فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی

سال دوم/ شماره ۴/ پاییز ۱۳۹۵/ صفحات ۱۴۲-۱۰۵

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

پتانسیل تولید برق خورشیدی در راستای افزایش امنیت انرژی، مطالعه موردی شهرستان اهواز

عباس عساکره

استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه مهندسی بیوسیستم (نویسنده مسئول)

a.asakereh@scu.ac.ir

محسن سلیمانی

استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه مهندسی بیوسیستم

m.soleymani@scu.ac.ir

محمدجواد شیخ داوودی

استاد دانشگاه شهید چمران اهواز، گروه مهندسی بیوسیستم

mj.davoodi@scu.ac.ir

با این‌که اثرات زیست‌محیطی انرژی‌های تجدیدپذیر به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته‌اند، ولی به نقش و اهمیت آن‌ها در تأمین امنیت انرژی کمتر پرداخته شده است. در این مطالعه به بررسی پتانسیل انرژی خورشیدی در شهرستان اهواز در راستای تأمین انرژی الکتریسیته پرداخته شده است. اراضی شهرستان اهواز با دیدگاه توسعه پایدار جغرافیایی و زیست‌محیطی و امنیت تأمین انرژی، بر اساس شاخص‌های زیست‌محیطی، جغرافیایی و انسانی و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی اولویت‌بندی شدند. نتایج نشان می‌دهد که انرژی خورشیدی در شهرستان اهواز، برای افزایش امنیت انرژی و ایجاد انعطاف‌پذیری در مقابل تهدیدات انسانی و طبیعی، از پتانسیل بسیار خوبی برخوردار است. با توزیع مزارع خورشیدی در تنها ۳/۳۱ درصد از اراضی شهرستان اهواز که از نظر بلایای طبیعی، اثرات زیست‌محیطی و انسانی در شرایط عالی هستند، امکان تأمین برق کل استان وجود دارد و بدین وسیله از تمرکز و پخش غیریکنواخت نیروگاه‌های تولید برق جلوگیری می‌شود. همچنین با تولید برق خورشیدی در اراضی با تناسب عالی، امکان کاهش آلاینده‌های هوا به میزان ۱۰۹۳۴۶/۵ هزار تن در سال با هزینه تخریب ۲۲۸۷۶/۳۸ میلیارد ریال وجود دارد.

واژگان کلیدی: امنیت انرژی، انرژی خورشیدی، خوزستان، سامانه فتوولتائیک

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۲۷

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

۱. مقدمه

امروزه تأمین انرژی از اساسی‌ترین پیش‌نیازهای توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها به شمار می‌رود. تغییرات جمعیتی و رشد شهرنشینی، علاوه بر ضعف در کارآیی جریان تولید، انتقال، توزیع، مصرف و عدم تأمین انرژی از منابع مطمئن و پاک، موجب افزایش تقاضای انرژی و مصرف سریع منابع آن گردیده است. سرعت تهی شدن منابع تجدیدناپذیر انرژی و افزایش آلودگی‌ها، به یکی از بحران‌های انرژی و محیط‌زیست در هزاره سوم مبدل شده‌اند (هایرمث و همکاران[1]، ۲۰۰۷ ؛ دیکنن[2]، ۲۰۰۶). احتراق سوخت‌های فسیلی، به دلیل انتشار گازهای CO_2، NO_x، SO_2 و دیگر گازها، باعث ایجاد آلودگی محیط زیست می‌شود. این گازها تأثیر بسیار بدی بر محیط زیست دارند که از آن جمله می‌توان به ایجاد باران‌های اسیدی، آلودگی هوا، تخریب لایه ازون، تخریب زمین و گرم شدن جهان اشاره کرد (کالیژیرو[3]، ۲۰۰۴؛ لی و هو[4]، ۲۰۰۶).

آلودگی هوا یکی از عوامل تهدیدکننده سلامتی بشر می‌باشد (هوپکی[5]، ۲۰۰۹). کشور ما به شدت به منابع سوخت‌های فسیلی وابسته است که مصرف آن‌ها اثرات زیان‌باری به همراه داشته است. هزینه‌های اجتماعی مصرف حامل‌های انرژی فسیلی در کشور، بر اساس مطالعات بانک جهانی و سازمان حفاظت محیط زیست ایران در سال ۱۳۹۱ حدود ۱۰۲/۶ هزار میلیارد ریال بر اساس قیمت‌های ثابت سال ۱۳۸۱ برآورد شده است که این مقدار، معادل ۱۹/۶ درصد تولید ناخالص داخلی[6] کشور در همین سال است. در زمینه فنی، کشور ما در سطح پایینی قرار دارد و میانگین مصرف انرژی برای تولید، بیش از متوسط جهانی است که نشان از کارایی پایین نظام‌های تولیدی و فناوری مورد استفاده در کشور است (معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۱).

1. Hiremath et al.
2. Dicknann
3. Kalogirou
4. Li and Hu
5. Hopke
6 . Gross Domestic Product (GDP)

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

منابع انرژی تجدیدپذیر در مقایسه با سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای، می‌توانند بدون محدودیت و با حداقل اثرات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرند و جایگزینی سوخت‌های فسیلی با آن‌ها می‌تواند در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تخریب محیط زیست مؤثر باشد. مزایای زیست محیطی فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، تا حدود زیادی شناخته شده‌اند ولی سهم و اهمیت آن‌ها در تأمین امنیت انرژی کمتر شناخته شده است. بدون تردید یکی از اصلی‌ترین مؤلفه‌های امنیت ملی در تمام کشورها، دسترسی به انرژی مورد نیاز است و تأمین انرژی از ملزومات امنیت پایدار و توسعه در هر کشور می‌باشد (آژانس بین‌المللی انرژی[1]، ۲۰۱۳).

امنیت انرژی ارتباط بین امنیت ملی و در دسترس بودن منابع برای مصرف انرژی است. انرژی به عنوان سوخت و توان محرک نظام اقتصادی، نقش حیاتی در امنیت ملی هر کشوری دارد و دسترسی ارزان به آن از عوامل ضروری اقتصادهای پیشرفته امروزی است. به طور کلی امنیت انرژی به در دسترس بودن مقدار کافی و قابل اطمینان از عرضه انرژی برای جوابگویی تقاضا تعریف می‌گردد. امروزه به وجود آمدن هرگونه اشکالی در سامانه عرضه انرژی، اختلال و آسیب‌های شدیدی را در تمام بخش‌های اقتصادی و اجتماعی بر جای خواهد گذاشت.

یکی از معایب منابع انرژی فسیلی و متداول، توزیع نایکنواخت نیروگاه‌های فسیلی و قرار گرفتن در محدوده خاص است. این توزیع غیریکنواخت انرژی فسیلی، در حالی که به منابع انرژی در جغرافیای گسترده‌تری نیاز است، موجب آسیب‌پذیری به امنیت ملی کشورها می‌شود. از طرف دیگر، تولید انرژی در نیروگاه‌های متمرکز با ظرفیت‌های بسیار بزرگ نیز با امنیت پایدار تأمین انرژی همخوانی ندارد. در این موارد، آسیب دیدن یک نیروگاه برق اصلی موجب قطع برق در منطقه وسیعی می‌شود که خسارات جبران‌ناپذیری به همراه دارد. در جنگ‌ها نیز، نیروگاه‌ها از مهم‌ترین و اولین اهداف حمله می‌باشند. به همین دلیل کشورهای مختلف، تنوع‌بخشی به منابع انرژی و توزیع مناسب منابع تولید انرژی را جزء اصلی‌ترین راهبردهای خود قرار می‌دهند تا از وابستگی به یک یا

1. International Energy Agency

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

دو نوع انرژی و واحدهای متمرکز تولیدکننده حامل‌های انرژی، به شدت احتراز کرده و آسیب‌پذیری خود را به حداقل ممکن کاهش دهند (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۱۳).

در کل، ناپایداری و اختلافات سیاسی کشورهای تولیدکننده انرژی، اقدامات و برنامه‌های تأمین‌کنندگان انرژی، رقابت بین منابع انرژی، حمله به زیرساخت‌های انرژی، حوادث و بلاهای طبیعی و اقدامات تروریستی از عوامل کلی هستند که امنیت انرژی و ملی را تهدید می‌کنند. مسئله امنیت انرژی و مقابله با بحران انرژی برای کشور ایران با توجه به شرایط راهبردی جغرافیایی و سیاسی منطقه بسیار مهم است. حمله جنگنده‌های عراقی به نیروگاه‌های مختلف کشور در دوران جنگ تحمیلی، سرمای شدید و قطع جریان سوخت نیروگاه‌ها در زمستان سال ۱۳۸۶، قطع واردات گاز از ترکمنستان و خروج ۵۰۰۰ مگاوات از ظرفیت نیروگاه‌های برقابی از مدار به دلیل خشک‌سالی در تابستان سال ۱۳۸۸ را می‌توان به عنوان نمونه‌هایی از بحران انرژی در کشور مطرح کرد. این در حالی است که قطع سود ناشی از خاموشی برق، صد برابر هزینه تولید آن است (موحد و امینی، ۱۳۸۲).

بنابراین در کشورهایی که منابع فسیلی و متداول بخش وسیعی از نیازها را به تنهایی تأمین می‌کنند، آسیب‌پذیری امنیت انرژی افزایش می‌یابد. اما منابع انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشید، باد، زیست‌توده در محدوده وسیعی پراکنده شده‌اند و امکان تولید انرژی در محل مصرف و به صورت بومی وجود دارد. پراکنش انرژی‌های تجدیدپذیر و امکان تولید انرژی به صورت بومی موجب کاهش آسیب‌پذیری امنیت انرژی می‌شود. این نوع از انرژی می‌تواند در بالا بردن امنیت انرژی در تولید انرژی الکتریسیته، تأمین گرما و حمل‌ونقل مؤثر باشد. در کل توسعه سریع انرژی‌های تجدیدپذیر، افزایش بازده استفاده از انرژی و تنوع فناوری منابع انرژی، موجب افزایش امنیت انرژی و برخورداری از مزایای اقتصادی می‌شود.

همان‌طور که بیان شد کشور ایران به شدت به سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های متمرکز وابسته است. وجود نیروگاه‌ها و سدهای بزرگ و متمرکز در کشور آسیب‌پذیری را بیشتر می‌کند. در سال‌های اخیر اقدامات مناسبی در جهت توزیع نیروگاه‌ها و پدافند غیرعامل در زمینه امنیت انرژی در کشور صورت گرفته است ولی در زمینه انرژی تجدیدپذیر اقدامات قابل ملاحظه‌ای انجام نشده است. از این

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

رو در این مطالعه، به بررسی پتانسیل تولید برق خورشیدی و پراکنش جغرافیایی آن در جهت افزایش امنیت انرژی در شهرستان اهواز با ملاحظات زیست محیطی و جغرافیایی پرداخته می‌شود.

استان خوزستان با وجود منابع فراوان انرژی فسیلی، از نظر منابع انرژی تجدیدپذیر نیز بسیار غنی می‌باشد که می توانند در کاهش وابستگی به انرژی فسیلی، آلودگی محیط زیست، تولید انرژی در محل مصرف، کاهش هدر رفت انرژی و افزایش انعطاف‌پذیری در مقابل تهدیدات و افزایش امنیت انرژی و ملی بسیار مؤثر باشد. انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین منابع تجدیدپذیر انرژی در استان خوزستان است و این استان توانایی تبدیل شدن به قطب تولید انرژی خورشیدی در سطح منطقه‌ای و حتی جهانی را دارد (ملکی و همکاران[1]، ۲۰۱۲). شهرستان اهواز از نظر جغرافیایی تقریباً در نقطه مرکزی استان خوزستان واقع شده است و بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهرستان این استان است. همچنین بیشتر مراکز تولیدی و صنعتی استان در این شهرستان قرار دارند.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

شهرستان اهواز یکی از بزرگ‌ترین شهرستان‌های ایران است که در استان خوزستان قرار گرفته و مرکز آن شهر اهواز است. بر اساس میانگین بارندگی و دما، شهرستان اهواز در گروه اقلیم گرم و خشک قرار دارد. میزان بارندگی سالانه اهواز به طور متوسط ۲۱۳ میلی‌متر است. شهرستان اهواز مرکز سیاسی، اداری و تجاری استان خوزستان است. در قسمت‌های شمالی و مرکزی شهرستان جلگه‌ای هموار و نسبتاً حاصلخیز قرار دارد. در حاشیه‌های شرقی و غربی شهرستان نیز تپه‌های ماسه‌ای و شنی قرار دارند که جهت آن‌ها به موازات ارتفاعات زاگرس جنوبی و از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق امتداد یافته‌اند. در بخش جنوبی و جنوب شرقی شهرستان جلگه خشک و

1. Maleki et al.

Archive of SID

www.SID.ir

بی‌حاصل قرار دارد که دارای منابع عظیمی از نفت و گاز است. بیشترین وسعت بیابان‌های استان در این شهرستان قرار دارد که می‌توانند جهت تولید انرژی برق خورشیدی مورد استفاده قرار گیرند.

