ارایه یک مدل تلفیقی برنامه‌ریزی ریاضی برای انتخاب و تخصیص سفارشات تأمین‌کنندگان سبز نیروگاه زیست توده
مطالعه موردی: سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا)

مهدی حکیمی‌اصل
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
علیرضا حکیمی‌اصل
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
میثم نصرالهی*
دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران*
عباس کرامتی
دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

چکیده تخریب گسترده محیط زیست و انتشار روز افزون گازهای گلخانه‌ای، باعث ایجاد نگرانی‌های زیست‌محیطی در میان جوامع و دولت‌ها شده است. یکی از راهکارهای کاهش آلایندگی زیست‌محیطی، پیاده‌سازی زنجیره‌تامین سبز است. در این پژوهش انتخاب تامین‌کنندگان سبزِ تجهیزات نیروگاه‌های زیست توده و نحوه تخصیص تقاضا به آن‌ها به عنوان یکی از کلیدی‌ترین تصمیمات راهبردی زنجیره‌تامین مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به تعدد معیارها در این مساله، استفاده از روش‌های مقایسه زوجی برای وزن‌دهی کارآمد نخواهد بود. در مدل تلفیقی ارایه شده، از روش تحلیل مولفه‌های اصلی برای مقابله با این چالش استفاده شده است. در نهایت با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه، میزان تخصیص تقاضا به هر تامین‌کننده مشخص می‌گردد. روش پیشنهادی برای انتخاب تامین‌گنندگان سبز تجهیزات نیروگاه زیست توده شیراز مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر کارآیی مدل پیشنهادی برای انتخاب تامین‌کنندگان سبز تجهیزات نیروگاه زیست توده است.

واژگان کلیدی انتخاب تامین‌کننده سبز؛ تخصیص تقاضا؛ تحلیل مولفه‌های اصلی؛ برنامه‌ریزی چند هدفه، نیروگاه برق زیست‌توده.

۱- مقدمه

انرژی زیست توده شامل انرژی تولیدی از کلیه ضایعات و زایدات حاصل از موجودات زنده است و بعد از انرژی خورشیدی دارای بالاترین پتانسیلِ انرژی است. منابع انرژی زیست توده می‌تواند به شکلِ اصلی انرژی مانند برق و یا حامل‌های انرژی چون سوخت‌های گازی و یا مایع، نیازهای بخش‌های مختلف در جامعه بشری را تامین کند که این موضوع وجه تمایز مباحث انرژی زیست توده نسبت به سایر انرژی‌های نو است. منابع زیست توده به ۵ منبع مختلف شامل زباله‌ها، فاضلاب‌های شهری، پسماندهای صنعتی (عمدتا صنایع غذایی)، زایدات جنگلی ـ کشاورزی و فضولات دامی تفکیک می‌شود [۱].

مطالعات انجام شده توسط سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) نشان می‌دهد که پتانسیل حداکثر تولید برق از نیروگاه‌های زیست توده در سال ۸۶ برای شهرهای بالاتر از ۲۵۰ هزار نفر (۳۰ شهر) بالغ بر ۸۰۰ مگاوات بوده است. بر این اساس، بکارگیری پتانسیل‌های برآورد شده نه تنها به استحصال انرژی بلکه به رفع بخش عظیمی از مشکلات مربوط به آلودگی و مسایل زیست محیطی ناشی از مدیریت پسماندها نیز کمک شایانی خواهد نمود. ضرورت و مزایای بهره‌برداری از انرژی زیست توده در کشور عبارتند از [۲]:

- رفع مشکلات زیست‌محیطی حاصل از رهاسازی منابع زیست توده در طبیعت (آلودگی آب، خاک، هوا، بو و غیره)
- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه متان در جو (بیش از ٪۵۰ متان، منتشره از این منابع است).

* Corresponding Author: m_nasrollahi@ut.ac.ir

- امکان تولید انرژی در محل مصرف (کاهش تلفات شبکه)
- کمک به ارتقای بهداشت عمومی.
- تولید انرژی با قابلیت دسترسی بالا.

استفاده از زیست توده به عنوان یک منبع انرژی نه تنها به دلایل اقتصادی بلکه به دلیل توسعه اقتصادی و زیست‌محیطی نیز جذاب است و از طرفی آن را عامل تسریع در رسیدن به توسعه پایدار می‌دانند [۲]. از این‌رو ساخت نیروگاه‌های برق زیست توده و به دنبال آن انتخاب تامین‌کنندگان برای تجهیزات نیروگاه‌های برق زیست توده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. در گذشته تنها ابعاد مدیریتی از جمله زمان تدارک، کیفیت و قیمت برای انتخاب تامین‌کننده در نظر گرفته می‌شد، اما امروزه با توجه به رشد آگاهی‌ها در قبال مسایل زیست‌محیطی، محققان به عواملی از جمله اثر گلخانه‌ای، انتشار گاز کربن دی اکسید و غیره نیز توجه می‌کنند. در این مقاله تلاش شده است تا با ارایه یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی تلفیقی، تخصیص بهینه تقاضا به تامین‌کنندگان تجهیزات نیروگاه برق زیست توده با درنظر گرفتن عوامل زیست محیطی مشخص شود.

در بخش بعدی مقاله به بررسی پیشینه پژوهش در زمینه ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان سبز پرداخته شده است. در ادامه، یکی از تکنیک‌های مناسب برای کاهش ابعاد مساله، تحت عنوان تحلیل مؤلفه‌های اصلی تشریح گردیده است. در بخش چهارم، به تبیین مساله با پرداختن به جزئیات آن، اشاره می‌گردد. در بخش پنجم، روش پیشنهادی برای حل مساله ارزیابی و انتخاب تامین‌کنندگان ارائه و در مرحله بعد نتایج حاصله آورده شده است. در بخش پایانی به جمع‌بندی مقاله پرداخته شده است.

۲- پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، با توجه به گرم شدن کره‌ی زمین، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی آب و هوا و غیره، نگرانی‌های زیست‌محیطی به‌شدت افزایش پیدا کرده است. محققان بر این باورند که افزایش آلودگی‌های زیست محیطی رابطه مستقیم با توسعه صنعت دارد. آن‌ها معتقدند که یکی از راهکارهای کاهش آلودگی‌های زیست محیطی در صنعت، تبدیل مدیریت زنجیره تامین به مدیریت زنجیره‌تامین سبز است [۳]. امروزه مدیریت زنجیره‌تامین سبز نه تنها از طرف پژوهشگاه‌ها و دانشگاه‌ها بلکه در صنعت نیز مورد توجه ویژه‌ای واقع شده است [۴]، [۵]. سازمان‌ها و شرکت‌های بزرگ برای دستیابی به مزیت رقابتی، افزایش سهم بازار، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و در نهایت سودآوری بیشتر به رویکرد مدیریت زنجیره‌تامین سبز روی آورده‌اند [۶]–[۸]. بر این اساس امروزه مدیران تلاش می‌کنند تا علاوه بر کاهش زمان تدارک، بهبود کیفیت، کاهش هزینه‌ها و غیره به تولید محصولات سازگار با محیط‌زیست (تولید پاک) دست یابند [۹]. حال از آنجایی‌که تامین‌کننده به عنوان یکی از بخش‌های مهم و کلیدی در مدیریت زنجیره‌تامین به‌حساب می‌آید، بنابراین در مدیریت زنجیره‌تامین سبز تلاش می‌شود تا در انتخاب تامین‌کنندگان علاوه بر معیارهای سنتی، معیارهای زیست‌محیطی نیز در نظر گرفته شود [۱۰]، [۱۱].

ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده، یک مساله‌ی تصمیم‌گیری چند معیاره است که هدف از آن، تعیین تامین‌کننده مناسب با توجه به معیارهای از پیش تعیین شده است. طی سال‌های اخیر، بسیاری از پژوهشگران بر روی مساله ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده در مدیریت زنجیره تامین تمرکز کرده‌اند و روش‌های تصمیم‌گیری متنوعی برای انتخاب تامین‌کننده مناسب پیشنهاد داده‌اند [۱۲]–[۱۵]. رویکرد زنجیره‌تامین سبز نخستین بار توسط کله و سیلور در سال ۱۹۸۹ مطرح شد [۱۶]. مدیریت زنجیره‌تامین سبز ریشه در دو مفهوم مدیریت زنجیره‌تامین و مدیریت سبز دارد. بر همین اساس سریواستاوا مدیریت زنجیره تامین سبز را بکارگیری تفکر سبز در انجام فعالیت‌هایی از جمله طراحی محصول، انتخاب مواد، فرآیند تولید، تحویل محصول نهایی به مشتریان و غیره معرفی کردند [۱۷]. در همین راستا کو و همکارانش بیان می‌کنند که خرید سبز به مفهوم پیاده‌سازی مسایل و نگرانی‌های زیست‌محیطی در مساله خرید است. حال از آنجایی‌که سازگاری فعالیت‌های سازمان با محیط‌زیست، در گرو خریدی است که از تامین‌کنندگان انجام می‌شود بنابراین انتخاب تامین‌کنندگان سبز، امری مهم و حیاتی در مدیریت خرید به شمار می‌رود [۱۸].

کو و لین با درنظر گرفتن معیارهای سبز با استفاده از یک روش ترکیبی فرآیند تحلیل شبکه‌ای[۱] و تحلیل پوششی داده‌ها[۲] تامین کننده مناسب را انتخاب کردند [۱۹]. ژو و همکارانش تامین‌کننده سبز را در صنایع شیمیایی با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای و شبکه عصبی پایه شعاعی[۳] تعیین کردند [۲۰]. با توجه به اهمیت روز افزون توجه به خرید سبز، لین و همکارانش مدلی برای سیستم خرید سبز با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای و روش برنامه ریزی خطی[۴] ارایه کردند. بدین صورت که آن‌ها با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای، تامین‌کننده سبز را تعیین کرده و سپس با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی، تخصیص سفارش به هر فروشنده را مشخص کردند [۲۱].

بسیاری از محققان به منظور در نظر گرفتن ابهامات و عدم قطعیت در قضاوت‌های کلامی و تجربیِ کارشناسان در فرآیند ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده سبز از نظریه فازی استفاده کردند [۲۲]–[۲۵]. به عنوان مثال یزدانی در پژوهشی تلاش کرده تا بهترین تامین‌کننده سبز را با استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری چند-معیاره فازی، انتخاب کند. به‌همین منظور، وی ابتدا با بکارگیری روش فرآیند سلسله مراتبی وزن معیارها را محاسبه و در نهایت

رتبه نهایی هر یک از تامین‌کنندگان را با استفاده از روش فازی تاپسیس[۵]مشخص نمود [۲۶]. همچنین آواستی و همکارانش نیز، تکنیک فازی تاپسیس را برای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی تامین‌کنندگان بکار گرفتند. بدین ترتیب که ابتدا به شناسایی معیارهای موثر در ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی تامین‌کنندگان پرداختند و در گام بعدی کارشناسان به معیارها و گزینه‌ها در ازای هر معیار، امتیاز دادند. آن‌ها در نهایت تامین‌کنندگان را با استفاده از روش فازی تاپسیس رتبه‌بندی کردند [۲۷]. سیفسی و بایاکوزکان یک مدل ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای ارزیابی تامین‌کنندگان سبز ارایه دادند که در آن روش‌های فازی دیمتل[۶] فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی و فازی تاپسیس را ترکیب کرده بودند [۲۸].

۳- تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)[۷]

یکی از تکنیک‌های مناسب برای کاهش ابعاد مساله، تحلیل مولفه‌های اصلی است. از این روش می‌توان به عنوان ورودی در تحلیل‌های آماری دیگری مانند رگرسیون استفاده کرد. هدف از پیاده‌سازی این روش، شناسایی مجموعه‌ای از شاخص‌های جدید که به آن‌ها مولفه‌های اصلی می‌گویند به گونه‌ای است که بیشترین اطلاعات از سیستم را در بر داشته باشد [۲۹]، [۳۰]. برای کاهش ابعاد مساله، فرض کنید p متغیر وجود دارد، برای ایجاد p ترکیب خطی می‌توان از روابط (۱) استفاده نمود.

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

در روابط (۱) ξ_1 و ξ_2 و ... و ξ_p، p مولفه اصلی و w_{ij}ها وزن jامین متغیر برای iامین مولفه اصلی هستند. وزن‌های (w_{ij}) بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

الف) اولین مولفه اصلی (ξ_1) مبین بیشینه واریانس در داده‌هاست. دومین مولفه اصلی (ξ_2) بیانگر بیشینه واریانس‌هایی است که در محاسبه اولین مولفه اصلی در نظر گرفته نشده‌اند و به همین ترتیب سایر مولفه‌های اصلی نیز همین گونه‌اند.

ب)

$$w_{i1}^2 + w_{i2}^2 + \cdots + w_{ip}^2 = 1 \quad i = 1, \ldots, p \qquad (۲)$$

پ)

$$w_{i1}w_{j1} + \cdots + w_{ip}w_{jp} = 0 \;\; \forall\, i \neq j \qquad (۳)$$

رابطه (۲) بیانگر اینست که مجموع مربعات اوزان در ترکیب خطی باید برابر یک باشد. این شرط برای ثابت نگه داشتن مقیاس متغیرهای جدید ضروری است. اگر این شرط برقرار نباشد، با تغیر مقیاس وزن‌ها، ممکن است واریانس این ترکیب‌های خطی افزایش پیدا کند. رابطه (۳) تضمین کننده متعامد بودن محورهای جدید است. طریقه محاسبه اوزان باید به گونه‌ای باشد که شرایط موجود در روابط (۱) تا (۳) برآورده شود [۳۱].

۴- بیان مساله

در شهر شیراز تقریبا به صورت روزانه هزار تن پسماند جامد فسادپذیر شهری تولید می‌شود (این میزان به غیر از مقداری است که صرف تهیه کود می‌شود) [۳۲]. در حال حاضر بیوگازهای تولیدی از محل دفن پسماندهای جامد شهری شیراز در هجده آتشگاه به صورت ناقص سوزانده می‌شود و از بیوگاز تولیدی بهره‌برداری مناسب انجام نمی‌شود [۳۳]. با توجه به هدر رفت این منبع عظیم انرژی در محل دفن پسماندهای جامد فساد پذیر، تبدیل این انرژی به حامل‌های انرژی قابل استفاده ضروری به نظر می‌رسد. این امر پتانسیل بسیار مناسبی برای تاسیس نیروگاه تولید برق از گاز دفنگاه[۸]در شهر شیراز ایجاد نموده است.

برای ساخت این نیروگاه نیاز به خرید تجهیزات مختلفی وجود دارد. در این پژوهش روشی برای ارزیابی تامین‌کنندگان تجهیزات نیروگاه تولید برق از گاز دفنگاه و تخصیص تقاضا به آن‌ها ارایه می‌شود. به این منظور سی شرکت معتبر در زمینه تامین تجهیزات نیروگاه‌های بیوگاز مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. برای راحتی ارجاع در ادامه، این تامین‌کنندگان با شناسه: GS1-30 کد گذاری می‌گردند. این شرکت‌ها عبارتند از:

GS01: LFG Specialties [۳۴]
GS02: Landfill Systems Ltd [۳۵]
GS03: Automatic Flare Systems [۳۶]
GS04: PARNEL [۳۷]
GS05: R&S Biomass Equipment [۳۸]
GS06: 2G CENERGY[۳۹]
GS07: ACT Bioenergy [۴۰]
GS08: Anaergia Inc. [۴۱]
GS09: Barden Energy [۴۲]
GS10: BioConversion Solutions, LLC [۴۳]
GS11: Bioenergy Technology Ltd. [۴۴]
GS12: BioFuelTech [۴۵]
GS13: Biogas-Ost Technology UG [۴۶]
GS14: BioLogic Energy Partners [۴۷]
GS15: Briquette Plant Supplier [۴۸]
GS16: Builders Biomass [۴۹]
GS17: Chanderpur Works PVT. LTD [۵۰]
GS18: DP CleanTech-Biomass Energy Company [۵۱]

GS19: GreCon, Inc. [۵۲]
GS20: Green Fuels America Inc. [۵۳]
GS21: Naran Lala Pvt. Ltd [۵۴]
GS22: Nishant Bioenergy [۵۵]
GS23: Plasco Energy Group [۵۶]
GS24: TECNOLOG s.a. [۵۷]
GS25: Versatile Bio Fuels Private Limited [۵۸]
GS26: Wellons Inc. [۵۹]
GS27: Alternative Energy Solutions [۶۰]
GS28: West Salem Machinery Co [۶۱]
GS29: Verdo Renewables [۶۲]
GS30: Scan American Corporation [۶۳]

برای محاسبه امتیاز این شرکت‌ها از پایگاه اطلاع رسانی شرکت، اطلاعات موجود در پژوهش‌های معتبر و نتایج ارزیابی سازمان‌های ممیز استفاده شده است [۶۴]، [۶۵].

