

تاریخ: ۱۳۹۴/۱۱/۰۹
شماره: ۱۱۰۹

بنام خدا

همایش همایش سراسری محط زیست، انرژی و پدافند زیستی

گواهی ارائه مقاله

بدینوسیله گواهی می‌گردد، اصل مقاله با عنوان:

به کارگیری فناوری لایدار هواپرد در ساخت مدل رقومی زمین در مناطق جنگلی

ارائه شده توسط:

مهران قالیچی، روزبه شاه، علیرضا فریدحسینی

مورد پذیرش کامل و تأیید هیات داوران و کمیته علمی جهت ارائه در **چهارمین همایش سراسری محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی** ارائه گردیده است. امید است این گواهی در بهبود هر چه بیشتر عملکرد ایشان در راستای افزایش **قرار گرفته و بصورت شفاهی** ارائه گردیده است. **بهره‌وری و تحقق توسعه پایدار در بخش‌های محیط زیست، انرژی و پدافند زیستی** مؤثر واقع شده و در ارتقاء علمی ایشان مد نظر قرار گیرد.

دکتر بهروز بهروزی راد

دبیر علمی همایش و رئیس کمیته داوران



دکتر غلامرضا موهبتی

دبیر کل همایش و رئیس کمیته آموزشی عالی مهر اروند

www.enconf.ir

Certificate



به کارگیری فناوری لایدار هوابرد در ساخت مدل رقومی زمین در مناطق جنگلی

مهران قالیچی، روزبه شاد، علیرضا فریدحسینی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور- دانشگاه فردوسی مشهد-ایران

۲- استادیار گروه عمران-دانشکده‌ی مهندسی- دانشگاه فردوسی مشهد-ایران

۳- استادیار گروه مهندسی آب-دانشکده‌ی کشاورزی-دانشگاه فردوسی مشهد-ایران

Email: mehran_ghalichi@yahoo.com

چکیده

امروزه مدل‌های رقومی زمین با توانایی نمایش سطح زمین به صورت سه‌بعدی، در بسیاری از حوزه‌ها از قبیل زمین‌شناسی، نظامی، حمل و نقل و نظیر آن مطرح شده و منجر به آن شده است که روش‌های مختلفی برای تولید اطلاعات سه‌بعدی توسعه یابند. یکی از کاربردهای اساسی داده‌های لایدار در مدیریت جنگل است. لذا، لازم است که داده‌های جمع‌آوری شده در محدوده رضایت بخشی از دقت و صحت قرار گیرند. از این رو جمع‌آوری داده‌ها با دقت بالا، تاثیر به‌سزایی در افزایش دقت نهایی مدل به‌دست آمده خواهد داشت. لایدار، یکی از مدرن‌ترین تکنولوژی‌های حال حاضر به منظور ساخت مدل رقومی زمین می‌باشد. با توجه به گسترش استفاده از آن، لازم است تا چارچوب مناسبی به منظور تحلیل داده‌های لایدار به منظور دستیابی به مدل رقومی زمین با اعتبار مناسب لحاظ گردد. از این رو در این تحقیق استراتژی مناسب به کارگیری داده‌های لایدار در ساخت مدل رقومی زمین شرح داده خواهد شد.

کلمات کلیدی: لایدار، جنگل، مدل رقومی زمین، دقت.

