

شناسایی درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع مناطق شهری با استفاده از تصویر هوایی و داده‌های لیزر اسکن هوایی

اصغر زارع^۱، علی محمدزاده^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد سنجش از دور - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
asr.zarea@gmail.com

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
a_mohammadzadeh@kntu.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۶، تاریخ تصویب مرداد ۱۳۹۸)

چکیده

در این پژوهش روشی جهت شناسایی درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع از روی تصاویر هوایی با قدرت تفکیک مکانی بالا و داده‌های لیزر اسکن هوایی ارائه شده است. ابتدا مناطق مرتفع و کم ارتفاع از روی داده‌های لیزر اسکن هوایی شناسایی و جداسازی شده‌اند. سپس یک شاخص گیاهی تقویت یافته در مناطق سایه که از تصاویر هوایی تولید شده است در تفکیک و جداسازی مناطق گیاهی و غیرگیاهی استفاده شده است. در نهایت با اشتراک‌گیری مناطق گیاهی با نواحی مرتفع و کم ارتفاع به ترتیب درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع شناسایی شده‌اند. درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع شناسایی شده در این تحقیق توسط گروه‌کاری IV از کمیسیون III جامعه بین المللی فتوگرامتری و سنجش از دور (ISPRS-WGIII/4) مورد ارزیابی قرار گرفته است. شاخص‌های جامع بودن، صحیح بودن و کیفیت در سطح پیکسل برای درختان در سه منطقه مطالعاتی بطور متوسط $0.74/0$ ، $0.63/5$ و $0.52/1$ و برای پوشش گیاهی کم ارتفاع در سه منطقه مطالعاتی بطور متوسط $0.58/0$ ، $0.69/4$ و $0.46/3$ می‌باشند. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهند که متوسط شاخص کیفیت در سطح عارضه برای درختان کشف‌شده در این پژوهش در مقایسه با روش‌های پیشنهادی دیگر توسط سایر محققین، بالاترین مقدار را دارا می‌باشد و هم‌چنین متوسط شاخص‌های جامع بودن، صحیح بودن و کیفیت در سطح پیکسل و عارضه برای درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع کشف‌شده در این پژوهش در مقایسه با سایر روش‌ها، دارای سطح قابل قبولی می‌باشند.

واژگان کلیدی: تصاویر هوایی با قدرت تفکیک مکانی بالا، داده‌های لیزر اسکن هوایی، شاخص گیاهی نسبت مادون قرمز بر قرمز (SR)، فیلتر مورفولوژی، شناسایی درختان، پوشش گیاهی کم ارتفاع

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

تولید اطلاعات صحیح و به موقع از موقعیت عوارض شهری برای مدیریت، برنامه‌ریزی و بالا بردن سطح اتوماسیون در مدلسازی سه بعدی زمین‌های شهری امری ضروری است [۱]، [۲]. درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع (بوته‌ها و چمنزارها) از مهم‌ترین عوارض شهری محسوب می‌شوند بدلیل آنکه در برنامه‌ریزی و توسعه پایدار شهری و مدیریت زیست محیطی نقش مهمی را ایفا می‌کنند و در محیط شهری بر دمای شهری، کیفیت هوا و میزان سر و صدا تاثیر می‌گذارد [۳]. به همین دلیل در چند دهه اخیر شناسایی و نمایش درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع در مناطق شهری با استفاده از داده‌های سنجنش از دور از زمینه تحقیقات مهم می‌باشد [۴]، [۵]. زمانی که محیط شهری بسیار پیچیده و غیرهمگن باشد داده‌های سنجنش از دوری با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالایی مورد نیاز می‌باشد تا موقعیت عوارض شهری با مقیاس و دقت مناسبی تعیین شوند [۶]. به همین دلیل در اکثر تحقیقات انجام شده در این زمینه تصاویر هوایی یا ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالایی برای تعیین موقعیت عوارض شهری استفاده شده است [۷]. در روش‌های اخیر تعیین موقعیت عوارض شهری تنها با استفاده از سیستم‌های اپتیکی غیرفعال (در این سیستم‌ها منبع نور طبیعی می‌باشد) انجام نشده است بلکه از سنسورهای فعال نظیر مسافت‌یابی و ردیابی به وسیله سیگنال‌های نوری (لیدار^۱) نیز استفاده شده است [۸]، [۹]. لیدار یا لیزر اسکن یک تکنولوژی سنجنش از دوری فعال می‌باشد که در محدوده نمایان یا مادون قرمز نزدیک از طیف الکترومغناطیسی عمل ارسال و دریافت امواج را انجام می‌دهد و اطلاعات مکانی (x, y, z) از نقاطی که برخورد امواج با آن‌ها صورت گرفته است را در اختیار کاربران قرار می‌دهد [۱۰]. لازم بذکر است که در شناسایی عوارض شهری مثل درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع بوسیله داده‌های لیدار، انواع مختلف داده‌های لیدار مورد استفاده قرار گرفته است بعنوان مثال در [۱۱-۱۵] از داده‌های لیزر اسکن هوایی با ارتفاع بالا، در [۱۶] از داده‌های لیزر اسکن هوایی بدون سرنشین با ارتفاع کم، در [۱۷] و [۱۸] از تصاویر اپتیکی، در [۱۹-۲۱] از ترکیب داده‌های لیزر اسکن و تصاویر اپتیکی و در [۲۲-۲۴] از

داده‌های لیزر اسکن زمینی یا لیزر اسکنر موبایل برای استخراج درخت و پوشش گیاهی استفاده شده است. Hecht و همکارانش [۷] از داده‌های لیزر اسکن هوایی استفاده کردند تا حجم گیاهان در محدوده شهری را تخمین بزنند. در پژوهشی دیگر، صادقیان و آینه [۲۵] با استفاده از روش طبقه‌بندی ماشین‌های بردار پشتیبان^۲ و ادغام تصویر هوایی و داده‌های ارتفاعی و شدت لیدار، استخراج پوشش گیاهی در منطقه شهری را مورد بررسی قرار دادند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که صحت تعیین موقعیت و طبقه‌بندی عوارض شهری می‌تواند با ادغام داده‌های لیزر اسکن هوایی و تصاویر چندطیفی هوایی یا ماهواره‌ای افزایش یابد [۶]، [۲۶]، [۲۷].

تاکنون جهت شناسایی درختان و پوشش گیاهی روش‌های مختلفی ارائه شده است. در [۲۸] از قطعه‌بندی چندمقیاسی داده‌های لیدار استفاده شده است تا درختان شناسایی شوند. در [۲۹] جهت تفکیک درختان و ساختمان‌ها از شاخص گیاهی تفاضل نرمالایز شده و داده‌های پالس اول و آخر لیدار استفاده شده است. در برخی تحقیقات نیز تک درخت با استفاده از داده‌های لیدار یا تصاویر هوایی و ماهواره‌ای شناسایی شده‌اند [۳۰-۳۴]. در [۳۵] از روش حدآستانه گذاری ارتفاعی بر روی داده‌های لیدار و روش خوشه‌بندی OPTICS^۳ جهت استخراج درختان منفرد در منطقه شهری استفاده شده است. همچنین در [۳۶] با تفکیک DSM منطقه به چندین زیربخش و مسطح‌سازی هر زیربخش و حدآستانه‌گذاری بر روی آن، فوت پیرنت تاج درختان منفرد استخراج شده است.

الگوریتم‌های طبقه‌بندی در استخراج و کشف عوارض درختان و پوشش گیاهی بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱]. در [۳۷] یک روش اتوماتیک برای شناسایی و سه‌بعدی‌سازی درختان با استفاده از آنالیز تصاویر هوایی و داده‌های لیدار توسعه داده شده است. در این روش نیز جهت شناسایی درختان از یک روش طبقه‌بندی استفاده شده است. در برخی تحقیقات تصاویر چندطیفی هوایی یا ماهواره‌ای و داده‌های لیدار ادغام شده‌اند و با استفاده از طبقه‌بندی، کلاس‌های درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع از بقیه کلاس‌ها جداسازی شده‌اند. [۱۰]، [۳۸-۴۰].

^۲ Support Vectors Machines (SVMs)

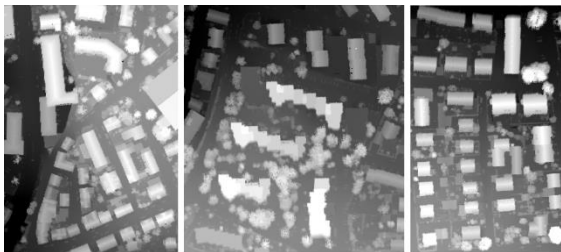
^۳ Ordering Points To Identify the Clustering Structure (OPTICS)

^۱ LiDAR

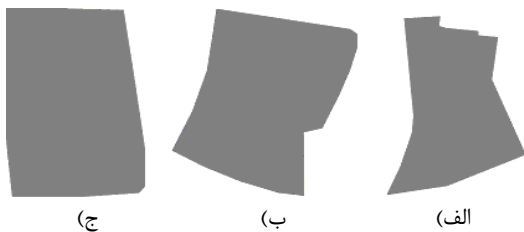
داده‌های لیدار، ۶/۷ نقطه در هر متر مربع می‌باشد. مجموعه داده مورد استفاده در این تحقیق دارای داده‌های مرجع^۴ دو بعدی می‌باشند که بوسیله ترسیم فتوگرامتریک^۵ تولید شده است. داده‌های مرجع دو بعدی (داده‌های مرجع برای نتایج آشکارسازی ساختمان، درختان و پوشش گیاهی کم‌ارتفاع) بر مبنای نقشه دیجیتالی هست که توسط RAG تولید شده است [۴۱]. در منطقه Vaihingen سه نوع منطقه مطالعاتی منطقه ۱، منطقه ۲ و منطقه ۳ توسط ISPRS-WGIII/4 مشخص گردیده است. تصاویر هوایی و تصاویر ارتفاعی^۶ به همراه ماسک مرزی^۷ و داده‌های مرجع این ۳ منطقه در شکل‌های ۱ تا ۵ نشان داده شده است.



شکل ۱- تصاویر هوایی سه منطقه مطالعاتی با ترکیب رنگی کاذب IR-R-G
 (الف) منطقه ۱ (ب) منطقه ۲ (ج) منطقه ۳



شکل ۲- تصاویر ارتفاعی بازگشت اول لیزر اسکن هوایی. (در این تصاویر ارتفاعات بلند به رنگ روشن ظاهر می‌شود)
 (الف) منطقه ۱ (ب) منطقه ۲ (ج) منطقه ۳



شکل ۳- ماسک مرزی برای ۳ منطقه مطالعاتی
 (الف) منطقه ۱ (ب) منطقه ۲ (ج) منطقه ۳

دقیق‌ترین نتایج استخراج عوارض گیاهی (درختان و پوشش گیاهی کم‌ارتفاع) مربوط به روش‌هایی می‌باشد که از داده لیدار و تصویر استفاده می‌کنند. پتانسیل بالای این دو داده در پوشاندن ضعف‌های یکدیگر توجیه مناسبی برای بکار بستن همزمان آنها به منظور استخراج عوارض می‌باشد. رفع نیاز به زوج استریو و تناظر یابی اتوماتیک تصویری برای رسیدن به ارتفاع عوارض از سوئی، و عدم وجود اثرات نامطلوب مانند سایه و انسداد و تغییرات شدت روشنایی در داده لیدار از سوی دیگر، سبب شده است که داده لیدار مکمل مناسبی برای تصویر در کاربردهای شهری باشد.

در این مقاله در بخش ۲ منطقه مورد مطالعه و داده‌های استفاده شده مورد بررسی قرار گرفته است در بخش ۳ روش پیشنهادی جهت شناسایی درختان و پوشش گیاهی کم‌ارتفاع تشریح گردیده است و بخش ۴ شامل نتایج عملی روش پیشنهادی می‌باشد و در نهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری‌ها ارائه گردیده است.

۲- منطقه مورد مطالعه

مجموعه داده مورد استفاده در این تحقیق مربوط به منطقه Vaihingen از کشور آلمان می‌باشد که توسط کمیسیون III و گروه کاری ۴ از جامعه بین‌المللی فتوگرامتری و سنجش از دور^۱ (ISPRS-WGIII/4) تهیه گردیده است. تصاویر هوایی مربوط به این منطقه توسط شرکت RWE Power با دوربین عکسبرداری Intergraph/ZI DMC با فاصله کانونی ۱۲۰ میلی‌متر و با ارتفاع پرواز ۹۰۰ متر از سطح زمین منطقه در ۶ آگوست ۲۰۰۸ اخذ شده‌اند که دارای قدرت تفکیک مکانی ۸ سانتی‌متر و قدرت تفکیک رادیومتریکی ۱۱ بیت می‌باشند. دارای سه باند مادون قرمز IR، قرمز R و سبز G می‌باشند. داده‌های لیزر اسکن هوایی مربوط به این منطقه نیز انجمن فتوگرامتری و سنجش از دور آلمان (DGPF) با استفاده از سنجنده Leica ALS50 با میدان دید ۴۵ درجه و با متوسط ارتفاع پرواز ۵۰۰ متر از سطح زمین منطقه در ۲۱ آگوست ۲۰۰۸ اخذ شده‌اند و شامل داده‌های ارتفاعی و شدت^۲ بازگشت اول و آخر^۳ می‌باشند. میانه تراکم نقاط در

۴ Reference Data
 ۵ Photogrammetric Plotting
 ۶ Range Images
 ۷ Boundary Mask

۱ International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)
 ۲ Intensity
 ۳ First and Last Return

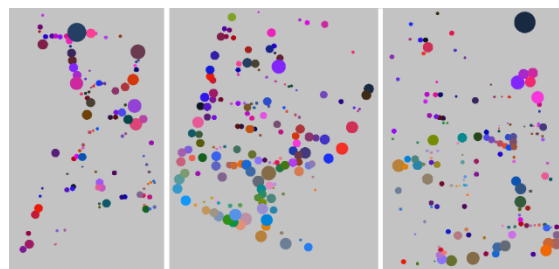
تصاویر قائم ترمیم یافته^۶ بوسیله DSM تولید شده از داده‌های بازگشت اول لیدار تولید می‌شود و سپس تصاویر قائم ترمیم یافته، زمین مرجع^۷ می‌شوند تا سیستم مختصات یکسانی با داده‌های لیدار داشته باشند. بعد با حدآستانه‌گذاری بر روی شاخص گیاهی توسعه داده شده، مناطق گیاهی و غیرگیاهی از هم تفکیک می‌یابند. در نهایت با اشتراک مناطق گیاهی با مناطق مرتفع و کم ارتفاع به ترتیب درختان و مناطق گیاهی کم ارتفاع^۸ (بوته‌ها و چمنزارها)^۹ شناسایی می‌شوند و برچسب جداگانه‌ای می‌گیرند. درختان و مناطق گیاهی کم ارتفاع شناسایی شده در این تحقیق توسط ISPRS-WGIII/4 مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. مراحل این تحقیق بصورت اجمالی در ادامه تشریح شده است.

۳-۲- پیش پردازش داده‌ها

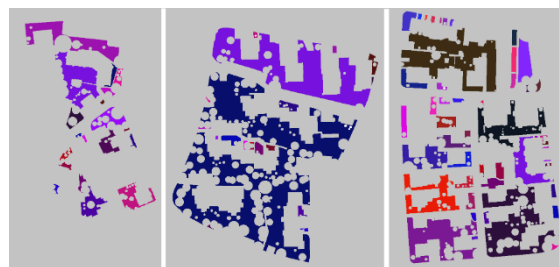
جهت پردازش داده‌ها، دو پردازش مهم انجام گرفته است. الف) حذف نویز از تصاویر ارتفاعی لیدار، ب) تولید تصویر قائم ترمیم یافته و زمین مرجع کردن آن. در مرحله اول بخشی از نویزهای موجود در تصاویر ارتفاعی لیدار حذف شده‌اند. در تصاویر ارتفاعی لیدار بازگشت اول ارتفاعی (FR) باید بزرگتر یا مساوی بازگشت آخر ارتفاعی (LR) باشد اما بدلیل وجود خطای ارتفاعی (دقت ارتفاعی) در تصاویر ارتفاعی لیدار، بازگشت اول ارتفاعی می‌تواند به اندازه خطای ارتفاعی تصاویر ارتفاعی لیدار از بازگشت آخر کوچکتر باشد در نتیجه جهت تشخیص نویز در تصاویر ارتفاعی لیدار از رابطه (۱) استفاده شده است.

$$Point = \begin{cases} Noise & \text{IF } LR - FR > Th_1 \\ Pure & \text{Else} \end{cases} \quad (1)$$

در رابطه فوق، Th_1 مقدار ثابتی می‌باشد که به خطای ارتفاعی تفاضل دو بازگشت بستگی دارد. بعد از تشخیص و حذف نویزها مقادیر جدید این نقاط در تصاویر ارتفاعی از طریق روش درونیابی نزدیکترین همسایگی^{۱۰} تعیین می‌شود. دلیل استفاده از روش درونیابی نزدیکترین همسایگی عدم تغییر مقادیر ارتفاعی یا به عبارت بهتر حفظ پیرش‌های ارتفاعی است [۴۲].



