

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۱۲، پاییز ۱۳۹۳

وصول مقاله: ۱۳۹۲/۹/۱۳

تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱/۲۳

صفحات: ۵۰ - ۳۳

مدلسازی مکان بهینه استقرار پانل‌های خورشیدی در پشت‌بام ساختمان‌ها با استفاده از GIS؛ مطالعه موردی حد واسط خیابان وصال تا خیابان قدس شهر تهران

غدير عشورنژاد^۱، هادی پاک‌طینت^۲، دکتر علی درویشی بلورانی^۳

چکیده

با توجه به موقعیت جغرافیایی و وضعیت مناسب محیطی، انرژی خورشیدی یکی از کارآمدترین انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران محسوب می‌گردد. این تحقیق به دنبال ارائه مدلی در خصوص شناسایی مکان‌های بهینه استقرار پانل‌های خورشیدی در محیط شهری می‌باشد. پتانسیل فراوان و فضای مناسب پشت‌بام ساختمان‌ها با ارتفاع زیاد و قرارگیری آن‌ها در معرض مستقیم نور خورشید و استفاده نکردن بهینه از این فضاها، لزوم مکان‌گزینی بهینه استقرار پانل‌ها خورشیدی را برای تولید انرژی ضروری کرده است. در این تحقیق، ابتدا ویژگی مکان‌های مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی در محیط شهری و منبع تولید لایه‌های مورد نیاز شناسایی گردید. لایه‌های مورد نیاز جهت دستیابی به مکان‌های مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی بر اساس نقشه‌های ۱:۴۰۰۰ در نرم‌افزار ArcGIS تهیه و مدلسازی فضایی با استفاده از عملگر AND منطق بولین و عملگر ضرب در این نرم‌افزار انجام شد. همچنین از تکنیک میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) برای تلفیق نتایج به‌دست آمده با دو عامل نوع کاربری و میزان جمعیت استفاده شد. بر اساس مشاهدات میدانی، مدل مدنظر ارزیابی شد و از ضریب تاو-کندال b برای تعیین میزان تطابق میان نتایج به‌دست آمده در مدل و نتایج مشاهدات استفاده شد. نتایج، حاصل ضریبی برابر ۰/۷۷۱ را نشان می‌دهد که حاکی از رابطه قوی بین دو متغیر و دقت نسبتاً زیاد مدلسازی انجام گرفته است.

کلید واژگان: سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، انرژی خورشیدی، پانل‌های خورشیدی، مدل رقومی سطح زمین (DSM).

مقدمه

تولید ارزان و آسان انرژی یکی از مولفه‌های ضروری برای کلیه فعالیت‌های بشر در زندگی امروزی است. لذا عرضه و تقاضای آن در جوامع بشری به‌طور مستمر رو به افزایش است. در حال حاضر ۷۷٪ کل انرژی مصرفی جهان را سوخت‌های فسیلی تأمین می‌کنند. تولید گازهای آلاینده و گلخانه‌ای، ناشی از سوخت‌های فسیلی منجر به تخریب لایه اوزن و تهدید محیط زیست در کره زمین شده که یکی از علائم آن، افزایش دمای کره زمین است (رشیدی و غریب، ۱۳۹۰). افزایش جمعیت، گسترش و پراکندگی آن و نیز همگام با نیاز روزافزون بشر به انرژی‌های جدید و پاک‌تر با بازدهی بیشتر، لازمه توسعه پایدار اقتصادی است. سوخت‌های فسیلی به‌سرعت در حال اتمام بوده و نمی‌توانند منبع قابل اطمینانی برای آینده باشند و با توجه به تغییرات جهانی اقلیم و گرم‌شدن زمین، مصرف سوخت‌های فسیلی باید به سرعت کاسته شود (Muneer et al, 2001:35-52).

انرژی خورشیدی یکی از بهترین و اقتصادی‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران محسوب می‌گردد، که نه تنها بسیاری از دغدغه‌های زیست محیطی را جوابگو است بلکه به‌عنوان منبعی پایان ناپذیر، با توجه به شرایط جغرافیایی، محیطی و اقلیمی ایران، می‌تواند به‌خوبی در ایران مورد بهره‌برداری قرار گیرد (پاک‌طینت، ۱۳۹۱؛ طاوسی، ۱۳۹۰؛ کمالی و مرادی، ۱۳۸۴). یکی از مزایایی که انرژی خورشیدی را از سایر منابع متمایز می‌کند، فراوانی و دسترسی آسان، به آن است، به‌طوری که اگر انسان می‌توانست کل انرژی که در طول یک روز به زمین ساطع می‌شود را مهار کند می‌توانست انرژی یک سال کل کره زمین را تأمین کند (Chapo, 2008).

سیستم‌های فتوولتائیک، یکی از پربازده‌ترین سیستم‌های تولید الکتریسیته خورشیدی است که با گسترش آن می‌توان بخش قابل توجهی از نیازهای فزاینده جمعیت روزافزون را فراهم آورد. از مشکلات اساسی برای ایجاد نیروگاه‌های فتوولتائیک توان تولید انرژی با توجیه اقتصادی به‌منظور اتصال به شبکه انتقال و توزیع در کنار نیاز به اراضی فوق‌العاده بزرگ برای نصب این پانل‌ها است. از طرف دیگر هزینه انتقال الکتریسیته از محل تولید به محل مصرف و نیز اتلاف انرژی زیاد است. لذا برای مقابله با این مشکل‌ها، سیستم‌های فتوولتائیک پراکنده با نصب در پشت بام‌ها پیشنهاد شد. با توجه به اینکه مقدار تولید این سیستم‌ها به مقدار زیادی وابسته به جهت، زاویه و مکان نصب پانل‌ها است، از این‌رو شناسایی مکان بهینه استقرار این پانل‌ها بر پشت‌بام ساختمان‌های مناطق شهری می‌تواند اثر قابل توجهی در افزایش راندمان تولید انرژی داشته باشد (پاک‌طینت، ۱۳۹۱).

با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و برخورداری مناسب از تابش خورشیدی، استفاده از انرژی خورشیدی می‌تواند به‌عنوان یکی از بهترین و فراوان‌ترین انرژی‌ها گسترش یابد. کشور ایران روی کمر بند خورشیدی جهان قرار گرفته است و یکی از کشورهای پیشرفته است که از تابش نور خورشید با قدرت و توان مطلوب برخوردار بوده و از مناطق بسیار مستعد برای بهره‌گیری از این انرژی است (ثقفی، ۱۳۸۸ : ۶۳). بر اساس اطلس جامع GIS انرژی خورشیدی ایران میزان متوسط سالیانه انرژی تابش کل خورشید بر سطح افقی و مقدار متوسط سالانه ساعات آفتابی در ایران به ترتیب برابر با ۵۲۳۷ وات ساعت بر مترمربع در روز و ۳۱۵۳/۲ ساعت برآورد شده است (حق‌پرست کاشانی و همکاران، ۱۳۸۸ : ۱۵۸-۱۶۹). یا به عبارت دیگر میزان تابش نور خورشید در کشور ایران حدود ۵

پشت‌بام، سایه دیواره پشت‌بام و سایه ایجاد شده به وسیله ساختمان‌های همجوار به هر کدام از ساختمان‌ها ارزش ۱ تا ۵ دادند که امتیاز ۵ نشان‌دهنده حالت بهینه بود. در پایان، به منظور بررسی دقت نتایج از تمام ساختمان‌هایی که امتیاز ۴ و ۵ گرفته بودند بازدید میدانی به عمل آوردند و ساختمان‌های با پتانسیل زیاد برای نصب فتوولتائیک شناسایی شد (Bryan et al, 2010: 1-7).

