ارائه مدل ترکیبی برای انتخاب تأمین‌کنندگان کارا در محیط رقابتی و تحت عدم قطعیت تقاضا

ساموئل یوسفی[۱،*]، مصطفی جهانگشای‌رضائی[۲]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۱۰/۲۷
پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۲

واژگان کلیدی:
انتخاب‌تأمین‌کننده،
کارایی،
تحلیل پوششی داده‌ها،
بازی چانه‌زنی نش،
عدم قطعیت تقاضا.

چکیده

یکی از مهمترین مسائل در زنجیره‌تأمین، انتخاب تأمین‌کنندگان با هدف بهینه‌سازی هزینه‌های موجودی در شرایط عدم قطعیت تقاضا است. از سوی دیگر، در محیط رقابتی امروزی، بالا رفتن انتظارات مشتری برای خریداری محصولات با کیفیت و مقرون به صرفه، منجر به توسعه روابط بلندمدت اعضای زنجیره‌تأمین این محصولات از جمله خریدار و تأمین‌کننده شده است. بنابراین، مسأله انتخاب مجموعه مناسبی از تأمین‌کنندگان کارا و تخصیص سفارش به آن‌ها، یکی از مهم‌ترین تصمیمات استراتژیک برای ایجاد یک سیستم زنجیره‌تأمین کارا و بهینه در محیطی رقابتی و دارای عدم قطعیت است. این تحقیق در ابتدا سعی دارد با ارائه یک مدل ترکیبی برنامه‌ریزی چندهدفه از تحلیل پوششی داده‌ها و مدل هماهنگی خریدار - چند فروشنده (تأمین‌کننده)، انتخاب مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان کارا در محیطی غیر رقابتی و با فرض تقاضای غیر قطعی را انجام دهد. سپس، با ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌ها بر مبنای بازی چانه‌زنی نش، رقابت بین تأمین‌کنندگان شبیه‌سازی می‌شود. نتایج حاصل از دو مدل، نشان می‌دهد که شرایط رقابتی منجر به بهبود کارایی شده است.

۱- مقدمه

زنجیره‌تأمین، شبکه‌ای از سازمان‌های مستقل و یا مرتبط با یکدیگر هستند که با همکاری سعی دارند مدیریت و بهبود جریان مواد و اطلاعات را از تأمین‌کنندگان مواد اولیه تا مصرف‌کنندگان محصولات نهایی کنترل نمایند [۱]. دستیابی به این هدف مهم، تنها با ایجاد هماهنگی در زنجیره‌تأمین با استفاده از رویکردهایی امکان پذیر است که تصمیم مناسب را برای کسب سود بهینه به ازای اعضای زنجیره تأمین اتخاذ نماید. چگونگی این تصمیمات نیز تحت تأثیر رفتار همکارانه و غیرهمکارانه بین اعضای زنجیره تأمین قرار دارد. از سوی دیگر، بهینه‌سازی هزینه‌های زنجیره تأمین، کارایی و صرفه اقتصادی تمام سیستم مد نظر مدیریت قرار دارد و در این میان ممکن است بین اهداف اعضا و سطوح مختلف برای دستیابی به اهداف کلی زنجیره تأمین، تضاد و تناقضات مشاهده شود. وجود این اختلالات و تناقضات به مرور زمان می‌تواند منجر به کاهش قدرت و رقابت‌پذیری زنجیره تأمین گردد. در نتیجه، بررسی و انتخاب تأمین‌کنندگان با کارایی مناسب و با هدف هماهنگی و حفظ وضعیت رقابتی در سطوح اولیه زنجیره تأمین، منجر به بهینه‌سازی در سطوح مختلف زنجیره خواهد شد. در چنین شرایطی، بخش تدارکات و به تبع آن انتخاب تأمین‌کننده مناسب میتواند نقشی کلیدی در کارایی و اثربخشی سازمان ایفا نماید و اثر مستقیمی بر کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری سازمان داشته باشد [۲]. به همین دلیل، به منظور دستیابی به مدل‌های ریاضی کاربردی، بررسی مسائل مربوط به کنترل موجودی در کنار بحث انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین از اهمیت خاصی برخوردار است. از میان این مدل‌ها، می‌توان به مدل هماهنگی موجودی خریدار و فروشنده برای انتخاب تأمین‌کننده اشاره نمود. به نحوی که در سال‌های اخیر، کاربردهای فراوانی از مدل‌های هماهنگی خریدار و فروشنده در تحقیقات منتشر شده است.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: samuelyousefi@yahoo.com
۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه
۲. استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه

از سوی دیگر، توجه محققان به شرایط بازار رقابتی منجر شده است تا رویکردهایی مبتنی بر مدل‌های هماهنگی خریدار و فروشنده، اهمیت ویژه‌ای را به خود اختصاص دهند. اغلب این محققان برای بیان شرایط رقابتی بازار، از تئوری بازی‌ها که پتانسیل عظیمی در کاربردهای مدیریت دارد، بهره برده‌اند. این در حالی است که در اغلب تحقیقات از تئوری بازی‌ها برای انتخاب بهینه تأمین‌کننده کالا، قیمت‌گذاری و تعیین سیاست‌های موجودی در زنجیره تأمین استفاده شده است؛ اما شرایط عدم قطعیت تقاضا و رقابتی بودن بازار امروزی در مسأله ارزیابی کارایی و انتخاب تأمین‌کنندگان و همچنین مدل‌های هماهنگی خریدار و فروشنده در نظر گرفته نشده است.

هدف اصلی این تحقیق نیز با توجه به اهمیت رقابت و عدم قطعیت در بازارهای کالا و خدمات، معرفی مدلی ترکیبی جدید برای انتخاب و تخصیص سفارش به مجموعه‌ای کارا از تأمین‌کنندگان با توجه به معیارهای مدیریتی و در شرایط وجود تقاضای غیر قطعی، محیط رقابتی و چند محصولی بودن مسأله مورد بررسی است. این مدل سعی دارد تا خریدار، تأمین‌کنندگانی را انتخاب کند که علاوه بر این که هزینه‌های سیستم موجودی شامل هزینه‌های سالانه خریدار و فروشندگان را در حالت تقاضای احتمالی کمینه می‌کنند، دارای کارایی مناسبی نیز در رقابت با سایر تأمین‌کنندگان باشند. در این تحقیق، برای محاسبه کارایی در محیط غیر رقابتی از روش توسعه یافته تحلیل همزمان پوششی داده‌ها و برای ایجاد شرایط رقابتی، از مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها با بازی چانه‌زنی نش[1] استفاده می‌گردد. در واقع این تحقیق، با در نظر گرفتن دو بُعد از بازار یعنی رقابت و عدم قطعیت و دو مفهوم مهم مدیریتی یعنی هزینه و کارایی، سعی در ارائه مدلی کاربردی برای انتخاب تأمین‌کننده دارد.

ساختار کلی مقاله نیز به این صورت است که در بخش دوم، مرور ادبیات مربوط به تحقیقات مشابه در زمینه انتخاب تأمین‌کننده و کاربرد تئوری بازی‌ها در زنجیره‌تأمین ارائه می‌شود. در بخش سوم، به معرفی مدل ترکیبی پیشنهادی در دو حالت غیر رقابتی و رقابتی پرداخته می‌شود. در بخش چهارم نیز با حل مثالی عددی، نتایج محاسباتی به دست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در بخش پنجم نیز، نتیجه‌گیری و پیشنهادات توسعه این تحقیق در آینده، ارائه خواهد شد.

۲- مرور ادبیات

در راستای بهینه‌سازی هزینه‌های موجودی زنجیره تأمین و انتخاب تأمین‌کننده، مسأله هماهنگی خریدار و فروشنده در نشریات متعددی از اهمیت بسزایی برخوردار شده است؛ اما بررسی جامع مدل‌های هماهنگی خریدار و فروشنده را می‌توان در تحقیقات گویال و گوپتا [۳] و بن دایا و همکاران [۴] یافت. گویال [۵] یکی از اولین محققانی است، که مدل‌های هماهنگی خریدار و فروشنده را با فرض نرخ تولید نامحدود برای فروشنده و با هدف کاهش هزینه‌های خریدار و فروشنده ارائه نموده است. گلاک [۶] نیز مسأله هماهنگی سطح موجودی یکپارچه تک خریدار - چند تأمین‌کننده‌ی زنجیره تأمین را مورد بحث قرار داده است. وی یک خریدار را برای یافتن منابع تأمین محصول از تأمین‌کنندگان نامتجانس در نظر گرفته و یک روش حل دو مرحله‌ای را برای تعیین تعداد تأمین‌کنندگان انتخابی و تصمیم‌گیری تخصیص سفارش با هدف به حداقل رساندن هزینه‌های کل سیستم ارائه نموده است. طالعی‌زاده و همکاران [۷] نیز مسأله چندخریدار - چندفروشنده را در حالت چند دوره‌ای و چند محصولی و با هدف حداقل‌سازی هزینه‌های خریداران و فروشندگان در نظر گرفته است که در آن هر خریدار بودجه محدودی برای خرید محصولات دارد و هر فروشنده دارای محدودیت انبار برای محصولات خود در فروشگاه است. در ادامه، حمامی و همکاران [۸] یک مدل تصادفی برای انتخاب تأمین‌کننده با هدف حداقل‌سازی هزینه کل سیستم چنددوره‌ای با وجود خریداران متعدد و تخفیف قیمت ارائه نمودند.

به طورکلی موضوع انتخاب تأمین‌کننده از ارکان اصلی مدل‌های هماهنگی خریدار و فروشنده است. به همین دلیل، محققان بسیاری در حوزه انتخاب تأمین‌کننده مطالعه نموده و رویکردهای تصمیم‌گیری متفاوتی را برای حل این مسأله ارائه داده‌اند. رویکردهای کمی انتخاب تأمین‌کننده شامل مدل‌های وزنی خطی، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، و رویکردهای آماری دسته‌بندی شده است [۹]. در این میان، مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، برای مسأله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص با توجه به تابع هدف حداکثر سود

[1] Nash bargaining

و یا حداقل هزینه به کار گرفته می‌شوند. روش تحلیل پوششی داده‌ها[1]نیز به عنوان عضوی از مدل‌های ریاضی برای ارزیابی و تعیین تأمین‌کنندگان ناکارا توسط وبر و دزایی[2] در سال۱۹۹۶ به کار گرفته شد [۱۰] و سایر محققان نیز انواع مختلفی از این روش نظیر تحلیل پوششی داده‌های فازی [۱۱] و تحلیل پوششی داده‌های پویا [۱۲] را برای حل این مسأله مورد استفاده قرار دادند.

علاوه بر این، برخی از محققان در راستای پاسخگویی به نیازهای موجود، رویکردهای ترکیبی را برای انتخاب تأمین‌کننده ارائه نمودند، که از این تحقیقات می‌توان به رویکرد ترکیبی برنامه‌ریزی خطی چندهدفه و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی [۱۳]، برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط و فرآیند تحلیل شبکه‌ای [۱۴]، برنامه‌ریزی آرمانی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی [۱۵]، برنامه‌ریزی آرمانی چند انتخابه[3]و تاپسیس فازی [۱۶]، رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی و تاپسیس فازی [۱۷] اشاره نمود. هدف تمامی رویکردهای تصمیم‌گیری موجود، یافتن تأمین‌کننده مناسب برای تخصیص بهینه است. مدل‌های ذکر شده به صورت قطعی و احتمالی ارائه شده‌اند؛ اما عیب اصلی مدل‌های قطعی آن است که قادر نیستند در قبال ماهیت تصادفی سیستم‌های دنیای واقعی پاسخگو باشند. به همین دلیل لی و زابینسکی[4] [۱۸] بر اهمیت عدم قطعیت در مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده تأکید داشته است.