۵- روش پیشنهادی

گام ۱. تهیه یک لیست از تامین کنندگانی که حداقل شرایط لازم از نظر خریدار را دارند.

گام ۲. شناسایی معیارهای ارزیابی و تعیین گزینه‌ها:

از آنجایی‌که هدف از ارایه این مقاله، ارزیابی و انتخاب تامین‌کننده سبزِ تجهیزات برق زیست توده است، بنابراین ابتدا با مطالعه متون علمی، مصاحبه با کارشناسان سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) و همچنین مرور ادبیات این حوزه، ۱۵ معیار و ۷۰ زیر معیار برای ارزیابی تامین‌کنندگان استخراج شد که در جدول (۱) نمایش داده شده است.

گام ۳. امتیازدهی گزینه‌ها در هر زیرمعیار:

پس از شناسایی و استخراج معیارها، امتیاز هر تامین‌کننده در هر معیار با توجه به نظر خبرگان تعیین می‌گردد. برای تعیین این امتیازات می‌توان از تئوری منطق فازی بهره گرفت [۶۶]. در این پژوهش برای غیر فازی نمودن متغیرها از روش ارایه شده توسط چن و هوانگ استفاده شده است [۶۷]. عدد قطعی متناظر با عدد فازی M را می‌توان به صورتی که در ادامه شرح داده شده است، محاسبه نمود. مجموعه‌های کمینه‌سازی و بیشینه‌سازی ارایه شده به صورت روابط (۴) و (۵) هستند.

$$\mu_{max}(x) = \begin{cases} x & 0 \le x \le 1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۴)$$

$$\mu_{min}(x) = \begin{cases} 1-x & 0 \le x \le 1 \\ 0 & otherwise \end{cases} \qquad (۵)$$

مقدار سمت چپ مطلوبیت برای هر عدد فازی (M_i) به صورت $\mu_L(M_i) = Sup_x[\mu_{min}(x) \wedge \mu_{M_i}(x)]$ معرفی می‌شود. مقدار $\mu_L(M_i)$ یک عدد حقیقی منحصر به فرد در بازه [۰، ۱] است. این مقدار، بیشینه میزان تابع عضویت حاصل از تقاطع (M_i) و کمینه فازی است. مقدار سمت راست مطلوبیت به صورت مشابه به صورت $\mu_R(M_i) = Sup_x[\mu_{max}(x) \wedge \mu_{M_i}(x)]$ محاسبه می‌شود. $\mu_R(M_i)$ یک مقدار حقیقی منحصر به فرد در بازه [۰، ۱] است. با محاسبه مقادیر سمت چپ و راست، مقدار کل (M_i) به صورت رابطه (۶) خواهد بود.

$$\mu_T(M_i) = [\mu_R(M_i) + 1 - \mu_L(M_i)]/2 \qquad (۶)$$

بر اساس این فرآیند مقدار قطعی برای متغیرهای زبانی (M_i) به صورتی که در شکل (۱) نشان داده شده، بدست می‌آید.

گام ۴. کاهش معیارها:

با توجه به تعدد معیارها و زیر معیارها، عملا امکان مقایسه زوجی بین آن‌ها وجود ندارد لذا برای کاهش ابعاد مساله، تحلیل مولفه‌های اصلی به صورت زیر، انجام می‌گردد:

الف) محاسبه میانگین و واریانس نمونه با استفاده از روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شود.

$$\bar{y} = \left(\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_p\right)_{1\times p} \qquad (۷)$$

که در آن: $\bar{y}_k = 1/n \sum_{j=1}^{n} y_k^j$.

$$S = \left(s_{kq}\right)_{p\times p} = \frac{1}{n-1}(Y-\bar{Y})^T(Y-\bar{Y}) \qquad (۸)$$

که در آن: $Y = \left(y_1, y_2, \dots, y_p\right)_{n\times p}$.

ب) محاسبه ماتریس همبستگی نمونه(R) از رابطه (۹):

$$R = C_1/\sqrt{s_{kk}} \times S \times C_1/\sqrt{s_{kk}} \qquad (۹)$$

که در آن $C_1/\sqrt{s_{kk}}$ یک ماتریس قطری $p \times p$ است که k امین عنصر قطری آن$(k = 1, \dots, p)$، $1/\sqrt{s_{jj}}$ است.

پ) با حل معادله$|R - \lambda I_p| = 0$ که I_p یک ماتریس همانی $p \times p$ است، مقادیر ویژه و بردار ویژه بدست می‌آید.

بر این اساس می‌توانp مقدار ویژه مرتب شده را با شرط $\sum_{i=1}^{p} \lambda_i = p$ و $\lambda_1 \ge \dots \ge \lambda_p$ بدست آورده سپسp بردار ویژه مرتبط با آن مقادیر ویژه را نیز $(k = 1, \dots, p)$ $\left(l_1^k, \dots, l_p^k\right)$ بدست آورد. بردار ویژه به ترتیب سازنده ضرایب در هر مولفه اصلی متناظر هستند.

$$\xi_k = \sum_{m=1}^{p} l_m^k \hat{y}_m^j \qquad k = 1, 2, \dots, p \qquad (۱۰)$$

که در رابطه (۱۰) $\hat{y}_m^j$ مقادیر استاندارد شده y_m^j هستند.

ت) برای هر واحد تصمیم (DMUj)، وزن‌های مولفه اصلی و رتبه‌های تحلیل مولفه‌های اصلی را طبق رابطه (۱۱) محاسبه کرده و با Z_j نمایش می‌دهیم.

$$w_k = \lambda_k / \sum_{k=1}^{p} \lambda_k \quad k = 1, \dots, p$$
$$Z_j = \sum_{k=1}^{M} w_k . \xi_k^j = \sum_{k=1}^{p} \widetilde{w}_m \hat{y}_m^j \;\; j = 1,2, \dots, n \qquad (۱۱)$$

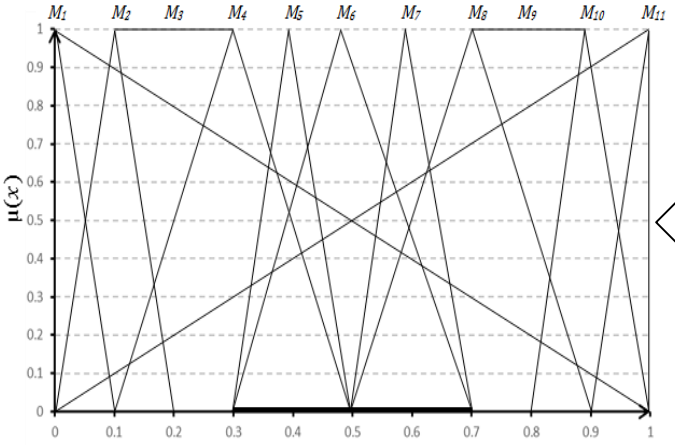
که در رابطه (۱۱)، $\widetilde{w}_m = \sum_{k=1}^{p} w_k l_m^k \;\; m = 1,2, \dots, p$ وزن‌های تجمعی هستند [۱۰۰] و [۱۰۱].

