



امکان سنجی انتخاب زمین برای استقرار نیروگاه برق فتوولتائیک در مقیاس کوچک

حسین مدی^{۱*}

۱- استادیار، معماری و انرژی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین
* قزوین، ۳۴۱۴۸۱۶۸۱۸، ir.medi@arc.ikiu.ac.ir، نویسنده عهده دار مکاتبات

چکیده

آگاهی از تاثیر مخرب منابع انرژی فسیلی و محدودیت منابع آنها در دهه‌های آینده، تمامی جوامع بشری را بر آن داشته است که به دنبال منابع جایگزین تجدیدپذیر باشند. کشور ایران در طول سال به طور میانگین ۲۹۰۰ ساعت آفتاب داشته و در هر متر مربع آن می‌توان بین ۳/۴ تا ۷/۵ کیلو وات ساعت انرژی خورشید را تبدیل به برق یا آب گرم نمود. نقش فضاهای آموزشی و دانشگاهی برای افزایش آگاهی و بهبود این فرآیند کاملاً روشن و نمادین است. در زمین‌های درون دانشگاه، بر اساس چند معیار مهم مانند نزدیکی به شبکه یا پست برق، دسترسی‌پذیری و نظارت، شیب مناسب، عدم سایه اندازی و چشم انداز نامناسب می‌توان امکان سنجی احداث نیروگاه های مقیاس کوچک را بررسی کرد به نحوی که بین ۵ تا ۱۰٪ از نیازهای ساختمان های مجاور تاسیسات خورشیدی تامین گردد. انتخاب زمین در یک پردیس دانشگاهی، نقش تعیین کننده‌ای در افزایش جذب تابش خورشیدی و تولید برق مورد نیاز، و کاهش تلفات ناشی از فاصله زیاد از شبکه، سایه‌اندازی، شیب نامناسب، و آلودگی هوا دارد. روش تحلیل سلسله مرتبی AHP برای تحلیل محل نصب مناسب صفحه‌های خورشیدی، مرتبط با عوامل محیطی، دسترسی به پست برق و ساختمان های مجاور، چشم اندازی مناسب انجام می‌شود. شرایط دسترسی، نظارت و نزدیکی به ساختمان ها و یا شبکه انتقال نیرو در درجه دوم و شرایط مساوی قرار دارند و چشم انداز نامناسب در یک پردیس دانشگاهی می‌تواند در درجه آخر این ارزیابی قرار گیرد.

کلیدواژگان: انتخاب زمین، فتوولتائیک، مقیاس کوچک، توان خورشیدی، محوطه دانشگاهی

Feasibility Study on Site Selection for Installing a Small Scale PV Plant

Hossein Medi^{1*}

1- Architecture Department, Imam Khomeini International University Name, Qazvin, Iran
* P.O.B. 3414816818, Qazvin, Iran, medi@arc.ikiu.ac.ir

Received: 12 January 2020

Accepted: 27 April 2020

Abstract

Awareness of the devastating impact of fossil energy sources and their resource limitations in the coming decades has prompted all human societies to seek alternative renewable sources. Iran has an average of 2,900 hours of sunshine per square meter of flat land area that can convert between 3.4 to 7.5 kWh of solar energy into electricity or hot water. The awareness and acceleration of this process are quite clear and symbolic. On campus, based on several important criteria, such as proximity to the grid or substation, accessibility and monitoring, proper slope, non-shading, and inadequate landscape, the feasibility of small-scale power plants can be examined so that Meet 5 to 10% of the needs of buildings adjacent to the solar plant. Land selection on campus has a decisive role in increasing solar radiation absorption and power generation and reducing network loss, overcrowding, inadequate slope, and air pollution. The AHP Analysis Hierarchy Process approach is used to analyze the proper location of solar panels, related to environmental factors, access to power stations and adjacent buildings. Conditions of access, supervision, and proximity to buildings or power grids are second and foremost, and poor prospects on campus may be at the bottom of the assessment.

Keywords: Site Selection, Photovoltaic, Small Scale, Solar Power, Campus



۱- مقدمه

بررسی داده‌های آماری نشان می‌دهد که روند مصرف برق در چند سال اخیر در همه بخش‌های کشور به صورت صعودی افزایش داشته است. با توسعه شهرها و افزایش جمعیت، همچنین وابستگی هر چه بیشتر زندگی مدرن به وسائل برقی، نیاز به این نوع انرژی بیشتر احساس می‌شود. در حالی که تغییرات اقلیمی و گرمایش زمین به سرعت بر زیرساخت‌های جامعه بشری می‌تازد و ساخت نیروگاه‌های مولد برق سنتی پر هزینه، با کارآمدی کم، و بسیار آلاینده هستند، آموزش به کارگیری منابع تجدیدپذیر به کندی گسترش یافته، تأسیسات آن گران بوده، و موانع ساختاری فراوان در پیش رو دارند. برخی امیدوارانه بر این باورند که با ارتقاء فرهنگی جامعه و تغییر نظام مهندسی به سوی کنترل مصرف انرژی و تولید انرژی تجدیدپذیر زمان از دست رفته را می‌توان جبران کرد و با راه‌اندازی این نیروگاه‌های خورشیدی، بادی، ژئوترمال و مانند اینها از داغ تر شدن جو زمین جلوگیری نمود [۱].

انرژی خورشیدی جایگزین انرژی غیر تجدید پذیر معمولی به طور گسترده‌ای در سراسر جهان به اجرا در آمده است. در حال حاضر یکی از چالش برانگیزترین مشکلات، چگونگی بهبود بهره‌وری در تولید انرژی خورشیدی است. در میان منابع انرژی تجدید پذیر، انرژی خورشیدی از این جهت منحصر به فرد است که می‌تواند منبع برق محلی را برای افرادی که در مناطق روستایی یا واحد های دانشگاهی یا صنعتی زندگی می‌کنند، بدون دسترسی مستقیم به شبکه برقی، فراهم کند. از این میان، موضوع احداث نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک در مقیاس بزرگ، به شکل مزارع خورشیدی، و یا در مقیاس کوچک بر روی سقف ساختمان‌ها، سایه‌بان پارکینگ‌ها، و یا محوطه باز مجاور ساختمان‌ها به شکل راه حل‌های عمومی و در دسترس بیشتر مطرح شده است [۲].

استقبال دانشگاه‌ها از بهره‌گیری این نوع از مولدهای انرژی به دلایل متفاوتی می‌تواند به معنای چهره نمادین و پیشرو در حرکت به سوی توسعه پایدار و ترویج طراحی سبز باشد. با تشویق جامعه و سازمان‌های دولتی و خصوصی در به کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر، به ویژه خورشید و سرمایه‌گذاری در محوطه‌های دانشگاهی، ممکن است زیرساخت‌های مورد نیاز برای تغییر شیوه‌های تولید و مصرف انرژی ایجاد شود [۳]. دانشگاه همچنین از مالکیت زمین‌هایی با مساحت مناسب در مجاورت ساختمان‌های مصرف کننده برخوردارند و با انتخاب مناسب محل مولدها در مجاورت خطوط شبکه، و بهره‌گیری از بام ساختمان‌ها، می‌توانند برق مازاد را با اتلاف کمتر به فروش برسانند و از تولید گازهای آلاینده معادل آن ممانعت نمایند. مقدار توان تولیدی سامانه‌های فتوولتائیکی کوچک محلی معمولاً بین ۲ تا ۵۰ کیلووات می‌باشد که برای یک پردیس دانشگاهی تا یک مگاوات هم قابل افزایش است. برای

مثال، در یک سامانه سقفی فتوولتائیک با توان تولیدی ۲ کیلووات، سالانه ۳۶۰۰ کیلووات ساعت برق می‌شود. این میزان معادل عدم استفاده از ۴/۳ تن زغال سنگ در سال و جلوگیری از نشر گازهای گلخانه‌ای به میزان ۲۲۵۰ کیلوگرم در سال است [۴].

