نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید
IERPS

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال اول شماره اول بهار و تابستان ۱۳۹۲، صفحه ۲۵-۳۶
www.ier.basu.ac.ir

ISSN: 2345-2250

طراحی دو هدفه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن معیارهای همبسته در محیط فازی

مهدی بشیری[۱،*]، مهتاب شرافتی[†]

[*] دانشیار گروه مهندسی صنایع ، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

[†] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۳۹۲/۲/۱۹
پذیرش ۱۳۹۲/۵/۲۹

کلمات کلیدی:
شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته،
تحلیل مؤلفه‌های اصلی،
ارزیابی تأمین کنندگان،
بهینه سازی فازی

خلاصه

یکی از خلاهای مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با پارامتر های فازی نادیده گرفتن نیاز مشتریان و برخی معیارهای کیفی می‌باشد و همچنین اغلب این مسائل به صورت تک محصولی در نظر گرفته می‌شوند. در این مطالعه به‌منظور افزایش کارایی زنجیره تأمین پیشنهادی، مدل چند محصولی فرض شده و معیارهای کیفی مؤثر مورد توجه قرار گرفته‌اند. در واقع این مطالعه به حل توأم دو مساله بسیار مهم در مدیریت زنجیره تأمین یعنی طراحی شبکه و انتخاب بهترین تأمین کننده می‌پردازد. در این پژوهش با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی، ملاکی تحت عنوان امتیاز مؤلفه اصلی معرفی می‌گردد، که به نوعی همه معیار های مورد نظر برای انتخاب اجزای زنجیره تأمین را به‌صورت همزمان در نظر گیرد. مزیت این روش علاوه بر ادغام معیارهای مورد نظر و کاهش ابعاد، از بین بردن همبستگی بین آنها برای تصمیم‌گیری است. همچنین در این تحقیق به منظور واقعی تر شدن شرایط، مساله‌ای دو هدفه در یک محیط فازی مدلسازی شده که ضمن فازی بودن پارامترها میزان برآورده شدن محدودیت‌ها نیز فازی در نظر گرفته شده است. در ادامه مساله به‌حالت قطعی تبدیل شده و درنهایت جواب مرجح مساله با استفاده از روش ال‌پی‌متریک، تعیین می‌گردد. در پایان، عملکرد و کارایی مدل و روش پیشنهادی در قالب یک مثال عددی شبیه سازی شده، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر طراحی شبکه زنجیره تأمین توجه محققان زیادی را به سوی خود جلب کرده است. طراحی شبکه زنجیره تأمین یکی از مهم‌ترین و اساسی ترین تصمیمات استراتژیکی می‌باشد و عبارت است از تعیین مکان و تعداد تسهیلات موجود در شبکه، موجودی هر تسهیل و کمیت جریان ارسالی بین آن‌ها. هدف از طراحی زنجیره تأمین علاوه بر مکان یابی تسهیلات، حداقل کردن هزینه‌هایی مانند خرید، تولید، حمل ونقل و ... نیز می‌باشد. امروزه یکی از اساسی ترین مشکلات طراحی شبکه زنجیره تأمین عدم قطعیت است که از دلایل پیدایش این مشکل می‌توان به فقدان اطلاعات قطعی و دقیق و همچنین پویایی و پیچیدگی اجزای زنجیره تأمین اشاره کرد. روش هایی مثل برنامه ریزی تصادفی و برنامه‌ریزی فازی جهت رفع این مشکل به کار گرفته می‌شوند، که مورد اول زمانی که فضای مدل به‌صورت احتمالی است کاربرد دارد و برنامه‌ریزی فازی در محیط های مبهم شامل پارامتر های غیر دقیق و

[۱] نویسنده مسئول.
تلفن: ۵۱۲۱۲۰۹۲- ۰۲۱، پست الکترونیکی: *Bashiri.m@gmail.com*

فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بررسی مطالعات طراحی زنجیره تأمین در محیط فازی نشان می‌دهد که به‌صورت عمده می‌توان این مسائل را در دو دسته زیر طبقه بندی نمود:

۱) طراحی شبکه زنجیره تأمین رو به جلو با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی فازی
۲) طراحی شبکه زنجیره تأمین معکوس و حلقه بسته با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی فازی

در ادامه، مطالعات انجام شده در هر گروه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۱- طراحی شبکه لجستیک در محیط فازی

در این گونه مسائل، جریان مواد از طرف تولیدکنندگان (یا تأمین‌کنندگان) به سوی مشتریان می‌باشد. پژوهش‌های زیر با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی فازی به بهینه‌سازی طراحی شبکه زنجیره تأمین رو به جلو پرداخته‌اند.

چن و لی[۲] [۱] یک مدل زنجیره تأمین چند محصولی، چند مرحله‌ای، چند دوره‌ای ارائه دادند. مدل مذکور شامل تصمیمات تاکتیکی بوده و همچنین پارامترهای تقاضا و قیمت به‌صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند و با استفاده از بهینه‌سازی فازی، مساله حل می‌گردد. ضعف آن پژوهش، در نظر نگرفتن تصمیمات استراتژیک و مکان‌یابی تسهیلات بود. به همین دلیل چن و همکاران [۲] مقاله‌ای دیگر ارائه دادند و با فازی فرض کردن برخی پارامترها به مکان‌یابی انبار و مراکز توزیع پرداختند.

زو و همکاران[۳] [۳] مدلی برنامه ریزی چند هدفه فازی تصادفی به‌منظور حداقل کردن هزینه‌های ثابت کارخانه و مراکز توزیع زنجیره تأمین و حداکثرسازی خدمات به مشتری معرفی کردند. با استفاده از عملگر امید ریاضی و محدودیت شانس مدل به یک مساله برنامه‌ریزی چند هدفه قطعی تبدیل شده و سپس به کمک الگوریتم ژنتیک حل می‌گردد.

سلیم و اوزکاراهان[۴] [۴] به طراحی و بهینه سازی یک شبکه زنجیره تأمین پنج سطحی (مشتمل بر تأمین کنندگان، تولید کنندگان، انبارها، خرده فروشان و مشتریان) پرداختند. سه تابع هدف آن مساله عبارتند از حداقل کردن هزینه کل، حداقل کردن میزان سرمایه گذاری احداث کارخانه های تولیدکننده و انبارها و همچنین حداکثر کردن سطح خدمت به خرده فروشان. این توابع به صورت فازی بوده و پارامترها و محدودیت‌ها غیر فازی در نظر گرفته شده‌اند. با استفاده از روش جدیدی مبتنی بر [۵] مدل قطعی گردیده و سپس حل می‌شود.

پینتو-ورلا و همکاران[۵] [۶] اثرات محیط زیستی را به مباحث اقتصادی اضافه کردند و برنامه‌ریزی ریاضی فازی متقارن را جهت بهینه سازی مساله دو هدفه به کار بردند.

پاکسوی و پهلیوان[۶] [۷] یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی برای بهینه سازی مساله طراحی زنجیره تأمین چند محصولی با درجه عضویت مثلثی و ذوزنقه ای ارائه دادند. در آن مدل ظرفیت‌های تولیدکنندگان و مراکز توزیع طوری تعیین می‌شود که هزینه کل حداقل گردد. مزیت این پژوهش در نظر گرفتن همزمان تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی است زیرا علاوه بر مکان یابی تسهیلات، انواع سیستم حمل و نقل نیز بررسی می‌شود. در مقاله‌ای مشابه، پاکسوی و همکاران [۸] با در نظر گرفتن مثالی واقعی، یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی برای حداقل کردن هزینه های حمل و نقل پیشنهاد دادند. در مساله مذکور تابع هدف و تقاضا و ظرفیت به‌صورت فازی فرض شده‌اند.

پیشوایی و همکاران [۹] به طراحی یک زنجیره تأمین سبز سه سطحی پرداختند و همزمان هزینه کل و اثرات محیط زیستی را حداقل کردند. مدل آن پژوهش تک دوره ای و تک محصولی بوده و شامل تولید کنندگان، مراکز توزیع و مشتریان می‌باشد. پس از قطعی کردن مدل با استفاده از محدودیت شانس بر پایه اندازه اعتبار، جواب بهینه مساله با به‌کارگیری یک روش تعاملی به‌دست می‌آید. در پژوهش نامبرده، تصمیمات تاکتیکی انتخاب سیستم حمل و نقل نیز در نظر گرفته می‌شود.

