

استخراج عوارض ساختمانی با استفاده از داده‌های لیدار و سنجش میزان صحت داده‌های استخراج شده

فیروز جعفری^۱

فاطمه موحد^۲

چکیده

امروزه تصاویر هوایی با در اختیار گذاشتن منابع مختلف داده یکی از کارآمدترین راه‌های کسب و استخراج اطلاعات مکانی دقیق و به‌هنگام است که در پروسه تهیه اطلاعات مکانی از این منابع، مشکل ترین بخش استخراج عوارض موجود در تصاویر می‌باشد. در این تحقیق یک روش متفاوت جهت استخراج ساختمان‌ها با استفاده از داده‌های لیدار^۳ هواپرد با میانگین تراکم^۲ نقطه در هر مترمربع و تصاویر اولتراکم بر روی محدوده مشخصی از بندرانزلی با انواع تراکم ساختمانی^۴ پیاده‌سازی شد. سیستم پیشنهادی از اطلاعات هندسی و مکانی داده‌های لیدار و تصاویر اولتراکم استفاده کرده که شامل سه مرحله کلی می‌باشد، در مرحله اول، داده‌های لیدار فیلتر شدند و با استفاده از خوشه‌بندی طیفی در محیط ECognition، ساختمان‌ها استخراج شد. در مرحله دوم، مدل به دست آمده با مرزهای دو بعدی ساختمان‌ها که به روش حد آستانه ارتفاعی در محیط ENVI Lidar به دست آمده بود مقایسه گردید. در مرحله سوم؛ پس از استخراج، مرزهای اولیه ساختمانی با ساختمان‌های استخراج شده از طریق الگوریتم شطرنجی، ادغام شدند. در بخش خطایابی ساختمان‌ها به ساختمان‌های دارای خطا پرداخته شد و ارزیابی نتایج نشان داد که سیستم به کارگرفته شده به طور نسبی به اهداف تعیین شده رسیده است و روش‌های به کارگرفته شده شامل روش حد آستانه ارتفاع، روش خوشه‌بندی طیفی و روش ادغام به ترتیب با میزان - خطای ۲۸٪، ۱۵٪ و ۰٪ براساس مساحت عوارض استخراج شده نسبت به کل محدوده مورد مطالعه، برای هر چهار بلوک ارزیابی شدند. خطای تک تک ساختمان‌ها ابتدا به صورت کلی و سپس به صورت جزئی مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید تکنولوژی لیدار هوایی قابلیت فوق‌العاده‌ای را در جمع‌آوری نمونه‌های بسیار دقیق و مترکم از اندازه‌گیری‌های ارتفاعی سطح شهرها دارد و می‌توان سطح جدیدی از جزئیات اطلاعات دقیق تراکم ساختمانی را به‌طور اتوماتیک و کارآمد از داده‌های لیدار هوایی استخراج کرد. در تعداد ۴۱۷ ساختمانی که مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت، دستیابی به ارتفاع ساختمان‌ها با دقت بسیار بالا میسر گردید و تمامی ساختمان‌های محدوده مورد مطالعه با تراکم فشرده و ارگانیک و نیز پراکنده و برنامه‌ریزی شده استخراج گردیدند.

واژگان کلیدی: تراکم، خطایابی، انزلی، خوشه‌بندی طیفی، ENVI Lidar.

مقدمه

امروزه تصاویر هوایی با در اختیار گذاشتن منابع مختلف داده یکی از کارآمدترین راه‌های کسب و استخراج اطلاعات مکانی دقیق و به‌هنگام هستند که در پروسه تهیه اطلاعات مکانی از این منابع، مشکل ترین بخش استخراج عوارض موجود در تصاویر می‌باشد (یاری و همکاران، ۱۳۹۳). از این رو یکی از مزایای استفاده از نقشه برداری هوایی، استخراج و پردازش عوارض مختلف به کمک تصاویر هوایی است که باعث می‌شود تا هزینه های زمانی و مالی مربوط به استفاده از نقشه برداری زمینی و نیز خطاهای انسانی حاصل از آن تا حد ممکن کاهش یابد. به طوری که تنها با یک مرحله عکس برداری از سطح منطقه مورد مطالعه، امکان شناسایی و استخراج اغلب عوارضی

^۱ استادیار جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول)

Email: f-jafari@tabrizu.ac.ir - Tel: 09144049984

^۲ کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۳ - Light Detection and Ranging

^۴ - Floor Area Ratio

که در آن منطقه وجود دارد فراهم می‌شود. بنابراین با پیشرفت سنجنده‌های هوایی از جنبه قدرت تفکیک مکانی و طیفی و نیز با روی کار آمدن سنسورهایی با موقعیت دقیق و فراهم شدن امکان برداشت ارتفاع سطح زمین، سنجنده‌های مختلفی تولید و ارائه شده‌اند که با استفاده از هر کدام از آن‌ها می‌توان بخشی از اطلاعات مربوط به عارضه زمینی مانند خصوصیات طیفی و مکانی را برداشت کرد (پارسیان، ۱۳۹۴). بنابراین اگر بخواهیم، تمامی عوارض مورد نظر از یک منطقه را استخراج کنیم، که قسمتی از آن توسط ابر پوشیده باشد و یا ساختمان‌هایی با مصالح آسفالتی بر روی سقف آن‌ها و نیز ساختمان‌هایی با سقف شیب‌دار در منطقه وجود داشته باشد، در آن صورت به داده‌های مکمل که بتوانند اطلاعاتی فراتر از اطلاعات طیفی را فراهم کنند، نیاز خواهد بود. بهترین گزینه در این حالت، استفاده از سنجنده‌های فعال^۱ در طیف الکترومغناطیس است. سنجنده‌ای که منبع انرژی آن‌ها از محیط و توسط نور خورشید تامین نشود و خودشان توانایی تولید امواج الکترومغناطیس را داشته باشند و با ارسال آن به سطح زمین و دریافت مقادیر بازتاب شده بتوانند در مورد خصوصیات سطح، اطلاعاتی را ثبت نمایند (مدیری، ۱۳۷۸، ۳۰۲). یکی از منابع داده‌ای که اخیراً از آن به عنوان داده‌های مکمل در شناسایی عوارض استفاده می‌شود، داده‌های لیدار است که سنجنده‌ی آن به ارسال و دریافت و طیف الکترومغناطیس در حوزه‌ی طیفی مادون قرمز نزدیک (در نوع هوایی آن) و ترکیبی از طیف‌های مادون قرمز نزدیک و باند سبز (در نوع فضایی) می‌پردازد (سیف و محمودی: ۲۰۱۴). همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، لیدار یک تکنیک و روشی نوین در استخراج اطلاعات و عوارض سطح زمین می‌باشد. داده‌های لیدار در کشور ایران برای شهرهای اصفهان، بندر انزلی و گلستان تهیه شده است. از این‌رو نمی‌توان به طور گسترده در سطح کشور از این داده‌ها استفاده کرد. از جنبه‌ی دیگر می‌توان گفت، هر یک از ساختمان‌ها با انواعی از تراکم و شکل سقف‌ها دارای مشخصات متفاوتی بوده و نمی‌توان مشخصات و میزان صحت اطلاعات به دست آمده در یک الگوی مشخصی از ساختمان را به سایر الگوهای ساختمانی تعمیم داد. از این رو مهم‌ترین پیشینه‌ای که در این پژوهش مد نظر قرار دادیم تحقیق بایلنگ‌یو و همکاران در سال ۲۰۱۰ بود. آنان با انجام تحقیقی تحت عنوان استخراج اتوماتیک تراکم ساختمان‌های شهری با استفاده از داده‌های لیدار در مرکز شهر هوستون به این نتیجه رسیدند که، تکنولوژی لیدار هوایی قابلیت فوق‌العاده‌ای را در جمع‌آوری نمونه‌های بسیار دقیق و متراکم از اندازه‌گیری‌های ارتفاعی سطح شهرها فراهم کرده است. بنابراین توانستند سطح جدیدی از جزئیات اطلاعات دقیق تراکم ساختمان را به طور اتوماتیک و کارآمد از داده‌های لیدار هوایی استخراج کنند. آنان مجموعه‌ای از ویژگی‌های تراکم در مقیاس منطقه‌ی شهری را محاسبه کردند و یک توصیف کمی از ساختار مکانی سه بعدی چشم انداز شهر ارائه دادند. برای رسیدن به چنین نتیجه‌ای، در این پژوهش نیز محدوده‌ای با ۲۳ هکتار شامل ۴۱۷ ساختمان در بندر انزلی مورد بررسی واقع شد. بعد از استخراج ساختمان‌ها در محدوده مورد مطالعه با سقف‌هایی شیب‌دار به بررسی، ارزیابی و سنجش داده‌های استخراج شده از لیدار در الگوهای تراکمی فشرده، ارگانیک و برنامه‌ریزی شده، پرداخته شد. در نهایت؛ میزان صحت داده‌های استخراجی مورد بررسی قرار گرفت.

