

ارزیابی تأمین انرژی برای سیستم‌های فتوولتائیک بر مبنای تابع تحلیل‌گر انرژی خورشیدی (منطقه‌ی موردی: بزرگراه زنجان - تبریز)

محمدحسین رضایی مقدم^{1*}، مهدی هاتفی اردکانی²

1. استاد ژئومورفولوژی دانشکده‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز
2. فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد RS & GIS، دانشکده‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی،
دانشگاه تبریز

پذیرش: 94/11/17

دریافت: 94/8/7

چکیده

نیاز بشر به انرژی، پیوسته در حال افزایش و منابع انرژی فسیلی پایان‌پذیر روبه کاهش است. استفاده‌ی بی‌رویه از منابع سوخت فسیلی با آلوده ساختن محیط‌زیست زندگی در کره‌ی زمین را تهدید می‌کند و امروزه یکی از راه‌کارهایی که برای حل بحران انرژی پیشنهاد می‌شود، در کنار اصلاح مصرف، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. انرژی خورشیدی از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر است. در این پژوهش، کاربرد GIS در ارزیابی تأمین انرژی خورشیدی برای سامانه‌های روشنایی بزرگراه زنجان - تبریز توسط تابع تحلیل انرژی (Solar Analyst) بررسی شده است. همچنین از داده‌های ماهواره‌ای DEM ASTER منطقه‌ی مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار Arc GIS به منظور محاسبه‌ی تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین برای شش‌ماه (می تا اکتبر) استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل تنوع توپوگرافی از تابش سطحی متنوع برخوردار است و امکان به‌کارگیری سیستم‌های فتوولتائیک خورشیدی برای تأمین روشنایی بزرگراه زنجان - تبریز را تأیید می‌کند و در بحث تعیین مهم‌ترین عامل مؤثر بر تابش دریافتی در سطح، تابع Solar Analyst بیشترین هم‌بستگی را با عامل ارتفاع و کمترین هم‌بستگی را با عامل جهت شیب دارد.



واژگان کلیدی: انرژی خورشیدی، GIS، Solar Analyst، DEM، فتوولتائیک.

1. مقدمه

امروزه بحران انرژی و مشکلات ناشی از پایان‌پذیری سوخت‌های فسیلی، پژوهشگران را به فکر استفاده از منابع انرژی جایگزین واداشته است. در این میان، انرژی خورشیدی به‌عنوان منبعی پایان‌ناپذیر و رایگان مورد توجه جوامع قرار گرفته است. شرط لازم برای استفاده از سیستم‌های خورشیدی، تابش مناسب خورشید در محل مورد نظر است (جعفر کاظمی و همکاران، 1391: 41-42). ایران نیز به‌دلیل موقعیت جغرافیایی مناسب و پتانسیل بالای تابش خورشید، از فرصت ایده‌آلی برای توسعه صنعت انرژی خورشیدی، به‌ویژه سامانه‌های فتوولتائیک برخوردار است (نوری و همکاران، 1392: 24). باتوجه به ذخایر محدود انرژی فسیلی و افزایش سطح مصرف انرژی در جهان فعلی، دیگر نمی‌توان به منابع موجود انرژی متکی بود. در کشور ما نیز، باتوجه به نیاز روزافزون به منابع انرژی و کم‌شدن منابع انرژی فسیلی، ضرورت سالم نگه داشتن محیط‌زیست، کاهش آلودگی هوا، محدودیت‌های برق‌رسانی و تأمین سوخت برای نقاط و روستاهای دورافتاده و... استفاده از انرژی‌های نو مانند انرژی باد، انرژی خورشید...، می‌تواند جایگاه ویژه‌ای داشته باشد (کمالی و همکاران، 1385: 42). آمارها نشان می‌دهد که حدود دو درصد توان تولیدشده در کشور صرف مصرف روشنایی جاده‌ها می‌شود. از طرف دیگر باتوجه به صعب‌العبور بودن، دسترسی‌نداشتن برخی جاده‌های مناطق کوهستانی به شبکه‌ی برق سراسری و یا هزینه‌ی زیاد اجرای این سیستم‌ها استفاده از منابع انرژی دیگر توصیه می‌شود (شفقت و همکاران، 1389: 333-336). همچنین باتوجه به اینکه یکی از مهم‌ترین علل تصادفات جاده‌ای، خستگی و خواب‌آلودگی رانندگان در هنگام رانندگی در این جاده‌هاست که همواره خسارات جبران‌ناپذیری را به آنان تحمیل می‌کند، نیاز و ضرورت به بازنگری در بخش توزیع انرژی الکتریکی روشنایی جاده‌ها به‌شدت، احساس شد و امکان‌سنجی و طراحی سیستم روشنایی جاده‌ها با استفاده از سیستم روشنایی خورشیدی در اولویت پروژه‌های تحقیقاتی قرار گرفت (اکبری مطلق و همکاران، 1390: 1). یکی از کاربردهای مهم انرژی خورشیدی، تبدیل انرژی خورشیدی بدون بهره‌گیری از مکانیزم‌های متحرک به‌صورت مستقیم به انرژی الکتریکی توسط سیستم‌های فتوولتائیک¹ است (Keese Et al., 2003: 3).

1. Photovoltaic Systems

2. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

سیستم‌های فتوولتائیک در بین سایر سیستم‌های خورشیدی پس از نصب، کمترین هزینه‌ی تعمیر و نگهداری را دارند؛ همین امر محققان را بر آن داشته است که فعالیت‌های خود را در زمینه‌ی این انرژی پاک گسترش دهند (رضایی و همکاران، 1392: 84). امروزه یکی از بهترین راه‌ها، به‌کارگیری سیستم‌های فتوولتائیک به‌منظور تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی است که هیچ‌گونه تهدیدی برای محیط‌زیست ندارد و وزارت راه و ترابری به‌عنوان متولی اصلی صنعت حمل‌ونقل کشور نیازمند به‌کارگیری این فناوری برای کلیه‌ی جاده‌ها در تمام سطوح است. در بسیاری از مناطق کشور به‌دلیل محدودیت‌هایی از قبیل ارتفاع زیاد، صعب‌العبور بودن و شرایط توپوگرافی نامساعد و دور بودن از منابع انرژی امکان برق‌رسانی برای تأمین انرژی‌های لازم برای آن مناطق که از جمله‌ی این مناطق اکثر جاده‌های مواصلاتی برون-شهری است یا وجود ندارد و یا از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست (پرویز و همکاران، 1388: 1079). شناسایی موقعیت جغرافیایی یک نقطه، برای تعیین کیفیت و کمیت انرژی دریافتی آن نقطه ضروری است. تعداد ساعات آفتابی سالانه در نقاط مختلف سطح کره‌ی زمین بین هزار تا بیش از چهارهزار ساعت متغیر است؛ اما تنها دانستن میزان ساعات آفتابی در یک نقطه، برای تعیین موقعیت خورشید در آن نقطه کافی نیست؛ زیرا مقدار انرژی خورشیدی واصله به یک نقطه، به ساعت، روز، فصل سال و وضعیت اتمسفر هم بستگی دارد (سیدموسی میرقربانی گنجی، 1392: 52-53). باتوجه به ظرفیت تابش نور خورشید به‌میزان متوسط روزانه پنج کیلووات ساعت بر مترمربع در نود درصد مساحت کشور در بیش از سیصد روز آفتابی، در آینده‌ی نه‌چندان دور خورشید به‌عنوان یک منبع بزرگ تولید انرژی الکتریکی و حرارتی برای کشور محسوب خواهد شد (منظور و همکاران، 1391: 59). در شدت تابش خورشیدی دریافتی در سطح زمین سه عامل اصلی تأثیر می‌گذارد:

1. زاویه‌ی میل خورشیدی¹؛
2. میزان ابر و ناهمگونی‌های جوی؛
3. توپوگرافی زمین.