جدول (۱): معیارهای انتخاب تامین‌کنندگان

معیارها	کد زیرمعیار	زیر معیارها	مراجع
C01: مدیریت زیست محیطی	Cr01	خطی مشی و سیاست‌های شرکت در قبال محیط زیست	گویندن و همکاران [۶۸]
	Cr02	برنامه‌ریزی تولید سبز	تزنگ و چیو [۶۹]
	Cr03	رعایت استانداردهای زیست‌محیطی	تزنگ و چیو [۶۹]
	Cr04	ترویج فرهنگ سبز در فضای شرکت	هریس و کرین [۷۰]
	Cr05	ایجاد بستری برای پژوهش و ارایه پیشنهادها در زمینه مسایل زیست‌محیطی	هریس و کرین [۷۰]
	Cr06	آموزش مسایل مربوط به حفاظت از محیط زیست به کارکنان	ناتال [۷۱]
	Cr07	پیاده‌سازی سیستم‌های کنترلی و نظارتی برای رعایت استانداردهای زیست‌محیطی	چاوان [۷۲]
	Cr08	حمایت مدیران ارشد از زنجیره‌تامین سبز	لارج و تامسن [۷۳]
	Cr09	مدیریت کیفیت جامع محیطی	واچن و کلاسن [۷۴]
C02: خرید سبز	Cr10	رعایت استانداردهای لازم برای خرید مواد اولیه از نظر فنی و زیست‌محیطی	وب [۷۵]
	Cr11	پیاده‌سازی لجستیک سبز	نینلاون و همکاران [۷۶]
	Cr12	ترغیب تامین‌کنندگان به استفاده از انرژی‌های پاک	لارج و تامسن [۷۳]
C03: تولید پاک	Cr13	استفاده از فن‌آوری‌های جدید در راستای استفاده بهینه از انرژی	ژو و همکاران [۷۷]
	Cr14	استفاده از الگوهای صحیح مصرف انرژی	ژو و همکاران [۷۸]
	Cr15	بسته‌بندی سبز	ژو و همکاران [۷۷]
	Cr16	رعایت استانداردهای لازم در خرید تجهیزات و ماشین‌آلات از نظر فنی و زیست‌محیطی	ژو و همکاران [۷۷]
	Cr17	توانمندی‌ها و قابلیت‌های شرکت در کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی	دانگایاچ و دشماخ [۷۹]
	Cr18	بررسی مداوم وضعیت کاری تجهیزات و وضعیت فرسودگی آن‌ها	ژو و همکاران [۷۸]
	Cr19	تنظیم قوانین لازم برای کاهش مصرف مواد اولیه	هوانگ و کسکار [۸۰]
C04: باز فرآوری	Cr20	بازیافت پسماندها و ضایعات داخل شرکت	کازاب و همکاران [۸۱]
	Cr21	طراحی مجدد محصول	نینلاون و همکاران [۷۶]
	Cr22	بازسازی محصول	چن و شو [۸۲]
	Cr23	اسقاط سبز	گویندن و همکاران [۶۸]
C05: طراحی سبز	Cr24	طراحی محصولات در راستای کاهش اتلاف انرژی	رائو [۸۳]
	Cr25	طراحی محصولات در راستای جلوگیری از مصرف مواد خطرناک برای محیط زیست	رائو و هولت [۸]
	Cr26	طراحی فرآیند تولید سازگار با محیط زیست	گویندن و همکاران [۶۸]
C06: آلایندگی	Cr27	انتشار گازهای گلخانه‌ای	هوانگ و کسکار [۸۰]
	Cr28	آلایندگی آب و خاک توسط ضایعات	رائو [۸۳]
	Cr29	تولید زباله‌های شیمیایی	گویندن و همکاران [۶۸]
	Cr30	ایجاد آلودگی صوتی	رائو [۸۳]
C07: هزینه	Cr31	عملکرد مالی	هوانگ و کسکار [۸۰]
	Cr32	قیمت محصول	گل‌محمدی و ملت‌پرست [۸۴]
	Cr33	هزینه تولید	تالری و ناراسیمهان [۸۵]
	Cr34	کل هزینه حمل و نقل	تالری و بیکر [۸۶]
	Cr35	هزینه تدارکات	هاشمی و همکاران [۸۷]
	Cr36	بهبود مستمر برای کاهش هزینه‌ها	مینا و همکاران [۸۸]
	Cr37	متناسب بودن خدمات ارایه شده با هزینه	مینا و همکاران [۸۸]
	Cr38	میزان تناسب قیمت محصول با کیفیت آن	هاشمی و همکاران [۸۷]
	Cr39	وجود سیستم مناسب برای محاسبه قیمت تمام شده	مینا و همکاران [۸۸]
	Cr40	وجود برنامه برای کاهش هزینه‌های سربار	مینا و همکاران [۸۸]
C08: توانمندی مالی سازمان	Cr41	شفاف بودن گزارش‌های مالی	هاشمی و همکاران [۸۷]
	Cr42	روش‌های تامین منابع مالی سازمان	گل‌محمدی و ملت‌پرست [۸۴]
	Cr43	مکانیزم‌های سازمان برای کنترل بودجه	هاشمی و همکاران [۸۷]
	Cr44	مدیریت مالی پروژه‌های در دست سازمان	مینا و همکاران [۸۸]
C09: کیفیت	Cr45	انطباق با کیفیت	چان و کومار [۸۹]
	Cr46	برنامه‌های بهبود مستمر	هاشمی و همکاران [۸۷]
	Cr47	سیستم اقدام اصلاحی و پیشگیرانه	هاشمی و همکاران [۸۷]
	Cr48	کنترل و بازرسی	هاشمی و همکاران [۸۷]
	Cr49	گواهینامه کیفیت	هاشمی و همکاران [۸۷]
C10: تحویل	Cr50	تاخیرات تحویل	هاشمی و همکاران [۸۷]
	Cr51	زمان تدارک تحویل	روشن دل و همکاران [۱۴]
	Cr52	قابلیت اطمینان تحویل	روشن دل و همکاران [۱۴]

معیارها	کد زیرمعیار	زیر معیارها	مراجع
C11: تکنولوژی	Cr53	قابلیت تجهیزات تولید	لیو و های [۹۰]
	Cr54	تحقیق و توسعه	گویندن [۶۸]
	Cr55	سازگاری فنی و تکنولوژیکی	هاشمی و همکاران [۸۷]
	Cr56	ظرفیت	کهرمان و همکاران [۹۱]
C12: انعطاف‌پذیری	Cr57	زمان راه‌اندازی	بای و سارکیس [۹۲]
	Cr58	استفاده از ماشین‌آلات انعطاف‌پذیر	هوانگ و کسکار [۸۰]
	Cr59	زمان و یا هزینه مورد نیاز برای اضافه‌کردن محصولات جدید به عملیات تولید موجود	هاشمی و همکاران [۸۷]
C13: فرهنگ	Cr60	میزان پاسخگویی	روشن دل و همکاران [۱۴]
	Cr61	درجه همکاری‌های راهبردی	هاشمی و همکاران [۸۷]
	Cr62	رضایت مشتریان	وو و همکاران [۹۳]
	Cr63	تعهد مدیریت	چوی و لی [۹۴]
C14: نوآوری	Cr64	طرح کسب‌وکار الکترونیک	چان و همکاران [۹۵]
	Cr65	راه‌اندازی محصولات جدید	بای و سارکیس [۹۲]
	Cr66	راه‌اندازی فن‌آوری جدید	بای و سارکیس [۹۲]
C15: ارتباط	Cr67	تاریخچه عملکرد	چان [۹۶]
	Cr68	نزدیکی رابطه	چان [۹۶]
	Cr69	سیستم ارتباطی	پرسین [۹۷]
	Cr70	شهرت تامین‌کننده	هو و سو [۹۸]

