

مدل‌سازی مسأله‌ی مدیریت زنجیره‌ی تأمین کالا به‌صورت بازی استکلبرگ دوسطحی و حل آن با استفاده از شرایط بهینگی کاروش-کان-تاکر

نرگس میرعزیزی^۱، حسن حسن‌پور^{۲*}، جواد طیبی^۳

۱. گروه ریاضی، دانشکده علوم ریاضی و آمار، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲. گروه ریاضی، دانشکده علوم ریاضی و آمار، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳. گروه مهندسی صنایع، دانشکده کامپیوتر و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

خلاصه

در مسائل زنجیره‌تأمین کالا در دنیای واقعی، گاهی با مسائلی با دو تأمین‌کننده در دو سطح مختلف مواجه می‌شویم که به‌دلیل جایگاه‌شان در تأمین کالا، یکی نقش رهبر و دیگری نقش پیرو را دارد، لذا مسأله به‌صورت مدل بازی استکلبرگ دوسطحی فرمول‌بندی می‌شود. به‌عنوان مثال، برخی از کالاها در داخل کشور تولید می‌شوند اما کل نیاز بازار تأمین نمی‌شود و کمبود کالا باید از طریق واردات تأمین شود، و برخی از کالاها در داخل کشور تولید نمی‌شوند (یا تولید ناچیزی دارند) و کل نیاز بازار از طریق واردات تأمین می‌شود و ممکن است قاچاق‌چیان نیز دست به واردات کالا بزنند، که منجر به پیامدهای منفی اقتصادی و اجتماعی می‌شود. در این مقاله دو دسته مسأله‌ی تأمین کالا بین دو تأمین‌کننده در دو سطح متفاوت ارائه می‌شود. در دسته‌ی اول تولیدکننده در سطح اول و واردکننده در سطح دوم قرارداد و هدف تأمین‌کنندگان بیشینه‌سازی سودشان می‌باشد. در دسته‌ی دوم واردکننده در سطح اول و قاچاق‌چی در سطح دوم قرارداد که واردکننده دو هدف بیشینه‌سازی سود خود و جلوگیری از قاچاق کالا را با کمینه‌سازی سود قاچاق‌چی دنبال می‌کند، در حالی که قاچاق‌چی به‌دنبال بیشینه‌سازی سودش است، لذا با یک مسأله‌ی ممانعت مواجه هستیم. این دو نوع مسأله به‌صورت مسائل بازی استکلبرگ دوسطحی مدل‌سازی گردیده و سپس با استفاده از شرایط بهینگی کاروش-کان-تاکر به مدل‌های یک‌سطحی تبدیل و حل می‌شوند. در پایان برای تشریح روش، مثال‌هایی از هردو مدل ارائه و ضمن حل، تحلیل حساسیت نیز می‌گردد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۴۰۴/۰۹/۰۶

بازنگری ۱۴۰۴/۱۱/۰۵

پذیرش ۱۴۰۴/۱۱/۲۲

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

مسأله‌ی بازی استکلبرگ

بازی دوسطحی

شرایط کاروش-کان-تاکر

مدیریت زنجیره‌تأمین کالا

۱. مقدمه

مسائل مدیریت زنجیره‌تأمین کالا، یکی از موضوعات پرکاربرد در دنیای واقعی است. تعاریفی برای زنجیره‌تأمین کالا در منابع مختلف بیان شده است. لگیت و مک کانول (۲۰۰۵) می‌گویند زنجیره‌تأمین به شبکه‌ی سازمان‌هایی گفته می‌شود که در فرآیندها و فعالیت‌های متنوعی شرکت می‌کنند و به تولید ارزش در قالب کالاها و خدمات به مشتری

نهایی می‌پردازند. چو وهیور (۱۹۹۹) زنجیره‌تأمین را گروهی از تولیدکنندگان، تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان، خرده‌فروشان و عوامل حمل‌ونقل و سایر ارائه‌دهندگان خدمات مدیریت منطقی می‌داند که مشغول فراهم‌کردن کالا برای مشتریان هستند. پینر (۲۰۰۹) زنجیره‌تأمین را یک توصیف کلی از فرآیند تبدیل مواد اولیه به کالاهای نهایی و انتقال آن‌ها به مصرف‌کننده معرفی می‌کند. در این میان

* نویسنده مسئول: حسن حسن‌پور

تلفن: ۰۵۶-۳۱۰۲۶۷۵۱؛ پست الکترونیکی: hhassanpour@birjand.ac.ir

فردی پرداخته‌اند. همزمان با همه‌گیر شدن بیماری کووید ۱۹ اهمیت انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین افزایش یافت. در این زمان برخی از پژوهشگران به بررسی زنجیره‌های تأمین تحت شرایط خاص ایجاد شده پرداختند که از جمله می‌توان به مقاله‌ی ژانگ و همکاران (۲۰۲۴) اشاره کرد. آن‌ها همزمان با بیماری کووید ۱۹ که تهیه‌ی مواد معدنی با چالشی بزرگ همراه بود، یک مدل دوسطحی معرفی کردند که در آن میزان تولید سنگ‌های معدنی در سطح بالای مدل و میزان تولید شرکت‌های فراوری سنگ‌ها در سطح پایین مدل بهینه‌سازی می‌شد. یان و همکاران (۲۰۲۳) در زمان همه‌گیر شدن بیماری کووید ۱۹ به مطالعه‌ی تصمیمات سرمایه‌گذاری متمرکز پرداخته‌اند. این پژوهشگران در یک بازی استاکلبرگ که خرده‌فروش نقش رهبر و تأمین‌کننده نقش پیرو را داشت به تجزیه و تحلیل راهبرد بهینه برای شرکت‌کنندگان زنجیره‌تأمین تحت سطوح مختلف ریسک پرداخته‌اند.

بابایی نسامی و همکاران (۲۰۲۳) برای تعیین مقدار بهینه‌ی محصولات، توسط یک بازی استکلبرگ دوسطحی به مدل‌سازی شبکه‌ای متشکل از مراکز توزیع‌کننده و مشتری پرداخته‌اند. اهداف مدنظر آن‌ها، به حداقل‌رساندن هزینه‌های کل دستگاه و بهینه‌سازی حمل‌ونقل بودند. هی و همکاران (۲۰۰۸) در مورد مدل‌های دیفرانسیل‌پذیر بازی استکلبرگ در محیطی پویا در دو سطح تولیدکننده و خرده‌فروش تحقیق کرده‌اند. پاک سرشت و همکاران (۲۰۲۰) تولید گروهی از محصولات مشابه به صورت مونتاژ با سفارش مشتری را توسط یک بازی رهبر-پیرو مدل‌سازی کرده‌اند. آن‌ها در این بازی سه هدف بیشینه‌سازی سود، بیشینه‌سازی مطلوبیت مشتری و کمینه‌سازی هزینه‌ی زنجیره‌تأمین دوسطحی را دنبال کرده‌اند. فنگ و لو (۲۰۱۳) یک محیط رقابتی بین تولیدکننده رقیب و خرده‌فروشان را بررسی کرده‌اند. این پژوهشگران از طریق یک بازی استکلبرگ دوسطحی و با چانه‌زنی قراردادهای پیمانکاری دو طرفه را بررسی نموده و تاکید کرده‌اند که بازی استکلبرگ بهترین روش پیش‌بینی رفتارهای انقباضی در موقعیت‌های چانه‌زنی است. چن و همکاران (۲۰۱۰) بیان کرده‌اند که تولیدکنندگان ممکن است یک پیمانکار ثالث را در نظر بگیرند که بتواند بخشی از تقاضایشان را تولید نماید. اسماعیلی و زفونجسکول (۲۰۱۰) چندین مدل زنجیره‌تأمین نامتقارن بین فروشنده و خریدار را بررسی کرده‌اند. یوی و یو (۲۰۱۴) یک مدل برنامه‌ریزی زنجیره‌ی تأمین رقابتی دوسطحی را بین چند تولیدکننده به‌عنوان سطح اول و مشتریان به‌عنوان سطح دوم ارائه نموده‌اند. مشتریان برای افزایش سود خود، تصمیماتشان از جمله میزان تسهیلات دریافتی را تحت تصمیم تولیدکنندگان بهینه می‌کنند. در همین رابطه چن و همکاران (۲۰۱۷) وضعیتی بین تولیدکننده و خرده‌فروش با هدف افزایش فروش را مدل‌سازی کرده و با به‌دست آوردن یک قیمت متعادل، سود هر یک را بیشینه کرده‌اند. یانگ و همکاران (۲۰۱۵) یک بازی استکلبرگ دوسطحی را به یک مسأله‌ی برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته تبدیل و با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل نموده‌اند. شیائو و

تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان نقش به‌سزایی را در فرآیند زنجیره‌تأمین کالا برعهده دارند و با تولید و تأمین کالاهای موردنیاز مشتریان، در یک بازار رقابتی، نیاز بازار را برآورده می‌سازند. مدیریت زنجیره‌تأمین در سال‌های اخیر دستخوش تغییرات و تحولات چشم‌گیری بوده است و ابزارها و روش‌های مختلفی مانند برنامه‌ریزی ریاضی، شبیه‌سازی، روش‌های فراابتکاری و ... به کمک مدیران آمده‌اند. تعاریف مختلفی برای مدیریت زنجیره‌تأمین ارائه گردیده است که برخی از این تعاریف را در ادامه می‌آوریم. گنیش و هریسون تری (۱۹۹۵) مدیریت زنجیره‌تأمین را به‌عنوان یک زنجیره از امکانات و گزینه‌های توزیع شامل دستیابی به محصولات، تبدیل آن‌ها به کالاهای واسطه و محصولات نهایی و توزیع آن‌ها بین مشتریان نهایی، تعریف نموده است. لانگلی و همکاران (۲۰۰۸) بیان کرده‌اند که هدف مدیریت زنجیره‌تأمین، بررسی و مدیریت شبکه‌های زنجیره‌تأمین است. دلیل این موضوع، ایجاد فرصتی برای صرفه‌جویی در هزینه و خدمات بهتر به مشتری است. هدف مهم این است که با وجود نیروهای سخت رقابتی، رقابت‌پذیری یک شرکت را در بازار جهانی بهبود بخشد. مرکز آلبرتا افوچر^۱ ادعا کرده است که مدیریت زنجیره‌تأمین، عمل بهینه‌سازی فعالیت‌های زنجیره‌تأمین است. هریسون تری (۲۰۱۱) عنوان کرده است که مدیریت زنجیره‌تأمین، نگهداری، برنامه‌ریزی و تأمین است و فعالیت‌های زنجیره‌ای را برای جلب رضایت مصرف‌کنندگان پردازش می‌کند. در زمینه مدیریت زنجیره‌تأمین پژوهش‌های زیادی انجام شده که در بخش بعد به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم. بیشتر مقالات موجود در زمینه‌ی زنجیره‌تأمین به ارتباط بین تولیدکننده و خرده‌فروش پرداخته است.