شکل ۴- داده مرجع برای درختان
الف) منطقه ۱ ب) منطقه ۲ ج) منطقه ۳



شکل ۵- داده مرجع برای پوشش گیاهی کم ارتفاع
الف) منطقه ۱ ب) منطقه ۲ ج) منطقه ۳

در این مقاله روش پیشنهادی بر روی ۳ منطقه مشخص شده پیاده‌سازی شده است و نتایج مربوط به آن توسط گروه کاری ISPRS-WGIII/4 ارزیابی گردیده است.

۳- روش پیشنهادی

۳-۱- فلوچارت کلی تحقیق

فلوچارت کلی تحقیق در شکل ۶ نشان داده شده است. در این تحقیق ابتدا تصاویر ارتفاعی لیدار پیش‌پردازش شده‌اند تا بخشی از نویزهای^۱ موجود شناسایی و حذف شوند. سپس از تصاویر ارتفاعی پردازش شده لیدار مدل رقومی سطح^۲ (DSM) و مدل رقومی زمین^۳ (DTM) تولید شده است (DSM شامل عوارض مصنوعی و طبیعی مثل ساختمان و درختان می‌باشد در حالیکه DTM فقط مدل زمین لخت را نشان می‌دهد). سپس با تفاضل DTM از DSM مدل رقومی نرمالایز شده سطح^۴ (nDSM) بدست آمده است و با حدآستانه‌گذاری بر روی nDSM عوارض مرتفع^۵ و کم ارتفاع تفکیک شده‌اند. از تصاویر هوایی مربوط به منطقه نیز ابتدا

^۶ Ortho-rectified Images

^۷ Georeferenced

^۸ Natural Ground

^۹ Shrubs and Grassland

^{۱۰} Nearest Neighbor Interpolation

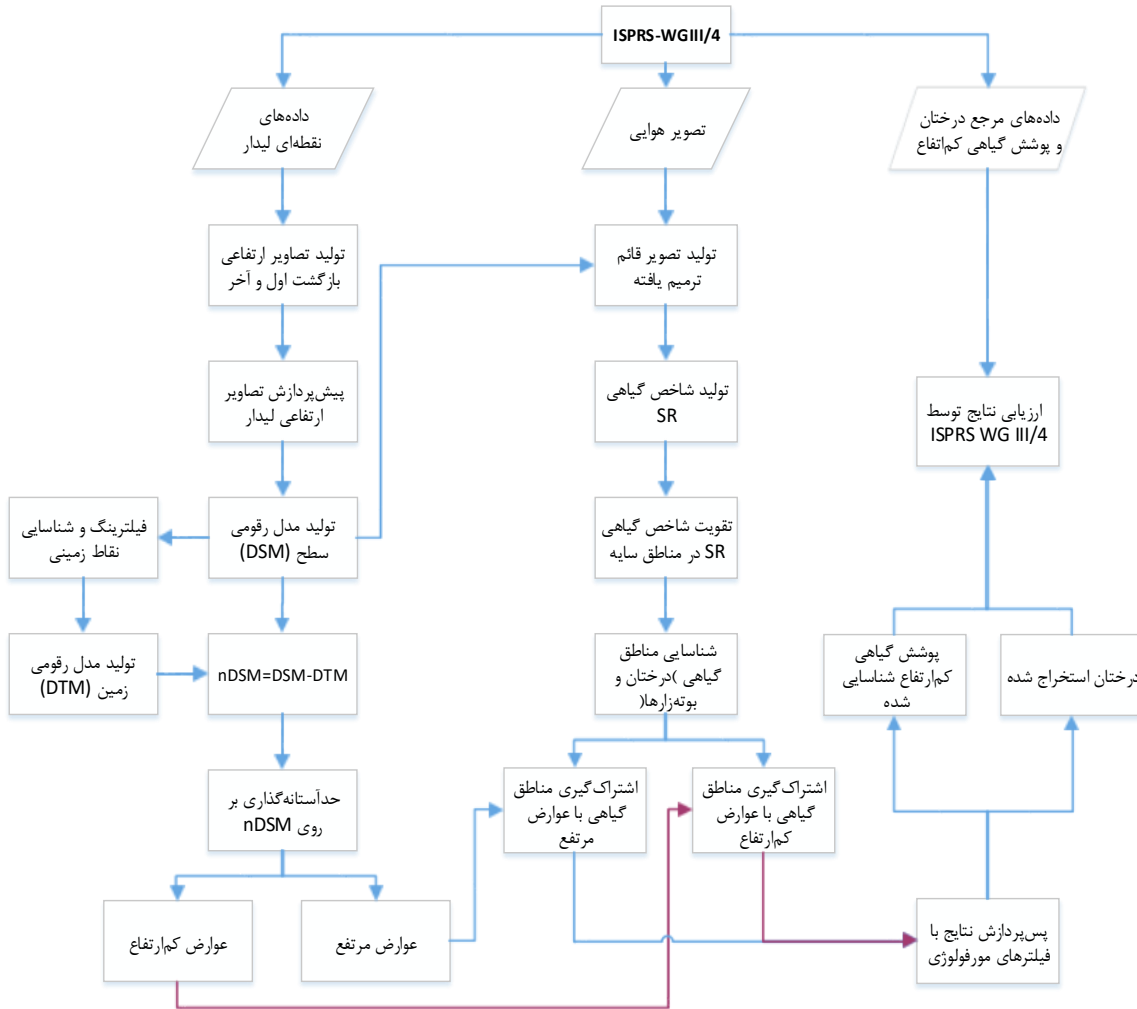
^۱ Noises

^۲ Digital Surface Model

^۳ Digital Terrain Model

^۴ Normalized Digital Surface Model (nDSM)

^۵ Off-Terrain Objects (OTO)



شکل ۶- رگرسیون کلی تحقیق

مختصات تصویری و پارامترهای توجیه داخلی تصویر هوایی و المان‌های ماتریس دوران^۵ می‌باشند. در مرحله بعد تصویر قائم ترمیم یافته بوسیله نقاط کنترل زمینی^۶ که بصورت دستی از تصاویر ارتفاعی منطقه انتخاب شده‌اند زمین مرجع می‌شوند تا سیستم مختصات تصویر قائم ترمیم یافته و تصاویر ارتفاعی لیدار یکسان گردد.

۳-۳- جداسازی عوارض مرتفع و کم ارتفاع

در این تحقیق جهت جداسازی عوارض مرتفع و کم ارتفاع، ابتدا DTM هر منطقه از تصاویر ارتفاعی بازگشت آخر لیدار تولید می‌شود. در تصاویر ارتفاعی بازگشت آخر، نسبت به تصاویر ارتفاعی بازگشت اول تعداد زیادی نقاط زمینی موجود است به همین دلیل جهت تولید DTM از تصاویر ارتفاعی بازگشت آخر لیدار استفاده شده است. در

در مرحله دوم، ابتدا تصاویر هوایی منطقه به تصویر قائم ترمیم یافته^۱ تبدیل شده است تا عوارض از حالت دید پرسپکتیو به حالت دید قائم تغییر یابند. جهت تولید تصاویر قائم ترمیم یافته هر منطقه از پارامترهای معرفی شده توجیه داخلی، خارجی^۲ برای هر تصویر هوایی و مطابق با روابط ۲ و ۳ از شرط هم خطی^۳ استفاده شده است [۴۳].

$$x_i = x_p - c \times \frac{r_{11} \times (X_G - X_O) + r_{21} \times (Y_G - Y_O) + r_{31} \times (Z_G - Z_O)}{r_{13} \times (X_G - X_O) + r_{23} \times (Y_G - Y_O) + r_{33} \times (Z_G - Z_O)} \quad (2)$$

$$y_i = y_p - c \times \frac{r_{12} \times (X_G - X_O) + r_{22} \times (Y_G - Y_O) + r_{32} \times (Z_G - Z_O)}{r_{13} \times (X_G - X_O) + r_{23} \times (Y_G - Y_O) + r_{33} \times (Z_G - Z_O)} \quad (3)$$

در روابط فوق، (X_G, Y_G, Z_G) و (X_O, Y_O, Z_O) به ترتیب مختصات زمینی نقطه‌ای از عارضه و مرکز پرسپکتیو^۴ می‌باشند، (x_p, y_p, c) ، (x_i, y_i) و $[r_{11}-r_{33}]$ نیز به ترتیب

^۱ Orthorectified Image

^۲ Interior and Exterior Orientation Parameters

^۳ Collinearity Model

^۴ Perspective Center

^۵ Rotation Matrix

^۶ Ground Control Points (GCPs)

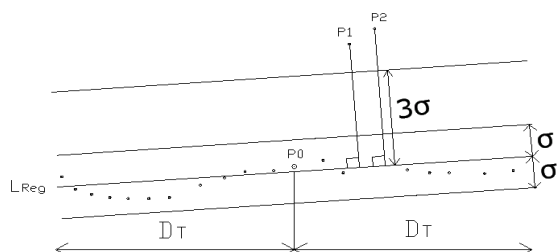
سپس نقاط زمینی از طریق اشتراک مجموعه نقاط زمینی برچسب گذاری شده در هر دو مرحله اسکن (اسکن از راست به چپ و اسکن از چپ به راست) بدست می آید و نقاط غیرزمینی از اجتماع مجموعه نقاط غیرزمینی برچسب گذاری شده در هر دو مرحله اسکن بدست می آید. تابع برچسب گذاری برای این الگوریتم بصورت رابطه (۴) می باشد.

$$\phi(v_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{IF } v_{ij}^{LR} + v_{ij}^{RL} = 2 \\ 0 & \text{Else} \end{cases} \quad (4)$$

در رابطه فوق، v_{ij}^{LR} ، v_{ij}^{RL} به ترتیب برچسب نقطه v_{ij} در اسکن راست به چپ و چپ به راست می باشد و $\phi(v_{ij})$ تابع برچسب گذاری کلی نقطه v_{ij} می باشد. در مرحله دوم، بعد از مشخص شدن نقاط زمینی در مرحله اول، دوباره با استفاده از روش رگرسیون خطی تک بعدی^۵ نقاط غیرزمینی باقیمانده شناسایی و حذف می شوند بدین منظور با استفاده از تعریف همسایگی برای نقاط زمینی، برازش رگرسیون^۶ برای نقاط همسایه طبق رابطه (۵) انجام می گیرد و نقاطی که فاصله انحراف از رگرسیون آن ها، بیش تر از سه برابر انحراف معیار انحرافات باشد به عنوان نقطه غیرزمینی تشخیص داده می شود.

$$Z = a_0 + a_1 \times D \quad , \quad D < D_t \quad (5)$$

در رابطه فوق D_t شعاع همسایگی برای نقاط زمینی می باشد و a_0 و a_1 پارامترهای رگرسیون خطی تک بعدی می باشند. مطابق شکل ۷، اگر L_{Reg} خط برازش یافته به مجموعه نقاط زمینی قرار گرفته در همسایگی نقطه زمینی P_0 باشد و σ انحراف معیار استاندارد فواصل انحراف نقاط زمینی از خط برازش یافته L_{Reg} باشد آنگاه هر نقطه ای که فاصله انحراف آن از خط برازش یافته L_{Reg} بیشتر از سه برابر σ باشد (نقاط P_1 و P_2) بعنوان نقطه ی غیرزمینی شناسایی می شود.



شکل ۷- رگرسیون تک بعدی برازش داده شده به مجموعه نقاط زمینی شناسایی شده در مرحله اول

این تحقیق جهت تولید DTM از روشی استفاده شده است که بر پایه الگوریتم برچسب زنی اسکن^۱ (SLA) می باشد. روش SLA در سال ۲۰۰۴، توسط Shan و Sampath برای جداسازی نقاط زمینی از غیرزمینی در داده های ابر نقاط لیدار استفاده شده است [۴۴]، [۴۵].

در این بخش، ابتدا روش SLA معرفی می شود و سپس روش SLA ارتقاء داده شده^۲ (DSL A) توسط مولفین تشریح می شود و در انتها روش جداسازی عوارض مرتفع و کم ارتفاع بیان می گردد.

روش فیلترینگ SLA جهت جداسازی نقاط زمینی از غیرزمینی در داده های لیدار می باشد که بخاطر سادگی و سرعت بالای آن مورد توجه قرار گرفته است. در روش فیلترینگ SLA فرض بر این است که با حرکت در طول اسکن، مجموعه نقاط قرار گرفته بین مجموعه ناپیوستگی ها^۳ نقاط غیرزمینی هستند البته به شرط آنکه این مجموعه نقاط ارتفاع بیش تری را نسبت به نقاط همسایه داشته باشند [۴۵]. الگوریتم SLA شامل دو مرحله کلی می باشد.

در مرحله اول، زیرتصویرهای افقی یا سطرهای ماتریس تصویر در دو جهت راست به چپ و چپ به راست اسکن می شوند و بر اساس ضوابط پیوستگی^۴ بین نقاط یا پیکسل های مجاور در هر اسکن یک برچسب موقت به نقطه یا پیکسل مورد نظر داده می شود و سپس برچسب نهایی نقاط از طریق برچسب موقت نقاط در ۲ جهت اسکن بدست می آید. در این تحقیق معیار پیوستگی شیب بین نقاط یا پیکسل های مجاور در نظر گرفته شده است. اگر برچسب نقاط زمینی (مربوط به زمین لخت) و غیرزمینی (مربوط به عوارض مرتفع) را به ترتیب با ۱ و ۰ تشریح کنیم در آن صورت فرض می شود که اولین نقطه در هر اسکن (اسکن در ۲ جهت) زمین لخت باشد از این رو به آن برچسب موقتی ۱ تعلق می گیرد. سپس نقطه اول و دوم با هم مقایسه می شوند اگر آنها ضوابط پیوستگی داده شده را ارضاء کنند (شیب بین دو نقطه کمتر از حد مجاز باشد یعنی کمتر از حد آستانه Th_2 باشد) آنگاه برچسب اولین نقطه به نقطه دوم انتقال داده می شود و در غیر این صورت نقطه دوم برچسب موقت صفر می گیرد به این شرط که ارتفاع نقطه دوم از نقطه اول بیشتر باشد و برچسب موقت نقطه دوم یک می - شود اگر ارتفاع نقطه دوم از نقطه اول کمتر باشد، این انتقال برچسب برای تمام نقاط مجاور در هر اسکن تکرار می شود.

^۱ Scan Labeling Algorithm (SLA)

^۲ Developed Scan Labeling Algorithm (DSL A)

^۳ Discontinuities

^۴ Continuity Criteria

^۵ 1D Linear Regression

^۶ Regression Fitting

$$nDSM(i, j) = DSM(i, j) - DTM(i, j) \quad (7)$$

در رابطه فوق، i و j اندکس هر نقطه می باشد. سپس با حدآستانه گذاری بر روی $nDSM$ مطابق با رابطه (۸) نقاط یا عوارض مرتفع و کم ارتفاع تفکیک می شوند.

$$Point(i, j) = \begin{cases} \text{High} & \text{IF } nDSM(i, j) > Th_3 \\ \text{Low} & \text{Else} \end{cases} \quad (8)$$

در رابطه فوق، Th_3 عدد ثابتی می باشد که حدآستانه تفکیک عوارض مرتفع و کم ارتفاع را مشخص می کند. در انتها نتایج بدست آمده برای هر دو کلاس عوارض مرتفع و کم ارتفاع به ترتیب توسط فیلترهای مورفولوژی گشایش و انسداد^۲ [۴۶] بهبود داده می شوند.