مورد اول به شیب زمین و فصل بستگی دارد. مورد دوم با فراسنج‌های جوی منطقه در ارتباط است و مورد سوم به متغیرهایی از جمله ارتفاع، جهت و اندازه‌ی شیب و گرادیان غالب در منطقه‌ی دریافت تابش خورشیدی بستگی دارد. تغییرپذیری در ارتفاع، زاویه‌ی سمت‌الرأس و

1. Declination angle



موانع افقی موجود بر سر راه تابش که در اثر وجود ارتفاعات مجاور پدید می‌آید، عامل مهم و اساسی در مقدار تابش رسیده به زمین است؛ برای مثال در نیمکره‌ی شمالی شیب‌های جنوبی، در معرض تابش بیشتری نسبت به شیب‌های شمالی هستند. اگرچه به اهمیت اثر توپوگرافی بر تابش خورشیدی پی برده شده است ولی در مدل‌های برآورد تابش خورشیدی، تأثیر عوامل فوق کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Berninger, 1994: 21). و از آنجایی که اندازه‌گیری‌های میدانی برای محاسبه‌ی تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین با توجه به اینکه دقت بالایی دارد اما بسیار پرهزینه است (پرویز و همکاران، 1388: 1079). تکنیک‌های سنجش از دور به دلیل دقت و سرعت بالا و تصاویر ماهواره‌ای به دلیل تهیه‌ی آن‌ها در سری‌های زمانی در پیش‌بینی مقادیر تابش خورشید می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش‌های تجربی و قدیمی در این زمینه باشند (Mather Et al., 2010: 105). پیشرفت‌های به دست آمده در زمینه‌ی سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در سال‌های گذشته و استفاده از مدل رقومی زمین (DTM) Digital Terrain Model در محاسبات تابش خورشیدی باعث بهبود در برآورد تابش شده است، بسته‌ی نرم‌افزاری GIS به راحتی با مدل‌های برآورد تابش کار می‌کند و می‌تواند تابش را برای هر نوع از توپوگرافی محاسبه کند. روش تحلیل تابش خورشیدی (Solar Analyst) یکی از پرکاربردترین مدل‌های GIS برای برآورد تابش است. این ابزار با استفاده از مدل رقومی زمین به برآورد تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین می‌پردازد (Berninger, 1994: 22). برای برآورد انرژی خورشید در یک منطقه، مدل‌ها و الگوهای مختلف و روش‌های تجربی متعددی توسط پژوهشگران داخلی و خارجی پیشنهاد شده است که بیشتر این مدل‌ها براساس پارامترهای اقلیمی و آمارهای هواشناسی گردآوری شده‌اند؛ اما این مقاله قصد دارد با استفاده از تصاویر DEM ASTER و با کمک تابع Solar Analyst در محیط نرم‌افزار ArcGIS، به محاسبه‌ی مقدار تابش رسیده به سطح زمین بپردازد و همچنین پدیده‌ی تابش در منطقه‌ی مورد مطالعه را پهنه بندی کرده و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آن از جمله ارتفاع، شیب و جهت شیب و میزان و شدت این عوامل را تعیین کند. مطالعات زیادی در زمینه‌ی برآورد تابش خورشیدی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته که اکثراً روش آن‌ها با روش این مقاله متفاوت است. از جمله مهم‌ترین این مطالعات: معینی و همکاران (1389) با استفاده از ساعات آفتابی و ارائه‌ی یک مدل بهینه به تخمین میانگین ماهانه‌ی میزان تابش خورشید بر سطح افقی پرداختند. رحیمی خوب و همکاران (1390) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی نوا و روابط آماری در منطقه‌ی جنوب شرق تهران تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین را برآورد کردند. جعفر کاظمی و همکاران (1392) با استفاده از شبکه-

های عصبی مصنوعی، میزان تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین را محاسبه کردند. خسروی و همکاران (1392) به برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی در محیط GIS پرداختند. ولی‌زاده کامران (1393) با استفاده از DEMSRTM و با کمک تابع Solar Analyst در محیط نرم‌افزار ArcGIS در استان آذربایجان شرقی به محاسبه‌ی مقدار تابش رسیده به سطح زمین برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل پرداختند. تاسومی¹ و همکاران (2003) از روش SEBAL و توابع الحاقی دیگر برای محاسبه‌ی تابش، دمای سطح و درنهایت تبخیر- تعرق در غرب ایالت متحده استفاده کردند. رامچاندرا² (2007) کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را برای برآورد پتانسیل خورشید در ایالت کارناتاکا³ در هند و اوتارا⁴ و داکشنا⁵ کانادا بررسی کرده است. پیدالا⁶ و همکاران (2008) برآورد تابش خورشیدی از مدل‌های توسعه‌یافته‌ی توزیعی Arc GIS و مدل رقمی زمین استفاده کردند. مارتینز⁷ و همکاران (2009) به‌منظور برآورد تابش روزانه خورشیدی در مناطقی با توپوگرافی متفاوت از مدل رقمی زمین و تصاویر ماهواره‌ای Meteosat استفاده کردند. هانگ⁸ و همکاران (2009) امکان‌سنجی اقتصادی استفاده از انرژی خورشید در روشنایی جاده‌ها را بررسی کردند. سانگ- هو- هونگ⁹ و همکاران (2009) تابش خالص را به روش SEBAL از ترکیب تصاویر سنجنده‌ی MODIS با سنجنده‌ی لندست استخراج کردند. گاستلی¹⁰ و همکاران (2010) برای اندازه‌گیری تابش خورشیدی در عمان از روش تحلیل تابش در نرم‌افزار Arc GIS استفاده کردند.

