مجله مهندسی مکانیک و ارتعاشات، زمستان 1400، دوره 12، شماره 4، ص‌ص 12-24

فصلنامه

مهندسی مکانیک و ارتعاشات

jvibme.semnaniau.ac.ir

مکان یابی بهینه نیروگاه خورشیدی در ایران با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

پدرام احدی[1]، فربد فخرآبادی[2*]، علیرضا پورشقاقی[3]، فرشاد کوثری[4]

1- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، واحد قزوین، **دانشگاه آزاد اسلامی**، قزوین، ایران.

2- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد قزوین، **دانشگاه آزاد اسلامی**، قزوین، ایران.

3- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد قزوین، **دانشگاه آزاد اسلامی**، قزوین، ایران.

4- استاد، گروه مهندسی مکانیک، واحد قزوین، **دانشگاه آزاد اسلامی**، قزوین، ایران.

*قزوین، (Farbod.Fakhrabadi@iau.ac.ir)

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 10 تیر 1400

پذیرش: 15 آبان 1400

ارائه در سایت: 20 بهمن 1400

کلیدواژگان

فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

مکان یابی بهینه

انرژی های تجدید پذیر

نیروگاه های خورشیدی،

Expert choice

چکیده

کشور ایران به عنوان یک کشور پهناور با میانگین تابش خورشید 4/5 کیلووات ساعت بر متر مربع، پتانسیل بسیار بالایی برای راه اندازی و بهره برداری از سیستم های خورشیدی و به طور خاص تولید انرژی الکتریکی از نیروگاه‌های خورشیدی را دارا است. مطالعهٔ کنونی با هدف مکان یابی بهینه از لحاظ اقلیمی با استفاده از روش (AHP) و بهره گیری از نرم افزار Expert choice انجام گرفته است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از گسترده ترین ابزارهای تصمیم گیری چندمعیاره است. معیارها و زیرمعیارهایی از قبیل میزان تابش، تعداد روزهای آفتابی، میانگین دما، میزان رطوبت موجود در هوا، میزان بارندگی، میزان گرد و غبار و آلودگی و ضریب ابرناکی مورد ملاحظه قرار گرفته اند. به منظور تعیین مکان بهینه با استفاده از روش (AHP) که در نرم افزار Expert choice عملی می شود، بعد از تعیین سطوح سلسله مراتبی شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها (مکان‌های مورد نظر)، مقایسهٔ زوجی بین مجموعه‌ها برای وزن دهی انجام می‌شود. در عین وزن دهی به مجموعه‌ها تجزیه و تحلیل سازگاری قضاوت ها صورت می گیرد که باید کمتر از 0/1 باشد. برای انجام این پژوهش مراکز استان‌های کشور ایران در نظر گرفته شدند. از بین 31 مکان در منطقهٔ مورد مطالعه، شهر زاهدان به عنوان بهترین مکان جهت احداث نیروگاه خورشیدی انتخاب شد و سایر گزینه‌ها با توجه به وزن مورد نظر در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. همچنین آنالیز حساسیت بر روی معیارهای اصلی انجام و تاثیر وزن پارامترها بر روی گزینه‌ها ارزیابی گردید.

Optimal Solar Power Station Site Selection Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) in Iran

Pedram Ahadi[1], Farbod Fakhrabadi [2*], Alireza Pourshaghaghi [3], Farshad Kowsari [4]

1- PhD student, Department of Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

4- Professor, Department of Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

* Qazvin, (Farbod.Fakhrabadi@iau.ac.ir)

Article Information

Original Research Paper

Received 1 July 2021

Accepted 6 November 2021

Available Online 9 February 2022

ABSTRACT

A vast country with a mean solar irradiance of 4.5 kilowatts per square meter, Iran enjoys very high potentials for establishment and utilization of solar systems and, in particular, production of electrical energy from solar power stations. The present study was conducted for Optimal Solar Power Station Site Selection Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) in Iran,

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Pedram Ahadi, Farbod Fakhrabadi , Alireza Pourshaghaghi , Farshad Kowsari, Optimal Solar Power Station Site Selection Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) in Iran, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 12, No. 4, pp. 12-24, 2022 (In Persian)

and the Expert Choice software. AHP is one of the most widespread multi-criteria decision-making tools. The research considered criteria and sub-criteria such as the amount of radiation, number of sunny days, mean temperature, air humidity, precipitation, amount of dust and pollution, and cloudiness factor. For obtaining the optimal location using the AHP method, implemented in Expert Choice, pairwise comparison is made between the sets for weighting after the hierarchical levels, including the goal, criteria, sub-criteria, and alternatives (intended locations), are specified. As the sets are weighted, the compatibility of judgments is analyzed, which must be less than 0.1. The capitals of the provinces of Iran were considered in the research. From among the thirty-one locations in the examined region, the city of Zahedan was selected as the best location for establishment of solar power stations, and the other alternatives were assigned the next priorities given their weights. Moreover, sensitivity analysis was made on the major criteria, and the impact of parameter weight on the alternatives was assessed.

Keywords
Analysis Hierarchical Process (AHP)
Optimal location
Renewable Energy
Solar Power Plants
Expert Choice