۲. مرور بر ادبیات موضوع

در این بخش به معرفی تعدادی از پژوهش‌های انجام شده پیرامون مسائل مرتبط با مدیریت زنجیره‌ی تأمین می‌پردازیم ولی یادآوری می‌کنیم که براساس جستجوهای انجام شده توسط نویسندگان، در پژوهش‌های انجام شده‌ی قبلی به مسأله مورد بحث و بررسی در این مقاله پرداخته نشده است.

لنگ و پارلر (۲۰۱۰) به تجزیه و تحلیل زنجیره‌تأمین متشکل از تأمین‌کنندگان متعدد شامل تولیدکننده پرداخته‌اند. این پژوهشگران مقدار تولید را به‌عنوان یک متغیر تصمیم برای تأمین‌کنندگان در نظر گرفته و یک بازی تک دوره‌ای تنها وابسته به قیمت خرده‌فروشی را حل نموده‌اند. همچنین در چندین مقاله، به ارتباط بین تولیدکننده و خرده‌فروش‌ها برای افزایش سود توجه شده است که از جمله می‌توان به مقاله یو و همکاران (۲۰۰۹) در مورد چگونگی تعامل بین تولیدکننده و خرده‌فروش به‌منظور افزایش سود خالص شخصی از طریق مدیریت بازاریابی و سیاست‌های موجودی اشاره کرد. همچنین یو و لیانگ (۲۰۰۹) به تشریح تعامل بین تولیدکننده و خرده‌فروش در زنجیره‌ی تأمین با اطلاعات نامتقارن به‌منظور افزایش سود خالص

همکاران (۲۰۱۴) یک کانال مدور را به‌منظور سفارش‌گیری و قیمت‌گذاری محصولات، بین تولیدکننده و خرده‌فروش در نظر گرفته و از طریق یک بازی استکلبرگ، مسأله‌ی مطرح‌شده را حل کرده‌اند. چو و اکامپوب (۲۰۱۸) تعامل بین تولیدکننده و چندین تأمین‌کننده را مورد بررسی قرار داده‌اند. این پژوهشگران در واقع بیان کرده‌اند که تعامل عمودی بین تولیدکننده و تأمین‌کننده یک بازی رهبر-پیرو را رقم می‌زند. باستوس و همکاران (۲۰۱۷) مدل بازی استکلبرگ را برای زنجیره تولید مواد غذایی به‌کار برده‌اند. عربی و همکاران (۲۰۲۴) در یک مدل دوسطحی یک زنجیره معدن حلقه بسته را در سطح دوم معرفی کرده و به دنبال حداکثررسانی سود زنجیره هستند. رحمتی (۲۰۲۴) در مقاله‌ای یک زنجیره تأمین دوسطحی با شرایط عدم قطعیت بین تولیدکننده و خرده‌فروش در شرایط اشتراک‌گذاری اطلاعات و عدم اشتراک‌گذاری اطلاعات را بررسی کرد.

براساس آخرین اطلاعات نویسندگان، در تعداد کمی از مقالات به ارتباط بین واردات و تولید پرداخته شده است. سیاست کشورهای مختلف در مورد واردات کالا متفاوت است. در برخی از این مقالات با توجه به سیاست‌های کلی کشور به اهمیت کاهش واردات و افزایش تولید و صادرات پرداخته شده است، که از جمله می‌توان به مقاله‌ی مرزلیاکوا و گونچاروا (۲۰۲۰) اشاره کرد. در این مقاله به راهبردهای جایگزینی تولید به جای واردات و اهمیت صادرات در توسعه‌ی اقتصادی روسیه به‌ویژه در بحث کشاورزی پرداخته شده است. در برخی دیگر از این مقالات به تأثیر مثبت واردات در ایجاد فضای رقابتی برای تولید محصول باکیفیت‌تر توسط تولیدکننده داخلی پرداخته شده است. از این جمله می‌توان به مقاله‌ای از نیومن و همکاران (۲۰۲۳) اشاره کرد. این مقاله به تأثیرات مثبت واردات مواد اولیه در تولید محصول باکیفیت‌تر و متنوع‌تر در کشور تایلند و افزایش بهره‌وری در سطح شرکت پرداخته است.

مسأله دوم مورد بحث در این پژوهش، مسأله‌ی ممانعت از قاچاق کالا است. در همه‌ی کشورها، دولت به روش‌های مختلف سعی در جلوگیری از قاچاق محصولات و کالاها به کشور دارد. در برخی مقالات به بررسی راهبردهای ممانعت از قاچاق و وضع قوانین در این باره و تأثیرات قاچاق در زنجیره تأمین کالا در سطح شرکت‌ها و کشور پرداخته شده است. که از جمله می‌توان به مقالات زیر اشاره کرد:

المحنه (۲۰۱۹) به بررسی نقش قاچاق در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی (دولت، یک خرده‌فروش و تعدادی قاچاق‌چی) در کشور عراق می‌پردازد. بیشتر مقالاتی که در ارتباط با قاچاق کالا در زنجیره تأمین وجود دارد به طراحی و بررسی یک شبکه جریان پرداخته است که از جمله می‌توان به مقاله‌ی پوراکیبر و زیدوییک (۲۰۱۸) اشاره کرد. آن‌ها یک شبکه جریان را به‌صورت یک مدل ریاضی طراحی کرده‌اند که از طریق مدل‌سازی بازرسی اطلاعات به مقابله با قاچاق کالا توسط کانتینرهای کالاهای ورودی به بنادر می‌پردازد. همچنین نجفی و همکاران (۲۰۲۳) یک شبکه جریان توزیع کالای چند کالایی و چند منبعی برای شناسایی قاچاق دارو در سطح کشور را در نظر

می‌گیرند. سپس با شناسایی مسیرها و دستگیری عوامل قاچاق از قاچاق کالا ممانعت می‌شود. تأکید این مقالات برای ممانعت از قاچاق کالا، بر روش‌های کنترلی از قبیل کنترل مرزها و شناسایی قاچاق‌چیان است. بدیهی است که این شیوه‌ها نمی‌توانند در ممانعت از قاچاق زیاد مؤثر باشند. زیرا زمانی که کمبود کالایی در داخل وجود دارد، حاشیه سود آن قاچاق‌چیان را به یافتن راه‌های جدید برای قاچاق کالا ترغیب می‌کند. آنچه در بخش ۲-۴ این پژوهش به آن پرداخته می‌شود، ممانعت از قاچاق با تأمین کالای مورد نیاز کشور از طریق واردات قانونی، و به‌حداقل رساندن حاشیه سود قاچاق کالا و به این ترتیب گرفتن انگیزه قاچاق از قاچاق‌چی است، که رویکردی متفاوت و جدید در ممانعت از قاچاق کالا است.

پژوهش‌های دیگری وجود دارد که هر کدام بر یک موضوع متفاوت و یا ترکیبی از موارد فوق‌الذکر در زنجیره تأمین اشاره دارند و سعی دارند مسأله‌ای از دنیای واقعی را مدل‌سازی و حل نمایند (به‌عنوان مثال مقاله‌ی اشمیت و همکاران (۲۰۲۳)، حمزویی و همکاران (۲۰۲۴)، عابدینی‌ندوشن و همکاران (۲۰۲۴) و محمدی‌زنجیرانی و همکاران (۲۰۲۰) و یو و لی (۲۰۱۱) را ببینید).

نواوری مقاله از دو جنبه‌ی دیگر نیز قابل بیان است. نخست مدل‌سازی مسأله‌ی زنجیره‌ی تأمین به‌صورت رقابت بین تولیدکننده و واردکننده از دیدگاه برآورده‌سازی حداکثری نیاز بازار توسط تولید داخلی، و همچنین مسأله‌ی ممانعت قاچاق با هدف تأمین حداکثری نیاز بازار توسط واردات قانونی است. تمایز دیگر این مقاله با مقالات دیگر از لحاظ تلفیق شرایط کاروش-کان-تاکر با بازی استکلبرگ در دو سناریوی مختلف (تولیدکننده-واردکننده، واردکننده-قاچاق‌چی) است. هرچند شرایط کاروش-کان-تاکر پیش‌تر در مدل‌های مشابه به‌کار رفته، اما استفاده از آن برای تحلیل تأثیر سیاست‌های دولتی بر قاچاق کالا و سود واردکننده می‌تواند جنبه‌ی جدیدی باشد. سهم علمی مقاله بیشتر در کاربردی‌سازی مدل و شبیه‌سازی سیاست‌های مختلف اقتصادی است.

همان گونه که در بالا اشاره شد، در این مقاله، مدل‌هایی دوسطحی از بازی استکلبرگ برای مدیریت زنجیره‌ی تأمین کالا بررسی می‌گردد. در بسیاری از مسائل دنیای واقعی تولیدکننده و واردکننده هر کدام سهمی از بازار را در دست دارند. در بیشتر کشورها، حکومت‌ها برای حمایت از اقتصاد داخلی خود، قوانین گمرکی را به نحوی وضع می‌نمایند که در وهله‌ی اول کالاهای مورد نیاز خود را از طریق تولیدکنندگان داخلی تأمین نموده و سپس برای جبران کسری کالا، دست به واردات بزنند. همچنین در بعضی از محصولات مورد نیاز کشور به‌علت سختی شرایط برای قاچاق یا سود پایین قاچاق‌چی، تمایلی برای قاچاق کالا وجود ندارد و رقابت اصلی بین تولیدکننده و واردکننده می‌باشد. در مدل اول وضعیتی را در نظر می‌گیریم که تنها تولیدکننده و واردکننده در حال رقابت هستند. در مدل اول با مسأله‌ای روبرو هستیم که تأمین‌کنندگان (تولیدکننده و واردکننده) به‌منظور بیشینه-سازی سود خود با یکدیگر در حال رقابت هستند. در بخش چهارم نشان

را مشخص کرده و سپس تصمیم گیرنده سطح پایین تر (پیرو) با آگاهی از تصمیمات اخذ شده توسط رهبر، تابع هدفش را بیشینه می کند. در مدل بالا متغیر مرتبط با رهبر x و متغیر مربوط به پیرو y است. رهبر انتظار پاسخ معقولانه از پیرو دارد و تصمیمش را با در نظر گرفتن این دیدگاه اختیار می کند. جوابی که به این ترتیب به دست می آید جواب تعادل استکلبرگ نامیده می شود.

