The 2nd National Conference on
Geospatial Information Technology (NCGIT)

K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering

18 January 2017

دومین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ دی ماه ۱۳۹۵

مکانیابی مناسب برای استقرار سیستم‌های فتوولتائیک انرژی خورشیدی در سقف ساختمان‌های شهری با استفاده از سنجش از دور

محمد پهلوانی[1*]، حسین عارفی[2]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
۲- استادیار گروه سنجش از دور و فتوگرامتری، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

چکیده :

در دهه‌های اخیر، افزایش مصرف انرژی در جهان به طور قابل ملاحظه‌ای در محیط زیست اثرگذار بوده است. لذا با توجه به محدودیت منابع انرژی، استفاده از انرژی خورشیدی بیشتر از همیشه مورد توجه قرار گرفته است. بهره‌برداری از انرژی خورشیدی از طریق سیستم‌های فتوولتائیک (PV[1]) یکی از مناسب‌ترین روش‌ها در استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر است. این سیستم‌ها ضمن تقویت و افزایش تامین برق، در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سراسر مناطق شهری موثر خواهند بود. ترویج استفاده از انرژی خورشیدی در محیط‌های شهری، نیاز به دانستن توزیع جغرافیایی و ویژگی‌های بهترین مکان برای پیاده‌سازی سیستم‌های فتوولتائیک را مشخص می‌نماید. سقف ساختمان‌ها در مناطق شهری به طور خاص مورد توجه نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک است. با این حال، همه سطوح در این مناطق از لحاظ اجرایی و اقتصادی مناسب نیستند. در این مقاله از داده‌های لایدار و تصاویر ماهواره کوئیک‌برد[1] به‌منظور استخراج اتوماتیک سقف ساختمان‌ها استفاده شده است. سپس برآورد پتانسیل انرژی خورشیدی و اثرات سایه در این سطوح با استفاده از نرم‌افزار گرس محاسبه شد. در نهایت با ارزیابی نتایج به‌دست آمده، مناسب‌ترین سقف‌ها جهت استقرار سیستم‌های PV انتخاب گردید. روش ارائه شده در این مقاله حاکی از امکان‌سنجی مناسب برای استقرار سیستم‌های PV با استفاده از داده‌های سنجش از دور با وضوح بالا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی : انرژی خورشیدی، سیستم فتوولتائیک، سقف ساختمان، سنجش از دور.

نویسنده مکاتبه کننده : محمد پهلوانی
آدرس پستی : تهران، بلوار آفریقا، بالاتر از میدان آرژانتین، وزارت راه و شهرسازی، طبقه ششم جنوبی، اتاق ۶۰۳، کدپستی ۱۵۱۹۶۶۰۸۰۲
تلفن : ۹۸۹۱۲۷۰۴۹۹۷۰+
آدرس پست الکترونیک : pahlevani.m@ut.ac.ir

۱- مقدمه

در چند سال گذشته، افزایش مصرف انرژی در جهان به طور قابل ملاحظه‌ای در محیط زیست اثرگذار بوده است. ساختمان‌ها و دیگر سازه‌های مهندسی که در شهرها بوجود آمده‌اند، بخش قابل توجهی از اثرات محلی و جهانی تغییرات آب و هوایی می‌باشند. جهت مقابله با این موضوع، استفاده از انرژی خورشیدی بیشتر از همیشه مورد توجه قرار گرفته است[۱، ۲ و ۳]. محیط زیست شهری موجود ما دارای پتانسیل مناسبی برای افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد که به طور عمده، استفاده از انرژی تابش خورشیدی برای گرما و برق است. از طرفی بهره‌برداری از انرژی خورشیدی از طریق سیستم‌های فتوولتائیک، روش امیدوارکننده‌ای به‌منظور کاهش گازهای گلخانه‌ای است. خصوصا هنگامی که استقرار سیستم فتوولتائیک در مناطق مسکونی با مقیاس بزرگ مورد توجه قرار می‌گیرد. ساختمان‌های متصل به شبکه PV، مناسب‌ترین شیوه استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر توزیع شده در مقیاس شهری است. این سیستم‌ها ضمن تقویت و بهبود تامین برق، در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سراسر مناطق شهری موثر خواهند بود. در این زمینه، ساختمان‌ها را می‌توان جهت تولید برق به صورت محلی مورد استفاده قرار داد. در نتیجه، نصب و راه‌اندازی منابع انرژی تجدیدپذیر مانند فتوولتائیک و یا سیستم‌های حرارتی خورشیدی در پشت بام ساختمان‌ها به طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. سطوح سقف در مناطق شهری به‌طور مداوم مورد توجه جهت نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فتوولتائیک است.