1- مقدمه

در ارزیابی هر موضوعی ما نیاز به معیار اندازه گیری، یا شاخص داریم. انتخاب شاخص های مناسب به ما این امکان را می دهد که مقایسه درستی بین گزینه ها به عمل آوریم. اما وقتی که چند، یا چندین شاخص برای ارزیابی در نظر گرفته می شود، کار ارزیابی پیچیده می شود و پیچیدگی کار زمانی بالا می گیرد که معیارهای چند، یا چندین گانه باهم در تضاد و از جنس های مختلف باشند. در این هنگام کار ارزیابی و مقایسه از حالت ساده تحلیلی که ذهن قادر به انجام آن است، خارج می شود و به ابزار تحلیل عملی نیاز خواهد بود. AHP[1]، یکی از گسترده ترین ابزارهای تصمیم گیری چند معیاره است[1]. انتخاب مکان بهینه جهت احداث نیروگاه خورشیدی که یکی از مهم ترین انتخاب ها است نیاز به تصمیم گیری چند معیاره دارد، فرآیند تحلیل سلسله مراتب (AHP) روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم گیری متضاد، انتخاب بین گزینه ها را با مشکل مواجه می سازند مورد استفاده قرار می گیرد[2]. این روش ارزیابی چند معیاری، ابتدا در سال 1980 توسط توماس ال. ساعتی برای بیان تصمیم گیری های چند معیاره پیشنهاد شد و تا کنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است[3]. این روش مجموعه ای از اندازه گیری متفاوت جامع در داخل بخش کلی برای ارزیابی گزینه های تصمیم است. ویژگی اصلی اش بر اساس قضاوت دوتایی است. مبانی نظری و تنظیمات ریاضی روش AHP در بسیاری از مقالات تحقیقاتی ارائه شده است[4]، از جمله ارائه روش مقیاس بندی برای اولویت ها در AHP [5]، شرح روش AHP و کاربرد آن برای مسائل مختلف تصمیم گیری[6]. پیشنهاد اجرای ترکیبی احتمالی AHP و سایر روش های تصمیم گیری یا نظریه فازی و غیره[7]. روش AHP ذهنیت فرآیند تصمیم گیری را در نظر می گیرد و تصمیم گیرندگان را قادر می سازد تا ارزیابی ذهنی را به معیارهای عینی تبدیل کنند[8]. روش AHP همچنین تعادلی بین عوامل کمی و کیفی برقرار می کند. AHP به دلیل سادگی ریاضی و انعطاف پذیری آن، یک ابزار تحقیقاتی مورد علاقه در بسیاری از زمینه ها از جمله مدیریت انرژی است [9]. پیشینه تحقیقات موجود با نمونه هایی از کاربرد روش AHP در زمینه های مختلف، از جمله مدیریت محیط زیست و انرژی فراوان است. نمونه‌ها شامل اولویت‌بندی پروژه‌های پتروشیمی[10]، ارزیابی پروژه‌های هسته‌ای[11]، تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری در گرمایش گاز طبیعی[12]، تنظیمات سیستم توزیع برق[13]، تولید انرژی از فناوری‌های هیدروژن[14]، تولید متمرکز برق[15]، تجزیه و تحلیل تولید و عرضه برق[16]، انتخاب سیستم های ساختمان های هوشمند[17]، انتخاب روش تصفیه فاضلاب[18]، اجرای طرح های سبز[19]، آگاهی از بهره وری انرژی[20]، بهبود طرح بهره وری انرژی[21]، تدوین استراتژی های توسعه پایدار[22]، انتخاب روش های بازیافت انرژی اتلاف[23]، پروژه های انرژی[24]، گرمایش آب[25]، انتخاب ساختار بازار انرژی[26] و غیره. سینیلی و همکاران به منظور توانمندسازی تصمیم گیرندگان برای تمرکز بر گزینه های ترجیحی، از روش AHP برای اولویت بندی سیاست های مختلف حفظ انرژی استفاده کردند[27]. پودگروسکی و همکاران با توجه به افزایش علاقه به مدیریت محیط زیست و انرژی، افزایش در کاربرد روش AHP تعدادی از روش های تصمیم گیری چند معیاره برای اهداف اولویت بندی را مورد استفاده قرار دادند[28]. با این حال، بررسی پیشینه تحقیقات نشان می‌دهد که روش

[1] Analytical Hierarchy process

AHP یکی از محبوب‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها در عمل است[29]. نویسندگان مختلف تلاش هایی را برای اولویت بندی بخش های صنعتی در آثار خود انجام دادند، آنها در به کارگیری یک روش تصمیم گیری چند معیاره جامع کوتاهی در پژوهش خود استفاده کردند[34-30].

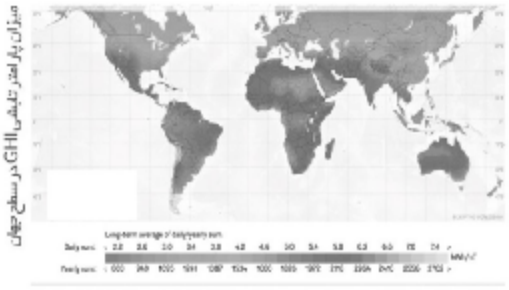
بوجانا و همکاران در مورد اولویت بندی بخش های تولید در صربستان برای بهبود مدیریت انرژی – از روش AHP در تحقیق خود استفاده نمودند[35].AHP برای تصمیم گیری در بسیاری از کشورها مانند چین، مالزی، نپال، هند، عمان، پاکستان و اندونزی برای مدیریت انرژی پایدار استفاده می شود [43-36]. سودیپ و همکاران در پژوهش خود اولویت‌بندی فناوری‌های غیرمتمرکز انرژی‌های تجدیدپذیر برای مناطق روستایی منطقه بوندلکند، هند با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) را بکار بردند[44]. همچنین کاربردهای متعددی از روش دلفی و AHP توسط آمر و همکاران در زمینه صنعت فتوولتائیک و انرژی مورد مطالعه قرار گرفت[45]. مایی و همکاران یک مدل AHP برای اولویت بندی و انتخاب فناوری های انرژی تجدیدپذیر، از جمله فتوولتائیک خورشیدی و حرارتی خورشیدی برای کشورهای در حال توسعه ارائه کرد که برای اولین بار در پاکستان را به کار گرفتند[46]. یانگ و همکاران در مورد انتخاب فناوری های کلیدی توسط صنعت فتوولتائیک سیلیکونی بر اساس روش دلفی و AHP (فرایند سلسله مراتبی تحلیلی) در کشور چین را مطالعه نمودند[47]. نایبان و همکاران در پژوهش خود یک روش ترکیبی AHP/FCE را برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های گرمایش فضای خانه‌های روستایی انجام دادند[48]. ژانگ و همکاران در پژوهش خود به بررسی بهینه سیستم‌های گرمایش فضای منازل روستایی با استفاده از روش‌های AHP و FCE پرداختند[49].

ژانگ و همکاران از این روش به منظور تعیین مکان بهینه فعالیتی، چند گزینه با چند معیار و زیر معیار را ارزیابی کردند و سپس مناسب ترین گزینه (سایت) با توجه به معیارهای انتخابی برای استقرار فعالیت مورد استفاده انتخاب کردند[50]. بارتوس و همکاران با استفاده از داده های هواشناسی یک مدل بهینه توسط پیش بینی های هواشناسی برای مکان یابی بهینه اجرای نیروگاه های تجدیدپذیر را ارائه داده است[51]. رحیمی و همکاران تاثیرات اقلیمی به عنوان یک عامل مهم در بازدهی نیروگاه های خورشیدی مورد بررسی قرار داده اند[52]. تزنگ و همکاران مطالعاتی برای امکان سنجی و تعیین مکان مناسب جهت اجرای نیروگاه خورشیدی از منظر داده های هواشناسی که بسیار می تواند حائز اهمیت باشد را مورد مطالعه قراردادند[53].

هدف اصلی روش AHP کمک به تصمیم‌گیرندگان می باشد تا بر اساس اطلاعات موجود، بهترین تصمیم ممکن را بگیرند. در این پژوهش روش AHP به عنوان ابزاری برای اولویت‌بندی بخش‌های مهم جهت احداث نیروگاه خورشیدی، با توجه به امکان‌سنجی معیارهای اقلیمی استفاده شده است. به همین ترتیب، مثال‌های متعدد نشان می‌دهد که روش AHP می‌تواند ابزار مفیدی در هنگام توسعه سیستم‌های مدیریت کیفیت و راه‌اندازی پروژه های بهبود کیفیت باشد. وضعیت مشابه با سایر سیستم های مدیریتی مانند سیستم های مدیریت زیست محیطی و انرژی است. بدیهی است که روش AHP یک ابزار اولویت‌بندی بسیار مفید در حوزه‌های مختلف است. در این پژوهش با استفاده از این روش، مکان بهینه جهت احداث نیروگاه خورشیدی، مکان یابی و اولویت بندی می شود. در این روش با توجه به سادگی، انعطاف پذیری و به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان و نیز توانایی بررسی سازگاری در قضاوت ها، می توان در بررسی موضوعات مربوط به مکان یابی کاربرد مطلوبی داشته باشد. در این مقاله از روش AHP (فرایند تحلیل سلسله مراتبی) به عنوان ابزار اولویت بندی استفاده شده است.