۲-۲. داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از نقشه‌های کاربری اراضی، مناطق حفاظت شده، جاده‌ها و راه‌های ارتباطی، شهرها، روستاها، مناطق مسکونی و سازه‌های انسانی، پوشش زمین، مناطق سیل‌گیر و در معرض خطر سیل، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، بیابان‌ها به صورت برداری[1] و نقشه مدل رقومی زمین (DTM[2]) به صورت رستری[3] با دقت ۱۰ متر استفاده گردید. مدل رقومی زمین، مدل سه بعدی از سطح زمین بوده و حاوی داده‌های X، Y و Z سطح یک منطقه می‌باشند. ارتفاع در این مدل‌ها تنها ارتفاع سطح زمین نیست، بلکه سایر عوارض زمین مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و خط الرأس‌ها و مرزها نیز در این مدل‌ها لحاظ شده‌اند. در واقع DTMها نوعی مدل ارتفاعی رقومی (DEM[4]) هستند که به طور خاص نمایشگر المان‌هایی چون خطوط شکست نیز می‌باشند. بدین وسیله DTMها مدل واقعی‌تری از سطح ظاهری زمین می‌باشند.

برای محاسبه پتانسیل انرژی خورشیدی از نقشه پتانسیل انرژی خورشیدی حاصل از مطالعه عساکره و همکاران (۱۳۹۵) استفاده شد که بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده طولانی‌مدت ایستگاه‌های مختلف کشور و سازمان فضایی آمریکا (ناسا)، با روش درون‌یابی کریجینگ[5] در محیط GIS تهیه شده است.

1. Vector
2 . Digital Terrain Model
3. Raster
4 . Digital Elevation Model
5 . Kriging

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

۲-۳. تعیین مکان مناسب نیروگاه برق خورشیدی

روشن است که برای توسعه و احداث تأسیسات خورشیدی عوامل و معیارهای متعددی باید در نظر گرفته شوند. برخی از این عوامل و معیارها جنبه مثبت و برخی دیگر جنبه منفی و محدودکننده دارند. در بسیاری از موارد این عوامل و معیارها، با یکدیگر در تضاد هستند و یا مقیاس سنجش آن‌ها متفاوت است. معمولاً تصمیم‌گیری در این گونه مسائل مشکل است و بهبود یک شاخص در بسیاری از موارد موجب کاهش و تنزل شاخص دیگر می‌شود و یا به دلیل مقیاس سنجش و ماهیت مختلف شاخص‌ها (کمی، کیفی، مثبت، منفی و ...) امکان بررسی همزمان آن‌ها با روش‌های معمول وجود ندارد.

اندازه‌گیری بسیاری از این شاخص‌ها از طریق قضاوت انسانی ممکن است. در واقع تصمیم‌گیری‌های دقیق مرتبط با شاخص‌هایی که با قضاوت انسانی سنجیده می‌شوند، بسیار مشکل است. در این بین روش‌های ارزیابی چند معیاره به عنوان سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری جهت کمک به تصمیم‌گیران برای پیدا کردن راه‌حل مسائلی که دارای چندین هدف و معیار با ماهیت و مقیاس‌های متفاوت هستند، توسعه یافته‌اند. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1]) که اولین بار توسط توماس الساعتی[2] در ۱۹۸۰ مطرح شد، یکی از کارآمدترین این روش‌ها است که بر اساس مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده و امکان بررسی انتخاب‌های مختلف را به مدیران می‌دهد.

این فرآیند، با روشی مشابه با آنچه در مغز انسان انجام می‌شود، به تجزیه و تحلیل مسائل می‌پردازد. برقراری ترجیحات از طریق مقایسه زوجی و ارتباط هدف اصلی موجود در مسئله با معیارها و گزینه‌ها، به صورت سلسله مراتبی صورت می‌پذیرد. این روش با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، آن‌ها را به شکلی ساده تبدیل کرده، سپس به حل این مسائل می‌پردازد (قدسی‌پور، ۱۳۸۷). با این وجود روش تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از اعداد صریح، با وجود استفاده از دانش متخصصان، هنوز به طور کامل نمی‌تواند تفکر و اندیشه بشر را نشان دهد. این در صورتی است که استفاده از تحلیل سلسله مراتبی با اعداد فازی به دلیل ماهیت ارزش فاصله‌شان نسبت به اعداد ساده،

1. Analytical Hierarchy Process-AHP
2. Saaty

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

می‌تواند تفکر بشری را بهتر منعکس نماید. از این رو تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP[1]) که گسترش روش تحلیل سلسله مراتبی است، برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره توسعه یافته است. این روش در پژوهش‌های مختلف در زمینه انرژی نیز استفاده شده است (یونایونگ و همکاران[2]، ۲۰۱۰؛ لی[3]، ۲۰۱۰؛ کنگپل و همکاران[4]،۲۰۱۳).

اطلس تابش خورشیدی، تنها وضعیت انرژی نظری خورشیدی رسیده به سطح زمین در مکان‌های مختلف را نشان می‌دهد. عوامل و معیارهای مختلفی بر امکان بهره‌برداری از این انرژی زمین مؤثر هستند. در مطالعات بررسی نقاط مناسب برای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی رسیده به سطح زمین، عوامل و محدودیت‌هایی همانند محدودیت‌های جغرافیایی، زیست محیطی، انسانی، فنی و ساختاری بسیار مؤثر هستند. بنابراین استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، برای بررسی این محدودیت‌ها ضروری می‌شود (کبک و دایدورین[5]، ۲۰۱۴؛ نایجیم و همکاران[6]، ۲۰۰۴؛ سانچز لوزانو و همکاران[7]، ۲۰۱۴؛ پوهکر و راماچاندرن[8]، ۲۰۰۴).

در این مطالعه علاوه بر استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی، جهت مقایسه و وزن‌دهی نسبی عوامل جغرافیایی، انسانی، زیست محیطی و طبیعی، از منطق فازی نیز برای امتیازدهی به مناطق مختلف، برای مطالعه میزان تناسب آن مناطق برای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی استفاده شد. به عنوان مثال جهت استفاده از انرژی خورشیدی، علاوه بر میزان شدت تابش آفتاب، کاربری فعلی اراضی نیز نقش اساسی دارد. جهت تعیین اینکه چه نوع اراضی و کاربری و با چه درجه‌ای مناسب استفاده به عنوان مزارع خورشیدی هستند، از منطق فازی و سامانه خبره استفاده گردید. در مطالعات صورت گرفته برای تعیین مناسب‌ترین مکان برای سایت انرژی خورشیدی در نقاط مختلف جهان،

1 . Fuzzy Analytical Hierarchy Process
2. Eunnyeong et al.
3. Lee
4. Kengpol et al.
5. Kabak and Dağdeviren
6. Nigim et al.
7. Sánchez-Lozano et al.
8. Pohekar and Ramachandran

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

روش‌های مختلفی استفاده شده است. روش اول، استفاده از ارزش صفر و یک است. در این روش، ارزش مکان‌های قابل استفاده و غیرقابل استفاده، به ترتیب برابر با یک و صفر در نظر گرفته می‌شود. واضح است که در این روش اراضی به دو دسته با مرز مشخص تقسیم می‌شوند و اراضی بینابینی با میزان تناسب کم، متوسط، زیاد و ... وجود ندارند. اراضی که ارزش یک دارند همگی دارای یک تناسب خواهند بود که عملاً با واقعیت مطابق نیست (شرت و همکاران[1]، ۲۰۰۹؛ پاینگپورن پایتک و تیا[2]، ۲۰۱۱؛ آرنت و زبل[3]، ۲۰۱۱؛ داله و همکاران[4]، ۲۰۰۸؛ بابن و پری[5]، ۲۰۰۱).

برای رفع این مشکل در برخی از مطالعات از روش چند ارزشی استفاده شده است. در این روش، اراضی، به جای تقسیم به دو دسته مناسب و نامناسب، به دسته‌هایی با ارزش‌های مختلف تقسیم می‌شوند. با وجود رفع مشکل تقسیم‌بندی صفر و یک در این روش، مشکل یکسان بودن اهمیت در داخل هر دسته و غیرقابل انعطاف بودن مرز بین دسته‌ها همچنان باقی است (NREL، ۲۰۰۳؛ سانچز لوزانو و همکاران، ۲۰۱۴؛ رامده و همکاران[6]، ۲۰۱۳؛ بروار و همکاران[7]، ۲۰۱۵).

در برخی دیگر از مطالعات، از روش ارزش گذاری پیوسته که نواقص روش‌های قبلی را رفع می‌کند، استفاده شده است. در این روش که همان روش منطق فازی است، جهت ارزش‌گذاری میزان تناسب اراضی، از توابع عضویت استفاده می‌شود (در برخی مطالعات، از تلفیقی از چند روش نیز استفاده شده است). در روش فازی، به اراضی از نظر شاخص‌های مختلف براساس تابع عضویت آن شاخص ارزشی بین صفر تا یک اختصاص داده می‌شود که ارزش صفر غیرقابل استفاده بودن را نشان می‌دهد و با افزایش ارزش، تناسب نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد تا به یک برسد که

1. Short et al.
2. Phuangpornpitak and Tia
3. Arnette and Zobel
4. Dahle et al.
5. Baban and Parry
6. Ramde et al
7. Brewer et al.

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

مناسب‌ترین حالت یا بدون هیچ گونه محدودیت برای استفاده جهت احداث مزارع خورشیدی، خواهد بود (آیدین[1]، ۲۰۰۹؛ چرابی و گاستی[2]، ۲۰۱۱؛ جنک[3]،۱۹۹۶؛ واتسون و هادسون[4]، ۲۰۱۵).

۲-٤. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

روش‌های مختلفی برای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی ارائه شده است. روش تجزیه و تحلیل گسترش یافته[5] که در سال ۱۹۹۶ توسط چانگ[6] ارائه شد به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش از اعداد فازی مثلثی استفاده می‌شود. اگر $A=(a_{ij})_{n\times m}$، ماتریس مقایسه‌های زوجی فازی به ابعاد $n\times m$ باشد و $M_{ij}=(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ یک عدد مثلثی فازی باشد، مراحل محاسبه وزن‌های نسبی با استفاده از FAHP به روش چانگ به صورت زیر است:

قدم اول: انجام مقایسات دو به دو صفات با استفاده از اعداد فازی در هر سطح از سلسله مراتبی

قدم دوم: محاسبه ارزش گسترش مصنوعی فازی با توجه به شی iام که برابر است با:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{ij} \times \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{ij}\right]^{-1}$$
$$s.t$$
$$\sum_{j=1}^{m} M_{ij} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_{ij},\ \sum_{j=1}^{m} m_{ij},\ \sum_{j=1}^{m} u_{ij},\right)\ for\ i = 1, 2, \dots, n$$
$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{ij} = \left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} l_{ij,}\ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} m_{ij,}\ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} u_{ij,}\right)$$
$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{ij}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} u_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} m_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} l_{ij}}\right) \quad (۱)$$

قدم سوم: مقایسه مقادیر S_i به ترتیب و محاسبه درجه امکان $S_j=(l_j, m_j, u_j)\geq S_i=(l_i, m_i, u_i)$ که از رابطه ۲ به دست می‌آید.

1. Aydin
2. Charabi and Gastil
3. Janke
4. Watson and Hudson
5. Extend Analysis Method (EAM)
6. Chang

Archive of SID

www.SID.ir

$$V(S_j \geq S_i) = height\,(S_i \cap S_j) = u_{S_j}(d) = \begin{cases} 1\ if\ m_j \geq m_i \\ 0\ if\ l_i \geq u_j \\ \dfrac{l_i - u_j}{(m_j - u_j) - (m_i - l_i)} \end{cases}$$ در غیر اینصورت

(۲)

که d عرض بالاترین نقطه تقاطع بین u_{Si} و u_{Sj} می‌باشد.

قدم چهارم: محاسبه حداقل درجه امکان d(i) برای $V(S_j \geq S_i)$ (i j=1,2,3,…,k):

$$V(S \geq S1, S2, \ldots, Sk) = V[(S \geq S1) \text{ and } (S \geq S2) \text{ and} \ldots (S \geq Sk)] = \text{Min } V(S \geq Si),$$
For i=1,2,3,…,k (۳)

فرض بر این که $d(A_i) = \min V(S_i \geq S_k)$ for k =1, 2, ..., n و سپس بردار وزن تعریف می‌شود:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \ldots, d'(A_n))^T \quad (۴)$$

که A_i(i=1,2,3,…,n) دارای n جزء است.

قدم پنجم: استاندارد کردن بردار وزن‌ها بر اساس:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \ldots, d(A_n))^T \quad (۵)$$

که W عدد فازی نیست.