از سوی دیگر به دلیل توجه مدیریت به بحث کارایی و بهبود سابقه عملکرد در بازار رقابتی، رویکردهای ترکیبی مبتنی بر تحلیل پوششی دادهها از اهمیت خاصی بر خوردار شده‌اند. برای بیان شرایط رقابتی بازار، بهره‌گیری از نظریه بازی تعاونی که پتانسیل عظیمی در کاربردهای مدیریت و بهبود کارایی زنجیره‌تأمین دارد از گزینه های مناسب است. در واقع تئوری بازی تعاونی، اجازه مدل‌سازی فرآیندهای کسب و کار پیچیده که توضیح آن‌ها مشکل است را فراهم می‌کند. در نتیجه، تئوری بازی‌ها به عنوان یک ابزار ریاضی برای پیاده‌سازی رقابت و یا تجزیه و تحلیل روابط کسب و کار در داخل زنجیره‌تأمین، در میان عوامل فردی و یا بازارهای انبوه مورد استفاده قرار گرفته است. زوسمان و اگار[5] [۱۹] با ترکیب کاربردی نظریه قرارداد اقتصادی و تئوری چانه‌زنی نش، اولین تحقیق را با تاکید بر همکاری زنجیره‌تأمین انجام دادند. قابلیت ترکیب تئوری بازی‌ها با اکثر علوم باعث شد تا تحقیقاتی در زمینه طراحی و هماهنگی سطوح مختلف زنجیره‌تأمین از جمله طراحی موثر و مدیریت زنجیره‌تأمین [۲۰]، هماهنگی چندخریدار - یک فروشنده [۲۱] و انتخاب بهینه تأمین‌کننده، قیمت‌گذاری و تعیین سیاست‌های موجودی در زنجیره‌تأمین [۲۲] انجام شود.

در جمع بندی این بخش، ویژگی‌های این تحقیق در مقایسه با سایر تحقیق‌های جدید، در جدول ۱ ارائه شده است. با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌شود که برای نخستین بار در این تحقیق، از برنامه‌ریزی چندهدفه و روش تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر چانه‌زنی نش استفاده می‌شود تا انتخاب مجموعه مناسبی از تأمین‌کنندگان در محیطی رقابتی و غیرقطعی انجام شود.

۳- ارائه مدل پیشنهادی

در این بخش، مسأله انتخاب تأمین‌کنندگان در دو حالت رقابتی و غیر رقابتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مسأله، خریدار برای تولید محصول نهایی خود به چندین نوع مواد اولیه نیاز دارد و بایستی مقادیر سفارشات در طول دوره، به نحوی تعیین گردند که هزینه‌های موجودی حداقل گردیده و همچنین محدودیت‌های مدل با درنظر گرفتن مفهوم کارایی ارضا گردند. در هر دو حالت مذکور، فرض می‌شود فهرستی از تأمین‌کنندگان برای خریدار موجود است و وی می‌تواند با انتخاب تعداد خاصی از این فهرست، تقاضای به وجود آمده‌ی خود را تأمین نماید. در هر دو حالت رقابتی و غیر رقابتی، از برنامه‌ریزی دو هدفه شامل تابع هدف حداقل‌سازی هزینه‌های زنجیره تأمین و تابع هدف حداکثرسازی کارایی در نظر گرفته می‌شود که در نهایت به مدلی تک هدفه تبدیل می‌گردد. در ادامه، مدل‌سازی مسأله مذکور در شرایط وجود رقابت و عدم وجود رقابت با توجه به مفروضات، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری که در جدول ۲ ارائه گردیده، انجام می‌شود.

[1] Data envelopment analysis (DEA)
[2] Weber & Desai
[3] Multi-Choice Goal Programming (MCGP)
[4] Li, & Zabinsky
[5] Zusman & Etgar

جدول ۱: خلاصه‌ای از مقایسه ویژگی‌های این تحقیق با سایر تحقیق‌های مرتبط

محقق(ها)	رویکرد حل	ویژگی‌های مسأله					
		حداقل‌سازی هزینه‌های زنجیره	حداکثرسازی کارایی	تقاضای قطعی	تقاضای غیرقطعی	محیط غیررقابتی	محیط رقابتی
اسماعیلی و همکاران[1] [۲۳]	تئوری بازی‌ها	*			*		*
خلجانی و همکاران[2] [۲۴]	برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح	*		*		*	
آزاده و عالم[3] [۲۵]	تحلیل پوششی داده‌های انعطاف‌پذیر		*	*		*	
لنگ و پارلار[4] [۲۶]	تئوری بازی‌ها	*			*		*
ژو[5] [۲۷]	تئوری بازی‌ها	*		*			*
هی و ژائو[6] [۳۱]	تئوری بازی‌ها	*			*		*
گلاک [۶]	برنامه‌ریزی دو مرحله‌ای	*		*		*	
کمالی و همکاران[7] [۲۸]	برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط	*		*		*	
تولو و نالچیگار[8] [۲۹]	تحلیل پوششی داده‌ها		*	*		*	
طالعی‌زاده و همکاران [۷]	برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح	*			*	*	
هوانگ و همکاران[9] [۳۰]	تئوری بازی‌ها	*		*			*
نظری‌شیرکوهی و همکاران[10] [۳۲]	برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی	*			*	*	
کنان و همکاران[11] [۳۳]	تصمیم گیری چند معیاره فازی و رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه	*		*		*	
حمامی و همکاران [۸]	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط	*			*	*	

[1] Esmaeili, Aryanezhad & Zeephongsekul
[2] Gheidar Kheljani, Ghodsypour & O'Brien
[3] Azadeh & Alem
[4] Leng & Parlar
[5] Ye & Xu
[6] He & Zhao
[7] Kamali, Fatemi Ghomia & Jolai
[8] Toloo & Nalchigar
[9] Huang, Huang & Liu
[10] Nazari-Shirkouhi, Shakouri, Javadi & Keramati
[11] Kannan, Khodaverdi, Olfat, Jafarian & Diabat

ادامه جدول ۱: خلاصه‌ای از مقایسه ویژگی‌های این تحقیق با سایر تحقیق‌های مرتبط

محقق(ها)	رویکرد حل	ویژگی‌های مسأله					
		حداقل‌سازی هزینه‌های زنحیره	حداکثرسازی کارایی	تقاضای قطعی	تقاضای غیرقطعی	محیط غیررقابتی	محیط رقابتی
وار و همکاران[1] [۳۴]	برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط	*			*	*	
آزادی و همکاران[2] [۳۵]	تحلیل پوششی داده‌های فازی		*	*		*	
محمدی تبار و همکاران[3] [۳۶]	تئوری بازی‌ها	*		*		*	
تحقیق حاضر	تحلیل پوششی داده‌های مبتنی بر تئوری بازی‌ها	*	*		*	*	*

جدول ۲: فرضیات، تعریف اندیس‌ها، متغیرها و پارامترهای مدل

فرضیات
زنجیره‌تأمین مورد بررسی دو سطحی شامل یک تولیدکننده (خریدار) و چند تأمین‌کننده است.
مجاز بودن کمبود کالا برای خریدار.
تقاضای کالای خریدار در طول دوره غیر قطعی است.
ظرفیت انبار خریدار نامحدود است.
مدل به صورت چند کالایی در نظر گرفته شده است.
کمبود برای تأمین‌کننده (فروشنده) غیر مجاز است.
ظرفیت تولید تأمین‌کننده محدود است.
سیستم تولید تأمین‌کننده یا تولیدکننده به صورت ساخت بر اساس سفارش است؛ بنابراین، هزینه نگهداری ناچیز فرض می‌شود.
تأمین‌کنندگانی از قبل انتخاب نشده‌اند.
اندیس‌ها
$k=\{1,...,K\}$، مجموعه تأمین‌کنندگان
$p=\{1,...,P\}$، مجموعه محصولات
$l=\{1,...,m...,L\}$، مجموعه تقاضاهای احتمالی
$i=\{1,...,I\}$، مجموعه ورودی‌های هر تأمین‌کننده کاندیدا (واحد تصمیم‌گیری)
$j=\{1,...,J\}$، مجموعه خروجی‌های هر تأمین‌کننده کاندیدا (واحد تصمیم‌گیری)
پارامترها
u_{kp}: هزینه خرید هر واحد محصول p از تأمین‌کننده k ام
A_{kp}: هزینه ثابت سفارش‌دهی محصول p ام
z_{kp}: هزینه متغیر تولید به ازای هر واحد محصول p برای تأمین‌کننده k ام (شامل نیروی انسانی و هزینه سربار)
S_{kp}: هزینه ثابت راه اندازی تأمین‌کننده k ام برای تولید محصول p
P_{kp}: ظرفیت تولید محصول p ام توسط تأمین کننده k ام در طول دوره مورد بررسی
h_p : نرخ نگهداری محصول p ام به ازای واحد کالا در واحد زمان
N_p : حد بالای تعداد تأمین‌کنندگان مورد نیاز برای محصول pام از دید خریدار
π_p: هزینه کمبود هر واحد محصول p ام برای خریدار
I_p : سطح موجودی قبل از سفارش محصول p ام برای خریدار (موجودی ابتدای دوره مورد بررسی یا اضافه موجودی از دوره قبل)
E_p : حد پایین قابل قبول برای کارایی تأمین‌کنندگان به ازای محصول p ام از دید خریدار
I_{ikp}: مقدار i امین ورودی تأمین‌کننده k ام برای محصول p ام
O_{jkp}: مقدار j امین خروجی تأمین‌کننده k ام برای محصول p ام
x_{lp} : مقدار تقاضای خریدار برای محصول p ام در زمان وقوع تقاضای l
$P(l)$: احتمال وقوع تقاضای l
W: بودجه خرید در دسترس

[1] Ware, Singh & Banwet
[2] Azadi, Jafarian, Farzipoor Saen & Mirhedayatian
[3] Mohammaditabar, Ghodsypour & Hafezalkotob

ادامه‌ی جدول ۲

ε: عددی بسیار کوچک و مثبت
متغیرهای تصمیم‌گیری
R_p : سطح موجودی پس از سفارش محصول p ام برای خریدار
q_{kp}: مقدار سفارش محصول p ام از تأمین‌کننده k ام
y_{kp} : یک متغیر صفر و یک است (اگر برای سفارش محصول p ام، تصمیم به انتخاب تأمین‌کننده k ام باشد برابر با ۱ و در غیر این صورت صفر است)
d_{kp}: میزان عدم کارایی تأمین‌کننده k ام برای محصول p ام
V_{kpi} : وزن i امین ورودی تأمین‌کننده k ام برای محصول p ام
U_{kpj}: وزن j امین خروجی تأمین‌کننده k ام برای محصول p ام

۳-۱- حداقل‌سازی هزینه‌های زنجیره تأمین

در این تحقیق، تابع هزینه‌های زنجیره تأمین با توجه به مدل هماهنگی موجودی خریدار - چند فروشنده و به صورت مسأله تک دوره‌ای[1] و با تقاضای احتمالی در نظر گرفته می‌شود. در این مدل، امکان تهیه محصول تنها یک‌بار و آن هم در ابتدای دوره مقدور است و مقدار آن بر اساس میزان تقاضاهای گذشته و به صورت گسسته یا پیوسته تعریف می‌شود، که در این تحقیق تقاضای خریدار به صورت گسسته و تجربی در نظر گرفته می‌شود. در مسأله تک دوره‌ای فرض می‌شود، که اگر موجودی در پایان دوره باقی بماند، حراج شده یا دور انداخته می‌شود. به عبارت دیگر، اگر مقدار سفارش خریدار از تأمین‌کنندگان کوچکتر از تقاضای اتفاق افتاده باشد، برخی از سود خریدار از بین می‌رود و در صورتی که بیش از تقاضا باشد، برخی از هزینه‌ها افزایش پیدا کرده و به صرفه نخواهد بود [۳۷]. این واقعیت، منعکس‌کننده بسیاری از واقعیت‌های زندگی است و برای کمک به تصمیم‌گیری در صنایع تبدیلی نظیر لبنیات و محصولات فاسدشدنی در سطح مدیریت تولید استفاده می‌شود.

