

## استخراج جاده‌های مخفی جنگلی با استفاده از داده‌های لیدار (مطالعه موردی: بخشی از جنگل‌های شصت کلاته گرگان)

حامد خانی پردنجانی<sup>۱\*</sup>، علی اصغر تراهی<sup>۲</sup>، حمیدرضا ریاحی بختیاری<sup>۳</sup>، سعید صادقیان<sup>۴</sup>، مریم  
دوبستی مغانداری<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی - دانشکده علوم جغرافیایی - دانشگاه خوارزمی تهران  
hamed\_khani68@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار گروه ژئوانفورماتیک - دانشکده علوم جغرافیایی - دانشگاه خوارزمی تهران  
atorahi@khu.ac.ir

<sup>۳</sup> استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل - دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین - دانشگاه شهرکرد  
hriyahi@sku.ac.ir

<sup>۴</sup> دانشیار دانشکده مهندسی عمران آب و محیط زیست - دانشگاه شهید بهشتی  
sa\_sadeghian@sbu.ac.ir

<sup>۵</sup> کارشناس مهندسی نقشه برداری - موسسه آموزش عالی فرزنانگان  
doustim649@gmail.com

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۸، تاریخ تصویب تیر ۱۴۰۰)

### چکیده

جهت تحقق اهداف مدیریتی و بهره‌برداری از جنگل‌ها، دسترسی به بخش‌های مختلف آن ضروری است. این امر از طریق جاده‌های جنگلی امکان پذیر می‌شود. تهیه نقشه جاده‌های جنگلی به روش سنتی خصوصاً در مناطق پرتراکم و کوهستانی بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر می‌باشد. لذا در این تحقیق سعی شده با به‌کارگیری فناوری دور سنجی با استفاده از داده‌های لیدار موجود در ایران، جاده‌های مخفی جنگلی استخراج شود. نوآوری تحقیق استفاده از روش پیشنهادی و داده‌های لیدار جهت استخراج جاده‌های مخفی جنگلی با دقت زیادتر می‌باشد. جهت انجام این تحقیق در ابتدا نوبزه‌های موجود در داده‌های لیدار حذف شد. در ادامه طبق قضیه حد مرکزی و محاسبه ممان سوم آماری (چولگی) داده‌ها، نقاط غیرزمینی حذف شدند. در این مرحله به‌اشتباه تعدادی نقاط غیرزمینی به‌عنوان نقاط زمینی شناخته شد، برای رفع این خطاها با اعمال الگوریتم شیب مبنا با شعاع همسایگی ۱۰ متر و شیب ۲۲ درجه بر روی نقاط حاصل از الگوریتم اول، این نقاط در نهایت حذف و نقاط زمینی استخراج شدند، در ادامه نقاط زمینی استخراج شده شبکه‌بندی شد. سپس شبکه‌بندی موجود بر اساس تراکم پیکسل‌ها به پلی‌گون تبدیل شد و با بررسی مدل رقومی زمین و همچنین تصاویر هوایی اولتراکم، پلی‌گون‌هایی که مربوط به جاده نبودند حذف شدند. خروجی تحقیق تا این مرحله استخراج جاده‌هایی بود که توسط تاج پوشش جنگل مخفی نمانده بود در نتیجه جهت استخراج قسمت‌های مخفی جاده، مجدداً با اعمال الگوریتم شیب مبنا با شعاع همسایگی ۱۰ متر و شیب ۶۵ درجه بر روی کل نقاط لیدار و درون‌یابی نقاط به روش بی‌اسپیلین، جاده‌های مخفی جنگلی استخراج شدند که با متصل کردن و اصلاح کردن پلی‌گون‌ها، جاده‌های خاکی با عرض ۳ متر و مسیرهای چوبکشی با عرض ۲ متر استخراج شدند. مقایسه نتایج تحقیق با جاده استخراج شده توسط برداشت نقاط زمینی نشان داد معیار کامل بودن، صحیح بودن و کیفیت به ترتیب ۸۲ درصد، ۸۶ درصد و ۷۲ درصد می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** جاده‌های جنگلی، داده‌های لیدار، الگوریتم شیب مبنا، مدل رقومی زمین، تصاویر هوایی اولتراکم

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

تاج پوشش متراکم جنگل، نقشه‌برداری جاده‌ها و مسیرهای چوبکشی توسط این دستگاه با خطای زیادی همراه است [۸]. هدف از این تحقیق استخراج جاده‌های مخفی جنگلی با دقت قابل قبول از داده‌های لیدار موجود در کشور جهت به‌روزرسانی نقشه جاده‌های جنگلی می‌باشد، به همین دلیل در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت جاده‌های جنگلی که ذکر شد و همچنین به علت نفوذ داده‌های لیدار در تاج پوشش و امکان استخراج اطلاعات عوارض زیر تاج پوشش جنگل، توسط داده‌های لیدار، برای به‌دست آوردن اطلاعات سطح زمین زیر تاج پوشش جنگل، از این داده‌ها استفاده شده است. نوآوری تحقیق استفاده از داده‌های فاصله لیدار هوایی موجود در ایران و بررسی قابلیت روش پیشنهادی جهت استخراج جاده‌ها و مسیرهای چوبکشی جنگل‌های شمال کشور است.

## ۲- پیشینه تحقیق

با پیشرفت فناوری، تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد با قابلیت‌های ویژه در بارز سازی شکل و بافت عوارض موجود در تصویر برای استخراج جاده‌ها از تصاویر هوایی و ماهواره‌ای بکار گرفته شدند [۹]، به عنوان مثال لپتو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از روش‌های منحنی فعال<sup>۳</sup> نقشه جاده‌های جنگلی، زراعت و روستایی را از تصاویر رقومی هوایی با قدرت تفکیک مکانی نیم متر به صورت خودکار استخراج کردند. در این تحقیق در بخش جنگل محور لبه جاده با استفاده از روش منحنی‌های فعال با دقت ۶۳ درصد استخراج شد. این مدل نتوانسته بود قطعاتی از جاده که به طور کامل در زیر تاج پوشش قرار گرفته بود را استخراج نماید [۳]. جهت حل این مشکل پژوهشی توسط هاورکمپ<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۳) انجام شد در این تحقیق یک روش خودکار استخراج خطوط روشن از بافت تصاویر چند طیفی بکار گرفته شد و در مرحله بعد با یک روش نیمه‌خودکار انحناها و قطعات پنهان جاده‌ها را به صورت تخمینی بارزسازی نمودند. نتایج نشان داد بسته به شرایط بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، ۴۹ تا ۶۶ درصد جاده‌ها استخراج شد [۱۰]. در ادامه جهت افزایش

در سال‌های اخیر استخراج جاده‌ها از داده‌های دور سنجی، به دلیل اهمیت زیاد در بسیاری از کاربردها مانند حمل‌ونقل، سامانه‌های هدایت خودکار وسایل نقلیه، مدیریت ترافیک، واکنش‌ها در مواقع بحران و نیز تسهیل و تسریع در امر به‌روزرسانی پایگاه‌های داده موجود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. درگذشته به طور سنتی، اطلاعات مربوط به جاده‌ها از طریق تفسیر چشمی به‌وسیله کاربر از اورتوفتوها، عکس‌های هوایی و یا از طریق نقشه‌برداری زمینی به‌دست می‌آمد، که البته کاری بسیار وقت‌گیر، پرهزینه و نیازمند نیروی انسانی زیاد بود. علم سنجش از دور از شروع پیدایش به عنوان ابزاری مهم در پژوهش و مدیریت جنگل مطرح شده است [۱] امروزه داده‌های دورسنجی به دلیل برخورداری از مزایایی چون هزینه‌ای به مراتب کم‌تر، سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار، سهولت پردازش و به‌هنگام بودن توانسته است نقش مؤثری در جمع‌آوری اطلاعات در مورد جاده‌های جنگلی ایفا کند [۲]. با توجه به اینکه بخشی از جاده‌های جنگلی در زیر تاج پوشش درختان مخفی هستند، بارز سازی عوارض زیر تاج پوشش و امکان استخراج دقیق اطلاعات جاده‌ها با استفاده از داده‌های طیفی مقصور نیست [۳]. بنابراین تصاویر ماهواره‌ای طیفی و عکس‌های هوایی به‌تنهایی برای استخراج نقشه جاده‌های جنگلی کافی نیستند و به داده‌هایی که قابلیت نفوذ در تاج پوشش جنگل را داشته باشد نیاز است [۴]. از این‌رو داده‌های لیزر اسکن<sup>۱</sup> هوایی می‌تواند منبع اطلاعاتی مناسبی در زمینه بارز سازی عوارض زیر تاج پوشش درختان می‌باشد [۵]. لیدار یک فناوری جدید است که بر مبنای اندازه‌گیری فاصله لیزر عمل می‌نماید. دقت مسطحاتی و ارتفاعی زیاد ابر نقاط برداشت شده توسط لیدار و قابلیت ثبت شدت سیگنال بازگشتی این پتانسیل را ایجاد نموده است تا بتوان از این داده‌ها جهت شناسایی و استخراج خودکار عوارض سه‌بعدی استفاده نمود [۶]. در جنگل‌های شمال ایران، معمولاً دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) برای بازیابی نقشه شبکه جاده‌های جنگلی بکار می‌رود [۷]. استفاده از GPS گرچه کم‌هزینه است ولی به دلیل وجود

