

رویکردی چند هدفه برای ارزیابی تامین کنندگان با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های چندمعیاره

هادی محبعلی زاده^۱ و فرهاد فائز^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم تهران)

^۲ عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی (تربیت معلم تهران)

(تاریخ دریافت ۸۷/۱۰/۲۴، تاریخ تصویب ۸۸/۸/۲۷)

چکیده

هدف از ارائه‌ی این مقاله، ارزیابی تامین کنندگان با به‌کارگیری یک مدل چند هدفه‌ی انتخاب تامین کننده و تحلیل پوششی داده‌های چند معیاره است. در این راستا ابتدا با ارائه‌ی یک الگوریتم کلی، مجموعه‌ای پیوسته از جواب‌های موثر مسئله‌ی چند هدفه‌ی مذکور، به دست می‌آید. چون هر عضو از چنین مجموعه‌ای به‌عنوان ترکیبی از نهاده‌های ورودی، نظیر مواد اولیه، به شرکت خریدار محسوب می‌شود، در قدم بعدی سطح خروجی‌های شرکت خریدار به ازای ترکیبات مشخصی از این نهاده‌های ورودی ارزیابی می‌گردد. سپس با استفاده از مدل DEA چند معیاره، کارایی شرکت خریدار به ازای این ترکیبات مشخص از ورودی‌ها و خروجی‌ها محاسبه می‌شود. در این صورت، تعداد تامین کنندگان و نحوه‌ی تخصیص تقاضا به هر یک از آن‌ها بر مبنای ترکیبی از ورودی‌ها و خروجی‌هایی که کارایی DEA شرکت خریدار را ماکزیمم می‌نماید، تعیین می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مسئله‌ی انتخاب تامین کننده، مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه، مدل تحلیل پوششی

داده‌های چند معیاره (MCDEA)، جواب موثر، جواب ترجیحی

مقدمه

گذارند. [۳] Dickson، ۲۳ معیار را شناسایی کرد که توسط مدیران خرید در مسائل انتخاب تامین کننده متفاوتی، شناسایی شده بودند. همچنین، مروری بر روش‌ها و معیارهای انتخاب تامین کننده توسط [۴] Weber، مشخص نمود که ۴۷ مقاله از ۷۶ مقاله‌ی مرور شده، بیش از یک معیار را بررسی نموده‌اند. از این رو، مسئله‌ی انتخاب تامین کننده، یک مسئله‌ی چند معیاره محسوب می‌شود و ضروری است تبادلات بین فاکتورهای محسوس و غیر محسوس به منظور یافتن بهترین تامین کنندگان، بررسی شود. مسئله‌ی انتخاب تامین کنندگان به واسطه بررسی معیارهای متفاوت، پیچیده است. علاوه بر آن، این مسئله به‌خاطر این حقیقت که ممکن است تامین کنندگان، مشخصه‌های عملکردی متفاوتی به ازای معیارهای متفاوت، داشته باشند، پیچیده تر به نظر می‌رسد. به‌عنوان مثال، ممکن است یک تامین کننده با کمترین هزینه‌ی در واحد محصول، بهترین کیفیت یا سرویس دهی را در بین سایر تامین کنندگان نداشته باشد. بنابراین، انتخاب تامین کننده ذاتاً یک تصمیم چند هدفه است که به دنبال حداقل کردن هزینه‌ی تدارکات،

در دنیای رقابتی امروز، ارائه‌ی محصولات و خدمات با کیفیت برتر، قیمت پایین‌تر و در موعد مقرر به مشتریان، لازمه‌ی حیات بنگاه‌های تولیدی و اقتصادی به شمار می‌آید. منشا این معیارهای ارزیابی در مورد محصولات و خدمات را باید در نهاده‌های ورودی جستجو کرد که توسط تامین کنندگان یک بنگاه، مهیا می‌شوند. این نوع نگرش به فرآیند تامین و تدارک، ارزش به‌کارگیری تکنیک‌های دقیق و کارا را برای ارزیابی تامین کنندگان روشن می‌کند.

برای بسیاری از بنگاه‌های تولیدی و خدماتی، تصمیمات انتخاب تامین کننده، یک بخش مهم از مدیریت تامین و تولید به‌حساب می‌آید. این تصمیمات، مستلزم انتخاب تامین کنندگان جهت به‌کارگیری و تعیین مقادیر سفارش به تامین کنندگان انتخاب شده است. انتخاب تامین کنندگان مناسب، به‌شکل معناداری منجر به کاهش هزینه‌های خرید مواد و بهبود شرایط رقابتی می‌گردد. به همین دلیل، متخصصین باور دارند که انتخاب تامین کننده، مهم‌ترین فعالیت دپارتمان است [۱ و ۲]. فاکتورهای بسیاری بر عملکرد تامین کننده، تأثیرمی-

موثر با در نظرگرفتن ترجیحات تصمیم‌گیرنده، استفاده می‌کنند.

[۱۰] Xia and Wu یک مدل ترکیبی از فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی^۵ و برنامه ریزی چندهدفی عدد صحیح مرکب را برای پشتیبانی از تصمیمات انتخاب تامین کننده در شرایط تخفیف معرفی نمودند؛ جائیکه تخفیف به مقدار کل سفارشات تعلق می‌گیرد. در مدل پیشنهادی آن‌ها، یک مدل برنامه ریزی چند هدفه، به نحوی فرمول بندی می‌شود که به‌طور همزمان، تعداد تامین کنندگان و مقدار سفارشات تخصیص یافته به هر یک تعیین گردد. توابع هدف به‌کارگرفته شده در این مدل برنامه ریزی چند هدفه، حداقل کردن هزینه کل خرید، حداکثر کردن مقدار موزون خریداری شده، حداقل کردن تعداد محصولات معیوب و حداکثر کردن تعداد محصولات به موقع تحویل داده شده است؛ به نحوی که محدودیت‌های مربوط به تقاضا و ظرفیت تامین، برآورده شود. and Ravindran [۱۱] مسئله انتخاب فروشنده را به‌صورت یک مسئله‌ی چند هدفه با چندین خریدار و چندین فروشنده، همراه با تخفیف قیمت فرمول‌بندی نمودند. آن‌ها از سه تابع هدف حداقل کردن کالاهای مردودی، حداقل کردن زمان تحویل و حداقل کردن قیمت خرید، استفاده کرده و مدل به دست آمده را با سه روش تابع هدف موزون^۶، برنامه ریزی آرمانی^۷ و برنامه ریزی توافقی^۸ حل نمودند و نتایج به دست آمده را با استفاده از روش مسیر مقدار^۹ مورد مقایسه قرار دادند. [۱۲] Karpak and Kasuganti

برای فرآیند انتخاب فروشنده از برنامه ریزی آرمانی متقابل^{۱۰} استفاده کردند. آن‌ها از توابع هدف حداقل کردن هزینه‌ی به‌دست آمده‌ی محصول و حداکثر کردن کیفیت و قابلیت اطمینان برای شناسایی فروشنده‌گان و تخصیص مقادیر سفارش در بین آن‌ها استفاده کردند.

[۱۳] Kumar et al. از برنامه ریزی آرمانی عدد صحیح مرکب فازی^{۱۱} برای مسئله‌ی انتخاب فروشنده استفاده کردند؛ جایی که تعدادی از پارامترها ذاتا فازی هستند. [۱۴] Dahel از رویکرد برنامه ریزی چند هدفه‌ی عدد صحیح مرکب به منظور تعیین تعداد تامین کنندگان جهت به‌کارگیری و مقادیر سفارش تخصیصی به هر یک از آن‌ها در حالت چند محصول و چند تامین‌کننده استفاده نمود. فرآیند انتخاب بر مبنای توابع هدف قیمت، تحویل به‌موقع و کیفیت و با در نظر گرفتن محدودیت‌های

حداکثر کردن کیفیت و سرویس دهی و بهینه کردن سایر اهداف است. در ادبیات موضوع، چندین مطالعه در زمینه-ی به‌کارگیری برنامه ریزی چند هدفه^۱ در مسئله انتخاب تامین کننده، صورت گرفته است. [۵] Chaudhry et al. مسئله‌ی انتخاب فروشنده را در حالتی بررسی می‌کنند که فرآیند انتخاب، تحت تاثیر توابع هدف کیفیت، زمان تحویل و قیمت قرار دارد. در مدل آن‌ها، نقاط شکست قیمت بر حسب حجم سفارشات خریدار، پیشنهاد می‌شود. آن‌ها در مقاله‌ی خود، برنامه‌ریزی خطی و عدد صحیح صفر و یک را برای مدل‌بندی این مسئله به کار می‌گیرند. [۶] Weber et al. یک رویکرد چند هدفه را برای تجزیه و تحلیل تبادلات موجود در مسائل چند معیاره‌ی انتخاب فروشنده، به کار می‌برند. [۷] Cakravastia et al. مدلی را برای یک شبکه زنجیره تامین، توسعه دادند که توابع هدف آن بر مبنای کاهش عدم رضایت‌مندی مشتری تعیین می‌شود. این عدم رضایت‌مندی برحسب دو معیار قیمت و زمان تحویل ارزیابی می‌شود. مدل ارائه شده توسط آن‌ها، در دو سطح تصمیم‌گیری عمل می‌کند: سطح "عملیاتی" که تصمیمات مرتبط با بهینه کردن فعالیت‌های تدارکاتی و تولیدی را در بر می‌گیرد و سطح "زنجیره" که همه‌ی قیمت‌های خرید تامین کنندگان را ارزیابی می‌نماید و ترکیب نهایی زنجیره‌ی تامین را تعیین می‌کند. اما مقوله‌ی انتخاب تامین کننده، صرفا به تامین قطعات تولیدی منحصر نمی‌شود.