اولین تابع هدف، هزینه کل دوره‌ای زنجیره‌تأمین[2] می‌باشد که برابر است با مجموع هزینه دوره‌ای خریدار[3] و هزینه‌های دوره‌ای تأمین‌کنندگان[4]. هزینه‌های دوره‌ای خریدار در زنجیره تأمین دوسطحی مورد بررسی شامل هزینه‌های خرید و سفارش‌دهی است که به دلیل تک دوره‌ای بودن تنها در ابتدای دوره پرداخت می‌شود. علاوه بر هزینه‌های ذکر شده، هزینه‌های نگهداری و کمبود ، سایر هزینه‌های خریدار می‌باشند. نکته حائز اهمیت این است، که به دلیل عدم اطمینان تقاضا و بیشتر بودن سطح موجودی (پس از سفارش خریدار) از میزان تقاضای خریدار ($x_{lp} < R_p$)، هزینه نگهداری لحاظ خواهد شد و محصولات اضافه به دوره بعد انتقال یافته و موجودی ابتدای دوره را معنا می‌بخشند. هزینه کمبود خریدار نیز به دلیل کمتر بودن سطح موجودی (پس از سفارش خریدار) از تقاضا ($R_p < x_{lp}$) اتفاق افتاده و به سیستم تحمیل می‌گردد. شرح محاسبه هزینه‌های خریدار در رابطه (۱) ذکر شده‌است:

$$BPC = \sum_{k^*=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} u_{kp}q_{kp} + \sum_{k^*=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} A_{kp}y_{kp} + \sum_{\substack{l=1 \\ x_{lp}\le R_p}}^{L}\sum_{p=1}^{P} h_p(R_p - x_{lp})P(l) + \sum_{\substack{l=1 \\ x_{lp}> R_p}}^{L}\sum_{p=1}^{P} \pi_p(x_{lp} - R_p)P(l) \qquad (۱)$$

هزینه‌های دوره‌ای تأمین‌کنندگان نیز شامل هزینه‌های تولید و راه‌اندازی است. لازم به ذکر است، به دلیل تک دوره‌ای بودن سیستم مورد بررسی و فرض استفاده تأمین‌کنندگان از سیستم ساخت بر اساس سفارش[5]، از هزینه نگهداری صرف‌نظر می‌شود. هزینه کمبود تأمین‌کننده نیز به دلیل این که تأمین‌کنندگان ظرفیت تولید خود را از ابتدا اعلام کرده‌اند، برای آن‌ها غیرمجاز است. شرح محاسبه هزینه‌های دوره‌ای تأمین‌کنندگان در رابطه (۲) ذکر شده و سپس هزینه کل دوره‌ای زنجیره تأمین در رابطه (۳) ارائه می‌شود.

$$SSPC = \sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} z_{kp}q_{kp} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} S_{kp}y_{kp} \qquad (۲)$$

$$Min\, Z_1 = SCPC = \sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} y_{kp}(A_{kp} + S_{kp}) + q_{kp}(u_{kp} + z_{kp}) + \sum_{\substack{l=1 \\ x_{lp}\le R_p}}^{L}\sum_{p=1}^{P} h_p(R_p - x_{lp})P(l) + \sum_{\substack{l=1 \\ x_{lp}> R_p}}^{L}\sum_{p=1}^{P} \pi_p(x_{lp} - R_p)P(l) \qquad (۳)$$

با توجه به تابع هدف ارائه شده، تابع هدف Z_1 هزینه‌های دوره‌ای سیستم موجودی را حداقل می‌سازد. این تابع شامل دو بخش است. به نحوی که تابع Z_{11} هزینه‌هایی را در بر

[1] Single-Period Problem (SSP)
[2] Supply Chain Periodical Cost (SCPC)
[3] Buyer's Periodical Cost (BPC)
[4] Suppliers' Periodical Cost (SSPC)
[5] Make to Order

می‌گیرد، که ضریب احتمال وقوع تقاضا بر آن اثر نمی‌گذارد:

$$Min\, Z_{11} = \sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} y_{kp}(A_{kp} + S_{kp}) + q_{kp}(u_{kp} + z_{kp}) \quad (۴)$$

تابع Z_{12} نیز شامل هزینه‌های کمبود و نگهداری است که ضرایب احتمالی تقاضا بر آنها اعمال می‌گردد. این جداسازی و به تبع آن بهینه‌سازی جداگانه این توابع، به دلیل جلوگیری از کاهش اثرگذاری هزینه‌های مهم کمبود و نگهداری در حالت تقاضای احتمالی و تعیین بهینه میزان سفارش محصولات است.

$$Min\, Z_{12} = \sum_{\substack{l=1 \\ x_{lp}\le R_p}}^{L}\sum_{p=1}^{P} h_p(R_p - x_{lp})P(l) + \sum_{\substack{l=1 \\ x_{lp}> R_p}}^{L}\sum_{p=1}^{P} \pi_p(x_{lp} - R_p)P(l) \quad (۵)$$

در نتیجه خواهیم داشت: $Z_1 = Z_{11} + Z_{12}$. محدودیت‌های مدل مذکور نیز به شرح زیر است:

$$\sum_{k=1}^{K} q_{kp} = R_p - I_p \qquad \forall p \quad (۶)$$

$$\min x_{lp} \le I_p + \sum_{k=1}^{K} q_{kp} \le \max x_{lp} \qquad \forall p, l \quad (۷)$$

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K} u_{kp} q_{kp} \le W \quad (۸)$$

$$q_{kp} \le P_{kp} y_{kp} \qquad \forall k, p \quad (۹)$$

$$q_{kp} \ge \varepsilon y_{kp} \qquad \forall k, p \quad (۱۰)$$

$$q_{kp} \ge 0 \;\&\; q_{kp} \in Int \qquad \forall k, p$$

$$y_{kp} \in \{0,1\} \qquad \forall k, p$$

رابطه (۶) نشان می‌دهد، که سطح موجودی پس از سفارش به ازای هر محصول برابر با تمامی مقادیر سفارش داده شده از تأمین‌کنندگان، به علاوه میزان موجودی ابتدای دوره‌ی آن محصول است. رابطه (۷) نشان می‌دهد، که سطح موجودی پس از سفارش در بیشترین مقدار، بایستی برابر بیشینه‌ی تقاضا و در کمترین مقدار، برابر کمینه‌ی تقاضا باشد. رابطه (۸) نشان می‌دهد، که هزینه‌های خرید انواع محصولات و به ازای تأمین‌کنندگان منتخب، نباید از بودجه در دسترس خریدار بیشتر باشد. رابطه (۹) نشان می‌دهد، که میزان سفارش دوره‌ای محصول مورد نظر، به تأمین‌کننده‌ای که انتخاب می‌شود، بایستی کوچکتر یا مساوی ظرفیت تولید آن تأمین‌کننده باشد. رابطه (۱۰) نیز تضمین می‌کند در صورتی که تأمین‌کننده‌ای انتخاب گردید، میزان کالایی تخصیص داده شده به وی به آن برابر صفر نباشد. همچنین، در صورت عدم وجود میزان کالایی برای تخصیص دادن، تأمین‌کننده اضافی انتخاب نگردد.

۳-۲- حداکثرسازی کارایی زنجیره تأمین

اندازه‌گیری کارایی همیشه یکی از مباحث مهم مدیریت بوده و توانمندیهای تحلیل پوششی داده‌ها باعث شده است که در اغلب بخشهای اقتصادی، به عنوان ابزاری مناسب برای ارزیابی مورد استفاده قرار گیرد. در تعیین کارایی، روش‌های متفاوتی وجود دارد که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش تحلیل نسبت و تحلیل مرزی اشاره نمود. روش تحلیل پوششی داده‌ها، نیز یک روش مرزی غیر پارامتریک است، که نیاز به تخمین تابع تولید ندارد [۳۸]. در واقع، تحلیل پوششی داده‌ها یک روش برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری است. در نتیجه، بزرگترین مزیت تحلیل پوششی داده‌ها، توانایی مقایسه چندین واحد تصمیم‌گیرنده از لحاظ چندین معیار است. در واقع، این روش با در نظر گرفتن تعدادی از نسبت‌ها به عنوان ورودی و تعدادی به عنوان خروجی، همه نسبت‌ها را به یک معیار به نام کارایی تبدیل می‌کند، که در نتیجه‌ی آن می‌توان، مقایسه و ارزیابی عملکرد واحدهای تجاری را بهتر انجام داد. این روش، مشکلات وجود قضاوت‌های ذهنی در ماتریس مقایسات زوجی در روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی را که معمولا موجب نگرانی تصمیم گیرندگان می‌شود، دارا نیست. در نتیجه، در این تحقیق تابع هدف حداکثرسازی کارایی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها ارائه خواهد شد. در همین راستا، با توسعه مدل CCR چارنز و همکاران[1] [۳۹]، مدلی برای محاسبه کارایی و انتخاب تأمین‌کنندگان در حالت غیر رقابتی و رقابتی ارائه می‌شود. مدل چارنز و همکاران تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌های کسری برای ارزیابی کارایی هر واحد تصمیم‌گیری[2] (در اینجا تأمین‌کننده) نظیر r به صورت زیر می‌باشد:

[1] Charnes, Cooper & Rhodes

[2] Decision Making Units (DMU)

$$Max\, e_r = \frac{\sum_{j=1}^{J} u_j O_{jr}}{\sum_{i=1}^{I} v_i I_{ir}} \qquad (۱۱)$$