در طول چند سال گذشته بازار انرژی فتوولتائیک رشد فوق‌العاده‌ای داشته است. لذا جهت ایجاد انگیزه و افزایش علاقه به استفاده مداوم از سوخت‌های تجدیدپذیر در ساختمان‌ها، استفاده از روش‌های ساده و در عین حال قابل اعتماد برای ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدی مورد نیاز است. با وجود بررسی و مطالعه مزایای استفاده از این سیستم‌ها، هنوز درک مشخصی از مزایای پتانسیل اجرای آن در مقیاس شهری وجود ندارد. کمی‌سازی پتانسیل‌های خورشیدی با استفاده از نقشه خورشیدی، اولین گام در فرآیند استفاده بیشتر از انرژی خورشیدی در محیط‌های شهری است. نقشه خورشیدی نمایشگر سیستمی است که تابش سالانه خورشیدی را در سطوح ساختمان نشان می‌دهد و عمدتا حاوی اطلاعاتی از سیستم‌های حرارتی و یا خورشیدی فتوولتائیک است.

ترویج استفاده از انرژی خورشیدی در محیط‌های شهری، نیازمند آگاهی از توزیع جغرافیایی و ویژگی‌های بهترین مکان برای پیاده‌سازی سیستم‌های خورشیدی است. با در نظر داشتن سقف ساختمان بمنظور نصب سیستم‌های PV، ارزیابی پتانسیل انرژی PV از طریق برآورد مساحت سطح سقف‌های موجود جهت نصب این سیستم‌ها امکانپذیر خواهد بود. با این حال، همه سطوح در این مناطق از لحاظ اجرایی و اقتصادی مناسب نیستند. متاسفانه، برخی از سطوح سقف برای نصب سیستم‌های فتوولتائیک نامناسب هستند. استفاده از اطلاعات سنجش از دور با وضوح بالا، امکان تعیین پشت بام مناسب برای استقرار سیستم‌های PV به صورت خودکار را از طریق برآورد پتانسیل PV میسر می‌سازد. با استفاده از داده‌های سنجش از دور، می‌توان سطح شهر را مدل نمود و انرژی خورشیدی ورودی را در هر موقعیت برآورد کرد.

ساختار این مقاله به این شکل خواهد بود که در بخش بعدی، پیشینه تحقیق و کارهای انجام شده قبلی بیان خواهد شد. در بخش سوم داده‌ها و متدولوژی استفاده شده در این مقاله توضیح داده می‌شود و در بخش آخر، نتایج به‌دست آمده حاصل از اعمال الگوریتم، چالش‌ها، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه خواهد شد.

۲- پیشینه تحقیق

همایون کبیر و همکاران [۴]، با محاسبه روشنایی سقف ساختمان‌ها از تصاویر کوئیک‌برد و عوامل اقتصادی و اجتماعی و دیگر عوامل ژئوفیزیکی مانند موقعیت جغرافیایی، تابش افقی جهانی، تعداد ساعات آفتابی و غیره، در شهر داکای بنگلادش به شناسایی سقف‌های مناسب برای استقرار سیستم‌های PV پرداختند.