[۸] Degraeve et al. در مقاله خود، یک مدل ریاضی برای انتخاب تامین کنندگان یک خدمت یا سرویس ارائه می‌کنند و به طور همزمان سهم بازار هر یک از تامین کنندگان را نیز تعیین می‌نمایند. روش به‌کار رفته در مقاله‌ی آن‌ها بر مبنای جمع‌آوری اطلاعات مالکیت هزینه کل^۲، همه‌ی هزینه‌های مرتبط با فرآیند خرید را از طریق زنجیره‌ی ارزش کل، محاسبه می‌کند. [۹] Demirtas et al. یک مدل ترکیبی از فرآیند تحلیلی شبکه^۳ و برنامه ریزی خطی چند هدفه‌ی عدد صحیح مرکب^۴ را پیشنهاد می‌کنند که برای انتخاب بهترین تامین کننده و تعیین مقادیر بهینه در بین تامین کنندگان انتخاب شده، فاکتورهای محسوس و غیر محسوس را در نظر می‌گیرند. آن‌ها از ANP برای تعیین اولویت بین چهار دسته از معیارها و از MOMILP برای به‌دست آوردن جواب‌های

انتقال می‌یابد. [۱۹] Weber et al. رویکردی را برای تعیین تعداد فروشندگان با استفاده از مدل DEA ارائه نمودند. آن‌ها ابتدا جواب‌های کارایی یک مسئله برنامه ریزی چند هدفه را با تغییر اوزان توابع هدف آن و به ازای تعداد فروشندگان متفاوت به دست آوردند. سپس با استفاده از مقادیر توابع هر یک از این جواب‌های کارآ به عنوان ورودی مدل DEA، تعداد فروشندگان مورد نظر را که میانگین کارایی DEA آن‌ها ماکزیمم بود، تعیین نمودند [۲۰]. Weber et al.

با استفاده از یک مسئله‌ی برنامه ریزی خطی چند هدفه، برای مذاکره^{۱۳} با فروشندگان انتخاب نشده، به منظور رسیدن به سطح جدیدی از معیارهای تعریف شده که آن‌ها را قادر می‌سازد، سهمی از تامین آیتم موردنظر را به دست آورند، سه حالت خاص را معرفی می‌کنند که برای بررسی هر یک از این حالات، سه روش حل، ارائه می‌گردد. یکی از این روش‌ها، تحلیل پوششی داده‌ها است که وقتی فروشنده‌ی انتخاب نشده، بخواهد با حفظ بازده به مقیاس^{۱۴} خود انتخاب شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. [۲۱] Talluri et al. از مدل تحلیل پوششی داده‌ها با شانس محدود شده^{۱۵} برای در نظر گرفتن تغییرات ذاتی در مشخصه‌های عملکرد تامین کنندگان (نظیر کیفیت، تحویل به موقع و ...) استفاده می‌کنند. با استفاده از این رده خاص از مدل DEA آن‌ها توانستند ریسک تامین کنندگان را (به علت وجود شرایط عدم اطمینان) ارزیابی نمایند. در مطالعه‌ی آن‌ها ورودی مدل DEA به صورت قیمت و خروجی آن، به صورت کیفیت و عملکرد تحویل، تعریف گردید. [۲۲] Zhu با ارائه‌ی یک مدل بازی خریدار و فروشنده^{۱۶} بر مبنای تحلیل پوششی داده‌ها، از ورودی‌ها و خروجی‌های ایده‌آلی که توسط خریدار تعیین گردیده است، استفاده کرد. او با انتخاب G مقدار هدف برای G تعداد از فروشندگان و برابر یک قرار دادن نسبت مجموع موزون خروجی‌ها به مجموع موزون ورودی‌های این G فروشنده، حداکثر کارایی سایر فروشندگان را ارزیابی کرد. ورودی‌های مدل DEA در مطالعه‌ی آن‌ها، هزینه توزیع، زمان پاسخگویی مشتری، درصد خطاهای حمل و نقل و هزینه‌ی تولید و خروجی-های آن، تعداد واحدهای تولید شده، درصد تحویل به موقع، نرخ سفارشات به طور سریع انجام شده، سود هفتگی و تعداد مراکز توزیع بود [۲۳].

ظرفیت تامین کنندگان، صورت می‌گیرد. همچنین، در این فرآیند تخفیف قیمتی که به تعداد کل سفارشات تعلق می‌گیرد، مورد بررسی قرار گرفت.

از سوی دیگر، تحلیل پوششی داده‌ها^{۱۲} یک رویکرد مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی است که به تصمیم‌گیرنده در طبقه بندی تامین کنندگان به دو دسته‌ی کارآ و ناکارآ کمک می‌کند. در زمینه‌ی به کارگیری مدل DEA، در ادبیات مربوطه، مطالعات گسترده‌ای صورت پذیرفته است. [۱۵] Kleinsorge et al. عملکرد تنها یک تامین کننده را در ۱۸ بازه‌ی زمانی مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها مدل DEA را برای بررسی این تامین کننده به عنوان یک نهاد متفاوت در هر بازه‌ی زمانی بکار گرفتند. در این شرایط، ورودی‌های به کار رفته برای مدل DEA، شامل هزینه‌ی کل حمل و نقل و تعداد واحدهای انتقال یافته در هر ماه است. از طرف دیگر، خروجی‌های محسوس این مدل، عبارت‌اند از تعداد واحدهای به موقع انتقال یافته و تعداد صورتحساب‌های بدون اشتباه دریافت شده از تامین کنندگان. همچنین خروجی‌های غیر محسوس به صورت تجربه‌ی ارائه‌ی خدمت با کیفیت و اعتقاد به ارائه‌ی خدمت با کیفیت، در نظر گرفته می‌شود. [۱۶] Weber از مدل DEA برای تعیین ترکیب تامین کنندگان یک شرکت تولید کننده‌ی مواد غذایی کودکان استفاده نمود. معیارهای به کار رفته در مدل او قیمت، تحویل به موقع و درصد ضایعات بود. با توجه به این که در فرآیند اتخاذ تصمیم، ما به دنبال داشتن قیمت و درصد ضایعات پائین‌تر و تحویل به موقع بالاتری هستیم، او دو معیار اول را به عنوان ورودی مدل DEA و معیار سوم را خروجی در نظر می‌گیرد.

مطالعه‌ی [۱۶] Weber توسط Liu et al. [۱۷] توسعه پیدا کرد. برای ارزیابی کارایی کل تامین کنندگان، آن‌ها از مدل DEA پیشنهادی توسط [۱۸] Banker et al. همراه با ورودی‌های قیمت، تحویل همراه با تاخیر و فاکتور فاصله و خروجی‌های کیفیت و تنوع تامین استفاده نمودند، جایی که فاکتور فاصله و تنوع تامین، ثابت فرض می‌شوند. آن‌ها همچنین، از رویکرد پیشنهادی خود برای کاهش تعداد تامین کنندگان استفاده کردند؛ به این ترتیب که پس از انتخاب تامین کنندگان با کم‌ترین امتیاز کارایی DEA، واحدهای تامین یافته توسط آن‌ها به تامین کنندگان با امتیاز کارایی بیش‌تر،

پوششی داده‌ها همراه با اطلاعات مفقود ارائه نمودند؛ آن‌ها ابتدا چهار معیار ارزیابی تحویل به موقع، قیمت، کیفیت و خدمت دهی را شناسایی نمودند، سپس با استفاده از یک شبکه عصبی پیش‌خور^{۲۱} که با به‌کارگیری داده‌های تاریخی یا نظرات متخصصین، آموزش دیده است، مقدار مناسب این چهار معیار ارزیابی را به دست آوردند. در نهایت، با استفاده از مدل DEA با معیارهای هزینه، کیفیت، تحویل به موقع و سرویس دهی به عنوان خروجی و یک ورودی با مقدار ثابت برابر یک، تامین‌کنندگان کارآ را شناسایی نمودند. [۲۹] Wu برای ارزیابی عملکرد تامین‌کنندگان، یک مدل ترکیبی با استفاده از DEA، درخت تصمیم^{۲۲} و شبکه‌های عصبی پیشنهاد نمود. الگوریتم پیشنهادی او از دو ماژول تشکیل می‌شود: ماژول یک، از مدل DEA برای طبقه‌بندی تامین‌کنندگان به گروه‌های کارآ و ناکارآ استفاده می‌نماید. بر مبنای درخت تصمیم و شبکه‌های عصبی، ماژول دو یک ماژول طبقه‌بندی یا رگرسیون است. برای آموزش درخت تصمیم یا شبکه عصبی، از داده‌های مرتبط با عملکرد تامین‌کنندگان استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که در ماژول یک، از سیستم مدیریت کیفیت، مستندسازی، قابلیت فرآیند، مدیریت واحد تامین‌کننده، قابلیت‌های طراحی و توسعه و قابلیت کاهش هزینه به عنوان ورودی و از کیفیت، قیمت، تحویل به موقع، عملکرد کاهش هزینه و سایر موارد به عنوان خروجی مدل DEA استفاده گردید [۳۰].