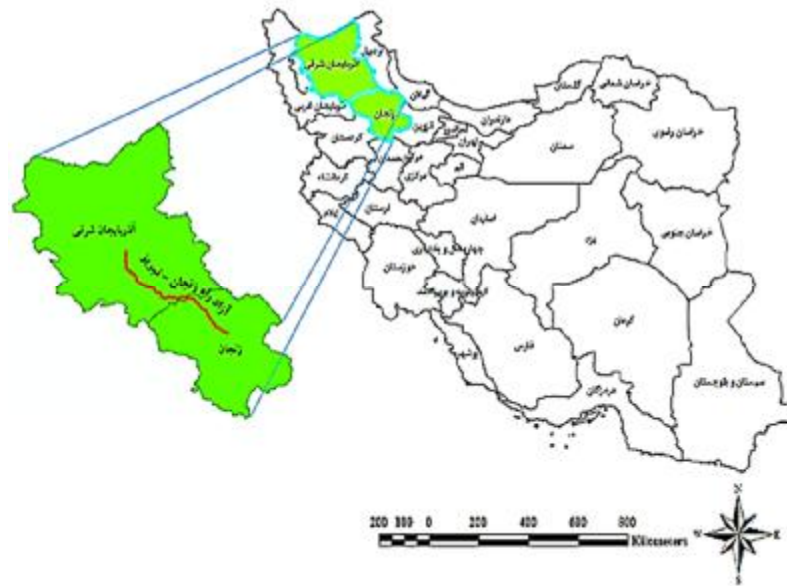
3. منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در پژوهش حاضر شامل 220 کیلومتر از طول آزادراه زنجان - تبریز است که از عوارضی جاده‌ی زنجان با مختصات 36 درجه و 39 دقیقه‌ی عرض جغرافیایی شمالی و 48 درجه و 26 دقیقه‌ی طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ شروع شده و تا مختصات

1. Tasumi et.al
2. Ramachandra
3. Karnataka
4. Uttara
5. Dakshina
6. Piedallu et.al
7. Martinez et.al
8. Huang et.al
9. Sung-Ho-Hong et.al
10. Gastli et.al



46 درجه و 50 دقیقه‌ی عرض جغرافیایی شمالی و 37 درجه و 36 دقیقه‌ی طول شرقی از نص النهار گرینویچ ادامه می‌یابد. این آزادراه از تهران به سوی شمال غرب تا تبریز ادامه دارد. و از مهم‌ترین خطوط ترانزیت کشور است که قطب صنعتی مرکزی (تهران) را به قطب صنعتی آذربایجان و از آنجا به ترکیه پیوند می‌دهد. این آزادراه از استان زنجان و بخش‌هایی از استان آذربایجان شرقی عبور می‌کند (شکل 1). استان زنجان در شمال غربی ایران بین 35 درجه و 33 دقیقه تا 37 درجه و 15 دقیقه‌ی عرض جغرافیایی شمالی و 47 درجه و 10 دقیقه تا 49 درجه و 26 دقیقه‌ی طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد و به هفت استان (از شمال به استان‌های اردبیل و گیلان، از شرق به استان قزوین، از جنوب به استان همدان، از جنوب غربی به استان کردستان، از غرب به استان آذربایجان غربی و از شمال غرب به استان آذربایجان شرقی) محدود می‌شود که ارتفاع آن از سطح دریا 1663 متر است (احد نژاد روشنی، 1388: 174). عبور تنها بزرگراه غرب و شمال غرب کشور از استان زنجان موقعیت ممتازی به این استان بخشیده است. همچنین تنها راه مواصلاتی ریلی ایران و اروپا از شهر زنجان می‌گذرد که این نکته نیز از نظر ژئوپلتیک و موقعیت سیاسی و سرزمینی بسیار مهم است (ماهنامه‌ی ایران پاک، 1388: 33). همچنین استان آذربایجان شرقی به دلیل موقعیت ویژه‌ی جغرافیایی از گذشته‌ی دور پل ارتباطی ایران با کشورهای منطقه‌ی قفقاز و اروپا بوده است. این استان با وسعت 45490/88 کیلومتر مربع در شمال غرب ایران قرار دارد که 2/7 درصد از مساحت کشور را دربر می‌گیرد و از این نظر، یازدهمین استان کشور است. آذربایجان شرقی از نظر موقعیت جغرافیایی بین نصف‌النهارات 45 درجه و 30 دقیقه تا 47 درجه و 43 دقیقه‌ی طول شرقی و مدارهای 36 درجه و 47 دقیقه تا 38 درجه و 42 دقیقه‌ی عرض شمالی قرار گرفته است (اسماعیلی و همکاران، 1391: 2).



شکل 1: نقشه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

4. روش‌شناسی تحقیق

در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای DEM ASTER با دقت متوسط ارتفاعی 20 متر (تخمین دقت در سطح اطمینان 95 درصد) و قدرت تفکیک مکانی 30 متر در قطعات یک در یک درجه تهیه‌شده از باندهای 3 و 4 سنجنده‌ی ASTER (باندهای Band3 Nadir view و Band3 Backward scan). سنجنده‌ی ASTER یکی از پنج سنجنده‌ی سوار بر ماهواره‌ی TERRA است که در محدوده‌ی طیفی 0/52 - 11/65 میکرومتر از زمین تصویربرداری می‌کند. و از نرم‌افزار Arc GIS10.1، برای انجام تحلیل‌های زمانی و مکانی و خروجی گرفتن از نتایج، استفاده شده است.

4-1. ابزار تحلیل تابش خورشیدی¹

توپوگرافی عامل اصلی در تعیین پراکنش مکانی تابش است. تغییر در ارتفاع، شیب، جهت شیب و سایه‌ها که ناشی از تفاوت توپوگرافی در نقاط گوناگون است، سبب تغییر در شدت

1. Solar Analyst



تابشی می‌شود که به زمین می‌رسد. مقدار تابش در طول سال از روزی به روز دیگر نیز تغییر می‌کند. روش تحلیل تابش قادر به تحلیل و به تصویر کشیدن اثر خورشید روی یک منطقه‌ی جغرافیایی در طول یک دوره‌ی زمانی مشخص است. این ابزار با در نظر گرفتن اثرات جوی، عرض جغرافیایی، ارتفاع محل، مقدار شیب، جهت شیب و زاویه‌ی ورودی خورشید در طول روز به برآورد تابش می‌پردازد. پرتوهای خورشید در گذر از جو تغییر می‌کند که بیشترین تغییر در تابش توسط توپوگرافی و ذرات موجود در ورود سپهر صورت می‌گیرد و باعث ایجاد مؤلفه‌های تابش مستقیم، تابش پخشیده و بازتابیده می‌شود. موارد پیش گفته، به ترتیب اجزای اصلی تابش کل را تشکیل می‌دهند. روش تحلیل تابش مؤلفه‌های بازتابیده‌ی تابش را در نظر نمی‌گیرد؛ بنابراین، تابش کل از جمع تابش مستقیم و تابش پخشیده برآورد می‌شود. همچنین این ابزار قادر است تابش را برای یک نقطه یا یک منطقه‌ی جغرافیایی برآورد کند (Moon Et al., 1987: 710).

4-2. آماده‌سازی تصویر

تصاویر DEMSRTM از طریق سایت ناسا دانلود شد¹. این تصاویر ابتدا موزائیک شده و سپس Subset به منظور جداسازی منطقه‌ی مورد مطالعه (بزرگراه زنجان - تبریز) از کل تصویر انجام گرفت. باتوجه به زمین مرجع بودن این تصاویر، عملیات تصحیح هندسی مورد نیاز نیست.

4-3. ایجاد لایه‌های شیب و جهت شیب

در محیط نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از منوی تحلیل‌های توپوگرافی بر روی لایه DEM لایه‌های شیب و جهت شیب استخراج و ذخیره شد.

