فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
سال پنجم، شماره‌ی ۲۰، زمستان ۱۳۹۵
صفحات: ۸۱-۹۶

بهینه‌یابی مکانی احداث نیروگاه برق کوچک مقیاس

مسعود کسرائی‌نژاد[1*]
حسن طائی[2]
کیومرث حیدری[3]

تاریخ دریافت:۱۳۹۵/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۷

چکیده

با توجه به گسترش کاربردهای انرژی الکتریسیته، صرفه‌جویی در مصرف انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است. صرفه‌جویی علاوه بر مصرف می‌تواند با افزایش کارایی تولید نیز رخ دهد. نیروگاه‌های کوچک مقیاس (مولدهای پراکنده) با کم کردن فاصله محل تولید و مصرف برق، بخش بزرگی از تلفات این صنعت که مربوط به توزیع می‌شود را کاهش می‌دهند، همچنین این مولدها قابلیت تبدیل به سیستم تولید همزمان را نیز دارا هستند، که در نتیجه آن با افزایش کارایی، صرفه‌جویی بزرگی در سمت تولید صنعت برق صورت می‌پذیرد. مسأله این مقاله تعیین اولویت مکانی احداث مولدهای پراکنده است. در این خصوص با استفاده از دو روش انحراف از اپتیمم و شاخص توسعه انسانی، بر اساس داده‌های منتشر شده توسط مرکز آمار ایران و وزارت نیرو، ۹ استان در محدوده مرکزی کشور انتخاب شده و با ۹ شاخص مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده حاکی از اولویت اجرای نیروگاه در استان تهران و پس از آن استان اصفهان از میان استان‌های منتخب می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مکان‌یابی، مولدهای پراکنده، صنعت برق، انحراف از اپتیمم، شاخص توسعه انسانی.

طبقه‌بندی JEL: Q48, D29, R39, R12.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه علامه طباطبائی (*نویسنده مسئول) **Email:** Masoud.kasraee@atu.ac.ir
۲. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی **Email:** Taee@atu.ac.ir
۳. استادیار و رئیس گروه اقتصاد برق و انرژی پژوهشگاه نیرو **Email:** Kiomarsh@gmail.com

۱. مقدمه

از جمله انواع نیروگاه، می‌توان به نیروگاه‌های دیزلی، گازی، بخاری، چرخه ترکیبی، برق‌آبی، برق‌بادی، موجی و خورشیدی و ... اشاره کرد. نوع نیروگاه با توجه به پتانسیل و امکانات زیربنایی هر منطقه مشخص می‌گردد. به‌دلیل افزایش مصرف انرژی و گسترش کاربردهای الکتریسیته در جهان امروز، توجه به بیشینه کردن کارایی نیروگاه‌ها و کمینه کردن هزینه‌های آن (شامل هزینه‌های توزیع برق، تعمیرات و نگهداری، مواد اولیه و ...) افزایش یافته است. صرفه‌جویی در مصرف برق نیز از اولویت‌های برجسته دنیای امروز محسوب می‌شود. صرفه‌جویی در این صنعت تنها به بخش تقاضا و مصرف‌کننده محدود نمی‌شود و در تولید نیز امکان‌پذیر است. مهمترین مباحث مطرح در این قسمت بهینه‌سازی تولید از منظر زمان، کیفیت دستگاه‌ها و انتخاب شیوه تولید برق هر منطقه براساس ویژگی‌ها و توانمندی‌های جغرافیایی آنجا می‌باشد. در این راستا یکی از راه‌کارهای پیشنهادی عملی گسترش نیروگاه‌های کوچک مقیاس یا مولدهای پراکنده است؛ اما یک سؤال مهم پیش از اقدام برای گسترش این نیروگاه‌ها محل اجرای آنان است که برای پاسخ به این پرسش با استفاده از معیارهـای مکان‌یابی به اولویت‌بندی گزینه‌های پیشنهادی و تعیین مکان بهینه پرداخته می‌شود.

هدف از مکان‌یابی بهره‌برداری بهینه از مزیت‌های موقعیتی یا صرفه‌های مکانی است، معمولاً انتخاب محل ایده‌آل که از تمامی جهات مناسب باشد به‌علت محدودیت‌های مختلف مقدور نیست، بنابراین می‌بایست در حد امکان مناسب‌ترین محل را انتخاب نمود(مجیدیان، ۱۳۸۲: ۱۱۴).

این مقاله در ۷ بخش به بهینه‌یابی مکانی احداث نیروگـاه برق کوچک مقـیاس پرداخته است. بخش‌های اول و دوم به بیان مقدمه و معرفی نیروگاه اختصاص یافته، در بخش سوم و چهارم به طرح مسئله و پیشینه پژوهش و در بخش پنجم تعاریف، شاخص‌ها و روش‌های مکان‌یابی تحت عنوان چارچوب مفهومی پژوهش مطرح گردیدند. دو بخش پایانی نیز به تحلیل داده‌ها، بررسی نتایج بدست آمده و تعیین مکان بهینه اختصاص یافتند.

۲. نیروگاه[1]

مجموعه‌ای از تأسیسات و تجهیزاتی هستند که به‌واسطه آنان از یک انرژی اولیه برق تولید می‌شود. از تجهیزات اصلی مورد استفاده در نیروگاه‌ها می‌توان به توربین، ژنراتور و برج خنک‌کن اشاره کرد.

در سال ۱۸۷۸ میلادی نخستین نیروگاه برق توسط سیگموند اسچوکرت[2] ساخته شد. این نیروگاه دارای ۲۴ دینام بود که با موتور بخار به حرکت درآورده می‌شد(ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱). در واقع به‌صورت ریشه‌ای، این ابتکار توماس ادیسون بود و توسط همکارش ادوارد جانسون سازمان‌دهی و

1. Power Station
2. Sigmund Schukert

مدیریت شد. به‌عبارتی می‌توان گفت اولین نیروگاه برق در سپتامبر ۱۸۸۲در نیویورک با نام نیروگاه پرل استیریت توسط ادیسون برای روشنایی در جزیره منهتن ایجاد شد که در سال ۱۸۹۰ توسط آتش تخریب گردید.