2- معرفی منطقه مورد مطالعه

برای انجام پژوهش حاضر مراکز استان های کشور ایران به عنوان منطقه مورد مطالعه این تحقیق انتخاب شده است. کشور ایران به عنوان یک کشور پهناور با میانگین تابش خورشید 4/5 کیلووات ساعت بر متر مربع، پتانسیل بسیار بالایی برای راه اندازی و بهره برداری از سیستم های خورشیدی و به طور خاص تولید انرژی الکتریکی از نیروگاه های خورشیدی را دارا است.



شکل 1 موقعیت کشور ایران در جهان از لحاظ تابش

شکل 2 نقشه میزان شدت تابش کشور ایران (PSH)

3- مکان یابی بهینه نیروگاه خورشیدی از لحاظ اقلیمی

انتخاب مکان مناسب برای یک فعالیت یکی از تصمیمات پایدار برای انجام یک طرح گسترده است که نیازمند تحقیق در مکان از دیدگاه های مختلف می باشد. از آنجا که مکان یابی نیاز به اطلاعات دقیق دارد و اهمیت زیادی دارد، حجم بزرگی از اطلاعات جزئی برای معرفی مکان های مختلف باید جمع آوری، ترکیب و تجزیه و تحلیل شوند تا ارزیابی صحیحی از عواملی که ممکن است در انتخاب تأثیر داشته باشند صورت پذیرد. قابلیت ها و توان های یک مکان با توجه به این که برای چه مفاهیمی در نظر گرفته شود متفاوت خواهد بود، بنا بر این بسته به نوع کارکرد مورد نظر باید معیارهایی تلفیق شوند تا توان مکان با توجه به آن مورد بررسی قرار گیرد. این معیارها نسبت به نوع کاربرد متفاوت هستند اما همه آن ها در جهت انتخاب مکان مناسب همسو می شوند، استفاده از این شاخص ها نیاز به داشتن اطلاعات صحیح و کامل از مکان دارد و دستیابی به اطلاعات نیازمند تحقیقات گسترده و جامع می باشد. به طور کلی مکان یابی فعالیتی است که استعدادهای فضایی و غیرفضایی یک سرزمین را شناسایی کرده و امکان انتخاب مکان مناسب برای کاربری خاص را فراهم می آورد. این معیارها و داده ها را از سایت سازمان هواشناسی کل کشور برای تمام نقاط ایران استخراج و جمع آوری می نماییم.

3-1- معیارهای موثر در مکان یابی نیروگاه های خورشیدی

معیارها و عوامل تاثیرگذار در مکان یابی نیروگاه خورشیدی متعدد می باشند. معیارها و عواملی که در این تحقیق در نظر گرفته شده اند بر اساس مطالعات پژوهشگران مختلف می باشد[54].

پارامترهای زیادی در مکان یابی بهینه نیروگاه خورشیدی دخیل است که با استفاده از مطالعات کتابخانه ای شناسایی، جمع آوری و از لحاظ اقلیمی مورد بررسی قرار می گیرد. این پارامترها عبارتند از :

1. میزان تابش خورشید
2. تعداد روزهای آفتابی
3. میانگین دما
4. میزان رطوبت موجود در هوا
5. میزان بارندگی
6. میزان گرد و غبار و آلودگی
7. ضریب ابرناکی

جدول 1 معیارهای مکان یابی نیروگاه خورشیدی از لحاظ اقلیمی و اثر آن ها بر نیروگاه

ردیف	معیارها	اهمیت در مکان یابی	نوع اثر
1	میزان تابش	هر چه شدت تابش بیشتر شود انرژی الکتریکی بیشتر تولید می شود.	تاثیر مثبت
2	تعداد روزهای آفتابی	هر چه تعداد روزهای آفتابی بیشتر باشد میزان بازده نیروگاه بیشتر می شود.	تاثیر مثبت
3	میانگین دما	هرچه دمای محیط بالا رود کارایی نیروگاه پایین می آید	تاثیر منفی
4	میزان رطوبت موجود در هوا	هرچه رطوبت نسبی بیشتر شود کارایی نیروگاه پایین می آید	تاثیر منفی
5	میزان بارندگی	هرچه میزان بارندگی بالا رود کارایی نیروگاه	تاثیر منفی

		پایین می آید	
6	میزان گرد و غبار و آلودگی	هرچه میزان گرد و غبار بالا رود کارایی نیروگاه پایین می آید	تاثیر منفی
7	ضریب ابرناکی	هرچه میزان ضریب ابرناکی بالا رود کارایی نیروگاه پایین می آید	تاثیر منفی

3-2- مواد و روش کار

جهت تعیین مکان بهینه از مجموعه ای از معیارهای مؤثر برای تعیین مکان بهینه نیروگاه خورشیدی که در جدول (1) نشان داده شده است استفاده می شود. روش AHP در نرم افزار Expert choice انجام می شود. در نرم افزار Expert choice، هدف به عنوان اصلی ترین شاخهٔ تحلیل سلسله مراتبی است و معیارها به عنوان زیرشاخهٔ هدف هستند.

در قدم بعد، معیارهای اصلی مؤثر بر هدف به صورت زیرشاخهٔ هدف در نمودار درختی (نرم افزار مشخص می کند) باید پر شود. می توان برای هر معیار، چند زیرمعیار مشخص کرد. تمامی زیرمعیارها مانند معیارهای لایهٔ اصلی از دو قسمت نام اختصاری و توضیح تشکیل شده اند. پس از تعریف گزینه ها، نوبت به وزن دهی بین معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها می شود. این کار را به چند صورت مقایسهٔ زوجی عددی، گرافیکی و محاوره ای و مقایسهٔ کلی می توان در نرم افزار عملی کرد [29]. در این پژوهش، از روش مقایسهٔ زوجی عددی استفاده شده است. در حین مقایسهٔ زوجی برای هر مجموعه، تجزیه و تحلیل سازگاری به وسیلهٔ نرم افزار صورت می پذیرد. این معیار، همان گونه که قبلاً گفته شد، باید از 0/1 کمتر باشد [53].

3-3- روش پردازش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

در فرایند مکان یابی پس از تبیین اهداف کلی، بیان مقاصد، اهداف عملیاتی مکان یابی و تهیه گزینه های مختلف برای رسیدن به مکان بهینه، ارزیابی صورت می گیرد تا بر اساس شایستگی هر یک از گزینه ها گزینه مطلوب، یا بهتر انتخاب شود [55]. برای سنجش شایستگی نسبی هر یک از گزینه ها، معمولاً از معیارها استفاده می شود. انتخاب مکان مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی، یا به عبارتی دیگر مکان یابی نیز از این قاعده مستثنی نیست روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر و تصمیم گیری و اولویت دادن به آنها آغاز می شود این عناصر شامل شیوه های مختلف انجام کار و اولویت دادن به سنجه ها، یا ویژگی ها است[56].