بشیری و شرافتی[۱۰] یک شبکه زنجیره تأمین را با استفاده از روش پیشنهادی کومار و همکاران[۷] [۱۱] طراحی کردند. در پژوهش نامبرده علاوه بر پارامترها، متغیرهای تصمیم نیز به‌صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند.

۱-۲- طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته در محیط فازی

در مسائل لجستیک معکوس، جریان مواد از سوی مشتریان به طرف تولیدکنندگان می‌باشد. اگر در مدلی جهت جریان مواد، هم روبه جلو و هم به صورت معکوس باشد، حلقه بسته نامیده می‌شود. در ادامه برخی از مطالعات که شامل جریان معکوس هستند و با استفاده از روش برنامه ریزی ریاضی فازی، بهینه سازی می‌شوند، ارائه می‌گردد.

پیشوایی و ترابی [۱۲] یک برنامه ریزی عدد صحیح مختلط احتمالی دو هدفه برای طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته معرفی کردند. در مدل مذکور جریان معکوس در کنار جریان مستقیم و همچنین تصمیمات استراتژیک همراه تصمیمات تاکتیکی در نظر

[۲] Chen and Lee
[۳] Xu et al.
[۴] Selim and Ozkarahan
[۵] Pinto-Varela et al.
[۶] Paksoy and Pehlivan
[۷] Kumar et al.

گرفته شدند. در آن مطالعه یک روش حل فازی تعاملی نیز با ترکیب کردن چند روش برای حل مدل بهینه سازی احتمالی پیشنهاد شده است.

زرندی و همکاران [۱۳] مقاله سلیم و اوزکاراهان [۴] را گسترش داده (در بخش قبل به این معرفی این مقاله پرداخته شد) و لجستیک معکوس را به مدل اضافه کردند. در آن مدل توابع هدف فازی بودند و پارامترها قطعی هستند. مساله شامل چهار هدف فازی است که به ترتیب عبارتند از: حداقل کردن هزینه‌های ارسال و حمل و نقل، حداقل کردن هزینه های احداث کارخانجات و انبار، حداکثر کردن سطح خدمت و سرانجام حداکثر کردن سطح خدمت معکوس در جریان‌های بازگشتی. سایر مراحل، روش قطعی کردن و حل مدل مشابه [۴] می‌باشد.

پیشوایی و رزمی [۱۴] از برنامه‌ریزی ریاضی فازی چندهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز استفاده کردند. مدل پیشنهادی علاوه بر کاهش هزینه، توانایی حداقل کردن اثرات زیست محیطی را دارد. بعد از قطعی کردن مدل با روش جیمنز [۱۵]، رویکرد محدودیت جزیی و یک روش حل تعاملی نیز برای یافتن نقاط مرجح به‌کار گرفته می‌شود. در نهایت کارایی مدل پیشنهادی و روش حل در یک مثال واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

خلاصه مقالاتی که مرور گردید در جدول (۱) قابل مشاهده می‌باشد. این جدول خلا تحقیقاتی مطالعات اخیر در رابطه با طراحی شبکه زنجیره تأمین در محیط فازی را نشان می‌دهد. در این جدول منظور از F، A، c، b و x به‌ترتیب تابع هدف، ضرایب محدودیت ها، ضرایب تابع هدف، مقادیر سمت راست محدودیت‌ها و متغیر تصمیم می‌باشد. با توجه به جدول (۱) و مقالات بررسی شده پیشین، که به آن پرداخته شد، طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند محصولی با کلیه پارامترهای فازی یکی از خلا های تحقیقاتی است که این مطالعه به بررسی خلا شناسایی شده می‌پردازد. علاوه بر این، استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره آماری به عنوان یکی از ارکان تشکیل دهنده تابع هدف طراحی زنجیره تأمین از دیگر نوآوری های مقاله حاضر به‌شمار می‌رود.

همچنین در مدیریت زنجیره تأمین، مقالات بسیار زیادی به حل مساله انتخاب تأمین کننده با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری پرداخته اند، طوری که در [۱۶]، ۱۲۳ پژوهش در این زمینه انتخاب و مرور شده اند. این امر نشان دهنده اهمیت مساله انتخاب تأمین‌کننده می‌باشد. به همین دلیل در این مطالعه سعی بر آن است مساله طراحی شبکه زنجیره تأمین در کنار مساله انتخاب تأمین‌کننده قرار گرفته و جواب بهینه با دو هدف به‌دست آید. ضمن این که بهترین تولیدکننده نیز انتخاب شده و همچنین همبستگی بین معیارها از بین می‌رود. اثبات می‌شود مستقل کردن معیارهای انتخابی از یکدیگر نتیجه بهتری دربردارد.

به‌طور کلی برخی از مزایا و نوآوری های مدل پیشنهادی در این پژوهش عبارتند از:

- با فرض کردن کل پارامترها به صورت فازی ذوزنقه‌ای و حل مدل پیشنهادی با استفاده از روش بهینه‌سازی فازی مساله به دنیای واقعی نزدیک تر شده و با مبهم در نظر گرفتن داده‌ها مشکل عدم قطعیت که جز لاینفک مسائل است تا حدودی حل می‌شود.
- مدل لجستیک به صورت چند محصولی فرض می‌شود، زیرا اکثر مسائل لجستیک واقعی دنیای امروز به صورت چند محصولی است.
- دو مساله پراهمیت مدیریت زنجیره تأمین، یعنی ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان و همچنین طراحی شبکه زنجیره تأمین، به صورت همزمان در نظر گرفته شده و مدل‌سازی صورت می‌گیرد.
- کاربرد این مدل در دنیای واقعی زمانی است که از نظر مشتریان و مدیران، علاوه بر کاهش هزینه، معیارهای دیگری نیز دارای اهمیت باشند. امروزه در دنیای صنعتی تنها تولید و تحویل محصول مهم نیست، بلکه برخی عوامل از جمله با کیفیت بودن محصول، تحویل به موقع آن و ... نسبت به هزینه اهمیت بیشتری دارد.
- همبستگی بین معیارها باعث تصمیم‌گیری اشتباه می‌شود. برای جلوگیری از این خطا بهتر است همبستگی بین آنها از بین برود. نمی‌توان تولید کننده یا تأمین‌کننده‌ای را انتخاب کرد که از نظر چند معیار همبسته بهتر باشد، زیرا به عنوان مثال برای انتخاب تولید کننده دو معیار کیفیت تولید و رضایت مشتری دارای همبستگی هستند و واضح است که هر چه میزان کیفیت افزایش یابد، رضایت مشتری بالا می‌رود. اگر تولیدکننده‌ای انتخاب شود که کیفیت بالا و همچنین سطح رضایت بالایی دارد انتخاب درستی انجام نشده است زیرا این دو معیار همبستگی دارند. پس بهتر است با استفاده از معیاری این همبستگی از بین برود و سپس تصمیم‌گیری انجام شود.
- مزیت تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مستقل کردن داده‌ها و کاهش ابعاد مساله به صورتی است که اطلاعات زیادی از بین نرود. از این رو این معیار در نظر گرفته شده است.

