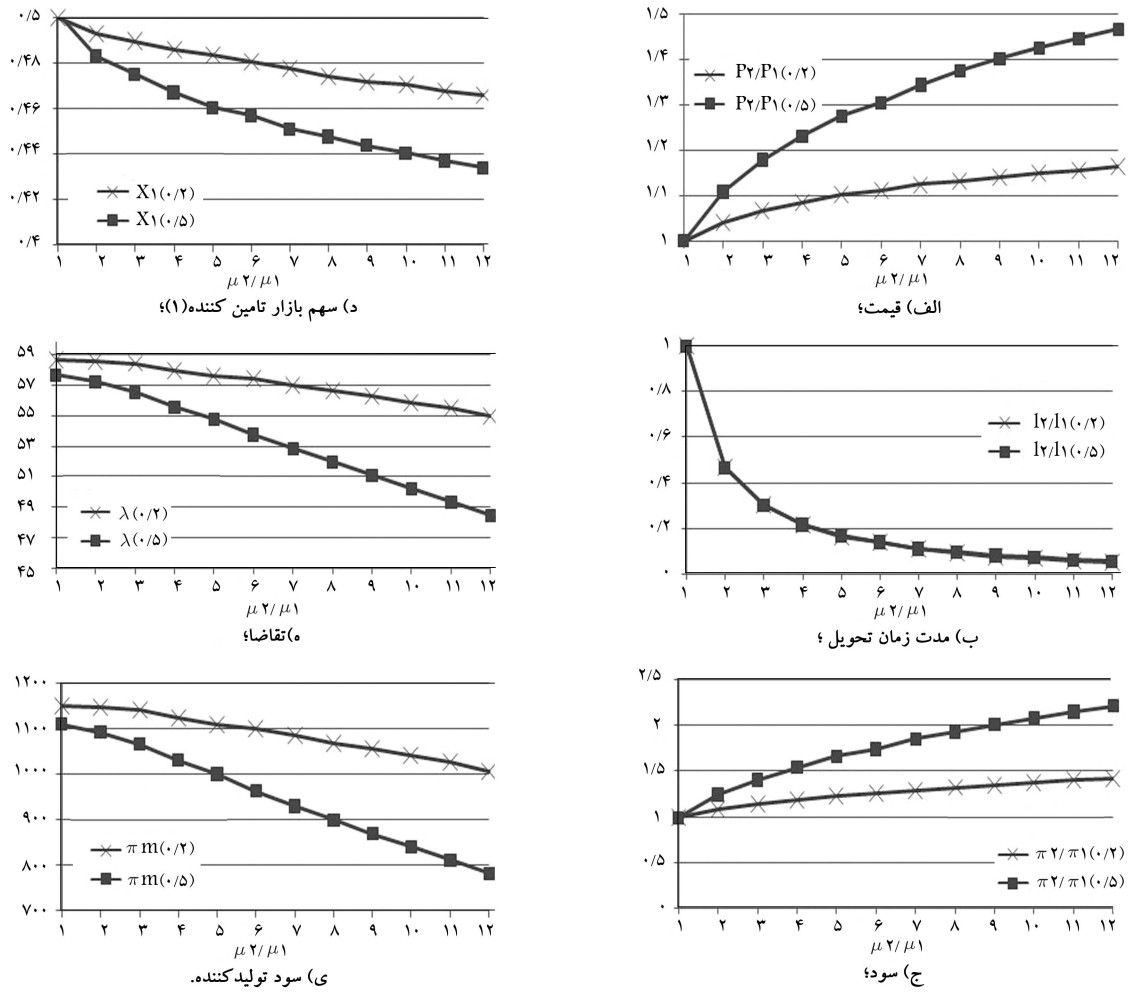
برای تمرکز بر «تعامل میان رقابت قیمت ـ زمان» باید جز در موارد گفته‌شده، مقدار L_i را در آزمایشات عددی یکسان فرض کنیم تا بتوانیم تأثیر این فاکتور رقابتی را بر سهم بازار تأمین‌کننده حذف کنیم. اثر این فاکتور بر قیمت و مدت زمان تحویل در بخشی جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین در همه‌ی مثال‌ها سطح خدمت برابر $P = ٪۹۵$ قرار داده شده است. تأثیر تغییر در فاکتورهای حساسیت بازار نسبت به قیمت و مدت زمان تحویل، بر نقطه‌ی تعادل قیمت، مدت زمان تحویل، قیمت تعیین‌شده توسط تولیدکننده و درنتیجه تقاضای بازار نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت. به‌علاوه، تأثیر تعداد تأمین‌کنندگان موجود در بازار (تعداد رقبا) بر همه‌ی متغیرها بررسی شده و در پایان رفتار تأمین‌کننده‌ی برتر و تأثیر تصمیم‌گیری‌های او بر دیگر پارامترها مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

۱.۳. تأثیر ظرفیت تأمین‌کنندگان

در این بخش ابتدا تأثیر ظرفیت تأمین‌کنندگان بر قیمت و مدت زمان تحویل تعیین‌شده توسط آنان و همچنین بر قیمت تولیدکننده و در نتیجه تقاضای بازار بررسی خواهد شد. بدین‌منظور، دو تأمین‌کننده‌ی رقیب را در نظر بگیرید که مجموع ظرفیت آن‌ها $\mu_1 + \mu_2 = ۸۰۰$، هزینه‌ی واحد هریک از آنان برابر $c_1 = c_2 = ۹$، پارامترهای بازار مساوی $\lambda_0 = ۲۰۰$ و $\alpha = ۳$ و دو مقدار برای $\beta = (۰/۲, ۰/۵)$ است. در اینجا با بررسی موارد مختلفی که در آن $\mu_2 \le \mu_1$ است، نسبت قیمت، مدت زمان تحویل و کل سود تأمین‌کنندگان محاسبه شده و چگونگی تغییر جواب تعادلی، هنگامی که حساسیت تولیدکننده به زمان بیشتر می‌شود، با مقایسه‌ی این نسبت‌ها در دو حالت $\beta = ۰/۲$ و $\beta = ۰/۵$ مورد بررسی قرار خواهد گرفت. فرض بر این است که هزینه‌ی c_m برای تولیدکننده برابر ۰/۲ است و $L_1 = L_2 = ۱$ (شکل ۱). در این قسمت عمده‌ی نتایج حاصله عبارت است از:

الف) هنگامی که همه‌ی فاکتورها برای دو تأمین‌کننده برابرند، تأمین‌کننده با ظرفیت بالاتر، مدت زمان تحویل کوتاه‌تر و قیمت بالاتری را پیشنهاد می‌دهد که این منجر به کسب سهم بازار بیشتر نسبت به تولیدکننده‌ی با ظرفیت کم‌تر خواهد شد. به‌علاوه، نسبت قیمت‌ها و سود آن با افزایش نسبت ظرفیت افزایش می‌یابد.

ب) توان رقابتی تأمین‌کننده با ظرفیت بیشتر، با افزایش فاکتور حساسیت به زمان (β) افزایش می‌یابد. سود و سهم بازار این تأمین‌کننده نیز هنگامی که (β) از ۰/۲ به ۰/۵ تغییر می‌کند افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که توانایی ارائه‌ی محصول در مدت زمان کوتاه‌تر با افزایش حساسیت بازار نسبت به زمان، سود بیشتری را عاید تأمین‌کننده با ظرفیت بالاتر می‌کند.



شکل ۱. تأثیر ظرفیت تأمین‌کنندگان.

ج) با افزایش توان رقابتی تأمین‌کننده‌ی ۲، برآیند قیمت تعیین‌شده توسط تأمین‌کنندگان $X_s = x_1p_1 + x_2p_2$ افزایش می‌یابد. درنتیجه تولیدکننده برای تلاش به‌منظور حفظ حاشیه‌ی سود خود مجبور به بالابردن قیمت خود شده و این منجر به کاهش تقاضا و همچنین کاهش سود نهایی تولیدکننده خواهد شد. این مسئله با افزایش حساسیت تقاضا نسبت به زمان شدت بیشتری می‌یابد. بنابراین اختلاف توان رقابتی میان تأمین‌کنندگان منجر به کاهش سود تولیدکننده خواهد شد.