Ha and Krishnan یک مدل ترکیبی از AHP، DEA و شبکه‌های عصبی را برای ارزیابی تامین‌کنندگان پیشنهاد نمود. در این مدل ترکیبی، ابتدا با استفاده از AHP یک سطحی، معیارهای وصفی به یک اندازه کمی منفرد متناظر تبدیل می‌شوند. سپس این اندازه‌های کمی به همراه سایر معیارهای کمی، به منظور ارزیابی نهایی تامین‌کنندگان، به مدل DEA و یا یک شبکه‌های عصبی ارائه می‌گردد. از تحلیل پوششی داده‌ها همچنین می‌توان با ورودی‌ها و خروجی‌های وصفی و ترتیبی، استفاده نمود. این، منجر به ایجاد رده‌ی خاصی از مدل تحلیل پوششی داده‌ها به نام IDEA می‌شود. [۳۱] Farzipoor با ارائه‌ی مدل جدیدی از این رده‌ی خاص که محدودیت‌های وزنی و اطلاعات غیردقیق را بطور توأم بررسی می‌نماید، از آن، برای انتخاب بهترین تامین

Talluri and Baker یک رویکرد برنامه ریزی ریاضی سه مرحله‌ای را برای طراحی کارآی زنجیره‌ی تامین پیشنهاد نمودند. در مرحله‌ی اول، کارآیی تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان بالقوه، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. مدل‌های مورد استفاده در این مرحله، مدل CCR تحلیل پوششی داده‌ها و مدل بازی دو به دو^{۱۷} است. مرحله دوم، شامل به‌کارگیری یک مدل عدد صحیح است که به طور بهینه، کاندیداهای موردنظر برای طراحی شبکه‌ی مورد نظر را انتخاب می‌نماید. در نهایت، با حل یک مسئله‌ی حمل و نقل، تصمیمات بهینه‌ی مربوط به مسیریابی تمامی اجزای به کار رفته در شبکه، تعیین می‌گردد. ورودی‌ها و خروجی‌های استفاده شده در مرحله‌ی اول، مشابه آنچه در مطالعه‌ی [۱۵] Kleinsorge et al. تعریف شد، هستند. همچنین [۲۴] Wu and Olson سه مدل ارزیابی ریسک تامین را بررسی کردند: برنامه ریزی با شانس محدود شده^{۱۸}، تحلیل کارگیری مدل CCR ورودی محور^{۱۹} و با شبیه‌سازی ورودی‌ها و خروجی‌های هر یک از فروشندگان، که هر یک، از توزیع احتمالی مشخصی پیروی می‌کنند، نسبت به محاسبه‌ی میانگین، انحراف از معیار و فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای اندازه‌ی کارآیی هر یک از فروشندگان، اقدام نمودند. [۲۵] Ramanathan از مدل DEA برای ترکیب نتایج به دست آمده از روش‌های AHP و TCO استفاده نمود. او اوزان به دست آمده از روش AHP را به عنوان خروجی و هزینه‌ی کل به دست آمده از روش TCO را به عنوان ورودی مدل DEA به کار گرفت. هنگامی که تامین‌کنندگان، از ورودی‌ها و خروجی‌های مشابهی استفاده نمی‌کنند، [۲۶] Saen روشی را برای تخمین داده‌های مفقود در ورودی‌ها و خروجی‌های هر تامین‌کننده، با استفاده از درونیابی و AHP، پیشنهاد نمود. سپس او از مدل CCDEA برای به دست آوردن کارایی نسبی تامین‌کنندگان استفاده نمود. با استفاده از مزایای رویکرد ناپارامتری DEA، [۲۷] Ng یک برنامه‌ی خطی موزون را برای مسئله‌ی انتخاب تامین‌کننده پیشنهاد نمود که به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد اهمیت نسبی معیارهای مورد استفاده را رتبه‌بندی نماید. [۲۸] Celebi and Bayraktar برای ارزیابی تامین‌کنندگان، یک رویکرد ترکیبی با استفاده از شبکه عصبی^{۲۰} و تحلیل

t_{ij} : درصد تحویل بموقع محصول z ام تامین شده از تامین کننده i ام.

D'_j : حداکثر سطح مورد نیاز محصول z ام.

D_j : حداقل سطح مورد نیاز محصول z ام.

$\max o_{ij}$: حداکثر سطح تامین محصول z ام از تامین کننده i ام.

$\min o_{ij}$: حداقل سطح تامین محصول z ام از تامین کننده i ام.

y_{ij} : برابر یک؛ اگر محصول z ام از تامین کننده i ام تامین شود و در غیر این صورت برابر صفر در نظر گرفته می شود.

x_{ij} : میزان خرید محصول z ام از تامین کننده i ام.

$$MinC = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} x_{ij} c_{ij} \quad (1)$$

$$MinQ = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} x_{ij} q_{ij}$$

$$MaxT = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} x_{ij} t_{ij}$$

st :

$$D_j \leq \sum_{i=1}^m y_{ij} x_{ij} \leq D'_j; j = 1, \dots, n$$

$$\min o_{ij} \leq x_{ij} \leq \max o_{ij}; i = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} \geq 0, y_{ij} = 0, 1$$

در مدل چند هدفه ی فوق، x یک جواب موثر خواهد بود؛ اگر مقادیر موجود تمام توابع هدف را نتوان بطور همزمان توسط جواب شدنی دیگری بهبود بخشید. اینک از بین جواب های موثر، جوابی که توسط تصمیم گیرنده و بر اساس معیارهای ذهنی انتخاب می گردد، جواب ترجیحی نامیده می شود.

سازمان دهی این مقاله به صورت زیر است: ابتدا توضیح مختصری پیرامون مدل DEA و شکل چند معیاره ی آن ارائه می شود؛ سپس الگوریتم توسعه داده شده توسط مطالعه ی حاضر برای به دست آوردن یک مجموعه ی پیوسته از جواب های موثر یک مسئله ی MODM بحث می شود که با شرح چگونگی به کارگیری مدل DEA برای انتخاب یکی از این جواب های موثر، به عنوان جواب ترجیحی، دنبال می شود.

کننده استفاده می کند. او در مدل خود از هزینه کل انتقال، قیمت، تعداد واحدهای انتقال یافته در هر ماه و فاصله به عنوان ورودی و از تعداد واحدهای بموقع تحویل شده، تعداد صورتحسابهای بطور صحیح دریافت شده و تعداد قطعات تامین شده، به عنوان خروجی مدل پیشنهادی خود استفاده نمود. همچنین، شهرت تامین کننده به عنوان یک ورودی وصفی معرفی شد.

در این مقاله، ابتدا با ارائه یک الگوریتم کلی، مجموعه ای پیوسته از جواب های موثر²³ یک مسئله چند هدفه ی انتخاب تامین کننده به دست می آید. چون هر عضو از چنین مجموعه ای به عنوان ترکیبی از نهاده های ورودی، نظیر مواد اولیه، به شرکت خریدار محسوب می شود؛ در قدم بعدی، سطح خروجی های شرکت خریدار به ازای ترکیبات مشخصی از این نهاده های ورودی، ارزیابی می گردد. سپس با استفاده از مدل DEA چند معیاره، کارایی شرکت خریدار به ازای این ترکیبات مشخص از ورودی ها و خروجی ها محاسبه می شود. در این صورت، تعداد تامین کنندگان و نحوه ی تخصیص تقاضا به هر یک از آن ها بر مبنای ترکیبی از ورودی ها و خروجی هایی که کارایی DEA شرکت خریدار را ماکزیمم می نماید، تعیین می شود. به این ترتیب، یکی از مزایای روش پیشنهادی، انتخاب هوشمندانه ی جواب ترجیحی²⁴ مسئله چند هدفه انتخاب تامین کننده از بین جواب های موثر آن است؛ به نحوی که کارایی DEA شرکت خریدار، حداکثر شود. از سویی، مزیت دیگر روش پیشنهادی این است که برخلاف مطالعات گذشته، از مدل DEA چند معیاره با استفاده از ورودی ها و خروجی های فیزیکی، مطابق با مفهوم اصلی DEA، بهره گیری می شود. با استفاده از نتایج مطالعه ی انجام شده، به وضوح می توان تاثیر عملکرد تامین کنندگان را بر کارایی DEA شرکت خریدار مشاهده نمود. مدل چند هدفه که در این مقاله مورد بررسی قرار می گیرد، با اندکی تغییر، از [Weber et al. 20] به صورت مدل زیر استخراج می گردد، جایی که:

c_{ij} : هزینه ی خرید یک واحد محصول z ام از تامین کننده i ام.

q_{ij} : درصد ضایعات محصول z ام تامین شده از تامین کننده i ام.

$$\text{Max } h_0 = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{r_0} \quad (۳)$$

s.t:

$$\sum_{i=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m w_i x_{ij} \leq 0 \quad ; j=1, \dots, n.$$

$$\sum_{i=1}^m w_i x_{i_0} = 1$$

$$\mu_r, w_i \geq 0 \quad ; \text{ for all } r \text{ and } i.$$

$$\text{جائی که } w_i = v_i / \sum_{i=1}^m v_i x_{i_0} \text{ و } \mu_r = u_r / \sum_{i=1}^m u_i y_{i_0}$$

به کارگیری مدل DEA به صورت فوق، مشکلاتی را در پی دارد. دو مشکل که در مدت زمان طولانی شناسایی شده‌اند، عبارت‌اند از: قدرت تشخیص پائین^{۲۵} و توزیع غیر واقعی وزن^{۲۶}.