از کاربردهای این مساله، طراحی شبکه تولید و توزیع نوشابه است. فرض کنید که چند نوع نوشابه مانند نوشابه در ظرف شیشه‌ای، قوطی، خانواده و ... تولید می‌شود. هر نوع نوشابه شامل اجزا خاص خودش می‌باشد، که بعضی از آن ها قابل استفاده مجدد می‌باشند و به مراکز تولید برمی‌گردند. وجود پارامترهای فازی در چنین مساله‌ای

جدول (۱): بررسی زمینه‌های بررسی شده مرتبط در مطالعات اخیر

محصول		سطوح				معکوس/ حلقه بسته	توابع هدف		اجزا فازی در مدل	مرجع
تک	چند	مشتری	خرده‌فروش	تولیدکننده	تامین‌کننده		چگونگی توجه به نیاز مشتری	حداکثر کردن سود یا حداقل کردن هزینه		
	✓		✓	✓	✓		افزایش میزان پاسخگویی به تقاضای مشتری	✓	F	[۱]
	✓	✓		✓	✓			✓	F	[۲]
✓		✓		✓	✓		افزایش میزان پاسخگویی به تقاضای مشتری	✓	A,c,b	[۳]
	✓	✓		✓	✓		افزایش سطح سرویس	✓	F	[۴]
✓		✓		✓	✓			✓	A,c,b	[۶]
✓		✓		✓	✓			✓	b	[۷]
✓				✓	✓			✓	b	[۸]
✓		✓		✓				✓	A,c,b	[۹]
	✓		✓	✓	✓			✓	A,c,b,x	[۱۰]
✓		✓		✓		✓	حداقل‌سازی دیرکرد	✓	A,c,b	[۱۲]
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	افزایش سطح سرویس	✓	F	[۱۳]
✓		✓		✓		✓		✓	A,c,b	[۱۴]
	✓		✓	✓	✓	✓	انتخاب بهترین تسهیل از نظر معیارهایی مثل رضایت و انعطاف‌پذیری و...	✓	A,c,b	پیشنهادی

باعث می‌شود طراحی شبکه زنجیره تامین متناظر نیز با در نظر گرفتن محیط فازی انجام شود. همچنین تولیدکننده‌ای انتخاب می‌شود که معیار کیفی مناسبی داشته باشد، مثلا ظرف نوشابه تولیدی آن آسیب کمتری به محیط زیست برساند.

ساختار این پژوهش به‌شرح زیر است: ابتدا تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی معرفی می‌گردد. در بخش سوم مدل زنجیره تأمین پیشنهادی ارائه شده و در ادامه آن در بخش چهارم روش پیشنهادی و گام های آن جهت حل مساله بیان می‌گردند. سپس، رویکرد پیشنهادی در یک مثال عددی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهایت، نتیجه گیری مقاله به همراه پیشنهادات آتی ارائه می‌گردد.

۲- تجزیه و تحلیل مؤلفه های اصلی(PCA)[۸]

همان‌طور که قبلا ذکر شد، در این مطالعه هدف، طراحی زنجیره تأمینی است که اجزای زنجیره از نظر کلیه معیارهای مورد مطالعه مطلوب باشند. یکی از راه های انتخاب تأمین کننده بر اساس معیارهای موردنظر، استفاده از روش تکنیک‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره آماری می‌باشد. لام و همکاران[۹] [۱۷] یکی از این تکنیک‌ها را وارد مسائل مدیریت زنجیره تأمین کردند، آنها با استفاده از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی فازی، پس از مستقل‌کردن معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان، بهترین تأمین‌کننده را انتخاب کردند. در ادامه به معرفی این روش پرداخته می‌شود.

PCA اولین بار توسط پیرسون[۱۰] [۱۸] جهت کاهش ابعاد مساله به‌کار برده شد. وی بیان کرد که در تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی هدف به‌دست آوردن شاخص جدیدی مبتنی بر شاخص‌های موجود است. مزیت این روش علاوه بر غیر همبسته کردن داده‌ها، کاهش ابعاد مساله، بدون از دست دادن اطلاعات زیادی است. به‌طور کلی در این روش ما به دنبال بیشینه کردن واریانس ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستیم ([۱۹]). در این روش داده‌های اولیه به مجموعه جدیدی تحت عنوان مؤلفه های اصلی (که نسبت به هم مستقلند)، تبدیل می‌شوند. مؤلفه اصلی اول به دست آمده از PCA ترکیب خطی از متغیرهای اولیه است، طوری که بیشترین واریانس از

[۸] Principal Component Analysis

[۹] Lam et al.

[۱۰] Pearson

واریانس کل متغیرهای اولیه را در بر دارد. مؤلفه دوم نیز یک ترکیب خطی از متغیرهای اولیه است که پس از مؤلفه اول بیشترین واریانس از واریانس کل متغیرهای اولیه را شامل می‌شود. به‌همین ترتیب اگر ما p متغیر اولیه داشته باشیم p مؤلفه اصلی که حاوی واریانس متغیرهای اولیه هستند را می‌توانیم به‌دست آوریم (رابطه (۱)). واریانس متغیر های جدید دارای روند نزولی می‌باشد.

$$\begin{aligned}\xi_1 &= w_{11}x_1 + w_{12}x_2 + \cdots + w_{1p}x_p \\ \xi_2 &= w_{21}x_1 + w_{22}x_2 + \cdots + w_{2p}x_p \\ &\vdots \\ \xi_p &= w_{p1}x_1 + w_{p2}x_2 + \cdots + w_{pp}x_p\end{aligned} \quad (۱)$$

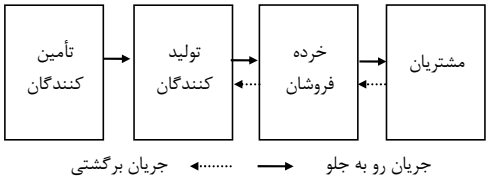
در رابطه (۱) $\xi_1,\xi_2,\ldots,\xi_p$ نشان دهنده p مؤلفه اصلی و w_{ij} وزن jامین متغیر اولیه در i امین مؤلفه جدید است.

در صورت فازی بودن داده‌های اولیه می‌توان از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی فازی (FPCA) جهت رسیدن به اهداف نامبرده استفاده کرد. ساربو و پاپ[۱۱] [۲۰] اثبات کردند که به‌طور کلی در محیط فازی FPCA نتایج بهتری نسبت به PCA ارائه می‌دهد. به همین دلیل در این مطالعه از FPCA جهت مستقل کردن داده‌ها استفاده می‌شود.

۳- مدل شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پیشنهادی

همان‌گونه که در شکل (۱) ملاحظه می‌شود، شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چند محصولی پیشنهادی، شامل چهار سطح تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، خرده فروشان و نواحی مشتریان می‌باشد. خرده فروشان ضمن پخش محصولات، وظیفه جمع‌آوری و ارسال کالاهای استفاده شده از مشتریان به سوی تولیدکنندگان برای بازیافت را نیز بر عهده دارند. سواسکان و همکاران[۱۲] [۲۱] اثبات کردند بهترین راه برای جمع آوری کالاهای برگشتی استفاده از خرده‌فروشان می‌باشد، زیرا در این صورت مشتریان راحت تر کالاها را برگردانده و با انگیزه بیشتری این کار را انجام می‌دهند. یعنی زمانی که برای خرید به خرده فروش مراجعه می‌کنند کالاهای مستعمل را نیز بر می‌گردانند، اما اگر مرکزی صرفا برای جمع آوری در نظر گرفته شود مشتریان با تمایل کمتری به آن مراجعه می‌کنند.

به‌همین دلیل در این پژوهش خرده فروشان یکی از ارکان زنجیره تأمین پیشنهادی می‌باشد. فرض بر آن است که هر محصول از تعدادی قطعه تشکیل می‌شود، که طول عمر قطعات از محصول بیشتر بوده و اگر محصول از کار بیفتد می‌توان از قطعات در کالاهای دیگر استفاده کرد. محصولات برگشتی در مراکز تولید دمونتاژ شده و از بعضی قطعات مستعمل که قابل استفاده مجدد باشند، در ساخت محصولات جدید استفاده می‌شود. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم در ادامه ارائه می‌گردند.