4-4. محاسبه‌ی تابش رسیده به زمین

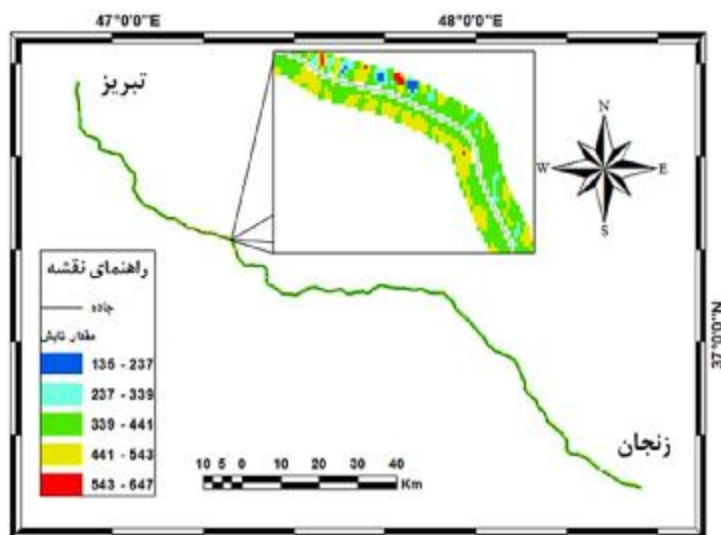
با استفاده از تابع Solar Analyst که از توابع تحلیل‌های فضایی به‌شمار می‌رود و باتوجه به تحلیل‌های قبلی مبنی بر نبود شرایط ابرآلودگی در روزهای انتخاب شده با استفاده از تصاویر لندست 8 موجود. در این تحقیق (شش‌ماه می تا اکتبر) برای روزهای 120 و 152 و 184 و 216 و 248 و 296 در سال 2013 مابین ساعات 10-11 قبل از ظهر اقدام به برآورد تابش رسیده به سطح زمین گردید. دلیل انتخاب این روزها وجود تصاویر ماهواره‌ای (تصاویر لندست

2. www2.jpl.nasa.gov/srtm

(8) و دلیل انتخاب ساعت 10-11 قبل از ظهر، هم‌زمانی عبور بیشتر ماهواره‌های زمین آهنگ در این ساعات است.

5. یافته‌های تحقیق

5-1. محاسبه‌ی تابش رسیده به زمین در ماه می (روز 120 سال 2013) در شکل 2 نتایج حاصل از اعمال تابع Solar Analyst در ماه می سال 2013 نشان داده شده است. با توجه به توزیع و پراکنش مقادیر تابش از 135-645 وات بر مترمربع به پنج کلاس طبقه‌بندی شد که کلاس شماره‌ی سه با مقادیر 339-441 وات بر مترمربع و 88/70 درصد کل تابش بیشترین توزیع را دارد (جدول 1).

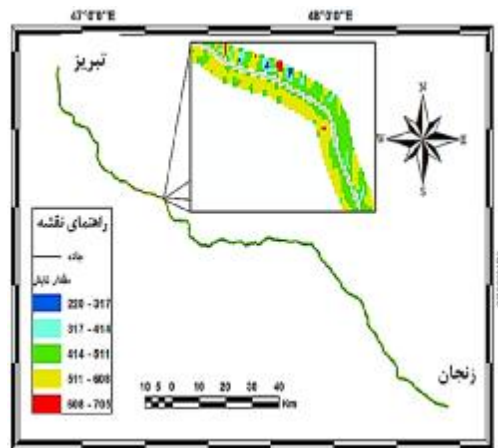


شکل 2: نقشه‌ی توزیع تابش رسیده به زمین در ماه می

جدول 1: تابش طبقه‌بندی شده در ماه می

مقدار برحسب تابش (درصد)	مقدار برحسب (w/m^2)	کلاس تابش
0/09	135 - 237	1
3/60	237 - 339	2
88/70	339 - 441	3
7/51	441 - 543	4
0/10	543 - 647	5

5-2. محاسبه‌ی تابش رسیده به زمین در ماه ژوئن (روز 152 سال 2013) در شکل 3 نتایج حاصل از اعمال تابع Solar Analyst در ماه ژوئن سال 2013 نشان داده شده است. با توجه به توزیع و پراکنش مقادیر تابش از 705-220 وات بر مترمربع به پنج کلاس طبقه‌بندی شد که کلاس شماره‌ی سه با مقادیر 511-414 وات بر مترمربع و 83/43 درصد کل تابش بیشترین توزیع را دارد (جدول 2).

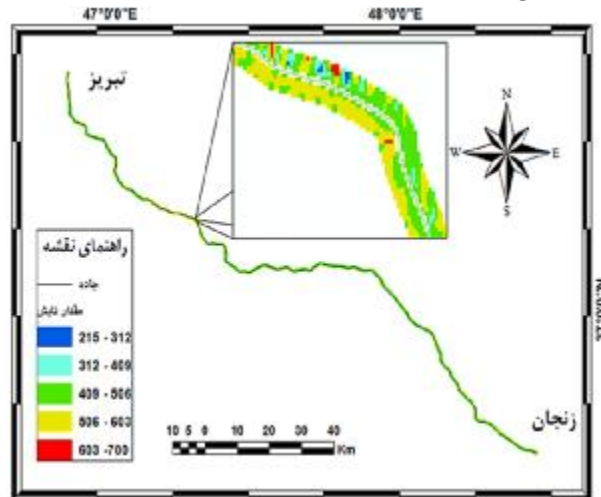


شکل 3: نقشه‌ی توزیع تابش رسیده به زمین در ماه ژوئن

جدول 2: تابش طبقه‌بندی شده در ماه ژوئن

مقدار برحسب (درصد)	مقدار برحسب (w/m^2)	کلاس تابش
0/06	220 - 317	1
2/07	317 - 414	2
83/43	414 - 511	3
14/27	511 - 608	4
0/17	608 - 705	5

5-3. محاسبه‌ی تابش رسیده به زمین در ماه جولای (روز 184 سال 2013) در شکل 4 نتایج حاصل از اعمال تابع Solar Analyst در ماه جولای سال 2013 نشان داده شده است. با توجه به توزیع و پراکنش مقادیر تابش از 215-700 وات بر مترمربع به پنج کلاس طبقه‌بندی شد که کلاس شماره‌ی سه با مقادیر 409-506 وات بر مترمربع و 83/26 درصد کل تابش بیشترین توزیع را دارد (جدول 3).

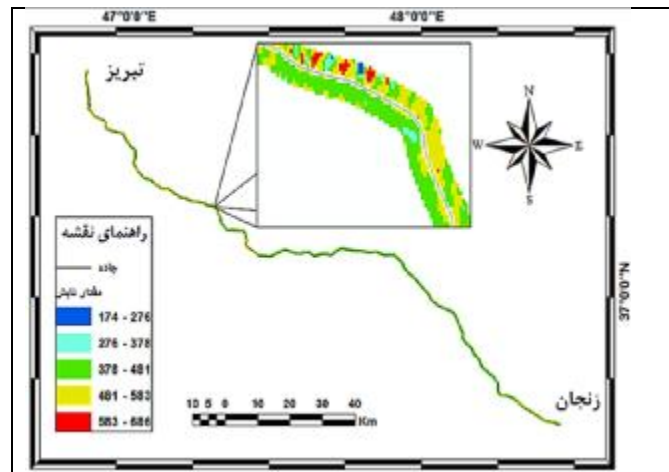


شکل 4: نقشه‌ی توزیع تابش رسیده به زمین در ماه جولای

جدول 3: تابش طبقه‌بندی شده در ماه ژولای

مقدار بر حسب (درصد)	مقدار بر حسب (w/m ²)	کلاس تابش
0/06	215 – 312	1
2/04	312 – 409	2
83/26	409 – 506	3
14/48	506 – 603	4
0/16	603 – 700	5

5-4. محاسبه‌ی تابش رسیده به زمین در ماه آگوست (روز 216 سال 2013) در شکل 5 نتایج حاصل از اعمال تابع Solar Analyst در ماه آگوست سال 2013 نشان داده شده است. باتوجه به توزیع و پراکنش مقادیر تابش از 686-174 وات بر مترمربع به پنج کلاس طبقه‌بندی شد که کلاس شماره‌ی سه با مقادیر 481-378 وات بر مترمربع و 67/34 درصد کل تابش بیشترین توزیع را دارد (جدول 4).