متغیر زبانی	مقدار قطعی
بسیار بسیار پایین (M_1)	۰/۰۴۵
بسیار پایین (M_2)	۰/۱۳۵
خیلی پایین (M_3)	۰/۲۵۵
پایین (M_4)	۰/۳۳۵
زیر متوسط (M_5)	۰/۴۲۰
متوسط (M_6)	۰/۵۰۰
بالای متوسط (M_7)	۰/۵۹۰
زیاد (M_8)	۰/۶۶۵
خیلی زیاد (M_9)	۰/۷۴۵
بسیار زیاد (M_{10})	۰/۸۶۵
بسیار بسیار زیاد (M_{11})	۰/۹۵۵



شکل (۱): معادل سازی عددی برای متغیرهای زبانی فازی (در مقیاس یازده گویه‌ای) برای امتیاز دهی هر گزینه در هر معیار [۹۹]

گام ۵. وزن‌دهی مولفه‌های اصلی:

برای تعیین وزن جهانی[۱۰] هر مولفه اصلی از ماتریس مقایسات زوجی استفاده می‌شود. به همین منظور از خبرگان درخواست می‌گردد تا بنابر جدول (۲) که کهرمان و همکارانش ارایه کرده‌اند، اهمیت در مقایسات زوجی را تعیین نمایند [۱۰۲]. در این مدل غیرخطی (l, m, u) نشان دهنده‌ی سه عدد فازی مثلثی در مقایسات زوجی هستند و w_k نشان دهنده وزن معیار kام است. نحوه پرکردن پرسشنامه‌ها توسط خبرگان بدین صورت خواهد بود که هر معیار در هر سطر با معیارها در ستون‌ها مقایسه می‌شود. در واقع خبره باید به این سوال جواب دهد که به‌عنوان مثال ارزش اهمیت معیار ۱ در مقایسه با معیار ۲ چقدر است. این مقایسه‌ی نسبی با استفاده از جدول (۲) صورت می‌گیرد.

بعد از استخراج ماتریس مقایسات زوجی، وزن جهانی هریک از فاکتورها از طریق یک مدل غیرخطی که توسط داگدورین ارایه شده است، به دست می‌آید [۱۰۳].

$$\max \lambda \quad (۱۲)$$

$$s.t:$$

$$\left(m_{ij} - l_{ij}\right) \times \lambda w_j - w_i + l_{ij} w_j \le 0 \quad (۱۳)$$

$$\left(u_{ij} - m_{ij}\right) \times \lambda w_j + w_i - u_{ij} w_j \le 0 \quad (۱۴)$$

$$\sum_{k=1}^{n} w_k = 1, w_k > 0, k = 1,2,\dots,n \quad (۱۵)$$

$$i = 1,2,\dots,n-1 \ , j = 2,3,\dots,n \ , j > i$$

مقدار بهینه‌ی λ می‌تواند برابر عددی مثبت یا منفی باشد. مثبت بودن مقدار λ بیانگر اینست که سازگاری در ماتریس مقایسات زوجی وجود داشته و قضاوت درستی در مقایسات انجام شده است.

منفی بودن مقدار λ به معنای ناسازگاری ماتریس مورد

نظر بوده و باید از خبرگان بخواهیم تا در قضاوت خود تجدیدنظر نمایند.

گام ۶. مدل برنامه‌ریزی چندهدفه برای تخصیص سفارشات

جدول(۲): مقیاس‌های زبانی برای تعیین اهمیت در مقایسات زوجی [۱۰۲]

Linguistic scales for difficulty	Linguistic scales for importance	Triangular fuzzy scale	Triangular fuzzy reciprocal scale
Just equal (JI)	Just equal (JI)	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Equally difficult (ED)	Equally importance (EI)	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
Weakly more difficult (WMD)	Weakly more importance (WMI)	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
Strongly more difficult (SMD)	Strongly more importance (SMI)	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
Very strongly more difficult (VSMD)	Very Strongly more importance (VSMI)	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
Absolutely more difficult (AMD)	Absolutely more importance (AMI)	(5/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/5)

در این گام با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه، تخصیص تقاضا به تامین‌کنندگان برتر انجام می‌شود.

مدل برنامه‌ریزی ریاضی پیشنهادی به شرح زیر است:

مجموعه‌ها:

i: شمارنده تامین کنندگان مورد ارزیابی

j: شمارنده تعداد مولفه‌های اصلی

پارامترها:

D: کل تقاضای خریدار

CS_i: ظرفیت تامین کننده iام

MIS_i: کمترین میزان خرید ممکن از تامین‌کننده iام در صورت انتخاب

P: بیشینه تعداد تامین‌کنندگان قابل انتخاب

Q: کمینه تعداد تامین‌کنندگان قابل انتخاب

ξ_{ij}: امتیاز تامین‌کننده iام در مولفه اصلی jام

متغیرهای تصمیم:

x_i: میزان خرید از تامین‌کننده iام

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{اگر تامین‌کننده } i \text{ام انتخاب شود} \\ 0, & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

مدل پیشنهادی:

$$\max Z_j = \sum \xi_{ij} x_i \quad \forall j \qquad (۱۶)$$

St:

$$\sum_{\forall i} x_i = D \qquad (۱۷)$$

$$x_i \geq MIS_i y_i \quad \forall i \qquad (۱۸)$$

$$x_i \leq CS_i y_i \quad \forall i \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{\forall i} y_i \leq P \quad \forall i \qquad (۲۰)$$

$$\sum_{\forall i} y_i \geq Q \quad \forall i \qquad (۲۱)$$

$$y_i \in \{0, 1\} \qquad (۲۲)$$

$$x_i \geq 0 \qquad (۲۳)$$

برای حل مدل، توابع هدف به صورت رابطه (۲۴) بازنویسی می‌شود که مدل به یک مساله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تبدیل می‌گردد.

$$\max Z = \sum_{\forall j} GW_j \left(\sum_{\forall i} \xi_{ij} x_i \right) \qquad (۲۴)$$

در رابطه (۲۴) GW_j وزن مولفه اصلی jام است که در گام پنجم محاسبه گردید.

جدول(۳): قسمتی از امتیازدهی به پیمانکاران در زیر معیارها

	Cr01	Cr02	Cr03	Cr04	Cr05	Cr06	Cr07	Cr08	Cr09	Cr10	Cr11	Cr12	Cr13	Cr14	Cr15	Cr16	Cr17	Cr18	Cr19	Cr20
GS01	M8	M8	M8	M8	M8	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6	M6
GS02	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11	M11
GS03	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M7	M7	M7	M7	M7	M7	M7
GS04	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M4	M5	M5
GS05	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M1	M1	M1	M1
GS06	M8	M8	M8	M8	M7	M8	M8	M8	M7	M8	M8	M8	M8	M8	M8	M7	M8	M8	M7	M8
GS07	M8	M8	M8	M8	M8	M8	M8	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9	M9
GS08	M11	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10	M10

جدول(۴): قسمتی از خروجی نرم افزار (درصد واریانس‌ها)

Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	57.476	82.109	82.109	57.476	82.109	82.109
2	5.300	7.572	89.681	5.300	7.572	89.681
3	2.411	3.444	93.124	2.411	3.444	93.124
4	1.864	2.663	95.787	1.864	2.663	95.787
5	.879	1.256	97.043			
6	.486	.694	97.736			
7	.379	.541	98.277			
⋮	⋮	⋮	⋮			
70	-7.408E-15	-1.058E-14	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

نکته شایان توجه این است که: با توجه به روش امتیازدهی، بی‌بعدسازی و هم مقیاس‌سازی مولفه‌های اصلی قبلا انجام شده و دراین گام نیازی به انجام مجدد آن نیست.