شکل (۱): ساختار شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پیشنهادی

۳-۱- اندیس ها:

تأمین‌کنندگان	$s=1,\ldots,S$
تولیدکنندگان	$m=1,\ldots,M$
خرده فروشان	$d=1,\ldots,D$
مشتریان	$c=1,\ldots,C$
قطعات	$k=1,\ldots,K$
محصولات	$p=1,\ldots,P$

۳-۲- پارامترها:

همان‌طور که پیشتر نیز بیان شد، در این مطالعه تمامی پارامترها به‌صورت فازی ذوزنقه ای فرض و بررسی شده‌اند:

هزینه ثابت سفارش‌دهی به تأمین‌کننده s	$\widetilde{FS}_s$
هزینه ثابت تولید محصول p در کارخانه m	$\widetilde{FM}_{pm}$
هزینه احداث خرده فروش d	$\widetilde{FD}_d$
هزینه خرید قطعه k از تأمین کننده s و ارسال به کارخانه m	$\widetilde{BC}_{ksm}$
هزینه تولید محصول p در کارخانه m	$\widetilde{MC}_{pm}$
هزینه حمل و نقل از کارخانه m به خرده فروش d	$\widetilde{TM}_{md}$
هزینه حمل و نقل از خرده فروش d به مشتری c	$\widetilde{TD}_{dc}$
هزینه حمل و نقل کالاهای بازگشتی از خرده فروش d به کارخانه m و هزینه بازیافت آنها در کارخانه	$\widetilde{TR}_{dm}$
هزینه جمع‌آوری محصول بازگشتی p توسط خرده فروش d	$\widetilde{CC}_{pd}$
حداکثر مقدار قطعه k که تأمین‌کننده s می‌تواند تأمین کند	$\widetilde{CS}_{ks}$
ظرفیت تولید کارخانه m برای تولید محصول p	$\widetilde{CM}_{pm}$
ظرفیت خرده فروش d برای نگهداری محصول p	$\widetilde{CD}_{pd}$
تقاضا مشتری c برای محصول p	$\widetilde{Dm}_{pc}$
نرخ بازگشت محصول p از مشتری c	$\tilde{r}_{pc}$
میزان قطعات جدید خریداری شده در محصول	β_l

[۱۱] Sarbu and Pop
[۱۲] Savaskan

میزان قطعات برگشتی در محصول β_2

امتیاز نهایی مؤلفه اصلی برای تأمین‌کننده s $PCDSS_s$

امتیاز نهایی مؤلفه اصلی برای کارخانه m $CDSM_m$

۳-۳- متغیر های تصمیم:

مقدار قطعه k که از تأمین‌کننده s به کارخانه m جهت تولید محصول p ارسال می‌شود. y_{kpsm}

مقدار محصول p که در کارخانه m تولید می‌شود. x_{pm}

مقدار محصول p که از کارخانه m به خرده فروش d ارسال می‌شود l_{pmd}

مقدار محصول p که از خرده فروش d به مشتری c ارسال می‌شود. v_{pdc}

مقدار محصول بازگشتی p از مشتری c به خرده فروش d w_{pcd}

مقدار محصول بازگشتی p که توسط خرده فروش d جمع آوری و به کارخانه m ارسال می‌شود. q_{pdm}

مقدار قطعه k که در محصول p به کار رفته، توسط خرده فروش d به کارخانه m برگردانده شده و قابل استفاده مجدد می‌باشد. a_{kpdm}

مقدار قطعه k که در محصول p به کار رفته، توسط خرده فروش d به کارخانه m برگردانده شده و قابل استفاده مجدد نمی‌باشد. b_{kpdm}

۱: اگر کارخانه m محصول p را تولید کند و ۰: در غیر این صورت n_{pm}

۱: اگر تأمین کننده s جزیی از زنجیره تأمین باشد و ۰: در غیر این صورت u_s

۱: اگر خرده فروش d احداث شود و ۰: در غیر این صورت e_d

۳-۴- توابع هدف:

$$\begin{aligned} min\, TC = {} & \sum_p \sum_m \widetilde{FM}_{pm}.n_{pm} + \sum_d \widetilde{FD}_d.e_d \\ & + \sum_s \widetilde{FS}_s.u_s + \sum_k \sum_s \sum_m \widetilde{BC}_{ksm} \sum_p y_{kpsm} \\ & + \sum_p \sum_m \widetilde{MC}_{pm}.x_{pm} + \sum_p \sum_d \widetilde{CC}_{pd} \sum_c w_{pcd} \\ & + \sum_m \sum_d \widetilde{TM}_{md} \sum_p l_{pmd} + \sum_d \sum_c \widetilde{TD}_{dc} \sum_p v_{pdc} \\ & + \sum_d \sum_m \widetilde{TR}_{dm} \sum_p q_{pdm} \end{aligned} \quad (۲)$$

$$\min PCD = \sum_S PCDSS_S.u_s + \sum_m \sum_p PCDSM_m.n_{pm} \quad (۳)$$

۳-۵- محدودیت ها:

$$\sum_m \sum_p y_{kpsm} \le u_s.\widetilde{CS}_{ks} \quad (۴)$$

$$x_{pm} \le n_{pm}.\widetilde{CM}_{pm} \quad (۵)$$

$$\sum_m l_{pmd} + \sum_c w_{pcd} \le e_d.\widetilde{CD}_{pd} \quad (۶)$$

$$x_{pm} = \beta_1 \sum_s y_{kpsm} + \beta_2 \sum_d a_{kpdm} \quad (۷)$$

$$\sum_d l_{pmd} \le x_{pm} \quad (۸)$$

$$\sum_m l_{pmd} = \sum_c v_{pdc} \quad (۹)$$

$$\sum_d v_{pdc} \ge \widetilde{Dm}_{pc} \quad (۱۰)$$

$$\sum_d w_{pcd} = \widetilde{Dm}_{pc}.\tilde{r}_{pc} \quad (۱۱)$$

$$\sum_c w_{pcd} = \sum_m q_{pdm} \quad (۱۲)$$

$$q_{pdm} = \sum_k \left(a_{kpdm} + b_{kpdm}\right) \quad (۱۳)$$

$$n_{pm}, u_s, e_d \in \{0,1\} \quad (۱۴)$$

$$y_{kpsm}, x_{pm}, l_{pmd}, q_{pdm}, v_{pdc}, w_{pcd}, a_{kpdm}, b_{kpdm} \ge 0 \quad (۱۵)$$

تابع هدف (۲) جهت حداقل کردن هزینه های ثابت، خرید، تولید، جمع‌آوری و ارسال می‌باشد. پس از محاسبه مقدار امتیاز هر تأمین‌کننده و هر تولید کننده در قالب امتیاز نهایی مؤلفه اصلی و بر اساس معیارهای مورد نظر، تابع هدف (۳) به دنبال حداقل‌کردن مقدار جمعی انحراف از مقدار امتیاز ایده‌آل مؤلفه اصلی اجزای زنجیره تأمین می‌باشد. به این طریق اجزایی انتخاب می‌شوند که حداکثر مطلوبیت برای کل زنجیره را داشته باشند. محدودیت (۴) بیان می‌کند که اگر u_s=1 باشد از تأمین کننده s به اندازه ظرفیت آن خریداری شود. محدودیت (۵) مانند محدودیت قبلی بوده و باعث می‌شود تولیدکنندگان انتخابی حداکثر به اندازه ظرفیت تولیدشان، محصول تولید کنند. رابطه (۶) محصولات ورودی به خرده فروشان را محدود می‌کند. محدودیت (۷) بیانگر رابطه بین قطعات و محصولات مونتاژ شده می‌باشد. یعنی هر محصول شامل قطعات جدید و برگشتی است. رابطه (۸) تضمین می‌کند تعداد محصولات ارسالی از تولیدکنندگان به خرده فروشان از محصولات تولید شده کمتر باشد. زیرا در واحد کنترل کیفیت بعضی از محصولات دارای نقص بوده و تایید نمی‌شوند. بر اساس محدودیت (۹) کالاهای ورودی به خرده‌فروشان و خروجی از آنان معادل می‌شوند. رابطه (۱۰) برآورده شدن تقاضای مشتریان را تضمین می‌کند. محدودیت (۱۱) باعث می‌شود مقداری از کالاهای استفاده شده جمع‌آوری شود. محدودیت (۱۲)، مشابه (۹) برای برقراری رابطه تعادلی محصولات بازگشتی است. بر اساس رابطه (۱۳)، محصولات برگشتی، دمونتاژ شده و به دو دسته قطعه قابل استفاده مجدد و غیر قابل استفاده مجدد تقسیم می‌شوند. روابط (۱۴) و (۱۵) نوع متغیرهای تصمیم را تعیین می‌کنند.

۴- روش حل پیشنهادی

گام اول: به‌منظور تعیین معیار جمعی برای انتخاب اجزای زنجیره تأمین، ابتدا ملاکی تحت عنوان امتیاز مؤلفه اصلی معرفی می‌شود، که به‌نوعی همه معیار های مهم را همزمان در نظر می‌گیرد. به‌عبارت دیگر تسهیلاتی که بهترین امتیاز مؤلفه اصلی را داشته باشند، از نظر همه معیار های انتخابی نیز بهترین هستند. از آنجا که مقادیر معیارهای مختلف به‌صورت فازی در نظر گرفته می‌شوند، تحلیل مؤلفه‌های اصلی نیز در حالت فازی انجام می‌گیرد. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی فازی استفاده شده در این مقاله بر اساس [۱۷] و [۲۲] می‌باشد. همچنین برای تعیین جهت مؤلفه استخراج شده نیز از [۲۳] استفاده شده است.