<sup>۲</sup> Laptev<sup>۳</sup> Snakes<sup>۴</sup> Haverkamp<sup>۱</sup> Lidar

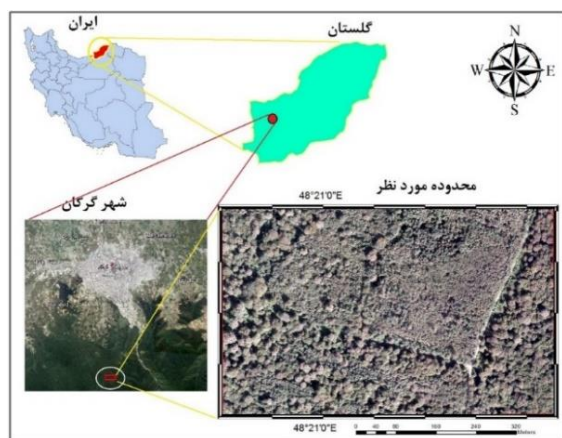
داده‌های لیدار می‌توان به دقت ۰/۲۳ و ۰/۴۷ متر برای جاده اول و دقت ۰/۳۱ و ۰/۶۶ متر برای جاده دوم رسید که در مقایسه با توتال استیشن از دقت بالاتری برخوردار است، همچنین ثابت شد که زمان کمتری صرف استخراج جاده با استفاده از داده‌های لیدار می‌شود [۱۲]. آپادایا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) الگوریتم کارآمدی برای استخراج جاده‌ها توسعه دادند. آن‌ها با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده بر روی داده‌های شدت و اعمال الگوریتم حداکثر احتمال برای جداسازی عوارض جاده‌ای از غیر جاده‌ای و همچنین تولید مدل رقومی زمین (DTM) از داده‌های فاصله لیدار با الگوریتم مورفولوژیکال شبکه‌های جاده را استخراج کردند، نتایج حاکی از دقت ۹۴ درصد و صحت ۸۸ درصد بود [۱۳]. وو<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۰) جهت استخراج جاده، سه منطقه برداشت شده توسط تکنولوژی لیدار شامل جاده کمربندی ساحلی، جاده پاریس- لیل و جاده کیتی که به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۲ اخذ شده بود روشی را پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد این روش با توجه به معیار کامل بودن ۶۵/۶۷، صحیح بودن ۵۱/۸۶ و کیفیت ۴۰/۸۶ درصد، نسبت به روش‌های دیگری که این جاده‌ها استخراج گردیده بود مناسب‌تر است و البته جزئیات جاده مانند ترک‌های جاده‌ای به خوبی استخراج شد [۱۴]. در ایران نیز تحقیقاتی جهت افزایش دقت و صحت استخراج جاده با استفاده از داده‌های لیدار انجام گرفته به‌عنوان مثال: متکان و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیق خود الگوریتمی برای آشکارسازی راه‌ها ارائه دادند که در آن منحصراً از داده‌های لیدار، استفاده شد. برای این منظور، ابتدا داده‌های شدت و سپس هر دو داده شدت و فاصله لیدار با استفاده از ماشین بردار پشتیبان طبقه‌بندی شد. سپس با استفاده از الگوریتم شیب مبنا، عوارض ارتفاعی از مجموعه داده‌ها حذف شدند و مدل رقومی زمین و مدل رقومی عوارض غیرزمینی به دست آمد. در ادامه، نتایج مرحله طبقه‌بندی با بهره‌گیری از لایه اطلاعاتی مدل رقومی عوارض غیرزمینی بهبود داده شد. سرانجام با انجام عملیات پس پردازش راه‌ها از داده‌های لیدار شناسایی شد نتایج نشان داد معیار کامل بودن، صحیح بودن و کیفیت به ترتیب برابر با ۸۴/۳۵، ۷۱/۶۱ و

دقت و صحت استخراج جاده‌های مخفی جنگلی مطالعاتی صورت گرفت به‌عنوان مثال جین<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳) با ادغام تصاویر طیفی و پانکروماتیک ماهواره‌ای، استخراج نقشه جاده‌ها را در منطقه‌ای که بخش‌هایی از آن دارای پوشش جنگلی بود با کمک الگوریتم‌های ریخت‌شناسی فازی بررسی نمودند. برای طبقه‌بندی مناسب‌تر داده‌ها شاخص پوشش گیاهی (NDVI) برای منطقه محاسبه شد و به‌عنوان داده تلفیقی بکار گرفته شد. نتایج این تحقیق صحت ۷۰ تا ۹۲ درصدی نقشه‌های تولیدی را نشان داد که در مقایسه با مطالعات مشابه هورکمپ از صحت بیشتری برخوردار بود [۹]. مطالعه وایت<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های لیدار به آشکارسازی نیمه خودکار شبکه جاده موجود در زیر تاج پوشش جنگل انجام شد. برای انجام این مطالعه مدل رقومی ارتفاع منطقه با قدرت تفکیک مکانی یک متر مورد استفاده قرار گرفت. موقعیت، شیب و طول جاده با دقت استخراج شد. نقشه استخراج شده از داده‌های لیدار در مقایسه با نقشه تهیه شده از نقشه‌برداری زمینی نشان داد که موقعیت جاده‌ها از صحت مکانی ۱/۵ متر و طول جاده‌ها به‌طور کلی ۹۸ درصد صحت برخوردار بود، اما شیب جاده‌ها در این نقشه تنها ۵۳ درصد صحت داشت [۸]. سیلوا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۱) نیز با استفاده از تصاویر رقومی هوایی به روش خودکار تبدیل رادون<sup>۴</sup> در منطقه پارانای برزیل نقشه جاده‌ها را استخراج نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد در بخش‌هایی که جاده در زیر تاج پوشش یا سایه تاج درختان قرار می‌گیرد امکان استخراج پیکسل‌های دارای ارزش جاده وجود ندارد اما با ترکیب داده‌های نوری با داده‌های اسکنر لیزری (LSD)<sup>۵</sup> می‌توان این مشکل را حل کرد و دقت نقشه‌ها را تا ۱۱ درصد بهبود بخشید. سایه و شاخ برگ درختان از جمله پدیده‌هایی هستند که با کمک ادغام داده‌های لیزر و طیفی می‌توان اثر آن‌ها را کاهش داد [۱۱]. متین‌نیا و همکاران (۲۰۱۸) نتایج استخراج دو جاده جنگلی با استفاده از داده‌های لیدار و دوربین توتال استیشن را از جهت دقت (مسطحاتی و ارتفاعی) و زمان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد با استفاده از

<sup>۱</sup> Jin  
<sup>۲</sup> White  
<sup>۳</sup> Silva  
<sup>۴</sup> Radon transform  
<sup>۵</sup> Laser Scanner Data

<sup>۱</sup> Upadhayay  
<sup>۲</sup> Wu

شیست سبز، تیز کوه و لار از جنس لس می‌باشد. غالب تیپ‌های گیاهی موجود در منطقه عبارتند از: "راش-ممرز"، "انجیلی-افرا-ممرز" و "ممرز-انجیلی" [۱۸].



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

#### ۴- مواد تحقیق

در این تحقیق از داده‌های لیدار و تصاویر هوایی اولتراکم (جهت بررسی دقت) استفاده شده است که در ادامه به شرح هر کدام پرداخته شده است.