$S.t:$

$$\frac{\sum_{j=1}^{J} u_j O_{jk}}{\sum_{i=1}^{I} v_i I_{ik}} \le 1 \qquad \forall k \qquad (۱۲)$$

$$u_j \ge 0 \qquad \forall j$$

$$v_i \ge 0 \qquad \forall i$$

مدل ذکر شده به مدل CCR با ماهیت ورودی معروف است و تابع هدف آن به دنبال افزایش کارایی یا e_r می‌باشد. اگر $e_r = 1$ باشد واحد تصمیم‌گیری r کاراست و اگر e_r کوچکتر از یک باشد، ناکارای نسبی است. در این حالت، کارایی واحد تصمیم‌گیری با توجه به حداکثر کاهش ممکن ورودی‌های آن به طور همزمان به دست می‌آید. یعنی مدل ورودی محور، سعی در یافتن واحدی مجازی دارد که حداقل خروجی موجود را با کمترین ورودی ممکن تولید کند. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند نسبت مجموع وزنی ستاده‌ها به مجموع وزنی نهاده‌ها نمی‌تواند بزرگتر از ۱ باشد؛ زیرا در این حالت از مجموعه‌ی اوزان ورودی و خروجی غیرمنفی استفاده شده است. با توسعه واحدهای تصمیم‌گیری و در نظر گرفتن کارایی تأمین‌کننده به ازای هر محصول تولیدی می‌توان به مدل ذیل دست یافت:

$$Max\, e_{rp} = \frac{\sum_{j=1}^{J} u_{jp} O_{jrp}}{\sum_{i=1}^{I} v_{ip} I_{irp}} \qquad (۱۳)$$

$S.t:$

$$\frac{\sum_{j=1}^{J} u_{jp} O_{jkp}}{\sum_{i=1}^{I} v_{ip} I_{ikp}} \le 1 \qquad \forall k, p \qquad (۱۴)$$

$$u_{jp} \ge 0 \qquad \forall j$$

$$v_{ip} \ge 0 \qquad \forall i$$

مدل فوق دارای واحد تصمیم‌گیری تأمین‌کننده محصول p ام می باشد. تابع هدف مذکور در رابطه (۱۳) به ازای هر واحد تصمیم‌گیری تکرار می‌شود و عدم کارایی هر واحد تصمیم‌گیری نسبت به مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری کارآمد ناشی از تعریف پوسته محدب، اندازه‌گیری می‌شود. برای حل این مدل برنامه‌ریزی خطی، مخرج تابع هدف به صورت پیش فرض برابر یک قرار داده می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{I} v_{ip} I_{irp} = 1 \qquad (۱۵)$$

در نتیجه محدودیت (۱۴) به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\sum_{j=1}^{J} u_{jp} O_{jkp} - \sum_{i=1}^{I} v_{ip} I_{ikp} \le 0 \qquad \forall k, p \qquad (۱۶)$$

علاوه بر این، یک مورد خاص به نام کارای ضعیف[1] باعث می شود که مدل تحلیل پوششی داده‌ها در عمل اصلاح شود. واحد تصمیم‌گیری خاص ممکن است کارای ضعیف باشد، اگر در راه حل مدل برنامه‌ریزی خطی تحلیل پوششی داده‌ها، نمره کارایی تحلیل پوششی داده‌های آن، یک باشد و یک یا چند وزن آن برابر با صفر گردد؛ اما، در واقع آن واحد در نقاط روی پوسته محدب قرار دارد. برای حل این مشکل، چارنز و همکاران [۳۹]، در فرمول‌بندی تحلیل پوششی داده‌ها، بیان کردند واحدهای تصمیم‌گیری نیاز به وزنی بیشتر از ε (مقدار بینهایت کوچک) دارند، تا اطمینان حاصل شود که واحدهای تصمیم‌گیری ضعیف کارآمد، به عنوان کارآمد طبقه‌بندی نمی‌شوند. بنابراین مدل خطی تحلیل پوششی داده‌ها به صورت زیر اصلاح می گردد:

$$Max\, e_{rp} = \sum_{j=1}^{J} u_{jp} O_{jrp} \qquad (۱۷)$$

$S.t:$

$$\sum_{i=1}^{I} v_{ip} I_{irp} = 1 \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{j=1}^{J} u_{jp} O_{jkp} - \sum_{i=1}^{I} v_{ip} I_{ikp} \le 0 \qquad \forall k, p \qquad (۱۶)$$

$$u_{jp}, v_{ip} \ge \varepsilon \qquad \forall i, j, p$$

در ادامه، برای ترکیب مدل فوق با مسئله انتخاب تأمین‌کننده، ابتدا متغیر d_{rp} جدید را که تحت عنوان سطح ناکارایی واحد تصمیم‌گیری ترکیبی $(d_{rp} = 1 - e_{rp})$

[1] Weakly efficient

تعریف شده در محدودیت (۱۶) اعمال می‌شود:

$$\sum_{j=1}^{J} u_{jp} O_{jrp} - \sum_{i=1}^{I} v_{ip} I_{irp} + d_{rp} = 0 \qquad (۱۸)$$

با تلفیق محدودیت‌های (۱۵) و (۱۸) می‌توان رابطه‌ی ساده شده زیر را به دست آورد:

$$\sum_{j=1}^{J} u_{jp} O_{jrp} + d_{rp} = 1 \qquad (۱۹)$$

حال با استفاده از تغییر متغیر $1 - d_{rp} = e_{rp}$ ، تابع هدف به صورت رابطه (۲۰) تبدیل می‌شود، که میزان کارایی را به ازای هر واحد تصمیم گیری ترکیبی از تأمین‌کننده k ام و محصول p ام بیان می‌کند:

$$Max\, e_{rp} = 1 - d_{rp} \qquad (۲۰)$$

$$S.t:$$

$$\sum_{i=1}^{I} v_{ip} I_{irp} = 1 \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{j=1}^{J} u_{jp} O_{jrp} - \sum_{i=1}^{I} v_{ip} I_{irp} + d_{rp} = 0 \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{j=1}^{J} u_{jp} O_{jrp} + d_{rp} = 1 \qquad (۱۹)$$

$$u_{jp}, v_{ip} \geq \varepsilon \qquad \forall i, j, p$$

$$d_{rp} \geq 0 \qquad \forall r$$

با ترکیب مدل اصلاح شده با مساله انتخاب تأمین‌کننده و وارد نمودن متغیر انتخاب صفر و یک، می‌توان به مدلی دست یافت که دارای تابع هدفی برای محاسبه کل کارایی انتخاب تأمین‌کننده توسط خریدار در محیطی غیر رقابتی است:

$$Max\, Z_2 = \sum_{p=1}^{P} \sum_{k=1}^{K} (1 - d_{kp}) \qquad (۲۱)$$

$$S.t:$$

$$\sum_{i=1}^{I} V_{kpi} I_{ikp} = y_{kp} \qquad \forall k, p \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{j=1}^{J} U_{kpj} O_{jkp} + d_{kp} = y_{kp} \qquad \forall k, p \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{j=1}^{J} U_{kpj} O_{jzq} - \sum_{i=1}^{I} V_{kpi} I_{izq} \leq 0 \qquad (۲۴)$$

$$\forall k, \forall z (k \neq z), \forall p, \forall q (p \neq q)$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_{kp} \leq N_p \qquad \forall p \qquad (۲۵)$$

$$U_{kpj} \geq \varepsilon y_{kp} \qquad \forall j, k, p \qquad (۲۶)$$

$$V_{kpi} \geq \varepsilon y_{kp} \qquad \forall i, k, p \qquad (۲۷)$$

$$U_{kpj} O_{jkp} \leq y_{kp} \qquad \forall j, k, p \qquad (۲۸)$$

$$d_{kp} \geq 0 \qquad \forall k$$

$$y_{kp} \in \{0,1\} \qquad \forall k$$

تابع هدف (۲۱)، مجموع کارایی را به ازای هر تأمین‌کننده و محصول به حداکثر می‌رساند و اجازه می‌دهد تا برای دستیابی به جواب بهینه، تحلیل پوششی داده‌ها به طور همزمان برای همه واحدهای تصمیم‌گیری اجرا شود. رابطه (۲۲) تضمین می‌کند، که مجموع موزون ورودی‌های هر واحد تصمیم‌گیر (ترکیبی از تأمین‌کننده k و محصول p) برابر با متغیر صفر و یک باشد. رابطه (۲۳)، میزان عدم کارایی را به ازای مجموع موزون خروجی‌های هر واحد تصمیم گیر نشان می‌دهد و بایستی برای تمام واحدهای تصمیم گیر لحاظ شود. رابطه (۲۴) نشان می‌دهد، که مجموع موزون خروجی‌ها، بایستی کمتر از مجموع موزون ورودی‌های متناظر خودش باشد. رابطه (۲۵) تضمین می‌کند، که حداکثر N_p تأمین‌کننده به ازای هر محصول انتخاب شوند. این محدودیت، زمانی که بتوان با انتخاب تعداد کمتری تأمین‌کننده، بهینه‌سازی توابع هدف را انجام داد، مؤثر است. در حالتی دیگر و طبق سیاست مدیریت مبنی بر تخصیص سفارش به تعداد خاصی تأمین‌کننده، می‌توان این رابطه را تنها به صورت مساوی در نظرگرفت. این حالت ضامن انتخاب دقیقا N_p تأمین‌کننده مختلف توسط خریدارست. در این حالت امکان دارد، مفهوم بهینه‌سازی هزینه به طور کامل مورد اجرا قرا نگیرد. روابط (۲۶) و (۲۷) تضمین می‌کنند، که وزن ورودی‌ها و خرووجی‌ها غیر منفی باشند. رابطه (۲۸) نیز تضمین می‌کند، که خروجی موزون برای هر تأمین‌کننده و هر نوع خروجی، کمتر یا مساوی با ۱ باشد. در روابط ذکر شده، y_{kp} متغیری صفر و یک، q_{kp} متغیری عدد صحیح و بزرگتر یا مساوی صفر و d_{kp} متغیری حقیقی و بزرگتر یا مساوی صفر است.