در مطالعهٔ جو و اوتانیکار [۵]، روش تحقیق سلسله مراتبی پیشنهاد شده است که ترکیبی از تصاویر کوئیک‌برد و شبیه‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور برآورد نواحی سقف‌های مناسب برای نصب سیستم‌های PV و تعیین پتانسیل تولید انرژی برای ۹۳۲ ساختمان تجاری و دولتی در منطقه‌ای از آریزونای آمریکا، مورد استفاده قرار گرفته است. روش پیشنهادی در ابتدا، سقف‌های موجود را برای استقرار سیستم‌های خورشیدی با استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی فازی و روش سلسله مراتبی تعیین می‌نماید. سپس روشنایی بام ساختمان‌ها را محاسبه نموده و پس از انجام آنالیزهای سایه، سقف‌های مناسب را شناسایی می‌کند.

در این مطالعه نصب سیستم‌های PV در ساختمان‌های تجاری و دولتی موردنظر بوده که منجر به تولید برق سالیانه ۱۸/۶۰۰ مگاوات ساعت خواهد شد که معادل با ۱۰٪ از تقاضای برق کل ساختمان‌ها در منطقه مورد مطالعه است. توسعه تکنولوژی‌های سقف سرد و سقف سبز نیز از مزایای دیگر تکنولوژی‌های سقف است که در این مطالعه پیشنهاد شده است.

در مطالعه آسیناری و برگاماسکو [۶]، روش سلسله مراتبی برای ارزیابی پتانسیل انرژی خورشیدیPV با برآورد پتانسیل فیزیکی (تابش خورشیدی مفید)، پتانسیل جغرافیایی (سطح پشت بام موجود)، پتانسیل فنی (کارایی سیستمPV) و اجرای نسبی آن‌ها در منطقه پایدمونت ایتالیا ارائه شده است. اساسا این روش نیاز به داده‌های در دسترس مانند نقشه تابش خورشیدی، داده‌های آماری جمعیت، مصرف انرژی و داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی موسوم به GIS[1] منطقه مورد مطالعه دارد. به‌عنوان نتیجه نشان داده شده‌است که با استفاده از ترکیب سقف و سیستم PV، پتانسیل انرژی خورشیدی در منطقه به میزان ۶/۹ تراوات ساعت در سال رسیده است به طوری‌که در سال ۲۰۰۹ کل مصرف انرژی الکتریکی خالص در منطقه، ۲۴/۵ تراوات ساعت بوده است. هم‌چنین می‌توان روش فوق را برای ارزیابی ترکیب نصب سیستم PV و سیستم حرارتی خورشیدی جهت رسیدن به یک استراتژی کاملا سبز در توزیع بهره‌مندی از انرژی خورشیدی نیز تعمیم داد.

در کار دیگری از آسیناری و برگاماسکو [۷]، برآورد سطح سقف‌های موجود برای نصب سیستم PV بر اساس مواردی همچون سایه، سطوح روشن و تاریک پشت‌بام، عوارض موجود در پشت‌بام مانند دودکش‌ها یا دیوارها و محاسبه زاویه آزیموتی انجام می‌گیرد. داده‌های اولیه در این مطالعه شامل اطلاعات جغرافیایی و کاداستر شهر تورین که مجموعه‌ای از اطلاعات GIS که کل شهر را پوشش می‌دهد همراه با ۱۲۴ تصویر اورتو می‌باشد. این الگوریتم برای کل شهر تورین در ایتالیا به‌کار برده شد و بر روی بیش از ۶۰،۰۰۰ ساختمان، پردازش شده است. اعتبار این روش، در مقایسه با بررسی‌های بصری انجام شده تا حدود ۹۰٪ به اثبات رسیده است.