##### ۴-۱- داده‌های لیدار

ابر نقاط لیدار از نوع پالسی با طول موج مادون قرمز میانی مربوط به منطقه جنگلی شامل داده‌های بازگشت اول فاصله، بازگشت آخر فاصله و بازگشت میانی بود. این داده‌ها دارای ساختار نامنظم و بدون داده شدت بود و به‌طور متوسط بیش از ۴ نقطه در هر مترمربع از سطح زمین برداشت شده است. اطلاعات مربوط به هر بازگشت همراه فایل las. قابل دسترسی بود. ابر نقاط لیدار مربوط به منطقه مورد مطالعه در شکل (۲) قسمت الف نشان داده شده است. زمان اخذ داده‌ها مهرماه ۱۳۹۰ با سیستم اسکنر لیزری از نوع Litemapper 5600 با طول موج لیزر ۱۵۵۰ نانومتر و اطلاعات رادیومتریکی ۸ بیتی می‌باشد. این داده‌ها در ارتفاع ۱۰۰۰ متری و عرض نوار برداشت ۶۰۰ متر اخذ شده است.

داده‌های خام لیدار با فرمت las. دارای اطلاعاتی از قبیل مختصات سه‌بعدی، بازگشت چندگانه، زاویه اسکن و غیره برای هر نقطه می‌باشد در شکل (۲) قسمت ب اطلاعات بخشی از منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

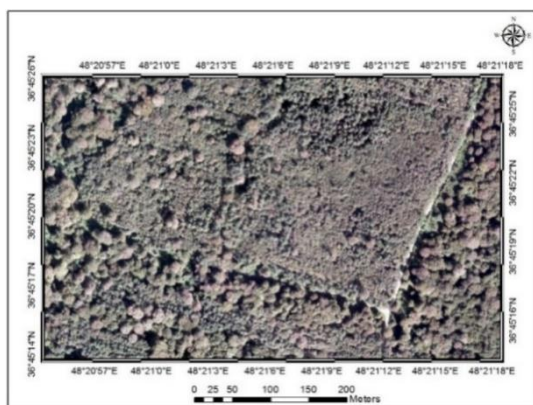
۶۳/۲۲ درصد بود [۱۵]. امینی و همکاران (۱۳۹۲) یک روند سلسله مراتبی برای تشخیص راه‌ها از داده‌های لیدار پیشنهاد دادند که با استفاده از داده‌های فاصله‌سنجی و شدت سیگنال لیدار و اعمال فیلترهای مختلف با ترتیبی متناسب، عوارض غیر راه را شناسایی و حذف کردند، در نهایت نتایج صحت ۸۱ درصد و کامل بودن ۷۷ درصد بدست آمد [۶]. طالبی و همکاران (۱۳۹۳) جهت استخراج جاده شهری با استفاده از داده‌های لیدار دو الگوریتم ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM) با کرنل چندجمله‌ای و کرنل پایه شعاعی (RBF) را مورد ارزیابی قرار دادند، در این مطالعه با استفاده از داده‌های شدت و فاصله لیدار دو طبقه بندی مذکور را انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد طبقه‌بندی SVM با کرنل RBF عملکرد بهتری نسبت به کرنل چندجمله‌ای برای استخراج جاده شهری دارد. نتایج ۸۴ درصد کامل بودن، ۷۹ درصد صحیح بودن و ۶۹ درصد کیفیت حاصل شد [۱۶]. نجفی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از داده‌های ارتفاعی و شدت لیدار و اعمال فیلترهای مختلف عوارض غیر راه را شناسایی و شبکه راه‌ها را استخراج نمودند، نتایج نشان داد پارامتر کامل بودن، پارامتر صحیح بودن و پارامتر کیفیت بالای ۹۵ درصد می‌باشد [۱۷].

با توجه به اینکه بیشتر تحقیقاتی که بر روی استخراج جاده با استفاده از داده‌های لیدار انجام شده، به استخراج جاده‌های شهری پرداخته شده و کمتر به استخراج جاده‌های جنگلی پرداخته شده است در این تحقیق به استخراج جاده‌های مخفی شده زیر تاج پوشش جنگل با استفاده از داده‌های فاصله لیدار هوایی پرداخته شده است.

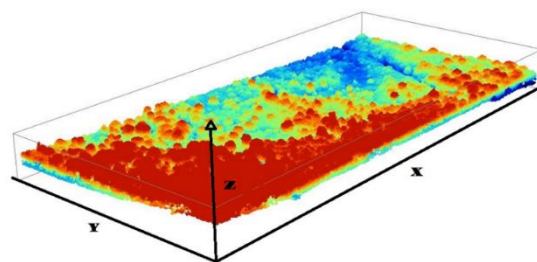
##### ۳- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب غرب شهر گرگان با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه و ۲ ثانیه شرقی تا ۵۴ درجه و ۲۱ دقیقه و ۱۶ ثانیه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه و ۲۲ ثانیه شمالی تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱۰ ثانیه شمالی می‌باشد شکل (۱). میانگین مقدار بارندگی سالانه ۶۵۰ میلی‌متر، میانگین دمای گرمترین ماه سال ۲۷٫۹ و سردترین ماه سال ۸٫۷ درجه سانتی‌گراد است. خاک منطقه از نوع قهوه‌ای و قهوه‌ای خاکستری است. از نظر زمین شناسی دارای سازندهای

هوایی دوربین اولتراکم اخذ شده با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ سانتیمتر نمایش داده شده است.



شکل ۳- تصویر هوایی اولتراکم (قدرت تفکیک مکانی ۲۰ سانتیمتر)



شکل ۲- الف: نمای سه بعدی ابر نقاط لیدار منطقه مورد مطالعه

MinX: 263254.110 MinY: 4070810.630  
 MaxX: 263913.260 MaxY: 4071236.510  
 Height: 381.770 to 1121.930  
 Num points: 2,230,671  
 Num points by return [0]: 1,602,360  
 Num points by return [1]: 552,220  
 Num points by return [2]: 72,579  
 Num points by return [3]: 3,451  
 Num points by return [4]: 61

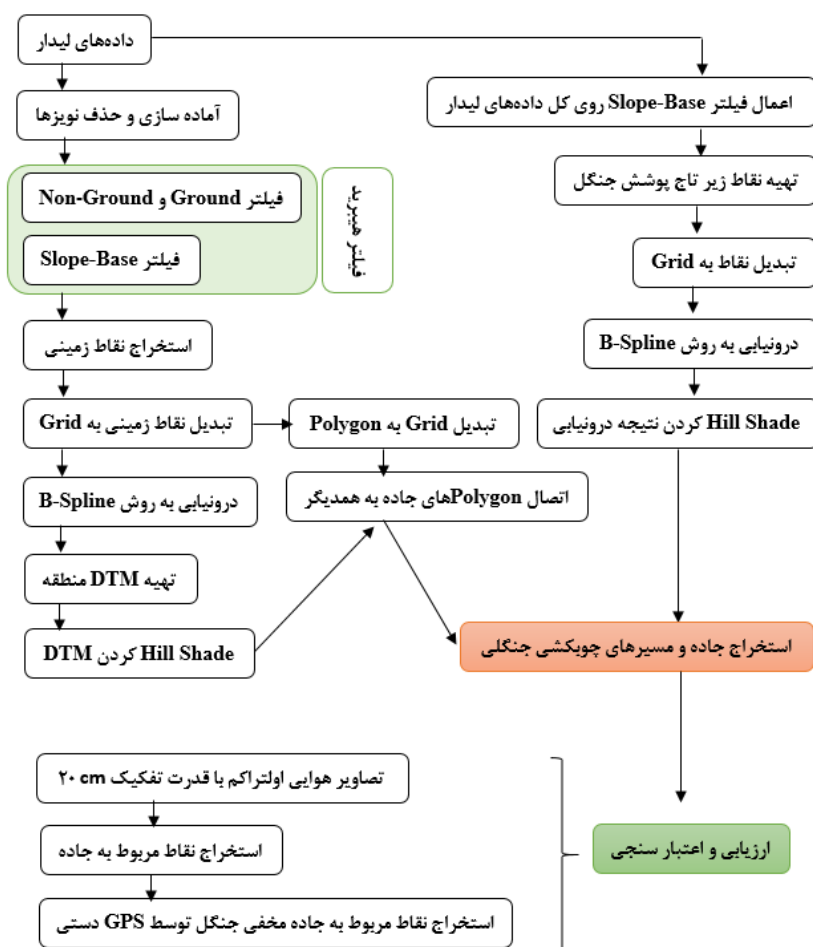
شکل ۲- ب: اطلاعات مربوط به داده های لیدار

### ۵- روش تحقیق

در این مرحله به بررسی تک تک مراحل کار پرداخته می شود در شکل (۴) روند نمای مراحل کار نشان داده شده است.

