مهندسی صنایع و مدیریت شریف، (تابستان ۱۴۰۰)
دوره‌ی ۱-۳۷، شماره‌ی ۱، ص. ۱۰۳-۱۱۵، (پژوهشی)

Original Article

ارائه‌ی یک مدل جدید مدیریت موجودی توسط فروشنده برای انتخاب خرده‌فروش در شرایط رقابتی

مرضیه کریمی (دانشجوی دکتری)
حسن خادمی زارع * (استاد)
یحیی زارع مهرجردی (استاد)
محمدباقر فخرزاد (دانشیار)
گروه مهندسی صنایع، دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه یزد

مدیریت موجودی توسط فروشنده، موجب کاهش هزینه‌ی موجودی، پاسخ سریع به مشتری، افزایش سطح خدمت و رضایت مشتری می‌شود. در این تحقیق، زنجیره‌ی تأمین تک‌کالایی با یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده برای انتخاب خرده‌فروش در شرایط رقابتی بررسی شده است. مدل زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز، با در نظرگرفتن کاهشی بودن تابع تقاضا نسبت به قیمت در بازار خرده‌فروش‌ها و محدودیت ظرفیت تولید، به‌وسیله‌ی نظریه‌ی بازی استکلبرگ فرموله شده است.
تصمیمات در مدل، یافتن مقادیر بهینه‌ی قیمت عمده‌فروشی، زمان چرخه‌ی بازپرسازی محصول، میزان کمبود و انتخاب خرده‌فروشان برای تولیدکننده و مقادیر قیمت خرده‌فروشی برای خرده‌فروشان است. به‌منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، تحلیل حساسیت روی برخی از پارامترها انجام گرفته است. همان‌طور که مطالعات عددی نشان داده است، انتخاب بهینه‌ی خرده‌فروش می‌تواند سود تولیدکننده را تا ۹۱٪ و سود خرده‌فروشان منتخب را در مقایسه با استراتژی عدم انتخاب به میزان قابل توجهی افزایش دهد.

واژگان کلیدی: مدیریت زنجیره‌ی تأمین، مدیریت موجودی توسط فروشنده، انتخاب خرده‌فروش، نظریه‌ی بازی استکلبرگ، شرایط رقابتی.

karimim@stu.yazd.ac.ir
hkhademiz@yazd.ac.ir
yzare@yazd.ac.ir
mfakhrzad@yazd.ac.ir

۱. مقدمه

ضرورت هماهنگی فعالیت‌های زنجیره‌ی تأمین به منظور حفظ رقابت‌پذیری و همچنین کاهش هزینه‌ها کاملاً واضح است. طی بیست سال اخیر، مدل‌های بسیار زیادی برای همکاری بین سازمانی و ایجاد هماهنگی توسعه یافته است. برای ایجاد تعامل در زنجیره‌ی تأمین با تمرکز بر بازپرسازی مؤثر کالا، چندین مدل متداول مانند پاسخ سریع،[۱] برنامه‌های مداوم بازپرسازی،[۲] پاسخ مؤثر مصرف‌کننده،[۳] برنامه‌ریزی، پیش‌بینی و بازپرسازی تعاملی[۴] و مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI)[۵] وجود دارد.[۱] مدیریت موجودی توسط فروشنده یک استراتژی مدیریت موجودی است که در آن، خرده‌فروش اطلاعات فروش و سطح موجودی خود را به تأمین‌کننده (کسی که اغلب در قالب تولیدکننده و گاهی در قالب توزیع‌کننده ظاهر می‌شود) می‌دهد؛ و تأمین‌کننده میزان پرسازی مجدد در هر دوره را براساس اطلاعات دریافتی مشخص می‌کند. بدین ترتیب تأمین‌کننده می‌تواند برنامه‌ی بازپرسازی مناسبی ارائه دهد و خرده‌فروش می‌تواند مقدار سفارش را به موقع تحویل بگیرد.[۲و۳] استراتژی مدیریت موجودی توسط فروشنده، از جمله مدل‌هایی است که بر بهبود مدیریت موجودی و در نتیجه افزایش سطح خدمات بدون افزایش سطح موجودی و هزینه‌های توزیع تأکید دارد. اجرای VMI هم برای فروشنده و هم برای خرده‌فروشانش سودمند است.[۴و۵] اجرای سیاست VMI توسط شرکت‌های بزرگ و موفق دنیا مورد توجه بوده است. یک نمونه‌ی موفقیت‌آمیز از اجرای VMI، مشارکت بین شرکت‌های پروکتر و گمبل (P&G) و وال‌مارت است که تحویل‌های به موقع P&G و فروش وال مارت را به‌طور چشم‌گیری (۲۰ تا ۲۵٪) افزایش داد و گردش موجودی را ۳۰٪ بهبود بخشید. شرکت باریلا در سال ۱۹۸۸ از طریق اجرای سیاست VMI موجودی خرده‌فروشان خود را تا حدود ۵۰٪ کاهش داد.[۶] Dell و HP نیز با اجرای VMI سطح موجودی و هزینه‌های خود را کاهش می‌دهند.[۷]

انتخاب خرده‌فروش یک فرایند تصمیم‌گیری اساسی برای فروشنده در یک سیستم VMI است. فروشنده باید تصمیم بگیرد که خرده‌فروش را انتخاب کند یا خیر. این امر به ویژه درمورد تولیدکنندگان با ظرفیت تولید محدود صادق است. تولیدکننده به‌عنوان فروشنده، باید خرده‌فروشان را انتخاب کند و تقاضای کل خرده‌فروشان منتخب را با توجه ظرفیت تولید خود تعیین کند. حتی اگر تولیدکننده از ظرفیت اضافی مشخصی برخوردار باشد، تخصیص خرده‌فروشان بیشتر برای استفاده از ظرفیت اضافی، ممکن است گزینه‌ی قابل قبولی نباشد. یکی از دلایل این امر

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۶/۱۷، اصلاحیه ۱۳۹۹/۱۱/۴، پذیرش ۱۳۹۹/۱۲/۱۸.
DOI:10.24200/J65.2021.56263.2142

این است که خرده‌فروشان اضافی ممکن است منجر به هزینه‌های بالای تحویل، هزینه‌ی موجودی و غیره شوند. در این پژوهش، برای انتخاب بهینه‌ی خرده‌فروشان برای تشکیل یک سیستم VMI، مدل غیرمتمرکز مبتنی بر نظریه‌ی بازی استکلبرگ توسعه داده شده است. مدل غیرمتمرکز، از دو مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیر خطی در دو سطح تشکیل شده است. مدل فرعی سطح اول، سود تولیدکننده را بیشینه می‌کند و هر خرده‌فروش می‌تواند پاسخ بهینه‌ی خود را با استفاده از مدل فرعی سطح دوم به دست آورد.

برخی از مدل‌های ارائه شده در حوزه‌ی زنجیره‌ی تأمین به بررسی تعامل میان اعضای زنجیره می‌پردازد؛ این تعامل می‌تواند از نوع همکاری یا رقابت باشد. اهداف متعارض اعضای یک زنجیره‌ی تأمین و تصمیم‌گیری مستقل هریک از اعضای آن باعث خواهد شد که هریک از اعضا در راستای بیشینه‌سازی سود خود گام بردارند و در نهایت موجب به وجود آمدن رقابت بین اعضای زنجیره می‌شود. در این تحقیق، رقابت در دو سطح عمودی و افقی در نظر گرفته شده است. رقابت در سطح عمودی در زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز، بین فروشنده و خرده‌فروشان در قالب بازی استکلبرگ و رقابت در سطح افقی به‌صورت ضمنی بین خرده‌فروش‌ها در نظر گرفته شده است. منظور از رقابت بین خرده‌فروش‌ها در این مطالعه، تلاش برای انتخاب شدن توسط فروشنده است. از آن‌جا که در زنجیره‌ی تأمین VMI، فروشنده، مدیریت موجودی خرده‌فروش را بر عهده دارد، می‌تواند بر اساس یک سری معیارها و با هدف‌هایی مانند بیشینه‌سازی سود یا کمینه‌سازی هزینه، خرده‌فروش‌های دلخواه را انتخاب کند. در این تحقیق، فروشنده با هدف بیشینه‌سازی سود خود به انتخاب خرده‌فروشان رقیب می‌پردازد. هدف مدل، بیشینه‌سازی سود تولیدکننده و خرده‌فروشان منتخب در زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز است. در سیستم VMI، تولیدکننده یک نوع محصول را تولید می‌کند و محصولات را با چرخه‌ی بازپرسازی مشترک به خرده‌فروشان منتخب تحویل می‌دهد. هر خرده‌فروش محصول را از تولیدکننده با قیمت عمده‌فروشی خریداری می‌کند و آن را با قیمت خرده‌فروشی به فروش می‌رساند. علاوه بر متغیر تصمیم تولیدکننده برای انتخاب خرده‌فروشان، به طور همزمان برخی دیگر از تصمیمات تأثیرگذار مانند قیمت عمده‌فروشی محصول، نرخ سفارش عقب افتاده و تصمیم خرده‌فروش در مورد قیمت خرده‌فروشی محصول نیز در نظر گرفته شده است. تحت سیاست VMI، تولیدکننده می‌تواند طی فرایند انتخاب به اطلاعات فروش خرده‌فروشان داوطلب دسترسی داشته باشد و پاسخ آن‌ها را درمورد تصمیمات خویش مشاهده کند. مثال‌های عددی نیز برای مقایسه‌ی استراتژی انتخاب خرده‌فروش با یک استراتژی عدم انتخاب (که در آن تمام خرده‌فروشان داوطلب در سیستم VMI گنجانده شده‌اند) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که سود تولیدکننده و خرده‌فروشان منتخب، هر دو، تحت استراتژی انتخاب به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

این مقاله در شش بخش سازمان‌دهی شده است. در بخش ۲، مرور مقالات مرتبط با موضوع ارائه می‌شود. بخش ۳ شامل معرفی نمادها و مدل پیشنهادی است. در بخش ۴، الگوریتم حل مدل پیشنهادی ارائه شده است. مثال‌های عددی در بخش ۵ ارائه شده و نهایتاً در بخش ۶، نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

در این قسمت ادبیات موضوع در دو بخش «مدیریت موجودی توسط فروشنده» و «نظریه‌ی بازی در مدیریت موجودی توسط فروشنده» مورد بررسی قرار گرفته است.