مبانی نظری:

الف) تراکم:

تراکم مفهوم کلیدی در برنامه‌ریزی و معماری برای پیش بینی و کنترل کاربری اراضی است و تحت تاثیر تاریخ، فرهنگ و زمینه‌های اجتماعی، نگرش‌های سیاسی و اقتصادی قرار گرفته است (Sivam and et al, 2011:2). تنوع و پیچیدگی در تعریف و معنی تراکم بسیار مشهود و واضح است. در محیط ساخته شده تراکم بیشتر به معنی نسبت جمعیت و یا فضای ساخته شده به مساحت زمین می‌باشد (Dave.S, 2011: 192). به بیانی مختصر، تراکم یک واحد اندازه‌گیری در یک محدوده است (Forsyth et al, 2007:683). اصطلاحی است که ارتباط بین یک محدوده معین و تعداد افرادی که در آن محدوده ساکن بوده و یا از آن استفاده می‌کنند را نشان



می‌دهد و به صورت نسبت جمعیت یا تعداد واحد مسکونی به محدوده بیان می‌شود (Burton, 2000; Cuthbert, 2006; Forsyth et al., 2003; Montgomery et al., 2007).

اکثریت افراد دارای صلاحیت بین‌المللی در حوزه شهرسازی تراکم را در الگوها و فرم‌های گوناگون تا برنامه‌ریزی و قوانین ساخت و ساز، مانند محدودیت بر تراکم جمعیتی، اندازه مسکن و ضریب سطح طبقات در مناطق شهری مورد استفاده قرار می‌دهند. با این وجود، تراکم یکی از ابعاد چالش‌دار در شهرسازی معاصر می‌باشد (Sivam et al., 2012:2). دو مفهوم تراکم جمعیت و تراکم ساختمانی در هم آمیخته است به نحوی که افزایش تراکم در یکی منجر به افزایش آن در دیگری می‌شود. تراکم بالا بر نسبت بالای ساختمان‌ها در یک محیط مشخص دلالت دارد (Dave, 2011: 192).

لیدار:

لیدار تکنیک جمع‌آوری اطلاعات از سطح اشیاء است که بر مبنای اندازه‌گیری فاصله به وسیله لیزر عمل می‌کند. در متون مختلف، علاوه بر عبارت لیدار از عبارات دیگری مانند (ALS)، (Ladar) و (ALTM) نیز برای معرفی این تکنولوژی استفاده می‌شود. اندازه‌گیری لیدار بر این اصل استوار است که مختصات هر نقطه روی زمین با مشخص بودن مختصات محل ارسال لیزر، اندازه‌گیری طول فاصله مایل بین نقطه ارسال پالس و سطح زمین و اندازه‌گیری زاویه ارسال موج از محل ارسال پالس تا سطح زمین قابل محاسبه است (Chaouch A, 328). با معلوم بودن موقعیت و توجیه صحیح سنجنده، سیستم ابری از نقاط سه بعدی اندازه‌گیری شده را اخذ می‌کند. معمولاً داده لیدار نیازمند پیش پردازش می‌باشد. سیستم نویزها را فیلتر می‌کند و به صورت تفاضلی، داده‌ها را تصحیح و در خطوط اسکن گردآوری می‌کند. اطلاعات سه بعدی و صحیح لیدار هوایی مربوط به ساختار سقف‌ها و سطوح مات و غیر شفاف مدل‌سازی شهری را در مقیاس بزرگ بسیار آسان می‌سازد (You, 2003).

حد آستانه ارتفاعی:

حد آستانه، اختلاف ارتفاع بین پالس اولیه و ثانویه سنجنده لیدار می‌باشد که از طریق آن می‌توان نقاط زمینی و غیرزمینی را استخراج کرد. اما با توجه به شیب ناشی از زمین، بیشتر تاج پوشش نزدیک به زمین طبق این حد آستانه حذف نمی‌شود و برای حذف آن‌ها می‌بایست از معیار تنوع ارتفاعی استفاده کرد. حد آستانه ارتفاعی در واقع ارتفاع غالب در محدوده مورد مطالعه می‌باشد که در وهله اول برای استخراج ابر نقاط مربوط به ساختمان‌ها و یا هر عوارضی که سعی در استخراج آن داریم مورد استفاده قرار می‌گیرد. نقاطی که دارای ارتفاع بیشتری از حد آستانه ارتفاعی تعریف شده باشند، به عنوان خطای پردازشی یا نویز در مراحل پردازش حذف می‌شوند. در مورد نقاط مربوط به زمین نیز، از آنجایی که سیستم لیدار علاوه بر ثبت پالس اولیه و ثانویه توانایی ثبت پالس منفرد را دارد، برای استخراج نقاط زمینی از نقاط پالس منفرد استفاده می‌شود که اگر اختلاف ارتفاع نقاط بین پالس اولیه و ثانویه کوچک‌تر از حد آستانه تعریف شده باشد می‌توان نقطه پالس منفرد مربوطه را به عنوان نقطه زمینی در نظر گرفت.

الگوریتم صفحه شطرنجی:

از این روش برای قطعه‌بندی اشیاء تصویر استفاده می‌شود. این قطعه‌بندی ساده‌ترین نوع قطعه‌بندی است. در قطعه‌بندی شطرنجی (Chessboard segmentation) کل تصویر و اشیاء آن به قطعات مساوی مربع شکل تقسیم می‌شوند. با اجرای این الگوریتم در فرایندهای پردازش تصاویر، نواحی همگن به صورت قطعات شطرنجی از بخش‌های ناهمگن جدا می‌شوند. به طور کلی کاربرد این الگوریتم، جداسازی نواحی همگن و غیر همگن در تصاویر طیفی و ماهواره‌ای می‌باشد.

الگوریتم خوشه‌بندی طیفی:

در هنگام بخش‌بندی، وزن کم لبه‌ها نشان‌دهنده‌ی این است که نقاط در دسته‌های متفاوتی قرار دارند و همچنین وزن بالای لبه در یک گروه، نشان دهنده‌ی این است که نقاط درون خوشه شبیه به یکدیگر هستند. به طور کلی، با استفاده از الگوریتم‌های خوشه‌بندی

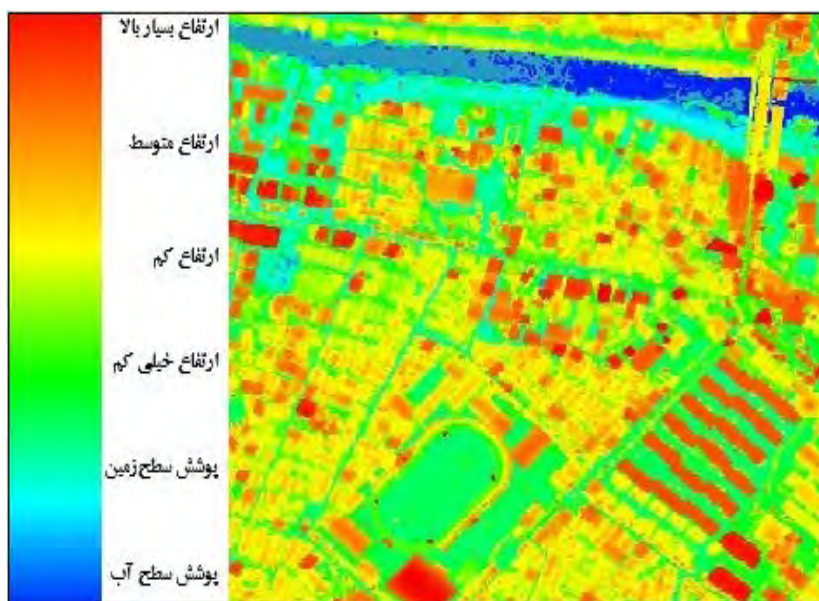
طیفی دسته‌بندی براساس تراکم نقاط انجام می‌شود. هر خوشه مربوط به یک بخش سقف است به طوری که پارامترهای هر مدل سطحی می‌تواند به راحتی تعیین شود. برای انجام خوشه‌بندی طیفی، در ابتدا باید میزان شباهت بین قطعات برآورد شود. یکی از مشاهدات این است که قطعات واقع در نزدیکترین همسایگی، اغلب به دلیل انسجام فضایی، به فضای فرعی قطعات خطی استخراج شده تعلق می‌گیرد (Awrangjeb and Fraser; 2014).