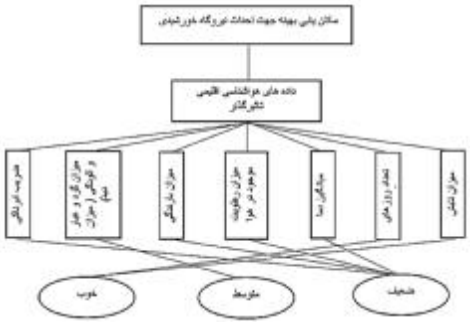
3-4- ساختن سلسله مراتبی

در مرحله اول، ساختار سلسله مراتبی مربوط به موضوع مکان یابی که در آن سلسله مراتب چهار سطحی شامل هدف ها، معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها (مکان ها) مواجه هستیم را مورد بررسی قرار می دهیم[58،57]. تبدیل موضوع مسئله مورد بررسی به ساختاری سلسله مراتبی، مهم ترین قسمت فرایند تحلیل سلسله محسوب می شود[59]. زیرا در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، فرایند تحلیل سلسله مراتبی آنها را به شکلی ساده، که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل می کند. به عبارت دیگر، فرایند تحلیل سلسله مراتبی مسائل پیچیده را از طریق تجزیه آن به عناصر جزئی که به صورت سلسله مراتبی به هم مرتبط بوده و ارتباط هدف اصلی مسئله با پایین ترین سطح سلسله مراتبی را به شکل ساده تری در می آورد [60،58،1]. در مسئله مکان یابی نیروگاه خورشیدی، هدف انتخاب محل مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی از بین چند گزینه (مراکز استان ها) است. معیارها و زیرمعیارها، شامل عواملی هستند که باعث ایجاد تفاوت در گزینه ها، (مانند عوامل مؤثر میزان تابش، تعداد روز های آفتابی و ...) می شوند. گزینه ها نیز مراکز استان های کشور ایران برای احداث نیروگاه خورشیدی هستند (شکل 3).

شکل 3 مراکز استان های کشور ایران، برای احداث نیروگاه خورشیدی

اعتبار هر مکان بر حسب معیارها سنجیده می شود[57]توجه به این که در عمل، تمامی معیارها دارای اهمیت یکسانی نیستند، در روش AHP نیز هر معیار دارای وزن خاصی است که باید

توسط کاربر، به روش های مختلف اعمال شود. همچنین، می توان هر میعار را به چند جزء کوچکتر (زیرمعیارها) تقسیم کرده و آنها را با یکدیگر مقایسه و وزن دهی کرد [61].



شکل 4 نمودار مراحل ساخت سلسله مراتب مکان یابی نیروگاه خورشیدی

3-5- تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها

برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها و زیرمعیارها، چند روش وجود دارد که معمول ترین آنها، مقایسهٔ دو دویی است. در این روش، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می شوند و درجهٔ اهمیت هر معیار، نسبت به دیگری،مشخص می شود. برای این کار، می توان از یک روش استاندارد (ارائه شده توسط ساعتی) استفاده کرد[4،5]. روش کار به این ترتیب است که، به هر مقایسهٔ دو دویی، یک عدد 1 تا 9 نسبت داده می شود. معنی هر عدد در جدول شماره(2)، مشخص شده است. پس از وزن دهی، باید وزن ها را نرمالیزه کرد. به منظور نرمالیزه کردن، می توان از روش های مختلفی استفاده کرد؛ در این مدل، از تقسیم هر وزن، بر مجموع وزن های همان ستون استفاده شده است[59].

ماتریس مقایسه a_{ij} که نشان دهنده مقیاس نسبت به امتیاز از کارشناسان فنی i و j است و می تواند یک ماتریس مقایسه A= $(a_{ij})_{n\times n}$ را تشکیل دهد، n تعداد معیارها است که یک رابطه ریاضی هم وجود خواهد داشت : $a_{ii} = 1$ ؛ $a_{ij} = 1/a_{ji}$. بدین صورت در ماتریس، هر عنصر a_{ij} (نسبت عناصر اصلی و آرایه، $a_{ij} = 1/a_{ij}$) به معنای اهمیت نسبی بین دو معیار می باشد.

جدول 2 مقایسهٔ 9 کمیتی ساعتی برای مقایسهٔ دو دویی معیارها [2،26].

مقدار عددی		برتری ها	
1	برتری یکسان		Equally preference
3	کمی برتر		Moderately preference
5	برتری بیشتر		Strongly preference
7	برتری خیلی بیشتر		Very Strongly preference
9	کاملا برتر		Extremely preference
2،4،6،8	برتریهای بین فواصل فوق	-	

3-6- تعیین ضریب اهمیت گزینه ها

بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها و زیرمعیارها، ضریب اهمیت گزینه ها را باید تعیین کرد. در این مرحله، ارجحیت هر یک از گزینه ها در ارتباط با هر یک از زیرمعیارها و اگر معیاری زیرمعیار نداشته باشد مستقیماً با خود آن معیار، مورد قضاوت و داوری قرار می گیرد. فرایند به دست آوردن وزن (ضریب اهمیت) گزینه ها نسبت به هر یک از معیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. در هر دو حالت، قضاوت ها بر مبنای مقایسه دو دویی معیارها، یا گزینه ها و بر اساس مقیاس 9 کمیتی ساعتی صورت می پذیرد و نتیجه در ماتریس مقایسه دو دویی معیارها، یا گزینه ها ثبت می شود و از طریق نرمالیزه کردن ردیف های این ماتریس ها، ضرایب اهمیت مورد نظر به دست می آید. با این حال، باید به تفاوتی عمده در این مقایسه ها اشاره شود [57]. مقایسه گزینه های مختلف، نسبت به زیرمعیارها، و یا معیارها (اگر معیاری زیرمعیار نداشته باشد) صورت می پذیرد؛ در صورتی که مقایسه معیارها با یکدیگر، نسبت به هدف مطالعه صورت می پذیرفت. بنابراین، به جای این که سؤال شود معیار i، در دستیابی به هدف، چه قدر از معیار j مهمتر است؟ در مقایسه گزینه ها سؤال به این ترتیب مطرح می شود که گزینه l در ارتباط با زیرمعیار x چه قدر بر گزینهٔ j ارجحیت دارد؟[2]. زیرمعیارها هم کمی اند و هم کیفی، این مطلب، نشان دهنده مزیت دیگر فرایند تحلیل سلسله مراتبی است که با ترکیبی از معیارهای کمی و کیفی سروکار دارد[60،58].

بردارهای ویژه مربوط به حداکثر مقدار ویژه ماتریس قضاوت ساخته شده را می توان محاسبه کرد. مقدار وزن را می توان پس از نرمال شدن یدست آورد. با محاسبه مقدار وزن اهمیت نسبی همه عناصر موجود در لایه، استراتژی بهینه برای مرتب سازی با توجه به وزن نهایی یافت می شود.

