فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال دوازدهم/ شماره ۴۰ / تابستان ۱۳۹۶

ارائه یک فرایند سلسله مراتبی تحلیل پوششی داده های فازی برای مکان یابی سایت های نیروگاه خورشیدی

نوید رفیعی (نویسنده مسؤول)
دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
Email: Navid.rafiei.ie@gmail.com
مهتاب شرافتی
عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۱۵ ❋ تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۲۵

چکیده

به وجود آمدن صفحه های خورشیدی را می توان نقطه عطفی در بهره گیری از انرژی های پاک دانست. حفاظت از محیط زیست، عدم تولید انواع آلودگی ها و کارامد بودن صفحه های خورشیدی، آنها را به یکی از وسایل نوین و مهم تولید انرژی الکتریکی در بسیاری از نقاط جهان تبدیل نموده است. در این مقاله، به دنبال روشی جهت تعیین مکان هایی بـرای احـداث سایت های نیروگاه خورشیدی هستیم و برای این کار از یک فرایند سلسله مراتبی تحلیل پوششـی داده هـای (DEA) دو مرحله ای تحت شرایط عدم اطمینان استفاده می کنیم و در نهایت رویکرد را بر روی یک مطالعه موردی اجرا می نماییم. با استفاده از روش پیشنهادی بهترین و مؤثرترین محل برای سایت تولیدی نیروی خورشیدی مورد مطالعه انتخاب می گردد.

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، مکان یابی، فرایند سلسله مراتبی، تحلیل پوششی داده ها.

۱- مقدمه

از آنجایی که تقاضا برای انرژی خورشیدی روبه افزایش است، استفاده از آن به عنوان یک منبع تجدیدپذیر در سراسر دنیا در حال رشد می باشد. یکی از عوامل مهم در استفاده از این مسئله، بهینه‌سازی محل استقرار سایت‌های تولید و انتقال انرژی می‌باشد که علاوه بر تابش خورشید که اولین معیار در تعیین مکان بهینه سایت خورشیدی است معیارهای متفاوتی از قبیل جمعیت ناحیه، ملاحظات جغرافیایی و زمین شناسی بر این عامل تاثیر می‌گذارد. این مقاله به منظور تصمیم‌گیری درباره مکان بهینه سایت‌های خورشیدی از روش تحلیل پوششی داده‌های فازی استفاده می‌کند و این روش را در قالب یک مدل برای مطالعه موردی در ۷ شهرستان کرمانشاه اجرا می‌کند.

تا به امروز مطالعات متعددی بر روی مسئله مکان‌یابی بهینه انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

(Domschke & Drexl, 2013) نشان دادند که مسئله مکان‌یابی در محدوده بانک‌ها، رستوران‌ها، هتل‌ها و انبارها می‌باشد. (Afshartous, Guan, & Mehrotra, 2009) یک مدل آماری و بهینه شده‌ای را برای مکان‌یابی گارد ساحلی ارائه دادند. (Choudhary & Shankar, 2012) قالب بهینه برای ارزیابی و انتخاب مکان بهینه برای سایت‌های دمایی را پیشنهاد دادند و (Aras, Erdoğmuş, & Koç, 2004) بهترین محل را در محوطه یک دانشگاه برای ایستگاه بادی تعیین کردند. روش-های الگوریتم ژنتیک، جستجوی ممنوع و شبیه‌سازی تبرید شده به وفور در مسئله انتخاب مکان بهینه بکار می‌روند. علاوه بر این، روش‌های تصمیم‌گیری چندهدفه و چندشاخصه که توسط (Saaty, 2000) توسعه یافت روش‌های پر کاربردی در این‌گونه مسائل هستند. وجود منابع در این زمینه اهمیت استراتژیک این موضوع را نشان می‌دهد که مکان بهینه سایت خورشیدی تاثیر مهمی در استفاده از نوع انرژی دارد. (Demirel, Demirel, & Kahraman, 2010; Gamboa & Munda, 2007)