داده‌ها و روش‌های پژوهش:

اطلاعات ارتفاعی جهت بررسی تراکم یکی از مهم‌ترین مواردی است که در این پژوهش مد نظر قرار گرفته است. بر این اساس جهت انجام پژوهش حاضر، داده‌های لیدار و تصاویر طیفی با استفاده از انواع متفاوتی از الگوریتم‌های موثر در استخراج عوارض زمینی مورد بررسی قرار گرفتند. در نتیجه‌ی پردازش‌های انجام شده بر روی داده‌های مورد استفاده، لایه‌های جدیدی از تصاویر به صورت رستری از محدوده مورد مطالعه به دست آمد که با اجرای مراحل استخراج شیب بر روی لایه‌های مذکور و سپس کلاسه‌بندی آن‌ها شناخت عوارض ساختمانی با سهولت بیشتری انجام شد. لایه‌ی شیب مذکور با کنتراست بالا تولید شد تا بتوان با استفاده از آن به تجزیه و تحلیل سطوح مسطح و شیب‌دار پرداخت. در این روش ساختمان‌هایی که به طور قطع ساختمان نیستند حذف و برای این کار اشیاء تصویر ساخته شده در دو کلاس مناطق شیب‌دار و زمین طبقه‌بندی شد. جهت بهبود نتایج به دست آمده بر اساس لایه طیفی و اطلاعات مفهومی، اندازه و خصوصیات طیفی ساختمان‌های از قلم افتاده شناسایی شد و به منظور استخراج سطوح غیرقابل نفوذ، به قطعه‌بندی مجدد پارسل‌ها که شامل تشخیص قطعات زمین و تصویر زمین بود پرداخته شد که منجر به دستیابی به دو سطح پارسل‌ها و نقاط غیرقابل نفوذ گردید. لازم به ذکر است مجموعه داده مورد مطالعه در این تحقیق، مربوط به بخشی از شمال شهر بندر انزلی واقع در استان گیلان می‌باشد که مساحت محدوده مورد مطالعه ۲۳ هکتار است و در چهار بلوک مورد بررسی واقع شده و تعداد ساختمان‌های مورد بررسی ۴۱۷ ساختمان می‌باشد که در شمال استادیوم تختی واقع شده است. به دلیل تراکم پراکنده و نحوه جای‌گیری ساختمان‌ها، به طور میانگین در هر هکتار از این محدوده ۱۸ ساختمان واقع گردیده است. این مجموعه داده شامل یک عکس هوایی رقومی قائم، ابر نقاط نامنظم لیدار منطقه و عکس هوایی توسط دوربین رقومی UltraCam D اخذ شده و داده‌های لیزر اسکنر هوایی توسط سنجنده^۱ UAC برداشت شده است. عکس هوایی قائم دارای قدرت تفکیک مکانی ۸ سانتی‌متر مربع می‌باشد و داده‌های لیزر اسکنر هوایی دارای تراکم یک تا دو نقطه در هر مترمربع بوده و میانگین فضای نقاط، ۰٫۶۹ مترمربع می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1 - Unmanned AirCRAFT (پهباد یا هلیکوپتر بی‌سرنشین)



شکل (۱): تصویر ابر نقاط لیدار مربوط به محدوده مورد مطالعه

مشخصات محدوده مورد مطالعه:

بلوک یک: این بخش از محدوده شامل ۶۱ ساختمان می‌باشد که به لحاظ تراکم منظم بوده و شامل ساختمان‌هایی برنامه‌ریزی شده می‌باشد. معابر و خیابان‌های موجود در این بخش از محدوده، مستقیم و به صورت افقی-عمودی بوده و میانگین مساحت قطعات این بلوک ۱۹۰ مترمربع می‌باشد.

بلوک دو: این بخش از محدوده شامل ۱۹۸ ساختمان می‌باشد که به لحاظ تراکم نامنظم بوده و شامل ساختمان‌هایی است که دارای جهت‌گیری یکسانی نمی‌باشند. معابر و خیابان‌های موجود در این بخش از محدوده، از نظم خاصی برخوردار نیستند و به صورت ارگانیک می‌باشند. میانگین مساحت قطعات این بلوک ۱۵۳ مترمربع می‌باشد.

بلوک سه: این بخش از محدوده شامل ۱۲۲ ساختمان می‌باشد که به لحاظ تراکم دارای ترکیبی از بافت منظم و نامنظم می‌باشد. ساختمان‌هایی با تراکم فشرده و نامنظم در بخش شمالی، تراکم متوسط و منظم در بخش جنوبی بوده و طرفین شرق و غرب نیز دارای ساختمان‌هایی با متراژ بزرگ و پراکنده می‌باشند که غالباً دارای کاربری خدماتی هستند. میانگین مساحت قطعات این بلوک ۱۹۷ مترمربع می‌باشد.

بلوک چهار: این بخش از محدوده شامل ۳۶ ساختمان می‌باشد که به لحاظ تراکم این بخش دارای ساختمان‌هایی با فواصل نسبتاً زیاد، خیابان‌هایی با عرض بالای ۲۴ متر و زیربناهایی با متراژ زیاد می‌باشد. میانگین مساحت قطعات این بلوک ۴۱۵ مترمربع می‌باشد.

در کل محدوده مورد مطالعه دارای ۴۱۷ ساختمان می‌باشد که هر بلوک مطابق شکل (۲) به صورت مجزا بررسی شد که در ادامه به تفصیل پرداخته شده است.



شکل (۲): تصویر هوایی محدوده مورد مطالعه

تجزیه و تحلیل داده‌ها:

الف) فیلترینگ داده‌های لیدار و استخراج مدل رقومی زمین:

یکی از مهم‌ترین پردازش‌هایی که بر روی داده‌های لیدار صورت می‌گیرد، فرایند فیلتر کردن نقاط به منظور جداسازی نقاط مربوط به زمین بایر و نمونه‌های برداشت شده‌ی مربوط به عوارض غیرزمینی است (Sithole, 2004). دقت فرایند فیلترینگ، تاثیر مستقیم بر روی کیفیت مدل کردن نهایی داده‌های فیلتر شده دارد. بنابراین انتخاب روش مناسب فیلتر کردن داده‌ها بسیار مهم است (Dehvari and Heck, 2012). هرچند که در طول سه دهه اخیر، پژوهشگران الگوریتم‌های متفاوتی برای پردازش داده‌های لیدار ارائه داده‌اند، با این حال یک الگوریتم واحد برای فیلتر کردن داده‌ها که برای تمام منظره‌های مختلف زمینی قدرتمند باشد، معرفی نشده است و هر کدام معایب و مزایای مربوط به خود را دارند (Sithole & et, al; 2004-2007). در صحت مدل رقومی ارتفاعی نهایی، تراکم داده‌های لیدار، ویژگی‌های توپوگرافی و روش‌های درونیایی تاثیرگذار می‌باشد (Polat et al., 2015). در اولین مرحله از این تحقیق نقاط زمینی استخراج شدند. در واقع سیستم‌های لیدار به طور طبیعی شامل هر دو سطح زمین و غیرزمین از جمله ساختمان‌ها، پل‌ها، وسایل نقلیه، پوشش گیاهی و غیره می‌باشد. از تمام اطلاعات ارتفاعی که تنها از نقاط زمین به دست می‌آیند برای ایجاد مدل رقومی زمین استفاده شد. پس از اینکه نقاط زمینی با فیلتر کمترین ارتفاع استخراج شدند یک DTM^1 دقیق از محدوده مورد مطالعه استخراج شد.

ب) تولید DSM^2 :

1- Digital Terrain Model

2 - Digital Surface Model



با تولید مدل رقومی سطح (DSM) می‌توان تا حدی جداسازی عوارض را انجام داد زیرا ساختمان‌ها دارای ارتفاع بالاتری نسبت به دیگر عوارض هستند. نحوه پیاده‌سازی این فرایند به این صورت بود که؛ نقاطی که بیشترین ارتفاع را داشتند و مربوط به توپوگرافی محدوده مورد نظر نبودند و نیز در ارتفاع بسیار بالاتر از ارتفاعات مورد انتظار ثبت شده بودند، حذف گردیدند. حذف اثر توپوگرافی DSM منجر به بارز شدن اشیای غیرزمینی شد و شناسایی عوارض از حالت جست‌وجوی محلی، حالت کلی‌تری پیدا کرد. جهت حذف اثر توپوگرافی، باید به استاندارد سازی DSM و تولید nDSM پرداخته شود. برای انجام این کار، مقدار هر پیکسل DTM از مقدار پیکسل متناظرش در DSM کم شد. پیکسل‌هایی که در DSM و DTM مقادیر نزدیکی داشتند، در nDSM حاصل، مقدار صفر یا نزدیک صفر را به خود اختصاص دادند. در واقع تفاوت عمده بین DSM و DTM عبارت است از پیکسل‌های مربوط به عوارض غیرزمینی (شامل ساختمان‌ها، درختان و ...) که در DTM وجود ندارند. زیرا DTM منحصرنا نقاط و پیکسل‌های مربوط به سطح زمین را شامل می‌شود (Vosselman and Mass, 2010). برای به دست آوردن مدل رقومی سطح از رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{Last Range} - \text{First Range} > th_1$$

ارتفاع ثبت شده برای داده‌های مربوط به بازگشت اول از ارتفاع ثبت شده برای داده‌های مربوط به بازگشت آخر کم شد و حاصل مقدار ثابتی بود که بستگی به دقت ارتفاعی تفاضل دو بازگشت مذکور داشت. در واقع حاصل این تفاضل نشان‌دهنده عوارض غیرزمینی (ساختمان‌ها، تاج درختان و ...) در محدوده مورد مطالعه بود.