تحقیقات اخیر نشان داده است که کارایی نیروگاه‌های کوچک محلی و بازده سرمایه‌گذاری آن از نوع مقیاس بزرگ بیشتر است. اما در هر دو حالت، برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی، تعیین محل مناسب جهت کاهش هزینه‌های ساخت، افزایش بهره‌برداری، بهبود انتقال انرژی، و تعمیر و نگهداری اهمیت داشته و نیازمند مطالعات امکان‌سنجی استقرار و انتخاب سایت است. این موضوع به معنای تطابق هرچه بهتر نحوه استقرار آرایه‌ها، کاهش اثرات نامناسب محیطی، رعایت فاصله و عدم سایه‌اندازی، و امکان دسترسی برای تعمیر و نگهداری است [۵]. ارزیابی شرایط استقرار و نصب پانل‌های خورشیدی، می‌تواند به میزان قابل توجهی به افزایش عملکرد و کارایی پانل‌ها بیافزاید. همچنین میزان تابش دریافتی به سطوح افقی به شرایط اقلیمی و جغرافیایی محل بستگی داشته و برای موفقیت یک نیروگاه خورشیدی تعیین کننده است [۶].

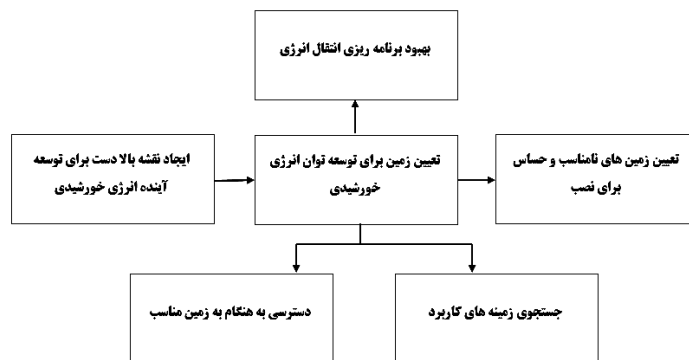
امکان‌سنجی نحوه استقرار نیروگاه برق خورشیدی در یک منطقه مشخص با توجه به کاهش تداخل‌ها و اتلاف ناشی از فاصله مولد تا ساختمان‌ها انجام گرفته‌از این رو ارزیابی محل استقرار مولدهای برق فتوولتائیک در دست‌یابی به تعیین نسبتاً دقیق میزان برق خروجی، از اهمیت زیادی برخوردار است [۷]. از طرف دیگر، فضای بین ردیف‌ها باید تا حد امکان کوچک نگه داشته‌شده تا سطح اشغال کمتری از زمین استفاده‌شود. طراح باید از ابتدا متوجه مسیر خورشید در طول سال، به ویژه در زمستان، باشد تا از سایه‌اندازی یک ردیف بر ردیف عقبی اجتناب نماید [۸].

در این مقاله محوطه اصلی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، با توجه به قابلیت‌های محیطی آن، به عنوان نمونه مطالعاتی برای استقرار نیروگاه مقیاس کوچک فتوولتائیک انتخاب شده و روش امکان‌سنجی برای انتخاب زمین با توجه به شرایط خاص آن، از طریق روش تحلیل سلسله‌مراتبی، ارزیابی چگونگی و تعداد قابل استقرار ماژول‌ها در زمین پیشنهادی، از طریق محاسبه ریاضی ارائه می‌گردد.

۲- پیشینه تحقیق

موضوع انتخاب سایت از اهمیت زیادی در مرحله مطالعه احداث یک نیروگاه برق خورشیدی برخوردار است و برای به دست آوردن بهترین کارایی آن، شرایط زمین و محیط اطراف نیروگاه نقش کلیدی دارند. گاستلی و همکاران [۹] مطابق شکل ۱، شناسایی و تحلیل مکان مناسب زمین برای قرار دادن پنل خورشیدی را با توجه به دسترس پذیری، اقتصادی بودن و شرایط محیط زیستی، برای انتقال انرژی بررسی کرده‌اند.





شکل ۱ سودمندی ها تعیین زمین برای نصب توسعه مولدهای برق خورشیدی [۹]

در انتها نیز چنین نتیجه‌گیری می‌نمایند که اگرچه تا سال ۲۰۳۰ نمی‌توان به برق خورشیدی تولید شده در داخل دانشگاه اتکاء نمود و لازم است همچنان به انرژی برق نیروگاه‌های فسیلی وابسته‌باشند، اما کمک مهمی به کاهش گازهای گلخانه‌های و ترویج به کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر خواهد بود. ماریک مان به سرپرستی گروهی از دانشگاه کالیفرنیا جنوبی، مطالعات امکان سنجی ایجاد یک نیروگاه خورشید را در سایت اصلی دانشگاه بررسی نموده است [۱۴]. با افزایش مساحت این دانشگاه در سال ۲۰۰۰، مصرف انرژی آن دو برابر شد و ایده استقرار یک سامانه برق فتوولتائیک خورشیدی، نیازمند مطالعات امکان سنجی بهره‌برداری از این انرژی در داخل دانشگاه بوده است.

موضوع پایدارسازی در دو دهه خیر در آمریکا مورد توجه دانشگاه‌ها قرار گرفته و رابطه تاثیر گذاری را با جامعه برقرار کرده‌است. برای مثال، در گزارش امکان پذیری نصب نیروگاه کوچک در دانشگاه ایلینویز در آمریکا، که توسط مایکل چیمک^۲ و همکارش به نگارش در آمده است، مسئله شیوه کاهش مصرف انرژی در آمریکا، با راه حل استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و فناوری تولید برق خورشیدی، در محل مجموعه‌های انسانی پاسخ داده شده است [۱۵]. در همین راستا، با تشکیل یک کمیته‌دانشجویی در همین دانشگاه، امکان بهره‌گیری از پنل‌های برق خورشیدی در مساحت ۳۳۳ متر مربع بر روی بام ساختمان را برای تولید ۵۵۰۰ کیلووات ساعت در سال (در هر روز آفتابی به طور میانگین ۱۸ کیلووات ساعت) ارزیابی و اجراء گردید. پشت بام‌های چند ساختمان، بر اساس جهت‌گیری مناسب شمال-جنوب، برای اجراء و استقرار آرایه‌ها در نظر گرفته‌شد. در پایان، مطالعه امکان‌سنجی انتخاب زمین برای تاسیسات این نیروگاه انجام و معیارهای چشم انداز مناسبی برای نیروگاه در داخل دانشگاه، قابلیت اجراء با مشخصات اجرایی استاندارد، و بیشترین سود و کارایی برای تامین انرژی استنتاج گردید. در برخی از دانشگاه‌های آمریکا علاوه بر سقف ساختمان‌ها، از سقف سایه‌بان پارکینگ‌ها، سایه‌بان پنجره‌ها و در ترکیب با سامانه‌های روشنایی خارجی، محل‌های متنوعی برای نصب پنل‌ها استفاده می‌شود و در گام اول، می‌توان از ۲ تا ۳۰ کیلووات از آنها بهره‌برداری نمود. در یک برآورد اولیه، با نصب آرایه‌های برق فتوولتائیک بر روی دو ساختمان در دانشگاه تگزاس در شهر آستین، در مجموع ۴۰۶۰۰۰ کیلووات ساعت در سال برق تولید شده و سه‌درصد از نیاز دانشگاه‌ها را تامین کرده است.