۳-۴- شاخص گیاهی تقویت یافته در مناطق سایه

در این تحقیق، شاخص شیب مبنای^۳ نسبت مادون قرمز (IR) بر قرمز (R) که در رابطه (۹) بیان گردیده است [۴۷]، [۴۸] بهبود داده شده است تا جهت جداسازی بهتر مناطق گیاهی از غیرگیاهی استفاده شود.

$$SR = IR / R \quad (9)$$

جهت تولید این شاخص از باندهای IR و R تصویر هوایی قائم ترمیم یافته استفاده شده است. مقدار این شاخص در مناطق گیاهی بالا و در مناطق غیرگیاهی پائین می باشد. شاخص های گیاهی در مناطق گیاهی سایه دار مقادیر پائینی را دارا هستند که این امر موجب می شود جداسازی مناطق گیاهی از غیرگیاهی در مناطق سایه دار مشکل ساز باشد به همین دلیل شاخص گیاهی استفاده شده در این تحقیق، ابتدا در مناطق گیاهی سایه دار تقویت شده است و سپس در جداسازی مناطق گیاهی از غیرگیاهی بکار گرفته شده است.

در سال ۲۰۱۱، Grigillo و همکاران [۴۹] از تفاضل انعکاس باند قرمز نرمال شده و باند قرمز اصلی بعنوان شاخص سایه^۴ (SI) استفاده کردند. در سال ۲۰۱۲، Turlapaty و همکاران [۵۰] از حاصلضرب باند قرمز و زرد تصاویر ماهواره ای World-View-2 بعنوان شاخص سایه استفاده کردند. برخی از الگوریتم های کشف سایه نیز در

روش DSLA بر پایه SLA می باشد با این تفاوت که روش DSLA شامل سه مرحله می باشد.

در مرحله اول روش DSLA، تصاویر ارتفاعی بازگشت آخر لیدار در ۴ جهت اسکن می شود به عبارت دیگر زیر تصویرهای عمودی یا ستون های ماتریس تصویر در دو جهت بالا به پایین و پایین به بالا اسکن و بررسی می شوند و زیر تصویرهای افقی یا سطری ماتریس تصویر در دو جهت راست به چپ و چپ به راست اسکن می شوند. هم چنین تابع برچسب گذاری کلی در روش DSLA بصورت رابطه (۶) می باشد.

$$\phi(v_{ij}) = \begin{cases} 1 & \text{IF } v_{ij}^{LR} + v_{ij}^{RL} + v_{ij}^{DU} + v_{ij}^{UD} = 4 \\ 0 & \text{Else} \end{cases} \quad (6)$$

در رابطه فوق، v_{ij}^{LR} ، v_{ij}^{RL} ، v_{ij}^{DU} و v_{ij}^{UD} به ترتیب برچسب موقت نقطه v_{ij} در اسکن چپ به راست، راست به چپ، پایین به بالا و بالا به پایین می باشند و $\phi(v_{ij})$ تابع برچسب گذاری کلی نقطه v_{ij} می باشد.

مرحله دوم روش DSLA همانند مرحله دوم SLA می باشد که در این مرحله با استفاده از رگرسیون خطی تک بعدی برخی از نقاط غیرزمینی باقیمانده در بین نقاط زمینی شناسایی شده در مرحله اول شناسایی و تفکیک می شوند.

در مرحله سوم، فیلتر مورفولوژی گشایش^۱ [۴۶] به نتایج نقاط زمینی اعمال می شود تا نقاط غیرزمینی که در مرحله رگرسیون خطی تک بعدی (مرحله دوم) شناسایی نشده اند در این مرحله شناسایی شوند و بعنوان نقاط غیرزمینی دسته بندی شوند.

در این تحقیق جهت جداسازی عوارض مرتفع و کم ارتفاع، ابتدا نقاط زمینی هر منطقه بوسیله روش DSLA از تصاویر ارتفاعی بازگشت آخر لیدار تولید می شود. بعد از جداسازی نقاط زمینی، با استفاده از انترپولاسیون یا درون یابی بین نقاط زمینی، DTM هر منطقه تولید می شود. تصاویر ارتفاعی بازگشت اول نیز بعنوان DSM انتخاب شده اند دلیل آن که تصاویر ارتفاعی بازگشت اول لیدار نسبت به تصاویر ارتفاعی بازگشت آخر تعداد بیشتری از نقاط غیرزمینی (نقاط مربوط به عوارض مرتفع) را دارا هستند و در نتیجه تصاویر ارتفاعی بازگشت اول لیدار مدل عوارض مصنوعی یا طبیعی را بهتر نشان می دهند. در این پژوهش، مطابق با رابطه (۷) $nDSM$ از تفاضل DTM و DSM تولید شده است.

^۲ Morphological Closing Filter

^۳ Slope-based Index

^۴ Shadow Index

^۱ Morphological Opening Filter

$$Point = \begin{cases} Vegetation & IF SR_{Enriched} > Th_6 \\ Non-Vegetation & Else \end{cases} \quad (13)$$

سپس مناطق یا نقاط گیاهی با عوارض مرتفع اشتراک‌گیری یا تقاطع داده می‌شوند تا درختان شناسایی گردند. به همین صورت با تقاطع نقاط گیاهی با عوارض کم ارتفاع پوشش گیاهی کم ارتفاع شناسایی می‌شود که می‌تواند شامل بوته‌ها و چمنزارها باشد. بعد از شناسایی درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع به ترتیب بر روی هر دو کلاس فیلترهای مورفولوژی گشایش و انسداد اعمال شده است تا در نتیجه‌ی آن عوارض و شکاف‌های کوچک به ترتیب حذف و پر شوند.

۳-۶- روش ارزیابی نتایج

در این پژوهش، درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع شناسایی شده توسط کمیسیون III و گروه کاری ۴ از جامعه بین‌المللی فتوگرامتری و سنجش از دور (ISPRS-WGIII/4) مورد ارزیابی قرار گرفته است. در حالی که ارزیابی نتایج طبقه‌بندی عوارض مرتفع و کم ارتفاع و نتایج طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیرگیاهی توسط مولفین انجام گرفته است. قابل ذکر است که در ارزیابی صورت گرفته توسط مولفین از داده‌های مرجعی استفاده شده است که توسط ISPRS-WGIII/4 تهیه شده است و در اختیار مولفین قرار داد شده است. در این تحقیق، نتایج عددی طبقه‌بندی بصورت ماتریس ابهام^۱ بیان شده است که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ماتریس ابهام برای طبقه‌بندی

		کشف شده	مرجع
کلاس ۲	کلاس ۱		
FN	TP		کلاس ۱
TN	FP		کلاس ۲

در جدول فوق، TP^۲ و TN^۳ معرف پیکسل‌هایی است که در هر دو داده مرجع و نتایج طبقه‌بندی به ترتیب بعنوان کلاس ۱ و ۲ برچسب گذاری شده است. به عبارت دیگر بیانگر پیکسل‌هایی می‌باشند که به درستی شناسایی و طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین FN^۴ بیانگر پیکسل‌هایی می‌باشد که در داده مرجع بعنوان کلاس ۱

[۵۱-۵۳] تشریح شده است. به دلیل متفاوت بودن باندهای تصاویر هوایی استفاده شده در این تحقیق، امکان استفاده از شاخص‌های مذکور نبود به همین جهت نیاز به توسعه یک شاخص جدید سایه بود. مشاهدات ما نشان دادند که مناطق سایه در هر دو ناحیه سبز (G) و قرمز (R) انعکاس پایینی را دارا هستند به همین دلیل در این تحقیق از رابطه (۱۰) بعنوان شاخص سایه استفاده شده است.

$$SI = (G + R) \times G \quad (10)$$

با مشاهدات انجام گرفته مشخص گردید که مقادیر شاخص گیاهی SR در مناطق سایه تقریباً نصف مقادیر شاخص گیاهی مذکور در مناطق مجاور روشن می‌باشند. به همین دلیل برای تقویت شاخص گیاهی SR در مناطق سایه نیاز است که ابتدا در مناطق سایه‌دار، مناطق گیاهی و غیرگیاهی از هم تفکیک شوند. با حدآستانه‌گذاری (Th₄) بر روی شاخص سایه، یک تصویر باینری بدست می‌آید که بیانگر مناطق سایه می‌باشد. به همین ترتیب با حدآستانه‌گذاری (Th₅) ضعیف بر روی شاخص گیاهی SR یک تصویر باینری دیگری بدست می‌آید که تمام مناطق گیاهی در آن مشخص شده‌اند. تقاطع یا اشتراک این دو تصویر باینری تولید شده در مرحله قبل، مطابق رابطه (۱۱) یک تصویر باینری (BI_{SV}) دیگری را تولید می‌کند که بیانگر مناطق گیاهی سایه‌دار می‌باشد. در نهایت شاخص گیاهی تقویت یافته در مناطق سایه (SR_{Enriched}) مطابق رابطه (۱۲) بدست می‌آید.

$$BI_{SV} = (SI > Th_4) \times (SR > Th_5) \quad (11)$$

$$SR_{Enriched} = SR + (BI_{SV} \times SR / 2) \quad (12)$$

در حقیقت در مناطق گیاهی سایه‌دار ضریبی از شاخص گیاهی SR به مقدار خود شاخص اضافه می‌شود تا این شاخص گیاهی در مناطق سایه تقویت یابد. مطابق رابطه (۱۲)، مقدار شاخص SR در مناطق گیاهی سایه‌دار تقویت خواهد یافت و در مناطق روشن (غیرسایه) تغییری نخواهد یافت.

۳-۵- شناسایی درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع

در این مرحله، بر روی شاخص گیاهی تقویت یافته در مناطق سایه مطابق با رابطه (۱۳) حدآستانه‌گذاری انجام می‌گیرد تا مناطق گیاهی و غیرگیاهی از هم تفکیک شوند.

۱ Confusion Matrix

۲ True Positive

۳ True Negative

۴ False Negative

در روابط فوق، جهت تعیین تعداد عوارض TP_{Ref} ، TP_{Det} ، FP و FN از روش پوشش مشترک^۱ بین عوارض مرجع و شناسایی شده استفاده شده است که توسط Rutzinger و همکاران [۵۵] مطرح شده است. جزئیات نحوه تعیین تعداد عوارض ذکر شده در روابط فوق، در [۵۵] تشریح شده است. لازم بذکر است که جزئیات نحوه ارزیابی درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع نیز [۵۶] بیان شده است.

۴- نتایج و ارزیابی روش پیشنهادی

۴-۱- پیش پردازش داده‌ها

با توجه به اینکه متوسط خطای ارتفاعی داده‌های لیدار برابر ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد [۵۷]، [۵۸] مقدار خطای ارتفاعی برای بازگشت اول داده‌های لیدار (σ_{FR}) و بازگشت آخر داده‌های لیدار (σ_{LR}) ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. در نتیجه با توجه به قانون انتشار خطاها^۲، مقدار خطای کل برای تفاضل این دو بازگشت (تابع $Diff$ بیان شده در رابطه (۲۳)) بصورت رابطه (۲۴) قابل محاسبه است.

$$Diff = LR - FR \quad (23)$$

$$\sigma_{Diff} = \sqrt{\left(\frac{\partial Diff}{\partial FR}\right)^2 \times \sigma_{FR}^2 + \left(\frac{\partial Diff}{\partial LR}\right)^2 \times \sigma_{LR}^2} = \sqrt{\sigma_{FR}^2 + \sigma_{LR}^2} = \sqrt{15^2 + 15^2} = 21cm \quad (24)$$

اما مقدار نهایی برای حدآستانه Th_1 باید بزرگتر از خطای کل در نظر گرفته شود که مقدار نهایی برای این حدآستانه در هر سه منطقه مطالعاتی ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. با اعمال رابطه (۱) بر روی تصاویر ارتفاعی لیدار مناطق ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۶۱۶، ۳۵۴۴ و ۸۱۸ نویز کشف شد که به ترتیب تقریباً ۰/۱۴٪، ۰/۵۶٪ و ۰/۲٪ از کل نقاط تصاویر ارتفاعی لیدار هر منطقه می‌باشد. جهت تولید تصویر قائم ترمیم یافته از پارامترهای توجیه داخلی و خارجی معرفی شده برای تصویر هوایی و روابط شرط هم‌خطی استفاده شد. تصاویر قائم ترمیم یافته تولید شده در این پژوهش دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵ سانتیمتری می‌باشند که در شکل ۸ نشان داده شده است.

برچسب‌گذاری شده‌اند در حالی که در نتایج طبقه‌بندی بعنوان کلاس ۲ برچسب‌گذاری شده‌اند و FP ^۱ بیانگر پیکسل‌هایی می‌باشد که در داده مرجع بعنوان کلاس ۲ برچسب‌گذاری شده‌اند در حالی که در نتایج طبقه‌بندی بعنوان کلاس ۱ برچسب‌گذاری شده‌اند [۵۴].

در این پژوهش، جهت ارزیابی نتایج طبقه‌بندی‌ها مطابق روابط ۱۴ تا ۱۹ به ترتیب از شاخص صحت کلی^۲ (OA) و سه شاخص پیکسل‌مبنا^۳ جامع بودن^۴ ($Comp$)، صحیح بودن^۵ ($Corr$) و کیفیت^۶ (Q) برای هر کلاس استفاده شده است [۵۴]، [۵۵].

$$OA = \frac{TP + TN}{TP + TN + FN + FP} \times 100 \quad (14)$$

$$Comp_{Class1} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (15)$$

$$Corr_{Class1} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (16)$$

$$Comp_{Class2} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (17)$$

$$Corr_{Class2} = \frac{TN}{TN + FN} \quad (18)$$

$$Q = \frac{Comp \times Corr}{Comp + Corr - Comp \times Corr} \quad (19)$$

در ارزیابی انجام گرفته توسط ISPRS-WGIII/4 علاوه بر شاخص‌های پیکسل‌مبنا جامع بودن، صحیح بودن و کیفیت بیان شده در روابط (۱۵)، (۱۶) و (۱۹) مطابق روابط (۲۰) تا (۲۲) از شاخص‌های عارضه‌مبنا^۷ جامع بودن ($Comp_{ovl}$)، صحیح بودن ($Corr_{ovl}$) و کیفیت (Q_{ovl}) نیز استفاده شده است [۵۵].

$$Comp_{ovl} = \frac{\|TP_{Ref}\|}{\|TP_{Ref}\| + \|FN\|} \quad (20)$$

$$Corr_{ovl} = \frac{\|TP_{Det}\|}{\|TP_{Det}\| + \|FP\|} \quad (21)$$

$$Q_{ovl} = \frac{Comp_{ovl} \times Corr_{ovl}}{Comp_{ovl} + Corr_{ovl} - Comp_{ovl} \times Corr_{ovl}} \quad (22)$$

^۱ False Positive

^۲ Overall Accuracy

^۳ Pixel-based Metrics

^۴ Completeness

^۵ Correctness

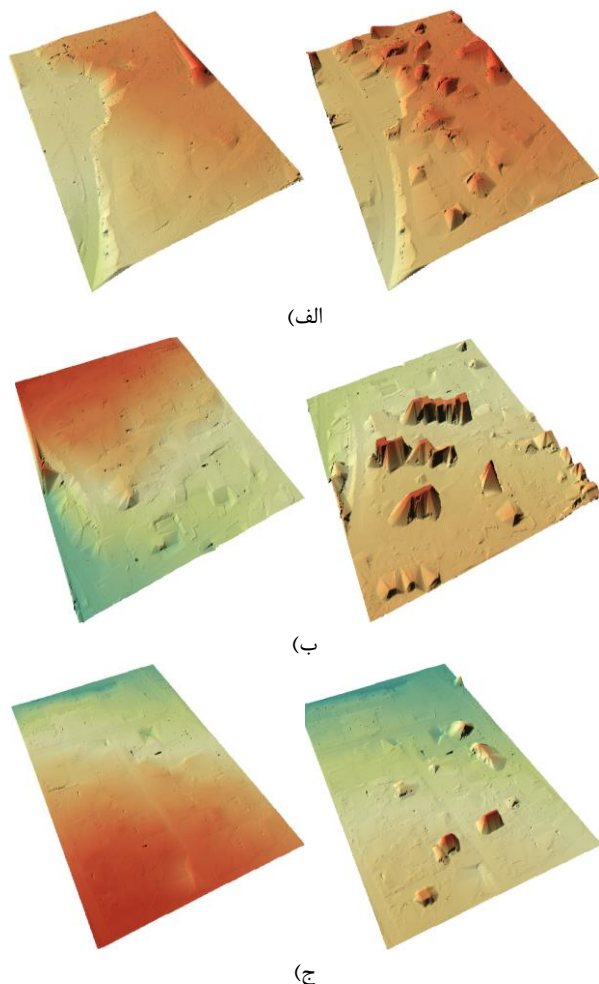
^۶ Quality

^۷ Object-based

^۸ Mutual Overlap
^۹ Errors Propagation Law

۲-۴- جداسازی عوارض مرتفع و کم ارتفاع

در جداسازی نقاط زمینی از غیرزمینی، هر دو روش SLA و SLA ارتقاء یافته بکار گرفته شده‌اند تا نتایج بهبود در روش ارتقاء یافته مورد بررسی قرار گیرند. مقدار شیب مجاز جهت رعایت ضابطه پیوستگی در تمام مناطق مطالعاتی و هر دو روش SLA و DSLA ۶۰٪ در نظر گرفته شده است. در هر دو روش فیلترینگ جهت تعریف همسایگی D_i نیز از یک کرنل با ابعاد 7×7 استفاده شده است. در تولید DTM از نقاط زمینی، ابتدا از روش درون‌یابی Cubic [۵۹] استفاده شده است و سپس در گوشه‌های مناطق مطالعاتی از روش درون‌یابی نزدیکترین همسایگی [۵۹] استفاده شده است. در روش DSLA ابعاد المان ساختاری^۲ مربوط به فیلتر مورفولوژی گشایش 9×9 می‌باشد. DTM تولید شده توسط روش‌های SLA و DSLA در شکل ۹ قابل مشاهده است.