فرض کنید برای انتخاب تولیدکنندگان، معیارهایی مانند هزینه کل، کیفیت، خدمت، عملکرد گذشته، اعتبار، توانایی و روابط با سایر تسهیلات زنجیره و ... مد نظر برای تصمیم‌گیری است که البته این معیارها دارای همبستگی نسبت به هم می‌باشند. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، ضمن کاهش ابعاد معیارها، معیارهای جدید مستقل از هم شناسایی می‌شوند. این موضوع برای دو جز تأمین‌کننده و تولیدکننده انجام می‌پذیرد و در نهایت در قالب تابع هدف دوم تصمیم‌گیری می‌شود.

با توجه به فازی فرض گرفتن محیط، ماتریسی از معیارهای مختلف و اجزاء زنجیره تأمین وجود خواهد داشت که امتیاز هر جزء زنجیره در هر معیار با درجه عضویت معینی همراه خواهد بود. از سوی دیگر داده اولیه ورودی برای محاسبه رابطه مولفه‌های اصلی، ماتریس واریانس-کوواریانس می‌باشد، بنابراین در این مساله نیز لازم است ماتریس مذکور از داده های فازی استخراج شود. بدین منظور از روابط پیشنهادی [۲۲] (روابط (۱۸)-(۱۶)) برای محاسبه ماتریس واریانس-کوواریانس فازی استفاده شده است.

$$N = \sum_{m=1}^{n} \mu_A(m) \qquad (۱۶)$$

$$\tilde{x_\iota} = \frac{1}{N}\sum_{m=1}^{n} x_{im}\mu_A(m) \qquad (۱۷)$$

$$s_{ij} = \sum_{m=1}^{n}(x_{im} - \tilde{x_\iota})(x_{jm} - \tilde{x_\iota})\mu_A(m) \qquad (۱۸)$$

در روابط (۱۸)-(۱۶) m اندیس تولید کننده و i و j اندیس معیار می‌باشد. همچنین منظور از $\mu_A(m)$، x_{im}، $\tilde{x}_i$ و s_{ij} به ترتیب درجه عضویت هر تولید کننده، امتیاز تولیدکننده m در معیار i، میانگین فازی و واریانس فازی است.

پس از ایجاد ماتریس واریانس-کوواریانس فازی، مقدار ویژه و بردار ویژه و از روی آنها ترکیب‌های خطی مؤلفه های اصلی ایجاد می‌گردد. با استفاده از بردار ویژه و نمودار scree plot تعداد مؤلفه‌های اصلی مورد نیاز، تعیین می‌شود. سپس با ضرب برداری مقدار ویژه در مقادیر اولیه هر تولید کننده، مقدار امتیاز هر یک از مؤلفه‌های اصلی (PC) محاسبه و استفاده می‌شود. طریقه به دست آوردن امتیاز، در بخش مثال عددی به‌صورت کامل‌تری بیان می‌شود.

از آنجا که ضرایب به دست آمده برای رابطه مؤلفه های اصلی می‌توانند متفاوت باشند جهت مؤلفه های استخراج شده نامشخص خواهد بود و لازم است به‌صورت مناسبی تعیین جهت شوند. به همین دلیل در این مقاله برای شناسایی جهت مؤلفه های استخراج شده، از مرجع [۲۳] استفاده می‌شود. به کمک روابط (۲۱)-(۱۹) به ترتیب مقدار PCS^*، T و $PCDSM$ به دست می‌آید.

$$PCS^* = Eigen\ value \times \max(criteria\ score) \qquad (۱۹)$$

$$T_i = |PCS_i - PCS^*| \qquad (۲۰)$$

$$PCDSM_m = \sum_i Var_i \times T_i \qquad (۲۱)$$

منظور از $max\ (criteria\ score)$ بیشترین مقدار در هر معیار است که در مقادیر ویژه ضرب شده تا امتیاز مولفه اصلی بهترین وضعیت (PCS^*) تعیین شود. در ادامه برای هر عضو زنجیره مقدار انحراف امتیاز مؤلفه اصلی با PSC^* محاسبه شده و به عنوان انحراف برای مؤلفه مورد نظر (T_i) در نظر گرفته می‌شود. رابطه (۲۱) میزان انحراف موزون نهایی تمامی مؤلفه ها را برای هر عضو زنجیره تامین محاسبه می‌کند. در روابط (۲۱)-(۱۹) منظور از i معیار و m تولیدکننده است.

گام دوم: در این مرحله، مدل‌سازی طراحی شبکه زنجیره تأمین دو هدفه با استفاده از (۱۵)-(۲) که پیشتر معرفی گردید، انجام می‌شود.

گام سوم: به کمک روش پیشنهادی [۱۵] مدل فازی به مدل قطعی زیر تبدیل می‌شود. عدد فازی ذوزنقه‌ای $\tilde{c}$، به صورت (c^1, c^2, c^3, c^4) در نظر گرفته شده است.

$$\min TC = \sum_p \sum_m \left(\frac{FM_{pm}^1+FM_{pm}^2+FM_{pm}^3+FM_{pm}^4}{4}\right) n_{pm} + \sum_d \left(\frac{FD_d^1+FD_d^2+FD_d^3+FD_d^4}{4}\right) e_d + \sum_s \left(\frac{FS_s^1+FS_s^2+FS_s^3+FS_s^4}{4}\right) u_s + \sum_k \sum_s \sum_m \left(\frac{BC_{ksm}^1+BC_{ksm}^2+BC_{ksm}^3+BC_{ksm}^4}{4}\right) \sum_p y_{kpsm} + \sum_p \sum_m \left(\frac{MC_{pm}^1+MC_{pm}^2+MC_{pm}^3+MC_{pm}^4}{4}\right) x_{pm} + \sum_m \sum_d \left(\frac{TM_{md}^1+TM_{md}^2+TM_{md}^3+TM_{md}^4}{4}\right) \sum_p l_{pmd} + \sum_d \sum_c \left(\frac{TD_{dc}^1+TD_{dc}^2+TD_{dc}^3+TD_{dc}^4}{4}\right) \sum_p v_{pdc} \qquad (۲۲)$$

$$\min PCD = \sum_S PCDSS_S . u_s + \sum_m \sum_p PCDSM_m . n_{pm} \qquad (۲۳)$$

s.t.

$$\sum_m \sum_p y_{kpsm} \le u_s \left[\alpha \left(\frac{CS_{SC}^1+CS_{SC}^2}{2}\right) + (1-\alpha)\left(\frac{CS_{SC}^3+CS_{SC}^4}{2}\right)\right] \qquad (۲۴)$$

$$x_{pm} \le n_{pm}\left[\alpha\left(\frac{CM_{pm}^1+CM_{pm}^2}{2}\right) + (1-\alpha)\left(\frac{CM_{pm}^3+CM_{pm}^4}{2}\right)\right] \qquad (۲۵)$$

$$\sum_m l_{pmd} + \sum_c w_{pcd} \le e_d\left[\alpha\left(\frac{CD_{pd}^1+CD_{pd}^2}{2}\right) + (1-\alpha)\left(\frac{CD_{pd}^3+CD_{pd}^4}{2}\right)\right] \qquad (۲۶)$$

$$x_{pm} = \beta_1 \sum_s y_{kpsm} + \beta_2 \sum_d a_{kpdm} \qquad (۲۷)$$

$$\sum_d l_{pmd} \le x_{pm} \quad (۲۸)$$

$$\sum_m l_{pmd} = \sum_c v_{pdc} \quad (۲۹)$$

$$\sum_d v_{pdc} \ge \left[(1-\alpha)\left(\frac{DM^1_{pc}+DM^2_{pc}}{2}\right)+\alpha\left(\frac{DM^3_{pc}+DM^4_{pc}}{2}\right)\right] \quad (۳۰)$$

$$\sum_d w_{pcd} = \left[(1-\alpha)\left(\frac{DM^1_{pc}+DM^2_{pc}}{2}\right)+\alpha\left(\frac{DM^3_{pc}+DM^4_{pc}}{2}\right)\right] \times \left[(1-\alpha)\left(\frac{r^1_{pc}+r^2_{pc}}{2}\right)+\alpha\left(\frac{r^3_{pc}+r^4_{pc}}{2}\right)\right] \quad (۳۱)$$

$$\sum_c w_{pcd} = \sum_m q_{pdm} \quad (۳۲)$$

$$q_{pdm} = \sum_k (a_{kpdm} + b_{kpdm}) \quad (۳۳)$$

$$n_{pm}, u_s, e_d \in \{0,1\} \quad (۳۴)$$

$$y_{kpsm}, x_{pm}, l_{pmd}, q_{pdm}, v_{pdc}, w_{pcd}, a_{kpdm}, b_{kpdm} \ge 0 \quad (۳۵)$$

منظور از α میزان برقراری محدودیت‌های فازی است توسط تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود.مزیت این روش بهینه‌سازی این است که تصمیم‌گیرنده می‌تواند درجه شدنی بودن محدودیت‌ها را بر اساس نظر خودش تعیین کند[۱۵].

