

## شبیه‌سازی سایه‌اندازی در محلات شهری با استفاده از GIS (نمونه موردی: محله ادب سندج)

سارا بهشتی‌فر<sup>۱\*</sup>، رومینا عبداللهی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد طراحی شهری، گروه معماری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷، پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۴، نشر آنلاین: ۱۴۰۰/۳/۴

### چکیده

در سال‌های اخیر به دلایل مختلف از جمله محدود بودن منابع سوخت فسیلی و اثرات نامطلوب آن‌ها بر محیط‌زیست، بهره‌گیری از انرژی‌های پاک همچون انرژی خورشیدی مورد توجه قرار گرفته؛ از طرفی، با افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی، بلندمرتبه‌سازی به‌عنوان یکی از راهکارهای مناسب جهت توسعه شهرها مطرح گردیده است. لکن با افزایش ارتفاع ساختمان‌ها، ممکن است بهره‌گیری از انرژی خورشیدی به دلیل ایجاد سایه، محدود گردد. در حالی که این انرژی، به‌خصوص در فصول سرد و مناطق سردسیر، می‌تواند نقش مهمی در بهبود دمای ساختمان و همچنین ذوب طبیعی برف داشته باشد. هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی سه‌بعدی سایه‌ها در یک محله شهری با تراکم ساختمانی بالا می‌باشد. برای این منظور، از داده‌های توپوگرافی منطقه و همچنین اطلاعات مربوط به ساختمان‌های یکی از محلات شهر سندج استفاده شد و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، سایه‌های ساختمان‌ها شبیه‌سازی گردیدند. نتایج تحقیق نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، به دلیل موقعیت جغرافیایی و وضعیت توپوگرافی منطقه و تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها، واحدهای مسکونی اغلب از نور مستقیم خورشید محروم هستند؛ به طوری که در روز ابتدای زمستان، در یک ساعت به‌خصوص، ۷۵ درصد از پلاک‌ها و در روز ابتدای تابستان، در همان ساعت، ۵۶ درصد پلاک‌ها به‌طور کامل در سایه قرار می‌گیرند. در حالت کلی می‌توان گفت که با توجه به موقعیت و ارتفاع ساختمان‌ها، قابلیت نورگیری در این محله مناسب نیست. نتایج مذکور، علاوه بر ارائه اطلاعات دقیق و کمی به ساکنین در خصوص نورگیری، می‌تواند تأکیدی بر نیاز به تأمین سوخت بیشتر در فصول سرد باشد.

**کلیدواژه‌ها:** سایه‌اندازی، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تحلیل سه‌بعدی، طراحی شهری، محله ادب سندج.

### ۱- مقدمه

افزایش فاصله بین محل کار و مسکن، آلودگی‌های زیست‌محیطی، توسعه بی‌رویه شهرها بر روی اراضی زراعی و در نتیجه اتلاف وقت، سوخت و انرژی را به دنبال داشته است. از این‌رو کارشناسان و متخصصین امور شهری، بلندمرتبه‌سازی را به‌عنوان یکی از راهکارهای مناسب جهت توسعه شهرها مورد تأکید قرار داده‌اند. این راهکار در واقع به‌منظور بهره‌برداری از اراضی مرکز شهر مطرح گردیده است (لبافان و همکاران، ۱۳۹۷؛ شیعه و همکاران، ۱۳۹۷؛ بمانیان، ۱۳۷۷).

با توجه به مطالب فوق، موضوع برنامه‌ریزی جهت رشد عمودی شهر و بلندمرتبه‌سازی با توجه به اهداف توسعه پایدار شهری مطرح می‌شود (Cheng و همکاران، ۲۰۰۶). در حالی که ساختمان‌های بلند، به‌خصوص در شهرهای بزرگ، به دلیل سایه‌اندازی، میزان تابش خورشید به محیط اطراف خود را تحت تأثیر قرار می‌دهند

مسئله بحران انرژی به‌عنوان یکی از معضلات اساسی قرن حاضر به‌شمار می‌آید. این موضوع، سبب افزایش توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر شده است. در همین راستا، راهکارهای متعددی جهت محدود کردن استفاده از انرژی سوختی و بهره‌گیری بیشتر از انرژی‌های پاک از جمله انرژی خورشیدی در حوزه‌های مختلف ارائه شده است که می‌تواند در رسیدن به اهداف توسعه پایدار نیز مفید باشد. اصطلاح دسترسی به انرژی خورشیدی را می‌توان «میزان تابش خورشیدی که ساختمان می‌تواند بدون هیچ مانعی دریافت کند»، تعریف کرد (Bronin, Lau و He، ۲۰۱۱). از طرفی، در دهه‌های اخیر اکثر شهرهای کشور به‌طور بی‌سابقه‌ای گسترش یافته‌اند. گسترش کالبدی در بسیاری از موارد، ترافیک بالای درون شهری به دلیل

\* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۹۰۱۳۰۰۴۱۰

مربوط به طراحی شهرها مورد توجه قرار گرفته است. در کشور ما نیز در وضع قوانین و ضوابط ساختمانی و تهیه طرح‌های توسعه شهری در برخی از کلان‌شهرها، در تعیین ضوابط ارتفاعی ساختمان‌ها که با توجه به عواملی همچون عرض معابر، طول و عرض قطعات و زاویه تابش تعیین می‌شود، به مسئله سایه‌اندازی توجه ویژه‌ای شده و ضوابط مرتبط با آن تعیین گردیده است. با این حال بررسی‌ها نشان می‌دهد که در برخی از موارد، روش‌هایی که مشاورین طرح‌ها برای پهنه‌بندی تراکم ساختمانی استفاده نموده‌اند، به صورت سلیقه‌ای و بدون مبنای دقیق علمی و با در راستای دستیابی به درآمدزایی بیشتر بوده است (مسعود و همکاران، ۱۳۹۹). در نتیجه، به ضوابط ارتفاعی و سایه‌اندازی توجه کافی نشده که این امر کاهش میزان کارآمدی فضاهای شهری را در پی داشته و باعث گردیده اثرات اجتماعی-فرهنگی و بهداشتی نامطلوبی به وجود آید.

در این تحقیق، جهت نزدیک شدن به واقعیت، به بررسی وضعیت سایه‌اندازی در یکی از محلات شهر سمنان که شامل ساختمان‌های متعدد می‌باشد، پرداخته شده است. محله انتخابی از جمله مناطقی است که در آن میزان تراکم و ساخت‌وساز نسبتاً بالا بوده و به مسئله سایه‌اندازی توجه کافی نشده است. از طرفی، کوهستانی بودن منطقه و آب‌وهوای سردسیر آن، اهمیت بهره‌مندی از نور خورشید را برای ساکنین محله به‌ویژه در فصل‌های سرد افزایش داده است.

در این پژوهش، جهت بررسی وضعیت سایه‌اندازی از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. به دلیل قابلیت بالای این سیستم در اخذ، مدیریت، تجزیه و تحلیل و نمایش داده‌های مکانی و اطلاعات توصیفی مرتبط، تاکنون در حوزه‌های مختلف از جمله شهرسازی از آن استفاده شده است (پریزادی و روشنگر، ۱۳۹۱). با این حال در مطالعات مربوط به طراحی شهری، قابلیت‌های تحلیلی آن چندان مورد توجه قرار نگرفته و استفاده از این سیستم اغلب محدود به توان نمایش آن بوده است. تا زمان انجام تحقیق حاضر، مطلبی در خصوص استفاده عملی از GIS برای بررسی سایه‌اندازی در کشور، در نشریات مربوطه منتشر نشده بود.