شکل ۹- DTM تولید شده توسط روش SLA (تصویر سمت راست) و روش DSLA (تصویر سمت چپ) (الف) منطقه ۱ (ب) منطقه ۲ (ج) منطقه ۳

^۲ Structural Element



(الف)



(ب)

(ج)

شکل ۸- تصاویر قائم ترمیم یافته با ترکیب رنگی IR-R-G (الف) منطقه ۱ (ب) منطقه ۲ (ج) منطقه ۳

جهت زمین مرجع کردن تصویر قائم ترمیم یافته مناطق ۱، ۲ و ۳ نیز به ترتیب از ۷۳، ۸۴ و ۷۱ نقطه کنترل با توزیع یکنواخت استفاده شد که این نقاط از طریق تناظریابی چشمی بین تصویر قائم ترمیم یافته و تصاویر ارتفاعی منطقه مطالعاتی متناظر انتخاب گردیده است. جهت زمین مرجع کردن تصویر قائم ترمیم یافته از روش دوران- انتقال- مقیاس^۱ (RST) در نرم‌افزار ENVI 5.1 استفاده شده است. میانگین RMSE برای نقاط کنترل و چک انتخاب شده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- میانگین RMSE برای نقاط کنترل و چک انتخاب شده برای زمین مرجع کردن تصاویر قائم ترمیم یافته

منطقه مطالعاتی	نوع	تعداد	میانگین RMSE (cm)
۱	کنترل	۷۳	۲۲/۵۰
	چک	۱۰	۲۴/۰۰
۲	کنترل	۸۴	۲۴/۲۵
	چک	۱۰	۲۷/۰۰
۳	کنترل	۷۱	۲۳/۷۵
	چک	۱۰	۲۵/۲۵

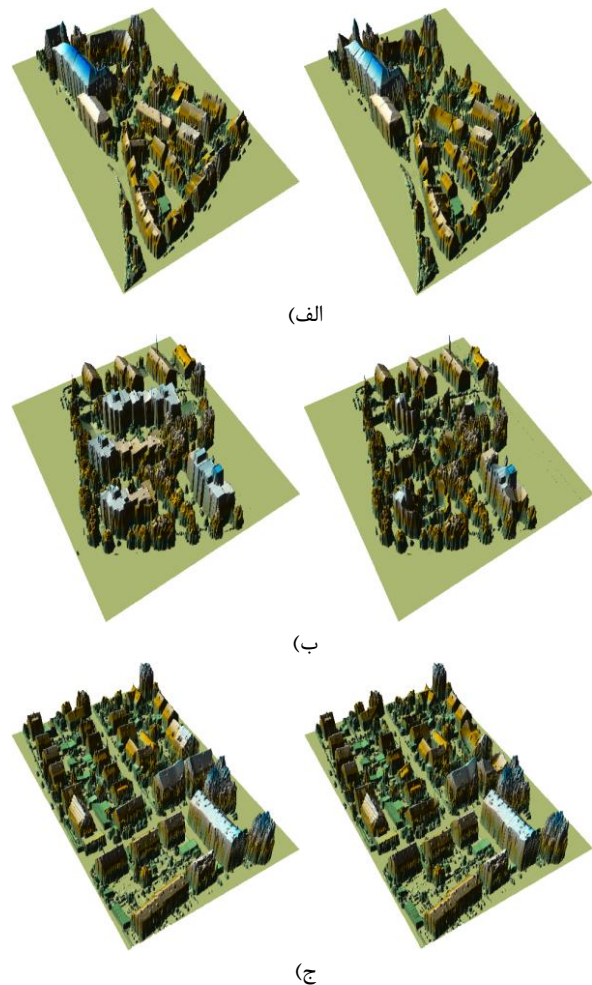
^۱ Rotation-Transition-Scale

بهبود نتایج عوارض مرتفع استفاده شده است که در نتیجه استفاده از این فیلترها عوارض مرتفع کوچکتر از ۲/۵ متر حذف و شکاف‌های کوچکتر از ۱/۲۵ متر در عوارض مرتفع مسدود شده‌اند. همچنین از فیلترهای مورفولوژی گشایش و انسداد با المان‌های ساختاری برابر به ابعاد ۵×۵ پیکسل جهت بهبود نتایج کلاس عوارض کم ارتفاع استفاده شده است که در نتیجه استفاده از این فیلترها عوارض کم ارتفاع کوچکتر از ۱/۲۵ متر حذف و شکاف‌های کوچکتر از ۱/۲۵ متر در عوارض کم ارتفاع مسدود شده‌اند. در شکل ۱۱، nDSM مربوط به عوارض مرتفع براساس هر دو روش SLA و DSLA نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۱۱ مشاهده می‌شود تولید nDSM براساس روش DSLA به مراتب بهتر از nDSM تولید شده بر اساس روش SLA می‌باشد. در nDSM تولید شده بر اساس روش SLA قسمتی از عوارض مرتفع بصورت جامع کشف نشده‌اند که برخی از این کاستی‌ها در شکل ۱۱ با بزرگنمایی کردن عارضه نشان داده شده است.

در شکل ۱۲ نیز نتایج شناسایی عوارض مرتفع و کم ارتفاع بر اساس nDSM‌های بدست آمده از روش‌های SLA و DSLA نشان داده شده است بطوریکه عوارض مرتفع و کم ارتفاع به ترتیب با رنگ‌های قهوه‌ای و سبز نشان داده شده است.

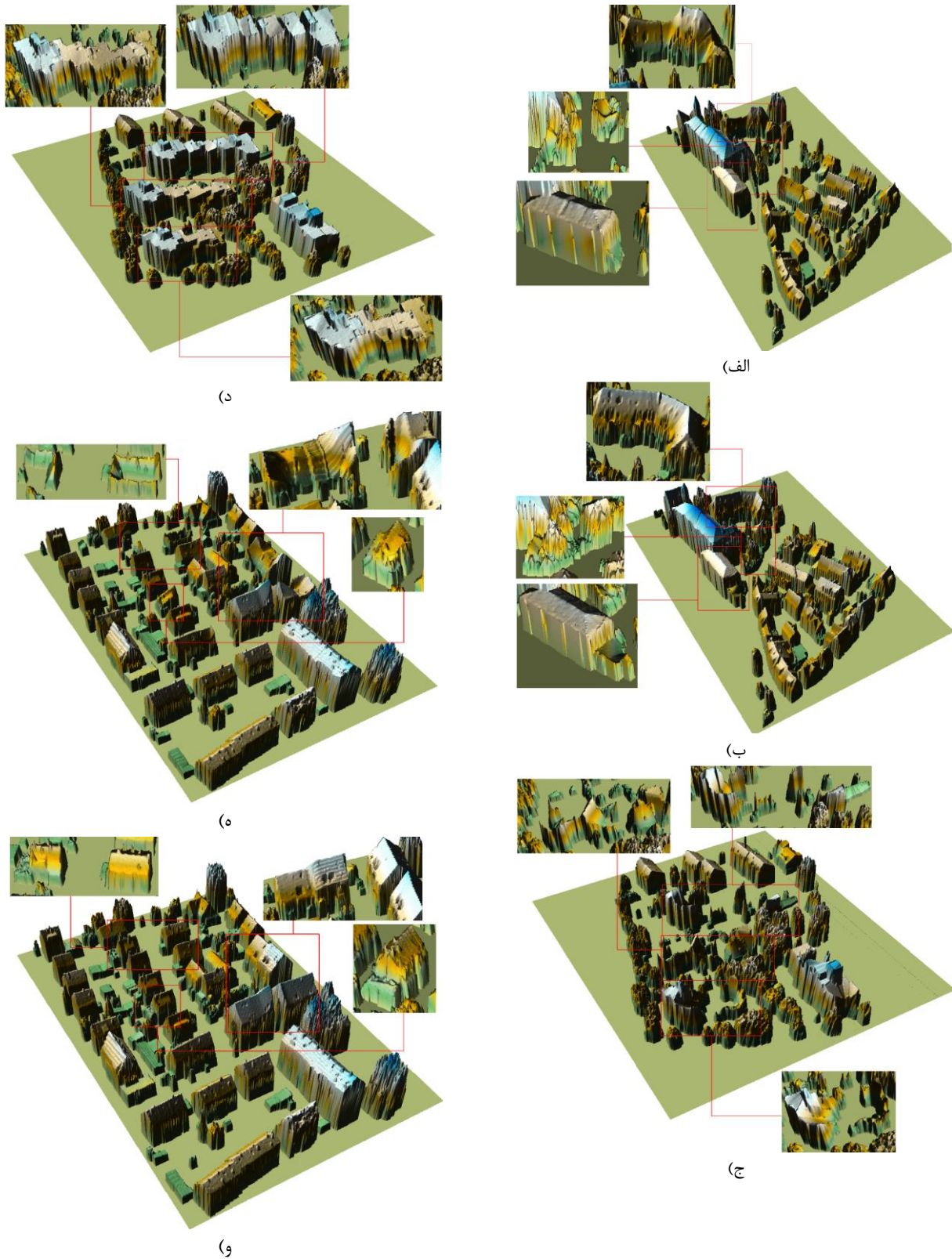
در این پژوهش، داده‌های مرجع توسط ISPRS-WGIII/4 تولید شده است. داده‌های مرجع عوارض مرتفع از اجتماع داده‌های مرجع ساختمان و درختان بدست آمده است و هم چنین مکمل داده مرجع عوارض مرتفع در محدوده ماسک مرزی بعنوان داده مرجع عوارض کم ارتفاع انتخاب شده است. داده‌های مرجع عوارض مرتفع و کم ارتفاع در شکل ۱۳ قابل مشاهده است بطوریکه عوارض مرتفع و کم ارتفاع به ترتیب با رنگ‌های قهوه‌ای و سبز نشان داده شده است.

همانطور که از شکل ۹ قابل مشاهده است DTM تولید شده توسط روش DSLA به مراتب بهتر از DTM تولید شده توسط روش SLA می‌باشد. بدلیل آنکه DTM تولید شده توسط SLA با قسمت‌های از عوارض زمینی (ساختمان‌ها، درختان، بوته‌ها و ...) همراه می‌باشند در حالیکه در روش DSLA، DTM تولید شده بهتر می‌باشد دلیل این امر جداسازی بهتر نقاط زمینی و غیرزمینی یا حذف عوارض با جامعیت و دقت بالا در روش DSLA می‌باشد. مطابق با رابطه (۷) و براساس DTM‌های تولید شده، nDSM هر منطقه براساس دو روش SLA و DSLA تولید شده است که در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- nDSM تولید شده براساس روش SLA (تصویر سمت راست) و روش DSLA (تصویر سمت چپ).
الف) منطقه ۱ ب) منطقه ۲ ج) منطقه ۳

در کشف عوارض مرتفع و کم ارتفاع از مقدار ۱/۵ متر برای حدآستانه Th_3 مذکور در رابطه (۸) استفاده شده است. سپس به ترتیب از فیلترهای مورفولوژی گشایش و انسداد با المان‌های ساختاری به ابعاد ۹×۹ و ۵×۵ پیکسل جهت



شکل ۱۱- nDSM مربوط به عوارض مرتفع

الف) براساس روش SLA منطقه مطالعاتی ۱ (ب) براساس روش
 DSLA منطقه مطالعاتی ۱ (ج) براساس روش SLA منطقه مطالعاتی ۲
 د) براساس روش DSLA منطقه مطالعاتی ۲ (ه) براساس روش SLA
 منطقه مطالعاتی ۳ (و) براساس روش DSLA منطقه مطالعاتی ۳

در این تحقیق، عوارض مرتفع و کم ارتفاع کشف شده با داده‌های مرجع تهیه شده توسط ISPRS-WGIII/4 مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج ارزیابی طبقه‌بندی عوارض مرتفع و کم ارتفاع بصورت ماتریس ابهام در جداول ۳ تا ۸ نشان داده شده است.