۱. مقدمه

رعایت امروزه مدل‌های رقومی زمین (Digital Terrain Model (DTM)) از منابع زیادی قابل تولید هستند [5]. یکی از جدیدترین داده‌های مورد استفاده جهت تولید مدل رقومی، استفاده از داده‌های لایدار (Lidar) هوابرد می‌باشد، که در آن با استفاده از ارسال و دریافت پالس‌های لیزری، مسافت یک عارضه و یا جسم، نسبت به منبع گسیل لیزر و یا پالس محاسبه می‌گردد. اگر این فاصله به صورت دید قائم محاسبه گردد، در این صورت بیانگر ارتفاع یک عارضه و یا جسم می‌باشد. در استفاده از سیستم لایدار خطاهای مختلف محیطی باعث می‌گردد تا فاصله‌ی محاسبه شده در سیستم مذکور با خطا همراه باشد و در نتیجه مدل رقومی حاصل از داده‌های لایدار با واقعیت زمینی تطابق بالایی نداشته باشد. از مهمترین ملاحظات محیطی که عدم در نظر داشتن آنها باعث ایجاد خطاهای بزرگ در داده‌های لایدار می‌گردد شامل: اتمسفر محیط برداشت، میزان درخشندگی سطح مورد مطالعه، شکل هندسی آن، جنس سطح، رطوبت سطح، تخلخل سطح مورد بررسی، زاویه‌ی برخورد پرتوی لیزر و نظیر آن می‌باشند. از بین عوامل مذکور جنس سطح و شرایط اتمسفر بیشترین تاثیر را در داده‌های لایدار دارد. اتمسفر با توجه به ذرات و گازهای تشکیل دهنده‌ی آن در مقابل پرتوی لیزر از خود واکنش‌های مختلفی نشان می‌دهد. این واکنش‌ها شامل جذب و پراکنش پرتوی لایدار می‌باشد و همچنین از دیگر پدیده‌هایی که بواسطه‌ی اتمسفر در پرتوی لیزر ایجاد می‌گردد پدیده‌ی جذب پرتوی لیزر توسط ذرات اتمسفر و گسیل آن در طول موج‌های بزرگتر است [3]. از این رو شناخت سیستم لایدار مورد استفاده در تهیه‌ی داده‌های لایدار با توجه به موضوع مورد بررسی اهمیت زیادی دارد. از

مدل‌های رقومی زمین در حوزه‌های مختلفی مانند: ساخت سد، پروژه‌های عمرانی راه، نصب دکل‌های مخابراتی، طراحی مسیر، مطالعات اولیه در ساخت راه آهن، ساخت بنادر، کشتیرانی و نظیر آن استفاده می‌گردد [4, 14, 17].

با توجه به کاربرد زیاد مدل‌های رقومی زمین، بحث دقت در آنها همواره یکی از مهمترین فاکتورهایی است که توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است [6, 7, 10]. از آن جهت که در واقع مدل رقومی زمین بیانگر یک سطح پیوسته است که با به کارگیری نمونه‌های برداشت شده از سطح مذکور و استفاده از یک روش مناسب تهیه شده است، بنابراین در دقت نهایی مدل رقومی زمین، دو فرایند نمونه‌برداری و روش ساخت مدل رقومی تاثیر گذار هستند. استفاده از داده‌های لایدار (با توجه چگالی و قدرت نفوذ بالا) می‌تواند خود در افزایش دقت نهایی مدل رقومی زمین، تاثیر زیادی داشته باشد. اما به دلیل طبیعت داده‌های لایدار و ساختار خام آن‌ها، نقاط عوارض مختلف زمین به صورت سه‌بعدی در ساختار مذکور وجود دارند. از طرفی جهت ساخت مدل رقومی زمین، لازم است تا عوارض مختلف غیر زمینی که در داده‌های لایدار وجود دارند، با دقت بالا حذف گردند. جهت حذف داده‌های غیرزمینی موجود در ساختار خام داده‌های لایدار، لازم است تا از فرایند فیلتراسیون استفاده کرد. به همین منظور [19]، جهت جداسازی عوارض غیر زمینی از داده‌های لایدار، از فیلتری مورفولوژی استفاده کردند. یان و همکاران [18]، استفاده از شیب منطقه را در فیلتر کردن عوارض غیر زمینی مفید دانستند. مفهوم اساسی فیلترهای مبتنی بر شیب ناحیه، بر اساس اختلاف ارتفاعی پیکسل‌های همسایه است. به عبارتی اگر اختلاف ارتفاع دو پیکسل مجاور بسیار زیاد باشد، در آن محل عوارض غیر زمینی وجود دارند. در روشی دیگر، [9]، از اعمال فیلتر در جهت‌های مختلف به منظور جداسازی عوارض غیر زمینی از عوارض زمینی در داده‌های لایدار استفاده کردند. در [16]، روشی بر اساس شیب نقاط و ترکیب آن با یک فیلتر میانگین محلی را جهت جداسازی نقاط زمینی از نقاط غیر زمینی، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در [1] الگوریتمی بر مبنای داده‌های شبکه‌ای نامنظم (TIN) جهت فیلتراسیون و حذف عوارض غیر زمینی در داده‌های لایدار مورد استفاده قرار گرفته است. با هدف ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی در نتایج نهایی مدل رقومی زمین، [11]، فرایند ساخت مدل رقومی زمین با استفاده از داده‌های لایدار و به کارگیری الگوریتم‌های مختلف درون‌یابی را مورد بررسی قرار دادند.