در مطالعه‌ای دیگر در دانشگاه آریزونا امکان‌سنجی نصب سیستم‌های فتوولتائیک در پشت‌بام‌های ساختمان‌های عمومی شهر فینکس^۱ بررسی شد. در این مطالعه ۳۶۴ ساختمان بررسی شد که از بین آنها ۸۵ ساختمان برای نصب سیستم‌های فتوولتائیک با پتانسیل زیاد تشخیص داده شد. این مطالعه سطح بام‌های مناسب را ۲۳۴۰۵۰۰ فوت‌مربع برآورد نمود (Bryan et al, 2010: 4). ایزکوردو و همکاران (۲۰۰۸) با روش پتانسیل سلسله مراتبی شامل سه مرحله پتانسیل فیزیکی و جغرافیایی و تکنیکی، پتانسیل فتوولتائیک را در مناطق مختلف اسپانیا به دست آوردند. سپس با استفاده از روشی که بر پایه سهولت دسترسی به داده‌ها (مانند کاربری، تراکم جمعیت و تراکم ساختمان‌ها) بسط داده بودند سطح بام‌های مناسب برای تجهیزات فتوولتائیک را به دست آوردند و سطوح مناسب برای تجهیزات فتوولتائیک با ضریب اطمینان ۹۵٪ به دست آمد (Izquierdo et al, 2008: 929).

چاوز و باهیل (۲۰۱۰) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع به دست آمده از تصاویر LIDAR و مدلسازی تابش خورشیدی در GIS به صورت پایلوت، پشت‌بام‌های مناسب برای نصب سیستم‌های فتوولتائیک در محدوده چهار مایل‌مربعی اطراف

کیلوات ساعت انرژی در روز در مترمربع است و بیش از ۹۰ درصد خاک ایران در سال ۳۰۰ روز در معرض تابش نور خورشید قرار دارد (ثقفی، ۱۳۸۸: ۶۳).

در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی به‌ویژه سیستم‌های فتوولتائیک یکی از مهمترین پارامترها در بازدهی سیستم، مکان و شرایط نصب پانل‌های این سیستم‌ها است. متأسفانه توسعه تکنولوژی فتوولتائیک هنوز به حدی نرسیده است که قابلیت رقابت با سیستم‌های تولید الکتریسیته متداول را داشته باشد (Drennet al, 1996: 24-29). دلیل عمده برای قیمت زیاد مولدهای فتوولتائیک سرمایه زیاد مورد نیاز برای تولید الکتریسیته نسبتاً کم از طریق این مولدها است (Ubertini & Desideri, 1833-1850). خوشبختانه زمان بازگشت سرمایه برای سیستم‌های پی‌وی در دو دهه اخیر کاهش یافته است (Gusdorf, 1992: 1137). لذا برای فراگیر شدن استفاده از سلول‌های خورشیدی به‌منظور تولید برق، باید هزینه تولید برق از این سلول‌ها را تا حد امکان پایین آورد. پیدا کردن مکان‌های بهینه برای نصب این سیستم‌ها می‌تواند اولین قدم برای افزایش راندمان و در نتیجه کاهش هزینه‌های تولید الکتریسیته توسط سلول‌های خورشیدی باشد.

متأسفانه تا به امروز تحقیقات اندکی درباره پتانسیل‌سنجی پشت‌بام‌ها به‌منظور نصب تجهیزات فتوولتائیک انجام شده است. در ایران تا به حال تحقیقی در این زمینه انجام نگرفته است و در سطح دنیا نیز تحقیقات اندکی انجام گرفته است. برایان و همکاران (۲۰۱۰) با عکس‌های هوایی و Google Earth ساختمان‌های عمومی شهر را شناسایی و آن‌ها را وارد اتوکد کردند، سپس با استفاده از معیارهای جهت، شیب سطح پشت‌بام، سایه درختان، تجهیزات

^۱ - Phoenix

باید دارای توجیه اقتصادی باشد نقشه‌های دو عامل نوع کاربری و میزان جمعیت با نتایج بدست آمده از مرحله قبل (نقشه میزان تناسب استقرار) با استفاده از تکنیک میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA)^۱ تلفیق شدند.

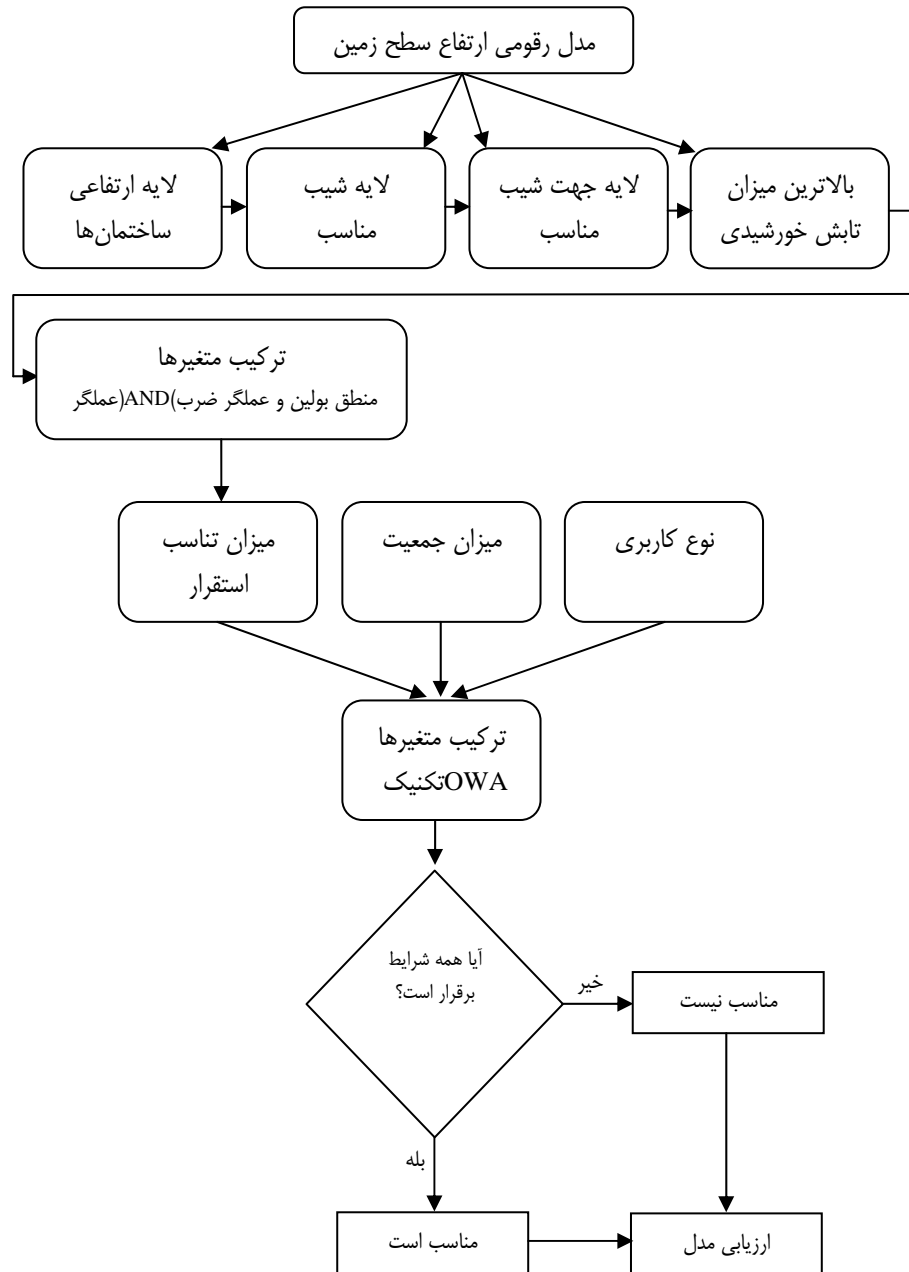
شکل ۱ طرحواره کلی تحقیق را نشان می‌دهد. با توجه به ضروری بودن مشاهده و بازدید میدانی سقف ساختمان‌ها برای ارزیابی نتایج مدل، منطقه مورد مطالعه (شکل ۲) قسمتی از ناحیه ۲ منطقه ۶ شهرداری تهران انتخاب شد که با وسعت ۳۴۴۳۳ متر مربع از سمت شمال به خیابان طالقانی، از سمت جنوب به خیابان بزرگمهر، در مرز شرقی به خیابان وصال و از سمت غرب به خیابان قدس محدود شده است. بخش عمده کاربری‌های موجود در این منطقه از نوع اداری-آموزشی است. همچنین از ضریب تاو-کندال b جهت مقایسه نتایج حاصل از مشاهده و بازدید مستقیم سقف ساختمان‌های این محدوده برای استقرار پانل‌های خورشیدی با نتایج مدل استفاده شد.