در طرف مقابل در این بخش، برای ایجاد یک فضای رقابتی بین تأمین‌کنندگان از تئوری بازی‌ها بهره گرفته می‌شود،

که به طور گسترده به آنالیز مسائل تصمیم‌گیری چند عاملی در حالت تضاد و همکاری می‌پردازد. بنابراین در این تحقیق، برای نمایش دادن حالت رقابتی از بازی چانه‌زنی نش که در دسته بازی‌های تعاونی قرار دارد، استفاده می‌شود. در این بازی، عوامل (تأمین‌کنندگان) در یک رقابت برای جستجوی راه‌حل‌های بهینه تلاش می‌کنند. در همین راستا، نش [۴۰] یک راه حل چانه‌زنی را ارائه نمود که بهینه پارتو برای بازی چانه‌زنی است. به طور کلی جواب نش یک وضعیت چانه‌زنی، توافقی است که طی آن حاصل ضرب مطلوبت افراد، بیشینه می‌شود. مدل نش مستلزم مجموعه‌ای امکان پذیر است که متراکم[1]، محدب و شامل برخی از بردارهای نتیجه باشد؛ به طوری که هر نتیجه فردی حاصل شده، از نتیجه حاصل از نقطه شکست فرد بیشتر باشد. برای مسأله چانه‌زنی سنتی، نش [۴۰] نشان داده است که یک راه حل منحصر به فرد به نام راه حل نش وجود دارد، که شرایط چهارگانه تغییرناپذیری[2]، بهینگی پارتو[3]، استقلال از راه‌های بی‌ربط[4] و تقارن[5] را ارضا می‌نماید و می‌توان با حل مسأله حداکثرسازی زیر به آن دست یافت:

$$\underset{\vec{u}\in S,\vec{u}\geq\vec{b}}{Max}\prod_{i=1}^{2}(u_i-b_i) \qquad (۲۹)$$

تابع مذکور در رابطه (۲۸) به راه حل نش می‌رسد، زمانی که مطلوبیت بازیکنان یعنی u از مجموعه استراتژی‌ها یعنی S قابل دستیابی باشد. همچنین، مطلوبیت‌های حاصل شده بایستی بزرگتر یا مساوی مقدار حداقل مطلوبیت بازیکنان یعنی b باشد. در حال حاضر، با ترکیب روش تحلیل پوششی دادها با مفهوم چانه‌زنی نش و در نظر گرفتن حداقل کارایی موردنیاز برای هر محصول (E_p)، مدل زیر برای انتخاب تأمین‌کننده و دستیابی به حد کارایی خریدار ارائه میگردد:

$$Max\, Z_2^C=\sum_{p=1}^{P}\prod_{k=1}^{K}\left((1-d_{kp})-E_p\right) \qquad (۳۰)$$

$$S.t:$$

$$1-d_{kp}\geq E_p \qquad \forall k,p \qquad (۳۱)$$

$$\sum_{i=1}^{I}V_{kpi}I_{ikp}=y_{kp} \qquad \forall k,p \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{j=1}^{J}U_{kpj}O_{jkp}+d_{kp}=y_{kp} \qquad \forall k,p \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{j=1}^{J}U_{kpj}O_{jzq}-\sum_{i=1}^{I}V_{kpi}I_{izq}\leq 0 \qquad (۲۴)$$
$$\forall k,\forall z(k\neq z),\forall p,\forall q(p\neq q)$$

$$\sum_{k=1}^{K}y_{kp}\leq N_p \qquad \forall p \qquad (۲۵)$$

$$U_{kpj}\geq \varepsilon y_{kp} \qquad \forall j,k,p \qquad (۲۶)$$

$$V_{kpi}\geq \varepsilon y_{kp} \qquad \forall i,k,p \qquad (۲۷)$$

$$U_{kpj}O_{jkp}\leq y_{kp} \qquad \forall j,k,p \qquad (۲۸)$$

$$d_{kp}\geq 0 \qquad \forall k$$

$$y_{kp}\in\{0,1\} \qquad \forall k$$

تابع هدف ذکر شده در رابطه (۳۰) با ایجاد رقابت بین تأمین‌کنندگان و به ازای هر محصول به دنبال انتخاب تأمین‌کنندگان کاراتر و ارائه دهنده محصولات بهتر هستند. محدودیت (۳۱) نشان می‌دهد که تأمین‌کنندگانی مورد انتخاب خریدار قرار می‌گیرند، که حداقل کارایی قابل قبول را به ازای محصول انتخابی دارا باشند. محدودیت‌های (۲۲) الی (۲۸) نیز در مدل قبل شرح داده شده است.

۳-۳- مدل‌های پیشنهادی نهایی

همان‌طور که مشخص است، تابع هدف Z_1 در تضاد با توابع Z_2 و Z_2^C عمل می‌کنند و بهینه‌سازی یک تابع هدف در یک زمان، منجر به انحراف از جواب بهینه در تابع هدف دیگر می‌شود. در نتیجه، برای بهینه‌سازی همزمان توابع، از روش معیار جامع برای یافتن سازشی در بین اهداف استفاده می‌شود. به نحوی که مجموع انحراف نسبی تمام اهداف از ارزش‌های مطلوب (Z_i^*) خود را کمینه سازد. در نتیجه، روش معیارجامع توسعه یافته در رابطه (۳۲) برای توابع Z_1 و Z_2 و رابطه (۳۳) برای توابع Z_1 و Z_2^C بیان میشود:

$$Min\, Z=w_{11}\times\frac{z_{11}-z_{11}^{*}}{z_{11}^{*}}+ w_{12}\times\frac{z_{12}-z_{12}^{*}}{z_{12}^{*}}+w_2\times\frac{z_2^{*}-z_2}{z_2^{*}} \qquad (۳۲)$$

$$Min\, Z^C=w_{11}\times\frac{z_{11}-z_{11}^{*}}{z_{11}^{*}}+$$

[1] Compact
[2] Invariance
[3] Pareto Efficiency (PE)
[4] Independence of Irrelevant Alternatives (IIA)
[5] Symmetry

$$w_{12} \times \frac{z_{12} - z_{12}^{*}}{z_{12}^{*}} + w_2 \times \frac{z_2^{C*} - z_2^{C}}{z_2^{C*}} \qquad (۳۳)$$

در این روش، برای در نظر گرفتن نظر تصمیم‌گیرنده[1]، وزن‌های متفاوت w_i (با فرض مجموع یک) به توابع هدف اختصاص داده شده است. با این رویکرد، اگر مدیریت وزن بالاتری به یک تابع هدف بدهد، جواب به دست آمده در حالت بهینه‌سازی همزمان، به جواب بهینه تابع مورد نظر نزدیک‌تر است. در روابطه (۳۲) و (۳۳)، ابتدا مقادیر بهینه هر یک از توابع هدف (Z_i^*) مستقل از دیگری و با در نظر گرفتن تمامی محدودیت‌های مسأله، محاسبه شده و تابع هدف جدیدی طبق آن‌چه در روابط مذکور نشان داده شده است، ایجاد می‌گردد. با حل مجدد مدل، شامل تابع هدف جدید و محدودیت‌های اولیه‌ی مدل، مقادیر بهینه نسبی هر یک از توابع هدف نیز به دست می‌آید. در نهایت، مدل ترکیبی پیشنهادی در شرایط غیر رقابتی (Z) و رقابتی (Z^C) به شرح زیر ارائه می‌شود:

$$Min\, Z = w_{11} \times \frac{\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} y_{kp}(A_{kp}+S_{kp}) + q_{kp}(u_{kp}+z_{kp})\right) - z_{11}^{*}}{z_{11}^{*}} +$$
$$w_{12} \times \frac{\left(\sum_{\substack{l=1 \\ x_{lp}\le R_p}}^{L}\sum_{p=1}^{P} h_p(R_p - x_{lp})P(l) + \sum_{\substack{l=1 \\ x_{lp}> R_p}}^{L}\sum_{p=1}^{P} \pi_p(x_{lp} - R_p)P(l)\right) - z_{12}^{*}}{z_{12}^{*}} + w_2 \times \frac{z_2^{*} - \left(\sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}(1-d_{kp})\right)}{z_2^{*}}$$

$$S.t:$$

$\sum_{k=1}^{K} q_{kp} = R_p - I_p \quad \forall p$	$\min x_{lp} \le I_p + \sum_{k=1}^{K} q_{kp} \le \max x_{lp} \quad \forall p,l$	
$\sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K} u_{kp} q_{kp} \le W$	$q_{kp} \le P_{kp} y_{kp} \quad \forall k,p$	$q_{kp} \ge \varepsilon y_{kp} \quad \forall k,p$
$\sum_{i=1}^{I} V_{kpi} I_{ikp} = y_{kp} \quad \forall k,p$	$\sum_{j=1}^{J} U_{kpj} O_{jkp} + d_{kp} = y_{kp} \quad \forall k,p$	
$\sum_{j=1}^{J} U_{kpj} O_{jzq} - \sum_{i=1}^{I} V_{kpi} I_{izq} \le 0 \quad \forall k, \forall z(k \ne z), \forall p, \forall q(p \ne q)$		$\sum_{k=1}^{K} y_{kp} \le N_p \quad \forall p$
$U_{kpj} \ge \varepsilon y_{kp} \quad \forall j,k,p$	$V_{kpi} \ge \varepsilon y_{kp} \quad \forall i,k,p$	
$U_{kpj} O_{jkp} \le y_{kp} \quad \forall j,k,p$	$d_{kp} \ge 0 \quad \forall k$	$y_{kp} \in \{0,1\} \quad \forall k$

$$Min\, Z^C = w_{11} \times \frac{\left(\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} y_{kp}(A_{kp}+S_{kp}) + q_{kp}(u_{kp}+z_{kp})\right) - z_{11}^{*}}{z_{11}^{*}} +$$
$$w_{12} \times \frac{\left(\sum_{\substack{l=1 \\ x_{lp}\le R_p}}^{L}\sum_{p=1}^{P} h_p(R_p - x_{lp})P(l) + \sum_{\substack{l=1 \\ x_{lp}> R_p}}^{L}\sum_{p=1}^{P} \pi_p(x_{lp} - R_p)P(l)\right) - z_{12}^{*}}{z_{12}^{*}} + w_2^{C} \times \frac{z_2^{C*} - \left(\sum_{p=1}^{P}\prod_{k=1}^{K}\left((1-d_{kp}) - E_p\right)\right)}{z_2^{C*}}$$

$$S.t:$$

$1 - d_{kp} \ge E_p \quad \forall k,p$	$\sum_{k=1}^{K} q_{kp} = R_p - I_p \quad \forall p$	
$\min x_{lp} \le I_p + \sum_{k=1}^{K} q_{kp} \le \max x_{lp} \quad \forall p,l$	$\sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K} u_{kp} q_{kp} \le W$	$q_{kp} \le P_{kp} y_{kp} \quad \forall k,p$

[1] Decision Maker (DM)

$q_{kp} \geq \varepsilon y_{kp} \quad \forall k,p$	$\sum_{i=1}^{I} V_{kpi} I_{ikp} = y_{kp} \quad \forall k,p$	
$\sum_{j=1}^{J} U_{kpj} O_{jkp} + d_{kp} = y_{kp} \quad \forall k,p$	$\sum_{j=1}^{J} U_{kpj} O_{jzq} - \sum_{i=1}^{I} V_{kpi} I_{izq} \leq 0 \quad \forall k, \forall z(k \neq z), \forall p, \forall q(p \neq q)$	
$\sum_{k=1}^{K} y_{kp} \leq N_p \quad \forall p$	$U_{kpj} \geq \varepsilon y_{kp} \quad \forall j,k,p$	$V_{kpi} \geq \varepsilon y_{kp} \quad \forall i,k,p$
$U_{kpj} O_{jkp} \leq y_{kp} \quad \forall j,k,p$	$d_{kp} \geq 0 \quad \forall k$	$y_{kp} \in \{0,1\} \quad \forall k$

۴- مثال عددی و تجزیه و تحلیل نتایج

در این بخش، برای بررسی عملکرد مدل‌های پیشنهادی و مقایسه دو حالت رقابتی و غیر رقابتی، مسأله‌ای با گردآوری داده‌ها از تحقیقات پیشین مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مسأله فرض بر این است، ۱۰ تأمین‌کننده کاندیدا به ازای پنج محصول مورد نیاز خریدار وجود دارد و خریدار بر اساس تقاضای احتمالی، درصدد انتخاب تأمین‌کنندگانی کارا مطابق با معیارهای مدیریتی موجود است. انتخابی که هزینه‌های زنجیره‌تأمین را حداقل نموده و تقاضای خریدار را به صورت مطلوب تأمین کند. همچنین، برای هر تأمین‌کننده کاندیدا و به ازای هر محصول تولیدی، یک ورودی (عامل نامطلوب) و دو خروجی (عوامل مطلوب) به منظور سنجش کارایی در نظر گرفته شده است. بنابراین، هزینه‌های ناشی از حمل‌ونقل محموله به عنوان ورودی و تعداد محموله‌های تحویل به موقع و اطمینان از ارائه محصولات با کیفیت توسط تأمین‌کنندگانبه ترتیب به عنوان خروجی ملموس و غیر ملموس تعریف شده است. مقادیر تقاضای هر محصول به ازای هر سناریو، داده‌های خریدار و تأمین‌کنندگان به ترتیب در جداول ۳ الی ۵ و با استناد به تحقیق [۷] و شبیه‌سازی داده‌ها به دست آمده است. همچنین، داده‌های مربوط به ورودی و خرووجی‌های هر تأمین‌کننده کاندیدا به ازای هر محصول در جدول ۶ و با استناد به تحقیق [۲۰] و توسعه این داده‌ها برای پنج محصول تهیه شده است.