### ۴-۲- تصویر هوایی اولتراکم

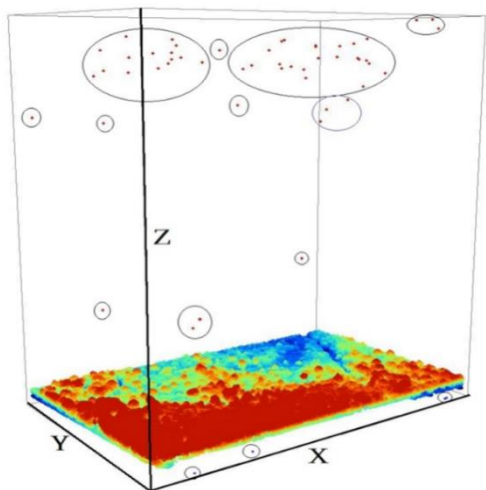
علاوه بر اخذ داده های لیدار، تصاویر رنگی (RGB) از منطقه مورد مطالعه با استفاده از دوربین اولتراکم به صورت همزمان برداشت شده است. در شکل (۳) تصویر



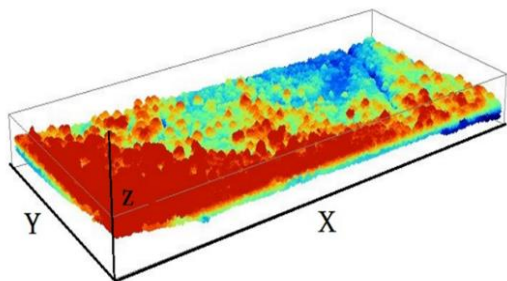
شکل ۴- مراحل کلی روش تحقیق

## ۵-۱- آماده‌سازی داده‌های لیدار

کلیه نقاطی که از دو قید ذکر شده پیروی نکردند، حذف شدند. مجموع نقاط اشتباه حذف شده ۲۱۰۹۲۷ (۸/۶ درصد) کل نقاط لیدار بود. در شکل (۵) و (۶) نویزها و نتیجه حذف آن‌ها قابل مشاهده است. با توجه به اینکه این دو روش باعث می‌شود که تمامی نقاطی که دارای ارتفاعی غیر از ارتفاع واقعی داشتند، حذف شدند این نتیجه حاصل می‌شود که همه نقاط حذف شده به عنوان نویز شناخته شده‌اند.



شکل ۵- نمونه‌ای از نویزهای موجود در داده‌های لیدار



شکل ۶- نتیجه حذف نویزها در داده‌های لیدار

## ۵-۲- اعمال فیلتر جهت حذف نقاط غیرزمینی

یکی از مهم‌ترین پردازش‌های داده‌های لیدار اعمال فیلتر بر روی داده‌ها می‌باشد. هدف از فیلتر، جدا کردن نقاط مربوط به عوارض غیرزمینی و حذف آن‌ها از مجموعه داده‌هاست، لذا محصول فیلتر نقاط مربوط به سطح زمین است. کیفیت داده‌های فیلتر شده بیانگر دقت مدل‌ها و نتایج نهایی خواهد بود. در این تحقیق از فیلتر هیبرید استفاده شد. فیلتر هیبرید از ترکیب دو یا چند فیلتر به دست می‌آید. بنابراین مشکلات هر فیلتر توسط فیلتر دیگر تصحیح می‌شود مثلاً در مناطق جنگلی فیلتر شیب مبنا پوشش گیاهی نزدیک سطح زمین را حذف نمی‌کند که با

از آنجا که داده‌های لیدار بیانگر موقعیت سه‌بعدی نقاط و هندسه اشیاء سنجش شده است در اولین گام نیاز است تا نویزها و نقاط اشتباه موجود در داده‌ها حذف شوند. هنگام برداشت داده‌های لیدار احتمال ثبت اطلاعات نادرست از برخی نقاط وجود دارد لذا در مرحله پیش‌پردازش می‌بایست این نقاط حذف شوند. به‌طور مثال نقاطی که در اثر برخورد پالس‌های لیزر به موانعی مانند پرندگان و یا ادواتی که در ارتفاع کم پرواز می‌کنند ثبت می‌شوند و ارتفاعشان نسبت به نقاط همسایه بسیار بیشتر است. همچنین نقاطی با ارتفاعی بسیار کم که این نقاط به عوارض سطح زمین در منطقه مربوط نیستند و به دلیل خطای فاصله‌یاب لیزری ایجاد شده‌اند [۱۹]. موارد فوق الذکر نمونه‌هایی از وجود نویز در داده‌های لیدار می‌باشند. برای حذف این نویزها از دو روش استفاده شد:

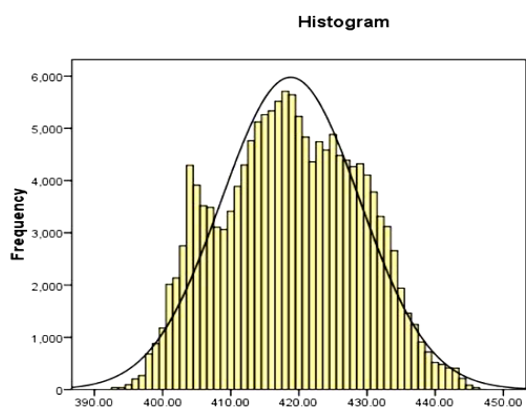
۱- روش حداقل مقدار تفاضل مؤلفه Z (ارتفاع) بازگشت آخر از بازگشت اول، که بر اساس آن این اختلاف همواره کمتر از T خواهد بود [۲۰]. مقدار T نباید از صفر کمتر شود.

$$(1) \quad (Frist\ Pulse - Last\ Pulse) < T$$

۲- روش محدوده ارتفاعی نقاط: حداقل و حداکثر ارتفاع نقاط در ابر نقاط لیدار مشخص است. از طرفی ارتفاع واقعی منطقه نیز از منابع و نقشه‌ها قابل دسترسی است. لذا هیچ نقطه‌ای نباید ارتفاعی بیشتر از بیشینه ارتفاع واقعی منطقه و کمتر از کمینه آن داشته باشد [۱۶]. با توجه به اطلاعات ارتفاع واقعی منطقه (ارتفاع منطقه مورد مطالعه بین ۳۷۰ تا ۴۵۰ متر) که از اداره منابع طبیعی اخذ شد، کلیه نقاطی که از محدوده ارتفاعی ۳۷۰ تا ۴۵۰ متر از سطح دریا خارج بودند از ابر نقاط حذف شدند. (قبل از حذف نقاط در فایل اطلاعات، دامنه ارتفاعی ابر نقاط لیدار ۳۸۲ تا ۱۱۲۲ متر ثبت شده بود). در ادامه هم برای بررسی دقیق‌تر از حداقل مقدار تفاضل ارتفاع استفاده شد. با توجه به دقت ارتفاعی لیدار که ۱۵ سانتیمتر است حداقل مقدار با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

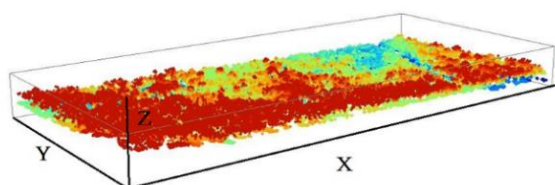
$$(2) \quad T \geq \sqrt{\sigma_{Frist\ Pulse}^2 + \sigma_{Last\ Pulse}^2}$$

می‌شود. در این تحقیق ممان سوم آماری (چولگی) داده های لیدارد در نرم‌افزار SPSS محاسبه شد و مقدار  $+0/36$  به دست آمد، بنابراین حذف نقاطی که ارتفاع بیشتری داشتند تا حدی که مقدار چولگی تقریباً برابر با صفر شود ادامه داشت. نمودار توزیع نرمال و توزیع فراوانی داده‌ها در شکل (۷) نشان داده شده است.



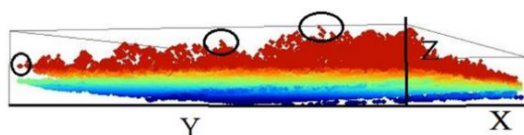
شکل ۷- نمودار توزیع نرمال (منحنی) و توزیع داده‌های لیدارد

با رسیدن به توزیع نرمال داده‌ها، نقاط غیرزمینی حذف شد. در شکل (۸) نقاط زمینی که بر اساس ممان سوم آماری شناخته شد قابل مشاهده است.



شکل ۸- نقاط زمینی حاصل از تئوری حد مرکزی

در شکل بالا مشخص است که برخی نقاط غیرزمینی به عنوان نقاط زمینی انتخاب شده‌اند که در شکل (۹) بعضی از این نقاط با دایره مشکی مشخص گردیده است.