۶- نتایج حاصله

در ابتدا امتیازات تامین‌کنندگان محاسبه می‌شود، قسمتی از این امتیازات در جدول (۳) آمده است. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSSS STATISTICS 22 تحلیل مولفه‌های اصلی انجام می‌شود. جداول (۴) و (۵) نشانگر قسمتی از خروجی نرم‌افزار است. با توجه به جدول (۴)، چهار مولفه اصلی اول بیشترین واریانس‌ها را به خود اختصاص داده‌اند (۹۵/۷۸۷ ٪). حال باید دید هر مولفه اصلی بیانگر چه خصوصیتی از تامین‌کننده است. برای انجام این کار باید به ضرایب زیرمعیارها در مولفه‌های اصلی توجه به جدول (۵) نمود. بالاترین ضرایب در مولفه اصلی اول همان‌طور که در جدول (۵) نشان داده شده مربوط به زیرمعیارهای مرتبط با مدیریت زیست محیطی، خرید سبز، تولید پاک، باز فرآوری، طراحی سبز و آلایندگی است. بنابراین به نظر می‌رسد مولفه اصلی اول نماینده «عوامل زیست محیطی» باشد. در مولفه اصلی دوم آن‌گونه که در جدول (۵) نشان داده شده توانمندی مالی سازمان، کیفیت، زمان تحویل، تکنولوژی و انعطاف‌پذیری خط تولید نقش پررنگ‌تری داشته‌اند. بنابراین این مولفه مبین «قابلیت اطمینان تامین‌کننده در اجرای کارآمد تعهدات» است.

به صورتی مشابه مولفه اصلی سوم نمایانگر «نحوه تعامل با مشتری» و مولفه اصلی چهارم نشان‌دهنده «عوامل هزینه‌ای» شامل قیمت تمام شده و وجود برنامه‌هایی برای کاهش هزینه است. در مرحله بعدی وزن مولفه‌های اصلی تعیین می‌گردد. نتایج حاصل از مقایسات زوجی توسط خبرگان در جدول (۶) آمده است. با حل مدل مربوطه وزن مولفه‌های اصلی به ترتیب ۰/۲۶۲، ۰/۳۷۸، ۰/۲۰۱ و ۰/۱۵۹ بدست می‌آید. گام بعدی حل مدل تخصیص تقاضا به تامین‌کنندگان است. با در نظر گرفتن ۵۰۰۰ همگن تقاضا، کمینه تعداد تامین‌کنندگان قابل انتخاب برابر با چهار، و حل مدل با استفاده از نرم افزار GAMS تخصیص بهینه تقاضا به تامین‌کنندگان به صورت زیر خواهد بود.

(GS02= 2300, GS09= 1170, GS29= 725, GS11= 805)

۷- نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی تلفیقی برای انتخاب تامین‌کنندگان نیروگاه برق زیست توده ارایه گردید. در گام نخست با مرور گسترده ادبیات و کسب نظر از خبرگان، معیارهای انتخاب تامین‌کنندگان مشخص شد.

جدول(۵): خروجی نرم‌افزار (ضرایب زیرمعیارها در مولفه‌ها)

	Component			
	1	2	3	4
CR01	.962	-.095	-.100	.105
CR02	.964	-.095	-.090	.099
CR03	.964	-.095	-.090	.099
CR04	.965	-.103	-.069	.103
CR05	.951	-.152	-.115	.105
CR06	.961	-.183	-.076	.078
CR07	.961	-.183	-.076	.078
CR08	.964	-.193	-.104	.028
CR09	.956	-.181	-.157	.019
CR10	.964	-.193	-.104	.028
CR11	.961	-.192	-.145	.024
CR12	.961	-.192	-.145	.024
CR13	.955	-.164	-.182	.005
CR14	.952	-.163	-.191	.031
CR15	.953	-.171	-.168	.035
CR16	.950	-.169	-.197	.031
CR17	.951	-.182	-.167	.009
CR18	.955	-.181	-.156	-.009
CR19	.946	-.199	-.185	-.032
CR20	.945	-.194	-.180	-.038
CR21	.960	-.171	-.145	-.031
CR22	.964	-.176	-.119	-.024
CR23	.947	-.221	-.125	-.026
CR24	.943	-.219	-.128	.014
CR25	.941	-.172	-.153	.032
CR26	.925	-.189	-.162	.028
CR27	.934	-.212	-.110	.015
CR28	.933	-.208	-.105	.027
CR29	.954	-.150	-.089	.032
CR30	.958	-.137	-.102	.032
CR31	.324	.045	.237	.521
CR32	.328	.054	.203	.526
CR33	.335	.038	.209	.519
CR34	.329	.039	.243	.510
CR35	.315	.046	.244	.509
CR36	.405	-.219	-.110	.350
CR37	.398	-.215	-.120	.370
CR38	.401	-.202	-.121	.457
CR39	.407	-.194	-.097	.439
CR40	.397	-.198	-.149	.464
CR41	.351	.486	-.056	-.099
CR42	.348	.499	-.036	-.086
CR43	.357	.487	-.038	-.080
CR44	.353	.498	-.026	-.090
CR45	.358	.492	.003	-.086
CR46	.396	.439	-.027	-.081
CR47	.382	.459	.003	-.095
CR48	.383	.468	.006	-.069
CR49	.373	.484	-.038	-.038
CR50	.385	.443	-.041	-.024
CR51	.405	.431	-.007	-.038
CR52	.398	.442	-.026	-.034
CR53	.408	.429	-.008	-.043
CR54	.376	.464	-.029	.001
CR55	.398	.420	-.002	-.004
CR56	.421	.413	-.001	.028
CR57	.411	.400	.019	.015
CR58	.418	.360	-.010	-.049
CR59	.413	.369	.008	-.078
CR60	.404	-.153	.391	-.150
CR61	.401	-.154	.386	-.142
CR62	.414	-.145	.369	-.158
CR63	.405	-.169	.384	-.148
CR64	.409	-.186	.370	-.131
CR65	.405	-.187	.380	-.137
CR66	.388	-.203	.396	-.166
CR67	.409	-.194	.349	-.157
CR68	.419	-.185	.322	-.166
CR69	.409	-.186	.349	-.153
CR70	.402	-.175	.370	-.140

Extraction Method: Principal Component Analysis.

در گام بعدی فهرستی شامل سی تامین‌کننده دارای شرایط حداقلی تهیه شد. در ادامه امتیاز این تامین‌کنندگان در زیرمعیارها با استفاده از متغیرهای زبانی فازی در یک طیف یازده گویه‌ای با نظر خبرگان تعیین گردید. برای تبدیل این متغیرها به اعداد غیر فازی از روش ارایه شده توسط چن و هوانگ استفاده شد. در ادامه با توجه به این‌که مقایسه زوجی در صورت تعدد معیارها چندان کارآمد نخواهد بود، با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی ابعاد مساله کاهش یافت.

روش پیشنهادی برای تخصیص تقاضا به پیمانکاران یک نیروگاه زیست‌توده در شیراز مورد استفاده قرار گرفت. با حل مدل پیشنهادی، چهار تامین‌کننده از فهرست سی تامین‌کننده بالقوه، انتخاب و نحوه تخصیص تقاضا به آن‌ها مشخص گردید. پس از تعیین مولفه‌های اصلی، وزن هریک با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی تعیین و درنهایت با بکارگیری یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه، میزان تخصیص تقاضا به هر پیمانکار محاسبه گردید.

جدول(۶): مقایسه زوجی مولفه‌های اصلی

	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4
ξ_1	-	(JI)	(JI)	(WMI)
ξ_2		-	(VSMI)	(SMI)
ξ_3			-	(WMI)
ξ_4				-

تقدیر و تشکر:

در پایان مولفین برخود واجب می‌دانند از راهنمایی‌های ارزنده جناب آقای دکتر کعبی‌نژادیان «مشاور محترم مدیرعامل سازمان انرژی‌های نو و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی» تشکر نمایند. بی شک بدون مساعدت ایشان امکان دستیابی به نتایج قابل قبول در این پژوهش فراهم نبود

مراجع

[1] Y. Sebnem and H. Selim, "A review on the methods for biomass to energy conversion systems design," vol. 25, pp. 420–430, 2013.

[2] "Renewable energy organization of Iran (SUNA)." [Online]. Available: http://www.suna.org.ir.

[3] J.-B. Sheu, Y.-H. Chou, and C.-C. Hu, "An integrated logistics operational model for green-supply chain management," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 41, no. 4, pp. 287–313, 2005.