۱.۲. مدیریت موجودی توسط فروشنده

مسئله‌ی VMI یک روش بازپرسازی کششی[6] در زنجیره‌ی تأمین است. این رویکرد تأمین‌کننده را مسئول پاسخ‌گویی به خرده‌فروشان، در زمینه‌ی مشخص کردن اندازه‌ی انباشته و زمان‌های بازپرسازی می‌کند.[8] ساختار اولیه‌ی مفهومی VMI توسط مگی[7] در سال ۱۹۵۸ بدین صورت مطرح شد که چه کسی باید مسئولیت کنترل موجودی‌ها را بر عهده داشته باشد. او در یک ساختار مفهومی برای طراحی سیستم کنترل تولید، به وضوح راجع به این استراتژی صحبت کرده است.[9] مسئله‌ی VMI تا پیش از نیمه‌ی دوم دهه‌ی ۹۰ میلادی نه به‌عنوان اساس و مبنا در مدیریت موجودی، بلکه به‌عنوان یک چاشنی در مدیریت موجودی در نظر گرفته شده است. اما از نیمه‌ی دوم دهه‌ی ۹۰ با معرفی فنّاوری اینترنت، نگاه آرمانی به VMI از بین رفته است. از این‌رو مضامین تحقیقاتی VMI از سال ۱۹۹۵ به بعد با دقت بیشتری بررسی می‌شود.[10] مسئله‌ی VMI یکی از روش‌های چابک‌سازی زنجیره‌ی تأمین است؛ که با ایجاد هماهنگی بین اعضای زنجیره، می‌تواند زمان پاسخ‌گویی به تقاضای مشتری را کوتاه کند. مطالعات پیشین نشان داده‌که VMI می‌تواند عملکرد زنجیره‌ی تأمین را با کاهش سطح موجودی و افزایش نرخ پرسازی بهبود بخشد.[11] یائو[8] و همکاران (۲۰۰۷) اولین کسانی بودند که در مدل‌های VMI توسعه یافته بر مبنای سیاست EOQ، یک فرموله‌سازی ریاضی در یک زنجیره‌ی تأمین با یک فروشنده و یک خرده‌فروش برای نشان دادن مزایای اجرای VMI ارائه دادند.[12] درویش و اداه (۲۰۱۰) یک مدل VMI برای مسئله‌ی زنجیره‌ی تأمین با یک فروشنده و چند خرده‌فروش در نظر گرفته‌اند. فروشنده برای آیتم‌هایی که از مرز تعریف شده تجاوز کردند، هزینه‌ی جریمه در نظر گرفت. آن‌ها یک الگوریتم ابتکاری برای یافتن جواب بهینه با کمینه‌سازی تلاش‌های محاسباتی ارائه داده‌اند.[13] صادقی و همکاران (۲۰۱۳) یک زنجیره‌ی تأمین MV-MR-SW[9] که در آن هم فضا و هم تعداد سفارش‌های سالانه در انبار مرکزی محدود هستند را توسعه داده‌اند. هدف پیدا کردن مقادیر سفارش همراه با تعداد حمل‌ونقل‌های دریافت شده به وسیله خرده‌فروشان بود و همچنین فروشنده‌ها هزینه‌ی کل موجودی زنجیره را حداقل می‌کردند. برای یافتن جواب نزدیک به بهینه، الگوریتم فرابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)[10] ارائه شده است.[14] صادقی و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل VMI دو هدفه با یک فروشنده و چند خرده‌فروش توسعه داده‌اند که در آن تعداد بهینه‌ی ماشین‌های متوالی که در یک توالی برای تولید یک محصول کار می‌کنند در نظر گرفته شده‌اند. به منظور حل مدل پیشنهادی، از دو الگوریتم چندهدفه‌ی مبتنی بر رویکرد پارتو NSGA-II و NRGA استفاده شده است.[15] صادقی و اخوان نیاکی (۲۰۱۵) یک مدل دوهدفه برای زنجیره‌ی تأمین با یک فروشنده، چند خرده‌فروش و یک انبار مرکزی تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده ارائه داده‌اند. هدف مدل کمینه‌سازی هزینه‌ی موجودی و فضای انبار بود. از الگوریتم‌های NSGA-II و NRGA برای یافتن جواب پارتو استفاده شده است.[16] هانگ و همکاران (۲۰۱۶)، یک مدل دوسطحی متشکل از چندین فروشنده و چندین خرده‌فروش برای هر دو حالت زنجیره‌ی تأمین سنتی و زنجیره‌ی تأمین تحت سیاست VMI ارائه کرده‌اند و به مقایسه‌ی این دو حالت پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که هرگاه کمبود موجودی مجاز باشد، هزینه‌ی موجودی کل سیستم VMI کم‌تر از سیستم سنتی است.[17] اکبری کاسگری و همکاران (۲۰۱۷) استراتژی VMI را برای مدیریت موجودی محصول فاسدشدنی در یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی با یک فروشنده و چند خرده‌فروش به کار گرفته‌اند. الگوریتم‌های GA و PSO برای حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی غیرخطی توسعه داده شده‌اند.[18]

ربانی و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل EOQ چندمحصولی را با در نظر گرفتن کمبود به شکل پس‌افت جزئی تحت سیاست VMI، مطالعه کرده‌اند. دو الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی آنیلینگ و جست‌وجوی ممنوعه برای حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی پیشنهادی فازی استفاده شده است.[۱۹] پسندیده و همکاران (۲۰۱۸) یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک تأمین‌کننده، چندین خرده‌فروش و چندین محصول تحت سیاست VMI در نظر گرفته‌اند. مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش و یادگیری[۱۱] حل شده است.[۲۰] پرامودیو و لونگ (۲۰۱۹)، یک مدل زنجیره‌ی تأمین تحت سیاست VMI با در نظر گرفتن یک فروشنده و چندین خرده‌فروش ارائه داده‌اند. هدف اصلی تحقیق، تعیین اندازه انباشته‌ی خرده‌فروشان و فروشنده، تعیین زمان چرخه‌ی خرده‌فروش و در نهایت تعیین تعداد دفعات بازپرسازی در یک چرخه توسط فروشنده برای کمینه‌سازی هزینه‌ی کل سیستم است. برای حل مدل، تکنیک شبیه‌سازی ـ بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به کار برده شده است.[۲۱] وی و همکاران (۲۰۲۰) مدل یکپارچه برای زنجیره‌ی تأمین شامل یک فروشنده و یک خریدار تحت یک قرارداد مدیریت موجودی کالا توسط فروشنده ارائه دادند. در آن مطالعه، تأثیر دو سیاست کاهش انتشار کربن بر هزینه‌ها و عملکرد زیست‌محیطی یک زنجیره‌ی تأمین دومرحله‌یی بررسی شده است.[۲۲] سان و قوش (۲۰۲۰)، در پژوهش خود یک زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز دوسطحی شامل یک فروشنده و چندین خریدار تحت دو مدل بازپرسازی (LMI و VMI) [۱۲] با هماهنگی فروشنده مورد تحلیل قرار دادند. هدف مقاله این است که مزایای استفاده از VMI را ارزیابی کند و شایستگی های آن را در برابر یک سیستم LMI سنتی در یک زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز مقایسه کند.[۲۳]

۲.۲. نظریه‌ی بازی در مدیریت موجودی توسط فروشنده

یو و همکارانش (۲۰۰۹) یک سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده شامل یک تأمین‌کننده و چندین خرده‌فروش را مورد مطالعه قرارداده‌اند. آن‌ها با استفاده از نظریه‌ی بازی استکلبرگ، مزایای در اختیار داشتن اطلاعات خرده‌فروشان توسط تأمین‌کننده را بررسی کرده‌اند.[۲۴] زارع مهرجردی و همکاران (۲۰۱۳) در یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده به مقایسه‌ی عملکرد اعضای زنجیره در دو وضعیت ساختار متمرکز و غیرمتمرکز پرداخته‌اند. در این زنجیره‌ی تک‌محصولی تقاضا تابعی کاهشی از قیمت تقاضاست. با فرض رهبر بودن تولید کننده به مقایسه عملکرد دو زنجیره از طریق مدل بازی استاکلبرگ پرداخته شده‌است.[۲۵] رسایی و همکاران (۲۰۱۳)، در یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک فروشنده و چند خرده‌فروش تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده به مقایسه عملکرد اعضای زنجیره در دو وضعیت ساختار متمرکز و غیرمتمرکز پرداخته‌اند.[۲۶] یو و همکاران (۲۰۱۳) مسئله‌ی انتخاب بهینه‌ی خرده‌فروشان در یک مسئله‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده به‌صورت یک مدل بازی استکلبرگ فرموله کردند. یک الگوریتم ترکیبی شامل برنامه‌ریزی پویا، الگوریتم ژنتیک و روش‌های تحلیلی برای حل مدل عدد صحیح مختلط غیرخطی ارائه داده‌اند.[۲۷] هریگا و همکاران (۲۰۱۹) با در نظرگرفتن تأثیر یادگیری تصادفی، دو مدل مختلف مدیریت موجودی توسط خرده‌فروش و توسط فروشنده را با استفاده از بازی استکلبرگ مورد بررسی قرار داده‌اند.[۲۸] جووانی و همکاران (۲۰۱۹) یک زنجیره‌ی تأمین تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده همراه با قرارداد ارسال برای هماهنگی زنجیره‌ی تأمین در نظر گرفته‌اند. آن‌ها یک مدل دیفرانسیلی را توسعه دادند و برای دو بازی حل کردند.[۲۹]

در پایان بررسی پژوهش‌های پیشین مرتبط، نزدیک‌ترین مقالات به موضوع این مقاله در جدول ۱ آورده شده و مقایسه‌یی صورت گرفته است.

با مطالعه و بررسی تحقیقات صورت گرفته در مسئله‌ی مدیریت موجودی توسط فروشنده و تکیه بر ادبیات موضوع مشخص شد که در مورد انتخاب شریک برای سیستم VMI مطالعات بسیار کمی وجود دارد. همچنین در ادبیات نظریه‌ی بازی که عمدتاً روی هماهنگی های زنجیره‌ی تأمین یا ساختارهای مختلف قدرت بین فروشنده و خرده‌فروشان متمرکز است، یک فرض ضمنی در مطالعات وجود دارد که شرکای زنجیره‌ی تأمین (یعنی فروشندگان و خرده‌فروشان) از پیش تعیین شده‌اند. در این راستا، انتخاب شریک به ندرت با نظریه‌ی بازی ترکیب شده است. بنابراین در این مطالعه، پرکردن شکاف مسئله‌ی انتخاب خرده‌فروشان توسط تولیدکننده، برای یک سیستم VMI در شرایط رقابتی با ایجاد یک مدل بازی استکلبرگ هدف‌گیری شده است. علاوه بر این، با در نظر گرفتن متغیر راه‌اندازی یا عدم راه‌اندازی خط تولید، هزینه‌های تولید در تابع هدف تولیدکننده، بهینه می‌شود. همچنین، تأثیر پارامترهای مدل، بر عملکرد زنجیره‌ی تأمین و سیستم مدیریت موجودی توسط فروشنده به‌صورت گسترده تحلیل شده است.

۳. تعریف مسئله

پس از ارائه‌ی مقدمه و پیشینه‌ی تحقیق، در این بخش ابتدا مسئله‌ی پیشنهادی مدیریت موجودی توسط فروشنده تشریح می‌شود؛ سپس فرضیات، پارامترها و متغیرهای تصمیم تعریف می‌شود و در ادامه مدلی در زنجیره‌ی تأمین ارائه می‌شود.

در این پژوهش یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش تحت سیاست مدیریت موجودی توسط فروشنده در نظرگرفته می‌شود.

با توجه به سیاست حاکم و توافق صورت گرفته بین تولیدکننده و خرده‌فروش، مسئولیت مدیریت موجودی خرده‌فروش نیز به عهده‌ی تولیدکننده است. بنابراین تولیدکننده متحمل تمامی هزینه‌های نگهداری موجودی چه نزد خود یا خرده‌فروش خواهد بود. در قبال پذیرش مسئولیت مدیریت موجودی توسط تولیدکننده، خرده‌فروش مبلغی را به‌ازای هر واحد به‌عنوان هزینه‌ی موجودی به تولیدکننده می‌پردازد. این مبلغ بر اساس مذاکره و توافق بین تولیدکننده و خرده‌فروش تعیین می‌شود. در عوض، تولیدکننده به اطلاعات فروش و تقاضای واقعی بازار خرده‌فروش دسترسی خواهد داشت. در این زنجیره، تولیدکننده پس از تولید محصول، آن را به طور هم‌زمان برای خرده‌فروشان منتخب ارسال می‌کند. علاوه بر این، طبق توافق طرفین، کلیه کالاهای تولیدی در هردوره پرسازی، به یکباره دراختیار خرده‌فروش قرار می‌گیرد. تولیدکننده، برای تشکیل سیستم VMI، خرده‌فروشان منتخب را از مجموعه‌یی از خرده‌فروشان داوطلب $(1, 2, \dots, n)$ انتخاب می‌کند. تصمیمات تولیدکننده در فرایند انتخاب، شامل تعیین چرخه‌ی بازپرسازی تولید مشترک برای خرده‌فروشان (C)، تعیین میزان بهینه‌ی کمبود موجودی در انبارهای خرده‌فروشان (y_i)، تعیین قیمت عمده‌فروشی (w_p) و تعیین راه‌اندازی یا عدم راه‌اندازی خط تولید (z) است. تصمیم خرده‌فروش iام نیز تعیین قیمت خرده‌فروشی است. در مدل غیرمتمرکز، هدف اصلی بیشینه‌سازی سود تولیدکننده به‌عنوان رهبر (NP_m) است و بیشینه‌سازی سود هر خرده‌فروش i $(NP_{r_i}, i = 1, 2, \dots, n)$ به‌عنوان پیرو نیز در نظر گرفته می‌شود. فرایند تصمیم‌گیری فوق بر اساس فرضیاتی است که در ادامه خواهد آمد.