در سال ۱۲۶۳ به دستور ناصرالدین‌شاه نخستین مولد برق، توسط حاج محمدحسین مهدوی (امین‌الضرب) به ایران وارد شد. سال ۱۲۸۴ ه.ش نخستین نیروگاه خصوصی برق شهری توسط مرحوم حاج حسین مهدوی (امین‌الضرب) به قدرت ۴۰۰ کیلووات از نوع بخار پیستونی در شهر تهران راه‌اندازی گردید. این نیروگاه در ۲۴ ساعت فقط ۶ ساعت برق ۲۲۰ ولت تک فاز و ۳۸۰ ولت سه فاز متناوب مشترکین آن زمان را تأمین می‌کرد. چنان‌چه از امتیازنامه حاج امین‌الضرب برمی‌آید در این امتیازنامه برپایی کارخانه‌های برق، آجرسازی و نجاری یکجا به وی واگذار شده بود. در سال ۱۳۱۶ هـ.ش نخستین نیروگاه برق دولتی به قدرت ۶۴۰۰ کیلووات از نوع بخار، توسط بلدیه تهران (شهرداری) در شمال شرقی بیرون دروازه دوشان تپه (میدان شهدا) راه اندازی گردید و بعدها مولدهای دیزلی و نیز توربین بخار به قدرت تولید برق نیروگاه مذکور اضافه گردید(موزه ملی صنعت برق ایران[1]).

اساس کار یک مولد برق (ژنراتور) اعم از مولد جریان مستقیم یا متناوب، حرکت نسبی یک هادی در میدان مغناطیسی است. ایراد مولد در این است که برخلاف باطری توانایی ذخیره انرژی الکتریکی را ندارد، به عبارت دیگر برقی که مولد تولید می‌کند باید در حین تولید مصرف شود. همه مولدها نیاز به یک منبع قدرت دارند تا استوانه حامل هادی‌ها یا آهنربای مولد میدان مغناطیسی را بچرخاند. این منابع قدرت شامل توربین‌های آبی، بخار، گازی، موتورهای درون‌سوز و ... می‌شوند(فخررحیمی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۴-۱۳)

۳. طرح مسأله

گسترش کاربردهای الکتریسیته و وجود مازاد تقاضا برای آن سبب پررنگ شدن ضرورت افزایش تولید برق گردیده است، یکی از سریع‌ترین و پاک‌ترین راه‌های پاسخ به این مازاد تقاضا گسترش نیروگاه‌های کـوچک مقیاس است، مقـیاس کوچک این نیروگاه‌ها و قابلیت اجرای انواع متفاوت آنان با توجه ویژگی‌های منطقه باعث ایجاد یک سؤال برای سرمایه‌گذار می‌شود که کدام موقعیت بهترین مکان برای اجرای این نیروگاه است. به بیان دیگر یکی از پرسش‌های کلیدی و لازم قبل از اجرای طرح سرمایه‌گذاری در یک کلام خلاصه می‌شود؛ کجا؟

تعیین محل اجرای یک طرح سرمایه‌گذاری از اولین و مهم‌ترین بخش‌های ارزیابی آن می‌باشد. اهمیت این مسأله چنان بالاست که می‌تواند به کلی سرنوشت سودآوری یک طرح را تغییر دهد. به طور

1. www.museum.trec.co.ir

کلی در انتخاب محل اجرای یک طرح، معمولاً عوامل خارجی تأثیر مهمی دارند، برای مثال با توجه به نیاز یک منطقه اقدام به احداث نیروگاه برق می‌شود، یا با توجه به پتانسیل یک منطقه احداث نیروگاه برق‌آبی، گازی یا انواع دیگر آن در دستور کار قرار می‌گیرد. در چنین مواردی مکان‌یابی یا محدود شده و در همان منطقه، محل‌های مشخصی بررسی می‌شوند یا به‌طورکلی حذف می‌گردد. در مواردی که میان چند ناحیه، استان یا منطقه شرایط یکسانی از نظر اجرای طرح وجود دارد، با تعیین شاخص‌های مرتبط با طرح سرمایه‌گذاری با استفاده از روش‌های مطرح در حوزه ارزیابی طرح‌ها و مکان‌یابی، محل بهینه اجرای طرح موردنظر مشخص می‌گردد.

محل اجرا از چندین حوزه دارای اهمیت است، از این‌رو شناخت ویژگی‌ها و عوامل مؤثر در هر پروژه از اولین مراحل کار است. به‌طور کلی شناخت بازار منطقه و تعیین رقابت‌پذیری آن، تعداد رقبا و میزان عرضه محصول در منطقه، میزان تقاضای موجود در منطقه، فرهنگ منطقه و میزان آشنایی با محصول، وجود امکانات زیربنایی برای گسترش طرح و ... همه عواملی هستند که ضمن کمک به انتخاب تعیین مکان اجرای پروژه، در تهیه و ارائه یک سند راهبردی برای آینده طرح نقش مهمی را ایفا می‌کنند.

غفلت از بهینگی محل اجرا به‌عنوان یک عامل مهم در توجیه‌پذیری طرح سرمایه‌گذاری می‌تواند سرنوشت پژوهش را به‌کلی تغییر دهد. در بسیاری از طرح‌های سرمایه‌گذاری شکست خورده، پس از بررسی مشاهده می‌گردد که سرمایه‌گذاران صرفاً با مشاهده سودآوری یک طرح در یک منطقه اقدام به ایجاد آن در سایر مناطق کرده‌اند، غافل از اینکه شرایط محیطی و نیازی هر منطقه می‌تواند به کلی با سایر مناطق متفاوت باشد. وجود تقاضا برای محصول تولیدی، وجودزیرساخت‌های لازم در منطقه، امکان ایجاد نیروگاه در منطقه و توجه به عوامل تأثیرگذار روی نیروگاه مانند نیروی کار، طول شبکه توزیع و ... تشکیل‌دهنده معیارهایی مهم و تأثیرگذار برای انتخاب بهترین مکان ممکن برای احداث نیروگاه می‌باشند.