[4] D. Etzion, "Research on organizations and the natural environment, 1992-present: A review," *J. Manage.*, vol. 33, no. 4, pp. 637–664, 2007.

[5] A. J. Hoffman and M. J. Ventresca, *Organizations, policy and the natural environment: institutional and strategic perspectives*. Stanford University Press, 2002.

[6] Q. Zhu, J. Sarkis, and K. Lai, "Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 111, no. 2, pp. 261–273, 2008.

[7] J. N. de Figueiredo and S. F. Mayerle, "Designing minimum-cost recycling collection networks with required throughput," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 44, no. 5, pp. 731–752, 2008.

[8] P. Rao and D. Holt, "Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance?," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 25, no. 9, pp. 898–916, 2005.

[9] P. Padma, L. S. Ganesh, and C. Rajendran, "A study on the ISO 14000 certification and organizational performance of Indian manufacturing firms," *Benchmarking An Int. J.*, vol. 15, no. 1, pp. 73–100, 2008.

[10] Govindan K, Rajendran S, Sarkis J, Murugesan P. "Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review". Journal of Cleaner Production. 98, pp.66-83, 2015.

[11] Hashemi, S.H., Karimi, A. and Tavana, M., "An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis". International Journal of Production Economics, 159, pp.178-191, 2015.

[12] J. Rezaei, P. B. M. Fahim, and L. Tavasszy, "Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: conjunctive screening method and fuzzy AHP," *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, no. 18, pp. 8165–8179, 2014.

[13] Freeman, J. and Chen, T., "Green supplier selection using an AHP-Entropy-TOPSIS framework". Supply Chain Management: An International Journal, vol. 20, no. 3, pp.327-340, 2015.

[14] J. Roshandel, S. S. Miri-Nargesi, and L. Hatami-Shirkouhi, "Evaluating and selecting the supplier in detergent production industry using hierarchical fuzzy TOPSIS," *Appl. Math. Model.*, vol. 37, no. 24, pp. 10170–10181, Dec. 2013.

[15] X. Wang, "Supplier Selection and Evaluation Based on Grey Correlation Degree and TOPSIS," *J. Inf. Comput. Sci.*, vol. 11, no. 9, pp. 3097–3106, 2014.

[16] S. Ahmadi, M. A. Afshari, and H. Shekari, "A model for evaluating the success of green supply chain management with green supplier approach (case study: Iran Alloy Steel)."

[17] S. K. Srivastava, "Green supply chain management: a state of the art literature review," *Int. J. Manag. Rev.*, vol. 9, no. 1, pp. 53–80, 2007.

[18] R. J. Kuo, Y. C. Wang, and F. C. Tien, "Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection," *J. Clean. Prod.*, vol. 18, no. 12, pp. 1161–1170, Aug. 2010.

[19] R. J. Kuo and Y. J. Lin, "Supplier selection using analytic network process and data envelopment analysis," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 50, no. 11, pp. 2852–2863, 2012.

[20] R. Zhou, X. Ma, S. Li, and J. Li, "The Green Supplier Selection Method For Chemical Industry With Analytic Network Process And Radial Basis Function Neural Network.," *Adv. Inf. Sci. Serv. Sci.*, vol. 4, no. 4, 2012.

[21] C.-T. Lin, C.-B. Chen, and Y.-C. Ting, "A Green Purchasing Model by Using ANP and LP Methods," *J. Test. Eval.*, vol. 40, no. 2, pp. 203–210, 2012.

[22] D. Kannan, A. B. L. D. S. Jabbour, and C. J. C. Jabbour, "Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 233, no. 2, pp. 432–447, Mar. 2014.

[23] L. Shen, L. Olfat, and K. Govindan, "A fuzzy multi criteria approach for evaluating green supplier's

performance in green supply chain with linguistic preferences," *Resour. Conserv. …*, vol. 74, pp. 170–179, May 2013.

[24] G. Akman, "Evaluating suppliers to include green supplier development programs via fuzzy c-means and VIKOR methods," *Comput. Ind. Eng.*, Oct. 2014.

[25] 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," *J. Clean. Prod.*, vol. 47, pp. 355–367, May 2013.

[26] M. Yazdani, "An integrated MCDM approach to green supplier selection," *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 5, no. 3, pp. 443–458, 2014.

[27] A. Awasthi, S. S. Chauhan, and S. K. Goyal, "A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 126, no. 2, pp. 370–378, Aug. 2010.

[28] G. Büyüközkan and G. Çifçi, "A novel hybrid MCDM approach based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy TOPSIS to evaluate green suppliers," *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 3, pp. 3000–3011, Feb. 2012.

[29] C. Sarbu and H. F. Pop, "Principal component analysis versus fuzzy principal component analysis: a case study: the quality of Danube water (1985–1996)," *Talanta*, vol. 65, no. 5, pp. 1215–1220, 2005.

[30] A. R. Sayadi, A. Lashgari, and J. J. Paraszczak, "Hard-rock LHD cost estimation using single and multiple regressions based on principal component analysis," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 27, no. 1, pp. 133–141, 2012.

[31] S. Sharma, "Applied multivariate techniques, 1996," *USA, John Wiley& Sons*.

[32] "Municipal Waste Management Organization of Shiraz." [Online]. Available: http://www.eshiraz.ir/bazyaft.

[33] B. Dashti, "Economic studies of biomass plants in Shiraz landfill," in *19th International Conference on Electricity*, 2005.

[34] "LFG Specialties." [Online]. Available: http://www.cbi.com/markets/environmental/solid-waste/lfg-specialties.

[35] "Landfill Systems Ltd." [Online]. Available: http://www.landfillsystems.co.uk/.

[36] "Automatic Flare Systems." [Online]. Available: http://www.afs-group.co.uk/.

[37] "PARNEL." [Online]. Available: https://parnelbiogas.com/.

[38] "R&S Biomass Equipment." [Online]. Available: http://rsbiomass.com/.

[39] "2G CENERGY." [Online]. Available: http://www.2g-cenergy.com/.

[40] "ACT Bioenergy." [Online]. Available: http://www.actbioenergy.com/.

[41] "Anaergia." [Online]. Available: http://www.anaergia.com/.

[42] "Barden Energy." [Online]. Available: http://www.bardenenergy.com/.

[43] "BioConversion Solutions, LLC." [Online]. Available: http://www.bioconversionsolutions.com/.

[44] "Bioenergy Technology Ltd." [Online]. Available: http://www.bioenergy.org/.

[45] "BioFuelTech." [Online]. Available: http://biomassfueltech.com/.

[46] "Biogas-Ost Technology UG." [Online]. Available: http://www.biogas-ost.de/index.php/de/.

[47] "BioLogic Energy Partners." [Online]. Available: http://biologicenergypartners.com/.

[48] "Briquette Plant Supplier." [Online]. Available: http://www.radhebriquettingplant.com/.

[49] "Builders Biomass." [Online]. Available: http://buildersbiomass.com/.

[50] "CHANDERPUR WORKS PVT. LTD." [Online]. Available: http://www.chanderpur.com/.

[51] "DP CleanTech-Biomass Energy Company." [Online]. Available: http://www.dpcleantech.com/.

[52] "GreCon, Inc." [Online]. Available: http://www.grecon-us.com/spark-detection/.

[53] "Green Fuels America Inc." [Online]. Available: http://greenfuels.co.uk/.

[54] "Naran Lala Pvt. Ltd." [Online]. Available: http://naranlala.com/.

[55] "Nishant Bioenergy." [Online]. Available: http://www.nishantbioenergy.com/.

[56] "Plasco Energy Group." [Online]. Available: http://www.plascoenergygroup.com/.

[57] "TECNOLOG s.a." [Online]. Available: http://www.tecnologperu.com/.

[58] "Versatile Bio Fuels Private Limited." [Online]. Available: http://www.versatilebiofuels.in/.

[59] "Wellons Inc." [Online]. Available: http://www.wellons.com/.

[60] "Alternative Energy Solutions." [Online]. Available: http://http//www.aesofamerica.com/.