شکل (۳): نقشه DSM محدوده مورد مطالعه

ج) جداسازی نقاط زمینی و غیرزمینی با استفاده از خوشه‌بندی طیفی^۱:

در هنگام بخش‌بندی، مساحت کم بخش‌ها نشان‌دهنده‌ی این است که نقاط در کلاس‌های متفاوتی قرار دارند و همچنین مساحت بالای بخش‌ها، نشان‌دهنده تعلق قطعات به یک کلاس مشخص است که در واقع الگوریتم خوشه‌بندی طیفی باعث می‌شود؛ خوشه‌ها به صورت شکل‌هایی ساخته شوند و نقاط نزدیک و متصل به هم در یک خوشه قرار گیرند. این یکی از مزایای اصلی روش خوشه‌بندی طیفی است و در این پژوهش علاوه بر استفاده از روش حد آستانه ارتفاعی جهت دستیابی به نتایجی با صحت بیشتر، از این روش نیز برای دسته‌بندی نقاط بر اساس تراکم استفاده شد و نتایج بدست آمده از هر دو روش با یکدیگر مقایسه شدند.

هر خوشه مربوط به یک بخش سقف است. به طوری که شاخص‌های هر مدل سطحی می‌تواند به راحتی تعیین شود. برای انجام خوشه‌بندی طیفی، در ابتدا میزان شباهت بین قطعات برآورد شد. یکی از مشاهدات این بود که قطعات واقع در نزدیکترین همسایگی، اغلب به دلیل انسجام فضایی، به فضای فرعی قطعات خطی استخراج شده تعلق می‌گیرد (Awrangjeb and Fraser; 2014). با توجه به موارد بیان شده در مورد داده‌های لیدار نحوه پردازش و استخراج اطلاعات از این موارد، بر روی بخش مشخصی از بندرانزلی انجام شد. در ادامه؛ به بررسی‌های انجام شده در نرم افزار ENVI Lidar در قالب دو مجموعه شامل داده‌های Vectors (وکتوری) و Points (نقاط لیدار) انجام پرداخته شده است. این مجموعه‌ها هر کدام شامل ۵ بخش بوده و به شرح زیر می‌باشند:

جدول (۱): طبقه‌بندی داده‌های لیدار

NO	Points	Vectors
1	Terrain	DSM
2	Buildings	Terrain
3	Trees	Buildings
4	Power Lines	Power Lines
5	Unclassified	DEM Contours

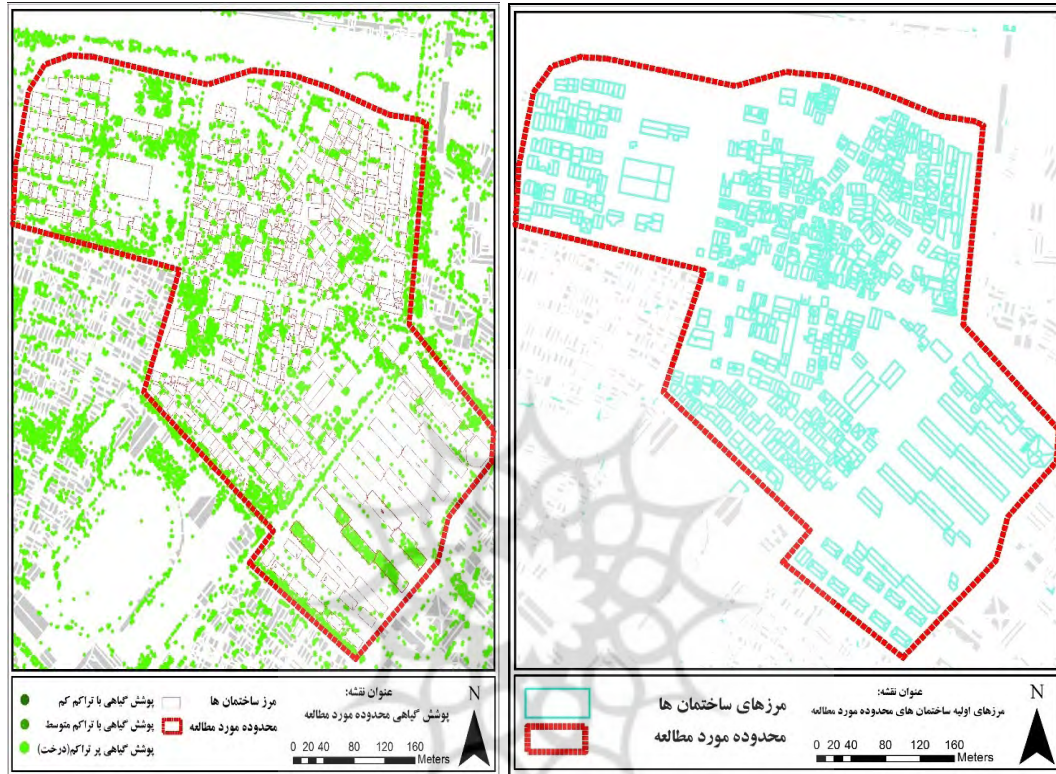
در توضیح کلاس‌های فوق می‌توان گفت؛

DSM شامل ارتفاعاتی بوده که در اثر بازگشت‌های پالس‌های لیدار ثبت شده است. مدل رقومی سطح یا همان DSM بیانگر تمامی ارتفاعات روی زمین مورد برداشت بوده و دارای کلاس‌بندی خاصی نمی‌باشد.

ساختمان‌ها در دو مجموعه Vectors و Points دسته‌بندی شده‌اند که Buildings در کلاس Vectors نمایشگر مرزهای دو بعدی ساختمانی بوده و چهارچوب سقف ساختمان‌ها را شامل می‌شود. این مرزها از دقت صد در صدی برخوردار نبوده و گاهی به دلیل ارتفاع زیاد ساختمان‌ها نقاط مربوطه به عنوان پوشش گیاهی پر تراکم یا همان درخت در نظر گرفته می‌شود احتمال این خطا بسیار کم می‌باشد شکل (۴).



نقاط لیدار مربوط به پوشش گیاهی در سه بخش پوشش گیاهی با تراکم کم (که شامل چمن‌هایی با ارتفاع بسیار کم)، پوشش گیاهی با تراکم متوسط (که شامل شمشادهایی با ارتفاع نیم الی یک متر) و پوشش گیاهی پر تراکم (درختان) می‌باشد که به دلیل غلبه پوشش گیاهی پر تراکم سایر تراکم‌ها با وضوح بسیار کم در نقشه نمایان هستند شکل (۵).

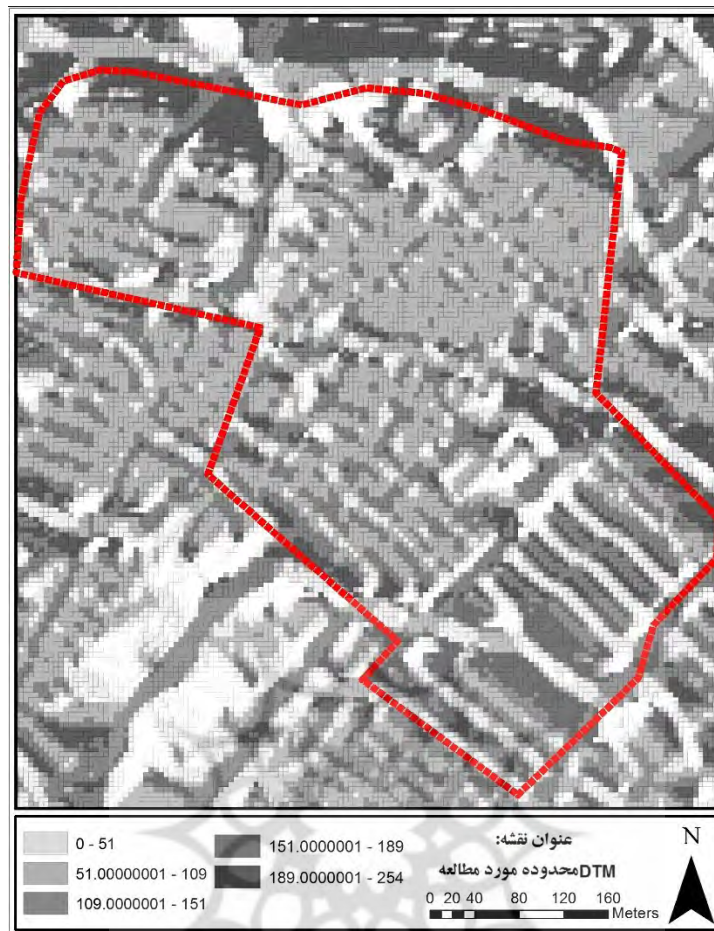


شکل (۴): نقشه مرزهای اولیه ساختمان‌های محدوده مورد مطالعه - شکل (۵): نقشه نقاط لیدار مربوط به پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه

د) استخراج^۱ DTM:

برای تولید DTM از این داده لیدار، نقاطی که متعلق به عوارض بودند از مجموعه داده‌ها حذف شدند و سپس با روش‌های متنوع موجود، اقدام به درونیابی از نقاط زمینی نموده و یک شبکه رستر با ابعاد مناسب از این نقاط تولید شد. در ادامه فرایند، برای شبیه‌تر نمودن DTM به واقعیت، از روش IDW برای درونیابی استفاده شد. در واقع پس از آنکه یک مرحله فیلترینگ بر روی داده لیدار انجام گردید، داده لیدار در حکم یک DSM بود. به طور کلی استخراج اتوماتیک عوارض از داده لیدار با خوشه‌بندی DSM میسر می‌شود. خروجی این پروسه تمامی عوارضی بودند که بر روی DTM قرار داشتند. در واقع به کمک تکنیک‌های خوشه‌بندی تمام عوارضی که بر روی سطح زمین قرار داشتند، قابل شناسایی و حذف بودند. در نتیجه آنچه که پس از حذف عوارض واقع بر سطح زمین باقی ماند، مدل رقومی زمین (DTM) می‌باشد شکل (۶).

1- Digital Terrain Model



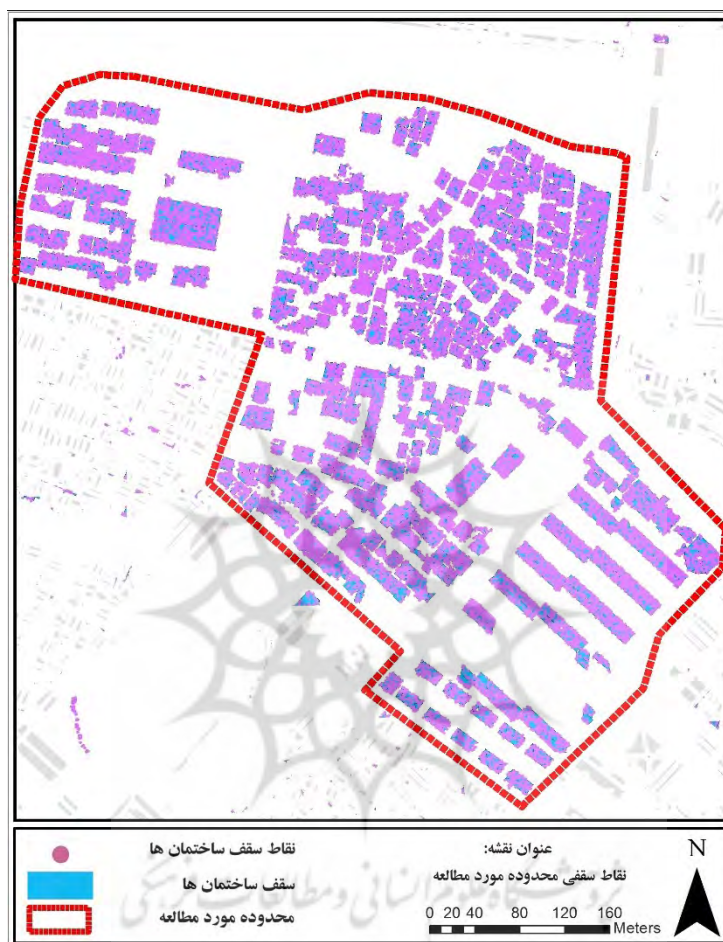
شکل (۶): نقشه DTM محدوده مورد مطالعه

(و) استخراج مرزهای ساختمانی:

ارزیابی رئوس مرزی یک گام مهم در استخراج سقف است. رئوس مرزی مربوط به رئوس درونی، نشان‌دهنده پشته سقف است و رئوس گوشه نشان‌دهنده لبه‌های کناری سقف است. در این کار، رأس داخلی مربوط به نقاط تقاطع به دست آمده از قطعات سقفی مجاور است، در حالی که رأس گوشه به عنوان رئوس کلی ساختمان تعریف می‌شود. بنابراین، محدودیت برای رئوس مرزی به دو شکل قطعات سقفی مجاور و جای پای ساختمان استخراج شده است (Farouh; 2015). فرایند بازسازی سقف با استخراج خطوط لبه و رئوس داخلی از تقاطع سطح به واسطه تجزیه و تحلیل توپولوژیک آغاز شد و با تلفیق پشته سقف و لبه‌های جای پا، رئوس گوشه تعیین و مرز ایجاد گردید. مرز اولیه هر یک از تکه‌های مسطح، که از روش داده مینا ایجاد شدند، تنها نشان‌دهنده شکل تقریبی بود. مرز اولیه دارای رئوس اضافی بود، به طوری که مرزهای نامنظم، نشان‌دهنده ویژگی‌های کلی از شکل سقف می‌باشد. علاوه بر این، رئوس مرزی از زیرمجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های اولیه ایجاد می‌شود، بنابراین برخی از رئوس مهم از دست می‌روند. در واقع، مرز سقف محدود به قطعه سقفی مجاور است. برای تکمیل شکل سقف، جای پای ساختمان که استخراج شده بود، استفاده شد. در واقع خطوط مرزی و رئوس داخلی، تنها قسمتی از شکل مرز را استخراج کردند. بخش‌های دیگر از قبیل، لبه‌های عمودی به دلیل تقاطع، تشخیص داده نشدند. این مسئله به خاطر عدم نمونه‌برداری از نمای جلویی است. جای پای ساختمان، توصیف‌کننده شکل ساختمان بوده که برای نشان دادن موقعیت و قطعات عمودی استفاده می‌شود که به تعیین زاویه رئوس کمک می‌کند (هژبری و همکاران، ۱۳۹۳). نقاط مربوط به سقف‌ها شامل نقاطی می‌باشد که در کلاس ساختمان‌ها واقع شده و با خطای بسیار کم صرفاً نقاط مربوط به سقف ساختمان‌ها را شامل می‌شود.



این نقاط ارتفاع ساختمان‌ها را مشخص می‌کند و با استفاده از آن‌ها و اعمال محاسبات می‌توان به تعداد طبقات ساختمان‌های محدوده مورد مطالعه دست یافت. نقاط مذکور با استفاده از آستانه ارتفاعی به دست آمد و با فیلتر کردن سایر نقاط (زمینی، گیاهی و ...) نقاط سقفی آشکار گردیدند (شکل (۷)).



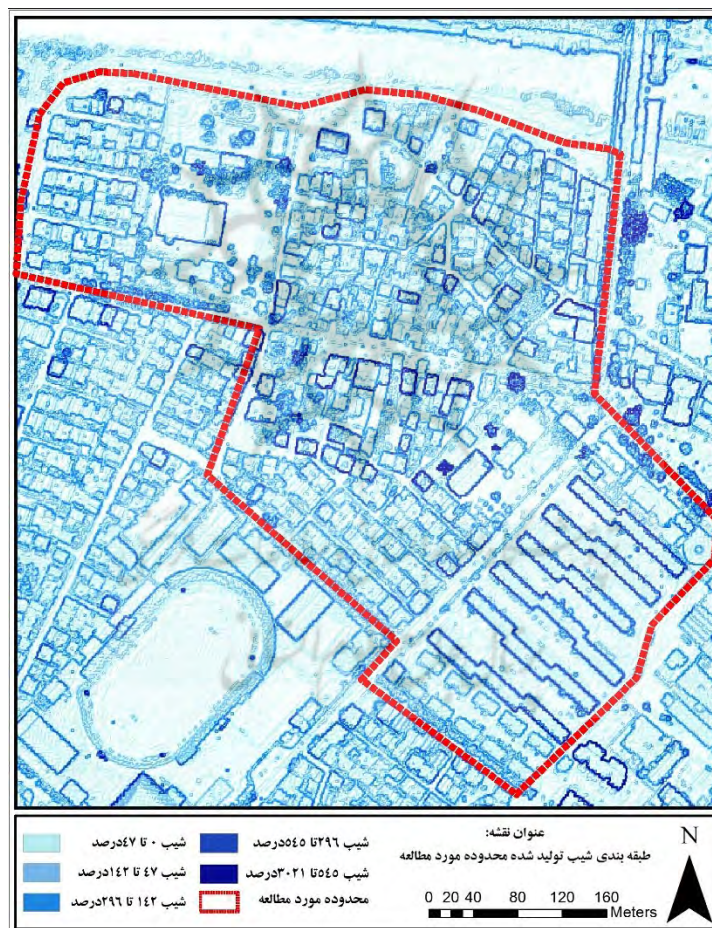
شکل (۷): نقشه نقاط لیدار مربوط به پوشش سقف ساختمان‌های محدوده مورد مطالعه