در مطالعه بریتو و همکاران [۸]، روشی برای برآورد پتانسیل فتوولتائیک PV در یک منطقه شهری از لیسبون پرتغال، با استفاده از داده‌های لایدار (LiDAR[2]) و استفاده از ابزار تحلیلگر خورشیدی، ارائه شده است. در این کار پتانسیل PV برای ۵۳۸ ساختمان مشخص، توان تابشی معادل ۱۱/۵ گیگاوات ساعت در سال که متناظر با ۴۸٪ از تقاضای برق محلی است، پیش‌بینی شده است. هم‌چنین نشان داده شده است که پتانسیلPV را می‌توان برای سیستم‌های PV

[1] Geospatial Information System
[2] Light Detection and Ranging

کوچک، حدود ۱۰٪ از مساحت کل سقف، با لحاظ نبود سایه و شیب و جهت بهینه محلی، به‌خوبی تخمین زد. اما برای سیستم‌های PV بزرگ، به‌عنوان مثال پوشش تمام نواحی سقف‌های موجود، پتانسیل PV را با لحاظ نمودن یک سطح افقی همراه با تشخیص موقعیت ساختمان‌ها می‌توان برآورد نمود.

روش برآورد پتانسیل PV در مناطق شهری شامل سه مرحله اصلی است: ۱- ساخت مدل رقومی زمین (DTM[1])، مدل رقومی سطح (DSM[2]) و مدل رقومی ارتفاعی (DEM[3]) از داده‌های لایدار با رزولوشن بالا و عکسبرداری رقومی هوایی، ۲- برآورد توزیع جمعیت، ۳- مدل‌سازی تابش خورشیدی با استفاده از ابزار تحلیلگر خورشیدی. ابزار تحلیلگر خورشیدی، تابش خورشیدی را در تراز سطح تعیین می‌کند. لذا تابش خورشیدی بر روی سقف، با شناسایی پیکسل‌های سقف، تعیین می‌گردد. در این کار تنها پیکسل‌هایی از سقف با شیب کمتر از ۴۵ درجه لحاظ گردیده است. این آستانه به‌منظور جلوگیری از برآورد بیش از حد تابش در لبه‌های سقف به‌کار رفته است. نتایج این مطالعه برآورد اولیه تقریبی از پتانسیل PV را در یک منطقه شهری، بدون نیاز به آنالیز سه‌بعدی از سایه بر روی مدل رقومی از سطح نشان می‌دهد.

مطالعه لوکاس و همکاران [۹]، به درجه‌بندی سطوح سقف در مناطق شهری با توجه به پتانسیل خورشیدی آن‌ها و مناسب بودن برای نصب سیستم‌های فتوولتائیک می‌پردازد. پتانسیل خورشیدی سطح سقف، توسط روشی جدید مشخص شده است که در آن توپوگرافی بدست آمده از داده‌های لایدار را با اندازه‌گیری‌های آفتاب‌سنج از تابش خورشیدی جهانی و بازتابش انعکاس ساعتی ترکیب می‌کند. سایه پوشش گیاهی و مدل سایه چند تحلیلی نیز، روش پیشنهادی را تکمیل می‌کنند. مقایسه بین نتایج به دست‌آمده با استفاده از روش پیشنهادی و اندازه‌گیری‌های انجام شده در قدیمی‌ترین نیروگاه برق PV در اسلوونی، هم‌بستگی سازشی ۹۷/۴٪ را نشان می‌دهد که مناسب بودن روش پیشنهادی را تایید می‌کند.

در مطالعه جاکوبیک و رینهارت [۱۰]، روشی برای پیش‌بینی تقویت برق در سطح شهر از پانل‌های فتوولتائیک بر مبنای مدل‌های سه‌بعدی دقیق شهری و ترکیب آن با شبیه‌سازی تابش ساعتی بر اساس نرم‌افزار Daysim[4]، بررسی شده‌است که با نمونه داده‌های هواشناسی و دمای ساعتی محاسبه شده در پشت بام ساختمان در کمبریج مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج کار می‌تواند با فن‌آوری‌های نقشه‌برداری آنلاین و موتورهای جستجو ترکیب شده و به‌عنوان یک ماژول مالی در اختیار مالکانی که علاقمند به نصب سیستم فتوولتائیک بر روی بام ساختمان‌شان هستند با توجه به موقعیت مکانی، اندازه سیستم، هزینه‌های نصب و جبران هزینه مالی، قرار داده شود. روش جدید ارائه شده، ارتباطی بین مجموعه داده‌های شهری GIS و لایدار را با موتور شبیه‌ساز عملکرد ساختمان Daysim، برقرار می‌نماید که می‌توان نتایج آن‌را در مقیاس تک ساختمان یا همسایگی‌های کوچک شهری مورد استفاده قرارداد. مقایسه روش جدید با روش‌های قبلی، مزایای قابل توجهی را هم‌چون تولید داده‌های تابش نقطه ساعتی، دقت هندسی بهتر، بازتاب نزدیک از بافت شهری و استفاده از پیش‌بینی دمای پشت‌بام برای محاسبه بهره‌وری PV ساعتی را نشان می‌دهد به‌طوری‌که خطاهای سالانه در آن از ۳/۶٪ تا ۵/۳٪ تغییر کرده است.

