"Research Article"

10.30495/QJOPM.2020.1896080.2807

Modeling the Impact of Raw Material Suppliers' Competition on Procurement Costs in the Green Closed Loop Supply Chain

Saeed Saljooghi [*1], *Ramin Sadeghian (Ph.D.)* [2]

(Receipt: 2020.04.05- Acceptance:2020.08.15)

Abstract

Nowadays, competition affects all stages involved in producing and supplying products so greatly that most material manufacturers and suppliers can hardly hold their market shares unless they attempt to promote product quality and reduce prices. Hence, the current study scrutinized the effect competition among raw material suppliers can exert on the supply and procurement costs in a multi-product Green closed loop supply chain. Initially, competitive modeling among raw material suppliers in different groups in the supply process is undertaken; Then, the equilibrium point of competition among each group of chain suppliers is established by estimating the demand for each of the chain products, setting the demand rate parameters of each product and the rate of return flow in the competitive model based on the principles of game theory. Finally, decisions can be made by comparing the fluctuation patterns in supply and procurement costs for manufacturers and raw material supply chains under competitive and noncompetitive conditions.

Key Words: Competition, Green Closed Loop Supply Chain, Nash Equilibrium Point, Reverse Process

1 .PhD Student, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

*.Corresponding Author: s.saljooghi@pnu.ac.ir

2. Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran

((مقاله پژوهشی))
10.30495/QJOPM.2020.1896080.2807

مدل‌سازی تأثیر رقابت تأمین‌کنندگان مواد اولیه بر هزینه تدارکات در زنجیره تأمین حلقه بسته سبز

سعید سلجوقی[۱*]، رامین صادقیان[۲]
(دریافت: ۹۹/۰۱/۱۷–پذیرش نهایی: ۹۹/۰۵/۲۵)

چکیده

امروزه رقابت بر تمامی فرآیندها تولید و عرضه محصولات تأثیرگذار است به طوری‌که تقریباً اکثر تولیدکننده‌ها و تأمین‌کنندگان مواد اگر به فکر افزایش کیفیت و کاهش قیمت نباشند نمی‌توانند در بازار سهمی برای خود داشته باشند از این‌رو در این مقاله تأثیر رقابت تأمین‌کنندگان مواد اولیه بر هزینه تأمین و تدارک مواد برای سازندگان در یک زنجیره تأمین چندمحصولی حلقه بسته سبز موردبررسی قرارگرفته است در ابتدا مدل‌سازی رقابتی در فرآیند تأمین مواد بین تأمین‌کنندگان مواد اولیه در گروه‌های مختلف انجام پذیرفته است و از طریق تخمین تقاضا برای هرکدام از محصولات زنجیره و قرار دادن پارامترهای مقدار تقاضای هر محصول و میزان جریان برگشتی در مدل رقابتی با استفاده از اصول تئوری بازی‌ها به یافتن نقطه تعادل رقابت در میان هر گروه از تأمین‌کنندگان زنجیره پرداخته شده است. در ادامه نیز با حل مدل میزان تغییرات هزینه‌های تأمین و تدارکات کالا برای سازندگان محصولات و تأمین‌کنندگان مواد اولیه زنجیره در دو حالت وجود رقابت و عدم وجود آن باهم مقایسه و تصمیم‌گیری شده است.

واژه‌های کلیدی: رقابت، زنجیره تأمین حلقه بسته سبز، فرآیند معکوس،نقطه تعادل نش

۱–دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع دانشگاه پیام نور, تهران, ایران
*– نویسنده مسؤول:s.saljooghi@pnu.ac.ir
۲– دانشیار گروه مهندسی صنایع, دانشگاه پیام نور, تهران, ایران sadeghian@pnu.ac.ir

مقدمه

در دنیای امروز تغییرات سریع پارامترهای اقتصادی و افزایش مولفه های رقابتی در بازار و قوانین محدود کننده حفاظ محیط زیست و کاهش دهنده ضایعات منجر به تمرکز شرکت‌ها برای افزایش بهره‌وری و کارایی و کاهش ضایعات در زنجیره تأمین و لجستیک مواد اولیه موردنیازشان شده است و مفاهیم جدیدی در این بستر بروز و ظهور پیداکرده که برخی از آنها شامل زنجیره تأمین حلقه بسته و زنجیره تأمین سبز و نظایر آن‌ها است مفهوم زنجیره تأمین حلقه بسته این است که علاوه بر شامل بودن جریان مرسوم و مستقیم مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به سمت مشتریان جریان برعکس محصولات از مشتریان به سایر واحدهای زنجیره را هم شامل هست و مفهوم زنجیره تأمین سبز[1] در حالت کلی در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی در مدیریت زنجیره تأمین شامل طراحی محصول، انتخاب و منبع یابی مواد، فرایند ساخت و تولید، و تحویل محصول نهایی به مشتری و مدیریت محصول پس از مصرف و طی شدن عمر مفید آن است به‌طوری‌که همانند مفهوم زنجیره تأمین حلقه بسته شامل جریان مرسوم مستقیم مواد از تأمین‌کنندگان به مشتریان است اما در جریان برگشتی شامل جمع‌آوری ضایعات و کالای فرسوده است که مشتمل بر فرآیند جداسازی و بازیافت و تبدیل به مواد قابل‌مصرف برای ساخت محصولات به انجام می‌شود در حقیقت در جریان معکوس با جداسازی و بازیافت مواد ضایعاتی و کالای برگشتی و فرسوده مربوط به محصولات تولیدی زنجیره بخشی از آن‌ها به مواد قابل‌استفاده مجدد مبدل شده و دوباره در خود زنجیره به مصرف می‌رسد (تاچی زاوا و ونگ[2]،۲۰۱۵) البته از زنجیره‌های حلقه بسته در اقتصاد با عنوان زنجیره‌هایی با پایداری یا تاب‌آوری بالا نیز یاد می‌شود که دلیل این امر وجود همان جریان معکوس است که محصولات معیوب یا ضایعات و مواد فرسوده را بازیافت نموده و دوباره به مصرف می‌رساند در این میان وجود رقابت در میان تأمین‌کنندگان مواد اولیه در سطوح مختلف زنجیره از یک‌سو و مطالبات صاحبان و سرمایه‌گذاران در زنجیره در کسب میزان بهره‌وری و سود بالاتر توسط زنجیره از سویی باعث ایجاد انگیزه برای محققین و پژوهشگران بوده تا این مباحث را دنبال کنند (کنت و دیگران[3]،۲۰۱۲) در جهت بررسی پیشینه تحقیق حاضر مختصرا به تحقیقات و مقالات انجام شده در محدوده موضوع اشاره می شود:

1.Green Supply Chain(GSC)
2. M. Tachizawa & Y. Wong
3. Kenneth & others

۱. مقاله ژائوا و شویانگ[1] (۲۰۱۰) با عنوان "هماهنگی بین عرضه کنندگان زنجیره با وجود انتخاب هایی در بند های قرارداد تامین مواد در یک بازی همکارانه" که در این مقاله به مدل‌سازی یک زنجیره تأمین با رویکرد بازی تعاونی یا همکارانه پرداخته‌شده و همکاری بین سطوح مختلف زنجیره مدلسازی و تحلیل شده است.

۲. در مقاله ژائو و نیبور[2] (۲۰۱۳) با عنوان "استفاده از تئوری بازی در انتخاب استراتژی ریسک زیست‌محیطی و کاهش انتشار کربن در زنجیره تأمین سبز" طراحی یک زنجیره حلقه بسته پایدار با وجود مداخلات وحمایت‌های مالی دولت انجام شده و پارامتر رقابتی صرفه‌جویی درمصرف انرژی در نظر گرفته شده که قیمت آن توسط دولت تعیین می‌شود.

۳. در مقاله مهدوی و کارآموزیان (۲۰۱۴) با عنوان "ارزیابی مسائل استراتژیک در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین با استفاده از نظریه بازی", با استفاده از مدل‌سازی ریاضی خطی ترکیبی وبا استفاده از نظریه بازی‌ها ایجاد ائتلاف و یکپارچگی در زنجیره تأمین حلقه بسته مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

۴. در مقاله مدرس یزدی و عمو زاد (۱۳۹۳) با عنوان "طراحی مدل همکاری برای زنجیره تأمین سه سطحی نامحدود با رویکرد تئوری بازی‌های همکارانه", به مدل‌سازی یک زنجیره تأمین سه سطحی به‌منظور رسیدن به تعادل نش در همکاری میان تأمین‌کنندگان با تعداد نامحدودی از تأمین‌کنندگان و خرده‌فروشان پرداخته‌شده است.

۵. در مقاله تاتسوشی و دیگران[3] (۲۰۱۶) با عنوان "یک مدل نظریه بازی برای هماهنگ‌سازی یک تولیدکننده و چند تأمین‌کننده با در نظر گرفتن تغییرات کیفیت", از رویکرد رقابتی بازی رهبر و پیرو برای هماهنگی بین یک تولیدکننده و چندین تأمین‌کننده استفاده‌شده است.