مشکل قدرت تشخیص پائین، هنگامی اتفاق می‌افتد که تعداد DMU های تحت بررسی، در مقایسه با تعداد کل ورودی‌ها و خروجی‌ها، به اندازه‌ی کافی بزرگ نیستند. در چنین وضعیتی، مدل DEA کلاسیک، جواب‌هایی را ارائه می‌کند که در آن، تعداد زیادی از DMU ها کارآ هستند.

از طرفی، مشکل توزیع غیر واقعی وزن به موقعیتی اشاره می‌کند که تعدادی از DMU ها، به وسیله‌ی مدل DEA کلاسیک به صورت کارآ رتبه بندی می‌شوند؛ زیرا این DMU ها اوزان خیلی بزرگ در یک خروجی و/یا اوزان خیلی کوچک در یک ورودی دارند، در حالیکه این اوزان عملاً غیرمعقول‌اند. [۳۴] Li et al. برای رفع این دو مشکل، با تلفیق روش‌های MCDM و مدل کلاسیک DEA، یک مدل تحلیل پوششی داده‌های چند معیاره ارائه می‌کنند که به صورت مدل (۴) می‌باشد. جایی که d_j میزان ناکارآیی j امین DMU و m حداکثر این ناکارآیی‌ها را به‌ازای تمامی DMU ها نشان می‌دهد.

بنابراین، تابع هدف دوم، حداکثر ناکارآیی‌ها و تابع هدف سوم، مجموع آن‌ها را حداقل می‌نماید.

به این ترتیب، آن‌ها دو اندازه‌ی کارایی دیگر را معرفی می‌نمایند: کارآیی Minimax و کارآیی Minisum. به عبارت دیگر، DMU_0 کارآی Minimax است؛ اگر و تنها اگر، مقدار h_0 متناظر با جوابی که تابع هدف دوم (h_i) مدل فوق را حداقل می‌کند برابر یک باشد. بطور مشابه، DMU_0 کارآی Minisum است

مقدمه‌ای بر مدل DEA

تحلیل پوششی داده‌ها، یک رویکرد غیر پارامتری برای اندازه‌گیری کارآیی نسبی در بین واحدهایی است که DMU نامیده می‌شوند.

این DMU ها، ورودی‌های مشابهی را برای تولید خروجی‌های مشابه، به کار می‌گیرند. DEA یکی از زمینه‌های فعالیت تحقیق در عملیات و علم مدیریت، با رشدی سریع در دو دهه گذشته بوده است. این روش، به وسیله‌ی [۳۲] Charnes et al. توسعه یافت. آن‌ها به دیدگاه غیر پارامتریک [۳۳] Farrell که برای ارزیابی کارآیی واحدهای تصمیم‌گیرنده با دو نهاده و یک ستاده مطرح شده بود، استفاده از برنامه ریزی ریاضی را اضافه کردند، که سبب شد محدودیت‌هایی که روش فارل داشت، از میان برداشته شود.

این مدل از نسبت مجموع موزون خروجی‌ها به مجموع موزون ورودی‌ها، به عنوان مقیاسی برای اندازه‌ی کارآیی استفاده می‌کند.

از آن جایی که این نسبت نمی‌تواند بیشتر از یک باشد، اگر هر DMU، s خروجی و m ورودی داشته باشد و میزان i امین ورودی به j امین DMU برابر x_{ij} و میزان r امین خروجی از آن برابر y_{rj} باشد، آن‌گاه، شکل کسری مدل کلاسیک DEA، که کارآیی DMU_0 را ارزیابی می‌نماید، به صورت زیر خواهد بود:

$$\text{Max } h_0 = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r_0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i_0}} \quad (۲)$$

$$\left(\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \right) \leq 1 \quad ; j=1, \dots, n.$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad ; \text{ for all } r \text{ and } i.$$

s.t:

در مسئله‌ی غیر خطی و غیر محدب فوق، h_0 کارآیی DMU_0 و اوزان v_i و u_r متغیرهای تصمیم مسئله هستند. مشکلی که در حل این مسئله وجود دارد، آن است که این مدل، دارای بی‌نهایت جواب است؛ زیرا اگر مقدار بهینه‌ی متغیرها برابر v^* و u^* باشد، آن‌گاه، جواب بهینه‌ی دیگری نیز به صورت αv^* و αu^* وجود خواهد داشت. برای رفع این مشکل، پس از دو بار تغییر متغیر، شکل خطی مدل کلاسیک DEA به دست می‌آید:

جواب بهینه مسئله:

$$MIN / MAX [f_j(x)] \quad (۷)$$

st :

$$x \in X_d$$

$$f_i(x) \begin{cases} \leq \\ \geq \end{cases} \theta_{i0} \begin{cases} - \\ + \end{cases} \varepsilon ; \quad i \neq j$$

ε ; small value

یک جواب موثر برای مسئله‌ی (۵) خواهد بود، اگر دسته محدودیت های اضافه شده متناظر با توابع هدف با اهمیت کم‌تر در مسئله‌ی (۵) همگی الزامی باشد؛ و یا در صورت عدم برقراری چنین شرطی، مسئله تنها یک جواب داشته باشد. رویکرد گفته شده در بالا به ازای یک مقدار ε مشخص، یک جواب موثر برای مسئله‌ی (۵) ارائه می نماید. برای نشان دادن چگونگی به دست آوردن یک دنباله از جواب‌های موثر، ما ابتدا یک مسئله با ابعاد کوچک را در نظر می گیریم، سپس برای تعمیم نتایج به مسائل با ابعاد بزرگ‌تر، یک الگوریتم کلی ارائه خواهد گردید.

یک مسئله‌ی MODM دو بعدی با دو تابع هدف، یکی به صورت ماکزیمم سازی ($f_j(x)$) و دیگری می نیمم سازی ($f_i(x)$) همراه با سه محدودیت را در نظر بگیرید. فرض کنید که از سوی تصمیم گیرنده و بر اساس معیارهای از قبل تعریف شده، تابع هدف ماکزیمم سازی، نسبت به تابع هدف دوم از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنابراین در اولین قدم، مسئله :

$$MAX [f_j(x)] \quad (۸)$$

st :

$$x \in X_d$$

را حل می کنیم. اگر \underline{C} بردار گرادیان تابع هدف و فضای شدنی مسئله‌ی فوق بصورت شکل (۱) باشد، آن گاه نقطه-ی \tilde{x} جواب بهینه است. اینک تابع هدف می نیمم سازی دوم را به صورت $f_i(x) \leq \theta_{i0}$ به مسئله اضافه می کنیم. به این ترتیب، شکل (۲) به دست می آید که در آن خط چین، معرف تابع هدف اضافه شده است. حال اگر سمت راست محدودیت $f_i(x) \leq \theta_{i0}$ به $\theta_{i0} - \varepsilon$ کاهش یابد که $\varepsilon > 0$ ، آن گاه همان طور که شکل (۳) نشان می دهد، محدودیت اضافه شده به موقعیت جدید 1 منتقل می شود. در این حالت، با حل مسئله:

$$Max h_0 = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{r0} \quad (۴)$$

$$Min h_1 = m$$

$$Min h_2 = \sum_{j=1}^n d_j$$

st :

$$\sum_{i=1}^m w_i x_{ij_0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m w_i x_{ij} + d_j = 0 \quad ; \quad j = 1, \dots, n.$$

$$m - d_j \geq 0 \quad ; \quad j = 1, \dots, n.$$

$$\mu_r, w_i \geq 0$$

$$d_j \geq 0 \quad ; \quad \text{for all } i, j \text{ and } r.$$

اگر و تنها اگر مقدار h_0 متناظر با جوابی که تابع هدف سوم (h_2) مدل فوق را حداقل می نماید، برابر یک باشد [34]. آن ها در مقاله خود، نشان دادند که افزودن دو تابع هدف فوق به مدل کلاسیک تحلیل پوششی داده ها، دو مشکل مرتبط با آن را برطرف می نماید.