شکل ۹- نقاط غیرزمینی که به اشتباه نقاط زمینی انتخاب شده‌اند

در ادامه، از الگوریتم شیب مبنا برای حذف نقاط غیرزمینی که به اشتباه در فیلتر قبل نقاط زمینی در نظر گرفته شده بود، استفاده شد. الگوریتم شیب مبنا یکی از الگوریتم‌هایی است که برای فیلتر کردن داده‌های لیدارد معرفی شده است و مبنای بسیاری از الگوریتم‌های دیگر

بکار بردن دو فیلتر در راستای هم می‌توان انواع پوشش گیاهی را حذف نمود. همچنین این نکته قابل ذکر است که فیلترهای هیبرید در مناطق جنگلی با شیب تند که تمامی فیلترها ناکارآمد هستند به کار می‌روند که از جمله مزایای این فیلتر می‌باشد [۲۱]. بنابراین با توجه به اینکه شیب منطقه مورد مطالعه زیاد است از فیلتر هیبرید در این تحقیق که شامل دو فیلتر می‌باشد استفاده شد که در ذیل توضیح داده شده است:

اولین فیلتر بدین صورت است که ابتدا نقاط غیرزمینی را با استفاده از ممان سوم آماری (چولگی) از نقاط زمینی جداسازی می‌کند، ممان سوم آماری یک الگوریتم آماری است که به منظور جداسازی نقاط زمینی از غیرزمینی به کار گرفته می‌شود. قضیه تئوری حد مرکزی که توسط دودا<sup>۱</sup> ارائه شد بیان می‌کند که نمونه‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. بنابراین نقاط زمینی از توزیع نرمال پیروی می‌کنند و نقاط مربوط به اشیاء در زمین توزیع را بر هم می‌زنند. یک آماره مهم که عدم تقارن توزیع در یک نمونه را نشان می‌دهد ممان سوم است که طبق رابطه (۳) مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$SKU = \frac{1}{N \cdot \sigma^3} \cdot \sum_{i=1}^N (S_i - \mu_a)^3 \quad (3)$$

که در آن  $N$  تعداد نقاط لیدارد،  $S_i$  معرف هر نقطه،  $\sigma$  انحراف معیار و  $\mu$  میانگین است که طبق رابطه (۴) و (۵) محاسبه می‌شود.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (S_i - \mu_a)^2} \quad (4)$$

$$\mu_a = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N S_i \quad (5)$$

اگر این مقدار ممان سوم بزرگ‌تر از صفر باشد، باید نقطه با بیشترین مقدار ارتفاع را حذف نمود و اگر کمتر از صفر باشد نقطه با کمترین مقدار ارتفاع حذف می‌شود و این روند تا زمانی که اندازه ممان سوم تقریباً برابر صفر گردد ادامه می‌یابد، آنگاه نقاط باقیمانده به عنوان نقاط زمینی و نقاط شی نزدیک سطح زمین وارد مرحله بعدی

<sup>۱</sup> Duda

جدول ۱- پارامترها جهت محاسبه خطاهای نوع اول، دوم و مجموع

داده‌های لیدار	خروجی الگوریتم		
	مجموع	زمینی	غیرزمینی
غیرزمینی	A+B	B	A
زمینی	C+D	D	C
مجموع	E=A+B+C+D	B+D	A+C

خطای نوع اول: تشخیص نقاط مربوط به عوارض غیر زمینی به عنوان عوارض زمینی.

$$\text{خطای نوع اول} = \left[ \frac{B}{A+B} \right] \times 100 \quad (7)$$

خطای نوع دوم: تشخیص نقاط مربوط به عوارض زمینی به عنوان عوارض غیرزمینی.

$$\text{خطای نوع دوم} = \left[ \frac{C}{C+D} \right] \times 100 \quad (8)$$

خطای مجموع طبق رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$\text{خطای مجموع} = \left[ \frac{B+C}{E} \right] \times 100 \quad (9)$$

با محاسبه خطای نوع اول، نوع دوم و مجموع در آستانه شیب‌های مختلف، در نهایت شیب ۲۲ درجه با کمترین خطای مجموع به عنوان بهترین آستانه شیب انتخاب شد.

جدول ۲- خطاهای آستانه‌های مختلف درجات شیب

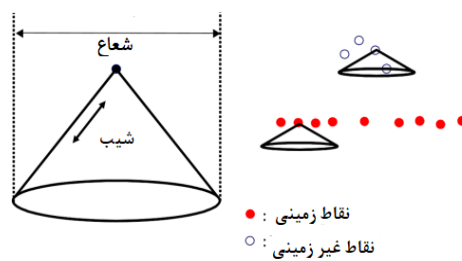
شیب (درجه)	خطای اول	خطای دوم	خطا مجموع
۱۸	۴/۵۶	۷/۶۰	۷/۱۳
۲۰	۶/۷۰	۶/۸۳	۶/۶۹
۲۲	۵/۵۳	۶/۳۴	۶/۴۱
۲۴	۸/۵۳	۵/۶۶	۶/۷۸
۲۶	۱۰/۳۵	۴/۸۷	۷/۰۲

در نهایت الگوریتم شیب مبنا با شعاع همسایگی ۱۰ متر و شیب ۲۲ درجه بر روی خروجی داده‌هایی که از فیلتر اول بدست آمد اعمال شد و توانست به خوبی نقاط غیرزمینی که در فیلتر اول به عنوان نقاط زمینی شناخته شده بود را حذف کند، در شکل (۱۱) نمایش دوبعدی از نقاط زمینی استخراج شده توسط فیلتر هیبرید مشاهده می‌شود.

است. در این الگوریتم فرض بر آن است که گرادیان در زمین محدود است. این فیلتر ساختار هندسی محلی زمین لخت را با استفاده از المان ساختاری تخمین می‌زند. المان ساختاری فرضیه‌ای در مورد بیشترین اختلاف بین هر دو نقطه بر روی زمین با توجه به فاصله بین آن‌ها می‌باشد. المان ساختاری از نظر مسطحاتی بر روی یک نقطه مرکزیت پیدا می‌کند و سپس تا زمانی که نقاط را لمس کند بالا می‌آید. از آن پس اگر هیچ نقطه‌ای همسایه‌ای زیر المان ساختاری وجود نداشته باشد نقطه به عنوان زمین لخت پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت به عنوان عارضه شناخته می‌شود و حذف می‌گردد. بر اساس رابطه (۶)، اگر (N) مجموعه کل داده‌های لیدار و (B) مجموعه نقاط زمینی فرض شوند:

$$B = \left\{ \begin{array}{l} \forall v_i \in N \quad \exists \Delta h(d(v_i, v_j)) \gg \Delta h_{\max}(d(v_i, v_j)) \\ else \end{array} \right\} \quad (6)$$

آنگاه،  $\Delta h(d(v_i, v_j))$  اختلاف ارتفاع بین نقطه  $v_i$  و نقطه  $v_j$  است که در همسایگی آن قرار دارد،  $\Delta h_{\max}(d(v_i, v_j))$  بیشترین اختلاف ارتفاع مورد انتظار بین دو نقطه از زمین با فاصله مسطحاتی  $d$  است. المان ساختاری، تابع همسایگی برای مقادیر  $d$  می‌باشد و برای هر نقطه یکسان می‌باشد. الگوریتم با به کارگیری المان ساختاری در هر نقطه از ابر نقاط عمل می‌کند [۱۷]. در شکل (۱۰) نمایی از اعمال الگوریتم شیب مبنا نشان داده شده است.

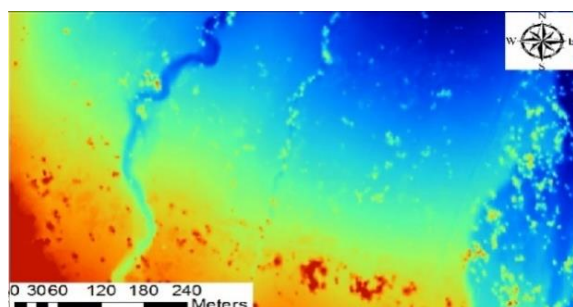


شکل ۱۰- نحوه اعمال الگوریتم شیب مبنا

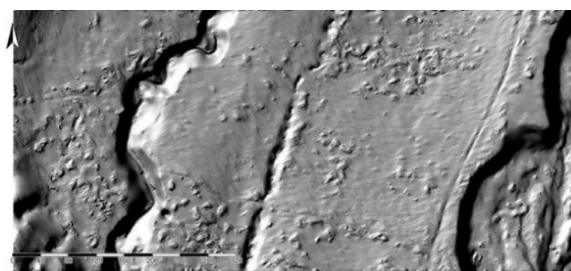
جهت اعمال الگوریتم شیب مبنا، بازه شیب بهینه و همچنین شعاع همسایگی با توجه به توپوگرافی و شیب منطقه و بررسی‌های میدانی تعیین شد. مقدار شعاع همسایگی ۱۰ متر در نظر گرفته شد و فرآیند فیلتر کردن با پنج آستانه شیب ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۶ درجه اعمال گردید. برای تعیین بهترین آستانه شیب از محاسبه خطاهای نوع اول، خطای نوع دوم و خطای مجموع، که در پارامترهای مورد نیاز در جدول (۱) آورده شده است استفاده شد [۱۸].