در بررسی که توسط کانترز و همکاران [۱۱] انجام شده‌است، آنالیزی از نقشه‌های خورشیدی فعلی در شهر بازل سوئیس انجام شده که به‌منظور دست‌یابی به نقشه‌های خورشیدی دقیق می‌باشد.

[1] Digital Terrain Model
[2] Digital Surface Model
[3] Digital Elevation Model
[4] Daysim is a analysis software that models the annual amount of daylight in and around buildings.

در مطالعه توسط سانتوس و همکاران [۱۲]، پتانسیل فتوولتائیک PV ساختمان‌های مسکونی در لیسبون پرتغال، با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی بر اساس مدل‌های خورشیدی و داده‌های لایدار مورد آزمایش قرارگرفته است. در این مطالعه، دو متغیر مدلسازی شده‌اند: ۱- بازده انرژی خورشیدی تولید PV در بالای سقف بر اساس انتشار خورشیدی در هر سقف، ۲- جمعیت ساکن در هر ساختمان. پتانسیل کلی PV با تقاضای برق محلی مقایسه شده‌است. بر اساس ترکیب این خروجی‌ها، دو مدل بهره‌برداری از PV در پشت بام، برای اهداف برنامه‌ریزی انرژی مدنظرقرارگرفته است. نتایج مدل نشان می‌دهد که برای منطقه مورد مطالعه، حدود ۲۵٪ از نیاز برق محلی در ساختمان‌های مسکونی می‌تواند با نصب سیستم‌های PV در پشت بام‌ها برطرف گردد که می‌تواند برای حمایت از تصمیمات مدیریتی در مورد سرمایه‌گذاری در سیستم‌های خورشیدی مورد استفاده قرار گیرد.

در مطالعه دیگری که مجددا توسط لوکاس و همکاران [۱۳]، در شهر ماریبور در اسلوونی انجام شده‌است، روش جدیدی برای برآورد NPV[1] (ارزش خالص فعلی) پتانسیل سیستم‌های فتوولتائیک PV که برروی پشت بام‌ها نصب شده‌اند، با استفاده از داده‌های لایدار و ویژگی‌های بهره‌وری غیرخطی سیستم‌های PV پیشنهاد شده‌است. داده‌های خام ابرنقاط لایدار در سه کلاس سطح زمین، ساختمان و پوشش گیاهی طبقه‌بندی شده‌است. از همه مهم‌تر، اثرات زیست‌محیطی برای هر پشت‌بام با استفاده از زمان برگشت انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، بر اساس چرخه زندگی یک سیستم ویژه PV برآورد شده‌است. درنهایت، برآورد اثرات زیست‌محیطی و NPV به‌منظور پیدا کردن پشت‌بام‌هایی که از هر دو لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی برای استقرار سیستم‌های PV انتخابی بادوام و مناسب هستند، با یکدیگر ترکیب گردیده‌است. نتیجه کلی، کاهش تجمع گاز دی‌اکسیدکربن بر روی یک منطقه بزرگ مسکونی را نشان می‌دهد.