جدول ۱. خلاصه‌ی بررسی‌های پژوهش‌های پیشین مرتبط با موضوع (حوزه‌ی VMI).

ردیف	نام محقق (سال)	لایه‌های زنجیره		نوع رقابت	قیمت‌گذاری	انتخاب خرده‌فروش	متغیر راه‌اندازی خط تولید	تابع هدف							محدودیت	روش حل
		تولیدکننده (فروشنده)	خرده‌فروش					سفارش‌دهی	نگهداری موجودی	کمبود موجودی	حمل و نقل	هزینه تولید	هزینه خرید	درآمد		
۱	یو و همکاران (۲۰۰۹)	یک	چند	استکلبرگ	*		*	*	*	*	*	*	*	*	ظرفیت تولید	دقیق
۲	زارع مهرجردی و همکاران (۲۰۱۳)	یک	چند	استکلبرگ	*		*	*	*	*	*	*	*	*	ظرفیت تولید	کروش ـ کان ـ تاکر
۳	رسایی و همکاران، (۲۰۱۳)	یک	چند	استکلبرگ	*			*	*	*	*		*	*	ـ	کروش ـ کان ـ تاکر
۴	یو و همکاران (۲۰۱۳)	یک	چند	استکلبرگ	*	*		*	*	*	*	*	*	*	ظرفیت تولید	ترکیبی
۵	صادقی و همکاران (۲۰۱۳)	چند	چند	ـ				*	*						فضا، تعداد سفارش	فرابتکاری
۶	صادقی و اخوان نیاکی (۲۰۱۵)	یک	چند	ـ				*	*						تعداد سفارش بودجه	فرابتکاری
۷	هانگ و همکاران (۲۰۱۶)	چند	چند	ـ				*	*	*	*				ـ	دقیق
۸	پسندیده و همکاران (۲۰۱۸)	یک	چند	ـ	ـ			*	*		*				ـ	فرابتکاری
۹	پرامودیا و همکاران (۲۰۱۹)	یک	چند	ـ	ـ			*	*	*					ـ	فرابتکاری
۱۰	هریگا و همکاران (۲۰۱۹)	یک	چند	ـ	ـ			*	*						ـ	دقیق
۱۱	سان و قوش (۲۰۲۰)	یک	چند	ـ	ـ			*	*		*				ـ	دقیق
۱۲	تحقیق حاضر	یک	چند	استکلبرگ	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	ظرفیت تولید ـ ظرفیت تولید مازاد ـ نسبت کمبود	کروش ـ کان ـ تاکر

۱.۳. مفروضات تحقیق

مفروضات این پژوهش عبارت‌اند از:

- استراتژی مدیریت موجودی توسط فروشنده بر کاهش هزینه‌های کل زنجیره‌ی تأمین یا افزایش میزان سود اعضای زنجیره تأثیرگذار است؛
- زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش در نظر گرفته شده است؛
- تقاضای خرده‌فروشان به‌صورت تابعی از قیمت کالا در نظرگرفته شده است؛
- کمبود کالا مجاز است؛
- مسئله برای حالت تک‌محصولی در نظرگرفته شده است.

۲.۳. نمادها

در این قسمت، پارامترها و متغیرهای تصمیم به کارگرفته شده در مدل تشریح می‌شود.

i: اندیس خرده‌فروش $i = \{1, 2, \ldots, n\}$؛

a_i: شیب تقاضا در تابع تقاضای خرده‌فروش iام؛

K_i: مقدار ثابت در تابع تقاضای خرده‌فروش iام به طوریکه مقیاس بازار آن را نشان می‌دهد؛

$D_i(p_i)$: نرخ تقاضای خرده‌فروش iام که تابعی از قیمت کالا p_i است $(D_i(p_i) = K_i - a_i p_i)$؛

Cap: ظرفیت تولید تولیدکننده؛

Cm: هزینه‌ی تولید محصول توسط تولیدکننده؛

Hr_i: هزینه‌ی نگه‌داری محصول در انبار خرده‌فروش iام؛

Hm: هزینه‌ی نگه‌داری محصول در انبار تولیدکننده؛

Br_i: هزینه‌ی سفارش عقب افتاده در انبار خرده‌فروش iام؛

Sr_i: هزینه‌ی ثابت بازپرسازی محصول برای خرده‌فروش i توسط تولیدکننده؛

Sm: هزینه‌ی راه‌اندازی تولید محصول توسط تولیدکننده؛

ϕ_i: هزینه‌ی حمل و نقل مستقیم برای انتقال یک واحد محصول از تولیدکننده به خرده‌فروش i؛

ξ_i: هزینه‌ی موجودی پرداخت شده توسط خرده‌فروش i به تولیدکننده برای هر یک واحد محصول طبق سیاست VMI.

متغیرهای تصمیم فروشنده

x_i: متغیر صفر و ۱؛ اگر خرده‌فروش i توسط تولیدکننده انتخاب شود مقدار ۱ و درغیر این‌صورت مقدار صفر را اختیار می‌کند؛

y_i: نسبت کمبود در یک چرخه‌ی بازپرسازی مشترک برای خرده‌فروش i؛

C: چرخه‌ی بازپرسازی مشترک محصول برای تمام خرده‌فروش‌ها؛

z: متغیر صفر و ۱؛ اگر ظرفیت تولید مازاد باشد (بیشتر از تقاضا باشد) مقدار ۱ در غیر این‌صورت مقدار صفر را اختیار می‌کند؛

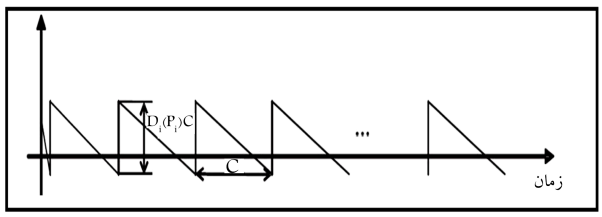
w_p: قیمت عمده‌فروشی محصول تنظیم شده توسط تولیدکننده.

متغیرتصمیم خرده‌فروش

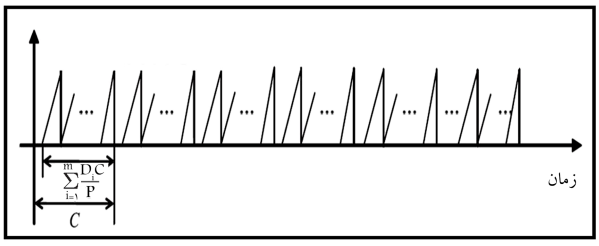
p_i: قیمت خرده‌فروش.

۳.۳. مدل انتخاب خرده‌فروش

در این بخش، مدل انتخاب خرده‌فروش توسط تولیدکننده در حالت زنجیره‌ی تأمین غیرمتمرکز ارائه می‌شود. برای تحلیل وضعیت سیستم در حالت غیرمتمرکز، با فرض



الف) سطح موجودی خرده فروش i ام؛



ب) سطح موجودی تولید کننده.

شکل ۱. تغییرات سطح موجودی خرده‌فروشان و تولیدکننده.

رهبر بودن فروشنده و پیرو بودن خرده‌فروشان، از نظریه‌ی بازی استکلبرگ استفاده خواهد شد. همان‌طورکه در شکل ۱ مشاهده می‌شود، سطوح موجودی برای تولیدکننده و خرده‌فروشان با گذشت زمان تغییر می‌کند.

طبق شکل ۱ الف (نمودار موجودی در انبار خرده‌فروش)، هزینه‌ی موجودی در انبار خرده‌فروش i در واحد زمان (شامل هزینه‌ی نگه‌داری موجودی و هزینه‌ی سفارش‌دهی) از رابطه‌ی ۱ قابل محاسبه است:

$$TIC_{r_i} = \frac{x_i}{C}\left[\frac{D_i(p_i)C^2}{2}\left(Hr_i(1-y_i)^2 + Br_i y_i^2\right) + Sr_i\right] \quad (1)$$

برای محاسبه‌ی هزینه‌ی موجودی کالا برای تولیدکننده طبق شکل ۱ ب، هنگامی‌که ظرفیت تولید تولیدکننده بیشتر از مجموع تقاضای خرده‌فروشان باشد $(\sum_{i=1}^{n} x_i D_i(p_i) < Cap)$، تولیدکننده نمی‌تواند محصول نهایی خود را به طور مداوم تولید کند و راه‌اندازی خط تولید ضروری است. مشابه مقدار تولید اقتصادی (EPQ)، هزینه‌ی راه‌اندازی تولید (Sm) برای هر چرخه‌ی بازپرسازی مشترک مورد نیاز است. بنابراین هزینه‌ی موجودی کالا در هر واحد زمان برای تولیدکننده با رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود:

$$TIC'_m = \frac{1}{C}\left[Hm\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i D_i(p_i)^2 C^2}{2Cap} + z\,Sm\right] \quad (2)$$

اما هنگامی‌که از ظرفیت تولید $(\sum_{i=1}^{n} x_i D_i(p_i) = Cap)$ استفاده می‌شود، فرایند تولید، به طور بی‌وقفه می‌تواند به کار خود ادامه دهد. هزینه‌ی موجودی محصول برای تولیدکننده در این حالت از رابطه‌ی ۳ به دست می‌آید:

$$TIC''_m = \frac{1}{C}\left[Hm\sum_{i=1}^{n}\frac{x_i D_i(p_i)^2 C^2}{2Cap}\right] \quad (3)$$

از تجزیه و تحلیل فوق می‌توان کل هزینه‌ی موجودی سیستم VMI را در رابطه‌ی ۴ بیان کرد:

$$TIC = TICr_i + zTIC'_m + (1-z)TIC''_m \quad (4)$$

به طوری که z متغیر باینری است که هرگاه مجموع تقاضای خرده‌فروش‌ها کم‌تر از نرخ تولید باشد، مقدار ۱ و در غیر این‌صورت مقدار صفر به آن اختصاص می‌یابد.

لازم به ذکر است که برای ساده‌سازی در مدل نهایی، متغیر صفر و ۱ z، با در نظر گرفتن جریمه‌ی γ (یک عدد بزرگ) به‌صورت $\gamma z(1-z)$ آزاد شده و به‌عنوان یک متغیر پیوسته در نظرگرفته شده است.

سود خالص تولیدکننده، برابر با درآمد وی منهای هزینه‌های کل است. درآمد حاصل از پرداخت خرده‌فروشان شامل دو قسمت است: یکی هزینه‌ی خرید کالا توسط خرده‌فروشان با قیمت عمده‌فروشی w_p و دیگری پرداخت خرده‌فروشان به تولیدکننده برای مدیریت موجودی‌شان است. بنابراین درآمدکل تولیدکننده از رابطه‌ی ۵ حاصل می‌شود:

$$TR_m = \sum_{i=1}^{n} x_i D_i(p_i)\,(w_p + \xi_i) \qquad (۵)$$

هزینه‌های مستقیم تولیدکننده که شامل هزینه‌های تولید و حمل و نقل محصول است، بر اساس رابطه‌ی ۶ به دست می‌آید:

$$TDC_m = \sum_{i=1}^{n} x_i D_i(p_i)\,(Cm + \phi_i) \qquad (۶)$$

در نهایت مدل دوسطحی انتخاب خرده‌فروش توسط تولیدکننده شامل روابط ۷ تا ۱۴ است.