الگوریتمی برای به دست آوردن مجموعه ای

از جواب های موثر یک مسئله MODM

برای به دست آوردن یک جواب موثر از یک مسئله چند هدفه، مسئله MODM زیر را در نظر بگیرید:

$$MIN / MAX [f_l(x)]; \quad l=1, \dots, m. \quad (۵)$$

st :

$$x \in X_d$$

فرض کنید $f_j(x)$ مهم ترین تابع هدف از نظر تصمیم گیرنده باشد، در صورت عدم وجود چنین تابعی، یکی از توابع هدف مسئله به دلخواه، انتخاب می شود. مسئله تک هدفه (۶) را حل کنید:

$$MIN / MAX [f_j(x)] \quad (۶)$$

st :

$$x \in X_d$$

فرض کنید جواب بهینه‌ی این مسئله \tilde{x} باشد. مقدار θ_{i0} را به دست آورید جاییکه: $f_i(\tilde{x}) = \theta_{i0} ; i \neq j$. سپس اگر تابع هدف $f_i(x) ; i \neq j$ از نوع ماکزیمم سازی باشد، محدودیت $f_i(x) \geq \theta_{i0}$ و در غیر این صورت $f_i(x) \leq \theta_{i0}$ را به محدودیت های اصلی مسئله (۶) اضافه نمائید. در چنین شرایطی می توان ثابت نمود که

است. کاملاً مشخص است که با افزایش پیوسته $\varepsilon > 0$ و به تبع آن، حرکت پیوسته خط چین به موازات خودش و به سمت پائین و حل مجدد مسئله (۹)، تمام نقاط پاره خط $\tilde{x}\tilde{x}'$ جواب بهینه مسئله (۹) خواهند بود که چون محدودیت (۹-۱) الزامی است، بنابراین تمام نقاط این پاره خط جواب موثر مسئله MODM اولیه هستند. فرض کنید: $f_i(\tilde{x}') = \theta_{i1}$. اینک اگر سمت راست محدودیت (۹-۱) به کمتر از θ_{i1} کاهش یابد، خط چین به موقعیت جدید ۲ منتقل می شود که در این موقعیت، با حل مجدد مسئله (۹) جواب بهینه، نقطه \tilde{x}'' خواهد بود. با ادامه کاهش پیوسته، سمت راست محدودیت (۹-۱) از مقدار θ_{i1} ، تمام نقاط پاره خط $\tilde{x}\tilde{x}''$ جواب های بهینه مسئله (۹) خواهند بود که چون در تمام این نقاط، محدودیت (۹-۱) الزامی است، لذا جواب های موثر مسئله MODM اولیه نیز هستند. فرض کنید: $f_i(\tilde{x}'') = \theta_{i2}$. با ادامه کاهش پیوسته سمت راست محدودیت (۹-۱) از θ_{i2} ، اینک تمام نقاط پاره خط $\tilde{x}\tilde{x}'''$ جواب موثر مسئله هستند. اگر θ_i متغیر سمت راست محدودیت (۹-۱) باشد، مشخص است که به ازای $\theta_{i1} \leq \theta_i \leq \theta_{i0}$ ، تمام نقاط پاره خط $\tilde{x}\tilde{x}'$ به ازای $\theta_{i2} \leq \theta_i \leq \theta_{i1}$ ، تمام نقاط پاره خط $\tilde{x}\tilde{x}''$ و به ازای $0 \leq \theta_i \leq \theta_{i2}$ ، تمام نقاط پاره خط $\tilde{x}\tilde{x}'''$ جواب موثر مسئله MODM اولیه خواهند بود. به عبارت دیگر، در مسئله ای بالا با داشتن مقادیر θ_{i0} ، θ_{i1} و θ_{i2} می توان به مجموعه ای پیوسته از جواب های موثر مسئله MODM اولیه دست یافت. توجه کنید که تابع هدف می نیم سازی اضافه شده به محدودیت های مسئله همواره الزامی است که با کاهش سمت راست آن، مقدار آن رو به بهبود باشد. این، منجر به بدتر شدن تابع هدف اصلی مسئله (۹) می شود. به عبارت دیگر، هر چه خط چین به موازات خود و به سمت پائین حرکت کند، مقدار تابع هدف مسئله (۹) بدتر می شود. برای تعمیم روش فوق به منظور دستیابی به یک دنباله از جواب های موثر یک مسئله MODM در حالت کلی، الگوریتمی ارائه می گردد. اگر مسئله بیش از دو تابع هدف داشته باشد، برای استفاده از این الگوریتم باید فرض نمود که سمت راست تنها یکی از محدودیت های:

$$f_i(x) \begin{cases} \leq \\ \geq \end{cases} \theta_{i0} \quad ; \quad i \neq j, i=1, \dots, m \quad (10)$$

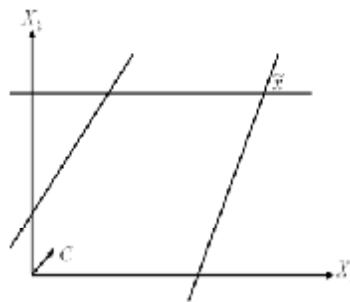
$$\text{MAX}[f_j(x)] \quad (9)$$

st :

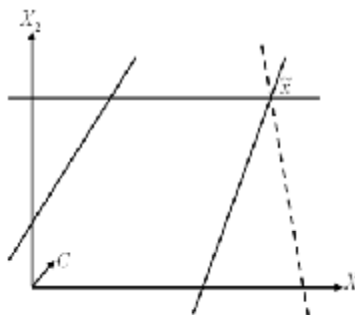
$$x \in X_d$$

$$f_i(x) \leq \theta_{i0} - \varepsilon \quad (9-1)$$

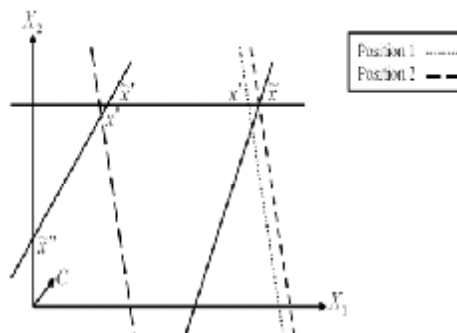
ε ; small value



شکل ۱: فضای شدنی و بردار گرادیان تابع هدف یک مسئله فرضی.



شکل ۲: نمایش اضافه شدن تابع هدف دوم به مسئله مفروض.



شکل ۳: چگونگی حرکت تابع هدف دوم مسئله مفروض به موازات خود و تعیین نقاط بهینه مختلف مسئله.

جواب بهینه مسئله نقطه \tilde{x}' می باشد که چون محدودیت متناظر با تابع هدف اضافه شده به مسئله، الزامی است، لذا \tilde{x}' یک جواب موثر برای مسئله MODM اولیه

$$MIN / MAX[f_j(x)] \quad (13)$$

$$st : \\ x \in X_d \\ f_k(x) \leq \theta_{k0} - \alpha \\ \alpha; \text{small value}$$

را حل می کنیم.

۳. در هر دو مسئله تک هدفی بالا، به ازای جواب بهینه‌ی به دست آمده، علامت هر یک از محدودیت‌های اصلی مسئله ($x \in X_d$) را تعیین می‌کنیم. (مشخص می‌کنیم که کدام یک از محدودیتها الزامی و کدامیک غیر الزامی است).

۴. اگر در مسئله MODM اولیه، ما به دنبال ماکزیمم کردن تابع هدف $f_k(x); k \neq j$ باشیم، مسئله:

$$MAX \theta = \theta_k \quad (14)$$

$$st : \\ x \in X'_d \\ f_k(x) = \theta_k$$

و در غیر این صورت مسئله:

$$MIN \theta = \theta_k \quad (15)$$

$$st : \\ x \in X'_d \\ f_k(x) = \theta_k$$

را حل می کنیم. در این مسائل محدودیت‌های X'_d ، مشابه محدودیت‌های X_d هستند؛ با این تفاوت که علامت آن‌ها بر مبنای علامت به دست آمده برای هر محدودیت در گام ۳، تغییر یافته است. به عبارت دیگر، اگر علامت محدودیت‌های الزامی تعیین شده در گام ۳، در محدودیت‌های X_d به تساوی تبدیل گردد، محدودیت‌های X'_d حاصل می‌شود. جواب حاصل از هر یک از این مسائل، مقدار θ_{k1} را ارائه می‌کند.

۵. در مرحله ۲ به جای θ_{k0} مقدار θ_{k1} به دست آمده از مرحله ۴ را قرار دهید و الگوریتم را تکرار کنید. به این ترتیب مرحله ۴، مقدار θ_{k2} را به دست می‌دهد. به مرحله ۲ بازگردید و به جای θ_{k1} مقدار θ_{k2} را قرار دهید و الگوریتم را تکرار کنید. به این ترتیب، با تکرار الگوریتم، مقادیر $\theta_{k3}, \theta_{k4}, \dots$ به دست می‌آیند.

۶. مسئله تک هدفه :

تغییر می کند؛ زیرا تنها در این صورت می‌توان مجموعه‌ی مشخصی از جواب‌های موثر یک مسئله MODM را به دست آورد. لازم به ذکر است، اگر مسئله دارای دو تابع هدف باشد الگوریتم زیر، تمام جواب‌های موثر آن را ارائه خواهد کرد. دوباره تاکید می‌شود که ما فقط به دنبال یافتن مقادیر $\theta_{it}; t=0,1,\dots$ به ازای یک i مشخص هستیم. زیرا با داشتن مقادیر فوق، با حل مسئله (۱۱) بطور متوالی (بسته به این که در مسئله MODM اصلی ما دنبال می‌نیم کردن یا ماکزیمم کردن کردن تابع هدف $f_i(x)$ هستیم، علامت \leq و \geq به ترتیب انتخاب می‌شود). جواب بدست آمده که یک جواب موثر برای مسئله چند هدفه اصلی است و ترکیب محدب آن با جواب قبلی، بخشی از دنباله جواب‌های موثر آن مسئله را تشکیل می‌دهد.

$$MIN / MAX[f_j(x)] \quad (11)$$

$$st : \\ x \in X_d \\ f_i(x) \begin{cases} \leq \\ \geq \end{cases} \theta_{it} ; t=0,1,\dots$$

گام‌های الگوریتم به شرح زیر است:

۱. در مسئله چند هدفه (۵)، پس از انتخاب مهم-ترین تابع هدف (برای مثال $f_j(x)$) توسط تصمیم‌گیرنده و حل مسئله تک هدفه (۶) با جواب بهینه \tilde{x} ، داریم:
 $f_i(\tilde{x}) = \theta_{i0} ; i \neq j$
۲. یکی از توابع هدف را به منظور تغییر سمت راست آن انتخاب می‌کنیم. چون محدودیت متناظر با این تابع هدف همواره الزامی است، بهتر است مهم‌ترین تابع هدف از بین $f_i(x); i \neq j$ انتخاب شود. تابع هدف انتخاب شده را با $f_k(x); k \neq j$ نشان می‌دهیم. اگر در مسئله MODM، به دنبال ماکزیمم کردن این تابع هدف باشیم، مسئله:

$$MIN / MAX[f_j(x)] \quad (12)$$

$$st : \\ x \in X_d \\ f_k(x) \geq \theta_{k0} + \alpha \\ \alpha; \text{small value}$$

و در غیر این صورت مسئله:

مواد اولیه‌ی ورودی به شرکت خریدار است که می‌توان مقدار محصولات نهایی تولید شده توسط آن‌ها را تخمین زد. بر مبنای این دیدگاه کلی، نحوه‌ی استفای ده از مدل DEA تشریح می‌شود.