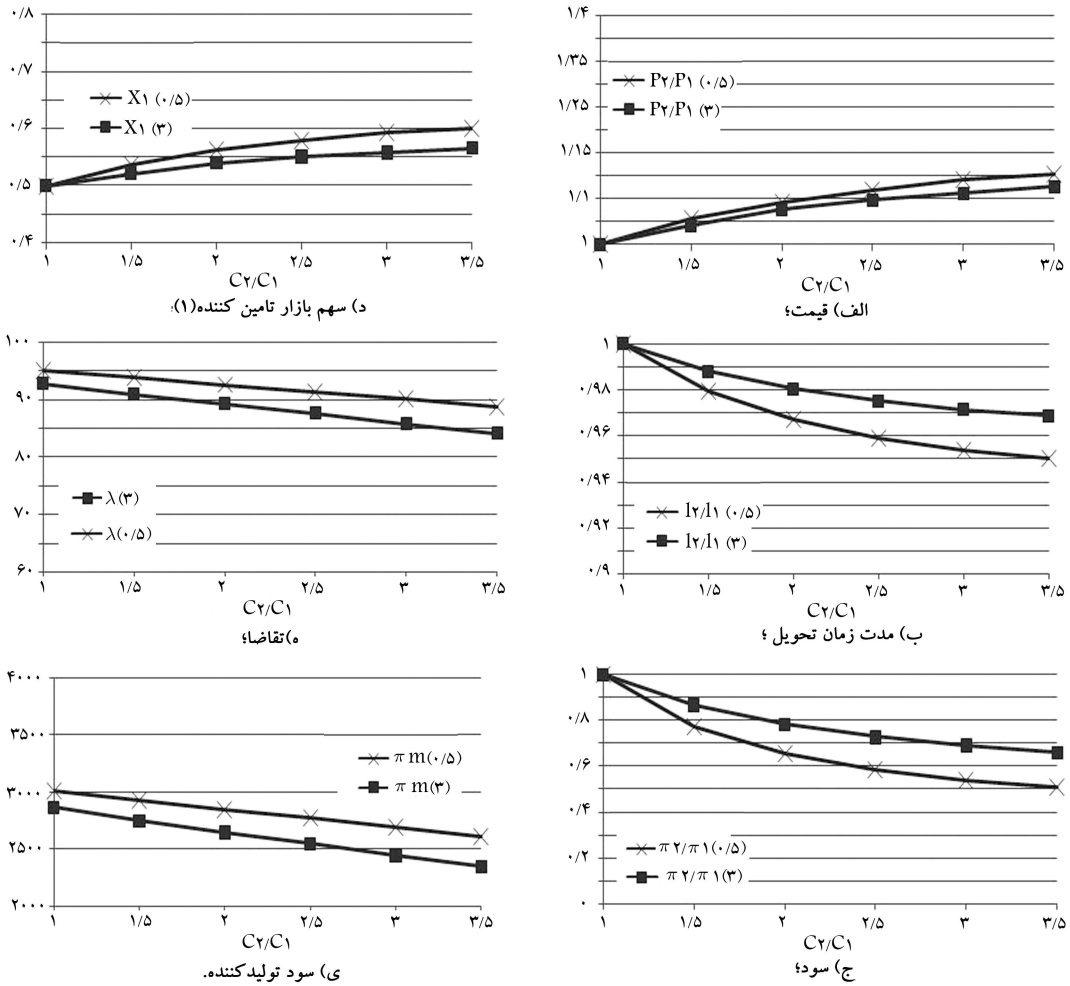
۲.۳. تأثیر هزینه‌ی تولید واحد تأمین‌کنندگان

در این قسمت چگونگی تأثیر هزینه‌های تأمین‌کنندگان بر قیمت و مدت زمان تحویل تعادلی بررسی خواهد شد. دو تأمین‌کننده‌ی رقیب با $\mu_1 = \mu_2 = 400$ را در نظر بگیرید. فرض کنید هزینه‌ی تولید برای تأمین‌کننده‌ی اول برابر $c_1 = 1$ و برای تأمین‌کننده‌ی دوم برابر $c_2 > 1$ است. پارامترهای بازار برابر $\lambda_0 = 200$، $\alpha = 3$ با دو مقدار (۳و۰/۵) برای β است. نسبت قیمت، مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده و سود برای دو مقدار متفاوت β محاسبه خواهد شد. در این قسمت هزینه‌ی c_m برای تولیدکننده برابر ۰/۱ و مقادیر $L_1 = L_2 = 1$ در نظر گرفته شده است. این نتایج در شکل ۲ نشان داده شده است. عمده نتایج حاصله در این قسمت عبارت است از:

الف) هنگامی که همه‌ی فاکتورها برای دو تأمین‌کننده برابرند، تأمین‌کننده با هزینه‌ی تولید واحد کم‌تر، قیمت کم‌تر ولی مدت زمان تحویل طولانی‌تری را پیشنهاد می‌دهد. به‌علاوه، سود و سهم بازار برای تأمین‌کننده با هزینه‌های تولید پایین‌تر با افزایش نسبت c_2/c_1 افزایش می‌یابد.

ب) مزیت هزینه‌یی یک تأمین‌کننده، در بازار با حساسیت بیشتر نسبت به مدت زمان تحویل کم‌رنگ‌تر می‌شود. برای مثال، منافع تأمین‌کننده‌ی اول ــ هنگامی که فاکتور حساسیت به زمان β از حد ۰/۵ به ۳ افزایش می‌یابد ــ به‌علت مزیت زمانی نسبت به تأمین‌کننده‌ی دوم کم‌تر می‌شود. البته این تأثیرگذاری بسیار کم است و برای مشاهده‌ی این تأثیر ملزم به بررسی آن در حالتی هستیم که تفاوت β نسبت به ۰/۵ بسیار زیاد است (۶ برابر) و در βهای بزرگ با اختلاف کم‌تر، این تفاوت قابل مشاهده نیست.

ج) چنان‌که در بخش پیشین نیز بیان شد، با افزایش توان رقابتی یکی از تأمین‌کنندگان، برآیند قیمت تعیین‌شده توسط تأمین‌کنندگان (P_s) افزایش می‌یابد. این امر منجر به افزایش قیمت تولیدکننده، کاهش تقاضای بازار و در نهایت کاهش سود نهایی تولیدکننده خواهد شد. نتایج حاصل از این دو قسمت نشان می‌دهد که تفاوت بیشتر میان تأمین‌کنندگان منجر به کاهش سود تولیدکننده می‌شود، چرا که در این صورت یکی از تأمین‌کنندگان توان رقابتی و قدرت چانه‌زنی بیشتری خواهد داشت. بنابراین شباهت هرچه بیشتر تأمین‌کنندگان برای تولیدکننده سودآور خواهد



شکل ۲. تأثیر هزینه‌ی واحد تامین‌کنندگان.

بود. این مدل و نتایج حاصل از آن می‌تواند ما را در تصمیم‌گیری‌های مهم در رابطه با فاکتورهای عملیاتی یاری کند.

۳.۳. تأثیر فاکتور حساسیت به قیمت

نتایج به دست آمده در قسمت‌های قبل نشان داد که تأمین‌کننده‌ی با ظرفیت بالاتر، زمان تحویل کوتاه‌تری پیشنهاد می‌دهد، در حالی که تأمین‌کننده با هزینه‌ی تولید کم‌تر، قیمت کم‌تری را تعیین می‌کند. این نشان می‌دهد که در رقابت تعیین قیمت و مدت زمان تحویل، تأمین‌کنندگان از پارامترهای مختلف برای افزایش توان رقابتی خود استفاده می‌کنند. در اینجا به بررسی تأثیر فاکتور حساسیت نسبت به قیمت در تصمیم‌گیری تأمین‌کنندگان و همچنین تولیدکننده می‌پردازیم.

