چشم‌انداز مدیریت صنعتی
شماره ۱۲ ـ زمستان ۱۳۹۲
ص‌ص ۸۵ – ۶۳

انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص مقدار سفارش با درنظر گرفتن عوامل پایداری

کمال چهارسوقی*، مهدی اشرفی**

چکیده

مسئله انتخاب تأمین‌کننده یکی از مهم‌ترین تصمیمات حوزه مدیریت زنجیره تأمین است و امروزه تمرکز بر موضوعات زیست‌محیطی و پایداری در زنجیره تأمین، اهمیت انتخاب تأمین‌کننده پایدار را دوچندان کرده است. در این مقاله پایداری و محورهای اصلی و فرعی پایداری در انتخاب و همکاری‌های طولانی‌مدت با تأمین‌کنندگان بررسی شده است و براساس شاخصه‌های پایداری تعیین‌شده، یک روش ترکیبی برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان و تعیین مقدار بهینه سفارش تخصیصی به هریک از آن‌ها معرفی شده است. ارزیابی تأمین‌کنندگان با استفاده از شاخصه‌های استخراج‌شده از ادبیات در حوزه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی انجام شده است و مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش به‌صورت یک برنامه‌ریزی ریاضی درجه دوم مدل‌سازی شده است. مدل پیشنهادی با استفاده از روش تغییر شکل یافته الگوریتم بندرز تجزیه و حل شده است. درپایان با ارائه مثال‌های عددی، ارزیابی روش ارائه‌شده مورد بررسی و جمع‌بندی قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: انتخاب تأمین‌کننده؛ پایداری؛ برنامه‌ریزی درجه دو؛ روش تجزیه بندرز.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۱۰/۱۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۱۷

* استاد، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول).

E-mail:SKCH@modares.ac.ir

** دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

۱. مقدمه

از دیرباز، جمعیت‌های مردم‌نهاد به مسئولیت‌های سازمان‌ها درقبال جامعه و محیط‌زیست توجه ویژه‌ای داشته‌اند و با ابزارهای مختلف کوشیده‌اند این مسئولیت‌ها را در سازمان‌ها نهادینه کنند. امروزه این مسئولیت‌ها به‌عنوان بستری برای سودآوری و رشد پایدار، در خود سازمان‌ها به گونه‌ای دنبال شده است که بیشتر شرکت‌های نام‌آشنا در صدر رتبه‌بندی‌های پایداری قرار می‌گیرند [۱].

طبق تعریف کمیسیون جهانی توسعه ومحیط‌زیست، پایداری عبارت است از استفاده از منابع برای برآورده‌سازی نیازها، به‌گونه‌ای که برآورده‌سازی نیازهای نسل‌های آتی در معرض خطر قرار نگیرد [۲]. متأسفانه این تعریف و تعاریف مشابه از پایداری، بسیار کلان هستند و با توجه به افق دید سازمان‌ها، چنین تعاریفی نمی‌توانند برای تبیین نقش هریک از سازمان‌ها راهگشا باشند و سازمان‌ها به‌وسیله آن‌ها نمی‌توانند در بین ذی‌نفعان مختلف خود و مسئولیت‌های اجتماعی خود تعادل برقرار کنند. پایداری سازمانی را می‌توانیم به‌صورت توانایی سازمان در طراحی سیستم‌های خود تعریف کنیم. طراحی این سیستم‌ها به‌گونه‌ای است که بتوانند نیازمندی‌های متعدد تمامی ذی‌نفعان خود را برآورده کنند و سازمان بتواند به مزیت رقابتی پایدار خود دست یابد؛ به‌طوری که کیفیت زندگی آیندگان را با کاهش بیش از اندازه منابع طبیعی و از دست رفتن فرصت‌های اقتصادی آینده، با مشکل مواجه نکند [۳].

در حوزه مدیریت زنجیره تأمین و دستیابی به پایداری در زنجیره تأمین یکی از اساسی‌ترین تصمیمات، انتخاب تأمین‌کننده و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با تأمین‌کنندگان است که موضوع جهانی‌سازی و برون‌سپاری‌های فراقاره‌ای و نیز توجه به موضوع پایداری در این تصمیمات باعث افزایش اهمیت این موضوع در تدوین استراتژی‌های سازمانی و تلاش برای بقا در فضای رقابتی شده است [۴].

هرچند مسئله انتخاب تأمین‌کننده در مطالعات زیادی بررسی شده است، نوآوری‌های این تحقیق نسبت به تحقیقات مشابه در حوزه انتخاب تأمین‌کننده، شامل موارد زیر می‌شود:
۱. تدوین و دسته‌بندی شاخصه‌های پایداری و استفاده از این شاخصه‌ها در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده؛ ۲. گسترش و توسعه مدل انتخاب تأمین‌کننده و درنظر گرفتن مسئله تخصیص سفارش و انتخاب تأمین‌کننده در یک بستر یکپارچه و ۳. ارائه روشی کارا و مؤثر برای حل مدل ریاضی درجه دوم مورد استفاده در مسئله انتخاب تأمین‌کننده.

در بخش دوم این مقاله به مرور ادبیات می‌پردازیم، در بخش سوم مسئله تحقیق را معرفی می‌کنیم، در بخش چهارم به معرفی مدل‌سازی مسئله می‌پردازیم، در بخش پنجم روش حل و

نتایج عددی روش معرفی‌شده را ارائه می‌کنیم و درپایان به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری مباحث می‌پردازیم.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بررسی مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش عمومی. در این بخش، مطالعات انجام‌شده در حوزه انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در حالت کلی و عمومی را مورد بررسی قرار می‌دهیم و براساس این بررسی‌ها در بخش بعدی مدل پیشنهادی را ارائه می‌کنیم.

انتخاب تأمین‌کننده یکی از مسائل قدیمی حوزه تحقیق در عملیات محسوب می‌شود که مطالعات مروری زیادی نیز در حوزه معیارهای مورد استفاده، تکنیک‌ها و متدولوژی‌های مختلف مورد استفاده در این مسئله انجام شده است [۵، ۷].

با بررسی مقالات منتشرشده در این حوزه درمی‌یابیم که بخش عمده‌ای از پژوهشگران با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، سعی در مدل‌سازی و حل مسائل انتخاب تأمین‌کننده داشته‌اند. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، فرآیند شبکه تحلیلی (ANP)، تئوری مجموعه‌های فازی، الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ریزی آرمانی از پرکاربردترین ابزارهای مورد استفاده در این حوزه بوده‌اند [۵].

در یک دسته‌بندی کلی می‌توانیم مقالات منتشرشده را از حیث روش‌های بررسی مسئله به دو دسته‌ی اساسی طبقه‌بندی کنیم. در دسته اول بیشتر از روش‌های چندمعیاره استفاده می‌شود و مسئله بیشتر در قالب یک متدولوژی دومرحله‌ای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش مورد بررسی قرار می‌گیرد و در دسته دوم، بیشتر از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای حل مسئله استفاده می‌شود.

روش‌های برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی چندهدفه و برنامه‌ریزی آرمانی، روش DEA و روش‌های برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته، از روش‌های پرکاربرد برنامه‌ریزی ریاضی محسوب می‌شوند.

در مدلی براساس تحلیل SWOT، طبق یک ساختار سلسله‌مراتبی براساس عملکرد تأمین‌کنندگان، امتیاز قوت و ضعف و نیز فرصت و تهدید هر تأمین‌کننده استخراج می‌شود و بنابر امتیازات به‌دست آمده، تأمین‌کنندگان برتر انتخاب می‌شوند. همچنین فرآیند تخصیص سفارش به‌صورت مستقل از فرآیند انتخاب انجام می‌شود. فرآیند تخصیص در این مدل یک کالایی در نظر گرفته شده است و تقاضا به‌صورت فازی مدل شده است. محدودیت‌ها بر روی ظرفیت و تقاضا اعمال شده و تقاضا به‌صورت فازی در نظر گرفته می‌شود. این مدل ارائه‌شده به یک مدل خطی تبدیل شده و سپس حل شده است [۸].