اگر ما از الگوریتم گفته شده در قسمت قبل، برای به‌دست آوردن مجموعه‌ای از جواب‌های موثر مدل چند هدفی انتخاب تامین کننده استفاده کنیم، می‌توانیم به X_{ij} مختلفی دست یابیم. به عبارت دیگر، می‌توانیم مجموعه پیوسته‌ای از تعداد محصولات Z ام که باید توسط تامین کننده‌ی i ام تامین گردد را تولید نماییم. $-X_{ij}$ های به‌دست آمده، تابعی از عملکرد هر یک از تامین کنندگان هستند که با شاخص‌های قیمت، تحویل به موقع و درصد ضایعات، ارزیابی می‌شود. برای به‌کار بردن مدل DEA باید تعداد DMU ها حداقل ۳ برابر مجموع تعداد ورودی‌ها به اضافه‌ی خروجی‌ها باشد. اما ما به دنبال ارزیابی تنها یک DMU (شرکت خریدار) هستیم. برای رفع این مشکل پس از به‌دست آوردن دنباله‌ای از جواب‌های موثر، اگر X_i جواب قبلی و X_{i+1} جواب فعلی حاصل از مدل (۱۶) و Y_i نقطه‌ی متناظر با t باشد، ما با استفاده از رابطه:

$$Y_i = X_i + \left(\frac{t}{r-1} \right) (X_{i+1} - X_i) \quad (17)$$

$$t = 0, 1, \dots, r-1$$

هر قسمت از دنباله‌ی جواب‌های موثر، بین دو جواب متوالی حاصل از مدل (۱۶) را به $(r-1)$ قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم. به عبارت دیگر، با استفاده از رابطه‌ی بالا در هر قسمت از دنباله جواب‌های موثر (بعنوان مثال پاره خط $\tilde{x}\tilde{x}'$ یا پاره خط $\tilde{x}\tilde{x}''$ در شکل (۳)) r جواب موثر متمایز به دست می‌آوریم، که جواب متناظر با $t = r-1$ در یک قسمت مفروض با جواب متناظر با $t = 0$ در قسمت بعدی، مشابه است که باید یکی از آن‌ها را حذف کرد. سپس با استفاده از رابطه:

$$X_j = \sum_{i=1}^m X_{ij} \quad (18)$$

در هر جواب، میزان ورودی محصول Z ام را از تمامی تامین کنندگان به شرکت خریدار مشخص می‌کنیم. سپس بردار (X_1, X_2, \dots, X_n) را ترکیبی از ورودی‌های یک DMU مجازی در نظر می‌گیریم. به عبارت دیگر، به ازای v جواب حاصل از مدل (۱۶) می‌توان

$$MIN / MAX [f_j(x)] \quad (16)$$

st:

$$x \in X_d$$

$$f_k(x) \begin{cases} \leq \\ \geq \end{cases} \theta_{kt}$$

را بطور متوالی و برای $t = 0, 1, 2, \dots$ حل کنید. برای هر مقدار t جوابی برای این مسئله به دست می‌آید که ترکیب محدب آن با جواب قبلی، دنباله‌ای از جواب‌های موثر مسئله‌ی MODM اولیه را در شکل کلی ارائه می‌کند. دوباره تاکید می‌شود که اگر به دنبال ماکزیمم کردن $f_k(x)$; $k \neq j$ در مسئله‌ی چند هدفی اولیه باشیم، علامت \geq و در غیر این صورت علامت \leq انتخاب می‌شود. تا این قسمت از مقاله، ما قادر بوده‌ایم الگوریتمی را برای به‌دست آوردن مجموعه‌ای پیوسته از جواب‌های موثر یک مسئله MODM در حالت کلی، توسعه دهیم. در قسمت بعد، توضیح می‌دهیم که چطور به کمک مدل DEA می‌توانیم جواب ترجیحی را از بین این دنباله از جواب‌های موثر انتخاب نمائیم.

چگونگی کاربرد الگوریتم DEA

برای طراحی یک مدل DEA با هدف ارزیابی عملکرد تامین کنندگان، می‌باید بر مبنای بررسی‌های شرکت خریدار، متغیرهای ورودی و خروجی انتخاب شود. معمولاً در مواجهه با تامین کنندگان، منابع اصلی مورد استفاده توسط شرکت خریدار به عنوان ورودی و اندازه‌های عملکرد اصلی به عنوان خروجی، در نظر گرفته می‌شود [۳۵] (Boussofiane et al.). به عبارت دیگر، از بین معیارهای ارزیابی تامین کنندگان نظیر قیمت، کیفیت، تحویل به موقع و ...، آن دسته از معیارهایی که مقادیر پائین آن‌ها مطلوب است، مانند قیمت، به عنوان ورودی و آن دسته از معیارهایی که مقادیر بالای آن‌ها مطلوب است مانند کیفیت، به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شود. بر مبنای اطلاعات نگارندگان این مطالعه و با استفاده از مقالات مرور شده، در تمامی مطالعات گذشته از این رویکرد برای استفاده از مدل DEA در ارزیابی تامین کنندگان استفاده شده است؛ در حالیکه مطالعه‌ی حاضر، از مفهوم ورودی‌ها و خروجی‌های فیزیکی نظیر مواد اولیه و محصولات نهایی برای بنای مدل DEA استفاده می‌نماید. در واقع، هر جواب موثر مدل چند هدفی انتخاب تامین کنندگان، ترکیبی از

میزان s خروجی به ازای هر ترکیب از ورودی‌ها از طرف شرکت خریدار تخمین زده می‌شود. به این ترتیب، ما $[1+(v-1)(r-1)]$ تعداد DMU داریم که هر یک، m ورودی و s خروجی دارد. سپس با استفاده از مدل DEA چند معیاره، کارایی هر یک از DMU ها ارزیابی می‌شود.

مثال عددی

برای نشان دادن چگونگی عملکرد الگوریتم ارائه شده و ترکیب آن با مدل DEA چند معیاره، یک مثال عددی ارائه می‌شود. در این مثال، یک واحد تولید کننده برای تامین ۳ قطعه‌ی مورد نیاز خود، در صد ارزیابی ۶ تامین کننده است. حداقل مورد نیاز از این قطعات به ترتیب 1250، 1800 و 1600 واحد و حداکثر 2500، 3500 و 3000 واحد است. اطلاعات مربوط به این تامین کنندگان شامل قیمت خرید، درصد تحویل به موقع، درصد ضایعات و حداقل و حداکثر توان تولید برای هر یک از قطعات فوق است که در جدول (۱) ارائه می‌گردد. از بین توابع هدف مربوط به می‌نیم کردن هزینه‌ی کل خرید، متوسط ضایعاتی و ماکزیم کردن متوسط قطعات به موقع تحویل داده شده، تصمیم گیرنده‌ی تابع هدف مربوط به می‌نیم کردن هزینه‌ی کل خرید را دارای بیشترین اهمیت، تشخیص می‌دهد. همچنین، در مرحله‌ی بعد، از آنجایی که باید یکی از توابع هدف باقی‌مانده را برای اضافه شدن به محدودیت‌های اصلی مسئله انتخاب نمود، تصمیم گیرنده، تابع هدف مربوط به

ماکزیم کردن متوسط قطعات به موقع تحویل داده شده را برای افزایش مقدار آن انتخاب می‌کند. تحت این شرایط و با پیروی از الگوریتم ارائه شده، مقادیر $\theta_{kt} = 0, 1, 2, \dots$ به صورت جدول (۲) به دست می‌آید. هزینه‌ی کل خرید متناظر با هر یک از مقادیر θ_{kt} نیز در این جدول نشان داده شده است. کاملاً مشخص است که با افزایش متوسط قطعات به موقع داده شده، هزینه‌ی کل خرید نیز، افزایش می‌یابد. همچنین اگر θ_{kt} اندکی از مقدار 8656 فراتر رود، آنگاه مسئله نشدنی خواهد شد. به عبارت دیگر، حداکثر متوسط قطعات به موقع تحویل داده شده تحت شرایط این مسئله، برابر 8656 و حداقل برابر 4429 خواهد بود.