۶. در مقاله ونگ و یانجی[4] (۲۰۱۶) با عنوان "طراحی محصول سبز در زنجیره تأمین تحت رقابت" مسائل مربوط به طراحی زیستی در زنجیره‌های عرضه در حالت رقابتی بررسی می‌شود و مدل‌سازی یک زنجیره عرضه ساده با یک تولیدکننده و خرده‌فروش با مدل ترکیبی خطی انجام گرفته است.

۷. در مقاله اسمعیلی و همکاران (۲۰۱۶) با عنوان "تحلیل مدل‌های قیمت‌گذاری در زنجیره تأمین حلقه بسته با استفاده از تئوری بازی‌ها در چشم‌انداز بلندمدت و کوتاه‌مدت" به چندین

1. Zhaoa & Shouyang
2. Zhao & Neighbour
3. Tatsushi & Others
4. Wenge & Yuanjie

مدل قیمت‌گذاری جدید برای استراتژی‌های مختلف پرداخته می شود و یک بازی رقابتی بین دولت و شرکت‌های مرکزی در اجرای زنجیره سبز بررسی می‌شود.

۸. در مقاله حافظ الکتب (۲۰۱۷) با عنوان "رقابت و همکاری و هماهنگی در زنجیره تأمین سبز تحت مقررات مربوط به میزان صرفه‌جویی در انرژی" به مدل‌سازی برای صرفه‌جویی قیمتی به دو صورت رقابتی و همکارانه برای دوزنجیره تأمین سبز تحت مداخلات مالی دولتی پرداخته شده است.

۹. در مقاله مرادی نسب و ناصری (۲۰۱۸) با عنوان "رقابت و همکاری در زنجیره تأمین سبز نفت رویکرد چندهدفه نظریه بازی به مدل‌سازی زنجیره تأمین نفت" با در نظر گرفتن معیارهای سبز با استفاده از نظریه بازی‌ها در حالات همکارانه و غیر همکارانه بهینه‌سازی چندهدفه برای مدل مساله انجام گرفته و نتایج مقایسه شده اند.

۱۰. در مقاله سجادی و همکاران (۲۰۱۸) با عنوان "مدل‌سازی بازی خرده‌فروشی در مدیریت زنجیره تأمین" قیمت‌گذاری و تصمیم‌گیری‌های مربوط به خدمات مشتریان در بازی رقابتی خرده‌فروش به عنوان رهبر در یک زنجیره تأمین متشکل از دو تولیدکننده و یک خرده فروش موردبررسی قرار گرفته است.

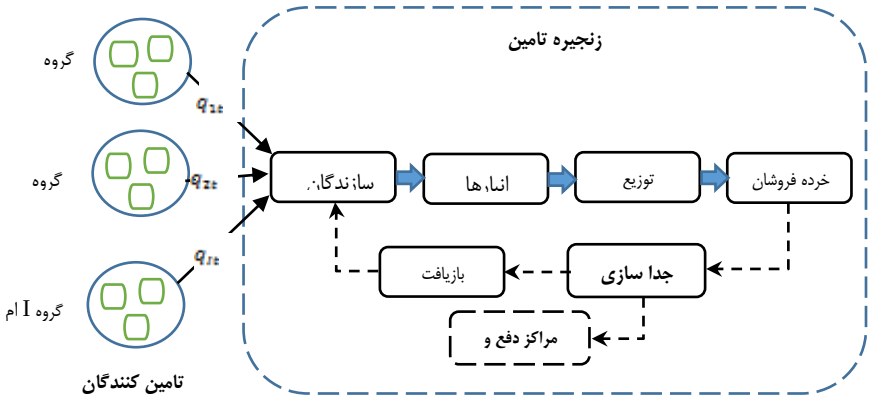
در موارد ذکر شده در پیشینه تحقیق عمده پژوهش ها به صورت مدلسازی رقابتی به شکل بازی رهبر و پیرو یا همکارانه مورد بررسی قرار گرفته اند و مدلسازی یک رقابت در انحصار محدود بین تامین کنندگان مواد اولیه درنوسان قیمتی ارایه نشده است ضمنا درتحقیقات ارایه شده متغییر تصمیم گسسته است و تقاضا را برای محصولات زنجیره مقداری قطعی فرض شده است لذا در مقاله حاضر با توجه به‌مرور پیشینه تحقیقات انجام‌شده فوق, به بررسی تأثیر رقابت تأمین‌کنندگان مواد اولیه بر هزینه تدارکات مواد اولیه در یک زنجیره تأمین حلقه بسته سبز باقابلیت جمع‌آوری و بازیافت ضایعات می پردازیم که تقاضا در آن غیر قطعی است و رقابت تامین کنندگان در حالت انحصار محدود چندتایی[1] قرار دارد ضمنا متغیر تصمیم در مساله تحقیق پیش رو همان مقدار عرضه مواد اولیه از جانب هر تامین کننده است که حالت پیوسته دارد شکل ۱ نشان‌دهنده شمای کلی زنجیره و جریان برگشتی مورد اشاره است اهم تصمیمات و سوالاتی که زنجیره رقابتی فوق در جهت افزایش بهره وری زنجیره درصدد پاسخ گویی به آنها است شامل موارد زیر هستند:

1. Oligopoly

۱- مقدار عرضه مواد اولیه برای هر یک از تأمین‌کنندگان در قیمتی که با توجه به تأثیرات میزان عرضه و تقاضا و سایر عوامل جانبی در نوسان است چه مقدار باشد؟
۲- با توجه به مقدار حجم عرضه تأمین‌کنندگان مواد اولیه در هر دوره مقدار مواد بازیافتی مورد استفاده هر دوره چه مقدار است؟

همین‌طور فرض بر این است که چند محصول توسط چندین سازنده تولید و به انبارها ارسال‌شده و از این طریق در اختیار توزیع‌کنندگان قرار می‌گیرد تا به خرده‌فروشان برسند و در دسترس مشتریان زنجیره قرار گیرد مواد اولیه موردنیاز سازندگان محصولات زنجیره نیز از طریق گروه‌هایی از تأمین‌کنندگان در اختیارشان قرار می‌گیرد ضمنا فرض بر این است که هرکدام از تأمین‌کنندگان یک نوع ماده اولیه در یک گروه قرار دارند که با یکدیگر در عرضه و فروش مواد اولیه به سازندگان به جهت کسب حداکثر سود و در نتیجه کسب بهره وری بالا رقابت می‌کنند و شرایط یک انحصار چندتایی طبق نظریه بازی رقابت بر سر قیمت و فروش مواد اولیه تولیدکنندگان رادارند. (اصغر پور, ۱۳۹۳, ۳۰۲-۳۰۳)

انحصار چندتایی گونه‌ای از ساختار بازار است که در آن تعداد فروشندگان (تأمین‌کنندگان) بیش از واحد باشد و همچنین تعداد آن‌ها آن‌قدر هم زیاد نباشد که رفتار هر یک در مورد تعیین قیمت و مقدار، بر سود دیگران تأثیرگذار نباشد. در بازار انحصار چندتایی، تعداد فروشندگان محدود است، معمولاً کالاهای تولیدی همگن نیستند و درنتیجه بحث تبلیغات وجود دارد و همچنین در بیشتر مواقع اطلاعات خریداران از فروشندگان کم است.



شکل ۱: شمای مدل مفهومی زنجیره تأمین حلقه بسته سبز تحقیق

Figure 1: Schematic of the closed green supply chain concept model of the research

در مدل‌سازی انحصار چندتایی قیمت بازار توسط مواد اولیه عرضه‌شده توسط تمام تأمین کنندگان فعال یک مواد در بازار تعیین می‌شود و هیچ تأمین‌کننده‌ای قادر به کنترل و به دست گرفتن قیمت بازار نیست بلکه می‌تواند بر روی قیمت تأثیر بگذارد مواد اولیه عرضه‌شده توسط تأمین‌کنندگان یکسان فرض می‌شوند و تمام آن‌ها مواد اولیه خود را به‌صورت مستقل و بدون اطلاع از مقدار عرضه سایرین وارد بازار می‌کنند (عبدلی,۱۳۸۷, ۱۹۳) مثال‌های بسیاری از این نوع بازار در دنیای واقعی وجود دارد. صنعت خودروسازی، موبایل سازی، بازار محصولات انرژی (نظیر نفت و گاز)، صنایع مواد غذایی و هواپیماسازی تنها نمونه‌هایی اندک از بازارهای انحصار چندتایی هستند.