در مدل دیگری انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش به‌صورت هم‌زمان و در قالب یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی، به‌صورت غیرخطی مدل شده است. تابع هدف این مسئله بهینه‌سازی مجموع ضرایب وزنی هزینه‌های تأمین، کیفیت تأمین و زمان تأمین است. این مسئله برای یک دوره زمانی و به‌صورت چندمحصولی مدل شده است. در این مدل محدودیت‌های بودجه برای هزینه تأمین، حداقل سطح کیفیت برای کالاهای تحویلی، ظرفیت تولید برای هر دو بخش محصولات مرسوم و غیرمرسوم اعمال شده است و به‌دلیل پیچیدگی آن، به روش الگوریتم ژنتیک و به شیوه ابتکاری حل شده است [۹].

خاصیت پویایی مدل‌های تخصیص استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی پویا را برای این مسائل مناسب می‌کند. در این روش انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش به‌صورت پویا و در چند دوره زمانی بررسی می‌شود و در هر دوره زمانی هزینه خرید و هزینه نگهداری کالا متغیر خواهد بود. در این روش، هدف پیدا کردن مجموع وزنی انحرافات از مقدار ایده‌آل هریک از هدف‌ها خواهد بود [۱۰].

در برخی دیگر از تحقیقات، مدل‌های احتمالی و درنظر گرفتن پارامترهای احتمالی مورد بررسی قرار گرفته است؛ برای نمونه در تحقیقی متغیر تقاضا به‌صورت تصادفی و به‌صورت یک تابع غیرخطی مدل شده و از روش الگوریتم ژنتیک برای حل آن استفاده شده است. این مسئله تحت محدودیت‌های حداقل سطح سرویس و محدودیت بودجه برای یک دوره زمانی و برای انتخاب یک تأمین‌کننده برای چند کالا مدل شده است [۱۱].

خلاصه مقالات بررسی‌شده در این حوزه را در دو دسته مورد بررسی در جدول ۱ آورده‌ایم.

جدول ۱. طبقه‌بندی تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی مهم مورد استفاده در مقالات بررسی‌شده

مطالعات	تکنیک	رویکرد مورد استفاده
[۱۲-۱۵]	ANP-AHP	تصمیم‌گیری چندمعیاره
[۱۳, ۱۶-۱۹]	TOPSIS	
[۲۰, ۲۱]	VIKOR	
[۲۲, ۲۳]	ELECTRE	
[۲۴, ۲۵]	DEMATEL and struc	
[۸, ۹]	LP	برنامه‌ریزی ریاضی
[۲۶, ۲۷]	MOLP	
[۲۸-۳۰]	MILP	
[۳۱-۳۴]	GP	
[۲۸-۳۰, ۳۵, ۳۶]	DEA	

بررسی پایداری در مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده. بررسی‌های مقالات متعدد نشان می‌دهد که هرچند مفاهیم زیست‌محیطی در مقالات متعددی مطرح شده‌اند، مفهوم پایداری به‌عنوان یک دید یکپارچه، برای اولین‌بار در حوزه انتخاب تأمین‌کننده در سال ۲۰۱۰ مطرح شده است [۳۷]. مفهوم پایداری در حوزه زنجیره تأمین همچنان یکی از مفاهیم پرچالش است و هنوز یک تعریف یکسان از پایداری در زنجیره تأمین و شاخصه‌های قابل تعریف در این حوزه برای استفاده در کاربردهای پایداری وجود ندارد [۳۸].

از بین معدود مطالعات منتشرشده در این حوزه می‌توانیم به موارد زیر اشاره کنیم که در آن‌ها شاخصه‌های پایداری در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده مورد استفاده قرار گرفته است.

سارکیس و بای در اولین مطالعه منتشرشده در این حوزه، به بررسی شاخصه‌های پایداری پرداخته‌اند و با توجه به شاخصه‌های ارائه‌شده در این مقاله، روشی برای انتخاب تأمین‌کنندگان با درنظر گرفتن کیفی بودن شاخصه‌ها و مبتنی بر روش تئوری مجموعه‌های نادقیق ارائه کرده‌اند [۳۷].

در مطالعه دیگری رتبه‌بندی و امتیازدهی تأمین‌کنندگان با توجه به شاخصه‌های استخراج‌شده مورد مطالعه قرار گرفته و یک سیستم استنتاج فازی برای ارزیابی و نمره‌دهی تأمین‌کنندگان توسعه داده شده است [۳۹].

در آخرین مطالعه منتشرشده در این حوزه، شاخصه‌های پایداری با استفاده از روش تاپسیس فازی برای فرآیند انتخاب تأمین‌کننده مورد استفاده قرار گرفته است [۳۸].

بررسی اجمالی مقالات نشان می‌دهد که در مطالعات انجام‌شده همچنان معرفی و استخراج شاخصه‌های مناسب برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده پایدار نیازمند مطالعات و بررسی‌های بیشتری است؛ بنابراین با مرور مطالعات انجام‌شده در حوزه‌های پایداری کوشیده‌ایم به یک چارچوب مناسب برای تدوین معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان پایدار براساس تئوری TBL[1] برسیم. براساس این تئوری، معیارهای ارزیابی در ۳ دسته اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی استخراج و طبقه‌بندی می‌شوند. در این بررسی، با تمرکز بر محورهای زیست‌محیطی و اجتماعی، معیارهای پایداری را از ادبیات مرتبط استخراج کرده‌ایم و در جدول‌های ۲ و ۳ نشان داده‌ایم [۳۷، ۴۰، ۴۱].

1. Three bottom line

جدول ۲. ویژگی‌های زیست‌محیطی انتخاب تأمین‌کننده

دسته	زیردسته	ویژگی
تجارب زیست‌محیطی	کنترل آلودگی	دفع آلودگی
		تطابق محصول
		تطابق فرآیند
	سیستم‌های مدیریت زیست‌محیطی	سیاست‌گذاری‌های زیست‌محیطی
		برنامه‌ریزی اهداف زیست‌محیطی
		تخصیص مسئولیت‌های زیست‌محیطی
	مزیت‌های زیست‌محیطی	استفاده از مواد دوستدار طبیعت
		تکنولوژی پاک
	تصور سبز	سهم تأمین‌کننده در بازار سبز
		ارتباط با ذی‌نفعان
عملکرد زیست‌محیطی	طراحی برای محیط	طراحی برای استفاده مجدد
		دمونتاژ
		انهدام
		بازیافت
	هزینه‌های زیست‌محیطی	هزینه ضایعات (جامد/آب/شیمیایی)
		هزینه انرژی
		آلودگی هوا

جدول۳. ویژگی‌های اجتماعی انتخاب تأمین‌کننده

دسته	زیردسته	ویژگی
منابع انسانی داخلی	ثبات نیروی کار	فرصت‌های شغلی
		جبران خدمت نیروی کار
	تجارب نیروی کار	عدالت
		قراردادهای نیروی کار
		نظم و انضباط و امنیت
	بهداشت و ایمنی	تجارب بهداشت و ایمنی
		رخدادهای بهداشت و ایمنی
	توسعه ظرفیت	توسعه شغلی
		تحقیق و توسعه
مشارکت ذی‌نفعان	تدارک و ارائه اطلاعات	مخاطبین گروهی
		مخاطبین انتخابی
	تأثیر ذی‌نفعان	پتانسیل تأثیر تصمیم‌گیری
		مشارکت ذی‌نفعان
		اختیار ذی‌نفعان
معیارهای اجتماعی خارجی	سرمایه انسانی	بهداشت
		آموزش
	سرمایه بارآوری	تأمین مسکن
		زیرساخت خدمات
		خدمات عمومی و منظم
	سرمایه اجتماعی	امنیت
		ویژگی‌های فرهنگی
		همبستگی اجتماعی