مسأله این مقاله تعیین بهترین مکان ممکن از منظر شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و فنی برای احداث نیروگاه تولید همزمان کوچک مقیاس است، از این رو با تمرکز بر بررسی توانمندی‌های جغرافیایی مناطق، ۹ استان در محدوده مرکزی کشور شامل همدان، تهران، اصفهان، مازندران، قزوین، البرز، یزد، سمنان و زنجان جهت بررسی برای احداث نیروگاه انتخاب شدند.

۴. پیشینه پژوهش

با توجه به کاربردی بودن مقاله در حوزه اقتصاد برق در ایران، طبیعتاً مطالعات خارجی قبلی با چنین کاربردی در خصوص این موضوع وجود ندارد و جست و جوی پژوهشگران در این خصوص نیر این انتظار پیشین را تأیید کرد، از این‌رو پیشینه پژوهش بر مطالعات داخلی متمرکز می‌باشد.

کمانگر و همکاران (۱۳۹۵)، در مقاله خود به مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان زاهدان پرداختند. در این پژوهش با در نظرگرفتن عواملی چون جمعیت، راه، خطوط انتقال نیرو و کاربری اراضی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی نواحی شمالی استان به‌عنوان محل بهینه احداث نیروگاه معرفی گردیدند.

حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۱)، در مقاله خود به مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در استان خوزستان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. در این پژوهش با در نظر گرفتن عوامل درون استانی مانند نزدیکی به ایستگاه‌های توزیع برق، مناطق مسکونی، راه، منابع آب، میزان ساعات آفتاب‌گیری و شیب و ارتفاع به مناطق مختلف استان وزن‌دهی شد و نهایتاً مناطق شرق، جنوب شرق و جنوب استان برای احداث نیروگاه اولویت‌بندی شدند.

نصراصفهانی و شیرویه زاد (۱۳۹۱)، در مقاله خود به رتبه‌بندی عوامل موثر در مکان‌یابی نیروگاه‌های گازی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی پرداختند که در نتیجه آن مطالعات شبکه برق و نحوه اتصال نیروگاه به شبکه بیشترین اهمیت را به خود اخصاص دادند.

صادقی و همکاران (۱۳۹۰)، در مقاله خود با تکیه بر شاخص‌های محیط زیستی، با استفاده از روش وزن‌دهی به معیارها با کمک منطق فازی به بهینه‌یابی مکانی احداث نیروگاه برق حرارتی در شهرستان چابهار پرداختند. در نتیجه این مطالعه ۸۱ درصد از مساحت استان برای احداث نیروگاه نامطلوب بوده و تنها حدود ۷۵۰۰ هکتار توجیه‌پذیر می‌باشد.

مطالعات انجام شده بیشتر بر بررسی مناطق مختلف یک استان برای احداث نیروگاه تأکید داشته‌اند و معمولاً بر یکی از جنبه‌های فنی یا اقتصادی تکیه کرده‌اند. در این مقاله با نگاهی جامع‌تر به تعیین مکان بهینه نیروگاه از منظر استانی پرداخته شد و به نوعی نیازسنجی استانی برق صورت گرفت. همچنین شاخص‌های این مقاله نسبت به موارد مشابه کار شده جامع‌تر بوده و هم جنبه‌های اقتصادی- اجتماعی و هم جنبه‌های فنی را برای تعیین مکان بهینه مد نظر قرار داده است.

۵. چارچوب مفهومی

۵-۱. تعریف مکان‌یابی

به تعیین بهترین محل برای اجرای طرح، از میان محل‌های پیشنهادی براساس شاخص‌های مرتبط، مکان‌یابی گفته می‌شود(اسکونژاد، ۱۳۹۴). در این فرآیند ابتدا چند محل (منطقه، استان، شهر یا محله که بسته به نوع و اندازه طرح متفاوت است) براساس برخی از ویژگی‌های مدنظر کارفرما (مانند نزدیکی به محل زندگی، نزدیکی به محل کار دیگر او و ...) یا برخی ویژگی‌ها که در اجرای طرح نقش پررنگی دارند (مانند نزدیکی به محل منابع اولیه، وجود امکانات زیربنایی و ...) پیشنهاد می‌شوند. در مرحله بعد

با توجه به نوع پروژه شاخص‌های مهم‌تر جهت بررسی مکان‌های پیشنهادی تعیین می‌گردند و با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به شاخص‌ها طبق یکی از روش‌های مطرح در بحث مکان‌یابی مقدار شاخص‌ها محاسبه و مقایسه می‌شوند، مکان‌ها براساس نتایج رتبه‌بندی می‌شوند تا نهایتاً بهترین مکان برای اجرای طرح تعیین گردد.

۵-۲. شاخص‌های مکان‌یابی

نکته مهمی که در بحث شاخص‌های مکان‌یابی باید به آن توجه شود، استانداردسازی شاخص‌ها پیش از محاسبه است. برای مثال در شاخص بارندگی مقدار بارش نمی‌تواند به‌عنوان عدد قابل اطمینانی برای مقایسه استفاده گردد بلکه باید به صورت انحراف از میانگین بارندگی کشور استفاده شود. در این خصوص در بخش روش‌های مکان‌یابی بحث می‌گردد. برخی از شاخص‌های مطرح به شرح زیر می‌باشند.

۱. وضعیت جغرافیایی: این شاخص می‌تواند بر محور فضای سبز مکان موردنظر، میزان بارش ماهانه یا سالانه، میانگین دما یا ... باشد.

۲. امکانات زیربنایی: محورهای این شاخص شامل مواردی مانند قیمت زمین، امکانات ارتباطاتی (تلفن، اینترنت و ...)، امکانات بهداشتی، شبکه حمل‌ونقل و ... می‌باشد.

۳. شرایط فرهنگی: محورهای این شاخص نرخ باسوادی، وجود امکانات رفاهی مانند سینما و مراکز ورزشی و تفریحی، ضریب پوشش تحصیلی و ... می‌باشد.