از آنجایی‌که در بازار انحصار چندتایی رفتار هر یک از بنگاه‌های عرضه‌کننده مواد اولیه مشابه بر دیگری تأثیرگذار است، درنتیجه روش‌های رسیدن به قیمت و مقدار تعادلی متناظر با حداکثر سود، با توجه به تعداد فروشندگان، ساختار بازار، اطلاعات در دسترس و بسیاری عوامل دیگر متغیر است. در این مدل رقابتی که به بازی برتراند[1] نیز معروف است فرض بر این است که ظرفیت تأمین‌کنندگان نیز محدود است یعنی وقتی قیمت پایین باشد تأمین‌کننده ممکن است عرضه را در حداقل ممکن انجام دهد و یا زمانی که قیمت بالا باشد حجم عرضه از ظرفیت مشخصی تجاوز ننماید (همان،۱۳۸۷، ۲۰۸) همین‌طور فرض بر این است که سازندگان محصولات نرخ مشخصی از مواد اولیه را از طریق بازیافت کنندگان دریافت می‌کنند که میزان آن برای هر ماده اولیه از قبل توافق و مشخص می‌شود نوآوری‌های تحقیق در مقایسه با سایر تحقیقات مشابه به شرح زیر است:

۱. مدل‌سازی رقابتی در زنجیره تأمین حلقه بسته سبز باوجود تضاد منافع میان تأمین‌کنندگان هر گروه مابین تأمین‌کنندگان و سازندگان در زنجیره.
۲. تعادل یابی درنتیجه بهینه‌سازی ارتباط عرضه مواد بین اجزا رقابتی زنجیره تأمین در هر دوره زمانی و در نتیجه افزایش بهره وری به جهت ایجاد تعادل قیمتی در تامین مواد اولیه.
۳. تأمین‌کنندگان مواد اولیه مشابه در گروه‌های یکسان قرار داده‌شده‌اند و توابع پی آمد با استراتژی‌های پیوسته برای هر گروه در هر دوره زمانی ایجاد می‌شود و تصمیم‌گیری به صورت هم‌زمان در گروه‌ها انجام می‌پذیرد.
۴. مدل رقابتی بین مراکز تأمین مواد اولیه و یافتن نقاط تعادل طبق تعریف تعادل نش برای گروه‌های مختلف تأمین‌کنندگان با شبیه‌سازی شرایط یک انحصار چندتایی به‌صورت مدل غیرخطی با متغیر تصمیم پیوسته انجام می‌پذیرد.

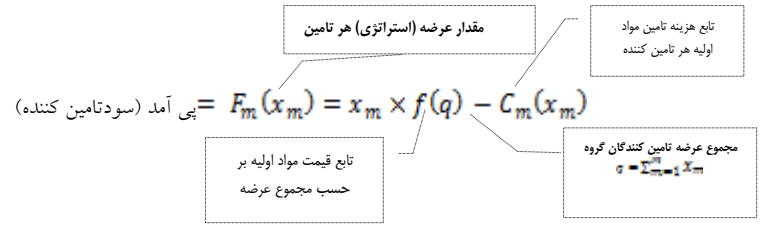
1-Bertrand game

۵. برآورد تقاضا با توجه به شناسایی عوامل مؤثر بر آن از روش‌های پیش‌بینی با تکنیک رگرسیون و طراحی آزمایش‌های آماری انجام می‌شود و اطلاعات آن در اختیار سازندگان و تأمین‌کنندگان مواد قرار می‌گیرد تا از تأثیر جریان برگشتی مواد اولیه در معادلات رقابتی برای تنظیم قیمت و حجم عرضه در دوره استفاده شود که سبب تنظیم میزان استفاده از مواد بازیافتی در زنجیره شده و از این طریق به افزایش بهره‌وری در زنجیره سبز به جهت استفاده بهینه از مواد بازگشتی کمک شایانی می‌شود.

مدل‌سازی این زنجیره و بررسی وضعیت آن در فضای رقابتی بین تأمین‌کنندگان مواد جهت بررسی تأثیر رقابت بر قیمت مواد اولیه با یک مثال واقعی از یک زنجیره تأمین به مورداجرا درمی‌آید تا صحت‌وسقم کارکرد مدل مورد آزمون قرار گیرد.

مدل مفهومی

برای بیان مدل مفهومی و رابطه ایجادکننده رقابت در مدل‌سازی رقابتی نیازمند تعریف رابطه پی آمد هرکدام از بازیکنان در رقابت موردبررسی هستیم برای این منظور مطابق سبک مقالات در این محدوده با تعریف ساده از مطلوبیت برای بازیکنان شروع می‌کنیم که در مدل‌سازی این تحقیق تأمین‌کنندگان مواد اولیه هستند سود هر تأمین‌کننده از فروش مقدار مواد اولیه‌ای خواهد بود که در آن دوره تصمیم به عرضه آن گرفته است یعنی استراتژی که در هر تأمین‌کننده در مقدار عرضه مواد اولیه در پیش‌گرفته است در قیمت واحد آن ماده اولیه ضرب شده و درآمد تأمین‌کننده را ایجاد می‌کند در این میان چون به دنبال سود هستیم مطابق رابطه ۱ از مقدار درآمد به‌دست‌آمده هزینه‌های تولید و حمل و ارسال کسر خواهید شد لازم به ذکر است که برای به دست آوردن سود خالص باید مقادیر بیمه و مالیات و انبارداری و دیگر موارد مرتبط از آن کسر گردد در رابطه ۱ تابع پیامد برای تأمین‌کننده m ام در میان یک گروه از تأمین‌کنندگان فرضی محاسبه‌شده است لازم به ذکر است در رابطه ۱ پارامتر رقابتی همان $f(q)$ یا تابع قیمت مواد اولیه است که برحسب مجموع عرضه مواد اولیه در بازار نوسان دارد و باعث ایجاد تصمیمات و استراتژی‌های مختلف در تأمین‌کنندگان هر گروه می‌شود.



رابطه ۱: تابع پی آمد (سود) تأمین‌کننده m ام در گروه

در توصیف مدل‌سازی رقابتی در زنجیره تأمین مقاله پیش رونیز مطابق موارد بیان‌شده و مطابق رابطه ۱ فرض بر این است که قیمت مواد اولیه در بازار بر اساس میزان عرضه و تقاضا و پارامترهای تأثیرگذار ضمنی در نوسان قرار دارد و تأمین‌کنندگان مواد اولیه در زنجیره تأمین در گروه‌هایی مستقر بوده و درفروش مواد اولیه با یکدیگر رقابت می‌کنند استراتژی هر تأمین‌کننده در مدل با x_{imt} نشان داده می‌شود که بیانگر مقدار مواد اولیه نوع i ام عرضه‌شده توسط تأمین‌کننده m ام در دوره زمانی t ام است که با توجه به سبز بودن ماهیت زنجیره و جمع‌آوری و بازیافت ضایعات که واحد آن‌ها برحسب کیلوگرم قابل‌محاسبه است درنتیجه x_{imt} متغیری پیوسته در نظر گرفته می‌شود و نیز به‌منظور مشخص نمودن آثار عرضه و تقاضا در مدل پیش رو فرض بر این است که $f_{it}(q_{it})$ نشان‌دهنده قیمت مواد اولیه iام در دوره tام در بازار است که طبق موارد نشان داده‌شده در رابطه ۲ از تأثیر عرضه و تقاضای محصول iام تأثیر می‌پذیرد به‌طوری‌که $q_{it} = \sum_{m=1}^{M_i} x_{imt}$ بیانگر مجموع عرضه مواد اولیه iام توسط M_i تولیدکننده موجود در گروه مربوط به ماده اولیه iام در مقطع زمانی t ام است که در رابطه ۲ نشان داده‌شده است :

$$f_{it}(q_{it}) = a_{it} - \alpha_i q_{it} + \beta_i \left(\sum_{j=1}^{k} \Delta_{ij} y_{jt} - \sum_{j=1}^{k} \omega_{ijt} y_{j(t-1)} \right)$$

رابطه ۲ :قیمت مواد اولیه i ام در دوره t ام

در رابطه ۲ مقدار عامل قیمتی $f_{it}(q_{it})$، متأثر از سه عامل اصلی قیمت مرجع یا پایه ماده اولیه a_{it} و میزان عرضه تأمین‌کنندگان آن ماده اولیه q_{it} و تقاضای زنجیره (تقاضای سازندگان) بـه آن

ماده اولیه در دوره زمانی y_{jt}و ضریب مصرف آن ماده در تولید محصولات Δ_{ij} و نرخ بازگشت مواد اولیه از جریان معکوس زنجیره ω_{ijt} قرار دارد در اینجا عامل قیمتی باعث ایجاد رقابت در عرضه ماده اولیه iام بین تأمین‌کنندگان آن ماده در هر گروه می‌شود تمامی پارامترهای مورداستفاده در روابط ۲ تا ۴ به همراه مفاهیم آن‌ها در جدول ۱ به‌طور کامل معرفی‌شده‌اند.