با توجه به اهمیت داده‌های لایدار، در این مقاله در ابتدا ملاحظات لازم در به کارگیری داده‌های لایدار و در نهایت روش‌های مرسوم فیلتراسیون و درون‌یابی در داده‌های لایدار بیان خواهند شد.

۲- اندازه‌گیری طول با لیزر

به منظور اندازه‌گیری طول با استفاده از لیزر لازم است تا با استفاده از ابزاری، پرتوی لیزر خروجی و برگشتی لیزر (از یک عارضه‌ی معین) مورد تحلیل قرار گیرد. همان طور که قبلاً بیان شد، پرتوی لیزر را می‌توان به صورت موجی و ذره‌ای در نظر گرفت. از این رو می‌توان با استفاده از دو خاصیت مذکور با به کارگیری پرتوی لیزر، مسافت بین منبع تولید لیزر و یک عارضه‌ی خاص را به دست آورد.

۲-۱-۱- سیستم‌های پالس مینا

از آنجایی که پرتوی لیزر ناشی از انرژی ساطع شده از الکترون‌ها دارای یک فرکانس معین است، بنابراین از نوع امواج الکترومغناطیس بوده و با سرعت نور منتشر می‌گردد. از طرفی، سرعت نور در یک ماده‌ی مشخص، مقدار ثابت و محدودی می‌باشد، بنابراین با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت نور گسیل شده از یک منبع، می‌توان فاصله‌ی شیء بازتاب دهنده‌ی موج برگشتی تا منبع را محاسبه کرد. که جهت محاسبه‌ی آن از رابطه‌ی زیر استفاده می‌گردد.

$$D = \frac{C \times \Delta t}{2} \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق، C سرعت نور در محیط اندازه‌گیری، D فاصله‌ی شیء تا منبع و Δt اختلاف زمان موج ارسالی و دریافتی در منبع می‌باشند. مفهوم اندازه‌گیری با استفاده از روش مذکور در شکل (۱) نشان داده شده است. با توجه به اینکه سرعت نور بسیار زیاد می‌باشد، بنابراین برای رسیدن به دقت (۱ میلی‌متر) برای محاسبه‌ی طول (می‌بایست زمان با دقت $3/33$ پیکوثانیه (۱۲-۱۰ ثانیه با فرض اندازه‌گیری در خلاء) اندازه‌گیری شود.

۲-۱-۲- سیستم‌های فاز مبنا

نوعی دیگری از سیستم‌های لیزری که بر اساس اختلاف زمان کار می‌کنند، سیستم‌های فاز مبنا هستند که در آنها به منظور عدم استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری زمان با دقت بالا، از مدولاسیون (Modulation) امواج استفاده می‌گردد. در این سیستم‌ها ابتدا موج ارسالی به صورت دامنه، مدولاسیون شده و سپس ارسال می‌گردد. سپس اختلاف فاز موج برگشتی از شیء با موج ارسالی به محاسبه شده و در نهایت این اختلاف فاز تبدیل به اختلاف زمان می‌گردد که می‌توان با به کارگیری رابطه‌ی (۲) فاصله‌ی شیء تا منبع را به دست آورد. مفهوم این سیستم‌ها در شکل (۲) آورده شده است. معمولاً سیستم‌های لیزری فاز مبنا، از مدولاسیون سینوسوئیدال (Sinusoidal) استفاده می‌کنند، که به صورت مدولاسیون دامنه (AM)، مدولاسیون فرکانس (FM) و مدولاسیون شبه نویز یا قطبیده (Polarization) می‌باشند. به منظور محاسبه‌ی اختلاف زمان در این سیستم‌ها بعد از دمدولاسیون موج بازگشتی و محاسبه‌ی اختلاف فاز (بین موج ارسالی و بازگشتی)، از رابطه‌ی زیر جهت محاسبه‌ی زمان استفاده می‌گردد.