همچنین، حداکثر متوسط هزینه‌ی خرید برابر 35010500 و حداقل برابر 18047500 خواهد بود. جدول (۳)، جواب بهینه‌ی مسئله‌ی تک هدفی (۱۶) را به ازای مقادیر مختلف θ_{kt} نشان می‌دهد. ترکیب محدب هر دو جواب متوالی نشان داده شده در این جدول، بخشی از یک مجموعه‌ی پیوسته از جواب‌های موثر مسئله‌ی چند هدفی انتخاب تامین‌کننده‌ی مورد بررسی را تشکیل می‌دهد. اینک برای ارزیابی کارایی شرکت خریدار با استفاده از مدل DEA چند معیاره، با در نظر گرفتن $r = 6$ ، می‌توانیم با استفاده از رابطه‌ی (۱۷)، ۲۱ واحد DMU مجازی به دست آوریم. به عبارت دیگر، می‌توانیم شرکت خریدار را در ۲۱ وضعیت متفاوت بررسی نماییم. این ۲۱ واحد DMU

جدول ۱: اطلاعات تامین کنندگان مربوط به قطعات سه گانه مورد نیاز.

Parameters	Sup.1			Sup.2			Sup.3			Sup.4			Sup.5			Sup.6		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
PR ¹	3000	4500	3980	3050	4480	3950	3100	4600	3980	2980	4200	4050	2950	4500	4100	3100	4200	4000
P.T.D ²	0.95	1	1	0.85	0.92	0.98	0.92	0.95	0.95	1	0.95	1	0.95	0.9	0.96	0.92	0.95	0.88
P.J ³	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
Max.Cap ⁴	880	800	900	800	900	800	900	600	700	800	600	800	600	500	500	400	350	400
Min.Cap ⁵	300	400	300	200	350	200	200	200	200	150	150	200	100	100	100	150	200	200

1: Price (\$), 2: Percent on Time Delivery, 3: Percent of Reject, 4: Maximum Capacity, 5: Minimum Capacity

جدول ۲: مقادیر θ_{kt} های بدست آمده از مرحله ۴.

	θ_{k0}	θ_{k1}	θ_{k2}	θ_{k3}	θ_{k4}
θ_{k0}	4429	4464.5	5677	7065	8656
$f_j(x)$	18047500	18123600	21858600	27463420	35010500

جدول ۳: جواب‌های مسئله تک هدفه مرحله ۵ متناظر با θ_{kt} .

	X11	X12	X13	X21	X22	X23	X31	X32	X33	X41	X42	X43	X51	X52	X53	X61	X62	X63
θ_{k0}	300	400	300	200	350	600	200	200	200	150	400	200	250	100	100	150	350	200
θ_{k1}	300	400	700	200	350	200	200	200	200	320	400	200	100	100	100	150	350	200
θ_{k2}	500	400	720	200	350	200	200	200	200	800	550	200	600	100	100	150	200	200
θ_{k3}	550	400	900	200	350	800	200	200	200	800	570	800	600	100	100	150	200	200
θ_{k4}	800	800	900	200	900	800	200	600	200	800	600	800	270	250	100	150	350	200

جدول ۴: نمایش ۲۱ واحد DMU مجازی (۲۱ وضعیت متفاوت تصمیم گیرنده)

(DMU)	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21
1	300	400	300	200	350	600	200	200	200	150	400	200	250	100	100	150	350	200	1800	1500	
2	300	400	300	200	350	600	200	200	200	150	400	200	250	100	100	150	350	200	1800	1500	
3	300	400	700	200	350	200	200	200	200	320	400	200	100	100	100	150	350	200	1800	1500	
4	300	400	720	200	350	200	200	200	200	800	550	200	600	100	100	150	350	200	1800	1500	
5*	300	400	620	200	350	200	200	200	200	150	286	400	200	139	150	100	150	350	200	1800	1500
6	300	400	700	200	350	200	200	200	200	320	400	200	100	100	100	150	350	200	1800	1500	
7	340	400	704	200	350	200	200	200	200	416	470	200	200	100	100	150	350	200	1800	1504	
8	380	400	708	200	350	200	200	200	200	512	560	200	200	100	100	150	350	200	1800	1508	
9	420	400	712	200	350	200	200	200	200	608	660	200	200	100	100	150	350	200	1800	1512	
10	460	400	716	200	350	200	200	200	200	704	760	200	200	100	100	150	350	200	1800	1516	
11	500	400	720	200	350	200	200	200	200	800	860	200	200	100	100	150	350	200	1800	1520	
12	510	400	756	200	350	200	200	200	200	780	734	400	554	334	100	100	150	300	200	1806	1506
13	520	400	792	200	350	200	200	200	200	676	630	400	518	448	100	100	150	250	200	1812	1492
14	530	400	828	200	350	200	200	200	200	580	534	400	482	382	100	100	150	200	200	1818	1478
15	540	400	864	200	350	200	200	200	200	484	438	400	446	316	100	100	150	150	200	1824	1464
16	550	400	900	200	350	200	200	200	200	388	342	400	410	250	100	100	150	100	200	1830	1450
17	600	400	900	200	350	200	200	200	200	292	246	400	374	194	100	100	150	50	200	1836	1436
18	640	400	900	200	350	200	200	200	200	196	150	400	338	138	100	100	150	0	200	1842	1422
19	700	400	900	200	350	200	200	200	200	100	60	400	272	82	100	100	150	0	200	1848	1408
20	750	400	900	200	350	200	200	200	200	14	0	400	216	26	100	100	150	0	200	1854	1394
21	800	400	900	200	350	200	200	200	200	0	0	400	160	0	100	100	150	0	200	1860	1380

DMU ها به همراه کارایی آن ها

DMU	Inputs			Outputs		Efficiency
	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	
1	1250	1800	1600	187	2	0.9167
2	1254	1800	1600	194	13	0.951
3	1258	1800	1600	193	3	0.9461
4	1262	1800	1600	160	3	0.7843
5*	1266	1800	1600	204	24	1
6	1270	1800	1600	192	38	0.9412
7	1506	1800	1604	194	1	0.9499
8	1742	1800	1608	195	24	0.9538
9	1978	1800	1612	200	11	0.9772
10	2214	1800	1616	191	43	0.9611
11	2450	1800	1620	174	10	0.8486
12	2460	1804	1896	209	7	0.9973
13	2470	1808	2172	165	19	0.782
14	2480	1812	2448	199	12	0.9415
15	2490	1816	2724	188	33	0.8897
16	2500	1820	3000	168	12	0.794
17	2484	2156	3000	214	34	0.8987
18	2468	2492	3000	167	9	0.5856
19	2452	2828	3000	175	18	0.5439
20	2436	3164	3000	201	5	0.5593
21	2420	3500	3000	215	13	0.5621

پنجم این جدول و با در نظر گرفتن اینکه X_{ij} ، میزان خرید قطعه Z ام از تامین کننده i ام را نشان می‌دهد، میزان خرید هر یک از قطعات از هر یک از تامین‌کنندگان، مشخص می‌شود. در نهایت، قطعه‌ی یک باید 1266 واحد، قطعه‌ی دو 1800 واحد و قطعه‌ی سه 1600 واحد، تامین گردد. به ازای این وضعیت کارآ، کل هزینه‌ی خرید برابر 1808380 واحد پولی، متوسط قطعات به موقع تحویل داده شده برابر 44.574 واحد و متوسط قطعات ضایعاتی برابر 172.18 واحد است.

نتیجه‌گیری و زمینه‌ی انجام تحقیقات آینده

در این مقاله، نشان داده شد که چگونه عملکرد تامین‌کنندگان، بر کارآیی DEA تصمیم‌گیرنده تاثیر می‌گذارد. الگوریتمی که معرفی شد، مجموعه‌ی پیوسته‌ای از جواب‌های موثر یک مسئله‌ی چند هدفه را به دست می‌آورد. این امر، مستلزم آن است که مهم‌ترین تابع هدف مسئله از طرف تصمیم‌گیرنده انتخاب گردد. توابع هدف با اهمیت کم‌تر به صورت محدودیت به محدودیت‌های اصلی مسئله، اضافه می‌شوند. همان‌طور که اشاره شد، در مسائلی با دو تابع هدف، این الگوریتم قادر به تعیین تمام جواب‌های موثر مسئله است. پس از تعیین این مجموعه‌ی پیوسته از جواب‌های موثر، تصمیم‌گیرنده در نقاط گسسته‌ای (وضعیت‌های متفاوت) از این مجموعه ارزیابی می‌شود. در این مرحله، به هر حال از تخمین‌های ذهنی تصمیم‌گیرنده برای تعیین میزان خروجی‌ها در هر یک از این وضعیت‌ها، استفاده می‌شود؛ که به‌عنوان یکی از زمینه‌های انجام تحقیقات آینده، این تخمین‌های ذهنی را می‌توان فازی در نظر گرفت، که این امر، مستلزم به‌کارگیری تحلیل پوششی داده‌های چند معیاره‌ی فازی است.

مجازی (وضعیت مختلف شرکت خریدار) در جدول (۴) نشان داده شده است. سه ستون انتهایی این جدول، مقدار ورودی قطعه‌ی Z ام را با استفاده از رابطه‌ی (۱۸) نشان می‌دهد. تمامی این ۲۱ وضعیت، جواب‌های موثری هستند که تصمیم‌گیرنده در قبال آن‌ها بی تفاوت است؛ به این معنی که از نظر تصمیم‌گیرنده، هیچ یک از این وضعیت‌ها بر دیگری ارجحیت ندارد. جدول (۵)، مقدار محصولات خروجی متناظر با هر ترکیب از قطعات ورودی را نشان می‌دهد که توسط تصمیم‌گیرنده، تخمین زده شده است. این جدول، شامل کارآیی DEA هر یک از DMU های مجازی نیز هست. برای حل مسئله‌ی DEA چند معیاره در این مثال از روش وزن دهی ساده با اوزان برابر، استفاده می‌شود.