جدول ۱: معرفی پارامترهای مدل رقابتی تأمین‌کنندگان مواد در زنجیره تأمین حلقه بسته سبز

Table 1: Introduction of the parameters of the competitive model of material suppliers in the green closed loop supply chain

پارامتر Parameter	مفهوم Represents	پارامتر Parameter	
t	$t = ۱, ۲, \dots, T$ تعداد دوره‌ها Number of periods	j	$j = ۱, ۲, \dots, k$ تعداد محصولات زنجیره Number of chain products
θ	$0 < \theta < 1$ میزان کشش تقاضا Demand elasticity	i	$i = ۱, ۲, \dots, I$ نوع مواد اولیه Type of raw materials
C_{imt}	تابع هزینه تأمین کالاوحمل و نقل مواد iام برای تأمین‌کننده mام در دوره tام (واحد پولی) Function of cost of materials(i) for the supplier(m) in the period(t) (currency)	x_{imt}	مقدار مواد اولیه نوع iام عرضه‌شده توسط تأمین‌کننده mام در دوره tام (تن در دوره) Amount of raw materials of type(i) supplied by (m) in (t) period (Tons per period)
A_{imt}	هزینه ثابت تأمین یک سفارش (هزینه ثابت تأمین‌کننده m برای مواد iام در دوره tام) واحد پولی) Fixed cost of supplying an order (fixed cost of supplying m for materials in the t period	y_{jt}	برآورد تقاضای محصول jام در دوره tام از طریق محاسبات پیش‌بینی آماری (تن در دوره) Estimation of j product demand in the m period through statistical forecast calculations (Tons per period)
μ_{imt}	ضریب هزینه متغیر برای تأمین‌کننده mام در دوره tام برای مواد اولیه iام (واحد پولی) Variable cost coefficient for supplier m in period t for raw materials i (currency)	$y_{J(.)}$	برآورد تقاضای محصول jام در شروع کار که از طریق پیش‌گویی خبرگان به دست می آید (تن در دوره) Estimating product demand at the beginning of the work, which is obtained through expert forecasting (Tons per course)
β_i	ضریب تأثیر تقاضا در قیمت ماده اولیه iام Impact of demand on the price of raw material i	a_{it}	قیمت مرجع ماده اولیه iام در دوره tام در بازار (واحد پولی) Reference price of the i raw material in the t period in the market (currency)

پارامتر Parameter	مفهوم Represents	پارامتر Parameter	
Δ_{ij}	ضریب مصرف ماده اولیه iام در محصول jام Consumption coefficient of raw material i in product j	α_i	ضریب حساسیت عرضه ماده اولیهiام Sensitivity coefficient of raw material i
ω_{ijt}	نرخ بازگشت ماده اولیه iام از محصول jام در دوره tام Rate of return of raw material i from product j in period t	q_{it}	مجموع مقدار عرضه مواد اولیه iام توسط تأمین‌کنندگان موجود در گروه iدر دوره tام (تن در دوره) Total amount of raw materials i supplied by suppliers in Group i in period t (tons per period)
S_{imt}	ظرفیت تأمین‌کننده m ام در گروه ماده اولیه i ام دوره t ام (تن در دوره) Supplier capacity in the raw material group of the t period (tons per period)	m	$m = ۲,۱, \dots, M_i$ تعداد تأمین‌کنندگان ماده اولیه i ام Number of i raw material suppliers

با مشخص شدن مقدار عرضه مواد اولیه از جانب تأمین‌کنندگان حجم مواد اولیه عرضه‌شده برای سازندگان زنجیره در یک دوره زمانی یعنی q_{it} ها مشخص خواهد شد (q_{it}ها در شکل ۱ نشان داده‌شده‌اند) برای توضیح نحوه یافتن نقطه بهینه در مدل رقابتی لازم است ابتدا به ابداع‌کننده این روش در بازی‌ها و مدل‌های رقابتی اشاره شود جان نش[1] مبتکر استراتژی و نقطه تعادل نش[2] معتقد بود نقطه تعادل در یک رقابت نقطه‌ای است که رقبا به ازای وقوع آن از طرف یکدیگر هم‌عقیده بوده و به تصمیم و انتخاب هم‌احترام می‌گذارند هماهنگی ادامه‌دار در تصمیمات به CAB [3] معروف بوده و رقبا به صحت و درستی تصمیمات رقیب, معتقدند استراتژی‌های نش (معروف به بردار تعادل) مناسب‌ترین پاسخ رقبا به یکدیگر است و موجب دسترسی به راه‌حل منحصربه‌فرد می‌شود یعنی طبق این تعریف نقطه تعادل نشر در یک انحصار N تایی (N بازیکن) نشان‌دهنده یک بردار از استراتژی‌ها به‌صورت $\bar{X} = \{\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_N\}$ برای بهینه عرضه از هر تأمین‌کننده است به‌طوری‌که به ازای تمامی انواع مواد اولیه (iها) نقطه x_i عضو تمامی نقاط مربوط به استراتژی‌های موجود رابطه ۳ برقرار باشد در این صورت است که هیچ‌کدام از رقبا با تغییر میزان عرضه خود به‌طور دلخواه

1.John Forbers Nash.
2. Nash Equlibrium Point
3. Consistently Alligned Beliefs(CAB)

(نسبت به تعادل مشخص‌شده نش) نمی‌تواند تابع پیامد و مطلوبیت خود را بهبود ببخشند (ازبورن[1]، ۲۰۰۳، ۸۳-۸۲).

$$f_i(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{i-1}, \bar{x}_i, \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_N) \geq f_i(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{i-1}, x_i, \bar{x}_{i+1}, \dots, \bar{x}_N)$$

رابطه ۳: تعادل نش در یک انحصار چندگانه

در این تحقیق نیز با توجه به تعمیم تعریف رابطه ۳ و وجود رقابت بین تأمین‌کنندگان, با یافتن استراتژی بهینه میزان عرضه مواد اولیه در رقابت از طریق بهینه‌سازی رابطه ۴ که بیانگر تابع مطلوبیت مدل بازی رقابتی تأمین‌کنندگان (تابع پی آمد تأمین‌کننده m ام از گروه مواد اولیه i ام در بازی رقابتی) است انجام می‌پذیرد همان‌طور که از رابطه ۴ برمی‌آید معادله پی آمد مدل رقابتی حالت غیرخطی داشته و محدودیت‌های آن‌که مربوط به ظرفیت هرکدام از تولیدکنندگان است خطی هستند متغیر تصمیم نیز همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد حالت پیوسته دارد لذا جهت رسیدن به تعادل نش که در رابطه ۳ به آن اشاره گردید در مدل تحقیق پیش رو با توجه به اینکه به ازای هرکدام از تأمین‌کنندگان یک تابع پی آمد در مدل وجود دارد و به تعداد تأمین‌کنندگان آن نوع مواد اولیه ضربدر نوع مواد یعنی $U = \sum_{i=1}^{I} M_i \times I$ تابع پیامد در مدل وجود دارد که می‌بایست هرکدام با توجه به محدودیت ظرفیت وطبق تعریف تعادل نش بهینه‌سازی شود یعنی باید به تعداد U بار و هر بار برای یکی از تأمین‌کنندگان گروه و با واردکردن نقاط تعادل قبلی به‌دست‌آمده از مرحله قبل (تأمین‌کننده پیشین همان گروه) و ثابت نگه‌داشتن آن نقطه بهینه‌سازی برای تأمین‌کننده حاضر انجام شود و این روند تا استراتژی بهینه برای هر تأمین‌کننده در هر دوره به دست آید ادامه می‌یابد تا درنتیجه بردار تعادل نش برای گروه مدنظر از تأمین‌کنندگان مواد اولیه حاصل آید برای به دست آوردن بردار تعادل نش برای تعداد دوره‌های زمانی بیشتر از یک باید مراحل یافتن نقطه تعادل در هر دوره انجام پذیرد بدین معنی که برای به دست آوردن بردار تعادل برای t دوره فرآیند بهینه‌یابی تعادلی مذکور می‌بایست t بار در هر گروه از تأمین‌کنندگان انجام گیرد و بر اساس مقادیر پارامترهای هر دوره نقطه تعادل نش هر گروه از تأمین‌کنندگان در دوره موردنظر استخراج گردد و میزان عرضه مواد اولیه تأمین‌کنندگان در هر دوره مشخص شود لازم به ذکر است تعداد تأمین‌کنندگان موجود در هر گروه الزاماً ممکن است برابر نباشد برای این منظور از پارامتر M_i برای تعریف آن استفاده‌شده است منظور از M_i تعداد تأمین‌کنندگان موجود در گروه مربوط به ماده اولیه i ام‌است تمامی

1. Osborn

پارامترهای مدل رقابتی نشان داده‌شده در رابطه ۴ مطابق تعاریف و مفاهیم جدول ۱ آورده شده‌اند در تفسیر مدل رقابتی نقطه تعادل به‌صورت x^{*}_{imt} نشان داده می‌شود که بیانگر استراتژی بهینه هرکدام از تأمین‌کنندگان خواهد بود.

$$max\{F_{i,m,t}(x_{i1t}, x_{i2t}, \dots, x_{imt}, \dots, x_{iM_it}) = x_{imt} \times f_{it}(q_{it}) - C_{im,t}(x_{imt})\}$$
$$= \{x_{imt} \times \{a_{it} - \alpha_i q_{it} + \beta_i(\sum_{j=1}^{k} \Delta_{ij} y_{jt} - \sum_{j=1}^{k} \omega_{ijt} y_{j(t-1)})\} - C_{i,m,t}(x_{imt})\}$$
$$= \left\{x_{imt} \times \left\{a_{it} - \alpha_i(\sum_{m=1}^{M_i} x_{imt})^{-\theta} + \beta_i(\sum_{j=1}^{k} \Delta_{ij} \widetilde{y_{jt}} - \sum_{j=1}^{k} \omega_{ijt} y_{j(t-1)})\right\} - (A_{imt} + \mu_{imt} x_{imt})\right\}$$