برای یافتن پاسخ مسأله ی دوسطحی (۱)، ابتدا با استفاده از شرایط بهیمنی کاروش-کان-تاکر، مسأله ی سطح دوم را با شرایط بهیمنی معادل جایگزین می کنیم. با این کار مسأله ی دوسطحی به مسأله ی یک سطحی تبدیل می شود. سپس مسأله ی حاصل را با استفاده از نرم افزارهای بهینه سازی مانند لینگو^۱ حل می کنیم.

۴. فرمول بندی و حل مسائل مدیریت زنجیره تأمین دوسطحی

در این بخش مدل ریاضی مسأله ی دوسطحی مدیریت زنجیره تأمین را در دو حالت مختلف بیان می کنیم در حالت اول واردکننده به عنوان پیرو در رقابت با تولیدکننده می باشد و در حالت دوم واردکننده در نقش رهبر در مقابل قاچاقچی قرار می گیرد. با استفاده از شرایط کاروش-کان-تاکر مدلی برای حصول جواب بهینه ارائه می دهیم.

۴-۱. مسأله ی مدیریت زنجیره ی تأمین دوسطحی در رقابت تولیدکننده و واردکننده

فرض کنید یک تولیدکننده و یک واردکننده ی کالا در یک فضای رقابتی برای تأمین کالاهای مورد نیاز با هم رقابت می کنند. سیاست های اقتصادی کشور (اعم از اقتصاد مقاومتی، حمایت از اشتغال و تولید ملی، جلوگیری از خروج ارز از کشور و...) به گونه ای است که ابتدا باید به ظرفیت تولید محصول توسط تولیدکننده داخلی توجه گردد و محصولات مورد نیاز کشور تا حد امکان توسط تولیدکننده داخلی تأمین شود. در مواردی که منابع مالی و ظرفیت تولید کارخانجات تولیدکننده داخلی برای تأمین تمامی محصولات مورد نیاز کشور کافی نیست مقداری از محصولات مورد نیاز از طریق واردات تأمین می شود. در این مدل با محصولاتی سروکار داریم که در آن ها تمایلی برای قاچاق وجود ندارد یا بسیار اندک است و می توان از آن صرف نظر کرد. تولیدکننده با توجه به امکانات و نیروی انسانی خود می تواند برخی از کالاها را تولید نماید. در عین حال با توجه به محدودیت منابع (از جمله بودجه و نیاز بازار) سعی می کند کالاها را به میزانی تولید نماید که سودش بیشینه شود. واردکننده بعد از اطلاع از راهبرد تولیدکننده در میزان تولید هر محصول دست به واردات می زند و با توجه به محدودیت مالی تا حد امکان باقیمانده ی نیاز بازار را پوشش می دهد و همچنین راهبردهایی را انتخاب می کند که سودش بیشینه شود. با توجه به اهمیت تولید داخلی، تولیدکننده نقش رهبر و واردکننده نقش پیرو را ایفا می کند.

اکنون پارامترها و متغیرهای تصمیم مسأله را تعریف می کنیم.

می دهیم که این مسأله را می توان به صورت یک مدل بازی استکلبرگ در دوسطح فرمول بندی نمود.

از طرف دیگر در برخی از محصولات مورد نیاز کشور تولید داخلی وجود ندارد و تنها این محصولات از طریق واردات تأمین می شوند. در مدل دوم وضعیتی را در نظر می گیریم که رقابت بین واردکننده اصلی (در اینجا دولت) و قاچاقچی می باشد. دولت علاوه بر تأمین محصولات مورد نیاز کشور به دنبال جلوگیری از قاچاق کالا نیز می باشد. چنانچه نیاز بازار توسط واردات قانونی تأمین نشود، انگیزه ای برای قاچاقچیان ایجاد می شود که کسری کالا را به صورت غیرقانونی وارد نمایند، در صورتی که دولت با قاچاق کالا مقابله نکند، پیامدهای اقتصادی منفی بر دولت و مصرف کننده دارد و حتی ممکن است سلامتی مصرف کننده را تحت شعاع قرار دهد.

لذا سعی می شود نیاز بازار حتی الامکان توسط واردات قانونی تأمین شود. بنابراین در مدل دوم این پژوهش، وضعیتی را در نظر می گیریم که دولت در سطح اول به عنوان واردکننده عمل می نماید و قاچاقچی در سطح دوم در جهت ورود این محصولات گام برمی دارد. هدف دولت از وارد نمودن کالا در این مدل، علاوه بر تأمین کالای مورد نیاز کشور، کمینه نمودن سود حاصل از قاچاق کالا و در نتیجه جلوگیری از واردات غیرقانونی است. در این مدل نیز با یک مسأله در دوسطح روبرو هستیم که این بار به صورت یک بازی دوسطحی استکلبرگ از نوع ممانعت مدل سازی می شود.

در این مقاله سعی شده به مسأله ی زنجیره ی تأمین کالا پرداخته شود و با توجه به اینکه همه ی کالاهای مورد نیاز کشور امکان تولید داخل را ندارند، دو نوع مسأله بازی استکلبرگ مختلف در نظر گرفته شده است، تا پوشش کامل تری از مسأله ارائه گردد.

ادامه مقاله به صورت زیر سازمان دهی شده است. در بخش سوم، فرمول بندی مدل استکلبرگ بیان می شود و در بخش چهارم فرمول بندی و حل مسأله در دو حالت مختلف ارائه می گردد. در نهایت بخش پنجم مقاله به نتیجه گیری و ارائه ی پیشنهاداتی برای بسط بیشتر مسأله اختصاص می یابد.

۳. فرمول بندی مدل استکلبرگ دوسطحی

در بازی استکلبرگ که بازی رهبر-پیرو نیز نامیده می شود، یک بازیکن به عنوان رهبر و بقیه بازیکنان به عنوان پیرو عمل می کنند. در مسأله ی دوسطحی استکلبرگ در سطح اول، رهبر و در سطح دوم پیرو قرار دارد. مدل استکلبرگ دوسطحی خطی را می توان به صورت کلی زیر بیان نمود:

$$\begin{aligned} \max_x Z_1(x, y) &= d_1x + e_1y \\ s.t. \quad A_1x + B_1y &\leq b_1 \\ \max_y Z_2(x, y) &= d_2x + e_2y \\ s.t. \quad A_2x + B_2y &\leq b_2 \\ x, y &\geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

در این مدل ابتدا تصمیم گیرنده سطح بالاتر (رهبر) تصمیم خود

دسته‌ی اول متغیرهای تحت کنترل تولیدکننده (رهبر) است. این متغیرها را با $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ نشان می‌دهیم که x_j مقدار تولید کالای j ام به‌ازای $j=1, \dots, n$ است. دسته دوم متغیرهای تحت کنترل واردکننده (پیرو) است. این متغیرها را با $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ نشان می‌دهیم که y_j مقدار واردات کالای j ام به‌ازای $j=1, \dots, n$ است.

مجموعه‌ی راهبردهای تولیدکننده عبارت است از:

$$X = \{x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \mid x_j \geq l_j^p, \\ l_j \leq x_j + y_j \leq u_j \quad j \in T, \sum_{j=1}^n a_j^p x_j \leq b_p\}.$$

مجموعه‌ی راهبردهای واردکننده به‌صورت زیر می‌باشد.

$$Y = \{y = (y_1, y_2, \dots, y_n) \mid y_j \geq 0, \\ l_j \leq x_j + y_j \leq u_j \quad j \in T, \sum_{j=1}^n a_j^l y_j \leq b_l\}.$$

مدل ریاضی مسأله به‌صورت مسأله‌ی استکلیبرگ زیر است:

$$(P1): \max_x C^p x = \sum_{j=1}^n c_j^p x_j - \sum_{j=1}^n c_j^{tp} x_j y_j \quad (2)$$

$$s. t. \quad \sum_{j=1}^n a_j^p x_j \leq b_p \quad (3)$$

$$l_j^p \leq x_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

که $y = (y_1, \dots, y_n)$ جواب بهینه‌ی مسأله‌ی زیر است:

$$\max_y C^l y = \sum_{j=1}^n c_j^l y_j \quad (5)$$

$$s. t. \quad \sum_{j=1}^n a_j^l y_j \leq b_l \quad (6)$$

$$x_j + y_j \geq l_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$x_j + y_j \leq u_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$y_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

تابع هدف (۲) نشان‌دهنده‌ی سود نهایی تولیدکننده پس از ارائه تخفیفات است. قید (۳) محدودیت منابع مالی تولیدکننده است و قید (۴) نشان‌دهنده‌ی حداقل میزانی از محصولاتی است که باید توسط تولیدکننده تولید شود.

تابع هدف (۵) تابع سود واردکننده، قید (۶) محدودیت در منابع مالی واردکننده (سقف موردنظر برای بودجه‌ی درنظر گرفته شده)، قید (۷) سقف میزان واردات و تولید با توجه به نیاز بازار و قید (۸) حداقل مقدار مورد نیاز تولید و واردات با توجه بررسی‌های کارشناسی شده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در این مدل فقط محدودیت‌های منابع مالی بازیکنان سطح ۱ و ۲ و سقف و کف مورد نیاز تولید درنظر گرفته شده است ولی بدیهی است که چنانچه در مسأله واقعی محدودیت‌های دیگری نیز وجود داشته باشد می‌تواند به مدل اضافه گردد و روش حل پیشنهاد شده (با اضافه‌شدن تعدادی متغیر و محدودیت جدید) قابل استفاده خواهد بود.

برای حل این مسأله با استفاده از شرایط کاروش-کان-تاکر آن را

مجموعه کالاهای مورد نیاز را با $T = \{1, 2, \dots, n\}$ و شمارنده محصولات را با j نشان می‌دهیم.

منابع مالی تولیدکننده محدود است و b_p واحد پول را در اختیار دارد. b_p واحد به‌طور پیوسته بین کالاها توزیع می‌شود. a_j^p هزینه تولید هر واحد از کالای j ام می‌باشد. نیاز بازار به کالای j ام حداقل $l_j > 0$ واحد و حداکثر u_j واحد می‌باشد. سیاست دولت به‌نحوی است که می‌خواهد حداقل به میزان $l_j^p \geq 0$ واحد از کالای j ام توسط تولیدکننده تولید شود. علاوه بر این تولیدکننده با توجه به تجربیات خود می‌داند که ورود کالاهای خارجی به بازار تأثیرات منفی بر روی میزان سودش خواهد داشت. او می‌داند هرچه کالای خارجی بیشتری در بازار وجود داشته باشد و به عبارتی این کالاها به‌راحتی در دسترس باشند، رغبت مشتریان برای خرید کالای خارجی افزایش پیدا می‌کند. لذا برای افزایش رغبت خرید تولید داخلی برای آن دسته از مشتریانی که تمایل به خرید اجناس خارجی دارند، کالاهایش را با قیمتی رقابتی و حتی با تخفیف به‌فروش می‌رساند.