ه) ساخت اشیاء تصویر:

برای ساخت اشیاء تصویر لایه‌ی جدیدی از داده‌های محدوده‌های مورد مطالعه ایجاد شد و از خاصیت نرم‌شدگی و فیلترهای سطح استفاده گردید. لایه‌های ایجاد شده اطلاعات جدیدی از شیب در اختیار قرار دادند. این لایه‌ها به دلیل دارا بودن کنتراست بالا (طیف وسیعی از رنگ‌های نشان‌دهنده درصد شیب متفاوت)، که ارزش هر پیکسل در آن‌ها به خوبی نمایان بود، مناطق شیبدار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده‌ها به دو دسته مناطق شیبدار و زمین تقسیم شدند تا عوارضی که به طور قطع ساختمان نیستند حذف شوند. مناطق دارای شیب به دلیل اختلاف ارتفاع زیاد با همسایگی‌های خود و احتمال تعلق به کلاس ساختمان، به عنوان عوارض دارای ارتفاع در کلاس جداگانه‌ای طبقه‌بندی شدند.

ی) طبقه بندی مناطق شیبدار:

در این مرحله شیب تمامی عوارض موجود نسبت به محیط اطراف آن‌ها، در محدوده مورد مطالعه استخراج و در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد که نشانگر شیب صفر تا ۳۰٪ درصد بود. لازم به ذکر است، درصد شیب به دست آمده علاوه بر اینکه عوارض ساختمانی را شامل می‌شود، تمامی عوارض موجود در سطح زمین را نیز در بر گرفته است. از قبیل شاخ و برگ درختان، لبه و سقف ساختمان‌ها، معابر و .. جزو شیب به دست آمده می‌باشد. درصد شیب به دست آمده همانطور که قبلاً نیز گفته شد بین صفر درصد (سطوح مسطح و صاف) تا ۳۰٪ درصد (پوشش گیاهی، لبه ساختمان با قطعه مجاور و ..) متغیر بود. در نقشه شیب مذکور، ساختمان‌ها به دلیل قائم بودن نسبت به نقاط مجاور خود با شیب بیشتر از ۵۰٪ درصد مشخص شدند. تاج درختان نیز به مانند ساختمان‌ها دارای تراکم زیادی در تعداد نقاط برداشت شده توسط لیدار، نسبت به نقاط مجاور خود بودند. در این نقشه جای پای ساختمان‌ها به وضوح دیده می‌شود ولی به دلیل ادغام با پوشش گیاهی دارای شکل هندسی منظمی نبوده و دانه بندی آن‌ها نیز مشخص نمی‌باشد. کاربرد این نقشه در واقع به نمایش گذاشتن جای پای ساختمان‌ها بوده که با دخیل کردن شیب در این نقشه میزان دقت داده‌های لیدار نیز مشخص گردیده است (شکل ۸).

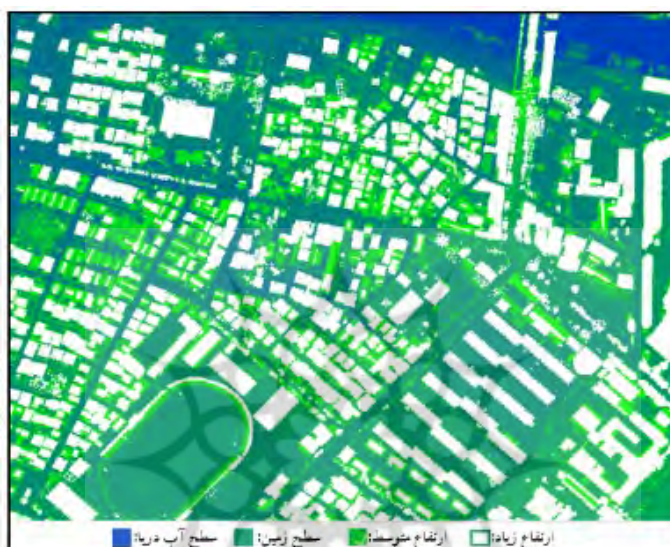


شکل (۸): نقشه طبقه بندی مناطق شیبدار محدوده مورد مطالعه



ع) بهبود نتایج ساختمان:

- بر اساس لایه‌های طیفی ایجاد شده و اطلاعات مفهومی که در نتیجه طبقه‌بندی به دست آمد، خصوصیات طیفی ساختمان‌های از قلم افتاده شناسایی شد. مراحل که به منظور طبقه‌بندی سطوح غیرقابل نفوذ انجام شد شامل موارد زیر می‌باشد:
- استخراج پارسل‌ها: تشخیص قطعات زمین که شامل تصویر زمین است. در واقع بیرون کشیده شدن تمام قطعات موجود دارای ارتفاع در زمین.
 - تشخیص سطوح غیرقابل نفوذ: قطعه‌بندی مجدد و تشخیص سطوح غیرقابل نفوذ و دستیابی به دو سطح پارسل و زمین.



شکل (۹): استخراج ساختمان‌ها با حد آستانه ارتفاعی

غ) ادغام نتایج استخراجی مرزها:

موارد استخراج شده در این بخش شامل سطوح مربوط به سقف ساختمان‌ها بود که حاصل ادغام خوشه‌بندی طیفی در نرم افزار eCognition و مرزهای دو بعدی استخراج شده از نرم افزار ENVI Lidar می‌باشد. جهت بالا بردن دقت استخراج عوارض سطح زمین (ساختمان‌ها) و دستیابی به مساحت ساختمان‌های مورد مطالعه این داده‌ها ادغام شد و در قالب نقشه ارائه گردید. در این ادغام نقاط مربوط به پوشش گیاهی حذف شد و تنها نقاط سقفی با مرزهای دو بعدی ادغام گردید (شکل (۱۰)).



شکل (۱۰): نقشه ادغام نتایج خوشه بندی طیفی و استخراج اتوماتیک عوارض محدوده مورد مطالعه

خطایابی داده‌های استخراجی و صحت اطلاعات به دست آمده

همانطور که قبلاً نیز بیان شد، محدوده مورد مطالعه دارای مساحتی بالغ بر ۲۳ هکتار و شامل ۴۱۷ ساختمان با انواع مختلفی از تراکم دارای اشکال مختلف بود؛ در این پژوهش هدف صرفاً استفاده از داده‌های به دست آمده از لیدار بوده و به همین دلیل برای دستیابی به میزان صحت داده‌های به دست آمده از روش ارزیابی مساحت استخراج شده از دو روش فیلترینگ به روش آستانه ارتفاعی و خوشه‌بندی طیفی استفاده شد.

- بلوک یک: مساحت کل ساختمان‌های استخراج شده در روش حد آستانه ارتفاعی برابر با ۱۱۴۳۰ مترمربع و مساحت کل ساختمان‌های به دست آمده از روش خوشه‌بندی طیفی برابر با ۱۱۶۴۳ مترمربع شد. اختلاف مساحت این دو روش به صورت تقریبی ۲۰۰ مترمربع محاسبه شد و می‌توان گفت در این نوع تراکم استخراج عوارض دارای صحت بالاتری بود.

جدول (۲): خطایابی نقشه‌های استخراجی و صحت اطلاعات به دست آمده-بلوک یک

ردیف	شرح	مساحت (مترمربع)	درصد استخراج شده	میزان خطای تقریبی (درصد)
۱	روش حد آستانه ارتفاعی	۱۱۴۳۰	٪۲۵	٪۱
۲	روش خوشه‌بندی طیفی	۱۱۶۴۳	٪۲۶	٪۰
۳	روش ادغام	۱۱۶۴۳	٪۲۶	٪۰
۴	کل بخش اول از محدوده مورد مطالعه	۴۴۳۶۰	٪۱۰۰	-



- بلوک دو: مساحت کل ساختمان‌های استخراج شده در روش حد آستانه ارتفاعی برابر با ۲۵۱۰۱ مترمربع و مساحت کل ساختمان‌های به دست آمده از روش خوشه‌بندی طیفی برابر با ۲۵۹۵۳ مترمربع شد. اختلاف مساحت این دو روش به صورت تقریبی ۸۵۰ مترمربع محاسبه شد و می‌توان گفت در این نوع تراکم استخراج عوارض دارای صحت کمتری بود.