در این روش، ابتدا هر یک از توابع هدف به صورت مجزا روی محدودیت‌های مسئله، بهینه می‌شوند؛ سپس مجموع موزون میزان انحراف هر تابع هدف از مقدار بهینه‌ی خود، به صورت نرمال، می‌نیمم می‌شود. جهت توضیحات بیشتر در زمینه‌ی چگونگی به‌کارگیری این روش در حل مسائل چند هدفه به [۳۶] Hwang et al. رجوع شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود علیرغم این-که تمامی این وضعیت‌ها، به نوعی جواب‌های موثر مسئله‌ی چند هدفه‌ی (۱) هستند، ولی به ازای آن‌ها کارآیی DEA شرکت خریدار، بسیار تغییر می‌نماید. از سویی، مشاهده می‌شود که مدل تحلیل پوششی داده‌های چند معیاره، به‌خوبی عمل کرده و تنها یک وضعیت (DMU) به عنوان وضعیت بهینه، محاسبه شده است. با توجه به این جدول می‌توان اظهار نمود که واحد اصلی در وضعیت ۵ کارآ است. جهت تعیین مقادیر تخصیصی به هر یک از ۶ تامین‌کننده، باید به جدول (۴) مراجعه کرد. با توجه به ردیف

مراجع

- 1- Willis, H. T., Huston, R. C. and Pohlkamp, F. (1993). "Evaluation measures of just in time supplier performance." *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 34, No. 2, PP. 1-5.
- 2- Dobler, D. W., Lee, L. and Burt, N. (1990). *Purchasing and Materials Management: Text and Cases*. McGraw-Hill: New York.
- 3- Dickson, G. W. (1966). "An analysis of vendor selection systems and decisions." *Journal of Purchasing*, Vol. 2 No. 1, PP. 5-17.

- 4- Weber, C. A., Current, J. R. and Benton, W. C. (1991). "Vendor selection criteria and methods." *European Journal of Operational Research*, Vol. 50, PP. 2-18.
- 5- Chaudhry, S. S., Forst, F. G. and Zydiak, J. L. (1993). "Vendor selection with price breaks." *European Journal of Operational Research*, Vol. 70, PP. 52-66.
- 6- Weber, C. A. and Current, J. R. (1993). "A multi objective approach to vendor selection." *European Journal of Operational Research*, Vol. 68, PP. 173-184.
- 7- Cakravastia, A., Toha, I. S. and Nakamura, N. (2002). "A two-stage model for the design of supply chain networks." *International Journal of Production Economics*, Vol. 80, No. 3, PP. 231-248.
- 8- Degraeve, Z., Labro, E. and Roodhooft, F. (2004). "Total cost of ownership purchasing of a service: The case of airline selection at Alcatel Bell." *European Journal of Operational Research*, Vol. 156, No. 1, PP. 23-40.
- 9- Demirtas, E. A. and Ustun, O. (2008). "An integrating multi objective decision making process for supplier selection and order allocation." *Omega*, Vol. 36, PP. 76-90.
- 10- Xia, W. and Wu, Z. (2007). "Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments." *Omega*, Vol. 35, PP. 494- 504.
- 11- Wadhwa, V. and Ravindran, A. R. (2007). "Vendor selection in outsourcing." *Computers & Operations Research*, Vol. 34, PP. 3725 - 3737
- 12- Karpak, K. and Kasuganti, R. R. (1999). "An application of visual interactive goal programming: a case in supplier selection decisions." *Journal of Multi-Criterion Decision Making*, Vol. 8, PP. 93-105.
- 13- Kumar, M., Vrat, P. and Shankar, R. A. (2002). "Multi-objective interval programming approach for supplier selection problem in a supply chain." *Proc., 2002 Int. Conf. on E-Manufacturing: an Emerging Need for 21st Century World Class Enterprises*, Bhopal, India: IEI, PP. 17-9.
- 14- Dahel, N-E. (2003). "Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments." *Supply Chain Management*, Vol. 8, No. 4, PP. 335-42.
- 15- Kleinsorge, I. K, Schary, P. and Tanner, R. (1992). "Data envelopment analysis for monitoring customer-supplier relationships." *Journal of Public Policy*, Vol. 11, No. 4, PP. 357-372.
- 16- Weber, C. A. (1996). "A data envelopment analysis approaches to measuring vendor performance." *Supply Chain Management*, Vol. 1, No. 1, PP. 28-39.
- 17- Liu, F., Ding, F. Y. and Lall, V. (2000). "Using data envelopment analysis to compare suppliers for supplier selection and performance improvement." *Supply Chain Management*, Vol. 5, No. 3, PP. 143-150.
- 18- Banker, R. D. and Moray, R. C. (1986). "Efficiency analysis for exogenously fixed input and output." *Operation Research*, Vol. 34, No. 4, PP. 513-518.
- 19- Weber, C. A., Current, J. R. and Dessai, A. (2000). "An optimization approach to determining the number of vendors to employ." *Supply Chain Management*, Vol. 5, No. 2, PP. 90-98.
- 20- Weber, C. A., Current, J. R. and Dessai, A. (1998). "Non-cooperative negotiation strategies for vendor selection." *European Journal of Operational Research*, Vol. 108, PP. 208-223.
- 21- Talluri, S., Narasimhan, R. and Nair, A. (2006). "Vendor performance with supply risk: A chance-constrained DEA approach." *International Journal of Production Economics*, Vol. 100, PP. 212-222.
- 22- Zhu, J. (2004). "A buyer-seller game model for selection and negotiation of purchasing bids: Extension and new models." *European Journal of Operational Research*, Vol. 154, PP. 150-156.

- 23- Talluri, S. and Baker, R. C. (2002). "A multi-phase mathematical programming approach for effective supply chain design." *European Journal of Operational Research*, Vol. 141, PP. 544–558.
- 24- Wu, D. and Olson, D. L. (2008). "Supply chain risk, simulation, and vendor selection." *International Journal of Production Economics*, Vol. 114, PP. 646– 655.
- 25- Ramanathan, R. (2007). "Supplier selection problem: integrating DEA with the approaches of total cost of ownership and AHP." *Supply Chain Management*, Vol. 12, No. 4, PP. 258–261.
- 26- Saen, R. F. (2007). "A new mathematical approach for suppliers selection: Accounting for non-homogeneity is important." *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 185, PP. 84–95.
- 27- Ng, W. L. (2008). "An efficient and simple model for multiple criteria supplier selection problem." *European Journal of Operational Research*, Vol. 186, PP. 1059–1067.
- 28- Celebi, D. C. and Bayraktar, D. (2008). "An integrated neural network and data envelopment analysis for supplier evaluation under incomplete information." *Expert Systems with Applications*, Vol. 35, PP. 1698–1710.
- 29- Wu, D. (2009). "Supplier selection: A hybrid model using DEA, decision tree and neural network." *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, PP. 9105–9112
- 30- Ha, S. H. and Krishnan, R. (2008). "A hybrid approach to supplier selection for the maintenance of a competitive supply chain." *Expert Systems with Applications*, Vol. 34, PP. 1303–1311.
- 31- Farzipoor saen, R. (2007). "Supplier selection by the new AR-IDEA model." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 39, PP. 1061-1070.
- 32- Charnes, A., Cooper, W. W. and Rhodes, E. (1978). "Measuring efficiency of decision making units." *European Journal of Operational Research*, Vol. 2, PP. 29-44.
- 33- Farrell, M. J. (1957). "The measurement of productive efficiency." *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 120, PP. 253-281.
- 34- Li, X. -B and Reeves, G. A. (1999). "A multiple criteria approach to data envelopment analysis." *European Journal of Operational Research*, Vol. 115, PP. 507-510.
- 35- Boussofiane, A., Dyson, R. G. and Thanassoulis, E. (1991). "Applied data envelopment analysis." *European Journal of Operational Research*, Vol. 52, PP. 1-15.
- 36- Hwang, C. L. and Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, New York.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Multi Objective Programming.
- 2- Total Cost Ownership (TCO)
- 3- Analytic Network Process (ANP)
- 4- Multi Objective Mixed Integer Linear Programming (MOMILP)
- 5- Analytical Hierarchy Process (AHP)
- 6- Weighted Objective
- 7- Goal Programming
- 8- Compromise Programming
- 9- Value Path Method
- 10- Interactive Goal Programming
- 11- Fuzzy Mixed Integer Goal Programming
- 12- Data Envelopment Analysis (DEA)
- 13- Negotiation
- 14- Return to Scale

-
- 15- Chance Constrained Data Envelopment Analysis (CCDEA)
 - 16- Buyer-Seller Game Model
 - 17- Pair-Wise Efficiency Game (PEG)
 - 18- Chance Constraint Programming
 - 19- Input Oriented
 - 20- Neural Network
 - 21- Back Propagation Neural Network
 - 22- Decision Tree
 - 23- Efficient Solution
 - 24- Preferred Solution
 - 25- Weak Discriminating Power
 - 26- Unrealistic weight Distribution
-