

بررسی و تحلیل عملکرد فیلترهای مختلف استخراج عوارض غیرزمینی بر ابر نقاط متراکم حاصل از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا

مینا محمدی^۱

عباس کیانی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۲۷

چکیده

فیلترینگ مدل‌های رقومی سطح (DSM) برای برنامه‌های کاربردی مانند برنامه‌ریزی محیطی، به‌روزرسانی نقشه یا تشخیص ساختمان مورد توجه است. فیلتراسیون زمین، حذف نقاط متعلق به اشیاء بالاتر از سطح زمین به منظور بازیابی نقاط زمینی است که برای تولید مدل رقومی ارتفاع (DSM) استفاده می‌شود. ابرهای نقطه‌ای لایدار موفقیت‌های بسیاری در ارائه‌ی عوارض داشته‌اند اما از آنجا که اخذ داده‌های لایدار هنوز یک فرآیند پرهزینه است، استفاده از ابرهای نقطه تولیدشده از فرآیند فتوگرامتری برای تولید DEM یک راه‌حل مناسب است. با این حال، بیشتر الگوریتم‌های فیلترینگ برای داده‌های لایدار طراحی شده و به تنظیم تعدادی از پارامترهای پیچیده برای دستیابی به دقت بالا نیاز خواهند داشت. در عین حال زمان پردازش، میزان تأثیرگذاری در صحنه‌های مختلف و میزان اتوماسیون این روش‌ها نیز حائز اهمیت است. پیچیدگی‌های صحنه و توپوگرافی، برای نمونه در مناطق شهری فرآیند فیلتراسیون زمین را با چالش بیشتری مواجه می‌کند. برای کسب نتایج بهینه کاربران باید پارامترهای مختلف را تا زمانی که نتیجه مطلوب فیلترینگ را پیدا کنند امتحان نمایند، که فرآیندی وقت‌گیر و پرهزینه است. به علت عدم وجود بررسی جامع از میزان کارایی، اتوماسیون و پیچیدگی‌های محاسباتی روش‌های فیلترینگ مختلف بر روی ابر نقاط حاصل از فتوگرامتری، در این پژوهش الگوریتم‌های مختلف مطرح و پرتکرار در این زمینه مطالعاتی با یکدیگر مقایسه شدند. در عین حال، روش‌های مورد مطالعه از منظر کیفیت فیلترینگ کلاس‌ها، زمان پردازش‌ها (مدت زمان اجرایی)، پیچیدگی‌های صحنه و تعداد پارامترهای الگوریتم (بیانگر میزان دخالت کاربر در پردازش داده‌ها برای میزان اتوماسیون) مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج این تحلیل می‌تواند در راستای شناخت بهتر عملکرد اجرایی روش‌های فیلترینگ بر روی ابر نقاط حاصله از تصاویر با قدرت تفکیک بالا (DSM) حاصله از تصاویر هوایی و پهپاد (مثمر‌تر باشد و به‌عنوان یک راهنما در جهت کمک به محققان برای تصمیم‌گیری در انتخاب الگوریتم مورد استفاده با توجه به پارامترهای زمان، سخت‌افزار، منطقه و میزان دقت خروجی مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: تصاویر حد تفکیک بالا، مدل رقومی سطح، فیلترینگ لایدار، ابر نقاط متراکم

۱- دانشجوی کارشناسی گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل Mina.mhmd77@gmail.com
۲- استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل (نویسنده مسئول) a.kiani@nit.ac.ir

۱- مقدمه

حرکت تکنولوژی تهیه داده‌ها، از نقشه‌برداری سنتی و زمینی به سمت روش‌های غیرفعال مانند تصاویر استریو اپتیکی صورت پذیرفت و ادامه‌ی این روند به سمت روش‌های (فعال) مانند رادار و لایدار بوده است.

یک روش مناسب برای بازیابی اطلاعات دقیق توپوگرافی، استفاده از تصاویر همپوشان با قدرت تفکیک بالا است که امکان ایجاد ابرهای نقطه متراکم سه‌بعدی را فراهم می‌کنند (C. S. Yilmaz, Yilmaz, & Gungor, 2017). در مراحل کار، از تصاویر همپوشان فتوگرامتری DSM^۱ منطقه به‌دست می‌آید که شامل مقادیر z در یک شبکه دویبعی x-y بوده، به‌طوری که می‌توان تکنیک‌های پردازش تصویر را بر روی آن اعمال کرد. لایدار تکنیک جمع‌آوری اطلاعات از سطح اشیاء بر مبنای اندازه‌گیری فاصله به‌وسیله لیزر است. تکنولوژی لایدار با محاسبه زمان حرکت یک پالس منفرد بین جسم و سنسور، فاصله‌ها را اندازه‌گیری می‌کند و قادر به تولید نقاط سه‌بعدی در یک بازه زمانی کوتاه است (Serifoglu Yilmaz, Yilmaz, & Güngör, 2018).

تفاوت مهم بین لایدار و DSM‌های فتوگرامتری مربوط به کیفیت آن‌ها است (Nex & Gerke, 2014). DSM فتوگرامتری معمولاً دارای تراکم بیشتری است، اما بسته به شرایط ممکن است در عمق، دقت کمتری نسبت به اندازه‌گیری لایدار داشته باشد (Baltasvias, 1999). علی‌رغم مزایای بسیار، کاستی‌هایی نیز در فناوری لایدار وجود دارد. دقت داده‌های لایدار ممکن است در شیب‌های تند به خطر بیافتد. به‌علاوه افزایش دامنه داده‌های لایدار ممکن است باعث کاهش قدرت سیگنال شود. یکی دیگر از معایب فناوری لایدار این است که دستیابی و پردازش داده‌های آن همیشه مقرون به‌صرفه نیست، از این‌رو استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالا که به روش‌های هوایی یا پهپاد گرفته شده‌اند برای ایجاد ابر نقطه همچنان می‌تواند یک گزینه مناسب باشد (V. Yilmaz, Konakoglu, Serifoglu, Gungor, & Gökalp, 2018).

مدل رقومی ارتفاعی یا همان DEM^۲، در واقع یک تصویر یک بانندی است که هر سلول آن دارای مقدار Z یا ارتفاع در یک شبکه منظم بر روی سطح برهنه زمین می‌باشند. به عبارتی DEM مدل ارتفاعی است که در آن فقط سطح زمین در نظر گرفته شده است و تمام عوارض دیگر حذف شده است. مدل رقومی سطح (DSM)، مانند مدل رقومی ارتفاعی تنها شامل اطلاعات توپوگرافی سطح برهنه زمین نبوده، بلکه در مورد اشیاء بالاتر از سطح توپوگرافی نیز اطلاعاتی دارد. در حقیقت مدل رقومی سطح معرف بازتاب سطحی درختان، ساختمان‌ها و دیگر عوارض بالای سطح برهنه زمین و خود سطح زمین می‌باشد (Kiani, Ahmadi, & Ebadi, 2021).

مدل رقومی زمین (DTM)^۳ حاوی داده‌های X، Y و Z سطح یک منطقه می‌باشند (Podobnikar, Stancic, & Oštir, 2000). ارتفاع در این مدل‌ها، صرفاً ارتفاع سطح زمین نیست بلکه سایر عوارض زمین مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و خط‌الرأس‌ها و مرزها نیز در این مدل‌ها لحاظ شده است. در واقع DTM‌ها، DEM‌هایی هستند که به طور خاص نمایشگر المان‌هایی چون خطوط شکست نیز می‌باشند (Brunn & Weidner, 1997).

مدل‌های رقومی سطح (DSM) در بسیاری از مهندسی‌ها، برنامه‌های محیطی و زیست‌محیطی برای مدت طولانی دارای اهمیت زیادی هستند (Capaldo, Crespi, Fratarcangeli, Nascetti, & Perialice, 2012). به‌عنوان نمونه مندرس و همکاران با استفاده از تفاضل DSM از DTM در هر دو تصویر قبل و بعد از زلزله که NDSM نام دارد و در نهایت با محاسبه‌ی اختلاف NDSM دو تصویر قبل و بعد از زلزله، ساختمان‌های آسیب‌دیده پس از زلزله را شناسایی کردند (Menderes, Erener, & Sarp, 2015). نصرت دمیر و همکاران با استفاده از DSM استخراج‌شده از تصاویر پهپاد ارتفاع گیاه گندم را به‌صورت خودکار اندازه‌گیری کردند و در نهایت نتایج را با اندازه‌گیری‌های زمینی مقایسه کرده و به‌دقت خوبی دست یافتند (Demir, Sönmez, Akar, & Ünal, 2018).

2- Digital Elevation Model

3- Digital Terrain Model

1- Digital Surface Model

براین اساس در پژوهش حاضر، هدف بررسی عملکرد الگوریتم‌های فیلترینگ زمین که عمدتاً برای ابرهای نقطه‌ای لایدار طراحی شده است در جهت به‌کارگیری برای ابرهای نقطه‌ای مبتنی بر تصاویر با قدرت تفکیک بالا (هوایی و پهپاد) صورت پذیرفته است. الگوریتم‌های موجود برای استخراج DEM از DSM یا ابر نقاط را می‌توان به شش گروه فیلتر مورفولوژی، روش‌های مبتنی بر سطح، روش‌های مبتنی بر قطعه‌بندی، روش‌های مبتنی بر شیب، روش‌های تراکم پیش‌رونده و روش‌های یادگیری عمیق تقسیم‌بندی کرد (Gevaert, Persello, Nex, & Vosselman, 2018). براساس ترتیب این تقسیم‌بندی، سیتول و ووسلمن یک روش مورفولوژی را ارائه دادند. در روش مذکور انتخاب اندازه پنجره مطلوب بسیار مهم است (Sithole & Vosselman, 2005).

اندازه پنجره کوچک به‌طور مؤثر می‌تواند برای فیلتر کردن اشیاء کوچک استفاده شود که در این حالت برای اشیاء بزرگ دچار مشکل می‌شود. از سوی دیگر، یک اندازه بزرگ پنجره، تمایل به نرم کردن جزئیات زمین مانند کوه‌ها و صخره‌ها دارد. برای حل این مشکل، ژانگ و همکاران یک فیلتر مورفولوژیکی پیشرفته برای اندازه‌گیری‌های غیرزمین با مقایسه مقادیر ارتفاع سطوح اصلی و مورفولوژیکی با افزایش اندازه پنجره ایجاد کردند (K. Zhang et al., 2003). بااین حال ممکن است نتایج ضعیف استخراج زمین به دلیل فرض شیب ثابت برای کل منطقه رخ دهد، زیرا شیب زمین به‌عنوان مقدار ثابت در کل منطقه پردازش فرض می‌شود. برای غلبه بر محدودیت شیب ثابت، چن و همکاران، این الگوریتم را با تعریف مجموعه‌ای از پارامترهای قابل تنظیم برای توصیف توپوگرافی زمین محلی گسترش دادند (Chen, Gong, Baldocchi, & Xie, 2007).