درپایان نتیجه می‌گیریم که پرداختن به تعیین شاخصه‌های پایداری در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده نیازمند مطالعات و تلاش‌های جدی است که در این مقاله و براساس امکانات موجود کوشیده‌ایم تاحدودی این نقیصه را جبران کنیم. در حوزه انتخاب تأمین‌کننده پایدار، ارائه مدل‌های انتخاب و تأمین‌کنندگان در قالب یک روش یکپارچه مورد بررسی قرار نگرفته است. این موضوع می‌تواند به‌نوعی با بسط مدل انتخاب تأمین‌کننده به انتخاب و تخصیص سفارش، به افزایش اثربخشی تصمیمات اتخاذشده در این حوزه منجر شود. بررسی مدل‌های ارائه‌شده و روش‌های حل مورد استفاده نشان می‌دهد که با افزایش پیچیدگی‌های مربوط به ارزیابی‌های

پایداری و افزایش ابعاد معیارهای پایداری و نیز حرکت به سمت فضای جهانی شدن و برون‌سپاری‌های فراقاره‌ای، نیاز به معرفی روش‌های حل کارا و مؤثر بسیار احساس می‌شود.
براساس موارد مذکور، کوشیده‌ایم در بخش بعدی، مدل مناسبی برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با توجه به معیارهای تعیین‌شده ارائه کنیم و درپایان، روشی کارا برای حل آن عرضه کنیم.

۳. روش شناسی پژوهش

تعریف مسئله. در این مقاله برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده، یک مدل عمومی زنجیره تأمین، مطابق با پیش‌فرض‌های مدل ارائه‌شده برای پیکربندی زنجیره تأمین [۳۳]، استفاده شده است. این مدل، یک زنجیره تأمین دوسطحی است که گروه اول تأمین‌کنندگان T1 برای تهیه مواد اولیه و دسته دوم تأمین‌کنندگان T2 برای مونتاژ قطعات درنظر گرفته شده است. این زنجیره تأمین به‌صورت چند کالایی و در یک افق زمانی مشخص و محدود درنظر گرفته شده است. در این مدل تخفیفات مقداری وجود ندارد و کمبود در سطح زنجیره تأمین مجاز درنظر گرفته می‌شود [۳۳].

هدف درنظر گرفته شده در این مقاله، انتخاب تأمین‌کنندگانی در هر دوسطح است؛ به‌گونه‌ای که در هر سطح با توجه به پیش‌فرض‌های درنظر گرفته شده برای زنجیره تأمین و معیارهای پایداری، تأمین‌کنندگان انتخاب شوند، سپس مقدار مناسب سفارش به تأمین‌کننده تخصیص داده شود و برای این منظور یک مدل برنامه‌ریزی آرمانی برای یافتن حل مناسب مسئله و جمع‌آوری نیازهای سازمان از بین تأمین‌کنندگان آن با درنظر گرفتن معیارهای پایداری توسعه داده شده است.

عملکرد زیست‌محیطی و اجتماعی تأمین‌کنندگان با توجه به معیارهای استخراج‌شده در جداول ۲ و ۳ و عملکرد گذشته تأمین‌کنندگان در هریک از معیارها تعیین می‌شود و امتیاز کلی زیست‌محیطی و اجتماعی آن‌ها به روش میانگین وزنی ساده[1] محاسبه و در تابع هدف قرار داده می‌شود.

بعد اقتصادی پایداری با فاکتور هزینه دریافت و تأمین کالا از تأمین‌کنندگان درنظر گرفته شده است؛ بنابراین پارامترهای مختلفی مانند قیمت تمام‌شده، هزینه‌های کیفیت، هزینه‌های لجستیکی، هزینه‌های مرتبط با تحویل به‌موقع و ... در این فاکتور هزینه مورد توجه قرار می‌گیرد. در این مدل مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش به‌صورت یکپارچه و به‌عنوان دو موجودیت کاملاً متمایز درنظر گرفته شده است. در بحث انتخاب تأمین‌کننده براساس معیارهای

1. SAW (Simple Average Weight)

پایداری و مفروضات مسئله، تأمین‌کنندگان انتخاب می‌شوند و در بین تأمین‌کنندگان انتخابی، تخصیص سفارش انجام می‌شود. به همین منظور باید از دو دسته متغیر مجزا برای انتخاب (به‌صورت صفر و یک) و تخصیص سفارش (متغیر پیوسته) استفاده کنیم. در این حالت ممکن است به تأمین‌کنندگان انتخابی، در یک دوره زمانی خاص، سفارشی تخصیص داده نشود.

اطمینان کردن به یک تأمین‌کننده می‌تواند ریسک تأمین را افزایش دهد؛ بنابراین در این مدل برای تأمین مواد از چندین تأمین‌کننده موازی استفاده می‌شود. از سوی دیگر، افزایش بیش از حد تأمین‌کنندگان می‌تواند در هماهنگی زنجیره تأمین مشکلاتی ایجاد کند؛ بنابراین در این مسئله فرض می‌شود که در تأمین یک کالا از یک سو به یک تأمین‌کننده منحصربه‌فرد اتکا نشده است و از سوی دیگر از شکست تقاضا به تعداد زیاد تأمین‌کننده جلوگیری می‌شود.

مدل ریاضی. اجزای مدل ریاضی مورد نظر به صورت زیر است:

اندیس‌ها

i: اندیس قطعات ماشین‌کاری شده $i=1,2,\ldots I$

j: اندیس تأمین‌کنندگان رده اول T1 $j=1,2,\ldots J$

k: اندیس مجموعه تأمین‌کنندگان رده دوم T2 $k=1,2,\ldots K$

r: اندیس مجموعه مواد خام $r=1,2,\ldots R$

t: اندیس مجموعه دوره زمانی (سال) $t=1,2,\ldots,T$

پارامترها

W_1: وزن نسبی آرمان ۱

W_2: وزن نسبی آرمان ۲

W_3: وزن نسبی آرمان ۳

Ej: امتیاز عملکرد زیست‌محیطی تأمین‌کننده j در رده T1

E_k: امتیاز عملکرد زیست‌محیطی تأمین‌کننده k در رده T2

S_j: امتیاز عملکرد اجتماعی تأمین‌کننده j در رده T1

S_k: امتیاز عملکرد اجتماعی تأمین‌کننده k در رده T2

C_{ijt}: هزینه خرید قطعه ماشین‌کاری شده i از تأمین‌کننده j در دوره t

C_{rjkt}: و هزینه تحویل کالای خام r از تأمین‌کننده رده دوم j به تأمین‌کننده k

H_{ijt}: هزینه نگهداری کالای i برای تأمین‌کننده j در زمان t

Q_{ijt}: هزینه کمبود کالای i برای تأمین‌کننده j در زمان t

A_{jt}: ظرفیت خطوط ارتباطی سازمان با تأمین‌کنندگان j در زمان t
A_{jkt}: ظرفیت خطوط ارتباطی تأمین‌کنندگان j و تأمین‌کنندگان k در زمان t
Ujt: ظرفیت ماشین‌کاری تأمین‌کننده j در زمان t
Ukt: ظرفیت تأمین مواد خام تأمین‌کننده k در زمان t
LT_1: حد بالای تعداد تأمین‌کنندگان انتخابی j
LT_2: حد بالای تعداد تأمین‌کنندگان انتخابی k
LS: حداقل تعداد تأمین‌کنندگان j و k
Pr: حداقل کسر تقاضای موجود برای تخصیص به یک تأمین‌کننده
P_{ir}: درصد استفاده از محصول اولیه r در تولید محصول i
D_{it}: تقاضای کالای i در دوره زمانی t