بدین‌منظور دو تأمین‌کننده‌ی رقیب را در نظر بگیرید که یکی ظرفیت بیشتر و دیگری هزینه‌ی تولید کم‌تری دارد؛ یعنی:

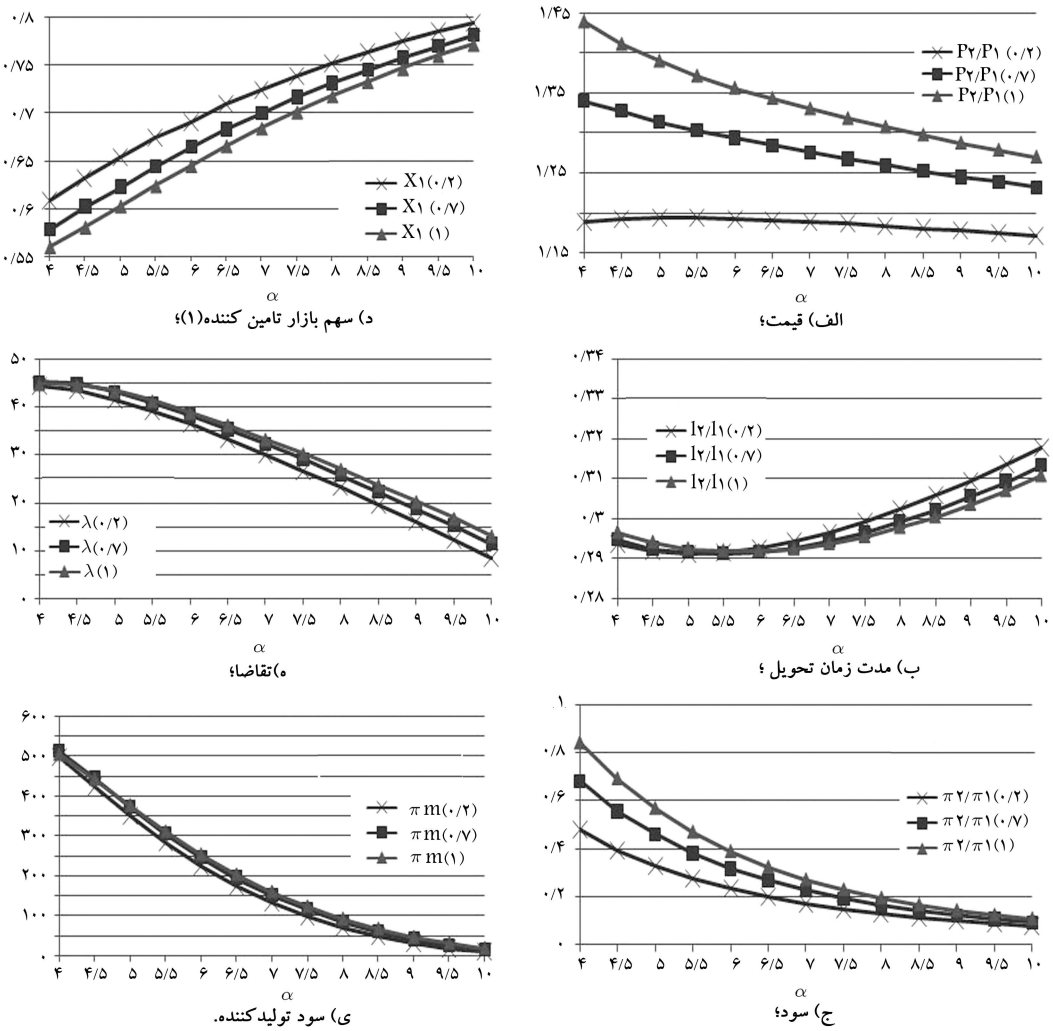
$$(\mu_1, c_1) = (200, 9) \text{ و } (\mu_2, c_2) = (600, 18)$$

در این حالت $\lambda_0 = 200$ است و تأثیر فاکتور حساسیت به قیمت برای مقادیر مختلف β (شامل ۰٫۱، ۰٫۷، ۰٫۲) در شکل ۳ نشان داده شده است. در این قسمت عمده نتایج حاصله عبارت است از:

الف) با فرض ثابت‌بودن تمامی فاکتورهای دیگر، افزایش حساسیت تقاضا به قیمت، به کاهش نسبت سود تأمین‌کننده‌ی ۲ به تأمین‌کننده‌ی ۱ ــ که هزینه‌ی تولید واحد بیشتری دارد ــ منجر می‌شود. این مطلب نشان می‌دهد که با افزایش حساسیت بازار نسبت به قیمت، توان رقابتی تأمین‌کننده‌ی ۲ ــ که همان ظرفیت بالای آن است ــ کم‌رنگ‌تر می‌شود و توان رقابتی تأمین‌کننده‌ی ۱ ــ که همان هزینه‌ی کمتر تولید است ــ نمود بیشتری پیدا می‌کند. این امر منجر به افزایش سهم بازار تأمین‌کننده‌ی ۱ به میزان قابل توجهی می‌شود.

ب) با افزایش فاکتور حساسیت نسبت به زمان (β) از مقدار ۰٫۲ به ۰٫۷ و سپس به ۱، این تأثیر، بر سود تأمین‌کننده‌ی ۲ کم‌تر خواهد شد، چرا که «ظرفیت بالا» به تأمین‌کننده‌ی ۲ اجازه می‌دهد پاسخ‌گوی حساسیت تولیدکننده به زمان باشد.

ج) با افزایش توان رقابتی تأمین‌کننده با هزینه‌ی تولید کم‌تر، در بازار با حساسیت بیشتر نسبت به قیمت، قیمت تعادلی تعیین‌شده توسط تأمین‌کنندگان (برخلاف قسمت قبل) کاهش می‌یابد و این امر منجر به کاهش قیمت‌های تعیین‌شده توسط تولیدکننده می‌شود؛ اما از آنجا که فاکتور حساسیت به قیمت نیز در حال افزایش است، تقاضا و در نتیجه سود تولیدکننده کاهش می‌یابد.



الف) قیمت؛ ب) مدت زمان تحویل ؛ ج) سود؛ د) سهم بازار تامین کننده(۱)؛ ه)تقاضا؛ ی) سود تولیدکننده.

شکل ۳. تأثیر فاکتور حساسیت به قیمت.

۴.۳. تأثیر فاکتور حساسیت به زمان

برای نشان‌دادن تأثیر این فاکتور همان مثال قسمت قبل را در نظر بگیرید. با این تفاوت که در این قسمت مقدار پارامتر β به‌صورت یکنواخت از مقدار ۳ تا ۶ تغییر خواهد کرد و برای سه حالت $\alpha = 6, 7, 8$ بررسی خواهد شد. نتایج حاصل از این بررسی در شکل ۴ نشان داده شده است. در این قسمت عمده نتایج حاصله عبارت است از:

