https://doi.org/10.22034/ijts.2023.2014803.3918

فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۱۰۹، دورهٔ ۲۸، زمستان ۱۴۰۲، ۱۷۵-۱۴۷

# مقاله پژوهشی: یک رویکرد نظریه بازی‌ها در مسئله انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن دو سناریوی همکاری و قرارداد تخفیف

آزاده مبینی * داود محمدی تبار **

دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۲ بازنگری: ۱۴۰۲/۹/۲۱ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱

انتخاب تأمین‌کننده / بازی همکارانه / تقسیم منافع / استکلبرگ / قرارداد تخفیف

## چکیده

در این مقاله مسئله انتخاب تأمین‌کننده در دو حالت همکاری و رقابتی موردبررسی قرارگرفته است. تأمین‌کنندگان محدودیت ظرفیت نداشته و بر اساس سیاست ارسال در حین تولید رفتار می‌کنند. دو سناریوی قرارداد فروش با استفاده از روش‌های تئوری بازی‌ها در نظر گرفته‌شده است. سناریوی اول شامل بازی همکارانه در قرارداد قیمت عمده‌فروشی و تقسیم سود به سه روش شاپلی، ارزش و روش حداقل هسته است. سناریوی دوم، بازی رقابتی استکلبرگ شامل سیاست تأمین‌کننده رهبر در قرارداد تخفیف است. در این تحقیق با بررسی ویژگی‌های ساختار بازی، نشان داده‌شده است که مدل بازی همکارانه جوابی پایدار در راستای کاهش هزینه‌های کل سیستم دارد و هزینه فرصت هر واحد ظرفیت تولید، دارای نقشی تعیین‌کننده در مسئله انتخاب تأمین‌کننده است. پس از تعیین توابع عایدی بازیکن‌ها در هر سناریو، نقاط تعادل بازی مشخص‌شده و نهایتاً با حل یک مثال عددی، عایدی هرکدام از بازیکن‌ها و کل زنجیره مقایسه شده است. منافع کل

*. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
mobini_d@yahoo.com

**. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
d_mohammaditabar@azad.ac.ir

■ داود محمدی‌تبار مبینی، نویسنده مسئول

زنجیره در حالت همکاری بهتر از حالت رقابتی است. خریدار بیشترین منفعت را در تقسیم سود به روش ارزش کسب می‌کند در حالیکه روش شاپلی بیشترین منفعت را برای تأمین‌کنندگان دارد.

طبقه‌بندی JEL: L11, C61

## ۱. مقدمه

انتخاب تأمین‌کننده مناسب گامی ضروری در طراحی زنجیره‌تأمین است. در بیشتر صنایع هزینه مواد خام و اجزای تشکیل‌دهنده محصول قسمت عمده‌ای از بهای تمام‌شده محصول را در برمی‌گیرد. در چنین شرایطی عملکرد تأمین‌کنندگان می‌تواند نقش کلیدی را در کارایی و اثربخشی سازمان ایفا نماید و تأثیر مستقیمی بر روی کاهش هزینه‌ها، سودآوری و انعطاف‌پذیری یک شرکت داشته باشد. بنابراین ایجاد هماهنگی با تأمین‌کنندگان و انتخاب مکانیسم‌های مناسب که دربرگیرنده منافع همه اعضا باشد گامی ضروری در تداوم و ثبات زنجیره‌تأمین است. مکانیسم‌های هماهنگی که بین اعضای زنجیره‌تأمین ایجاد می‌شوند می‌توانند امکان بهبود عملکرد زنجیره‌تأمین را به‌عنوان یک کل فراهم آورند. ازاین‌رو بررسی مکانیسم‌های هماهنگی زنجیره‌تأمین و لحاظ نکات لازم در عواید حاصل از آن، در بهبود روند ارتباطات اعضای یک زنجیره بسیار اثربخش است.

در این مطالعه دو سناریو همکارانه[1] و رقابتی[2] جهت انتخاب تأمین‌کننده و ایجاد هماهنگی در زنجیره‌تأمین موردبررسی قرار می‌گیرد. در این خصوص، این تحقیق بر مبنای رویکرد نظریه بازی‌ها به بررسی یک زنجیره‌تأمین دوسطحی می‌پردازد که متشکل از یک خریدار و چندین تأمین‌کننده است. تأمین‌کنندگان محصولات خود را بر اساس سیاست ارسال در حین تولید برای خریدار ارسال می‌کنند که از این طریق در هزینه‌های راه‌اندازی تولید صرفه‌جویی خواهد شد. خریدار بر اساس سیاست انباشته سفارش اقتصادی[3] عمل کرده و سعی در انتخاب یک تأمین‌کننده دارد، به‌نحوی‌که در هر سناریو، مناسب‌ترین عایدی نصیب او شود. قرارداد قیمت عمده‌فروشی در رویکرد همکارانه مورد بررسی قرار گرفته، و چگونگی تشکیل ائتلاف و نحوه تسهیم عواید بازیکنان با استفاده از سه روش مختلف مطالعه شده است. در ادامه قرارداد تخفیف در حالت رقابتی که خریدار و تأمین‌کننده هر یک در پی بالا بردن سود خود هستند موردبررسی قرار گرفته است.

1. Cooperative
2. Non-cooperative
3. Economic Order Quantity

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پژوهش‌های انجام‌شده مرتبط با مباحث این مقاله، به دو بخش مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده و مکانیسم‌های هماهنگی تقسیم می‌شوند. ادبیات مربوط به مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده کالا را نیز می‌توان به دو حوزه اصلی از مدل‌های توصیفی و تحلیلی تقسیم نمود. محققان مطالعات توصیفی، معیارهای اصلی در انتخاب تأمین‌کننده را مطالعه و روند آن را ارزیابی کرده‌اند. به‌طور مثال وایند[1] و همکاران به این نتیجه رسیدند که اکثر تصمیم‌گیری‌ها در انتخاب فروشنده، شامل معیارهای چندگانه است. در سال‌های اخیر هو[2] و همکاران تمام روش‌های چند معیاره انتخاب تأمین‌کننده را در مجلات بین‌المللی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین معیار مورداستفاده در ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان کیفیت است، و پس‌ازآن تحویل، قیمت یا هزینه قرار دارند. کبگانی و شاهبندرزاده (۱۳۹۸) به بررسی معیارهای انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره‌تأمین تاب آور پرداخته و نتیجه‌گیری کردند که معیارهای قیمت، کیفیت و ایمنی برترین معیارها هستند.

درخصوص مدل‌های تحلیلی در انتخاب تأمین‌کننده، تکنیک‌های متعددی با لحاظ کردن معیارهای مختلف توسعه داده شده است. در تحلیلی از ادبیات، وبر[3] و همکاران با بررسی ۷۴ مقاله در انتخاب تأمین‌کننده، به بررسی معیارها و تکنیک‌های مختلف انتخاب تأمین‌کننده در طول ۲۵ سال گذشته پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بسیاری مقالات از تکنیک‌های وزن دهی خطی برای انتخاب تأمین‌کننده استفاده کرده‌اند. عمید[4] و همکاران پارامترهای فازی را در مدل انتخاب تأمین‌کننده خود در نظر گرفتند. چودهری[5] و شانکار مسئله تعیین اندازه انباشته موجودی و انتخاب تأمین‌کننده را با مسئله انتخاب حمل‌کننده ادغام نمودند. محمدی‌تبار[6] و قدسی‌پور یک مدل انتخاب تأمین‌کننده را با در نظر گرفتن سفارش هم‌زمان اقلام بهبود دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که این روش در مسئله انتخاب تأمین‌کننده می‌تواند سبب کاهش هزینه‌های زنجیره‌تأمین گردد. صالحی و سیاح (۱۳۹۵) به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار

1. Wind, (1968).
2. Ho, (2010).
3. Weber, (1991).
4. Amid, (2011)
5. Choudhary, (2013).
6. Mohammaditabar, (2016).

بر اساس رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با داده‌های خاکستری پرداختند. حاجتی و همکاران (۱۳۹۸) یک رویکرد چند مرحله‌ای فازی برای شناسایی معیارها، رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان، گروه‌بندی اقلام و تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان ارائه دادند. آنها سه هدف کاهش هزینه‌ها، افزایش مطلوبیت تأمین‌کنندگان انتخاب شده و کاهش تغییر تعداد تأمین‌کنندگان را لحاظ کردند. اوادنی[1] و چای[2] مروری بر تحقیقات اخیر در انتخاب تأمین‌کننده انجام داده و زمینه‌های تحقیقاتی آتی را پیشنهاد داده‌اند.