## ۲- پیشینه و مبانی نظری تحقیق

در خصوص سایه‌اندازی ساختمان‌ها و ارتباط آن‌ها با انرژی خورشیدی مطالعات متعددی صورت گرفته که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است. Chow و همکاران (۲۰۱۴)، از مدل‌سازی سه‌بعدی GIS، برای ارزیابی پتانسیل خورشیدی با قدرت تفکیک مکانی-زمانی بالا، در جنوب انتاریو در کشور کانادا بهره گرفتند. در بعضی از ساختمان‌ها، در سطوح اصلی مثل نماها و پشت‌بام‌ها

(Hayati و Sayadi، ۲۰۱۲؛ Jose و همکاران، ۲۰۱۱؛ Andreou، ۲۰۱۴). همین عامل باعث می‌شود که در ساختمان‌های مسکونی به‌ناچار، انرژی بیشتری صرف تأمین روشنایی و گرمایش فضای داخل خانه شود (رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰). لذا بهتر است بلندمرتبه‌سازی به نحوی صورت گیرد که تا حد ممکن بهره‌گیری از انرژی خورشیدی را محدود ننماید؛ به‌خصوص که موقعیت جغرافیایی ایران موجب شده امکان دریافت میزان قابل توجهی از این نوع انرژی در آن فراهم باشد. همچنین باید توجه داشت که سایه‌اندازی ساختمان‌های بلند بر محیط اطراف در ساعات مختلف روز و نیز فصول مختلف، متغیر می‌باشد (Frontini و Lobaccaro، ۲۰۱۴) ولی در فصول سرد از اهمیت بیشتری برخوردار است.

به این ترتیب می‌توان گفت که دستیابی به توسعه پایدار با تأکید بر استفاده از انرژی خورشید، به‌عنوان یکی از منابع تجدیدپذیر انرژی، در راستای کاهش مصرف انرژی فسیلی به دلیل محدود بودن منابع آن‌ها و همچنین اثرات نامطلوب زیست‌محیطی، در حوزه طراحی شهری نیز مطرح می‌شود که یکی از نمونه‌های آن، طراحی مناسب ساختمان‌ها از جهات مختلف من جمله ارتفاع بهینه آن‌ها می‌باشد (رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰)؛ به‌گونه‌ای که با بهره‌مندی از نور خورشید، مصرف انرژی‌های فسیلی در ساختمان‌ها، به‌خصوص در فصول سرد و مناطق سردسیر، تا حدی کاهش یابد. در همین راستا توجه به محیط سایه‌اندازی در برنامه‌ریزی و طراحی برای مناطق و محلات مختلف شهری، ضرورت یافته است.

باید توجه داشت میزان بهره‌مندی از نور خورشید در حالت کلی بر روی سرمایش و گرمایش ساختمان‌ها در مناطق مختلف و در نتیجه میزان مصرف انرژی در فصول مختلف تأثیر می‌گذارد. با این حال، ضرورت بهره‌مندی از نور خورشید در فصل زمستان و به‌ویژه در مناطق سردسیر دوچندان می‌گردد. زیرا وجود سایه، علاوه بر کاهش دمای ساختمان، ذوب طبیعی برف و تبخیر آب باران را نیز دشوار می‌نماید (Shiroki و Masaharu، ۲۰۱۹).

میزان تأثیر سایه‌اندازی بر محیط پیرامون به عوامل مختلفی نظیر ارتفاع ساختمان‌ها و فاصله بین آن‌ها بستگی دارد. هرچه یک ساختمان بلندتر باشد، سایه آن نیز طولانی‌تر خواهد بود. علاوه بر این طول سایه به دلیل وابستگی به زاویه تابش، در فصول مختلف، متغیر است؛ به طوری که در روز ابتدای زمستان، طولانی‌ترین سایه، ایجاد می‌گردد.

با توجه به تأثیر ارتفاع و تراکم ساختمان‌ها بر روی دما (Chen و همکاران، ۲۰۲۰؛ Wang و Xu، ۲۰۲۱؛ Yang و همکاران، ۲۰۲۱) و میزان انرژی (رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۰؛ Li و همکاران، ۲۰۲۱)، این مطلب در مطالعات مختلف و نیز در تدوین ضوابط

درختان و ساختمان‌ها بر محیط اطراف خود، در فواصل دور یا نزدیک، در انواع مدل‌های شهری سه‌بعدی مورد استفاده قرار گیرد. در روش مذکور، فضا به یک شبکه با سلول‌های مربعی تقسیم می‌شود که ابعاد آن توسط کاربر تعیین می‌گردد؛ به این ترتیب، از این روش می‌توان در مقیاس‌های مختلف، بدون مواجه شدن با محدودیت حافظه موردنیاز، استفاده کرد. در روش پیشنهادی، شعاع‌هایی از هر یک از اشیاء شهر به سمت موقعیت خورشید که با توجه به تاریخ و ساعت مشخص می‌شود، ایجاد می‌گردد. سپس با توجه به این که شیء دیگری در مسیر شعاع موردنظر قرار گرفته یا خیر، وضعیت سایه‌ها تعیین می‌گردد.

Nielsen و همکاران (۲۰۱۸)، چارچوبی را برای تجزیه و تحلیل و کمی‌سازی سایه‌های بالقوه‌ای که می‌توانند به دلیل وجود عوارض پیرامون بر روی سطح دریاچه ایجاد شوند، ارائه دادند. در این چارچوب از داده‌های سنجش از راه دور و همچنین مدل رقومی ارتفاع (DEM)<sup>۲</sup> دانمارک استفاده شده است. مدل رقومی مذکور، علاوه بر سطح فیزیکی ناحیه یعنی توپوگرافی، شامل ارتفاع ساختمان‌ها و پوشش گیاهی نیز می‌باشد. چارچوب پیشنهادی برای دریاچه دانمارک می‌تواند برای بررسی سایه‌اندازی در سایر دریاچه‌های جهان نیز مورد استفاده قرار گیرد.

Peeters (۲۰۱۶)، برخلاف مطالعاتی که پیش‌تر به آن‌ها اشاره شد، از سایه‌های ایجادشده، برای استخراج ارتفاع ساختمان‌ها جهت ساخت پایگاه داده‌های سه‌بعدی در GIS استفاده کرد. در این پژوهش برای ارزیابی میزان دسترسی به خورشید، ابعاد حیاط املاک مورد توجه قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که روش پیشنهادی، راهکاری مطمئن و کم‌هزینه برای ساخت پایگاه‌های داده سه‌بعدی است که اطلاعات به‌دست آمده می‌تواند در نهایت برای تجزیه و تحلیل پارامترهای آب و هوایی محلی در داخل شهر مورد استفاده قرار گیرد. در کشور ما نیز علی‌رغم اهمیت بالای بررسی تأثیر سایه‌اندازی و ارتفاع ساختمان‌ها در میزان مصرف انرژی فسیلی، تعداد مطالعات صورت گرفته در این زمینه بسیار محدود بوده که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

نصری و شجاعی (۱۳۹۴)، تأثیر سایه‌اندازی ساختمان‌ها در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در پژوهش مذکور، تأثیر عوامل متعددی نظیر موقعیت خورشید، الگوی سایه در سطوح شیب‌دار، اندازه، فرم و نحوه جهت‌گیری ساختمان‌ها و همچنین فاصله آن‌ها از هم در ارتباط با موضوع مرور شده است. لبافان و همکاران (۱۳۹۷)، نیز به بررسی تأثیر سایه‌اندازی ساختمان‌های بلندمرتبه تهران بر همسایگی‌ها در بهره‌گیری از تابش خورشیدی و بار مصرفی سرمایشی و گرمایشی پرداخته‌اند. آن‌ها با تأکید بر لزوم استفاده از انرژی خورشیدی

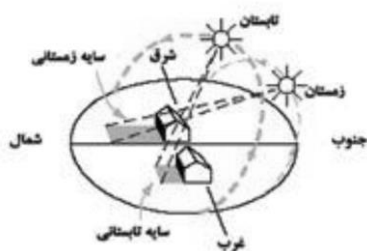
امکان دریافت انرژی خورشیدی وجود دارد که می‌توان از آن‌ها جهت تأمین انرژی گرمایی و الکتریکی خود ساختمان استفاده کرد. در همین راستا، در پژوهش مذکور، جهت تجزیه و تحلیل پتانسیل انرژی خورشیدی به صورت ساعتی، از اطلاعات متنوعی شامل شرایط جوی، عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، توپوگرافی، تغییرات روزانه و فصلی خورشید و اثر سایه‌های ساختمان‌های اطراف در محیط GIS استفاده شد. در این پژوهش، طرح اولیه سایت با طرح پیشنهادی مقایسه شد و معلوم گردید که با اجرای طرح پیشنهادی، متوسط تابش خورشیدی در زمستان و تابستان، به ترتیب، ۶ و ۱۴ درصد افزایش می‌یابد.