$$t = \frac{\Delta\varphi}{2\pi f_{\text{modulated}}} \quad (2)$$

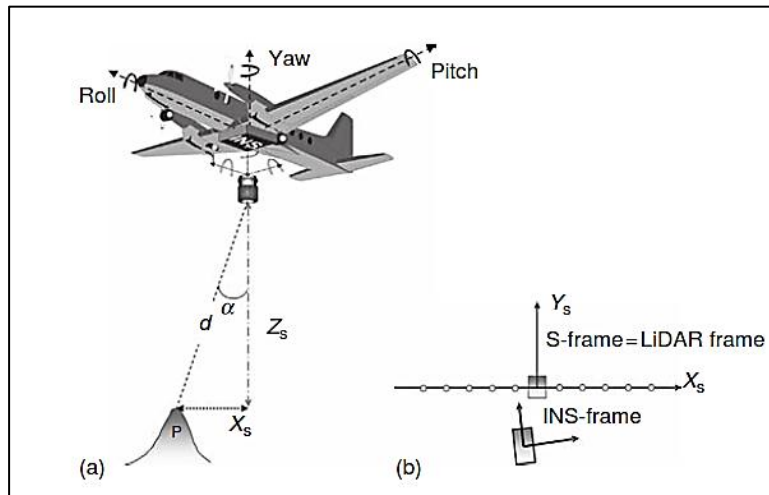
در رابطه‌ی (۲)، $\Delta\varphi$ اختلاف فاز دو موج ارسالی و دریافتی و $f_{\text{modulated}}$ نرخ موج مدولاسیون ارسالی هستند.

۳- زمین مرجع سازی

زمین مرجع سازی سیستم لایدار به مفهوم تعیین مختصات سه بعدی به ازای هر اندازه‌گیری است. از این رو به کارگیری نقاط کنترل زمینی با توجه به اینکه نقاط اندازه‌گیری شده توسط سیستم لایدار بسیار زیاد بوده، امکان پذیر نمی‌باشد. به عبارتی دیگر، با استفاده از نقاط کنترل زمینی نمی‌توان برای هر یک از اندازه‌گیری‌های سیستم لایدار مختصات سه بعدی تعیین کرد. از این رو بایستی روشی در زمین مرجع سازی داده‌های لایدار به کاربرد تا قادر باشد تمامی اندازه‌گیری‌های این سیستم را در یک مختصات سه بعدی بیان کند. از این رو اخیراً استفاده از تلفیق سیستم موقعیت یاب جهانی (Global Positioning System (GPS) و سیستم (Inertial Navigation System (INS)، برای تعیین مختصات سه بعدی برای هر یک اندازه‌گیری‌های مجزای سیستم لایدار استفاده می‌گردد. که با به کارگیری دو سیستم مذکور، کلیه‌ی پارامترهای توجیه خارجی (شش پارامتر) با دقت مطلوب قابل تعیین خواهند بود. استفاده از تلفیق سیستم موقعیت یاب جهانی و سیستم موقعیت یاب اینرشیا (اینرسی)، نه فقط باعث تحول در زمین مرجع سازی تصاویر هوایی گردید، بلکه زمینه را برای ظهور تکنولوژی‌های جدیدتر، مانند لایدار، را نیز فراهم کرد. زمین مرجع سازی لایدار را می‌توان به صورت مسئله‌ی انتقال سه بعدی بردار سیستم لایدار (r_s)، به سیستم مختصات سه بعدی مرجع (m -frame) (r_m)، در نظر گرفت (شکل (۱)). قسمت‌های اصلی این انتقال سه بعدی (در استفاده از سیستم لایدار در سکوی هوایی)، در شکل (۱)، نشان داده شده است. توجیه و مکان چارچوب دستگاه لایدار (محورهای سیستم مختصات دستگاه لایدار) در هر لحظه نسبت به چارچوب مرجع (محورهای سیستم مختصات مرجع زمینی) تغییر می‌کند. به عبارتی توجیه و مکان دو سیستم مذکور نسبت به هم، تابعی از زمان می‌باشد. در صورتی تعیین مختصات دستگاه لایدار امکان پذیر خواهد بود که در هر لحظه موقعیت آن در چارچوب مرجع زمینی ($r_s^m(t)$) و ماتریس دوران آن (بین چارچوب مرجع زمینی و چارچوب دستگاه لایدار) معین باشند ($R_s^m(t)$). رابطه‌ی زمین مرجع سازی به ازای نقطه‌ی A در داده‌های لایدار به صورت زیر می‌باشد.