دانشگاه آریزونا را شناسایی کردند (Chaves&TerryBahill, 2010).

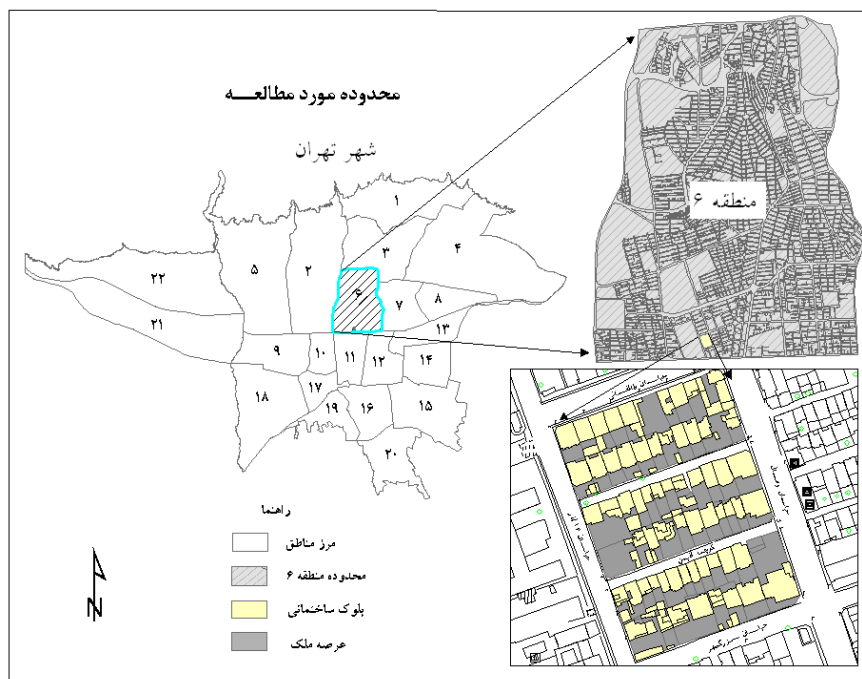
داده‌ها و روش‌شناسی برای طراحی مدل، ویژگی‌های مکان مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی در محیط شهری شناسایی شد. مکان استقرار این پانل‌ها باید بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها باشد، شیب کمتر از ۳۵ درجه، جهت مناسب (به سمت جنوب یا افقی) و دارای بیشترین میزان دریافت انرژی خورشیدی در طول سال باشد (Chaves&TerryBahill, 2010).

در ادامه، مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین در منطقه مورد مطالعه تهیه شد. در این تحقیق سعی شد تا از داده‌ای برای تهیه مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین استفاده شود، که برای اکثر مناطق شهری کشور قابل تهیه و دارای دقت قابل قبولی باشد. از این‌رو با توجه به تهیه نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ برای اکثر مناطق شهری کشور از اطلاعات ارتفاعی این نقشه‌ها برای استخراج ارتفاع بلوک‌های ساختمانی استفاده شد. همچنین لایه‌های مورد نیاز برای دستیابی به مکان‌های مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی در نرم‌افزار ArcGIS تهیه و مدلسازی فضایی در این نرم‌افزار انجام گردید. با توجه به اینکه مکان‌های مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی باید و به طور مطلق بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها باشد، از شیب کمتر از ۳۵ درجه و جهت مناسب (به سمت جنوب یا افقی) برخوردار باشد از عملگر AND منطق بولین برای شناسایی پشت‌بام‌هایی با تمامی این شرایط استفاده شد. نتایج صفر و یک حاصل از این عملگر در ادامه با استفاده از عملگر ضرب در لایه میزان دریافت انرژی خورشیدی پشت‌بام‌ها برای شناسایی مناسب‌ترین نقاط استقرار آن‌ها مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که استقرار این پانل‌ها دارای هزینه‌های اولیه می‌باشد و

^۱- Ordered Weighted Average



شکل ۱: طرحواره کلی تحقیق

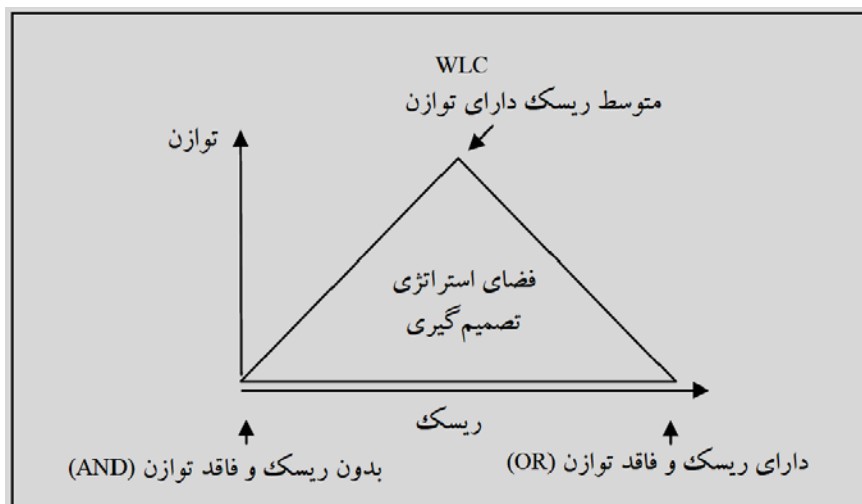


شکل ۲: محدوده و قلمرو پژوهش

می‌گیرد. اولین مجموعه از وزن‌های سهم نسبی معیار خاص را کنترل می‌کند، در حالی که مجموعه دوم وزن‌ها رتبه تجمیع (اجماع) معیارهای وزن‌دار را کنترل می‌کند (Jiang & Eastman, 2000: 173-184؛ Malczewski, 1999؛ رهنما و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۲). این روش به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد که بر موقعیت تصمیم‌گیری خود در طول هر دو محور ریسک و توازن کنترل داشته باشد (شکل ۳)؛ یعنی به او اجازه می‌دهد که سطح مورد نظر و درجه‌ای که وزن‌های معیار (وزن‌های توازن) مطلوبیت نقشه نهایی را متأثر می‌سازد در تصمیم‌گیری کنترل کند (متکان و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۱۳).

میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA)

در یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره، افراد ریسک‌پذیر بر روی خواص مطلوب یک گزینه و افراد ریسک‌گریز بر روی خواص نامطلوب یک گزینه تأکید می‌کنند و آن‌ها را ملاک انتخاب خود قرار می‌دهند (Mellers & Chang, 1994: 167-185؛ رهنما و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۱). روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) قادر به محاسبه میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی افراد و اعمال آن در انتخاب گزینه نهایی است. این روش به وسیله یاگر معرفی شد. روش OWA ترکیب نسبتاً جدید MCE است که مانند روش WLC بوده، اما دو مجموعه از وزن‌ها را در بر



شکل ۳: فضای استراتژی تصمیم‌گیری در روش OWA (متکان و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۱۴).

خورشیدی دریافتی در طول سال را دارد (به طور معمول بیش از نیمی از میانگین سالانه). همچنین دو عامل نوع کاربری و میزان جمعیت که دارای توجیه اقتصادی در استقرار این پانل‌ها است در مکان‌بایی نهایی مورد استفاده واقع شدند.

گام دوم: تهیه مدل رقومی ارتفاعی سطح زمین لازمه ایجاد مدل رقومی ارتفاع، در اختیار داشتن داده‌های اولیه ارتفاعی است. فتوگرامتری رقومی یکی از منابع تولید مدل رقومی ارتفاع است که به طور مستقیم از عکس هوایی تولید می‌شود. مدل رقومی ارتفاع را همچنین می‌توان از تصاویر رقومی استریوسکوپیک ماهواره‌ای، سنجش از دور لیزری و فن‌آوری اینترفرومتری با استفاده از داده‌های راداری تهیه کرد (رکنی دیلمی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲). دقت مدل رقومی ارتفاعی استخراج شده تحت تأثیر خصوصیات توپوگرافی زمین و نوع داده (عکس‌های هوایی یا تصاویر رقومی) و نیز الگوریتمی قرار دارد که برای استخراج مدل رقومی ارتفاع استفاده می‌شود (رکنی دیلمی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲). صادقی نائینی‌فرد

گام اول: شناسایی فاکتورهای مؤثر در مکان‌بایی پانل‌های خورشیدی در محیط شهری با توجه به ملزومات مدل‌سازی فضایی، ابتدا ویژگی‌های مکان مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی بر اساس تحقیقات صورت‌گرفته در محیط شهری شناسایی شد. مکان مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی دارای ویژگی‌هایی است (Chaves & Terry Bahill, 2010) که این ویژگی‌ها شامل:

- ارتفاع مناسب: مکان مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی بر روی سقف ساختمان‌ها است و بر روی سطح زمین قرار نمی‌گیرد.
- جهت مناسب: جهت مناسب استقرار پانل‌ها در نیمکره شمالی به سمت جنوب یا به صورت افقی است (پانل‌های خورشیدی قرار گرفته به سمت جنوب انرژی بیشتری نسبت به سایر جهات ایجاد می‌کنند).
- شیب مناسب: شیب مناسب استقرار پانل‌های خورشیدی کمتر از ۳۵ درجه است.
- بیشترین تابش خورشیدی: مکان مورد نظر برای استقرار پانل‌های خورشیدی بیشترین میزان انرژی

AreaSolar Radiation برای ساخت لایه تابش خورشیدی در طول یک سال (شکل ۸) و ابزار Surface Analysis برای ساخت لایه شیب و جهت شیب در محدوده مورد مطالعه، استفاده شد. همچنین مجموعه ابزار^۱ MCDM4ArcMAP برای انجام تکنیک میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) در نرم‌افزار ArcGIS به کار گرفته شد. محاسبات تکنیک تابش خورشیدی یک متغیر محیطی مهم است که در ایستگاه‌های زمینی زیادی در سراسر جهان اندازه‌گیری می‌شود. بیشتر این ایستگاه‌ها در کشورهای توسعه‌یافته تمرکز کرده و در نواحی خاصی مستقر شده‌اند. اندازه‌گیری تابش خورشیدی برای تمام موقعیت‌ها دشوار و بسیار هزینه‌بر است. تابش خورشیدی، مشابه بارندگی و دما که در چند نقطه اندازه‌گیری شده و برای دیگر نواحی درون‌یابی می‌شود به دلیل درجه پایین اطمینان ناشی از وجود متغیرهای ارتفاعی مانند شیب و جهت به آسانی نمی‌تواند درون‌یابی شود (fu&Rich, 2000: 257-264).

در خصوص امکان سنجی تولید DSM شهری با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ با دقتی برابر با آماره RMSE معادل ۰/۴ متر در سطح اطمینان ۹۰ درصد دست‌یافت (صادقی نائینی فرد، ۱۳۸۹: ۱). در این تحقیق برای استخراج ارتفاع ساختمان‌ها از اطلاعات ارتفاعی نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ استفاده شده است. شکل ۴ ارتفاع ساختمان‌های استخراج شده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ را نشان می‌دهد.

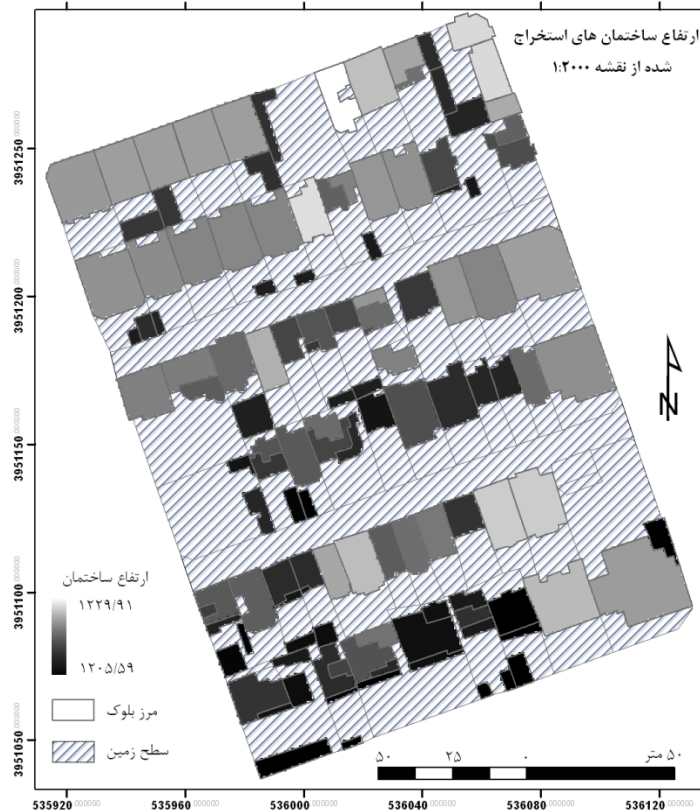
گام سوم: مدلسازی فضایی

در این قسمت به مدلسازی فضایی پشت‌بام‌های منطقه مطالعه شده، برای شناسایی مکان بهینه استقرار پانل‌های خورشیدی پرداخته می‌شود. در واقع مدل سازی فضایی عبارت است از شناسایی و تلفیق مجموعه فرایندهایی که موجب رسیدن به یک هدف خاص می‌شود که ماهیت مکانی دارد.