بسیاری از این تحقیقات بر اساس دیدگاه منافع خریدار به موضوع نگاه می‌کنند و مطالعه مکانیزم‌های بر اساس منافع کل میان خریدار و تأمین‌کننده کمتر مورد توجه قرارگرفته است[3] . در این راستا، تضاد منافع میان خریدار و تأمین‌کننده موجب پیچیدگی مدل‌سازی بر اساس منافع کل می‌شود، بنابراین برخی از محققین منافع کل را در یک زنجیره متمرکز مورد توجه قرار داده‌اند. خلجانی[4] و همکاران با اشاره به اهمیت توجه به منافع کل زنجیره در مسئله انتخاب تأمین‌کننده، یک مدل انتخاب تأمین‌کننده را بر اساس به حداقل رساندن کل هزینه زنجیره‌تأمین پیشنهاد دادند. آن‌ها از طریق نمونه‌های عددی نشان دادند که هزینه‌ی کل سیستم در مدل آن‌ها در مقایسه با مدل قدسی‌پور[5] و اوبراین که از نقطه‌ی دید خریدار بررسی‌شده است، کاهش خواهد یافت. کمالی[6] و همکاران اظهار داشتند که هماهنگی خریدار- فروشنده در انتخاب تأمین‌کننده کالا به‌ندرت با احتساب تخفیف در نظر گرفته‌شده است. آن‌ها مدل چند هدفه (سپس تبدیل به یک هدف واحد) را در یک زنجیره‌تأمین چند منبعی با تخفیف کلی ارائه کردند. تابع هدف آن‌ها متشکل از عملکرد کل زنجیره‌تأمین بود. اسماعیلی نجف آبادی[7] و همکاران مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش را در یک زنجیره متمرکز با لحاظ کردن منافع کل زنجیره و ریسک اختلال بررسی کردند.

در قسمت دوم از مرور ادبیات، به بررسی مقالاتی می‌پردازیم که تلاش می‌کنند تا منافع کل

1. Aouadni, (2019).
2. Chai, (2020).
3. Aissaoui, (2007).
4. Kheljani,(2009).
5. Ghodsypour, (2001).
6. Kamali, (2011).
7. Esmaeili-Najafabadi, (2019).

خریدار و تأمین‌کننده را بر اساس مکانیسم هماهنگی بین اجزای مختلف زنجیره، بهبود دهند. به‌طور کلی هماهنگی در ادبیات از زوایای مختلف موردبحث قرار گرفته است و چهار مکانیسم اصلی برای ایجاد هماهنگی شامل تصمیم‌گیری یکپارچه، قراردادها، فناوری اطلاعات، و به اشتراک‌گذاری اطلاعات است[1]. دراین‌ارتباط کاچن[2] یک بررسی جامع و تحلیلی در مورد هماهنگی زنجیره‌تأمین با استفاده از مکانیسم قرارداد را انجام داد. او تأمین‌کننده را بر اساس مدل روزنامه‌فروش فرض کرد و به بررسی انواع مختلف قراردادها (بازخرید[3]، قیمت عمده‌فروشی[4]، تسهیم درآمد[5] و غیره) و مفروضات (قیمت وابسته به تقاضا، قیمت وابسته به تبلیغات و به‌روزرسانی تقاضا) پرداخت، و بررسی کرد که هر یک از آن‌ها قادر به هماهنگ نمودن زنجیره و اختصاص سود به طرق مختلف بودند. به‌عنوان یک نتیجه‌گیری او پیشنهاد کرد که تحقیقات بیشتری باید در زنجیره‌تأمین انجام گیرد به‌طوری‌که تأمین‌کنندگان برای نفع رساندن به خرده‌فروشان به رقابت بپردازند. هوانگ[6] و همکاران تئوری بازی همکارانه را در یک مدل تصمیم‌گیری مشترک انتخاب تأمین‌کننده کالا، قیمت‌گذاری و موجودی در زنجیره‌تأمین چند سطحی به کار گرفتند. آن‌ها با استفاده از ارزش شاپلی[7] به تخصیص سود کل زنجیره‌تأمین پرداختند، اما اظهار داشتند که این جواب ممکن است در هسته[8] بازی نباشد. گویندن[9] و همکاران یک مرور کلی از قراردادهای هماهنگی بر اساس دو سیاست پرداخت تشویقی[10] و تسهیم ریسک[11] مرتبط با موجودی ارائه دادند. برخی از محققین نیز مدل‌های دومرحله‌ای را پیشنهاد داده‌اند که در مرحله اول با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، تأمین‌کنندگان ارزیابی و انتخاب شوند و در مرحله دوم با استفاده تئوری بازی‌ها قیمت تعادلی مشخص می‌شود[12]. در بسیاری از ادبیات هماهنگی

1. Kanda, (2008).
2. Cachon, (2003).
3. Buy back
4. Wholesale price
5. Revenue sharing
6. Huang, (2012).
7. Shapley value
8. Core
9. Govindan, (2013).
10. Transfer payment incentives
11. Risk sharing

۱۲. تاش و چاکیر، (۲۰۲۱) یوسفی و همکاران (۲۰۲۱)

در زنجیره، بحث انتخاب تأمین‌کننده کمتر مورد توجه بوده و بیشتر تلاش شده که منافع کلی خریدار و تأمین‌کنندگان موجود بهبود یابد. در ادامه به برخی از تحقیقات می‌پردازیم که توجه به منافع هردوی خریدار و تأمین‌کننده را در فرایند انتخاب تأمین‌کننده لحاظ کرده‌اند.

یین[1] و همکاران به مدل‌سازی یک زنجیره‌تأمین شامل یک تولیدکننده، یک خرده‌فروش و چندین تأمین‌کننده تحت شرایط عدم قطعیت تقاضا و اطلاعات نامتقارن پرداختند. این مسئله با استفاده از رویکرد بازی استکلبرگ[2] مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته است که در آن تولیدکننده رهبر و تأمین‌کنندگان پیرو هستند. محمدی‌تبار و همکاران (۲۰۱۶) به تحلیل رقابت میان تأمین‌کنندگان در دو حالت همکاری و رقابتی و قرارداد قیمت عمده‌فروشی پرداخته‌اند. آن‌ها نشان دادند که هزینه فرصت برای هر واحد ظرفیت تولید تأمین‌کنندگان نقشی اساسی در انتخاب تأمین‌کنندگان دارد. به‌طوری‌که وقتی هزینه فرصت تأمین‌کنندگان یکسان است، رقابت میان آن‌ها منجر به انتخاب تأمین‌کننده‌ای می‌شود که منافع کل زنجیره را حداکثر می‌کند. اما زمانی که هزینه‌های فرصت متفاوت است باید از مکانیسم‌های همکاری و تقسیم سود استفاده کرد. ونتورا[3] و همکاران تقاضای وابسته به قیمت و سیاست‌های مختلف در تعیین اندازه انباشته را در مسئله انتخاب تأمین‌کننده لحاظ کرده و نتایج را با مدل محمدی تبار و همکاران (۲۰۱۶) مقایسه کردند. ماشلی و محمدی تبار (۲۰۱۷) به بررسی مسئله انتخاب تأمین‌کننده در حالتی پرداختند که تأمین‌کنندگان می‌توانستند با استفاده از امکان ارسال هم‌زمان ائتلاف کنند. آن‌ها روش‌های مختلف تقسیم سود را باهم مقایسه کردند. عباسپور اوناری[4] و رضایی با ترکیب نقشه شناخت فازی[5] و تئوری بازی‌ها به مقایسه دو به دوی تأمین‌کنندگان پرداخته و اولویت آنها را مشخص کرده‌اند.

مرور تحقیقات انجام‌گرفته مشخص نمود که در خصوص مدل‌های مختلف انتخاب تأمین‌کننده، و هماهنگی در زنجیره‌تأمین پژوهش‌های بسیاری انجام‌گرفته است. بیشتر تحقیقات در حوزه انتخاب تأمین‌کننده تنها به منافع خریدار توجه کرده‌اند و مقالاتی نیز که منافع هردوی تأمین‌کننده و خریدار را لحاظ کرده‌اند بیشتر در یک زنجیره متمرکز و تصمیم‌گیری یکپارچه

1. Yin, (2014).
2. Stackelberg
3. Ventura, (2021).
4. Abbaspour Onari, (2023).
5. Fuzzy cognitive map

به مدل‌سازی پرداخته‌اند. همچنین در خصوص ادبیات هماهنگی در زنجیره، بیشتر مقالات به بررسی مکانیسم‌های ایجاد هماهنگی در یک زنجیره از پیش تعیین‌شده پرداخته‌اند. بنابراین لزوم تحقیق بیشتر در مسئله انتخاب تأمین‌کننده با لحاظ کردن منافع کل مخصوصا در زنجیره‌های غیرمتمرکز کاملاً احساس می‌شود.

بنابراین از نوآوری‌های این مقاله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- انتخاب تأمین‌کننده با لحاظ کردن منافع کل و بررسی عواید حاصله برای هرکدام.
- بررسی مکانیزم‌های مختلف تقسیم عایدی در منافع حاصل از همکاری در انتخاب تأمین‌کننده.
- بررسی تأمین‌کننده انتخاب شده، قیمت و اندازه انباشته تعادلی در قرارداد تخفیف در انتخاب تأمین‌کننده.
- لحاظ کردن سیاست ارسال در حین تولید برای کاهش هزینه‌های راه اندازی متعدد در مدل انتخاب تأمین‌کننده.

## ۳. متدلوژی تحقیق و تحلیل داده‌ها

در این بخش ابتدا به بیان مسئله به‌صورت دقیق می‌پردازیم. در این مقاله، بر اساس رویکرد نظریه بازی‌ها به بررسی انتخاب تأمین‌کننده در یک زنجیره‌تأمین دوسطحی با یک خریدار و چند تأمین‌کننده در شرایط همکاری و رقابت پرداخته می‌شود. مبنای رفتار خریدار بر اساس سیاست انباشته سفارش اقتصادی و تأمین‌کنندگان بر اساس سیاست ارسال در حین تولید است. خریدار محصول را از تأمین‌کننده خریده و با تقاضای ثابت و قیمت ثابت در بازار به فروش می‌رساند. هر تأمین‌کننده ظرفیت تأمین کل سفارش خریدار در هر دوره از سفارش را دارد و لذا فقط به یک تأمین‌کننده برای تأمین تقاضای خریدار نیاز خواهد بود. معیار انتخاب تأمین‌کنندگان کاهش هزینه کل در بازی همکارانه و تسهیم عواید حاصل از آن، و کاهش هزینه طرفین در بازی رقابتی است.