متغیرها

d_1^+: متغیر پیوسته انحراف مثبت از آرمان ۱
d_1^-: متغیر پیوسته انحراف منفی از آرمان ۱
d_2^+ : متغیر پیوسته انحراف مثبت از آرمان ۲
d_2^- : متغیر پیوسته انحراف منفی از آرمان ۲
d_3^+ : متغیر پیوسته انحراف مثبت از آرمان ۳
d_3^- : متغیر پیوسته انحراف منفی از آرمان ۳
X_{ijt}: مقدار قطعات i ارسالی از تأمین‌کننده j در زمان t
X_{rjkt}: مقدار قطعات r ارسالی از تأمین‌کننده j به تأمین‌کننده k در زمان t
I_{ijt}: مقدار موجودی کالای i در زمان t برای تأمین‌کننده j
B_{ijt}: مقدار کمبود کالای i در زمان t برای تأمین‌کننده j
L_j: متغیر صفر و یک انتخاب تأمین‌کننده j
L_k: متغیر صفر و یک انتخاب تأمین‌کننده k

رابطه ۱
$$Min\ G = w_1 d_1^- + w_2 d_2^- + w_3 d_3^+$$

رابطه ۲
$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} E_j L_j X_{ijt} + \sum_{r=1}^{R}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} E_k L_k X_{rjkt} - d_1^+ + d_1^- = Z_1$$

رابطه ۳
$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} S_j L_j X_{ijt} + \sum_{r=1}^{R}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} S_k L_k X_{rjkt} - d_2^+ + d_2^- = Z_2$$

رابطه ۴
$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} C_{ijt}X_{ijt} + \sum_{r=1}^{R}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} C_{rjkt}X_{rjkt} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} H_{ijt}I_{ijt} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} Q_{ijt}B_{ijt} - d_3^+ + d_3^- = Z_3$$

رابطه ۵
$$LS \le \sum_{j=1}^{J} L_j \le LT_1 \quad i = 1,2,\dots,I \;\; t = 1,2,\dots,T$$

رابطه ۶
$$LS \le \sum_{k=1}^{K} L_k \le LT_2 \;\; r = 1,2,\dots,R \;\; t = 1,2,\dots,T$$

رابطه ۷
$$X_{ijt} \ge Pr D_{it} L_j \quad i = 1,2\dots,I \;\; j = 1,2\dots,J \;\; t = 1,2,\dots,T$$

رابطه ۸
$$\sum_{j=1}^{J} X_{rjkt} \ge Pr \sum_{i=1}^{I} D_{it}\, P_{ir} L_k \quad r = 1,2,\dots,R \;\; k = 1,2,\dots,K \;\; t = 1,2,\dots,T$$

رابطه ۹
$$\sum_{i=1}^{I} X_{ijt} \le A_{jt} \times L_j \quad j = 1,2,\dots,j \;\; t = 1,2,\dots,T$$

رابطه ۱۰
$$\sum_{r=1}^{R} X_{rjkt} \le A_{jkt} \times L_k \quad j = 1,2,\dots,j \;\; k = 1,2,\dots,K \;\; t = 1,2,\dots,T$$

رابطه ۱۱
$$\sum_{j=1}^{J} X_{ijt} = D_{it} \quad i = 1,2,\dots,I \;\; t = 1,2,\dots,T$$

رابطه ۱۲
$$\sum_{i=1}^{I} P_{ir}\left(X_{jit} - I_{ijt-1} + I_{ijt} + B_{ijt-1} - B_{ijt}\right) = \sum_{k=1}^{K} X_{rjkt} \quad r = 1,2,\dots,R \;\; j = 1,2,\dots,J \;\; t = 1,2,\dots,T$$

رابطه ۱۳
$$X_{ijt}, I_{ijt}, B_{ijt} \ge 0 \quad i = 1,2,\dots,I \;\; j = 1,2,\dots,J \;\; t = 1,2,\dots,T$$

ربطه ۱۴
$$X_{rjkt} \ge 0 \quad r = 1,2,\dots,R \;\; k = 1,2,\dots,K \;\; t = 1,2,\dots,T$$

رابطه ۱۵
$$L_j \in \{0,1\} \quad j = 1,2,\dots,J$$

رابطه ۱۶
$$L_k \in \{0,1\} \quad k = 1,2,\dots,K$$

تابع هدف مسئله ۱ به‌دنبال حداقل‌سازی انحرافات مقدار سه هدف Z_1، Z_2 و Z_3 تعیین‌شده از سوی مدیریت است. این مقادیر می‌توانند براساس نتایج بهترین تجارب و یا براساس انتظارات مدیریت سازمانی از تأمین‌کنندگان تعیین شود.

آرمان‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب به‌دنبال تخصیص سفارشات به تأمین‌کنندگان، به‌گونه‌ای است که امتیاز عملکردی زیست‌محیطی و اجتماعی زنجیره تأمین حداکثر شود. در این روابط امتیازهای عملکردی زیست‌محیطی و اجتماعی هر تأمین‌کننده براساس معیارهای استخراج‌شده در جدول ۲ و ۳ و با استفاده از روش میانگین وزنی ساده با رابطه $P=\sum w_i r_i$ محاسبه می‌شود که در آن P امتیاز زیست‌محیطی و یا اجتماعی هر تأمین‌کننده است و W_i وزن نسبی معیار i و r_i نمره عملکرد تأمین‌کننده در معیار i است و محور هزینه در انتخاب تأمین‌کننده پایدار و کمینه کردن هزینه‌های زنجیره تأمین با توجه به آرمان ۴ محقق می‌شود.

معادلات ۵ و ۶ تعداد تأمین‌کنندگان انتخابی در هر سطح از زنجیره تأمین را به مقدار حداکثری و حداقلی از پیش تعیین شده محدود می‌کند و محدودیت‌های ۷ و ۸ باعث می‌شوند مقدار سفارش تخصیص داده شده به هر تأمین‌کننده از درصدی از کل تقاضا کمتر نشود و به این ترتیب مشکل توزیع‌شدگی بیش از حد تفاضا بین چندین تأمین‌کننده و مشکلات ناشی از هماهنگی‌ها و نیز تخصیص سفارش کمتر از میزان اقتصادی از پیش تعیین شده مرتفع شود.

با توجه به محدودیت‌های ۹ و ۱۰، مقدار سفارش تخصیص داده شده بیش از ظرفیت کانال‌های ارتباطی درنظر گرفته شده نخواهد بود و براساس محدودیت ۱۱، تمامی تقاضا با توجه به مقادیر تخصیص داده شده به تأمین‌کنندگان سطح اول پوشش داده خواهد شد و براساس محدودیت ۱۲، تعادل مواد بین سفارشات تخصیص داده شده به تأمین‌کنندگان سطح دوم و مقدار موجودی‌ها و کمبودهای متناظر در تأمین‌کنندگان سطح اول برقرار می‌شود و محدودیت‌های ۱۳ و ۱۴ مرتبط با نامنفی بودن متغیرهای تصمیم مرتبط با تخصیص سفارش هستند و محدودیت‌های ۱۵ و ۱۶ صفر و یک بودن متغیرهای انتخاب تأمین‌کنندگان را بیان می‌کنند.

روش حل مدل. برای کاهش پیچیدگی مسئله که ناشی از روابط ۲ و ۳ و ضرب دو متغیر تصمیم در یکدیگر و ایجاد مسئله برنامه‌ریزی درجه دوم است، از نوع خاصی از روش تجزیه مسئله به روش بندرز استفاده می‌کنیم. در این مسئله، از آنجا که متغیرهای تابع هدف فقط متغیرهای انحراف از آرمان هستند و جزو متغیرهای پیچیده مسئله به‌شمار نمی‌روند، از روش پیشنهادی در مطالعه [۳۳] استفاده می‌شود. در این مدل اگرچه متغیرهای تابع هدف خودبه‌خود جزو متغیرهای پیچیده به‌شمار نمی‌آیند، تحت تأثیر متغیرهای پیچیده دیگری قرار دارند.