برای رسیدن به این هدف، پارامترهای مؤثر (شیب، جهت شیب و زاویه تابش خورشیدی) از لایه ارتفاعی، بدست آمده کهاز نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ استخراج گردید.

برای انجام مدلسازی فضایی از مجموعه ابزار Spatial Analyst در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد و از ابزار

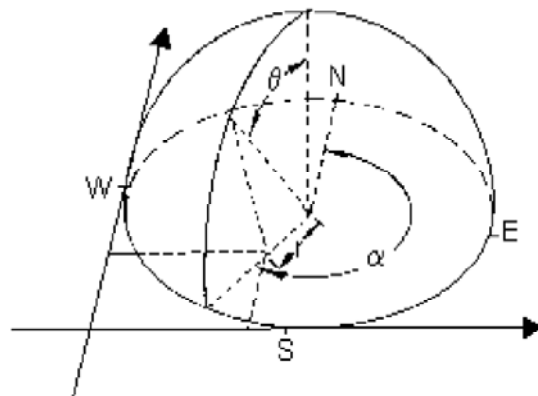
^۱- <http://mcda4arcmap.codeplex.com>



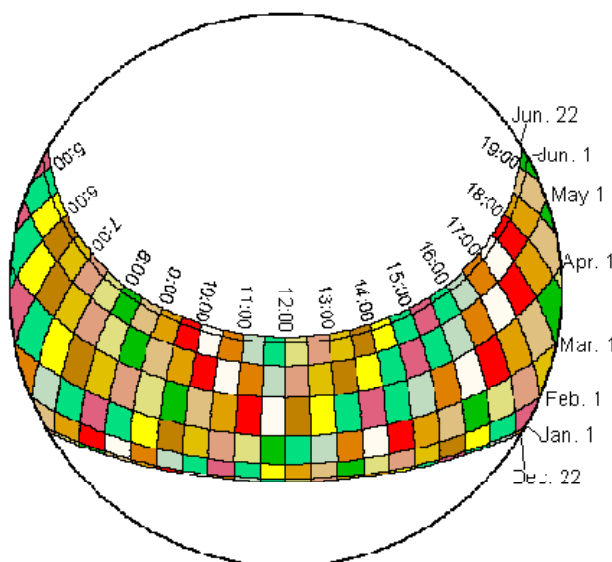
شکل ۴: ارتفاع ساختمان‌های استخراج شده از نقشه ۱:۲۰۰۰

توابع مخصوص به سطح کره انتقال می‌یابد (شکل ۵). Viewshed سلول‌هایی را مشخص می‌کند که در یک رستر ورودی از یک نقطه یا خط قابل دید باشند. Viewshed به وسیله جست و جو در مجموعه‌ای از جهات اطراف موقعیت مورد نظر، محاسبه می‌شود. در مرحله بعد میزان تابش مستقیم خورشید در هر جهت آسمان با به وجود آوردن یک نقشه خورشیدی (Sunmap) در سطح کره ارائه می‌شود. مقدار تابش مستقیم خورشیدی نشأت گرفته از هر جهت آسمان به وسیله به وجود آوردن یک sunmap در پروژکشن مشابه برای viewshed ارائه می‌شود (شکل ۶).

ابزار Solar Radiation در نرم افزار ArcGIS می‌تواند برای محاسبه تابش سطحی در مقیاس‌های محلی استفاده شود. ورودی‌های این فرایند شامل مدل رقومی ارتفاع، عرض جغرافیایی مرکز منطقه و تاریخ و زمان مورد نظر است. این Extention به منظور محاسبه تابش از الگوریتم ارائه شده، به وسیله ریچ و همکاران (۱۹۹۴) استفاده می‌کند و مبنای عملکرد این الگوریتم بر پایه ترکیب viewshed و یک جدول رفرنس تابش است (Richet al, 1994: 524-529). بدین گونه که در ابتدا این Extention با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ورودی، مقدار viewshed را برای هر سلول ورودی DEM محاسبه می‌کند و سپس viewshed ساخته شده با استفاده از



شکل ۵: تبدیل سطح مستوی به سطح کره



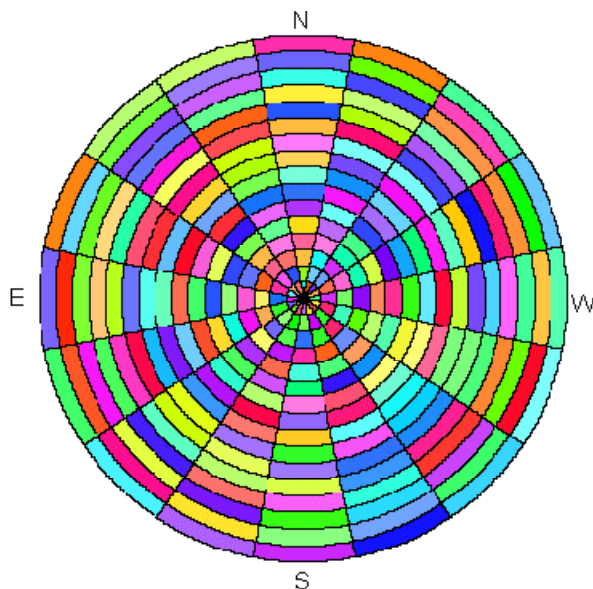
شکل ۶: sunmap سالانه برای عرض ۳۹ درجه شمالی با استفاده از فواصل نیم‌ساعته در روز و فواصل یک ماهه در سال برای نقطه انقلاب زمستانی به انقلاب تابستانی

اصلاح شده از گیتس (1980) محاسبه می‌شود. هر بخش sunmap دارای یک شماره شناسایی منحصر به فرد است که برای هر کدام از این بخش‌ها زاویه زینت و آزیموت در مرکز آن بخش محاسبه می‌شود. مقادیر تابش پخش شده نیز به وسیله تهیه نقشه آسمان (Skymap) محاسبه می‌شود (شکل ۷). بر خلاف تابش مستقیم که تنها از جهاتی در امتداد suntrack سرچشمه می‌گیرند، تابش پخش شده خورشید می‌تواند از هر جهتی از آسمان منشأ بگیرد.

در واقع یک sunmap از یک رستر تشکیل شده است که در suntrack‌های مخصوص، موقعیت ظاهری خورشید در طول زمان متفاوت است. به طور خاص suntrack به وسیله بخش‌های مجزایی از آسمان که به وسیله موقعیت خورشید در فاصله‌های زمانی مشخصی در طول روز و فصل تعریف می‌گردد، نشان داده می‌شود. موقعیت خورشید (زاویه زینت و آزیموت) بر اساس طول و عرض جغرافیایی، روز از سال، و زمان از روز با استفاده از فرمول استاندارد نجومی (نسخه

بخش‌های بسیار کوچکتری تقسیم می‌شود. این بخش‌ها باید به اندازه‌ای کوچک باشند که برای نشان دادن جهت پخش در محاسبات بعدی منطقی باشند.