– a_j^l هزینه واردات هر واحد کالای j ام است.

– b_l کل بودجه واردکننده است.

واردکننده که در سطح دوم زنجیره قرار دارد، می‌خواهد تعدادی کالا از مجموعه $T = \{1, 2, \dots, n\}$ را به میزانی وارد کند که ضمن تأمین باقیمانده‌ی نیاز بازار (یا بخشی از آن)، سود کلش بیشینه شود. c_j^p – سود خالص تولیدکننده به‌ازای یک واحد از کالای j ام (پس از کسر هزینه‌های تحقیقات بازار، مصالح اولیه، ماشین‌آلات، نیروی انسانی، تولید، انبارداری، بسته‌بندی، تبلیغات و بازاریابی، فروش، حمل‌ونقل، توزیع، مالیات و دیگر هزینه‌های بالاسری) است.

– میزان تخفیف تولیدکننده تابعی صعودی برحسب میزان کالای وارداتی است. در اینجا برای سادگی تابع را خطی و به‌صورت یک ضریب کاهشی برای قیمت کالاها درنظر می‌گیریم یعنی فرض می‌کنیم که ضریب تخفیف c_j^{tp} عددی ثابت است که میزان تخفیف را به‌ازای هر واحد کالای وارد شده نشان می‌دهد. تولیدکننده برای جلوگیری از منفی شدن سودش، می‌تواند ضریب تخفیف c_j^{tp} برای محصول j ام را عددی از بازه $\left[0, \frac{c_j^p}{u_j}\right]$ درنظر بگیرد.

– تولیدکننده با توجه به تسهیلات دولتی و طرح تجاری خود ملزم است که از کالای j ام درمجموعه کالاهای اساسی T ، به‌اندازه حداقل l_j^p تولید نماید.

– c_j^l – سود خالص واردکننده به‌ازای یک واحد از کالای j ام (پس از کسر هزینه‌های واردات شامل تحقیقات بازار، خرید، حمل‌ونقل خارجی، ثبت سفارش و امور گمرکی، حمل‌ونقل داخلی، تبلیغات و بازاریابی، انبارداری، فروش، توزیع، مالیات و دیگر هزینه‌های بالاسری) است.

سود خالص هر واحد از هر یک از کالاهای تولیدی و وارداتی را علی‌رغم اینکه در برخی مسائل ممکن است در گذر زمان متغیر باشد، ثابت درنظر می‌گیریم. این فرض یک فرض متداول است. به‌عنوان مثال (اسماعیلی و زفونجسکول، ۲۰۰۸) را ببینید.

مسأله دارای دو دسته متغیر است:

جدول (۲). اطلاعات مربوط به واردکننده در مثال ۱-۴

کالای سوم	کالای دوم	کالای اول
۲	۲.۵	۲
۲.۷	۴.۹	۳.۸

جدول (۳). کران‌های بالا و پایین نیاز بازار در مثال ۱-۴

کالای سوم	کالای دوم	کالای اول
۴	۲	۳
۸	۶.۵	۷

مسأله‌ی یک‌سطحی (P2) با استفاده از داده‌های جداول (۱) تا (۳)

به‌شرح زیر است:

$$\text{Max } 3x_1 + 3x_2 + 2.5x_3 - 0.08x_1y_1 - 0.12x_2y_2 - 0.1x_3y_3$$

s. t.

$$4x_1 + 4x_2 + 3x_3 \leq 28$$

$$x_1 + y_1 \leq 7$$

$$x_2 + y_2 \leq 6.5$$

$$x_3 + y_3 \leq 8$$

$$-x_1 - y_1 \leq -3$$

$$-x_2 - y_2 \leq -2$$

$$-x_3 - y_3 \leq -4$$

$$3.8y_1 + 4.9y_2 + 2.7y_3 \leq 30$$

$$3.8v_2 + v_{21} - v_{24} = 2$$

$$4.9v_2 + v_{22} - v_{25} = 2.5$$

$$2.7v_2 + v_{23} - v_{26} = 2$$

$$v_2(-30 + 3.8y_1 + 4.9y_2 + 2.7y_3) = 0$$

$$v_1^2(-7 + x_1 + y_1) = 0$$

$$v_2^2(-6.5 + x_2 + y_2) = 0$$

$$v_3^2(-8 + x_3 + y_3) = 0$$

$$v_4^2(3 - x_1 - y_1) = 0$$

$$v_5^2(2 - x_2 - y_2) = 0$$

$$v_6^2(4 - x_3 - y_3) = 0$$

$$x_1 \geq 2.9, x_2 \geq 2, x_3 \geq 2.8,$$

$$y_1, y_2, y_3, v_2, v_1^2, v_2^2, v_3^2, v_4^2, v_5^2, v_6^2 \geq 0.$$

با حل مسأله‌ی فوق توسط نرم‌افزار لینگو نسخه ۱۸، مقادیر

متغیرهای اصلی مسأله‌ی (P3) در جواب بهینه مسأله و مقادیر دو تابع

هدف، به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند:

$$x_1 = 2.9, \quad x_2 = 2, \quad x_3 = 2.8,$$

$$y_1 = 4.1, \quad y_2 = 0.077551, \quad y_3 = 5.2$$

جدول (۴). مقایسه میزان تولید و واردات هر محصول با حداقل و

حداکثر نیاز بازار در مثال ۱-۴

کالاهای اساسی	حداقل نیاز بازار	حداکثر نیاز بازار	میزان کالای تولید داخل	میزان کالای وارد شده
کالای ۱	۳	۷	۲.۹	۴.۱
کالای ۲	۲	۶.۵	۲	۰.۰۷۷۵۵۱
کالای ۳	۴	۸	۲.۸	۵.۲

در این مثال با توجه به نتایج جداول (۴) و (۵) که در مورد کالای اول و سوم نیاز بازار توسط تولیدکننده و واردکننده به‌طور کامل تأمین

به یک مسأله‌ی یک‌سطحی تبدیل می‌کنیم. شرایط بهینگی کاروش-کان-تاکر برای مسأله‌ی سطح دوم (با در نظر گرفتن متغیرهای v_j^2, v_{n+j}^2 و به ترتیب به عنوان ضرایب لاگرانژ قیود اول تا سوم مسأله‌ی فوق) به‌صورت زیر است:

$$v_2 \left(-b_l + \sum_{j=1}^n a_j^l y_j \right) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$v_j^2 (-u_j + x_j + y_j) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

$$v_{n+j}^2 (l_j - x_j - y_j) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$a_j^l v_2 + v_j^2 - v_{n+j}^2 - c_j^l = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

$$v_2 \geq 0, v_j^2 \geq 0, v_{n+j}^2 \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

توجه داریم که مسأله‌ی سطح دوم یک مسأله‌ی برنامه‌ریزی خطی است. بنابراین شرایط کاروش-کان-تاکر برای بهینگی لازم و کافی می‌باشند. از این رو پس از جایگزینی مسأله‌ی سطح دوم با شرایط کاروش-کان-تاکر (۶) تا (۱۴) مسأله‌ی (P1) به‌صورت معادل زیر تبدیل می‌شود:

(P2):

$$\max_x C^P x = \sum_{j=1}^n c_j^P x_j - \sum_{j=1}^n c_j^{TP} x_j y_j$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n a_j^P x_j \leq b_P$$

$$l_j^P \leq x_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n a_j^l y_j \leq b_l$$

$$x_j + y_j \geq l_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_j + y_j \leq u_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_2 \left(-b_l + \sum_{j=1}^n a_j^l y_j \right) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_j^2 (-u_j + x_j + y_j) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_{n+j}^2 (l_j - x_j - y_j) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$a_j^l v_2 + v_j^2 - v_{n+j}^2 - c_j^l = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

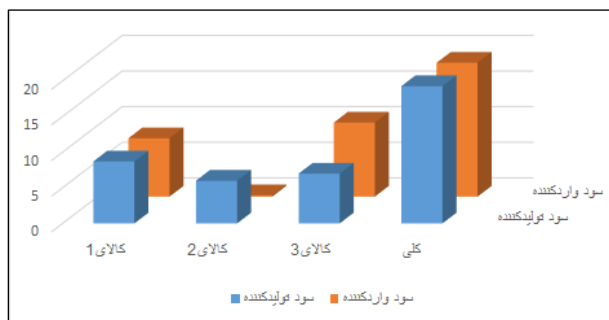
$$v_2 \geq 0, v_j^2 \geq 0, v_{n+j}^2 \geq 0, y_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

۱-۱-۴. مثال

مسأله‌ی زنجیره‌ی تأمین دوسطحی را با داده‌های جداول (۱) و (۲) به ترتیب برای تولیدکننده و واردکننده در جهت تأمین احتیاجات سه کالا در نظر بگیرید. کران‌های پایین و بالای نیاز بازار به این سه کالا در جدول (۳) آمده است. فرض کنید بودجه‌ی تولیدکننده ۲۸ میلیارد تومان و بودجه‌ی واردکننده ۳۰ میلیارد تومان است.

جدول (۱). اطلاعات مربوط به تولیدکننده در مثال ۱-۴

کالای سوم	کالای دوم	کالای اول
۲.۵	۳	۳
۰.۱	۰.۲	۰.۰۸
۳	۴	۴
۲.۸	۲	۲.۹



شکل (۱). مقایسه سود تولیدکننده و واردکننده

در این مثال با توجه به اینکه بودجه تولیدکننده و واردکننده فرضی در نظر رفته شده‌اند، در جدول (۶)، تحلیل حساسیت ضریب تخفیف تولیدکننده (به ترتیب برای کالای اول، کالای دوم و کالای سوم) و در جدول (۷)، تحلیل حساسیت بودجه‌های تولیدکننده - واردکننده ارائه شده است. (در جدول (۷)، سود تولیدکننده رابه اختصار با "ت" و سود واردکننده را با "و" نمایش داده‌ایم.)

جدول (۶) نشان‌دهنده‌ی این است که افزایش ضرایب تخفیف در این مثال تأثیر مثبتی بر سود تولیدکننده نداشته است. اما به نظر می‌رسد بهترین ضریب تخفیف در بین اعداد بالا مربوط به ستون دوم باشد که منجر به سود بالاتری برای تولیدکننده است.