$$\begin{aligned} Max\ NP_m = {} & \sum_{i=1}^{n} x_i D_i(p_i)\,(w_p + \xi_i) - \tfrac{1}{C}\left[\sum_{i=1}^{n} x_i Sr_i + Sm\right] \\ & - \tfrac{C}{2}\left[\sum_{i=1}^{n} x_i D_i\left(Hr_i(1-y_i)^2 + Br_i y_i^2\right) + Hm\sum_{i=1}^{n}\tfrac{x_i D_i(p_i)^2}{Cap}\right] \\ & - \sum_{i=1}^{n} x_i D_i\,(Cm + \phi_i) - \gamma z(1-z) \end{aligned} \qquad (۷)$$

$$S.t: \qquad (۸)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i D_i(p_i) \le Cap \qquad (۹)$$

$$Cap - \sum_{i=1}^{n} x_i D_i(p_i) \le \gamma z \qquad (۱۰)$$

$$\frac{x_i}{\gamma} \le 1 - y_i \le x_i \qquad \forall i = 1,\ldots,n \qquad (۱۱)$$

$$\begin{aligned} & x_i = \{0,1\},\ \ 0 \le y_i \le 1 \quad \forall i = 1,\ldots,n \\ & C \succ 0,\ w_p \ge 0,\ 0 \le z \le 1 \end{aligned} \qquad (۱۲)$$

$$MaxNPr_i(p_i) =) p_i - w_p - \xi_i) D_i(p_i)\ \ i = 1,\ldots,n \qquad (۱۳)$$

$$(p_i - w_p - \xi_i) \ge 0 \qquad (۱۴)$$

رابطه‌ی ۷ تابع هدف بیشینه‌سازی سود خالص تولیدکننده را نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۸ محدودیت ظرفیت تولید تولیدکننده را نشان می‌دهد. محدودیت ۹ نشان می‌دهد که هرگاه مجموع تقاضای خرده‌فروشان از مقدار ظرفیت تولید کم‌تر باشد، متغیر z مقدار ۱ می‌گیرد. محدودیت ۱۰، بیان می‌کند که اگر خرده‌فروشی توسط تولیدکننده انتخاب نشود، میزان مشارکت تولیدکننده در تأمین کالای خرده‌فروش صفر خواهد بود؛ به عبارت دیگر اگر خرده‌فروش توسط تولیدکننده انتخاب نشود، کسر تأمین تقاضای محصول که به این تولیدکننده واگذار می‌شود صفر خواهد بود. روابط ۱۱ نوع متغیرها و دامنه‌ی آن‌ها را نشان می‌دهند. رابطه‌ی ۱۲ سود خالص هر واحد محصول برای خرده‌فروش i، را نشان می‌دهد. رابطه‌ی ۱۳ بیان می‌کند که قیمت خرده‌فروشی باید از مجموع قیمت عمده‌فروشی و هزینه‌ی موجودی برای خرده‌فروش بیشتر مساوی باشد و در نهایت رابطه‌ی ۱۴ دامنه‌ی متغیر قیمت خرده‌فروشی را نشان می‌دهد.

۴. روش حل

در این مطالعه، یک مدل دوسطحی برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط، برای نشان دادن رقابت بین تولیدکننده و خرده‌فروشان پیاده‌سازی شده است که در آن، دو سطح بهینه‌سازی (به‌ترتیب با عنوان رهبر و پیرو) وجود دارد. علاوه بر این در برنامه‌ریزی دوسطحی، برخی از متغیرها توسط رهبر کنترل می‌شوند و برخی از آن‌ها تحت کنترل پیروان هستند. سان و همکاران (۲۰۰۸) اظهار داشتند که به طور کلی حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی دوسطحی، دشوار است. دلیل این امر این است که مسئله‌ی برنامه‌ریزی دوسطحی جزء مسائل NP-hard است و ممکن است مدل، مسئله‌ی غیرمحدب باشد، در حالی که سطوح بالا و پایین محدب‌اند. بنابراین، روش‌های دقیق برای حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط دوسطحی، در ادبیات موجود بسیار محدودند.[۳۰] در این بخش، از روش اصلاح شده‌ی شرایط کروش ـ کان ـ تاکر (KKT) برای حل مدل استفاده شده است. همان‌طور که بارد و مور (۱۹۹۰) نشان داده‌اند، هنگامی که یک مسئله‌ی سطح پایین شامل هیچ متغیر صفر و ۱ نباشد، می‌توان از شرایط KKT برای اصلاح مدل دوسطحی و ادغام آن در یک فرم تک‌سطحی معادل استفاده کرد (به طور خاص، این رویکرد با استفاده از شرایط بهینه‌ی سطح پایین و افزودن آن‌ها به عنوان محدودیت‌هایی برای مسئله‌ی سطح بالا، مدل دوسطحی را به مدل تک‌سطحی تبدیل می‌کند.[۳۱و۳۲] بر این اساس، از آن‌جا که مدل ارائه شده، یک مدل دوسطحی است و مدل سطح پایین که همان تابع هدف سود خرده‌فروش است، شامل تنها متغیر قیمت خرده‌فروش است که متغیری پیوسته است و شامل هیچ‌گونه متغیر صفر و ۱ نیست. بنابراین، مدل پایه‌ی دوسطحی با استفاده از شرایط KKT به یک مدل تک‌سطحی معادل تغییر می‌کند. در نهایت با حل مدل تک‌سطحی که یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط است، می‌توان نقطه‌ی تعادل استکلبرگ و استراتژی مطلوب هرکدام از بازیکنان (تولیدکننده و خرده‌فروش‌ها) را تعیین کرد.

برای حل مدل دوسطحی ارائه شده، ابتدا مقدار بهینه‌ی تابع هدف خرده‌فروش iام، به‌عنوان پیرو بازی محاسبه می‌شود.

قضیه‌ی ۱: مقدار بهینه‌ی $p_i (i = 1,\ldots,n)$ برابر است با

$$p_i^*(w_p) = \frac{(w_p + \xi_i + {K_i}/{a_i})}{2} \qquad (۱۵)$$

اثبات:

$$\begin{aligned} & \tfrac{\partial NP\,r_i(p_i)}{\partial p_i} = -2a_i p_i + a_i(w_p + \xi_i) + K_i \\ & \forall i = 1,..,n, \quad , \tfrac{\partial^2 NP\,r_i(p_i)}{\partial p_i^2} = -2a_i < 0 \end{aligned} \qquad (۱۶)$$

چنان‌که مشاهده می‌شود، مشتق دوم تابع سود خرده‌فروش iام منفی است. بنابراین تابع سود اکیداً مقعر است و با مساوی صفر قرار دادن مشتق، مقدار بهینه‌ی p_i محاسبه می‌شود:

$$\frac{\partial NP\,r_i(p_i)}{\partial p_i} = 0 \Rightarrow \ \ p_i^*(w_p) = \frac{(w_p + \xi_i + {K_i}/{a_i})}{2} \qquad (۱۷)$$

حال برای یافتن نقطه‌ی تعادل استکلبرگ، شرایط (KKT) را برای مسئله‌ی خرده‌فروش‌ها به‌عنوان پیروان بازی نوشته و سپس آن را در مسئله‌ی تولیدکننده جایگذاری می‌کنیم.

فرایند تصمیم‌گیری در بازی استکلبرگ به این صورت است که در مرحله‌ی اول، تولیدکننده به‌عنوان رهبر بازی، خرده‌فروشان منتخب، چرخه‌ی بازپرسازی مشترک محصول برای خرده‌فروش‌ها، قیمت عمده‌فروشی محصول، نسبت کمبود و راه‌اندازی خط تولید یا عدم آن را تعیین می‌کند. در مرحله‌ی دوم، خرده‌فروش‌ها به‌عنوان پیروان بازی بر اساس نتایج تصمیمات تولیدکننده، سود خود را بهینه کرده و قیمت خرده‌فروشی را تعیین می‌کنند. شرایط KKT برای مسئله‌ی خرده‌فروش iام، به‌صورت معادله‌ی ۱۸ است:

$$\begin{aligned}&(p_i - w_p - \xi_i) \geq 0 \ \perp \lambda_i \geq 0,\\ &-2a_i p_i + a_i(w_p + \xi_i) + K_i + \lambda_i \leq 0 \ \perp p_i \geq 0\end{aligned} \quad (18)$$

شرایط کان تاکر را با قرار دادن جریمه بزرگ γ برای تخلف از شرایط مکمل، وارد مسئله‌ی بهینه‌سازی تولیدکننده می‌کنیم. با حل مدل برنامه‌ریزی حاصله می‌توان نقطه‌ی تعادل استکلبرگ و استراتژی مطلوب هرکدام از بازیکنان را مشخص کرد. بنابراین خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}&(M_1)\ Max\ NP_m = \\ &\sum_{i=1}^{n} x_i D_i(p_i)(w_p + \xi_i) - \tfrac{1}{C}\left[\sum_{i=1}^{n} x_i Sr_i + Sm\right] \\ &-\tfrac{C}{2}\left[\sum_{i=1}^{n} x_i D_i\left(Hr_i(1-y_i)^2 + Br_i y_i{}^2\right) + Hm\sum_{i=1}^{n}\tfrac{x_i D_i(p_i)^2}{Cap}\right] \\ &-\sum_{i=1}^{n} x_i D_i(Cm + \phi_i) - \gamma z(1-z) - \gamma\sum_{i=1}^{n}\lambda_i(p_i - w_p - \xi_i) \\ &+\gamma\sum_{i=1}^{n} p_i\left[-2a_i p_i + a_i(w_p + \xi_i) + K_i + \lambda_i\right]\end{aligned} \quad (19)$$

$$S.t$$

$$-2a_i p_i + a_i(w_p + \xi_i) + K_i + \lambda_i \leq 0 \quad i = 1, \ldots, n \quad (20)$$

به همراه روابط ۸ تا ۱۱ و رابطه‌ی ۱۳.

قضیه ۲: مقادیر بهینه‌ی $y_i \ \forall i = 1, \ldots, n$ در مدل M_1 برابر است با $\frac{Hr_i}{Hr_i + Br_i}$.

اثبات:

$$\begin{aligned}&\tfrac{\partial NP_m}{\partial y_i} = D_i\left(Hr_i(1-y_i) - Br_i y_i\right) \quad \forall i = 1, .., n,\\ &\tfrac{\partial^2 NP_m}{\partial y_i^2} = -D_i\left(Hr_i + Br_i\right) < 0\end{aligned} \quad (21)$$

در نتیجه برای مقادیر ثابت $(\forall j = 1, \ldots, n, j \neq i) y_j$ ، w_p و C تابع NP_m نسبت به y_i اکیداً مقعر است و می‌توان مقدار بهینه‌ی y_i را با برابر صفر قرار دادن مشتق محاسبه کرد.

$$\frac{\partial NP_m}{\partial y_i} = 0 \Rightarrow y_i^* = \frac{Hr_i}{Hr_i + Br_i} \quad (22)$$

واضح است که مقدار y_i^* به طور خودکار در محدودیت‌های مدل M_1 صادق است.

۵. مثال‌های عددی

استراتژی انتخاب خرده‌فروش منجر به عملکرد بهتر نسبت به استراتژی عدم انتخاب می‌شود. برای نشان دادن تأثیرات انتخاب خرده‌فروشان بر سود تولیدکننده، بر اساس مدل بازی استکلبرگ پیشنهادی مثال‌های عددی برای دو استراتژی انتخاب خرده‌فروش و عدم انتخاب انجام خواهد شد و نتایج آن‌ها مقایسه می‌شود. در ادامه نیز با انجام

جدول ۲. مقادیر پارامترهای ده خرده‌فروش دواطلب.[۲۷]

i	Sr_i	Hr_i	Br_i	ϕ_i	ξ_i	K_i	a_i
۱	۲۳۸٫۳	۷٫۷	۷۱۶٫۶	۱۰٫۸	۱۸٫۷	۱۰۲۰	۰٫۶۹
۲	۱۸۴٫۶	۶٫۶	۱۲۰۴٫۸	۸۰٫۸	۴۴٫۶	۲۶۸۰	۱٫۶۹
۳	۲۰۲٫۱	۵	۲۰۲۱٫۱	۷۹۲٫۷	۳۱٫۹	۲۹۸۰	۱٫۵۱
۴	۱۶۱٫۵	۸٫۵	۹۲۴٫۹	۹٫۳	۱۸٫۵	۵۱۰	۰٫۹۶
۵	۱۲۶٫۶	۱۸٫۶	۲۶۴۴٫۲	۱۶٫۴	۵۲٫۸	۹۳۰	۰٫۶۲
۶	۲۳۲٫۲	۲۱٫۸	۱۲۵۳٫۳	۸۶۶٫۱	۳۲٫۷	۳۲۴۰	۱٫۹۸
۷	۲۲۳٫۱	۴٫۴	۱۰۴۴٫۲	۱۳۹٫۴	۳۰٫۵	۱۰۴۰	۱٫۲۷
۸	۱۶۰٫۱	۷٫۹	۵۶۰٫۲	۱۸٫۵	۲۰٫۸	۷۸۰	۰٫۷۵
۹	۲۴۵٫۹	۹٫۴	۲۸۲۹	۱۶٫۱	۳۹٫۱	۲۷۹۰	۱٫۷۲
۱۰	۲۴۵	۱۷٫۵	۳۲۴٫۶	۱۰۹۱	۳۶٫۱	۲۵۶۰	۱٫۰۲

تجزیه و تحلیل حساسیت تأثیرات فوق تأیید خواهد شد. این تجزیه و تحلیل حساسیت همچنین برای توضیح دلایل انتخاب یا رد خرده‌فروشان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مثال‌های عددی، مدل پیشنهادی توسط نرم‌افزار لینگو ۱۴ با سالور شاخه و کران حل شده است.