Pellegrino و همکاران (۲۰۰۸) نیز با هدف بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در شهرها، از قابلیت‌های GIS برای تهیه نقشه پتانسیل تابش خورشیدی در شهر رم ایتالیا استفاده کردند تا بتوانند سیاست‌گذاران را در تصمیم‌گیری برای طراحی و برنامه‌ریزی یاری نمایند.

Jensen (۲۰۱۷) با هدف یاری رساندن به طراحان شهری در تصمیم‌گیری، به تجزیه و تحلیل سایه‌اندازی با استفاده از GIS در یک ناحیه شهری در امریکا پرداخته‌اند و سایه را در ساعات مختلف روز را در محیط Arcscene نرم‌افزار ArcGIS شبیه‌سازی نموده‌اند. در مطالعات مذکور بیشتر تأکید بر روی تعیین پتانسیل خورشیدی در مناطق مختلف بوده ولی مستقیماً به بررسی وضعیت سایه‌اندازی ساختمان‌ها بر روی همدیگر از دیدگاه طراحی شهری و میزان قرار گرفتن هر پلاک در سایه ناشی از ساختمان‌های اطراف، بخصوص در فصول سرد، پرداخته نشده است.

Yu و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر سایه ساختمان‌ها بر روی دمای سطح زمین در یک منطقه شهری در پکن را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور داده‌های مختلف نظیر زاویه خورشید، ارتفاع و مساحت ساختمان‌ها باهم ترکیب شدند و توزیع فضایی فصلی سایه ساختمان‌ها در ناحیه مرکزی شهر استخراج شد. همچنین داده‌های سنجش از دور مربوط به لندست ۸<sup>۲</sup> برای تعیین دما مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که وجود سایه ساختمان‌ها بر دمای سطح زمین در این شهر، به شدت از تابستان تا زمستان تأثیر می‌گذارد. لازم به ذکر است در پژوهش مذکور، سایه ساختمان‌ها در داخل پیکسل‌ها تعیین گردیده و با اطلاعات دمای مستخرج از تصاویر تطبیق داده شده‌اند که با توجه به غیرقابل تفکیک بودن پیکسل‌ها، دقت حاصل کاملاً وابسته به ابعاد پیکسل خواهد بود.

Jaillot و همکاران (۲۰۱۷)، یک مدل کلی را برای تشخیص مناطقی که در معرض نور خورشید و یا سایه قرار دارند، ارائه دادند. این مدل می‌تواند برای بررسی سایه‌اندازی اشیاء مختلف نظیر

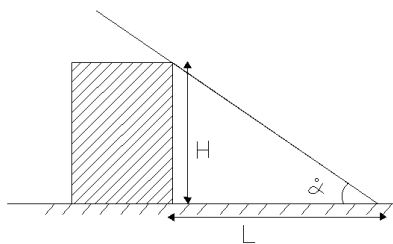


شکل ۱- سایه در تابستان و زمستان (نصری و شجاعی، ۲۰۱۵)

لازم به ذکر است که جهت نورگیری طبیعی و بهره‌مندی مناسب از گرمایش، علاوه بر ارتفاع ساختمان‌ها، جهت‌گیری و شکل آن‌ها و همچنین جهت‌گیری خیابان‌ها و معابر نیز مؤثر است. لکن این تحقیق، بر روی تأثیر موقعیت و ارتفاع ساختمان‌ها متمرکز شده است. چنان‌که در قسمت مقدمه اشاره شد، ارتفاع ساختمان‌ها را باید با توجه به فاصله بین آن‌ها چنان انتخاب نمود که در فصل زمستان، تا حد ممکن بر روی یکدیگر سایه‌اندازی نداشته باشند. به همین ترتیب می‌توان گفت جهت بهره‌مندی از نور خورشید، فاصله بین ساختمان‌ها باید بیش از طول سایه زمستانی باشد. طول سایه، به زاویه تابش خورشید و ارتفاع بستگی دارد و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (شکل (۲)).

$$\tan \alpha = H/L \quad (1)$$

در این رابطه فوق،  $\alpha$  زاویه تابش خورشید در عرض جغرافیایی محل،  $L$  طول سایه (فاصله از ساختمان) و  $H$  ارتفاع ساختمان است.



شکل ۲- ارتباط طول سایه با ارتفاع ساختمان و زاویه تابش

از آنجایی که مقدار زاویه تابش در فصول مختلف یعنی در حالات مختلف خورشید، تغییر می‌یابد، می‌توان برای عرض‌های مختلف، زاویه تابش را به دست آورد. به عنوان نمونه، زاویه تابش برای عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی در سه مقطع زمانی اول فروردین و مهر، اول تیر ماه و اول دی ماه در جدول (۱) ارائه داده شده است (رهنمایی، ۱۳۸۲).

به‌عنوان اصلی‌ترین منبع انرژی پاک، راهکارهایی در جهت طراحی و جانمایی برج‌ها در یک مجموعه با توجه به سایه‌اندازی آن‌ها بر روی یکدیگر و تأثیر آن بر مصرف انرژی ارائه کرده‌اند. محل قرارگیری مناسب از نظر میزان دریافت تابش خورشیدی، برای هفت ساختمان فرضی با تعداد طبقات و ارتفاع‌های مختلف در تهران مورد تحلیل قرار گرفته است. در این تحقیق، برای مدل‌سازی حجم‌ها از نرم‌افزار رؤیت و جهت‌اندازه‌گیری طول سایه احجام، از نرم‌افزار اتوکد استفاده شده است. با توجه به محدود بودن تعداد مطالعات در زمینه بررسی تأثیر سایه‌اندازی ساختمان‌ها در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی، مطالعات مذکور بسیار ارزشمند هستند؛ لکن در هیچ‌یک از مطالعات مربوط به داخل کشور در این زمینه، از داده‌های واقعی برای ساختمان‌ها استفاده نشده است. علاوه بر آن، بررسی سایه‌اندازی به صورت موردی برای یک ساختمان فرضی بر روی همسایگان آن صورت گرفته، در حالی که مطالعه و بررسی جامع‌تر در این خصوص ضروری به نظر می‌رسد.

لذا در این تحقیق، جهت نزدیک شدن به واقعیت، به بررسی وضعیت سایه‌اندازی از داده‌های واقعی سه‌بعدی در یک محله با ساختمان‌های متراکم و بلندمرتبه واقع در منطقه‌ای سردسیر استفاده شد. همچنین در پژوهش پیش‌رو، میزان قرارگیری هر پلاک در سایه، در یک روز و ساعت مشخص، به صورت کمی تعیین گردید.