پلی‌گون‌ها نیاز به مدل رقومی زمین می‌باشد تا بتوان عوارض خطی غیر از جاده را شناسایی و حذف کند. برای تهیه مدل رقومی زمین (DTM)<sup>۱</sup>، داده‌های بازگشت آخر فاصله مورد استفاده قرار گرفتند زیرا بازگشت آخر فاصله اطلاعات زمین عریان یا کف زمین را ارائه می‌نماید. در تهیه DTM درون‌یابی صحیح نقاط از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا داده‌های لیدار پس از فیلتر شدن در بخش‌هایی که نقاط از دست رفته‌اند دچار گسستگی می‌شوند لذا باید با استفاده از روش‌های درون‌یابی، نقاط از دست رفته جایگزین شوند. درون‌یابی در داده‌های لیدار به معنی محاسبه ارتفاع نقاط از دست رفته است. روش‌های متعددی برای درون‌یابی وجود دارد که در این تحقیق به دلیل تبدیل نقاط به گرید از روش درون‌یابی بی\_اسپلاین<sup>۲</sup> استفاده شد [۲۲] شکل (۱۳). قدرت تفکیک مدل تولید شده ۱ متر و عوارض سطح زمین با وضوح نسبتاً خوبی قابل تشخیص می‌باشند شکل (۱۴).

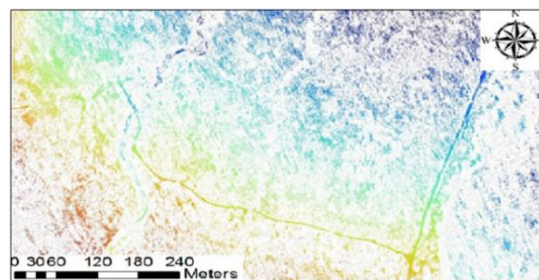


شکل ۱۳- اعمال درون‌یابی بی\_اسپلاین روی نقاط زمینی لیدار



شکل ۱۴- مدل رقومی زمین (DTM)

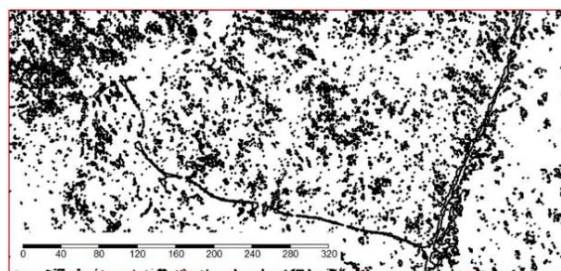
با بررسی مدل رقومی زمین، پلی‌گون‌هایی که مربوط به عوارض خطی دیگر غیر از جاده بودند با بررسی مدل رقومی تولید شده به صورت دستی حذف شد که در شکل (۱۵) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۱۱- نمایش ابر نقاط لیدار بعد از اعمال فیلتر هیبرید

### ۵-۳- تبدیل نقاط زمینی به پلی‌گون

در این مرحله نقاط زمینی به دست آمده از فیلتر هیبرید به شبکه بندی (Grid) و سپس شبکه بندی حاصل با توجه به تراکم پیکسل‌ها به پلی‌گون تبدیل شد. خروجی این مرحله شامل پلی‌گون‌های مجزا است به طوری در برخی مناطق به صورت منظم و بزرگ‌تر و برخی مناطق به صورت پلی‌گون‌های کوچک و نامنظم بود. شکل (۱۲) نشان می‌دهد که مکان‌هایی که در زیر تاج پوشش جنگل نبودند و دارای تراکم نقاط بالایی هستند به پلی‌گون‌های منظم تبدیل شدند و مکان‌هایی که در زیر تاج پوشش جنگل بودند و تراکم نقاط کمتری داشتند به پلی‌گون‌های کوچک‌تر و نامنظم تبدیل شدند. در جاهایی هم که تراکم نقاط کمتر از حد معمول بود امکان تشکیل پلی‌گون را نداشتند.



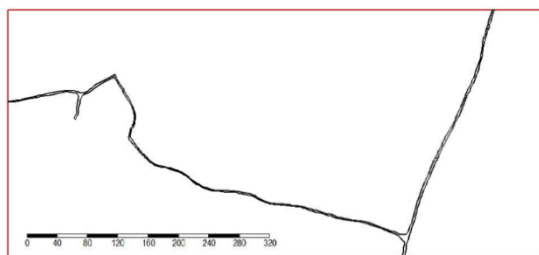
شکل ۱۲- پلی‌گون‌های تشکیل شده از نقاط زمینی

همان‌طور که در شکل بالا مشاهده می‌شود پلی‌گون‌هایی از سطح زیر تاج پوشش جنگل به وجود آمده است، با توجه به مفهوم جاده، پلی‌گون‌هایی که به صورت خطی نیستند و شکل ظاهری آن به صورت تکه‌های کوچک می‌باشد از این قسمت حذف شدند و پولیگون‌های خطی باقی ماند اما برخی پلی‌گون‌های خطی باقیمانده مربوط به جاده نیستند و ممکن است مربوط به آبراهه‌ها و عوارض خطی دیگر مثل رودخانه‌ها باشند. بنابراین برای حذف این

<sup>۱</sup> Digital Terrain Model

<sup>۲</sup> B\_Spline

شده است بنابراین پلی گون‌های جاده بر اساس خروجی مرحله قبلی به صورت دستی اصلاح و به همدیگر متصل شد و نقشه نهایی جاده استخراج گردید.



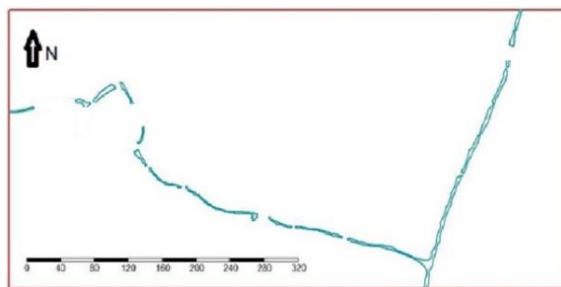
شکل ۱۷- جاده و مسیرهای چوبکشی استخراج شده

## ۶- ارزیابی و اعتبار سنجی

به منظور ارزیابی و مقایسه نتایج استخراج جاده با داده‌های لیدار، به نقشه جاده این منطقه با دقت زیاد نیاز می‌باشد. بنابراین برای تهیه نقشه جاده، از تصاویر هوایی اولتراکم (قدرت تفکیک مکانی ۲۰ سانتیمتر) برای قسمت‌هایی که زیر تاج پوشش نیست و کاملاً مشخص می‌باشد استفاده شد. برای این منظور تصاویر هوایی اولتراکم ابتدا با ۲۴ نقطه در سطح منطقه از تاج پوشش درختانی که هم در تصاویر هوایی و هم در داده‌های لیدار مشخص بود زمین مرجع شدند و سپس به صورت دستی مسیر جاده در مناطقی که به وسیله تاج درختان پوشیده نشده بود، بر روی این تصاویر ترسیم شد. شکل (۱۸) قسمتی از منطقه که جاده ترسیم شده است مشاهده می‌شود.