۴. وضعیت بازار محصول: این شاخص بر محورهایی مانند جمعیت، تعداد کارگاه‌های مرتبط، تعداد خانوارهای استان، میزان دسترسی به بازار هدف محصول و ... محاسبه می‌گردد.

۵. شرایط اقتصادی: متوسط درآمد، ضریب اشتغال، تولید سرانه، تعداد واحدهای فعال کاری، میزان سپرده-های مدت‌دار و ... مواردی هستند که بر اساس آنان شرایط اقتصادی مناطق مقایسه می‌گردند.

۶. مسائل ایمنی و امنیتی: نظارت و حمایت پلیس و امنیت منطقه از موارد مهم و اولویت‌های امتیازدهی برای اجرای هر طرح اقتصادی می‌باشد.

۷. ظرفیت پذیرش اجرای طرح در منطقه: تعیین میزان مشارکت مردم منطقه و ظرفیت استقبال آنان از اجرای طرح که اطلاعات مورد نیاز آن می‌تواند از نظرسنجی به روش پرسشنامه، مصاحبه یا برگزاری همایش و جلسات به‌دست آید.

۸. مسائل زیست‌محیطی: میزان آلایندگی طرح و آسیب آن به محیط‌زیست منطقه، وضعیت محیط‌زیست منطقه و امکان صدور مجوز برای اجرای طرح، وضعیت فاضلاب و امکانات لازم جهت دفع پسماندهای آلاینده طرح و ... از موارد مهم در شاخص زیست‌محیطی می‌باشند.

۹. شاخص اقتصادی: شامل مواردی مانند هزینه خرید مواد اولیه در منطقه، هزینه حمل مواد اولیه به کارخانه، هزینه حمل محصول به بازار، هزینه نیروی انسانی و ... می‌باشد(طائی، ۱۳۹۵).

۵-۳. روش‌های مکان‌یابی

الف- روش انحراف از اپتیمم[1]

این روش در پنج مرحله انجام می‌شود: ابتدا جدول داده‌های به‌دست آمده در خصوص شاخص مورد نظر تشکیل می‌شود، سپس میانگین و انحراف از معیار داده‌ها به ترتیب بر اساس روابط شماره ۱ و ۲، محاسبه می‌گردند. در مرحله سوم داده‌ها با استفاده از رابطه ۳، استاندارد شده و شاخص بهینه (معمولاً بزرگ‌ترین شاخص) انتخاب می‌گردد. در مرحله بعد انحراف بر اساس رابطه ۴، انحراف از اپتیمم محاسبه می‌گردد. سپس چهار مرحله فوق برای کلیه شاخص‌ها انجام شده و نتایج جمع زده می‌شوند. در پایان کمترین مجموع انحراف، بهترین گزینه را تعیین می‌نماید.

رابطه ۱: میانگین

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

رابطه ۲: انحراف از معیار

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

رابطه ۳: استانداردسازی

$$\mathrm{A} = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$$

رابطه ۴: انحراف از اپتیمم

$$DFO = \frac{A_i - A^*}{A^*}$$

در روابط فوق X: داده مربوط به شاخص هر مکان؛ A: شاخص استاندارد شده؛ DFO: انحراف از اپتیمم می‌باشند.

ب- روش ضریب دهی

این روش بر منطق مقداری از شاخص موردنظر که هر مکان پیشنهادی به خود اختصاص داده، استوار است و در ۳ مرحله محاسبه می‌گردد. پس از تشکیل جدول داده‌های به‌دست آمده، ابتدا دامنه تغییرات شاخص مطابق رابطه ۵، محاسبه می‌شود، سپس فاصله طبقات براساس رابطه ۶، تعیین می‌گردند. مرحله سوم وزن‌دهی به طبقات است که از پایین‌ترین طبقه به بالاترین طبقه به‌ترتیب وزن ۱ تا ۱۰ یا ۲۰ تعلق می‌گیرد. تعداد طبقات بسته به حساسیت تفاوت‌هایی که در شاخص‌ها مورد نظر پژوهشگران

1. Deviation From Optimum

می‌باشد، تعریف می‌گردد. در نهایت بالاترین وزن به‌دست آمده نشان دهنده مطلوب‌ترین مکان خواهد بود.

رابطه ۵: دامنه تغییرات شاخص $Max(X_i) - Min(X_i)$

رابطه ۶: ساخت فاصله طبقات $\frac{Max(X_i) - Min(X_i)}{10 \text{ (حد بالایی وزن‌ها)}}$

ج- روش شاخص ابعادی UNDP:

این روش که نام آن برگرفته از برنامه توسعه سازمان ملل متحد[1] است، یکی از الگوهای رتبه‌بندی برگرفته از روش محاسبه شاخص توسعه انسانی[2] با نماد HDI می‌باشد. اجرای این روش شامل چهار مرحله می‌باشد. ابتدا مطابق روش‌های پیشین جدول داده‌های به دست آمده فراهم می‌شود. سپس مطابق رابطه ۷، شاخص ابعادی مناطق محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد میانگین شاخص‌های ابعادی محاسبه شده که مطابق رابطه ۹، نشان دهنده محرومیت یا عدم‌محرومیت می‌باشد. در ادامه مناطق براساس این میانگین رتبه‌بندی می‌شوند و هرچه به یک نزدیک‌تر باشند در رتبه بالاتری قرار می‌گیرند.

رابطه ۷: شاخص ابعادی-روش اول $$I_{ij} = \frac{Max\ X_{ij} - X_{ij}}{Max\ X_{ij} - Min\ X_{ij}}$$

رابطه ۸: میانگین شاخص‌های ابعادی-روش اول $$I_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_{ij}}{n}$$

رابطه ۹: سنجش شاخص ابعادی $0 < I_j < 1$ محرومیت عدم محرومیت

برای محاسبه شاخص توسعه انسانی HDI، کافی است میانگین به‌دست آمده در رابطه ۸، از یک کسر شده (رابطه ۱۰) و بر اساس رابطه ۱۱، وضعیت شاخص‌ها سنجیده و رتبه‌بندی شوند.