$$r_i^m = r_s^m(t) + R_s^m(t)r_i^s \quad (3)$$

در رابطه‌ی فوق r_i^m بردار موقعیت نقطه‌ی λ م در چارچوب مرجع زمینی و t یک اندازه‌گیری زمان در نقطه‌ی λ م می‌باشد. همچنین r_i^s بردار موقعیت نقطه‌ی مذکور در چارچوب دستگاه لایدار (S-frame) را بیان می‌کند.



شکل (۱) سیستم مختصات‌های مختلف در لایدار [15].

۴- کنترل کیفیت و خطاها

یک سیستم لایدار عادی شامل سه بخش سیستم موقعیت‌یاب (Global navigation satellite system (GNSS)) (جهت محاسبه‌ی مختصات با صحت بالا)، سیستم اینرسی و سیستم اندازه‌گیری فاصله (جهت اندازه‌گیری ارتفاع عارضه) است. بعلاوه در سیستم‌های مدرن لایدار از یک دوربین جهت تصویر برداری از منطقه‌ی مورد نظر نیز استفاده می‌شود.

۴-۱- کنترل کیفیت داخلی

کیفیت سطح به دست آمده از داده‌های لایدار وابسته به صحت و دقت زیر سیستم‌های لایدار (سیستم موقعیت‌یاب، سیستم اینرسی و سیستم لیزر) و فرایند کالیبراسیون می‌باشد. به جز صحت و دقت مورد نیاز در داده‌های لایدار، کیفیت آن‌ها را می‌توان با استفاده از QA (Quality Assessment) و QC (Quality Control) تست کرده و میزان اعتبار آن‌ها را به دست آورد. QA شامل فعالیت‌هایی است که قبل از اخذ داده به منظور دستیابی به دقت مورد نظر انجام می‌گیرند. روال مذکور باعث کنترل کالیبراسیون، طرح‌ریزی، اجرا و بازبینی فعالیت‌های اخذ داده می‌گردند. اما در مقابل QC شامل تمامی فعالیت‌هایی است که میزان دستیابی به کیفیت مورد انتظار را ارزیابی می‌کنند. که دربردارنده‌ی روال‌هایی است. این روال‌ها دربردارنده‌ی تست درستی داده‌ها، صحیح بودن و کامل بودن داده‌های اخذ شده و محصولات به دست آمده است.

۴-۲- کنترل خارجی کیفیت

تاکنون روش‌های اشاره شده جهت ارزیابی کیفیت داده‌های لایدار، نمی‌توانند معیاری مستقل و بیرونی جهت ارزیابی کیفیت داده‌های لایدار باشند. از این رو استفاده از نقاط کنترل میدانی، معیاری جهت کنترل کیفیت خارجی داده‌های لایدار به شمار می‌رود. که این نقاط با استفاده از تارگت‌های معینی مشخص می‌گردند. مختصات تارگت‌های قرار داده شده در ناحیه‌ی اخذ

داده، با استفاده از روشی متفاوت (نقشه برداری زمینی و نظیر آن) به طور کاملا مستقل تعیین می گردند در نهایت، مختصات تارگت استخراجی، محاسبه شده و با استفاده از شاخص RMSE با مختصات اولیه ی آن (که توسط یک روش دیگر اندازه گیری شده) مقایسه می گردد. همچنین جهت کنترل داده های لایدار می توان سطوح ساخته شده با استفاده از آن ها را با دیگر سطوح مرجع موجود مقایسه کرد.