روش‌های مبتنی بر مورفولوژی دارای مفهومی ساده بوده و می‌توانند به‌آسانی اجرا شوند، همچنین دقت نسبتاً خوبی دارند. روش‌های مبتنی بر سطح یا درون‌یابی، یک سطح را از تمام نقاط ورودی تخمین می‌زنند. این روش در مناطقی با شیب تند با مشکل روبرو می‌شود.

جولزاریکا و همکاران از DTM برای به‌دست آوردن اطلاعات مکانی در مرز دریاچه استفاده کردند و به نتایج خوبی دست یافتند. نتایج این مطالعه می‌تواند در حفاظت مرز آب‌های ملی نقش اساسی داشته باشد (Julzarika, 2020). سو ژانگ و همکاران از DSM و DTM به‌دست‌آمده از داده‌ی لیدار برای استخراج اطلاعات ارتفاعی و رد پای ساختمان‌ها استفاده کردند. آن‌ها در واقع از مدل رقومی ارتفاع (DHM)^۱ که از تفاضل DTM از DSM به‌دست می‌آید استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی می‌تواند به‌طور مؤثر رد پای ساختمان را به‌طور دقیق ترسیم کرده و اطلاعات ارتفاع ساختمان را استخراج کند (S. Zhang, Han, & Bogus, 2020).

همچنین ژو و همکاران نیز با استفاده از DSM و TDOM^۲ استخراج‌شده از تصاویر هوایی، تغییرات منطقه شهری را آشکارسازی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند اختلاف DSM بهترین منبع برای شناسایی تغییرات ارتفاعی و سطحی می‌باشد (Zhu et al., 2020).

DEM یک نمایش رقومی سه‌بعدی از یک مبنای ارتفاعی در منطقه مشخص است و یکی از الزامات اساسی برای هرگونه تجزیه و تحلیل مکانی و مدل‌سازی مسائل در علوم محیطی است. از آنجا که DEM سطح زمین لخت را نشان می‌دهد، نخستین گام تولید آن، جدا کردن نقاط زمین و غیرزمین است که فیلتر کردن زمین نامیده می‌شود، سپس نقاط زمینی بازیابی شده برای تولید مدل رقومی ارتفاعی درون‌یابی می‌شود.

فیلتر کردن زمین یک فرآیند چالش برانگیز است، توپوگرافی زمین، پیچیدگی‌های صحنه، تغییرات نرم ارتفاعی و ارتفاعات مختلف اجسام بالای زمین فقط برخی از عواملی هستند که باعث می‌شوند پیچیدگی‌ها و مشکلاتی در زمینه فیلترینگ زمین به وقوع بپیوندد که از این جهت حائز اهمیت است. درعین حال، روش‌های فیلترینگ زمین اغلب برای فیلتر داده‌های لایدار ارائه شده است،

1- Digital Height Model

2- True Digital Orthophoto Map

است که در این روش‌ها باید در نظر گرفته شود. براساس موارد بیان‌شده، چند روش معروف به‌عنوان مثال Morph1D، Morph2D از دسته الگوریتم مورفولوژی، ATIN از دسته تراکم پیش‌رونده و روش Slope از روش‌های شیب مبنا انتخاب شده‌اند تا عملکرد آن‌ها در یک منطقه شهری مورد بررسی و مقایسه قرار گیرند. انتخاب الگوریتم‌ها براساس دو فاکتور سرعت و هزینه انجام‌گرفته است و سعی بر این بوده که الگوریتم انتخابی پیچیدگی پایین و هزینه کمتری داشته و در ضمن در نرم‌افزارهای تجاری موجود باشند تا کاربران به‌راحتی از آن‌ها استفاده کنند.

با توجه به این موضوع، از بین روش‌های فیلترینگ، الگوریتمی از روش‌های مبتنی بر قطعه‌بندی و یادگیری عمیق به دلیل هزینه بالا و داشتن یک مرحله بیشتر از سایر روش‌ها انتخاب نشده است. در این تحقیق بررسی روش‌های مذکور در مناطق شهری (به دلیل پیچیدگی‌های صحنه) اجرا شده است تا از جنبه‌های اجرایی بهتر مورد سنجش قرار بگیرند. به‌منظور ارزیابی، نخست الگوریتم‌ها بر روی سه سری داده ارتفاعی سطح که توسط روش فتوگرامتری از مجموعه‌ای تصاویر پوشش‌دار با قدرت تفکیک ۸ سانتی‌متر به‌دست‌آمده بودند مورد آزمایش قرار گرفتند. سپس نتایج حاصله با تصویر واقعیت زمینی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت بررسی روش‌ها ارائه شد که راهنمایی برای استفاده کاربران و پژوهشگران به‌منظور فیلترینگ داده‌های مشابه از داده‌های با قدرت تفکیک بالا مانند خروجی پهپادها و تکنولوژی تصویربرداری با قدرت تفکیک بالای مرتبط می‌باشد.

۲- مبانی نظری تحقیق

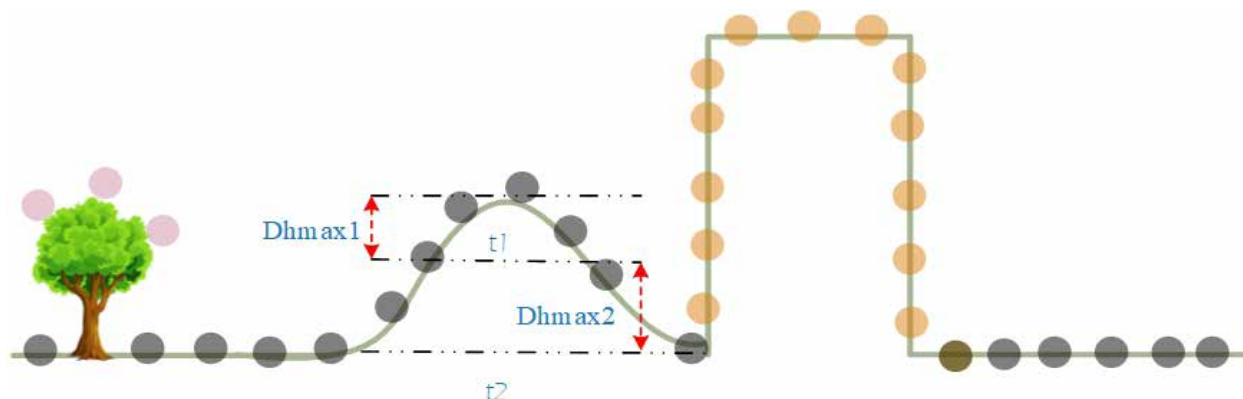
در این مطالعه، اثر روش‌های مختلف فیلترینگ لایدار بر ابر نقاط متراکم حاصل از فرآیند فتوگرامتری و تصاویر هوایی با حد تفکیک بالای مکانی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه الگوریتم‌های مختلف فیلترینگ زمین معرفی و عملکرد آن‌ها به‌صورت کیفی و کمی سنجیده خواهد شد.

روش‌های مبتنی بر قطعه یا بخش‌بندی، به‌طورکلی از سه مرحله بخش‌بندی ابر نقطه یا DSM، طبقه‌بندی بخش‌ها به‌عنوان زمین و غیرزمین و درونیابی DEM تشکیل شده‌اند. این روش‌ها ممکن است در مقایسه با روش‌های مبتنی بر پیکسل یا نقطه، سرعت پردازش را افزایش دهند و حساسیت نسبت به داده‌های نویزی را کاهش دهند، همچنین کیفیت نتایج آن‌ها به کیفیت تقسیم‌بندی بستگی دارد، زیرا روش‌های طبقه‌بندی متنوع بوده و هر یک مزایا و معایبی دارند که باید با توجه به منطقه مورد مطالعه انتخاب و اعمال شود.

روش‌های مبتنی بر شیب، شیب یا اختلاف ارتفاع بین دو نقطه را اندازه‌گیری می‌کنند که اگر شیب بیش‌ازاندازه آستانه تعیین‌شده باشد بالاترین نقطه به یک شیء تعلق می‌گیرد (Sithole & Vosselman, 2003). به‌عنوان نمونه ووسلمن یک الگوریتم مبتنی بر شیب را ارائه داد، نتایج آن نشان داد که این الگوریتم در زمین‌های پیچیده کارایی خوبی ندارد (Vosselman, 2000).

روش دیگر، تراکم پیش‌رونده است، این الگوریتم تعدادی نقطه را به‌عنوان نقاط آغازین انتخاب کرده که مشابه به زمین هستند و به‌طور متوالی با اضافه کردن نقاط، سطح زمین تشکیل می‌شود. به‌عنوان نمونه اکسلسن از یک شبکه برای انتخاب پایین‌ترین نقاط در ساخت مدل TIN استفاده کرد و در نهایت نتیجه خوبی داشت، اگرچه گفته شده در شناسایی صخره‌ها و پشته‌های تیز مشکلاتی دارد.

در نهایت الگوریتم‌های یادگیری عمیق مطرح هستند که اخیراً پیشرفت زیادی در زمینه‌ی طبقه‌بندی ابر نقاط داشته‌اند و عملکرد و دقت این روش در کاربردهای مختلف باعث توجه دانشمندان و پیشرفت در این زمینه شده است (Gevaert et al., 2018)، اما این روش به داده‌های آموزشی زیادی نیاز داشته و نتایج به این داده‌های آموزشی وابسته است. درعین حال تعیین معماری مناسب و تنظیم پارامترهای مختلف و نیاز به سخت‌افزار مناسب نیز از دیگر مواردی



نگاره ۱: روش PM و پارامترهای مربوطه به منظور حذف نقاط غیرزمینی از ابر نقاط

استفاده از یک پنجره دوبعدی در الگوریتم PM2D است (Serifoglu, Gungor, & Yilmaz, 2016). الگوریتم PM2D پنجره‌ای دوبعدی دارد که می‌تواند مربع یا مستطیل باشد. مؤثرترین پارامترهای PM2D، اندازه سلول، شیب و آستانه اولیه و پنجره هستند. پارامتر اندازه پنجره، میزان پنجره مورد استفاده برای انجام عملیات مورفولوژی را مشخص می‌کند. این پارامتر باید به اندازه‌ای کوچک انتخاب شود که نقاط زمین را نگه دارد و به اندازه کافی بزرگ باشد تا نقاط غیرزمینی را حذف کند. پارامتر شیب، آستانه اختلاف ارتفاع است. این پارامتر باید با توجه به شیب متوسط ناحیه انتخاب شود (Serifoglu Yilmaz et al., 2018). نمایی از روند این روش در نگاره ۱ ارائه شده است، که در آن حد آستانه ارتفاع است و توسط رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$dh_{i,T} = \begin{cases} dh_0 \rightarrow \text{if } w_i \leq 3 \\ s(w_i - w_{i-1})c + dh_0 \rightarrow \text{if } w_i > 3 \\ dh_{\max} \rightarrow dh_{i,T} > dh_{\max} \end{cases}$$