شکل ۱۸- بارز سازی جاده از عکس هوایی اولتراکم

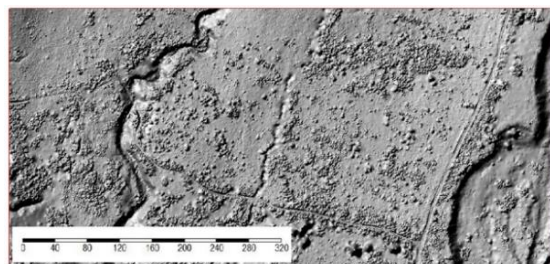


شکل ۱۵- پلی گون‌های مربوط به جاده و مسیرهای چوبکشی (عرض تقریبی ۳ متر)

همان‌طور که در شکل بالا مشاهده می‌شود جاده استخراج شده کامل نمی‌باشد و در برخی از قسمت‌های دارای بریدگی‌هایی در سطح پلی گون جاده می‌باشد که دلیل آن مربوط به تراکم درختان در این قسمت‌ها می‌باشد که سطح جاده را به صورت کامل پوشانده و باعث نفوذ کمتر داده لیدار به کف جنگل شده است و تراکم نقاط زمینی به گونه‌ای نبوده تا بتواند تشکیل پلی گون دهد. برای حل این مسئله از الگوریتم شیب مبنا برای کل داده‌های لیدار (نه فقط روی نقاط زمینی) استفاده شد.

## ۵-۴- الگوریتم شیب مبنا بر روی کل نقاط لیدار

در قسمت‌های قبلی، الگوریتم شیب مبنا بر روی نقاط زمینی استخراج شده از قضایه حد مرکزی اعمال شد اما در این مرحله از تحقیق جهت دستیابی به سطح جاده، این الگوریتم بر روی کل نقاط لیدار با شعاع همسایگی ۱۰ متر و شیب ۶۵ درصد (به دلیل بهبود در نمایش جاده) اعمال شد که نتیجه آن در شکل (۱۶) قابل مشاهده است.



شکل ۱۶- اعمال الگوریتم شیب مبنا بر روی کل نقاط لیدار

## ۵-۵- اصلاح و اتصال پلی گون‌ها و تهیه نقشه جاده

در این مرحله پلی گون‌های به دست آمده از نقاط زمینی لیدار با خروجی فیلتر شیب مبنا هم مرجع شد. همان‌طور که در شکل (۱۷) مشاهده می‌شود قسمت‌هایی از جاده که در زیر تاج پوشش مخفی بودند به خوبی نمایان

پس از تعیین مقادیر فوق نسبت‌های زیر محاسبه شد: معیار کامل بودن: بدین مفهوم است که تمام نقاط مربوط به جاده درست استخراج شده باشند و اگر نقاط غیر جاده نیز به اشتباه جاده تشخیص داده شوند طبق رابطه زیر تأثیری بر اندازه این معیار ندارد رابطه (۱۰).

$$\text{Completeness} = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{311}{311 + 69} = 82\% \quad (10)$$

صحیح بودن: این معیار صحت اطلاعات استخراج شده را می‌سنجد و بدان معنی است که کلیه نقاط/پیکسل‌هایی که بر اساس نتایج الگوریتم جاده تشخیص داده شده‌اند واقعاً جاده باشند. برای معیار صحیح بودن طبق رابطه زیر مهم نیست که نقاطی که واقعاً جاده هستند در خروجی الگوریتم جاده تشخیص داده نشوند رابطه (۱۱).

$$\text{Correctness} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{311}{311 + 51} = 85\% \quad (11)$$

معیار کیفیت: شاخص کلی برای ارزیابی نتایج است که معیارهای کامل بودن و صحیح بودن را نیز در بردارد. هرگونه تشخیص اشتباهی در خروجی الگوریتم بر این معیار تأثیرگذار است رابطه (۱۲).

$$\text{Quality} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{311}{311 + 51 + 69} = 72\% \quad (12)$$

## ۷- بحث و نتیجه‌گیری

نویزهای موجود در داده‌های لیدار منطقه مورد مطالعه، نقاط با ارتفاع کمتر از واقعیت عمدتاً در اثر پدیده چند مسیری<sup>۲</sup> ایجاد شده بودند [۱۸]. این پدیده حاصل بازتاب‌های آینه‌ای است که منجر به طولانی شدن زمان رسیدن پالس لیزر به اسکنر می‌شود و لذا فاصله بیشتری برای آن پالس ثبت می‌شود. طول بیشتر پالس به معنی عمق بیشتر نقطه‌ای است که پالس از آن ارسال شده است. یکی از دلایل شناخته شده برای این پدیده در منطقه مورد مطالعه وجود ادواتی است که زمان برداشت داده‌های لیدار به صورت پراکنده در سطح منطقه وجود داشته‌اند مثل ماشین‌های بهره برداری و سایر وسایل نقلیه. نویزهایی که

جهت بارز سازی قسمت‌هایی از جاده که در زیر تاج پوشش جنگل مخفی بود با عملیات جنگل گردشی و بازدید میدانی، مختصات مرکز جاده با استفاده از GPS دستی برداشت شد. در نهایت با استفاده از این نقاط و به کمک تصاویر اولتراکم، قسمت‌هایی از جاده که در زیر تاج مخفی شده بودند بر روی تصویر بازسازی شدند و نقشه نهایی جاده برای اعتبار سنجی تهیه شد، شکل (۱۹).



شکل ۱۹- بارز سازی جاده با برداشت نقاط از GPS دستی

جهت اعتبارسنجی ابتدا جاده استخراج شده از برداشت زمینی و تصاویر هوایی اولتراکم به قسمت‌های سه متری تبدیل شد (به دلیل دقت GPS دستی) سپس در هر قسمت نقطه‌ای در مرکز پلی‌گون‌ها انتخاب و در آخر این نقاط برای ارزیابی صحت مورد استفاده قرار گرفت. جهت ارزیابی کمی روش به کار گرفته شده در این تحقیق از روشی که ویدمان<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۳ به‌عنوان روش مناسب در مطالعات ارزیابی نتایج استخراج جاده ارائه نموده‌اند، استفاده شد. برای ارزیابی نتایج ابتدا برای هر نقطه سه حالت در نظر گرفته شد.

True-Positive (TP): تعداد نقاطی که هم در داده‌های مرجع وجود دارد و هم در خروجی الگوریتم. یعنی تعداد نقاطی که به درستی استخراج شده‌اند.

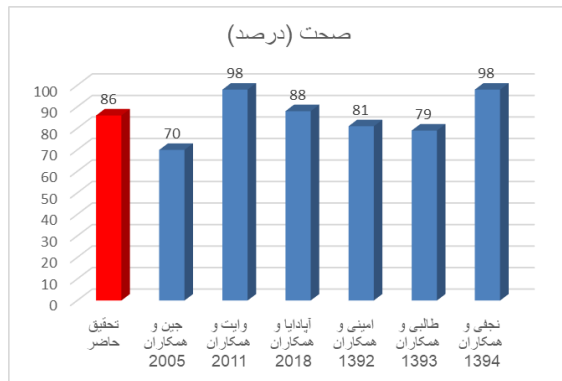
False-Positive (FP): تعداد نقاطی که در داده‌های مرجع وجود ندارد ولی در خروجی الگوریتم وجود دارد. یعنی تعداد نقاطی که به اشتباه جاده تشخیص داده شدند.

False-Negative (FN): تعداد نقاطی که در داده‌های مرجع وجود دارد ولی در خروجی الگوریتم وجود ندارد. یعنی تعداد نقاطی که به اشتباه جاده تشخیص داده نشدند.

<sup>۲</sup> Multipath

<sup>۱</sup> Wiedemann

حدود ۲ متر که به‌طور عمده زیر تاج پوشش واقع شده‌اند به روشی که در تحقیق حاضر استفاده شد با معیار کیفیت ۷۲ درصد، صحت ۸۵ درصد و کامل بودن ۸۲ درصد عملی می‌باشد.



شکل ۲۰- مقایسه تحقیقات انجام شده در زمینه استخراج جاده

همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود برخی از تحقیقات درصد صحت بیشتری نسبت به تحقیق حاضر دارند که می‌توان دلایل آن را استفاده از داده‌های شدت در کنار داده‌های فاصله، تراکم بالای نقاط لیدار برای منطقه مورد مطالعه و استفاده از تصاویر طیفی و پانکروماتیک دانست.

## ۸- پیشنهادات

۱- به شرکت‌های ایرانی که در زمینه اخذ داده‌های لیدار فعالیت می‌کنند پیشنهاد می‌شود همراه با داده‌های فاصله لیدار، داده شدت هم برداشت شود تا بتوان استخراج عوارض را با دقت بیشتری انجام داد. ۲- منطقه مورد مطالعه به قسمت‌های کوچکی تبدیل شود و فیلتر هیبرید و فیلتر شیب‌مبنا برای هر منطقه نسبت به شرایط آن منطقه اجرا شود و در آخر مدل رقومی زمین تولید شده هر منطقه با هم موزاییک شود.