در این رویکرد تغییریافته، هر دو مسئله اصلی و زیرمسئله به شکل مسئله برنامه‌ریزی آرمانی مدل‌سازی می‌شوند. هدف مسئله اصلی، انتخاب تأمین‌کننده است؛ درحالی که زیرمسئله به توزیع سفارش بین تأمین‌کنندگان انتخابی می‌پردازد [۳۳].

مسئله اصلی. در این مسئله، تأمین‌کنندگان از طریق بهینه‌یابی متغیرهای تصمیم L_j و L_k به‌عنوان متغیرهای پیچیده انتخاب می‌شوند.
معادله ۱۷ نشان‌دهنده تابع هدف مسئله اصلی است و این مسئله تحت محدودیت‌های ۱۸–۲۱، محدودیت‌های ۵ و ۶ و محدودیت‌های ۱۵ و ۱۶ حل خواهد شد.

رابطه ۱۷
$$\text{Min } G = w_1 d_4^- + w_2 d_5^- + \alpha$$

رابطه ۱۸
$$\sum_{j=1}^{J} E_j L_j + \sum_{k=1}^{K} E_k L_k - d_4^+ + d_4^- = Y_1$$

رابطه ۱۹
$$\sum_{j=1}^{J} S_j L_j + \sum_{k=1}^{K} S_k L_k - d_5^+ + d_5^- = Y_2$$

رابطه ۲۰
$$\alpha \geq w_1 d_1^{-h} + w_2 d_2^{-h} + w_3 d_3^{+h} + \sum_{j=1}^{J} \lambda_j \left(L_j - L_j^h\right) + \sum_{k=1}^{K} \mu_k \left(L_k - L_k^h\right) \quad h = 1,2,\dots,q$$

رابطه ۲۱
$$\sum_{j:L_j^P=0} L_j + \sum_{j:L_j^P=1} (1 - L_j) + \sum_{k:L_k^P=0} L_k + \sum_{k:L_k^P=1} (1 - L_k) \geq 1 \quad p = 1,2,\dots\dots,f$$

اگر متغیرها با درنظر گرفتن مسئله اصلی بهینه نباشند، برش بهینگی معادله ۲۰ مقادیر این متغیرها را به‌روزرسانی می‌کند؛ بنابراین اگر زیرمسئله شدنی باشد، این معادله به مسئله اصلی اضافه می‌شود و براساس مقادیر ضرایب دوگان مسئله، معادله ۲۰، مشخص می‌کند که کدام متغیرهای صفر و یک باید ضرایب خود را حفظ کنند، مقدار کدام‌یک باید به صفر کاهش یابد و کدام متغیرها باید مقادیر یک اتخاذ کنند. چنانچه زیرمسئله نشدنی باشد، برش شدنی ۲۱ به مسئله اضافه خواهد شد.

λ_j, μ_k متغیرهای دوگان متناظر با هریک از محدودیت‌های مسئله است که مقادیر هریک از متغیرهای صفر و یک L_j و L_k در زیرمسئله را تخصیص می‌دهند. h و p نیز به‌ترتیب اندیس‌های راه‌حل‌های شدنی و نشدنی زیرمسئله هستند.

زیرمسئله. تابع هدف زیرمسئله برابر تابع هدف اصلی مسئله در معادله ۱ است و این زیرمسئله با درنظر گرفتن محدودیت‌های ۲–۴ و ۷–۱۴ مرتبط در مسئله اولیه، به‌علاوه محدودیت‌های ۲۲ تا ۲۳ که برای هم‌ارزسازی ارزش متغیرهای پیچیده با مقادیر به‌دست آمده از مسئله اصلی اضافه شده است، حل خواهد شد و درنهایت معادله ۲۴ شرایط بهینگی مسئله را نشان می‌دهد.

$L_j = L_j^h: \lambda_j \quad j = 1,2, \dots J$ رابطه ۲۲

$L_k = L_k^h: \mu_k \quad k = 1,2, \dots K$ رابطه ۲۳

$w_1 d_1^{-h} + w_2 d_2^{-h} + w_3 d_3^{+h} = \alpha^h$ رابطه ۲۴

٤. تحلیل داده‌ها و یافته های پژوهش

مثال‌های عددی. در این بخش به بررسی کارایی روش ارائه‌شده می‌پردازیم و نتایج پیاده‌سازی این روش را با نتایج حل مسئله با استفاده از BARON Solver نرم‌افزار GAMS و خطی‌سازی مسئله را با افزایش محدودیت‌های مسئله مقایسه می‌کنیم. برای خطی‌سازی مدل، همه عبارت‌های درجه دوم مسئله با یک متغیر جدید Y جایگزین می‌شوند و مجموعه نامعادلات زیر به محدودیت‌های مسئله اضافه می‌شود.

$lL \leq Y \leq uL$ رابطه ۲۵

$X - u(1 - L) \leq Y \leq X - l(1 - L)$ رابطه ۲۶

Lمتغیر صفر و یک و X متغیر پیوسته است و l نشان‌دهنده حد پایینی متغیر پیوسته X و u حد بالایی متغیر X است [۳۳].

۵ مسئله با درنظر گرفتن شرایط و ساختار مدل اصلی با پارامترهای فرضی ایجاد شده است که در جدول ۴ بازه‌های ایجاد پارامترهای تولیدشده را ارائه می‌کنیم.

جدول۴: بازه‌های ایجاد پارامترهای مسئله

بازه ایجاد	پارامتر
U [1 100]	امتیازهای عملکرد زیست‌محیطی و اجتماعی
U [100 10000]	هزینه‌های خرید و تحویل
U [10 10000]	هزینه‌های نگهداری و کمبود
N(10, 1)	ظرفیت‌ها
$1/10 \sum_j A_{jt}$	تقاضا
{۳، ۵، ۷، ۹}	حد بالای تعداد تأمین‌کنندگان
{۱، ۲، ۳}	حداقل تعداد تأمین‌کنندگان

برای مقادیر Z1 و Z2 حالت ایده‌آل (تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان ایده‌آل و کسب حداکثر مقدار عملکرد زیست‌محیطی و اجتماعی زنجیره تأمین) به‌عنوان آرمان تعیین شده است.

مقدار دوره زمانی که بسیار بر ابعاد مسئله تأثیرگذار است، سه دوره مفروض شده است و هر سه آرمان مسئله به‌صورت هم‌وزن درنظر گرفته شده‌اند. همه پارمترهای ورودی مسئله، ابتدا در بازه صفر و یک و طبق رابطه $X_{i,0\ to\ 1} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$ نرمال و سپس وارد مدل می‌شوند.

نتایج مقایسات بین روش‌های حل را در جدول‌های زیر ارائه کرده‌ایم. جدول شماره ۵ نشان‌دهنده نتایج حل مسائل نمونه به روش تجزیه بندرز است، در جدول شماره ۶ نتایج حل مسائل به روش خطی‌سازی و حذف عبارت‌های درجه دوم ارائه شده است و در جدول شماره ۷ نتایج حل مسئله با استفاده از روش BARON برای حل مسائل درجه دوم که در نرم‌افزار GAMS تعبیه شده، آمده است. همان‌گونه که نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد، اگرچه ابعاد مسئله ۴ بزرگ‌تر از مسئله ۳ است، زمان حل کمتری دارد و این نشان‌دهنده میزان تأثیر ورودی‌های مسئله در زمان حل مسئله است. بررسی نتایج جدول‌های ۵ تا ۷ نشان می‌دهد که به‌طور کلی در مسائل با حجم بالا، روش تجزیه بندرز در مقایسه با دو روش دیگر با کارایی بیشتری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در مورد هر مسئله، میزان اختلاف بین جواب به‌دست آمده و جواب بهینه مسئله که از راه‌حل خطی‌سازی مسئله و حل قطعی مسئله برنامه‌ریزی خطی به‌دست می‌آید، با مقدار $|\Delta G|$ نمایش داده شده است. در دو روش حل مسئله به روش پیشنهادی و حل به روش BARON، اختلاف بین جواب‌های به‌دست آمده و جواب بهینه ناچیز (کمتر از مقدار $۱۰^{-۹}$) و در حد صفر است.