رابطه (۱)

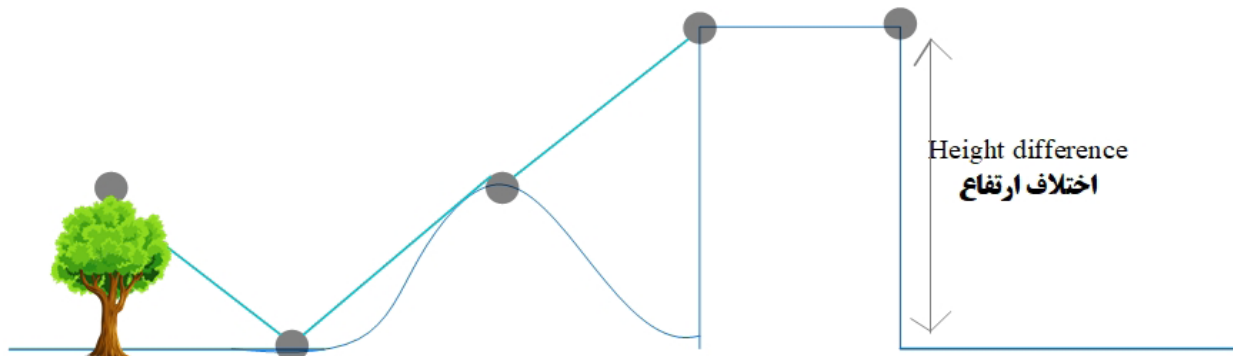
در رابطه ۱، dh_0 حد آستانه تفاوت ارتفاع اولیه است، dh_{\max} حداکثر آستانه تفاوت ارتفاع، S حداکثر شیب زمین است، c اندازه‌ی سلول مش و w_i اندازه پنجره فیلتر در تکرار نام می‌باشد (K. Zhang & Whitman, 2005). نگاره ۱ با الهام از مقاله (K. Zhang et al., 2003) ترسیم شده است.

۱-۲- الگوریتم PM^۱

الگوریتم PM توسط ژانگ و همکارانش به منظور حذف نقاط غیرزمینی از ابر نقاط توسعه یافت (K. Zhang et al., 2003). این الگوریتم حاوی پنجره‌ای است که ابعاد آن به تدریج افزایش یافته و حد آستانه اختلاف ارتفاع، عارضه‌های غیرزمینی در ابعاد مختلف را حذف و نقاط زمینی را نگه می‌دارد.

الگوریتم PM به عملیات dilation و erosion بستگی دارند که جزء عملگرهای مورفولوژی ریاضی هستند. این عملگرها برای افزایش یا کاهش ابعاد عوارض به کار می‌روند. در هر سلول شبکه با در نظر گرفتن مقدار کمترین ارتفاع، یک شبکه با فواصل منظم و کمترین سطح ایجاد می‌شود. اگر شبکه‌ای هیچ نقطه‌ای نداشته باشد، ارتفاع نزدیک‌ترین نقطه به آن شبکه اختصاص می‌یابد. عملیات opening بر روی سطح گزید اعمال می‌شود. در مرحله اول، سطح کمترین ارتفاع و ابعاد اولیه پنجره به عنوان مقادیر اولیه استفاده می‌شوند.

در تکرارهای بعدی از ابعاد افزایش یافته پنجره و سطح فیلتر شده استفاده می‌شود. ابعاد پنجره افزایش می‌یابد و مقدار کمترین ارتفاع محاسبه می‌گردد. تکرارها تا زمانی که ابعاد پنجره از ماکزیمم مقدار حد آستانه بیشتر شود ادامه می‌یابند. تنها تفاوت الگوریتم PM2D و الگوریتم PM1D



نگاره ۲: روش ETEW و پارامترهای مربوطه به منظور حذف نقاط غیرزمینی از ابر نقاط

$$h_{i,T} < z_{ij} - z_{i,min}$$

رابطه (۲)

$h_{i,T}$ با اندازه سلول ارتباط دارد و مطابق رابطه ۳ تعریف می‌شود.

$$h_{i,T} = sc_i$$

رابطه (۳)

که در آن s بیشترین شیب زمین، از قبل تعیین شده و c_i اندازه سلول برای تکرار نام است. در اجرای الگوریتم اندازه سلول c_i در هر تکرار دو برابر می‌شود (رابطه ۴). M در رابطه ۴ برابر تعداد کل تکرارها است.

$$c_i = 2c_{i-1}, i = 2, 3, \dots, M$$

رابطه (۴)

۲-۳- الگوریتم MLS^۲

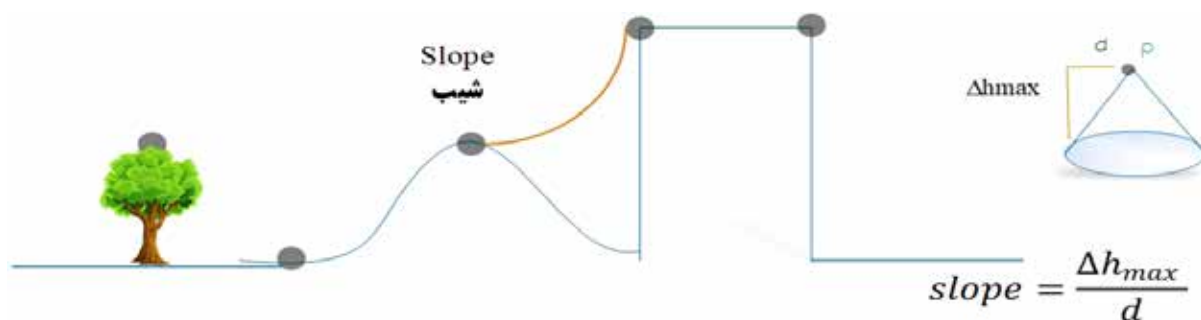
این الگوریتم با مقایسه شیب محلی و تفاوت آن بین نقاط مجاور، نقاط زمین را تشخیص می‌دهد. نقاط لایدری که توزیع نامنظم دارند با شبکه سلولی منظم روی هم قرار می‌گیرند. هر نقطه $P(x,y,z)$ به یک شبکه اختصاص داده می‌شود. در صورتی که بیش از یک نقطه به یک شبکه اختصاص یابد، نقطه‌ای با حداقل ارتفاع برای الگوریتم انتخاب می‌شود. الگوریتم MLS شیب بین نقطه $P_0(x_0,y_0,z_0)$ و نقاط در شعاع تعریف شده را محاسبه می‌کند؛ بنابراین حداکثر مقدار شیب بین نقطه P_0 و همسایگانش در شعاع را معین می‌کند. اگر این مقدار کوچک‌تر از یک آستانه از پیش تعیین شده باشد، نقطه P_0 به عنوان زمین مشخص می‌شود

۲-۲- الگوریتم ETEW^۱

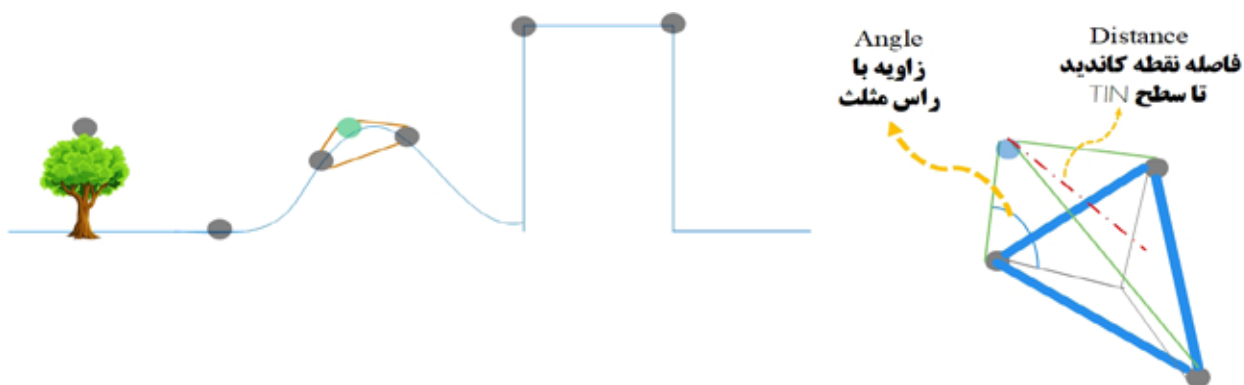
اختلاف ارتفاع‌های بین اندازه‌گیری‌های نقاط مجاور زمینی با اختلاف ارتفاع بین زمین و درختان یا ساختمان‌ها در یک منطقه محدود متفاوت است. از این رو می‌توان از اختلاف ارتفاع در یک منطقه خاص برای تفکیک اندازه‌گیری‌های زمینی و غیرزمینی استفاده کرد.

الگوریتم ETEW از پنجره جستجویی که ابعاد آن به تدریج افزایش می‌یابد، برای تفکیک نقاط زمینی و غیرزمینی استفاده می‌کند. در ابتدا داده‌ها به شبکه سلولی تقسیم می‌شوند که در هر شبکه نقطه‌ای که ارتفاعشان بیشتر از نقطه با مینیمم ارتفاع است، حذف می‌شوند. در تکرار بعدی، اندازه شبکه افزایش می‌یابد و مینیمم ارتفاع مجدداً محاسبه می‌شود. سپس با توجه به حد آستانه از پیش تعریف شده، نقطه‌ای که ارتفاعشان بیشتر از مینیمم ارتفاع باشند، حذف می‌شوند. تکرارها با افزایش ابعاد شبکه و اندازه حد آستانه ادامه می‌یابند تا زمانی که هیچ نقطه‌ای برای حذف باقی نماند.

نمایی از روند این روش در نگاره ۲ با الهام از مقاله (Sulaiman, Majid, & Setan, 2010) نشان داده شده است. در صورتی که فرض شود، z_{ij} ارتفاع نقطه p_{ij} در تکرار نام و شبکه نام، $z_{i,min}$ کمترین ارتفاع در آن شبکه و $h_{i,T}$ حد آستانه اختلاف ارتفاع است، اگر رابطه ۲ برقرار باشد، آنگاه نقطه p_{ij} حذف می‌شود (K. Zhang & Whitman, 2005).



نگاره ۳: روش MLS و پارامترهای مربوطه به منظور حذف نقاط غیرزمینی از ابر نقاط



نگاره ۴: روش ATIN و پارامترهای مربوطه به منظور حذف نقاط غیرزمینی از ابر نقاط

در غیر این صورت آن را به عنوان غیرزمین در نظر گرفته و حذف می شود (رابطه ۵) (Serifoglu et al., 2016).