جدول (۳): خطایابی نقشه‌های استخراجی و صحت اطلاعات به دست آمده-بلوک دو

ردیف	شرح	مساحت (مترمربع)	درصد استخراج شده	میزان خطای تقریبی (درصد)
۱	روش حد آستانه ارتفاعی	۲۵۱۰۱	٪۳۸	٪۸
۲	روش خوشه‌بندی طیفی	۲۵۹۵۳	٪۴۰	٪۶
۳	روش ادغام	۳۰۴۰۸	٪۴۶	٪۰
۴	کل بخش دوم از محدوده مورد مطالعه	۶۶۲۵۶	-	-

- بلوک سه: مساحت کل ساختمان‌های استخراج شده در روش حد آستانه ارتفاعی برابر با ۱۹۳۹۲ مترمربع و مساحت کل ساختمان‌های به دست آمده از روش خوشه‌بندی طیفی برابر با ۲۰۹۴۶ مترمربع شد. اختلاف مساحت این دو روش به صورت تقریبی ۱۵۰۰ مترمربع محاسبه شد که نشان دهنده دقت نسبتاً پایین عوارض در روش اتوماتیک و فیلترینگ به روش کمترین ارتفاع بود. عدم توانایی تشخیص ساختمان‌ها به جهت دارا بودن ارتفاع متفاوت و گاهی یکسان با پوشش گیاهی و کلاسه‌بندی اشتباه عارضه‌های مربوط به ساختمان‌ها در کلاس پوشش گیاهی (درختان) دلیل این میزان تناقض بود.

جدول (۴): خطایابی نقشه‌های استخراجی و صحت اطلاعات به دست آمده-بلوک سه

ردیف	شرح	مساحت (مترمربع)	درصد استخراج شده	میزان خطای تقریبی (درصد)
۱	روش حد آستانه ارتفاعی	۱۹۳۹۲	٪۳۳	٪۹
۲	روش خوشه‌بندی طیفی	۲۰۹۴۶	٪۳۶	٪۶
۳	روش ادغام	۲۴۰۴۹	٪۴۲	٪۰
۴	کل بخش سوم از محدوده مورد مطالعه	۵۸۰۱۲	-	-

- بلوک چهار: مساحت کل ساختمان‌های استخراج شده در روش حد آستانه ارتفاعی برابر با ۱۳۹۳۰ مترمربع و مساحت کل ساختمان‌های به دست آمده از روش خوشه‌بندی طیفی برابر با ۱۷۴۴۳ مترمربع بود. اختلاف مساحتی برابر با ۳۵۰۰ مترمربع در این تراکم ناشی از کلاسه‌بندی نادرست نقاط برداشت شده در روش فیلترینگ بر اساس نقاط لیدار بود و به دلیل ارتفاع زیاد به اشتباه به عنوان پوشش گیاهی (درختان) در نظر گرفته شده بود.

جدول (۵): خطایابی نقشه‌های استخراجی و صحت اطلاعات به دست آمده-بلوک چهار

ردیف	شرح	مساحت (مترمربع)	درصد استخراج شده	میزان خطای تقریبی (درصد)
۱	روش حد آستانه ارتفاعی	۱۳۹۳۰	٪۲۶	٪۱۰
۲	روش خوشه‌بندی طیفی	۱۷۴۴۳	٪۳۳	٪۳
۳	روش ادغام	۱۹۱۴۱	٪۳۶	٪۰
۴	کل بخش چهارم از محدوده مورد مطالعه	۵۲۵۹۲	-	-

لازم به ذکر است، بنابر بررسی‌هایی که صورت گرفت مشخص گردید که دلیل عمده خطاهای استخراجی ناشی از تراکم پوشش گیاهی بود که ساختمان‌ها به صورت کامل برداشت نشده و پالس‌های لیزر لیدار، نقاط سقفی را به اشتباه به عنوان نقاط پوشش گیاهی برداشت کرده بود شکل(۱۱).



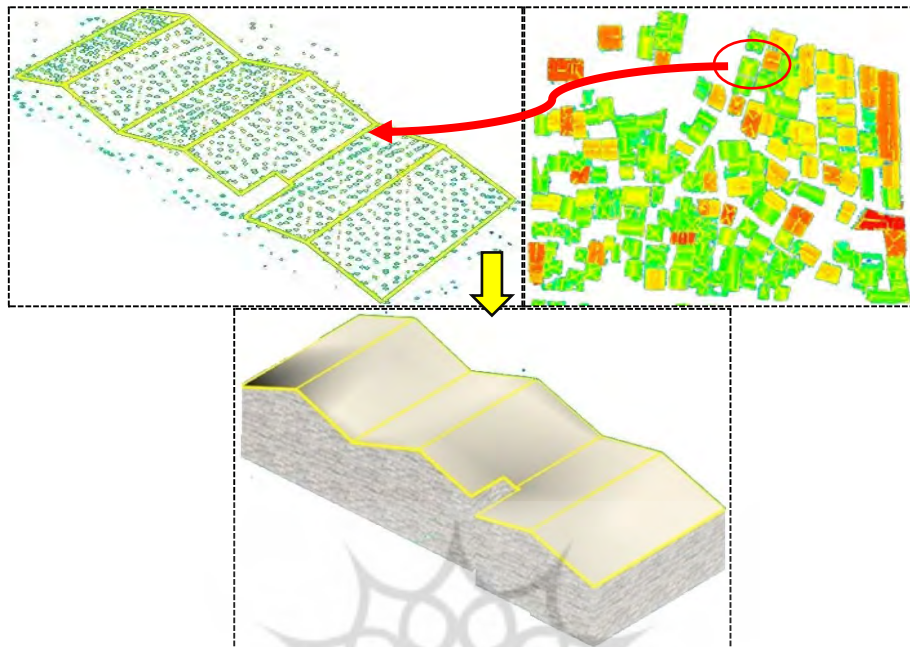
شکل(۱۱): خطایابی استخراج عوارض ساختمانی محدوده مورد مطالعه

جدول(۶): جزئیات ساختمان‌های خطایابی شده و میزان خطا تقریبی

میزان خطای تقریبی (درصد)	مساحت (مترمربع)			شرح	ردیف
	روش ادغام	روش خوشه‌بندی طیفی	روش حد‌آستانه ارتفاعی		
بلوک یک					
۲۵٪	۲۳۷	۲۳۶	۱۷۷	ساختمان شماره یک	۱
۲۱٪	۲۱۰	۲۰۵	۱۶۵	ساختمان شماره دو	۲
۱۲٪	۲۰۸	۲۰۶	۱۸۳	ساختمان شماره سه	۳
۶٪	۲۵۰	۲۴۸	۲۳۵	ساختمان شماره چهار	۴
بلوک دو					
۱۰۰٪	۲۳	۲۳	۰	ساختمان شماره یک	۱
۱۰۰٪	۴۰	۴۰	۰	ساختمان شماره دو	۲
۵۷٪	۱۵۲	۱۵۰	۶۵	ساختمان شماره سه	۳
۷۸٪	۲۸۰	۱۶۵	۶۳	ساختمان شماره چهار	۴
۱۰۰٪	۲۷	۲۷	۰	ساختمان شماره پنج	۵

۵۱٪	۲۳۷	۲۳۷	۱۱۶	ساختمان شماره شش	۶
۱۰۰٪	۴۲۵	۴۲۵	۰	ساختمان شماره هفت	۷
۳۰٪	۲۸۴	۲۸۴	۲۰۰	ساختمان شماره هشت	۸
۱۰۰٪	۴۰	۴۰	۰	ساختمان شماره نه	۹
۲۹٪	۱۳۹	۱۳۹	۹۸	ساختمان شماره ده	۱۰
بلوک سه					
100٪	۴۴	۴۴	۰	ساختمان شماره یک	۱
۶۳٪	۱۵۸	۱۵۸	۵۸	ساختمان شماره دو	۲
۳۳٪	۱۰۱	۱۰۰	۶۸	ساختمان شماره سه	۳
۲۱٪	۱۲۰	۱۲۰	۹۵	ساختمان شماره چهار	۴
۵۳٪	۱۶۷	۱۶۷	۷۸	ساختمان شماره پنج	۵
۱۰۰٪	۲۳۳	۲۳۰	۰	ساختمان شماره شش	۶
۱۰۰٪	۱۹۵	۱۹۵	۰	ساختمان شماره هفت	۷
۱۰۰٪	۲۳۵	۲۳۵	۰	ساختمان شماره هشت	۸
۱۰۰٪	۲۲۹	۲۲۹	۰	ساختمان شماره نه	۹
۷۵٪	۲۲۲	۲۲۱	۵۶	ساختمان شماره ده	۱۰
۱۵٪	۱۷۱	۱۷۰	۱۴۵	ساختمان شماره یازده	۱۱
بلوک چهار					
67٪	۱۵۳	۱۵۲	۵۰	ساختمان شماره یک	۱
۸۸٪	۶۵۷	۶۵۷	۷۸	ساختمان شماره دو	۲
۱۰۰٪	۶۵۸	۶۵۸	۰	ساختمان شماره سه	۳
۱۰۰٪	۶۷۵	۶۷۵	۰	ساختمان شماره چهار	۴
۳۵٪	۷۰۲	۷۰۰	۴۵۳	ساختمان شماره پنج	۵
۷۲٪	۶۹۷	۶۹۷	۱۹۷	ساختمان شماره شش	۶
۱۰۰٪	۲۵	۲۵	۰	ساختمان شماره هفت	۷
۱۰۰٪	۱۲	۱۲	۰	ساختمان شماره هشت	۸
۱۰۰٪	۲۵	۲۵	۰	ساختمان شماره نه	۹
۱۰۰٪	۲۰	۲۰	۰	ساختمان شماره ده	۱۰