۱.۵. تأثیر انتخاب خرده‌فروش بر روی سود

در مثال پایه، یک تولیدکننده و ده خرده‌فروش دواطلب وجود دارد. مقادیر پارامترهای ورودی از پژوهش یو و همکاران[۲۷] برگرفته شده است. مقادیر پارامترهای ورودی تولیدکننده عبارت‌اند از: $Cm = 20$، $Sm = 200$، $Hm = 4$ و $Cap = 1500$. مقادیر پارامترهای ورودی خرده‌فروشان در جدول ۲ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که برای اطمینان از کارایی مدل انتخاب خرده‌فروش، ظرفیت تولید تولیدکننده محدود در نظر گرفته شده است. واحد زمان یک سال و واحد پول دلار است. نتایج مدل بازی استکلبرگ پیشنهادی در حالت انتخاب خرده‌فروش، برای تصمیمات تولیدکننده عبارت است از:

$$c^* = 0.35$$

$$w_p^* = 38.913, x^* = \{1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 0\} z^* =$$

$$y^* = \{0.011, 0.005, -, -, 0.007, -, -, 0.014, 0.003, -\}$$

پنج خرده‌فروش شامل خرده‌فروشان ۱، ۲، ۵، ۸ و ۹ انتخاب شده‌اند. بیشینه سود تولیدکننده ۱۳۳۶۲۵۷ است. مقادیر قیمت خرده‌فروشان عبارت است از:

$$p^* =$$

$$\{1205.170, 1271.869, -, -, 1233.094, -, -, 987.089, 1287.291, -\}$$

سود خرده‌فروشان در ردیف ۲ جدول ۳ نشان داده شده است. نتیجه‌ی استراتژی عدم انتخاب (یعنی هر ۱۰ خرده‌فروش در سیستم VMI وجود داشته باشند)، بیشینه سود تولید کننده ۹۸۰۶۷۵ با قیمت عمده‌فروشی بهینه‌ی $W_p^* = 1324.265$ است. سود ده خرده‌فروش در ردیف ۳ جدول ۳ آورده شده است. مقادیر ردیف آخر جدول ۳، افزایش سود خرده‌فروشان منتخب به دلیل انتخاب آن‌هاست. با یافته‌های فوق نتیجه می‌گیریم:

۱. تا حد زیادی، تصمیم تولیدکننده در مورد انتخاب خرده‌فروش تأثیر مثبتی بر سود او می‌گذارد. همان‌طور که در نتایج نشان داده می‌شود، سود تولیدکننده

جدول ۳. مقادیر سود خرده‌فروش‌ها تحت دو استراتژی (بر حسب ۱۰۰۰ واحد).

اندیس خرده‌فروش	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
با انتخاب	۵۱٫۴۶	۱۶۶٫۵۵	۰(۳۹۹٫۰۸)	۰(-۳۸٫۵۳)	۴۴٫۱۷	۰(۲۳۵٫۸۷)	۰(-۴٫۹۶)	۲٫۱۰	۱۹۲٫۸۰	۰(۶۲۰٫۸۱)
بدون انتخاب	۰٫۴۴	۵٫۴۱	۶۶٫۵۲	۱۰۹٫۲۱	۰٫۲۶	۱۲٫۸۳	۶۸٫۲۱	۱۵٫۴۱	۹٫۰۶	۱۷۴٫۵۵
درصد تغییر	۱۱۵۶۶	۲۹۸۰	-	-	۱۶۶۳۲	-	-	$^{2}\infty$	۲۰۲۹	-

نکته: در هر دو حالت، تولیدکننده پس از انتخاب از ظرفیت خود با $D = \{۱۸۸٫۴۳, ۵۳۰٫۵۴, -, -, ۱۶۵٫۴۸, -, -, ۳۹٫۶۸, ۵۷۵٫۸۶, -\}$ استفاده کرده است ۱. مقادیر داخل پرانتز سود خرده‌فروشان با قیمت عمده‌فروشی بهینه‌ی $W_p^* = ۹۱۳$ /۳۸ دلار در صورت انتخاب است. ۲. نشان می‌دهد که یک شرکت دارای کسری پس از انتخاب سود آور می‌شود.

در نتیجه فرایند انتخاب خرده‌فروش به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد: (۹۸۰۶۷۵ ÷ (۱۳۳۶۲۵۷ − ۹۸۰۶۷۵)) = ٪۳۶/۲۶؛

۲. سود خرده‌فروشان منتخب به دلیل کاهش تعداد خرده‌فروشان می‌تواند به میزان قابل توجهی افزایش یابد. به‌عنوان مثال، همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، سود خرده‌فروش ۹ بیش از ۳۰ واحد افزایش می‌یابد؛

۳. سودآورترین خرده‌فروش، (به‌عنوان مثال، خرده‌فروش ۱۰) ممکن است انتخاب نشود زیرا تولیدکننده به جای توجه به سود خرده‌فروشان، تنها به سودآوری خود اهمیت می‌دهد؛

۴. در استراتژی عدم انتخاب، سود برخی خرده‌فروشان منفی شده است، گرچه این حالت عملاً امکان‌پذیر نیست.

۲.۵. تحلیل حساسیت

در این مطالعه، تجزیه و تحلیل حساسیت با توجه به پارامترهای مربوط با تولیدکننده، پارامترهای مربوط به خرده‌فروش و سایر پارامترها انجام می‌شود.

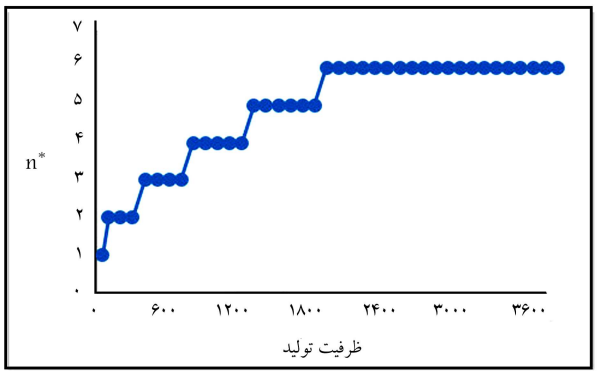
۱.۲.۵. پارامتر مربوط به تولیدکننده

- **ظرفیت تولید**

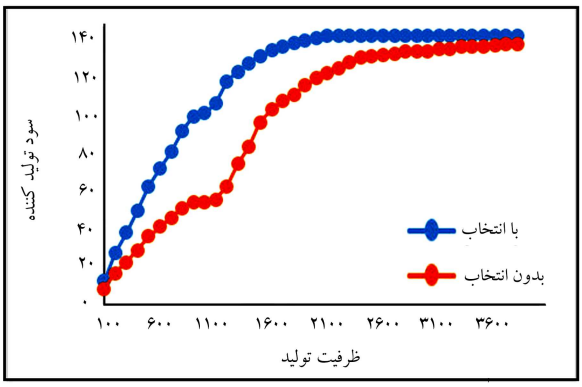
در این قسمت برای بررسی تغییرات ظرفیت تولید بر روی بحث انتخاب خرده‌فروش، مقدار متغیر z برابر یک در نظرگرفته می‌شود. تغییرات ظرفیت تولید، بر تعداد خرده‌فروشان منتخب و بیشینه سود تولیدکننده تأثیر می‌گذارد. مقادیر ظرفیت تولید تولیدکننده را از ۱۰۰ (مقدارکم) به ۳۸۰۰ (مقدار زیاد) در مدل تغییر داده تا تغییرات مربوطه در متغیرهای فوق مشاهده شود. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، به‌عنوان یک روند کلی، افزایش ظرفیت تولید منجر به افزایش تعداد بهینه‌ی خرده‌فروشان و بیشینه سود تولیدکننده می‌شود.

با توجه به یافته‌های فوق نتیجه می‌گیریم:

۱. اگر ظرفیت تولید تولیدکننده به اندازه کافی زیاد باشد، انتخاب تمام خرده‌فروشان داوطلب برای تشکیل سیستم VMI توسط تولیدکننده، کار عاقلانه‌یی نیست. حتی اگر یک خرده‌فروش خودش سودآور باشد و مایل به عضویت در سیستم باشد، هزینه‌ی تولید بالایی (مانند هزینه‌ی مدیریت موجودی و هزینه‌ی حمل و نقل) داشته باشد، توسط تولیدکننده رد می‌شود ($X_i = ۰$)، چراکه به تولیدکننده ضرر می‌رساند. همان‌طور که در شکل ۲ الف و ۲ ب نشان داده شده، اگرچه ظرفیت تولید تولیدکننده بعد از $Cap = ۲۲۰۰$ افزایش می‌یابد، تولیدکننده بیشتر از ۶ خرده‌فروش را انتخاب نمی‌کند. همان‌طور که در شکل ۲ الف نشان داده شده است، بیشتر خرده‌فروشان با افزایش مقدار ظرفیت از ۱۰۰ به ۲۱۰۰ انتخاب می‌شوند. اما در نهایت، ممکن است برخی از خرده‌فروشان انتخاب



الف) تغییر در تعداد بهینه ی خرده فروشان (n)، ناشی از تغییر ظرفیت تولید (در حالت ۱=z^*)؛

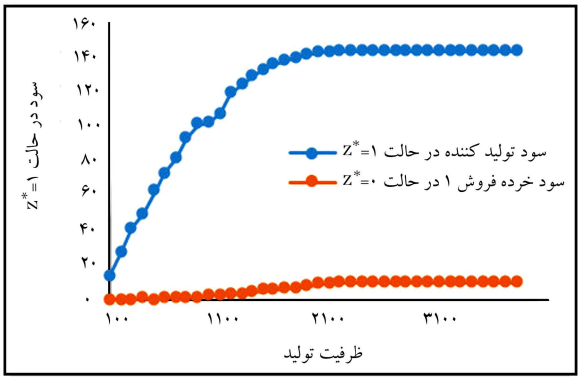


ب) تغیر در سود تولید کننده ناشی از تغییر در ظرفیت تولید (در حالت ۱=z^*).

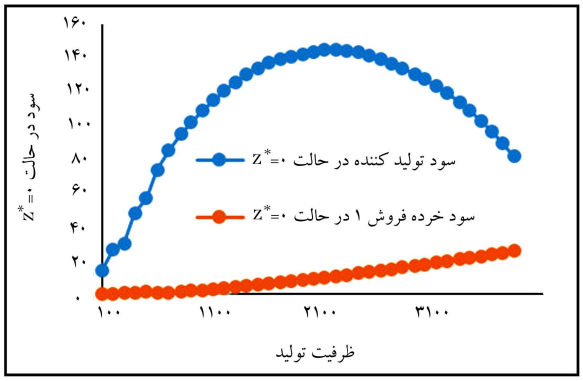
شکل ۲. تأثیرات تغییر ظرفیت تولید بر روی تعداد بهینه‌ی خرده‌فروشان و سود تولیدکننده (در حالت ۱ = z^*)؛ (مقادیر سود بر حسب ۱۰۰۰۰ واحد).