محاسبه مقدار متوسط عنصر ردیف یک ماتریس:

$$\overline{W_i} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} a_{ij}} \quad (i = 1,2,\dots,n); \qquad (1)$$

یا

$$\overline{W_i} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij} \quad (i = 1,2,\dots,n); \qquad (2)$$

نرمالیزه کردن بردار $\overline{W} = (\overline{W_1}, \overline{W_2}, \dots, \overline{W_n})^T$:

$$W_i = \frac{\overline{W_i}}{\sum_{j=1}^{n} \overline{W_j}} \quad (i = 1,2,\dots,n) \qquad (3)$$

3-7- تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه ها

در این مرحله، از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، "امتیاز نهایی" هر یک از گزینه ها تعیین خواهد شد. برای این کار از "اصل ترکیب سلسله مراتبی" ساعتی که منجر به "بردار اولویت" با در نظر گرفتن همه قضاوت ها در تمامی سطوح سلسله مراتبی می شود [2،29].

امتیاز نهایی (اولویت) گزینه $j = (g_{ij}) \sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} W_k W_i$ (4)

که در آن:

W_k ضریب اهمیت معیار k

W_i ضریب اهمیت معیار i

g_{ij} امتیاز گزینه j در ارتباط با زیر معیار i

3-8- بررسی سازگاری در قضاوت

یکی از مزیت های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارهاست. سازوکارهایی که ساعتی برای بررسی سازگاری در قضاوت ها در نظر گرفته است، محاسبهٔ ضریبی به نام ضریب ناسازگاری (RI) است. تجزیه و تحلیل سازگاری صورت می پذیرد. این معیار، همان گونه که قبلاً گفته شد، باید از 0/1 کمتر باشد. استفاده از این ضریب به تجزیه و تحلیل تصمیم قبل از انتخاب نهایی مکان کمک می کند [55]. در صورتی که معیار سازگاری از 0/1 بیشتر شود، نرم افزار، کاربر را با اخطار ناسازگاری، با خبر می سازد[56]. مقادیر محاسبه شدهٔ معیار ناسازگاری، در جدول 3 در زیر ذکر شده است.

جدول 3 شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی (RI)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I.I.R	0	0	0/58	0/9	5/12	1/24	1/32	1/41	1/45	1/45

بعد از تشکیل تمام ماتریس ها و انجام مقایسات زوجی، بردارهای ویژه یا وزنهای نسبی (درجه اهمیت نسبی عناصر)، وزنهای نهایی و حداکثر مقدار ویژه (λmax) برای هر ماتریس با استفاده از نرم افزار Expert Choice محاسبه می گردد. حداکثر مقدار ویژه ماتریس و شاخص ناسازگاری به ترتیب بصورت زیر تعریف می گردد:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(AW)_i}{W_i} \qquad (5)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max}-n}{n-1} \qquad (6)$$

در این رابطه λmax بزرگ ترین مقدار ویژه ماتریس، n طول ماتریس و CI شاخص ناسازگاری است. برای هر ماتریس حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری (CI) بر ماتریس تصادفی (RI) هم بعدش، معیار مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری است که به این معیار نرخ ناسازگاری (CR) گفته می شود، که به صورت زیر می باشد:

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (7)$$

چنانچه این عدد کوچکتر و یا مساوی 0,1 باشد سازگاری سیستم قابل قبول است در غیر این صورت باید در قضاوت ها تجدید نظر شود. جدول 3 شاخص ناسازگاری ماتریس های تصادفی را نشان می دهد. در این تحقیق ماتریس سازگار نبوده و در محاسبه وزن از روش حداقل مربعات استفاده گردید.

4- یافته های تحقیق

ابتدا، وزن بین معیارها، تعیین می شوند. این وزن ها، با توجه به اهمیت معیارها در مقابل یکدیگر، نسبت به هدف (یافتن محل مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی) تعیین می شوند. ابتدا معیارهای لایهٔ اصلی با یکدیگر مقایسه می شوند (نتایج آن در جدول 4، نشان داده شده است). در تمامی جداول، اعداد نمایش داده شده، بر اساس اهمیت معیار ردیف افقی، نسبت به معیار ردیف عمودی اند. مقدار هر عدد نیز با توجه به مقادیر جدول 2 و بر اساس معیار ساعتی تعیین شده است.

جدول 4 مقایسهٔ زوجی معیارها ی اصلی مکان یابی جهت احداث نیروگاه خورشیدی

ردیف		میزان تابش	تعداد روزهای آفتابی	ضریب ابرناکی	میانگین دما
1	میزان تابش	-	1	5	8
2	تعداد روزهای آفتابی	-	-	5	8
3	میزان گرد و غبار و آلودگی	-	-	4	6
4	میزان بارندگی	-	-	1	1,1
5	میزان رطوبت موجود در هوا	-	-	1	1,1
6	ضریب ابرناکی	-	-	-	1,1
7	میانگین دما	-	-	-	-

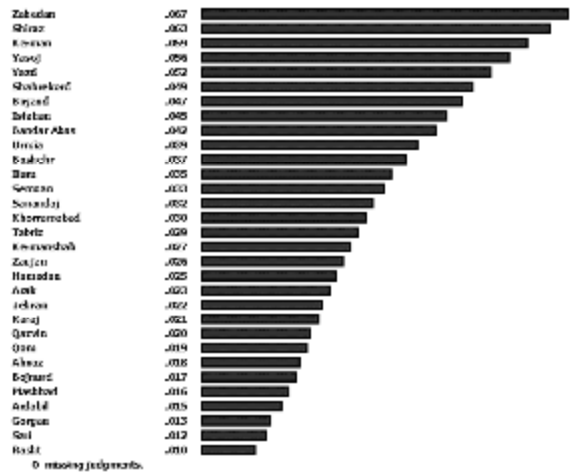
(نرخ ناسازگاری 0/00)

شکل 5 اولویت بندی معیارهای اصلی نسبت به هم (خروجی نرم افزار: Expert Choice)

پس از مقایسهٔ معیارها لایهٔ اصلی، نوبت به زیرمعیارها می رسد. در این مرحله، برای هر معیار، زیرمعیارهای آن با یکدیگر مقایسه می شوند. پس از مقایسهٔ زوجی بین معیارها، بین مراکز استان ها، برای هر زیرلایه نیز، مقایسه صورت می پذیرد. زیرمعیارهای هر لایه، به طور جداگانه مورد بررسی قرار می گیرند. در نتیجه برای معیارهای میزان تابش، تعداد روزهای آفتابی، میانگین دما، میزان رطوبت موجود در هوا، میزان بارندگی، میزان گرد و غبار و آلودگی و ضریب ابرناکی، هر کدام یک مقایسه برای زیرمعیار انجام می پذیرد. در اینجا به علت تعدد مقایسه ها (31 مقایسه) از آوردن همه آنها، صرف نظر شده است و به عنوان مثال، مقایسه زوجی زیرمعیارهای میزان تابش (جدول 5)؛ میزان دما (جدول6) و میانگین بارندگی (جدول 7) نشان داده شده است.