در این مسئله فرض شده است که تأمین‌کننده میزان تولید مشخصی را به‌صورت مستمر تا نیمه‌های هر دوره انجام می‌دهد و در بخش دوم دوره عملیات تولید متوقف است. لذا برنامه‌ریزی تولید برای تأمین‌کننده انتخاب‌شده به صورتی است که بابت ارسال چند محموله به

خریدار فقط یک دوره تولید و یک هزینه راه‌اندازی داشته باشد. سفارش خریدار به تأمین‌کننده در نوبت‌های مختلف، یکسان و ثابت است.

درآمد خریدار با فروش محصول به بازار حاصل شده و هزینه‌هایی که با آن مواجه است عبارت‌اند از هزینه نگهداری، هزینه خرید محصول از تأمین‌کننده، و هزینه‌های مربوط به سفارش. هزینه‌های مفروض برای تأمین‌کننده شامل هزینه‌های نگهداری، هزینه راه‌اندازی و هزینه‌های تولید در هر دوره است. علاوه بر این‌ها برای تأمین‌کنندگان و خریدار هزینه‌ی فرصتی در نظر گرفته‌شده است که مشخص کننده میزان هزینه هر کدام بیرون از ائتلاف است. به این معنا که اگر میزان هزینه‌ای که هر ائتلاف برای هر بازیکن در نظر می‌گیرد از این مقدار بیشتر شود، ترجیح بازیکن به خروج از ائتلاف بوده و این امری بدیهی است.

بنابراین مفروضات مسئله به‌صورت زیر بیان می‌شود:

- زنجیره تأمین دوسطحی و متشکل از یک خریدار و چند تأمین‌کننده است.
- در سناریوی همکاری، امکان ائتلاف میان اجزای زنجیره وجود دارد.
- یک محصول وجود دارد.
- تابع عایدی هر بازیکن بر اساس هزینه آن محاسبه می‌شود.
- اندازه دسته تولیدی تأمین‌کننده برابر است با مضرب صحیحی از میزان انباشته سفارش شده به او توسط خریدار.
- کمبود موجودی برای خریدار و تأمین‌کننده مجاز نیست.
- تأمین‌کننده انتخاب‌شده به‌محض رسیدن سطح موجودی به مقدار سفارش مشتری، اولین محموله خود را ارسال می‌کند.
- هر محموله به‌محض اتمام محموله قبلی تحویل خریدار می‌گردد.
- اندازه‌ی محموله‌های ارسالی از تأمین‌کننده انتخاب‌شده به خریدار یکسان است.
- تقاضای سالیانه خریدار ثابت است.
- مقدار هزینه نگهداری برای هر واحد کالا برابر حاصل‌ضرب نرخ هزینه نگهداری در هزینه تولید هر واحد کالاست.

بنابراین سوالات تحقیق به شرح زیر است:

- در سناریوی همکاری بر اساس منافع کل کدام تأمین‌کنندگان انتخاب می‌شوند؟
- بر اساس روش‌های مختلف تقسیم سود عواید حاصل هرکدام از خریدار و تأمین‌کننده چگونه خواهد بود؟
- رقابت میان تأمین‌کنندگان بر اساس قرارداد تخفیف چه نتایجی دارد؟

بر این اساس، در ادامه پس از تعریف پارامترها و متغیرهای لازم، مدل‌سازی ریاضی مسئله در سناریوهای مختلف ارائه می‌شود. سپس بر اساس مفاهیم تئوری بازی‌ها، نقاط تعادل هرکدام از سناریوها بدست می‌آید. برای تشریح نتایج مدل، مثال عددی ارائه شده و توسط نرم‌افزار گمز حل می‌شوند.

## ۴. مدل‌سازی و روش حل

برای مدل‌سازی مسئله، ابتدا به تعریف پارامترها و متغیرهای تصمیم می‌پردازیم.

### مجموعه‌ها

V: مجموعه تأمین‌کنندگان، B: مجموعه تک عضوی خریدار، $N = V \cup B$: : مجموعه همه بازیکن‌ها

### پارامترها

D: مقدار تقاضای خریدار، $A_i$: هزینه سفارش خریدار به تأمین‌کننده $i$ ام، $h_i^b$: هزینه نگهداری خریدار برای هرواحد محصول خریداری شده از تأمین‌کننده i ام، $h_i^v$: هزینه نگهداری هرواحد محصول برای تأمین‌کننده i ام، $P_r$: قیمت فروش خریدار، $c_i$: هزینه تولید تأمین‌کننده i ام، $s_i$: هزینه راه‌اندازی تأمین‌کننده i ام، $p_i$: نرخ تولید تأمین‌کننده i ام، $\Delta_i$: هزینه فرصت تأمین‌کننده i ام، $\Delta_b$: هزینه فرصت خریدار، r: نرخ هزینه نگهداری موجودی، $cap_i$: ظرفیت تولید تأمین‌کننده i ام

### متغیرهای تصمیم

$y_i$: اگر تأمین‌کننده i ام انتخاب شود یک و در غیر این صورت صفر است.

Q: اندازه انباشته‌ی خریدار و درواقع تعداد واحد محصولی که در هر بار حمل از تأمین‌کننده برای خریدار ارسال می‌شود.

$N_i$: تعداد ارسال محموله از تأمین‌کننده i ام به خریدار در هر سیکل تولیدی (درواقع نشان‌دهنده این است که تأمین‌کننده هراندازه انباشته تولیدی خود را به‌یک‌باره برای خریدار ارسال نمی‌کند،

بلکه آن را به اندازه‌های کوچک‌تر Q تقسیم کرده و سپس ارسال می‌نماید)

$w_i$: قیمت فروش تأمین‌کننده i ام به خریدار

$w_i^d$: قیمت تخفیف تأمین‌کننده i ام در قرارداد تخفیف

$Q_i^d$: نقطه تخفیف تأمین‌کننده i ام در قرارداد تخفیف

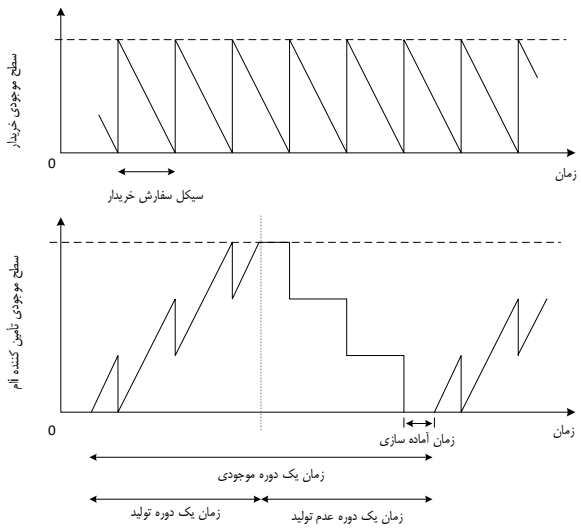
با توجه به بیان مسئله و مفروضات بیان‌شده، نمودار (۱) سطح موجودی خریدار و تأمین‌کننده انتخاب‌شده را نشان می‌دهد.

برای محاسبه هزینه‌های نگهداری تأمین‌کنندگان، باید متوسط موجودی آن‌ها را محاسبه کنیم.

قضیه ۱: متوسط موجودی تأمین‌کننده را ارائه می‌کند که فرایند محاسبه آن در خلجانی[1] (۲۰۰۸) نیز یافت می‌شود.

قضیه ۲: با توجه به مفروضات مسئله و نمودار جریان موجودی تأمین‌کننده که در شکل نشان داده‌شده است، اگر تأمین‌کننده i ام انتخاب‌شده باشد متوسط موجودی آن توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{متوسط موجودی تأمین‌کننده } i \text{ ام} = \left(\frac{Q}{2}\right)\left(\left(N_i - 1\right) - \left(N_i - 2\right)\frac{D}{P_i}\right) \qquad (۱)$$




**نمودار۱- سطح موجودی خریدار و تأمین‌کننده انتخاب‌شده**

1. Kheljani

**اثبات:** با توجه به مفروضات مسئله، سطح موجودی تجمعی تأمین‌کننده i ام در هر سیکل تولیدی به‌صورت نمودار(۲) است.

فرض کنید $T_1, T_2, \ldots, T_n$ به ترتیب بیان‌کننده زمان اولین ارسال، دومین ارسال تا Nامین ارسال از تأمین‌کننده i ام به خریدار باشد. تأمین‌کننده در زمان $T_1$ به‌محض رسیدن سطح موجودی به مقدار Q اولین محموله را ارسال می‌نماید. در این صورت $T_oT_1 = \frac{Q}{P_i}$ و نیز $T_1T_2 = T_2T_3 = \ldots = T_{N-1}T_N = \frac{Q}{D}$ برقرار خواهد بود.