۲-۵. شاخص‌های انتخاب مکان مناسب

همان‌طور که بیان شد برای توسعه تأسیسات خورشیدی عوامل متعددی باید در نظر گرفته شوند. برای ساده‌تر کردن بررسی عوامل و پرهیز از محاسبات زیاد، معیارها، بر اساس مطالعات صورت گرفته در سه دسته پتانسیل انرژی خورشیدی، محدودیت‌ها و دسترسی به خطوط حمل‌ونقل قرار داده شدند و سپس نقشه ارزش عضویت فازی شهرستان اهواز بر اساس این سه دسته در محیط GIS به صورت رستری در سه لایه با دقت ۵۰ در ۵۰ متر تهیه گردید.

۲-۶. لایه پتانسیل انرژی خورشیدی

از آنجایی که شدت تابش آفتاب مشخص کننده مقدار انرژی است که می‌تواند به برق و انرژی قابل استفاده تبدیل شود، بنابراین مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده در استفاده از انرژی خورشید است. در

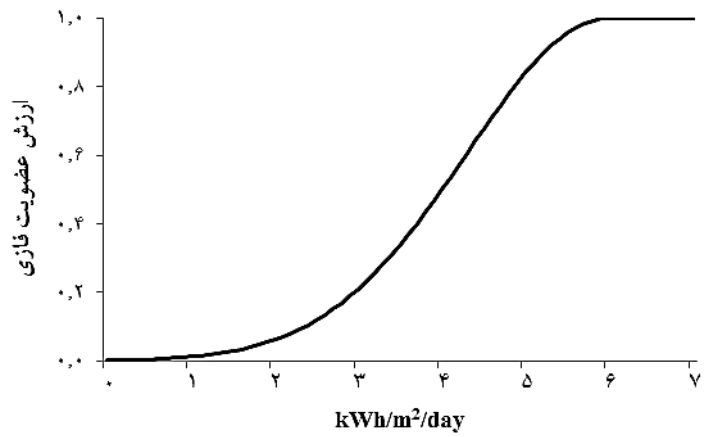
Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

این مطالعه، بر اساس سطح‌بندی انرژی خورشید توسط آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر آمریکا و نظر کارشناسان و بررسی مطالعات گذشته (هات و همکاران[1]، ۲۰۱۲؛ لی[2]، ۲۰۱۳؛ آیدین، ۲۰۰۹؛ چرابی و گاستی، ۲۰۱۱؛ سانچز لوزانو و همکاران، ۲۰۱۴؛ آرنت و زبل، ۲۰۱۱؛ واتسون و هادسون، ۲۰۱۵، بروار و همکاران، ۲۰۱۵) و شرایط منطقه، جهت محاسبه ارزش عضویت فازی پتانسیل انرژی خورشید، از تابع عضویت فازی گوسی (نمودار ۱) استفاده گردید. در این تابع با افزایش شدت تابش خورشید ارزش عضویت فازی نیز افزایش می‌یابد و در نقطه متناظر با شدت تابش سالیانه ۶ کیلووات ساعت بر مترمربع، به بیشینه مقدار خود (ارزش یک) می‌رسد. در این تابع، ارزش عضویت فازی متناظر با شدت تابش سالیانه ۴ کیلووات ساعت بر مترمربع، برابر با ۰/۵ است.



نمودار ۱. تابع عضویت فازی پتانسیل انرژی خورشیدی

1. Hott et al.
2. Li

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

۲-۷. لایه محدودیت

لایه محدودیت شامل مناطق مسکونی و زیرساخت‌ها، اراضی کشاورزی، مناطق حساس، رودخانه‌ها و باتلاق‌ها، جاده‌ها، جنگل‌های دست کاشت، بیشه‌زارها، نیزارها و عوارض زمین (شیب زیاد زمین) می‌باشد که امکان استفاده از انرژی خورشیدی در آن‌ها وجود ندارد. روشن است که به طور مثال در مناطق مسکونی، رودخانه یا باتلاق نمی‌توان مزرعه خورشیدی ساخت و یا ساخت آن اقتصادی نمی‌باشد. تابع عضویت فازی برای هر یک از محدودیت‌ها، بر اساس نظر کارشناسان، مطالعات گذشته و حداقل فاصله قابل اطمینان تهیه شد و نقشه شهرستان اهواز از نظر قابلیت استفاده جهت انرژی خورشیدی برای هر یک از محدودیت‌ها به صورت مجزا در محیط GIS به صورت رستری تهیه گردید. هر نقشه دارای ارزش بین صفر و یک است که صفر نشان‌دهنده غیرقابل استفاده بودن و محدودیت کامل آن مکان و ارزش یک بدون محدودیت و ایده‌آل بودن آن مکان جهت احداث نیروگاه برق خورشیدی را نشان می‌دهد.

مراتع یکی از انواع مهم اراضی در شهرستان اهواز هستند. مراتع این شهرستان به سه گروه مراتع کم تراکم، نیمه متراکم و متراکم تقسیم‌بندی شده و ارزش عضویت فازی این سه گروه جهت احداث مزارع خورشیدی، به ترتیب یک، ۰/۵ و صفر در نظر گرفته شد. این ارزش‌گذاری بر اساس نظر کارشناسان و تحقیقات صورت گرفته در مناطق مختلف صورت پذیرفت (چرابی و گاستی، ۲۰۱۱؛ سانچز لوزانو و همکاران، ۲۰۱۴؛ آرنت و زبل، ۲۰۱۱). تپه‌های ماسه‌ای روان به دلیل شرایط نامناسب جهت احداث زیرساخت‌ها، به عنوان مناطق با محدودیت کامل در نظر گرفته شدند. در تحقیقی که در کشور عمان صورت گرفته است، تپه‌های ماسه‌ای به عنوان مناطق غیرقابل بهره‌برداری جهت احداث مزارع خورشیدی معرفی شده‌اند (چرابی و گاستی، ۲۰۱۱).

یکی دیگر از محدودیت‌ها، جاده‌ها و راه‌آهن می‌باشد. بر اساس قوانین کشور، ایجاد هر نوع ساخت‌وساز در حریم راه‌ها و جاده‌ها (که بسته به نوع جاده یا راه‌آهن، فاصله‌ای از محور مرکزی تا یک فاصله معینی است) ممنوع است. روشن است که سامانه‌های خورشیدی را نمی‌توان در حریم جاده‌ها نصب کرد. انواع بزرگراه‌ها، راه‌های اصلی، فرعی و روستایی در استان خوزستان وجود دارد.

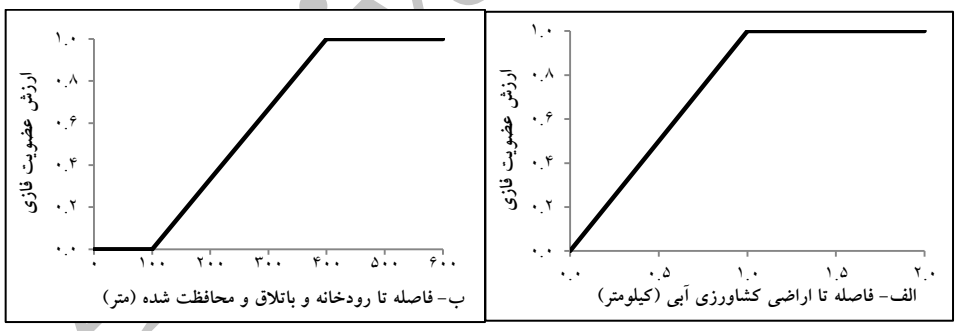
Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

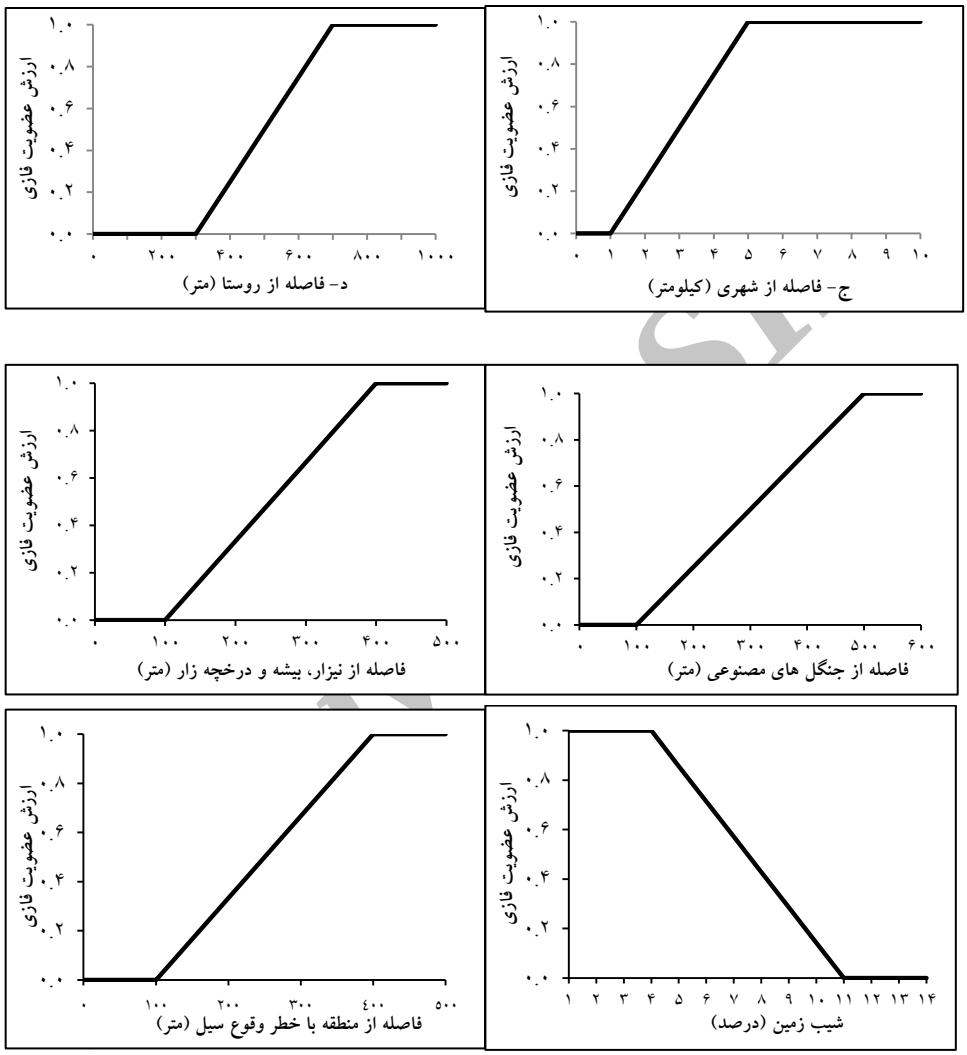
بنابراین بر اساس نظر کارشناسان، بسته به نوع راه علاوه بر حریم راه ۱۰۰ متر نیز به عنوان محدوده بافر، به عنوان مناطق غیرقابل استفاده در نظر گرفته شد.

از عوامل دیگری که در انتخاب مکان مناسب برای انرژی خورشیدی نقش بسزایی دارد، شیب زمین می‌باشد (براوو و همکاران[1]، ۲۰۰۷؛ کرین و همکاران[2]، ۲۰۰۸). انتخاب مکان مناسب برای نیروگاه خورشیدی، بستگی زیادی به شیب زمین دارد. هرچه شیب زمین کمتر باشد، نصب سامانه‌های انرژی خورشیدی و ایجاد زیرساخت‌ها راحت‌تر و بهتر است و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین مزارع خورشیدی نباید در مناطق سیل‌گیر و جاهایی که در معرض وقوع سیل هستند، احداث شوند. نیروگاه‌های خورشیدی باید در فاصله مطمئنی از مناطق در معرض خطر سیل احداث شوند. در کل مناطق مناسب برای استفاده از انرژی خورشیدی شامل مناطق بدون پوشش گیاهی و زیرساخت‌ها و تأسیسات انسانی می‌باشد. بر اساس مطالعات صورت گرفته و نظر کارشناسان، توابع عضویت فازی از نظر انواع مختلف کاربری اراضی و پوشش زمین تهیه گردید که در نمودار(۲) نشان داده شده‌اند.



1. Bravo et al.
2. Carrion et al.

www.SID.ir



نمودار ۲. توابع عضویت فازی محدودیت‌های مکانی استفاده از انرژی خورشیدی

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

در نهایت جهت تهیه لایه نهایی محدودیت، لایه‌های انواع محدودیت‌ها در هم ضرب شدند. در نتیجه ضرب عوامل در یکدیگر، مکانی که از نظر یک عامل دارای مقدار صفر است در لایه نهایی نیز دارای مقدار صفر خواهد بود و مکانی که از نظر همه عوامل دارای ارزش یک است در لایه نهایی نیز مقدار یک خواهد داشت.