## سپاسگزاری

از شرکت رایان نقشه بابت تهیه داده‌های لیدار و تصاویر اولتراکم سپاسگزاری می‌کنیم.

ارتفاع بیشتر از واقعیت را نشان دادند به طور عمده مربوط به برخورد پالس لیزر به پرندگان در حال پرواز یا برخورد با اشیاء موجود در ارتفاع بالای منطقه مورد مطالعه و یا خطای اسکنر لیزری بودند [۲۳]. در مرحله بعد اعمال قید حداقل مقدار تفاضل ارتفاع بازگشت اول از بازگشت آخر در حذف نویزهای احتمالی مربوط به ثبت ارتفاع نادرست برای داده‌های بازگشت اول و آخر در یک نقطه مشخص نیز انجام شد. در این تحقیق با توجه به تراکم زیاد ابر نقاط لیدار حذف کلیه نویزهای موجود در داده‌ها تنها منجر به حذف ۸/۶ درصد کل نقاط شد لذا تأثیر چندانی بر ساختار کلی ابر منطقه نداشت. در عملیات فیلتر کردن ابر نقاط لیدار، اگر آستانه شیب کمتر از مقدار واقعی در نظر گرفته شود اجرای الگوریتم منجر به حذف بخشی از نقاط زمینی نیز می‌شود و اگر بیشتر از حد واقعی در نظر گرفته شود بخشی از نقاط مربوط به عوارض غیرزمینی نزدیک به سطح زمین به‌عنوان نقاط زمینی تشخیص داده می‌شوند. در تحقیق حاضر از روش درون‌یابی بی‌اسپیلاین برای نقاط لیدار که به پیکسل تبدیل شده بودند استفاده شد که دقت ارتفاعی ۰/۲۳ متر برای مدل رقومی زمین تهیه شده بدست آمد. با بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه و نتایج تحقیق حاضر عوامل تأثیرگذار در دقت مدل رقومی زمین به‌طور کلی عبارت‌اند از: (۱) دقت داده‌های بازگشت لیدار، (۲) دقت فیلتر کردن ابر نقاط و حذف نویزها، (۳) به‌کارگیری روش مناسب درون‌یابی با توجه به شرایط منطقه (پوشش گیاهی، شهری و غیره). امروزه در اغلب سامانه‌های لیدار و از جمله سامانه لیدار بکار گرفته شده در تحقیق حاضر دقت مختصات سه‌بعدی داده‌های لیدار به حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر در هر بعد (X, Y, Z) رسیده است، لذا یکی از دلایل دقت مناسب DTM تولیدشده دقت داده‌های لیدار است [۲۱].

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که می‌توان با دقت قابل قبولی (در مقایسه با سایر تحقیقات در شکل نمودار (۲۰)) جاده‌ها و مسیرهای چوبکشی مخفی شده در زیر تاج پوشش جنگل را با استفاده از روش پیشنهادی استخراج کرد. بر این اساس استخراج مسیرهای چوبکشی با عرض

## مراجع

- [1] S. Barazmand, J. Sossani, H. Naghavi, S. Sadeghian, (2019), "Discriminating between Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) And gall oak (*Q. infectoria* Oliv.) species using the UAV images (Case study: Kakasharaf Forest, Khorramabad, Iran)", Iranian Journal of Forest and Poplar Research Vol. 27 No. 3, p 246-257. (in Persian)

- [2] M. Holopainen, O. Leino, H. Kamari, and M. Talvitie, (2006), "Drought damage in the park forests of the city Helsinki", *Urban Forestry and Urban Greening Journal*, Vol.4:75-83.
- [3] I. Laptev, H. Mayer, T. Lindeberg, W. Eckstein, C. Steger, A. Baumgartner, (2000), "Extraction of roads from aerial images based on scale space and snakes", *Machine Vision and Applications Journal*, Vol.12, PP. 23-31.
- [4] G.P. Asner, M. Keller, R. Pereira, J. Zweede, (2000), "Remote sensing of selective logging in Amazonia assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis", *Remote Sensing Environmental Journal*, Vol.80, PP. 483-496.
- [5] E. Naesset, O. M. Bollandsas, T. Gobakken, (2005), "Comparing regression methods in estimation of biophysical properties of forest stands from two different inventories using laser scanner data", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 94, PP. 541-553.
- [6] H. Amini, P. Pahlavani, S. Sadeghian, (2015), "Hierarchical Road Extraction Using LiDAR Data", *Journal of Geomatics Science and Technology (JGST)*. 4 (3), pp. 37-50 (in Persian).
- [7] E. Abdi, S.R. Sisakht, L. Goushbor, H. Soufi, (2012), "Accuracy assessment of GPS and surveying technique in forest road mapping". *Annals of Forest Research*. Vol. 55, pp. 309-317.
- [8] R. A. White, B. C. Dietterick, T. Mastin, R. Strohman, (2010), "Forest roads mapped using LiDAR in steep forested terrain", *Remote Sensing Journal*, Vol. 2, PP. 1120-1141.
- [9] X. Jin, C. H. Davis, (2003) "Automatic road extraction from high-resolution multispectral IKONOS imagery", In *Proceedings of International Geosciences and Remote Sensing Symposium*, Toulouse, France, 21-25.
- [10] D. Haverkamp, R. Poulsenin, *Proceedings of the ASPRS 2003 Annual Meeting*, Alaska, USA.
- [11] C. R. Silva, J. A. Silva Centeno, M. J. Henriques, (2011), "Automatic road extraction on aerial photo and laser scanner data", *International Journal of Modeling and Optimization*, Vol.19, PP. 99- 103.
- [12] B. Matinnia, A. Parsakhoo, J. Mohamadi, SH. J. Shataee, (2018), "Study of the LiDAR accuracy in mapping forest road alignments and estimating the earthwork volume", *JOURNAL OF FOREST SCIENCE*, Vol. 64, pp. 469-477.
- [13] S. Upadhayay, M. Yadav, and D. P. Singh, (2018), "ROAD NETWORK MAPPING USING AIRBORNE LiDAR DATA", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-5.
- [14] H. Wu, Z. Xie, C. Wen, C. Wang and J. Li, (2020), "ON-ROAD INFORMATION EXTRACTION FROM LIDAR DATA VIA MULTIPLE FEATURE MAPS", *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume V-1-2020, 2020
- [15] A. A. Matkan, S. Sadeghian, A. Mohammadzadeh, Mm Hajeb, (2009), "Proposing A Method Based on Support Vector Machines and Mathematical Morphology to Detecting the Urban Road from Airborne Laser Scanning Data", *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, Vol.1, No.3, pp. 81-98, (in Persian).
- [16] M. Talebi, (2015), "Automatic Road detection from LiDAR data", Master thesis, Kharazmi university, (in Persian).
- [17] M. Najafi, Y. Rezaei, (2016), "Semi-Automatic Extraction of Road Using Lidar Data", K.N.Toosi University of Technology Faculty of Geomatics Engineering, National Conference on Geospatial Information Technology (in Persian).
- [18] Azizi Zahra, Najafi Akbar, Sadeghian Saeed (2014), Forest Road Detection Using LiDAR Data. *Journal of Forestry Research*, 25, 975-980. <https://doi.org/10.1007/s11676-014-0544-0>.
- [19] Y. Hu, (2003), "Automated Extraction of Digital Terrain Models, Roads and Buildings Using Airborne Lidar Data". (<http://www.geomatics.ucalgary.ca/links/GradTheses.html>).
- [20] B. Petzold, P. Reiss, and W. Stossel, (1999), "Laser scanning-surveying and mapping agencies are using a new technique for the derivation of digital terrain models", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 95-104.
- [21] M. Gomroki, S. Sadeghian, Z. Azizi, (2016), "Optimizing LiDAR Data Interpolation Elevation in the Generation of Digital Terrain Model Forest Using Genetic Algorithm", *Geospatial Engineering Journal (GEJ)*. 7 (2), p.9-24, (in Persian).
- [22] H, Khani Pordanjani, S, Sadeghian, H R, Riahi Bakhtiari, (2018), "Production of Digital Terrain Model (DTM) in Dense Forest Areas with Combined Airborne LiDAR Data Filtering Algorithms". *Geospatial Engineering Journal*, 9. (1), p53-62, URL: <http://gej.issge.ir/article-1-237-fa.html> (in Persian)
- [23] A. Matkan, M. Hajeb, B. Mirbagheri, S. Sadeghian, and M. Ahmadi, (2014). "Spatial Analysis for Outlier Removal from LIDAR Data," *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 40, p. 187 (in Persian)