گام چهارم: به ازای مقادیر مختلف α در مدل چند هدفه جواب مرجح مساله دو هدفه با روش ال‌پی‌متریک تعیین می‌شود.

$$\min f = \left[\sum_k \lambda_k \left[\frac{z_k - z_k^{min}}{z_k^{max} - z_k^{min}}\right]^p + \sum_l \lambda_l \left[\frac{z_l^{max} - z_l}{z_l^{max} - z_l^{min}}\right]^p\right]^{\frac{1}{p}} \quad (۳۶)$$
$$s.t.\ x \in F(x)$$

در رابطه (۳۶) k و l به ترتیب اندیس توابع هدف حداقل و حداکثرسازی هستند. λ_k و λ_l وزن توابع هدف بوده که توسط تصمیم‌گیر تعیین می‌شود.

۵- مثال عددی

در مثال عددی فرض بر آن است که یک زنجیره تأمین شامل ۲۴ تأمین کننده، ۲۴ تولید کننده ، ۱۰ خرده فروش و ۱۰ مشتری (customer zone) می‌باشد. ۳ نوع قطعه اولیه برای ساخت دو نوع محصول به‌کار می‌روند. این قطعات یا از تأمین کنندگان خریداری شده و یا از دمونتاژ محصولات بازگشتی که قابل استفاده مجدد هستند، به‌دست می‌آید. برای انتخاب تأمین کننده ۱۰ معیار شامل مناسب بودن قیمت، ثبات قیمت، کیفیت مواد اولیه، تحویل به موقع، توانایی، انعطاف پذیری، اعتبار، قابلیت اطمینان، همکاری با سایر اجزای زنجیره تأمین و ضمانت دارای اهمیت می‌باشند. ۱۰ معیار برای انتخاب تولید کننده نیز عبارتند از سود سالانه، کیفیت تولید، روابط با سایر اجزای زنجیره تأمین، عملکرد گذشته، رضایت مشتریان، آسیب کمتر به محیط زیست، خدمات پس از فروش، تحویل به موقع، توانایی تولید و انعطاف‌پذیری. در این مثال فرض شده است که مقادیر هر معیار برای هر تأمین‌کننده و تولیدکننده دارای یک درجه عضویت فازی است. در مراکز تولید فرض بر این است که معیار های کیفیت تولید، رضایت مشتریان، خدمات پس از فروش و تحویل به موقع دارای همبستگی هستند. برای این معیارهای همبسته مقادیر شبیه سازی شده مثال عددی به‌صورت اعداد تصادفی همبسته بین صفر و ده با توزیع نرمال چند متغیره تولید شده‌اند و سایرین به صورت مستقل ایجاد گردیده‌اند.

با استفاده از (۱۸)-(۱۶) ماتریس واریانس- کوواریانس فازی ساخته شده، مقادیر ویژه و بردار ویژه به کمک نرم افزار MATLAB به دست آمده و ترکیب های خطی مؤلفه‌های اصلی نوشته می‌شود. پس از طی مراحل نامبرده مقادیر ویژه اول برای تولید کنندگان به‌صورت جدول (۲) به‌دست می‌آید.

جدول (۲): مقدار ویژه ماتریس امتیازات فازی معیارهای مراکز تولید در مثال عددی

	Eigen value	*Variance*
PC1	*2.403*	*0.276*
PC2	*1.890*	*0.217*
PC3	*1.856*	*0.218*
PC4	*1.277*	*0.146*
PC5	*0.676*	*0.077*

از ویژگی‌های تحلیل مؤلفه‌های اصلی کاهش تعداد متغیرها با از بین رفتن مقدار کمی واریانس است. برای کاهش تعداد متغیرها و همچنین مستقل‌کردن آنها، تعدادی مؤلفه اصلی کافی می‌باشد، که از مقدار جمع تجمعی واریانس ها می‌توان ۸۵٪ آنها را انتخاب کرد. به بیان دیگر چنانچه تمایلی به حذف قسمتی از واریانس نداشته باشیم عملا نمی‌توان تعداد متغیرها را کاهش داد اما با روش استفاده شده مولفه‌هایی که سهم کمتری در بین واریانس داده‌ها دارند حذف می‌شود. در پژوهش‌های پیشین نیز نظیر مرجع [۱۷] تعداد مولفه‌ها با نادیده گرفتن قسمتی از واریانس کل داده‌ها کاهش داده می‌شود. همان‌طور که در جدول (۲) ملاحظه می‌شود وجود ۴ مؤلفه اصلی کافی است، زیرا ۸۶٪ داده‌ها را در بر دارند. این امر در شکل (۲) (نمودار scree plot) نیز نشان داده شده است. این نمودار جهت بیان کردن تعداد مؤلفه‌های اصلی مورد نیاز، استفاده می‌شود.

رابطه اولین مؤلفه اصلی ماتریس امتیازات معیارهای مراکز تولید که بر اساس بردار ویژه استخراجی تعیین شده است، به صورت (۳۷) می‌باشد.

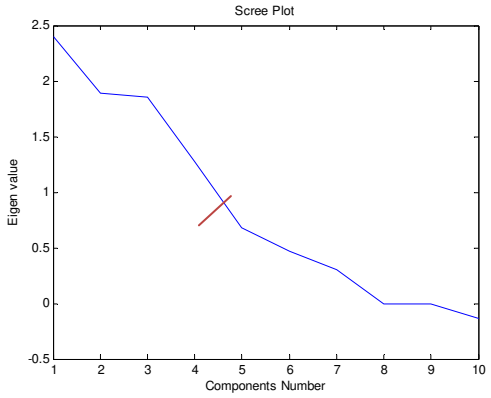
$$PC_1 = (-0.105, 0.077, -0.036, -0.027, -0.123, -0.356, -0.889, 0.019, 0.104, 0.196) \times (profit, quality, relationship, past\ record, sasatisfaction, capacity, support, ontime \quad (۳۷)$$

$delivery, capability, flexibility)'$

حال باید مقادیر اولیه هر تولیدکننده را در (۳۷) قرار داده و PC_1 تا PC_4 را به طریق مشابه بدست آوریم. همان طور که قبلاً ذکر شد در روابط فوق ضرایب هم جهت نبوده و بعضی مثبت و برخی دیگر منفی می‌باشند و برای بهینه نمودن تابع مؤلفه اصلی جدید، تعیین جهت بهینه‌سازی آن ضروری می‌باشد. بنابراین برای حل این مشکل، پس از محاسبه مقدار امتیاز هر یک از مؤلفه‌های اصلی و ماتریس امتیازات معیارهای مراکز تولید، اختلاف آن با مقدار حداکثر مؤلفه اصلی بر اساس رابطه (۲۰) محاسبه می‌شود. برای مثال عددی ارائه شده، مقادیر PC و T در جدول (۳) قابل ملاحظه می‌باشد.