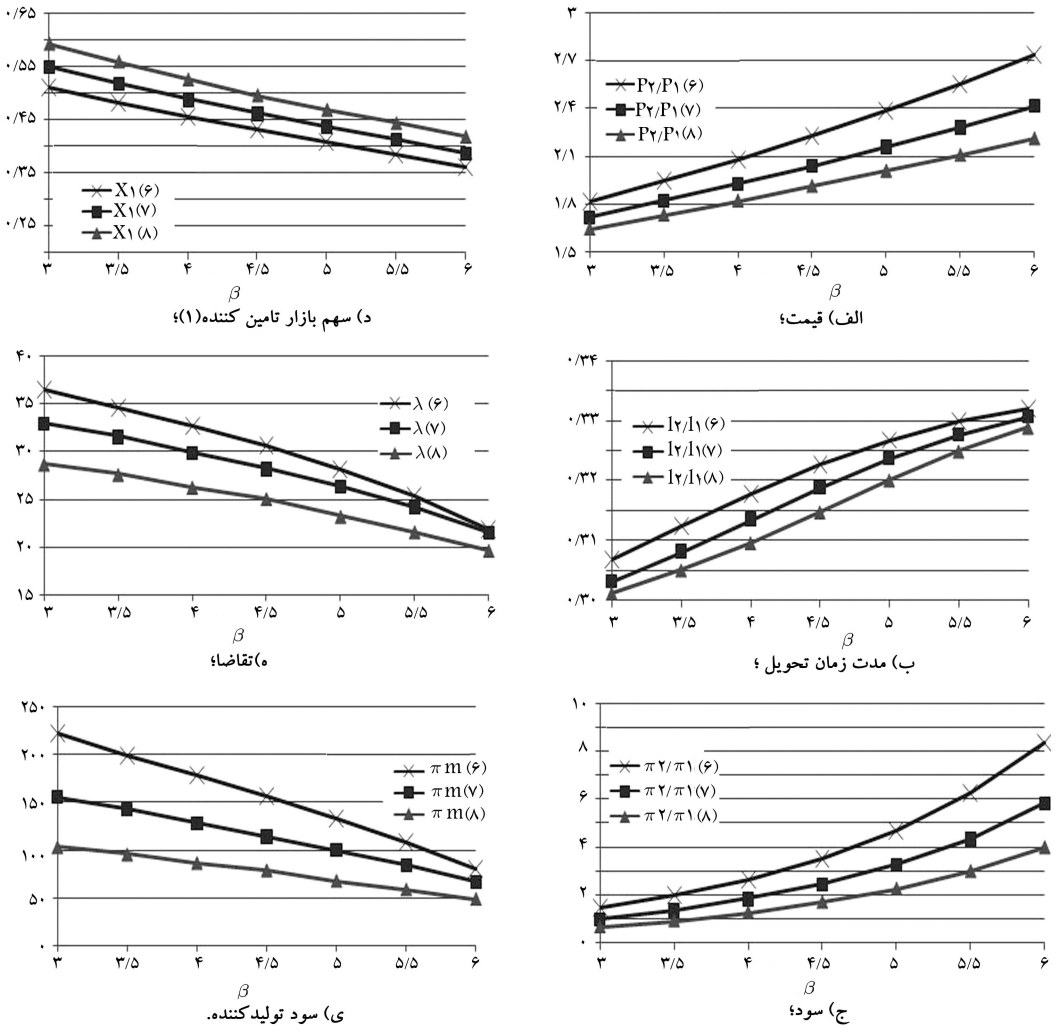
الف) با افزایش حساسیت تقاضا نسبت به زمان، سود تأمین‌کننده‌ی ۲ که ظرفیت بالاتری دارد نسبت به تأمین‌کننده‌ی ۱ که هزینه‌ی تولید واحد کم‌تری دارد، افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش حساسیت تولیدکننده نسبت به مدت زمان تحویل، مزیت رقابتی تأمین‌کننده‌ی ۲ (ظرفیت بالاتر) تأثیر بیشتری دارد و منجر به افزایش سهم بازار آن خواهد شد.

ب) هنگامی که فاکتور حساسیت بازار نسبت به قیمت افزایش می‌یابد، این تأثیر کم‌رنگ‌تر خواهد شد، چرا که تأمین‌کننده‌ی ۱ که توان تعیین قیمت پایین‌تری دارد می‌تواند تا حدی مزیت رقابتی کسب کند و تأثیر افزایش حساسیت تقاضا نسبت به قیمت کم‌رنگ‌تر خواهد شد.

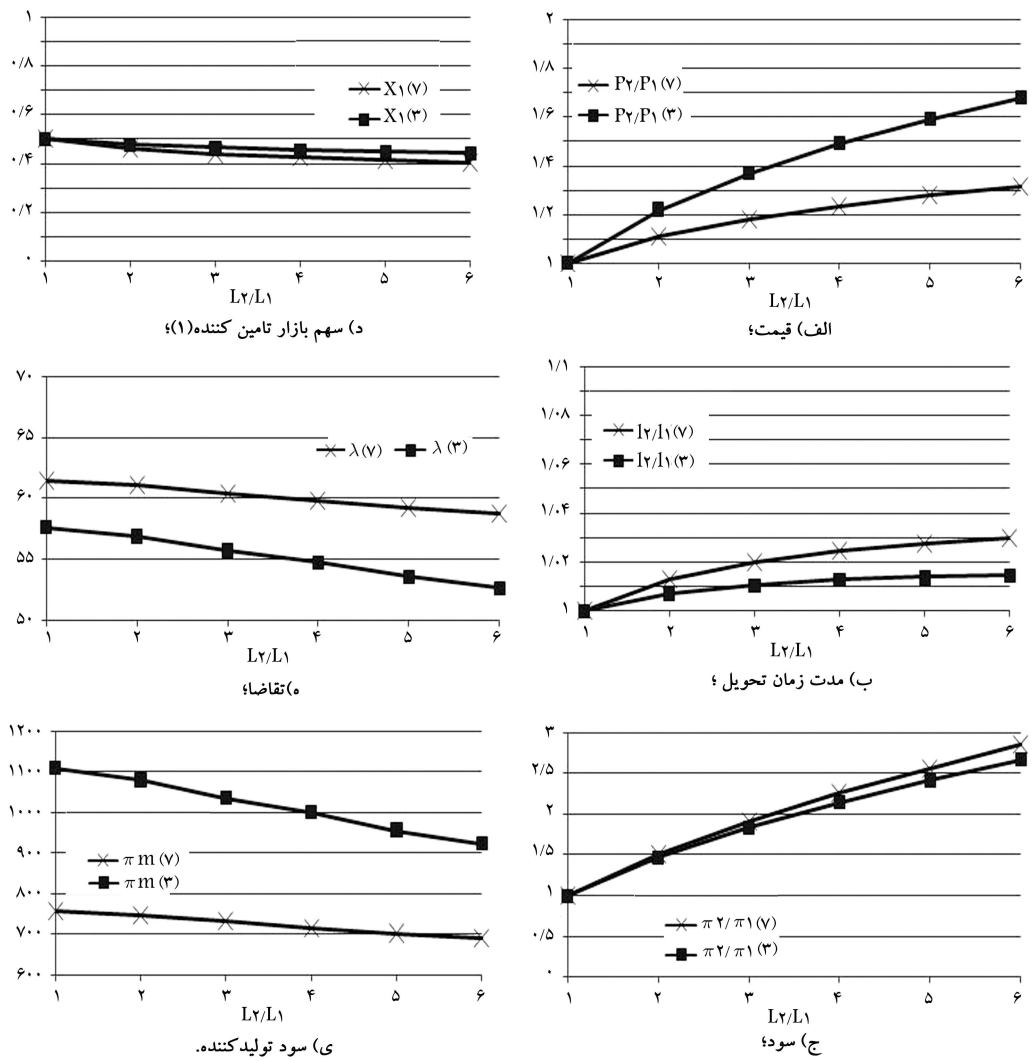
ج) با افزایش فاکتور حساسیت تولیدکننده به مدت زمان تحویل، تأمین‌کننده‌ی با ظرفیت بیشتر توان رقابتی بیشتر خواهد یافت و این منجر به افزایش برآیند قیمت تعیین‌شده توسط تأمین‌کنندگان و درنتیجه تولیدکننده خواهد شد. بنابراین تقاضای بازار کاهش یافته و سود تولیدکننده نیز کاهش می‌یابد.

۵.۳. تأثیر دیگر فاکتورهای رقابتی تأمین‌کنندگان

در قسمت‌های پیشین، به‌منظور حذف تأثیر دیگر فاکتورهای رقابتی تأمین‌کنندگان، فرض کردیم که مقدار آن‌ها ثابت و برابر $L_1 = L_2 = 1$ است. حال باید به این سؤال پاسخ دهیم که آیا با تغییر دیگر فاکتورهای رقابتی، شاهد همان تغییرات مشاهده شده در قسمت‌های پیشین خواهیم بود؟ برای پاسخ به این سؤال، مثالی را در نظر بگیرید که در آن $\mu_1 = \mu_2 = 400$، $c_1 = c_2 = 9$، $\beta = 0.5$، $c_m = 0.2$ و $\lambda_0 = 200$ است. در این مثال $L_1 = 1$ و $L_2 \geq 1$ در نظرگرفته شده و نتایج برای دو حالت $\alpha = 3$ و $\alpha = 5$ بررسی خواهد شد. نسبت قیمت، مدت زمان تحویل و سود تأمین‌کنندگان، تقاضا و سود تولیدکننده با افزایش نسبت L_2/L_1 مورد بررسی قرارگرفته است. این نتایج در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج حاصله در این مورد عبارت است از:



شکل ۴. تأثیر فاکتور حساسیت نسبت به زمان.