یوسون چوی و همکاران در سال ۲۰۱۹، برای دستیابی به انتخاب زمین مناسب، روش مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS را برای برنامه-ریزی منطقی و طراحی سیستم انرژی خورشیدی، در یک مقیاس بزرگ پیشنهاد کرده‌اند [۱۰]. در این روش سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی غالباً با مدل‌ها و روش‌های ترکیبی از تحلیل آماری و آزمون احتمال، مقایسه می-شوند تا قابلیت‌های مکانیسیات و سایر ویژگی‌های آن به خوبی مشخص گردد. اگر داده‌های تابش خورشیدی در منطقه ای خاص وجود نداشته باشد، از طریق نمودارهای محاسباتی و اطلاعات مختلف جغرافیایی و زمینی، سنجش از راه دور، می‌توان مقدار تابش اشعه خورشیدی را تا حد قابل قبولی تخمین زد. روش‌های مبتنی بر GIS برای ارزیابی مکان‌های مناسب برای نیروگاه‌های خورشیدی بسته به کاربرد آنها، در مقیاس منطقه‌ای یا محلی، می‌توانند در کاربرد متنوع باشند.

غضنفرخان و همکاران، مطالعاتی را برای تعیین قابلیت تولید برق خورشیدی در مناطق مختلف کشور هند، از مناطق کم ارتفاع و آفتابی تا مناطق کوهستانی و ابری شمال، به انجام رسانده‌اند. در این کار پتانسیل تولید برق برای در مناطق مختلف، براساس میانگین تابش خورشیدی سالانه، بر واحد سطح در یک روز محاسبه شده و قابلیت هریک بر اساس میزان کارایی و زمان بازگشت سرمایه‌الویت بندی می‌شود [۱۱]. وگتال و همکاران پیشنهاد کردند که سایه‌ناشی از توپوگرافی، سازه و یا پوشش گیاهی باید در فرآیند انتخاب محل قرارگیری PV بر روی سقف در نظر گرفته‌شود. به طور کلی، نصب صفحات خورشیدی روی پشت بام‌ها یا زمین‌ها ممکن است در برخی ساعات از روز با مشکل سایه اندازی درختان اطراف، ساختمان‌ها و یا شیب زمین مواجه شود [۱۲].

اؤگن براون طرح مستقل مطالعاتی را برای دانشگاه مک کواری در استرالیا برای امکان سنجی نصب مولد برق خورشیدی تهیه کرده‌است. نتایج این پژوهش نشان داده‌است که این دانشگاه در هر سال ۳۰۰۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی مصرف می‌کند و هزینه‌های سنگینی برای دانشگاه دارد. بنابر این پیشنهاد شده است تا از طریق سرمایه گذاری در حوزه برق خورشیدی هزینه‌های جاری دانشگاه در سال‌های آینده کاهش یابد [۱۳]. گزارش وی همچنین نشان داد که به ازای هر کیلووات ساعت مبلغ ۰/۲۶ دلار هزینه می-شود و بازگشت سرمایه‌از طریق صرفه‌جویی و فروش مازاد نیاز این نوع برق، ۱۶ سال طول می‌کشد. همچنین این ارزیابی نشان داد که با اختصاص ۷۱۰۰۰ متر مربع از زمین دانشگاه می‌توان ۴۶٪ از نیاز به برق را تامین نمود.

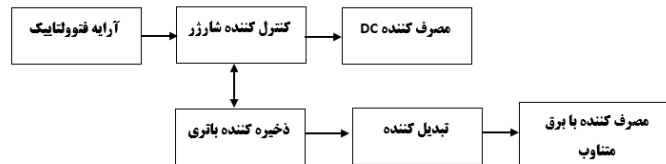


فصلنامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو-سال هفتم، شماره اول بهار و تابستان ۱۴۰۰

فصلنامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو-سال هفتم، شماره اول بهار و تابستان ۱۴۰۰

^۲ Photovoltaic
Michael Chimack

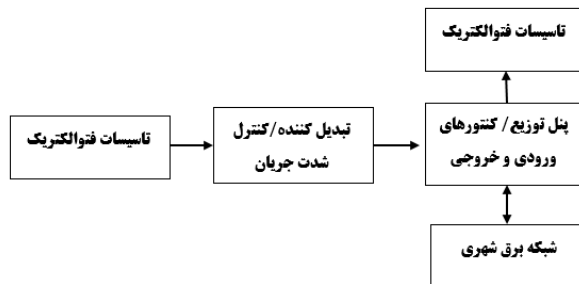
^۳ Geographic Information System
Voegtle



شکل ۲ نمودار مفهومی عملکرد یک آرایه فتوولتائیک با قابلیت ذخیره سازی [۳]

برق فتوولتائیک در ارتباط با مصرف کننده متناوب، مشاهده می شود که در یک اتصال تعاملی با برق شبکه قرار دارد، چنان که در طول روز به شبکه برق رسانی نموده و در طول شب در صورت نیاز، از آن برق می گیرد. معمولاً عمر مفید این تاسیسات ۲۵ ساله است و باید بیشترین بازدهی را در این مدت داشته باشند تا بازگشت سرمایه از آن قابل قبول باشد.

اینورتر یا تبدیل کننده؛ وظیفه تغییر انرژی الکتریکی مستقیم DC به حالت متناوب AC را به عهده دارد و از به واسطه آن وسایل کم مصرفی مانند فن ها، رایانه ها، روشنایی، ارتباطات، پمپاژ کم فشار آب و غیره به کار می افتند [۳]. بنابراین، در کنار یک نیروگاه های خورشیدی، اتاکی (رک) برای نصب این تجهیزات مورد نیاز است. در شکل ۳، نمودار ارتباطی تاسیسات



شکل ۳ نمودار مفهومی عملکرد یک آرایه فتوولتائیک با قابلیت اتصال به شبکه [۳]

۳-۲ ابعاد زمین و تعداد ماژول

ابعاد زمین و فاصله بین آرایه ها و تعداد ماژول ها مستقیماً بر هزینه-ساخت و توان خروجی مولد تاثیر می گذارند. در انتخاب زمین برای ساخت یک نیروگاه مولد خورشیدی، مرز بحرانی مقادیر هر یک از این متغیرهای کلیدی، برای محاسبه تعداد ماژول ها و ترکیب بندی آرایه ها متناسب با ابعاد زمین تعیین خواهد شد. برای این کار پیش فرض هایی را باید مد نظر قرار داد [۲۷]:

- ماژول های ثابت از هزینه کمتری نسبت به نوع متحرک برخوردارند و برای این طرح پژوهشی پیشنهاد می شوند.
- مطالعات نشان داده است که زاویه شیب مطلوب نسبت به صفحه افق برای نصب پنل ها را می توان، با تقریبی، همان زاویه عرض جغرافیایی در نظر گرفت. همچنین در زاویه سمتی، آرایه ها در راستای جنوب جغرافیایی قرار داده می شوند.
- در عرض جغرافیایی طرح و در نیمکره شمالی مقدار انرژی برخورد متوسط خورشیدی بر سطح افقی ۷۵۰ وات بر متر مربع در نظر گرفته شده است.
- محاسبه تعداد کل ماژول بر پایه توان ۱۰٪ نیاز مجموعه، در فاز اول، با کارایی ۱۰ تا ۱۵٪ بوده است حال آن که فاصله آرایه ها به حداکثر طول سایه آرایه ها در زمستان و عدم سایه اندازی آنها بر هم بستگی دارد [۲۸]