در سیستم اطلاعات مکانی (GIS) برای نشان دادن یک سطح استفاده می شود (Abdullah, Vojinovic, Price, & Aziz, 2012). نقاط زمین را با توجه به فاصله بین هر نقطه و تولید می کند. ابتدا داده ها به شبکه مربعی تقسیم می شوند سپس نقاطی را که حداقل ارتفاع داده های اولیه زمین را دارند به عنوان دانه ها انتخاب می کند سپس سطح مرجع TIN با استفاده از این دانه ها تولید می شود. هر نقطه زمین طبقه بندی نشده به هر یک از مثلث ها در TIN اضافه می شود. نقطه کاندیدی با توجه به فاصله آن تا سطح مثلثی و زاویه با رأس مثلث طبقه بندی می شود. اگر نقطه محاسبه شده و زاویه کمتر از آستانه از پیش تعیین شده باشد نقطه کاندید یک نقطه زمین است. این فرآیند تا زمانی که تمامی نقاط به عنوان زمین و غیرزمین برچسب گذاری شوند ادامه می یابد (Serifoglu et al., 2016). نمایی از روند این روش در نگاره ۴ با الهام از مقاله (Zhao, Guo, Su, & Xue, 2016) ترسیم شده است.

در غیر این صورت آن را به عنوان غیرزمین در نظر گرفته و حذف می شود (رابطه ۵) (Serifoglu et al., 2016).

$$\left\{ \begin{array}{l} s_{0,j} = \frac{z_0 - z_j}{\sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}} \\ p_0 \in \text{groundmeasurements} \rightarrow \text{if } s_{0,\max} < s \end{array} \right.$$

رابطه (۵)

که $s_{0,j}$ شیب بین P_0 و P_j است، X_j و Y_j نشان دهنده مختصات افقی P_j است و Z_j ارتفاع آن است (K. Zhang & Whitman, 2005). نمایی از روند این روش در نگاره ۳ (با الهام از مقاله (Wang & Tseng, 2010)) ارائه شده است.

۲-۴- الگوریتم ATIN^۱

این الگوریتم توسط اکسلسن توسعه یافته است (Axelsson, 2000). TIN یک ساختار داده دیجیتال است که



نگاره ۵: مقایسه روند روش‌های فیلترینگ

توسط روش فتوگرامتری از مجموعه‌ای تصاویر پوشش‌دار به‌دست آمده، مورد آزمایش قرار گرفتند. سپس نتایج حاصله با تصویر واقعیت زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. با وجود توسعه‌ی الگوریتم‌های فیلترینگ، عملکرد این الگوریتم‌ها عموماً به‌صورت نیمه‌خودکار می‌باشند. لذا لازم است تا پارامترهای مربوط به هر الگوریتم توسط کاربر به الگوریتم معرفی شود. با توجه به متفاوت بودن پارامترهای هر الگوریتم، در ادامه توضیحی مختصر از پارامترهای تأثیرگذار هر الگوریتم در روند فیلترینگ ابر نقاط حاصل از تصاویر با حد تفکیک بالا در مناطق شهری بیان شده است.

۳-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

به‌طورکلی مبحث فیلترینگ، در تصاویر هوایی و ماهواره‌ای مسئله‌ای مهم است. در این تحقیق، پنج روش فیلترینگ بر روی سه تصویر از منطقه‌ای شهری (شهر وایه‌ینگن در آلمان) بررسی و مقایسه می‌شوند. داده‌ها

در نگاره ۵ مقایسه‌ای از روند مورد بررسی در روش‌های مختلف فیلترینگ انجام شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بعضی از مراحل در این الگوریتم‌ها یکسان است و با اندازه‌گیری یک پارامتر خاص به‌عنوان مقدار اولیه و مقایسه آن مقدار در هر تکرار با حد آستانه موردنظر تفکیک نقاط زمینی از غیرزمین را انجام می‌دهند.

۳- پیاده‌سازی

در این تحقیق روش‌های مطرح موجود برای فیلترینگ نقاط زمین و غیرزمین در مناطق شهری و بر روی داده‌های با قدرت تفکیک بالا بررسی و مورد تحلیل قرار گرفته است. از آنجایی که روند بررسی روش‌ها و فیلترینگ برای تصاویر از دید اجرایی مدنظر بوده، توجه ویژه‌ای به‌منظور بهینه‌سازی وظایف پردازش تصویر نسبت به استفاده از دخالت کاربر و پیچیدگی محاسباتی انجام گرفته است. به‌منظور ارزیابی، نخست الگوریتم‌ها بر روی چندین داده ارتفاعی سطح، که



(ج)

(ب)

(الف)

نگاره ۶: مناطق مورد مطالعه، (الف) تصویر تست ۱، (ب) تصویر تست ۲، (ج) تصویر تست ۳

لازم به ذکر است تمامی تست‌های عنوان شده تا این مرحله در یک پلتفرم ثابت (ALDPAT) انجام شده است. پس از اینکه خروجی برای تمام داده‌ها و الگوریتم‌ها با دقت به دست آمد، الگوریتم‌ها با هم مقایسه و بهترین الگوریتم انتخاب شد. سپس الگوریتم منتخب از منظر روش‌های مختلف پیاده‌سازی بررسی شد، برای این کار از چند پلتفرم برای اعمال آن استفاده شده است که دقت حاصل از آن‌ها با یکدیگر مقایسه شده و مزایا و معایب هر یک مورد بررسی قرار گرفته است. مراحل لازم برای انجام پروژه در فلوچارت نگاره ۷ بیان شده است.

۴- نتایج

پس از انجام مراحل کار و گرفتن خروجی نوبت به ارزیابی خروجی مورد نظر می‌رسد. خروجی از لحاظ کمی و کیفی ارزیابی شده که در صورت نامطلوب بودن آن باید مجدد پارامترها را تنظیم و بر روی ابر نقاط اعمال کرد. این روند تکرار تا زمانی که خروجی مطلوبی به دست آید ادامه می‌یابد. با توجه به روش پیشنهادی خروجی‌های به دست آمده در نگاره‌های ۸ تا ۱۰ ارائه شده است. در این نگاره‌ها داده واقعیت زمینی در بخشی ارائه شده است، که در آن عوارض غیرزمینی با رنگ آبی و سبز مشخص شده و سایر رنگ‌ها عوارض زمینی را نشان می‌دهد.

از مناطق شهری اخذ شده‌اند که شامل عوارض طبیعی و مصنوعی گوناگون من جمله خیابان‌ها، درختان، ساختمان‌ها هستند (نگاره ۶).

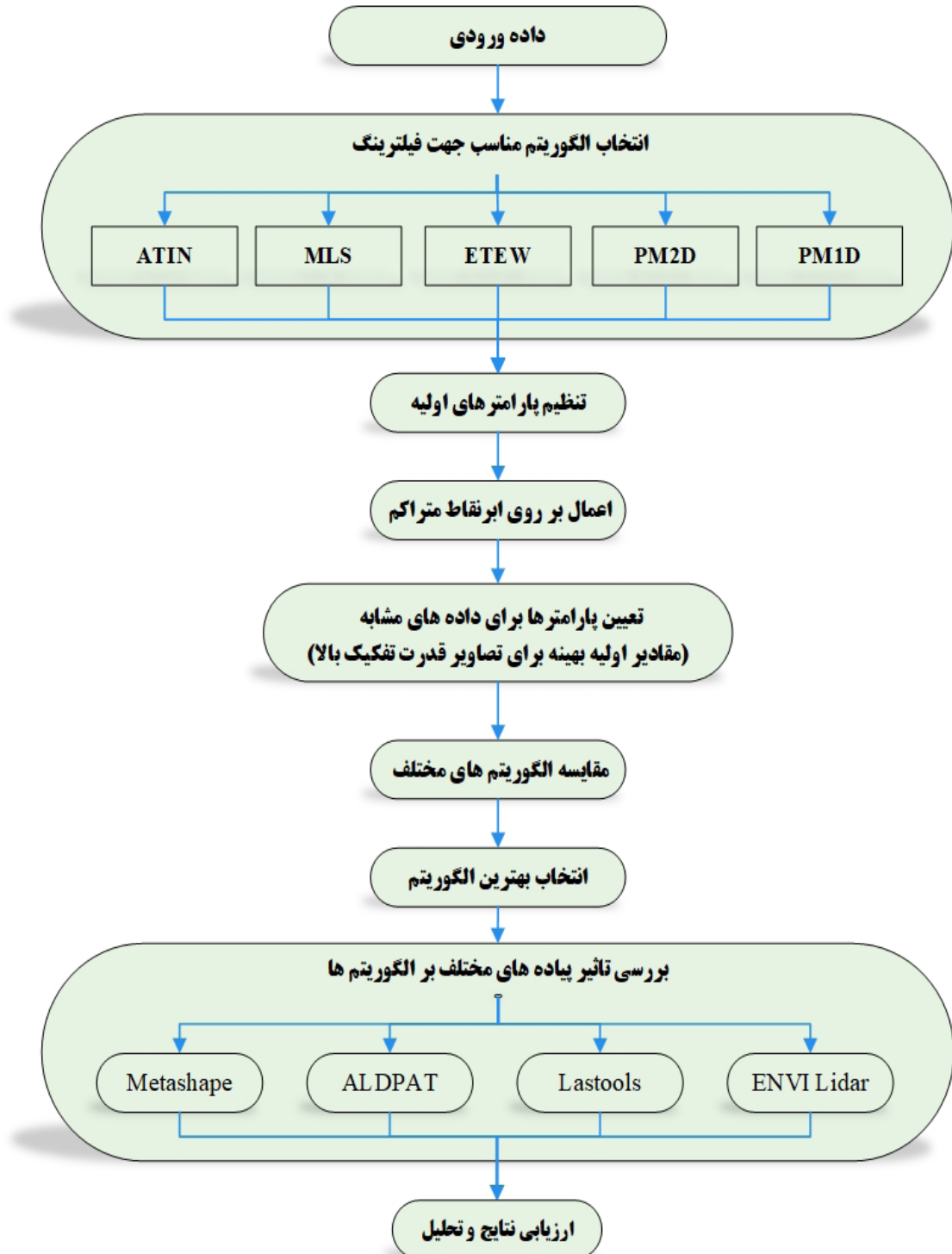
تصاویر هوایی رقومی مورد استفاده بخشی از یک بلوک تصاویر با رزولوشن ۸ سانتی متری بوده و توسط سنسور هواپرد در شهر وایهینگن^۱ توسط کمیسیون گروه کاری ۴ جامعه بین‌المللی فتوگرامتری و سنجش از دور^۲ ارائه شده است (Rottensteiner, Sohn, Gerke, & Wegner, 2013). این تصاویر با استفاده از دوربین هوایی رقومی Intergraph/ ZI DMC توسط شرکت REW Power در ۲۴ ژوئیه و ۶ آگوست سال ۲۰۰۸ به دست آمده‌اند. DSM با نرم‌افزار Trimble INPHO 5.3 تولید شد (Lemaire, 2008).