St:

$$x_{imt} - S_{imt} \leq 0$$

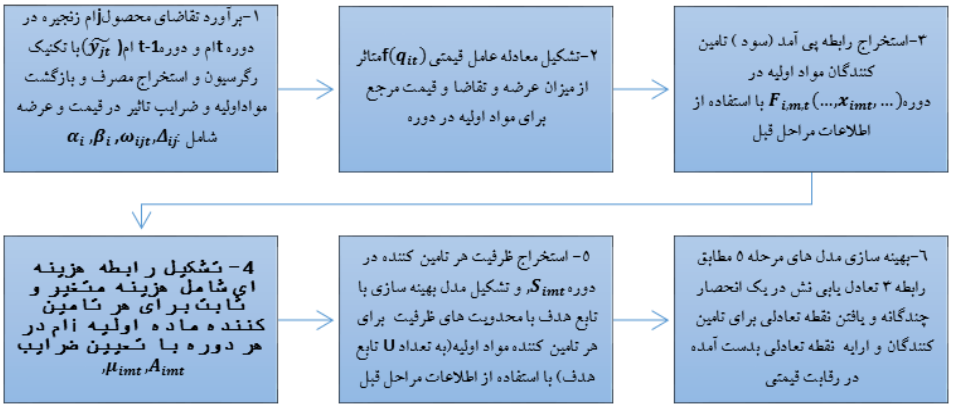
$m = 1,2, \dots, M_i$ تأمین‌کننده $t = 1,2, \dots, T$ دوره: $i = 1,2, \dots, I$ به ازای نوع مواد اولیه

رابطه ٤: تابع مطلوبیت بازی رقابتی تأمین‌کنندگان (تابع پی آمد تأمین‌کننده m ام از گروه مواد اولیه i ام در بازی رقابتی در هر دوره)

ابزار و روش

به‌منظور برآورد تقاضا غیرقطعی محصول j ام در دوره یعنی y_{jt} در مدل رابطه ۴ ابتدا لازم است که همه پارامترهای مؤثر بر روی تقاضا موردبررسی و شناسایی قرار گیرند و سپس تأثیرگذارترین آن‌ها انتخاب شوند در ادامه نیز با توجه به محدودیت در دفعات اجرای طرح و هزینه‌بر بودن آزمایش‌ها متعدد و احتمال ایجاد مشکلات برای زنجیره تأمین تحت بررسی از روش های طراحی آزمایش‌ها برای به دست آوردن معادله پیش‌بینی تقاضا استفاده می‌شود تا معادله تقاضای هر محصول زنجیره در دوره مورد بررسی به دست آید با توجه به ضریب تأثیر β_i بر روی تقاضای محصول jام زنجیره در مدل و تأثیر ضریب مصرف ماده اولیه iام در هر محصول که نشانگر میزان مصرف هر ماده اولیه در تولید یک واحد محصول jام می باشد لذا حاصل تفاضل میزان مواد بازگشتی از جریان معکوس از میزان مصرف مواد اولیه در محصول به‌عنوان تقاضای ماده اولیه iام تلقی میشود و توسط ضریب تأثیر β_i در مدل تأثیرگذار خواهد بود در خصوص سایر پارامترها در جدول ۱ اطلاعات کامل داده‌شده است لازم به ذکر است با توجه به اینکه در دوره اول تولیدی وقتی t=1 باشد یعنی ابتدای اولین دوره که زنجیره تأمین در دوره اول تولید محصول و عرضه به بازار قرار دارد نمی‌توان از تقاضای محصول در دوره قبل $y_{j(t-1)}$ برای تخمین میزان مواد برگشتی در جریان معکوس بهره برد لذا برای رفع این مشکل در دوره اول برای به دست آوردن مقدار $y_{j(0)}$

فقط در دوره اول از پیش‌گویی‌ها و قضاوت خبرگان بازار استفاده‌شده و مقدار $y_{j(0)}$ برای هر محصول در مدل مورد پیشگویی خبرگان قرار می‌گیرد و مقدار آن مشخص می‌شود. محدودیت‌های مدل به تعداد حاصل‌ضرب تعداد تأمین‌کنندگان هر ماده اولیه در انواع مواد اولیه در دوره که همگی نشان‌دهنده این واقعیت هستند که استراتژی تأمین‌کنندگان حداکثر به میزان ظرفیت آن‌ها می‌تواند باشد و بیشتر از مقدار ظرفیت S_{imt} هیچ‌کدام از تأمین‌کنندگان قادر به تأمین مواد اولیه برای زنجیره نمی‌باشند در شکل ۲ چارچوب تحقیق و گام هایی که در تحقیق برای رسیدن به نقطه تعادل رقابتی طی می‌شوند ترسیم شده است.



شکل ۲: ترسیم روش ها و مراحلی که در تحقیق برای رسیدن به نقطه تعادل رقابتی طی می شوند
Figure 2:Drawing the step and methods taken in research to reach a competitive equilibrium point

در ادامه به بررسی یک مثال موردی از زنجیره تأمین فرش سهند تولیدکننده انواع فرش ماشینی و فرشینه می‌پردازیم در این مثال شرکت سازنده شامل ۵ کارخانه اصلی که ۴ نوع محصول اصلی در طرح‌های مختلف تولید و به بازار عرضه می‌کنند, ۳ نوع ماده اولیه اصلی موردنیاز خود را از طریق یک انحصار چندتایی از تأمین‌کنندگان زنجیره تأمین حلقه بسته (با خاصیت جمع‌آوری و بازیافت ضایعات و قطعات مستهلک و فرسوده) خریداری و دریافت می‌کند سایر اطلاعات زنجیره تأمین مذکور بر اساس پارامترهای معرفی‌شده در روابط مدل به شرح جدول ۲ می‌باشد لازم به ذکر است میزان پارامتر کشش تقاضا نیز مطابق نظر کارشناسان مقدار ۰/۸ در نظر گرفته‌شده است. برای برآورد تقاضای محصولات $\widetilde{y_{jt}}$ در دوره‌های مختلف در زنجیره تأمین موردبررسی ابتدا به عوامل تاثیر گذار بر روی تقاضا بر اساس تکنیک علت و معلولی پرداخته‌شده است.

جدول ۲: مقادیر پارامترها در بررسی موردی کارخانه فرش ماشینی سهند (اوزان بر حسب تن در دوره)

Table 2: Parameter values in case study of SAHAND machine-made carpet factory (weights in tons per period)

پارامتر Parameter	مقادیر values	پارامتر Parameter	مقادیر values
θ	0.8	i	1,2,3
t	1,2	j	1,2,3,4
β_i	$0.8\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 =$	α_i	$0.2\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 =$

S_{imt}:

t	m	i=1	2	3
1	1	100	150	70
	2	120	140	200
	3	150	200	90
	4	90	260	80
2	1	150	200	160
	2	200	170	140
	3	150	180	140
	4	100	220	130

m: 1,2..., $M_i m =$

4 و $M_2 = 4$ و $M_3 = 4 M_1 =$

$\widetilde{y_{jt}}$:

j	t=1	2
1	250	176
2	273	294
3	256	376
4	195	158

A_{imt}:

t	m	ii=	2	3
1	1	37	27	32
	2	33	30	20
	3	30	31	20
	4	27	29	25
2	1	28	15	35
	2	25	28	30
	3	30	29	29
	4	32	27	27

μ_{imt}:

t	m	ii=	2	3
1	1	14	17	13
	2	16	15	13
	3	18	18	10
	4	16	20	20
2	1	14	12	15
	2	12	10	14
	3	13	15	12
	4	16	12	17

ω_{ijt}:

t	m	ii=1	2	3
1	1	0.1	0.2	0.1
	2	0.2	0.3	0.2
	3	0.2	0.1	0.2
	4	0.2	0.2	0.2
2	1	0.3	0.3	0.1
	2	0.2	0.1	0.3
	3	0.3	0.2	0.1
	4	0.2	0.1	0.3

Δ_{ij}:

j	i=	2	3
1	1	1	2
2	2	1	1
3	1	1	2
4	2	2	1

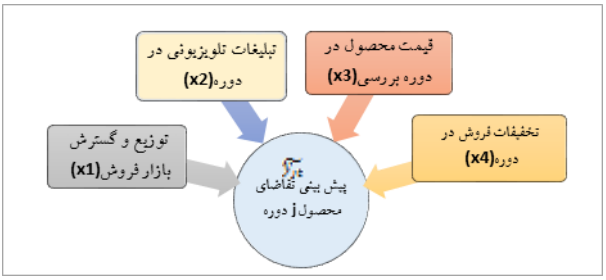
a_{it}:

i	t=1	2
1	320	350
2	330	390
3	320	360

$y_{j(.)}$: $y_{1(.)} = 160$ $y_{2(.)} = 120$ $y_{3(.)} = 150$ $y_{3(.)} = 170$

درنتیجه ۴ متغیر اصلی که بر روی تقاضای محصولات زنجیره تأثیر اساسی دارند استخراج‌شده و از تأثیرات ناچیز سایر متغیرها صرف‌نظر شده است سپس با در نظر گرفتن ۳ سطح برای هر متغیر