پژوهش گران به تجربه و آزمون متوجه شده اند که زمین های دارای ابعاد مساوی برای نصب تاسیسات خورشیدی فتوولتائیک پاسخ بهتری دارند [۱۶]. بنابر این با فرض وجود ابعاد مساوی از زمین، مساحت زمین مربع و تعداد ماژول PV در هر ردیف را با کمک معادله (۲) می توان محاسبه نمود:

$$\frac{P_t}{P_m} = \frac{P_t}{\eta_m A_m G} = \frac{P_t}{750 \cdot \eta_m A_m} \quad (2)$$

۳-۱ بهبود بهره وری

برای بهبود بهره وری تولید برق فتوولتائیک خورشیدی، زاویه شیب پنل ها دارای اهمیت است. زاویه بهینه برای شیب صفحات آرایه ها با سطح افق به شرایط آب و هوایی محلی، دوره استفاده از پنل های خورشیدی و عرض جغرافیایی محل بستگی دارد [۲۳]. نتایج محاسبات اخیر تایید نموده است که زاویه شیب مطلوب برای یک آرایه PV از نوع پایه ثابت باید برابر با عرض جغرافیایی با قدری میل به جنوب غربی در نیمکره شمالی باشد [۲۴]. لازم است به ذکر است که استفاده از پایه های متحرک و تعقیب کننده های خورشیدی، هزینه های نصب این تجهیزات را افزایش داده و شانس نصب آن ها را در کشورهای در حال توسعه کاهش می دهد. برای عملکرد متوسط در یک دوره فصلی، زاویه شیب مطلوب برای پنل ها را می توان تقریباً با دامنه تغییر ۱۵ درجه ای نسبت به زاویه عرض جغرافیایی محل ϕ تنظیم کرد. در حالی که برخی نتایج زاویه شیب مطلوب سالانه را تقریباً برابر است با $(\phi \times 0.9)$ دانسته اند [۲۵، ۲۶].

در روند بهبود بهره وری تعیین پتانسیل تولید برق مولد خورشیدی دارای اهمیت است. برای برآورد سالانه آن از معادله کلاسیک (۱) استفاده می شود [۹]:

$$GP = SR \times CA \times AF \times \eta \quad (1)$$

که در آن:

GP = توان تولید برق خورشیدی در سال (KWh/day)

SR = میزان تابش خورشیدی برخوردی بر سطح افقی (KWh/m².day)

CA = (m²) سطح سایت مناسب با شیب ملایم

AF = ضریب مناسب بودن و عدم تداخل سایه اندازی برای پنل های خورشیدی که معمولاً ۰/۷ در فرض اولیه است.

η = ضریب کارایی ساختاری پنل های خورشیدی (اعلام کارخانه)



و از آنجا که این پهنای زمین با تعداد ماژول های آرایه و پهنای همه آنها در ارتباط است، پس:

$$W_t = n_m W_m \quad (7)$$

اگر عرض و طول زمین مساوی باشد و طول زمین مجموع تصویر تمامی ماژول بر زمین و فاصله متعادل شده بین آنها باشد، رابطه (۸) مشخص می شود:

$$W_t = L_t = n_r X + (n_r - 1) D_r \quad (8)$$

با جایگذاری رابطه (۳) در رابطه (۸):

$$n_m W_m = n_r X + (n_r - 1) D_r \quad (9)$$

$$W_m n_m^2 + D_r n_m - N(X + D_r) = 0$$

با حل معادله درجه دوم، یک پاسخ معتبر برای تعداد ماژول n_m متناسب با ابعاد زمین مورد نیاز، جدول تولید کالا، و نوع مورد نظر تعیین می شود.

۳-۳ انتخاب زمین

در انتخاب سایت مناسب برای نصب یک مولد برق فتوولتائیک به پارامترهای زیر باید توجه نمود:

منابع خورشیدی: ساعات آفتابی متوالی و تابش برخوردی بر سطوح افقی شرایط اقلیمی محل: آب و هوای محلی، درجه حرارت شدید، وزش باد شدید، جاری شدن سیل، بارش برف.

مساحت محل نصب تاسیسات (سطح اشغال): بسته به نوع و کارایی ماژول PV، نیروگاه نیاز به مساحت کافی برای تشکیل آرایه و دسترسی برای تعمیر و نگهداری دارد. همچنین برای کنترل عدم سایه اندازی، باید فاصله کافی بین ردیفها وجود داشته باشد.

کاربری اراضی: این امر بر هزینه تامین زمین و حساسیت زیست محیطی تأثیر خواهد گذاشت و بهتر است بایر باشد.

توپوگرافی: زمین مورد نظر باید تقریباً مسطح و یا دارای شیب ملایم رو به جنوب باشد.

ژئوتکنیک: لازم است تا به موارد تهدید آبهای سطحی، مقاومت خاک، pH خاک، و خطر زلزله در منطقه توجه کرد.

دسترسی و امنیت: برای انجام تعمیر و نگهداری و عملیات نظارت و بازرسی لازم است که نیروگاه در نزدیکی جاده های مناسب احداث شوند.

اتصال به شبکه: تاسیسات فتوولتائیک به واسطه اتصال مستقیم به شبکه - سراسری سودآوری دارند و بنابراین لازم است که در نزدیکی خطوط شبکه یا پست برق نصب شوند.

آلودگی ماژول آرایه ها: در شرایط آب و هوای غبار آلود محلی، وجود فضولات پرندگان و سایر عوامل مداخله گر زیست محیطی و انسانی، صفحات به تدریج آلوده شده و کارایی شان کاسته می شود. بنابراین زمین محل استقرار نیروگاههای برق خورشیدی به دور از منابع آلاینده - مانند معادن سنگ و ماسه - در نظر گرفته می شوند. همچنین احداث کاربری های مشابه - اطراف نیروگاههای خورشیدی مجاز نیست.

در دسترس بودن آب تمیز: برای شستشو و خنک سازی ماژول ها لازم است تا از آب تمیز و بدون نمک استفاده شود.

که در آن P_t کل توان نصب بر حسب وات، P_m توان هر ماژول، η_m بازده ماژول در شرایط تست استاندارد، A_m مساحت ماژول بر حسب متر مربع و G مقدار انرژی برخوردی اشعه خورشیدی بر حسب W/m^2 است. تعداد کل پنل ها بر حسب تعداد ردیف و تعداد ماژول در هر ردیف از رابطه (۳) محاسبه می شود:

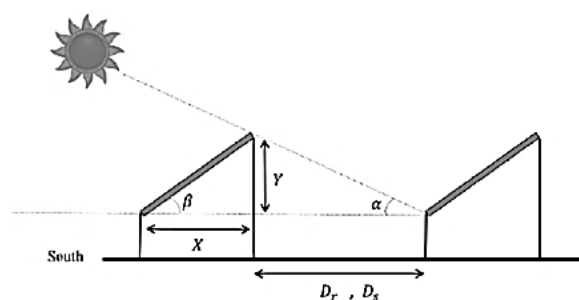
$$N = n_r \times n_m \quad (3)$$

برای محاسبه فاصله ردیف ها از هم لازم است تا زاویه ارتفاعی خورشید در ساعت مفروض (α) و زاویه سمتی در همان ساعت (Z) و β زاویه مفروض آرایه نسبت به افق لحاظ گردد در حالی که L_m عرض یک آرایه مفروض است. بنابر این مطابق شکل (۴)، ابعاد استقراری هر آرایه از رابطه (۴) تعیین می شود.

$$X = L_m \cos \beta, \quad Y = L_m \sin \beta \quad (4)$$

با محاسبه Y می توان در این حالت $-D_s$ فاصله مناسب برای استقرار آرایه ها، بدون آن که سایه زمستانی بر روی صفحات پشتی بیافتد، را تعیین نمود.