نتایج به دست آمده از جدول (۷) نشان می‌دهد با کمتر شدن سقف بودجه‌ی واردکننده در نظر گرفته شده سود به دست آمده برای تولیدکننده یا واردکننده (یا هر دو) کاهش یافته است. از آنجایی که به دنبال جوابی هستیم که برای هر دو تصمیم‌گیرنده جواب مناسبی باشد، بهترین جواب برای بودجه ۲۸ تولیدکننده و ۳۰ واردکننده به دست آمده است اما با افزایش بودجه تولیدکننده به ۳۲ و در نظر گرفتن بودجه ۳۱ تا ۳۲ برای واردکننده به جواب بهتری برای هر دو تصمیم‌گیرنده دست می‌یابیم.

جدول (۷). تحلیل حساسیت بودجه‌ی تولیدکننده-واردکننده در مثال ۱-۴

$b_I \backslash b_S$	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱	۳۲
۲۸	ت=۱۹.۴۶۰۸۰ و=۱۷.۴	ت=۱۹.۳۹۵۸۵ و=۱۷.۳۸۶۸۴۲	ت=۱۹.۳۹۵۸۵ و=۱۷.۳۸۶۸۴۲	ت=۱۹.۳۹۵۸۵ و=۱۷.۳۸۶۸۴۲	ت=۱۹.۷۷۲۴۳ و=۱۷.۱۸۲۶۷۴
۲۹	ت=۱۹.۳۵۷۱۰ و=۱۸.۰۴۰۷۴	ت=۱۹.۳۳۴۷۹ و=۱۸.۰۹۳۱۵۸	ت=۱۹.۳۳۴۷۹ و=۱۸.۰۹۳۱۵۸	ت=۱۹.۳۳۴۷۹ و=۱۸.۰۹۳۱۵۸	ت=۱۹.۶۶۸۷۲ و=۱۷.۹۲۳۴۱۴
۳۰	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷
۳۱	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۵۷۶۱۲ و=۱۸.۷۹۷۱۱۳
۳۲	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۲۷۴۱۹ و=۱۸.۷۹۳۸۷۷	ت=۱۹.۵۷۶۱۲ و=۱۸.۷۹۷۱۱۳

شده است اما در مورد کالای دوم در بازار نیاز وجود دارد. برای برطرف کردن نیاز بازار با توجه به اینکه اولویت دولت، تولید داخلی است باید تسهیلات بیشتری به تولیدکننده داده شود که منابع مالی تولیدکننده و امکانات او افزایش یابد. در غیراین صورت راهکار دیگر این است که دولت با افزایش بودجه‌ای که به واردات این کالاها اختصاص داده است، بقیه‌ی نیاز بازار را از طریق واردات تأمین نماید.

جدول (۵). میزان سود واردکننده و تولیدکننده با توجه به نتایج

جدول (۴) در مثال ۱-۴

کالاهای اساسی	سود تولیدکننده	سود واردکننده
کالای ۱	۸.۷ میلیارد تومان	۸.۲ میلیارد تومان
کالای ۲	۶ میلیارد تومان	۰.۱۹۳۸۷۷ میلیارد تومان
کالای ۳	۷ میلیارد تومان	۱۰.۴ میلیارد تومان
سود نهایی تولیدکننده- واردکننده		
سود کلی تولیدکننده:		
۱۹.۲۷۴۱۹ میلیارد تومان	سود کلی واردکننده:	
میزان تخفیف تولیدکننده:	۱۸.۷۹۳۸۷۷ میلیارد تومان	
۲۰.۴۲۵۸۱ میلیارد تومان		

جدول (۶). تحلیل حساسیت ضریب تخفیف تولیدکننده در مثال ۴-۱

	۰.۰۶	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۱
C^{Pt}	۰.۱	۰.۱۱	۰.۱۲	۰.۱۳	۰.۱۴
	۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۱	۰.۱۱	۰.۱۲
ت	۱۹.۵۲۰۲۵	۱۹.۵۵۵۵۹	۱۹.۲۷۴۱۹	۱۹.۰۰۸۱۴	۱۸.۷۴۲۰۹

شکل (۱)، مقایسه بهتری از سود تولیدکننده و واردکننده ارائه می‌دهد. در سه ستون اول از سمت چپ سود تولیدکننده و واردکننده برای کالاهای ۱، ۲ و ۳ مقایسه شده است و ستون‌های چهارم سود کلی تولیدکننده و واردکننده را نشان می‌دهد.

$$(P3): \max_y \left(\sum_{j=1}^n c_j^I y_j, - \sum_{j=1}^n c_j^S z_j \right)$$

$$s. t. \quad \sum_{j=1}^n a_j^I y_j \leq b_I$$

$$y_j \geq l_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

که در آن $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ جواب بهینه ی مسأله ی زیراست:

$$\max_z C^S z = \sum_{j=1}^n c_j^S z_j$$

$$s. t. \quad \sum_{j=1}^n a_j^S z_j \leq b_S$$

$$y_j + z_j \leq u_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$z_j \leq u_j^S \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$z_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

با توجه به اینکه مسأله ی سطح اول دو هدفی می باشد می توان از یکی از روش های چند هدفی از جمله روش مجموع وزنی آن را به یک هدفی تبدیل کرد. در روش مجموع وزنی به هر تابع هدف وزن مثبتی داده می شود به طوری که مجموع دو وزن برابر ۱ باشد. مسأله ی دوهدفی با ضرب وزن های مثبت در هر تابع و جمع جبری دو تابع هدف به مسأله ی تک هدفی تبدیل می شود. در تابع هدف اگر w وزن مثبتی باشد که به تابع هدف اول داده ایم وزن تابع هدف دوم $(1-w)$ خواهد بود و w بسته به میزان اهمیت دو تابع هدف سطح ۱ مسأله ی $(P3)$ انتخاب می شود. هر تابعی که میزان اهمیت بالاتری داشته باشد وزن آن بزرگتر و به عدد ۱ نزدیک تر می باشد. اگر اهمیت هر دو هدف برابر باشد این عدد 0.5 در نظر گرفته می شود.

با انتخاب وزن w برای تابع هدف اول و $(1-w)$ برای تابع هدف دوم سطح اول، مسأله دوسطحی زیر را خواهیم داشت که سطح اول آن تک هدفی است.

$$(P4): \max_y w \sum_{j=1}^n c_j^I y_j - (1-w) \sum_{j=1}^n c_j^S z_j \quad (15)$$

$$s. t. \quad \sum_{j=1}^n a_j^I y_j \leq b_I \quad (16)$$

$$y_j \geq l_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

که در آن $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ جواب بهینه ی مسأله ی زیراست:

$$\max_z C^S z = \sum_{j=1}^n c_j^S z_j \quad (18)$$

$$s. t. \quad \sum_{j=1}^n a_j^S z_j \leq b_S \quad (19)$$

$$y_j + z_j \leq u_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (20)$$

$$z_j \leq u_j^S \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

$$z_j \geq 0 \quad (22)$$

در مسأله ی فوق y_j میزان واردات محصول z_j میزان قاچاق آن است.

در تابع هدف (15) به تابع سود واردکننده و تابع ممانعت از قاچاق وزن هایی داده شده که نشان دهنده میزان اهمیت هریک از این دو تابع هدف است. هرچه اهمیت تابع هدف اول (سود واردکننده) نسبت به تابع هدف دوم (سود قاچاق چی) بیشتر باشد، ضریب وزن w عددی

۴-۲. مسأله ی مدیریت زنجیره تأمین دوسطحی به عنوان یک

مسأله ی ممانعت از قاچاق

همان طور که در مقدمه اشاره شد در مدل دوم کالاهایی مورد بررسی قرار می گیرند که فقط از طریق واردات تأمین می شوند. در این حالت دولت اقدام به واردات می کند و کالاهای مورد نیاز کشور را تا حد ممکن تأمین می نماید دولت (رهبر) برای جلوگیری از قاچاق کالا تصمیم دارد میزان سود قاچاق چی (پیرو) را به حداقل برساند. او به عنوان تصمیم گیرنده ی سطح اول تلاش می کند با کمینه کردن سود قاچاق-چی او را از واردات غیرقانونی منصرف کند. مفروضات مسأله مشابه مسأله ی $(P1)$ است، با این تفاوت که تابع هدف سطح اول تنها بیشینه سازی سود واردکننده نیست بلکه هدف کمینه سازی سود قاچاق چی را نیز دنبال می کند. اما در سطح دوم، قاچاق چی به دنبال بیشینه سازی سود خود می باشد.

اندیس j نشان دهنده ی شماره ی کالاهای اساسی وارد شده توسط تولیدکننده و قاچاق چی از مجموعه ی کالاهای اساسی T می باشد. پارامترها برای واردکننده مشابه مسأله ی ۴-۱ تعریف می شود. پارامترهای قاچاق چی به صورت زیر می باشد.

$-c_j^I$ سود خالص قاچاق چی به ازای یک واحد از کالای j ام (پس از کسر هزینه های واردات غیرقانونی) است.

$-a_j^S$ هزینه واردات غیرقانونی هر واحد کالای j ام است.

$-b_S$ کل بودجه قاچاق چی می باشد.

$-u_j^S$ حداکثری ظرفیت قاچاق کالای j ام، توسط قاچاق چی می باشد.

y_j ، متغیرهای تصمیم واردکننده (متغیرهای سطح اول یا رهبر) و z_j ، متغیر تصمیم قاچاق چی (سطح دوم یا پیرو) می باشد.

مسأله دارای دو دسته متغیر است: دسته ی اول متغیرهای تحت کنترل واردکننده (رهبر) است. این متغیرها را با $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ نشان می دهیم که y_j مقدار واردات کالای j ام به ازای $j=1, \dots, n$ است. دسته دوم متغیرهای تحت کنترل قاچاق چی (پیرو) است. این متغیرها را با $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ نشان می دهیم که z_j مقدار قاچاق کالای j ام به ازای $j=1, \dots, n$ است.