تأثیرگذار از میان طرح‌های موجود تاگوچی[1] در نرم‌افزار آماری مینی تب[2] با توجه به شکل ۳ و پس از شناسایی متغیرهای اصلی تأثیرگذار بر روی تقاضای محصولات از طرح‌های عمومی 3^K با توجه به عدم وجود تداخل بین متغیرها درنهایت طرح L۹ برای ۴ متغیر با سه سطح جهت بررسی میزان تأثیرات متغیرها بروی تقاضا و تخمین معادله پیش‌بینی تقاضای محصول j ام در دوره t یعنی $(\widetilde{y_{jt}})$ به اجرا گذاشته‌شده که نتایج آن و معادله پیش‌بینی تقاضای هرکدام از محصولات زنجیره تأمین مثال موردبررسی در جدول ۳ نشان داده‌شده است که در هر معادله به‌دست‌آمده برای تخمین تقاضای هرکدام از محصولات بررسی‌های مربوط به باقی‌مانده‌ها و میزان ضریب همبستگی متغیرها[3] و P مقدارها[4] جهت آزمون معناداری ضرایب رگرسیون و غیرصفر بودن آن‌ها در سطح مقدار خطای $\alpha = ۰/۰۵$ مورد محاسبه و بررسی قرارگرفته و تخمین معادلات پیش‌بینی با توجه به مقدار خطای مذکور انجام‌شده است.



شکل ۳: شناسایی متغیرهای اصلی تأثیرگذار روی تقاضای محصولات

Figure 3: Identification of the main variables affecting product demand

جدول مقادیر سطوح در نظر گرفته‌شده برای هرکدام از متغیرهای تأثیرگذار بر روی تقاضا در طرح L۹ تا گوچی به شرح جدول ۳ می‌باشد.

1.Taguchi
2.Mini-Tab
3.R-Square
4.P-Value

جدول ۳: مقادیر سطوح برای هرکدام از متغیرهای تقاضا در طرح L۹ تاگوچی

Table 3: Level values for each of the demand variables in the Taguchi L9 scheme

شماره متغیر Variable number	نام متغیر تأثیرگذار Influential variable name	سطح پایین (-1) Low level	سطح میانی (0) Intermediate level	سطح بالا (1) High level
1	گسترش بازار فروش (برحسب تعداد نمایندگی‌های فروش محصولات در دوره) Expansion of sales market (according to the number of product sales agents in the period)	20	40	**60**
2	تبلیغات تلویزیونی (برحسب دقیقه در دوره) TV commercials (in minutes per course)	80	100	**120**
3	**قیمت واحد محصول j ام (برحسب میلیون ریال در دوره) Unit price of the product (in million Rials in the period)**			
3-1	محصول 1 Product 1	25	50	**75**
3-2	محصول 2 Product 2	40	70	**85**
3-3	محصول 3 Product 3	30	60	**90**
3-4	محصول 4 Product 4	45	65	**85**
4	میزان تخفیف در دوره (برحسب درصد ٪) Discount rate in the period (%)	5	10	**15**

مقادیر میانگین نمونه‌های برداشته‌شده جهت اجرای طرح در هر یک از آزمایش‌ها به شرح جدول ۴ نشان داد شده است لازم به ذکر است در هر بار اجرای طرح برای برآورد تقاضای هر محصول در هر دوره ۵ نمونه ثبت‌شده است و فرمول کدگذاری سطوح نیز به شرح رابطه ۴ می‌باشد در هر ردیف جدول ۴ مقادیر هر یک از متغیرهای تأثیرگذار به‌صورت کد شده در سه سطح مشخص‌شده است درمجموع برای تخمین هر معادله پیش‌بینی تقاضا با توجه به ۹ آزمایش طراحی‌شده در طرح L۹ تاگوچی و ۵ نمونه اخذشده در کل به ۴۵ نمونه استناد شده است که در جدول ۴ مقدار میانگین نمونه‌ای هر نمونه ۵ تایی آورده شده است.

$$x_i = \frac{\left(\text{متغیر } i \text{ ام}\right) - \frac{\left(\text{ماکزیمم متغیر } i \text{ ام} + \text{مینیمم متغیر } i \text{ ام}\right)}{2}}{\frac{\left(\text{ماکزیمم متغیر } i \text{ ام} - \text{مینیمم متغیر } i \text{ ام}\right)}{2}}$$

رابطه ۵: فرمول نحوه ایجاد متغیرهای کد شده برای سطوح در فرآیند تاگوچی

در زنجیره تأمین موردبررسی به‌وسیله این مدل معادلات پیش‌بینی تقاضای هرکدام از ۴ محصول زنجیره در ۲ دوره موردبررسی به شرح جدول ۵ توسط نرم‌افزار مینی تب استخراج‌شده و بررسی در خصوص آزمون‌های فرض غیر صفر بودن ضرایب رگرسیون و معناداری ضرایب در سطح خطای ۰/۰۵ درصد انجام‌گرفته و فرض H_0 شامل صفر بودن.

جدول ٤: مقادیر میانگین نمونه‌های اخذ شده جهت تخمین تقاضای محصولات در دوره (بر حسب تن)

Table 4: Average values of samples taken to estimate product demand in the period (in tons)

	x1	x2	x3	x4	$\overline{y_{11}}$	$\overline{y_{21}}$	$\overline{y_{31}}$	$\overline{y_{41}}$	$\overline{y_{12}}$	$\overline{y_{22}}$	$\overline{y_{32}}$	$\overline{y_{42}}$
1	-1	-1	-1	-1	172.2	411.4	323.6	193.8	214	353.2	305	**274.4**
2	-1	0	0	0	191.4	445.4	358.4	219	238.8	389.4	343	**307.4**
3	-1	1	1	1	189.4	448.8	354.4	215.6	234.6	406.6	337	**302.2**
4	0	-1	0	1	195.4	457	360.8	219.2	240	392	343.2	**307.4**
5	0	0	1	-1	176.2	419.4	327	199.4	217.2	366.8	311.2	**279.8**
6	0	1	-1	0	196.2	464.6	366.4	222.8	242.6	429	349.2	**312.6**
7	1	-1	1	0	183.2	413.2	341.2	211	225.8	389.8	323.4	**290.2**
8	1	0	-1	1	204.8	485	382.4	232.4	253.4	453.4	364.8	**326.4**
9	1	1	0	-1	197.2	466.4	367.8	223.6	243.4	450	350.8	**314.2**

و بی‌معنی بودن ضرایب رگرسیون در مقابل فرض H_1 شامل معنی‌داری و غیر صفر بودن ضرایب رد شده است. ضمناً در تمامی نمونه‌های اجراشده میزان ضریب همبستگی بالای ۵۵ درصد رخ‌داده است لذا با در نظر گرفتن سیاست و استراتژی این زنجیره مبنی بر گسترش بازار فروش به مقدار ۴۵ نمایندگی فروش محصولات زنجیره تأمین در کل کشور و میزان تبلیغات تلویزیونی محصولات زنجیره به میزان ۶۰ دقیقه در طول دوره و اعلام قیمت هرکدام از ۴ محصول زنجیره به ترتیب ۷۰ و ۸۰ و ۵۵ و ۶۰ و اعلام میزان ۱۲ درصد تخفیف کلی‌فروشی محصولات به نمایندگی‌ها در دوره اول (t=۱) و استراتژی گسترش بازار فروش به مقدار ۵۰ نمایندگی فروش و میزان تبلیغات تلویزیونی محصولات زنجیره به میزان ۶۵ دقیقه در طول دوره و اعلام قیمت هرکدام از ۴ محصول زنجیره به ترتیب ۶۵ و ۷۵ و ۶۵ و ۷۵ و اعلام ۱۳ درصد تخفیف کلی‌فروشی محصولات در دوره دوم (t=۲) لحاظ شده و مابقی اطلاعات مصالح نیز مطابق جدول ۲ وارد مدل شده است سپس با استفاده از نرم‌افزار بهینه‌یابی گمز[1] نسخه ۲۴/۱ و طبق موارد اشاره شده در خصوص یافتن نقطه تعادلی نش مقادیر بهینه تعادلی از حل مدل به‌دست‌آمده است و نتایج که همان خروجی گمز است در جدول ۶ نشان داده شده است.