۵-۵- فیلترینگ داده های لایدار

با توجه به تعاریف مختلف مدل رقومی زمین (DTM یا DEM)، لازم است این مفهوم روشنتر شود. مدل رقومی زمین را می توان محدوده ای بین زمین صلب و هوا دانست [15]. این تعریف، مفهوم نسبتا کاملی از مدل رقومی زمین را بیان می کند. اما با نگاهی عمیق تر و با سطح جزئیات بیشتر، تعریف مذکور، دارای معایبی نیز هست. از دید ژئومورفولوژی، سطح زمین با استفاده از خطوط ساخته شده است.

۵-۱- فیلترهای ساده

با توجه به پیچیده گی های مختلف سطح زمین، مفاهیم متعددی برای فیلتراسیون وجود دارد. ساده ترین فیلترها، کمترین ارتفاع موجود در یک همسایگی را به عنوان نقاط زمینی انتخاب می کنند. اگر همسایگی مورد استفاده به صورت رستری باشد، کمترین ارتفاع پیکسل های موجود در همسایگی به عنوان ارتفاع سطح DTM در پیکسل مورد نظر، لحاظ می گردد. در این استراتژی، فرض مسطح بودن سطح زمین به صورت غیر صریح وجود دارد که این فرض باعث ایجاد خطاهای سیستماتیک در نتایج می گردد.

۵-۲- فیلترهای مورفولوژی

این فیلترها بر اساس عملگرهای مورفولوژی ریاضی می باشند. یک عنصر سازنده $\Delta h_{max}(d)$ ، می تواند اختلاف ارتفاع را به عنوان تابعی از طول بیان کند. که از این تابع در عملگر فرسایش استفاده می گردد. طول مورد استفاده در اینجا، طول مسطحاتی بین دو نقطه است که با استفاده از رابطه ی زیر قابل محاسبه است.

$$d(p_i, p_k) = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} \quad (4)$$

در رابطه ی فوق p_i, p_k ، به ترتیب نقطه ی مورد بررسی و نقطه ی همسایه ی آن، X و Y ، نیز مختصات مسطحاتی دو نقطه ی مذکور را بیان می کنند. هر چه فاصله ی افقی بین دو نقطه کمتر باشد، اختلاف ارتفاعی قابل قبول برای آنها، کمتر خواهد بود. عنصر اختلاف ارتفاع، در هر نقطه ی مورد بررسی، تحلیل شده و امان مذکور بین نقطه ی مورد نظر و هر یک از نقاط همسایه ی آن، محاسبه می گردد. در صورتی نقطه ی مورد نظر به عنوان نقطه ی غیرزمینی طبقه بندی می گردد که یکی (یا بیشتر) از اختلافات محاسبه شده بزرگتر از یک مقدار معین (حد آستانه) باشد.

۵-۳- فیلترهای سطح مبنا

در برخی از روش های فیلتراسیون فرض اولیه این است که تمامی نقاط داده های لایدار مربوط به سطح زمین بوده و بدین ترتیب می توان مدل رقومی (DTM) اولیه را تولید کرد. و بنابراین ابتدا تمامی نقاط لایدار در ساخت مدل رقومی زمین در نظر گرفته می شوند و سپس با اعمال شروطی، نقاطی که این شروط را برآورده ن سازند، حذف خواهند شد. به این صورت که در یک فرایند تکراری، سطح ساخته شده ی اولیه آن قدر تغییر خواهد یافت تا سطح نهایی به دست آید و تمامی نقاط غیرزمینی درون آن، حذف گردند. یک روش نمونه در ادامه بررسی می گردد.