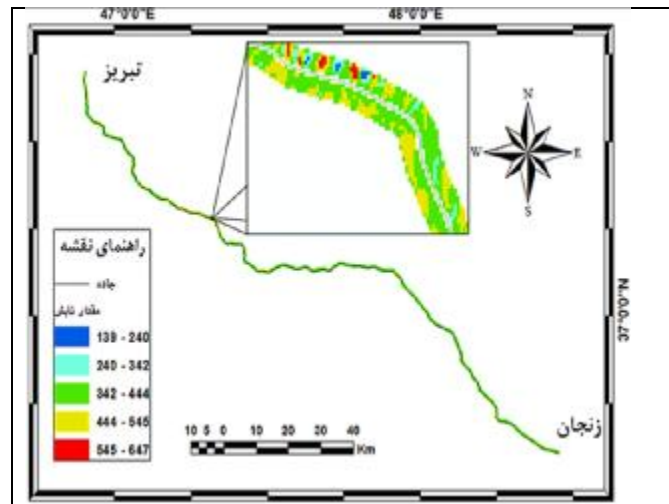


شکل 5: نقشه‌ی توزیع تابش رسیده به زمین در ماه آگوست

جدول 4: تابش طبقه‌بندی‌شده در ماه آگوست

مقدار برحسب (درصد)	مقدار برحسب (w/m^2)	کلاس تابش
0/03	174 - 276	1
0/61	276 - 378	2
67/34	378 - 481	3
31/37	481 - 583	4
0/65	583 - 686	5

5-5. محاسبه‌ی تابش رسیده به زمین در ماه سپتامبر (روز 248 سال 2013) در شکل 6 نتایج حاصل از اعمال تابع Solar Analyst در ماه سپتامبر سال 2013 نشان داده شده است. باتوجه به توزیع و پراکنش مقادیر تابش از 139-647 وات بر مترمربع به پنج کلاس طبقه‌بندی شد که کلاس شماره‌ی سه با مقادیر 342-444 وات بر مترمربع و 87/77 درصد کل تابش بیشترین توزیع را دارد (جدول 5).

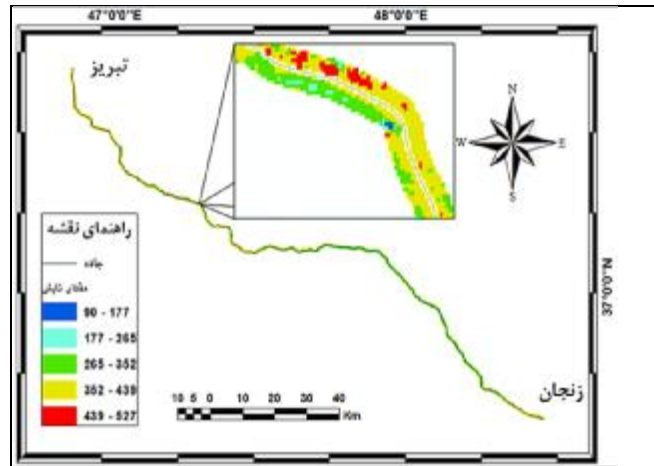


شکل 6: نقشه‌ی توزیع تابش رسیده به زمین در ماه سپتامبر

جدول 5: تابش طبقه‌بندی‌شده در ماه سپتامبر

مقدار برحسب (درصد)	مقدار برحسب (w/m^2)	کلاس تابش
0/07	139 – 240	1
3/05	240 – 342	2
87/77	342 – 444	3
8/98	444 – 545	4
0/13	545 – 647	5

5-6. محاسبه‌ی تابش رسیده به زمین در ماه اکتبر (روز 296 سال 2013) در شکل 7 نتایج حاصل از اعمال تابع Solar Analyst در ماه اکتبر سال 2013 نشان داده شده است. باتوجه به توزیع و پراکنش مقادیر تابش از 527-90 وات بر مترمربع به پنج کلاس طبقه‌بندی شد که کلاس شماره‌ی چهار با مقادیر 439-352 وات بر مترمربع و 50/94 درصد کل تابش بیشترین توزیع را دارد (جدول 6).

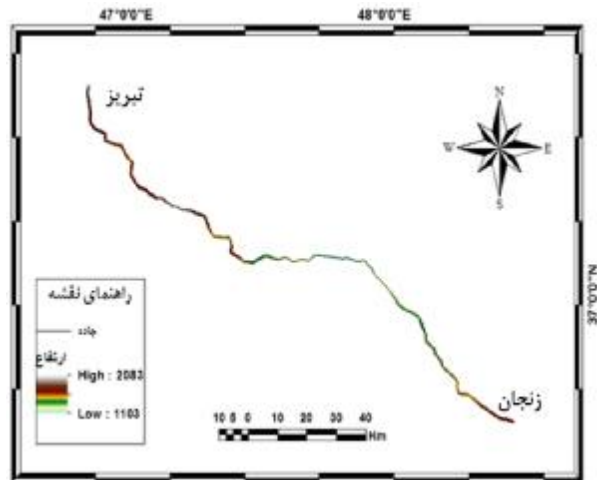


شکل 7: نقشه‌ی توزیع تابش رسیده به زمین در ماه اکتبر

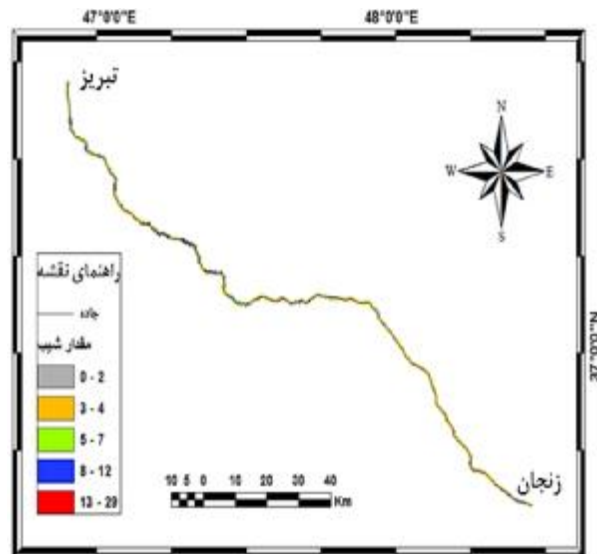
جدول 6: تابش طبقه‌بندی‌شده در ماه اکتبر

مقدار برحسب (درصد)	مقدار برحسب (w/m^2)	کلاس تابش
0/07	90 – 177	1
0/44	177 – 265	2
47/21	265 – 352	3
50/94	352 – 439	4
1/34	439 – 527	5