مجموعه ی راهبردهای واردکننده عبارت است از:

$$Y = \{ y = (y_1, y_2, \dots, y_n) | y_j \geq 0, y_j \geq l_j, j \in T, \sum_{j=1}^n a_j^I y_j \leq b_I \}.$$

مجموعه ی راهبردهای واردکننده به صورت زیر می باشد.

$$Z = \{ z = (z_1, z_2, \dots, z_n) | z_j \geq 0, z_j \leq u_j^S,$$

$$y_j + z_j \leq u_j, j \in T, \sum_{j=1}^n a_j^S z_j \leq b_S \}.$$

با توجه به اینکه

$$\min_z \sum_{j=1}^n c_j^S z_j = - \max_z - \sum_{j=1}^n c_j^S z_j$$

مدل ریاضی مسأله در این حالت به صورت زیر است:

جدول (۸). اطلاعات مربوط به واردکننده در مثال ۱-۲-۴

کالای سوم	کالای دوم	کالای اول	
۲	۲.۵	۲	c^I
۲.۷	۴.۹	۳.۸	a^I

جدول (۹). اطلاعات مربوط به قاچاقچی در مثال ۱-۲-۴

کالای اول	کالای دوم	کالای اول	
۲	۲.۴	۲.۱	c^S
۳.۳	۴.۵	۳	a^S
۲	۲	۴	u^S

جدول (۱۰). کران‌های بالا و پایین نیاز بازار در مثال ۱-۲-۴

کالای سوم	کالای دوم	کالای اول	
۴	۲	۳	l
۸	۶.۵	۷	u

برای این داده‌ها مدل (P5) به شرح زیر است:

$$\text{Max } 0.5(2y_1 + 2.5y_2 + 2y_3 - 2.1z_1 - 2.4z_2 - 2z_3)$$

s.t.

$$y_1 + z_1 \leq 7$$

$$y_2 + z_2 \leq 6.5$$

$$y_3 + z_3 \leq 8$$

$$-y_1 \leq -3$$

$$-y_2 \leq -2$$

$$-y_3 \leq -4$$

$$3z_1 + 4z_2 + 3.3z_3 \leq 15$$

$$3.8y_1 + 4.9y_2 + 2.7y_3 \leq 55$$

$$3v_3 + v_{31} + v_{34} = 2.1$$

$$4.5v_3 + v_{32} + v_{35} = 2.4$$

$$3.3v_3 + v_{33} + v_{36} = 2$$

$$v_3(-15 + 3z_1 + 4.5z_2 + 3.3z_3) = 0$$

$$v_1^3(-7 + y_1 + z_1) = 0$$

$$v_2^3(6.5 + y_2 + z_2) = 0$$

$$v_3^3(-8 + y_3 + z_3) = 0$$

$$v_4^3(-4 + z_1) = 0$$

$$v_5^3(-2 + z_2) = 0$$

$$v_6^3(-2 + z_3) = 0$$

$$z_1 \leq 4, z_2 \leq 2, z_3 \leq 2,$$

$$z_1, z_2, z_3, v_3, v_1^3, v_2^3, v_3^3, v_4^3, v_5^3, v_6^3 \geq 0$$

از حل مسأله‌ی فوق، مقادیر متغیرهای اصلی مسأله‌ی (P5)

در جواب بهینه‌ی مسأله و مقادیر دو تابع هدف تولیدکننده و قاچاقچی،

به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$y_1 = 7, \quad y_2 = 2, \quad y_3 = 5.999999,$$

$$z_1 = 0, \quad z_2 = 1.866667, \quad z_3 = 2.$$

جدول (۱۱). مقایسه میزان واردات و قاچاق هر محصول با حداقل و حداکثر نیاز بازار در مثال ۱-۲-۴

کالاهای اساسی	حداقل نیاز بازار	حداکثر نیاز بازار	میزان کالای قانونی وارد شده	میزان کالای قاچاق
کالای ۱	۳	۷	۷	۰
کالای ۲	۲	۶.۵	۲	۱.۸۶۶۶۶۷
کالای ۳	۴	۸	۵.۹۹۹۹۹۹	۲

نزدیکتر به ۱ انتخاب می‌شود. قید (۱۶) مربوط به سقف بودجه‌ی در نظر گرفته شده در دولت برای واردات این محصولات است و قید (۱۷) حداقل میزان واردات هر محصول را نشان می‌دهد.

تابع هدف سطح دوم (۱۸) میزان سود قاچاقچی را مشخص می‌کند. قید (۱۹) باتوجه به محدودیت منابع مالی قاچاقچی در نظر گرفته شده است. قید (۲۰) سقف نیاز بازار را نشان می‌دهد و در قید (۲۱) محدودیت‌های قاچاقچی برای قاچاق محصولات مختلف لحاظ شده است. در اینجا نیز برای سادگی، فقط محدودیت‌های بودجه رهبر و پیرو و میزان کالای مورد نیاز در مدل در نظر گرفته شده است، ولی چنانچه در مسأله واقعی محدودیت‌های دیگری نیز وجود داشته باشد می‌توان آن‌ها را به مدل اضافه نموده و از روش حل پیشنهادی استفاده کرد.

اکنون شرایط کاروش-کان-تاکر را مشابه با شرایط (۶) تا (۱۴)، برای مسأله‌ی سطح دوم (P4) می‌نویسیم. با در نظر گرفتن متغیرهای v_j^3, v_{n+j}^3 به ترتیب به عنوان ضرایب لاگرانژ قیود اول، دوم و سوم مسأله‌ی سطح دو، شرایط کاروش-کان-تاکر را به صورت زیر خواهیم داشت:

$$a_j^S v_3 + v_j^3 + v_{n+j}^3 - c_j^S = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

$$v_3 \left(-b_S + \sum_{j=1}^n a_j^S z_j \right) = 0 \quad (24)$$

$$v_j^3(-u_j + y_j + z_j) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

$$v_{n+j}^3(u_j^S - z_j) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (26)$$

$$v_3 \geq 0, v_j^3 \geq 0, v_{n+j}^3 \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (27)$$

پس از جایگزینی مسأله‌ی سطح دوم در مسأله‌ی (P4) با شرایط

(۱۹) تا (۲۷)، این مسأله به مسأله‌ی معادل زیر تبدیل می‌شود

$$(P5): \max_{y,z} w \sum_{j=1}^n c_j^I y_j - (1-w) \sum_{j=1}^n c_j^S z_j$$

$$s.t. \quad \sum_{j=1}^n a_j^I y_j \leq b_I$$

$$y_j \geq l_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{j=1}^n a_j^S z_j \leq b_S$$

$$y_j + z_j \leq u_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$z_j \leq u_j^S \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$a_j^S v_3 + v_j^3 + v_{n+j}^3 - c_j^S = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_3(-b_S + \sum_{j=1}^n a_j^S z_j) = 0$$

$$v_j^3(-u_j + y_j + z_j) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

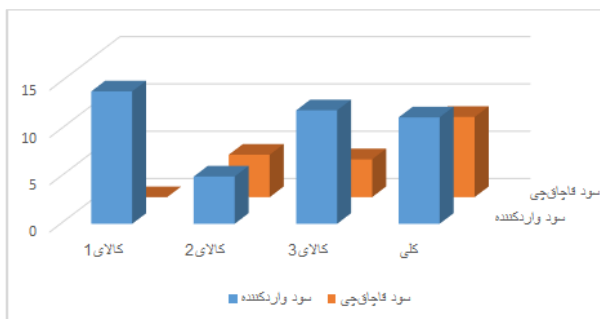
$$v_{n+j}^3(u_j^S - z_j) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_3 \geq 0, v_j^3 \geq 0, v_{n+j}^3 \geq 0, z_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

۱-۲-۴. مثال

در این مثال از داده‌های زیر استفاده شده و مدل (P5) با وزن $w = 0.5$ با استفاده از نرم افزار لینگو نسخه ۱۸ حل شده است. بودجه‌ی در نظر گرفته شده برای واردکننده ۵۵ میلیارد تومان و بودجه‌ی قاچاقچی ۱۵ میلیارد تومان در نظر گرفته شده است.

و نوسازی بخش بازرسی کمرگ چه از نظر فیزیکی (نوسازی دستگاه‌ها و افزایش نیروهای انسانی بازرسی) و چه از نظر امنیت اطلاعاتی مقابله قوی‌تری با عوامل قاچاق داشته باشند، که این خود نیازمند افزایش سرمایه‌گذاری در گمرک است. همچنین باید خلأهای قانونی موجود که منجر به قاچاق کالا می‌شود بهتر شناسایی شود. این امر نیازمند همکاری بیشتر متخصصان کمرگ حتی قاچاق‌چیان دستگیر شده (که خلأهای قانونی و مسیرهای نفوذ را بهتر می‌شناسند) با تیم قانون‌گذار می‌باشد. با توجه به اینکه قاچاق به علت حاشیه سود ایجاد شده اتفاق می‌افتد اگر نیاز بازار تا حد زیادی توسط واردات قانونی با قیمت مناسب تأمین گردد حاشیه سود قاچاق‌چی کاهش می‌یابد و تمایل به قاچاق کم می‌شود. همچنین اگر مسیرهای ورود قاچاق کنترل قوی‌تر فیزیکی- اطلاعاتی داشته باشد و عوامل دستگیر شده در قاچاق با محرومیت‌های شدید مواجه باشند. بسیاری از قاچاق‌چیان به علت ریسک بالا و حاشیه سود پایین از قاچاق منصرف می‌شوند.



شکل (۲). مقایسه سود واردکننده و قاچاقچی

در مثال حل شده با توجه به اینکه بودجه‌ی واردکننده و قاچاق‌چی فرضی در نظر رفته شده‌اند، در جدول (۱۳)، به تحلیل حساسیت بودجه‌ی واردکننده- قاچاق‌چی در مثال ۴-۲-۱ می‌پردازیم. (سود وادکننده را به اختصار با "و" و سود قاچاق‌چی را با "ق" نمایش داده‌ایم.)