شکل ۵. تأثیر دیگر فاکتورهای رقابتی تأمین‌کنندگان.

الف) هنگامی که همه‌ی فاکتورها برای دو تأمین‌کننده برابرند، تأمین‌کننده با فاکتورهای رقابتی بالاتر، قیمت و مدت زمان تحویل بیشتری را نسبت به تأمین‌کننده‌ی دیگر پیشنهاد می‌دهد که این طبیعتاً باید منجر به سهم تقاضای کم‌تر آن شود، اما از آنجا که این فاکتورهای رقابتی مستقیماً بر سهم بازار تأمین‌کنندگان تأثیر دارد نه‌تنها منجر به افزایش سهم بازار می‌شود، بلکه سود تخصیص‌یافته به تأمین‌کننده‌ی مورد نظر نیز افزایش خواهد یافت.

ب) در هر حال، مزیت رقابتی تأمین‌کننده‌ی ۲ با افزایش حساسیت بازار نسبت به قیمت تأثیر کم‌تری بر نسبت‌های قیمت، مدت زمان تحویل، سود و سهم تقاضا خواهد داشت، چراکه این تأمین‌کننده در نتیجه‌ی این مزیت رقابتی، افزایش برآیند قیمت تأمین‌کنندگان را سبب می‌شود.

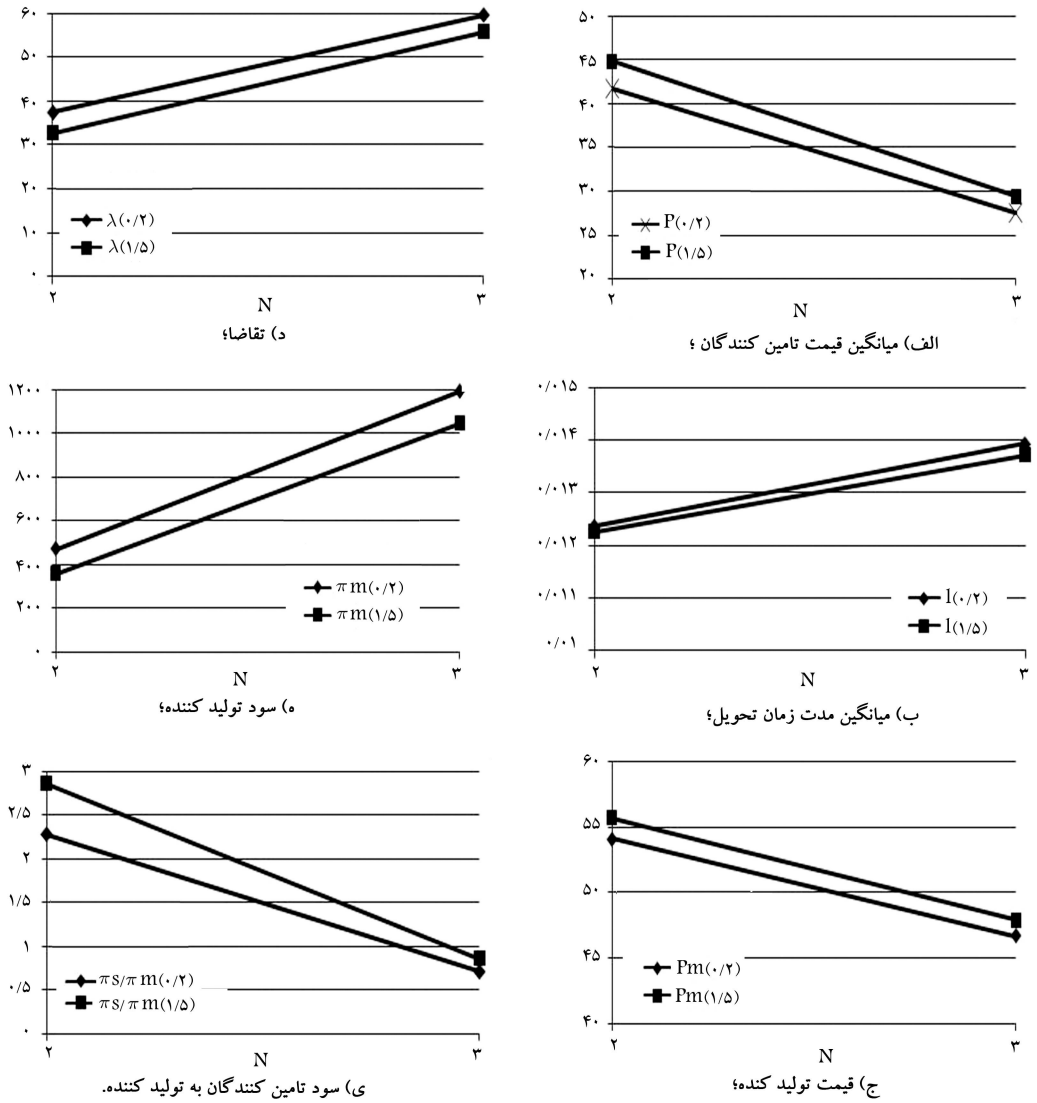
ج) با افزایش توان رقابتی یکی از تأمین‌کنندگان، برآیند قیمت تعیین‌شده توسط آنان افزایش یافته و این منجر به افزایش قیمت تولیدکننده، کاهش تقاضای بازار و نهایتاً کاهش سود نهایی تولیدکننده می‌شود. البته این مسئله با افزایش حساسیت بازار نسبت به قیمت کاهش قابل توجهی می‌یابد.

۶.۳. تأثیر تعداد تأمین‌کنندگان رقیب

پیش‌تر مشاهده کردید که در حالتی که تأمین‌کنندگان یکسان هستند با افزایش N، مقدار P، λ و همچنین سود، (π) کاهش خواهد یافت. حال می‌خواهیم این مورد را هنگامی که تولیدکنندگان وضعیت مشابهی ندارند، بررسی کنیم.

فرض کنید در مسئله‌یی $(\mu_۱, c_۱) = (۲۰۰, ۹)$، $(\mu_۲, c_۲) = (۴۰۰, ۱۸)$، $\alpha = ۳$، $\lambda_۰ = ۲۰۰$، $c_m = ۰/۲$ باشد و دو مقدار مختلف ۱/۵ و ۰/۲ را نیز برای β در نظر بگیرید. ابتدا پاسخ این مسئله را به دست آورده و جواب با حالتی که در آن یک تولیدکننده با $(\mu_۳, c_۳) = (۲۰۰, ۱۳/۵)$ به سطح دوم اضافه شود مقایسه خواهد شد. نتایج به دست آمده در شکل ۶ ارائه شده است. عمده نتایج حاصله در این مورد عبارت است از:

الف) با افزایش تعداد تأمین‌کنندگان نه‌تنها قیمت تعیین‌شده توسط هریک از تأمین‌کنندگان کاهش می‌یابد بلکه برآیند قیمت تأمین‌کنندگان نیز کاهش خواهد یافت و این منجر به افزایش مدت زمان تحویل آنان می‌شود. با توجه به کاهش برآیند قیمت تأمین‌کنندگان، قیمت تولیدکننده کاهش می‌یابد و این منجر به افزایش چشمگیر تقاضا و سود تولیدکننده می‌شود.



شکل ۶. تأثیر تعداد تأمین‌کنندگان رقیب.

ب) با افزایش رقابت در سطح تأمین‌کنندگان، نسبت سود سطح ۲ (تأمین‌کنندگان) به سطح ۱ (تولیدکننده) کاهش می‌یابد. اما با افزایش حساسیت بازار نسبت مدت زمان تحویل، این روند نه‌تنها کم‌تر می‌شود بلکه با افزایش مقدار β تا ۱/۵ این تأثیر حذف خواهد شد.