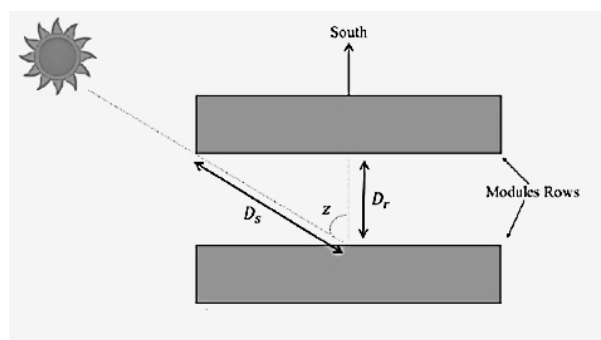
$$D_s = \frac{Y}{\tan \alpha}$$



شکل ۴ نمای جانبی از نحوه استقرار آرایه ها [۱۷]

اکنون با توجه به شکل (۵) و مطابق با معادله (۴)، طول سایه متمایل برای ۹ صبح می توان محاسبه کرد:

$$D_r = D_s \cos Z \quad (5)$$



شکل ۵ نمای فوقانی از فاصله دو آرایه [۱۷]

می دانیم که مساحت مورد نیاز برای زمینی با پهنای W_t و درازای مفروض L_t مطابق با رابطه (۶) خواهد بود:

$$A_t = W_t L_t \quad (6)$$

^۱ این مقدار در قزوین و در کوتاهترین زاویه ارتفاع زمستانی که در ساعت ۱۲ و برای اول دی ماه با زاویه ۳۱ درجه نسبت به افق در نظر گرفته شده است.



مرحله مهم برای محاسبه وزن اولویت و بررسی ناسازگاری‌ها است که محور مشخصه و نشانگر اعتبار وزن و اولویت هر معیار است.

۴- روش شناسی پژوهش

در تجزیه و تحلیل محل استقرار آرایه‌های پنل فتوولتائیک در دانشگاه (مقیاس کوچک)، در ابتدای کار، استخراج پیشینه تحقیق، تعاریف پایه و معیارها و نکات فنی جهت شناخت عرصه تحقیق مورد توجه قرار می‌گیرند. داده‌های محیطی استان و شهر قزوین، ویژگی‌های اقلیمی محل و عوامل موثر آن را بر کارایی پنل‌های خورشیدی، تعیین می‌شوند. با توجه به تعدد پارامترهای موثر در انتخاب زمین معیارها و گزینه‌های متنوعی در پژوهش مطرح است، که لازم است تا از روش تحلیل سلسله مراتبی و تصمیم‌گیری براساس معیارهای چندگانه در انتخاب سایت استفاده شود. با این کار، انتخاب محل استقرار مولد انرژی برق خورشید از میان زمین‌های پیشنهاد شده دانشگاه به شکل بهینه میسر می‌گردد. مشاهدات میدانی، مصاحبه با کارشناسان دفتر فنی دانشگاه و کسب داده‌های بروز شده از شرایط فعلی زمین، تغییرات احتمالی، امکانات زیر ساختاری، نقاط قوت و ضعف زمین مورد نظر را مشخص می‌کند.

پس از تعیین معیارها و گزینه‌های قابل بررسی در سایت مورد مطالعه، دانشگاه بین المللی امام خمینی، از روش AHP برای تحلیل محل نصب مناسب صفحه‌های خورشیدی در کنار آنالیز چند معیاری MCA^۱ مرتبط با عوامل محیطی، دسترسی به پست برق و ساختمان‌های مجاور، و چشم اندازی مناسب، استفاده می‌شود. با انتخاب زمین مناسب، امکان محاسبات فنی و پیشنهاد مشخصات نیروگاه کوچک مقیاس در فاز اول امکان‌پذیر است.

۵- تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش

۵-۱ شرایط محیطی نمونه مطالعاتی: دانشگاه بین المللی امام خمینی در

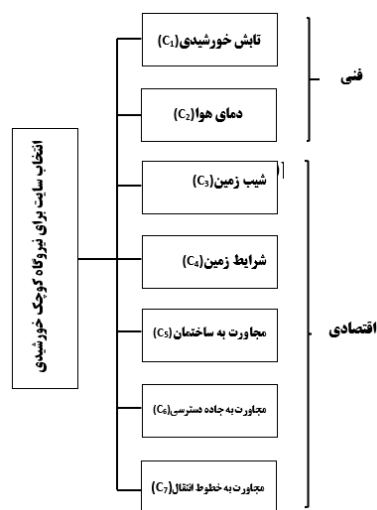
شهر قزوین

شهر قزوین در جبهه جنوبی رشته کوه البرز مرکزی با ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته و متاثر از بادهای مرطوب شمالی، سرد و خشک غربی و گرم جنوب شرقی است. بررسی آمار ماهانه نشان می‌دهد که در ایستگاه شهر قزوین، متوسط حداکثر و حداقل دما در یک بازه ۲۰ ساله، در مردادماه $36/5^{\circ}\text{C}$ گرم‌ترین و در دی ماه $6/5^{\circ}\text{C}$ سردترین ماه سال می‌باشند. در طول دوره آماری این ایستگاه پائین‌ترین دمای مشاهده شده $24-$ درجه سانتیگراد که در تاریخ $1355/10/20$ ثبت گردیده است. همچنین در طول دوره آماری میانگین سالانه تعداد روزهای یخبندان (حداقل دمای صفر و پایین تر) ۶۰ روز بوده است. میانگین سالانه نم نسبی در قزوین ۵۱ درصد است. افزایش رطوبت نسبی در شبانه روز معمولاً در اوایل صبح و کاهش آن در بعداز ظهر رخ می‌دهد. میانگین حداقل‌ها و حداکثرهای رطوبت نسبی نیز همانند میانگین سالانه در ماه‌های سرد سال از مقدار بیشتری برخوردار است. به طوری که بیشترین مقدار میانگین نم نسبی هوا مربوط به دی ماه و کمترین مقدار آن به مربوط به ماههای تابستان می‌باشد [۳۰]. این داده‌ها دارای اهمیت هستند زیرا که هوای ابری و بخار آب بر کاهش کارکرد صفحات فتوولتائیک تاثیر مستقیم دارند. بررسی داده‌های تعداد روزهای همراه با پوشش ابری ایستگاه سینوپتیک قزوین بیانگر آن است که از اواسط فصل پاییز تا اواسط فصل بهار که مصادف با فصول سرد سال است مقادیر ماهیانه

بهتر است که زمین مناسب را به شکل رایگان به سرمایه گذاران در بخش برق خورشیدی داده شود. در پردیس‌های دانشگاهی لازم است این زمین بدون وجود سایه اندازی انتخاب شوند.