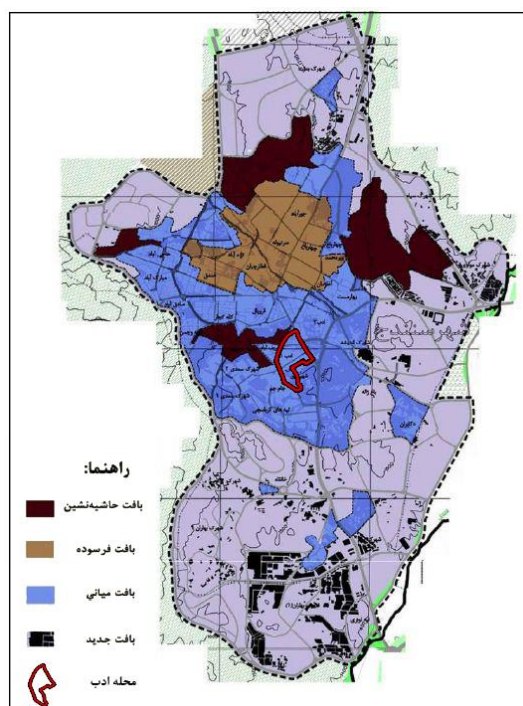
چنان‌که پیش‌تر اشاره شد، سایه‌اندازی به عوامل مختلفی بستگی دارد. یکی از این عوامل، ارتفاع ساختمان‌هاست. هر چه یک ساختمان بلندتر باشد، سایه آن طولانی‌تر و تأثیرش بر روی بافت مجاور بیشتر خواهد بود. عامل دیگر، فاصله بین ساختمان‌ها می‌باشد. برای جلوگیری از سایه‌اندازی ساختمان‌ها بر روی یکدیگر، فاصله بین ساختمان‌ها باید بیش از طول سایه زمستانی در نظر گرفته شود. طول سایه بستگی مستقیم به زاویه تابش دارد و زاویه تابش نیز خود در عرض‌های جغرافیایی مختلف، متغیر است. بدین ترتیب که هر چه از عرض‌های پایین به سمت عرض‌های بالا حرکت می‌کنیم، اندازه این زاویه کوچک‌تر می‌شود. معمولاً سایه را برای بحرانی‌ترین زمان، یعنی کوتاه‌ترین روز سال که اول دی ماه می‌باشد، مورد بررسی قرار می‌دهند. به دلیل این که در این روز، زاویه تابش خورشید از بقیه ایام سال کم‌تر بوده و در نتیجه سایه‌ای که اشیاء بر روی سطح افق ایجاد می‌کنند بلندتر از سایر اوقات می‌باشد که در شکل (۱) به صورت شماتیک نشان داده شده است (نصری و شجاعی، ۲۰۱۵).

آن، تنوع کم‌تری نسبت به بافت قدیم داشته و شکل هندسی آن‌ها نیز منظم‌تر است.

**بافت حاشیه‌نشین:** در فاصله سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۵۵، با مهاجرت افراد از روستاها و شهرهای کوچک و مناطق عشایری و سکونتشان در اطراف شهر سنندج، به تدریج نیروی بالقوه‌ای برای شکل‌گیری سکونتگاه‌های غیررسمی در اطراف شهر ایجاد شد. قطعات تفکیکی در این بافت عمدتاً دارای اشکال غیرهندسی بوده و ارتفاع ساختمان‌ها، یک، دو و به ندرت سه طبقه می‌باشند.

**بافت جدید:** احداث محلات جدید شهرک سعدی ۱ و ۲، شهرک کشاورز، شهرک نور و بهاران، ناشی از تحولات عملکردی دوره ۱۳۸۰-۱۳۶۴ می‌باشد. ساختمان‌های این محلات عمدتاً متعلق به بعد از دهه ۷۰ است. شکل هندسی قطعات زمین عمدتاً مستطیل کشیده است و از نظر ارتفاع متنوع هستند (کریمی مشاور و همکاران، ۱۳۹۴).

تقسیم‌بندی بافت‌های مختلف سنندج و منطقه مورد مطالعه در شکل (۳) نشان داده شده است. محله ادب شهر سنندج (منطقه مورد مطالعه این پژوهش)، در بافت میانه شهر سنندج واقع شده و از قدمت نسبتاً بالایی برخوردار است. با این حال، به دلیل توسعه آن بر اساس طرح از پیش برنامه‌ریزی شده و جانمایی کاربری‌ها و شبکه معابر متناسب با جمعیت پیش‌بینی شده، از کیفیت بالاتری به نسبت دیگر محلات شهری برخوردار است.



شکل ۳- بافت‌های مختلف سنندج (منبع: طرح جامع شهر)

### جدول ۱- زاویه تابش آفتاب برای عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی در سه مقطع زمانی (رهنمایی، ۱۳۸۲)

عرض جغرافیایی (درجه)	زمان تابش در سه مقطع (درجه)		
	اول فروردین و مهر ماه	اول تیر ماه	اول دی ماه
۳۰	۶۰	۸۳/۴۵	۳۶/۵۵
۳۱	۵۹	۸۲/۴۵	۳۵/۵۵
۳۲	۵۸	۸۱/۴۵	۳۴/۵۵
۳۳	۵۷	۸۰/۴۵	۳۳/۵۵
۳۴	۵۶	۷۹/۴۵	۳۲/۵۵
۳۵	۵۵	۷۸/۴۵	۳۱/۵۵
۳۶	۵۴	۷۷/۴۵	۳۰/۵۵
۳۷	۵۳	۷۶/۴۵	۲۹/۵۵
۳۸	۵۲	۷۵/۴۵	۲۸/۵۵
۳۹	۵۱	۷۴/۴۵	۲۷/۵۵
۴۰	۵۰	۷۳/۴۵	۲۶/۵۵

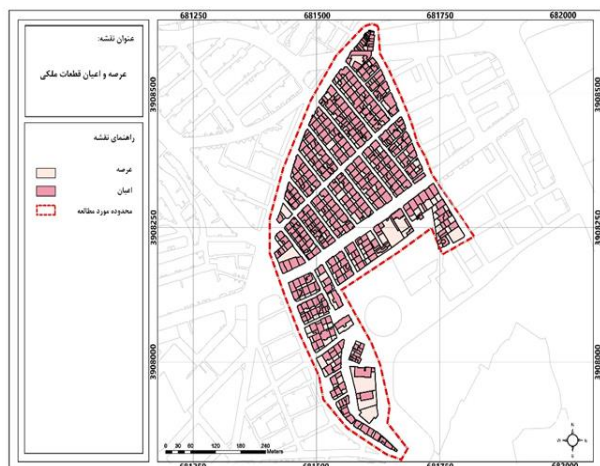
### ۳- محدوده مورد مطالعه

در این تحقیق، محله ادب ۲ شهر سنندج، واقع در نوار غربی کشور، به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیده است. چنان‌که پیش‌تر ذکر شد، دلیل انتخاب این منطقه، از یک سو بالا بودن نسبی تراکم ساختمان‌ها و ارتفاع آن‌ها و از سوی دیگر، قرار گرفتن این ناحیه در منطقه‌ای کوهستانی با آب‌وهوای سرد در زمستان می‌باشد که اهمیت بهره‌گیری از نور خورشید را دوچندان می‌کند. سنندج، مرکز استان کردستان، با مساحت ۶/۳۶۸۸ هکتار، در ارتفاع ۱۴۵۰ تا ۱۵۳۸ متری از سطح دریا و منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده و آب‌وهوای سرد و نیمه‌خشک دارد. بر اساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن جمعیت شهری، شهر سنندج در سال ۱۳۹۵، ۴۱۲۷۶۷ نفر بوده است.

بافت‌های شهری سنندج را می‌توان به ۴ گونه عمده شامل بافت قدیم، بافت میانه، بافت حاشیه‌نشین و بافت جدید تقسیم‌بندی کرد که ویژگی‌های آن‌ها به‌طور مختصر به شرح زیر می‌باشند:

**بافت قدیم:** در گذشته، با توجه به ساختار متمرکز قدرت، محلات در شهر سنندج به صورت مجموعه‌ای از سکونتگاه‌های اقماری به دور هسته آن، یعنی قلعه حکومتی، سازمان‌دهی شده بودند. اکنون بافت قدیم و تاریخی در مرکز شهر، الگویی از معماری سنتی با کوچه‌های پیچ‌درپیچ را نمایان می‌سازد. این بخش از بافت شهری، بسیاری از آثار ارزشمند تاریخی شهر را در خود جای داده است.