۲-۸. لایه دسترسی به خطوط حمل‌ونقل

یکی از معیارهای مهم برای انتخاب مکان مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی، نزدیکی به جاده و خطوط ارتباطی است (جنک، ۱۹۹۶؛ آرنت و زبل، ۲۰۱۱؛ چرابی و گاستی، ۲۰۱۱). نزدیکی به جاده نصب و ساخت نیروگاه خورشیدی متصل به شبکه را آسان می‌کند. با نزدیکی به جاده، هزینه حمل‌ونقل و زیرساخت‌ها و تخریب محیط زیست نیز کاهش می‌یابد (هنگ و همکاران[1]، ۲۰۰۸؛ چرابی و گاستی، ۲۰۱۱).

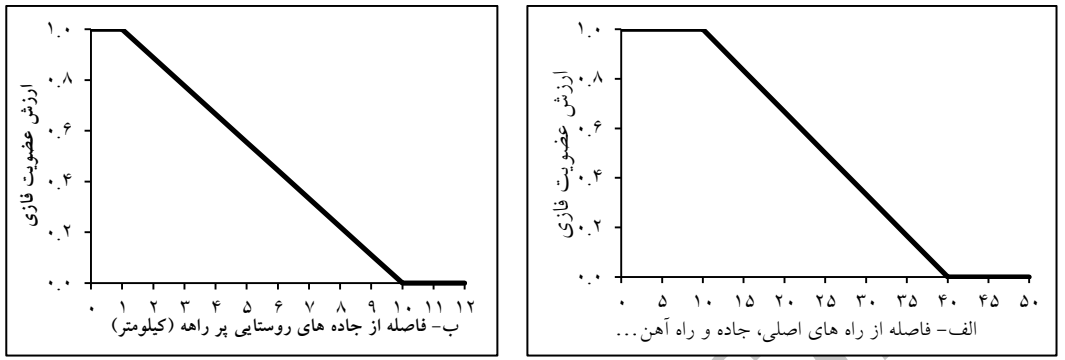
کمترین فاصله ممکن از راه‌های ارتباطی یکی از اهداف فرآیند تعیین مکان مناسب محل مزارع خورشیدی است. به دلیل وجود ویژگی‌های متفاوت در هر منطقه، در پژوهش‌های مختلف، فواصل مختلفی برای این منظور بیان شده است. توابع عضویت فازی دسترسی به جاده و راه‌آهن، با توجه به پژوهش‌های انجام شده (EPA، ۲۰۱۰؛ انون[2]، ۲۰۰۳؛ بابن و پری، ۲۰۰۱؛ سانچز لوزانو و همکاران، ۲۰۱۴؛ عساکره و همکاران[3]، ۲۰۱۴؛ جنک، ۱۹۹۶؛ چرابی و گاستی، ۲۰۱۱؛ واتسون و هادسون، ۲۰۱۵؛ بروار و همکاران، ۲۰۱۵)، شرایط شهرستان و نظر کارشناسان، تعیین گردیدند (نمودار ۳).

در ابتدا یک نقشه رستری از جاده‌ها و راه‌های ارتباطی با دقت ۵۰ متر در ۵۰ متر با استفاده از فاصله خط مستقیم، در محیط ArcGIS تهیه گردید. مقدار هر سلول در این نقشه، فاصله از جاده را نشان می‌دهد. سپس با استفاده از توابع عضویت فازی، نقشه ارزش عضویت مکانی شهرستان اهواز از نظر دسترسی به خطوط حمل‌ونقل در محیط GIS تهیه گردید.

1. Hang et al.
2. Anon
3. Asakereh et al.

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار ۳. توابع عضویت فازی دسترسی به جاده و خطوط ارتباطی جهت احداث مزارع خورشیدی

۲-۹. مقایسه زوجی معیارهای انتخاب مکان مناسب جهت مزارع خورشیدی

وزن‌هایی که اهمیت نسبی یک معیار را نسبت به معیار دیگر بیان می‌کنند، بیشتر توسط سرمایه‌گذاران، متخصصان، مدیران یا گروه‌های مرتبط با فرآیند تصمیم‌گیری، مشخص می‌گردند (جنک، ۱۹۹۶). برای انتخاب بهترین مکان برای مزارع خورشیدی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، سه لایه محدودیت‌ها، پتانسیل انرژی خورشیدی و دسترسی به جاده و خطوط ارتباطی، با استفاده از اعداد فازی مثلثی با هم مقایسه گردیدند. مقایسه‌ها بر اساس نظر کارشناسان و پژوهش‌های انجام شده (جنک، ۱۹۹۶؛ چرابی و گاستی، ۲۰۱۱؛ لی، ۲۰۱۳؛ آرنت و زُبل، ۲۰۱۱) صورت گرفت و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به روش چانگ، شهرستان اهواز جهت احداث نیروگاه خورشیدی ارزش‌گذاری گردید.

۲-۱۰. پتانسیل جغرافیایی تولید برق خورشیدی

پتانسیل سالیانه تولید برق برای منطقه انتخاب شده را می‌توان بر اساس میانگین سالیانه تابش خورشید بر واحد سطح، مساحت در دسترس و بازده سامانه تبدیل انرژی خورشیدی محاسبه نمود. از

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive of SID

www.SID.ir

روابط (۶، ۷ و ۸) برای محاسبه پتانسیل سالیانه تولید برق استفاده شد (چرابی و گاستی، ۲۰۱۱؛ برگاماسکو و اسیناری[1]، ۲۰۱۱).

$$GP_i = \sum_{i=1}^{n} A_i \times R_i \times AF \times \eta_{Tot} \quad (۶)$$

$$\eta_{Tot} = \eta_{Mod} \times \eta_{\mathrm{TH}} \times \eta_{AZ} \times \eta_{Inst} \quad (۷)$$

$$\eta_{Inst} = \eta_{Ref} \times \eta_{Dust} \times \eta_{DC} \times \eta_{Inver} \quad (۸)$$

که GP_i، پتانسیل جغرافیایی تولید برق خورشیدی در سلول i در شبکه (نقشه GIS) را نشان می‌دهد. A_i، مساحت هر سلول شبکه (مترمربع)، Ri، میانگین تابش سالیانه خورشید در سلول i (کیلووات‌ساعت بر مترمربع) و AF[2]، عامل سطح است که نشان می‌دهد چه کسری از مساحت محاسبه شده می‌تواند با پنل خورشیدی پوشیده شود و بر اساس بیشترین زمین پوشیده شده و کمترین سایه ایجاد شده، برابر با ۷۰ درصد انتخاب شد (چرابی و گاستی، ۲۰۱۱).

η_{Tot}، بازده کل سامانه تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی برق که شامل بازده مدول فتوولتائیک (η_{Mod})، تغییرات دما (η_{TH})، زوایای قرارگیری مدول فتوولتائیک (η_{AZ}) و اتصال سامانه فتوولتائیک به شبکه و تجهیزات (η_{Inst}) است. بازده اتصال سامانه فتوولتائیک به شبکه و تجهیزات متأثر از بازتابش نور از سطح مدول (η_{Ref})، گرد و خاک (η_{Dust})، پنل DC (η_{DC}) و متناوبساز (η_{Inver}) است. با توجه به قابلیت دسترسی و سلول‌های متداول در داخل کشور، مدول فتوولتائیک با بازده ۱۰ درصد مبنای محاسبات قرار گرفت. مقدار سایر عوامل یاد شده بر اساس مطالعات انجام شده (عساکره و همکاران، ۱۳۹۳؛ برگاماسکو و اسیناری، ۲۰۱۱) مورد بررسی قرار گرفت که در جدول(۱) نشان داده شده‌اند. بازده کل تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریسیته برابر با ۶/۵۶ درصد به دست آمد.

1. Bergamasco & Asinari
2. Area Factor

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

جدول ۱. بازده سامانه تبدیل انرژی خورشیدی به برق

	ηmod	ηTH	ηAZ	ηinst	ηRef	ηDust	ηDC	ηInver	ηTot
بازده	۰/۱۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۱	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۰۶۵۶

مأخذ: نتایج تحقیق.

۳. نتایج و بحث

لایه‌های شاخص‌های احداث نیروگاه برق خورشیدی:

بر اساس میانگین سالیانه تابش خورشید، شهرستان اهواز در حدود ۱۵۵۱۸ تراوات ساعت در سال انرژی خورشیدی دریافت می‌کند. میانگین شدت تابش آفتاب در سال در شهرستان اهواز برابر با ۵/۱۸ کیلووات ساعت در روز بر مترمربع به دست آمد که بر اساس سطح‌بندی تابش آفتاب توسط آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر آمریکا جهت تولید برق، در دسته بسیار خوب قرار دارد. بیشترین مقدار انرژی دریافتی خورشید در ماه‌های گرم سال است که همزمان با بیشترین مصرف برق در شهرستان اهواز و استان خوزستان و مناطق گرمسیر مجاور می‌باشد. انرژی دریافتی زیاد در این ماه‌ها امکان استفاده از آن در جهت تأمین بخشی از برق منطقه و کاهش فشار بر خطوط انتقال برق و کاهش قطعی برق را مهیا می‌سازد. ولی با جود این پتانسیل عظیم، نیروگاه برق فتوولتائیک در استان خوزستان وجود ندارد و تولید برق خورشیدی به صورت ناچیز و در مرحله آزمایشی و تحقیقاتی است.

از دلایل عدم استفاده و توسعه نیروگاه برق خورشیدی می‌توان به هزینه زیاد سامانه فتوولتائیک و سیاست انرژی کشور و وجود انرژی فسیلی ارزان اشاره کرد. فقدان انگیزه کافی در تولید انبوه پنل‌های فتوولتائیک و نبود فناوری آن در جهت کاهش هزینه تولید انبوه از دلایل اصلی عدم توسعه تولید برق خورشیدی است. در حال حاضر در کشور فناوری فتوولتائیک بدون حمایت دولت، غیراقتصادی و قابل رقابت با سوخت‌های فسیلی نمی‌باشد. در این زمینه برنامه‌های تشویقی دولت در راستای تولید برق خورشیدی، حذف یارانه انرژی و کاهش هزینه‌ها و رقابت‌پذیر شدن تولید برق خورشیدی می‌تواند موجب توسعه تولید برق خورشیدی در کشور شود. این عدم توسعه در حالی

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

است که مصرف و تولید برق در کشور در چند سال اخیر افزایش داشته که تأمین آن عمدتاً بر پایه انرژی و سوخت‌های فسیلی بوده است. از سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۳۹۲ تولید برق ناویژه کشور، ۴۷/۳۶ درصد و ظرفیت عملی نیروگاه‌ها، ۶۵/۸۰ درصد افزایش یافته است. از ۲۶۲۴۳۳/۲ گیگاوات ساعت تولید برق ناویژه کشور در سال ۱۳۹۲ تنها ۰/۰۷ گیگاوات برق خورشیدی تولید شده است. تولید ناویژه برق در استان خوزستان در سال ۱۳۹۲ برابر با ۲۹۲۴۵/۷ گیگاوات ساعت بوده که انرژی خورشید سهم چندانی از آن نداشته است (معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۲).

در شهرستان اهواز، به غیر از روستاهای شهرستان‌های مجاور، بیش از ۱۰۹ روستا با جمعیتی بالغ بر ۱۰۴ هزار نفر وجود دارد که با افزایش سطح زندگی در این روستاها، مصرف برق آن‌ها نیز دائماً در حال افزایش است. همچنین پمپاژ آب کشاورزی از رودخانه‌ها و کانال‌های آبرسانی نیز در شهرستان پراکنده شده است که موجب توسعه شبکه برق در سطح وسیعی شده است. این توزیع وسیع علاوه بر هزینه زیاد، موجب افزایش تلفات انتقال و توزیع برق می‌شود. از طرفی یکی از کاربردهای مهم سامانه‌های فتوولتائیک تولید برق در مناطق دورافتاده و در محل مصرف است که می‌تواند در جهت تأمین افزایش برق مصرفی و کاهش تلفات ناشی از انتقال انرژی مؤثر باشد. از مزیت‌های دیگر این سامانه‌ها قابلیت استفاده آن به صورت سامانه ترکیبی (هیبریدی) با موتورهای دیزلی و اتصال به شبکه برق است (کوریا داسیلوا و همکاران[1]، ۲۰۱۶) که می‌تواند گزینه بسیار مناسبی جهت پمپاژ آب باشد. از جنبه‌های مهم دیگر انرژی خورشیدی که کمتر مورد توجه واقع شده، تأمین امنیت انرژی است. انرژی خورشیدی در محدوده وسیعی پراکنده شده است و امکان تولید انرژی در محل مصرف و به صورت بومی وجود دارد. این پراکنش و عدم تمرکز در یک مکان، می‌تواند انعطاف‌پذیری مناسبی ایجاد کرده و منجر به کاهش آسیب‌پذیری امنیت تأمین انرژی شود.