1.General Algebraic Modeling System (GAMS)

جدول ۵- معادلات پیش‌بینی تقاضای هرکدام از ٤ محصول زنجیره در ۲ دوره مورد بررسی

Table 5 - Demand forecast equations of each of the 4 chain products in the two periods under review

(j)	(t)	معادله پیش‌بینی Prediction equation	$\widetilde{y_{jt}}$
1	1	$\widetilde{y_{11}} = 258 + 7.80x_1 + 9.80x_2 - 6.87x_3 + 11.30x_4$	**250**
2	1	$286 + 9.0X_1 + 10.9X_2 - 7.9X_3 + 13.0X_4 \widetilde{y_{21}} =$	**273**
3	1	$\widetilde{y_{31}} = 302 + 24.0x_1 + 25.1x_2 - 12.1x_3 + 13.7x_4$	**265**
4	1	$\widetilde{y_{41}} = 202 + 5.87x_1 + 6.80x_2 - 5.40x_3 + 8.90x_4$	**195**
1	2	$\widetilde{y_{12}} = 181 + 6.43x_1 + 6.33x_2 - 3.83x_3 + 8.40x_4$	**176**
2	2	$\widetilde{y_{22}} = 304 + 9.17x_1 + 10.5x_2 - 8.30x_3 + 13.2x_4$	**294**
3	2	$\widetilde{y_{32}} = 385 + 12.8x_1 + 13.4x_2 10.3x_3 + 15.6x_4$	**376**
4	2	$\widetilde{y_{42}} = 162 + 5.37x_1 + 5.33x_2 - 4.07x_3 + 7.33x_4$	**158**

لازم به ذکر است حل مدل‌هایی با حجم و تعداد بالا از شبکه تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان و خرده‌فروشان و تعدد مواد اولیه زمان محاسبات و پردازش را به‌صورت غیرخطی بالا خواهد برد جدول ۶ نقاط تعادل نش به‌دست‌آمده برای عرضه مواد اولیه i ام در دوره t ام برای تأمین‌کننده m ام در گروه آن مواد اولیه را یک مدل بازی رقابتی نرمال پیوسته در حالت انحصار چندتایی را با ۳ نوع مواد اولیه و ۴ محصول در زنجیره با مفروضات مسأله فوق‌الذکر را نشان می‌دهد.

جدول ٦: نقاط تعادل (x^*_{imt}) به‌دست‌آمده از حل مدل برای هرکدام از تأمین‌کنندگان مواد در دوره (بر حسب تن)

Table 6: Equilibrium points (x^*_{imt}) obtained from solving the model for each of the material suppliers in the period (in tons)

m		1	2	3	4	$(q = \sum_{m=1}^{Mi} x_{imt})$
t	i					
1	1	100	120	65.48	0.00	**285.48**
1	2	150	108	50.74	24.07	**332.81**
1	3	70	100	90	44.09	**304.09**
2	1	150	118.83	56.81	33.88	**359.52**
2	2	200	112.03	52.08	27.05	**391.16**
2	3	160	117.30	57.53	26.05	**360.88**

یافته‌ها

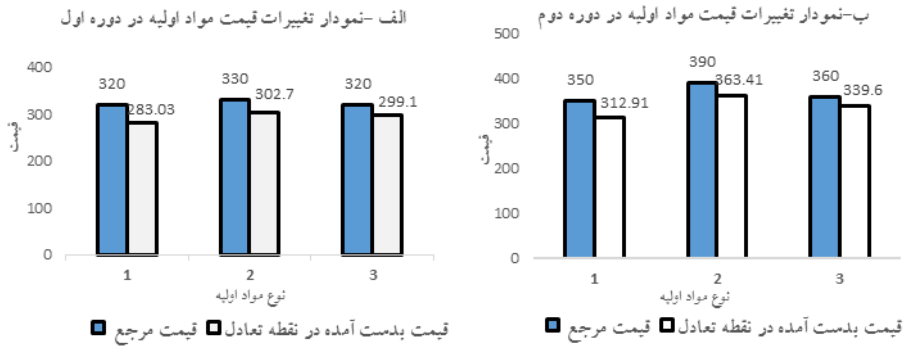
پس از حل مدل و یافتن نقاط تعادل عرضه برای تأمین‌کنندگان با رسم نمودار مقادیر پاسخ به‌دست‌آمده از حل مدل رقابتی و مقایسه آن‌ها با وقتی‌که بین تأمین‌کنندگان مواد اولیه زنجیره رقابت موجود نباشد تأثیر رقابت بر پارامترها را روشن می‌سازد با توجه به اعداد مربوط به ستون های جدول ۶ اطلاعات مربوط به جدول ۷ استخراج شده است که در پاسخ به دو سوال اصلی تحقیق یعنی مشخص شدن میزان عرضه مواد اولیه هر یک از تامین کنندگان و مقدار مواد بازگشتی مورد استفاده در هر دوره در آن مشخص شده است.

جدول ۷: میزان عرضه مواد اولیه تامین کنندگان و بازیافتی مورد استفاده هر دوره (بر حسب تن)
Table 7: Supply of raw materials suppliers and recycled used in each period (in tons)

دوره period	ماده اولیه Raw material (i)	مقدار عرضه تامین کنندگان در دوره Supply amount in the period	مقدار تقاضای دوره amount of period demand	مقدار تامین از فرآیند بازگشتی amount of supply from the return process
t=1	1	285.48	1541	**1165.52**
	2	322.81	1178	**845.19**
	3	304.09	1498	**1193.98**
t=2	1	359.52	1454	**1094.48**
	2	391.16	1160	**768.84**
	3	360.88	1555	**1194.12**

در ادامه نیز همان‌گونه که در نمودار ۱ تغییرات قیمت مواد اولیه در دوره اول باقیمت مرجع مقایسه شده‌اند مشاهده می‌شود که در اثر گروه‌بندی تأمین‌کنندگان و ایجاد شرایط بازی رقابتی نرمال پیوسته با انحصار چند تایی تأثیر رقابت بین آن‌ها در به دست آوردن سود بیشتر یا حداقل کردن ضرر در اثر کاهش تقاضا, قیمت هر سه نوع ماده اولیه کاهش را از مقدار مرجع که همان قیمت پایه در بازار محسوب می‌شود را نشان می‌دهد دلیل این امر آگاهی تأمین‌کنندگان از وضعیت قیمت و تقاضای بازار و تأثیر حجم تولید و عرضه مواد اولیه بر روی قیمت است برخلاف حالت غیررقابتی که تمامی تأمین‌کنندگان سعی در تأمین مواد اولیه با حداکثر ظرفیت را داشتند همان‌طور که در جدول ۶ مربوط به خروجی مدل نیز مشخص می‌باشد در شرایط رقابتی و با توجه به تأثیرپذیری قیمت مواد از میزان عرضه مواد به بازار و مقدار تقاضا و میزان مواد بازیافتی وارده به زنجیره تأمین هرکدام از تأمین‌کنندگان در راستای منافع خود با توجه به تأثیرپذیری از شرایط فوق

مقدار مشخصی از مواد را در هر دوره با توجه به پارامترهای تأثیرگذار در جهت برآورده شدن سودشان به سازندگان زنجیره عرضه می‌کنند یعنی هر یک با توجه به تعریف نقطه تعادل نش ننقطه‌ای را انتخاب می‌کنند که در آن‌هم عقیده باشند و به تصمیم یکدیگر در انتخاب آن نقطه احترام می‌گذارند در نمودار شکل ۴- الف: قیمت مواد اولیه در دوره اول و مقایسه آن باقیمت مرجع (حالت عدم وجود رقابت) نشان داده‌شده است و با توجه به قیمت‌گذاری انجام‌شده در دوره اول مشخص می‌شود که وجود رقابت در بین تأمین‌کنندگان مواد اولیه زنجیره باعث تعدیل قیمت‌ها نسبت به قیمت مرجع در هر سه نوع ماده اولیه شده است و همان‌طور در نمودار شکل ۴-ب: نیز مشخص‌شده این تعدیل قیمت در دوره دوم نسبت به دوره اول در مقایسه با قیمت مرجع اندکی کمتر است و نشان از این دارد که تأمین‌کنندگان از اطلاعات به‌دست‌آمده از دوره اول برای این دوره استفاده برده‌اند و نسبت به اصلاح قیمت‌ها با آگاهی بیشتری اقدام نموده‌اند تا هم‌سود خود را به حداکثر برسانند و هم بازار فروش را از دست ندهند اگر همین فرآیند در دوره‌های متوالی برای زنجیره ادامه یابد برای تأمین‌کنندگان ایجاد دانش خواهد کرد تا برای افزایش سود تجاری و از دست ندادن بازار قیمت‌گذاری مواد اولیه را به نحو مطلوب انجام دهند.