**بافت میانه:** از دوره پهلوی اول تا ۱۳۴۰، با خیابان‌کشی، نظام ارگانیک و محله‌ای شهر سنندج از هم پاشیده شد و بازار شهر با کشیدن خیابان‌های صلیبی به دو بخش تقسیم گردید. معابر این بافت عمدتاً از یک نظم شبه شطرنجی برخوردارند. ابعاد قطعات در



شکل ۵- عرصه و اعیان قطعات ملکی منطقه مورد مطالعه (ترسیم: نگارندگان)

در ادامه با استفاده از آنالیز Sun shadow volume، حجم سایه در محدوده مورد مطالعه، با تنظیم زاویه تابش نور خورشید با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه و زمان‌های تعریف شده، تعیین گردید. سایر تجزیه و تحلیل‌ها همچون تبدیل سایه سه‌بعدی به دو بعدی و آنالیز سایه‌های دو بعدی جهت بررسی وضعیت سایه‌اندازی در زمان‌های مختلف در هر یک از پلاک‌ها در محیط ArcMap نرم‌افزار ArcGIS انجام شد.

#### ۵- نتایج و بحث

در این قسمت به بیان نتایج حاصل از انجام آنالیز سایه‌اندازی در محیط GIS در محله ادب ۲ سنندج و بحث پیرامون آن‌ها پرداخته شده است. در شکل (۶) وضعیت سه‌بعدی محله نمایش داده شده؛ این نقشه با استفاده از اطلاعات توپوگرافی و همچنین اطلاعات مکانی و توصیفی مربوط به عرصه و اعیان تهیه گردیده است.

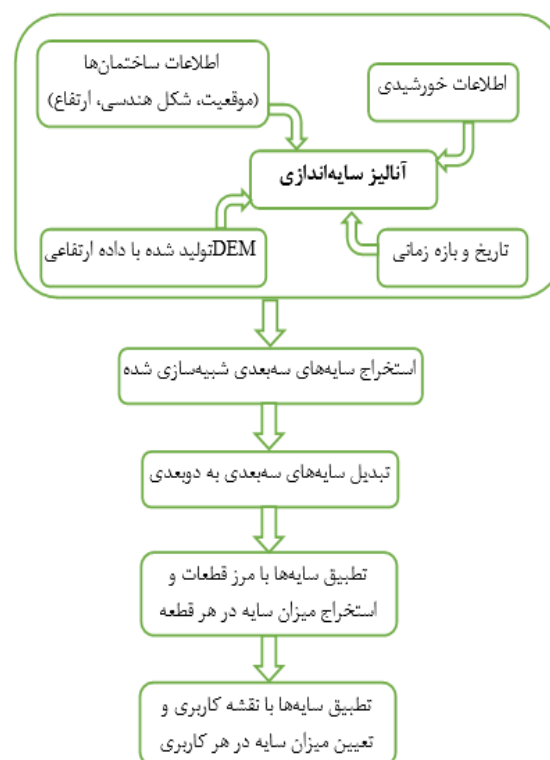
برای انجام تجزیه و تحلیل مربوط به سایه‌اندازی و محاسبه حجم سایه، پس از سه‌بعدی کردن اعیانی‌ها، دیوارهای عرصه نیز با توجه به ارتفاعشان به حالت سه‌بعدی درآمد و وارد آنالیز گردیدند. برای این منظور، از تبدیل پلیگون به خط استفاده شد و به این ترتیب دیوارهای عرصه به صورت مجزا به حالت سه‌بعدی تبدیل شدند. برای بررسی سایه‌اندازی، علاوه بر اطلاعات مربوط به پلاک‌ها، تاریخ و زمان شروع و همچنین تاریخ و زمان انتهای محاسبه حجم سایه در محدوده مورد مطالعه نیز وارد آنالیز شدند. در پژوهش حاضر، وضعیت سایه‌اندازی در روزهای اول تیرماه (ابتدای تابستان) و اول دی ماه (ابتدای زمستان) بررسی شده و زمان ابتدا و انتها در هر دو روز به ترتیب، ۰۴:۰۰ دقیقه و ۰۴:۱۵ دقیقه بعد از ظهر به وقت تهران در نظر گرفته شده است.

محله ادب، دارای عرض شمالی ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه و طول شرقی ۴۶ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۰۰ دقیقه از نصف‌النهار گرینویچ می‌باشد.

#### ۴- مواد و روش تحقیق

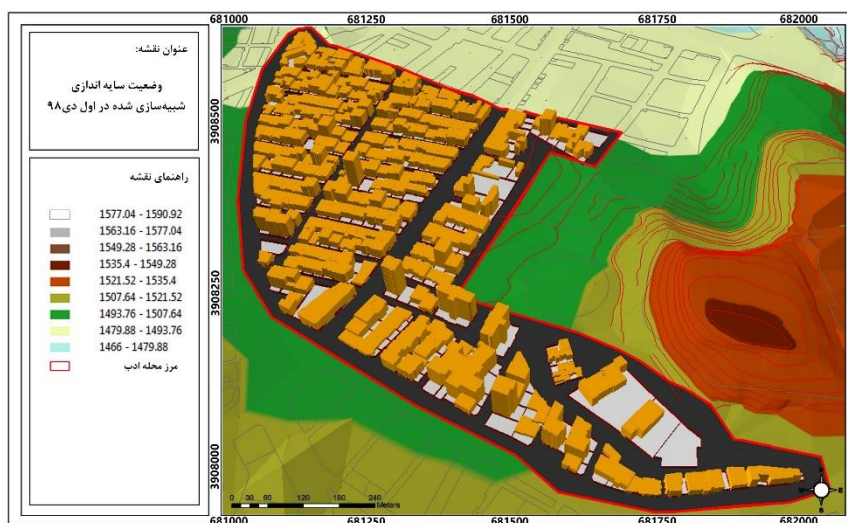
روند اجرای پژوهش برای بررسی سایه‌اندازی ساختمان‌ها در منطقه مورد مطالعه در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به اهمیت اطلاعات توپوگرافی در تحلیل سایه‌اندازی، ابتدا نقشه ارتفاعی محله مورد نظر، با استفاده از نقاط ارتفاعی با مختصات سه بعدی معلوم، در محیط ArcMap نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. سپس لایه‌های اطلاعاتی مربوط به عرصه و اعیانی هر یک از پلاک‌های محدوده، با جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، ایجاد گردید (شکل (۵)). همچنین اطلاعات مربوط به تعداد طبقات ساختمان‌ها جمع‌آوری و به عنوان اطلاعات توصیفی، در لایه اعیانی، به هر یک از پلاک‌ها افزوده شدند.

در این پژوهش، جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، ایجاد دید و شبیه‌سازی سه‌بعدی محله انتخابی و در نهایت انجام آنالیزهای لازم برای بررسی وضعیت سایه‌اندازی، از GIS استفاده شد. پس از تهیه و آماده‌سازی اطلاعات مورد نیاز، نمای سه‌بعدی محله با در نظر گرفتن ارتفاع ساختمان‌ها و تعداد طبقات در محیط ArcScene نرم‌افزار ArcGIS شبیه‌سازی شد.