۵-۴- فیلترهای مبتنی بر تقطیع

جهت فیلتراسیون داده‌های لایدار از روش‌های مبتنی بر تقطیع نیز می‌توان استفاده کرد. روش‌های تقطیع - مبنا می‌توانند به طور مستقیم در فضای شیء، با استفاده از الگوریتم‌های رشد ناحیه، مورد استفاده قرار گیرند. اغلب بردار نرمال و یا تغییرات آن، می‌تواند معیاری جهت بیان یکنواختی (هموژنی) یک ناحیه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان ارتفاع و یا تغییرات آن را به عنوان روشی دیگر جهت بیان یکنواختی، استفاده کرد. از این جهت در الگوریتم‌های رشد ناحیه، تقطیع را می‌توان در فضای ویژگی استفاده کرد. که این کار دارای این مزیت است که تغییرات ویژگی مورد نظر، از قبل معلوم می‌باشد [12].

۶- روش‌های درون‌یابی

جهت ساخت یک سطح از داده‌های لایدار، می‌توان از الگوریتم‌های رستری، شبکه‌ای و TIN استفاده کرد. توزیع مکانی و یا مکانی-زمانی یک پدیده‌ی فیزیکی و یا اجتماعی (جمعیت، خطرات طبیعی و غیره) را می‌توان با استفاده از یک تابع وابسته به مکان در فضای چندبعدی تخمین زد [13]. تاکنون روش‌های بسیار زیادی جهت تخمین و پیش‌بینی مقدار یک پدیده‌ی مکانی در یک مکان نمونه‌برداری نشده، ارائه شده است [8]. که استفاده از آن‌ها بستگی به پدیده‌ی مورد نظر، نحوه‌ی نمونه‌برداری، نوع منطقه‌ی مورد بررسی (جنگلی، بیابانی، شهری و نظیر آن)، پیچیده‌گی سطح زمین، و غیره دارد.

۶-۱- وزن‌دهی معکوس فاصله (Invers Distance Weighted (IDW))

روش‌های محلی در تعیین ارتفاع مربوط به یک نقطه، بر مبنای این فرض هستند که هر نقطه می‌تواند در ارتفاع نقاط اطراف خود در یک فاصله‌ی معین تاثیرگذار باشد و روش وزن‌دهی معکوس فاصله نیز بر مبنای بیان شده قرار دارد. رابطه‌ی روش IDW در زیر آورده شده است.

$$F(r) = \sum_{i=1}^m w_i z(r_i) = \frac{\sum_{i=1}^m z(r_i)}{(r-r_i)^p} \quad (5)$$

در رابطه‌ی فوق، I بیانگر مکان مورد نظر جهت درون‌یابی ارتفاع (مکانی که در آن نمونه برداری انجام نشده است)، $F(r)$ ارتفاع در نقطه‌ی مورد بررسی و I_i نیز مکان نقاط همسایه که دارای ارتفاع هستند، می‌باشد. همچنین پارامتر p معمولاً جهت درون‌یابی ارتفاع، برابر با ۲ انتخاب می‌شود. تاثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال نمود.

۶-۲- روش‌های زمین آماری

روش‌های زمین آماری، از توابع ریاضی و آماری در درون‌یابی استفاده می‌کنند [13]. روش‌های مذکور، بر پایه‌ی ویژگی‌های آماری داده‌ها می‌باشند.

روش کریجینگ یک روش مناسب جهت درون‌یابی نقاط فاقد مقدار می‌باشد. برای یک جامعه‌ی آماری، واریانس نشان-دهنده‌ی اختلاف بین آن‌ها است. از این رو جهت محاسبه‌ی عدم اختلاف و یا وابستگی، می‌توان از کواریانس استفاده کرد. در زمین آمار وابستگی بین نقاط بر اساس فاصله‌ی مکانی آن‌ها تعریف می‌گردد. از این رو در روش کریجینگ برای بیان شباهت بین نقاط از مفهوم سمی‌واریوگرام (نوعی واریانس) استفاده می‌گردد. با در نظر داشتن داده‌های موجود $Z(I_i)$ و فرض عدم وابستگی به زمان (stationary)، سمی‌واریوگرام مطابق با رابطه‌ی زیر بیان می‌گردد.

$$\gamma(h) = 2var[\{z(r+h) - z(r)\}] = \frac{1}{2N_h} \sum_{ij}^N (z_i - z_j)^2 \quad (6)$$