تصویر شماره (۱۲) مراحل استخراج ساختمان را نشان می‌دهد:



شکل (۱۲): مراحل استخراج اتوماتیک ساختمان

نتیجه‌گیری:

لیدار یک تکنولوژی جدید و رو به رشد است که امکان ایجاد مدل رقومی سطح زمین را با سرعت بالاتر و با دقت قابل مقایسه با روش‌های سنتی نقشه برداری، فتوگرامتری فراهم می‌سازد. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در توانایی‌های سیستم‌های لیدار و گسترش روزافزون روند بکارگیری اطلاعات قابل جمع‌آوری در این سیستم‌ها در کشورهای مختلف، در سال‌های آینده شاهد تحولات بنیادی در خصوص بکارگیری این تکنولوژی خواهیم بود. در این تحقیق یک روش متفاوت جهت استخراج ساختمان‌ها با استفاده از داده‌های لیدار هوآبرد و تصاویر اولتراکم ارائه شد. سیستم پیشنهادی از اطلاعات هندسی و مکانی داده‌های لیدار و تصاویر اولتراکم استفاده کرده است، که شامل سه مرحله کلی می‌باشد، در مرحله اول؛ داده‌های لیدار فیلتر شدند و با استفاده از خوشه‌بندی طیفی ساختمان‌ها استخراج شد و در مرحله دوم؛ مدل به دست آمده با مرزهای دو بعدی ساختمان‌ها که به روش حد آستانه ارتفاعی به دست آمده بود مقایسه گردید. در مرحله سوم؛ پس از استخراج، مرزهای اولیه ساختمانی با ساختمان‌های استخراج شده از طریق الگوریتم شطرنجی ادغام شدند. در مرحله جداسازی نقاط زمینی از غیرزمینی، کلیه نقاط مربوط به زمین کلاس‌بندی شد و استخراج گردیدند. سپس نقاط باقی مانده به عنوان نقاط سقفی کلاس بندی شده بود که در بخش خطایابی ساختمان‌ها به ساختمان‌های دارای خطا پرداخته شد. مزیت اصلی این روش، کاهش بار محاسباتی آن است، که قادر است داده‌های حجیم را با سرعت بالاتری پردازش کند. تمام توابع به کار گرفته شده، سیستم را قادر کرد که ساختمان‌ها را به صورت موفقیت‌آمیز از داده‌های لیدار استخراج کند. ارزیابی نتایج بدست نشان داد که سیستم استفاده شده می‌تواند نقش بسیاری زیادی در استخراج ساختمان‌ها و ارتفاع آن‌ها داشته باشد. بررسی خطای تک تک ساختمان‌ها ابتدا به صورت کلی و سپس به صورت جزئی نشان دهنده خطای پایین در اندازه‌گیری بود. براساس مواردی که بیان شد مشخص گردید تکنولوژی لیدار هوایی قابلیت فوق العاده‌ای را در جمع‌آوری نمونه‌های بسیار دقیق و مترامک از اندازه‌گیری‌های ارتفاعی سطح شهرها فراهم کرده است و می‌توان سطح جدیدی از جزئیات اطلاعات دقیق تراکم ساختمان را به طور اتوماتیک و کارآمد از داده‌های لیدار هوایی استخراج کرد و در تعداد ۴۱۷ ساختمانی که مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت دستیابی به ارتفاع ساختمان‌ها با دقت بسیار بالا میسر گردید و تمامی

ساختمان‌های محدوده مورد مطالعه با تراکم فشرده و ارگانیک، برنامه‌ریزی شده و پراکنده استخراج گردیدند. درصد پایین خطای کلی در دو روش آستانه ارتفاعی و خوشه بندی طیفی نشان دهنده دقت مرز استخراج شده‌ی قطعات می‌باشد. لازم به ذکر است که، دقت داده-های لیدار به طور معمولی بین ۱۵ تا ۲۵ نقطه در مترمربع می‌باشد که تراکم نقاط مذکور در محدوده مورد مطالعاتی پژوهش حاضر، به طور میانگین ۲ نقطه در مترمربع بود. با اینکه استخراج ارتفاع ساختمان‌ها با دقت بسیار بالا همراه بود ولی در هنگام استخراج سقف و مساحت قطعات نیاز به مداخله کاربر می‌باشد.



منابع

- سجادی، یوسف، صادقیان، سعید، پارسیان، سعید، ۱۳۹۴، استخراج ساختمان به کمک ادغام داده‌های ابر طیفی و لیدار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران نقشه برداری، دانشگاه تفرش، ص ۱-۱۴.
- سیف، عبدالله، محمودی، طیب، ۲۰۱۴، سنجنده لیدار و کاربردهای آن، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره بیست و سوم، شماره ۸۹، ص ۷۲-۸۰.
- محمدیاری، ف، ح، پورخباز، م، توکلی، ح، اقدر، ۱۳۹۳، تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ص ۲۳-۳۴.
- مدیری، مهدی، ۱۳۷۸، مبانی و اصول دورکاوی، چاپ اول، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ص ۳۰۲.
- هژبری، بلال، صمدزادگان، فرهاد و حسین عارفی، ۱۳۹۳، بازسازی مدل ساختمان بر مبنای تلفیق ابر نقطه لیدار و تصویر هوایی، نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره سوم، شماره ۴، ص ۱۰۶۷-۱۰۹۲.
- Alexander, Ernest R. (1993). Density measures: A review and analysis. *Journal of Architectural and Planning Research* 10(3), pp, 181-202.
- Awrangjeb, M, C.S.Fraser. (2014). "Automatic Segmentation of Raw LIDAR Data for Extraction of Building Roofs," *Remote Sens*, 6, 3716-3751.
- Bailang Yu , Hongxing Liu ,Jianping Wu ,Yingjie Hu ,Li Zhang. (2010). "Automated derivation of urban building density information using airborne LiDAR data and object-based method", *jurnal Landscape and Urban Planning*, pp. 10-15.
- Burton, E. (2000). *The Compact City: Just or Just Compact. A Preliminary Analysis*, *Urban Studies*, 37 (11), pp, 1969-2001.
- Chaouch, A., and Mari, J. L. (2006). 3D Land Seismic Surveys: Defiition of Geophysical Parameters Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP , Vol. 61, No. 5, pp, 611- 630.
- Cuthbert, A. R. (2006) *the form of Cities*, Carlton, Victoria: John Wiley, pp, 328.
- Dehvari, A., Heck, R.J. (2012). Removing non-ground points from automated photo-based DEM and evaluation of its accuracy with LiDAR DEM, *Computers & Geosciences*, 43, pp, 108-117.
- Dave, Seema. (2011). *Neighbourhood Density and Social Sustainability in Cities of Developing Countries*, Wiley Online Library, *Sust. Dev* 19, pp, 189–205.
- Farouh, H.E., El Din, H.S., Shalaby, A., & Elariane, S.A. (2015). Principles of urban quality of life for a neighborhood. *HBRC Journal*, 9, pp, 86-92.
- Forsyth, A., Oakes, J. M., Schmitz, K. H. & Hearst, M. (2007). Does Residential Density Increase Walking and Other Physical Activity, *Urban Studies*, Vol. 44 (4),pp. 679-697.
- Montgomery, A. Saunders, A and Chortis, J. (2003). Density considerations in managing residential land provision in Perth, Western Australia, Presented at the State of Australian Cities Conference, Perth, December, pp, 3-5 .
- Polat, N., Uysal, M., Toprak, A.S. (2015). An investigation of DEM generation process based on LiDAR data filtering, decimation, and interpolation methods for an urban area, *Measurement* 75, pp, 50 - 56.
- Sivam, A., Karuppanan, S. and Davis, M. C. (2011). Stakeholders' Perception of Residential Density: A Case Study of Adelaide, *Journal of Housing and the Built Environmen*, pp, 473-494.
- Sivam, A. and Karuppanan, S. (2012). Density Design and Sustainable Residential Development, Presented at the European Network for Housing Research Conference 2009, 28 June to 1 July, Prague, Czech Republic, pp, 253-276.
- Sithole, G., and Vosselman, G. (2004). Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 59,pp, 85 - 101.

- Vosselman, G. and Maas, H.G. eds. (2010). Airborne and terrestrial laser scanning, Whittles Publishing, pp, 56-63.