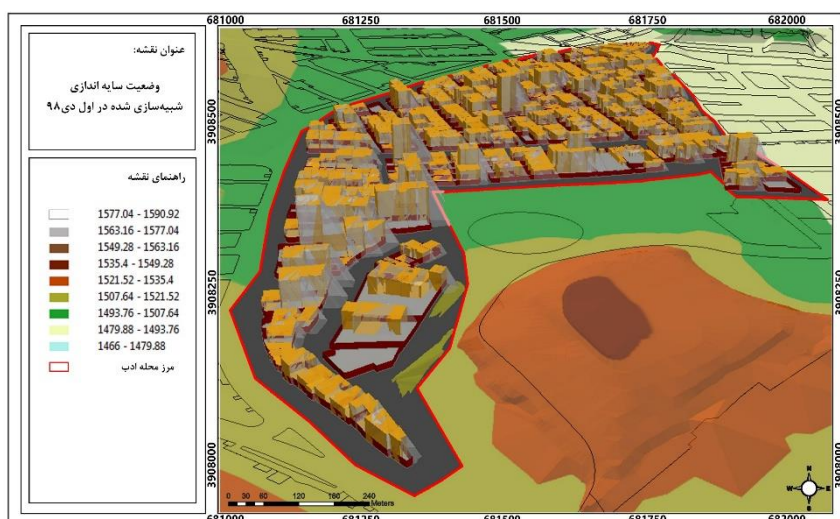


شکل ۴- روند اجرای پژوهش

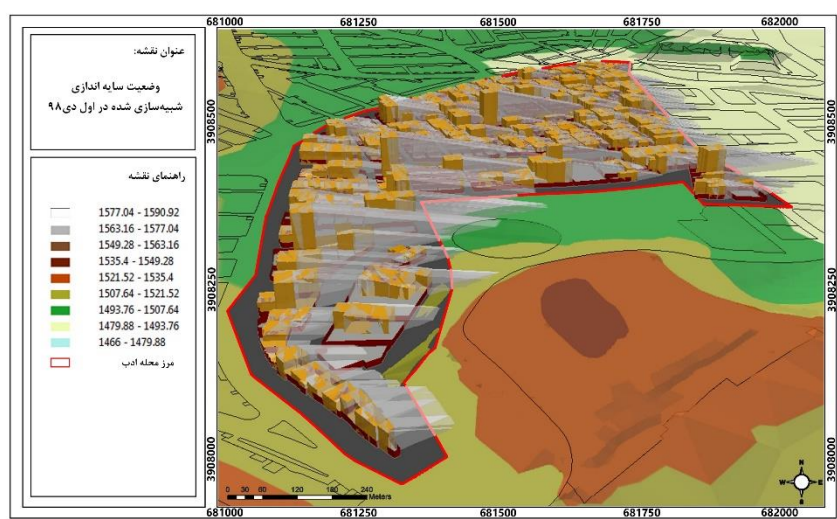




شکل ۶- نمایش سه بعدی ساختمان ها به تفکیک عرصه و اعیانی در محله ادب ۲ (ترسیم نگارندگان)



شکل ۷- وضعیت سایه اندازی شبیه سازی شده در محله ادب در اول تیر ۹۸ (ترسیم نگارندگان)



شکل ۸- وضعیت سایه اندازی شبیه سازی شده در محله ادب در اول دی ۹۸ (ترسیم نگارندگان)

جدول ۲- میزان قرارگیری پلاک‌ها در سایه کامل

ردیف	اول تیرماه	اول دی‌ماه	سایه کامل
۱	+	+	٪۴۷
۲	-	+	٪۲۷
۳	+	-	٪۷
۴	-	-	٪۱۹

بررسی آماری پلاک‌ها از نظر سایه‌اندازی نشان می‌دهد که در بازه زمانی مذکور، در اول دی ماه ۷۵ درصد از پلاک‌ها و در اول تیرماه ۵۶ درصد به‌طور کامل در سایه قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل به‌طور خلاصه در جدول (۲) ارائه شده‌اند. چنان‌که در شکل (۹) ملاحظه می‌گردد، اغلب پلاک‌هایی که در سایه کامل قرار نگرفته‌اند، در قسمت غربی و جنوب غربی محله واقع شده‌اند که دلیل آن عرض معابر، زاویه‌های سایه‌های ایجاد شده و نیز جهت کشیدگی قطعات به سمت جنوب شرقی می‌باشد.

به این ترتیب امکان محاسبه حجم سایه که حاصل از برخورد نور خورشید با ساختمان‌های سه‌بعدی شده می‌باشد، فراهم گردیده است. نقشه‌های سه‌بعدی به‌دست آمده در شکل (۷) و (۸) نشان داده شده‌اند. در راهنمای نقشه‌های مذکور، طبقات ارتفاعی و محدوده منطقه مورد مطالعه مشخص شده‌اند. چنان‌که در شکل‌های (۷) و (۸) نیز به‌وضوح قابل تشخیص است، حجم سایه در این محدوده به‌خصوص در زمستان که طول سایه‌ها بلندترند، مقدار قابل توجهی دارد.

در ادامه برای تحلیل بیشتر، سایه‌های سه‌بعدی ایجاد شده به حالت دو بعدی تبدیل شدند. برای بررسی وضعیت سایه‌اندازی در هر پلاک، صرفاً سایه‌های داخل پلاک‌ها مدنظر قرار گرفتند و سایه‌های خارج از آن‌ها حذف گردیدند. در شکل (۹)، پلاک‌هایی که کل آن‌ها در ابتدای تابستان و زمستان در سایه قرار گرفته‌اند از سایر پلاک‌ها تفکیک شده‌اند.



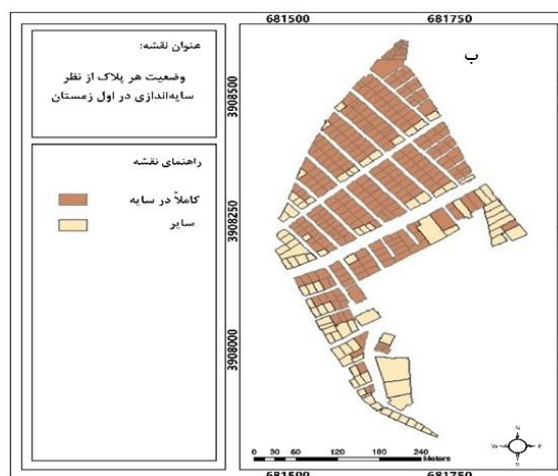
شکل ۱۰- نقشه کاربری در محله ادب (ترسیم نگارندگان)



(الف)



شکل ۱۱- سایه‌اندازی در کاربری‌های مختلف در محله ادب (ترسیم نگارندگان)



(ب)

شکل ۹- وضعیت پلاک‌ها از نظر سایه‌اندازی با سایه دوبعدی شده: (الف) اول تابستان، (ب) اول زمستان (ترسیم نگارندگان)



می‌گیرند دارای کاربری مسکونی می‌باشند و کاربری‌های آموزشی از جمله مواردی هستند که در سایه قرار نگرفته‌اند.

با استفاده از روش به‌کار رفته در این تحقیق می‌توان وضعیت سایه‌اندازی را در مناطق مختلف، برای هر پلاک به‌صورت مجزا، مورد بررسی قرار داد و میزان بهره‌مندی از نور خورشید را در ساختمان‌ها و کاربری‌های مختلف ارزیابی کرد.

علاوه بر این، با این روش می‌توان هنگام طراحی شهری و پیش از تصمیم‌گیری نهایی در خصوص فاصله، ابعاد و ارتفاع ساختمان‌ها، سایه‌اندازی را در حالات مختلف با استفاده از GIS شبیه‌سازی نمود و با توجه به شرایط منطقه از جمله شرایط آب و هوایی، حالت مناسب را برای آن منطقه مشخص نمود. همچنین می‌توان در تخصیص کاربری‌ها در کنار سایر عوامل مؤثر، میزان سایه را در صورت نیاز مدنظر قرار داد.

به‌طور کلی می‌توان گفت که شناسایی چالش‌ها از این نظر در یک منطقه کمک می‌کند تا تدوین ضوابط و مقررات مرتبط با این امر با دقت بالاتری صورت گیرد. همچنین می‌توان با انجام شبیه‌سازی و پیش‌بینی وضعیت سایه‌اندازی در یک محله به-خصوص، راهکارهای مناسبی را جهت تعیین ارتفاع مناسب برای ساختمان‌ها به‌صورت موضعی تعیین نمود.

## ۷- مراجع

بمانیان م، "بررسی عوامل مؤثر بر شکل‌گیری ساختمان‌های بلند در ایران"، پایان‌نامه دکتری در گرایش معماری، دانشگاه تهران، ۱۳۷۷.

پریزادی ط، روشنگر ث، "کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در برنامه‌ریزی شهری"، اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۱۳۹۱، ۲۱ (۸۳)، ۵۱-۵۷.

رهنمایی م، "مجموعه مباحث و روش‌های شهرسازی (جغرافیا)"، مرکز مطالعات و تحقیقات معماری و شهرسازی ایران، ۱۳۸۲. شیعه ا، وحید آ، صارمی ح، "عوامل مؤثر در مکان‌یابی ساختمان‌های بلندمرتبه با تأکید بر پایداری محیط‌زیست (مطالعه موردی: شهر قزوین)"، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۱۳۹۷، ۵۰ (۴)، ۸۷۳-۸۹۰.