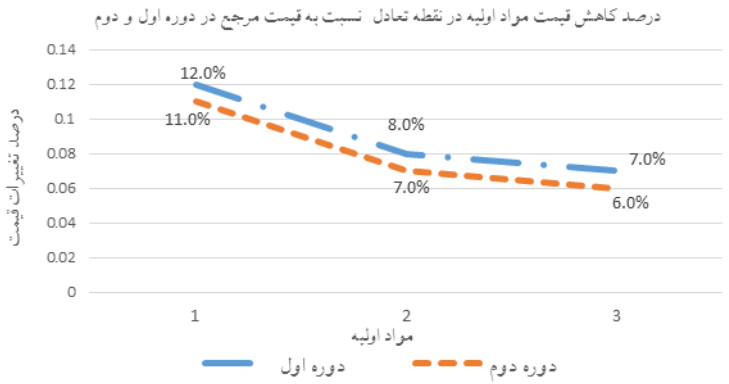


شکل ٤: نمودار تغییرات قیمت مواد اولیه در بررسی موردی فرش ماشینی سهند در دوره اول و دوم

Figure 4: Chart of changes in raw material prices in a case study of SAHAND machine-made carpet factory in the first and second period

در شکل ۵ نیز نمودار درصد کاهش قیمت در نقطه تعادل نسبت به قیمت مرجع مواد اولیه نشان داده‌شده است که بیانگر این است که در اثر ایجاد مدل رقابتی قیمت در دوره‌های اول و دوم نسبت به قیمت مبنا یا مرجع کاهش داشته است که اوج این کاهش به میزان ۱۲ درصد و در دوره

اول برای ماده اولیه ۱ اتفاق افتاده بر اساس اطلاعات این نمودار میزان این کاهش در دوره دوم اجرای مدل رقابتی برای تأمین‌کنندگان قدری تعدیل‌یافته است و نمودار دوره دوم در تمامی مواد زیر نمودار دوره اول قرارگرفته است که نشان از تنظیمات مؤثر ایجادشده درتأمین‌کنندگان برای استفاده از حداکثر سود اکتسابی از طریق تنظیم پارامترهای رقابتی دارد واضح است که کاهش قیمت مواد اولیه مهم‌ترین اثرات خود را در یک زنجیره تأمین بر تدارکات داشته و بهره وری را در فرآیند تهیه و تدارکات مواد با توجه به کاهش هزینه های خرید مواد افزایش داده و به نسبت ضریب مصرف مواد در محصول ساخته شده نیز بر کاهش قیمت تمام شده محصولات زنجیره اثر خواهد گذاشت.



شکل ۵: نمودار درصد کاهش قیمت در نقطه تعادل نسبت به قیمت مرجع مواد اولیه

Figure 5: Graph of the percentage decrease in equilibrium price relative to the reference price of raw materials

البته با توجه به شرایط ممکن است مقداری کمبود در مواد اولیه برای سازندگان زنجیره ایجاد شود که این کمبود از طریق برنامه‌ریزی مواد برای استفاده از مواد اولیه بازیافتی قابل‌جایگزینی است.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه اقتصاد جهانی به سمت زنجیره‌هایی از تدارکات و تأمین مواد و تولید کالا تمایل یافته که علاوه بر گسترش منابع تأمین مواد اولیه و کاهش قیمت تمام شده کالای ساخته شده از زنجیره‌های سبز و دوستدار محیط زیست حمایت می کند البته سبز بودن یک زنجیره ممکن است

صرفاً یک شعار یا ادعای تجاری باشد تا یک تعهد اخلاقی اما در باطن هر زنجیره‌ای که علاوه بر تلاش برای تولید کالا به فکر جمع‌آوری و ضایعات محصولات ساخته‌شده و بازیافت آن‌ها و استفاده دوباره در چرخه تولید باشد با توجه به حفاظت از محیط‌زیست و تولید پاک امروزه موردتوجه دولت‌ها و مردم قرار دارد چراکه در دوره حاضر نه‌تنها دولت‌ها و اقتصاد مبتنی بر تجارت بلکه مردم عادی هم به این نتیجه رسیده‌اند که می‌بایست برای حفظ حیات و بقا زندگی در کره زمین به تولید و مصرف محصولات سبز و در اصطلاح دوستدار محیط‌زیست بپردازند و اصول تولید محصولات را در این عصر بر آن بنا گذارند در این میان زنجیره‌های تأمین رقابت محور که تلاش دارند با ایجاد رقابت نه‌تنها هزینه تأمین و تدارکات مواد اولیه خود را کم کنند بلکه قسمتی از مواد اولیه را از فرآیند بازیافت تأمین نمایند قابل‌توجه است نقطه شاخص تحقیق حاضر در مدل‌سازی زنجیره تأمین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن وجود رقابت و تضاد منافع در میان تأمین‌کنندگان مواد اولیه زنجیره مشخص می‌شود با رقابت در میان تأمین‌کنندگان حداکثر حجم عرضه مواد اولیه در دوره موردنظر در قیمت رقابتی از جانب تأمین‌کنندگان تعیین می‌شود لذا جهت مدیریت تصمیمات تأمین‌کنندگان استفاده از نظریه بازی‌ها ضرورت دارد در مدل‌سازی تحقیق پیش رو که نمونه‌ای از زنجیره سبز با خاصیت رقابت در تأمین‌کنندگان مواد اولیه است مورد مدل‌سازی و بررسی قرار گرفت و پس از بررسی نتایج مشخص گردید رقابت باعث کاهش هزینه‌های تدارکات کالا برای سازندگان زنجیره شده و ضمناً تأمین‌کنندگان با اطلاعاتی که در خصوص تقاضا و میزان مواد بازیافتی و ارتباط آن‌ها با نوسان قیمت مواد اولیه در زنجیره به دست می‌آوردند می‌توانند میزان مناسب حجم عرضه خود را در زنجیره به نحوی تنظیم کنند که تمامی آن‌ها در یک نقطه تعادلی قرار گیرند که به معنای رضایت بر سود متعادل همه اعضای یک گروه تأمین‌کننده یک نوع مواد اولیه است در مدل‌سازی مقاله حاضر عمدتاً سعی بر این بوده که مدل ارائه‌شده قابلیت گسترش پارامترها و تعمیم دهی به مسائل حجیم‌تر با تعداد بیشتری از مواد و تأمین‌کنندگان و دوره‌ها را داشته باشد که در نمونه حل‌شده به‌عنوان‌مثال موردی و یافته‌های پس از حل نمود یافته است به‌عنوان پیشنهادها آتی می‌توان پارامترهای را برای ارزیابی تأمین‌کنندگان همچون قابلیت اطمینان و کیفیت مواد اولیه عرضه‌شده و یا زمان انتظار جهت تأمین و تدارک مواد اولیه را برای هر یک از تأمین‌کنندگان به مدل اضافه نمود همین‌طور می‌توان جریان برگشتی را به‌عنوان یک رقیب داخل هر گروه از تأمین‌کنندگان وارد نموده و رفتار آنان را در مدل جدید موردبررسی و تحلیل قرار دهیم.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی برای اعلام ندارند.

References

Abdoli,Ghahraman, ((Game Theory And It's Applications)),Tehran,Jahad-daneshghahi tehran university,2008, Second printing, (In persian).

Asgharpour,Mohammad Javad, ((Group Decision Making and Game Theory in Operation Research)),Tehran,Tehran university press,2014, Third printing, (In persian).

Ashkan.H(2017), ((Competition, cooperation, and coopetition of green supply chains under regulations on energy saving levels)), Transportation Research Part E,issue 97 p 228-2504.

Elcio M. Tachizawa, Chee Yew Wong (2015), ((The Performance of Green Supply Chain Management Governance Mechanisms: A Supply Network and Complexity Perspective)), Journal of Supply Chain Management, volume51, issue 3, P 18 to 32.

Esmaeili.M,Allameh.GH, Tajvidi.T(2016), ((Using game theory for analysing pricing models in closed-loop supply chain from short- and long-term perspectives)), International Journal of production Research,Vol. 54, No. 7, 2152–2169.

Ghomi Avili.M,Jalali Naeeni.S. (2016), Design of closed-loop supply chain network under conditions of disruption and uncertainty with regard to product quality and resiliency strategy, Journal of Engineering and Quality Management, 6(2), 133-145.

Hermalin,B.E. (2003), Introduction to Game Theory & The Bertrand Trap, University of California, Berkeley, 1-20.

Kenneth W. Green, Pamela J. Zelbst, Jeramy Meacham, Vikram S. hadauria. (2012), Green supply chain management practices: impact on performance, Supply chain management:an international Journal,17(3), 290-305.

Mahdavi.M,Karamouzian.A(2014), Evaluating strategic issues in supply chain scheduling using game theory, International Journal of Production Research, 52(23),7100–7113.

Modares Yazdi.M,Amozad.H (2014), Designing a collaborative model for an unlimited three-level supply chain with a collaborative game theory

approach, Iranian Journal of Management Research, 10(1),1-20, (In persian).

Moradinasab.N, Amin-Naseri.M.R (2018), Competition and cooperation between supply chains in multi objective petroleum green supply chain: A game theoretic approach, Journal of Cleaner Production, 170, 818-841.

Rui Zhao, Gareth Neighbour, Jiaojie Han, Michael McGuire. (2013), Using game theory to describe strategy selection for environmental risk and carbon emissions reduction in the green supply chain, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 25(6), 927-936.

Sadjadi S.J, Asadi.H, Sadeghian.R (2018), Retailer Stackelberg game in a supply chain with pricing and service decisions and simple price discount contract, 13(4), 1-24.

Tatsushi Nishi,Sisi Yin, Guoqing Zhang (2016), A game theoretic model for coordination of single manufacturer and multiple suppliers with quality variations under uncertain demands, International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, 3(2), 79–91.

Wenge Zhu, Yuanjie He(2016), Green product design in supply chains under Competition, European Journal of Operational Research, 258(1), 165-180.

Yingxue Zhaoa, Shouyang Wanga, T.C.E. Cheng (2010), Coordination of supply chains by option contracts: A cooperative game theory approach, European Journal of Operational Research, 207(2), 668-675.