نشوند زیرا امکان دارد یک خرده‌فروش سودآور، برای تولیدکننده سودآور نباشد، یا یک خرده‌فروش نتواند سود مثبتی کسب کند؛

۲. در صورت محدود بودن ظرفیت تولید، سود تولیدکننده در نتیجه‌ی به‌کارگیری استراتژی انتخاب خرده‌فروش، همواره افزایش می‌یابد. این افزایش سود زمانی که ظرفیت تولید کم باشد بسیار قابل توجه است. مدل به تولیدکننده این امکان را می‌دهد تا خرده‌فروشانی را انتخاب کند که برای او سودآورترند. بنابراین وقتی که ظرفیت نسبتاً کم باشد، سود تولیدکننده با استراتژی انتخاب افزایش می‌یابد، زیرا خرده‌فروشانی که بیشترین سود را برای او دارند انتخاب می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۲ ب نشان داده شده است، اگر ظرفیت بین ۴۰۰ تا ۱۴۰۰ باشد، افزایش بیش از ٪۵۰ است.

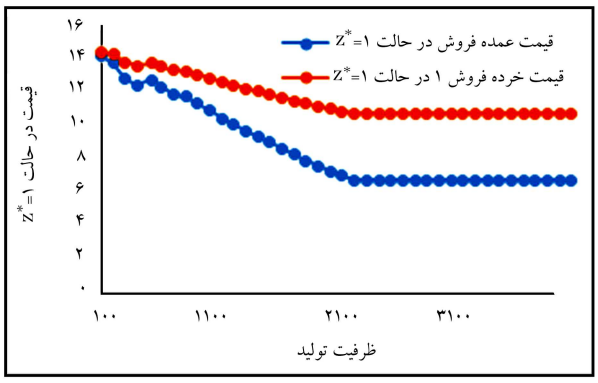


الف) تاثیر تغییر ظرفیت تولید بر میزان سود (در حالت ۱=z^*)؛

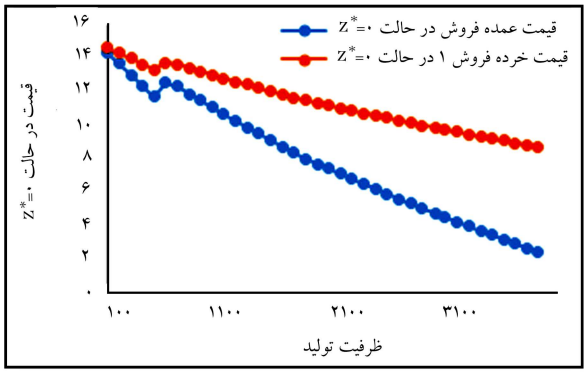


ب) تاثیر تغییر ظرفیت تولید بر میزان سود (در حالت ۰=z^*).

شکل ۳. تأثیر ظرفیت تولید بر میزان سود تولیدکننده و خرده‌فروش؛ (مقادیر سود بر حسب ۱۰۰۰۰ واحد).



الف) تاثیر تغییر ظرفیت تولید بر قیمت (در حالت ۱=z^*)؛



ب) تاثیر تغییر ظرفیت تولید بر قیمت (در حالت ۰=z^*).

شکل ۴. تأثیر تغییر ظرفیت تولید بر قیمت عمده فروش و خرده‌فروش ۱ (مقادیر بر حسب ۱۰۰ واحد).

تغییرات ظرفیت تولید، بر میزان سود تولیدکننده، سود خرده‌فروش، قیمت عمده فروش، قیمت خرده‌فروش نیز تأثیر می‌گذارد. در این قسمت، مقادیر ظرفیت تولید تولیدکننده را از مقدار ۱۰۰ (مقدارکم) به ۳۸۰۰ (مقدار زیاد) در مدل تغییر داده تا تغییرات مربوطه در متغیرهای فوق مشاهده شود.

شکل ۳، تأثیر ظرفیت تولید بر میزان سود تولیدکننده و خرده‌فروش در دو حالت $z^* = ۱$ و $z^* = ۰$، را نشان می‌دهد. برای تغییرات متغیرهای مدل در این حالت نیز بستگی به متغیر z دارد.

در حالتی که $z^* = ۱$ یا به عبارتی دیگر $\sum_{i=۱}^{n} x_i D_i(p_i) < Cap$ باشد، با افزایش میزان ظرفیت تولید تا ۲۲۰۰، تولیدکننده خرده‌فروشانی را انتخاب می‌کند که برایش سودآورند. در نتیجه میزان سود تولیدکننده و خرده‌فروش افزایش می‌یابد. اما با افزایش بیشتر ظرفیت، میزان سود تولیدکننده و خرده‌فروش ثابت باقی می‌ماند. همان‌طورکه در شکل ۲ الف قابل مشاهده است، دلیل این امر این است که اگرچه ظرفیت تولید تولیدکننده بعد از ۲۲۰۰ افزایش می‌یابد، اما تولیدکننده بیشتر از ۶ خرده‌فروش را انتخاب نمی‌کند زیرا ۴ خرده‌فروش باقی‌مانده برایش سودآور نیستند و در نتیجه مقدار سود ثابت باقی می‌ماند.

اما در حالتی که $z^* = ۰$ یا به عبارتی دیگر $\sum_{i=۱}^{n} x_i D_i(p_i) = Cap$ باشد، با افزایش میزان ظرفیت از ۱۰۰ تا ۲۲۰۰، تولیدکننده خرده‌فروشانی را انتخاب می‌کند که برایش سودآورند. اما با افزایش بیشتر میزان ظرفیت، تولیدکننده برای برقراری رابطه $\sum_{i=۱}^{n} x_i D_i(p_i) = Cap$ مجبور است تا خرده‌فروشانی که برایش سودآور نیستند را نیز انتخاب کند. بنابراین این امر بر خلاف حالت $z^* = ۱$ باعث کاهش سود تولیدکننده و افزایش سود خرده‌فروش می‌شود. در حالت کلی می‌توان گفت:

$$if\ z^* = ۱$$

$$\begin{cases} ۱۰۰ \le Cap \le ۲۲۰۰ & \Rightarrow \quad NP_m \uparrow \ NPr_i \uparrow \\ ۲۲۰۰ \le Cap \le ۳۸۰۰ & \Rightarrow \quad NP_m ,\ NPr_i \equiv const \end{cases}$$

$$if\ z^* = ۰ \begin{cases} ۱۰۰ \le Cap \le ۲۲۰۰ & \Rightarrow \quad NP_m \uparrow \ NPr_i \uparrow \\ ۲۲۰۰ \le Cap \le ۳۸۰۰ & \Rightarrow \quad NP_m \downarrow \ NPr_i \uparrow \end{cases}$$

در شکل ۴، تأثیر تغییر ظرفیت تولید بر مقدار قیمت عمده‌فروش و خرده‌فروش در دو حالت $z^* = ۱$ و $z^* = ۰$ نشان داده شده است. برای تغییرات متغیرهای مدل در این حالت نیز بستگی به متغیر z دارد. در حالتی‌که $z^* = ۱$ یا به عبارتی دیگر $\sum_{i=۱}^{n} x_i D_i(p_i) < Cap$ باشد، با افزایش میزان ظرفیت تولید تا ۲۲۰۰، تولیدکننده خرده‌فروشانی را انتخاب می‌کند که برایش سودآورند و در نتیجه تعداد خرده‌فروشان منتخب افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد خرده‌فروشان منتخب، میزان تقاضا نیز افزایش می‌یابد و با افزایش میزان تقاضا (تابع تقاضا نسبت به قیمت کاهشی است)، مقدار قیمت عمده‌فروش و خرده‌فروش کاهش می‌یابد. اما با افزایش بیشتر ظرفیت، همان‌طورکه در شکل ۲ الف قابل مشاهده است، اگرچه ظرفیت تولید تولیدکننده بعد از ۲۲۰۰ افزایش می‌یابد، اما تولیدکننده بیشتر از ۶ خرده‌فروش را انتخاب نمی‌کند؛ در نتیجه مقدار تقاضا و به دنبال آن قیمت‌ها ثابت باقی می‌مانند.

جدول ۴. تأثیر تغییر در پارامتر K_i بر قیمت و سود تولید کننده و خرده‌فروش.

z	K_1	p_1	Wp	NPr_1	NPm
۰	پایه	۱۲۰۵/۱۷	۹۱۳/۳۸	۵۱۴۵۹/۴۱	۱۳۳۶۲۵۷
۰	۲۷۰	۱۴۲۵/۵۰	۹۶۲/۷۴	۱۳۶۰۶۲/۷۰	۱۴۱۱۲۱۸
۰	۳۲۰	۱۴۶۶/۳۰	۹۷۱/۸۸	۱۵۶۱۵۶/۷۸	۱۴۲۵۰۹۸
۰	۳۴۰	۱۴۸۲۶/۶۲	۹۷۵/۵۳	۱۶۴۵۸۱/۷۷	۱۴۳۰۶۵۰

اما در حالتی‌که $z^* = ۰$ یا به عبارتی دیگر $\sum_{i=۱}^{n} x_i D_i(p_i) = Cap$ باشد، با افزایش میزان ظرفیت از ۱۰۰ تا ۲۲۰۰، رفتار و دلیل رفتار قیمت‌ها مشابه حالت $z^* = ۱$ است. اما با افزایش بیشتر میزان ظرفیت، تولیدکننده برای برقراری رابطه $\sum_{i=۱}^{n} x_i D_i(p_i) = Cap$ مجبور است تا خرده‌فروشانی را نیز انتخاب کند (بر خلاف حالت $z^* = ۱$) که برایش سودآور نیستند. این امر باعث افزایش میزان تقاضا و در نتیجه کاهش دوباره میزان قیمت عمده فروش و خرده‌فروش می‌شود. در حالت کلی می‌توان گفت:

$$if\ z^* = ۱ \begin{cases} ۱۰۰ \le Cap \le ۲۲۰۰ & \Rightarrow \quad Wp \downarrow \ p_i \downarrow \\ ۲۲۰۰ \le Cap \le ۳۸۰۰ & \Rightarrow \quad Wp,\ p_i \equiv const \end{cases}$$

$$if\ z^* = ۰ \Rightarrow \quad Wp \downarrow \ p_i \downarrow$$

۲.۲.۵. پارامترهای مربوط به خرده‌فروش‌ها

- **کشش قیمت نسبت به تقاضا و مقیاس بازار**

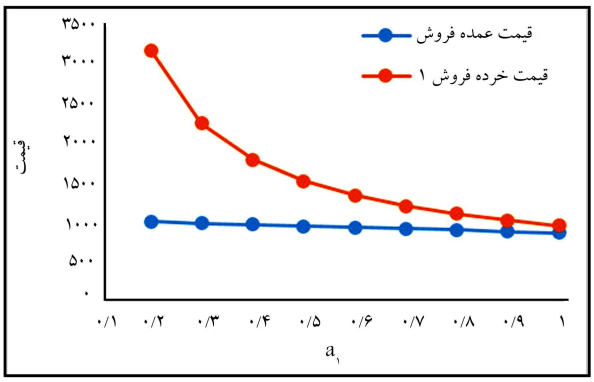
خاصیت کشش قیمت و مقیاس بازار، از ویژگی‌های مهم بازار خرده‌فروشان است و بر انتخاب خرده‌فروشان نیز تأثیر می‌گذارد. برای بررسی هر دو پارامتر مذکور، یک خرده‌فروش که در مثال پایه بخش ۵ رد شده است، به طور تصادف انتخاب می‌شود (خرده‌فروش ۴). اگر کشش قیمت خرده‌فروش ۴ ($a_۴$) از ۰/۹۶ به ۰/۴۰ تغییر یابد تولیدکننده برای سیستم VMI خود، خرده‌فروش ۴ را انتخاب می‌کند (یعنی $X_۴^* = ۱$) زیرا کشش قیمتی کم‌تر باعث می‌شود محصول نسبت به تغییر قیمت، حساسیت کم‌تری داشته باشد. با انتخاب خرده‌فروش ۴، تولید کننده تقاضای اضافی $D_۴ = ۶۳/۹۴$ را برای محصول خود دریافت می‌کند. همچنین تولیدکننده خرده‌فروش ۴ را انتخاب می‌کند (یعنی $X_۴^* = ۱$)، اگر مقیاس بازار $K_۴$ از ۵۱۰ به ۲۰۰۰ تغییر یابد. در نتیجه، سود خرده‌فروش ۴ به مقدار $۲/۲۶ \times ۱۰^۵$ افزایش می‌یابد. سود تولیدکننده نیز با ۲۰/۱۵٪ افزایش به $۱/۶۱ \times ۱۰^۶$ می‌رسد. بنابراین، افزایش مقیاس بازار خرده‌فروشان دواطلب می‌تواند رقابت خرده‌فروشان را تقویت کند، که به افزایش سود هر دو تولید کننده و خرده‌فروشان کمک می‌کند.