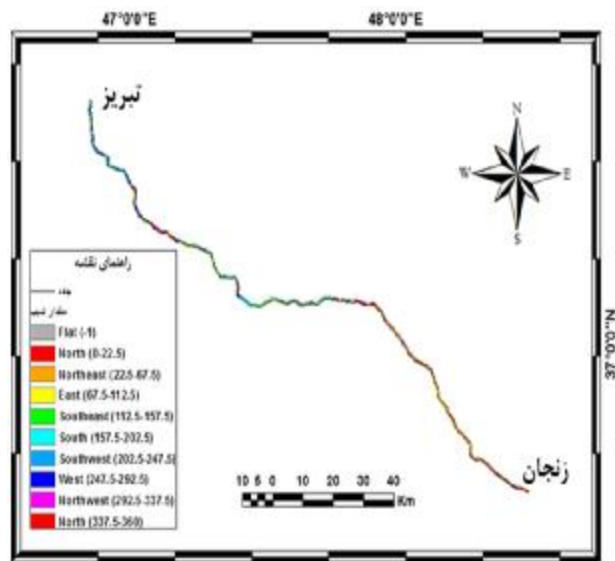
5-7. تعیین مهم‌ترین عامل مؤثر بر تابش رسیده به زمین در شکل‌های 8، 9 و 10 نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، شیب و جهت شیب به‌عنوان عوامل مؤثر بر تابش رسیده به سطح زمین برای منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل 8: نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل 9: نقشه‌ی شیب منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل 10: نقشه‌ی جهت شیب منطقه‌ی مورد مطالعه

5-8. محاسبه‌ی هم‌بستگی بین عوامل مؤثر بر تابش

در این مرحله با استفاده از تابع Zonal Statistics از نرم‌افزار Arc GIS میانگین مقادیر سه عامل ارتفاع، شیب و جهت شیب را برای مقدار تابش محاسبه‌شده توسط تابع Solar Analyst در منطقه‌ی مورد مطالعه پهنه‌بندی شد که برای مشخص کردن مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تابش، هم‌بستگی سه عامل ارتفاع، شیب و جهت شیب را با تابش محاسبه‌شده توسط تابع Solar Analyst را محاسبه کرده که نتایج آن در جدول 7 نشان داده شده است.

جدول 7: هم‌بستگی عوامل ارتفاع، شیب، جهت شیب

هم‌بستگی (درصد)			نوع عامل نوع تابع
جهت شیب	شیب	ارتفاع	
0/0223	0/0036	0/2491	Solar Analyst



6. بحث و بررسی

- با اجرای تابع Solar Analyst بر روی تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های ارتفاعی مقدار تابش در ماه می 647-135 وات بر مترمربع به دست آمد که بیشترین مقدار توزیع در کلاس 441-339 وات بر مترمربع با 88/70 درصد قرار گرفته است (جدول 1). در ماه ژوئن 705-220 وات بر مترمربع که بیشترین مقدار توزیع در کلاس 511-414 وات بر مترمربع با 83/43 درصد قرار گرفته است (جدول 2). در ماه جولای 700-215 وات بر مترمربع که بیشترین مقدار توزیع در کلاس 506-409 وات بر مترمربع با 83/26 درصد قرار گرفته است (جدول 3). در ماه آگوست 686-174 وات بر مترمربع که بیشترین مقدار توزیع در کلاس 481-378 وات بر مترمربع با 67/34 درصد قرار گرفته است (جدول 4). در ماه سپتامبر 647-139 وات بر مترمربع که بیشترین مقدار توزیع در کلاس 444-342 وات بر مترمربع با 87/77 درصد قرار گرفته است (جدول 5). در ماه اکتبر 527-90 وات بر مترمربع که بیشترین مقدار توزیع در کلاس 439-352 وات بر مترمربع با 50/94 درصد قرار گرفته است (جدول 6). باتوجه به یافته‌های تحقیق، تابش خورشیدی موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه از محدوده‌ی 90 - 705 وات بر مترمربع است.

- باتوجه به جدول 7 در محاسبه‌ی تابش، همبستگی تابع تحلیل انرژی خورشیدی (Solar Analyst) با عامل شیب 0/0036 درصد، با عامل جهت شیب 0/0223 درصد و با عامل ارتفاع 0/2491 درصد محاسبه شد که نشان می‌دهد تابع Solar Analyst بیشترین همبستگی را با عامل ارتفاع و کمترین همبستگی را با عامل شیب دارد؛ چون مدل رقومی ارتفاع (DEM) مهم‌ترین شاخص در محاسبه‌ی تابش توسط تابع تحلیل انرژی خورشیدی (Solar Analyst) است؛ بنابراین این تابع عامل ارتفاع را بیشتر و عوامل شیب و جهت شیب را کمتر در محاسبه‌ی تابش رسیده به سطح زمین دخالت می‌دهد؛ در نتیجه می‌توان گفت که از بین سه عامل تأثیرگذار در محاسبه‌ی تابش، عامل ارتفاع منطقه، بیشترین همبستگی و مهم‌ترین عامل مؤثر در تابش رسیده به سطح زمین را دارد.

- باتوجه به شکل 9 توپوگرافی منطقه، ارتفاع متغیری دارد که از ارتفاع 1103 متر شروع شده و تا 2083 متر ادامه می‌یابد. همچنین شکل‌های 2 الی 7 نشان می‌دهد که تابش رسیده به سطح زمین، محدوده‌ی بسیار متغیری دارد. تابش خورشیدی موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه از محدوده‌ی 90-705 وات بر مترمربع متغیر است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تابش در منطقه‌ی مورد مطالعه از توزیع متنوعی برخوردار است.