در طول هر سیکل تولیدی این تأمین‌کننده به‌اندازه $N_iQ$ واحد تولید می‌کند. بنابراین با توجه به اینکه نرخ تولید این تأمین‌کننده برابر با $P_i$ واحد در سال است، لذا مدت‌زمان لازم برای تولید $N_iQ$ واحد برابر است با $\frac{N_iQ}{P_i}$ و چون نرخ تقاضا از این تأمین‌کننده توسط خریدار برابر است با D واحد در سال، لذا مدت‌زمان لازم برای مصرف $N_iQ$ واحد تولیدشده برابر با $\frac{N_iQ}{D}$ است.

مساحت مثلث $T_OT_EE$ برابر است با

$$\frac{1}{2}(N_iQ)\left(\frac{N_iQ}{P_i}\right) \qquad (۲)$$

از طرفی، با توجه به رابطه $T_oT_N = (N_i - 1)\frac{Q}{D} + \frac{Q}{P_i}$ و رابطه $T_ET_n = T_OT_N - T_OT_E$ ، مساحت مستطیل $ET_ET_nA_n$ برابر است با:

$$ET_ET_nA_n \text{ مساحت مستطیل} = N_iQ\left((N_i - 1)\left(\frac{Q}{D}\right) - \left(\frac{Q}{P_i}\right)\right) \qquad (۳)$$

مجموع مساحت‌های مستطیل‌های $T_1A_1C_1T_N$ و $B_1A_2C_2C_1$ تا مستطیل $B_{N-2}A_{N-1}B_{N-1}C_{N-2}$ برابر است با:

$$Q\left((N_i - 1)\frac{Q}{D} + (N_i - 2)\frac{Q}{D} + \ldots + \frac{Q}{D}\right) = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{D}N_i(N_i - 1) \qquad (۴)$$

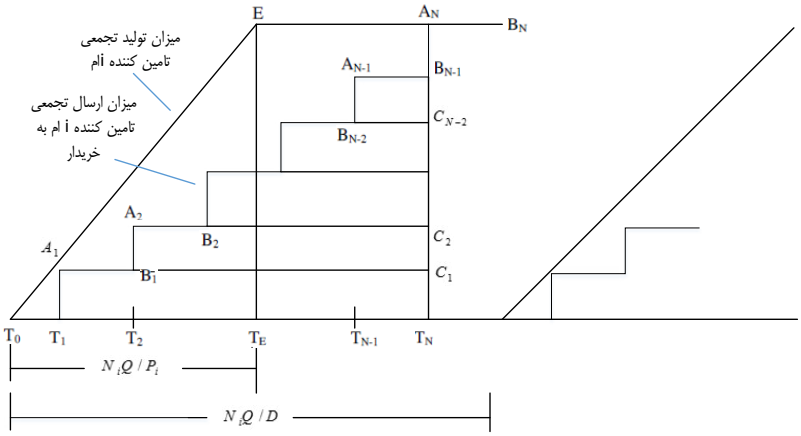
با جمع دو عبارت و و کسر عبارت ، مقدار موجودی تجمعی تأمین‌کننده i ام در یک سیکل به دست خواهد آمد که برابر است با:

$$\left(\frac{N_iq_i^2}{2}\right)\left(\frac{(N_i - 1)}{D_i} - \frac{(N_i - 2)}{P_i}\right) \qquad (۵)$$

با تقسیم معادله بر طول زمان یک سیکل یعنی $\frac{N_iQ}{D}$ متوسط موجودی تأمین‌کننده i ام برابر است با:

$$\text{متوسط موجودی تأمین‌کننده } i = \left(\frac{Q}{2}\right)\left((N_i - 1) - (N_i - 2)\frac{D}{P_i}\right) \quad (۶)$$

حال به کمک قضیه فوق به تشریح سناریوها و روش‌های حل می‌پردازیم.




**نمودار ۲- سطح موجودی تجمعی تأمین‌کننده**

### ۴-۱. سناریوی ۱: بازی همکارانه و قرارداد قیمت عمده‌فروشی

در این سناریو، خریدار و تأمین‌کنندگان تشکیل ائتلاف می‌دهند. یکی از تأمین‌کنندگان انتخاب‌شده و به تولید سفارش خریدار می‌پردازد. هزینه‌های کل سیستم محاسبه گردیده و هزینه‌ها بین بازیکنان تقسیم می‌گردد.

مسئله را به‌صورت یک مسئله مینیمم سازی هزینه مطرح می‌کنیم. مسئله شامل یک خریدار و n تأمین‌کننده است. هریک از بازیکنان به شرح زیر دارای هزینه هستند:

هزینه خریدار:

$$\pi^b = D\sum_{i\in V} y_i w_i + \frac{D}{Q}\sum_{i\in V} y_i A_i + \frac{Q}{2}\sum_{i\in V} y_i h_i^b - D.Pr \quad (۷)$$

هزینه تأمین‌کننده i ام:

$$\pi_i^v = Dy_i c_i + D\frac{y_i}{N_i Q}S_i + rc_i\frac{Q\,y_i}{2}\left(\frac{D}{P_i}(2-N_i) + (N_i - 1)\right) - Dy_i w_i \quad (۸)$$

$$+\Delta_i\left(1 - \frac{Dy_i}{cap_i}\right)$$

درنتیجه در ساختار متمرکز برای محاسبه هزینه کل زنجیره، هزینه خریدار و تمامی تأمین‌کنندگان با یکدیگر جمع می‌شود.

$$Min\ \pi^S = \frac{D}{Q}\sum_{i\in V} y_i A_i + \frac{Q}{2}\sum_{i\in V} y_i h^b - D.Pr + \tag{۹}$$

$$\sum_{i\in V}\left(\begin{array}{l} Dy_i c_i + D\frac{y_i}{N_i Q}S_i + rc_i\frac{Q\,y_i}{2}\left(\frac{D}{P_i}\left(2-N_i\right)+\left(N_i-1\right)\right) \\ +\ \Delta_i\left(1-\frac{Dy_i}{cap_i}\right)\end{array}\right)$$

بنابراین تابع عایدی ائتلاف $S \subseteq V \cup B$ و تعداد محموله‌های ارسالی به خریدار از مسئله بهینه‌سازی (۱۴)-(۱۰) به دست می‌آید. نکته قابل‌توجه این است که اگر خریدار عضو ائتلاف S نباشد، یا c(S) بیشتر از $\sum_{i\in S}\Delta_i$ باشد، آنگاه به c(S) مقدار برابر با $\sum_{i\in S}\Delta_i$ تخصیص می‌دهیم و این به آن معنی است که تولیدی صورت نگرفته و هر بازیکن از هزینه فرصت خود بهره‌مند می‌شود.

$$\mathrm{c}(S) = Min\ \ \pi^S = \frac{D}{Q}\left(\sum_{i\in S/B} y_i A_i\right) + \frac{Q}{2}\left(\sum_{i\in S/B} y_i h^b\right) - D.Pr \tag{۱۰}$$

$$+\sum_{i\in S/B}\left(\begin{array}{l} Dy_i c_i + D\frac{y_i}{N_i Q}S_i + rc_i\frac{Q\,y_i}{2}\left(\frac{D}{P_i}\left(2-N_i\right)+\left(N_i-1\right)\right) \\ +\ \Delta_i\left(1-\frac{Dy_i}{cap_i}\right)\end{array}\right)$$

*Subject to*

$$\sum_{i\in S/B} y_i = 1 \tag{۱۱}$$

$$y_i \in \{0,1\}\ ,\quad \forall\ i \in S/B \tag{۱۲}$$

$$Q \geq 0 \tag{۱۳}$$

$$N_i \in \{1,2,...\}\ ,\ \forall\ i \in S/B \tag{۱۴}$$

رابطه (۱۰) ارائه‌دهنده تابع عایدی ائتلاف است. محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند که یک

تأمین‌کننده انتخاب گردد. محدودیت‌های (۱۲) تا (۱۴) نوع متغیرها را مشخص می‌کند. این مدل بهینه‌سازی، مدل عایدی ائتلاف است که با حل آن میزان عایدی هر ائتلاف محاسبه می‌شود.

با توجه به رابطه (۱۰) مشخص است که اگر نسبت هزینه فرصت به ظرفیت همه تأمین‌کنندگان یکسان باشد ($\frac{\Delta_1}{cap_1} = \cdots = \frac{\Delta_n}{cap_n}$)، یا به‌عبارت‌دیگر اگر هزینه فرصت هر واحد ظرفیت تولیدی میان همه تأمین‌کنندگان برابر باشد، می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. برای بررسی این موضوع کافی است که جملات شامل هزینه فرصت در تابع عایدی را باهم جمع کنیم. زمانی که نسبت هزینه فرصت به ظرفیت میان همه تأمین‌کنندگان یکسان باشد، جمع جملات حاوی هزینه فرصت در تابع عایدی عددی ثابت خواهد بود و مشخص است که تفریق یک عدد ثابت از تابع هدف یک مسئله بهینه‌سازی تأثیری در مقدار بهینه متغیرهای تصمیم ندارد. بنابراین زمانی که تأمین‌کنندگان هزینه‌های فرصت متفاوتی در بازار دارند توجه به آن برای به دست آوردن تعادل در بازی همکاری ضروری است.

یکی دیگر از ویژگی‌های بازی همکارانه (۱۴)-(۱۰) خاصیت فروجمع پذیری[1] می‌باشد. یک بازی همکارانه فروجمع‌پذیر نامیده می‌شود اگر برای هر دو گروه از بازیکنان غیرمشترک، هزینه ائتلاف آن‌ها کمتر یا مساوی مجموع هزینه آن دو گروه باشد. در این نوع بازی‌ها انگیزه ائتلاف وجود دارد. با توجه به اینکه در سناریوی همکاری هر بازیکن کمتر یا مساوی هزینه فرصتش عایدی کسب می‌کند این موضوع به سادگی و مشابه قضایای ارائه‌شده در ماشلی و محمدی تبار (۲۰۱۷) اثبات می‌شود.