در شکل ۵، تأثیر پارامتر a بر عملکرد زنجیره‌ی تأمین نشان داده شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود، با افزایش a_i قیمت عمده‌فروش، قیمت خرده‌فروش، سود تولیدکننده و سود خرده‌فروش iام کاهش می‌یابد. در حالت کلی می‌توان گفت:

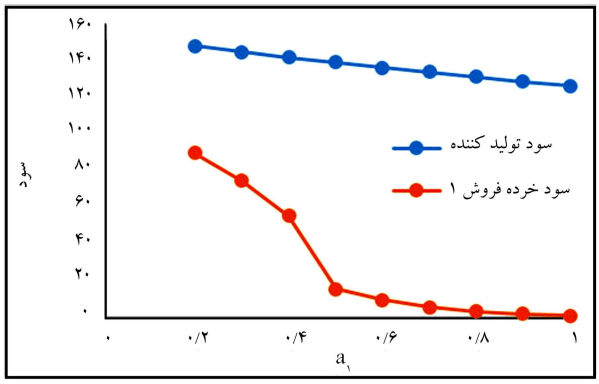
$$a_i \uparrow \ Wp \downarrow \ p_i \downarrow \ NP_m \downarrow NP\,r_i \downarrow$$

در جدول ۴، تأثیر پارامتر K بر قیمت عمده‌فروش، قیمت خرده‌فروش، سود تولیدکننده و سود خرده‌فروش نشان داده شده است. در حالت کلی تأثیر پارامتر K را می‌توان چنین بیان کرد:

$$K_i \uparrow \ Wp \uparrow \ p_i \uparrow \ NP_m \uparrow NP\,r_i \uparrow$$



الف) تاثیر پارامتر a_1 بر قیمت عمده فروش و خرده فروش ۱(مقادیر قیمت بر حسب ۱۰۰ واحد)؛



ب) تاثیر پارامتر a_1 بر سود تولید کننده و خرده فروش ۱(مقادیر سود بر حسب ۱۰۰۰۰ واحد).

شکل ۵. تأثیر پارامتر $a_۱$ بر قیمت و سود.

- **هزینه‌ی موجودی**

همان‌طورکه در معادله‌ی ۱۳ نشان داده شده است، انتخاب خرده‌فروش همچنین می‌تواند بسیار تحت تأثیر هزینه‌ی موجودی محصول باشد. خرده‌فروش ۸ به‌عنوان نمونه در نظر گرفته می‌شود. ابتدا خرده‌فروش در مثال پایه انتخاب می‌شود. اگر ξ_i از ۲۰/۸۰ به ۱۵۰ (یک مقدار هزینه‌ی بالا) افزایش یابد، در این سناریو خرده‌فروش ۸، انتخاب نمی‌شود (یعنی $X_۸^* = ۰$) و تصمیمات بهینه‌ی تولید کننده $X^* = \{۱, ۱, ۰, ۰, ۱, ۰, ۰, ۰, ۱, ۰\}$ است. به طور متناسب، سود تولیدکننده از $۱/۳۴ \times ۱۰^۶$ به $۱/۳۱ \times ۱۰^۶$ با ۲/۲۹٪ کاهش می‌یابد. این بدان معناست که اگر مدیریت موجودی ناکارآمد خرده‌فروش منجر به هزینه‌ی بالای موجودی (ξ_i) قرارداد VMI شود، تولیدکننده غالباً خرده‌فروش را انتخاب نمی‌کند. بنابراین، خرده‌فروشان باید مدیریت تسهیلات انبار خود را بهبود بخشند تا با کاهش هزینه‌ی موجودی، انتخاب شوند. با هزینه‌ی موجودی پایین، هم تولید کننده و هم خرده‌فروشان منتخب سود می‌برند.

به طورکلی، اگر مقدار ξ برای تمام خرده‌فروش‌ها به یک میزان تغییر کند، مقدار قیمت عمده فروش نیز به همان میزان (و در جهت مخالف) تغییر می‌کند و در نتیجه، سود تولیدکننده، سود هرکدام از خرده‌فروشان و قیمت خرده‌فروش ثابت باقی می‌ماند. اما اگر تنها مقدار ξ_i تغییر کند خواهیم داشت:

$$\xi_i \uparrow \ Wp \downarrow \ p_i \uparrow \ NP_m \downarrow NP\,r_i \downarrow$$

در جدول ۵، تأثیر تغییر در $\xi_۱$ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که تغییرات در متغیرهای تصمیم با افزایش در $\xi_۱$ محسوس نیست.

جدول ۵. تأثیر تغییر در پارامتر ξ_i بر قیمت و سود تولید کننده و خرده‌فروش.

z	ξ_1	p_1	Wp	NPr_1	NPm
۰	پایه	۱۲۰۵/۱۷	۹۱۳/۳۸	۵۱۴۵۹/۴۱	۱۳۳۶۲۵۷
۰	۲۵	۱۲۱۶/۰۹	۹۱۰/۲۲	۴۷۴۲۵/۱۵	۱۳۳۵۹۹۰
۰	۳۵	۱۲۲۰/۴۶	۹۰۸/۹۶	۴۵۸۵۷/۵۵	۱۳۳۵۷۷۷
۰	۴۵	۱۲۲۴/۸۳	۹۰۷/۷۰	۴۴۳۱۶/۲۹	۱۳۳۵۵۰۵

جدول ۶. اثر تغییر هزینه‌ی حمل و نقل بر قیمت و سود تولیدکننده و خرده‌فروش.

z	ϕ	p_1	Wp	NPr_1	NPm
۱	پایه	۱۲۰۵/۱۷	۹۱۳/۳۸	۵۱۴۵۹/۴۱	۱۳۳۵۷۱۵
۱	۲۰	۱۲۰۵/۱۷	۹۱۳/۳۸	۵۱۴۵۹/۴۱	۱۳۰۵۷۱۵
۱	۳۰	۱۲۰۵/۱۷	۹۱۳/۳۸	۵۱۴۵۹/۴۱	۱۲۹۰۷۱۵
۱	۴۰	۱۲۰۵/۱۷	۹۱۳/۳۸	۵۱۴۵۹/۴۱	۱۲۷۵۷۱۵

- **هزینه‌ی حمل و نقل**

هزینه‌ی حمل و نقل بر تصمیمات تولیدکننده در مورد انتخاب خرده‌فروش نیز تأثیر می‌گذارد. به طور مثال، خرده‌فروش ۳، که ابتدا در بخش ۵ انتخاب نشده است را در نظر بگیرید. اگر هزینه‌ی حمل و نقل خرده‌فروش ۳، ($\phi_۳$) از ۷۹۲/۷۳ به ۳۰، کاهش یابد، خرده‌فروش ۳ توسط تولیدکننده انتخاب می‌شود و به این ترتیب، تصمیمات تولیدکننده $X^* = \{۱, ۱, ۱, ۰, ۱, ۰, ۰, ۰, ۱, ۰\}$ و $W_p^* = ۱۱۴۹/۸۴۷$ است. علاوه بر این، سود تولیدکننده از $۱/۳۴ \times ۱۰^۶$ به $۱/۶۹ \times ۱۰^۶$ با ۲۶/۱۲٪ افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که تولیدکننده ترجیح می‌دهد در شرایط معادل بازار، با خرده‌فروش نزدیک از لحاظ فاصله همکاری کند. این موضوع، همچنین نشان می‌دهد که رقابت بین خرده‌فروشان دواطلب بسیار شدید است. در این شرایط، تولیدکننده ترجیح می‌دهد بازار خود را به سمت رقابت باز کند و از این طریق از استراتژی انتخاب بهره می‌برد. در جدول ۶، تأثیر هزینه‌ی حمل و نقل بر برخی از متغیرهای تصمیم مدل ارائه شده است. در هر مورد ϕ_i برای تمام خرده‌فروش‌ها از حالت پایه (به میزان تعیین شده در جدول) افزایش می‌یابد. در حالت کلی می‌توان گفت:

$$\phi_i \uparrow \; Wp,\, p_i\,,\, NP\, r_i \equiv const \;\; NP_m \downarrow$$

علاوه بر پارامترهای فوق، پارامترهای دیگری مانند Sr_i و Br_i نیز تجزیه و تحلیل می‌شوند. تجزیه و تحلیل آن‌ها در اینجا حذف می‌شود، زیرا نتایج نشان می‌دهد که آن‌ها بر تصمیمات تولیدکننده و خرده‌فروشان تأثیر معنی‌داری ندارند.

۳.۲.۵. تغییرات نمودار تقاضا

برای اعتبارسنجی یافته‌ها، برای منحنی‌های تقاضای خرده‌فروشی مختلف، منحنی تقاضا $D_i(p_i) = K_i - a_i p_i$ در مدل زنجیره‌ی تأمین، با عملکرد تقاضای کاب‌داگلاس در این بخش جایگزین می‌شود:

$$D_i(p_i) = K_i.{p_i}^{-a_i} \qquad i = ۱, ۲, ..., n \qquad (۲۳)$$

به طوری‌که a_i یک مقدار ثابت مثبت است. در ادامه بررسی می‌شود که، نتایج بهبود فرایند پیشنهادی انتخاب خرده‌فروش، هنگام تغییر منحنی تقاضا نیز، پابرجا است. ابتدا، تنها تغییر تصمیمات در روش حل، جایگزینی معادله‌ی ۱۵ با معادله‌ی ۲۴ است.

$$p_i^*(w_p) = \frac{(w_p + \xi_i)a_i}{a_i - ۱} \quad i = ۱, ۲, \ldots, n \qquad (۲۴)$$

در نتیجه تغییر عملکرد تقاضای کاب-داگلاس، داده‌ها، مطابق جدول ۲ دوباره تولید می‌شود. طبق قسمت نخست از بخش ۵، نتایج زیر حاصل شد:

تصمیمات تولیدکننده $X^* = \{۱, ۱, ۰, ۱, ۱, ۰, ۱, ۱, ۱, ۰\}$

$W_p^* = ۱۶۷/۸۷۰۲$

$C^* = ۰/۳۵$

$y^* = \{۰/۰۰۸, ۰/۰۰۷, -, ۰/۰۱۱, ۰/۰۱۲, -, ۰/۰۰۶, ۰/۰۰۴, ۰/۰۱۶, -\}$

$z^* = ۰$

هفت خرده‌فروش شامل خرده‌فروشان ۱، ۲، ۴، ۵، ۷، ۸ و ۹ انتخاب شده‌اند. بیشینه سود تولیدکننده $۱/۸۶ \times ۱۰^۵$ است. مقادیر قیمت خرده‌فروشان $p^* = \{۳۷۶/۲۸, ۴۱۹/۲۰, -, ۴۸۷/۳۶, ۴۰۸/۹۶, -, ۳۴۴/۲۰, ۳۰۸/۱۶, ۳۸۷/۲۶, -\}$ است. نتایج نشان می‌دهد که خرده‌فروشان ۳، ۶ و ۱۰ توسط تولیدکننده انتخاب نشده‌اند. با توجه به تحلیل مشابه و طولانی شدن مقاله، از تحلیل حساسیت برای نتایج جدید صرف‌نظر می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

این مقاله در مورد انتخاب خرده‌فروش برای یک سیستم VMI در شرایط رقابتی است. با تمرکز بر به بیشینه رساندن سود تولیدکننده، بیشینه‌سازی سود خرده‌فروشان داوطلب نیز در نظرگرفته می‌شود. همچنین تولیدکننده، قیمت عمده‌فروشی محصول را در نظرگرفته و تحت سیاست VMI، محصولات را به خرده‌فروشان منتخب تحویل می‌دهد. هر خرده‌فروش در مورد قیمت خرده‌فروشی محصول تصمیم می‌گیرد. در این مطالعه، یک مدل بازی استکلبرگ معرفی شده است که در آن تولیدکننده به‌عنوان رهبر، خرده‌فروش‌ها را که پیرو هستند، انتخاب می‌کند. مدل انتخاب خرده‌فروش، با بررسی تغییر در پارامترهای مربوط به تولیدکننده (ظرفیت تولید) پارامترهای مربوط به خرده‌فروش (کشش قیمت نسبت به تقاضا، مقیاس بازار، هزینه‌ی موجودی و هزینه‌های حمل و نقل) و تغییرات در نمودار تقاضا مورد بررسی قرار گرفت.