جدول (۱۳). تحلیل حساسیت بودجه‌ی واردکننده-قاچاق‌چی در مثال ۴-۲-۱

b_i b_s	۵۰	۵۲	۵۵	۵۷	۶۰
۱۱	و=۱۰.۵۰۹۱۴ ق=۹.۱۲۳۳۸۵۵	و=۱۱.۱۰۲۰۹ ق=۸.۶۶۶۳۰۹	و=۱۱.۲۶۰۶۳ ق=۸.۴۷۰۰۸	و=۱۱.۲۶۰۶۳ ق=۸.۴۷۰۰۸	و=۱۱.۲۶۰۶۳ ق=۸.۴۷۰۰۸
۱۳	و=۱۰.۵۰۹۱۴ ق=۹.۱۲۳۳۸۵۵	و=۱۱.۱۰۲۰۹ ق=۸.۶۷۲۷۳۵۶	و=۱۱.۲۶۰۶۳ ق=۸.۴۷۰۰۸	و=۱۱.۲۶۰۶۳ ق=۸.۴۷۰۰۸	و=۱۱.۲۶۰۶۳ ق=۸.۴۷۰۰۸
۱۵	و=۱۰.۵۱۲۴۸ ق=۹.۱۱۹۳۳۴۲	و=۱۱.۱۴۹۹۲ ق=۸.۶۰۱۷۴۶۲	و=۱۱.۲۶۰۰۰ ق=۸.۴۸	و=۱۱.۲۶۰۰۰ ق=۸.۴۸	و=۱۱.۲۶۰۰۰ ق=۸.۴۸
۱۷	و=۱۰.۵۱۲۴۸ ق=۹.۱۱۹۳۳۴۲	و=۱۱.۱۴۹۹۲ ق=۸.۶۰۱۷۴۶۲	و=۱۱.۲۶۰۰۰ ق=۸.۴۸	و=۱۱.۲۶۰۰۰ ق=۸.۴۸	و=۱۱.۲۷۲۰۷ ق=۸.۴۸۷۶
۱۹	و=۱۰.۵۱۲۴۸ ق=۹.۱۱۹۳۳۴۲	و=۱۱.۱۴۹۹۲ ق=۸.۶۰۱۷۴۶۲	و=۱۱.۲۶۰۰۰ ق=۸.۴۸	و=۱۱.۲۶۰۰۰ ق=۸.۴۸	و=۱۱.۲۷۲۰۷ ق=۸.۴۸۷۶

جدول (۱۲). میزان سود واردکننده و قاچاق‌چی با توجه به نتایج

جدول (۱۱) در مثال ۴-۲-۱

کالاهای اساسی	سود واردکننده	سود قاچاق‌چی
کالای ۱	۱۴ میلیارد	۰
کالای ۲	۵ میلیارد	۴.۴۸ میلیارد
کالای ۳	۱۲ میلیارد	۴ میلیارد
سود نهایی واردکننده- قاچاق‌چی		
سود کلی واردکننده:		
سود کلی قاچاق‌چی		
میزان ممانعت از قاچاق در تابع هدف واردکننده:		
۸.۴۸ میلیارد		

با توجه به نتایج جداول (۱۱) و (۱۲) ملاحظه می‌شود در مورد کالای اول نیاز بازار توسط واردکننده به‌طور کامل تأمین شده و امکان قاچاق کالا از قاچاق‌چی گرفته شده است، اما در مورد کالای دوم و سوم در بازار نیاز وجود دارد و با واردات قاچاق‌چی کالای سوم در آستانه‌ی اشباع قرار می‌گیرد. از این پس اگر بودجه‌ی قاچاق‌چی افزایش یابد او به قاچاق کالای دوم که همچنان مورد نیاز بازار است، می‌پردازد. دولت می‌تواند برای جلوگیری از قاچاق کالای دوم و سوم در صورت امکان، بودجه‌ای که به واردات این کالاها اختصاص یافته را افزایش دهد تا این کالاها نیز در مرز اشباع قرار گیرند یا از طرق دیگر مانند افزایش نیروهای امنیتی مرزی، افزایش شدید جریمه‌ی قاچاق و ... با کاهش سود قاچاق‌چی او را تا حدودی از قاچاق منصرف کند.

در شکل (۲)، مقایسه بهتری از سود واردکننده و قاچاق‌چی ارائه شده است. در سه ستون اول از سمت چپ سود واردکننده و قاچاق‌چی برای کالاهای ۱، ۲ و ۳ مقایسه شده است و ستون‌های چهارم سود کلی واردکننده و قاچاق‌چی را نشان می‌دهد.

از آنجایی حجم کالاهای جابجا شده در گمرک بسیار زیاد است و برخی از قاچاق‌چیان از خلأهای قانونی و کمبود امکانات امنیتی سوءاستفاده کرده و با نفوذ به کانال‌های جابجایی کالا به ورود غیرقانونی کالا می‌پردازند. متولیان کمرگ در درجه اول باید با توسعه

واردکننده و قاچاق‌چی در نظر گرفت. همچنین در این مقاله کالاهایی با میزان پیوسته در نظر گرفته شده که می‌توان مسأله را برای کالاهایی با میزان گسسته نیز بررسی نمود. همچنین می‌توان زنجیره‌ای متشکل از سه تأمین‌کننده (تولید کننده - وارد کننده - قاچاق‌چی) را در نظر گرفت و مسأله را به صورت یک مدل سه‌سطحی مدل‌سازی و حل نمود. کاربرد بازی‌های استکلبرگ دیفرانسیل‌پذیر در زنجیره تأمین چندکالایی با دو یا چند تأمین‌کننده نیز می‌تواند در ادامه‌ی این پژوهش مورد توجه قرار گیرد.

در این مقاله واردات با هدف تأمین نیاز بازار انجام شده است. اما در ادامه کار می‌توان به مدل‌سازی مسائلی توجه کرد که در آن نیاز بازار با تولید داخلی تأمین نشده و دولت می‌خواهد با هدف کنترل قیمت کالاها اقدام به واردات نماید. که در این صورت باید مدل ریاضی مسأله به منظور اعمال تأثیر میزان واردات بر قیمت کالاها، به نحو مناسبی بازسازی گردد.

مراجع

- [۱] اسماعیلی، سمانه، حسن‌پور، حسن و بیگدلی، حمید. (۲۰۲۰). برنامه‌ریزی الفبایی برای حل بازی امنیتی با عایدی‌های فازی و محاسبه راهبرد فریب بهینه. آینده‌پژوهی دفاعی، ۱۶(۵)، ۸۹-۱۰۸.
- [۲] اسماعیلی، سمانه، حسن‌پور، حسن و بیگدلی، حمید. (۲۰۲۲). الگوریتم‌هایی با پیچیدگی زمانی چندجمله‌ای برای حل مسائل بازی امنیتی مجموع صفر و مجموع ناصفر. علوم و فناوری‌های پدافند نوین، ۴۷(۱)، ۲۳-۳۴.
- [۳] عابدینی‌ندوشن، شایسته، اقبالی، محمدعلی و راستی برزکی، مرتضی. (۲۰۲۴). یک رویکرد نظریه بازی برای قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین دوکاناله با در نظر گرفتن خدمات لجستیک. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۲۴، ۱۱۵-۱۳۱.
- [۴] محمدی‌زنجیرانی، داریوش، صیفی، محسن، توکلی، محمدحسین و شکری‌ساز، میثم. (۲۰۲۰). تأثیر قیمت‌گذاری و تبلیغات بر رقابت بین تولیدکننده و خرده‌فروش با وجود فروش مستقیم. نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید، ۱۹، ۱-۱۵.
- [5] Alessandro, B. and Marta, Z. (2009), Evaluation of product customization strategies through modularization and postponement, Int. J. Production Economics, 120: 205-220.
- [6] Al-Mehannah, H. M. (2019), The Role of Supply Chain Management in External Indebtedness and Its Problems in Iraq Economy, International Journal of Supply Chain Management, 8(2): 691-701.
- [7] Arabi, M., Gholamian, M.R., Teimoury, E. and Mirzamohammadi, S. (2024), A robust bi-level programming model to enhance resilience in supply chain network considering government role, taxing, and raw sale: An iron ore case study, Computers &

در بررسی جدول (۱۳) مشاهده می‌کنیم با توجه به اینکه هدف واردکننده سطح اول افزایش سود خود و کاهش سود قاچاق‌چی است. با افزایش بودجه واردکننده (به عدد ۶۰ میلیارد) و افزایش بودجه‌ی قاچاق‌چی (به عدد ۱۷ تا ۱۹ میلیارد) سود هر دو افزایش می‌یابد. اما در صورت لحاظ بودجه‌ی حداقل ۵۵ میلیارد برای واردکننده و کاهش بودجه‌ی قاچاق‌چی به عدد ۱۳ میلیارد جواب‌های بهتری از نظر واردکننده برای تحقق هر دو هدفش (سود بیشتر و ممانعت با قاچاق) به دست آمده است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مقاله دو مسأله‌ی دوسطحی برای رهبری زنجیره تأمین در محیط غیرهمکارانه با استفاده از بازی استکلبرگ، ارائه و حل شده است. در مدل اول هدف تأمین‌کنندگان در دوسطح که به ترتیب تولیدکننده و واردکننده هستند، بیشینه کردن سود است. در مدل دوم واردکننده که تصمیم‌گیرنده سطح اول است و در اینجا دولت در نظر گرفته شده، علاوه بر سود، هدف دیگری را دنبال می‌کند که ممانعت از قاچاق کالا است. لذا هدف دولت، علاوه بر بیشینه‌سازی سود خود کمینه کردن سود قاچاق‌چی به منظور کاهش قاچاق کالا است. برای حل این دو مدل از شرایط بهینگی کاروش-کان-تاکر استفاده شد.

با توجه به اینکه مسائل موجود در دنیای واقعی بسیار متنوع هستند و این مسائل از جنبه‌های متفاوتی قابل بررسی می‌باشند برای بسط دادن مدل به کار رفته در این مقاله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد

کران‌های قطعی بالا و پایین نیاز بازار، توسط کارشناس خبره تعیین می‌شود. این کران‌ها نشان‌دهنده‌ی این است که محصولات از چه میزانی نباید کمتر و از چه میزانی نباید بیشتر در بازار وجود داشته باشد. کران پایین برای این طراحی شده است که محصولات به اندازه حداقل نیاز پیش‌بینی شده توسط کارشناسان در دسترس باشد تا از ایجاد بازار سیاه برای محصولات و فشار بر مصرف‌کننده جلوگیری شود. کران بالا نیز برای جلوگیری از این مطلب طراحی شده است که محصول یا محصولاتی خیلی بیشتر از نیاز بازار تولید یا وارد نشود تا از عدم فروش آن (آن‌ها) تولیدکننده و واردکننده متضرر شوند.

در این مقاله مسأله در محیط قطعی در نظر گرفته شده است، اما می‌توان آن را در محیط‌های غیرقطعی نیز بررسی نمود که با توجه به نوع اطلاعات مسأله‌ی مورد بررسی می‌توان از نوع خاصی از عدم قطعیت، مانند فازی، فازی شهودی، فازی مردد، احتمال و ... استفاده کرد. به عنوان مثال، چنانچه حداقل و حداکثر نیاز بازار توسط کارشناسان قابل پیش‌بینی نباشد، مسأله به صورت یک مدل با قیود غیرقطعی از نوع تصادفی یا فازی (بسته به نوع عدم قطعیت داده‌ها) مدل‌سازی می‌شود.