جدول (۳): مقادیر ویژه مراکز تولید و اختلاف آنها با امتیاز ایده آل برای ۵ مرکز تولید در مثال عددی

تولید کننده	*PC1*	*T1*	*PC2*	*T2*	*PC3*	*T3*	*PC4*	*T4*	*PCDSm*
1	*-4.740*	*0.391*	*-0.111*	*0.025*	*0.157*	*0.035*	*-3.149*	*1.211*	*0.298*
2	*-3.698*	*1.433*	*-0.078*	*0.058*	*0.116*	*0.076*	*-1.682*	*0.256*	*0.461*
3	*-3.704*	*1.427*	*-0.096*	*0.040*	*0.136*	*0.057*	*-2.053*	*0.116*	*0.431*
4	*-3.092*	*2.039*	*-0.080*	*0.056*	*0.114*	*0.078*	*-2.682*	*0.745*	*0.699*
5	*-3.626*	*1.505*	*-0.586*	*0.450*	*0.260*	*0.068*	*-2.245*	*0.308*	*0.572*



شکل (۲): نمودار scree plot مؤلفه های اصلی ماتریس امتیازات فازی معیارهای مراکز تولید در مثال عددی

جهت بدست آورن امتیاز نهایی مؤلفه اصلی هر تولیدکننده (ستون آخر جدول (۳)) می‌توان از رابطه (۲۱) استفاده کرد. در رابطه با تولیدکننده‌ها این رابطه از جدول (۲) به‌صورت رابطه (۳۸) می‌باشد.

$$PCSD = 0.276T_1 + 0.217T_2 + 0.218T_3 + 0.146T_4 \quad (۳۸)$$

برای اطمینان از کارایی روش پیشنهادی یکی از تولیدکننده‌ها در معیارهای مستقل دارای کمترین مقدار و در معیارهای وابسته با بیشترین مقدار در نظر گرفته شده است. از طریق مدل پیشنهادی بهترین امتیاز به این تولید کننده تعلق گرفت.

برای تأمین‌کنندگان نیز همین روال را تکرار کرده و نتایج جدول (۴) بدست می‌آیند.

با استفاده از روش جیمنز و همکاران [۱۵] به ازای مقادیر مختلف درجه برقراری محدودیت، مدل متناظر استخراج شده و برای هر یک از آنها جواب مرجح بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده و با استفاده از روش ال‌پی‌متریک شناسایی می‌شود. در جدول (۵) مقادیر توابع هدف، تعداد تأمین کنندگان و تولیدکنندگان انتخابی به‌ازای مقادیر مختلف α و λ قابل مشاهده می‌باشد. با استفاده از این جدول تصمیم‌گیرنده می‌تواند جواب مرجح را انتخاب کند.

جدول (۴): امتیاز مؤلفه‌های اصلی برای ۵ تأمین‌کننده

تأمین‌کننده	$PCDS_s$
1	*0.385*
2	*0.275*
3	*0.376*
4	*0.485*
5	*0.973*

همان‌طور که در جدول (۵) ملاحظه می‌شود، به ازای مقدار ثابت α، با افزایش اهمیت به تابع اول (با افزایش λ_1) از مقدار آن کاسته و مقدار تابع دوم افزایش می‌یابد. این قضیه در رابطه با تابع هدف دوم نیز صادق است زیرا دو تابع کمینه‌سازی هستند و با دادن وزن بیشتر به هر تابع، جواب بهتری برای آن تابع بدست می‌آید.

به‌ازای مقدار ثابت λ و افزایش مقادیر α، جواب بهینه (یعنی تأمین‌کننده و تولیدکننده انتخاب شده) ثابت بوده و فقط اندازه توابع تغییر می‌کند. علت بدتر شدن توابع، آن است که با افزایش α میزان برقراری محدودیت‌ها بیشتر شده و عملا باعث کوچکترشدن فضای جواب می‌شود که این موضوع خود موجب بدتر شدن جواب بهینه حاصله خواهد شد.

نکته حائز اهمیت این است که اگر در حل مساله به همبستگی داده‌ها توجه نمی‌شد و به طریق سنتی بهینه‌سازی صورت می‌گرفت، به عبارت دیگر تابع هدف دوم به صورت رابطه (۳۹) در نظرگرفته می‌شد، به

ازای مقادیر مختلف λ و α، کمترین هزینه کل برابر با8241865.8 بـوده و همه تأمین‌کنندگان و تولیـدکنندگان انتخاب می‌شدند. علت آن است که تاثیر یک پارامتر بخاطر وجود همبستگی در واقع چند مرتبه اثر گذاری خواهد داشت. مقدار هزینه فوق الذکر حتی از بیشترین مقدار هزینه به دست آمده با روش پیشنهادی نیز بیشتر است.

جدول (۵): مقادیر توابع هدف، تعداد تأمین کنندگان و تولیدکنندگان انتخابی به ازای مقادیر مختلف λ و α

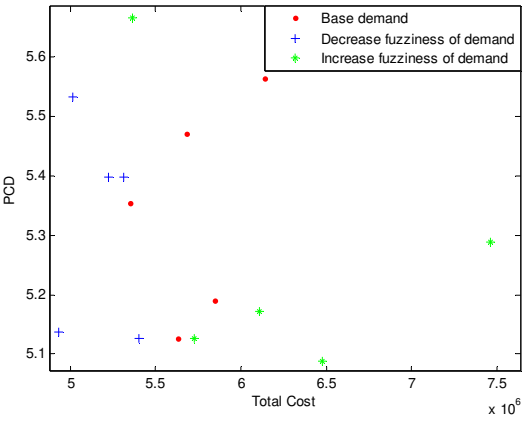
α	$\lambda 1$	$\lambda 2$	$z1$	$z2$	تعداد تأمین کننده	تعداد تولید کننده
0.6	0.8	0.2	5347155.720	5.354	6	6
	0.6	0.4	5542257.131	4.076	5	5
	0.4	0.6	5627063.513	3.025	4	4
	0.2	0.8	5623532.726	2.743	3	4
0.7	0.8	0.2	5511668.078	4.827	5	6
	0.6	0.4	5707251.496	4.076	5	5
	0.4	0.6	5707251.496	4.076	5	5
	0.2	0.8	5794885.732	2.743	2	4
0.8	0.8	0.2	5678556.386	4.827	5	6
	0.6	0.4	5875626.502	4.076	5	5
	0.4	0.6	5965643.261	3.168	4	4
	0.2	0.8	5966147.864	2.743	3	4
0.9	0.8	0.2	5849315.423	4.827	5	6
	0.6	0.4	6046133.439	4.076	5	5
	0.4	0.6	6141751.398	2.886	3	4
	0.2	0.8	6142139.394	2.743	3	4
1	0.8	0.2	6020507.077	4.972	5	6
	0.6	0.4	6221291.013	4.827	6	6
	0.4	0.6	6316959.285	3.018	4	4
	0.2	0.8	6318901.572	2.882	3	4

$$\max \sum_s \sum_{Criteria} Score_{s,Criteria} \times u_s + \sum_m \sum_{Criteria} Score_{m,Criteria} \times \sum_p n_{pm} \quad (۳۹)$$

این نتایج نشان‌دهنده اهمیت استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی در مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین است. با مستقل کردن داده‌ها جزیی از زنجیره تأمین انتخاب می‌شود که علاوه بر این که از نظر هزینه کل بهینه می‌باشد بلکه از نظر معیار های کیفی که برای مدیران و مشتریان حائز اهمیت است، نیز بهترین است.

در پایان تحیل حساسیتی روی میزان فازی بودن تقاضا صورت می‌گیرد، زیرا در بهینه سازی مدل از بین پارامتر های مختلف مهم‌ترین نقش را تقاضا بر عهده دارد. به ازای مقادیر λ_1=0.7 و λ_2=0.3 مساله حل می‌شود. دلیل انتخاب این وزن‌ها برای توبع هدف، اهمیت بیشتر هزینه کل نسبت به معیارهای کیفی است. شکل (۳) نتایج تحلیل حساسیت را برای سه حالت اولیه، کاهش و افزایش میزان فازی بودن تقاضا نشان می‌دهد.

همان‌طور که نتایج در شکل (۳) مشاهده می‌شود، به ازای مقادیر مختلف α با افزایش میزان فازی بودن مقدار هزینه کل افزایش یافته و با کاهش این میزان از مقدار تابع کاسته می‌شود. علت آن است که با افزایش ابهام در تقاضا عملا زنجیره طراحی شده برای سایر مقادیر فازی تقاضا مناسب نبوده و علی الاصول هزینه‌های مربوط به شبکه افزایش می‌یـابد. علاوه بر این پراکنـدگی تابع هدف اول نیز با میزان فازی بودن تقاضا ارتباط مستقیم دارد. به‌عبارت دیگر هر چه میزان فازی بودن تقاضا بیشتر باشد مقدار هزینه کل و همچنین پراکندگی این تابع افزایش می‌یابد.