همان‌گونه که اشاره شد معیارهای متفاوتی برای انتخاب محل بهینه تعریف شده است. در این تحقیق برای بهینه‌سازی محل سایت دو مرحله ترکیبی در نظر گرفته می شود. در مرحله اول جمعیت و نیروی کار، فاصله شبکه توزیع و میزان هزینه را برای یافتن مناسب‌ترین محل در هر شهر مد نظر قرار گرفته و در مرحله بعدی برای یافتن محل بهینه از معیارهایی مانند متوسط تابش خورشید، شدت رخ دادن حوادث طبیعی، کمیت مناطق جغرافیایی مناسب، نزدیکی مصرف‌کننده و کمیت زمین شناسی مورد استفاده قرار می گیرد. اشاره به این نکته نیز ضروری است که شاخص‌های ورودی مرحله دوم همانند معیار نزدیکی مصرف‌کننده غیر قطعی می‌باشد. از اینرو، بهتر است که مسأله در شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته شود.

در این مقاله ساختار سلسله مراتبی بکار گرفته شده و از آنجا که مدل‌های DEA[1] قادر به ترکیب مناسب شاخص‌های ورودی و خروجی نیستند، پیشنهاد می شود که از روش اندازه‌گیری محدوده تعدیل شده (RAM[2]) که توسط (Sueyoshi & Goto, 2011) معرفی گردیده استفاده شود. مدل DEA برای هر دو مرحله بکار گرفته می‌شود. علاوه بر این، هر دو مرحله دارای معیارهای ورودی و خروجی با ماهیت‌های خوب و بد می‌باشند. به علت عدم قطعیت در داده‌ها ورودی این داده‌ها بصورت اعداد فازی مثلثی وارد می‌شوند و DEA نیازمند یک روش برای حل این مشکل نیز می‌باشد که در ادامه ارائه می گردد.

۲- مواد و روش ها

در این تحقیق DEA به عنوان یک تکنیک بهینه‌سازی برای یافتن مؤثرترین محل بکار می‌رود و ساختار سلسله مراتبی بهترین محل در هر ناحیه و مناسب‌ترین گزینه بین مجموعه شهرهای بالقوه را تعیین می‌کند. همچنین، مجموعه‌ای از معیارها برای هر دو مرحله‌ی اندازه‌گیری DEA فازی تعریف شده است که در ادامه به بیان معیارها و مدل‌های ریاضیاتی DEA پرداخته می شود.

در مرحله ۱ که مربوط به مناسب‌ترین ناحیه در هر شهر است معیارهای جمعیت نیروی انسانی، فاصله شبکه توزیع نیرو و میزان هزینه زمین به عنوان شاخص‌های ورودی و خروجی DEA در نظر گرفته شده اند که می‌توانند عناوین خوب و بد را به خود اختصاص دهند. در مرحله ۲ که مربوط به تعیین مناسب‌ترین محل برای ساخت صفحه‌های خورشیدی است ۵ شاخص سرعت

[1] Data Envelopment Analysis
[2] Range-Adjusted Measure

تابش خورشید، شدت رخ دادن حوادث طبیعی، کمیت محیط مناسب، کمیت زمین شناسی و نزدیکی مصرف‌کننده تعریف می شوند. از آنجا که داده‌های مرحله ۲ در شرایط عدم قطعیت جمع‌آوری شده‌اند آنها را با اعداد فازی مثلثی ارائه می‌گردند. برای ارزیابی کارایی یکپارچه هر واحد تصمیم‌گیرنده در مرحله ۱ و ۲ از مدل DEA پیشنهادی (Sueyoshi & Goto, 2011) با اندازه‌گیری محدوده تعدیل شده (RAM) استفاده می شود. در این مدل ها بالانویس‌های g و b به ترتیب بیانگر خوب و بد هستند.