۳-۲- روش پیشنهادی

در این پژوهش ابتدا با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و با تنظیم پارامترهای آن، فیلتر مربوطه بر روی ابر نقاط متراکم منطقه اعمال شده است. این کار با اجراهای متعدد و سپس ارزیابی خروجی‌ها همراه بوده تا جایی که بالاترین دقت ممکن برای هر روش در هر تصویر به دست آید. این روند برای هر سه سری داده و الگوریتم‌های انتخابی انجام شد و در نهایت پارامترهای بهینه هر روش محاسبه شد.

1- Vaihingen

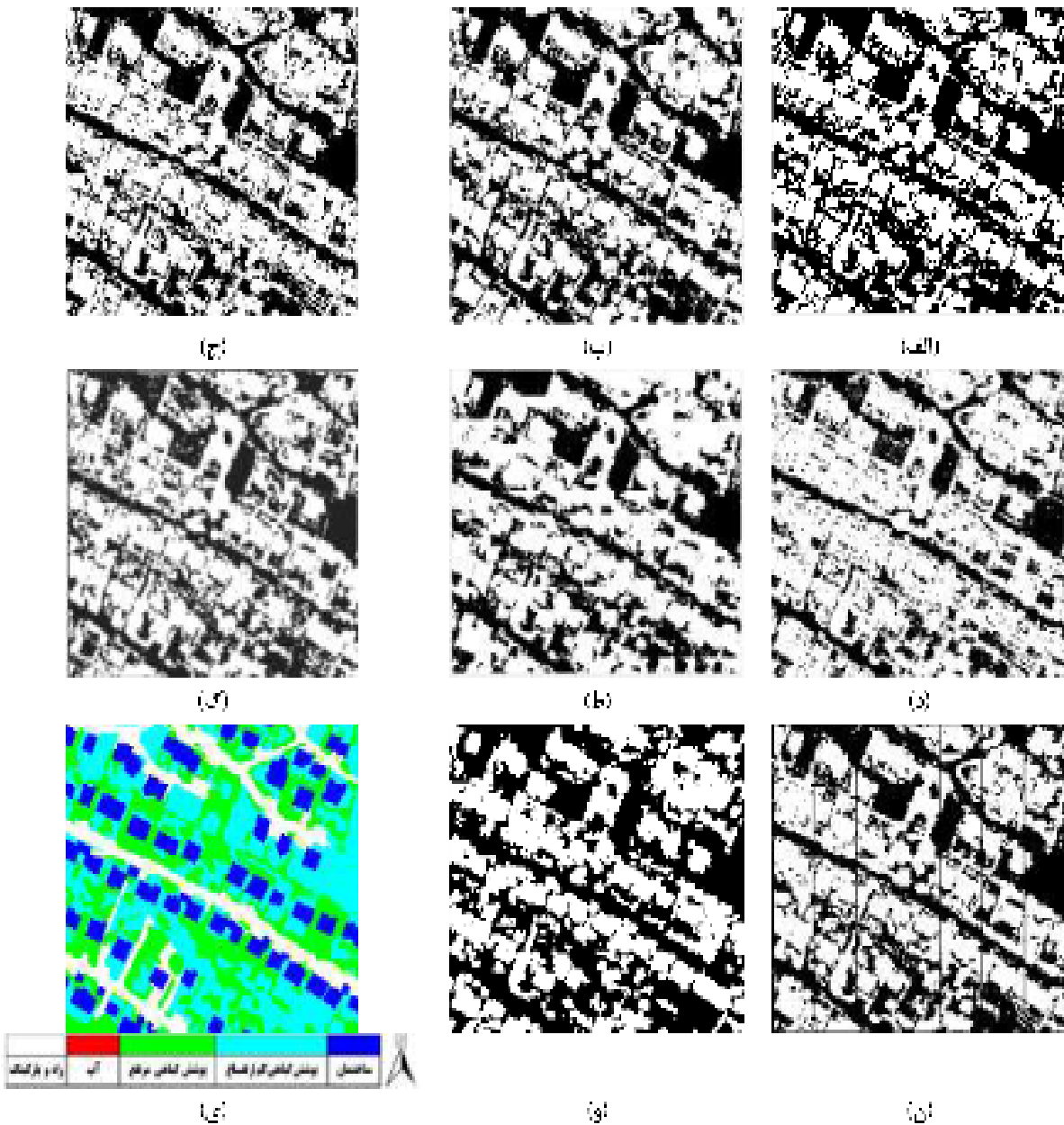
2- International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)



نگاره ۷: روند نمای تحقیق

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (...)

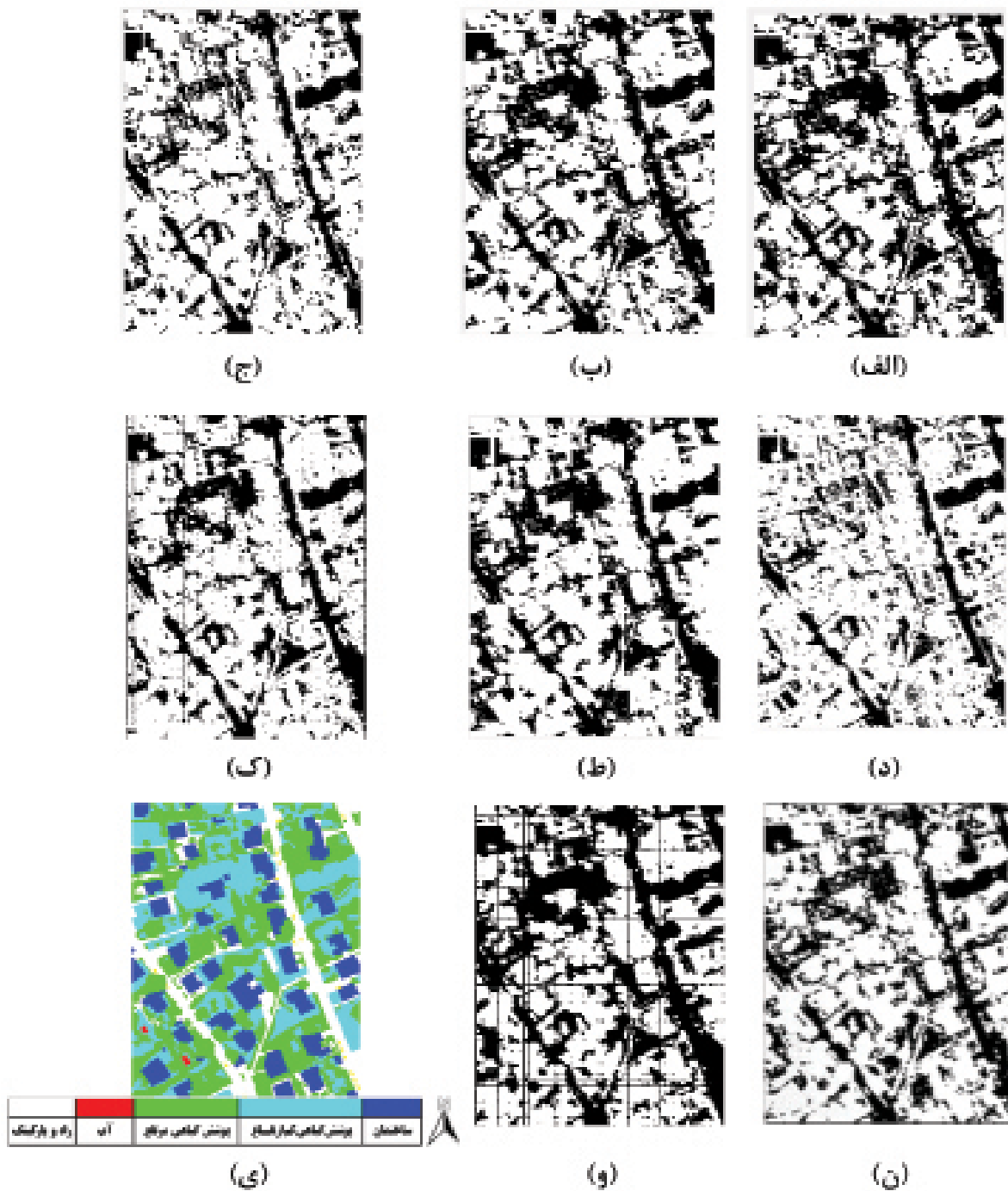
بررسی و تحلیل عملکرد فیلترهای مختلف استخراج عوارض غیرزمینی بر ... / ۱۷



نگاره ۸: تصویر تست یک، مناطق سفید عوارض مرتفع و مناطق سیاه زمین است؛ الف) Morph؛ ب) Morph2D؛

ج) ETEW؛ د) MLS؛ ط) ATIN(ALDPAT)؛ ک) ATIN(ENVI)؛ ن) TIN(lastools)؛

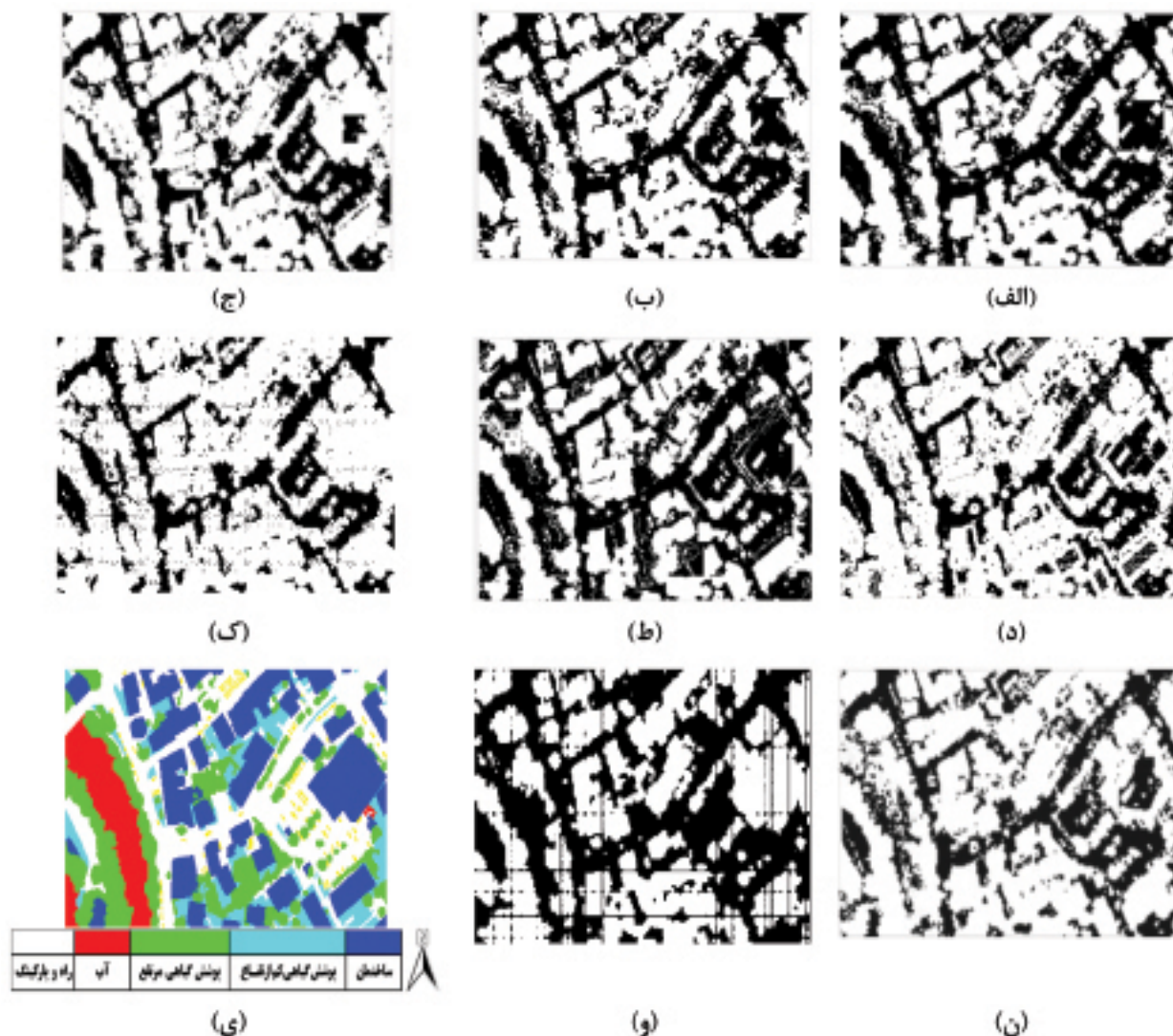
و) ATIN(metashape)؛ ی) تصویر واقعیت زمینی