بررسی‌های بیشتر نشان می‌دهد که روش تجزیه بندرز می‌تواند مسائل تا ابعاد ۲۵ عدد تأمین‌کننده در هر سطح از زنجیره تأمین و ۲۵ نوع مواد اولیه و ۲۵ نوع محصول نهایی را در زمان معقول تقریباً یک ساعت، حل کند.

جدول۵. نتایج روش خطی‌سازی

شماره مسئله	تعداد محصولات نهایی	تعداد محصولات اولیه	تعداد تأمین‌کنندگان لایه اول	تعداد تأمین‌کنندگان لایه دوم	محدودیت‌ها	متغیرها	زمان حل ثانیه	مقدار تابع هدف
۱	۴	۶	۷	۶	۶۰۳۲	۳۰۴۹	۳	۰/۲۴۷۵
۲	۷	۱۰	۱۲	۸	۲۱۰۷۴	۱۰۷۵۴	۹۰	۰/۱۸۳۹
۳	۱۰	۱۳	۱۴	۱۰	۴۶۵۶	۸۵۱۵	۱۷۹۰	۰/۴۷۶
۴	۱۴	۱۸	۱۷	۱۱	۱۵۰۸۲	۷۲۹۵	۴۷۶۰	۰/۷۴۱
۵	۱۵	۲۰	۲۰	۱۲	۹۰۸۶	۲۰۶۲۳	۵۷۶۰	۰/۳۶۳

جدول۶. نتایج روش بندرز

شماره مسئله	تعداد محصولات نهایی	تعداد محصولات اولیه	تعداد تأمین کنندگان لایه اول	تعداد تأمین کنندگان لایه دوم	محدودیت‌ها	متغیرها	تعداد برش‌ها	زمان حل ثانیه	|ΔG|
۱	۴	۶	۷	۶	۱۲۱۱	۱۴۵۸	۷۰	۸	۰
۲	۷	۱۰	۱۲	۸	۲۹۵۸	۴۷۴۷	۳۲۰	۶۰۰	۰
۳	۱۰	۱۳	۱۴	۱۰	۴۶۵۶	۸۵۱۵	۳۶۰	۸۴۰	۰
۴	۱۴	۱۸	۱۷	۱۱	۱۵۰۸۲	۷۲۹۵	۱۵۰	۳۶۰	۰
۵	۱۵	۲۰	۲۰	۱۲	۹۰۸۶	۲۰۶۲۳	۲۰۰	۵۳۰	۰

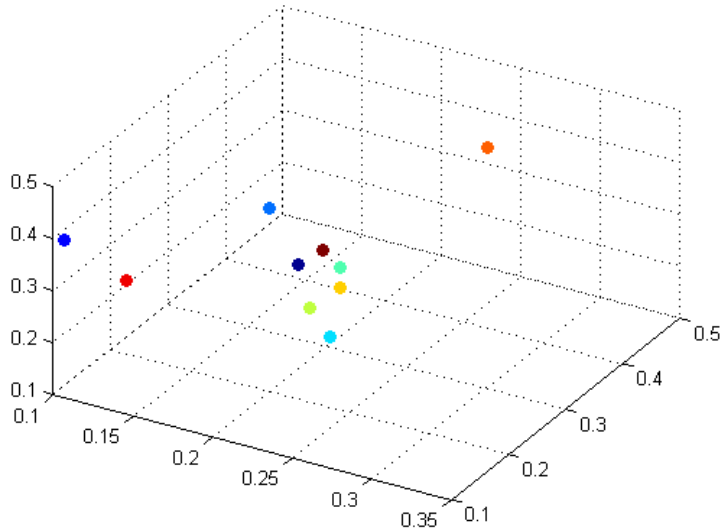
جدول۷. نتایج روش BARON

شماره مسئله	تعداد محصولات نهایی	تعداد محصولات اولیه	تعداد تأمین کنندگان لایه اول	تعداد تأمین کنندگان لایه دوم	زمان حل ثانیه	|ΔG|
۱	۴	۶	۷	۶	۶	۰
۲	۷	۱۰	۱۲	۸	۱۱۰	۰
۳	۱۰	۱۳	۱۴	۱۰	۹۸۰	۰
۴	۱۴	۱۸	۱۷	۱۱	۱۱۰۰	۰
۵	۱۵	۲۰	۲۰	۱۲	۱۳۱۶	۰

یکی از نکات مهم در نتایج عددی، نحوه واکنش مدل پیشنهادی نسبت به تغییرات وزن هریک از آرمان‌ها در جواب است. در مسائل حل‌شده، وزن آرمان‌های مختلف به‌صورت برابر و یکسان درنظر گرفته شده است. برای انجام آنالیز حساسیت و بررسی تغییرات هر آرمان، ده سناریوی مختلف درنظر گرفته شده و در هر سناریو میزان متغیرهای انحراف از آرمان در جدول ۸ محاسبه شده است. با بررسی نقاط به‌دست آمده درمی‌یابیم که مدل ارائه‌شده توانایی مناسبی در شناسایی جواب‌های ناچیره دارد که شکل ۱ نیز نشان‌دهنده نمودار گرافیکی جواب‌های به‌دست آمده در وزن‌های مختلف است.

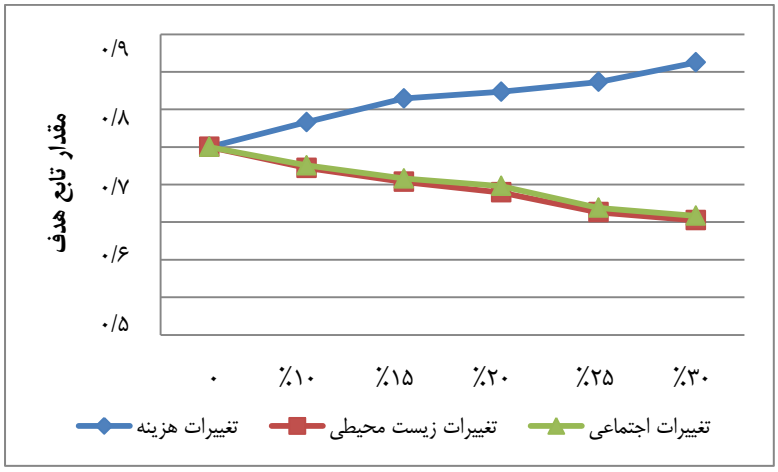
جدول۸: نتایج آنالیز حساسیت تغییرات وزن آرمان‌ها

	اوزان توابع هدف			متغیرهای تصمیم		
سناریو	W_1	W_2	W_3	d_1^-	d_2^-	d_3^+
۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳
۲	۰/۲	۰/۲	۰/۶	۰/۱	۰/۱۲	۰/۳۸
۳	۰/۲	۰/۶	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۴۵
۴	۰/۶	۰/۲	۰/۲	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۳۴
۵	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۰/۱۹	۰/۳۵	۰/۲
۶	۰/۳	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۲۷	۰/۲
۷	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۱۹	۰/۳۵	۰/۱۶
۸	۰	۰	۱	۰/۲۵	۰/۴۴	۰/۴
۹	۰	۱	۰	۰/۱۱	۰/۲	۰/۲۴
۱۰	۱	۰	۰	۰/۱۹	۰/۳۲	۰/۲۶