در ابتدا، با بهینه‌سازی توابع هدف توسط نرم افزار لینگو ۱۴,۰، نتایج حاصل از بهینه‌سازی مستقل آن‌ها مورد محاسبه قرار گرفته، تا در روش معیار جامع و بهینه‌سازی همزمان توابع هدف مورد استفاده قرار گیرد. مقادیر مستقل توابع هدف در شرایط غیر رقابتی و رقابتی محاسبه شده و در جدول ۷ ذکر گردیده است. برای مثال، می‌توان حالتی را در نظر گرفت، که در آن، اهمیتی به هزینه‌های کمبود و نگهداری خریدار و کارایی انتخاب داده نمی‌شود؛ یعنی:

- در شرایط غیر رقابتی

$(W_{11}, W_{12}, W_2) = (۱, ۰, ۰)$

- در شرایط رقابتی

$(W_{11}, W_{12}, W_2^c) = (۱, ۰, ۰)$

جدول ۳: مقادیر تقاضای هر محصول به ازای هر حالت(سناریو)

محصول / سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	احتمال وقوع
۱	۸۰۰	۱۳۰۰	۱۸۰۰	۲۳۰۰	۲۸۰۰	۰,۱۵
۲	۸۵۰	۱۳۵۰	۱۸۵۰	۲۳۵۰	۲۸۵۰	۰,۲۰
۳	۹۰۰	۱۴۰۰	۱۹۰۰	۲۴۰۰	۲۹۰۰	۰,۲۵
۴	۹۵۰	۱۴۵۰	۱۹۵۰	۲۴۵۰	۲۹۵۰	۰,۱۵
۵	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۰,۲۵

جدول ۴: داده‌های مرتبط با خریدار

پارامتر / محصول	۱	۲	۳	۴	۵
h_p	۱	۲	۳	۴	۵
π_p	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
I_p	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰
N_p	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
E_p	۰,۷۰	۰,۶۵	۰,۶۰	۰,۵۵	۰,۵۰
W	۳۰۰۰۰۰				

جدول ۵: داده‌های مرتبط با تأمین‌کنندگان

پارامتر	تأمین کننده / محصول	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
u_{kp}	۱	۲۰	۲۱	۲۲	۲۵	۲۳	۲۴	۲۸	۲۸	۲۶	۲۶
	۲	۲۵	۲۶	۲۷	۳۰	۲۸	۲۹	۳۳	۳۳	۳۱	۳۱
	۳	۳۰	۳۱	۳۲	۳۵	۳۳	۳۴	۳۸	۳۸	۳۶	۳۶
	۴	۳۵	۳۶	۳۷	۴۰	۳۸	۳۹	۴۳	۴۳	۴۱	۴۱
	۵	۴۰	۴۱	۴۲	۴۵	۴۳	۴۴	۴۸	۴۸	۴۶	۴۶
A_{kp}	۱	۲۰	۳۰	۴۰	۲۵	۳۰	۲۰	۳۵	۴۰	۳۰	۳۰
	۲	۲۰	۳۰	۴۰	۲۵	۳۰	۲۰	۳۵	۴۰	۳۰	۳۰
	۳	۲۰	۳۰	۴۰	۲۵	۳۰	۲۰	۳۵	۴۰	۳۰	۳۰
	۴	۲۰	۳۰	۴۰	۲۵	۳۰	۲۰	۳۵	۴۰	۳۰	۳۰
	۵	۲۰	۳۰	۴۰	۲۵	۳۰	۲۰	۳۵	۴۰	۳۰	۳۰
z_{kp}	۱	۱۰	۱۰,۵	۱۱	۱۲,۵	۱۱,۵	۱۲	۱۴	۱۴	۱۳	۱۳
	۲	۱۲	۱۲,۵	۱۳	۱۴,۵	۱۳,۵	۱۴	۱۶	۱۶	۱۵	۱۵
	۳	۱۴	۱۴,۵	۱۵	۱۶,۵	۱۵,۵	۱۶	۱۸	۱۸	۱۷	۱۷
	۴	۱۶	۱۶,۵	۱۷	۱۸,۵	۱۷,۵	۱۸	۲۰	۲۰	۱۹	۱۹
	۵	۱۸	۱۸,۵	۱۹	۲۰,۵	۱۹,۵	۲۰	۲۲	۲۲	۲۱	۲۱
S_{kp}	۱	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۹۵	۱۰۰	۷۵	۱۲۵	۱۱۰	۱۰۰	۱۷۵
	۲	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۹۵	۱۰۰	۷۵	۱۲۵	۱۱۰	۱۰۰	۱۷۵
	۳	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۹۵	۱۰۰	۷۵	۱۲۵	۱۱۰	۱۰۰	۱۷۵
	۴	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۹۵	۱۰۰	۷۵	۱۲۵	۱۱۰	۱۰۰	۱۷۵
	۵	۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۹۵	۱۰۰	۷۵	۱۲۵	۱۱۰	۱۰۰	۱۷۵
P_{kp}	۱	۲۵۰	۳۰۰	۴۰۰	۴۷۵	۴۰۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۰۰	۳۵۰	۴۷۰
	۲	۲۲۰	۲۸۰	۳۸۰	۴۵۰	۳۸۰	۳۲۰	۲۳۰	۳۸۰	۳۸۰	۴۸۰
	۳	۲۰۰	۲۶۰	۳۶۰	۴۳۰	۳۶۰	۴۰۰	۴۱۰	۳۶۰	۳۶۰	۳۶۰
	۴	۱۸۰	۲۴۰	۳۴۰	۴۱۰	۳۹۰	۳۸۰	۳۹۰	۴۴۰	۳۴۰	۵۴۰
	۵	۱۶۰	۲۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۳۲۰	۴۶۰	۳۷۰	۳۲۰	۳۲۰	۵۲۰

جدول ۶: ورودی و خروجی‌های هر تأمین کننده به ازای هر محصول

معیار ارزیابی	تأمین کننده / محصول	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
ورودی اول ($i=1$)	۱	۲۴۳	۲۵۸	۲۴۹	۱۷۰	۲۴۷	۲۳۸	۲۶۲	۳۲۰	۳۱۷	۳۲۰
	۲	۲۴۸	۲۶۳	۲۵۴	۱۷۵	۲۵۲	۲۴۳	۲۶۷	۳۲۵	۳۲۲	۳۲۵
	۳	۲۵۳	۲۶۸	۲۵۹	۱۸۰	۲۵۷	۲۴۸	۲۷۲	۳۳۰	۳۲۷	۳۳۰
	۴	۲۵۸	۲۷۳	۲۶۴	۱۵۸	۲۶۲	۲۵۳	۲۷۷	۳۳۵	۳۳۲	۳۳۵
	۵	۲۶۳	۲۷۸	۲۶۹	۱۹۰	۲۶۷	۲۵۸	۲۸۲	۳۴۰	۳۳۷	۳۴۰
خروجی اول ($j=1$)	۱	۱۸۵	۱۹۲	۲۱۸	۱۵۸	۲۰۲	۱۹۰	۱۹۲	۱۹۳	۱۹۸	۱۶۹
	۲	۱۸۶	۱۹۳	۲۱۹	۱۵۹	۲۰۳	۱۹۱	۱۹۳	۱۹۴	۱۹۹	۱۷۰
	۳	۱۸۷	۱۹۴	۲۲۰	۱۶۰	۲۰۴	۱۹۲	۱۹۴	۱۹۵	۲۰۰	۱۷۱
	۴	۱۸۸	۱۹۵	۲۲۱	۱۶۱	۲۰۵	۱۹۳	۱۹۵	۱۹۶	۲۰۱	۱۷۲
	۵	۱۸۹	۱۹۶	۲۲۲	۱۶۲	۲۰۶	۱۹۴	۱۹۶	۱۹۷	۲۰۲	۱۷۳
خروجی دوم ($j=2$)	۱	۸۸	۷۸	۶۸	۶۸	۶۸	۷۸	۸۸	۵۸	۶۸	۵۸
	۲	۸۹	۷۹	۶۹	۶۹	۶۹	۷۹	۸۹	۵۹	۶۹	۵۹
	۳	۹۰	۸۰	۷۰	۷۰	۷۰	۸۰	۹۰	۶۰	۷۰	۶۰
	۴	۹۱	۸۱	۷۱	۷۱	۷۱	۸۱	۹۱	۶۱	۷۱	۶۱
	۵	۹۲	۸۲	۷۲	۷۲	۷۲	۸۲	۹۲	۶۲	۷۲	۶۲

جدول ۷: بهینه‌سازی مستقل و همزمان توابع هدف در حالت برابری اوزان

تابع هدف / مجموعه وزنی	Z_{11}	Z_{12}	Z_2	Z_2^C
(۰,۰,۱)	۴۳۱۷۱۰	۵۹۱۲.۵	۲۲.۷۶۰۴۰	۰.۵۱۵۹۳۰۵×۱۰^{-۲}
(۱,۰,۰)	۴۴۳۰۵۱	۳۸۸۹.۴	۲۱.۷۸۷۴۰	۰.۷۰۳۸۲۶۹×۱۰^{-۳}
(۰,۱,۰)	۴۴۲۵۸۵	۵۹۱۲.۵	۴۷.۲۶۱۶۸	۰.۴۸۹۳۵۹۰×۱۰^{-۱}
$w_{11}=w_{12}=w_2$	۴۴۳۰۴۰	۳۸۹۱.۱	۴۵.۶۳۲۱۸	۰.۶۸۲۹۰۵۲×۱۰^{-۲}
$w_{11}=w_{12}=w_2^c$	۴۴۲۷۷۸	۴۶۲۵.۳	۴۶.۴۸۵۸۴	۰.۲۰۴۴۸۷۲×۱۰^{-۱}

جدول ۸: مقایسه حالت غیررقابتی و رقابتی تأمین‌کنندگان

تابع هدف / مجموعه وزنی	Z_2^C (حالت رقابتی)	Z_2^C بر حسب Z_2 (حالت رقابتی)	Z_2 (حالت غیررقابتی)	بهبود کارایی $(\frac{Z_2^C - Z_2}{Z_2}\times ۱۰۰)$
$w_{11}=w_{12}=w_2$	–	–	۴۵.۶۳۲۱۸	۱.۸۷
$w_{11}=w_{12}=w_2^c$	۰.۲۰۴۴۸۷۲×۱۰^{-۱}	۴۶.۴۸۵۸۴	–	