جدول 5 مقایسهٔ زوجی زیرمعیارهای، معیار میزان تابش در مکان یابی بهینه نیروگاه خورشیدی

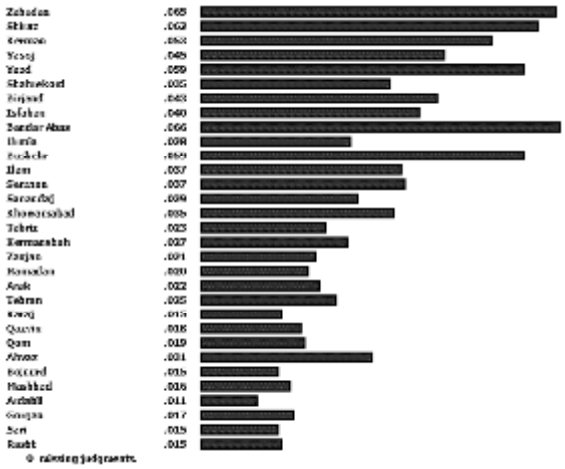
ردیف		زاهدان	شیراز	ساری	رشت
1	زاهدان	1	1,088	1,499	1,697
2	شیراز	0,992	1	1,486	1,683
30	ساری	0,667	0,673	1	1,132
31	رشت	0,589	0,594	0,883	1



شکل 6 اولویت بندی معیار میزان تابش مراکز استان ها نسبت به هم (خروجی نرم افزار: Expert Choice)

جدول 6 مقایسهٔ زوجی زیرمعیارهای، معیار میانگین دما در مکان یابی بهینه نیروگاه خورشیدی

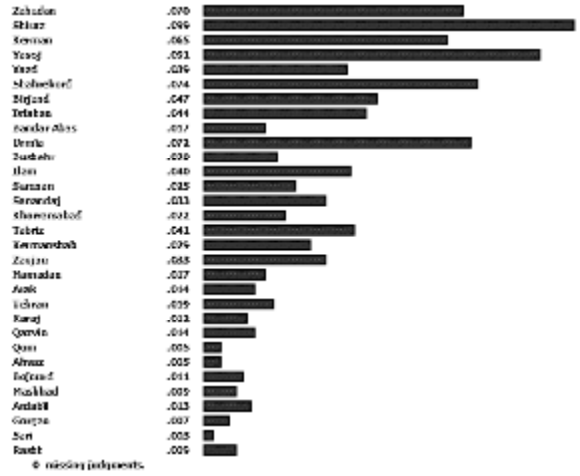
ردیف		زاهدان	شیراز	.....	ساری	رشت
1	زاهدان	1	1,0107		1,2147	1,1118
2	شیراز	0,9894	1		1,2018	1,1
30	ساری	0,8233	0,8321		1	0,9153
31	رشت	0,8995	0,9091		1,0925	1



شکل 7 اولویت بندی معیار میانگین دمای مراکز استان ها نسبت به هم (خروجی نرم افزار: Expert Choice)

جدول 7 مقایسهٔ زوجی زیرمعیارهای، معیار میزان بارندگی در مکان یابی بهینه نیروگاه خورشیدی

ردیف		زاهدان	شیراز	.....	ساری	رشت
1	زاهدان	1	0,623		0,7308	0,25
2	شیراز	1,605	1		1,173	0,401
30	ساری	1,368	0,852		1	0,342
31	رشت	4	2,491		2,923	1



شکل 8 اولویت بندی معیار میزان بارندگی مراکز استان ها نسبت به هم (خروجی نرم افزار: Expert Choice)

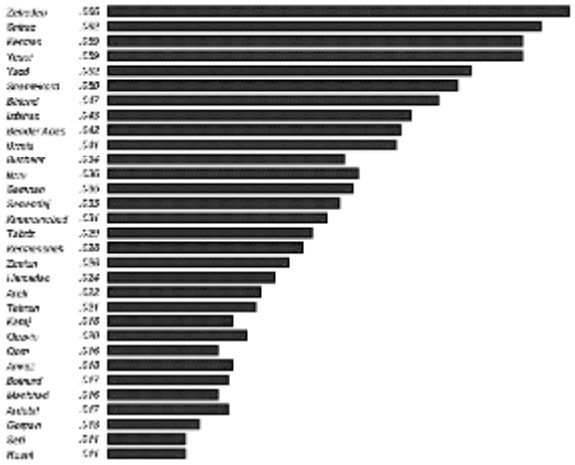
پس از پایان مقایسات زوجی، توسط نرم افزار Expert Choice، نتایج عددی آن ها در جداول 4، 5، 6 و 7 نشان داده شده است.

جدول 8 ضرایب اولویت بندی مراکز استان ها جهت مکان یابی احداث نیروگاه خورشیدی

ردیف	مراکز استان	وزن نهایی
1	زاهدان	0,066
2	شیراز	0,062
3	کرمان	0,059
4	یاسوج	0,059
5	یزد	0,052
6	شهرکرد	0,050
7	بیرجند	0,047
8	اصفهان	0,042
9	بندرعباس	0,042
10	ارومیه	0,041
11	بوشهر	0,034
12	ایلام	0,036
13	سمنان	0,035
14	سنندج	0,033
15	خرم آباد	0,031
16	تبریز	0,029
17	کرمانشاه	0,028
18	زنجان	0,026
19	همدان	0,024
20	اراک	0,022
21	تهران	0,021

22	کرج	0,018
23	قزوین	0,020
24	قم	0,016
25	اهواز	0,018
26	بجنورد	0,017
27	مشهد	0,016
28	اردبیل	0,017
29	گرگان	0,013
30	ساری	0,011
31	رشت	0,011

نتایج نهایی اولویت‌ها، در شکل (12) به صورت نمودار نیز قابل رویت است.

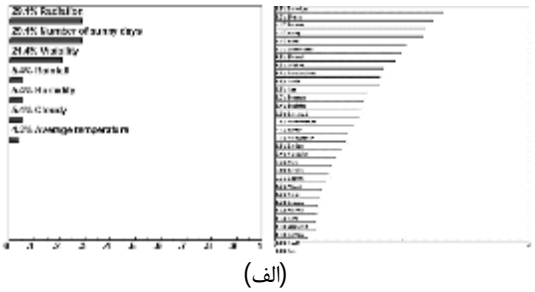


شکل 9 اولویت‌بندی مراکز استان ها برای مکان یابی بهینه جهت احداث نیروگاه خورشیدی(خروجی نرم افزار: Expert Choice)

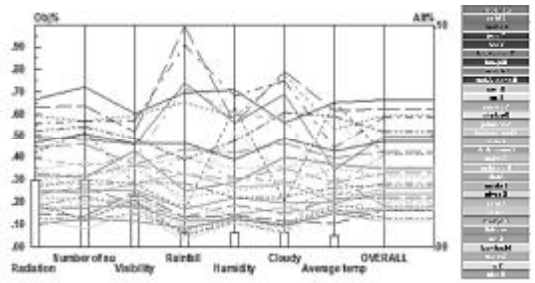
بر اساس این مقایسه از بین مراکز استان ها، شهر زاهدان به عنوان مناسب‌ترین مکان انتخاب شد.

4-1- آنالیز تحلیل حساسیت

یکی از عواملی که بیشترین تاثیر را در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها در روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره دارد، امتیاز دهی است. با توجه به عدم قطعیت در مراحل امتیازدهی آنالیز تحلیل حساسیت بر روی گزینه‌ها ضروری است. در تحلیل حساسیت با تغییر وزن یکی از معیارها، نرم افزار بطور خودکار وزن سایر معیارها را متناسب با آن تغییر می‌دهد و می‌توان اثر تغییرات را در رتبه‌بندی نهایی گزینه مشاهده نمود.