بر اساس تابع عضویت فازی پتانسیل انرژی خورشیدی، نقشه شهرستان اهواز به صورت رستری با ابعاد ۵۰ متر در ۵۰ متر تهیه گردید که مقدار هر سلول ارزش آن مکان را از نظر پتانسیل انرژی

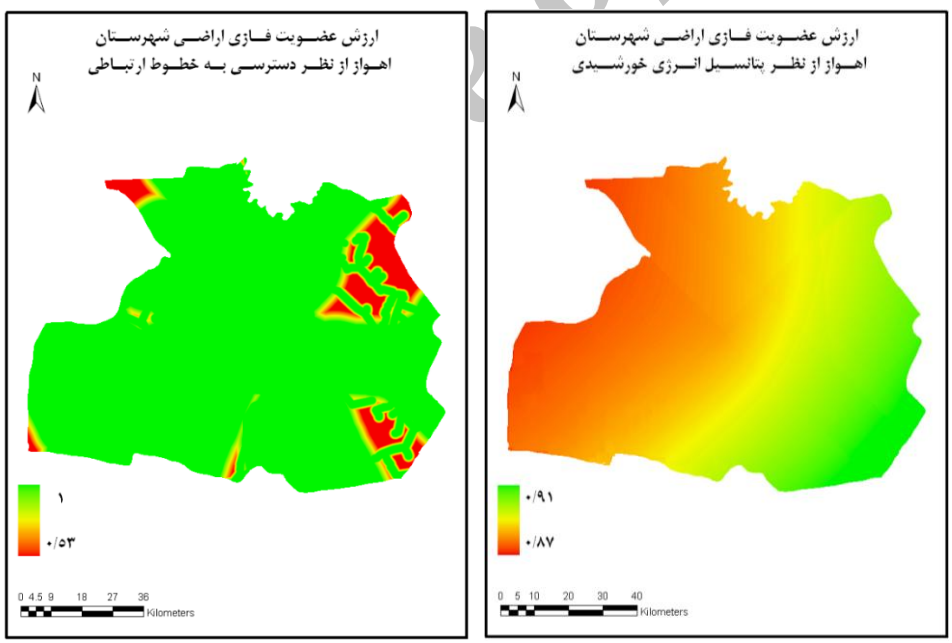
1. Corrêa da Silva et al.

Archive of SID

www.SID.ir

خورشیدی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌گردد به دلیل آب و هوای یکسان و موقعیت جغرافیایی نزدیک به هم در کل شهرستان اهواز، ارزش فازی پتانسیل انرژی خورشیدی در این شهرستان تغییر چندانی نمی‌کند و تنها بین ۰/۸۷ تا ۰/۹۱ تغییر می‌کند. به دلیل تابش مناسب انرژی خورشیدی، کل شهرستان از ارزش عضویت فازی بالایی برخوردار می‌باشد.

ارزش عضویت فازی اراضی شهرستان در دسترسی به جاده و خطوط ارتباطی بر اساس تابع عضویت فازی آن نیز در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اراضی شهرستان از نظر دسترسی به جاده و خطوط حمل‌ونقل دارای شرایط مناسب بوده و بیشتر شهرستان از نظر دسترسی به خطوط حمل‌ونقل، دارای ارزش عضویت فازی بالایی است، به طوری که ۸۸/۸۱ درصد مساحت شهرستان دارای ارزش عضویت یک است.



الف- لایه پتانسیل انرژی خورشیدی ب- لایه دسترسی به خطوط حمل‌ونقل

شکل ۱. لایه‌های ارزش عضویت فازی پتانسیل انرژی خورشیدی و دسترسی به خطوط حمل‌ونقل

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

www.SID.ir

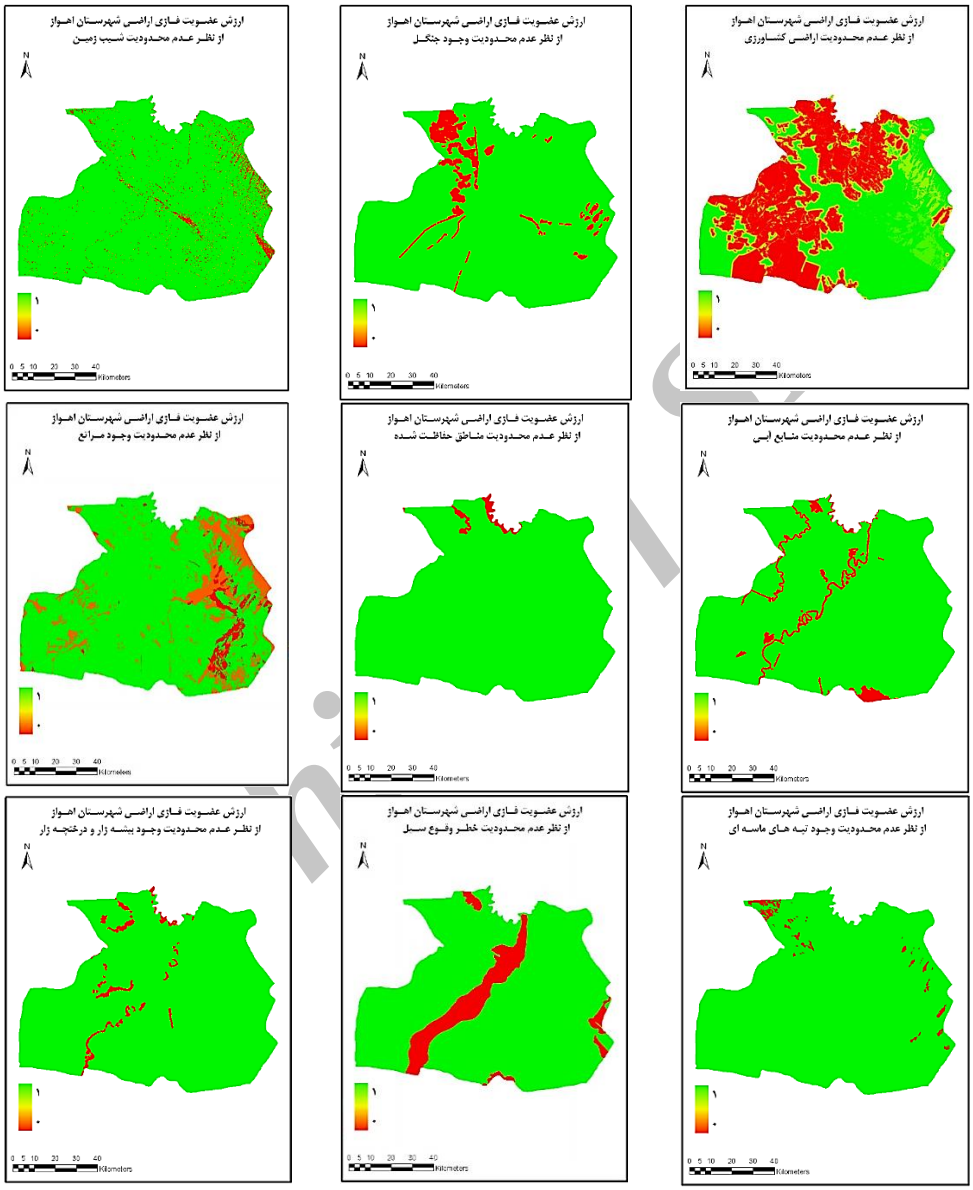
Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

در شکل(۲) لایه‌های فازی محدودیت‌های جغرافیایی، زیست‌محیطی و انسانی برای احداث مزارع خورشیدی در شهرستان اهواز نشان داده شده است. ارزش عضویت فازی این لایه‌ها برای استفاده از انرژی خورشید از صفر تا یک تغییر می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، بسیاری از محدودیت‌ها هم‌پوشانی دارند. اراضی کشاورزی بیشترین محدودیت را ایجاد کرده‌اند. لایه نهایی محدودیت که از حاصل‌ضرب لایه‌های مختلف محدودیت‌ها به دست آمد، ارزش عضویت اراضی شهرستان اهواز را از نظر همه محدودیت‌ها نشان می‌دهد. این لایه نیز دارای ارزش عضویت فازی بین صفر و یک است. عدد صفر نشان‌دهنده این است که مکان مورد نظر، جهت احداث مزارع خورشیدی با محدودیت کامل روبروست و هر چه ارزش عضویت فازی بیشتر و به مقدار یک نزدیک شود، محدودیت استفاده از اراضی جهت احداث مزارع انرژی خورشیدی کاهش می‌یابد، به نحوی که ارزش عضویت فازی یک نشان می‌دهد که هیچ‌گونه محدودیتی جهت احداث نیروگاه خورشیدی وجود ندارد.

با توجه به لایه نهایی محدودیت، حدود ۵۴ درصد از کل اراضی شهرستان اهواز با محدودیت کامل مواجه هست (ارزش عضویت فازی صفر) و حدود ۳۴ درصد از اراضی دارای ارزش عضویت فازی بیش از نیم می‌باشند. اراضی بدون هیچ‌گونه محدودیت با ارزش عضویت فازی برابر با یک، حدود ۱۸ درصد از اراضی شهرستان، یعنی مساحتی بالغ بر ۱۵۱۶ کیلومترمربع را تشکیل می‌دهند. میانگین انرژی سالیانه خورشیدی که به این اراضی می‌رسد برابر با ۲۸۶۷ تراوات ساعت است. با توزیع نیروگاه‌ها در همین سطح از اراضی که از نظر زیست‌محیطی و محدودیت‌های طبیعی مانند سیل بدون هیچ‌گونه محدودیتی هستند، می‌توان از تمرکز تولید برق جلوگیری کرد و تهدیدات و آسیب‌پذیری نیروگاه‌ها را در مقابل تهدیدات طبیعی و انسانی کاهش داد.

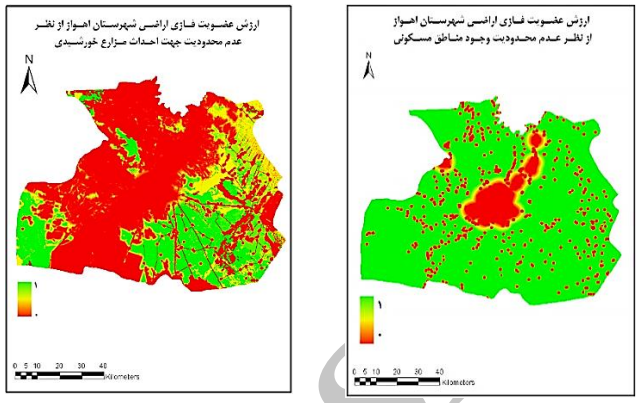
Archive of SID

www.SID.ir



Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

www.SID.ir



شکل ۲. لایه‌های ارزش عضویت فازی محدودیت‌ها

۳-۱. اولویت‌بندی اراضی جهت احداث نیروگاه برق خورشیدی

با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و نظر کارشناسان، سه لایه پتانسیل انرژی خورشیدی، محدودیت و دسترسی به خطوط حمل‌ونقل، به صورت جفتی و با اعداد فازی مثلثی، با هدف تناسب احداث نیروگاه برق خورشیدی مقایسه شدند. سپس بر اساس روش چانگ و مقایسات جفتی، وزن‌های نسبی نهایی سه لایه‌ها محاسبه گردید. لایه پتانسیل انرژی خورشیدی با ۰/۵۳۹، بیشترین وزن و لایه دسترسی به خطوط حمل‌ونقل با وزن نهایی نسبی ۰/۱۷۰، کمترین وزن را به خود اختصاص دادند. وزن نسبی لایه محدودیت‌ها، ۰/۲۹۱ به دست آمد. به طور مشابه در مطالعه چرابی و گاستی (۲۰۱۱) که به مکان‌یابی سایت مزارع خورشیدی در کشور عمان، با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی پرداخته‌اند، بیشترین وزن به ترتیب به پتانسیل تابش خورشیدی، محدودیت‌ها و دسترسی به جاده اختصاص داده شد. کارین و همکاران (۲۰۰۸) نیز جهت انتخاب مکان مناسب برای نیروگاه فتوولتائیک متصل به شبکه، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. بیشترین وزن به شاخص تابش خورشیدی و آب و هوا (۰/۵۸) اختصاص یافت. به شاخص محیطی که شامل کاربری

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

اراضی و جنبه‌های دیداری بود، وزن ۰/۱۲ اختصاص داده شد. در مطالعه دیگری جنک (۱۹۹۶)، به پتانسیل تابش خورشیدی وزنی سه برابر فاصله از جاده و کاربری اراضی اختصاص داده شد.

در مطالعه حاضر پس از به دست آوردن وزن‌های نسبی، در محیط GIS لایه‌ها به صورت رستری بر اساس وزن نهایی نسبی و بر اساس دو سناریو باهم ترکیب شدند (همپوشانی). در سناریوی اول تنها مکان‌هایی که دارای ارزش عضویت فازی بیشتر از صفر (بدون محدودیت کامل) در هر سه لایه بودند انتخاب و در وزن‌دهی و تحلیل سلسله مراتبی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند و به هر مکانی که حداقل در یکی از لایه‌ها دارای ارزش فازی صفر بود، در لایه نهایی تناسب اراضی نیز ارزش نهایی صفر داده شد. در سناریوی دوم، مکان‌هایی که در هر سه لایه دارای ارزش عضویت فازی بیش از ۰/۵ بودند، در تحلیل سلسله مراتبی شرکت داده شدند و به سایر مکان‌ها ارزش صفر داده شد. سپس بر اساس ارزش عضویت فازی به دست آمده، اراضی شهرستان اهواز، جهت تولید برق خورشیدی به پنج قسمت غیرقابل استفاده، با ارزش عضویت فازی صفر؛ ضعیف، با ارزش عضویت فازی ۰/۶ تا ۰/۷؛ متوسط، با ارزش عضویت فازی ۰/۷ تا ۰/۸؛ مناسب، با ارزش عضویت ۰/۸ تا ۰/۹ و عالی، با ارزش عضویت بیش از ۰/۹ تقسیم شدند.