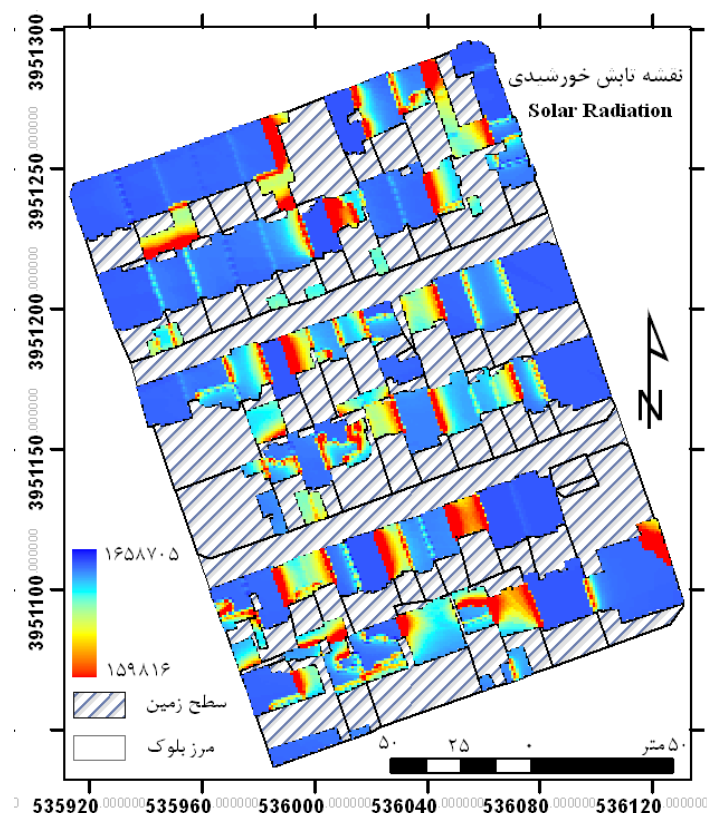
نقشه آسمان نقشه رستری است که به وسیله تفکیک آسمان در بخش‌هایی مجزا به وسیله تعریف زاویه زنیت و آزیموت محاسبه می‌شود. در واقع Skymap مشابه Sunmap است با این تفاوت که Skymap به



شکل ۷: یک Skymap تعریف شده به وسیله تقسیم به ۱۶ زنیت و ۱۶ آزیموت

درجه)، جهت مناسب (به سمت جنوب و یا افقی) و پشت بام ساختمان‌ها استفاده شد. شکل ۹ محدوده مطالعه شده را از لحاظ دارا بودن جهت شیب مناسب نشان می‌دهد و از مطلوبیت اغلب پشت‌بام ساختمان‌های این منطقه به دلیل جهت افقی حکایت می‌کند. شکل ۱۰ محدوده مطالعه شده را از لحاظ عامل شیب، بررسی کرده و نتایج با توجه به مسطح بودن اغلب سطوح پشت‌بام ساختمان‌ها در شهر تهران، دارا بودن این را تأیید می‌کند.

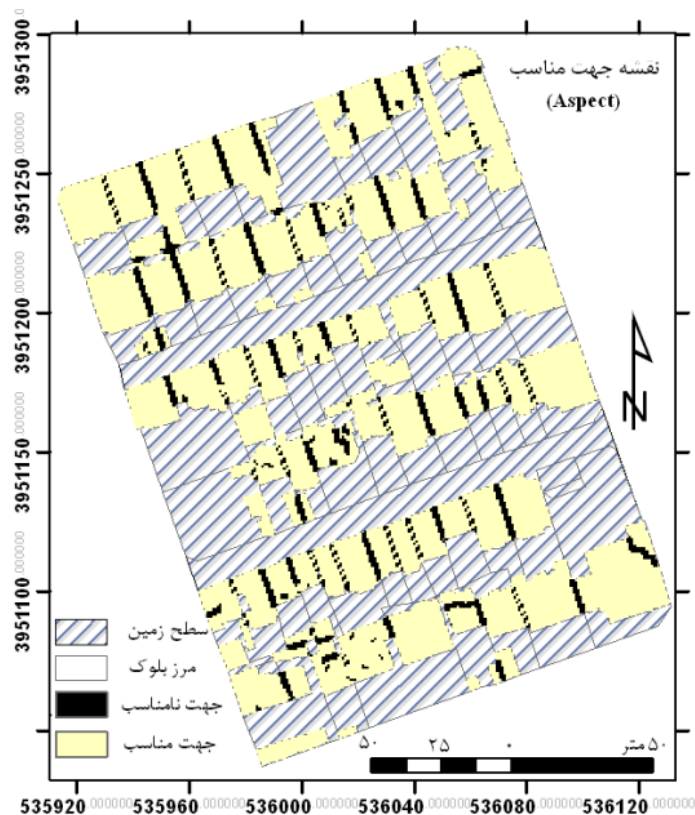
در نهایت به منظور محاسبه تابش مستقیم خورشید لایه Sunmap و برای محاسبه تابش پراکنده لایه Skymap با لایه viewshed همپوشانی می‌شود (fu&Rich, 2000: 7-13). ویژگی‌های مکان مناسب پانل‌های خورشیدی بر روی لایه شیب و جهت شیب بررسی شد به طوری که مکان مناسب دارای جهتی به سمت جنوب (جنوب شرقی، جنوب و جنوب غربی) و یا به صورت افقی در نیمکره شمالی (شکل ۹) و شیبی کمتر از ۳۵ درجه (شکل ۱۰) است. از عملگر AND منطق بولین برای ترکیب عوامل شیب (کمتر از ۳۵



شکل ۸: تابش خورشیدی یک ساله منطقه مورد مطالعه

(۱۳۹۱: ۹۸). در اینجا اهمیت سه عامل میزان تناسب استقرار، نوع کاربری و میزان جمعیت به ترتیب ارزش‌های (۰/۵۵، ۰/۲۴، ۰/۲۱) با توجه به تکنیک بردار ویژه، تعیین شد. مجموعه دوم از وزن‌ها، وزن‌های محلی هستند، که بر اساس یک پیکسل اختصاص داده شده، که ترتیب رتبه صعودی فاکتورهای وزن داده شده را در اجتماع، کنترل می‌کند (رهنما و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۱). در اینجا از حالت MIDAND (۰/۲)، (۰/۳، ۰/۵) با ریسک کم و دارای مقداری توازن به دلیل داشتن ریسک نسبتاً کم و دارا بودن توازن نسبی بین معیارها استفاده شد (شکل ۱۲). این نتایج می‌تواند مناسب‌ترین پشت‌بام برای استقرار این پانل‌ها را نشان دهد.

نتایج به دست آمده که به صورت صفر و یک است در نقشه تابش خورشیدی منطقه ضرب و بلوک‌هایی با دامنه‌ای از ارزش‌های کم تا بسیار زیاد، جهت استقرار پانل‌های خورشیدی به دست آمد (شکل ۱۱). از آنجایی که استقرار این پانل‌ها هزینه‌های اولیه دارد و باید دارای توجیه اقتصادی باشد، نقشه‌های دو عامل نوع کاربری و میزان جمعیت با نتایج به دست آمده از مرحله قبل با استفاده از تکنیک میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) تلفیق شدند. همان‌گونه که بیان شد، OWA که یک نوع از WLC است، دو مجموعه از وزن‌ها را به کار می‌گیرد. اولین مجموعه از وزن‌ها، وزن‌های کلی یا جهانی (عمومی) هستند که اهمیت نسبی فاکتورها را نشان می‌دهند (رهنما و همکاران،