(الف)



(ب)

شکل 10 (الف) و (ب) آنالیز حساسیت کارایی و دینامیک معیارها و زیر معیارها نسبت به هم

نمودار حساسیت دینامیک شکل 10 (الف) نشان می دهد که چگونه گزینه ها نسبت به گزینه های دیگر با توجه به معیار ها و همچنین حالت کلی اهمیت بندی شده اند.

همچنین نمودار حساسیت کارایی شکل 10 (ب)، ارجحیت گزینه ها را همزمان نسبت به یک معیار نشان می دهد.

نتایج نشان می دهد که با تغییر وزن هر کدام از معیارها با توجه به نمودار آنالیز حساسیت، می توان تغییر در میزان اهمیت و ارجحیت هر معیار را حس کرد و در نتیجه تاثیرات مستقیمی بر روی انتخاب مکان بهینه را داشته باشد.

5- نتیجه گیری

بعد از انتخاب گزینه مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی، با استفاده از مدل AHP و بر اساس معیارهای مورد نظر، مراکز استان های کشور ایران از نظر توانایی جهت احداث نیروگاه خورشیدی، اولویت‌بندی شدند. در نهایت، شهر زاهدان با در نظر گرفتن مجموعه معیارها و وزن دهی به عنوان بهترین مکان جهت احداث نیروگاه خورشیدی انتخاب شد. می‌توان گفت با این روش براحتی در صورت چند گزینه و تعداد معیارهای بالا می‌توان با دقت گزینه نهایی را انتخاب کرد. وزن دهی منطقی و درست بین معیارها و گزینه‌ها انجام داده شده تا در نهایت مکان مناسب انتخاب شود و اولویت‌بندی مکان های مجاز به صورت دقیق انجام پذیرد. این موضوع به برنامه‌ریزان کمک زیادی

می‌کند تا بتوانند بر اساس داده های اقلیمی، بهتر تصمیم‌گیری کنند.

مسلم است هر چه از معیارهای بیشتر و دقیق تری استفاده شود، نتیجه بهتری را می توان انتظار داشت. این روش دارای مزایای بسیاری برای مکان یابی بهینه و نیز تقسیم بندی جهت استقرار تأسیسات انسانی، انواع فعالیت های اولویت بندی معیارها در ساختار سلسله مراتبی و استفاده در سایر زمینه ها، تلفیق با منطق فازی و غیره می باشد.

6- تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان طراحی فنی و اقتصادی بهینه نیروگاه های خورشیدی متصل به شبکه در مقطع دکتری تخصصی است که با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین اجرا شده است. نویسندگان از کمک ارزشمند کارشناسان وزارت نیرو در ایران، شرکت توزیع برق، سازمان هواشناسی کل کشور ایران و غیره قدردانی می کنند.

7- مراجع

[1] Omkarprasad, V. and K.,Sushil .2004. Analytic hierarchy process: An overview of applications,April.
[2] Bertolini,M., M.,Braglia .2006. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract, 17 January.
[3] Theresa Mau-Crimmins,J.E.2003. De Steiguer and Donald Dennis AHP as a means for improving public participation: a pre–post experiment with university students 14 August.
[4] Saaty TL. The analytic hierarchy process. New York:McGraw-Hill; 1980.
[5] Saaty TL. A scaling method for priorities in hierarchical structures. J Math Psychol 1977;15:234–81. http://dx.doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5.
[6] Vargas LG. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. Eur J Oper Res 1990;48:2–8. http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056- H.
[7] Ilangkumaran M, Kumanan S. Selection of maintenance policy for textile industry using hybrid multi-criteria decision making approach. J Manuf Technol Manage 2009;20:1009–22. http://dx.doi.org/10.1108/ 17410380910984258.
[8] Van de Water H, de Vries J. Choosing a quality improvement project using the analytic hierarchy process. Int J Qual Reliab Manage 2006;23:409–25. http:// dx.doi.org/10.1108/02656710610657602.
[9] Dey PK. Integrated project evaluation and selection using multiple-attribute decision-making technique. Int J Prod Econ 2006;103:90–103. http:// dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.11.018.
[10] Shin CO, Yoo SH, Kwak SJ. Applying the analytic hierarchy process to evaluation of the national nuclear R&D projects: the case of Korea. Prog Nucl Energy 2007;49:375–84. http://dx.doi.org/10.1016/j.pnucene.2007.03.001.
[11] Lee DK, Park SY, Park SU. Development of assessment model for demand-side management investment programs in Korea. Energy Policy 2007;35:5585–90. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.05.029.
[12] Garcia E, Schweickardt G, Andreoni A. A new model to evaluate the dynamic adaptation of an electric distribution system. Energy Econ 2008;30:1648–58. http://dx.doi.org/10.1016/j.eneco.2007.05.003.
[13] Lee SK, Mogi G, Kim JW. The competitiveness of Korea as a developer of hydrogen energy technology: the AHP approach. Energy Policy 2008;36:1284–91. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.12.003.
[14] Karger CR, Hennings W. Sustainability evaluation of decentralized electricity generation.Renew Sustain Energy Rev 2009;13:583–93. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.rser.2007.11.003.
[15] Kablan M. Prioritization of decentralized electricity options available for rural areas in Jordan. Energy Convers Manage 1997;38:1515–21. http://dx.doi.org/ 10.1016/S0196-8904(96)00106-9.
[16] Wong JK, Li H. Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multicriteria analysis of the selection of intelligent building systems. Build Environ 2008;43:108–25. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.11.019.
[17] Srdjevic Z, Samardzic M, Srdjevic B. Robustness of AHP in selecting wastewater treatment method for the coloured metal industry: Serbian case study. Civil Eng Environ Syst 2012;29:147–61. http://dx.doi.org/10.1080/10286608. 2012.672412.
[18] Sarmiento R, Thomas A. Identifying improvement areas when implementing green initiatives using a multitier AHP approach. Benchmarking: Int J 2010;17:452 63.http://dx.doi.org/10.1108/14635771011049399.
[19] Nagesha N, Balachandra P. Barriers to energy efficiency in small industry clusters: multi- criteria-based prioritization using the analytic hierarchy process. Energy 2006;31:1969–83. http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2005. 07.002.
[20] Lee SK, Yoon YJ, Kim JW. A study on making a long-term improvement in the national energy efficiency and GHG control plans by the AHP approach. Energy Policy 2007;35:2862–8. http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2006.09.019.
[21] Shen L, Muduli K, Barve A. Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach. Resour Policy, in press. http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.10.006.
[22] Liang X, Sun X, Shu G, Sun K, Wang X, Wang X. Using the analytic network process (ANP) to determine method of waste energy recovery from engine. Energy Convers Manage 2013;66:304–11. http://dx.doi.org/10.1016/ j.enconman.2012.08.005.
[23] Kagazyo T, Kaneko K, Akai M, Hijikata K. Methodology and evaluation of priorities for energy and environmental research projects. Energy 1997;22:121–9. http://dx.doi.org/10.1016/S0360-5442(96)00132-6.
[24] Chedid RB. Policy development for solar water heaters: the case of Lebanon. Energy Convers Manage