مطالعه‌ای که توسط روهانگ [۱۴]، در شهر پکن چین انجام شده‌است، به روشی نیمه‌اتوماتیک جهت برآورد محدودیت‌های مساله AIABI[2]، با به‌کارگیری تصاویر سنجش از دور با کیفیت بالا و روش‌های پردازش سیگنال پرداخته‌است. این مطالعه شاید دقت کمتری جهت جلوگیری از محاسبات پیچیده روش‌های OBIA[3] و یا به‌کارگیری نرم‌افزار eCognition[4] داشته باشد، اما روش ساده‌تر و سریع‌تری را جهت تشخیص سقف‌ها، توسعه داده‌است.

این روش شامل ۴ مرحله اصلی به شرح زیر است: ۱- تعیین اطلاعات عرضی بافت سقف بر اساس فرکانس اصلی. ۲- بدست آوردن پتانسیل خطوط متقاطع میان سایه‌ها و سقف. ۳- به‌کارگیری پتانسیل خطوط متقاطع و اطلاعات عرضی بافت سقف جهت تعیین وجود پشت‌بام و ۴- قرار دادن پشت بام‌ها، درون مستطیل. آنالیز خطا نشان می‌دهد که دقت برای آنالیز AIABI قابل قبول است. محدودیت این مطالعه آن است که روش تشخیص سقف، برای مناطقی که در آنها ساختمان‌ها نامنظم توزیع شده‌اند و ساختمان‌هایی که سایه قابل توجهی را در یک تصویر سنجش از دور نشان نمی‌دهند، کاملا منطبق نمی‌باشد.

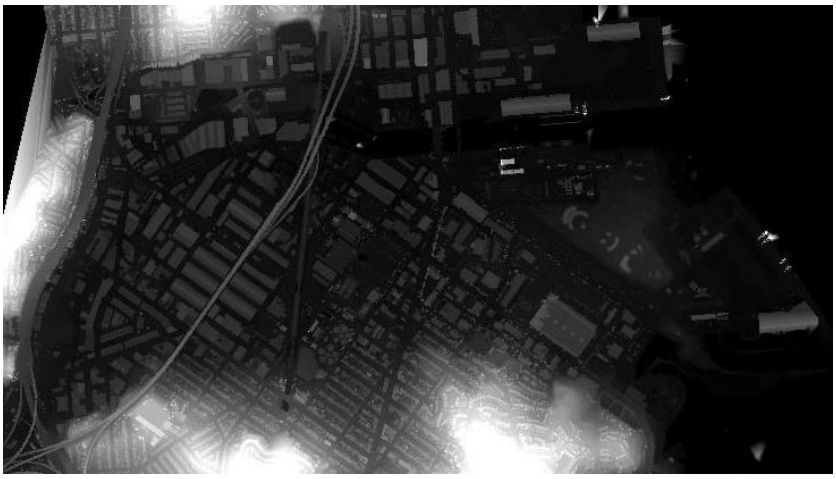
۳- متدولوژی و داده‌ها

در این مقاله از تصاویر ماهواره‌ای کوئیک‌برد با رزولوشن مکانی ۲/۴ متری که در تاریخ ۷ نوامبر سال ۲۰۰۷ به‌دست آمده، استفاده شده است. موقعیت محدوده مطالعاتی در سیستم تصویر UTM[5] زون ۱۰ شمالی، از طول

[1] Net Present Value
[2] Available Investment Area for BIGCP Installation
[3] Object Based Image Analysis
[4] The software application for analyzing satellite images
[5] Universal Transverse Mercator