[61] "West Salem Machinery Co." [Online]. Available: http://westsalem.com/.

[62] "Verdo Renewables." [Online]. Available: http://www.verdorenewables.co.uk/.

[63] "Scan American Corporation." [Online]. Available: http://scanamcorp.com/.

[64] "environmental-expert." [Online]. Available: http://www.environmental-expert.com/energy-renewables/combustion/companies/keyword-landfill-gas-flares-13200.

[65] "The Alternative Energy eMagazine." [Online]. Available: http://www.altenergymag.com/link_library.php?cat=9.

[66] L. Zadeh, "Fuzzy sets," *Inf. Control*, vol. 353, pp. 338–353, 1965.

[67] S.-J. J. Chen, C.-L. Hwang, M. J. Beckmann, and W. Krelle, *Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications*. Springer-Verlag New York, Inc., 1992.

[68] K. Govindan, R. Khodaverdi, and A. Jafarian, "A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach," *J. Clean. Prod.*, vol. 47, pp. 345–354, May 2013.

[69] M.-L. Tseng and A. S. F. Chiu, "Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences," *J. Clean. Prod.*, vol. 40, pp. 22–31, 2013.

[70] L. C. Harris and A. Crane, "The greening of organizational culture: Management views on the depth, degree and diffusion of change," *J. Organ. Chang. Manag.*, vol. 15, no. 3, pp. 214–234, 2002.

[71] N. Nuttall, "Small and midsize firms moving toward green supply chains," *Bus. Environ.*, vol. 19, pp. 381–390, 2008.

[72] M. Chavan, "An appraisal of environment management systems: A competitive advantage for small businesses," *Manag. Environ. Qual. An Int. J.*, vol. 16, no. 5, pp. 444–463, 2005.

[73] R. O. Large and C. G. Thomsen, "Drivers of green supply management performance: Evidence from Germany," *J. Purch. Supply Manag.*, vol. 17, no. 3, pp. 176–184, 2011.

[74] S. Vachon and R. D. Klassen, "Green project partnership in the supply chain: the case of the package printing industry," *J. Clean. Prod.*, vol. 14, no. 6, pp. 661–671, 2006.

[75] A. Webb, "How green is my supply chain," *Dev. Learn. Organ. An Int. J.*, vol. 24, no. 3, 2010.

[76] C. Ninlawan, P. Seksan, K. Tossapol, and W. Pilada, "The implementation of green supply chain management practices in electronics industry," in *Proceedings of the international multiconference of engineers and computer scientists*, 2010, vol. 3, pp. 17–19.

[77] Q. Zhu, J. Sarkis, J. J. Cordeiro, and K.-H. Lai, "Firm-level correlates of emergent green supply chain management practices in the Chinese context," *Omega*, vol. 36, no. 4, pp. 577–591, 2008.

[78] Q. Zhu, J. Sarkis, and Y. Geng, "Green supply chain management in China: pressures, practices and performance," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 25, no. 5, pp. 449–468, 2005.

[79] G. S. Dangayach and S. G. Deshmukh, "Manufacturing strategy: literature review and some issues," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 21, no. 7, pp. 884–932, 2001.

[80] S. H. Huang and H. Keskar, "Comprehensive and configurable metrics for supplier selection," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 105, no. 2, pp. 510–523, 2007.

[81] H. Kotzab, H. M. Munch, B. de Faultrier, and C. Teller, "Environmental retail supply chains: when global Goliaths become environmental Davids," *Int. J. Retail Distrib. Manag.*, vol. 39, no. 9, pp. 658–681, 2011.

[82] Y. J. Chen and J.-B. Sheu, "Environmental-regulation pricing strategies for green supply chain management," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 45, no. 5, pp. 667–677, 2009.

[83] P. Rao, "Greening production: a South-East Asian experience," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 24, no. 3, pp. 289–320, 2004.

[84] D. Golmohammadi and M. Mellat-Parast, "Developing a grey-based decision-making model for supplier selection," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 137, no. 2, pp. 191–200, Jun. 2012.

[85] S. Talluri and R. Narasimhan, "A methodology for strategic sourcing," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 154, no. 1, pp. 236–250, 2004.

[86] S. Talluri and R. C. Baker, "A multi-phase mathematical programming approach for effective supply chain design," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 141, no. 3, pp. 544–558, 2002.

[87] S. H. Hashemi, A. Karimi, and M. Tavana, "An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 159, pp. 178–191, Jan. 2015.

[88] H. Mina, M. Nasrollahi, S. N. Mirabedini, and S. H. Pakzad-Moghadam, "An Integrated Fuzzy Analytic Network Process Approach for Green Supplier Selection: A case Study of Petrochemical Industry," *... Sci. Pract.*, vol. 2, no. May, pp. 31–47, 2014.

[89] F. T. S. Chan and N. Kumar, "Global supplier development considering risk factors using fuzzy extended AHP-based approach," *Omega*, vol. 35, no. 4, pp. 417–431, 2007.

[90] F.-H. F. Liu and H. L. Hai, "The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 97, no. 3, pp. 308–317, 2005.

[91] C. Kahraman, U. Cebeci, and Z. Ulukan, "Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP," *Logist. Inf. Manag.*, vol. 16, no. 6, pp. 382–394, 2003.

[92] C. Bai and J. Sarkis, "Integrating sustainability into supplier selection with grey system and rough set methodologies," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 124, no. 1, pp. 252–264, Mar. 2010.

[93] T. Wu, D. Shunk, J. Blackhurst, and R. Appalla, "AIDEA: a methodology for supplier evaluation and selection in a supplier-based manufacturing environment," *Int. J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 11, no. 2, pp. 174–192, 2007.

[94] K. L. Choy and W. B. Lee, "A generic tool for the selection and management of supplier relationships in an outsourced manufacturing environment: the application of case based reasoning," *Logist. Inf. Manag.*, vol. 15, no. 4, pp. 235–253, 2002.

[95] F. T. S. Chan, H. K. Chan, R. W. L. Ip, and H. C. W. Lau, "A decision support system for supplier selection in the airline industry," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 221, no. 4, pp. 741–758, 2007.

[96] F. T. S. Chan, "Interactive selection model for supplier selection process: an analytical hierarchy process approach," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 41, no. 15, pp. 3549–3579, 2003.

[97] S. Perçin, "An application of the integrated AHP-PGP model in supplier selection," *Meas. Bus. Excell.*, vol. 10, no. 4, pp. 34–49, 2006.

[98] J. Hou and D. Su, "EJB-MVC oriented supplier selection system for mass customization," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 18, no. 1, pp. 54–71, 2007.

[99] A. Baykasoglu, "A review and analysis of 'graph theoretical-matrix permanent' approach to decision making with example applications," *Artif. Intell. Rev.*, vol. 42, no. 4, pp. 573–605, 2014.

[100] M. Azadeh, M. Amalnick, and H. Omrani, "Combination of Parametric and Non-parametric Models to Rank the Electricity Distribution Companies," *IUST*, vol. 19, no. 1, pp. 53–63, 2008.

[101] V. Ebrahimipour, A. Azadeh, K. Rezaie, and K. Suzuki, "A GA–PCA approach for power sector performance ranking based on machine productivity," *Appl. Math. Comput.*, vol. 186, no. 2, pp. 1205–1215, 2007.

[102] C. Kahraman, T. Ertay, and G. Büyüközkan, "A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 171, no. 2, pp. 390–411, 2006.

[103] M. Dağdeviren and İ. Yüksel, "A fuzzy analytic network process (ANP) model for measurement of the sectoral competititon level (SCL)," *Expert Syst. Appl.*, vol. 37, no. 2, pp. 1005–1014, 2010.

[۱] Analysis Network Process (ANP)
[۲] Data Envelopment Analysis (DEA)
[۳] radial basis function neural network
[۴] Linear Programming (LP)
[۵] Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
[۶] Decision Making Trial and Evaluation Laboratory Model (DEMATEL)
[۷] Principal Component Analysis
[۸] Landfill gas equipment
[۹] Decision Making Unit
[۱۰] Global Weight