7. نتیجه‌گیری

در سال‌های گذشته، استفاده از انرژی‌های فسیلی به دلیل محدودیت و مسائل آلودگی جای خود را به انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی داده است. آلوده نکردن محیط‌زیست و حتی آلودگی حرارتی، رایگان، نامحدود بودن و وجود منبع عظیم این انرژی در سرتاسر جهان، به خصوص ایران، از مزایای این نوع انرژی است؛ از این رو انرژی خورشیدی به عنوان راهکاری مطمئن برای تولید گرما و الکتریسیته‌ی مورد نیاز در زندگی روزمره‌ی انسان‌ها مورد توجه قرار گرفته است که باید به ضرورت حداکثر بهره‌برداری از انرژی خورشیدی توجه شود. در این تحقیق مقدار تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین برای امکان‌سنجی استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک با استفاده از تابع تحلیل‌گر انرژی خورشیدی (Solar Analyst) که یکی از تکنیک‌های سنجش از دوری و GIS است به طور خاص محاسبه شد. باتوجه به بحث‌ها و بررسی‌هایی که از یافته‌های تحقیق صورت گرفت، منطقه‌ی مورد مطالعه به علت تنوع توپوگرافی از توزیع متنوع تابش خورشیدی برای شش‌ماه مورد مطالعه برخوردار است که این مقادیر تابش خورشیدی تقریباً در دامنه‌ی 90-705 وات بر مترمربع قرار دارد و از آنجایی که حساسیت سلول‌های فتوولتائیک به تابش خورشیدی از آستانه‌ی تابش تا 1000 وات بر مترمربع است و آن را دریافت می‌کنند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تابش خورشیدی در این منطقه برای شش‌ماه مورد مطالعه، پتانسیل لازم برای اجرای سامانه‌های فتوولتائیک خورشیدی را دارد. نتایج تحقیق عباس‌پور و همکاران (1384) نیز نشان داد که امکان به-کارگیری سلول‌های فتوولتائیک به منظور تأمین روشنایی مورد نیاز در مکان‌هایی مانند بوستان-ها، توقفگاه‌ها، پارک‌ها، فضاهای سبز، پارکینگ‌ها، ورودی‌های مجتمع‌های مسکونی و تجاری وجود دارد و در مطالعه‌ی جهانبخش و عدالت‌دوست (1387) با بررسی درزمینه‌ی ارزیابی استفاده از انرژی خورشید در گرمایش ساختمان‌ها و نواحی مسکونی آذربایجان به این نتیجه رسیدند که باتوجه به شرایط آب‌وهوایی حاکم بر منطقه و تابش دریافتی کم در این منطقه سیستم‌های بهره‌گیری از انرژی خورشید را تنها با هدف جایگزینی و یا صرفه‌جویی در مصرف سوخت‌های فسیلی می‌توان مورد استفاده قرار داد و از بین فناوری‌های بهره‌گیری از انرژی خورشید سیستم فتوولتائیک را برای تمام منطقه‌ی آذربایجان مناسب تشخیص داده‌اند که با شرایط آب‌وهوایی منطقه نیز سازگاری دارد؛ بنابراین مشاهده می‌شود که نتایج به‌دست‌آمده از دو تحقیق یادشده یافته‌های مطالعه‌ی حاضر را تأیید کرده است؛ در این پژوهش نیز همانند دو پژوهش مورد اشاره مشخص می‌شود که امکان استفاده از سلول‌های فتوولتائیک برای تأمین روشنایی در بزرگراه زنجان- تبریز وجود دارد. باتوجه به نتایج این تحقیق، استفاده از مدل‌های



مطالعاتی دیگر و مقایسه‌ی نتایج آن‌ها با روش انجام‌شده در این پژوهش، به‌منظور دستیابی به بهترین و دقیق‌ترین مدل محاسبه‌ی تابش خورشیدی در اقلیم‌های مختلف پیشنهاد می‌شود.

8. منابع

- احدنژاد روشتی، محسن، «مدل‌سازی ارزیابی آسیب‌پذیری از زلزله (نمونه موردی: شهر زنجان)»، رساله‌ی دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه تهران، 1388.
- اسماعیلی، مهدی؛ محمدی، محمدجواد، محمدی، ولی‌علی، رضوی هریس، داریوش، باغبان خضزلو، پرویز، نجفی، نصرت‌ا...، رحمان‌پور، سعیده، استان‌شناسی آذربایجان شرقی (اجرای آزمایشی)، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، تهران، 1391.
- اکبری مطلق، علی، حجازی، جعفر، «امکان‌سنجی اقتصادی سیستم‌های روشنایی خورشیدی LED در جاده‌ها»، ششمین کنگره‌ی ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، 1390.
- پرویز، لاله، خلقی، مجید، ولیزاده کامران، خلیل، «پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین»، چهارمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، صفحه‌ی 1081-1073، دانشگاه شهید باهنر کرمان، 1388.
- جعفر کاظمی، فرزاد، رازقی، احمد، «کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد میزان تابش خورشید»، نشریه‌ی مهندسی مکانیک، دوره‌ی 21، شماره‌ی 58، صفحه‌ی 53-41، تهران، 1391.
- جهانبخش، سعید، عدالت‌دوست، معصومه، «ارزیابی استفاده از انرژی خورشیدی در گرمایش ساختمان‌ها و نواحی مسکونی آذربایجان»، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی 91، صفحه‌ی 76-49، دانشگاه اصفهان، 1387.
- خسروی، محمود، جهانبخش اصل، سعید، درخشی، جعفر، «برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS مطالعه‌ی موردی: استان آذربایجان شرقی»، فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره‌ی 43، صفحه‌ی 63-39، اهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، 1392.
- رحیمی خوب، علی، صابری، پریسا، بهبهانی، سیدمحمود رضا، نظری‌فر، محمدهادی، «برآورد تابش خورشید رسیده به زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی نوا و روابط آماری در

- جنوب‌شرق تهران»، مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال پانزدهم، شماره‌ی 56، صفحه‌ی 79-89، دانشگاه صنعتی اصفهان، 1390.
- رضایی، علیرضا، غلامیان، سیداصغر، «به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی کنترل‌کننده‌ی فازی به‌منظور دستیابی به نقطه‌ی بیشینه‌ی توان مولد فتوولتائیک»، نشریه-ی انرژی ایران، دوره‌ی 16، شماره‌ی 4، صفحه‌ی 104-83، تهران، 1392.
 - شفقت، ابوطالب، یزدانی، امیرعباس، غلامی، رمضان، «انرژی خورشیدی و توانمندی آن در توسعه و عمران روستایی»، چکیده‌ی مقالات همایش ملی توسعه‌ی پایدار روستایی با تأکید بر بخش کشاورزی، صفحه‌ی 343-332، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد، 1389.
 - عباس‌پور، مجید، عتابی، فریده، سعیدی، پونه، «بررسی امکان‌پذیری به‌کارگیری سلول‌های فتوولتائیک جهت روشنایی معابر در منطقه‌ی 22 شهرداری تهران»، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، شماره‌ی 2، صفحه‌ی 9-2، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، 1384.
 - کمالی، غلامعلی، مرادی، اسحق، تابش خورشیدی، اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو، تهران، انتشارات پژوهشکده‌ی هواشناسی، 1385.
 - ماهنامه‌ی ایران پاک، «گزارش استانی: وضعیت مبارزه با مواد مخدر در استان زنجان»، دوره‌ی جدید، شماره‌ی 26، صفحه‌ی 35-32، تهران، 1388.
 - معینی، سام، جوادی، شهرام، کوبی، حسن، دهقان منشادی، محسن، «برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه»، نشریه‌ی انرژی ایران، دوره‌ی 13، شماره‌ی 2، صفحه‌ی 10-1، تهران، 1389.
 - منظور، داود، نیاکان، لیلی، «توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور. موانع و راهبردها»، نشریه‌ی انرژی ایران، دوره‌ی 15، شماره‌ی 3، صفحه‌ی 69-56، تهران، 1391.
 - میرقربانی گنجی، سیدموسی، میرقربانی گنجی، سیدسینا، «سیستم‌های تولید گرما در ساختمان با استفاده‌ی بهینه از انرژی خورشید»، فصلنامه‌ی توسعه‌ی تأسیسات و تجهیزات، بهار 1392، شماره‌ی 36، صفحه‌ی 57-53، تهران، 1392.
 - نوری، جلال، شجاعی اردکانی، اختر، ضیایی، شبنم، محمدی، مسعود، شمس، محمدحسین، حمزه، کوروس، «امکان‌سنجی و طراحی مفهومی آزمایشگاه مرجع سلول و مدول فتوولتائیک»، مجله‌ی توسعه‌ی تکنولوژی صنعتی، شماره‌ی 21، صفحه‌ی 36-23، تهران، 1392.