پس از مدل‌سازی تابع عایدی ائتلاف‌ها در بازی همکارانه نیازمند به‌کارگیری روش تقسیم هزینه هستیم. هسته بازی از مهم‌ترین مفاهیم موجود در نظریه بازی همکارانه است که مجموعه‌ای از تخصیص‌های اثربخش و پایدار را ارائه می‌دهد. بدین ترتیب که مجموع تخصیص همه بازیکن‌ها برابر عایدی ائتلاف کل شود و همچنین برای هر ائتلاف مجموع تخصیص اعضای آن ائتلاف کمتر یا مساوی (در بازی هزینه) عایدی آن ائتلاف باشد. بنابراین هیچ ائتلافی از بازیکن‌ها انگیزه ترک ائتلاف کل را نداشته و این تخصیص پایدار خواهد بود[2]. به‌این ترتیب

1. Sub additive
2. Schulz, (2013).

هسته بازی مجموعه تمام بردارهای تسهیم عایدی است که در روابط (۱۷)-(۱۵) صدق کند که در آن $\pi_i$ عایدی هر بازیکن است.

$$\sum_{i\in N} \pi_i = c(N) \quad (۱۵)$$

$$\sum_{i\in S} \pi_i \leq c(S)\ \forall\ S \subset N \quad (۱۶)$$

$$\pi_i \in R \quad (۱۷)$$

با توجه به اینکه جواب بدیهی که در آن هر تأمین‌کننده به اندازه هزینه فرصت خود عایدی دارد و باقی عایدی کل سهم خریدار باشد در روابط (۱۴)-(۱۰) صدق می‌کند، می‌توان نتیجه گرفت که بازی همکارانه ارائه‌شده در این مقاله دارای هسته غیر تهی است. بنابراین تخصیص‌های پایدار برای هزینه‌های ائتلاف کل وجود داشته و انتخاب تأمین‌کنندگان با مدل همکاری امکان‌پذیر است. در خصوص تخصیص عایدی به روش هسته، اولاً ممکن است هسته شامل مجموعه‌ای از تخصیص‌ها باشد نه یک تخصیص منحصربه‌فرد. ثانیاً اگرچه هسته بازی تخصیص‌های پایداری ارائه می‌کند اما ممکن است رضایت همه بازیکن‌ها را از جانب انصاف نداشته باشد. برخی روش‌های تخصیص عایدی مانند حداقل هسته[1]، ارزش شاپلی[2] و ارزش $\tau$ [3] تلاش دارند تا تخصیصی منصفانه ارائه دهند.

روش حداقل هسته تلاش می‌کند تا تسهیم عایدی به نحوی انجام شود که حداکثر نارضایتی را کمینه کند و تسهیم منصفانه‌ای از عایدی انجام دهد. در این راستا فضای هسته را از جهات مختلف کوچک می‌کند تا در نهایت به یک نقطه برسد. سهم عایدی بازیکن i در روش حداقل هسته $\pi_i^{least\ core}$ با حل مسئله بهینه‌سازی (۲۱)-(۱۸) به‌دست می‌آید.

$$\min v \quad (۱۸)$$

1. Schulz, (2013).
2. Mohebbi, (2015).
3. Branzei,(2008).

$$s.t$$

$$\sum_{i\in N} \pi_i^{least\ core} = c(N) \quad (۱۹)$$

$$\sum_{i\in S} \pi_i^{least\ core} - c(S) \le v \quad S \subset N \quad (۲۰)$$

$$\pi_i^{least\ core} \in R \quad (۲۱)$$

یکی دیگر از روش‌های تسهیم عایدی روش شاپلی است. در این روش هر بازیکن به اندازه متوسط ارزشی که به ائتلاف‌ها اضافه می‌کند سهم می‌گیرید. این روش تسهیم برپایه اصول تقارن، خاصیت جمع‌پذیر بودن، عدم تخصیص به بازیکن بی ارزش و برابری مجموع عایدی‌ها با ارزش ائتلاف کل است. سهم عایدی هر بازیکن در روش شاپلی به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$\pi_i^{Shapley} = \sum_{\substack{S\subset N \\ i\in S}} \frac{(|S|-1)!\,(|N|-|S|)!}{|N|!}[c(S) - c(S-\{i\})] \quad (۲۲)$$

در روش تقسیم عایدی ارزش $\tau$ به هر بازیکن به اندازه متوسط وزنی حداقل ($m_i$) و حداکثر ($M_i$) حق او از عایدی کل سهم تخصیص داده می‌شود. سهم هر بازیکن در روش ارزش $\tau$ از روابط زیر بدست می‌آید که در آن ضریب وزنی ($\alpha$) به صورت منحصر به فرد از حل رابطه (۲۶) بدست می‌آید.

$$M_i = c(N) - c(N-\{i\}) \quad (۲۳)$$

$$m_i = \max_{S:i'\in S}\{c(S) - \sum_{i'\in S-\{i\}} M_{i'}\} \quad (۲۴)$$

$$\pi_i^{\tau\ value} = m_i + \alpha(M_i - m_i) \quad (۲۵)$$

$$\sum_{i\in N} \pi_i^{\tau\ value} = c(N) \quad (۲۶)$$

در این مقاله، به کمک سه روش تقسیم سود شرح داده شده مقدار عایدی تمامی ائتلاف‌ها به دست می‌آید. تعداد ائتلاف‌ها برابر با $2^n - 1$ است که در آن n تعداد بازیکنان است. مقدار عایدی هر ائتلاف با کدنویسی و حل در نرم‌افزار گمز محاسبه می‌شود.

### ۴-۲. سناریوی ۲: بازی رقابتی و قرارداد تخفیف

در حالت رقابتی، در ابتدا تأمین‌کنندگان برای تأمین نیازهای خریدار با یکدیگر به رقابت می‌پردازند و تأمین‌کننده‌ای که توانایی کاهش بیشتر هزینه‌های خریدار را داشته باشد انتخاب می‌شود. سپس تأمین‌کننده انتخاب‌شده و خریدار در چارچوب قرارداد تخفیف، قیمت فروش را تعیین می‌کنند که توسط بازی استکلبرگ مدل‌سازی می‌شود. تأمین‌کننده اطلاعات کاملی از هزینه‌های خریدار و مقدار بهینه انباشته موجودی خریدار داشته و به‌عنوان رهبر در بازی استکلبرگ عمل می‌نماید.

تأمین‌کنندگان برای انتخاب شدن باهم در رقابت هستند. یک نقطه تعادل نش[1] بین تأمین‌کنندگان به‌عنوان رهبر و یک نقطه تعادل استکلبرگ بین تأمین‌کننده انتخاب‌شده و خریدار وجود دارد. مسئله استکلبرگ با قیاس معکوس قابل‌حل است اما در ابتدا نیاز داریم بهترین واکنش خریدار را به دست آوریم:

عایدی خریدار به‌صورت زیر قابل‌محاسبه است:

$$\pi^{QD,b^*} = \min_{i \in V} \left( \pi_i^{QD,b} \right) \quad (۲۷)$$

$$\pi_i^{QD,b} = min \left\{ \begin{array}{l} \left( \sqrt{2D.A.r.w_i} + Dw_i - D.Pr \right), \\ \left( Dw_i^d + \frac{D}{Q_i^d}.A_i + \frac{Q_i^d}{2} r.w_i^d - D.Pr \right) \end{array} \right\} \quad (۲۸)$$

فرض بر این است که همه تأمین‌کنندگان مطلع‌اند که خریدار یک ماکزیمم هزینه قابل‌قبول به‌عنوان هزینه فرصت دارد ($\Delta_b$). همچنین هیچ تأمین‌کننده‌ای نمی‌تواند هزینه خریدار را بیش از مقداری کاهش دهد که با کمک مسئله بهینه‌سازی (۳۳)-(۲۹) قابل‌محاسبه است و با $\underline{\pi}_i^{QD,b}$ نشان داده می‌شود:

$$\underline{\pi}_i^{QD,b} = min \left( Dw_i^d + \frac{D}{Q_i^d} A_i + \frac{Q_i^d}{2} rw_i^d - DPr \right) \quad (۲۹)$$

*Subject to*

$$Dc_i + \frac{D}{Q_i^d} S_i + \frac{Q_i^d}{2} rc_i \left( \frac{D}{P_i} \left( 2 - N_i \right) + \left( N_i - 1 \right) \right) - Dw_i^d \le \Delta_i \quad (۳۰)$$