رابطه ۱۰: شاخص توسعه انسانی $HD = 1 - I_j$

1. United Nation Development Program
2. Human Development Index

رابطه ۱۱: سنجش شاخص ابعادی توسعه یافتگی $1 > HD > 0$ محرومیت

روش دیگر محاسبه این شاخص مطابق مراحل فوق بوده با این تفاوت که به جای رابطه ۷، از رابطه ۱۲، استفاده می‌گردد، در این‌جا میانگین به‌دست آمده از رابطه ۸، مطابق رابطه ۱۳، نشان دهنده محرومیت است.

رابطه ۱۲: شاخص ابعادی-روش دوم

$$I_{ij} = \frac{X_{ij} - Min\, X_{ij}}{Max\, X_{ij} - Min\, X_{ij}}$$

رابطه ۱۳: سنجش شاخص ابعادی-روش دوم عدم محرومیت $1 > I_j > 0$ محرومیت

نکته‌ای که در این امر باید به آن توجه شود این است که لزوماً اولین مکان به‌دست آمده بر اساس این الگو بهترین مکان نیست و در انتخاب مکان نهایی سایر محدودیت‌ها و نظرات کارفرما نیز اعمال می‌گردد.

د- تحلیل سلسله مراتبی:

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[1] نخستین بار در سال ۱۹۸۰، توسط توماس ال. ساعتی[2] مطرح شد.

این فرآیند یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسأله را به‌صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد. این تکنیک براساس مقایسه‌های زوجی بنانهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد (قدسی‌پور، ۱۳۸۵: ۱۰)

تحلیل سلسله مراتبی به نوعی یک تصویر از مسأله با هدف نمایش معیارها و گزینه‌ها فراهم می‌سازد. در این روش پس از تعیین معیارها و گزینه‌ها عناصر به‌صورت زوجی مقایسه شده و به آن‌ها وزن تعلق می‌گیرد. مقایسه معیارها معمولاً در ۵، ۷، یا ۹ رده انجام می‌شود (برای مثال یک گزینه نسبت به دیگری می‌تواند کاملاً مرجح، قویاً مرجح، مرجح، نسبتاً مرجح یا یکسان باشد). داده‌های این روش از قضاوت‌های شفاهی به‌دست می‌آیند. در مرحله بعد، از تلفیق وزن‌های نسبی، وزنی به‌دست می‌آید که به آن وزن مطلق گفته می‌شود و به کمک آن مقایسه انجام می‌گردد.

در این فرآیند هر یک از تصمیم گیران می‌توانند مقدار دلخواه خود را برای شاخص مورد نظر وارد نموده و سپس قضاوت‌های فردی بر اساس میانگین هندسی (رابطه ۱۴) یا روش‌های دیگر به قضاوت گروهی تبدیل می‌شوند.

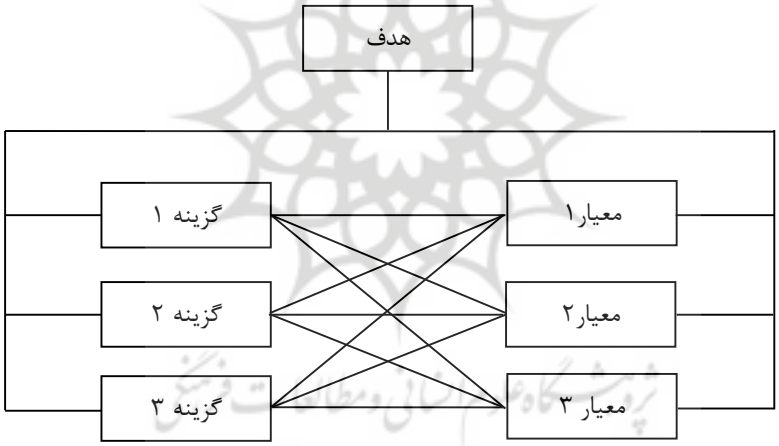
1. Analytical Hierarchy Process (AHP)
2. Tomas L. Saaty

رابطه ۱۴: میانگین هندسی تحلیلی سلسله‌مراتبی $a_{12} = \sqrt[n]{a_{12}^1 \times a_{12}^2 \times \ldots \times a_{12}^n}$

که در آن a_{12}^1 قضاوت فرد اول برای گزینه ۱ و ۲ براساس معیار۱؛ a_{12}^2 قضاوت فرد دوم و به همین ترتیب a_{12}^n قضاوت فرد nام می‌باشد. به همین ترتیب برای سایر معیارها نیز می‌توان محاسبات را انجام داد.

جهت محاسبه وزن هر گزینه از ماتریس مقایسه زوجی (وزن نسبی) چندین روش پیشنهاد شده است که اهم آن‌ها عبارت‌اند از: روش حداقل مربعات معمولی، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روش تقریبی. از آن‌جا که وزن معیارها منعکس‌کننده اهمیت آن‌ها در تعیین هدف بوده و وزن هر گزینه نسبت به معیار سهم آن گزینه در معیار مربوطه می‌باشد، بنابراین وزن نهایی هر گزینه از مجموع حاصل‌ضرب وزن هر معیار در وزن گزینه مربوطه از آن معیار به‌دست می‌آید(قدسی‌پور، ۱۳۸۵: ۳۵).

در شکل ۱، وضعیت نموداری اجرای این روش ذکر می‌گردد.



شکل ۱: نمودار روش AHP

برای تحلیل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره در این روش از نرم‌افزار انتخاب ویژه[1] (EC) استفاده می‌گردد، به کمک نرم‌افزار مذکور طراحی نمودارهای سلسله مراتبی تصمیم‌گیری، دریافت داده‌های کمی و کیفی، محاسبه وزن‌ها و تعیین اولیت‌ها امکان‌پذیر است، همچنین قابلیت تحلیل حساسیت نسبت به تغییر پارامترهای مسأله را نیز داراست.