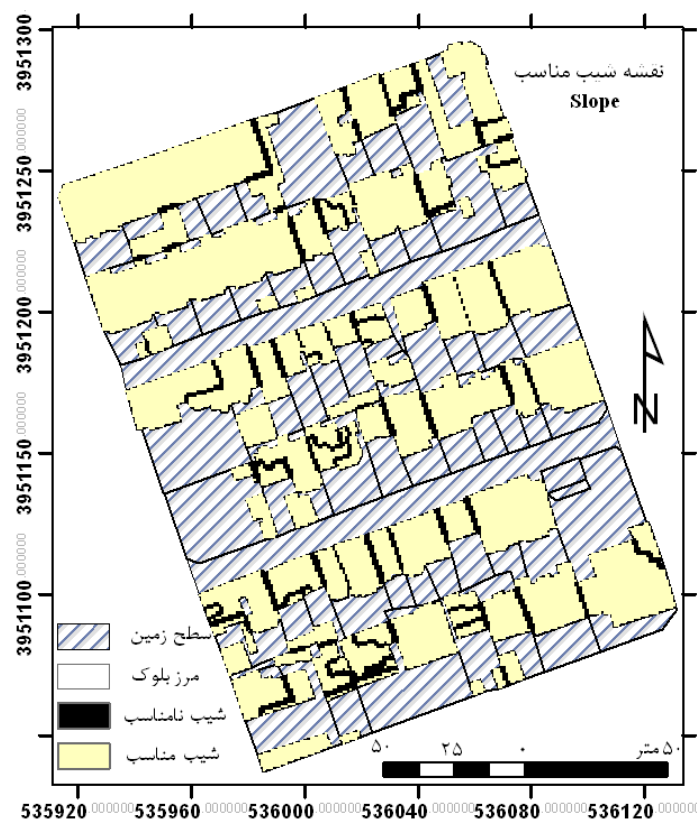
شکل ۹: نقشه جهت مناسب منطقه

در این رابطه n_s تعداد زوج‌های هماهنگ و n_d تعداد زوج‌های معکوس، t_x تعداد زوج‌های گره خورده در متغیر X و t_y تعداد زوج‌های گره خورده در متغیر Y است. مقدار ضریب تاو-کندال b در بازه +۱ و -۱ قرار دارد. اگر قدر مطلق ضریب گاما برابر ۱ باشد نشان دهنده رابطه بسیار قوی بین دو متغیر خواهد بود و اگر برابر صفر باشد نشان دهنده عدم وجود رابطه بین دو متغیر است (مومنی و قیومی، ۱۳۸۹).

جهت ارزیابی نتایج مدل از ضریب تاو-کندال b در نرم‌افزار SPSS شد. این ضریب برای محاسبه میزان توافق یا همگونی متغیرهایی با مقیاس اندازه‌گیری رتبه‌ای به جای ضریب همبستگی استفاده می‌شود و از رابطه (۱) به دست می‌آید.

(۱)

$$T_b = \frac{n_s - n_d}{\sqrt{(n_s + n_d + t_y)(n_s + n_d + t_x)}}$$

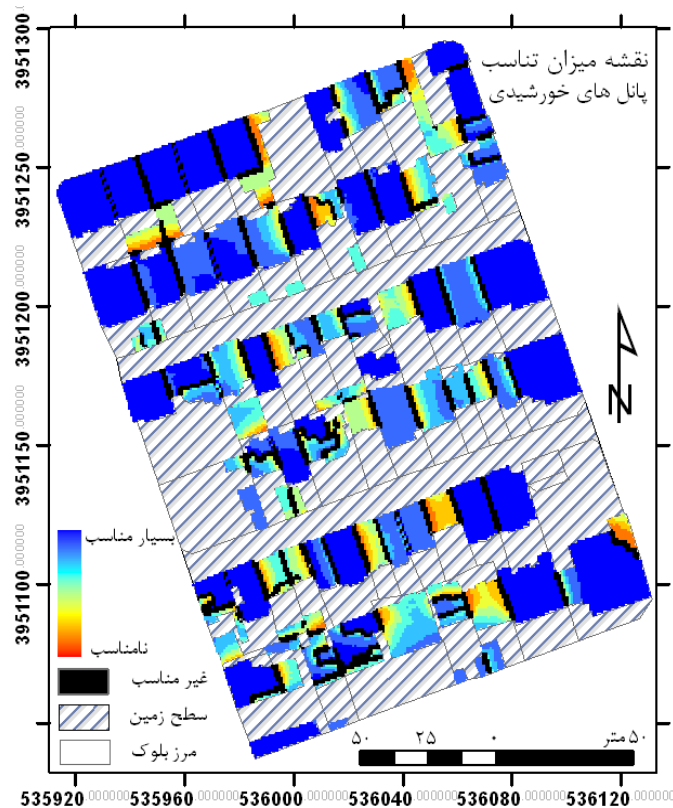


شکل ۱۰: نقشه شیب مناسب منطقه

پانل‌های خورشیدی اختصاص یافت. نتایج حاصل از ضریب تاو-کندال b در نرم‌افزار SPSS ضریبی برابر با ۰/۷۷۱ با سطح معناداری^۱ کمتر از ۵ درصد را نشان می‌دهد که از رابطه قوی بین دو متغیر و دقت بالای مدل حکایت می‌کند.

برای ارزیابی نتایج بلوک‌های ساختمانی منطقه مورد مطالعه با انجام عملیات میدانی، مشاهده و بازدید شد و با توجه به مطلوبیت استقرار پانل‌های خورشیدی در دامنه‌ای از ۱ تا ۵ رتبه‌بندی شدند. ارزش ۱ برای بلوک‌های نامناسب جهت استقرار پانل‌های خورشیدی و ارزش ۵ نیز به مناسب‌ترین بلوک برای استقرار

^۱- Significance

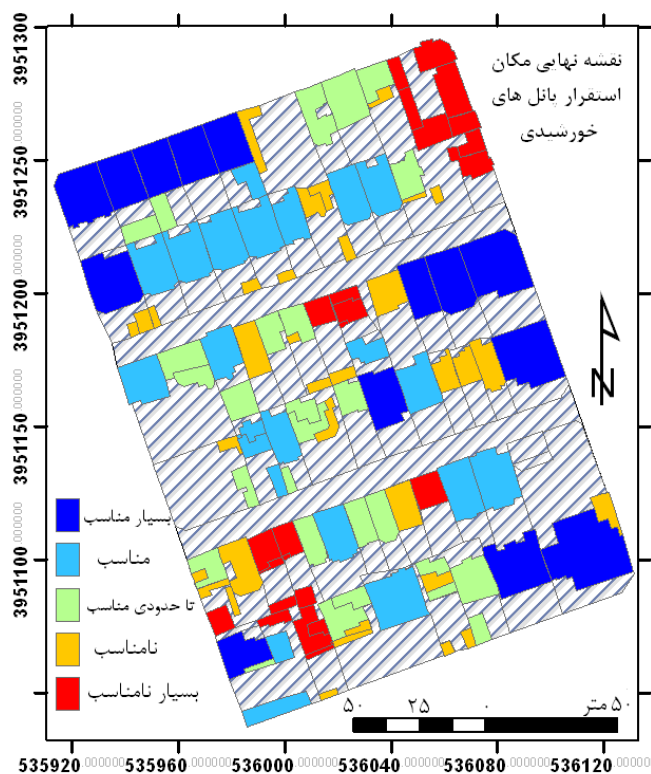


شکل ۱۱: نقشه میزان تناسب استقرار پانل‌های خورشیدی

بحث و نتایج

سنجیده شده است، حجم کار به مقدار کمی افزوده می‌شود و در مراحل بعدی استفاده از مدل، نیازی به بازدید میدانی از تمام بلوک‌ها نیست و بازدید از چند بلوک به صورت تصادفی کفایت می‌کند. بنابراین استفاده از این مدل در مقیاس‌های بزرگ به راحتی امکان پذیر است. درباره تغییرات شدید ارتفاعی که ممکن است در مقیاس‌های بزرگ به وجود آید لازم به ذکر است که این تغییرات خللی در مطالعه وارد نمی‌کند و فقط مناطقی که در میان بلوک‌هایی با ارتفاع بلندتر قرار گرفته‌اند به عنوان مناطق سایه در نظر گرفته شده و در نتایج نهایی مدل، ارزش پایینی را به خود اختصاص می‌دهند.