شکل ۱. نقاط جواب به‌دست آمده برای هر آرمان در تحلیل حساسیت

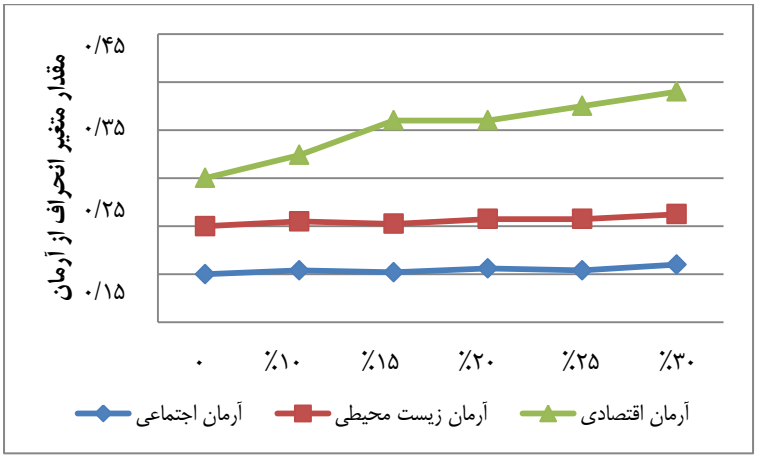
در ادامه، اثر تغییر پارامترهای عملکرد اجتماعی، زیست‌محیطی و هزینه‌های تولید در تابع هدف نهایی، در شرایط برابر بودن اوزان آرمان‌ها در تابع هدف را بررسی می‌کنیم. خلاصه نتایج را در نمودار ۱ نشان داده‌ایم.



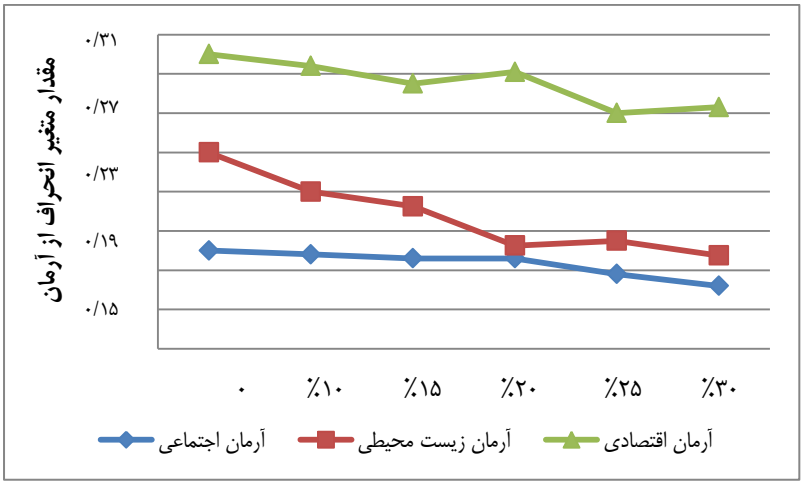
نمودار ۱. اثر افزایش تغییرات پارامترهای مسئله بر جواب تابع هدف

در نمودار ۱ می‌بینیم که با توجه به ساختار مدل، افزایش پارامترهای هزینه‌ای به افزایش تابع هدف منجر خواهد شد و در مورد عملکردهای زیست‌محیطی و اجتماعی این افزایش به کاهش مقدار تابع هدف منجر می‌شود. از آنجا که ساختار تعبیه‌شده در مدل برای عملکردهای زیست‌محیطی و اجتماعی شبیه هم است، مدل رفتار یکسانی نسبت به تغییرات این پارامترها از خود نشان می‌دهد و این در حالی است که واکنش برای عملکرد اقتصادی و پارامترهای هزینه‌ای با توجه به اضافه شدن متغیرهای موجودی و کمبود، با کمی تفاوت همراه است.

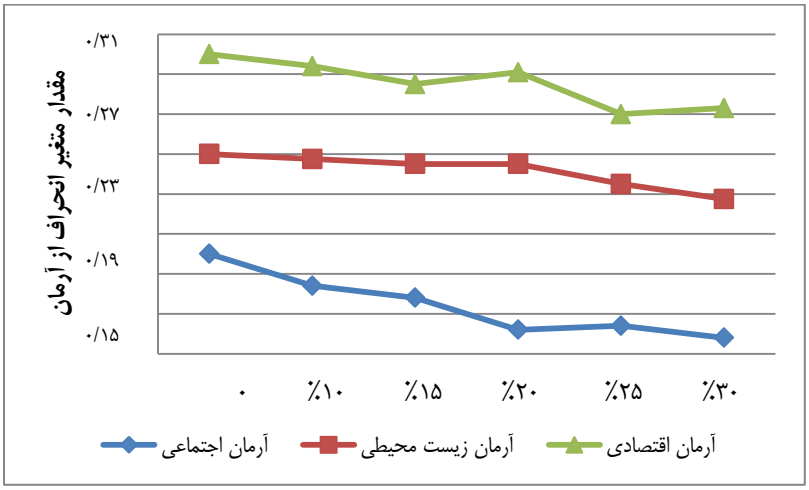
برای بررسی بیشتر، اثر تغییرات پارامترها بر هریک از آرمان‌های مسئله را به‌صورت مجزا ارزیابی کرده‌ایم و نتایج آن را به‌ترتیب در نمودارهای ۲ تا ۴ نشان داده‌ایم.



نمودار ۲. اثر افزایش تغییرات پارامترهای هزینه بر متغیرهای انحراف از آرمان



نمودار ۳. اثر افزایش تغییرات پارامترهای زیست‌محیطی بر متغیرهای انحراف از آرمان



نمودار ۴. اثر افزایش تغییرات پارامترهای اجتماعی بر متغیرهای انحراف از آرمان

با مقایسه شکل‌های بالا درمی‌یابیم که اثر تغییر هر دسته پارامتر بر آرمان مربوطه بیش از سایر آرمان‌ها است و این موضوع نشان‌دهنده اهمیت تعیین عملکردهای زیست‌محیطی و اجتماعی در جواب نهایی مسئله است. همچنین درمی‌یابیم که عملکردهای زیست‌محیطی و اجتماعی به شکل مؤثری در تغییر آرمان‌های مسئله و شکل‌دهی جواب مسئله تأثیرگذار است. با مقایسه‌ای دقیق‌تر می‌بینیم که آرمان اقتصادی بیش از دو آرمان دیگر تحت تأثیر تغییر در پارامترهای مسئله است و این نکته نشان می‌دهد که تغییر در عملکردهای زیست‌محیطی و اجتماعی می‌تواند به بهبود وضعیت اقتصادی تأمین‌کننده و کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین تا

حدود ۱۰ درصد نیز منجر شود. به سخن دیگر، استفاده از این مدل در انتخاب تأمین‌کننده می‌تواند مشوقی برای تأمین‌کنندگان برای حرکت در مسیر فعالیت‌های زیست‌محیطی و اجتماعی باشد تا با بهبود عملکردهای زیست‌محیطی و اجتماعی، عملکرد اقتصادی زنجیره تأمین را بهبود بخشند.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله شاخصه‌های پایداری را که می‌توانند در ارزیابی تأمین‌کنندگان مورد استفاده قرار گیرند، استخراج و معرفی کردیم. برای استفاده از این شاخصه‌ها در فرآیند انتخاب تأمین‌کننده، یک مدل مبتنی بر برنامه‌ریزی آرمانی ارائه کردیم که مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش را در یک چارچوب یکپارچه مورد بررسی قرار می‌دهد. در این مقاله برای حل مدل، روشی کارا پیشنهاد دادیم و عملکرد این روش در مقایسه با روش‌های مرسوم را در قالب مثال‌های عددی بررسی کردیم. نتایج مثال‌های عددی نشان می‌دهد که روش ارائه‌شده به‌خوبی می‌تواند در حل مسائل ابعاد بزرگ و واقعی استفاده شود.

یکی دیگر از موارد مهم برای پیشرفت و توسعه این تحقیق، تکمیل چارچوب ارائه‌شده برای ارزیابی عملکرد تأمین‌کنندگان، با توجه به معیارهای پایداری است که نیازمند تحقیقات عمیق کمی و کیفی در حوزه تدوین چارچوب‌های عملکرد با تمرکز بر مفاهیم پایداری و نیز ورود جنبه‌های پایداری در حوزه‌های دیگر مدیریت زنجیره تأمین است.