جدول ۳- ماتریس ابهام پیکسل‌مبنا برای طبقه‌بندی عوارض مرتفع و کم ارتفاع براساس روش SLA در منطقه مطالعاتی ۱ (صحت کلی ۸۵/۴۸٪)

مرجع \ کشف شده	عوارض مرتفع	عوارض کم ارتفاع
عوارض مرتفع	۱۰۸۴۱۶	۲۷۲۶۵
عوارض کم ارتفاع	۱۲۱۹۲	۱۲۳۹۴۰

جدول ۴- ماتریس ابهام پیکسل‌مبنا برای طبقه‌بندی عوارض مرتفع و کم ارتفاع براساس روش DSLA در منطقه مطالعاتی ۱ (صحت کلی ۸۶/۷۲٪)

مرجع \ کشف شده	عوارض مرتفع	عوارض کم ارتفاع
عوارض مرتفع	۱۱۶۵۶۵	۱۹۱۱۶
عوارض کم ارتفاع	۱۶۹۷۱	۱۱۹۱۶۱

جدول ۵- ماتریس ابهام پیکسل‌مبنا برای طبقه‌بندی عوارض مرتفع و کم ارتفاع براساس روش SLA در منطقه مطالعاتی ۲ (صحت کلی ۸۳/۴۴٪)

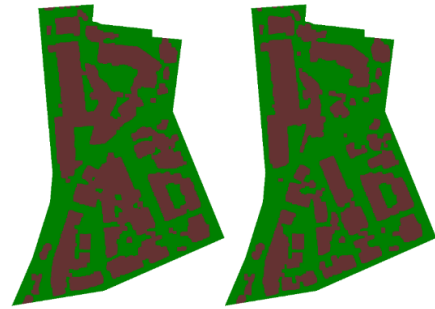
مرجع \ کشف شده	عوارض مرتفع	عوارض کم ارتفاع
عوارض مرتفع	۱۱۲۷۹۹	۳۱۷۱۲
عوارض کم ارتفاع	۳۳۸۹۸	۲۱۷۸۳۵

جدول ۶- ماتریس ابهام پیکسل‌مبنا برای طبقه‌بندی عوارض مرتفع و کم ارتفاع براساس روش DSLA در منطقه مطالعاتی ۲ (صحت کلی ۸۶/۴۷٪)

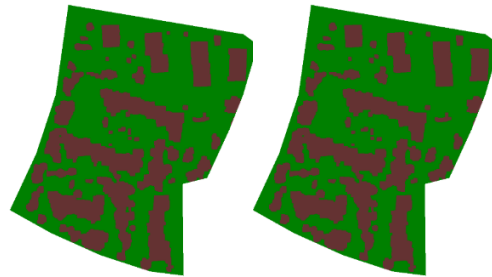
مرجع \ کشف شده	عوارض مرتفع	عوارض کم ارتفاع
عوارض مرتفع	۱۱۸۴۳۳	۲۶۰۷۸
عوارض کم ارتفاع	۲۷۵۴۶	۲۲۴۱۸۷

جدول ۷- ماتریس ابهام پیکسل‌مبنا برای طبقه‌بندی عوارض مرتفع و کم ارتفاع براساس روش SLA در منطقه مطالعاتی ۳ (صحت کلی ۹۰/۳۴٪)

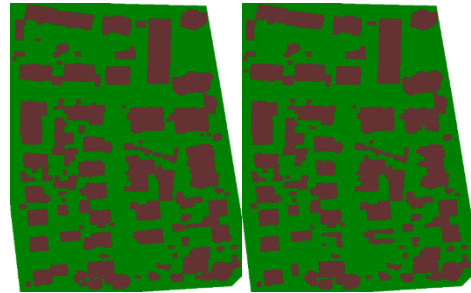
مرجع \ کشف شده	عوارض مرتفع	عوارض کم ارتفاع
عوارض مرتفع	۱۴۳۷۸۸	۲۹۲۹۷
عوارض کم ارتفاع	۱۲۷۹۸	۲۴۹۹۱۴



(الف)

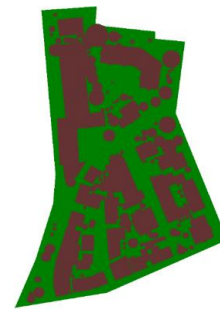


(ب)

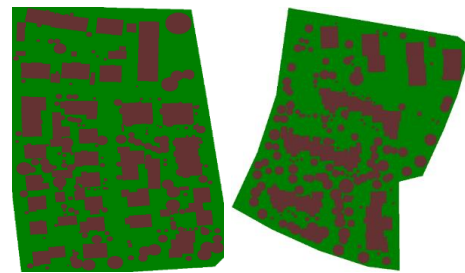


(ج)

شکل ۱۲- عوارض مرتفع و کم ارتفاع شناسایی شده توسط روش SLA (تصویر سمت راست) و روش DSLA (تصویر سمت چپ). (الف) منطقه ۱ (ب) منطقه ۲ (ج) منطقه ۳



(الف)



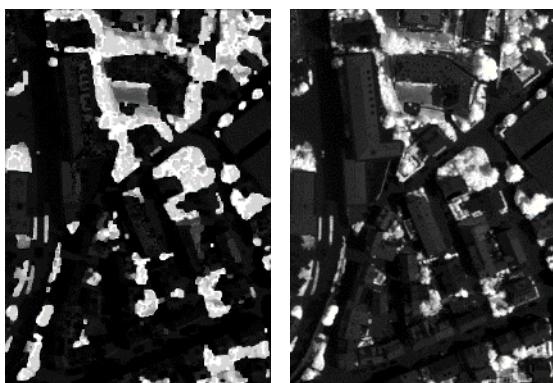
(ج)

(ب)

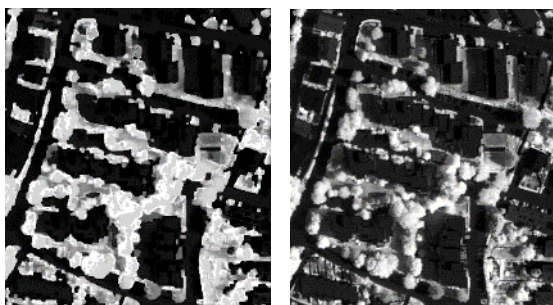
شکل ۱۳- داده‌های مرجع برای عوارض مرتفع و کم ارتفاع (الف) منطقه ۱ (ب) منطقه ۲ (ج) منطقه ۳

۳-۴- جداسازی مناطق گیاهی و غیرگیاهی

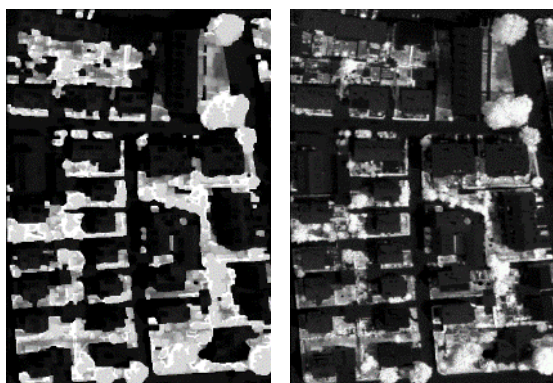
شاخص گیاهی SR و شاخص گیاهی تقویت شده SR^{Enriched} برای هر سه منطقه مطالعاتی در شکل ۱۴ نشان داده شده است. تصاویر تولید شده برای شاخص‌های گیاهی بین ۰ تا ۲۵۵ نرمال سازی شده‌اند. مطابق رابطه (۱۳) جهت جداسازی مناطق گیاهی و غیرگیاهی از حدآستانه‌گذاری بر روی شاخص گیاهی تقویت شده، SR^{Enriched} استفاده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۴- شاخص گیاهی SR (تصویر سمت راست) و شاخص گیاهی تقویت شده SR^{Enriched} (تصویر سمت چپ) (الف منطقه ۱ ب منطقه ۲ ج منطقه ۳)

در این بخش جهت مقایسه قابلیت شاخص گیاهی SR با شاخص گیاهی تقویت شده SR^{Enriched}، بر روی هر دو

جدول ۸- ماتریس ابهام پیکسل مینا برای طبقه‌بندی عوارض مرتفع و کم ارتفاع براساس روش DSLA در منطقه مطالعاتی ۳ (صحت کلی ۰/۹۱/۵۱)

عوارض کم ارتفاع	عوارض مرتفع	کشف شده / مرجع
۲۶۰۷۸	۱۵۰۱۶۴	عوارض مرتفع
۲۴۸۶۴۲	۱۴۰۷۰	عوارض کم ارتفاع

نتایج ارزیابی‌ها جداول ۳ تا ۸ نشان می‌دهند که در طبقه‌بندی و شناسایی عوارض مرتفع و کم ارتفاع، صحت کلی روش DSLA نسبت به روش SLA بالاتر می‌باشد. به ازای استفاده از روش DSLA، متوسط افزایش نرخ صحت کلی در سه منطقه مطالعاتی تقریباً ۱/۱۸٪ می‌باشد. نتایج ارزیابی طبقه‌بندی عوارض مرتفع و کم ارتفاع براساس شاخص‌های جامع بودن، صحیح بودن و کیفیت در جداول ۹ و ۱۰ قابل مشاهده است. شاخص‌های بیان شده در جداول ۹ و ۱۰ برحسب درصد می‌باشند. نتایج ارزیابی جداول ۹ و ۱۰ نشان می‌دهند که هم در شناسایی عوارض مرتفع و هم در شناسایی عوارض کم ارتفاع، شاخص کیفیت در روش DSLA نسبت به روش SLA افزایش پیدا کرده است. متوسط نرخ افزایش شاخص کیفیت در سه منطقه مطالعاتی به ازای استفاده از روش DSLA برای عوارض مرتفع و کم ارتفاع به ترتیب ۳/۸۵٪ و ۲/۰۷٪ می‌باشد. هم چنین نتایج ارزیابی جداول ۹ و ۱۰ نشان می‌دهند که عوارض مرتفع و کم ارتفاع در هر سه منطقه مطالعاتی با جامعیت و صحت قابل قبولی شناسایی شده‌اند.

جدول ۹- ارزیابی پیکسل مینا عوارض مرتفع شناسایی شده

منطقه ۳	منطقه ۲	منطقه ۱	شاخص	روش
۸۳/۰۷	۷۶/۰۶	۷۹/۹۱	جامع بودن	SLA
۹۱/۸۳	۷۶/۸۹	۸۹/۸۹	صحیح بودن	
۷۷/۳۵	۶۳/۲۲	۷۳/۳۲	کیفیت	
۸۶/۷۶	۸۱/۹۵	۸۵/۹۱	جامع بودن	DSLA
۹۱/۴۳	۸۱/۱۳	۸۷/۲۹	صحیح بودن	
۸۰/۲۴	۶۸/۸۳	۷۶/۳۶	کیفیت	

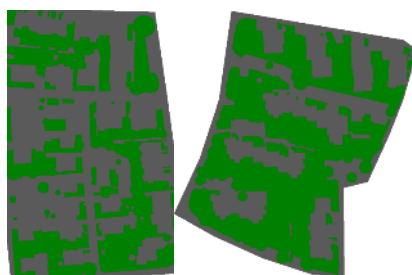
جدول ۱۰- ارزیابی پیکسل مینا عوارض کم ارتفاع شناسایی شده

منطقه ۳	منطقه ۲	منطقه ۱	شاخص	روش
۹۵/۱۳	۸۶/۵۳	۹۱/۰۴	جامع بودن	SLA
۸۹/۵۱	۸۷/۲۹	۸۱/۹۷	صحیح بودن	
۸۵/۵۸	۷۶/۸۵	۷۵/۸۵	کیفیت	
۹۴/۶۴	۸۹/۰۶	۸۷/۵۳	جامع بودن	DSLA
۹۱/۵۶	۸۹/۵۸	۸۶/۱۶	صحیح بودن	
۸۷/۰۵	۸۰/۷۰	۷۶/۷۶	کیفیت	

بعنوان داده مرجع مناطق غیرگیاهی انتخاب شده است. در شکل ۱۶ مناطق گیاهی و غیرگیاهی به ترتیب با رنگ‌های سبز و خاکستری نشان داده شده‌اند.



(الف)



(ج)

(ب)

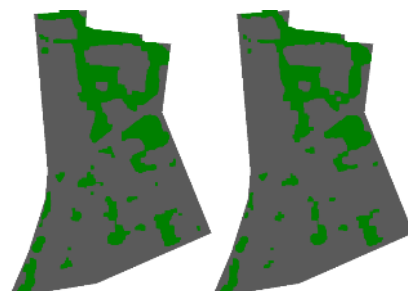
شکل ۱۶- داده‌های مرجع برای مناطق گیاهی و غیرگیاهی
(الف) منطقه ۱ (ب) منطقه ۲ (ج) منطقه ۳

مناطق گیاهی و غیرگیاهی شناسایی شده توسط شاخص‌های گیاهی SR و $SR_{Enriched}$ با داده‌های مرجع مورد ارزیابی قرار گرفتند که ماتریس ابهام مربوط به این ارزیابی‌ها در جداول ۱۱-۱۶ ارائه گردیده است. نتایج ارزیابی‌های جداول ۱۱-۱۶ بیان می‌کند که جداسازی یا طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیرگیاهی با استفاده از شاخص $SR_{Enriched}$ در مقایسه با شاخص SR بهبود یافته است. این بهبود به طور متوسط معادل با افزایش تقریبی ۲٪ در شاخص صحت کلی می‌باشد. هم چنین نتایج ارزیابی طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیرگیاهی براساس شاخص‌های ارزیابی جامع بودن، صحیح بودن و کیفیت در جداول ۱۷ و ۱۸ نشان داده شده است.

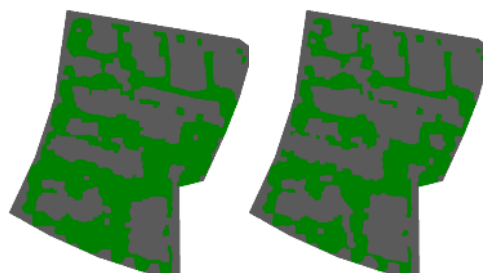
جدول ۱۱- ماتریس ابهام پیکسل‌مبنا برای طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیرگیاهی با استفاده از شاخص SR در منطقه مطالعاتی ۱ (صحت کلی ۸۷/۹۳٪)

		کشف شده / مرجع
مناطق غیرگیاهی	مناطق گیاهی	مناطق گیاهی
۲۴۴۳۹	۴۷۶۲۱	مناطق غیرگیاهی
۱۹۱۴۵۳	۸۲۸۷	

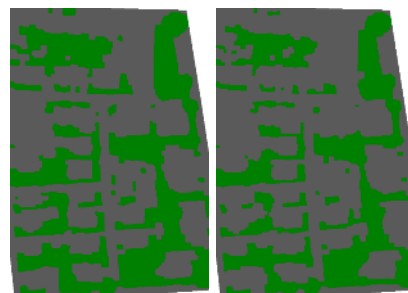
شاخص مذکور حدآستانه‌گذاری انجام گرفته است و سپس قابلیت هر شاخص در شناسایی مناطق گیاهی (درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع) مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق، مقدار حدآستانه Th_0 برای هر دو شاخص گیاهی اصلی و تقویت شده در تمام مناطق مطالعاتی ۷۰ (در مقیاس تصویر نرمال‌سازی شده بین ۰ تا ۲۵۵) در نظر گرفته شده است. نتایج شناسایی مناطق گیاهی و غیرگیاهی در شکل ۱۵ نشان داده شده است بطوریکه مناطق گیاهی و غیرگیاهی به ترتیب با رنگ‌های سبز و خاکستری نشان داده شده‌اند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۵- جداسازی مناطق گیاهی و غیرگیاهی با استفاده از شاخص SR (تصویر راست) و شاخص $SR_{Enriched}$ (تصویر چپ)
(الف) منطقه ۱ (ب) منطقه ۲ (ج) منطقه ۳

داده‌های مرجع برای مناطق گیاهی از اجتماع داده‌های مرجع درختان (شکل ۴) و داده مرجع پوشش گیاهی کم ارتفاع (شکل ۵) بدست آمده است که هر دو این داده‌های مرجع توسط ISPRS-WGIII/4 تهیه شده است. هم چنین مکمل داده مرجع مناطق گیاهی در محدوده ماسک مرزی

جدول ۱۸- ارزیابی پیکسل مینا مناطق غیر گیاهی شناسایی شده

شاخص گیاهی	شاخص ارزیابی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳
SR	جامع بودن	۹۵/۸۰	۸۸/۷۷	۹۱/۶۵
	صحیح بودن	۸۸/۶۸	۶۵/۶۰	۸۳/۵۴
	کیفیت	۸۵/۳۶	۶۰/۱۱	۷۷/۶۳
Enriched SR	جامع بودن	۹۳/۵۷	۸۴/۱۵	۸۸/۷۴
	صحیح بودن	۹۱/۱۳	۷۱/۴۹	۸۷/۳۵
	کیفیت	۸۵/۷۶	۶۳/۰۱	۷۸/۶۳

شاخص‌های بیان شده در جداول ۱۷ و ۱۸ برحسب درصد می‌باشند. همانطور که از جداول ۱۷ و ۱۸ نیز قابل مشاهده است شاخص گیاهی SR^{Enriched} در مقایسه با شاخص SR مناطق گیاهی و غیر گیاهی را بهتر از هم تفکیک نموده است بطوریکه شاخص کیفیت در شناسایی مناطق گیاهی و غیر گیاهی به طور متوسط به ترتیب ۵/۵۶٪ و ۱/۴۳٪ افزایش داشته است. در شکل ۱۷ نمودار مربوط به تاثیر حدآستانه Th_4 بر شاخص صحت کلی طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیر گیاهی با استفاده از شاخص‌های SR و SR^{Enriched} مورد بررسی قرار گرفته است. در این بررسی محدوده Th_4 مابین ۱ تا ۲۵۴ می‌باشد.