کریمی مشاور م، حسینی علمداری آ، احمدی م، "بررسی تطبیقی نمونه‌هایی از بافت شهری سندج با استفاده از آنالیزهای ایزوویست و تحلیل گراف دید"، مطالعات شهری، ۱۳۹۴، ۱۳، ۳۳-۴۲.

لبافان س، میرانی محلاتی. آ، نصرالهی ف، "بررسی تأثیر سایه‌اندازی ساختمان‌های بلندمرتبه تهران بر همسایگی‌ها در بهره‌گیری از تابش خورشیدی و بار مصرفی سرمایشی و گرمایشی"، معماری سبز، ۱۳۹۷، ۱۱، ۸۵-۹۴.

برای بررسی سایه‌اندازی در انواع کاربری‌ها، نقشه کاربری منطقه نیز تهیه گردید که این نقشه در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همپوشانی نقشه کاربری و پلاک‌هایی که در اول تیر و یا اول دی ماه سال ۹۸ در بازه زمانی مشخص شده در سایه قرار گرفته بودند، نشان داد که اغلب پلاک‌هایی که در سایه قرار می‌گیرند، دارای کاربری مسکونی و یا تجاری هستند. همچنین با توجه به نتایج حاصل، پلاک‌هایی که دارای کاربری آموزشی بوده‌اند، در هیچ‌یک از دو فصل در سایه قرار نگرفته‌اند (شکل (۱۱)) و امکان بهره‌مندی از نور خورشید در آن‌ها به‌خصوص در زمستان وجود داشته است.

## ۶- نتیجه‌گیری

یکی از موارد حائز اهمیت در طراحی شهری، این است که بتوان به حداکثر بهره‌مندی از نور و تابش آفتاب دست یافت. یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح در شهرسازی در این راستا، بررسی وضعیت سایه‌اندازی می‌باشد که نیاز به توجه و پژوهش بیشتری دارد.

در این پژوهش، جهت بررسی میزان بهره‌گیری از نور خورشید در یک فضای شهری با تراکم ساختمانی بالا، به تجزیه و تحلیل سایه‌اندازی بر روی ساختمان‌های مختلف در محله ادب ۲ شهر سنندج، پرداخته شد. وضعیت سایه‌ها در ابتدای فصل زمستان که بلندترین سایه‌ها ایجاد می‌شوند، در این منطقه سردسیر شبیه‌سازی شدند. علاوه بر این، جهت مقایسه نتایج، سایه‌ها در تابستان نیز مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور، از داده‌های واقعی مربوط به توپوگرافی و نیز اطلاعات مختلف در مورد ساختمان‌ها از جمله ارتفاع آن‌ها استفاده گردید.

در پژوهش حاضر، از قابلیت‌های GIS برای ورود و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز، انجام آنالیزهای مختلف از جمله سایه‌اندازی و سپس انجام تبدیلات لازم و بررسی سایه‌ها در هر یک از پلاک‌ها استفاده شد. در این سیستم، پس از تولید سایه‌ها به‌صورت سه‌بعدی، نقشه دو بعدی سایه‌ها نیز تهیه شدند و مورد بررسی قرار گرفتند.

نتایج نشان داد که ۴۷ درصد از پلاک‌ها در یک ساعت بخصوص، هم در ابتدای تابستان و هم در ابتدای زمستان در سایه قرار می‌گیرند. همچنین چنانکه انتظار می‌رفت میزان سایه‌اندازی در ابتدای زمستان بالا بوده و ۷۵ درصد از پلاک‌ها در اول دی ماه تحت تأثیر سایه سایر ساختمان‌ها قرار گرفتند. این میزان در اول تیرماه ۵۶ درصد بوده است. براساس نتایج به‌دست آمده برخی از پلاک‌ها فقط در ابتدای تابستان و برخی دیگر فقط در ابتدای زمستان در سایه قرار گرفته‌اند. بررسی هم‌زمان نقشه کاربری منطقه با نقشه سایه‌ها نشان داد اغلب پلاک‌هایی که در سایه قرار

- Nielsen A, Bolding K, Trolle D, "A GIS-based framework for quantifying potential shadow casts on lakes applied to a Danish lake experimental facility", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2018, 73, 746-751.
- Peeters A, "A GIS-based method for modeling urban-climate parameters using automated recognition of shadows cast by buildings", *Computers, Environment and Urban Systems*, 2016, 59, 107-115.
- Pellegrino M, Caiaffa E, Grassi A, Pollino M, "GIS as a tool for solar urban planning", 3rd International Solar Energy Society Conference- Asia Pacific Region (ISES-AP-08) Incorporating the 46<sup>th</sup> ANZSES Conference, 2008.
- Shiroki D, Masaharu H, "Shadow analysis of buildings over urban express way by using three-dimensional GIS- To study the distribution of long remained snow cover that made express way close for five days", *Abstracts of the International Cartographic Association*, 2019, 1, 336.
- Wang M, Xu H, "The impact of building height on urban thermal environment in summer: A case study of Chinese megacities", *Plos one*, 2021, 16 (4), e0247786.
- Yang J, Menenti M, Wu Z, Wong MS, Abbas S, Xu Y, Shi Q, "Assessing the impact of urban geometry on surface urban heat island using complete and nadir temperatures", *International Journal of Climatology*, 2021, 41, E3219-E3238.
- Yu K, Chen Y, Wang D, Chen Z, Gong A, Li J, "Study of the seasonal effect of building shadows on urban land surface temperatures based on remote sensing data", *Remote Sensing*, 2019, 11 (5), 497.
- محمدی ع، حسینی س م، ارژنگی ح، "شناسایی پهنه‌های مناسب احداث ساختمان‌های بلندمرتبه شهری مطالعه موردی: شهر اردبیل"، برنامه‌ریزی فضایی جغرافیا، ۱۳۹۶، ۷ (۴)، ۱۹-۴۰.
- مسعود م، یزدانی ش، بهزادفر م، "گونه‌شناسی شیوه‌های پهنه‌بندی و تعیین تراکم ساختمانی مسکونی در طرح‌های جامع شهری ایران"، فصلنامه مطالعات شهری، ۱۳۹۹، ۳۴، ۱۱۸-۱۰۵.
- نصری س، شجاعی ا، "بررسی تأثیرات سایه‌اندازی ساختمان‌ها در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی"، ۱۳۹۴، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و زیرساخت‌های شهری، تبریز.
- Andreou E, "The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean", *Renewable Energy*, 2014, 63, 587-596.
- Bronin S, "Solar rights, boston university law review", 89 (4), 1217, 2009.
- Chen Y, Wu J, Yu K, Wang D, "Evaluating the impact of the building density and height on the block surface temperature", *Building and Environment*, 2020, 168, 106493.
- Cheng V, Steemers K, Montavon M, Compagnon R, "Urban form, density and solar potential", *The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Geneva, Switzerland, 1-6, 2006.
- Chow A, Fung AS, Li S, "GIS modeling of solar neighborhood potential at a fine spatiotemporal resolution", *Buildings*, 2014, 4, 195-206.
- Hayati H, Sayadi MH, "Impact of tall buildings in environmental pollution", *Environmental Skeptics and Critics*, 2012, 1 (1), 1-8.
- Jaillet V, Pedrinis F, Servigne S, Gesquière G, "A generic approach for sunlight and shadow impact computation on large city models", 25<sup>th</sup> International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2017, Pilsen, Czech Republic, May, 2017.
- Jensen RE, "Generating shadows for urban design", Master's thesis, University of Redlands, 2017.
- Jose RS, Perez JL, Gonzalez RM, "Sensitivity analysis of two different shadow models implemented into EULAG CFD model: Madrid experiment", *Research Journal of Chemistry and Environment*, 2011, 2 (2), 1-5.
- Lau KL, E Ng, He ZJ, "Residents' preference of solar access in high-density sub-tropical cities", *Solar Energy*, 2011, 85 (9), 1878-1890.
- Lau KL, E Ng, Z J He, "Residents' preference of solar access in high-density sub-tropical cities", *Solar Energy*, 2011, 85 (9), 1878-1890.
- Li Y, Wang D, Li S, Gao W, "Impact analysis of urban morphology on residential district heat energy demand and microclimate based on field measurement data", *Sustainability*, 2021, 13 (4), 2070.
- Lobaccaro G, Frontini F, "Solar energy in urban environment: how urban densification affects existing buildings", *Energy Procedia*, 2014, 48, 1559-1569.