1. Expert Choice

۶. تعیین مکان بهینه نیروگاه

هدف این پژوهش تعیین اولویت مکانی احداث نیروگاه در داخل کشور می‌باشد. به‌دلیل عدم وجود آمارهای به روز یکسان برای کلیه مناطق امکان بررسی همه استان‌های کشور با شاخص‌های یکسان وجود ندارد، انتخاب شاخص‌های متفاوت برای استان‌های مختلف یا استفاده از آمارهای سال‌های مختلف نیز منجر به تضعیف پژوهش و ایجاد خطای نظری و کاربردی در آن خواهد شد، از این رو بررسی تعدادی از استان‌ها هدف قرار گرفت. در خصوص انتخاب استان‌ها معیار اصلی قرار داشتن آنان در محدوده مرکزی کشور بود که دو عامل جمعیت نسبتاً بیشتر آنان و تأمین مصرف استان توسط تولید داخلی را شامل می‌شود.

جهت بررسی و مقایسه ویژگی‌های ۹ استان منتخب مذکور از ۴ شاخص عمومی–اقتصادی شامل جمعیت، نرخ بیکاری، نرخ مشارکت اقتصادی و نرخ باسوادی و ۴ شاخص تخصصی در حوزه صنعت برق شامل تولید خالص برق، فروش برق، تعداد مشترکین، و سهم طول شبکه توزیع استان از کشور استفاده شده تا با استفاده از روش‌های مکان‌یابی استان بهینه جهت احداث نیروگاه انتخاب گردد.

از میان روش‌های معرفی شده در بخش روش‌شناسی، تحلیل سلسله‌مراتبی تأکید بیشتری بر نظر متخصصین در خصوص معیارهای تعیین شده توسط محقق (براساس مطالعات و استانداردها) دارد، از این رو با در نظر گرفتن این که هدف این مقاله استفاده مستند از به روزترین آمارهای رسمی ارائه شده و دوری از تأثیرگذاری سلائق فردی بود، استفاده از این روش به مطالعه‌ای مجزا موکول گردید. روش ضریب‌دهی نیز نسبت به روش‌های منتخب از دقت کمتری برخوردار بوده و با وزن‌دهی به گزینه‌های موردنظر آنان را اولویت‌بندی می‌کند، این مسأله باعث می‌شود مقدار مطلق هر شاخص برای هر گزینه در نگاه اول روشن نباشد و به همین دلیل این روش در مواردی که هدف صرفاً اولویت‌بندی است توصیه می‌گردد. شاخص توسعه انسانی نیز تأکید بیشتری بر بعد کلان مسأله داشته و ارزیابی خود را از منظر محرومیت یا توسعه‌یافتگی ارائه می‌دهد، در صورتی‌که در این مقاله رویکرد خرد نقش پررنگ‌تری در تعیین مکان بهینه احداث یک نیروگاه از منظر سودآوری داشته و مسائل کلان و اجتماعی در اولویت‌های بعدی آن قرار دارند.

با وجود تفاسیر فوق و با در نظر گرفتن این مسأله که این مقاله علاوه‌بر رتبه‌بندی به‌دنبال تعیین میزان بهینگی مکان‌ها از منظر خرد نیز می‌باشد، از میان روش‌های مذکور، شاخص‌های موردنظر این مقاله با استفاده از روش‌های انحراف از اپتیمم به‌عنوان روش اصلی و شاخص ابعادی به‌عنوان روش کمکی محاسبه شده و با استفاده از مجموع نتایج به‌دست آمده، استان‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

اطلاعات استان‌های منتخب در جدول شماره ۱ ذکر شده است.

جدول ۱: اطلاعات استان‌ها

ردیف/ استان	همدان	تهران	اصفهان	مازندران	قزوین	البرز	یزد	سمنان	زنجان
جمعیت (نفر)	۱۷۵۸۲۶۸	۱۲۱۸۳۳۹۱	۴۸۷۹۳۱۲	۳۰۷۳۹۴۳	۱۲۰۱۵۶۵	۲۴۱۲۵۱۳	۱۰۷۴۴۲۸	۶۳۱۲۱۸	۱۰۱۵۷۳۴
نرخ بیکاری (درصد)	۷,۷	۸,۳	۱۲,۴	۱۲,۷	۱۱,۹	۱۱,۷	۷,۸	۱۱,۳	۹,۸
نرخ مشارکت اقتصادی (درصد)	۳۸,۲	۳۶,۴	۴۰,۲	۳۹,۱	۴۰,۸	۳۶,۰۰	۳۶,۵	۴۰,۳	۳۸,۱
نرخ باسوادی (درصد)	۸۲,۵۷	۹۰,۴۶	۸۷,۷۷	۸۵,۷	۸۴,۰۸	۹۰,۲۳	۸۷,۷۸	۸۸,۴	۸۲,۳۵
تولید خالص برق	۲۵۹۵	۲۲۶۰۰	۲۴۲۵۲	۱۱۱۳۳	۱۱۵۴۴	۸۷۹۱	۶۱۲۰	۲۱۷۷	۱۸۳۵
فروش برق	۳۷۶۴	۲۸۷۴۹	۲۰۳۵۰	۶۶۲۷	۴۳۷۰	۴۷۹۶	۶۳۵۷	۲۷۹۹	۳۰۶۲
تعداد مشترکین	۶۳۶	۵۹۴۹	۲۲۳۰	۱۶۰۸	۵۰۱	۱۰۹۸	۵۵۲	۳۲۸	۳۷۸
سهم طول شبکه توزیع در کشور (درصد)	۲,۴	۸,۴	۶,۷	۴,۶	۱,۶	۱,۶	۲,۳	۱,۵	۱,۸
تعداد بنگاه‌ها صنعتی (ده نفر کارکن و بیشتر)	۳۴۹	۲۴۴۱	۱۷۹۴	۶۶۵	۷۲۸	۶۲۱	۴۱۷	۷۳۵	۲۱۸

منبع: سالنامه‌آماری کشور در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳

۶-۱. بررسی نتایج شاخص‌های منتخب

الف- شاخص جمعیت

طبیعتاً جمعیت بیشتر، مصرف برق را افزایش داده و تقاضای بیشتری به‌وجود می‌آورد. جهت انجام محاسبات مربوط به این شاخص، ابتدا جمعیت هر استان به جمعیت کشور تقسیم شد، تا درصد جمعیت استان به‌دست آید. مطابق آخرین آمار رسمی اعلام شده توسط مرکز آمار ایران، در سال ۱۳۹۰جمعیت کل کشور ۷۵۱۴۹۶۶۹ نفر بوده که در این مقاله به آن استناد شده است. در نتیجه استانداردسازی و محاسبه انحراف از اپتیمم استان تهران، استان برتر و اصفهان استان دوم این شاخص شدند. در روش شاخص ابعادی نیز تهران و اصفهان به‌ترتیب رتبه‌های اول و دوم این شاخص را به‌دست آورند.