برای مکان‌گزینی یک مولد در مقیاس کوچک (نمونه موردی در یک دانشگاه) از روش تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده می‌توان کرد. القرنی و همکار در مطالعات خود مراحل کلیدی تعیین بهترین سایت برای استقرار تاسیسات PV خورشیدی، استفاده از این روش را به شکل زیر توضیح دادند [۱۸]:

در مرحله اول مسئله تصمیم‌گیری در انتخاب سایت به تحلیل یک مدل سلسله‌مراتبی وابسته است. همان‌طور که در نمودار شکل ۶ نشان داده شده، هفت معیار برای انتخاب سایت در داخل دانشگاه می‌تواند مطرح باشد که با ارزیابی و تعیین وزن آنها، راه برای تصمیم‌گیری و انتخاب زمین مناسب هموار می‌شود.



شکل ۶ معیارهای تصمیم‌گیری در انتخاب محل نصب نیروگاه کوچک خورشیدی

[۱۸]

در مرحله دوم اقدام مهمی برای به دست آوردن یک ماتریس مقایسه زوجی و معرفی معیارها و همچنین تعیین وزن اولویت معیارها انجام می‌شود [۲۹]. در این مرحله برای بدست آوردن ماتریس مقایسه معیارها از جمله تابش خورشیدی، میانگین دمای سالانه، شیب، جنبه‌های زمین، مجاورت یک منطقه شهری، نزدیکی به جاده اصلی و مجاورت با خطوط برق تلاش می‌شود چنان که همگی عناصری هدفمند برای مطالعه در چهارچوب تصمیم‌گیری در انتخاب زمین پیشنهادی هستند.

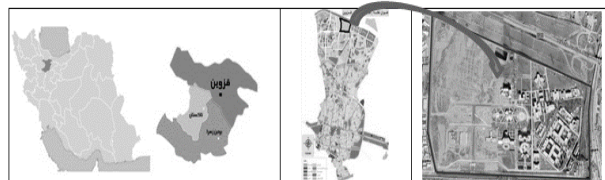
چند نکته منطقی، در این مرحله، برای اهمیت وزنه دهی معیارها وجود دارد. اول آن که معیارهای اقلیمی، از جمله تابش خورشیدی و میانگین دمای سالانه، مهمترین معیارها برای تداوم و کارایی مناسب عملکرد پنل‌ها هستند. در مرتبه بعدی معیار شیب زمین و جهت‌گیری نسبت به جنوب وجود دارای اهمیت است، که در ارتباط با مقدار تابش دریافت شده توسط پنل‌های خورشیدی، لازم است به آن توجه شود. همچنین از دیدگاه اقتصادی، فاصله تا ساختمان‌ها، پست یا شبکه برق، و جاده اصلی از اهمیت بالایی برخوردارند، زیرا زیرساخت‌ها و هزینه‌های انتقال نصب را تعیین می‌کنند. سومین

جدول ۱ توصیف کمتی قطعات زمین های پیشنهادی قابل ارزیابی در سایت ۷۵ هکتاری

شماره قطعه زمین	مساحت (متر مربع)	شرایط موجود زمین	وضعیت شیب درصد	وضعیت نظارت و دسترسی	فاصله تا نزدیکترین پست برق (متر)	میانگین فاصله** (متر)
۱	۱۷۲۷/۲	بایر	۳	مطلوب	۲۰۰	۵۰
۲	۲۳۴۸۶	بایر	۱۰-۵	نامطلوب	۴۰۰	۸۰
۳	۲۸۴۲۴	بایر	۵-۳	نامطلوب	۳۰۰	۱۵۰
۴	۲۰۵۸۵	بایر	۵-۳	متوسط	۱۵۰	۴۰
۵	۱۴۷۰۶	درخت کاری	۵	مطلوب	۶۰	۳۵
۶	۲۲۴۴۵	بایر*	۱۰-۵	متوسط	۵۰	۴۰

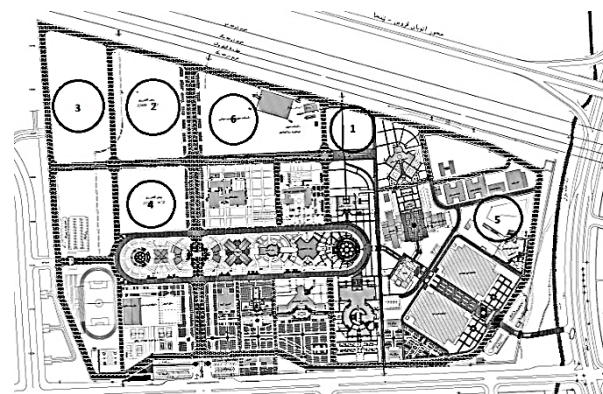
* در مجاورت استقرار آب ** مرکز زمین تا جاده

ابرنایکی افزایش داشته است و در ماههای گرم سال مقدار ابرناکی کاهش یافته و به حداقل می‌رسد. در مجموع ایستگاه قزوین ۶۹ روز از سال دارای آسمان پوشیده از ابر است. در قزوین بیشترین تعداد ساعات آفتابی مربوط به ماه تیرماه با ۳۵۴/۸ ساعت و کمترین آن با ۱۴۲/۹ ساعت در ماه آذر محاسبه شده است. میانگین جمع سالانه ساعات آفتابی در قزوین ۲۹۵۵ ساعت است. مطابق شکل ۷، بخش آموزشی دانشگاه امام خمینی در شمالی ترین منطقه شهر قزوین و مجاور به آزاد راه قزوین زنجان احداث شده است. ساخت و توسعه دانشگاه، به اتکاء دسترسی به بلوار شرقی بوده و به تدریج به سمت غرب گسترش یافته است.



شکل ۷ محل استقرار سایت ۷۵ هکتاری دانشگاه بین المللی امام خمینی در شهر قزوین

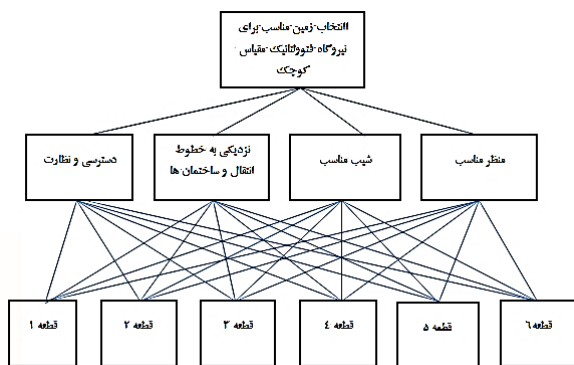
در توسعه دانشگاه برخی قطعات زمین، برای ساخت ساختمان های آتی انتخاب شده اند و برخی برای کاربری های تاسیساتی یا کشاورزی به شکل آزاد در نظر گرفته شده اند. در بخش ارزیابی و تحلیل مکان مناسب برای استقرار نیروگاه کوچک خورشیدی نزدیکی به خطوط انتقال و ساختمان ها، نزدیکی به جاده، شرایط زمین، امنیت و کنترل دسترسی، منظر مناسب^۱ مورد توجه و معیارانتخاب قرار گرفته اند. در جدول ۱، مشخصات فیزیکی قطعات زمین ها با توجه به شکل ۸، آورده شده است.



شکل ۸ نمایش توجیهی محل قطعات زمین پیشنهادی در سایت ۷۵ هکتاری

۵-۲ تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین قطعه زمین مناسب

در مرحله اول برای تحلیل سلسله مراتبی زمین های پیشنهادی نمودار هدف، مهمترین معیارها و گزینه های ممکن ترسیم می‌شود. معیارها بر اساس مطالعات کتابخانه ای و گزارش های کارشناسی قرارداد شده اند.