در مرحله ۱ به مدل DEA یکپارچه به صورت زیر می پردازیم:

هر سه معیاری که برای این مرحله جمع‌آوری گردید بصورت شاخص بد در نظر گرفته شده‌اند. شاخص بد اول باید افزایش یافته و دو شاخص دیگر نیز کاهش یابند. علاوه بر این، از آنجا که مدل DEA شامل هیچ متغیر ورودی نیست، یک ورودی ساختگی (برابر با ۱) را برای تمامی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU[3]) در نظر گرفته می شود و چون این شاخص برای تمام واحدها برابر با ۱ فرض شده متغیر کمکی ورودی نیز برابر صفر است. در نتیجه، محدودیت‌های مربوط به ورودی زائد هستند و باید از مدل حذف گردند. در تصمیم‌گیری مرحله ۱، یک مدل DEA مجزا برای هر شهر به کار گرفته می شود و هر DMU فاصله ویژه‌ای را از مرکز شهر نشان می‌دهد. در این تحقیق دو DMU برای تمام شهرها در نظر گرفته شده است:

DMU-1: فاصله سایت تا شهر بین ۵ تا ۱۵ کیلومتر است.

DMU-2: فاصله سایت تا شهر بین ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر است.

مدل DEA غیر شعاعی برای k اُمین DMU:

$$\max R^g d^g + \sum_{f=1}^{2} R_f^b d_f^b \qquad (۱)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^{5} g_j \lambda_j^g - d^g = g_k \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{5} \lambda_j^g = 1 \qquad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^{5} b_{fj} \lambda_j^b + d_f^b = b_{fk} \quad (f = 1,2) \qquad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^{5} \lambda_j^b = 1 \qquad (۵)$$

$$\lambda_j^g \geq 0 \quad (j = 1,...,5) \qquad (۶)$$

$$\lambda_j^b \geq 0 \quad (j = 1,...,5) \qquad (۷)$$

$$d^g \geq 0 \qquad (۸)$$

$$d_f^g \geq 0 \quad (f = 1,2) \qquad (۹)$$

در مدل مرحله ۱، d^g متغیر کمکی مربوط به جمعیت و نیروی کار است و به عنوان شاخص خوب در نظر گرفته می‌شود. d_f^b نشان‌دهنده متغیر کمکی مربوط به فاصله شبکه توزیع و میزان هزینه زمین است که به عنوان یک خروجی بد در نظر گرفته می‌شود. بالانویس f اشاره به متغیرهای نامطلوب دارد به ترتیب برای دو معیار بالا ۱ و ۲ می‌باشد. R^g و $R^b{}_f$ رتبه‌های خوب و بد بودن شاخص‌های خروجی هستند.

[3] Decision Making Units

$$R^g = \frac{1}{(1+s+h)\left[\max_j\{g_j\} - \min_j\{g_j\}\right]} \quad (۱۰)$$

و

$$R_f^b = \frac{1}{(1+s+h)\left[\max_j\{b_{fj}\} - \min_j\{b_{fj}\}\right]} \quad (۱۱)$$

λ^g و λ^b به ترتیب، متغیرهای شدت یا ساختاری را برای شاخص‌های خوب و بد نشان می‌دهند. h و s نشان گر تعدادی از خروجی‌های خوب و بد است. امتیاز کارایی K اُمین واحد تصمیم‌گیرنده بصورت زیر بدست می‌آید:

$$\theta = 1 - \left(R^g d^{g*} + \sum_{f=1}^{2} R_f^b d_f^{b*} \right) \quad (۱۲)$$

بالانویس * نشان‌دهنده بهینگی است.