از مطالعات عددی، بینش‌های مهم مدیریتی به شرح زیر حاصل شده است:

۱. انتخاب خرده‌فروش برای بهبود فروش تولیدکننده در سیستم VMI بسیار مهم است. به طور متوسط، هم تولیدکننده و هم خرده‌فروشان منتخب می‌توانند از طریق سیاست انتخاب، سود خود را به میزان قابل توجهی افزایش دهند (شکل ۲ و جدول ۳). زمانی که ظرفیت تولید تولیدکننده محدود باشد، تولیدکننده با انتخاب خرده‌فروشی که برای او سودآورتر است، بالاترین سود را در مقایسه با یک استراتژی عدم انتخاب کسب می‌کند. به دلیل ظرفیت تولید محدود، تولید کننده فقط به جای انتخاب سودآورترین خرده‌فروشان، خرده‌فروشانی را انتخاب می‌کند که می‌توانند بیشترین سود را برای او به همراه داشته باشند. علاوه بر این، تولیدکننده باید تعداد معقولی از خرده‌فروشان را انتخاب کند که برخی از هزینه‌های ثابت را در آن سهیم هستند. در شکل ۲ نشان داده شده است که سود تولید کننده می‌تواند در حدود $Cap = ۱۱۰۰$ تا ۹۱٪ افزایش یابد؛

۲. خرده‌فروش بسیار سودآور، ممکن است توسط تولید کننده (به‌عنوان مثال، خرده‌فروش ۱۰، سودآورترین خرده‌فروش در جدول ۲ انتخاب نشود. دلیل این امر این است که تولیدکننده به جای توجه به سود خرده‌فروشان، تنها به سودآوری خود اهمیت می‌دهد؛

۳. برای خرده‌فروشان، افزایش مقیاس بازار، کاهش هزینه‌های موجودی کالا یا کاهش هزینه‌ی حمل و نقل می‌تواند باعث افزایش رقابت آن‌ها برای ورود به سیستم VMI شود؛

۴. در نهایت تحلیل‌ها نشان داد که تأثیر ظرفیت تولید بر عملکرد سیستم به این حقیقت بستگی دارد که آیا تقاضای کل سیستم با نرخ تولید برابر است یا از آن کم‌تر است.

برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود:

- در این پژوهش فرض شده است که هر خرده‌فروشی که توسط تولیدکننده انتخاب شود، باید وارد سیستم VMI شود ـ چه برایش سودآور باشد، چه نباشد. اما به‌عنوان ایده برای تحقیقات آتی، می‌توان برای خرده‌فروش نیز این امکان را در نظر گرفت که که با توجه به تمایل خود، در مورد پیوستن به سیستم VMI تصمیم بگیرد. به عبارت دیگر، هر خرده‌فروشی مایل است که اگر این کار برای او سودآور باشد، به سیستم VMI بپیوندد؛
- نتایج مقاله که در حالت ساختار غیرمتمرکز بررسی شده است، با وضعیت ساختار متمرکز زنجیره‌ی تأمین مقایسه شود و قراردادهای مناسب بین اعضاء زنجیره‌ی تأمین در جهت کاهش هر چه بیشتر اختلاف بین عملکرد ساختار متمرکز و غیرمتمرکز بررسی و طراحی شود؛
- در این پژوهش تقاضای بازار فقط تابعی از قیمت خرده‌فروش در نظر گرفته شده است، اما با در نظرگرفتن تابع تقاضا فقط بر اساس قیمت، نمی‌توان رفتار مشتریان را مورد بررسی قرار داد. بنابراین توصیه می‌شود تقاضای بازار به‌طور همزمان تابعی از قیمت، تبلیغات، سطح سرویس و ... فرض شود؛
- در این پژوهش، همانند بسیاری از تحقیقات در این حوزه، به منظور ساده‌سازی زنجیره‌ی تأمین، زمان چرخه‌ی بازپرسازی برای تمام خرده‌فروشان یکسان در نظر گرفته شده است. برای تحقیقات آتی، می‌توان زمان چرخه‌ی بازپرسازی را متفاوت در نظر گرفت؛
- سطوح زنجیره‌ی تأمین گسترش یابد و رقابت در میان اعضای آن لحاظ شود؛
- موردهای عینی به جای آوردن اعداد تصادفی برای ورودی مدل، بررسی و اجرا شود.

پانوشت‌ها

1. quick response (QR)
2. continuous replenishment programs (CRP)
3. efficient consumer response (ECR)
4. collaborative planning, forecasting and replenishment (CPFR)
5. vendor managed inventory (VMI)
6. pull
7. Magee
8. Yao
9. multi-vendor multi-retailer single-warehouse
10. particle swarm optimization
11. teacher-learner-based optimization algorithm (TLBO)
12. locally managed inventory & vendor managed inventory

منابع (References)

1. Akhbari. "Dynamics of supply chain behaviors based on vendor management inventory", PhD Thesis in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Yazd University, (In Persian) (2014).
2. Kaipia, R., Holmstrom, J. and Tanskanen, K. "VMI: what are you losing if you let your customer place orders", *Production Planning and Control*, **13**, pp. 17-25 (2002).
3. Lee, H.L., So, K.C. and Tang, C.S. "The value of information sharing in a two level supply chain", *Management Science*, **46**, p. 626 (2000).
4. Sahin, F. and Robinson, E.P. "Flow coordination and information sharing in supply chains: review, implications, and directions for future research", *Decision Sciences*, **33**(4), pp. 505-536 (2002).
5. Waller, M., Johnson, M. and Davis, T. "Vendor-managed inventory in the retail supply chain", *J. of Business Logistics*, **20**, pp. 183-204 (1999).
6. Hammond, J.H., *The Value of Information. In: David, Scimchi-Levi, Philip, Kaminsky, Edith, Simchi-Levi (Eds.), Designing and Managing the Supply Chain Concepts, Strategies, and Case Studies*, McGraw-Hill, Singapore, pp. 91-117 (2003).
7. Tyan, J. and Wee, H.M. "Vendor managed inventory: a survey of the taiwanese grocery industry", *J. of Purchasing and Supply Management*, **9**(1), pp. 11-18 (2003).
8. Razmi, J., Hosseini Rad, R. and Sangari, M.S. "Developing a two-echelon mathematical model for a vendor-managed inventory (VMI) system", *Int. J. of Advance Manufacturing Technology*, **48**, pp. 773-783 (2010).
9. Magee, J.F., *Production Planning and Inventory Control*, McGraw Hill, New York (1958).
10. Zamiri Marvi Zadeh, S.S. "The vendor's ordering policies in vendor management inventory of perishable products", M.sc Thesis in Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Sharif University of Technology, (In Persian) (2007).
11. Nagoor Gani, A. and Sabarinathan, G. "Optimizing advertising, pricing and inventory policies in VMI production supply chains with compensating cost in fuzzy environment", *Journal of Applied Mathematics and Fluid Mechanics*, **5**(1), pp. 1-21 (2013).
12. Yao, Y., Evers, P.T. and Dresner, M.E. "Supply chain integration in vendor-managed inventory", *Decision Support Systems*, **43**, pp. 663-674 (2007).
13. Darwish, M.A. and Odah, O.M. "Vendor managed inventory model for single-vendor multi-retailer supply

chains", *European J. of Operational Research*, **204**, pp. 473-484 (2010).

14. Sadeghi, J., Mousavi, S.M., Akhavan Niaki, S.T. and et al. "Optimizing a multi-vendor multi-retailer vendor managed inventory problem: Two tuned meta-heuristic algorithms", *Knowledge-Based Systems*. **50**, pp. 159-170 (2013).
15. Sadeghi, J., Sadeghi, S. and Akhavan Niaki, S.T. "A hybrid vendor managed inventory and redundancy allocation optimization problem in supply chain management: an NSGA-II with tuned parameters", *Computers & Operations Research*, **41**, pp. 53-64 (2014).
16. Sadeghi, J. and Akhavan Niaki, S.T. "Two parameter tuned multi-objective evolutionary algorithms for a bi-objective vendor managed inventory model with trapezoidal fuzzy demand", *Applied Soft Computing*, **30**, pp. 567-576 (2015).
17. Hong, X., Chunyuan, W., Xu, L. and et al. "Multiple-vendor, multiple-retailer based vendor-managed inventory", *Annals of Operations Research*, **238**(1-2), pp. 277-297 (2016).
18. Akbari Kaasgari, M., Imani, D.M. and Mahmoodjanloo, M. "Optimizing a vendor managed inventory (VMI) supply chain for perishable products by considering discount: two calibrated meta-heuristic algorithms", *Computers & Industrial Engineering*, **103**, pp. 227-241 (2017).
19. Pasandideh, S.H.R., Akhavan Niaki S.T. and Ahmadi P. "Vendor managed inventory in the joint replenishment problem of a multi-product single-supplier multiple-retailer supply chain: a teacher-learner-based optimization algorithm", *J. of Modelling in management*, **13**(1), pp. 156-178 (2018).
20. Rabbani, M., Rezaei, H.R., Lashgari, M. and et al. "Vendor managed inventory control system for deteriorating items using metaheuristic algorithms", *Decision Science Letters*, **7**, pp. 25-38 (2018).
21. Pramudyo, C.S. and Luong, H.T. "One vendor and multiple retailers system in vendor managed inventory problem with stochastic demand", *Int. J. of Industrial and Systems Engineering*, **31**(1), pp. 113-136 (2019).
22. Wei, Q., Zhang, J., Zhu, G. and et al. "Retailer vs. vendor managed inventory with considering stochastic learning effect", *J. of the Operational Research Society*, **71**(4), pp. 628-646 (2020).
23. Son, J.Y. and Ghosh, S. "Vendor managed inventory with fixed shipping cost allocation", *International Journal of Logistics Research and Applications*, **23**(1), pp. 1-23 (2020).
24. Yu, Y., Chu, F. and Chen, H. "A Stackelberg game and its improvement in a VMI system with a manufacturing vendor", *European Journal of Operational Research*, **192**(3), pp. 929-948 (2009).
25. Zare Mehrjerdi, Y., Fallah Nezhad, M.S. and Rasai, H. "Modeling and the sensitivity analyze of Vendor management inventory system based on Stackelberg game theory and assuming that the manufacturer as a leader", *Sharif Journal of Industrial Engineering & Management*, **1**(2), pp. 93-103, (In Persian) (2013).
26. Rasai, H., Zare Mehrjerdi, Y. and Fallah Nezhad, M. S. "Vendor management inventory system in the case of one vendor and multi retailer", *Int. J. of Industrial Engineering & Production Management*, **24**(3), pp. 269-282, (In Persian) (2013).
27. Yu, Y., Hong, Z., Zhang, L.L. and et al. "Optimal selection of retailers for a manufacturing vendor in a vendor managed inventory system", *European Journal of Operational Research*, **225**, pp. 273-284 (2013).
28. Hariga, M., Babekian, S. and Bahroun, Z. "Operational and environmental decisions for a two-stage supply chain under vendor managed consignment inventory partnership", *Int. J. of Production Research*, **57**(11), pp. 3642-3662 (2019).
29. Giovanni, P.D., Karray, S. and Martin-Herran, G. "Vendor management inventory with consignment contracts and the benefts of cooperative advertising", *European J. of Operational Research*, **272**, pp. 465-480 (2019).
30. Sun, H., Gao, Z. and Wu, J. "A bi-level programming model and solution algorithm for the location of logistics distribution centers", *Applied Mathematical Modelling*, **32**(4), pp. 610-616 (2008).
31. Sinha, S. and Sinha, S. "KKT transformation approach for multi-objective multi-level linear programming problems", *European Journal of Operational Research*, **143**(1), pp. 19-31 (2002).
32. Chen, Y. and Florian, M. "The nonlinear bilevel programming problem: formulations, regularity and optimality conditions", *Optimization*, **32**(3), pp. 193-209 (1995).