نگاره ۹: تصویر تست دو، مناطق سفید عوارض مرتفع و مناطق سیاه زمین است؛ الف) Morph؛ ب) Morph2D؛

ج) ETEW؛ د) MLS؛ ط) ATIN(ALDPAT)؛ ک) ATIN(ENVI)؛ ن) TIN(lastools)؛

و) ATIN(metashape)؛ ی) تصویر واقعیت زمینی



نگاره ۱۰: تصویر تست سه، مناطق سفید عوارض مرتفع و مناطق سیاه زمین است؛ الف) Morph؛ ب) Morph2D؛

ج) ETEW؛ د) MLS؛ ط) ATIN(ALDPAT)؛ ک) ATIN(ENVI)؛ ن) TIN(lastools)؛

و) ATIN(metashape)؛ ی) تصویر واقعیت زمینی

استخراج سقف ساختمان‌های بلند به نسبت سایر الگوریتم‌ها نتایج مطلوبی داشته‌اند. بررسی کمی نتایج نیز از طریق ارزیابی صحت هریک انجام شد که برای هر سری داده در جداول ۱ و ۲ و ۳ ارائه شده است. همچنین در نگاره ۱۱ مقایسه‌ای بین نتایج دقت کلی سه سری داده صورت گرفته است. دقت روش ATIN در پیاده‌سازی‌های مختلف مقادیر متفاوتی به دست آورده است، علت آن نحوه رفتار کدهای

بررسی کیفی نتایج با مقایسه بصری خروجی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم ATIN در نرم‌افزار metashape در شناسایی ساختمان‌ها و استخراج گیاهان بهتر از سایر الگوریتم‌ها عمل نموده است و الگوریتم‌های Morph1D و Morph2D با دقت‌هایی نزدیک به یکدیگر عملکرد خوبی در استخراج نقاط زمینی از سایر عوارض داشته‌اند. الگوریتم‌های ATIN در نرم‌افزارهای ENVI و metashape در

اجرائی در هرکدام از پلتفرم‌ها بسته به تعداد پارامترهای قابل تنظیم توسط کاربر و یا بهینه بودن انتخاب پارامترهایی است که قرار بود به صورت اتوماتیک توسط کدهای اجرایی برآورد گردد.

در نگاره ۱۲ مقایسه‌ای از لحاظ تعداد پارامترها و نوع پارامترهای مؤثر در الگوریتم‌های ATIN موجود در پلتفرم‌های تجاری مختلف ارائه شده است. یکی از مهم‌ترین فاکتورهای ماتریس خطا، شاخص دقت کلی است که این

فاکتور دقت را براساس تعداد پیکسل‌هایی که به درستی طبقه شده‌اند محاسبه می‌کند. به بیان دیگر این فاکتور تعداد پیکسل‌هایی که برای هر یک از کلاس‌های مذکور به درستی طبقه‌بندی شده‌اند را به تمامی تعداد پیکسل‌های چک شده تقسیم می‌کند. در سری داده‌های ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب الگوریتم PM1D، PM2D، ETEW و MLS بیشترین دقت کلی را دارند. خطای مشارکت اشاره به پیکسل‌هایی دارد که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۱: دقت داده‌های سری ۱

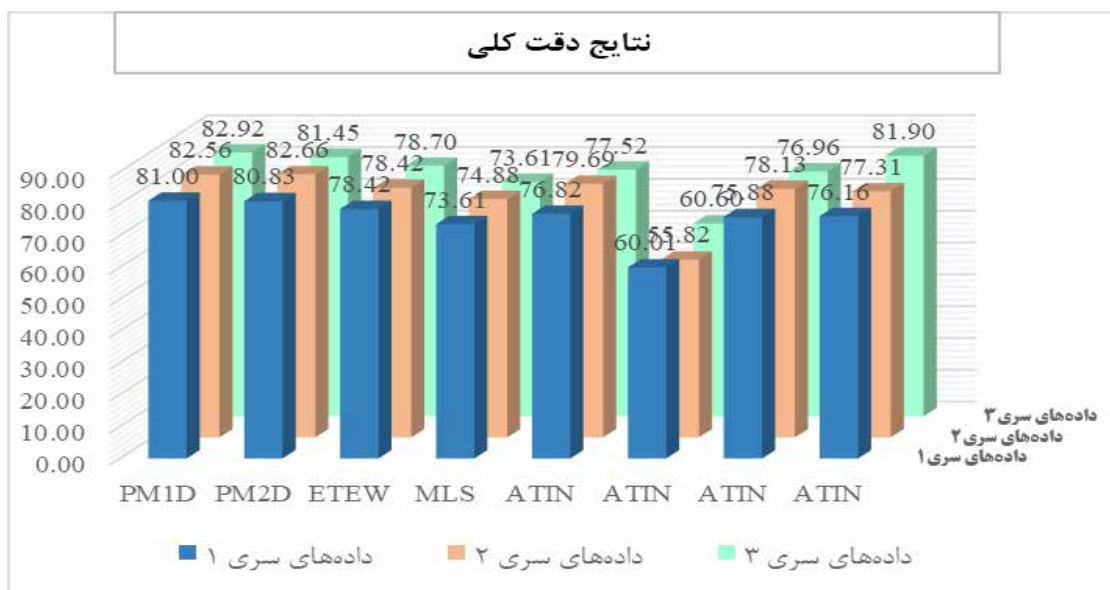
الگوریتم / شاخص ارزیابی	PM1D	PM2D	ETEW	MLS	ATIN	ATIN	ATIN	ATIN
	(ALDPAT)					(ENVI)	(lastools)	(metashape)
خطای نادیده گرفتن	18.99	19.16	21.57	26.38	23.17	35.5	24.11	23.83
خطای مشارکت	18.90	18.30	19.53	21.38	20.57	33.47	23.42	21.49
شاخص کیفیت	68.09	67.76	64.25	57.33	62	40	61.08	60.80
شاخص دقت کلی	81	80.83	78.42	73.61	76.82	60.01	75.88	76.16
ضریب کاپا	62	61.84	57.23	48.04	54.13	23.3	51.98	51.60

جدول ۲: دقت داده‌های سری ۲

الگوریتم / شاخص ارزیابی	PM1D	PM2D	ETEW	MLS	ATIN	ATIN	ATIN	ATIN
	(ALDPAT)					(ENVI)	(lastools)	(metashape)
خطای نادیده گرفتن	17.43	17.33	21.29	25.11	20.30	44.17	21.86	22.68
خطای مشارکت	17.37	16.77	18.63	21.88	19.63	32.08	21.33	21.19
شاخص کیفیت	70.23	70.20	63.52	58.59	65.91	35.27	63.80	63.03
شاخص دقت کلی	82.56	82.66	78.42	74.88	79.69	55.82	78.13	77.31
ضریب کاپا	64.44	64.35	54.79	47.15	58.13	17.19	54.95	55.04

جدول ۳: دقت داده‌های سری ۳

الگوریتم / شاخص ارزیابی	PM1D	PM2D	ETEW	MLS	ATIN	ATIN	ATIN	ATIN
	(ALDPAT)					(ENVI)	(lastools)	(metashape)
خطای نادیده گرفتن	17.07	18.58	21.29	26.38	22.47	40.65	23.03	18.09
خطای مشارکت	16.36	16.66	17.51	21.38	22.45	33.63	20.33	16.98
شاخص کیفیت	70.72	68.36	64.21	57.33	63.30	40.65	62.03	69.15
شاخص دقت کلی	82.92	81.45	78.70	73.61	77.52	60.60	76.96	81.90
ضریب کاپا	65.88	62.91	57.53	48.04	55.06	20.74	54.06	63.75



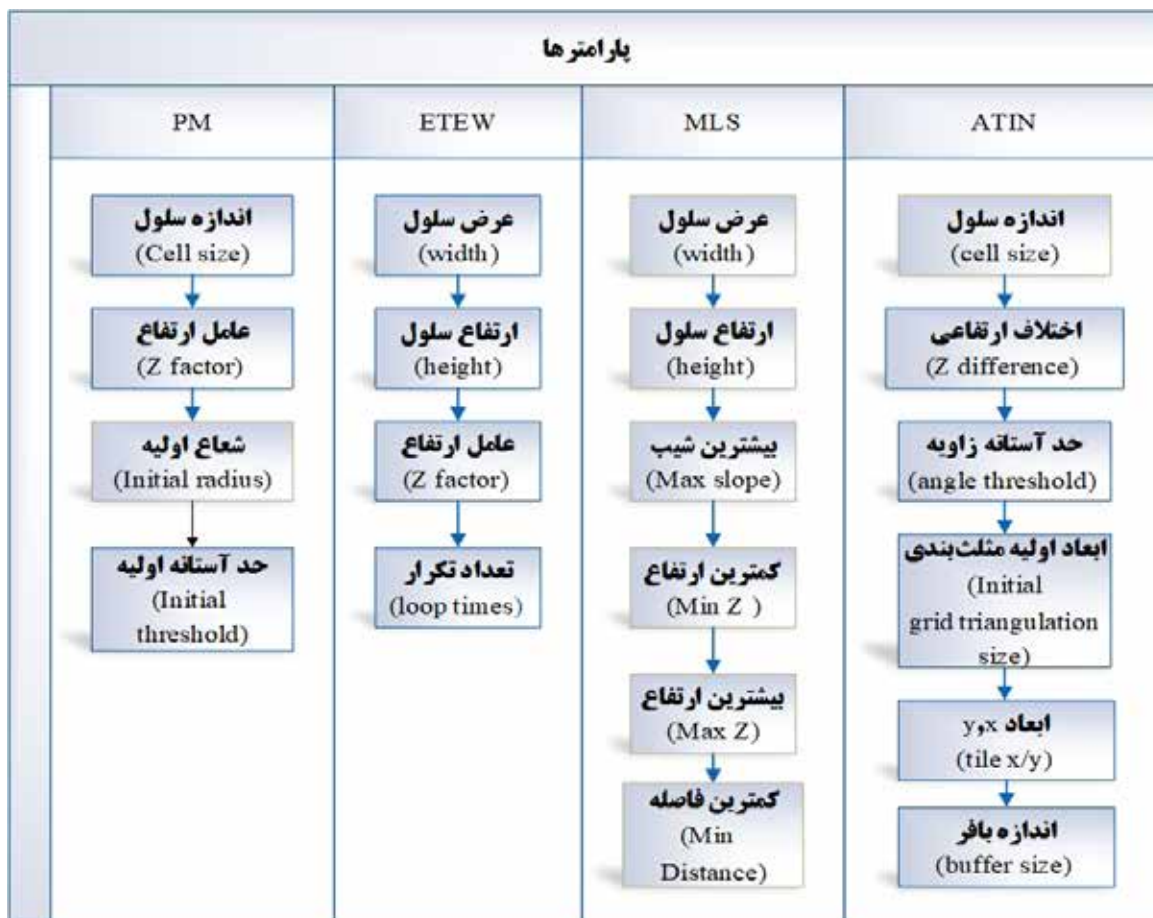
نگاره ۱۱: مقایسه دقت‌ها برای سه سری داده