- ولیزاده کامران، خلیل، «برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل در آذربایجان شرقی به روش استفنز با استفاده از GIS»، نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال 18، شماره‌ی 49، صفحه‌ی 334-317، دانشگاه تبریز، 1393.
- Abaspur, M., Etabi, F., Saeedi, P. "Investigation of the feasibility of using photovoltaic cells for street lights in District 22 of Tehran Municipality", *Journal of Environmental Science and Technology*, Issue 2, pp 2-9, 2005. [In persian]
 - Ahadnejad Roshti, M., "Modeling of earthquake vulnerability assessment (Case study:Zanjan City)" , Ph.D thesis of Geography and Urban Planning, Geography Faculty, Tehran University, 2009. [In persian]
 - Akbari Motlagh, A., Hejazi, J. "Economic feasibility of solar LED lighting systems on the road", *the Sixth National Congress of Civil Engineering*, semnan University, 2011. [In persian]
 - Berninger, F., "Simulated irradiance and temperature estimates as a possible source of bias in the simulation of photosynthesis", *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 71, Issues 1-2, pp.19-32, 1994.
 - Esmaeili, M., Mohammadi, M.J., Mohammadi, V.A., Razavi Harris, D., Baghban Khezrlu, P., Najafi, N.A., Rahmanpour, S. *Province of East Azerbaijan (probationary enforcement)*, Tehran, Iran: textbooks publishing company, 2012. [In persian]
 - Gastli, A., & Charabi, Y., "Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.14, pp 790-797, 2010.
 - Huang, B.J., M.S, Wu, P.C. Hsu, J.W. Chen, K.Y. Chen, "Development of high-performance solar LED lighting system ", *Energy Conversion and Management*, Vol. 51, Issue 8, pp 1669-1675, 2009.
 - Jafar Kazemi, F., Razeghy, A., "Application of Artificial Neural Networks in the Estimation of Solar Radiation", *Journal of Mechanical Engineering*, Tehran, Vol.21, Issue 58, pp 41-53, 2012. [In persian]

- Jahanbakhsh, S., Edalat doost, M., "Evaluate the use of solar energy for heating buildings and residential areas in Azerbaijan" , *Journal of Geographical Research*, University of Isfahan, Issue 91, pp 49-76, 2008. [In persian]
- *Journal of Iran pak*, "Provincial report: Drug situation in the province Zanjan", new Volume, Issue 26 , pp 32-35 , 2009. [In persian]
- Kamali, GH.A., Moradi, I., *Solar radiation, principles and applications in agriculture and new energies*, Tehran: Institute of Meteorology's press, 2006. [In persian]
- Keese, W.J., Pernel, R., Arthur, H., James, D., "Buying a Photovoltaic Solar Electric System: A Consumer", *energy commission state of California*, pp 22-36, 2003.
- Khosravi, M., Jahanbakhsh Asl, S., Derakhshi, J., "Estimating and zoning solar radiation received on a horizontal surface using climatic parameters in the GIS (Case Study: East Azarbaijan)", *Journal of geographic space*, Islamic Azad University of Ahar , Year 13, Issue 43, pp 39-63 , 2013. [In persian]
- Manzour, D., Niakan, L., "Development of renewable energy in the country: Barriers and Strategies", *Iranian Journal of Energy*, Vol.15, Issue 3, pp 56-69 , 2012. [In persian]
- Martinez-Durban, M., Zarzalejo, L. F., Bosch, J. L., Rosiek, S., Polo, J., and Batlles., F. J., "Estimation of global daily irradiation in complex topography zones using digital elevation models and METEOSAT images: Comparison of the results", *Energy Conversion and Management*, Vol. 50, Issue 9, pp 2233–2238, 2009.
- Mather P.M., Koch,M., *Computer Processing of Remotely Sensed Images: An Introduction*, 4th Edition, John Wiley & Sons, 2010.
- Mirghorbani ganji, S.M., Mirghorbani ganji, S.S., "Heat production systems in the building with the efficient use of solar energy", *Journal of The development of facilities and equipment*, Tehran, Spring 2013, Issue 36, pp 53-57, 2013. [In persian]
- Moieni, S., Javadi, SH., Kokabi, H., Dehghan Manshadi, M., "Estimation solar radiation in Iran using a optimal model", *Iranian Journal of Energy*, Vol.13, Issue 2, pp 1-10 , 2010. [In persian]



- Moon, P., and Spencer, D. E., "Illumination from a non-uniform sky: Trans". *Illum. Eng. Soc.*, Vol. 37, pp.707-726, 1987.
- Nouri, J., Shojaei Ardakani, A., Ziaei, Sh., Mohammadi, M., Shams, M.H., Hamzeh, K., "Feasibility and conceptual design reference laboratory cells and photovoltaic modules", *Journal of Industrial Technology Development*, Tehran, Issue 21 , pp 23-36, 2013. [In persian]
- Parviz, L., Khalafi, M., Valizadeh Kamran, Kh., " Monitoring drought using vegetation index and land surface temperature", *the fourth conference of watershed management and soil and water resource management*, Shahid Bahonar University of Kerman, pp 1073-1081, 2009. [In persian]
- Piedallu, C., and Gegout, J, "Efficient assessment of topographic solar radiation to improve plant distribution models", *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 148, Issue 11, pp.1696 -1706, 2008.
- Rahimi khoob, A., saberi, P., Behbahani, S.M.R., Nazari far, M.H., "Estimating solar radiation received by Earth, using NOAA satellite images and statistical relationships in the South East of Tehran", *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and soil sciences*, Isfahan University of Technology, Year 15, Issue 56, pp 79-89 , 2011. [In persian]
- Ramachandra, T.V., "Solar energy potential assessment using GIS", *Energy Education Science and Technology*, Vol. (issue)18(2), pp 101-114. 2007.
- Rezaee, A.R., Gholamian, S.A., "Using genetic algorithms for optimization of fuzzy controller to achieve the maximum power point of photovoltaic generators", *Iranian Journal of Energy*, Vol.16, Issue 4, pp 83-104 , 2013. [In persian]
- Shafaghat, A., Yazdani, A.A., Gholami, R., "Solar energy and its potential in rural development", *Abstract of National Conference on sustainable rural development with emphasis on agriculture*, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, pp. 332-343, 2010. [In persian]
- Sung-ho Hong, Jan M. H. Hendrickx and Borchers, "Down-Scaling of SEBAL Derived Evapotranspiration Maps from MODIS (250m) to

Landsat (30m) scale ", *International journal of remote sensing*, pp. 6457-6477, 2009.

- Tasumi M., Trezza, R., Allen, R.G. and Wright, J.L., "U.S. Validation tests on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite", *ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions*, Montpellier, France, 17 Sept. 2003.
- Valizade Kamran, KH., "Estimation Evaporation - transpiration potential with Stephens method using GIS in East Azerbaijan", *Journal of Geography and Planning*, , Year 18, Issue 49, pp 317-334 , 2014. [In persian]