نمودارهای شکل ۱۷ بیان می‌کند که صحت کلی طبقه‌بندی با استفاده از شاخص SR^{Enriched} به جزء محدوده کوچکی در منطقه مطالعاتی ۲، به ازای تمام حدآستانه های Th_4 و تمام مناطق مطالعاتی بالاتر از صحت کلی طبقه‌بندی با استفاده از شاخص SR می‌باشد. جهت برآورد میزان افزایش صحت کلی طبقه‌بندی در صورت استفاده از شاخص SR^{Enriched} از مجموع اختلافات دو نمودار در محدوده ۱ تا ۲۵۴ برای هر منطقه مطالعاتی میانگین‌گیری شده است. نتایج محاسبات نشان دادند که استفاده از شاخص SR^{Enriched} در مناطق مطالعاتی ۱، ۲ و ۳ به طور متوسط به ترتیب باعث افزایش ۶٪، ۲۷٪، ۲۹٪ و ۷/۳۷٪ صحت کلی طبقه‌بندی شده است.

جدول ۱۲- ماتریس ابهام پیکسل مینا برای طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیر گیاهی با استفاده از شاخص SR^{Enriched} در منطقه مطالعاتی ۱ (صحت کلی ۸۸/۵۸٪)

کشف شده / مرجع	مناطق گیاهی	مناطق غیر گیاهی
مناطق گیاهی	۵۳۸۴۹	۱۸۲۱۱
مناطق غیر گیاهی	۱۲۸۴۸	۱۸۶۹۰

جدول ۱۳- ماتریس ابهام پیکسل مینا برای طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیر گیاهی با استفاده از شاخص SR در منطقه مطالعاتی ۲ (صحت کلی ۷۳/۲۴٪)

کشف شده / مرجع	مناطق گیاهی	مناطق غیر گیاهی
مناطق گیاهی	۱۳۰۳۴۶	۸۳۷۲۳
مناطق غیر گیاهی	۲۲۲۵۰	۱۵۹۶۹۳

جدول ۱۴- ماتریس ابهام پیکسل مینا برای طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیر گیاهی با استفاده از شاخص SR^{Enriched} در منطقه مطالعاتی ۲ (صحت کلی ۷۷/۳۰٪)

کشف شده / مرجع	مناطق گیاهی	مناطق غیر گیاهی
مناطق گیاهی	۱۵۳۰۲۶	۶۱۰۴۳
مناطق غیر گیاهی	۲۸۸۴۵	۱۵۳۰۹۸

جدول ۱۵- ماتریس ابهام پیکسل مینا برای طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیر گیاهی با استفاده از شاخص SR در منطقه مطالعاتی ۳ (صحت کلی ۸۳/۷۱٪)

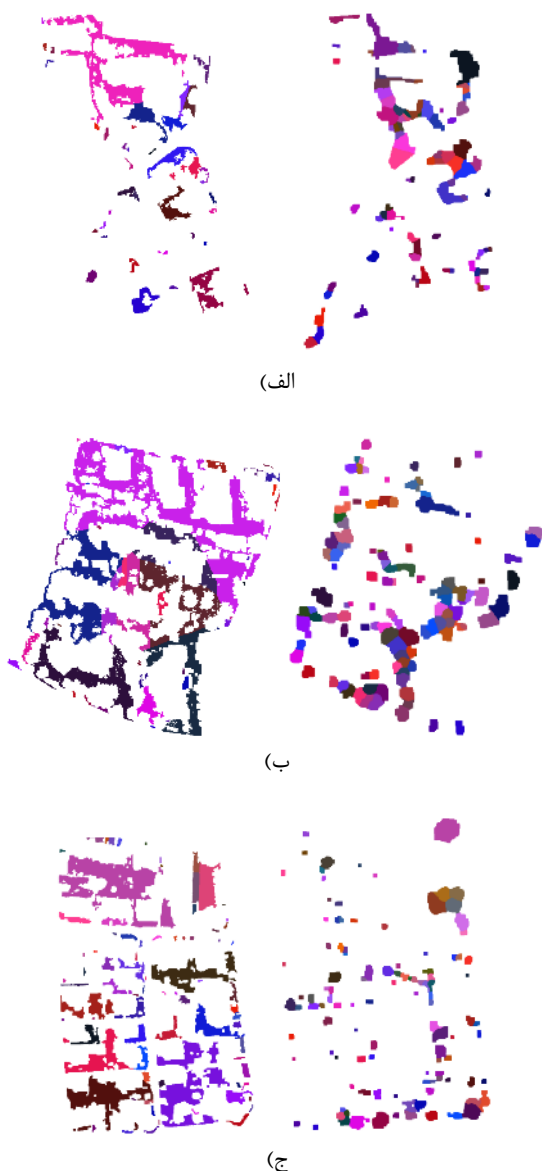
کشف شده / مرجع	مناطق گیاهی	مناطق غیر گیاهی
مناطق گیاهی	۱۱۴۰۵۷	۴۶۷۷۷
مناطق غیر گیاهی	۲۱۶۴۰	۲۳۷۳۹۶

جدول ۱۶- ماتریس ابهام پیکسل مینا برای طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیر گیاهی با استفاده از شاخص SR^{Enriched} در منطقه مطالعاتی ۳ (صحت کلی ۸۵/۱۲٪)

کشف شده / مرجع	مناطق گیاهی	مناطق غیر گیاهی
مناطق گیاهی	۱۲۷۵۴۱	۳۳۲۹۳
مناطق غیر گیاهی	۲۹۱۶۵	۲۲۹۸۷۱

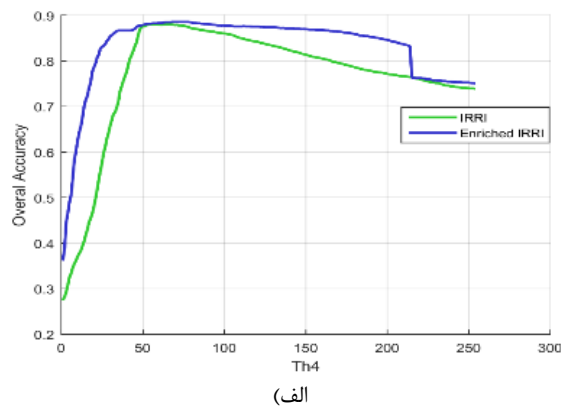
جدول ۱۷- ارزیابی پیکسل مینا مناطق گیاهی شناسایی شده

شاخص گیاهی	شاخص ارزیابی	منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳
SR	جامع بودن	۶۶/۰۹	۶۰/۸۹	۷۰/۹۲
	صحیح بودن	۸۵/۰۳	۸۵/۴۲	۸۴/۰۵
	کیفیت	۵۹/۲۰	۵۵/۱۶	۶۲/۵۱
Enriched SR	جامع بودن	۷۴/۷۳	۷۱/۴۸	۷۹/۳۰
	صحیح بودن	۸۰/۷۴	۸۴/۱۴	۸۱/۳۹
	کیفیت	۶۳/۴۲	۶۳/۰۰	۶۷/۱۳

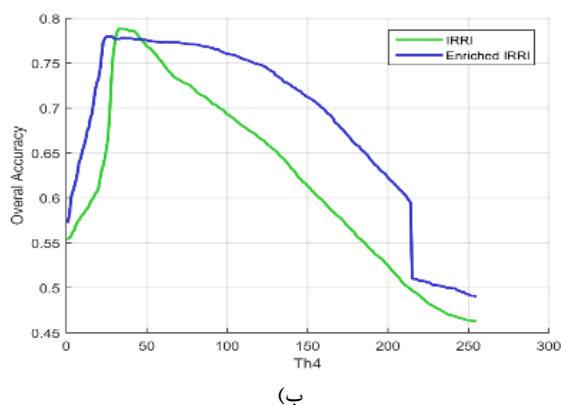


شکل ۱۸- درختان شناسایی شده (تصویر سمت راست) و پوشش گیاهی کم ارتفاع شناسایی شده (تصویر سمت چپ)
الف) منطقه ۱ ب) منطقه ۲ ج) منطقه ۳

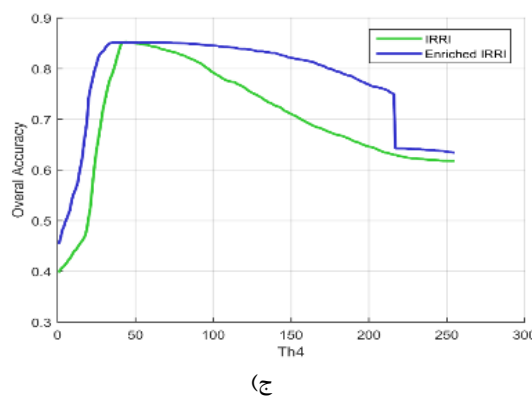
نتایج شناسایی درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع براساس تفکیک پیکسل‌های TP، FN و FP در شکل ۱۹ قابل مشاهده است بطوریکه پیکسل‌های TP، FN و FP به ترتیب با رنگ‌های زرد، آبی و قرمز نشان داده شده است.



الف)



ب)



ج)

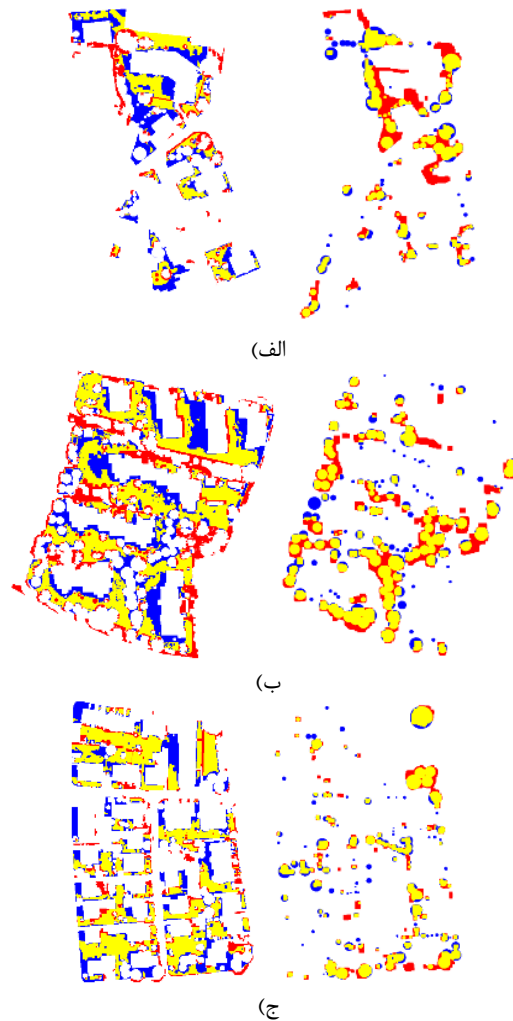
شکل ۱۷- تاثیر حدآستانه Th_4 بر شاخص صحت کلی طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیرگیاهی با استفاده از شاخص‌های SR (نمودار سبز رنگ) و $SR_{Enriched}$ (نمودار آبی رنگ)
الف) منطقه ۱ ب) منطقه ۲ ج) منطقه ۳

۴-۴- شناسایی درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع

در این تحقیق، مناطق گیاهی کشف شده با مناطق مرتفع و کم ارتفاع اشتراک‌گیری شده‌اند تا به ترتیب درختان و مناطق گیاهی کم ارتفاع آشکارسازی گردند. درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع به تفکیک برای هر منطقه در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

ارزیابی درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع شناسایی شده در این پژوهش بطور مستقیم توسط ISPRS-WGIII/4 انجام گرفته است. نتایج ارزیابی‌های درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع در جداول ۱۹ و ۲۰ و نمودارهای شکل ۲۰ و ۲۱ ارائه شده است که برحسب درصد بیان شده‌اند.

در این مناطق مطالعاتی، سایر محققین نیز جهت شناسایی و طبقه‌بندی درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع الگوریتم‌هایی ارائه داده‌اند. قابل ذکر است که جزئیات نتایج این پژوهش به همراه ارزیابی‌های انجام گرفته توسط ISPRS-WGIII/4 در مقایسه با الگوریتم‌های ارائه شده توسط سایر محققین در لینک‌های [۶۶-۶۸] و مقاله چاپ شده توسط ISPRS-WGIII/4 [۶۹] قابل دسترسی است بطوریکه روش مولفین مقاله با حروف اختصاری KNTU مشخص شده است. نتایج ارزیابی‌های پیکسل‌مبنا و عارضه‌مبنا روش پیشنهادی در مقایسه با روش سایر محققین در جداول ۲۰ و ۲۱ ارائه شده است که برحسب درصد بیان شده‌اند. لازم به ذکر است که در جداول ۲۰ و ۲۱، تنها نتایج ارزیابی روش‌هایی آورده شده است که نتایجشان هم برای درختان و هم برای پوشش گیاهی کم ارتفاع در سه منطقه مطالعاتی در لینک‌های [۶۶-۶۸] قابل دسترسی است. شاخص‌های بیان شده در جداول ۲۰ و ۲۱ میانگین شاخص‌های بدست آمده در سه منطقه مطالعاتی می‌باشند.



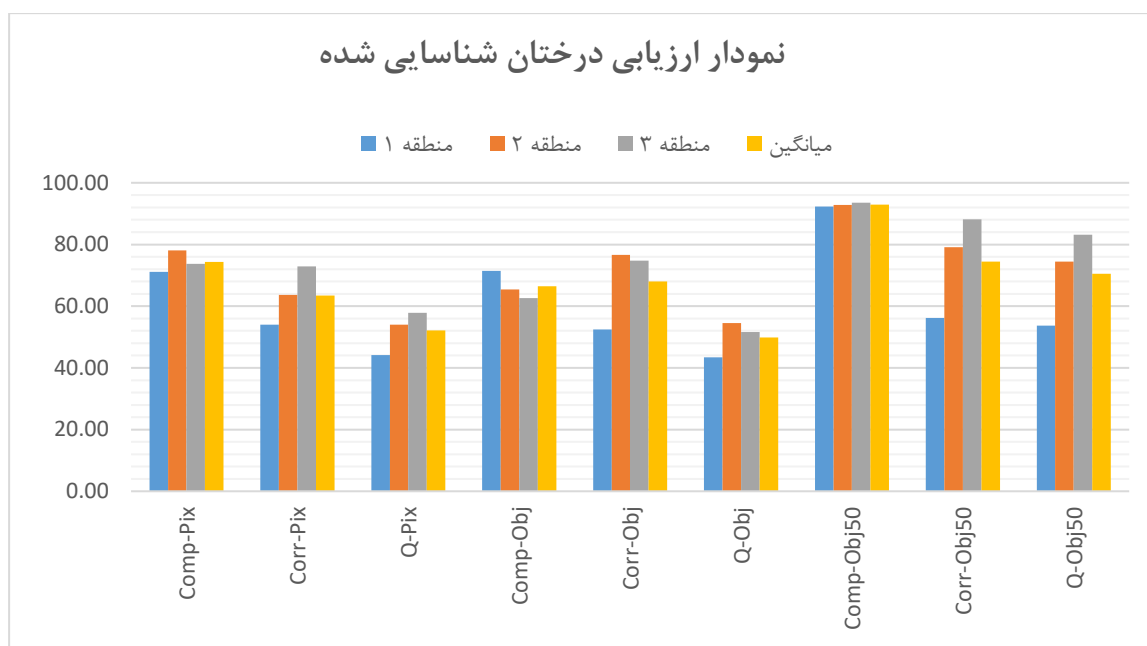
شکل ۱۹- درختان شناسایی شده (تصویر سمت راست) و پوشش گیاهی کم ارتفاع شناسایی شده (تصویر سمت چپ) براساس تفکیک پیکسل‌های TP، FN و FP [۶۰-۶۵].
الف) منطقه ۱ ب) منطقه ۲ ج) منطقه ۳

جدول ۱۹- نتایج ارزیابی‌های درختان شناسایی شده بر اساس شاخص‌های پیکسل‌مبنا و عارضه‌مبنا [۶۶-۶۹]