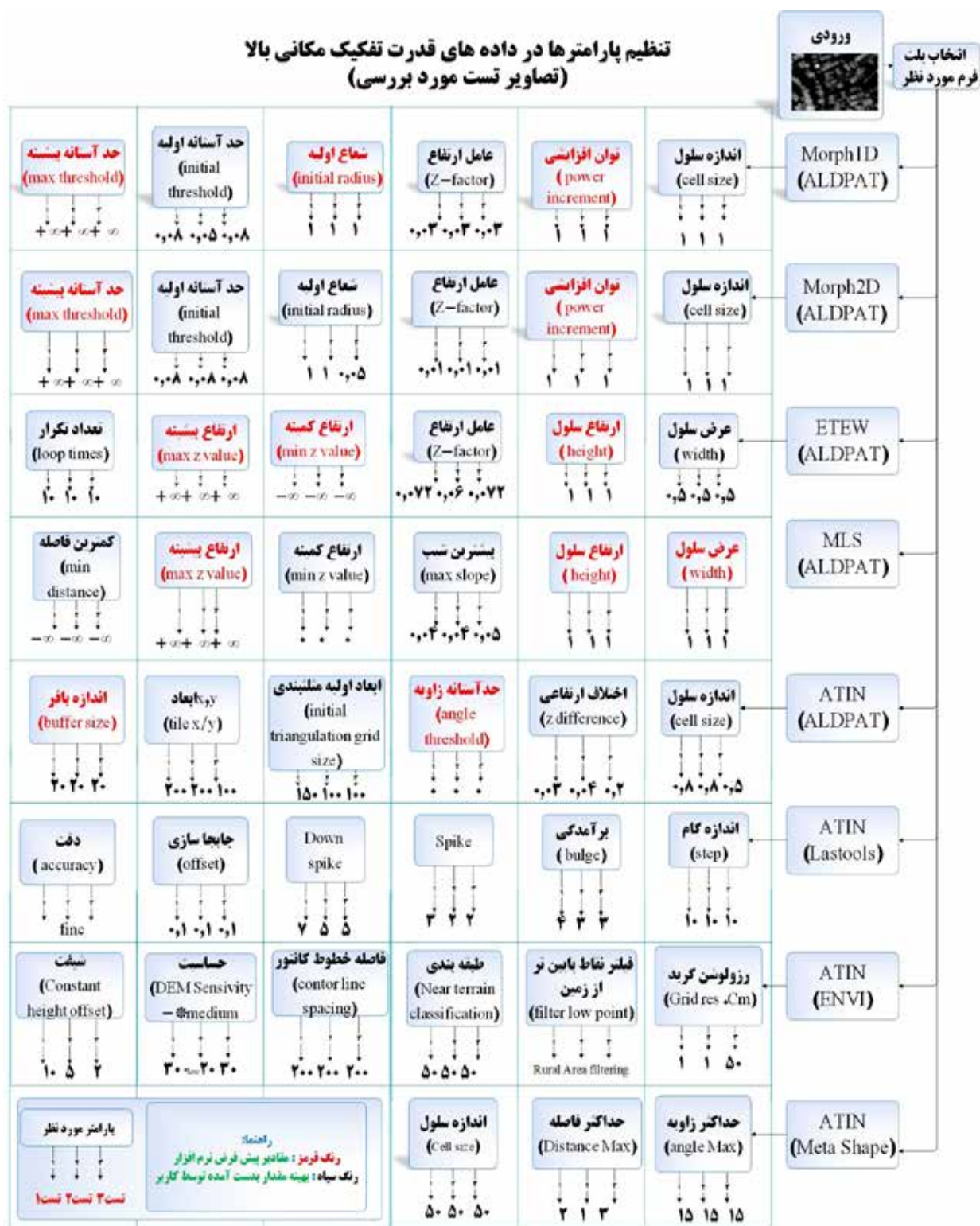
نگاره ۱۲: مقایسه پارامترهای الگوریتم ATIN در نرم‌افزارهای مختلف

تصادفی نیست. یک عدد منفی نشان می‌دهد که طبقه‌بندی به‌طور قابل توجهی بدتر از تصادفی است. مقدار نزدیک به ۱ نشان می‌دهد که طبقه‌بندی به‌طور قابل توجهی بهتر از تصادفی است. در سری داده‌های ۱، ۲ و ۳، الگوریتم PM1D بیشترین ضریب کاپا را داشتند. علاوه بر دقت‌های حاصله میزان پارامترهای قابل تنظیم توسط کاربر نیز امر مهمی در بعد اجرایی است، چرا که مستقیماً بر روی میزان اتوماسیون روش مورد استفاده اثرگذار است. براین اساس مقایسه‌ای هم بین روش‌های مورد بررسی از لحاظ تعداد پارامترهای مؤثر در نگاره ۱۳ انجام شده است. در پیاده‌سازی‌های مختلف مقادیر متفاوتی برای هر یک از الگوریتم‌ها تنظیم شده است، در نگاره ۱۴ مقادیر و پارامترهای مؤثر برای هر سه سری داده تست ارائه شده است.

در سری داده‌های ۱، ۲ و ۳، به ترتیب الگوریتم‌های PM1D، PM2D و PM2D بیشترین دقت کاربر را با مقادیر ۶۳/۸۳، ۲۲/۸۳، ۶۹/۸۱ به پیکسل‌هایی دارد که در فرآیند تفسیر نتیجه مورد استفاده قرار نگرفته است. در سری داده‌های ۱، ۲ و ۳، به ترتیب الگوریتم‌های PM1D، PM2D و PM1D بیشترین دقت تولیدکننده را با مقادیر ۹۲/۸۲، ۶۶/۸۲، ۰۰/۸۱ داشتند. ضریب کاپا برخلاف دقت کلی، یک معیار سختگیرانه است و از یک آزمون آماری برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی تولید می‌شود. ضریب کاپا میزان دقت را برعکس روش دقت کلی بر اساس تمامی پیکسل‌هایی که درست و غلط طبقه‌بندی شده‌اند، محاسبه می‌نماید. ضریب کاپا می‌تواند از -۱ تا ۱ باشد. مقدار ۰ نشان می‌دهد که طبقه‌بندی بهتر از یک طبقه‌بندی



نگاره ۱۳: پارامترهای روش‌های مختلف فیلترینگ



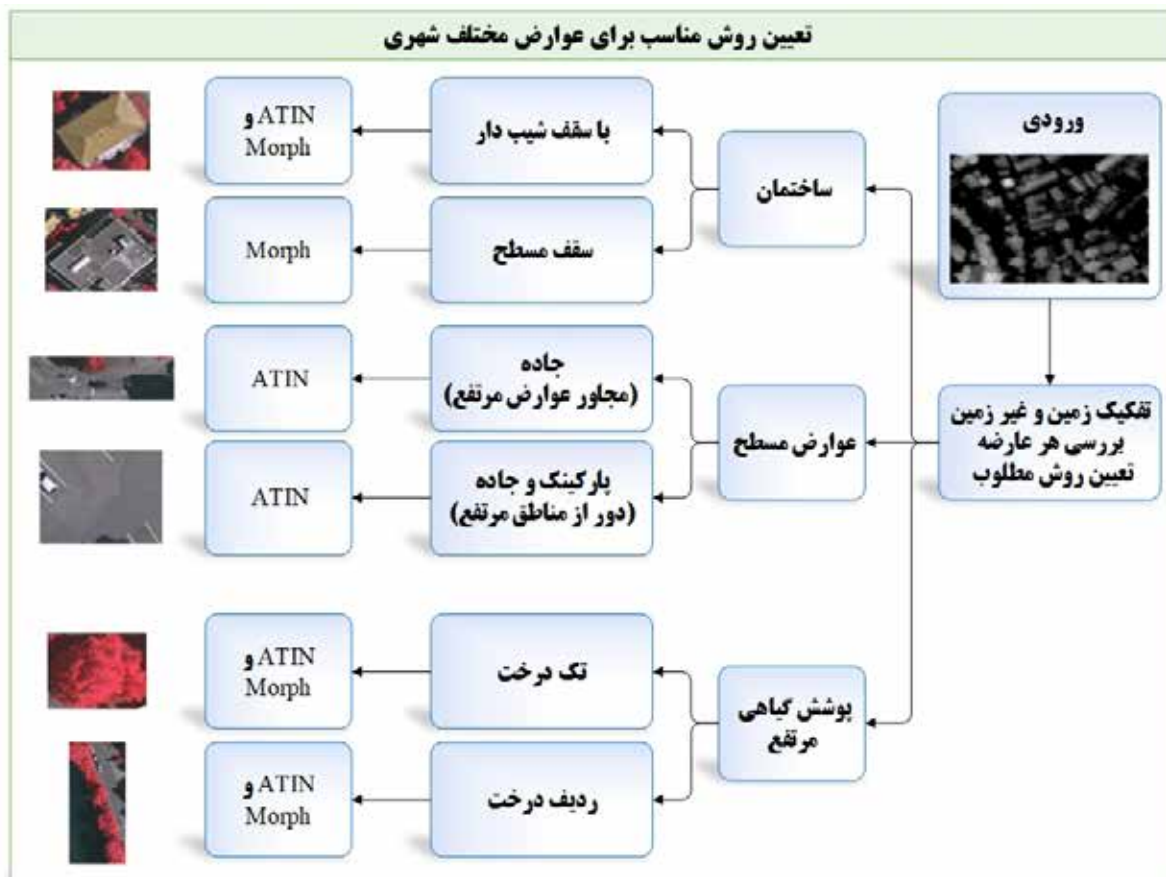
نگاره ۱۴: پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم‌ها

اگر هدف شناسایی عوارض مرتفع در مناطق شهری باشد با توجه به هزینه محاسباتی کمتری که روش Morph نسبت به روش ATIN دارد، روش Morph توصیه می‌شود. اما اگر هدف تولید DTM با کیفیت مناسب باشد، روش ATIN اولویت خواهد داشت.