1. Nash equilibrium

$$Q_i^d \geq \sqrt{\frac{2DA_i}{rw_i^d}} \quad (۳۱)$$

$$Q_i^d \geq 0 \quad (۳۲)$$

$$w_i^d \geq 0 \quad (۳۳)$$

در ابتدا رقابت میان تأمین‌کنندگان بر اساس تعادل نش محاسبه می‌شود. هر تأمین‌کننده یک قیمت عمده‌فروشی $c_i$ و یک قیمت تخفیف $w_i^d$ برای تمام واحدهای کالا ارائه می‌کند و عایدی خریدار نیز باید بین دو مقدار $\Delta_b$ و $\underline{\pi}_i^{QD,b}$ باشد. اگر تأمین‌کنندگان بتوانند پیشنهاد خود را تصحیح کنند، این بازی شبیه به بازی مزایده معکوس خواهد بود که نقطه تعادل دومین مقدار به‌دست‌آمده $\underline{\pi}_i^{QD,b}$ است که این‌گونه نمایش داده می‌شود $\underline{\pi}_{(2)}^{QD,b}$. بنابراین تأمین‌کننده‌ای که کمترین میزان $\underline{\pi}_i^{QD,b}$ را دارد انتخاب خواهد شد و در پیشنهاد قیمت خود به‌گونه‌ای عمل خواهد کرد که هزینه خریدار کمتر یا مساوی $\underline{\pi}_{(2)}^{QD,b}$ شود. در مرحله دوم، پیشنهاد قیمت تخفیف تأمین‌کننده انتخاب‌شده با استفاده از بازی استکلبرگ به دست می‌آید. اگر تأمین‌کننده $i^*$ تأمین‌کننده انتخاب‌شده باشد، تصمیم وی از طریق مدل (۳۸)-(۳۴) قابل‌محاسبه است. به‌این ترتیب نقطه تعادل بازی برای تأمین‌کننده‌ای که کمترین مقدار $\underline{\pi}_i^{QD,b}$ را دارد به دست می‌آید.

$$\underline{\pi}_i^{QD,b} = min\left( Dw_i^d + \frac{D}{Q_i^d}A_i + \frac{Q_i^d}{2}rw_i^d - DPr \right) \quad (۳۴)$$

*Subject to*

$$Dc_i + \frac{D}{Q_i^d}S_i + \frac{Q_i^d}{2}rc_i\left(\frac{D}{P_i}(2-N_i)+(N_i-1)\right) - Dw_i^d \leq \Delta_i \quad (۳۵)$$

$$Q_i^d \geq \sqrt{\frac{2DA_i}{rw_i^d}} \quad (۳۶)$$

$$Q_i^d \geq 0 \quad (۳۷)$$

$$w_i^d \geq 0 \quad (۳۸)$$

برای مشخص‌تر شدن نتیجه، الگوریتم زیر قدم‌های محاسبه نقطه تعادلی سناریو دو را مشخص می‌کند.

**قدم اول:** برای هر تأمین‌کنندگان مقدار $\underline{\pi}_i^{QD,b}$ را با استفاده از مدل‌سازی (۳۳)-(۲۹) تعیین کنید.

**قدم دوم:** تأمین‌کننده‌ای که کمترین مقدار $\underline{\pi}_i^{QD,b}$ را دارد تأمین‌کننده انتخاب‌شده است و برای محاسبه متغیرهای قرارداد تخفیف به قدم ۳ بروید.

**قدم سوم:** با توجه به تأمین‌کننده انتخاب‌شده، مدل (۳۸)-(۳۴) را حل کنید. پاسخ این مسئله بهینه‌سازی مقادیر متغیرهای قرارداد تخفیف را مشخص می‌کند.

## ۵. مثال عددی

به‌منظور تحلیل سناریوی‌های ارائه‌شده در مقاله به تشریح یک مثال عددی می‌پردازیم. فرض می‌کنیم یک خریدار قصد انتخاب یک تأمین‌کننده از بین چهار تأمین‌کننده موجود را دارد. تأمین‌کننده یک باتجربه است و سال‌هاست که در این بازار کار می‌کند اما به‌دلیل فنّاوری قدیمی وی قیمت تمام‌شده او بالاتر از بقیه است و همین‌طور هزینه فرصت وی از تأمین‌کننده دو و چهار کمتر اما از تأمین‌کننده سه بیشتر است. تأمین‌کننده دو و چهار هزینه فرصت به نسبت بالا و درنتیجه توان کمتری برای گرفتن سهمی در بازار دارند. تأمین‌کننده سه از فنّاوری ساخت خوبی برخوردار بوده و به همین خاطر دارای قیمت تمام‌شده کمتر است اما هزینه‌های راه‌اندازی و سفارش او از سایرین بیشتر است. هزینه سفارش خریدار برابر با ۱۰۰ دلار است. قیمت فروش هر واحد محصول مشخص و برابر ۲۳ دلار است و خریدار برای نگهداری هر واحد محصول برابر ۰٫۱۲ دلار در سال هزینه می‌کند درحالی‌که هزینه نگهداری هر واحد محصول برای تأمین‌کنندگان برابر با یک درصد هزینه تولید است. تقاضای خریدار برابر ۱۰۰۰۰ واحد و هزینه فرصت او نیز برابر ۵۰۰۰۰- دلار است. نرخ تولید تأمین‌کنندگان برابر با ظرفیت تولید در نظر گرفته‌شده است. اطلاعات دیگر مربوط به تأمین‌کنندگان به شرح جدول (۱) است.

**جدول ۱- پارامترهای مثال عددی**

| پارامترها | تأمین‌کننده ۱ | تأمین‌کننده ۲ | تأمین‌کننده ۳ | تأمین‌کننده ۴ |
|---|---|---|---|---|
| $c_i$ | ۸ | ۶ | ۵ | ۷ |
| $p_i$ | ۱۲۰۰۰ | ۱۱۰۰۰ | ۱۲۰۰۰ | ۱۴۰۰۰ |
| $cap_i$ | ۱۲۰۰۰ | ۱۱۰۰۰ | ۱۲۰۰۰ | ۱۴۰۰۰ |
| $s_i$ | ۴۰۰۰۰ | ۲۰۰۰۰ | ۹۰۰۰۰ | ۶۰۰۰۰ |
| $A_i$ | ۸۰ | ۱۰۰ | ۱۱۰ | ۱۰۰ |
| $\Delta_i$ | -۲۰۶۰۰ | -۱۸۰۰۰ | -۲۱۷۰۰ | -۱۶۵۰۰ |

عایدی هرکدام از ائتلاف‌های ممکن با توجه به داده‌ها به‌دست‌آمده و در جدول ۲ قابل‌مشاهده است. تعداد ائتلاف‌ها برابر با $2^n - 1$ می‌باشد که n برابر با تعداد بازیکنان است. بنابراین ۳۱ ائتلاف در این مثال عددی وجود دارد. جدول (۲) نشان می‌دهد که در قرارداد قیمت عمده‌فروشی که یک بازی همکارانه است، بهترین عایدی برای همه بازیکنان در صورتی قابل‌دسترسی است که همه افراد در بازی شرکت کنند که این همان عایدی ائتلاف کل است. در این حالت سود کل زنجیره‌تأمین به بیشترین حد خود می‌رسد و هیچ‌کدام از بازیکنان نیز تمایلی به ترک ائتلاف ندارند. در این ائتلاف تأمین‌کننده سه انتخاب می‌شود.

**جدول ۲- عایدی ائتلاف‌ها**

| ائتلاف‌ها | عایدی ائتلاف (بدون خریدار) | عایدی ائتلاف (به همراه خریدار) |
|---|---|---|
| خریدار | - | -۵۰۰۰۰ |
| تأمین‌کننده ۱ | -۲۰۶۰۰ | -۱۴۹۶۴۰ |
| تأمین‌کننده ۲ | -۱۸۰۰۰ | -۱۶۹۵۷۷ |
| تأمین‌کننده ۳ | -۲۱۷۰۰ | -۱۷۹۱۵۲ |
| تأمین‌کننده ۴ | -۱۶۵۰۰ | -۱۵۹۲۶۷ |
| تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ | -۳۸۶۰۰ | -۱۹۰۱۷۷ |
| تأمین‌کنندگان ۱ و ۳ | -۴۲۳۰۰ | -۱۹۹۷۵۲ |
| تأمین‌کنندگان ۱ و ۴ | -۳۷۱۰۰ | -۱۷۹۸۶۷ |

| ائتلاف‌ها | عایدی ائتلاف (بدون خریدار) | عایدی ائتلاف (به همراه خریدار) |
|---|---|---|
| تأمین‌کنندگان ۲ و ۳ | -۳۹۷۰۰ | -۱۹۷۱۵۲ |
| تأمین‌کنندگان ۲ و ۴ | -۳۴۵۰۰ | -۱۸۶۰۷۷ |
| تأمین‌کنندگان ۳ و ۴ | -۳۸۲۰۰ | -۱۹۵۶۵۲ |
| تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ و ۳ | -۶۰۳۰۰ | -۲۱۷۷۵۲ |
| تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ و ۴ | -۵۵۱۰۰ | -۲۰۶۶۷۷ |
| تأمین‌کنندگان ۱ و ۳ و ۴ | -۵۸۸۰۰ | -۲۱۶۲۵۲ |
| تأمین‌کنندگان ۲ و ۳ و ۴ | -۵۶۲۰۰ | -۲۱۳۶۵۲ |
| تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ و ۳ و ۴ | -۷۶۸۰۰ | -۲۳۴۲۵۲ |

در جدول (۳) نتایج تقسیم عایدی ائتلاف کل که در آن تأمین‌کننده سوم جهت تأمین خریدار انتخاب می‌شود بین همه بازیکنان به سه روش حداقل هسته، شاپلی و ارزش $\tau$ نشان داده‌شده است.