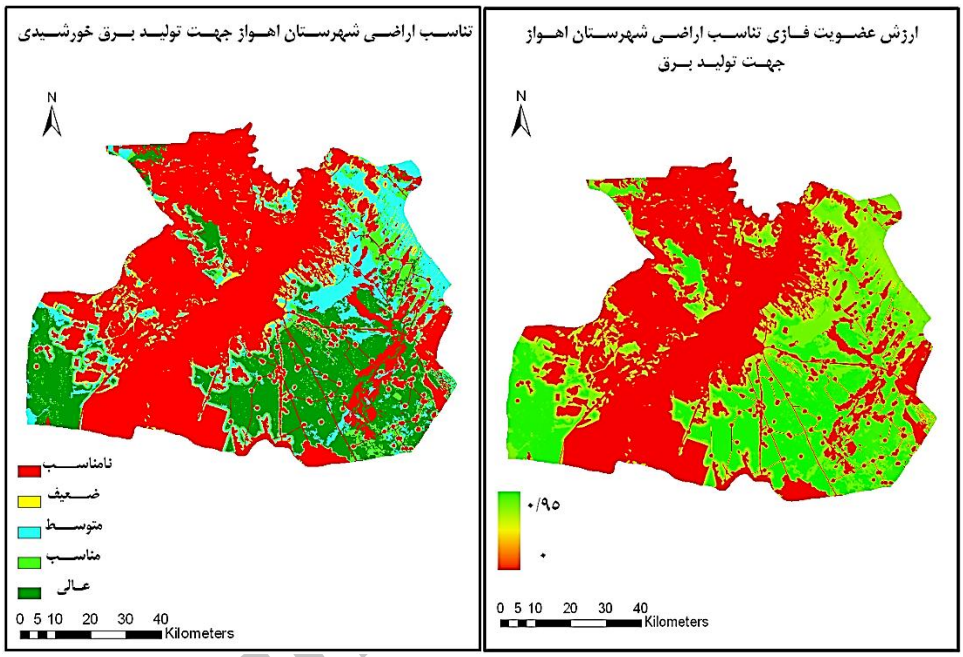
شکل (۳) نقشه ارزش عضویت فازی و تناسب اراضی جهت تولید برق خورشیدی را بر اساس سناریوی اول نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً هم بیان شد در لایه تناسب نهایی، حدود ۵۴ درصد از اراضی به دلیل محدودیت کامل، جهت احداث مزارع خورشیدی قابل استفاده (با ارزش صفر) نمی‌باشند. در تحلیل سلسله مراتبی فازی، به دلیل شرایط مناسب از نظر شدت تابش خورشیدی و دسترسی به خطوط حمل‌ونقل، به سایر اراضی شهرستان اهواز، ارزش عضویت فازی بیشتر از ۰/۶ تعلق گرفت. در واقع ارزش عضویت فازی مناطق قابل استفاده در سناریوی اول جهت تولید برق از ۰/۶ تا ۰/۹۵ به دست آمد که به چهار دسته تقسیم گردیدند (شکل ۳). ناحیه با تناسب ضعیف که دارای ارزش عضویت فازی ۰/۶ تا ۰/۷ است، ۵/۶۵ درصد از مساحت شهرستان را تشکیل می‌دهد. نواحی با تناسب متوسط، مناسب و عالی نیز به ترتیب ۱۲/۶۳، ۵/۸۵ و ۲۱/۲۴ درصد از مساحت

Archive of SID

www.SID.ir

شهرستان را تشکیل می‌دهند. با توجه به انرژی دریافتی از خورشید و بازده سامانه فتوولتائیک، مقدار تولید برق خورشیدی در هر یک از مناطق محاسبه و در جدول ۲ نشان داده شده است.

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017



شکل ۳. نقشه ارزش عضویت فازی تناسب اراضی بر اساس سناریوی اول

نتایج نشان می‌دهد که با فرض بازده ۶/۵۶ درصدی سامانه تبدیل انرژی خورشیدی به برق، تنها از سطح مناطق با تناسب عالی، امکان تولید برقی معادل با تقریبا ۵۸ درصد از کل تولید برق ناویژه کشور در سال ۱۳۹۲ وجود دارد. مصرف برق کل استان خوزستان در سال ۱۳۹۲ برابر با ۲۳۵۶۸/۹ گیگاوات ساعت بوده است که تنها با استفاده از ۱۵/۵۷ درصد از سطح منطقه با تناسب عالی، یعنی تقریبا مساحتی برابر با ۱۲۷۸ کیلومترمربع، امکان تولید این مقدار برق وجود دارد. بنابراین جهت افزایش امنیت و انعطاف‌پذیری نیروگاه‌ها و کاهش آسیب‌پذیری در مقابل تهدیدات طبیعی و انسانی، می‌توان احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی را در ۱۵/۵۷ درصد از اراضی شهرستان اهواز با تناسب عالی پخش کرد به طوری که بتوان کل برق مصرفی استان را تأمین نمود (این مساحت ۳/۳۱ درصد

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

از مساحت کل اراضی شهرستان اهواز را شامل می‌شود). در صورتی که اراضی با تناسب متوسط و بالاتر ملاک باشد، این مساحت به ۸/۳۳ درصد از مساحت اراضی شهرستان اهواز با تناسب متوسط و بهتر کاهش می یابد. روشن است که اگر هدف، تنها تولید برق مورد نیاز شهرستان اهواز باشد، مساحت مورد نیاز بسیار کمتر می‌شود و در زمینه امنیت آن نیز می‌توان انعطاف‌پذیری بیشتری ایجاد کرد. از طرف دیگر اگر تولید برق خورشیدی به صورت ترکیبی و همراه با سایر منابع انرژی (فسیلی و غیرفسیلی) باشد، تنوع و پراکنش که یکی از راهکارهای اصلی افزایش امنیت انرژی است، به مراتب افزایش می یابد. علاوه بر موارد بیان شده، انرژی خورشیدی دائمی و تمام ناشدنی است و از نظر امنیت تأمین در درازمدت با مشکلی مواجه نیست.

جدول ۲. درصد اراضی با تناسب متفاوت و پتانسیل تولید برق از این اراضی

	تناسب	ضعیف	متوسط	مناسب	عالی
سناریوی اول	مساحت اراضی (درصد)	۵/۶۵	۱۲/۶۳	۵/۸۵	۲۱/۲۴
	پتانسیل تولید برق (GWh)	۴۰۲۳۴/۰	۸۹۹۸۰/۸	۴۱۷۱۰/۸	۱۵۱۳۸۹/۹
سناریوی دوم	مساحت اراضی (درصد)	۰	۶/۵۳	۵/۸۵	۲۱/۲۵
	پتانسیل تولید برق (GWh)	۰	۴۶۵۴۰/۱	۴۱۶۸۰/۶	۱۵۱۴۰۲/۴

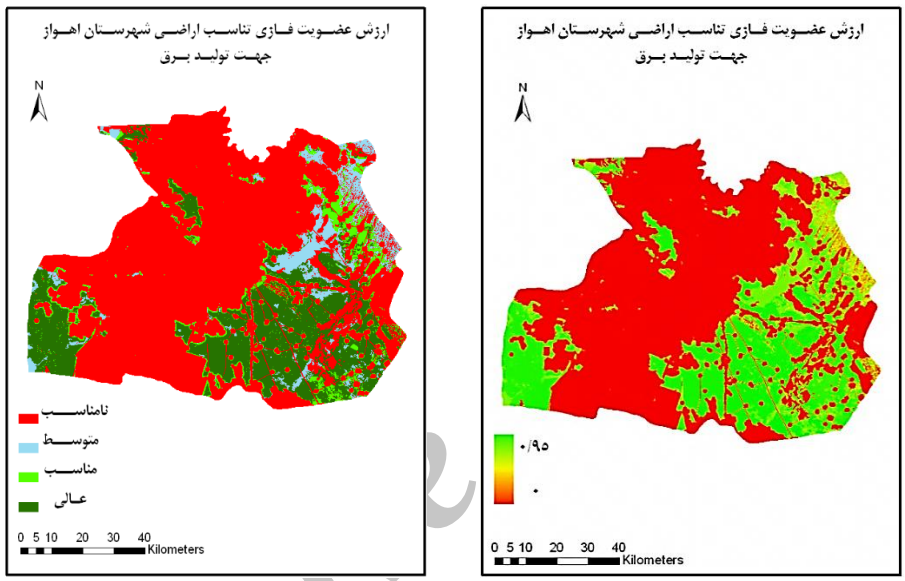
مأخذ: نتایج تحقیق.

ارزش عضویت فازی و تناسب اراضی شهرستان اهواز بر اساس سناریوی دوم در شکل(۴) نشان داده شده است. ارزش عضویت فازی لایه‌های پتانسیل انرژی خورشیدی و دسترسی به خطوط حمل‌ونقل اراضی شهرستان اهواز، بیش از ۰/۵ می‌باشد و از نظر این دو معیار همه اراضی شهرستان اهواز امکان شرکت در تحلیل سلسله مراتبی را دارند. ولی از نظر لایه محدودیت، تقریبا ۶۶ درصد از اراضی شهرستان دارای ارزش عضویت فازی کمتر از ۰/۵ هستند که ارزش این مناطق در لایه نهایی برابر با صفر در نظر گرفته شد. با استفاده از وزن‌های نسبی به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی فازی، هم‌پوشانی سه لایه و در نهایت وضعیت لایه نهایی مشخص شد. در این سناریو به جز مناطق و

Archive of SID

www.SID.ir

اراضی نامناسب با ارزش نهایی صفر (اراضی با ارزش عضویت کمتر از ۰/۵ در لایه محدودیت)، به سایر اراضی شهرستان ارزش، عضویت فازی بیشتر از ۰/۷ تعلق گرفت که از نظر تناسب جهت تولید برق، در سه دسته تناسب متوسط، مناسب و عالی قرار گرفتند (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه ارزش عضویت فازی تناسب اراضی بر اساس سناریوی دوم

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌گردد، در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول، مساحت و درصد اراضی با تناسب مناسب و عالی تغییر چندانی ندارند و بیشتر از مقدار اراضی با تناسب ضعیف و متوسط کاهش یافته است. در سناریوی دوم ناحیه با تناسب ضعیف وجود ندارد. در این سناریو تناسب‌بندی اراضی جهت احداث نیروگاه برق خورشیدی، از دیدگاه زیست‌محیطی، اثرات انسانی، طبیعی و توسعه پایدار، با دیدگاه محتاطانه و سخت‌گیرانه‌تری انجام شده است. بنابراین مکان مناسب توزیع نیروگاه‌های برق خورشیدی، به صورت پایدار و با اطمینان بسیار بالا از لحاظ حفظ محیط زیست و مصون از بلایای طبیعی و انسانی، در راستای افزایش امنیت مشخص گردید.

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

۳-۲. پتانسیل کاهش هزینه‌های اجتماعی

هزینه اجتماعی، هزینه‌ای است که اثرات مخرب یا سوء یک آلاینده یا فعالیت را بر محصولات کشاورزی، اکوسیستم‌ها، مواد و سلامت انسان برآورد می‌کند و اغلب هزینه‌ای است که در قیمت تمام شده در نظر گرفته نمی‌شود. در تعریف دیگر به مجموع پولی که بتواند صدمات ناشی از انتشار مواد آلاینده و گازهای گلخانه‌ای را جبران نماید، هزینه تخریب یا هزینه‌های اجتماعی گفته می‌شود. آلاینده‌های هوا یکی از مهم‌ترین آلاینده‌هایی هستند که در سطح ملی و جهانی مورد توجه بسیار قرار گرفته‌اند. انتشار آلاینده‌های هوا، هر ساله هزینه‌های اجتماعی زیادی را به کشور تحمیل می‌کند (معاونت امور برق و انرژی، ۱۳۹۲). عوامل بسیاری بر هزینه آسیب ناشی از یک واحد انتشار گاز گلخانه‌ای یا آلاینده هوا تأثیر می‌گذارند. شرایط آب و هوایی (سرعت و جهت باد، فشار هوا و...)، مقدار و سرعت انتشار آلاینده‌ها در هوا، جمعیت تحت تأثیر (تعداد، توزیع بر اساس سن و درآمد، نسبت افراد آسیب‌پذیر)، وجود مواد شیمیایی دیگر در جو و پایداری آلاینده‌ها در جو، از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مقدار هزینه اجتماعی هستند. آلاینده‌ها در ایران بیش از مناطق اروپای غربی در هوا باقی می‌مانند که این امر به دلیل بارندگی و میانگین سرعت باد کمتر در ایران است و به همین دلیل هزینه هر تن آلاینده در ایران نسبت به مناطق مرطوب و بادخیز بیشتر است (بانک جهانی[1]، ۲۰۰۴).