نتایج این تحقیق نشان داد که انتخاب مکان مناسب برای نصب پانل‌های خورشیدی در محدوده وسیع شهرها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان پذیر است. نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ با توجه به تهیه آن برای اغلب شهرهای کشور و در دسترس بودن آن‌ها در مقایسه با سایر منابع تهیه DSM در محیط شهری منبع بسیار مفیدی برای استخراج ارتفاع ساختمان‌ها در کشور است. در این مطالعه، تنها ناحیه کوچکی از منطقه ۶ تهران به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شد. با افزایش منطقه مورد مطالعه، به دلیل اینکه صحت و دقت مدل در منطقه پایلوت در این مطالعه



شکل ۱۲: نقشه نهایی مکان استقرار پانل‌های خورشیدی با استفاده از تکنیک OWA

اقتصادی و زیست محیطی آن‌ها برای سایر کاربری‌ها، مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان با شناسایی مناسب‌ترین پشت‌بام ساختمان در یک محدوده کوچک و استقرار این پانل‌ها، انرژی مورد نیاز ساختمان‌های اطراف را تهیه کرد. به طوری که در خصوص این موضوع می‌توان به تجربه برخی از شهروندان کشورهای اروپایی اشاره کرد. در این کشورها شهروندان با خریداری پانل‌های خورشیدی و استقرار آن‌ها بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها، ضمن تأمین انرژی خود با فروش انرژی حاصل از این پانل‌ها به خانه‌های اطراف، بخشی از هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری این پانل‌ها را بدست می‌آورند.

از دستاوردهای دیگر این تحقیق می‌توان به جدا کردن کاربری خاص، برای استقرار پانل‌های خورشیدی اشاره کرد که با قرار دادن لایه کاربری اراضی شهری به روی نتایج بدست آمده یا قبل از انجام محاسبات، امکان اولویت‌بندی برای استقرار این پانل‌ها را فراهم می‌کند. همچنین امکان شناسایی مناطق مستعد با توجه به شکل و ابعاد هر کدام از انواع مختلف پانل‌های خورشیدی امکان‌پذیر است که با توجه به وضعیت منطقه و شناسایی نوع بهینه آن امکان شناسایی وجود دارد. اجرا شدن این موضوع نیز نیاز به حمایت دستگاه‌های اجرایی دارد. این موضوع می‌تواند با در اختیار قرار دادن این پانل‌ها برای سازمان‌های دولتی شروع شود و پس از مورد تأیید قرار گرفتن کارایی‌های

منابع

- کمالی، غلامعلی و اسحاق مرادی (۱۳۸۴). تابش خورشید (اصول و کاربردها در کشاورزی و انرژی‌های نو)، تهران انتشارات قرن ۲۱ (وابسته به موسسه فرهنگی هنری پویانگران اندیشه‌آفرین) پژوهشکده هواشناسی.
- متکان، علی اکبر و همکاران (۱۳۸۸). تصمیم‌گیری قطعی و فازی در مکان‌یابی پارکینگ‌های عمومی طبقاتی، علوم محیطی، سال ششم، شماره سوم.
- مومنی، منصور و علی فعال قیومی (۱۳۸۹). تحلیل‌های آماری با استفاده از SPSS، تهران، ناشر کتاب نو.
- Bryan, H., Rallapalli, H., Rasmussen, P., Fowles, G., (2010) *METHODOLOGY FOR ESTIMATING THE ROOFTOP SOLAR FEASIBILITY ON AN URBAN SCALE*, American Solar Energy Societ.
- Chaves, A., Terry Bahill, A., (2010) "Locating Sites for Photovoltaic Solar", ArcUser Online, available at: <http://www.esri.com/news/arcuser/1010/solarsiting.html>
- Chapo, R., (2008) "Solar energy overview", Ezinearticles.com, December 2008, available at: <http://ezinearticles.com>
- Drennen, T.E., Erickson, J.D., Chapman, D., (1996) Solar power and climate change policy in developing countries, Energy Policy, 24, 9-16.
- Fu, P., Rich, P.M., (2000), A geometric solar radiation model and its applications in agriculture and forestry, Proceedings of the Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, I 357-364.
- Fu, P., Rich, P.M., (2000) The Solar Analyst 1.0; User manual, Helios Environmental Modeling Institute, USA
- Gusdorf, J., (1992) Energy pay-backs and renewable breeders, Energy, 17, 1137-1151.
- پاک طینت، هادی (۱۳۹۱). پتانسیل‌سنجی اراضی به‌منظور احداث مزارع فتوولتائیک بر مبنای سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و داده‌های سنجش از دور در ایران، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- ثقفی، محمود (۱۳۸۸). انرژی‌های قابل تجدید، تهران: دانشگاه تهران.
- حق‌پرست کاشانی، آرش و همکاران (۱۳۸۸). تدوین اطلس جامع GIS انرژی خورشیدی ایران بر اساس مدل تابش‌سنجی، بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران.
- رشیدی، معصومه و هادی غریب (۱۳۹۰). استفاده از انرژی خورشیدی راهکاری برای توسعه پایدار انرژی‌های نو، اولین همایش بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.
- رکنی دیلمی، بشیر و همکاران (۱۳۸۶). ارزیابی دقت تهیه مدل رقومی ارتفاع با استفاده از تصاویر ASTER، چهاردهمین همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور.
- رهنما، محمد رحیم و همکاران (۱۳۹۱). مکان‌یابی محل دفن زباله با ترکیب روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) و GIS در مشهد، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سوم.
- صادقی نائینی‌فرد، فریبا (۱۳۸۹). امکان‌سنجی تولید DSM شهری با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ (روش‌شناسی، بررسی خطاها و آزمون دقت)، هفدهمین همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور.
- طاوسی، تقی (۱۳۹۰). کاربرد اقلیمی تابش خورشیدی در برنامه‌ریزی محیطی، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان با همکاری انتشارات مرنديز.

-
- Muneer, T. & Asif, M. & Kubie, J., (2001) Generation and transmission prospects for solar electricity: UK and global markets, *Energy Conversion & Management*, 44, 35-52.
 - Rich, P.M., Dubayah, R., Hetrick, W.A., Saving, S.C., (1994) Using viewshed models to calculate intercepted solar radiation: applications in ecology, *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers*.
 - Ubertaini, S., Desideri, U., (2003) Performance estimation and experimental measurements of a photovoltaic roof, *Renewable Energy*, 28, 1833-1850.
 - Izquierdo, S., Rodrigues, M., Fueyo, N., (2008), A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations, *Solar Energy*, 82, 929-939.
 - Jiang, H., Eastman, R.J., (2000) Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS, *International Journal of Geographical Information Systems* 14, 173-184.
 - Malczewski, J., (1999) *GIS and Multi criteria Decision Analysis*, John Wiley & Sons Inc., New York.
 - Mellers, B., and Chang, S., (1994) Representations of risk judgments, *Organ Behav Hum Dec* 52(7), 167-184.