شکل (۳): تحلیل حساسیت میزان فازی بودن تقاضا بر روی توابع هدف

۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این مطالعه مدلی جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین ارائه شد که با چند محصولی فرض کردن زنجیره تأمین و توجه بیشتر به رضایت مشتریان تا حدودی خلا مقالات پیشین پوشش داده شد.

به‌کارگیری روش‌های تجزیه و تحلیل چند متغیره آماری، یکی دیگر از تفاوت‌های این پژوهش با سایر مقالات می‌باشد. با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، معیار امتیاز مؤلفه اصلی برای هر جز شبکه زنجیره تأمین تعیین شده، تسهیلاتی انتخاب می‌شوند که بهترین امتیاز مؤلفه اصلی را داشته باشند. امتیاز مؤلفه اصلی شامل همه امتیازاتی است که هر معیار برای تسهیل قائل می‌شود. در واقع این پژوهش شامل دو مساله بسیار مهم در مدیریت زنجیره تأمین یعنی طراحی شبکه و انتخاب بهترین تأمین کننده می‌باشد و سعی در بهینه سازی توأم آنها داشت. برای بهینه‌سازی طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پیشنهادی یک روش برنامه‌ریزی ریاضی فازی مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از این روش تسهیلات بهینه از نظر مشتریان و مدیران شبکه زنجیره تأمین که علاوه بر هزینه، برخی معیارها نیز برای آنها مهم است، بهتر هستند. نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان به‌طور مشخص و خلاصه به‌صورت زیر بیان کرد: ۱) حذف همبستگی معیارهای موثر در انتخاب عناصر زنجیره تامین انتخاب بهتری از عناصر را بهمراه خواهد داشت. ۲) فازی در نظر گرفتن پارامترهای موثر

طراحی شبکه می‌تواند مسائل دنیای واقعی را مورد تحلیل قرار دهد. ۳) با افزایش درجه فازی بودن محدودیت‌ها مقدار تابع هدف کاهش می‌یابد. علت آن است که افزایش مقدار α، باعث استفاده بیشتر از منابع، برای برآورده کردن نیاز مشتریان می‌گردد، در نتیجه مقدار تابع هدف افزایش می‌یابد. ([۱۴]). ۴) با تحلیل حساسیتی که روی میزان فازی بودن تقاضا صورت گرفت نشان داده شد، هر چه میزان فازی بودن تقاضا بیشتر باشد مقدار هزینه کل و همچنین میزان پراکندگی این تابع افزایش می‌یابد.

بررسی مساله به صورت پویا و چند دوره‌ای به‌گونه‌ای که تقاضاها در زمان‌های مختلف تغییر کنند به عنوان زمینه مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

مراجع

[1] Chen, C.-L. and Lee, W.-C. (2004). Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices. Computers & Chemical Engineering,. 28: 1131-1144

[2] Chen, C.-L., Yuan, T.-W. and Lee, W.-C. (2007). Multi-criteria fuzzy optimization for locating warehouses and distribution centers in a supply chain network. Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers, 38(5): 393-407.

[3] Xu, J., Q. Liu, and R. Wang, (2008). A class of multi-objective supply chain networks optimal model under random fuzzy environment and its application to the industry of Chinese liquor. Information Sciences, 178(8): 2022-2043.

[4] Selim, H. and Ozkarahan I. (2008). A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 36(3-4): 401-418.

[5] Bellman, R. E. and Zadeh L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. Management science 17(4): 141-164.

[6] Pinto-Varela, T., Barbosa-Póvoa, A.P.F. and Novais, A.Q. Bi-objective optimization approach to the design and planning of supply chains: economic versus environmental performances. Computers & Chemical Engineering, 2011. 35(8): 1454-1468.

[7] Paksoy, T. and Pehlivan N. Y. (2012). A fuzzy linear programming model for the optimization of multi-stage supply chain networks with triangular and trapezoidal membership functions. Journal of the Franklin Institute 349 (1): 93-109.

[8] Paksoy, T., Pehlivan, N. Y. and Özceylan, E. (2012). Application of fuzzy optimization to a supply chain network design: A case study of an edible vegetable oils manufacturer. Applied Mathematical Modelling 36(6): 2762-2776.

[9] Pishvaee, M., Torabi, S. and Razmi, J. (2012). Credibility-based fuzzy mathematical programming model for green logistics design under uncertainty. Computers & Industrial Engineering, 62(2): 624-632.

[10] Bashiri, M. and Sherafati M. (2012). A three echelons supply chain network design in a fuzzy environment considering inequality constraints. International Constraints in In Engineering and Engineering Management (IEEM). Hong Kong: 293-297.

[11] Kumar, A., Kaur, J. and Singh, P. (2010). Fuzzy Optimal Solution of Fully Fuzzy Linear Programming Problems with Inequality Constraints. International Journal of Mathematical and Computer Sciences, 6: p. 37-41.

[12] Pishvaee, M. and Torabi S. (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. Fuzzy sets and systems 161(20): 2668-2683.

[13] Zarandi, M. H. F., Sisakht, A. H. and Davari, S. (2011). Design of a closed-loop supply chain (CLSC) model using an interactive fuzzy goal programming. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 56(5-8): 809-821.

[14] Pishvaee, M. S. and Razmi J. (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. Applied Mathematical Modelling 36(8): 3433-3446.

[15] Jiménez, M., Arenas, M. and Bilbao, A. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. European Journal of Operational Research 177(3): 1599-1609.

[16] Chai, J., J. N. Liu, and Ngai, E.W. (2012). Application of decision-making techniques in supplier selection: A systematic review of literature. Expert Systems with Applications 40: 3872–3885.

[17] Lam, K.-C., R. Tao, and Lam, M.C.-K. (2010). A material supplier selection model for property developers using Fuzzy Principal Component Analysis. Automation in Construction 19(5): 608-618.

[18] Pearson, K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science 2(11): 559-572.

[19] Sharma, S. (1995). Applied multivariate techniques, John Wiley & Sons, Inc.

[20] Sarbu, C. and Pop, H. (2005). Principal component analysis versus fuzzy principal component analysis: a case study: the quality of Danube water (1985–1996). Talanta 65(5): 1215-1220.

[21] Savaskan, R.C., Bhattacharya, S. and Van Wassenhove L.N., (2004). Closed-loop supply chain models with product remanufacturing. Management science, 50(2): 239-252.

[22] YABUUCH, Y. and J. WATADA (1997). Fuzzy principal component analysis and its application. Biomedical fuzzy and human sciences: the official journal of the Biomedical Fuzzy Systems Association 3(1): 83-92.

[23] Bashiri, M. and T. H. Hejazi (2012). A Mathematical Model Based on Principal Component Analysis for Optimization of Correlated Multiresponse Surfaces. Journal of Quality 19(3): 223-239.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2250

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Jul 2013 Volume 1 No. 1. PP. 25-36
www.ier.basu.ac.ir

Advanced Bi–objective closed loop supply chain network design considering correlated criteria in fuzzy environment

M. Bashiri[1], M. Sherafati

[*] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 9 May 2013
Accepted 26 August 2013

Keywords:

Closed loop Supply Chain Network,
Principal Component Analysis,
Suppliers Selection,
Fuzzy optimization Multi-stage

ABSTRACT

Most of the fuzzy supply chain network design problems are single-product models; in addition, the related quality characteristics are ignored in such models. This study tries to increase the efficiency of designed supply chain by considering a multi-product supply chain and giving more attention to effective criteria. In this research, two important problems in supply chain management i.e. supplier selection and supply chain network design are considered simultaneously. Using the fuzzy principal component analysis, a criterion named PCA-score is introduced for considering of the all criteria in an integrated measure. It is used for selecting the supply chain elements. In this study, the parameters have been assumed as trapezoidal fuzzy numbers in order to be closer to the real world situations. A two objectives fuzzy mathematical programming problem is presented and after transforming the fuzzy problem to the equivalent crisp one, LP metric method is used to optimize the crisp problem. Finally, the applicability and efficiency of the model are analyzed using a simulated numerical example.

[1] Corresponding author.
Tel.: +98 2151212092; *E-mail addresses*: *Bashiri.m@gmail.com*