پتانسیل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های هوا را می‌توان بر اساس شاخص انتشار به ازای هر واحد برق تولیدی به دست آورد. شاخص انتشار، مقدار آلاینده‌های آزاد شده به اتمسفر در ارتباط با یک فعالیت را تشریح می‌کند. شاخص‌های انتشار به طور معمول به عنوان وزن یک آلاینده تقسیم بر وزن، حجم، فاصله یا دوره زمانی واحد یک فعالیتی که آلایندگی را انتشار می‌دهد، بیان می‌شود. با استفاده از شاخص انتشار آلاینده‌های هوا و هزینه‌های اجتماعی هر واحد آلاینده برای کشور بر اساس ترازنامه انرژی ۱۳۹۲، پتانسیل کاهش انتشار چهار آلاینده مهم NO_x، SO_2، SPM و CO_2 با امکان جایگزینی برق تولیدی خورشیدی بر اساس سناریوی دوم محاسبه و در جدول (۳)

1. World Bank

www.SID.ir

نشان داده شده است. تنها با تولید برق خورشیدی در اراضی با تناسب عالی، امکان کاهش ۱۰۹۳۴۶ هزارتن در سال از آلاینده‌های نام برده شده وجود دارد. از این مقدار پتانسیل ۹۹/۱۶ درصد آن مربوط به گاز کربنیک است. هزینه تخریب این مقدار انتشار آلاینده‌ها برابر با ۲۲۸۷۶ میلیارد ریال است. سهم هر یک از آلاینده‌ها در هزینه تخریب در شکل (۵) نشان داده شده است. گاز کربنیک با ۴۷/۴۰ بیشترین پتانسیل کاهش هزینه‌های اجتماعی را به خود اختصاص داده است.

جدول ۳. پتانسیل کاهش انتشار و هزینه اجتماعی آلاینده‌های هوا بر اساس سناریوی دوم

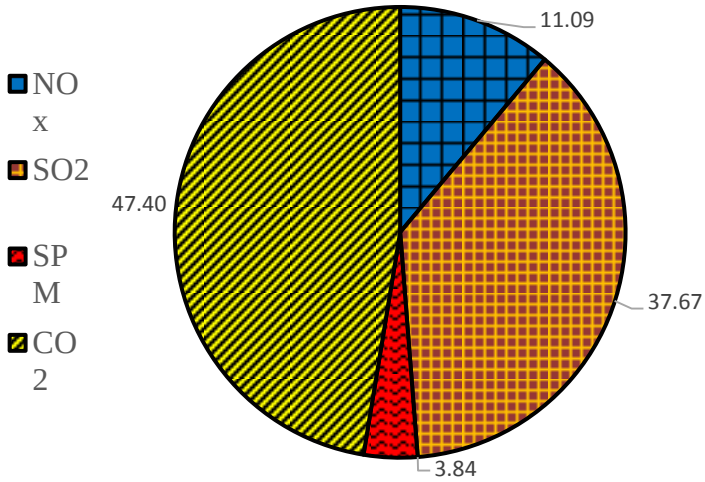
		NOx	SO۲	SPM	CO۲
شاخص انتشار (g/kWh)		۲/۷۹۲	۳/۱۱۹	۰/۱۳۵	۷۱۶/۱۷۸
پتانسیل کاهش آلاینده‌ها (تن)	تناسب مناسب	۱۱۶۳۷۲/۳	۱۳۰۰۰۱/۹	۵۶۲۶/۹	۲۹۸۵۰۷۵۰/۴
	تناسب عالی	۴۲۲۷۱۵/۵	۴۷۲۲۲۴/۱	۲۰۴۳۹/۳	۱۰۸۴۳۱۰۷۹/۹
هزینه تخریب (هزار ریال بر تن)		۶۰۰	۱۸۲۵۰	۴۳۰۰۰	۱۰۰
پتانسیل کاهش هزینه تخریب (میلیارد ریال)	تناسب مناسب	۶۹۸/۲۳	۲۳۷۲/۵۳	۲۴۱/۹۶	۲۹۸۵/۰۸
	تناسب عالی	۲۵۳۶/۲۹	۸۶۱۸/۰۹	۸۷۸/۸۹	۱۰۸۴۳/۱۱

مأخذ: نتایج تحقیق.

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵. سهم آلاینده‌ها در پتانسیل کاهش هزینه اجتماعی

۳-۳. برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری

در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری برای رسیدن به تولید پایدار انرژی، لازم است به مشکلات و معایب تولید برق با استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک، توجه ویژه‌ای شود. هزینه‌های اولیه راه‌اندازی نیروگاه فتوولتائیک بسیار زیاد است و سرمایه‌گذاران برای خرید و نصب سلول‌های خورشیدی به تسهیلات مالی نیازمندند. در واقع قیمت بالای سلول‌های خورشیدی و بازده کم آن‌ها مشکل عمده این سامانه‌ها است. سطح مورد نیاز برای احداث نیروگاه خورشیدی، به دلیل بازده کم سامانه فتوولتائیک و کم بودن چگالی توان تابشی خورشید، بسیار بیش‌تر از سطح مورد نیاز برای احداث نیروگاه سوخت فسیلی با ظرفیت مشابه می‌باشد.

از طرف دیگر به دلیل تفاوت و تغییر نور خورشید در فصول مختلف سال، شب و روز، و دشواری پیش‌بینی آب و هوای روزانه، تولید برق در نیروگاه‌های فتوولتائیک، ناپیوسته و غیریکنواخت خواهد بود. جهت عرضه پایدار و یکنواخت جریان برق، وجود یک سامانه

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

ذخیره‌سازی برق، الزامی است. فناوری‌های ذخیره‌سازی، بسیار گران قیمت بوده و از موانع توسعه و گسترش سامانه‌های فتوولتائیک می‌باشند. البته در نوع نیروگاه متصل به شبکه، استفاده از تجهیزات ذخیره‌سازی ضروری نیست. سامانه‌های فتوولتائیک، علاوه بر سلول‌های خورشیدی و تجهیزات ذخیره‌سازی، به سخت‌افزار برای پنل‌ها، کابل‌کشی اتصالات الکتریکی، تجهیزات تبدیل توان مانند مبدل (اینورتر)، کنترل‌کننده شارژ باتری (در صورت وجود تجهیزات ذخیره‌سازی) و غیره نیازمند است که این تجهیزات موجب افزایش هزینه اولیه راه‌اندازی سامانه می‌شود.

مبدل‌ها به عنوان قلب سامانه فتوولتائیک، جریان مستقیم باتری و ماژول‌های خورشیدی را به جریان متناوب، با ولتاژ و فرکانس مورد نظر تبدیل می‌کنند. در سامانه‌های مجهز به باتری، کنترل‌کننده‌های شارژ، از شارژ و تخلیه نامناسب باتری جلوگیری کرده و نقش محافظت از باتری را به عهده دارند. از معایب دیگر سامانه‌های فتوولتائیک، تولید گازهای نیتروژن تری فلوراید و سولفور هگزا فلوراید (گازهای گلخانه‌ای) در فرآیند ساخت سلول‌های خورشیدی است. هرچند میزان تولید آن‌ها کم و اثر آن‌ها نسبت به سایر منابع تولید انرژی، کمتر است.

در سال‌های اخیر با افزایش نقش انرژی و محیط زیست در فعالیت‌های اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، اهمیت سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی نیز بسیار زیاد شده است. با توجه به مشکلات انرژی‌های فسیلی و لزوم حفاظت از محیط زیست، حفظ امنیت انرژی و توسعه پایدار، استفاده از انرژی‌های جایگزین مانند انرژی خورشیدی از اهمیت بالایی برخوردار گردیده است. هرچند امکان جایگزینی برق فسیلی با برق خورشیدی (و سایر انرژی‌های تجدیدپذیر) به آسانی و در کوتاه‌مدت وجود نداشته و نیازمند سرمایه‌گذاری گسترده است، ولی به مرور زمان و با حرکت فرسایشی واحدهای فسیلی موجود، و همچنین افزایش راندمان و کاهش هزینه تولید برق خورشیدی، این روند جایگزینی از دیدگاه اقتصادی توجیه‌پذیرتر می‌شود.

از سوی دیگر انتظار می‌رود که با پذیرش احتمالی معاهدات بین‌المللی در آینده، و یا تصویب قوانین داخلی مبنی بر کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی، مصرف سوخت‌های فسیلی نیز محدود شود. در این صورت، به منظور تأمین تقاضای انرژی کشور، ناگزیر به استفاده از انرژی‌های

Archive of SID

www.SID.ir

جایگزین بوده و درصورتی که این فرآیند از لحاظ اجرایی در مدت زمان کوتاهی صورت پذیرد، بخش عمده‌ای از درآمدهای ارزی کشور به منظور تأمین تجهیزات استحصال انرژی‌های تجدیدپذیر و الزامات تکنولوژیکی آن هزینه خواهد شد.

همان‌طور که بیان شد مهم‌ترین مشکل سامانه‌های فتوولتائیک، هزینه‌های بالای نصب و راه‌اندازی آن است. با رشد فناوری و تولید انبوه این سلول‌ها، قیمت آن‌ها نیز رو به کاهش گذاشته است، به طوری که نسبت به ۲۰ سال گذشته، قیمت آن ۵ الی ۶ برابر کاهش یافته است. همچنین با پیشرفت فناوری، بازده سلول‌های خورشیدی نیز در حال افزایش است که این امر نیز، کاهش هزینه تولید برق به ازای هر واحد را به دنبال دارد. با وجود همه این مشکلات، به دلیل این که هزینه‌های حفظ و نگهداری این سامانه‌ها بسیار پایین است، می‌توان در درازمدت به صورت اقتصادی و به صرفه از آن‌ها استفاده نمود. فناوری به کار رفته در ساخت ماژول‌های فتوولتائیک نیز مصالح بادوامی هستند و با پیشرفت‌های انجام شده، متوسط عمر مفید این سامانه‌ها به ۲۵ سال رسیده است.

با توجه به هزینه اولیه بالا و نیاز به سرمایه‌گذاری زیاد، توسعه انرژی خورشیدی نیازمند برنامه‌ریزی و حمایت دولت است و در برنامه‌ریزی‌های کلان دولتی باید به این امر توجه جدی شود. مهم‌ترین موارد جهت توسعه برق خورشیدی عبارتند از: تأمین منابع مالی مورد نیاز برای احداث و راه‌اندازی نیروگاه برق خورشیدی، بازنگری در قوانین دست و پاگیر مانند لغو تعرفه‌های گمرکی و سود بازرگانی برای ملزومات و تجهیزات پروژه‌های انرژی خورشیدی، فراهم آوردن شرایط مناسب برای سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی، خرید تضمینی برق خورشیدی با قیمت و شرایط مناسب از تولیدکنندگان غیردولتی، حمایت‌ها و معافیت‌های مالیاتی و برنامه‌های تشویقی یا تنبیهی متناسب با تولید یا عدم تولید آلاینده‌ها.

شرایط شهرستان اهواز، برای توسعه بهره‌مندی از برق خورشیدی، بسیار ویژه است. در سال‌های اخیر بیابان‌زایی در استان خوزستان افزایش یافته است و پدیده گرد و غبار به یک بحران زیست محیطی در استان و یا حتی در کشور تبدیل شده است. بیشترین وسعت بیابان‌های استان و یکی از کانون‌های اصلی گرد و غبار در شهرستان اهواز قرار دارد. خوزستان قطب اقتصادی کشور محسوب

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive of SID

www.SID.ir

شده و جایگاهی بی‌بدیل در این زمینه دارد. وجود صنایع عظیم نفت و گاز، پتروشیمی و سدهای عظیم از ویژگی‌های خوزستان است که بخش عمده‌ای از این منابع عظیم و مهم در عرصه‌های بیابانی و شنزارهای فعال قرار گرفته‌اند. همچنین بسیاری از شهرها و روستاهای استان، اراضی زراعی، جاده‌ها و خطوط راه‌آهن در معرض خطرات بیابان‌زایی و ریزگردها قرار دارند و در صورت عدم مبارزه با آن علاوه بر مشکلات سلامتی برای ساکنان، خسارات مالی و زیست محیطی زیادی به منابع اقتصادی استان وارد خواهند کرد.