## EXTENDED ABSTRACT

# Simulation of Shading in Urban Neighborhoods Using GIS (Case study: Sanandaj, Adab neighborhood)

Sara Beheshtifar<sup>\*</sup>, Romina Abdollahi

*Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran*

**Received:** 17 March 2021; **Accepted:** 25 May 2021

---

### Keywords:

Shading, Geographical Information System (GIS), 3D Analysis, Urban design, Adab neighborhood in Sanandaj.

---

## 1. Introduction

The issue of energy crisis is considered as one of the main problems of this century. This has led to increased attention to renewable energy. In this regard, several solutions have been proposed to decrease the use of fuel and make more use of clean energy, including solar energy in various fields. On the other hand, in recent decades, most of the cities have expanded unprecedentedly. In many cases, physical expansion has resulted in high congestion, environmental pollution, and waste of time, fuel, and energy. Therefore, experts have proposed high-rise construction as one of the appropriate solutions for the development of cities (Cheng et al. 2006). While tall buildings, especially in large cities, due to shading, affect the amount of sunlight to their surroundings (Andreou, 2014; Jose et.al, 2011; Hayati and Sayadi, 2012). Therefore, high-rise construction should be done in a way that does not reduce the use of solar energy as much as possible. In addition to lowering the temperature of the building, the shade also makes it difficult for snow to melt naturally and rainwater to evaporate. With proper design of buildings in order to benefit from sunlight, the consumption of fossil fuels in buildings, especially in cold seasons and cold regions, is reduced to some extent. The effect of shading on the surrounding environment depends on various factors such as the height of the buildings and the distance between them. The taller a building is, the longer its shadow. In addition, the length of the shadow varies in different seasons; the longest shade occurs on the first day of winter. In this research, shading with real three-dimensional data of Adab 2 neighborhood of Sanandaj city, which includes several buildings, has been investigated. Sanandaj is the capital of Kurdistan Province in Iran, with a population of 412767 (in 1395). The selected study area is one of the areas where the rate of density and construction is relatively high and the issue of shading has not been given enough attention. In addition, the mountainous nature of the region and its cold climate have increased the need for sunlight, especially in cold seasons. This area has a latitude of 35 degrees and 17 minutes to 35 degrees and 18 minutes and a longitude of 46 degrees and 59 minutes to 47 degrees and 00 minutes east of the Greenwich meridian. Until the present study, no article on the practical use of GIS for shading in the country had been published in the relevant journals.

## 2. Methodology

For shadow analysis, first the elevation map was prepared in GIS using 3D points. Then, data layers related to the building site and standing property was created by collecting the required data. Information about the number of floors of buildings was also collected and added to the layers as attribute data. In this research, GIS was used to create a three-dimensional view and shadow analysis. The three-dimensional representation of the study area was simulated by considering the height of the buildings and the number of floors using the Arc Scene module of ArcGIS software. Then, using Sun shadow volume analysis, the shadow volume was determined by adjusting the angle of sunlight according to the position of the study area and the defined time

---

<sup>\*</sup> Corresponding Author

*E-mail addresses:* sara\_beheshtifar@yahoo.com (Sara Beheshtifar), romina.abdollahi@gmail.com (Romina Abdollahi).

intervals. Other analyzes such as converting 3D shadows to 2D and analyzing 2D shadows were performed to evaluate the shading using ArcMap module of ArcGIS software.

### 3. Results and discussion

In this study, the shadow on the first day of July (beginning of summer) and the first of January (beginning of winter) was investigated and the start and end times on both days were 04:00 minutes and 4:15 minutes, respectively. Then the three-dimensional shadows were converted to two-dimensional ones. To study the shading in each parcel, only the shadows inside them were considered and the shadows outside them were removed. The parcels, all of which were shaded at the beginning of summer and winter, were then separated from the other parcels (Fig. 1).

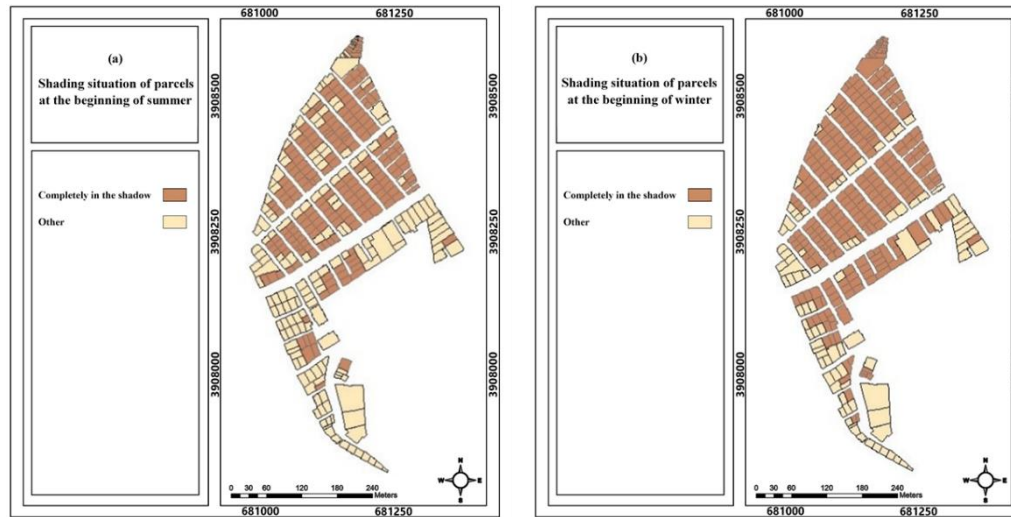


Fig. 1. Shading situation of the parcels in: a) summer, b) winter

Statistical analysis of parcels shows that in the mentioned period, on the first of January, 75% of the parcels and on the first of July, 56% were completely in the shade. The results showed that 47% of parcels are in the shade for a period of time, both in the beginning of summer and in the beginning of winter. According to the results, some parcels are in the shade only at the beginning of summer and others only at the beginning of winter. The overlay of the land use map and the shadow map showed that most of the parcels that are placed in the shadow have a residential or commercial use. Also, according to the results, the parcels that have been used for educational purposes have not been shaded in any of the two seasons and it has been possible to benefit from sunlight in them, especially in winter.

### 4. Conclusions

In this study, in order to investigate the possibility of using solar energy in an urban area with high building density, shadow analysis was performed on different buildings using GIS capabilities. The state of the shadows was simulated in this cold region at the beginning of winter, when the tallest shadows appear. Also, as expected, the amount of shading was high on the first of January, so that 75% of the parcels were affected by the shadow of other buildings on the first of January.

Using the method applied in this research, the shading situation in different areas can be examined and the amount of sun benefit in different buildings and land-uses can be evaluated. In addition, with this method, when urban design and before the final decision about the distance and height of buildings, shading in different situations can be simulated using GIS. Then, according to the conditions of the region, for example, weather conditions, the appropriate state was determined. It is also possible to consider the amount of shadow, if necessary, in the allocation of land-uses along with other effective factors.

### 5. References

Andreou E, "The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean", *Renewable Energy*, 2014, 63, 587-596.

Cheng V, Steemers K, Montavon M, Compagnon R, "Urban form, density and solar potential", The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 1-6, 2006.

Hayati H, Sayadi MH, "Impact of tall buildings in environmental pollution", *Environmental Skeptics and Critics*, 2012, 1 (1), 1-8.

Jose RS, Perez JL, Gonzalez RM, "Sensitivity analysis of two different shadow models implemented into EULAG CFD model: Madrid experiment", *Research Journal of Chemistry and Environment*, 2011, 2 (2), 1-5.