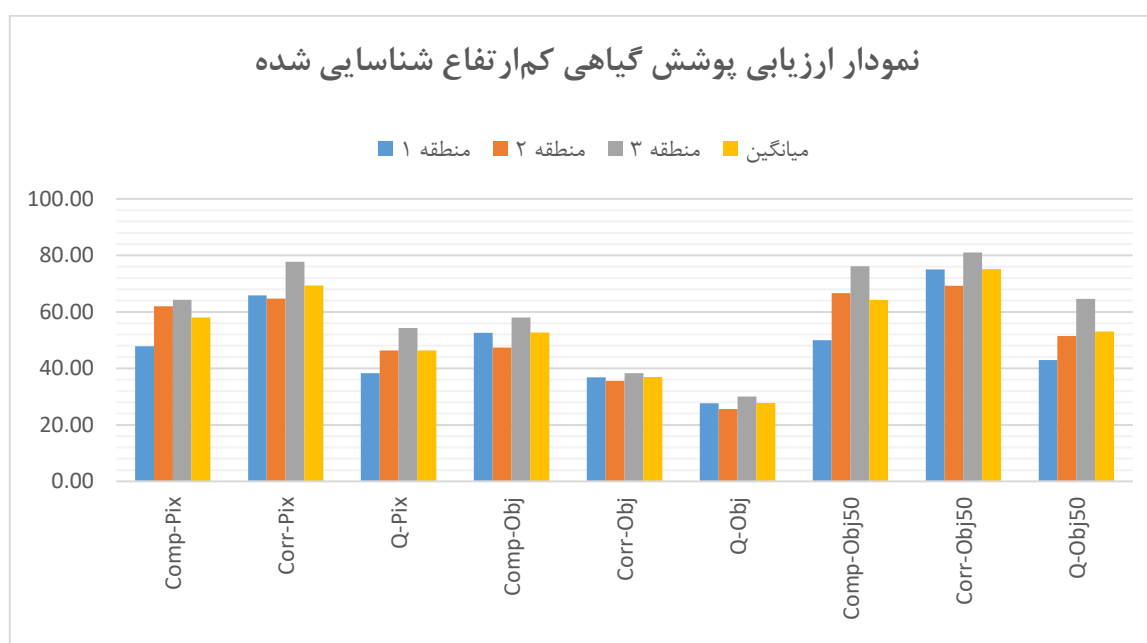
منطقه مطالعاتی	شاخص‌های پیکسل‌مبنا			شاخص‌های عارضه‌مبنا			شاخص‌های عارضه‌مبنا برای عوارض بزرگتر از ۵۰ m ²		
	جامع بودن	صحیح بودن	کیفیت	جامع بودن	صحیح بودن	کیفیت	جامع بودن	صحیح بودن	کیفیت
۱	۷۱/۱	۵۴/۰	۴۴/۳	۷۱/۴	۵۲/۵	۴۳/۴	۹۲/۳	۵۶/۳	۵۳/۷
۲	۷۸/۱	۶۳/۷	۵۴/۰	۶۵/۴	۷۶/۶	۵۴/۵	۹۲/۸	۷۹/۱	۷۴/۵
۳	۷۳/۷	۷۲/۹	۵۷/۹	۶۲/۶	۷۴/۸	۵۱/۷	۹۳/۵	۸۸/۲	۸۳/۲
میانگین	۷۴/۳	۶۳/۵	۵۲/۱	۶۶/۵	۶۸/۰	۴۹/۹	۹۲/۹	۷۴/۵	۷۰/۵

جدول ۲۰- نتایج ارزیابی‌های پوشش گیاهی کم ارتفاع شناسایی شده بر اساس شاخص‌های پیکسل‌مبنا و عارضه‌مبنا [۶۶-۶۸]

منطقه مطالعاتی	شاخص‌های پیکسل‌مبنا			شاخص‌های عارضه‌مبنا			شاخص‌های عارضه‌مبنا برای عوارض بزرگتر از ۵۰ m ²		
	جامع بودن	صحیح بودن	کیفیت	جامع بودن	صحیح بودن	کیفیت	جامع بودن	صحیح بودن	کیفیت
۱	۴۷/۸	۶۵/۹	۳۸/۳	۵۲/۶	۳۶/۸	۲۷/۷	۵۰/۰	۷۵/۰	۴۲/۹
۲	۶۲/۰	۶۴/۷	۴۶/۳	۴۷/۴	۳۵/۷	۲۵/۶	۶۶/۷	۶۹/۲	۵۱/۴
۳	۶۴/۳	۷۷/۷	۵۴/۳	۵۸/۰	۳۸/۳	۳۰/۰	۷۶/۲	۸۱/۰	۶۴/۶
میانگین	۵۸/۰	۶۹/۴	۴۶/۳	۵۲/۷	۳۶/۹	۲۷/۸	۶۴/۳	۷۵/۱	۵۳/۰



شکل ۲۰- نمودار میله‌ای ارزیابی درختان شناسایی شده بر اساس شاخص‌های پیکسل‌مبنا و عارضه‌مبنا [۶۶-۶۹]



شکل ۲۱. نمودار میله‌ای ارزیابی پوشش گیاهی کم ارتفاع شناسایی شده بر اساس شاخص‌های پیکسل‌مبنا و عارضه‌مبنا [۶۶-۶۸]

شاخص‌های ارزیابی پیکسل‌مبنا و عارضه‌مبنا جامع بودن و صحیح بودن قابل دسترسی می‌باشد که با در دست داشتن شاخص جامع بودن و صحیح بودن، شاخص کیفیت در حالت پیکسل‌مبنا و عارضه‌مبنا به ترتیب با استفاده از روابط (۱۹) و (۲۲) قابل محاسبه می‌باشد. در انتهای جداول ۲۱ و ۲۲، از مقادیر شاخص‌های ارزیابی تمامی روش‌ها به جزء روش پیشنهادی میانگین‌گیری شده است تا مقادیر شاخص‌های ارزیابی روش پیشنهادی نسبت به میانگین مقادیر شاخص‌های ارزیابی سایر روش‌ها سنجیده شود.

در مقاله چاپ شده توسط ISPRS-WGIII/4 نتایج ارزیابی درختان شناسایی شده بیان شده است و نتایج ارزیابی پوشش گیاهی کم ارتفاع کشف شده بیان نشده است. نتایج ارزیابی پوشش گیاهی کم ارتفاع فقط در لینک‌های [۶۶-۶۸] قابل دسترسی است به همین دلیل جهت بدست آوردن میانگین مقدار شاخص‌های ارزیابی برای پوشش گیاهی کم ارتفاع، در تمام روش‌ها از مقادیر شاخص‌های ارزیابی ذکر شده در لینک‌های فوق میانگین‌گیری شده است. از طرفی در لینک‌های فوق، فقط

جدول ۲۱- میانگین شاخص‌های ارزیابی پیکسل مینا و عارضه مینا برای درختان شناسایی شده در سه منطقه مطالعاتی توسط روش پیشنهادی و سایر الگوریتم‌های ارائه شده [۶۹]

روش	شاخص‌های پیکسل مینا			شاخص‌های عارضه مینا			شاخص‌های عوارض بزرگتر از ۵۰ m ²		
	کیفیت	صحیح بودن	جامع بودن	کیفیت	صحیح بودن	جامع بودن	کیفیت	صحیح بودن	کیفیت
KNTU	۷۴/۳	۶۳/۵	۵۲/۱	۶۶/۵	۶۸/۰	۴۹/۹	۹۲/۹	۷۴/۵	۷۰/۵
CAL1	۷۰/۸	۶۶/۵	۴۸/۰	۶۷/۷	۴۲/۶	۳۱/۵	۸۳/۳	۸۶/۷	۷۰/۱
CAL2	۶۷/۲	۷۰/۴	۵۲/۸	۵۷/۲	۷۵/۰	۴۸/۴	۸۲/۶	۸۲/۹	۷۳/۳
HANC1	۵۷/۱	۷۳/۱	۴۷/۰	۳۸/۲	۶۷/۲	۳۳/۲	۷۱/۵	۸۶/۰	۶۶/۲
ITCM	۴۹/۲	۶۹/۴	۴۰/۴	۳۷/۴	۶۵/۳	۳۱/۲	۷۲/۵	۸۷/۹	۶۵/۸
ITCR	۶۴/۰	۶۶/۹	۴۷/۹	۵۱/۲	۶۵/۴	۴۱/۰	۸۵/۸	۸۷/۵	۷۵/۴
LJU1	۷۵/۰	۵۹/۹	۴۹/۴	۷۱/۰	۴۷/۲	۳۹/۶	۹۰/۶	۷۶/۲	۷۰/۶
TUM	۷۳/۳	۷۶/۶	۵۷/۸	۵۹/۲	۷۲/۴	۴۸/۰	۹۳/۲	۹۸/۳	۹۱/۶
WHUZ	۵۲/۸	۶۷/۴	۴۲/۲	۴۱/۸	۵۷/۵	۳۱/۹	۶۳/۵	۸۴/۵	۵۶/۹
میانگین	۶۳/۳	۶۸/۸	۴۸/۲	۵۳/۰	۶۱/۶	۳۸/۱	۸۰/۴	۸۶/۳	۷۱/۲

جدول ۲۲- میانگین شاخص‌های ارزیابی پیکسل مینا و عارضه مینا برای پوشش گیاهی کم ارتفاع شناسایی شده در سه منطقه مطالعاتی توسط روش پیشنهادی و سایر الگوریتم‌های ارائه شده

روش	شاخص‌های پیکسل مینا			شاخص‌های عارضه مینا			شاخص‌های عوارض بزرگتر از ۵۰ m ²		
	کیفیت	صحیح بودن	جامع بودن	کیفیت	صحیح بودن	جامع بودن	کیفیت	صحیح بودن	کیفیت
KNTU	۵۸/۰	۶۹/۴	۴۶/۳	۵۲/۷	۳۶/۹	۲۷/۸	۶۴/۳	۷۵/۱	۵۳/۰
CAL1	۸۴/۴	۸۰/۶	۳۰/۰	۱۶/۵	۴۲/۲	۱۳/۵	۱۴/۷	۸۱/۵	۱۴/۲
CAL2	۶۸/۲	۷۵/۸	۵۶/۰	۶۴/۴	۳۶/۰	۳۰/۰	۸۲/۷	۸۳/۳	۷۱/۰
HANC1	۸۴/۴	۵۸/۶	۵۲/۹	۷۹/۵	۲۱/۳	۲۶/۱	۹۱/۷	۴۴/۱	۵۵/۹
ITCM	۴۱/۲	۸۱/۳	۳۷/۶	۳۱/۳	۵۱/۵	۲۴/۲	۳۵/۳	۹۱/۷	۳۴/۲
ITCR	۶۴/۶	۷۴/۵	۵۲/۹	۵۲/۹	۴۷/۵	۳۳/۴	۷۱/۴	۷۸/۸	۵۹/۹
LJU1	۷۳/۲	۷۰/۶	۵۶/۱	۶۶/۲	۳۰/۱	۲۶/۱	۸۳/۱	۶۳/۰	۵۵/۹
TUM	۷۳/۳	۸۴/۲	۶۴/۴	۵۷/۸	۶۷/۱	۴۵/۰	۸۲/۹	۹۰/۹	۷۶/۶
WHUZ	۴۳/۵	۶۴/۱	۳۵/۰	۵۰/۰	۳۷/۱	۲۷/۱	۴۲/۹	۶۵/۸	۳۵/۱
میانگین	۶۰/۱	۷۳/۷	۴۸/۱	۵۲/۳	۴۱/۶	۲۷/۴	۶۳/۱	۷۴/۹	۴۸/۷

شاخص‌های ارزیابی پوشش گیاهی کم ارتفاع کشف شده توسط روش پیشنهادی نسبت به میانگین مقادیر شاخص‌های ارزیابی سایر روش‌ها وضعیت قابل قبولی را دارا می‌باشد به طوری که در حالت‌های ارزیابی عارضه مینا و عارضه مینا برای عوارض بزرگتر از ۵۰ m² مقدار شاخص کیفیت روش پیشنهادی نسبت به میانگین مقادیر شاخص کیفیت سایر روش‌ها بالاتر می‌باشد.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع از تصاویر هوایی و داده‌های لیزر اسکن هوایی شناسایی

همانطور که از جدول ۲۱ قابل مشاهده است روش پیشنهادی برای شناسایی درختان در مقایسه با سایر روش‌ها دارای بالاترین میانگین شاخص کیفیت در سطح عارضه می‌باشد [۶۹]، [۷۰]. هم چنین شاخص جامع بودن روش پیشنهادی نسبت به اکثر روش‌ها بالا می‌باشد بطوریکه شاخص جامع بودن روش پیشنهادی در حالت‌های ارزیابی پیکسل مینا و عارضه مینا برای عوارض بزرگتر از ۵۰ m² دارای رتبه دوم می‌باشد و در حالت عارضه مینا دارای رتبه سوم می‌باشد. علاوه بر این در مقایسه با سایر روش‌ها، در روش پیشنهادی درختان با شاخص صحیح بودن قابل قبولی شناسایی شده‌اند. نتایج ارزیابی جدول ۲۲ نیز نشان می‌دهد که مقادیر

ارزیابی عارضه‌مبنا و عارضه‌مبنا برای عوارض بزرگتر از m^2 ۵۰ مقدار شاخص کیفیت روش پیشنهادی نسبت به میانگین مقادیر شاخص کیفیت سایر روش‌ها بالاتر می‌باشد. در انتها پیشنهاد می‌گردد که از دیگر شاخص‌های گیاهی یا ویژگی‌های بافتی تقویت شده و یا ترکیبی که در جداسازی عوارض گیاهی و غیرگیاهی می‌تواند مفید واقع شود استفاده شود و کارایی آنان بررسی گردد. هم‌چنین با توجه به اینکه درختان بصورت عوارض دایره‌ای استخراج می‌گردند می‌توان بعد از شناسایی عوارض مربوط به درختان، دایره‌ای به مرکز عارضه شناسایی شده برازش داد به طوری که شعاع دایره از سطح یا مساحت عارضه شناسایی شده بعنوان درخت برآورد گردد.

سپاسگزاری

مجموعه داده مورد استفاده در این تحقیق توسط جامعه فتوگرامتری و سنجش از دور آلمان جهت انجام تحقیقات در زمینه طبقه‌بندی عوارض شهری و استخراج بازسازی سه‌بعدی ساختمان‌ها آماده گردیده است. بدین طریق از عواملین تهیه این مجموعه داده بخصوص جناب آقای دکتر Gerke که در تهیه داده‌های این تحقیق کمک کرده‌اند و ارزیابی نتایج این تحقیق را انجام داده‌اند کمال تشکر را داریم.