**جدول ۳- نتایج سناریوی بازی همکارانه**

| | تأمین‌کننده ۱ | تأمین‌کننده ۲ | تأمین‌کننده ۳ | تأمین‌کننده ۴ | خریدار | کل زنجیره |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $Dy_i$ | ۰ | ۰ | ۱۰۰۰۰ | ۰ | - | - |
| $\pi_i^{least\ core}$ | -۲۰۶۰۰ | -۱۸۰۰۰ | -۲۷۵۷۴ | -۱۶۵۰۰ | -۱۵۱۵۷۷ | -۲۳۴۲۵۲ |
| $\pi_i^{shapley}$ | -۲۴۵۵۲ | -۲۴۵۶۴ | -۳۱۲۰۱ | -۲۱۵۹۵ | -۱۳۲۳۳۸ | -۲۳۴۲۵۲ |
| $\pi_i^{\tau\ value}$ | -۲۰۶۰۰ | -۱۸۰۰۰ | -۲۷۲۷۰ | -۱۶۵۰۰ | -۱۵۱۸۸۲ | -۲۳۴۲۵۲ |
| $Q^{CO}$ | ۰ | ۰ | ۴۵۲۴ | ۰ | - | - |
| $N_i^{CO}$ | ۰ | ۰ | ۱۰۰ | ۰ | - | - |

همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، هزینه تأمین‌کنندگان درروش تقسیم سود شاپلی کمتر از روش‌های حداقل هسته و ارزش $\tau$ است درحالی‌که هزینه‌های خریدار عکس این موضوع

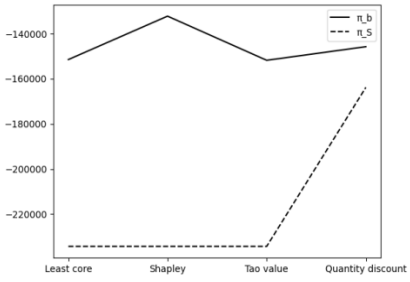
است. درروش تقسیم سود شاپلی به تأمین‌کنندگانی که انتخاب‌نشده‌اند نیز عایدی تخصیص‌یافته و هزینه‌های آن‌ها را کمتر از هزینه فرصت کرده است. بنابراین به نظر می‌رسد روش شاپلی برای تقسیم سود در این بازی مناسب نیست.

جدول (۴) نتایج حل مدل رقابتی طی قرارداد تخفیف را نشان می‌دهد. در حالت رقابتی در ابتدا مقادیر $\underline{\pi}_i^{QD,\ b}$ در قرارداد تخفیف محاسبه می‌شود تا مشخص شود کدام تأمین کنند در رقابت میان تأمین‌کنندگان در بازی حراج معکوس انتخاب می‌شود. همان‌طور که در جدول(۴) نشان داده‌شده است، تأمین‌کننده دو کمترین میزان $\underline{\pi}_i^{QD,\ b}$ را دارد. بنابراین تأمین‌کننده دوم انتخاب خواهد شد و پیشنهاد قیمتی خود را در قرارداد تخفیف و تحت شرایط بازی استکلبرگ ارائه خواهد داد به‌نحوی‌که هزینه‌های خریدار کمتر یا مساوی هزینه $\underline{\pi}_{(2)}^{QD,b}$ شود که در این مثال برابر ۱۴۵۸۵۶- و مربوط به تأمین‌کننده سوم است. نقطه تعادل بازی استکلبرگ میان تأمین‌کننده دو و خریدار در جدول (۴) نشان داده‌شده است. هزینه کل زنجیره‌تأمین در حالت قرارداد تخفیف برابر ۱۶۳۸۸۱- شده است که بیشتر از هزینه ۲۳۴۲۵۲- در حالت همکاری است. بنابراین باوجوداینکه از قرارداد تخفیف برای ایجاد هماهنگی استفاده‌شده است اما تضمینی برای رسیدن به شرایط همکاری نبوده است.

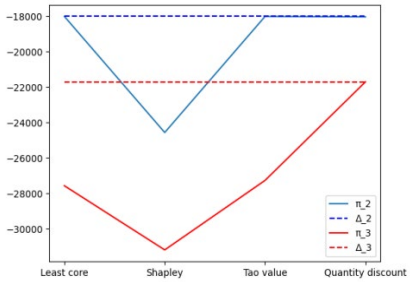
**جدول ۴- نتایج سناریوی بازی رقابتی**

| | تأمین‌کننده ۱ | تأمین‌کننده ۲ | تأمین‌کننده ۳ | تأمین‌کننده ۴ |
|---|---|---|---|---|
| $\underline{\pi}_i^{QD,\ b}$ | -۱۱۹۱۷۹ | -۱۴۵۸۸۱ | -۱۴۵۸۵۶ | -۱۳۱۵۸۱ |
| $Q^{QD,b^*}$ | | ۱۶۶۸۴ | | |
| $N_i^{QD,b^*}$ | | ۴ | | |
| $\pi^{QD,b^*}$ | | -۱۴۵۸۵۶ | | |
| $\pi_i^{QD,y^*}$ | | -۱۸۰۲۵ | | |
| $\pi^{QD,s^*}$ | | -۱۶۳۸۸۱ | | |

در نمودار (۳-الف) عایدی خریدار و کل زنجیره در سناریوهای مختلف مقایسه شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است در حالت همکاری عایدی کل زنجیره بهتر از حالت رقابتی است و در سناریوهای مختلف تقسیم عایدی، هزینه کل زنجیره تفاوتی ندارد و تنها سهم بازیکن‌ها از عایدی کل تغییر می‌کند. همچنین عایدی خریدار در روش‌های تقسیم سود حداقل هسته و ارزش $\tau$ در حالت همکاری از عایدی آن در حالت رقابتی بهتر است.




**نمودار ۳ الف- عایدی خریدار و کل زنجیره**




**ب- عایدی تأمین‌کنندگان در سناریوهای مختلف**

تأمین‌کنندگان یک و چهار در هیچکدام از سناریوها انتخاب نشده‌اند. بنابراین عایدی تأمین‌کنندگان دو و سه در نمودار (۳-ب) در حالت‌های مخالف مقایسه شده است. همان‌طور که از نمودار (۳-ب) مشخص است در حالت همکاری با وجود اینکه تأمین‌کننده دو انتخاب نشده است اما در روش تقسیم عایدی شاپلی، سهم دریافت کرده و هزینه کل آن از هزینه فرصت کمتر شده است. تأمین‌کننده سه در حالت همکاری انتخاب شده و در هر سه روش تقسیم عایدی، سهم دریافت کرده و هزینه کل آن از هزینه فرصت کمتر شده است.

## ۶. نتایج و جمع‌بندی

با توجه به رقابت روزافزون میان زنجیره‌های تأمین، در این مقاله به بررسی انتخاب تأمین‌کننده در حالت همکاری و رقابتی و تأثیر آن در هزینه کل زنجیره و عایدی هرکدام از بازیکن‌ها پرداختیم. در حالت همکاری به بیان ویژگی‌های بازی پرداخته و نشان دادیم که مسئله فروجمع‌پذیر

بوده و تشکیل ائتلاف سود مند است، همچنین هسته بازی تهی نبوده و امکان ایجاد ائتلاف پایدار که بازیکن‌ها تمایلی به ترک آن ندارند وجود دارد. با توجه به اینکه هسته بازی شامل مجموعه‌ای از تخصیص عایدی است، از سه روش تقسیم عایدی شاپلی، حداقل هسته و ارزش $\tau$ برای تخصیص هزینه میان بازیکن‌ها استفاده کردیم. در حالت رقابتی نیز تأمین‌کنندگان در یک رقابت حراج معکوس به رقابت پرداخته و تأمین‌کننده‌ای که بیشترین توانایی را در کاهش هزینه‌های خریدار داشت انتخاب شد. تأمین‌کننده انتخاب شده در قالب قرارداد تخفیف کلی و بازی رهبر-پیرو با خریدار رقابت داشت تا اندازه سفارش خریدار و قیمت فروش تأمین‌کننده در تعادل استکلبرگ مشخص شود. برای این منظور یک الگوریتم حل شرح داده شد.

با بررسی کلی نتایج به‌دست‌آمده و حل مثال عددی نتیجه می‌گیریم که بازی همکارانه سیاست مناسبی برای افزایش عایدی بازیکنان و کمینه کردن هزینه کل می‌باشد. همکاری میان تأمین‌کنندگان و خریدار دارای هسته غیر تهی بوده و خاصیت فروجمع پذیری دارد. به‌عبارت‌دیگر امکان ایجاد ائتلافی پایدار در همکاری میان تأمین‌کنندگان و خریدار وجود دارد. در روش‌های تقسیم سود به روش حداقل هسته و ارزش $\tau$ عایدی بازیکنانی که از طرف خریدار انتخاب نشدند برابر با میزان هزینه فرصت آن‌ها به دست می‌آید اما درروش تقسیم سود شاپلی عایدی همه بازیکنان کمتر هزینه فرصتشان می‌گردد درحالی‌که خریدار در این روش نسبت به دیگر روش‌ها هزینه‌های بیشتری دارد. بنابراین در بازی همکارانه بیشترین رضایت برای تأمین‌کنندگان و کمترین رضایت برای خریدار درروش تقسیم سود شاپلی مشاهده گردید و برعکس درروش ارزش $\tau$ میزان رضایت برای خریدار بیشتر و برای تأمین‌کنندگان نسبت به روش‌های دیگر کمتر بود. می‌توان نتیجه گرفت که مناسب‌ترین قرارداد از دید تأمین‌کنندگان قرارداد همکارانه قیمت عمده‌فروشی با تقسیم سود شاپلی و کم سودترین قرارداد، قرارداد تخفیف است. همین‌طور مناسب‌ترین قرارداد ازنظر خریدار بازهم قرارداد همکارانه قیمت عمده‌فروشی اما با روش تقسیم سود ارزش $\tau$ و کم عایدی‌ترین قرارداد برای وی قرارداد همکارانه قیمت عمده‌فروشی با روش تقسیم سود شاپلی است. همچنین هزینه فرصت هر واحد ظرفیت تولیدی نقش پررنگی در انتخاب تأمین‌کنندگان دارد.