renewable energy development in the context of Nepal using AHP," *Renew. Energy*, vol. 129, pp. 446– 456, 2018, doi: 10.1016/j.renene.2018.06.011.
[40] S. Luthra, S. Kumar, D. Garg, and A. Haleem, "Barriers to renewable/sustainable energy technologies adoption: Indian perspective," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 762–776, 2015, doi:10.1016/j.rser.2014.08.077.
[41] M. H. Azam, M. F. M. Abushammala, and W. A. Qazi, "Evaluation of the significant renewable energy resources in Sultanate of Oman using analytical hierarchy process," Int. J. *Renew. Energy Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 1528–1534, 2018.
[42] Y. Wang, L. Xu, and Y. A. Solangi, "Strategic renewable energy resources selection for Pakistan: Based on SWOT Fuzzy AHP approach," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 52, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2019.101861.
[43] A. Tasri and A. Susilawati, "Selection among renewable energy alternatives based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 7, pp. 34–44, 2014, doi: 10.1016/j.seta.2014.02.008.
[44] Sudeep Ya, Gaurav Sr, PriyankaYa, Balendu Sh. Prioritization of Decentralized Renewable Energy Technologies for Rural Areas of Bundelkhand Region, India Using Analytical Hierarchy Process (AHP). *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH* Sudeep Yadav et al., Vol.10, No.4, December, 2020.
[45] Amer M, Daim TU. Selection of renewable energy technologies for a developing county: a case of Pakistan. *Energy* Sustain Dev 2011;15(4): 420e35.
[46] Ma D, Chang C, Hung S. The selection of technology for late-starters: a case study of the energy-smart photovoltaic industry. Econ Model 2013;35: 10e20.
[47] Yong Ta, Honghang Su, Qiang Ya, Yibo Wa. The selection of key technologies by the silicon photovoltaic industry based on the Delphi method and AHP (analytic hierarchy process): *Case study of China. Energy* 75 (2014) 474e482.
[48] NaiYan Zhan, Yue Xu. Research status of the evaluation index system of building energy efficiency in China and abroad. *Constr energy Conserv* 2015;4:96e9.
[49] Xinghui Zh, Jiaojiao Ya, Xudong Zh. Optimal study of the rural house space heating systems employing the AHP and FCE methods. *Energy* 150 (2018) 631e641.
[50] Zhang, Weiping, et al. 2019"Sizing a stand-alone solar wind-hydrogen energy system using weather forecasting and a hybrid search optimization algorithm." *Energy onversion and management* 180: 609-621.
[51] Bartos, Matthew D., and Mikhail V. Chester. 2015 "Impacts of climate change on electric power supply in the Western United States." *Nature Climate Change* 5.8: 748-752.
[52] رحیمی و همکاران .1395. پتانسیل‌سنجی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل AHP و منطق فازی .*فصلنامه جغرافیا و توسعه*.
[53] Tzeng,G.H., M.H.,Teng.2002. Multicriteria selection for a restaurant location in Taipei, *Hospitality Management* 21 171– 187.
[54] اکبری و همکاران، 1393. مکان یابی بهینه نیروگاه های خورشیدی (فتوولتائیک)و توسعه تکنولوژی انرژی های تجدید پذیر در ایران، دومین 2002;43:77 86. http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00008-5.
[25] Bhattacharyya S, Dey PK. Selection of power market structure using the analytic hierarchy process. Int J Global Energ Issues 2003;20:36–57. http:// dx.doi.org/10.1016/S0140-6701(05)80184-5.
[26] Kablan MM. Decision support for energy conservation promotion: an analytic hierarchy process approach. Energy Policy 2004;32:1151–8. http://dx.doi.org/ 10.1016/S0301 4215(03)00078-8.
[27] Cinelli M, Coles SR, Kirwan K. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. Ecol Ind 2014;46:138–48. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.011.
[28] Podgorski D. Measuring operational performance of OSH management system–a demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators. Saf Sci 2015;73:146–66. http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci. 2014.11.018.
[29] Moreno-Jimenez,J.M., et al.2005. A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP-group decision making, Group Decision and Negotiation 14 89–108.
[30] Ates SA, Durakbasa NM. Evaluation of corporate energy management practices of energy intensive industries in Turkey. Energy 2012;45:81–91. http:// dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.032.
[31] Thollander P, Ottosson M. Energy management practices in Swedish energy intensive industries. J Cleaner Prod 2010;18:1125–33. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.011.
[32] Velazquez D, Gonzalez-Falcon R, Perez- Lombard L, Marina Gallego L, Monedero I, Biscarri F. Development of an energy management system for a naphtha reforming plant: a data mining approach. Energy Convers Manage 2013;67:217– 25. http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.11.016.
[33] Kannan R, Boie W. Energy management practices in SME—case study of a bakery in Germany. Energy Convers Manage 2003;44:945–59. http:// dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(02)000791.
[34] Tam KW, Leung CW, Probert SD. Energy management in a dairy-products plant. Appl Energy 1989;32:83–100. http://dx.doi.org/10.1016/0306-2619(89)90071- 8.
[35] Bojana Jo, Jovan Fi, Vukman Ba. Prioritization of manufacturing sectors in Serbia for energy management improvement – AHP method. Energy Conversion and Management 98 (2015) 225–235.
[36] S. D. Pohekar and M. Ramachandran, "Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning – A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 8, no. 4, pp. 365–381, 2004, doi: 10.1016/j.rser.2003.12.007.
[37] J. Ren and B. K. Sovacool, "Prioritizing low- carbon energy sources to enhance China's energy security," *Energy Convers . Manag.*, vol. 92, pp. 129–136, 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2014.12.044.
[38] S. Ahmad and R. M. Tahar, "Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia," *Renew. Energy*, vol. 63, pp. 458–466, 2014, doi:10.1016/j.renene.2013.10.001.
[39] L. P. Ghimire and Y. Kim, "An analysis on barriers to

همایش ملی رویکردی بر حسابداری، مدیریت و اقتصاد
[55] Dey,P.K., E.K.,Ramcharan.2000. Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados. *Journal of Environmental Management*.
[56] Changa,K.F., C.M.,Chiangb, P.C.Chouc.2007. Adapting aspects of GB Tool 200` searching for suitability in Taiwan, *Building and Environment* 42 310–316.
[57] Bowen,W.M.1990. Subjective judgments and data environment analysis in site selection, *Computer*,*Environment and Urban Systems*, Vol. 14, pp.133-144
[58] Mau,J., and et al.2005. Siting analysis of farm- based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS, *Biomass and Bioenergy* 28 591–600.
[59] Çimren,E., B.,Çatay, E.,Budak .2007.Development of a machine tool selection system using AHP,*International Journal of Advanced Manufacturing Technology*35 363–376.
[60] Ngai,E.W.T.2003. Selection of web sites for online advertising using the AHP, *Information & Management* 40 233-242.
[61] Sanaei,A., A.,Faraji.2002. Using location – allocation models for regional planning in GIS, *Environment*, *Proceeding of MAP ASIA*, Bankok., pp. 1-8, 1996.