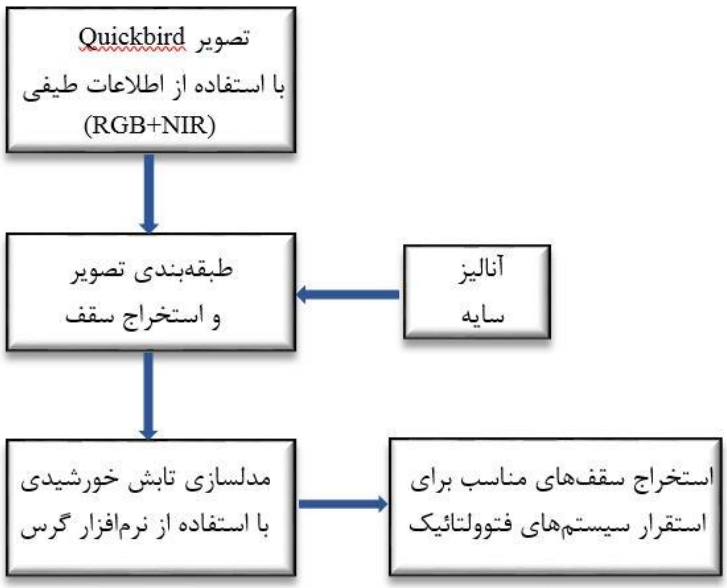
۵۵۲۰۱۴ متر تا ۵۵۴۹۶۴ متر و از عرض ۴۱۷۶۵۰۰ متر تا ۴۱۷۸۵۳۰ متر قرار دارد. در شکل (۱) تصویری از منطقه مطالعاتی که در تاریخ مذکور به‌دست آمده، نشان داده شده است. شکل (۳) تصویری از DEM ایجاد شده از تصاویر ایدار را نمایش می‌دهد.

شکل ۱: تصویری از منطقه مطالعاتی که از تصاویر ماهواره کوئیک‌برد در تاریخ ۷ نوامبر ۲۰۰۷ بدست آمده است



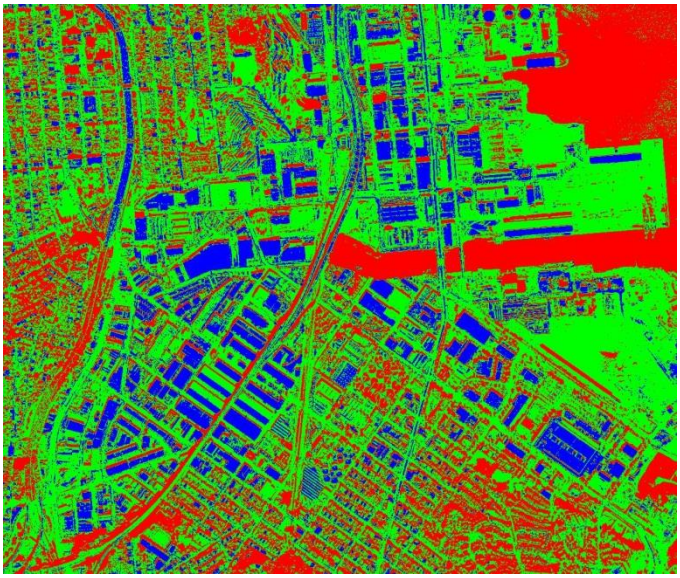
شکل ۲: DEM بدست آمده از داده لایدار در منطقه مطالعاتی

متدولوژی استفاده شده در این مقاله، در شکل (۳) نشان داده شده است. بر این اساس تصویر مورد نظر جهت استخراج پشت بام ساختمان‌ها، طبقه‌بندی گردید.



شکل ۳: متدولوژی استفاده شده در این مقاله

نتایج طبقه‌بندی انجام شده بر اساس روش‌های نظارت شده در شکل (۴) نشان داده شده است. در این شکل تصویر منطقه مطالعاتی به ۳ کلاس آب، زمین و پشت بام، طبقه‌بندی گردیده است.



شکل ۴: طبقه‌بندی تصویر منطقه مطالعاتی. رنگ‌های سبز، قرمز و آبی به ترتیب معرف کلاس زمین، آب و پشت بام می‌باشند.