در مرحله ۲ مدل DEA فازی یکپارچه به شرح زیر بیان می شود:

متوسط تابش خورشید، کمیت محیط جغرافیایی و کمیت زمین شناسی شاخص‌های خروجی خوب هستند و شدت حوادث طبیعی و نزدیکی مصرف‌کننده شاخص‌های خروجی بد هستند. مشابه مرحله ۱ یک ورودی کمکی برای تمامی DMUها در مرحله ۲ نیز در نظر گرفته می‌شود. در این مرحله، یک مدل DEA فازی برای پیدا کردن بیشتر موقعیت‌های مناسب شهری در میان ۷ واحد تصمیم‌گیرنده جهت احدث سایت خورشیدی اجرا شده است. این مدل DEA فازی غیر شعاعی یکپارچه برای K اُمین واحد تصمیم‌گیرنده بصورت زیر است و در این مدل ~ به فازی بودن پارامترها اشاره دارد و مدل مذکور باید پیش از مورد استفاده قرار گرفتن برای اندازه‌گیری DMU ها به مدل قطعی تبدیل شود.

$$\max \sum_{r=1}^{3} \tilde{R}_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^{2} \tilde{R}_f^b d_f^b \quad (۱۳)$$

Subject to:

$$\sum_{j=1}^{25} \tilde{g}_{rj} \lambda_j^g - d_r^g = \tilde{g}_{rk} \quad (r = 1,2,3) \quad (۱۴)$$

$$\sum_{j=1}^{25} \lambda_j^g = 1 \quad (۱۵)$$

$$\sum_{j=1}^{25} \tilde{b}_{fj} \lambda_j^b + d_f^b = \tilde{b}_{fk} \quad (f = 1,2) \quad (۱۶)$$

$$\sum_{j=1}^{25} \lambda_j^b = 1 \quad (۱۷)$$

$$\lambda_j^g \geq 0 \quad (j = 1,\ldots,25) \quad (۱۸)$$

$$\lambda_j^b \geq 0 \quad (j = 1,\ldots,25) \quad (۱۹)$$

$$d_r^g \geq 0 \quad (r = 1,2,3) \quad (۲۰)$$

$$d_r^b \geq 0 \quad (r = 1,2) \quad (۲۱)$$

که در روابط فوق

$$\tilde{R}^{g} = \frac{1}{(1+\mathrm{s}+\mathrm{h})\left[\max_{j}\left\{\tilde{g}_{j}\right\} - \min_{j}\left\{\tilde{g}_{j}\right\}\right]} \quad (۲۲)$$

و

$$\tilde{R}_{f}^{b} = \frac{1}{(1+\mathrm{s}+\mathrm{h})\left[\max_{j}\left\{\tilde{b}_{fj}\right\} - \min_{j}\left\{\tilde{b}_{fj}\right\}\right]} \quad (۲۳)$$

که S برابر با ۳ و h برابر با ۲ است و توصیف پارامترها و متغیرها مانند مرحله ۱ می‌باشد. امتیاز اندازه کارایی نیز بصورت زیر است:

$$\theta = 1 - \left(\sum_{r=1}^{3} \tilde{R}_{r}^{g} d_{r}^{g^*} + \sum_{f=1}^{2} \tilde{R}_{f}^{b} d_{f}^{b^*} \right) \quad (۲۴)$$

در ادامه برای رسیدگی به ضرایب مبهم موجود در تابع هدف و محدودیت‌ها روش برنامه‌ریزی امکان‌پذیر توسط (Jiménez, Arenas, Bilbao, & Rodrı, 2007) پیشنهاد شده است.