ب- شاخص نیروی کار

جهت محاسبه این شاخص از نرخ بیکاری اعلام شده در سال ۱۳۹۳ استفاده شده است. با توجه به منفی بودن نرخ بیکاری و مثبت بودن سایر شاخص‌های به‌کار گرفته شده، ابتدا معکوس نرخ بیکاری محاسبه شد، پس از استانداردسازی و محاسبه انحراف از اپتیمم براساس نرخ معکوس نرخ بیکاری، استان همدان به‌عنوان استان برتر این شاخص برگزیده شد. استان یزد نیز با نرخ بیکاری ۷,۸ درصد با اختلاف کمی به عنوان بهینه دوم انتخاب شد. در روش شاخص ابعادی نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد.

ج- شاخص نرخ مشارکت اقتصادی

این شاخص براساس نرخ مشارکت اقتصادی اعلام شده در سال ۱۳۹۳ محاسبه گردید. مطابق آمارها استان‌های قزوین، سمنان و اصفهان با ۴۰,۸، ۴۰,۳ و ۴۰,۲ درصد بیشترین مشارکت اقتصادی را در میان استان‌های منتخب این مقاله به خود اختصاص داده‌اند. براساس محاسبات انجام شده در هر دو روش انحراف از اپتیمم و شاخص ابعادی در این شاخص، استان قزوین به‌عنوان استان بهینه انتخاب شد.

د- شاخص نرخ باسوادی

مبنای این شاخص نیز آمار سال ۱۳۹۳ می‌باشد. استان‌های تهران، البرز و سمنان، به‌ترتیب دارای بالاترین نرخ باسوادی هستند. در نتیجه محاسبات انجام شده، در این شاخص نیز استان بهینه در هر دو روش به‌کار گرفته شده استان تهران شد.

ه- تولید خالص برق

تولید خالص برق استان‌ها به شرح جدول شماره ۱ می‌باشد. در خصوص این شاخص با تقسیم تولید خالص برق هر استان به تولید خالص کشور سهم هر استان از کل تولید برق کشور محاسبه گردید، براساس سهم به‌دست آمده، پس از محاسبه انحراف از اپتیمم، استان اصفهان با ۹,۵۹ درصد از تولید خالص برق کل کشور، به‌عنوان استان بهینه انتخاب گردید.

و- فروش برق

در این شاخص نیز ابتدا فروش برق در هر استان بر فروش برق کل کشور تقسیم شد تا سهم هر استان محاسبه گردد، در نتیجه محاسبه انحراف از اپتیمم و شاخص ابعادی با استفاده از نتایج به‌دست آمده استان تهران با ۱۴,۱۶ درصد از فروش برق کل کشور به‌عنوان استان بهینه از میان استان‌های منتخب این مقاله برگزیده شد.

ز- تعداد مشترکین

محاسبات این شاخص نیز مانند شاخص‌های گذشته انجام شد و استان تهران با اختصاص ۱۹,۶۴ درصد از مشترکین کل کشور به خود، به‌عنوان استان بهینه این شاخص انتخاب گردید. همچنین استان اصفهان با ۷,۳۶ درصد از مشترکین کل کشور در رده دوم قرار گرفت.

ح- سهم طول شبکه توزیع در کشور

در این شاخص نیز استان تهران با داشتن ۸,۴۰ درصد از شبکه توزیع کشور، به‌عنوان استان بهینه انتحاب گردید. همچنین استان سمنان با ۱,۵ درصد سهم از شبکه توزیع کشور، آخرین اولیت پیشنهادی در میان استان‌های منتخب این مقاله شد.

ط- تعداد بنگاه‌های صنعتی با ده نفر کارکن و بیشتر

بنگاه‌های صنعتی بخش مهمی از تقاضای بازار هدف نیروگاه برق را به خود اختصاص می‌دهند. جهت انتخاب استان بهینه این شاخص، ابتدا تعداد بنگاه‌های هر استان بر کل بنگاه‌های کشور که مطابق آخرین آمار اعلام شده در سالنامه آماری ۱۳۹۲، عدد ۱۴۷۸۴ است، تقسیم شد تا سهم درصدی هر استان تعیین گردد، سپس با استفاده از اعداد بدست آمده استان بهینه تعیین گردید. در روش انحراف از اپتیمم استان تهران با دربر گرفتن ۱۶,۵۱ درصد از کل بنگاه‌های صنعتی با ده نفر کارکن و بیشتر کشور به‌عنوان استان بهینه انتخاب گردید، استان اصفهان نیز با ۱۲,۱۳ درصد از بنگاه‌های کل کشور دوم شد. در میان استان‌های منتخب در این شاخص استان زنجان با ۱,۴۷ درصد سهم از کل بنگاه‌ها در رده آخر ایستاد.

۶-۲. استان بهینه اجرای نیروگاه برق

در مجموع محاسبات انجام شده برای ۸ شاخص مذکور، استان تهران به‌عنوان بهینه اول انتخاب شد.

جدول ۲: نتایج انحراف از اپتیمم استان‌ها

ردیف	استان	مجموع انحراف از اپتیمم
۱	تهران	-۲,۲۶۲
۲	اصفهان	-۵,۴۰۳
۳	مازندران	-۹,۵۷
۴	یزد	-۹,۹۱۹
۵	سمنان	-۱۰,۰۱
۶	قزوین	-۱۰,۲۰۸
۷	البرز	-۱۰,۵۴۴
۸	همدان	-۱۰,۸۱۳
۹	زنجان	-۱۲,۲۷۰

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۳: نتایج شاخص ابعادی استان‌ها

ردیف	استان	میانگین شاخص ابعادی
۱	تهران	۰,۷۹۲
۲	اصفهان	۰,۷۰۳
۳	مازندران	۰,۴۱۲
۴	قزوین	۰,۳۱۹
۵	البرز	۰,۲۹۴
۶	سمنان	۰,۲۹
۷	یزد	۰,۱۵۶
۸	زنجان	۰,۱۰۶
۹	همدان	۰,۱

منبع: یافته‌های پژوهش

۷. نتیجه‌گیری

با فرض یکسان بودن نیاز ۹ استان بررسی شده به تولید برق و توانایی جذب برق تولیدی نیروگاه توسط شبکه برق سراسری، براساس شاخص‌های محاسبه شده استان تهران به‌عنوان استان بهینه انتخاب شد.

نکته مهمی که در تصمیم‌گیری نهایی برای انتخاب استان بهینه و اجرای طرح باید در نظر گرفته شود، فضای موردنیاز برای احداث نیروگاه است. به طوری که در استان‌های متراکمی مانند تهران فضای کافی برای احداث یک نیروگاه بزرگ وجود ندارد. از آن‌جا که در این مقاله تأکید بر احداث نیروگاه مقیاس کوچک و مولدهای پراکنده بود، با توجه به امکان اجرای این مولدها در فضای کوچک از بررسی دقیق این جنبه صرف‌نظر شد. در صورتی‌که نیاز به احداث یک نیروگاه بزرگ مقیاس باشد، پیش از انجام محاسبات، بررسی شاخص کلیدی فضای مورد نیاز برای احداث نیروگاه از عوامل مهم می‌باشد، چه بسا اعمال چنین شاخصی به کلی استانی مانند تهران راحتی با وجود بهینه بودن آن به کلی حذف کند.

هرچه تعداد شاخص‌های مکان‌یابی در حوزه تخصصی خود بیشتر باشد و از آمار دقیق‌تر و به روزتری استفاده شود، بی شک انتخاب مکان نهایی با دقت بالاتر انجام شده و بهینگی آن بیشتر است. در این مقاله با در نظر گرفتن ۵ شاخص اقتصادی-اجتماعی و ۴ شاخص تخصصی برق و بهره‌گیری از دو روش انحراف از اپتیمم و شاخص ابعادی در انجام محاسبات، تلاش شد تا ترکیبی مناسب و پاسخگوی نیاز بررسی گردد. در روش انحراف از اپتیمم پس از استان تهران استان اصفهان با اختلاف کمی، بهینه دوم شد و پس از آن استان‌های مازندران، یزد، سمنان، قزوین، البرز، همدان و زنجان قرار گرفتند. در روش شاخص ابعادی نیز سه استان تهران، اصفهان و مازندران، مانند روش انحراف از اپتیمم در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند اما اولویت‌های چهارم تا نهم به‌ترتیب به قزوین، البرز، سمنان، یزد، زنجان و همدان تغییر یافت.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

اسکونژاد، محمدمهدی (۱۳۹۴). اقتصاد مهندسی (ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی)، چاپ ۴۲، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

حسین‌زاده، مریم؛ خیرخواه زرکش، میرمسعود و صابری، عظیم (۱۳۹۱). مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در استان خوزستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به روش درجه‌بندی"، دومین همایش ملی انرژی باد و خورشید، تهران، هم اندیشان انرژی کیمیا.

سالنامه آماری ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳.

سایت رسمی موزه صنعت برق ایران: www.Museum.trec.co.ir

سایت رسمی دفتر خصوصی‌سازی صنعت برق: psp.moe.gov.ir.

صادقی، آسیه؛ دانه‌کار، افشین؛ خراسانی، نعمت‌الله و نعیمی، بابک (۱۳۹۰). "تحلیل مطلوبیت سرزمین جهت مکان‌یابی نیروگاه حرارتی با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاره محیط زیستی مطالعه نمونه: شهرستان چابهار"؛ فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۹(۲۳): ۱۴۰-۱۲۳.

طائی، حسن (۱۳۹۵). ارزیابی طرح‌های اقتصادی، دانشگاه علامه‌طباطبایی، جزوه آموزشی.

فخررحیمی، علیرضا؛ وزیری‌مهر، مهلا و فخررحیمی، الهام (۱۳۹۲). آشنایی با اصول کار نیروگاه‌های برق، چاپ اول، تهران: نشر گستر.

قدسی‌پور، سیدحسن (۱۳۸۵). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، چاپ پنجم، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

کمانگر، محمد؛ نوحه‌گر، احمد؛ صحراگرد، نصرالله؛ آریانژاد، حیدر و بداغی، مرضیه (۱۳۹۵). "مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی حرارتی جهت تأمین انرژی پایدار با استفاده از منطق فازی"، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۹، شماره ۱، ۱۵۲-۱۳۷.

مجیدیان، داوود (۱۳۸۲). ارزیابی طرح‌های صنعتی-مطالعات فنی-اقتصادی-مالی؛ چاپ دوم، تهران: سازمان مدیریت صنعتی.

معاونت منابع انسانی و تحقیقات شرکت توانیر (۱۳۹۲). روند ده ساله صنعت برق ایران (برق منطقه‌ای، توزیع و استانی ۹۲-۱۳۸۲)؛ چاپ اول، تهران: شرکت توانیر.

نصراصفهانی، بهار و شیرویه‌زاد، هادی (۱۳۹۱). "رتبه‌بندی عوامل مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه‌های گازی با استفاده ازروش AHP مطالعه موردی نیروگاه گازی جنوب اصفهان"، اولین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، گروه مهندسی صنایع.

Ebrahimi, M. and Keshavarz, A. (2015). Combined Cooling, Heating and Power: Decision Making, Design and Optimization (1St ed); United States: Elsevier.