مدل‌های مورد بررسی در این مقاله به صورت یک تأمین‌کننده در هر سطح (تولیدکننده - واردکننده یا واردکننده-قاچاق‌چی) در نظر گرفته شده‌اند که می‌توان مدل‌های مشابهی با چند تولیدکننده،

- Information Systems Frontiers, 3: 413-416.
- [23] He, X., Parsad, A. and Sethi, S.P. (2008), Cooperative Advertising and Pricing in a Dynamic Stochastic Supply Chain: Feedback Stackelberg Strategies, *Production and Operations Management*, 18(1).
<http://dx.doi.org/10.1109/PICMET.2008.4599783>.
- [24] Hosseinzade, E. and Hassanpour, H. (2011), The Karush-Kuhn-Tacker optimality conditions in interval-valued multiobjective programming problems, *Journal of applied mathematics & informatics*, 29(5-6): 1157-1165.
- [25] Langley, C., Coyle, J., Gibson, B., Novack, R. and Bardi, E. (2008), *Managing Supply Chains: A Logistics Approach*, Canada: South-Western Cengage Learning.
- [26] Leng, M. and Parler, M. (2010), Game-theoretic analyses of decentralized assembly supply chains Non-cooperative equilibria vs. coordination with cost-sharing contracts, *European Journal of Operational Research*, 204(1): 96-104.
- [27] Leggate, H. and McConville, J. (2005), *International maritime transport*, [online] Available: <https://books.google.com>
- [28] Madani, S. R. and Rasti-Barzoki, M. (2017), Sustainable supply chain management with pricing, greening and governmental tariffs determining strategies: a game theoretic approach [J], *Computers & Industrial Engineering*, 105(C): 287-298.
- [29] Merzlyakova, N. V. and Goncharova, N. A. (2020), Investigation of import substitution and expansion impact in Russian foreign economic practice by supply chain strategy, *International Journal of Supply Chain Management*, 9(2): 772-778.
- [30] Najafi, M., Zolfagharinia, H. and Asadi, F. (2023), Angels against demons: Fight against smuggling in an illicit supply chain with uncertain outcomes and unknown structure, *Computers & Industrial Engineering*, 176.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109007>
- [31] Newman, G., Rand, J. and Tarp, F. (2023), Imports, supply chains and firm productivity, *World Development*, 172.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.106371>
- [32] Ocampo, L., Chua, F.L. and Vasnani, N. (2018), A stackelberg game on production planning of make-to-order manufacturing supply chain with fuzzy parameters, *Manufacturing Letters*, 15: 22-27.
- [33] Ochoa, Z.A., Sanches, J., Cedillo, C.G. and Lourdes, M. D. (2016), Handbook of research on military, and maritime logistics and operations, *Advances in Logistics Operations and Management Science*.
- [34] Pakseresht, M., Mahdavi, I., Shirazi, B. and Mahdavi-Amiri, N. (2020), Co-reconfiguration of product family and supply chain using leader-follower Stackelberg game theory: Bi-level multi-objective optimization, *Applied Soft Computing Journal*, 91:106203.
- [35] Pienaar, W. (2009), *Introduction to Business Logistics*, Southern Africa: Oxford University.
- [36] Pourakbar, M. and Zuidwijk, R.A. (2018), The role of customs in securing containerized global supply Industrial Engineering, 193.
- [8] Babaeinesami, A., Ghasemi, P., Abolghasemian, M. and Pourghader-chobar, A. (2023), A Stackelberg game for closed-loop supply chains under uncertainty with genetic algorithm and gray wolf optimization, *Supply Chain Analytic*, 4(4).
DOI: 10.1016/j.sca.2023.100040
- [9] Bazaraa, M., Jarvis, J.J. and Sherali, H.D. (2010), *Linear programming and network flows*, WILEY
- [10] Bigdeli, H., Hassanpour, H. and Tayyebi, J. (2018), Multiobjective security game with fuzzy payoffs, *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 13(4): 17-33.
- [11] Bastos, J., Ferreira, J.S., Alcala, S.G. and etc. (2017), Optimal design of additive manufacturing supply chains, *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 23-26.
- [12] Chen, J., Zhang, H. and Sun, Y. (2012), Implementing coordination contracts in a manufacturer Stackelberg dual-channel supply chain, *Omega*, 40(5): 571-583.
- [13] Chen, X., Zhang, H., Zhang, M. and Chen, J. (2017), Optimal Decisions in a Retailer Stackelberg Supply Chain, *International Journal of Production Economics*, 187(C): 260-270.
- [14] Chow, D. and Heaver, T. (1999), *Logistics strategies for North America*, (3rd ed.), *Global Logistics and Distribution Planning*.
- [15] Enriquez, L.A., Canstorena, O.H. and Adame, M.G. (2015), The impact of strategies in Supply chain management for better performance in Aguascalientes, *Turkish Economic Review*, 2(1): 9–19.
- [16] Esmaeili, M. and Zeephonsekul, P. (2010), Seller-buyer models of supply chain management with an asymmetric information structure, *International Journal of production economics*, 123(1): 146-154.
- [17] Esmaeili, M., Aryanezhad M.B. and Zeephonsekul, P. (2010), A game theory approach in seller-buyer supply chain, *European Journal of Operational Research*, 195(2): 442-448.
- [18] Feng, Q. and Lu, L.X. (2013), Supply Chain Contracting Under Competition: Bilateral Bargaining vs. Stackelberg, *Production and Operations Management Society*, 22(3): 661-675.
- [19] Ganeshan, R. and Harrison, T. P. (1995), *An. Introduction to Supply Chain Management*. Department of Management Sciences and Information Systems, [online] Available: http://lcm.csa.iisc.ernet.in/scm/supply_chain_intro.html
- [20] Graman, G.A. (2010), A partial-postponement decision cost model, *European Journal of Operational Research*, 201(1): 34-44.
- [21] Hamzaoui, A.F., Turki, S. and Rezg, N. (2024), Efficient strategic pricing in a dual-channel stackelberg supply chain: incorporating remanufacturing and sales commissions across multiple periods, *Applied Science*, 14.
<https://doi.org/10.3390/app14104180>
- [22] Harrison, T. P. (2001), *Global Supply Chain Design*,

DOI: 10.1016/j.fmre.2023.10.019

- [44] Yang, D., Jiao, J. and Valente, A. (2015), Joint optimization for coordinated configuration of product families and supply chains by a leader-follower Stackelberg game, *European Journal of Operational Research*, 246(1): 263-280.
- [45] Ying, M.Q. and Wei, Q.L. (1994), *Nonlinear programming and its applications*, Beijing: Remnin Univ. of China Publishing Company.
- [46] Yu, Y. Chu, F. and Chen, H. (2009), A Stackelberg game and its improvement in a VMI system with a manufacturing vendor, *European Journal of Operational Research*, 192(3): 929-948.
- [47] Yu, Y. Liang, L. and Huang, G. (2009), Stackelberg game-theoretic model for optimizing advertising, pricing and inventory policies in vendor managed inventory (VMI) production supply chains, *Computers & Industrial Engineering*, 57(1): 368-382.
- [48] Yue, D. and You, F. (2014), Game-theoretic modeling and optimization of multi-echelon supply chain design and operation under Stackelberg game and market equilibrium, *Computers & Chemical Engineering*, 71: 347-361.
- [49] Zhang, Q., Liu, S.Q., D'Ariano, A., Chung, S.H. and etc. (2024), A bi-level programming methodology for decentralized mining supply chain network design, *Expert Systems with Applications*, 250.
- chains, *European Journal of Operational Research*, 271(1): 331-340.
- [37] Qin, Y. (2012), A stackelberg-game model in a two-stage supply chain, *Systems Engineering Procedia*, 3: 268-274.
- [38] Rahmaty, M. (2024), Information sharing in the two-level manufacturer-retailer supply chain using the PSSCA, *Interdisciplinary Journal of Management Studies*, 17(2).
<http://doi.org/10.22059/ijms.2023.358555.675821>
- [39] Sakawa, M. (1993), *Fuzzy sets and interactive multiobjective optimization*, Plenum press, New York and London.
- [40] Schmidt, M.C., Veile, J. W., Müller, J. M. and Voigt, K. I. (2023), Industry 4.0 implementation in the supply chain: a review on the evolution of buyer-supplier relationships, 61(17): 6065-6080.
- [41] Song, H. and Gao, X. (2017), Green supply chain game model and analysis under revenue-sharing contract [J], *Journal of Cleaner Production*, 170: 183-192.
- [42] Xiao, T. Choi, T.M. and Cheng, T.C.E. (2014), Product variety and channel structure strategy for a retailer-Stackelberg supply chain, *European Journal of Operational Research*, 223(1): 114-124.
- [43] Yan, X., Li, J., Sun, Y. and Souza, R.D. (2023), Supply Chain Resilience Enhancement Strategies in the Context of Supply Disruptions, Demand Surges, and Time Sensitivity, *Fundamental Research*.

Modeling Supply Chain Management Problem as a Bi-Level Stackelberg Game and Solving it Using Karush-Kahn-Tucker Optimality Conditions

Narges Mirazizi¹, Hassan Hassanpour^{2*}, Javad Tayyebi³

¹ Department of Mathematics, Faculty of Mathematical Sciences and Statistics, University of Birjand, Birjand, Iran

² Department of Mathematics, Faculty of Mathematical Sciences and Statistics, University of Birjand, Birjand, Iran

³ Department of Industrial Engineering, Faculty of Computer and Industrial Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 2025/11/27

Revised 2026/01/25

Accepted 2026/02/11

Keywords:

Stackelberg game problem

Bi-level game

Karush-Kahn-Tucker's conditions

Supply chain management

ABSTRACT

In real-world supply chain problems, we sometimes encounter problems with two suppliers at two different levels, one of which plays the role of leader and the other of follower due to their position in the supply of goods, so the problem is formulated as a bi-level Stackelberg game model. For example, some goods are produced domestically, but the entire market demand is not met and the shortage of goods must be met through imports, and some goods are not produced domestically (or have a small production) and the entire market demand is met through imports, and smugglers may also import goods, which leads to negative economic and social consequences. In the paper two categories of the supply problem between two suppliers at two different levels. In the first category, the producer is at the first level and the importer is at the second level, and the suppliers' goal is to maximize their profits. In the second group, the importer is at the first level and the smuggler is at the second level. The importer pursues two goals: maximizing his profit and preventing smuggling by minimizing the smuggler's profit, while the smuggler seeks to maximize his profit, so we are faced with an obstacle problem. These two types of problems are modeled as bi-level Stackelberg game problems and then converted into one-level models using the Karush-Kahn-Tucker optimality conditions and solved. Finally, examples of both models are presented to explain the method and a sensitivity analysis is also performed.

* Corresponding author. H. Hassanpour

Tel.: 056-31026751; E-mail address: hhassanpour@birjand.ac.ir