۵- نتیجه‌گیری

فیلتراسیون زمین برای تولید DEM ضروری است. از آنجایی که قادر به بازدهی چندگانه است، هنگام برداشتن نقاط غیرزمینی از ابر نقطه، استفاده از ابر نقطه لایدار بسیار سودمند است. با این حال، به دلایل فنی و اقتصادی، ممکن است همیشه امکان دسترسی به ابرهای نقطه لایدار وجود نداشته باشد. از این رو ممکن است تحلیلگران استفاده از ابرهای نقطه‌ای مبتنی بر فتوگرامتری را برای فیلتر کردن

با مقایسه‌ی نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که در کلاس ساختمان با سقف‌های شیب‌دار روش Morph و ATIN عملکرد بهتری داشته ولی در ساختمان با سقف صاف یا به عبارت دیگر ساختمان‌هایی که پشت‌بام دارند تنها روش Morph دقت مناسبی داشته است. در کلاس تک‌درخت روش Morph و ATIN در نرم‌افزار metashape توانسته‌اند به خوبی تفکیک را انجام دهند و در کلاس ردیف درختان نیز این دو روش عملکرد خوبی داشته‌اند. روش ATIN در نرم‌افزار metashape توانسته کلاس جاده را به نسبت سایر روش‌ها با دقت بهتری تفکیک کند، همچنین این روش در کلاس رودخانه نیز عملکردی خوب داشته است. در نگاره ۱۵ مقایسه بصری نتایج الگوریتم‌های مختلف برای تشخیص عوارض نشان داده شده است. به طور کلی با توجه به نتایج حاصله در آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش،



نگاره ۱۵: تعیین روش مناسب برای تشخیص عوارض مختلف

عوارضی چون ساختمان با سقف شیب‌دار، تک‌درخت و ردیف درخت دو الگوریتم ATIN و Morph نتایج مطلوبی را ارائه داده‌اند. همچنین طبق نتایج به‌دست آمده الگوریتم مناسب برای ساختمان با سقف مسطح الگوریتم Morph و برای جاده و پارکینگ الگوریتم ATIN می‌باشد. به‌طور کلی براساس مطالب ذکر شده پیشنهاد می‌شود برای مناطق شهری و کوچک به دلیل صرفه‌جویی در زمان و وجود پارامترهای مؤثر کمتر از الگوریتم Morph استفاده شود.

منابع و مآخذ

- 1- Abdullah, A., Vojinovic, Z., Price, R., & Aziz, N. (2012). A methodology for processing raw LiDAR data to support urban flood modelling framework. *Journal of Hydroinformatics*, 14(1), 75-92.
- 2- Axelsson, P. (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International archives of photogrammetry and remote sensing*, 33(4), 110-117.
- 3- Baltsavias, E. P. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning. *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2), 83-94.
- 4- Brunn, A., & Weidner, U. (1997). Extracting buildings from digital surface models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32(3 SECT 4W2), 27-34.
- 5- Capaldo, P., Crespi, M., Fratarcangeli, F., Nascetti, A., & Pieralice, F. (2012). DSM generation from high resolution imagery: applications with WorldView-1 and GeosEye-1. *Italian Journal of Remote Sensing/Rivista Italiana di Telerilevamento*, 44(1).
- 6- Chen, Q., Gong, P., Baldocchi, D., & Xie, G. (2007). Filtering airborne laser scanning data with morphological methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(2), 175-185.
- 7- Demir, N., Sönmez, N. K., Akar, T., & Ünal, S. (2018). Automated measurement of plant height of wheat genotypes using a DSM derived from UAV imagery. Paper presented at the Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings.
- 8- Gevaert, C., Persello, C., Nex, F., & Vosselman, G. (2018). A deep learning approach to DTM extraction from imagery using rule-based training labels. *ISPRS Journal of*

زمین انتخاب کنند. در مواردی که کاربران نیاز به فیلتر کردن ابر نقطه مبتنی بر فتوگرامتری دارند، مجبور به استفاده از الگوریتم‌های فیلتر زمینی هستند که عمدتاً برای فیلتر کردن داده‌های لایدار ساخته شده‌اند.

در این تحقیق چند نمونه روش مطرح برای فیلترینگ نقاط زمین و غیرزمین در مناطق شهری و بر روی داده‌های با قدرت تفکیک بالا مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به اینکه استخراج DEM برای تصاویر با ابعاد بزرگ در نظر گرفته شده است، بهینه‌سازی وظایف پردازش تصویر نسبت به استفاده از حافظه و زمان اجرا مورد توجه قرار گرفته است. به این منظور الگوریتم‌های ATIN، ETEW، MORPH1D و MORPH2D برای استخراج زمین ارزیابی شده است. برای ارزیابی ابتدا الگوریتم‌ها بر روی داده‌های تست مورد آزمایش قرار گرفته و سپس نتایج حاصله با تصویر واقعیت زمینی مورد بررسی قرار گرفتند. تمامی الگوریتم‌های ذکر شده به دلیل پیروی از یک قاعده یا تئوری خاص با یک سری چالش‌ها و شرایط خاصی برای ارائه نتایج مناسب روبه‌رو می‌باشند. به همین دلیل هر یک از الگوریتم‌ها ممکن است برای نوع یا انواع خاصی از زمین‌ها یا مناطق مناسب بوده و نتایج مطلوبی را ارائه دهند. با مقایسه نتایج حاصل از هر سه سری داده، مشاهده می‌شود که میزان تفاوت دقت‌های الگوریتم‌های مورفولوژی یک‌بعدی و مورفولوژی دوبعدی ناچیز بوده و عملکردی مشابه هم دارند. از نظر زمان پردازش‌ها، روش ATIN نسبت به سایر روش‌ها از مدت زمان اجرایی بیشتر و روش ETEW نسبت به سایر الگوریتم‌ها، از زمان اجرایی کمتری برخوردار بوده است. همچنین تعداد پارامترهای الگوریتم بیانگر میزان دخالت کاربر در پردازش داده‌ها است، در نتیجه با توجه به اینکه الگوریتم ETEW پارامترهای کمتری دارد، میزان خودکارسازی آن بیشتر از سایر الگوریتم‌ها است. با مقایسه و بررسی نتایج به‌دست آمده از داده‌های تست مشاهده می‌شود که در منطقه شهری الگوریتم‌های MLS و ETEW کمترین میزان کارایی را داشتند. از طرف دیگر در

- and Spatial Information Sciences, 36(part 3), W19.
- 20- Sulaiman, N. S., Majid, Z., & Setan, H. (2010). DTM generation from LiDAR data by using different filters in open-source software. *Geoinformation Science Journal*, 10(2), 89-109.
- 21- Vosselman, G. (2000). Slope based filtering of laser altimetry data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(B3/2; PART 3), 935-942.
- 22- Wang, C.K., & Tseng, Y.H. (2010). DEM generation from airborne LiDAR data by an adaptive dual-directional slope filter: na.
- 23- Yilmaz, C. S., Yilmaz, V., & Gungor, O. (2017). Ground Filtering of a UAV-based Point cloud with the Cloth Simulation Filtering Algorithm. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Advances and Innovations in Engineering (ICAIE), Elazig, Turkey.
- 24- Yilmaz, V., Konakoglu, B., Serifoglu, C., Gungor, O., & Gökalp, E. (2018). Image classification-based ground filtering of point clouds extracted from UAV-based aerial photos. *Geocarto international*, 33(3), 310-320.
- 25- Zhang, K., Chen, S.C., Whitman, D., Shyu, M.L., Yan, J., & Zhang, C. (2003). A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 41(4), 872-882.
- 26- Zhang, K., & Whitman, D. (2005). Comparison of three algorithms for filtering airborne lidar data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 71(3), 313-324.
- 27- Zhang, S., Han, F., & Bogus, S. M. (2020). Building Footprint and Height Information Extraction from Airborne LiDAR and Aerial Imagery. Paper presented at the Construction Research Congress 2020: Computer Applications.
- 28- Zhao, X., Guo, Q., Su, Y., & Xue, B. (2016). Improved progressive TIN densification filtering algorithm for airborne LiDAR data in forested areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 117, 79-91.
- 29- Zhu, X., Pang, G., Chen, P., Tao, Y., Zhang, Y., & Zuo, X. (2020). Research on Urban Construction Land Change Detection Method Based on Dense Dsm and Tdom of Aerial Images. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 205-210.
- Photogrammetry and Remote Sensing, 142, 106-123.
- 9- Julzarika, A. (2020). Utilization of DSM and DTM for Spatial Information in Lake Border. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- 10- Kiani, A., Ahmadi, F. F., & Ebadi, H. (2021). Correction of training process in object-based image interpretation via knowledge based system capabilities. *Multimedia Tools and Applications*, 1-24.
- 11- Lemaire, C. (2008). Aspects of the DSM production with high resolution images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B4), 1143-1146.
- 12- Menderes, A., Erener, A., & Sarp, G. (2015). Automatic detection of damaged buildings after earthquake hazard by using remote sensing and information technologies. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 257-262.
- 13- Nex, F., & Gerke, M. (2014). Photogrammetric DSM denoising. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(3), 231.
- 14- Podobnikar, T., Stancic, Z., & Oštir, K. (2000). Data integration for the DTM production. Paper presented at the International Cooperation and Technology Transfer, Proceedings of the Workshop.
- 15- Rottensteiner, F., Sohn, G., Gerke, M., & Wegner, J. D. (2013). ISPRS test project on urban classification and 3D building reconstruction. *Commission III-Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis, Working Group III/4-3D Scene Analysis*, 1-17.
- 16- Serifoglu, C., Gungor, O., & Yilmaz, V. (2016). Performance Evaluation of different ground filtering Algorithms for UAV-BASED point clouds. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 41.
- 17- Serifoglu Yilmaz, C., Yilmaz, V., & Güngör, O. (2018). Investigating the performances of commercial and non-commercial software for ground filtering of UAV-based point clouds. *International Journal of Remote Sensing*, 39(15-16), 5016-5042.
- 18- Sithole, G., & Vosselman, G. (2003). Comparison of filtering algorithms. Paper presented at the Proceedings of the ISPRS working group III/3 workshop.
- 19- Sithole, G., & Vosselman, G. (2005). Filtering of airborne laser scanner data based on segmented point clouds. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing*