

بررسی دقت داده‌های LIDAR و رادار در استخراج زیرحوزه‌های آبخیز و مشخصات آن‌ها در مقایسه با روش‌های معمول به‌وسیله مدل رقومی ارتفاع

بهروز محسنی^{۱*}، بنیامین متین‌نیا^۲ و هادی رزاقیان^۳

^۱ مربی، گروه منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، ^۲ کارشناس ارشد جنگلداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان و ^۳ استادیار، گروه منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۶

چکیده

تعیین موقعیت دقیق زیرحوزه‌های آبخیز در تولید سیل‌خیزی بسیار حائز اهمیت است. در برخی موارد، این امر با انجام مطالعات میدانی و ترسیم نقشه‌های توپوگرافی، بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است. امروزه فناوری جدید و رو به رشد داده‌سنجنده فعال LIDAR، برای جمع‌آوری اطلاعات از سطح زمین وجود دارد که بر مبنای اندازه‌گیری فاصله لیزر عمل می‌کند. در این پژوهش، حوضه جنگلی شصت کلاته گرگان به دلیل داشتن داده‌های متنوع انتخاب شد. به منظور تهیه زیرحوزه‌های آبخیز و مشخصات آن‌ها، نیاز به مدل رقومی ارتفاعی زمین است. در مدل فوق از داده‌های LIDAR و رادار و سنجنده‌های دیگر به ترتیب با قدرت تفکیک مکانی یک، ۱۲/۵ و ۳۰ متر به منظور کنترل داده‌های زمینی استفاده شد. آبراهه‌ها با استفاده از مدل مناسب در هر یک از روش‌های فوق استخراج و انواع مشخصات حوزه آبخیز مورد نظر از طریق نرم‌افزار Arc-Hydro و IDRISI به دست آمد. شاخص میزان فاصله هر یک از آبراهه‌ها از یکدیگر و واقعیت زمینی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه تحلیل‌ها در نرم‌افزار SPSS انجام شد. مقدار sig-value برای مقایسه ارتفاعات در راستای آبراهه‌ها برای LIDAR با آزمون t جفتی برابر ۰/۱۳ به دست آمد که نشان می‌دهد، تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. در مقایسه آبراهه‌های ناشی از مدل‌های رقومی مختلف بین مدل رقومی ۱۲/۵ و ۳۰ متری زمین و LIDAR، مقدار ۰/۰۰۲ حاصل از آزمون ویلکاکسون تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد. همچنین، بر اساس نتیجه‌گیری کلی، مشاهده شد که بین روش‌های مورد استفاده، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد وجود دارد. در نهایت داده‌های LIDAR بیشترین دقت حاصله را با واقعیت زمین دارا بود.

واژه‌های کلیدی: آرک-هیدرو، آزمون ویلکاکسون، ایدریسی، شصت کلاته، لیزر

مقدمه

محدوده پرداخت. امروزه با استفاده از رایانه و وجود نرم‌افزارهای توانمند سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی می‌توان محاسبات لازم را با سرعت و دقت بسیار بالایی انجام داد. در این بین، مدل‌های رقومی ارتفاعی^۱ (DEM)، از منابع اطلاعاتی بسیار مهم برای

مدیریت مناسب منابع آب بدون داشتن شناخت و درک صحیحی از خصوصیات هندسی و هیدرولوژیکی یک حوزه آبخیز، امری ناممکن است. برای دستیابی به اطلاعات هیدرولوژیکی هر محدوده جغرافیایی، به ناچار باید به مطالعه و بررسی حوزه‌های آبخیز آن

¹ Digital Elevation Models (DEMs)

بازتابی از سطح زمین و جو پیرامون آن، از یک نقطه مناسب بالاتر از سطح زمین است. پرتوهای بازتابی که از نوع امواج الکترومغناطیس هستند، می‌توانند دارای منابع گوناگونی همانند پرتوهای خورشیدی، پرتوهای حرارتی اجسام یا حتی پرتوهای مصنوعی باشند. یکی از داده‌های سنجش از دور قابل استفاده در برداشت طرح هندسی مسیر، لیزر اسکنر هوایی است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۶).

لیدار (لیزر اسکن هوایی)، یک فناوری جدید و رو به رشد برای جمع‌آوری اطلاعات از سطح زمین است که بر مبنای اندازه‌گیری فاصله لیزر عمل می‌کند (آشکارسازی نور و مسافت‌یابی^۱). لیزر اسکن هوایی، یکی از فناوری‌های سنجش از راه دور است که از طریق روشن کردن هدف با لیزر و تجزیه و تحلیل نور منعکس‌شده، فاصله‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. فناوری لیزر اسکن هوایی، مشابه اصول رادار کار می‌کند که بعضی اوقات نیز رادار لیزری نامیده می‌شود. اختلاف اصلی بین لیزر اسکن هوایی و رادار در واقع، نوع طول موج‌های تابشی مورد استفاده است. رادار از طول موج‌هایی در ناحیه رادیویی استفاده می‌کند، اما، لیزر اسکن هوایی که طول موج‌های لیزری را به کار می‌برد، روش متداول برای تعیین کردن فاصله تا یک جسم یا سطح استفاده از پالس‌های لیزری است که مانند فناوری رادار که از امواج رادیویی استفاده می‌کند و فاصله تا جسم را با اندازه‌گیری اختلاف زمانی بین ارسال پالس و دریافت پالس بازتابی تعیین می‌کنند (Gomroki و همکاران، ۲۰۱۶). تفاوت اولیه بین لیزر اسکن هوایی و رادار این است که لیزر اسکن هوایی از امواج با طول موج کوتاه‌تر از طیف الکترو مغناطیسی استفاده می‌کند. به‌طور ویژه در محدوده فرابنفش، مرئی یا نزدیک فروسرخ در کل، این امکان وجود دارد که جسمی با اندازه تقریبی برابر طول موج یا بزرگ‌تر از آن را می‌توان مجسم کرد. بنابراین، LIDAR به ذرات کلوئیدی موجود در هوا یا مایع و ذرات ابر حساس است. حال، نتیجه گرفته می‌شود که اختلاف اصلی دو واژه فوق عبارت است از این‌که سامانه LIDAR وضوح و دقت بالاتری در آشکارسازی

مدل‌سازی هیدرولوژیکی محسوب می‌شوند که اغلب از طریق نقشه‌های توپوگرافی حاصل از برداشت‌های زمینی به دست می‌آیند. بسیاری از تحقیقات انجام شده، گویای آن است که دستیابی به یک مدل رقومی ارتفاعی مناسب از طریق این منابع برای حوزه‌های آبخیز، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد. با مقایسه اثر روش‌های مختلف تهیه DEM بر خصوصیات مورفومتری شبکه رودخانه‌ای حوزه آبخیز آبه‌ استان خراسان رضوی، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به سامانه اطلاعات جغرافیایی معرفی و به روش غیر اتوماتیک، رقومی و مدل رقومی ارتفاع با اندازه سلولی ۱۰ متر، این نقشه‌ها استخراج شد. در DEM، پارامترهای مورفومتری منطقه از قبیل فراوانی آبراهه‌ها، طول آبراهه‌ها، تراکم زهکشی در آستانه‌های ۲۵ تا ۵۰ سلول در این واحد، فقط رتبه چهار با اختلاف ۳۳ درصد، تفاوت کمتر و بقیه رتبه‌ها درصد اختلاف بیش از ۵۰ درصد را نشان دادند. در مورد تراکم زهکشی آبراهه‌ها اختلاف چندان قابل توجه نبود. به‌نحوی که، فقط در مخروطه‌افکنه‌ها اختلافاتی مشاهده شد. بنابراین، در این آستانه نیز دقت مدل‌های رقومی تولید شده از نقشه‌های توپوگرافی در استخراج خصوصیات مورفومتری حوزه آبخیز جزئی می‌باشد (Naddaf و sangani و همکاران، ۲۰۱۵).

پژوهش‌های Maathuis و Sijmons (۲۰۰۵)، یکی از مشکلات پیش روی محققین به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه را عدم کفایت، دقت و دسترسی به چنین منابعی اعلام می‌کند. مدل‌های رقومی ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور، طی دهه‌های اخیر کاربرد وسیعی در هیدرولوژی و سایر علوم داشته، با توان تفکیک بالا، این امکان را فراهم آورده است که بتوان پارامترهای مرتبط با حوضه را با دقت و سرعت مناسب محاسبه کرد. این نوع DEM امروزه از تنوع زیادی برخوردار بوده، با توان تفکیک از چند صد متر تا کمتر از دو متر در اختیار محققین قرار دارد (Hancock و همکاران، ۲۰۰۶).

سنجش از دور، دانش و فن جمع‌آوری اطلاعات از عوارض سطح زمین، بدون تماس فیزیکی با آن‌ها است. سنجش از دور، شامل اندازه‌گیری و ثبت انرژی

¹ Light Detection and Ranging

JERS-1, RADARSAT-1, EnviSat, TerraSAR-X و Sentinel-1A/1B هستند که می‌توان از این داده‌ها در تهیه مدل رقومی ارتفاعی زمین با قدرت تفکیک مکانی بین ۰/۵ تا ۳۰ متر استفاده کرد. روش معمول در به‌دست آوردن مدل رقومی ارتفاعی زمین، استفاده از شیت سبز و نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور است. هدف عمده از انجام این پژوهش، در واقع این است که با استخراج زیرحوزه‌های آبخیز و مشخصات آن از طریق مدل رقومی ارتفاعی زمین (حاصل از داده‌های متفاوت سنجش از دور LIDAR و رادار) و مقایسه آن‌ها با روش‌های معمولی، بتوان از این داده‌ها در سطح وسیع و دقت بالا در بخش آبخیزداری و مدیریت آب استفاده کرد. البته در سایه تحقق هدف اصلی پروژه، اهداف جانبی دیگری همچون توانایی داده‌های LIDAR و رادار در تهیه مدل رقومی ارتفاعی زمین مد نظر هستند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوضه جنگلی شصت‌کلاته در استان گلستان و شهرستان گرگان بین طول جغرافیایی $06^{\circ} 30' 54''$ الی $06^{\circ} 30' 54''$ و عرض جغرافیایی $30^{\circ} 42' 36''$ الی $30^{\circ} 43' 36''$ شمالی قرار دارد که موقعیت حوضه مورد مطالعه در شکل ۱، ارائه شده است. درخت راش به‌عنوان گونه اصلی در سراسر جنگل حضور دارد. به‌طور کلی، در عرصه‌هایی به ارتفاع کمتر از ۵۰۰ تا ۷۰۰ متر از سطح دریا گونه‌هایی همچون ممرز، انجیلی، افرا، توسکا، بلوط و آزاد به‌همراه راش به‌شکل گروهی و آمیخته ظاهر می‌شوند. گونه‌های پلت شیردار و خرمنندی در تمام رویشگاه به‌صورت پراکنده و گونه‌های ملج، توسکا و نمدار به‌صورت تک‌درخت به‌چشم می‌خورند. انتخاب این حوضه به‌دلیل وجود انواع مختلف داده‌های سنجش از دور است.

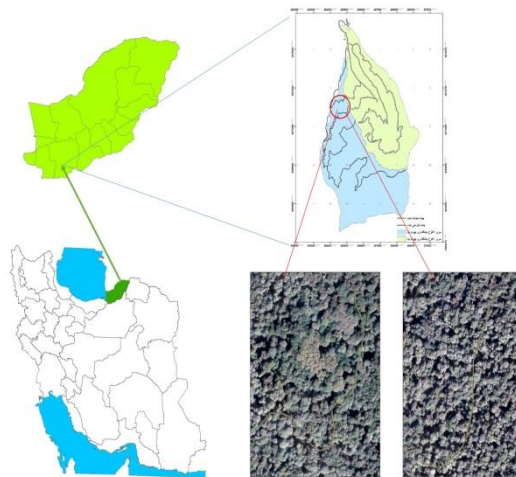
روش پژوهش: به‌منظور تهیه زیرحوزه‌های آبخیز و مشخصات آن‌ها، نیاز به مدل رقومی ارتفاعی زمین است که این مدل از داده‌های LIDAR با قدرت تفکیک مکانی یک متر و داده‌های رادار با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر و از سنجنده‌های دیگر با

موقعیت اجسام دارد. در حالی که، سامانه رادار، برد بیشتر و عملکرد بهتری در شرایط گرد و غبار و دود دارد (White و همکاران، ۲۰۱۴).

تعیین و تکلیف حوضه‌ها با استفاده از DEM منطقه به‌راحتی امکان‌پذیر است. در این حالت با توجه به جریان و زهکش حوضه می‌توان اقدام به استخراج زیرحوضه‌ها کرد. در تولید مدل‌های رقومی زمین از داده‌های مختلفی از جمله نقشه‌برداری زمینی، LIDAR، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. در تصاویر ماهواره‌ای به‌دلیل قدرت تفکیک مکانی کمتر، تشخیص و جداسازی نقاط زمینی بسیار دشوار است. در این میان، داده‌های LIDAR به‌دلیل قدرت نفوذ آن به راحتی می‌تواند اطلاعات ارتفاعی از سطح زمین را فراهم سازد. امروزه تلفیق داده‌ها و تصاویری که از منابع مختلف سنجش از دور به‌دست آمده‌اند، به‌عنوان راه‌حلی بهینه برای استخراج بیشتر اطلاعات مطرح است. سنجنده‌های غیر فعال نوری به‌صورت گسترده در نگاشت ساختارهای افقی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، داده‌های راداری با توجه به این‌که غالباً مستقل از شرایط جوی و به‌صورت شبانه‌روزی امکان جمع‌آوری دارند و نیز برخی ساختارهای زمینی و اهداف مصنوعی، پاسخ ویژه‌ای در فرکانس راداری دارند، توانایی‌های تصاویر نوری را تکمیل می‌کنند. داده‌های هوابرد LIDAR نیز می‌توانند اندازه‌گیری‌های نمونه‌ای با دقت بالا از ساختارهای قائم را در اختیار قرار دهند (Hasanloo و همکاران، ۲۰۱۵). در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های شبیه‌سازی ذوب برف می‌توان به این نکته اشاره کرد که با توجه به عدم اطلاعات زمینی کافی، مدل‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف بسیار مشکل بوده، در این خصوص ضرورت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای امری اجتناب‌ناپذیر است (Ebrahimi و همکاران، ۲۰۱۶). بر همین اساس، در طی سالیان اخیر روش‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای مورد توجه پژوهشگران بوده که گمان می‌رود، دقت بیشتری برای مطالعه این عامل در حوزه‌های آبخیز داشته باشد (Omidvar و همکاران، ۲۰۱۳). برخی از تصاویر ماهواره‌ای راداری با توان تفکیک مکانی مختلف شامل ALOS-2، ALOS-2، RADARSAT-2،

است) و به وسیله الگوریتم‌ها که روشی گام‌به‌گام برای حل مسئله است و با توجه به نوع داده متفاوت‌اند، صورت گرفت (Mohseni و همکاران، ۲۰۱۸).

قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به دست می‌آید. این فرایند با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ (داده‌ای که به واقعیت زمین نزدیک‌تر است، پایه مقایسه دقت داده‌ها



شکل ۱- سیمای کلی و موقعیت حوضه مورد مطالعه در کشور، استان و شهرستان (Mohseni و همکاران، ۲۰۱۸)

سانتی‌متر در بهترین حالت پیاده‌سازی است، بایستی برداشتی از آبراهه‌ها صورت می‌گرفت. GPS تفاضلی از شبکه ایستگاه‌های ثابت زمینی برای تعیین اختلاف موقعیت‌های به دست آمده به وسیله سامانه ماهواره‌های GPS و ایستگاه‌های ثابت زمینی استفاده می‌کند. این ایستگاه‌ها، تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده به وسیله ماهواره‌ها و موقعیت واقعی را محاسبه و اصلاح می‌کنند. معمولاً سیگنال تصحیح دیجیتال به صورت محلی از طریق فرستنده‌های محلی و با برد کوتاه پخش می‌شود.

اصطلاح GPS تفاضلی به تکنیک کلی تقویتی آن اشاره دارد. گارد ساحلی ایالات متحده آمریکا (USCG) و گارد ساحلی کانادا (CCG) این سامانه را در ایالات متحده و کانادا روی فرکانس رادیویی با بسامد پایین بین ۲۸۵ و ۳۲۵ کیلوهرتز در نزدیک بنادر و راه‌های آبی اصلی راه‌اندازی کرده‌اند. سامانه GPS تفاضلی گارد ساحلی آمریکا تحت عنوان NDGPS (DGPS ملی) نام دارد و به طور مشترک به وسیله گارد ساحلی و دپارتمان ترابری فدرال اداره می‌شود. برای مقایسه داده‌ها در فواصل ۱۰۰ متری در طول آبراهه‌ها (شکل ۲)، در واقعیت زمینی با استفاده از مسیریابی به وسیله DGPS، مسیرهای آبراهه به-

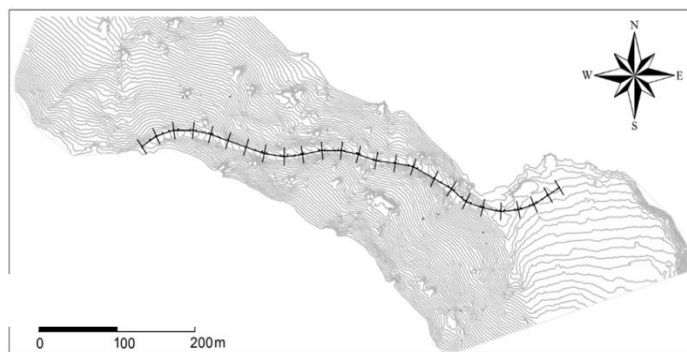
پس از تهیه DEM با استفاده از نرم‌افزار IDRISI (ابزارهایی را برای محققان و دانشمندان درگیر در تجزیه و تحلیل دینامیک‌های سامانه زمین برای تصمیم‌گیری مؤثر در مدیریت زیست‌محیطی، توسعه پایدار منابع و تخصیص منابع عادلانه ارائه می‌دهد) و با اجرای الگوریتم‌ها، زیرحوضه‌ها با استفاده از مدل مناسب در هر یک از روش‌ها به دست آمد و انواع مشخصات حوزه آبخیز مورد نظر از جمله طول آبراهه، شیب آبراهه، تقسیم‌بندی آبراهه‌ها و غیره با استفاده از نرم‌افزارهای SAGA^۱ یا Arc-Hydro محاسبه و در انتها داده‌های مورد نظر با استفاده از مقایسه آماری آزمون t جفتی (برای آزمون هر فرد یا نمونه یکسان در دو وضعیت متفاوت) در نرم‌افزار SPSS به اجرا در آمد. در مواردی که داده‌ها نرمال نبودند، از آزمون ویلکاکسون (برای مقایسه دو گروه وابسته) استفاده شد. به منظور مقایسه صحت داده‌های LIDAR با واقعیت زمینی، با GPS تفاضلی دو فرکانسه (DGPS)^۲، که نوع بهبودیافته سامانه موقعیت‌یاب جهانی است و قادر به تعیین موقعیت دقیق‌تر نسبت به GPS، با دقت اسمی ۱۵ متری GPS به حدود ۱۰

^۱ System for Automated Geoscientific Analyses

^۲ Differential Global Positioning System

استفاده می‌شود. همچنین، با ترکیب امواج حامل L1 و L2 و اندازه‌گیری کد تأثیر، مسیر چندگانه قابل شناسایی و حذف است. دلیل این امر، وابستگی این خطا به فرکانس است. بعد از تهیه نقاط واقعیت زمینی، همین نقاط روی تصاویر مختلف یادشده از جمله LIDAR پیاده شده و در مقایسه با آزمون‌های مشخص و همچنین، انحراف آبراهه‌های استخراج‌شده از سه مدل ارتفاعی زمین نسبت به هم و واقعیت زمینی حاصل از برداشت میدانی، مورد بررسی قرار گرفتند. همان‌طور که ذکر شد، مقایسه آماری بین داده‌ها با استفاده از آزمون T جفتی در نرم‌افزار SPSS به اجرا درآمد. در مواردی که داده‌ها نرمال نبودند، از آزمون ویلکاکسون استفاده شد.

کمک DGPS دنبال شد و برداشت تمام شکستگی آبراهه در فواصل مشخص از طریق سامانه فوق که شامل پایگاه‌های گسترده‌ای در سرزمین اصلی ایالات متحده آمریکا و بخش‌های ساحلی آن از جمله آلاسکا، هاوایی و پورتوریکو است و یک مشخصه قابل اندازه‌گیری آسان ارتفاع می‌باشد، انجام شد. این کار در فصولی که درختان کمترین تاج پوشش را داشتند، صورت پذیرفت تا بیشترین دقت لحاظ شود. در مناطقی مانند کنار درختان، مجاورت اتومبیل‌ها، کنار دیوارهای قائم و شیروانی‌ها و غیره، امواج GPS منعکس شد و به‌وسیله گیرنده دریافت شدند. دریافت این امواج سبب حصول شبه‌فاصله‌های اشتباه می‌شود. برای جلوگیری از اثر مسیر چندگانه، از صفحه زمینی



شکل ۲- اندازه‌گیری در فواصل ۱۰۰ متری (Mohseni و همکاران، ۲۰۱۸)

گذشته یا آینده و از آنچه که اندازه‌گیری‌های ثبت‌شده از ارتفاع سطح دریا نشان می‌دهند، (سابقه تاریخی) و بلندی‌های مستندشده از یک مکان و در یک لحظه معین با اندازه کنونی، متفاوت باشد. جدول‌های ۱ و ۲ خلاصه‌ای از نتایج داده‌ها، نتایج حاصل از آزمون t جفتی را نمایش می‌دهد. در ابتدا نرمالیت‌بودن با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف صورت گرفت که بیانگر مقدار sig-value برابر با ۰/۳ و ۰/۷ بود. بنابراین، می‌توان از آزمون T جفتی استفاده کرد که نتایج به‌صورت جدول‌های ذیل و در شکل ۳ ارائه شده است.

نتایج و بحث

بررسی محاسبه ارتفاعات حاصل از برداشت زمینی به‌وسیله GPS تفاضلی و LIDAR: فراز از رویه دریا یا ارتفاع از سطح دریا (AMSL)^۱ عبارتی است که به میزان ارتفاع یک عارضه یا نقطه در خشکی یا هوا از سطح متوسط آب‌های آزاد اشاره دارد. متر بالاتر از سطح دریا (MASL)^۲ یک اندازه‌گیری استاندارد متریک بر حسب متر ارتفاع یک مکان جغرافیایی، در اشاره به سطح تاریخی آب دریا است. با این حال، تعیین آنچه که در واقع به منزله سطح متوسط دریا است، ممکن است، در طول زمان با پارامترهای دیگر، مانند تأثیر تاریخ آب و هوا و تغییر آب و هوا تعیین شود. همچنین، ممکن است، در

¹ Above Mean Sea Level

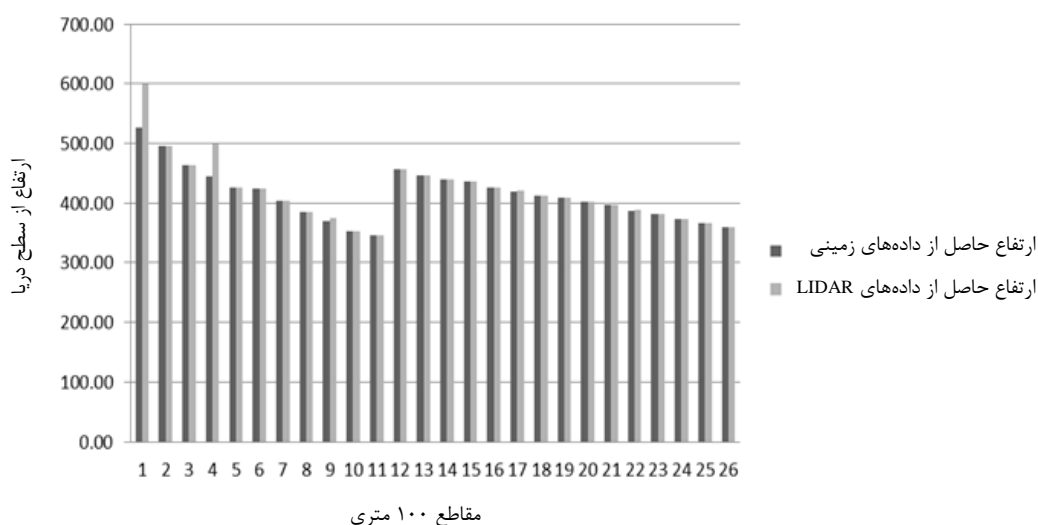
² Meters Above Sea Level

جدول ۱- خلاصه نتایج شاخص های آماری

شاخص‌ها	داده‌های زمینی	LIDAR
میانگین	۳۸۷	۳۸۸/۴
انحراف از میانگین	۶/۵	۶/۸
مدیان	۳۸۰/۸	۳۸۰/۸
مد	۲۹۲/۸۹۶۴a	۴۳۷
انحراف از معیار	۶۳/۳	۶۶/۲
واریانس	۴۰۰۳/۳	۴۳۸۴/۲
دامنه تغییرات	۲۷۷/۸	۳۰۷/۱

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون t جفتی

sig-value	درجه آزادی
۰/۱۳۸۶	t
۹۳	حد بالا
-۱/۴۹۳۵۴	حد پایین
۰/۴۸۳۷۸۶	انحراف معیار
-۳/۴۱۹۴۴	میانگین
۹/۵۲۸۴۳۹۶۲	
-۱/۴۶۷۸۲۷۵۵۳	

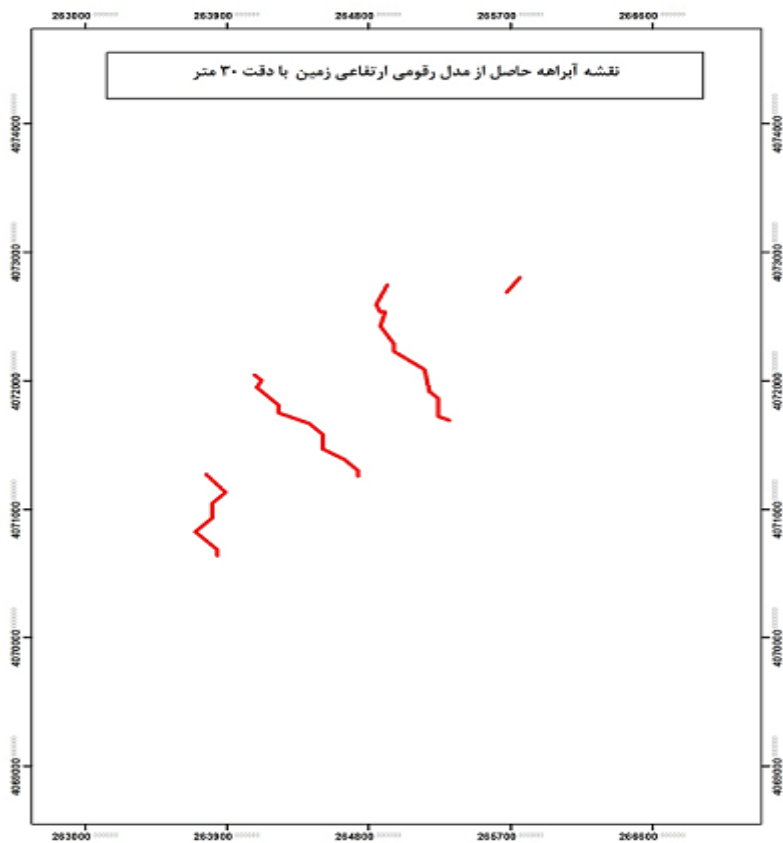


شکل ۳- مقایسه ارتفاعی حاصل از LIDAR و داده‌های زمینی (Mohseni و همکاران، ۲۰۱۸)

نسبت به مدل رقومی ارتفاعی زمین موجود که مورد استفاده قرار می‌گیرند، مقایسه‌ای انجام شود. مدل رقومی ارتفاعی زمین با دقت ۱۲/۵ متر حاصل از ماهواره پیشرفته دیده‌بانی زمین^۱ که به اختصار ALOS و دایچی (Daichi) نیز نامیده می‌شود، ماهواره چهار تئی ژاپنی است که در سال ۲۰۰۶ از مرکز فضایی تانگاشیما به فضا پرتاب شد.

مقایسه انحراف آبراهه‌های استخراج‌شده از سه مدل ارتفاعی زمین: مدل رقومی ارتفاعی زمین با دقت‌های (یک، ۱۲/۵ و ۳۰ متر) مورد بررسی قرار گرفت و آبراهه‌های حاصل از هر یک از آنها بر اساس شکل‌های ۴ الی ۹ استخراج شد. در این پژوهش، سعی شد که دقت داده‌های LIDAR در بحث استخراج داده‌های یک حوضه کوچک، مورد بررسی قرار گیرد و

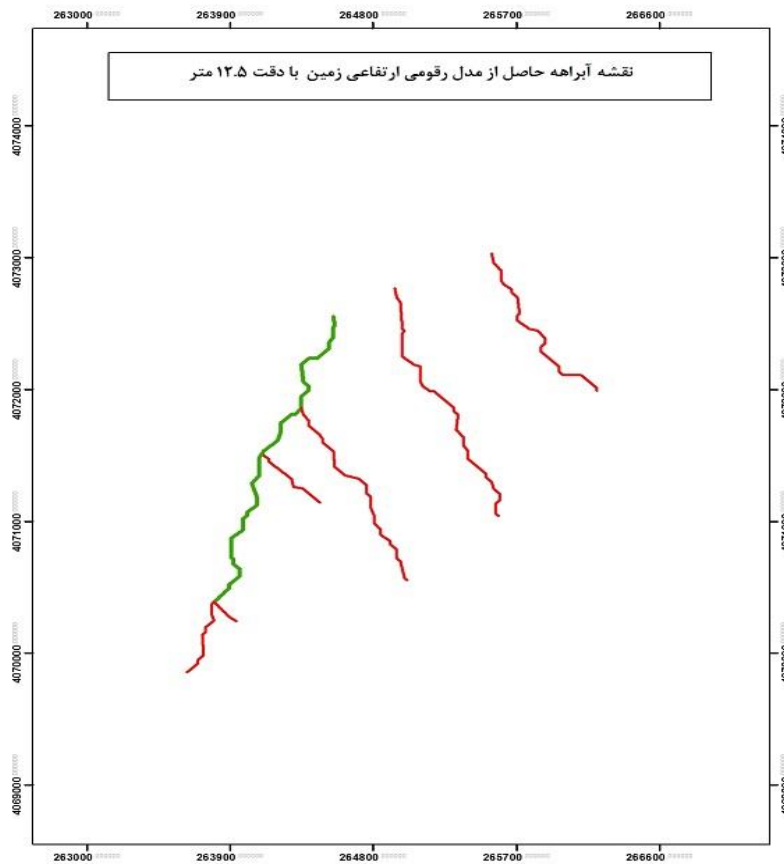
¹ Advanced land observation satellite



شکل ۴- آبراهه‌های استخراج‌شده از مدل رقومی ارتفاعی زمین با دقت ۳۰ متر (Mohseni و همکاران، ۲۰۱۸)



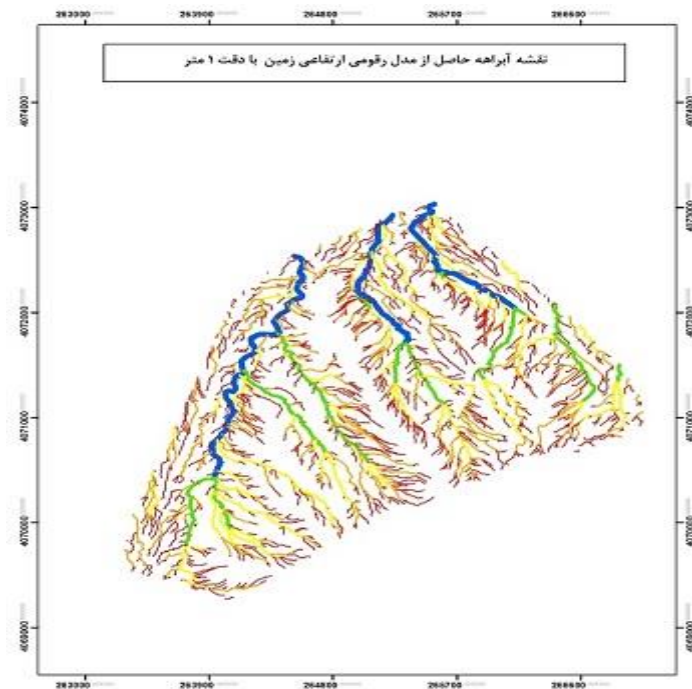
شکل ۵- آبراهه‌های استخراج‌شده از مدل رقومی ارتفاعی زمین با دقت ۳۰ متر روی تصویر واقعیت زمینی (Google Earth) Mohseni و همکاران، ۲۰۱۸)



شکل ۶- آبراهه‌های استخراج‌شده از مدل رقومی ارتفاعی زمین با دقت ۱۲/۵ متر (Mohseni و همکاران، ۲۰۱۸)



شکل ۷- آبراهه‌های استخراج‌شده از مدل رقومی ارتفاعی زمین با دقت ۱۲/۵ متر روی تصویر واقعیت زمینی (Google Earth و Mohseni و همکاران، ۲۰۱۸)



شکل ۸- آبراهه‌های استخراج‌شده از مدل رقومی ارتفاعی زمین با دقت یک متر (Mohseni و همکاران، ۲۰۱۸)



شکل ۹- آبراهه‌های استخراج‌شده از مدل رقومی ارتفاعی زمین با دقت یک متر روی تصویر واقعیت زمینی (Google Earth Mohseni و همکاران، ۲۰۱۸)

آزمون‌های آماری) مورد بررسی قرار گرفت. این آزمون، نرمال بودن توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده بین داده‌های یک متری LIDAR (جدول‌های ۳ و ۴) و مدل رقومی زمین ۱۲/۵ و ۳۰

در مرحله بعد، انحراف آبراهه‌ها نسبت به واقعیت زمینی اندازه، بر اساس آنچه در شکل ۱۰ ارائه شده است، اندازه گرفته شد. نرمالیته بودن با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (یکی از مهم‌ترین

روش برخورداری می‌باشد.

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون ویلکاکسون بین LIDAR و

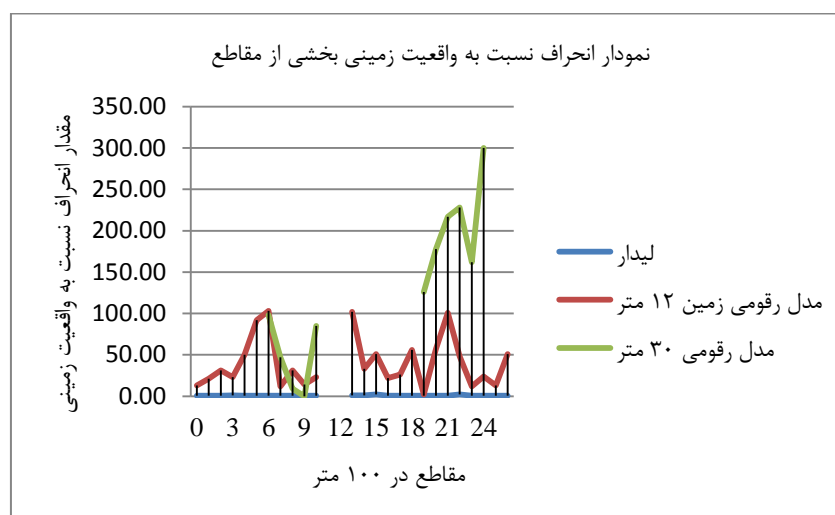
مدل رقومی زمین ۱۲/۵ متر	
Dem 12.5m- lidar	
Z	-6.624a
Asymp. Sig. (2-tailed)	.0002

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون ویلکاکسون بین LIDAR و

مدل رقومی زمین ۳۰ متر	
Dem 30m- lidar	
Z	-4.681a
Asymp. Sig. (2-tailed)	.0002

متری، به ترتیب مقدار sig-value را برابر ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲ و ۰/۰۰۲ نشان داد. در نهایت، از آزمون ناپارامتریک ویلکاکسون استفاده شد. همان‌گونه که در پژوهش Kahni-Pordanjani و همکاران (۲۰۱۷)، در ارتباط با تولید مدل رقومی زمین در مناطق پرتراکم جنگلی با تلفیق الگوریتم‌های فیلترسازی داده‌های LIDAR هوابرد به این نتیجه رسیدند که دقت ارتفاعی ۰/۲۱ متر برای مدل رقومی زمین مناسب است.

از بین روش‌های مقایسه‌ای لیدار، مدل‌های رقومی ۱۲ و ۳۰ متری، در مقاطع مختلف ارائه شده، مطابق شکل فوق، لیدار از تطابق قابل قبولی نسبت به دو



شکل ۱۰- نمودار مقایسه انحراف آبراهه‌های حاصل نسبت به واقعیت زمینی

از داده LIDAR و مدل رقومی ۱۲/۵ و ۳۰ متر جدول‌های ۳ و ۴ نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بین آن‌ها می‌باشد. در نتیجه، اگر واقعیت زمینی با داده‌های LIDAR برابر باشد، بین واقعیت زمینی و داده‌های مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ و ۳۰ متری زمین نیز تفاوت معنی‌داری وجود دارد و این تفاوت به گونه‌ای است که در ارتباط با مباحث آبخیزداری و فعالیت‌های هیدرولوژی، استفاده از دو مدل رقومی ارتفاعی زمین فوق‌الذکر توصیه نمی‌شود. در مقابل، دقت بالای مدل رقومی زمین، به واقعیت زمین نزدیک‌تر بوده، امروزه در بیشتر فعالیت‌ها به جای واقعیت زمینی و برداشت زمینی از داده‌های LIDAR استفاده می‌شود. مطابق آنچه در متن فوق بدان اشاره

نتیجه‌گیری

در بخش اول بررسی، محاسبه ارتفاعات حاصل از برداشت زمینی GPS تفاضلی و LIDAR مقدار sig-value برابر با ۰/۱۳ به دست آمد که بیانگر تفاوت معنی‌دار بین داده‌های ارتفاعی برداشت زمینی و داده‌های LIDAR نیست. در بخش دوم، مقایسه یعنی انحراف آبراهه‌های استخراج شده از سه مدل ارتفاعی زمین بر اساس جدول ۱، میانگین انحراف آبراهه‌های استخراج شده نسبت به واقعیت زمین نسبت به مدل رقومی ۱۲/۵ و ۳۰ متر از همه کمتر بوده، نشان‌دهنده نزدیک بودن مدل رقومی زمین حاصل از داده LIDAR به واقعیت زمینی هست. همچنین، در مقایسه داده‌های حاصل از مدل رقومی زمین حاصل

معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد مشاهده می‌شود. در نهایت می‌توان بیان کرد که بهترین مدل رقومی ارتفاعی زمین به‌منظور استخراج زیرحوضه، داده‌های سنجش از دور LIDAR و رادار است.

شد، ملاحظه می‌شود، تک‌تک فرضیه‌های پژوهش از جمله این‌که مدل رقومی زمین نسبت به روش‌های معمول از دقت بالاتری در استخراج زیرحوضه‌ها و مشخصات آن‌ها برخوردار است. همچنین، می‌توان اذعان داشت که بین روش‌های مورد استفاده اختلاف

منابع مورد استفاده

1. Azizi, Z., A. Najafi and S. Sadeghian. 2014. Forest road detection using LIDAR data. *Journal for Resources*, 25: 975-980.
2. Ebrahimi, R., S. Hamzeh and S. Marofi. 2015. Modeling the snow cover and snowmelt runoff using a combination of SRM hydrological model and satellite imagery. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 23(6): 66-77 (in Persian).
3. Gomroki, M., S. Sadeghian and Z. Azizi. 2016. Optimizing LIDAR data interpolation elevation in the generation of digital terrain model forest using genetic algorithm. *Geospatial Engineering Journal*, 7(2): 9-24 (in Persian).
4. Hancock, G.R., C. Martinez, K.G. Evan and D.R. Moliere. 2006. A comparison of SRTM and high resolution digital elevation models and their use in catchment geomorphology and hydrology. *Australian examples*, <https://doi.org/10.1002/esp.1335>.
5. Hasanlou, M., P. Pahlavani, H. Amini and S. Talebi-Nahr. 2016. Feasibility study of detection specific urban features using high spectral resolution satellite imagery, LIDAR data, and fully polarimetric RADAR imagery. *Journal of Geometrics Science and Technology*, 5(3): 35-48 (in Persian).
6. Hicerson, F. 1964. *Route location and design*. McGraw-Hill College, 634 pages.
7. Khani-Pordanjani, H., S. Sadeghian and 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): 53-62 (in Persian).
8. Naddaf-Sangani, M., S.R. Hosseinzadeh and M. Akbari. 2015. The study of DEM preparation methods on drainage network analysis, case study: Abgheh Watershed in eastern parts of Iran. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 30(9): 59-66 (in Persian).
9. Omidvar, J., S. Noori, K. Davari and A. Farid-hosseini. 2013. Estimation of actual evapotranspiration based on satellite images using two algorithms Sebal and Metric. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 12(4): 11-22 (in Persian).
10. White, J., M. Wulder, G. Hobart, J. Luther, T. Hermosilla, P. Griffiths and A. Dyk. 2014. Pixel-based image compositing for large-area dense time series applications and science. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40(2014): 192-212.
11. Zhang, Y., Y. Zhang and Y. Zhang. 2016. Automatic extraction of DTM from low resolution DSM by two-steps semi-global filtering. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume III-3.