جدول ۹: برنامه سفارشات به ازای هر محصول و تأمین‌کننده در حالت برابری اوزان توابع هدف

تأمین‌کننده / محصول	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	موجودی اولیه	سطح موجودی پس از سفارش
۱	۲۵۰	۳۰۰	۲۹۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۰	۸۹۹
	۲۵۰	۰	۲۸۸	۰	۰	۲۷۷	۰	۰	۰	۰	۵۰	۸۶۵
۲	۲۲۰	۲۸۰	۳۸۰	۰	۳۶۴	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۳۵۰
	۲۸۱	۲۸۰	۳۸۰	۳۷۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱۳۴۸
۳	۲۰۰	۲۶۰	۳۶۰	۱۲۰	۳۶۰	۴۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۵۰	۱۸۵۰
	۲۰۰	۰	۳۶۰	۳۷۹	۳۶۰	۴۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۵۰	۱۸۴۹
۴	۱۸۰	۲۴۰	۳۴۰	۴۱۰	۴۹۰	۳۸۰	۰	۰	۱۰۹	۰	۲۰۰	۲۳۴۹
	۱۸۰	۲۴۰	۳۴۰	۴۰۹	۴۹۰	۳۸۰	۶۱	۰	۰	۰	۲۰۰	۲۳۰۰
۵	۱۶۰	۲۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۴۲۰	۴۶۰	۰	۰	۴۲۰	۱۶۵	۲۵۰	۲۸۰۵
	۱۶۰	۲۲۰	۳۲۰	۳۹۰	۴۲۰	۴۶۰	۱۶۰	۰	۴۲۰	۰	۲۵۰	۲۸۰۰

بنابراین، مقدار ذکر شده برای تابع Z_{11} ، مقدار بهینه و سایر اعداد موجود در این سطر، مقادیر نسبی توابع Z_{12} و Z_2 یا Z_2^c می‌باشد. همچنین، میزان توابع هدف در هر دو حالت غیررقابتی و رقابتی با فرض این که مدیریت به اندازه یکسان به دو مفهوم هزینه و کارایی (برابری اوزان) اهمیت می‌دهد، محاسبه گردیده و در جدول ۷ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۷، میزان کارایی در دو حالت غیر رقابتی و رقابتی به راحتی قابل مقایسه نیست. برای سهولت این امر، میزان کارایی Z_2^c بر اساس کارایی Z_2 در جدول ۸ مورد محاسبه قرار می‌گیرد تا میزان تغییرات کارایی در شرایط رقابتی نسبت به شرایط غیر رقابتی بررسی گردد. با بررسی این شرایط، مشاهده می‌شود که کارایی در شرایط رقابتی به دلیل این که تأمین‌کنندگان به دنبال انعقاد قرارداد با خریدار و رقابت برای فروش محصولات خود هستند، بیشتر از حالت غیررقابتی است. در واقع، تأمین‌کنندگان بایستی کارایی خود را در رقابت با سایرین و با توجه به معیارهای مد نظر خریدار نظیر کیفیت و زمان تحویل افزایش دهند؛ زیرا خریدار، محصولاتی را مورد خرید قرار می‌دهد که دارای کارایی بیشتری از پایین‌ترین حد کارایی مد نظر وی باشند.

از سوی دیگر، در مثال عددی حل شده، مقدار نسبی تابع Z_{12} در حالت غیررقابتی، نزدیک به مقدار بهینه این تابع گردیده و این امر نشان می‌دهد، که مدل به دنبال جلوگیری از تحمیل هزینه‌های اضافی کمبود یا نگهداری به سیستم است. در این حالت مدل، مقدار موجودی پس از سفارش را به تقاضاهایی که احتمال وقوع بالاتری دارند نزدیک می‌نماید. از سوی دیگر، افزایش نرخ کمبود محصولات در مقایسه با نرخ نگهداری، باعث می‌شود نقطه سفارش خریدار برای هر محصول، با هدف جلوگیری از کاهش اعتبار در بازار بالا رود. در نتیجه، میزان سفارشات خریدار از بین تأمین‌کنندگان کاندیدا با توجه به رابطه (۶) افزایش خواهد یافت. در طرف مقابل در حالت رقابتی، میزان نسبی تابع Z_{12} بیشتر از حالت غیر رقابتی شده است. این افزایش هزینه به دلیل افزایش کارایی در راستای رقابت بین تأمین‌کنندگان می‌باشد. در نتیجه، در این حالت و بهینه‌سازی همزمان توابع، میزان کارایی به مقدار بهینه خود نزدیکتر شده و میزان هزینه یعنی توابع Z_{11} و Z_{12} از میزان بهینه خود دورتر می‌شوند. به بیان دیگر، برای افزایش کارایی بایستی هزینه‌هایی زنجیره افزایش یابد تا توازن اهداف حفظ گردد.

همچنین در شرایط رقابتی، میزان کارایی در حالت برابری اوزان با ۱,۸۷درصد افزایش نسبت به حالت غیررقابتی رو به رو شده است. این افزایش کارایی به دلیل ایجاد شرایط رقابتی بین تأمین‌کنندگان رخ داده است. همچنین، افزایش کارایی باعث گردیده است که زنجیره‌تأمین برای انتخاب محصولات با کارایی بالاتر، هزینه‌های به میزان تقریبا ۰,۱۱

درصد بیشتر نسبت به حالت غیررقابتی را متحمل شود:

= اضافه هزینه نسبت به حالت غیر رقابتی

$$([(Z_{11}+Z_{12})^{C}-(Z_{11}+Z_{12})]\times 100)\ /\ (Z_{11}+Z_{12})$$

$$=([(۴۴۲۷۷۸+۴۶۲۵.۳)^{C}-(۴۴۳۰۴۰+۳۸۹۱.۱)]$$

$$\times ۱۰۰)\ /\ (۴۴۳۰۴۰+۳۸۹۱.۱)\simeq ۰.۱۱$$

در ادامه و با در نظر گرفتن سناریوی برابری اوزان، برنامه سفارشات خریدار در هر دو حالت مورد بررسی، در جدول ۹ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۹ نیز مشخص می‌گردد در شرایط رقابتی (سطر دوم)، سطح موجودی پس از سفارش به ازای تمامی محصولات نسبت به حالت غیر رقابتی (سطر اول) کاهش یافته است. دلیل این موضوع، اثرگذاری بالای تابع کارایی و اثرگذاری اندک مفهوم هزینه با وجود محدودیت حداقل کارایی مورد نیاز است. در واقع می‌توان گفت در شرایط رقابتی، تأمین‌کنندگان منتخب به دلیل ظرفیت کمتر، قادر به تأمین مقادیر بالاتر نیستند، یا تأمین‌کنندگان منتخب در حالت غیررقابتی به دلیل دارا نبودن حد کارایی قابل قبول، در شرایط رقابتی انتخاب نمی‌شوند.

در جمع بندی نتایج مشخص می‌گردد که با در نظر گرفتن شرایط رقابتی در اغلب زنجیره‌های تأمین مختلف، بایستی تأمین‌کنندگان برای افزایش فروش خود، انتظارات خریدار را تا حد قابل قبولی تأمین نمایند. این انتظارات می‌تواند شامل کیفیت مناسب کالا و نرخ تحویل به موقع کالا و مواردی از این قبیل باشند که در این تحقیق، در مفهومی به معنای کارایی گنجانده شده است. بنابراین همانطور که مقایسه میان شرایط رقابتی و غیر رقابتی نشان داد، تأمین‌کنندگان برای دریافت سفارش از خریدار، ملزم به کسب حداقل کارایی یا همان تأمین حداقل انتظارات خریدار هستند؛ اما لازم به ذکر است که با دستیابی تأمین‌کنندگان به حداقل کارایی، رقابت آن‌ها بر موضوع برتری یافتن و افزایش کارایی نسبت به سایرین انجام می‌شود. به نحوی که تأمین‌کنندگان میزان کارایی خود را تا حدی افزایش می‌دهند تا کارایی تأمین‌کنندگان منتخب به ازای تمامی محصولات بیشینه گردد. در نتیجه، خریدار با ایجاد یک فضای رقابتی متناسب با شرایط بازار در میان تأمین‌کنندگان کاندیدا، می‌تواند به حد مطلوب کارایی انتخاب دست یابد. این موضوع منجر به انتخاب مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان کارا می شود تا خریدار اطمینان بیشتری از حفظ سهم بازار خود داشته باشد. تأمین‌کنندگان منتخبی که با توجه به بهینه‌سازی همزمان کارایی و هزینه‌های زنجیره‌تأمین، علاوه بر میزان کارایی مناسب می‌توانند هزینه‌های زنجیره‌تأمین به ویژه هزینه‌های موجودی را متناسب با تقاضای بازار، در حد قابل قبولی کاهش دهند.

به طورکلی، با توجه به مدل‌های ارائه شده در این تحقیق می‌توان گفت، با افزایش وزن و اهمیت دادن به یک تابع خاص در این مدل‌ها، جواب حاصل به سمت مقدار بهینه آن تابع نزدیک می‌گردد. این موضوع نشانگر این است که در فرآیند انتخاب و تخصیص سفارش، تمامی توابع اثرگذار هستند و مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها و هماهنگی خریدار و چند فروشنده به طور همزمان در هر شرایطی مورد اجرا قرار می‌گیرند. با بررسی نتایج حاصل از مدل‌های این تحقیق، مشخص می‌شود که تغییر در میزان موجودی پس از سفارش یا R_p ناشی از بهینه‌سازی همزمان توابع مختلف (با اهمیت متفاوت) با توجه به مواردی نظیر: تغییر در شرایط بازار (رقابتی یا غیررقابتی)، تغییر در تعداد تأمین‌کنندگان منتخب به ازای هر محصول، تغییر در فهرست تأمین‌کنندگان منتخب به ازای هر محصول و تغییر در میزان سفارشات تخصیص داده شده به تأمین‌کنندگان منتخب به ازای هر محصول صورت می‌پذیرد؛ که تمامی موارد ذکر شده مثالی از دنیای واقعی را نمایش می‌دهند. همچنین، با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل در سناریوهای مختلف و در شرایط رقابتی یا غیررقابتی مشخص می‌گردد، تأمین‌کنندگانی مورد انتخاب قرار می‌گیرند که همزمان هم کارایی بالایی داشته باشند و هم توان تأمین سفارش خریدار را با هزینه‌های کمتر داشته باشند. بنابراین، میزان سفارشات در طول دوره به گونه‌ای تعیین گردیده، که هزینه‌های موجودی حداقل شده و محدودیت‌های مدل پیشنهادی نظیر حداکثر تعداد انتخاب از تأمین‌کنندگان به ازای هر محصول، حد پایین کارایی مورد نیاز هر محصول، ظرفیت تولید تأمین‌کنندگان و بودجه خریدار با حضور مفهوم کارایی نیز نقض نگردند.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی

در این تحقیق با توجه به اهمیت مسأله انتخاب

تأمین‌کننده، زوایای جدیدی از این مسأله مورد بررسی قرار گرفت. به نحوی که در این مسأله سعی گردید تا شکاف موجود در تحقیقات گذشته با در نظر گرفتن بهینه‌سازی همزمان هزنیه‌ها و کارایی زنجیره‌تأمین تحت عدم قطعیت تقاضا پوشش داده شود. به نحوی که برای نخستین بار، مسأله مذکور در شرایطی مورد بررسی قرار گرفت که تأمین‌کنندگان برای افزایش کارایی خود مطابق شرایط حاکم در زنجیره‌های تأمین صنایع تولیدی و تبدیلی، به رقابت می‌پردازند. در این تحقیق، برای در نظر گرفتن موارد مذکور، مدل ترکیبی ارائه شده است تا با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه، تحلیل پوششی داده‌ها و تئوری بازی‌ها، مسأله انتخاب تأمین‌کننده مورد بررسی قرار گیرد. مدل ترکیبی در دو حالت غیر رقابتی و رقابتی ارائه شده است. به نحوی که در مدل ترکیبی در حالت غیر رقابتی از برنامه‌ریزی دو هدفه شامل تابع هدف هزینه‌های زنجیره‌تأمین حاصل از مدل هماهنگی خریدار و چندفروشنده) و تابع هدف کارایی حاصل از تحلیلی پوششی داده‌ها) استفاده شده است. همچنین، در مدل ترکیبی در حالت رقابتی از برنامه‌ریزی دو هدفه شامل تابع هدف هزینه‌های زنجیره‌تأمین حاصل از مدل هماهنگی خریدار و چند فروشنده و تابع هدف کارایی حاصل از تحلیلی پوششی داده‌ها مبتنی بر چانه‌زنی نش استفاده شده است.

هر دو مدل مذکور به دنبال تخصیص سفارشات مناسب به تأمینکنندگان با حداکثر کارایی، در طول دوره‌ای هستند که در آن خریدار با تقاضای احتمالی رو به رو می‌باشد. در نتیجه، هدف این تحقیق، انتخاب تأمین‌کنندگانی است که علاوه بر کاهش هزینه کل، کارایی انتخاب خریدار را به ازای محصولات موجود به حداکثر برساند. این عمل باعث اثرگذاری کارایی در انتخاب و انجام شدن همزمان ارزیابی تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آن‌ها می‌گردد. نتایج تحقیق نیز نشان داد که مدل‌های ارائه شده در این تحقیق از اعتبار لازم برخوردار هستند و با ایجاد شرایط رقابتی بین تأمین‌کنندگان در کنار مدیریت هزینه، کارایی انتخاب و به تبع آن عملکرد بهینه زنجیره تأمین بالاتر از محیطی است که در آن تأمین‌کنندگان با یکدیگر رقابتی ندارند. در نظر گرفتن سیستم چند خریدار و چندفروشنده، افزایش سطوح زنجیره‌تأمین مورد بررسی نظیر زنجیره‌تأمین سه سطحی شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده و خرده فروش، در نظر گرفتن رقابت همزمان بین چند خریدار و تأمین‌کنندگان از زمینه‌های گسترش این تحقیق می‌باشند.

۶- مراجع

[1] J. M. Aitken, "Supply chain integration within the context of a supplier association: case studies of four supplier associations" ,Ph.D. Thesis, Cranfield University, 1998

[2] S. H. Ghodsypour, and C. O'brien, "The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint", International Journal of Production Economics, Vol. 73, NO. 1, August 2001, pp. 15-27.

[3] S. K. Goyal, and Y. P. Gupta, "Integrated inventory models: the buyer-vendor coordination", European journal of operational research, Vol. 41, No. 3, August 1989, pp. 261-269.

[4] M. Ben-Daya, , M. Darwish, , and K. Ertogral, "The joint economic lot sizing problem: Review and extensions", European Journal of Operational Research, Vol. 185, No. 2, March 2008, pp. 726-742.

[5] S. K. Goyal, " An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem", The International Journal of Production Research, Vol. 15, No. 1, January 1977, pp. 107-111.

[6] C. H. Glock, "A multiple-vendor single-buyer integrated inventory model with a variable number of vendors", Computers & Industrial Engineering, Vol. 60, No. 1, February 2011, pp. 173-182.

[7] A. A. Taleizadeh, S. T. A. Niaki, and F. Barzinpour, "Multiple-buyer multiple-vendor multi-product multi-constraint supply chain problem with stochastic demand and variable lead-time: a harmony search algorithm", Applied Mathematics and Computation, Vol. 217, No. 22, July 2011, pp. 9234-9253.

[8] R. Hammami, C. Temponi, and Y. Frein, "A scenario-based stochastic model for supplier selection in global context with multiple buyers, currency fluctuation uncertainties, and price discounts", European Journal of Operational Research, Vol. 233, No. 1, February 2014 pp. 159-170.

[9] C. A. Weber, J. R. Current, and W. C. Benton, "Vendor selection criteria and methods", European journal of operational research, Vol. 50, No. 1, January 1991, pp. 2-18.

[10] C. A. Weber, and A. Desai, "Determination of paths to vendor market efficiency using parallel coordinates representation: a negotiation tool for buyers", European Journal of Operational Research, Vol. 90, No.1, April 1996, pp. 142-155.

[11] M. Azadi, M. Jafarian, R. F. Saen, and S. M. Mirhedayatian, " A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context", Computers & Operations Research, Vol. 54, February 2015, pp. 274-285.

[12] S. Yousefi, H. Shabanpour, R. Fisher, and R. F. Saen, "Evaluating and ranking sustainable suppliers by robust dynamic data envelopment analysis", Measurement, Vol. 83, April 2016, pp. 72-85.

[13] K. Shaw, R. Shankar, S. S. Yadav, and L. S. Thakur " Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain", Expert Systems with Applications, Vol. 39, No. 9, July 2012,pp. 8182-8192.

[14] O. Ustun, "An integrated multi-objective decision-making process for multi-period lot-sizing with supplier selection", Omega, Vol. 36, No. 4, August 2008, pp. 509-521.

[15] A. K. Kar, "Revisiting the supplier selection problem: An integrated approach for group decision support", Expert systems with applications, Vol. 41, No. 6, May 2014, pp. 2762-2771.

[16] T. E. Saputro, "Supplier Selection Using Integrated Fuzzy TOPSIS and MCGP: A Case Study", Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 116, February 2014, pp. 3957-3970.

[17] M. Zeydan, C. Çolpan , and C. Çobanoğlu, "A combined methodology for supplier selection and performance evaluation", Expert Systems with Applications, Vol. 38, No. 3, March 2011,pp. 2741-2751.

[18] L. Li, and Z. B. Zabinsky, " Incorporating uncertainty into a supplier selection problem", International Journal of Production Economics, Vol.134, No. 2, December 2011, pp. 344-356.

[19] P. Zusman, and M. Etgar, "The marketing channel as an equilibrium set of contracts", Management Science, Vol. 27, No. 3, March 1981 , pp. 284-302.

[20] S. Talluri, and R. C. Baker, "A multi-phase mathematical programming approach for effective supply chain design", European Journal of Operational Research, Vol. 141, No. 3, March 1981, pp. 544-558.

[21] M. Leng, and M. Parlar, "Game-theoretic analyses of decentralized assembly supply chains: Non-cooperative equilibria vs. coordination with cost-sharing contracts", European Journal of Operational Research, Vol. 204, No. 1, July 2010, pp. 96-104.

[22] Y. Huang, G. Q. Huang, and X. Liu, "Cooperative Game-theoretic Approach for Supplier Selection, Pricing and Inventory Decisions in a Multi-level Supply Chain", In International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong, China, Vol. 2, march 2012, pp. 1042-1046.

[23] M. Esmaeili, M. B. Aryanezhad, and P. Zeephongsekul, "A game theory approach in seller–buyer supply chain", European Journal of Operational Research, Vol. 195, No. 2, June 2009, pp. 442-448.

[24] J. Gheidar Kheljani, S. H. Ghodsypour, and C. O'Brien, "Optimizing whole supply chain benefit versus buyer's benefit through supplier selection" International Journal of Production Economics, Vol. 121, No. 2, October 2009, pp. 482-493.

[25] A. Azadeh, and S. M. Alem, "A flexible deterministic, stochastic and fuzzy Data Envelopment Analysis approach for supply chain risk and vendor selection problem: Simulation analysis", Expert Systems with Applications, Vol. 37, No.12, December 2010, pp.7438-7448.

[26] M. Leng, and M. Parlar, "Game-theoretic analyses of decentralized assembly supply chains: Non-cooperative equilibria vs. coordination with cost-sharing contracts", European Journal of Operational Research, Vol. 204, No.1, July 2010, pp. 96-104.

[27] F. Ye, and X. Xu, "Cost allocation model for optimizing supply chain inventory with controllable lead time" Computers & Industrial Engineering, Vol. 59, No. 1, August 2010, pp. 93-99.

[28] A. Kamali, S. M. T. Fatemi Ghomi, And F. Jolai, "A multi-objective quantity discount and joint optimization model for coordination of a single-buyer multi-vendor supply chain" Computers & Mathematics with Applications, Vol. 62, No. 8, October 2011, pp. 3251-3269.

[29] M. Toloo, and S. Nalchigar, "A new DEA method for supplier selection in presence of both cardinal and ordinal data", Expert Systems with Applications, Vol. 38, No. 12, November 2011, pp. 14726-14731.

[30] Y. Huang, G. Q. Huang, and X. Liu, "Cooperative Game-theoretic Approach for Supplier Selection, Pricing and Inventory Decisions in a Multi-level Supply Chain", In International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Vol. 7, 2012, pp. 1042-1046.

[31] Y. He, and X. Zhao, "Coordination in multi-echelon supply chain under supply and demand uncertainty", International Journal of Production Economics, Vol. 139, No. 1, September 2012, pp. 106-115.

[32] S. Nazari-Shirkouhi, H. Shakouri, B. Javadi, and A. Keramati, "Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear programming", Applied Mathematical

Modelling, Vol. 37, No. 22, November 2013, pp. 9308-9323.

[33] D. Kannan, R. Khodaverdi, L. Olfat, A. Jafarian, and A. Diabat, "Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi-objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain", Journal of Cleaner Production, Vol. 47, May 2013, pp. 355-367.

[34] N. R. Ware, S. P. Singh, and D. K. Banwet, "A mixed-integer non-linear program to model dynamic supplier selection problem", Expert Systems with Applications, Vol. 41, No. 2, February 2014, pp. 671-678.

[35] M. Azadi, M. Jafarian, R. F. Saen, and S. M. Mirhedayatian, "A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context", Computers & Operations Research, Vol. 54, February 2015, pp. 274-285.

[36] D. Mohammaditabar, S.H. Ghodsypour, and A. Hafezalkotob, "A game theoretic analysis in capacity-constrained supplier-selection and cooperation by considering the total supply chain inventory costs" International Journal of Production Economics, Vol. 181, November 2016, pp. 87-97

[37] G. Gallego, and I. Moon, "The distribution free newsboy problem: review and extensions" Journal of the Operational Research Society, pp. 825-834.

[38] Z. Shen, Q. Zhu, and G. Wu, "Theory, methodology and application of DEA", Science Press, Beijing, 1996

[39] A. Charnes, W. W. Cooper, and E. Rhodes, "Measuring the efficiency of decision making units" European journal of operational research, Vol. 2, No. 6, July 1978, pp. 429-444.

[40] J. F. Nash Jr., "The bargaining problem. Econometrica, Journal of the Econometric Society, April 1950, pp. 155-162.