حال به سراغ رویکرد DEA سلسله مراتبی می رویم:

در این بخش برای یکپارچه سازی نتایج DEA حاصل از دو مرحله رویکردی بکار گرفته شده است. فرض کنید که DMU m در مرحله ۲ وجود دارد و فرض کنید که m و n_m به ترتیب، اندیس هر شهر و DMU های مرحله ۱ متعلق به شهر m هستند. رویکرد بصورت زیر است:

۱. عدم تجانس داخل گروه را با تقسیم زیر حذف نمایید که صورت کسر اندازه کارایی هر واحد را در بین m شهر نشان می دهد و مخرج میانگین اندازه کارایی m واحد است.

$$X_{mn_m} = \frac{\theta_{mn_m}}{\bar{\theta}_{mn_m}} \quad (۲۵)$$

$$\bar{\theta}_{mn_m} = \sum_{n_m \in N_m} \theta_{mn_m} \big/ \left|N_m\right| \quad (۲۶)$$

۲. اندازه کارایی DMU ها را تعدیل کنید:

$$Y_{mn_m} = X_{mn_m} \times \theta_m \quad (۲۷)$$

۳. اندازه کارایی DMU ها در مرحله ۲ را در مقیاس ۰ و ۱ تنظیم نمایید:

$$Z_{mn_m} = Y_{mn_m} \times R \quad (۲۸)$$

که $R = \min_{m,n_m}\left\{1/Y_{mn_m}\right\}$

سرانجام اندازه کارایی DMU ها را با دو خاصیت اصلی تطبیق می‌دهیم:

خاصیت ۱: برای همه اندازه کارایی DMU ها $Z_{mn_m} \le 1$ ، با $Z_{m^*n_{m^*}} = 1$ برای حداقل یک اندازه کارایی DMU.

خاصیت ۲: $\bar{Z}_m$ میانگین اندازه کارایی برای M، DMU مرحله دوم است بطوریکه: $\bar{Z}_{m_1} / \bar{Z}_{m_2} = \theta_{m_1} / \theta_{m_2}$

رویکرد پیشنهادی را در یک مطالعه موردی مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهیم:

مدل DEA فازی سلسله مراتبی برای بهینه‌سازی مکان‌یابی سایت خورشیدی بکار گرفته شد و در مورد ۷ شهرستان کرمانشاه بحث گردید و در هر شهر ۲ ناحیه در نظر گرفته شد. این مدل پوشش وسیعی با ۲۶ محل برای ایجاد سایت خورشیدی را در بردارد. مرحله ۱ جمعیت و نیروی کار، فاصله از شبکه توزیع و میزان هزینه زمین را نشان داده و مرحله ۲، متوسط تابش خورشید، کمیت جغرافیایی، زمین شناسی و نزدیکی مصرف‌کننده را شامل می‌شود. برای این شاخص‌ها ۱۵ شهر از استان کرمانشاه به

عنوان مصرف‌کنندگان از انرژی تولید سایت‌های خورشیدی در نظر گرفته شدند. متوسط فاصله هر شهر کاندید برای ایجاد سایت خورشیدی از ۱۵ مصرف‌کننده مذکور را با عنوان نزدیکی مصرف‌کننده آن شهر تعریف می‌شود.

حال به اعتبارسنجی و صحت سنجی رویکرد پیشنهادی می پردازیم:

در این قسمت، به منظور صحت سنجی مدل دو روش چند متغیره تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA[4]) و تاکسونومی عددی (NT[5]) بکار گرفته شدند. این مدل‌ها بصورت جداگانه و موازی با DEA بکار رفتند. برای هر شهر DEA جداگانه‌ای اجرا شد. در مرحله ۱ همبستگی قابل قبولی بین نتایج بدست آمده از PCA، NT و DEA مشاهده می‌شود. این همبستگی بین PCA و DEA خیلی بالا و ۹۴٪ است. همچنین، برای مرحله ۲ همبستگی اسپیرمن بکار رفته که نشان می‌دهد بین نتایج DEA با PCA و NT به ترتیب همبستگی‌های ۷۵٪ و ۸۳٪ وجود دارد. بنابراین، نتایج بدست آمده از تحلیل‌ها برای مرحله ۲ نشان می‌دهد که DEA با PCA و NT اعتبار و صحت سنجی شده‌اند.