یکی دیگر از محورهای مناسب برای تحقیقات آتی، تغییر در نحوه مدل‌سازی مسئله است. استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی دوسطحی و سه‌سطحی به جای برنامه‌ریزی آرمانی، از جنبه‌های دیگری است که می‌تواند در تحقیقات آتی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

1. Napier, R., *Carbon Disclosure Project 2010, Global 500 and S&P 500 Report Highlights*. 2011, PricewaterhouseCoopers.

2. WCED, *Our Common Future*, in *World Commissionon Environment and Development* 1987: Oxford University Press New York.

3. Linton, J.D., R .Klassen, and V. Jayaraman, *Sustainable supply chains: An introduction. Journal of Operations Management*, *25(6)* 1075-1082.

4. Seuring, S. and M. Muller, (2008). *F*rom a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production, 16(15),* 1699-1710.

5. Aissaoui, N., M. Haouari, and E. Hassini. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. *Computers & Operations Research, 34(12),* 3516-3540.

6. De Boer, L., E. Labro, and P. Morlacchi, (2001). A review of methods supporting supplier selection. E*uropean Journal of Purchasing & Supply Management,. 7(2),* 75-89.

7. Ho, W., X. Xu, & P.K. Dey. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research, 202*, 16-24.

8. Amin, S.H., J. Razmi, & G. Zhang, (2011). Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming. *Expert Systems with Applications, 38*, 334-342.

9. Che, Z.H. & H.S. Wang, (2008). Supplier selection and supply quantity allocation of common and non-common parts with multiple criteria under multiple products *Computers & Industrial Engineering, 55,* 110-133.

10. Mafakheri, F., M .Breton, & A. Ghoniem, (2011). Supplier selection-order allocation: A two-stage multiple criteria dynamic programming approach. *Int. J. Production Economics, 132*, 52-57.

11. Yang, P.C., et al., (2011). Solving a stochastic demand multi-product supplier selection model with service level and budget constraints using Genetic Algorithm. *Expert Systems with Applications, 38*, 14773-14777.

12. Ustun, O. and E.A. Demirtas, (2008). Multi-period lot-sizing with supplier selection using achievement scalarizing functions. *Computers & Industrial Engineering, 54(4),* 918-931.

13- Shyur, H.-J. & H.-S. Shih, (2006). A hybrid MCDM model for strategic vendor selection. *Mathematical and Computer Modelling, 44(7-8),* 749-761.

14. Önüt, S., S.S. Kara, & E. Isik, (2009). Long term supplier selection using a combined fuzzy MCDM approach: A case study for a telecommunication company. *Expert Systems with Applications, 36(2, Part 2),* 3887-3895.

15. Gencer, C. & D. Gürpinar, (2007). Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied Mathematical Modelling, 31(11),* 2475-2486.

16. Wang, J.-W., C.-H. Cheng, & K.-C. Huang, (2009). Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection. *Applied Soft Computing, 9(1),*377-386.

17. Liao, C.-N .& H.-P. Kao, (2010). An integrated fuzzy TOPSIS and MCGP approach to supplier selection in supply chain management. *Expert Systems with Applications, 38(9),* 10803-10811.

18. Eshlaghy, A.T. & M. Kalantary, (2011). Supplier Selection by Neo-TOPSIS. *Applied Mathematical Sciences, 5(17),* 837-844.

19. Chen, C.-T., C.-T. Lin, & S.-F. Huang, (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics, 102(2),* 289-301.

20. Kuo ,M.-S. & G.-S. Liang, (2011). *Combining VIKOR with GRA techniques to evaluate service quality of airports under fuzzy environment.* Expert Systems with Applications, 38(3): p. 1304-1312.

21. Sanayei, A., S. Farid Mousavi, and A. Yazdankhah, *Group decision making process for supplier selection with VIKOR under fuzzy environment.* Expert Systems with Applications, 2010. In Press, Uncorrected Proof.

22. Montazer, G.A., H.Q. Saremi, and M. Ramezani, *Design a new mixed expert decision aiding system using fuzzy ELECTRE III method for vendor selection.* Expert Systems with Applications, 2009. 36(8): p. 10837-10847.

23- Chen, T.-Y., *An ELECTRE-based outranking method for multiple criteria group decision making using interval type-2 fuzzy sets.* Information Sciences.,2010. 263 :p. 1-21.

24. Hsu, C.-W., et al., *Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management.* Journal of Cleaner Production, 2013. 56(0): p. 164-172.

25. Chang, B., C.-W. Chang, and C.-H. Wu, *Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria.* Expert Systems with Applications, 2011. 38(3): p. 1850-1858.

26. Setak, M., S. Sharifi, and A. Alimohammadian, *Supplier Selection and Order Allocation Models in Supply Chain Management: A Review.* World Applied Sciences Journal 2012. 18(1): p. 55-72.

27. Huang, J.-J., et al., *A multiobjective programming model for partner selection-perspectives of objective synergies and resource allocations.* Expert Systems with Applications. In Press, Uncorrected Proof.

28. Gheidar Kheljani, J., S.H. Ghodsypour, and C. O'Brien, *Optimizing whole supply chain benefit versus buyer's benefit through supplier selection.* International Journal of Production Economics, 2009. In Press, Corrected Proof.

29. Rezaei, J. and M. Davoodi, *A deterministic, multi-item inventory model with supplier selection and imperfect quality.* Applied Mathematical Modelling, 2008. 32(10): p. 2106-2116.

30. Wu, W.-Y., et al., *An integrated multi-objective decision-making process for supplier selection with bundling problem.* Expert Systems with Applications, 2009. 36(2, Part 1): p. 2327-2337.

31. Kumar, M., Vrat, P., & Shankar, R. (2004). , *A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain.* Computers & Industrial Engineering, 2004. 46: p. 69-85.

32. Lee, A.H.I., H.-Y. Kang, and C.-T. Chang, *Fuzzy multiple goal programming applied to TFT-LCD supplier selection by downstream manufacturers.* Expert Systems with Applications, 2009. 36(3, Part 2): p. 6318-6325.

33. Osman, H .and K. Demirli, *A bilinear goal programming model and a modified Benders decomposition algorithm for supply chain reconfiguration and supplier selection* Int. J. Production Economics 2010. 124 p. 97-105.

34. Tamiz, M., D. Jones, and C. Romero, *Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art.* European Journal of Operational Research, 1998. 111(3): p. 569-581.

35. Wu, D., *Supplier selection: A hybrid model using DEA, decision tree and neural network.* Expert Systems with Applications, 2009. 36(5): p. 9105-9112.

36. WU, D. and D.L. OLSON, *A comparison of stochastic dominance and stochastic DEA for vendor evaluation,* International Journal of Production Research, 2008. 46(8): p. 2313–2327.

37. Bai, C. and J. Sarkis, *Integrating sustainability in to supplier selection with grey system and rough set methodologies* Int. J. Production Economics, 2010. 124: p. 252-264

38. Govindan, K., R. Khodaverdi, and A. Jafarian, *A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach.* Journal of Cleaner Production, 2013. 47(0): p. 345-354.

39. Amindoust, A., et al., *Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system.* Applied Soft Computing, 2012. 12 p. 1668-1677.

40. Gauthier, C., *Measuring Corporate Social and Environmental Performance: The Extended Life-Cycle Assessment.* Journal of Business Ethics, 2005. 59(1): p. 199-206.

41. Corbett, C.J.a.K., R.D, *Extending the horizons: environmental excellence as key to improving operations* Manufacturing and Service Operations Management, 2007. 8(1): p. 5-22.

42. Adams, W.P. and R.J. Forrester, *Linear forms of nonlinear expressions: new insights on old ideas.* Operations Research Letters 35, 2007. 35: p. 510-518.