در نظر گرفتن تقاضای احتمالی موجب می‌شود که پیدا کردن نقطه تعادل بازی پیچیده‌تر شود و می‌تواند زمینه‌ای برای تحقیقات آتی باشد. لحاظ کردن محدودیت ظرفیت برای

تأمین‌کنندگان و همچنین تقاضای وابسته به قیمت و تأثیر آن در مقایسه بازی رقابتی و همکاری نیز می‌تواند برای تحقیقات آتی مورد توجه باشد.

**دسترسی به داده‌ها**

داده‌های استفاده شده یا تولید شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

**تضاد منافع نویسندگان**

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

## منابع


حاجتی، ریحانه؛ نوجوان، مجید و محمدی تبار، داود. (۱۳۹۸). یک رویکرد ترکیبی فازی برای انتخاب تامین کنندگان و تخصیص مقدار سفارش، مجله مدیریت توسعه و تحول، دوره ۱۱ (ویژه نامه)، ص ۲۷۸-۲۶۵.

خریدار، فاطمه و پویا، علیرضا. (۱۳۹۵). تاکسنومی استراتژی‌های انتخاب تأمین‌کننده و عملکرد کسب و کار آنها (مورد مطالعه: شرکت‌های کاشی و سرامیک). پژوهشنامه بازرگانی، ۲۰(۸۰)، ۱۱۹-۱۴۷.

کبگانی، محمد حسین و شاهبندرزاده، حمید. (۱۳۹۸). تحلیل کمی معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین تاب آور با استفاده از تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره. پژوهشنامه بازرگانی، ۲۳(۹۰)، ۱۱۵-۱۴۰.

صالحی سربیژن، مرتضی و سیاح مرکبی، محسن. (۱۳۹۵). ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان کارا در شرایط عدم قطعیت- رویکرد تحلیل پوششی داده‌های خاکستری. پژوهشنامه بازرگانی، ۲۱(۸۱)، ۱۸۱-۲۰۳.

ماشلی، عطیه و محمدی تبار، داود. (۲۰۱۷). انتخاب تامین کنندگان با رویکرد تئوری بازی همکارانه با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت و ارسال همزمان اقلام. نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، ۵(۱۰)، ۸۳-۹۷.

Abbaspour Onari, M., & Jahangoshai Rezaee, M. (2023). Implementing bargaining game-based fuzzy cognitive map and mixed-motive games for group decisions in the healthcare supplier selection. Artificial Intelligence Review, 1-34. https://doi.org/10.1007/s10462-023-10432-4

Aissaoui, N., Haouari, M., & Hassini, E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. Computers & Operations Research, 34(12), 3516-3540. https://doi.org/10.1016/j.cor.2006.01.016

Amid, A., Ghodsypour, S., & O'Brien, C. (2011). A weighted max–min model for fuzzy

multi-objective supplier selection in a supply chain. International Journal of Production Economics, 131(1), 139-145. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.044

Aouadni, S., Aouadni, I., & Rebaï, A. (2019). A systematic review on supplier selection and order allocation problems. Journal of Industrial Engineering International, 15, 267-289. https://doi.org/10.1007/s40092-019-00334-y

Branzei, R., Dimitrov, D., & Tijs, S. (2008). Models in cooperative game theory (Vol. 556): Springer Science & Business Media. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77954-4

Cachon, G. P. (2003). Supply chain coordination with contracts. Handbooks in operations research and management science, 11, 227-339. https://doi.org/10.1016/S0927-0507(03)11006-7

Chai, J., & Ngai, E. W. (2020). Decision-making techniques in supplier selection: Recent accomplishments and what lies ahead. Expert Systems with Applications, 140, 112903. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112903

Choudhary, D., & Shankar, R. (2013). Joint decision of procurement lot-size, supplier selection, and carrier selection. Journal of Purchasing and Supply Management, 19(1), 16-26. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2012.08.002

Esmaeili-Najafabadi, E., Nezhad, M. S. F., Pourmohammadi, H., Honarvar, M., & Vahdatzad, M. A. (2019). A joint supplier selection and order allocation model with disruption risks in centralized supply chain. Computers & Industrial Engineering, 127, 734-748. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.017

Ghodsypour, S. H., & O'brien, C. (2001). The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint. International Journal of Production Economics, 73(1), 15-27. https://doi.org/10.1016/S0925-5273(01)00093-7

Govindan, K., Popiuc, M. N., & Diabat, A. (2013). Overview of coordination contracts within forward and reverse supply chains. Journal of Cleaner Production, 47, 319-334. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.001

Hajati, R., Nojavan, M., & Mohammaditabar, D. (2020). A fuzzy hybrid approach for supplier selection and order allocation. Journal of Development & Evolution Mnagement, 11(special issue), 265-278. [In Persian]

Ho, W., Xu, X., & Dey, P. K. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. European Journal of Operational Research, 202(1), 16-24. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.009

Huang, Y., & Huang, G. Q. (2012). Integrated supplier selection, pricing and inventory decisions in a multi-level supply chain. In Decision-Making for Supply Chain Integration (pp. 47-62): Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4033-7_3

Kabgani, M., Shahbandarzadeh, H. (2019). Quantitative Analysis Criteria for Selecting Suppliers in The Resilience Supply Chain Using Multi Criteria Decision Making Techniques. Iranian Journal of Trade Studies, 23(90), 115-140. [In Persian]

Kamali, A., Ghomi, S. F., & Jolai, F. (2011). A multi-objective quantity discount and joint optimization model for coordination of a single-buyer multi-vendor supply chain. Computers & Mathematics with Applications, 62(8), 3251-3269. https://doi.org/10.1016/j.camwa.2011.08.040

Kanda, A., & Deshmukh, S. (2008). Supply chain coordination: perspectives, empirical studies and research directions. International Journal of Production Economics, 115(2), 316-335. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.05.011

Kharidar, F., Pouya, A. (2016). The Taxonomy of supplier selection strategies and their business performance (The case study of ceramic and tile companies). Iranian Journal of Trade Studies, 20(80), 119-147. [In Persian]

Kheljani, J. G., Ghodsypour, S., & O'Brien, C. (2009). Optimizing whole supply chain benefit versus buyer's benefit through supplier selection. International Journal of Production Economics, 121(2), 482-493. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.04.009

Masheli, A., & Mohammaditabar, D. (2017). A game theoretic model for capacity-constrained supplier selection by considering joint shipment. Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems, 5(10), 83-97. [In Persian]

Mohammaditabar, D., & Ghodsypour, S. H. (2016). A supplier-selection model with classification and joint replenishment of inventory items. International Journal of Systems Science, 47(8), 1745-1754. https://doi.org/10.1080/00207721.2014.951418

Mohammaditabar, D., Ghodsypour, S. H., & Hafezalkotob, A. (2016). A game theoretic analysis in capacity-constrained supplier-selection and cooperation by considering the total supply chain inventory costs. International Journal of Production Economics, 181, 87-97. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.11.016

Mohebbi, S., & Li, X. (2015). Coalitional game theory approach to modeling suppliers' collaboration in supply networks. International Journal of Production Economics, 169, 333-342. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.08.022

Salehi, M., & Sayyah, M. (2017). Evaluation and Selection of Efficient Suppliers in terms of Uncertainty -The Grey Data Envelopment Analysis Approach. Iranian Journal of Trade Studies, 21(81), 181-203. [In Persian]

Schulz, A. S., & Uhan, N. A. (2013). Approximating the least core value and least core of cooperative games with supermodular costs. Discrete Optimization, 10(2), 163-180. https://doi.org/10.1016/j.disopt.2013.02.002

TAŞ, M. A., & ÇAKIR, E. (2021). Green Supplier Selection Using Game Theory Based on Fuzzy SWARA. Sakarya University Journal of Science, 25(4), 885-897. https://doi.org/10.16984/saufenbilder.877919

Ventura, J. A., Bunn, K. A., Venegas, B. B., & Duan, L. (2021). A coordination mechanism for supplier selection and order quantity allocation with price-sensitive demand and finite production rates. International Journal of Production Economics, 233, 108007. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.108007

Weber, C. A., Current, J. R., & Benton, W. (1991). Vendor selection criteria and methods. European Journal of Operational Research, 50(1), 2-18. https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90033-R

Wind, Y., & Robinson, P. J. (1968). The determinants of vendor selection: the evaluation function approach. Journal of Purchasing and Materials Management, 4(3), 29-41.

Yin, S., & Nishi, T. (2014). A supply chain planning model with supplier selection under uncertain demands and asymmetric information. Procedia CIRP, 17, 639-644. https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.109

Yousefi, S., Jahangoshai Rezaee, M., & Solimanpur, M. (2021). Supplier selection and order allocation using two-stage hybrid supply chain model and game-based order price. Operational Research, 21, 553-588. https://doi.org/10.1007/s12351-019-00456-6