جهت جلوگیری از پیامدهای مضر بیابان و بیابان‌زایی، بایستی مقوله مقابله با بیابان‌زایی و مقابله با پدیده ریزگردها به طور جدی مورد توجه قرار گیرد. با توجه به نقشه‌های تناسب اراضی در این مطالعه و مراکز گرد و غبار، تطابق زیادی بین مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی و مناطق در معرض بیابان‌زایی وجود دارد. بنابراین علی‌رغم هزینه زیاد احداث نیروگاه‌های خورشیدی، به دلیل پوشش زمین با آرایه‌های فتوولتائیک، بیابان‌زایی و گرد و غبار نیز کنترل شده و از هزینه‌های گزاف بیابان‌زدایی جلوگیری می‌شود. بنابراین دو هدف تولید برق با کنترل بیابان، تلفیق شده و هزینه‌های هر دو هدف سرشکن شده و بدین طریق هزینه تولید برق کاهش می‌یابد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد تا احداث نیروگاه برق خورشیدی با دو هدف تولید برق و بیابان‌زدایی، در ابتدا در مراکز حساس و کانون‌های ایجاد گرد و غبار صورت پذیرد. سپس با مرور زمان و فرسودگی نیروگاه‌های فسیلی و پیشرفت فناوری برق خورشیدی و به تبع آن کاهش هزینه تولید برق، نیروگاه‌های خورشیدی توسعه و گسترش یابند. لازم به ذکر است که با این عمل، به دلیل تمرکززدایی تولید برق، امنیت تولید انرژی نیز افزایش می‌یابد.

٤. نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی پتانسیل و نقش تولید برق خورشیدی در شهرستان اهواز در جهت افزایش تأمین انرژی پرداخته شد. توزیع و پراکنش نیروگاه‌های برق خورشیدی در مناطق مطمئن از نظر بلایای طبیعی و توسعه پایدار و همچنین جلوگیری از تمرکز آن‌ها از اهداف مورد نظر این مطالعه

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

در راستای افزایش امنیت انرژی بود. با دیدگاه توسعه پایدار زیست‌محیطی، طبیعی و انسانی، شاخص‌های مختلف با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی اولویت‌بندی شدند و مکان‌های مناسب برای احداث مزارع خورشیدی تعیین گردیدند.

مناطق مسکونی و زیرساختارها، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، مناطق حساس، رودخانه‌ها و باتلاق‌ها، راه‌ها و خطوط حمل‌ونقل، عوارض زمین، پتانسیل انرژی خورشیدی و دسترسی و نزدیکی به جاده و راه‌آهن از معیار و شاخص‌هایی هستند که با استفاده از منطق فازی و GIS در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند. اراضی شهرستان اهواز، بر اساس نتایج به دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی فازی و GIS، به پنج گروه اراضی غیرقابل استفاده، ضعیف، متوسط، مناسب و عالی تقسیم شدند. نتایج نشان می‌دهد که با احداث مزارع در تقریبا ۱۵ درصد از اراضی با تناسب عالی که ۳/۳۱ درصد از مساحت شهرستان را تشکیل می‌دهند، امکان تأمین برق کل استان خوزستان وجود دارد. بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهند که برق خورشیدی، به دلیل پراکندگی جغرافیایی مناسب محل‌های تولید، توزیع مناسب برق تولیدی، کاهش تلفات ناشی از انتقال برق از محل تولید به محل مصرف و همچنین اطمینان از تداوم تولید، گزینه بسیار مناسبی جهت افزایش امنیت انرژی در مقابل تهدیدات طبیعی و انسانی به خصوص در صورت استفاده ترکیبی از آن با انواع انرژی‌های دیگر می‌باشد.

قدردانی

این مقاله حاوی بخش‌هایی از نتایج طرح تحقیقاتی در دانشگاه شهید چمران اهواز به شماره۱۲۴۲ است که در گروه مهندسی بیوسیستم به انجام رسیده است. بدینوسیله از حمایت‌های صورت گرفته قدردانی می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

منابع

معاونت امور برق و انرژی دفتر برنامه‌ریزی کلان بـرق و انـرژی (۱۳۹۱)، *ترازنامـه انـرژی*، انتشـارات وزارت نیرو.

معاونت امور برق و انرژی دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انـرژی (۱۳۹۲)، *ترازنامـه انـرژی*، ، انتشـارات وزارت نیرو.

عساکره، عباس؛ غدیریان فر، محسن و محمدجواد شیخ داوودی (۱۳۹۵)، "امکان سنجی تولیـد بـرق از پنـل خورشیدی پشت‌بام در مناطق روستایی استان خوزستان"، *جغرافیا و توسعه*، شماره ۴۳، صص ۱۱۳-۱۳۲.

قدسی‌پور، سید حسن (۱۳۸۷)، *فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)*، چاپ ششـم، انتشـارات دانشـگاه امیرکبیر.

موحد، محسن و فرخ امینی، (۱۳۸۲)، "بررسی اثر قیمت خاموشی بر توسـعه بهینـه سیسـتم تولیـد بـرق کشور"، *هجدهمین کنفرانس بین المللی برق*، تهران ۲۸-۳۰ مهرماه، صص ۱۹۳-۲۰۰.

Anonymous (2003), "Assessing the Potential for Renewable Energy on Public Lands", *U.S. Department of the Interior Bureau of Land Management and U.S. Department of Energy Energy Efficiency and Renewable Energy*. Available electronically at http://www.osti.gov/bridge.

Arnette, A. N & C. W, Zobel, (2011), "Spatial Analysis of Renewable Energy Potential in the Greater Southern Appalachian Mountains", *Renewable Energy*, Vol. 36, pp. 2785-98.

Asakereh, A.; Omid M.; Alimardani R. adn F. Sarmadian, (2014), "Developing a GIS-based Fuzzy AHP Model for Selecting Solar Energy Sites in Shodirwan Region in Iran", *International Journal of Advanced Science and Technology*, Vol. 68, pp. 37-48.

Aydin, N. Y. (2009), *GIS-Based Site Selection Approch for Wind and Solare Energy Systems: A Case Study From Western Turky. M.Sc Thesis*, Middle East Technical University.

Baban, S. M. J. and T, Parry, (2001), "Developing and Applying a GIS-Assisted Approach to Locating Wind Farms in the UK", *Renewable Energy*, Vol. 24, pp. 59–71.

Bergamasco, L. and P. Asinari (2011), "Scalable Methodology for The Photovoltaic Solar Energy Potential Assessment Based on Available Roof Surface Area: Application to Piedmont Region, Italy", *Solar Energy*, Vol. 85, pp. 1041–1055.

Bravo, D. J.; Casals C. X. and P. I. Pascua (2007), "GIS Approach to The Definition of Capacity and Generation Ceilings of Renewable Energy Technologies", *Energy Policy*, Vol. 35, pp. 4879-92.

Archive of SID

www.SID.ir

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Brewer, J.; Ames, D. P.; Solan, D.; Lee R. and J. Carlisle (2015), "Using GIS Analytics and Social Preference Data to Evaluate Utility-Scale Solar Power Site Suitability", *Renewable Energy*, Vol. 81, pp. 825-36.

Carrion, J. A.; Estrella, A. E.; Dols, F. A.; Toro, M. Z.; Rodriguez M. and A. R. Ridao (2008), "Environmental Decision-Support Systems for Evaluating The Carrying Capacity of Land Areas: Optimal Site Selection for Grid-Connected Photovoltaic Power Plants", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 12, pp. 2358–80.

Chang, D.Y, (1996), "Theory and Methodology: Applications of The Extent Analysis Method on Fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, Vol. 95, No. 3, pp. 649–655.

Charabi, Y. & A. Gastli (2011), "PV Site Suitability Analysis Using GIS-Based Spatial Fuzzy Multi-Criteria Evaluation", *Renewable Energy*, Vol. 36, pp. 2554-61.

Corrêa da Silva, R.; Marchi Neto I. and S. SilvaSeifert (2016), "Electricity Supply Security and The Future Role of Renewable Energy Sources in Brazil", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 59, pp. 328–341.

Dahle, D.; Elliott, D.; Heimiller, D.; Mehos, M.; Ro-bichaud, R.; Schwartz, M.; Stafford, B. and A. Walker, (2008) *As-Sessing the Potential for Renewable Energy Development on DOE Legacy Management Lands*.

Dicknann, D.I. (2006), "Silviculture and Biology of Short- Rotation Woody Crops in Temperate Regions Then and Now", *Biomas and Bioenergy*, Vol. 30, pp. 696- 705.

EPA (2010), *Data Guideline for Renewable Energy Generation potential on EPA and State Tracked Sites Maps Produced by EPA*, http://www.epa.gov/oswercpa/data.htm.

Eunnyeong, H., K, Jinsoo & B, Kyung-Jin, (2010), "Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, pp. 2214–2220.

Hang, Q.; Jun, Z.; Xiao Y. and C. Junkui (2008), "Prospect of Concentrating Solar Power in China-the Sustainable Future". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 12, pp. 2505–2514.

Hiremath, R.B.; S. Shikha and N. H. Ravindranath (2007), "Decentralized Energy Planning: Modeling and Application", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, pp. 729- 752.

Hopke, P. K. (2009), "Contemporary Threats and Air Pollution", *Atmospheric Environment*, Vol. 43, No. 1, pp. 87-93.

Hott, R.; Santini R. and J. Brownson (2012), "GIS-Base Spatial Analysis for Large-Scal Solar Power and Transmission Line Issues: Case Studt of Wyoming", *U.S. Proceedings of the 41st American Solar Energy Society Meeting*, May 13-17.

International Energy Agency (2013), *Energy Policy Highlights*, *France*: 114.

Janke, J. R. (2010), "Multicriteria GIS Modeling of Wind and Solar Farms in Colorado", *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 22-34.

Kabak, M. adn M. Dağdeviren (2014), "Prioritization of Renewable Energy Sources for Turkey by Using A Hybrid MCDM Methodology", *Energy Conversion and Management*, Vol. 79, pp. 25-33.

Kalogirou, S. A. (2004), "Solar Thermal Collectors and Applications", *Prog Energy Combust Science*, Vol. 30, pp. 231- 291.

Archive of SID

www.SID.ir

Kengpol, A.; Rontlaong P. and M. Tuominen (2013), "A Decision Support System for Selection of Solar Power Plant Locations by Applying Fuzzy AHP and TOPSIS: An Empirical Study", *Journal of Software Engineering and Applications*, Vol. 6, pp. 470-81.
Lee, T. L. (2010), "Assessment of the Potential of Offshore Wind Energy in Taiwan using Fuzzy Analytic Hierarchy Process", *The Open Civil Engineering Journal*, Vol.4, pp. 96-104.
Li, D. (2013), *Using GIS and Remote Sensing Techniques for Solar Panel Installation Site Selection*, M.Sc thesis. University of Waterloo.
Li, J.F. and R.Q. Hu (2006), "Sustainable Biomass Production for Energy in China", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 25, pp. 483– 499.
Maleki, S.; Firuzi M. A. and A. Ahmadi (2012), "The Role of Solar Energy in Sustainable Development in Khuzestan Province, Iran", *Global Journal Of Management Science and Technology*, Vol. 1, No. 6, pp.1-6.
Nigim, K.; Munier N. and J. Green (2004), "Pre-Feasibility MCDM Tools to Aid Communities in Prioritizing Local Viable Renewable Energy Sources", *Renewable Energy*, Vol. 29, pp. 1775-1791.
NREL-GIS (2003), "Geographic Information Systems Data", *Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory*.
Phuangpornpitak, N. and S. Tia (2011), "Feasibility Study of Wind Farms Under The Thai Very Small Scale Renewable Energy Power Producer (VSPP) Program", *Energy Procedia*, Vol. 9, pp. 159 – 170.
Pohekar, S. D. and M. Ramachandran (2004), "Application of Multi-Criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning-A Review", *Renewable and sustainable energy*, Vol. 8, No. 4, pp. 365-381.
Ramde, E. W.; Azoumah Y.; Brew-Hammond, A.; Rungundu A. and G. Tapsoba (2013), "Site Ranking and Potential Assessment for Concentrating Solar Power in West Africa", *Natural Resources*, Vol. 4, pp. 146-153.
Saaty, T. L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill.
Sánchez-Lozano, J. M.; Antunes, C. H.; García-Cascales M. S. and L. C. Dias (2014), "GIS-Based Photovoltaic Solar Farms Site Selection Using ELECTRE-TRI: Evaluating The Case For Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain", *Renewable Energy*, Vol. 66, pp. 478-94.
Short, W.; Blair, N.; Sullivan P. and T. Mai (2009), *ReEDS Model Documentation: Base Case Data And Model Description*, Golden, CO: U.S.D.o.E. National Renewable Energy Laboratory (Ed.).
Watson, J. J. W. and M. D. Hudson (2015), "Regional Scale Wind Farm and Solar Farm Suitability Assessment Using GIS-Assisted Multi-Criteria Evaluation", *Landscape Plan*, Vol. 138, pp. 20-31.
World Bank, (2004), Islamic Republic of Iran Energy-Environment Review Policy Note. Report No. 29062-IR.

Downloaded from epprjournal.ir at 11:37 +0430 on Tuesday July 25th 2017

Archive of SID

www.SID.ir