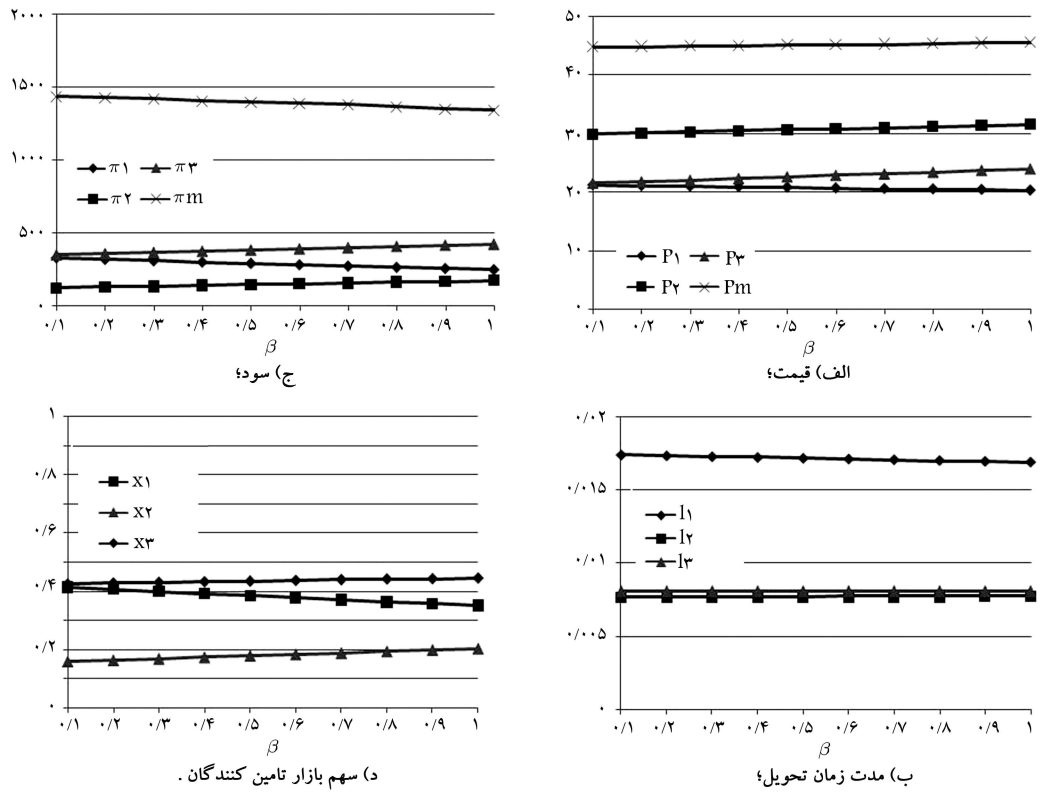
۴. مزیت رقابتی تأمین‌کننده برتر

نتایج عددی به دست آمده در قسمت‌های قبل نشان می‌دهند که چنانچه یک تأمین‌کننده نسبت به دیگر تأمین‌کنندگان ظرفیت بیشتر و هزینه‌ی تولید کم‌تری داشته باشد، اگر رقابت میان دو تأمین‌کننده باشد، تأمین‌کننده‌ی برتر هم قیمت و هم مدت زمان تحویل کم‌تری را پیشنهاد خواهد داد. حال باید به بررسی این مسئله بپردازیم که آیا در حالتی که بیش از دو تأمین‌کننده وجود دارد نیز این حالت برقرار است. یعنی، آیا همچنان شرکت با ظرفیت بیشتر و هزینه‌ی تولید کم‌تر، قیمت کم‌تر و مدت زمان تحویل کوتاه‌تری پیشنهاد خواهد داد؟

در این بخش، از این مدل برای تحلیل این مسئله استفاده می‌شود. مثالی را در نظر بگیرید که در آن $(\mu_1, c_1) = (۲۰۰, ۹)$، $(\mu_2, c_2) = (۴۰۰, ۱۸)$، $(\mu_3, c_3) = (۴۰۰, ۹)$. بنابراین تأمین‌کننده‌ی ۳ برتر است چرا که ظرفیت بیشتر و هزینه‌ی تولید کم‌تری نسبت به دیگر تأمین‌کنندگان دارد. هزینه‌ی تولید تأمین‌کننده‌ی ۱ برابر با هزینه‌ی تولید تأمین‌کننده‌ی ۳ است و ظرفیت تأمین‌کننده‌ی ۲ با ظرفیت تأمین‌کننده‌ی ۳ برابر است، اما این تأمین‌کنندگان در دیگر زمینه‌ها رقیب تأمین‌کننده‌ی ۳ نیستند. با قراردادن $\alpha = ۳$، $\lambda_0 = ۲۰۰$، $c_m = ۰/۲$ و با تغییر $\beta = ۰ - ۱$ به بررسی این مسئله خواهیم پرداخت. نتایج حاصله در شکل ۷ نشان داده شده است. در این قسمت عمده نتایج حاصله به شرح ذیل است:

الف) تأمین‌کننده‌ی ۳ با ظرفیت بیشتر و هزینه‌های تولید پایین‌تر، سود و سهم بازار بیشتری نسبت به دیگر تأمین‌کنندگان دارد. روند تغییر سود و سهم بازار در نزد تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ عکس یکدیگرند. یعنی سود و سهم بازار تأمین‌کننده‌ی ۲ در حال افزایش است، در حالی که سود و سهم بازار تأمین‌کننده‌ی ۱ کاهش می‌یابد.

ب) تأمین‌کننده‌ی ۳ لزوماً قیمت پایین‌تر و مدت زمان تحویل بهتری را پیشنهاد



شکل ۷. مزیت رقابتی تولیدکننده برتر.

نمی‌دهد، که این امر تعجب‌برانگیز است. یک توضیح قانع‌کننده این است که چون تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ فقط در یکی از ابعاد مزیت رقابتی دارند (هزینه یا ظرفیت)، سعی دارند تا با بهره‌گیری از همان بعد وضعیت خود را بهبود دهند. درنتیجه، تأمین‌کننده‌ی ۱ همواره قیمت پایین‌تر و تأمین‌کننده‌ی ۲ همواره مدت زمان تحویل کوتاه‌تری را پیشنهاد خواهد داد. پیداست که تأمین‌کننده‌ی ۳ در هر دو بعد دارای مزیت رقابتی است و نیاز به رقابت فقط در یک جنبه ندارد و درنتیجه، قیمت و مدت زمان تحویل تعیین‌شده توسط او کم‌ترین مقادیر نیستند. این نکته نشان می‌دهد که تأمین‌کننده‌ی ضعیف‌تر برای حفظ سهم بازار خود (بقا) در برخی از ابعاد در بازار رقابت می‌کند.

ج) مزیت پیشنهاد مدت زمان تحویل کوتاه‌تر، در بازار حساس به زمان، به‌طورکامل در شکل ۷ نشان داده شده است. چنان که ملاحظه می‌کنید در $\beta = 0$، تفاوت قیمت، سود و سهم بازار میان سه تأمین‌کننده فقط به هزینه‌های تولیدی واحد تأمین‌کنندگان بستگی دارد. به‌طور خاص تأمین‌کننده‌ی ۱ و تأمین‌کننده‌ی ۳ قیمت کم‌تر و برابر پیشنهاد می‌کنند. در هر حال با افزایش β، تأمین‌کننده‌ی ۳ قیمت خود را افزایش خواهد داد، در حالی که تأمین‌کننده‌ی ۱ قیمت خود را کاهش می‌دهد و این به‌دلیل توان رقابتی تأمین‌کننده‌ی ۳ در تحویل کالا در مدت زمان کوتاه‌تر است. در این حالت همواره تأمین‌کننده‌ی ۱ کم‌ترین قیمت و تأمین‌کننده‌ی ۲ بیشترین قیمت را پیشنهاد می‌دهند.