۴- نتایج و پیشنهادها

پیاده‌سازی متدولوژی ارائه شده در قسمت مدل‌سازی تابش خورشیدی در نرم‌افزار GRASS GIS و با استفاده از داده‌های لایدار بدست آمده از منطقه مطالعاتی انجام شد. بعلت گستردگی عملیات انجام شده از ذکر جزئیات آن در این بخش صرفنظر شده و تنها به ذکر نتایج بدست آمده اکتفا می‌گردد. نتایج بدست آمده از این مقاله حاکی از امکان سنجی مناسب برای استقرار سیستم‌های PV با استفاده از داده‌های سنجش از دور با وضوح بالا می‌باشد. سقف یک ساختمان می‌تواند با احاطه ساختمان‌های اطراف، پوشش گیاهی، دودکش‌ها و اشیاء دیگر در بالای سقف سایه‌اندازی کند. برآورد واقعی‌تر از تابش خورشیدی را می‌توان هنگامی که تجزیه و تحلیل سایه

در نظر گرفته شده‌است، بدست آورد. ترکیب استفاده از تصاویر سنجش از دور با وضوح بالا و داده‌های لایدار همـراه بـا تولید DEM و DSM، تعیین و استخراج سقف ساختمان، انجام تجزیه و تحلیل مربوط به سایه و محاسبه شیب سـطوح بام جهت انتخاب سقف‌های مناسب را بهبود خواهد بخشید.

مراجع

[1] P. K. Joshi, R. Mahtta, and A. K. Jindal, “Solar power potential mapping in India using remote sensing inputs and environmental parameters”, Renewable Energy, Vol.71, pp.255-262, 2014.

[2] L. Zhang, S. Wang, D. Fu, X. Lu, T. Wu, and Q. Tong, “Selecting photovoltaic generation sites in Tibet using remote sensing and geographic analysis”, Solar Energy, Vol.133, pp.85-93, 2016.

[3] M. S. Wong, R. Zhu, Z. Liu, L. Lu, J. Peng, Z. Tang, C. H. Lo, and W. K. Chan, “Estimation of Hong Kong’s solar energy potential using GIS and remote sensing technologies”, Renewable Energy, Vol.99, pp.325-335, 2016.

[4] M. H. Kabir, W. Endlicher, and J. Ja¨germeyr, “Calculation of bright roof-tops for solar PV applications in Dhaka Megacity, Bangladesh”, Renewable Energy, Vol.35, pp.1760-1764, 2010.

[5] J. H. Jo, and T. P. Otanicar, “A hierarchical methodology for the mesoscale assessment of building integrated roof solar energy systems”, Renewable Energy, Vol.36, pp.2992-3000, 2011.

[6] P. Asinari, and L. Bergamasco, “Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Application to Piedmont Region (Italy)”, Solar Energy, Vol.85, pp.1041-1055, 2011.

[7] P. Asinari, and L. Bergamasco, “Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Further improvements by ortho-image analysis and application to Turin (Italy)”, Solar Energy, Vol.85, pp.2741-2756, 2011.

[8] M. C. Brito, N. Gomes, T. Santos, and J. A. Tenedo´rio, “Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data”, Solar Energy, Vol.86, pp.283-288, 2012.

[9] N. Lukac, D. Zˇlaus, S. Seme, B. Zˇalik, and G. Štumberger, “Rating of roofs’ surfaces regarding their solar potential and suitability for PV systems, based on LiDAR data”, Applied Energy, Vol.102, pp.803-812, 2013.

[10] J. A. Jakubiec, and C. F. Reinhart, “A method for predicting city-wide electricity gains from photovoltaic panels based on LiDAR and GIS data combined with hourly Daysim simulations”, Solar Energy, Vol.93, pp.127-143, 2013.

[11] J. Kanters, M. Wall, and E. Kjellsson, “The solar map as a knowledge base for solar energy use”, Energy Procedia, Vol.48, pp.1597-1606, 2014.

[12] T. Santos, N. Gomes, S. Freire, M. C. Brito, L. Santos, and J. A. Tenedório, “Applications of solar mapping in the urban environment”, Applied Geography, Vol.51, pp.48-57, 2014.

[13] N. Lukac, S. Seme, K. Dezan, B. Zalik, and G. Stumberger, “Economic and environmental assessment of rooftops regarding suitability for photovoltaic systems installation based on remote sensing data”, Energy, Vol.107, pp.854-865, 2016.

[14] X. Ruhang, “The restriction research for urban area building integrated gridconnected PV power generation potential”, Energy, Vol.113, pp.124-143, 2016.