شکل ۹ نمودار ارتباطی معیارها و گزینه ها

در گام بعد باید مقایسات زوجی را بر اساس طیف ۱ تا ۹ -براساس روش مقیاس ساعتی- انجام می‌دهیم. سپس برای محاسبه وزن هر زمین ماتریس زوجی معیارهای آن تشکیل و میانگین هندسی هر ردیف وزن نرمال شده محاسبه می‌شود. متوسط هندسی به دست آمده را جمع و هر یک بر مجموع کل تقسیم می‌کنیم تا وزن نرمال شده هر معیار به دست آید. در جدول ۲ نتایج این محاسبه نمایش داده شده است.

جدول ۲ وزن نرمال شده هر یک از معیارها

وزن نرمال شده	منظر مناسب	دسترسی و نظارت	نزدیکی به شیب
۰/۵۸	۷	۵	۱
۰/۲	۵	۱	۱
۰/۱۶	۳	۱	۱
۰/۰۶	۱	۳	۱

^۱ با توجه به محاسبه عدم تداخل سایه اندازی در پیش فرض، معیار اهمیت منظر نیروگاه خورشیدی در دانشگاه جایگزین شد.

به ساختمان ها، و جاده دسترسی جهت نظارت از امنیت مناسبی برخوردارست. زمین شماره ۶، با مطلوبیت نسبی کمتر، در فاز دوم و در مجاورت استخر ذخیره آب و زمین شماره ۱، در صورت عدم احداث بنا، می تواند در فاز بعدی مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۵ بررسی ناسازگاری در قضاوت

برای آزمون نتایج در قضاوت از روش متداول ساعتی برای بررسی نظام ترجیحی در معیارها استفاده می شود که در آن ضریب ناسازگاری (IR) بر اساس تقسیم شاخص ناسازگاری (II) بر شاخص تصادفی بودن (RI)، محاسبه می شود. این ضریب مطابق قرار داد باید کوچکتر از ۰/۱ باشد تا تحلیل سلسله مراتبی از اعتبار برخوردار گردد. شاخص ناسازگاری مطابق رابطه (۱۱) به دست می آید [۳۱]:

$$I.I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (11)$$

شاخص تصادفی بودن RI برای $n=4$ معیار مورد نظر مطابق جدول زیر عدد ۰/۹ است.

جدول ۵ مقادیر شاخص تصادفی بودن (IR)

n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
R	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0

به هنگام استفاده از روش میانگین هندسی، روش تقریبی، لازم است تا شاخص سازگاری محاسبه شود و به جای λ_{\max} که مقدار ویژه ماکزیمم (بردار آنگن ولیو) است از میانگین هندسی L استفاده گردد که از رابطه (۱۲) به دست می آید:

$$L = \frac{1}{n} \left[\sum \left(\frac{A_{wi}}{W_i} \right) \right] \quad (12)$$

اکنون رابطه (۱۱) را برای شاخص سازگاری تبدیل به شکل معادله (۱۳) باز تعریف می شود:

$$C.I = \frac{L - n}{n - 1} \quad (13)$$

و ضریب سازگاری با رابطه (۱۴) قابل تعیین است:

$$C.R = \frac{C.I}{R.I} \quad (14)$$

در رابطه (۱۲)، AW_i برداری است که از حاصل ضرب ماتریس مقایسه زوجی معیارها در بردار ماتریس تک ستونی ضریب اهمیت معیارها به دست می آید.

$$AW_i = \begin{bmatrix} 2/4 \\ 0/73 \\ 0/65 \\ 0/23 \end{bmatrix}$$

جمع وزن های نرمال شده برابر یک است. برای ساده سازی محاسبات از قطعه ۵ - که دارای درختکاری است- و قطعه ۳ را -که در حاشیه غربی دانشگاه و با حداقل سهولت دسترسی و نظارت قرار دارد- به واسطه پیش بینی کسب امتیاز نامتناسب، چشم پوشی می شود. با تشکیل ماتریس های مقایسه های زوجی قطعات زمین ها ۱، ۲، ۴، ۶ نسبت به هر یک از معیارها بر اساس محاسبه میانگین هندسی، وزن نرمال شده هر زمین نسبت به گزینه ها در جدول ۳ مشخص می شود.

جدول ۳ وزن نرمال شده هر زمین نسبت به گزینه های چهارگانه

وزن های نرمال شده گزینه ها	منظور مناسب	دسترسی و نظارت	مجاورت به پست برق	شیب مناسب
زمین ۱	0/21	0/25	0/35	0/55
زمین ۲	0/19	0/09	0/09	0/04
زمین ۴	0/25	0/25	0/39	0/12
زمین ۶	0/25	0/31	0/17	0/29

برای تعیین امتیاز یا اولویت نهایی گزینه ها، از طریق معادله (۱۰)، دو مرحله را با هم می توان تلفیق کرد تا وزن نهایی گزینه ها محاسبه شود. برای این کار، از اصل ترکیب سلسله مراتبی ساعتی استفاده می شود که به یک بردار اولویت می انجامد؛ و بدین ترتیب، امتیاز نهایی به دست می آید:

$$\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m W_k W_i (g_{ij}) \quad (10)$$

که W_k وزن نرمال شده هر معیار و W_i وزن نرمال شده هر گزینه نسبت به هر یک از معیارهاست. با ضرب وزن نرمال شده هر معیار در ستون مربوطه آن در جدول و محاسبه مجموع امتیازهای هر قطعه از زمین ها، می توان به ترتیب اولویت در انتخاب زمین ها را تعیین نمود که در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴ اولویت بندی زمین های انتخاب شده برای استقرار نیروگاه فتوولتائیک در مقیاس کوچک

امتیاز نهایی	منظور مناسب	دسترسی و نظارت	مجاورت به پست برق	شیب مناسب
0/458	0/12	0/56	0/07	0/22
0/062	0/11	0/01	0/18	0/23
0/199	0/21	0/04	0/78	0/06
0/259	0/15	0/05	0/34	0/16

از مقایسه اوزان تعیین شده می توان به تمایز زمین شماره ۱ توجه نمود. این زمین بهترین موقعیت را برای فروش برق مازاد نیاز در روزهای آخر هفته، ایام تعطیلی دانشگاه، و به ویژه در مردادماه دارد. همچنین شیب مناسب و قابل نظارت بودن بدون چشم انداز نامناسب از موقعیت خاص این زمین است. همچنین به واسطه وجود دیوار حائل شمالی دانشگاه، نزدیکی

Consistency Index
Consistency Ratio

Inconsistency Ratio
Inconsistency Index
Random Index



requirements for the degree of Bachelor of Science in KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm, Sweden. Retrieved from kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:540264/FULLTEXT01, 2012.