د) همان‌طورکه در شکل ۷ دیده می‌شود، از آنجا که تأمین‌کننده‌ی ۱ ظرفیت کم‌تری نسبت به تأمین‌کنندگان ۲ و ۳ دارد، با افزایش حساسیت بازار نسبت به زمان نه‌تنها قیمت و مدت تحویل، بلکه سهم بازار و سود آن نیز کاهش یافته و شرایط برای او دشوارتر می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری

در این نوشتار یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و تعدادی تأمین‌کننده که برای کسب سهم بازار بیشتر با یکدیگر رقابت می‌کنند، مورد بررسی قرار گرفت. فرض شد که تقاضا برای این زنجیره‌ی تأمین قطعی، و وابسته به قیمتِ تعیین‌شده توسط تولیدکننده است. تولیدکننده نیز برای تسهیم تقاضا به تأمین‌کنندگان از قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده توسط آنان به‌عنوان فاکتورهای رقابتی استفاده کرده و بدین‌ترتیب سهم بازار هریک را مشخص می‌کند. برای مدل‌کردن مسئله، از یک بازی استکلبرگ بین دو سطح زنجیره‌ی تأمین، که در آن تولیدکننده نقش پیشرو و تأمین‌کنندگان نقش پسرو را ایفا می‌کنند، استفاده شد. برای تصمیم‌گیری در سطح تأمین‌کنندگان، از آنجا که به‌طور هم‌زمان و مستقل به تعیین پارامترهای قیمت و مدت زمان تحویل می‌پردازند، از مفهوم نقطه‌ی تعادلی نش استفاده شد و ثابت شد که با استفاده از یک الگوریتم تکراری می‌توان به جواب بهینه دست یافت. در نهایت، تأثیر پارامترهای مختلف ــ ازجمله ظرفیت تأمین‌کنندگان، هزینه‌ی تولید واحد تأمین‌کنندگان، دیگر فاکتورهای رقابتی تأمین‌کنندگان، فاکتورهای حساسیت بازار به قیمت و مدت زمان تحویل برنامه‌ریزی‌شده، تعداد تأمین‌کنندگان رقیب و مزیت رقابتی تأمین‌کننده برتر بر جواب تعادلی ــ نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

مسئله‌ی بررسی‌شده در این نوشتار را می‌توان در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار داد که در ادامه به برخی از این موارد اشاره می‌کنیم: ۱. این مدل و نتایج حاصل از آن براساس شکل خاصی از تابع سهم بازار و ساختار هزینه‌یی بود که می‌توان آن را با توابع دیگر سهم بازار و یا توابع هزینه‌یی دیگر نیز مورد مطالعه قرار داد. ۲. در این

مسئله فرض بر این بود که سهم بازار با استفاده از رابطه‌ی مشخصی به دست می‌آید، در صورتی که می‌توان آن را به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفت که تولیدکننده برای تعیین آن تصمیم‌گیری می‌کند. ۳. در این نوشتار، زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز مورد بررسی قرار گرفت. بهتر این است زنجیره‌ی تأمین متمرکز در دو حالت دیگر نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد: الف) مشارکت میان تأمین‌کنندگان، ب) مشارکت میان تأمین‌کنندگان و تولیدکننده و مقایسه‌ی نتایج حاصله با نتایج حالت غیرمتمرکز. ۴. در این مسئله تقاضا قطعی در نظر گرفته شده است، در حالی که در دنیای واقعی این طور نیست و می‌توان آن را به تقاضای غیرقطعی توسعه داد. ۵. در این نوشتار در سطح اول زنجیره‌ی تأمین، تنها یک تولیدکننده وجود دارد که می‌توان حالت رقابتی را برای تعداد بیشتری تولیدکننده نیز توسعه داد. ۶. در اینجا فرض بر این بود که مدت زمان تحویل تنها بر سهم بازار تأمین‌کنندگان تأثیرگذار است، در تحقیقات آتی می‌توان یک تابع هزینه برای مدت زمان تحویل شامل هزینه‌ی نگه‌داری موجودی و هزینه‌ی تأخیر در برآورده ساختن تقاضا را در نظر گرفت که در دنیای واقعی کاربرد بیشتری دارد.

پانوشت

1. two-echelon supply chain
2. manufacturer
3. supplier
4. leader
5. follower
6. Stackelberg game
7. Nash equilibrium
8. scale economies
9. multiplicative competetive interaction
10. oligopoly

منابع (References)

1. Lederer, P.J. and Li, L. "Pricing, production, scheduling, and delivery-time competition", *Operations Research,* **45**(3), pp. 407-420, (1997).
2. So, K.C. "Price and time competition for service delivery", *Manufacturing and Service Operations Management,* **2**(4), pp. 392-409 (Fall 2000).
3. Li, L. and Lee, Y.S. "Pricing and delivery-time performance in a competitive environment", *Management Science,* **40**(5), pp. 633-646 (May 1994).
4. Liu, L.; Parlar, M. and Zhu, S.X. "Pricing and lead time decisions in decentralized supply chains", *Management Science,* **53**(5), pp. 713-725 (May 2007).
5. Cachon, G.P. and Harker, P.T. "Competition and outsourcing with scale economies", *Management Science,* **48**(10), pp. 1314-1333 (October 2002).
6. Ha, A.Y.; Li, L. and Ng, S. "Price and delivery logistics competition in a supply chain", *Management Science,* **49**(9), pp. 1139-1153 (September 2003).
7. Mendelson, H. and Whang, H.S. "Optimal incentive compatible priority pricing for the M/M/1 queue", *Operational Research,* **38**, pp. 870-883 (1990).
8. Stidham, M. "Pricing and capacity decision for a service facility: Stability and multiple local optima", *Management Science,* **38**, pp. 1121-1139 (1992).
9. Cooper, L.G. and Nakanishi, M., *Market-Share Analysis,* Kluwer, Norwell, Massachusetts (1988).
10. Lilien, G.L.; Kother, P. and Moorthy, K.S., *Marketing Models,* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (1992).

پیوست

اثبات لم ۱: با دوبار مشتق‌گیری از π_m نسبت به p_m می‌توان نشان داد که $\pi_m(p_m, p_i, l_i)$ نسبت به p_m معقر است. پس با مساوی صفر قراردادن سمت راست مشتق اول π_m نسبت به p_m مقدار p_m^* به دست می‌آید.

$$\pi_m(p_m,p_i,l_i) = (p_m - \sum_{i=1}^{N} x_i p_i - c_m)\lambda(p_m)$$
$$= (p_m - \sum_{i=1}^{N} x_i p_i - c_m)(\lambda_0 - \alpha p_m)$$
$$\frac{\partial \pi_m}{\partial p_m} = (\lambda_0 - \alpha p_m) - \alpha(p_m - \sum_{i=1}^{N} x_i p_i - c_m)$$
$$\frac{\partial^2 \pi_m}{\partial p_m^2} = -2\alpha < 0 \rightarrow \text{مقعر}$$
$$\frac{\partial \pi_m}{\partial p_m} = 0 \rightarrow \lambda_0 - 2\alpha p_m + \alpha c_m = 0$$
$$\rightarrow p_m^* = \frac{1}{2}(p_m^{\max} + \sum_{i=1}^{N} x_i p_i + c_m)$$