۳- بحث و نتایج

در این مطالعه موردی دو مکان بهینه برای ایجاد سایت، هرسین و ماهیدشت است. نتایج نشان می‌دهد که برای هر دو شهر اول رتبه‌بندی، که فاصله آنها تا مرکز شهر بیش از ۱۵ کیلومتر نیست مناسب‌ترین گزینه هستند که ممکن است به علت جمعیت و نیروی کار باشد. علاوه بر این، هر شهری که در فاصله ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر قرار گیرد دومین محل برتر برای استقرار است. از آنجاکه فاصله شبکه‌های توزیع نیرو از این دو ناحیه یکسان است هزینه در این مورد عامل تعیین کننده‌ای خواهد بود. برای دو شهر اول رتبه‌بندی هزینه با تغییر ناحیه از ۵ تا ۱۵ کیلومتر به ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر ۶۵٪ کاهش می‌یابد.

نزدیکی مصرف‌کننده در این پژوهش به عنوان یکی از معیارهای مهم در مسائل مکان‌یابی تسهیلات لحاظ شده است. در استقرار سایت خورشیدی توجه به این معیار به دلیل بحث هدر رفتن انرژی بسیار مهم است. علاوه بر این، پارامترهای مرحله ۲، عموما مرتبط با عدم قطعیت می‌باشند که بصورت فازی بیان شدند. با توجه به داده‌های حاصل از مدل DEA و همچنین PCA و NT، نشان داده می‌شود که در مطالعه فعلی به ترتیب هرسین و ماهیدشت بهترین محل‌ها برای احداث سایت هستند. نتایج نهایی اهیمت نزدیکی مصرف‌کننده را همراه با فازی سازی شاخص‌های عدم قطعیت نشان می‌دهد و روش فعلی در این مسئله به اثبات رسیده که حالت واقع بینانه‌تری دارد. نتیجه نهایی از این بحث به این موضوع اشاره دارد که مدل DEA فازی اولویت مکان‌های بهینه استقرار ۷ شهر مذکور را نشان می‌دهد و می‌تواند به عنوان ابزاری برای انتخاب بهترین و مؤثرترین محل برای سایت تولیدی نیروی خورشیدی بکار گرفته شود.

٤- منابع

1. Afshartous, D., Guan, Y., & Mehrotra, A. (2009). US Coast Guard air station location with respect to distress calls: A spatial statistics and optimization based methodology. *European Journal of Operational Research*, 196(3), 1086-1096.
2. Aras, H., Erdoğmuş, Ş., & Koç, E. (2004). Multi-criteria selection for a wind observation station location using analytic hierarchy process. *Renewable Energy*, 29(8), 1383-1392.
3. Choudhary, D., & Shankar, R. (2012). An STEEP-fuzzy AHP-TOPSIS framework for evaluation and selection of thermal power plant location: A case study from India. *Energy, 42*(1), 510-521.
4. Demirel, T., Demirel, N. Ç., & Kahraman, C. (2010). Multi-criteria warehouse location selection using Choquet integral. *Expert Systems with Applications*, 37(5), 3943-3952.
5. Domschke, W., & Drexl, A. (2013). *Location and layout planning: An international bibliography* (Vol. 238): Springer Science & Business Media.

[4] Principal Component Analysis
[5] Numerical Taxonomy

6. Gamboa, G., & Munda, G. (2007). The problem of windfarm location: A social multi-criteria evaluation framework. *Energy policy*, 35(3), 1564-1583.
7. Jiménez, M., Arenas, M., Bilbao, A., & Rodrı, M. V. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1599-1609.
8. Saaty, T. L. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process* (Vol. 6): Rws Publications.
9. Sueyoshi, T., & Goto, M. (2011). Measurement of Returns to Scale and Damages to Scale for DEA-based operational and environmental assessment: How to manage desirable (good) and undesirable (bad) outputs? *European Journal of Operational Research, 211*(1), 76-89.