- [6] P. Redweik, C. Catita, M. C. Brit, *rD local scale solar radiation model based on urban; LiDAR data*. Retrieved from http://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/ISPRS_Hannover2011/contribution169.pdf, 2011.
- [7] S. Rehman, S. G. Ghorri, Spatial estimation of global solar radiation using geostatistics. *Renewable Energy*, 21, pp.583-605, 2000.
- [8] H. Gonzalez, A. E. Brooks, E. S. Kopp, V. P. Lonij, A. D. Cronin. String-Level (kW-scale) IV curves from different module types under partial shade. In *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 38th IEE*, 2012.
- [9] A. Gastli, Y. Charabi, Solar electricity prospects in Oman using GIS based solar radiation maps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, pp.790-797, 2010.
- [10] Y. Choi, J. Suh, S.M. Kim, GIS-based solar radiation mapping, site evaluation, and potential assessment. *Applied Science*, 9, p.1960, 2019.
- [11] G., Khan, S. Rathi, Optimal site selection for solar PV power plant in an Indian state using geographical information system (GIS). *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, Volume 2, Issue 7, pp.260-266, 2014.
- [12] T. Voegtle, E. Steinle, D. Tóvári, Airborne laser scanning data for determination of suitable areas for photovoltaic, *ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop Laser scanning 2005*, Enschede, the Netherlands, September 12-14, 2005.
- [13] J. J. Augenbraun, *Energy from the Sun: A Solar Feasibility Study for Macquarie University*, Independent Study Project (ISP) Collection, p 868, 2010.
- [14] M. Munn, *Feasibility Study For a Clean Energy Standard For the University of California*, Office of the President, Energy and Utility Services, 2002.
- [15] M. Chimack, *Solar PV Feasibility at UIUC*, PhD Thesis, University of Illinois, pp. 78-89, 2011.
- [16] M. Reilly, *Solar Feasibility Study in University of Redlands*, A scientific Report, pp. 64-68, 2012.
- [17] D. Pearce, *Research into the feasibility of solar panel installation at the Crawley campus*, University of Western Australia, 2011.
- [18] H. Z. Al Garni, Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 2017, accessed: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>.
- [19] J.R. Janke, Multicriteria GIS Modeling of Wind and Solar Farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35, pp. 2228-2234, 2010.
- [20] P. Aragonés-Beltrán, F. Chaparro-González, J.P. Pastor-Ferrando and Rodríguez-Pozo, An ANP-based approach for the selection of photovoltaic solar power plant investment projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 249-264, 2010.
- [21] T. Stoffel, *20 Years of Solar Measurements*, The Solar Radiation Research Laboratory (SRRL) at NREL. 23 August 2005, accessed: http://www.nrel.gov/solar_radiation/pdfs/history.pdf
- [22] D. Hartley, J. Merchant, *Alternate Energy Feasibility Study for Campus Use*, Queen's University, Physical Plant Services, 2008.
- [23] A. G. Siraki, P. Pillary, Study of optimum tilts angles for solar panels in different latitudes for urban applications. *Solar Energy*, 86, pp.1920-1928, 2012.
- [24] I. H. Rowlands, B. P. Kemery, I. Beausoleil-Morrison, Optimal solar-PV tilt angle and azimuth: An Ontario (Canada) case-study. *Energy Policy*, 39, pp. 1397-1409, 2011.
- [25] H. Gunerhan, A. Hepbasli, Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications. *Building and Environment*, 42, pp.779-783, 2007.
- [26] T. Pavlovic, L. Panti, Lj. Osti. Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Nis, Serbia. *Contemporary Materials*, I-2, pp. 151-156, 2010.
- [27] A. A. A. Al-Khazzar, The Required Land Area for Installing a Photovoltaic Power Plant. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 8, 1, pp. 11-17, 2017.
- [28] P.L. Hidalgo-Gonzalez, A.E. Brooks, E.S. Kopp, V.P. Lonij, A.D. Cronin, String-Level (kW-scale) IV curves from different module

برای محاسبه L برای چهار معیار داده شده معادله (۹) به شکل زیر

نوشته می‌شود:

$$L = - \left(\frac{1}{4} + \frac{0.73}{0.58} + \frac{0.65}{0.2} + \frac{0.23}{0.16} + \frac{0.23}{0.06} \right) = 3 / 92$$

برای محاسبه شاخص سازگاری از رابطه (۹) استفاده می‌شود:

$$C.I = \frac{3 / 92 - 4}{4 - 1} = -0.03$$

$$C.R = \frac{-0.03}{0.9} = -0.033 < 0.1$$

بدین ترتیب آزمون سازگاری قضاوت انجام شده است. پس در پایان این

بخش به زمین شماره ۱ به عنوان بهترین گزینه می‌توان توجه نمود. این زمین ۸۷۲۷/۲ مترمربع مساحت داشته و یک دسترسی مهم، یک نظارت موثر در بخش شمالی سایت، در مجاورت دانشکده کشاورزی و در نزدیکی پست برق و شبکه ورودی اولیه برق به دانشگاه قرار دارد. از نظر چشم اندازی نامناسب نیز تداخلی با محوطه سبز و باز دانشکده (پشت ساختمان) ندارد.

۶- نتیجه گیری

امکان سنجی یک مولد خورشیدی فتوولتائیک در یک زمین محدود- مانند یک پردیس دانشگاهی- دارای پارامترهای محیطی خاصی است که توجه به آنها موجب افزایش کارایی نیروگاه و بازگشت زودتر سرمایه، استفاده بیش تر از انرژی تجدیدپذیر و کاهش گازهای آلاینده گلخانه ای است. این مقاله نشان داد که وزن این عوامل یکی نیست و با اولویت بندی درجات اهمیت این عوامل انتخاب زمین مناسب با دقت بیشتری انجام خواهد شد. اگرچه در مقیاس مزارع خورشید بهره گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS متداول است اما در مقیاس کوچک روش تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند تمایز مناسبی برای انتخاب زمین مناسب ایجاد کند. زمین مناسب در درجه اول با توجه شیب (حدود ۳ تا ۵٪) می‌تواند برای این نیروگاه انتخاب شود. شرایط دسترسی، نظارت و نزدیکی به ساختمان ها و یا شبکه انتقال نیرو در درجه دوم و شرایط مساوی قرار دارند و چشم انداز نامناسب در یک پردیس دانشگاهی می‌تواند در درجه آخر این ارزیابی قرار گیرد.

۷- تقدیر و تشکر

این مقاله بر گرفته از طرح پژوهشی به عنوان "امکان سنجی تامین برق خورشیدی فتوولتائیک در دانشگاه بین المللی امام خمینی- قزوین" می‌باشد که با حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه انجام شده است. همچنین از کارشناسان دفتر فنی دانشگاه برای تامین منابع مورد نیاز این مقاله سپاسگزاری می‌گردد.

۸- منابع مورد استفاده

- [1] D. Li, *Using GIS and Remote Sensing Techniques for Solar Panel Installation Site Selection*, MSc Thesis, University of Waterloo, 2013.
- [2] R. Foster, M. Ghassemi, A. Cota, *Solar energy: Renewable energy and the Environment*, London, Taylor and Francis Group, pp. 26-25, 2010.
- [3] S. A. Kalogirou, *Solar energy engineering: Processes and systems*. San Diego, CA: Elsevier, 2009.
- [4] صابری فرارستم، پتانسیل بهره مندی از انرژی خورشیدی در خراسان جنوبی مشرق اقتصاد انرژی، مهر و آبان، شماره ۱۳۱ و ۱۳۲، ۱۳۹۸.
- [5] J. Svantesson, E. Linder, *Solar electricity for rural households at the Fiji islands: a thesis presented in fulfilment of the*



types under partial shade, in *Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 38th IEEE, 2012.

- [29] J. A. Carrion, A. C. Estrella, F. A. Dols, M. Z. Toro, M. Rodriguez, A. R. Ridaó., 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 Review*, 12, pp. 2358-2380, 2007.

[۳۰] سالنامه هواشناسی استان قزوین، *آمار هواشناسی شهر قزوین*، ۱۳۷۵ - ۱۳۹۵، قابل دسترس در:

<https://ghazvin.mporg.ir/Portal/View/Page.aspx>.

[۳۱] توکلی، مرتضی، غریب فاضل نیا و علی اکبر گنجعلی، کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در تعیین اولویت بخش های اقتصادی: مطالعه موردی شهر ستان نیشابور، *فصلنامه روستا و توسعه*، سال ۱۲، شماره ۴، ۱۳۸۸، ص ۷۷-۹۸.