نشان دادن این که رابطه‌ی ۱۴ برقرار است نیز ساده است زیرا:

$$p_m^{\max} > \sum_{i=1}^{N} x_i p_i + c_m$$

با جایگزینی مقدار p_m^* در تابع سود تولیدکننده نتیجه ذیل حاصل می‌شود:

$$\pi_m^* = (p_m - \sum_{i=1}^{N} x_i p_i - c_m)\lambda$$

با جایگزینی مقدار p_m^* در رابطه‌ی λ داریم:

$$\lambda = \frac{1}{2}(\lambda_0 - \alpha(\sum_{i=1}^{N} x_i p_i + c_m))$$

پس:

$$\pi_m^* = \frac{\lambda^2}{\alpha}$$

اثبات قضیه ۱: در ابتدا نشان داده می‌شود که الگوریتم تکراری همواره به نقطه‌ی تعادل نش همگرا است. اگر $l_i^{(k)}$ و $p_i^{(k)}$ جواب به دست آمده در kامین تکرار الگوریتم باشد باید ثابت شود که $l_i^{(k)}$ و $p_i^{(k)}$ نسبت به k صعودی است. از آنجا که $p_i^{(k)}$ بیشترین قیمتی که تأمین‌کننده می‌تواند اختیار کند، $\bar{p}$ است، می‌توان نتیجه گرفت که $p_i^{(k)}$ (و درنتیجه $l_i^{(k)}$) همگراست. با توجه تعریف، $p_i^{(0)} = c_i$ و $l_i^{(0)} = \frac{k}{\mu_i}$ است. کاملاً مشهود است که برای همه‌ی مقادیر k، $p_i^{(k)} > c_i$ و $l_i^{(k)} > \frac{k}{\mu_i}$ خواهد بود. به‌طور خاص، برای تمامی مقادیر i، $p_i^{(0)} > p_i^{(1)}$ و $l_i^{(0)} > l_i^{(1)}$. حال فرض کنید $p_i^{(k)} > p_i^{(k-1)}$ و $l_i^{(k)} > l_i^{(k-1)}$، برای تمامی مقادیر i و $k < n$، حالا $k = n$ را در نظر بگیرید:
γ_i^k در مسئله‌ی بهینه‌سازی تأمین‌کننده‌ی i نشان‌دهنده‌ی مجموع مطلوبیت دیگر تأمین‌کنندگان در تکرار k است. پس:

$$\gamma_1^{(n)} = \frac{1}{L_1}\sum_{j=2}^{N} L_j (p_j^{(n-1)})^{-\alpha}(l_j^{(n-1)})^{-\beta}$$
$$\leq \frac{1}{L_1}\sum_{j=2}^{N} L_j (p_j^{(n-2)})^{-\alpha}(l_j^{(n-2)})^{-\beta} = \gamma_1^{(n-1)}$$

که این نامعادله با توجه به فرض استقرا برقرار است. پس از تعریف ۱ داریم: $p_1^{(n)} > p_1^{(n-1)}$ و $l_1^{(n)} > l_1^{(n-1)}$. فرض کنید $p_j^{(n)} > p_j^{(n-1)}$ و $l_j^{(n)} > l_j^{(n-1)}$ برای همه‌ی $j = 1, 2, ..., t-1$. آنگاه، از فرض استقرا خواهیم داشت:

$$\gamma_t^{(n)} = \frac{1}{L_t}\sum_{j=2}^{N} L_j (p_j^{(n-1)})^{-\alpha}(l_j^{(n-1)})^{-\beta}$$
$$\leq \frac{1}{L_t}\sum_{j=2}^{N} L_j (p_j^{(n-2)})^{-\alpha}(l_j^{(n-2)})^{-\beta} = \gamma_t^{(n-1)}$$

با استفاده‌ی دوباره از تعریف ۱ خواهیم داشت: $p_t^{(k)} > p_t^{(k-1)}$ و $l_t^{(k)} > l_t^{(k-1)}$ برای همه‌ی تأمین‌کنندگان، که استقرا را کامل می‌کند.

اکنون نشان داده می‌شود که نقطه‌ی تعادل نش باید منحصر به فرد باشد. در ابتدا جواب تعادلی به‌صورت تابعی از مطلوبیت یک تأمین‌کننده $A_i = L_i p_i^{-\alpha} l_i^{-\beta}$ بیان می‌شود. برای هر مقدار داده شده $(A_1, A_2, ..., A_N)$ همه‌ی l_iها با توجه به رابطه‌ی:

$$(\mu_i - \frac{\lambda p_i^{-\alpha} l_i^{-\beta}}{p_i^{-\alpha} l_i^{-\beta} + \gamma_i})l_i = k$$

و همه‌ی p_iها با توجه به رابطه‌ی $p_i(l_i)$ به صورت منحصر به فرد تعریف می‌شوند. فرض کنید دو جواب تعادلی مختلف وجود داشته باشد که به‌صورت $\phi = (A_1, A_2, ..., A_N)$ و $\phi' = (A'_1, A'_2, ..., A'_N)$ نمایش داده شوند. اگر $A' = (1 + r_i) A_i$ باشد، با شماره‌گذاری تأمین‌کنندگان و دو جواب به‌صورت مناسب می‌توان فرض کرد $r_1 \geq r_2 \geq ... \geq r_N$ و $r_1 > 0$. در ابتدا باید داشته باشیم $r_2 > 0$، در غیر این صورت این مسئله نشان می‌دهد که $r_i < 0$ برای همه‌ی $i \geq 2$، یا به‌طور معادل $A_i \geq A'_i$ برای همه‌ی $i \geq 2$. از آنجا که ϕ و ϕ' هر دو جواب‌های تعادلی‌اند، با استفاده از تعریف ۱ می‌توان انتظار داشت که قیمت و مدت زمان بهینه مسئله‌ی تأمین‌کننده‌ی ۱ تحت ϕ باید کم‌تر از مقدار ϕ' باشد. یعنی:

$$A_1 = L_1 p_1^{-\alpha} l_1^{-\beta} \geq L_1 (p'_1)^{-\alpha}(l'_1)^{-\beta} = A'_1 = (1 + r_1)A_1$$

با توجه به $r_1 > 0$. مسئله‌ی مربوط به تأمین‌کننده‌ی ۱ را با مطلوبیت تأمین‌کننده‌های $i \geq 2$ به‌صورت $A''_i = (1 + r_2) A_i$ در نظر بگیرید. اگر (p''_1, l''_1) جواب بهینه‌ی حاصل از این مسئله باشد، پس حالت تساوی محدودیت سطح خدمت برقرار خواهد بود:

$$(\mu_1 - \frac{\lambda A''_1}{A''_1 + (1 + r_2)(A_2 + ... + A_N)})l''_1 = k$$

از سوی دیگر، از آنجا که $\phi = (A_1, A_2, , A_N)$ جواب تعادلی است، پس داریم:

$$(\mu_1 - \frac{\lambda A_1}{A_1 + A_2 + ... + A_N})l_1 = k$$

که در آن (p_1, l_1) جواب تعادلی به کارگرفته شده در A_1 در ϕ است. از آنجا که $r_2 > 0$ است، پس برای همه‌ی $i \geq 2$، $A''_i = (1 + r_2)A_i > A_i$ است، $A''_i > A_i$ خواهد بود و در نتیجه با استفاده از تعریف ۱، $l''_1 > l_1 > 0$ به دست خواهد آمد. با استفاده از دو رابطه‌ی بالا رابطه‌ی ذیل به دست می‌آید:

$$\mu_1 - \frac{\lambda A''_i}{A''_1 + (1 + r_2)(A_2 + ... + A_N)}$$
$$> \mu_1 - \frac{\lambda A_1}{A_1 + A_2 + ... + A_N}$$

که نشان می‌دهد:

$$A''_1 < (1 + r_2)A_1$$

حل مسئله‌ی بهینه‌سازی تأمین‌کننده ۱ با جواب تعادلی ϕ' را در نظر بگیرید. از آنجا که برای $j > 2$ داریم $r_j \leq r_2$، پس برای همه‌ی $i \geq 2$ خواهیم داشت $A'_i \leq A''_i$. از تعریف ۱ مقدار $p'_1 \geq p''_1$ و $l'_1 \geq l''_1$ به دست می‌آید. بنابراین:

$$A''_1 = L_1 (p''_1)^{-\alpha}(l''_1)^{-\beta} \geq L_1 (p'_1)^{-\alpha}(l'_1)^{-\beta} = A'_1 = (1 + r_1)A_1$$

با ترکیب دو رابطه‌ی اخیر خواهیم داشت:

$$(1 + r_2)A_1 > A''_1 \geq (1 + r_1)A_1$$

که با فرض اولیه که $r_2 \geq r_1$ است در تناقض است. پس، جواب تعادلی باید منحصر به فرد باشد.