شدند. نتایج ارزیابی‌ها نشان دادند که در شناسایی عوارض مرتفع و کم ارتفاع، روش DSLA نسبت به روش SLA بهتر عمل می‌کند بطوریکه به ازای استفاده از روش DSLA شاخص صحت کلی و شاخص کیفیت برای عوارض مرتفع و کم ارتفاع در سه منطقه مطالعاتی بطور متوسط به ترتیب ۱/۱۸٪، ۳/۸۵٪ و ۲/۰۷٪ افزایش یافته است. هم‌چنین طبقه‌بندی مناطق گیاهی و غیرگیاهی بر اساس شاخص گیاهی تقویت یافته در مناطق سایه نسبت به شاخص گیاهی اصلی بهتر انجام گرفته است. نتایج ارزیابی‌ها نشان دادند که در نتیجه استفاده از شاخص گیاهی تقویت یافته، شاخص صحت کلی و شاخص کیفیت برای مناطق گیاهی و غیرگیاهی در سه منطقه مطالعاتی بطور متوسط به ترتیب ۲٪، ۵/۵۶٪ و ۱/۴۳٪ افزایش پیدا کرده است. در این تحقیق، درختان و پوشش گیاهی کم ارتفاع کشف شده توسط ISPRS-WGIII/4 مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این ارزیابی‌ها نشان دادند که شناسایی درختان توسط روش پیشنهادی دارای بالاترین مقدار شاخص کیفیت در حالت پیکسل‌مبنا می‌باشد. هم‌چنین درختان شناسایی شده در تمام حالت‌های ارزیابی جامعیت بسیار خوب و صحت قابل قبولی را دارا می‌باشند. علاوه بر این، نتایج ارزیابی‌ها نشان دادند که در این پژوهش پوشش گیاهی کم ارتفاع نسبت به حالت میانگین سایر روش‌ها وضعیت مناسبی را دارا می‌باشد به طوری که در حالت‌های

مراجع

- [1] Secord, J., and Zakhor, A. (2007). "Tree Detection in Urban Regions Using Aerial LiDAR and Image Data." IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. Vol. 4, No. 2, pp. 192-200.
- [2] Jiang, M., and Lin, Y. (2013). "Individual Deciduous Tree Recognition in Leaf-Off Aerial Ultrahigh Spatial Resolution Remotely Sensed Imagery." IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 10, No. 1, pp. 38-42.
- [3] Kalivasa, D.P., GEORGE, P. (2013). "Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology, Athens, Greece, September 5-7.
- [4] Iovan, C., Boldo, D., and Cord, M. (2008). "Detection, Characterization, and Modeling Vegetation in Urban Areas from High-Resolution Aerial Imagery." IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 1, No. 3, pp. 206-213.
- [5] Kim, S.R., Kwak, D.A., Lee, W.K., Son, Y., Bae, S.W., Kim, C. and Yoo, S. (2010). "Estimation of Carbon Storage Based on Individual Tree Detection In Pinus Densiflora Stands Using a Fusion of Aerial Photography and LiDAR Data." Science China Life Sciences, Vol. 53, No. 7, pp. 885-897.
- [6] Zhou, W., and Troy, A. (2008). "An Object-Oriented Approach for Analysing and Characterizing Urban Landscape at the Parcel Level." International Journal of Remote Sensing, Vol. 29, No. 11, pp. 3119-3135.
- [7] Lu, D., Hetrick, S., and Morgan, E. (2010). "Land Cover Classification in a Complex Urban-Rural Landscape with Quickbird Imagery." Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 76, No. 10, pp. 1159-1168.
- [8] Hecht, R., Meinel, G., and Buchroithner, M.F. (2008). "Estimation of Urban Green Volume Based on Single-Pulse LiDAR Data." IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing, Vol. 46, No. 11, pp. 3832-3840.

- [9] Secord, J., and Zakhor, A. (2007). "Tree Detection in Urban Regions Using Aerial LiDAR and Image Data." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 4, No. 2, pp. 196–200.
- [10] Zhou, W. (2013). "An Object-Based Approach for Urban Land Cover Classification: Integrating LiDAR Height and Intensity Data." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 10, No. 4, pp. 928-931.
- [11] Morsdorf, F., Meier, E., Kötz, B., Itien, K.I., Dobbertin, M. and Allgöwer, B. (2004). "LiDAR Based Geometric Reconstruction of Boreal Type Forest Stands at Single Tree Level for Forest and Wildland Fire Management." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 92, No. 3, pp. 353–362.
- [12] Solberg, S., Næsset, E., and Bollandsas, O.M. (2006). "Single Tree Segmentation Using Airborne Laser Scanner Data in a Structurally Heterogeneous Spruce Forest," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 72, No. 12, pp. 1369–1378.
- [13] Harikumar, A., Bovolo, F., Bruzzone, L., (2017), "An Internal Crown Geometric Model for Conifer Species Classification with High Density LiDAR Data." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 55, No. 5, pp. 2924 – 2940.
- [14] Xiao, W., Xu, S., Elberink, S.O., Vosselman, G., (2016), "Individual Tree Crown Modeling and Change Detection From Airborne LiDAR Data." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 9, No. 8, pp. 3467 – 3477.
- [15] Wang, Y., Hyypä, J., Liang, X., Kaartinen, H., Yu, X., Lindberg, E., Holmgren, J., Qin, Y., Mallet, C., Ferraz, A., Torabzadeh, H., Morsdorf, F., Zhu, L., Liu, J., Alho, P., (2016), "International Benchmarking of the Individual Tree Detection Methods for Modeling 3-D Canopy Structure for Silviculture and Forest Ecology Using Airborne Laser Scanning." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 9, pp. 5011 – 5027.
- [16] Lin, Y., Hyypä, J., and Jaakkola, A. (2011). "Mini-UAV-borne LiDAR for Finescale Mapping." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 8, No. 3, pp. 426– 430.
- [17] Lee, J. Cai, X., Lellmann, J., Dalponte, M., Malhi, Y., Butt, N., Morecroft, M., Schönlieb, C.B., Coomes, D.A., (2016) "Individual Tree Species Classification from Airborne Multisensor Imagery Using Robust PCA." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 9, No. 6, pp. 2554 – 2567.
- [18] Petrou, Z.I., Manakos, L., Stathaki, T., Múcher, C.A., Adamo, M., (2015), "Discrimination of Vegetation Height Categories with Passive Satellite Sensor Imagery Using Texture Analysis." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 8, No. 4, pp. 1442-1455.
- [19] Zhizhong Kang, Zh., Juntao Yang, J., Ruofei Zhong, R., (2017), "A Bayesian-Network-Based Classification Method Integrating Airborne LiDAR Data With Optical Images." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 10, No. 4, pp. 1651 – 1661.
- [20] Dutta, D. Wang, K., Lee, E., Goodwell, A., Woo, D.K., Wagner, D., Kumar, P., (2017), "Characterizing Vegetation Canopy Structure Using Airborne Remote Sensing Data." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 55, No. 2, pp. 1160-1178.
- [21] Paris, C., Bruzzone, L., (2015), "A Three-Dimensional Model-Based Approach to the Estimation of the Tree Top Height by Fusing Low-Density LiDAR Data and Very High Resolution Optical Images." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 1, pp. 467 – 480.
- [22] Lin, Y., Hyypä, J., Jaakkola, A., and Yu, X. (2012). "Three-level Frame and Rdschematic Algorithm for Automatic Recognition of Individual Trees from MLS Point Clouds." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 33, No. 6, pp. 1701–1716.
- [23] Zhong, L., Cheng, L., Xu, H., Wu, Y., Chen, Y., Li, M., (2017), "Segmentation of Individual Trees From TLS and MLS Data." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 10, No. 2, pp. 774 – 787.
- [24] Liang, X., Wang, Y., Jaakkola, A., Kukko, A., Kaartinen, H., Hyypä, J., Honkavaara, E., Liu, J., (2015), "Forest Data Collection Using Terrestrial Image-Based Point Clouds From a Handheld Camera Compared to Terrestrial and Personal Laser Scanning." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 9, pp. 5117 – 5132.
- [25] Sadegian, S., Ayneh, O. (2015). "Extraction of Vegetation Cover in Urban Areas by Integration of LiDAR Data and Aerial Images." *Proc. Geomatics Conference, National Cartography Central (NCC), Tehran, Iran, May 16-17.*
- [26] MacFaden, S.W., O'Neil-Dunne, J.P.M., Royar, A.R., Lu, J.W.T., and Rundle, A.G. (2012). "High-resolution Tree Canopy Mapping for New York City Using LiDAR and Object-based Image Analysis." *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 6, No. 1, pp. 1–23.

- [27] O'Neil-Dunne, J.P.M. MacFaden, S.W. Royar, A.R. and Pelletier, K.C. (2012). "An Object-based System for LiDAR Data Fusion and Feature Extraction." *Geocarto International*, Vol. 28, No. 3, pp. 1-16.
- [28] Palenichka, R., Doyon, F., Lakhssassi, A., and Zaremba, M.B. (2013). "Multi-Scale Segmentation of Forest Areas and Tree Detection in LiDAR Images by the Attentive Vision Method." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 6, No. 3, pp. 1313-1323.
- [29] Arefi, H., Hahn, M., and Lindenberer, J. (2003). "LiDAR Data Classification with Remote Sensing Tools." In *Proceedings of the ISPRS Commission IV Joint Workshop: Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II*, Stuttgart, Germany, September 8-9.
- [30] Andersen, H., Reuterbuch, S.E., and Schreuder, G.F. (2001). "Automated Individual Tree Measurement through Morphological Analysis of A LiDAR-Based Canopy Surface Model." In *Proceeding of the 1st International Precision Forestry Symposium*, Seattle, Washington, United States, June 17-20.
- [31] Popescu, S.C., and Wynne, R.H., (2004). "Seeing the Trees in the Forest: Using LiDAR and Multi-Spectral Data Fusion with Local Filtering and Variable Window Size for Estimating Tree Height." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 70, No. 5, pp. 589-604.
- [32] Ulfarsson, M.O., Benediktsson, J.A., and Sveinsson, J.R. (2003). "Data Fusion and Feature Extraction in the Wavelet Domain." *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 24, No. 20, pp. 3933-3945.
- [33] Tiede, D., Hochleitner, G., and Blaschke, T. (2005). "A Full GIS-Based Workflow for Tree Identification and Tree Crown Delineation Using Laser Scanning." In *Proceedings of the ISPRS Workshop CMRT, Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring - Concepts, Algorithms and Evaluation*, Vienna, Austria, August 29-30.
- [34] Palenichka, R.M., and Zaremba, M.B. (2007). "Multiscale Isotropic Matched Filtering for Individual Tree Detection in LiDAR Images." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, No. 12, pp. 3944-3956.
- [35] Moradi, A., Sattari, M., Momeni, M. (2018). "Extracting the individual Trees of Urban Forests from High Density Airborne LiDAR Data." *Iranian Journal of Forest*, Vol. 10, No. 1, pp. 27-42.
- [36] Chenari, A., Erfanifard, S.Y., Dehghani, M., Pourghasemi, H.R. (2017). "Estimation of Crown Area of Wild Pistachio Single Trees Using DSM of UAV Aerial Images in Baneh Research Forest, Fars Province." *Iranian Journal of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 24, No. 4, pp. 117-130.
- [37] Yao, W., and Wei, Y. (2013). "Detection of 3-D Individual Trees in Urban Areas by Combining Airborne LiDAR Data and Imagery." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 10, No. 6, pp. 1355-1359.
- [38] Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., and Kubik, K. (2004). "Using the Dempster Shafer Method for the Fusion of LiDAR Data and Multi-Spectral Images for Building Detection." *Information Fusion*, Vol. 6, No. 4, pp. 283-300.
- [39] Tovari, D. and Vogtle, T. (2004). "Object Classification in Laser Scanning Data." In *Proceeding the ISPRS Working Group VIII/2, Laser-Scanners Forest and Landscape Assessment*, Freiburg, Germany, October 3-6.
- [40] Gerke, M., and Xiao, J. (2014). "Fusion of Airborne Laserscanning Point Clouds and Images for Supervised and Unsupervised Scene Classification." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 87, pp. 78-92.
- [41] Spreckels, V., Syrek, L., Schlienkamp, A. (2010). "DGPF Project: Evaluation of Digital Photogrammetric Camera Systems - Stereoplotting." *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, Vol. 2, pp. 117-130.
- [42] Vu, T.T., Yamazaki, F., and Matsuoka, M. (2009). "Multi-Scale Solution for Building Extraction from LiDAR and Image Data." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 11, .No. 4, pp. 281-289.
- [43] Habib, A. (2008). "Integration of LiDAR and Photogrammetric Data: Triangulation and Orthorectification, Topographic Laser ranging and Scanning." (J. Shan and C.K. Toth, Editors), CRC Press, Taylor and Francis Group, U.S.
- [44] Sampath, A., and Shan, J. (2004). "Urban Modeling Based on Segmentation and Regularization of Airborne LiDAR Point Clouds." *ISPRS Archives*, Istanbul, Turkey, 12-23 July.
- [45] Shan, J., and Sampath, A. (2005). "Urban Dem Generation from Raw LiDAR Data: A Labeling Algorithm and Its Performance." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 71, No. 02, pp. 217-226.
- [46] Gonzalez, R.C., Woods, R.E. (2002). "Digital Image Processing." Second Edition, Prentice & Hall Inc.
- [47] Silleos, N.G., Alexandridis, Th.K, Gitas, I.Z., and Perakis, K. (2006). "Vegetation Indices: Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30 Years." *Geocarto International*, Vol. 21, No. 4, pp. 21-28.

- [48] Birth, G.S., and McVey, G. (1968). "Measuring the Color of Growing Turf with a Reflectance Spectroradiometer." *Agronomy Journal*, Vol. 60, No. 6, pp. 640-643.
- [49] Grigillo, D., Fras, M.K., and Petrovič, D. (2011). "Automatic Extraction and Building Change Detection from Digital Surface Model and Multispectral Orthophoto." *Geodetski Vestnik, Association of Surveyors of Slovenia*, Vol. 55, No. 1, pp. 28-45.
- [50] Turlapaty, A., Gokaraju, B., Du, Q., Younan, N., and Aanstoos, J. (2012). "A Hybrid Approach for Building Extraction from Spaceborne Multi-Angular Optical Imagery." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 5, No. 1, pp. 89-100.
- [51] Shahtahmassebi, A.R., Ning, Y., Ke, W., Moore, N., and Zhangquan, SH. (2013). "Review of Shadow Detection and De-shadowing Methods in Remote Sensing." *Chinese Geographical Science*, Vol. 23, No. 4, pp. 403-420.
- [52] Chung, K.L., Lin, Y.R., and Huang, Y.H. (2009). "Efficient Shadow Detection of Color Aerial Images Based on Successive Thresholding Scheme." *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, No. 2, pp. 671-682.
- [53] Adeline, K.R.M., Chen, M., Briottet, X., Pang, S.K., and Paparoditis, N. (2013). "Shadow Detection in Very High Spatial Resolution Aerial Images: A Comparative Study." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 80, pp. 21-38.
- [54] Khoshelham, K., Nardinocchi, C., Frontoni, E., Mancini, A., and Zingaretti, P. (2011). "Performance Evaluation of Automated Approaches to Building Detection in Multi-Source Aerial Data." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.65, No.1, pp.123-133.
- [55] Rutzinger, M., Rottensteiner, F., and Pfeifer, N. (2009). "A Comparison of Evaluation Techniques for Building Extraction from Airborne Laser Scanning." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 2, No. 1, pp. 11-20.
- [56] Rottensteiner, F., "ISPRS Test Project on Urban Classification and 3D Building Reconstruction: Evaluation of Object Detection Results." Available at http://www2.isprs.org/tl_files/isprs/wg34/docs/EvaluationObjectDetection.pdf
- [57] Pereira, L., and Janssen, L. (1999). "Suitability of Laser Data for DTM Generation: A Case Study in the Context of Road Planning and Design." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 4, pp. 244-253.
- [58] Reutebuch, S.E., McGaughey, R.J., Andersen, H.E. and Carson, W.W. (2003). "Accuracy of a High-Resolution LiDAR Terrain Model under a Conifer Forest Canopy." *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 5, pp. 527-535.
- [59] Zhilin, L., Zhu, Ch., and Gold, Ch. (2005). "Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology." CRC Press.
- [60] http://www.itc.nl/external/ISPRS_WGIII4/ISPRSIII_4_Test_results/area1_detection/KNTU_trees/index.html
- [61] http://www.itc.nl/external/ISPRS_WGIII4/ISPRSIII_4_Test_results/area2_detection/KNTU_trees/index.html
- [62] http://www.itc.nl/external/ISPRS_WGIII4/ISPRSIII_4_Test_results/area3_detection/KNTU_trees/index.html
- [63] http://www.itc.nl/external/ISPRS_WGIII4/ISPRSIII_4_Test_results/area1_detection/KNTU_nat_ground/index.html
- [64] http://www.itc.nl/external/ISPRS_WGIII4/ISPRSIII_4_Test_results/area2_detection/KNTU_nat_ground/index.html
- [65] http://www.itc.nl/external/ISPRS_WGIII4/ISPRSIII_4_Test_results/area3_detection/KNTU_nat_ground/index.html
- [66] http://www2.isprs.org/commissions/comm3/wg4/results/a1_detect.html
- [67] http://www2.isprs.org/commissions/comm3/wg4/results/a2_detect.html
- [68] http://www2.isprs.org/commissions/comm3/wg4/results/a3_detect.html
- [69] Rottensteiner, F., Sohn, G., Gerke, M., Wegner, J.D., Breitkopf, U. and Jung, J. (2013). "Results of the ISPRS Benchmark on Urban Object Detection and 3D Building Reconstruction." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.10.004>
- [70] Zarea, A., Mohammadzadeh, A., (2016), "A Novel Building and Tree Detection Method from LiDAR Data and Aerial Images." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 9, No. 5, pp. 1864-1875.