در رابطه‌ی فوق، N تعداد نقاط همسایه برای محاسبه ارتفاع نقطه‌ی مجهول و h ، فاصله‌ی بین نقطه‌ی مجهول و نقطه‌ی همسایگی آن می‌باشد. سمی‌واریوگرام در واقع برای بیان شباهت بین نقاط (وزن‌دهی) در روش کریجینگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین صورت که بعد از ترسیم واریوگرام، تابعی بر آن برازش داده می‌شود. سپس با در نظر گرفتن N همسایه برای نقطه‌ی مجهول (نقطه‌ای که قرار است ارتفاع آن بر اساس نقاط همسایه پیش‌بینی شود) ابتدا فاصله‌ی آن با تمام نقاط

همسایه محاسبه شده و بر اساس سمی‌واریوگرام، N معادله تشکیل می‌گردد (رابطه‌ی (۷))، و در نهایت با حل معادلات مذکور (با استفاده از یک روش مناسب، به طور مثال کمترین مربعات و یا میانگین‌گیری)، ارتفاع در نقطه‌ی مجهول برآورد می‌شود.

$$Z_x = \begin{cases} \gamma_{x,1} = \frac{(z_x - z_1)^2}{2h_{x,1}} \\ \gamma_{x,2} = \frac{(z_x - z_2)^2}{2h_{x,2}} \\ \vdots \\ \gamma_{x,N} = \frac{(z_x - z_N)^2}{2h_{x,N}} \end{cases} \quad (7)$$

در رابطه‌ی فوق سمت چپ معادلات $(\gamma_{x,i} \quad i=1,2,\dots,N)$ با استفاده از سمی‌واریوگرام محاسبه می‌گردد. در نتیجه در رابطه‌ی (۷)، N معادله و یک مجهول (Z_x) وجود خواهد داشت. از این رو، ارتفاع نقطه‌ی مجهول به صورت حداقل خطا قابل محاسبه است.

۶-۳- اسپیلاین

جهت برخی از کاربردهای دیگر که در آن‌ها پدیده‌ی مورد نظر (سطح زمین) پیچیده‌گی کمتری داشته و میزان تصادفی بودن آن کمتر است، به منظور محاسبه‌ی یک سطح نرم ارتفاعی می‌توان از رابطه‌ی اسپیلاین استفاده کرد. جهت درون‌یابی ارتفاع یک نقطه‌ی مجهول با استفاده از اسپیلاین درجه ۳، از رابطه‌ی زیر استفاده می‌گردد.

$$Z = f(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{i,j} x^i y^j \quad (8)$$

در رابطه‌ی فوق، Z ارتفاع نقطه‌ی مجهول و i, j چهار همسایه‌ی نقطه‌ی مجهول هستند.

۶-۴- شبکه‌ی مثلثی نامنظم (TIN)

مثلث‌بندی، یکی از متدهای تقسیم بندی فضا است. مثلث‌بندی یکی از موضوعات مهم در هندسه محاسباتی می‌باشد [2]. امروزه این روش، متداولترین تکنیک جهت تهیه منحنی میزان است. تا کنون، الگوریتم‌های مختلفی برای ایجاد مثلث‌بندی مطرح شده است. مثلث‌بندی دلونی رایج‌ترین روش مثلث‌بندی است، که با مینیمم کردن ماکزیمم زوایا، سعی در ایجاد مثلث‌های متساوی الاضلاع می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری

امروزه مدل سطح سه‌بعدی زمین، در بسیاری از علوم مختلف به عنوان ورودی اولیه، جهت تحلیل‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. دقت مدل رقومی تولید شده به طور مستقیم وابسته به داده‌های مورد استفاده و همچنین روش‌های درون‌یابی به کارگرفته شده، است. از این جهت همواره نیاز است تا داده‌هایی که جهت ساخت مدل رقومی زمین تهیه می‌شوند، تا حد امکان از دقت بالایی برخوردار باشند. روش‌های کنترل کیفیت داده‌های سیستم لایدار در دو دسته‌ی درونی و خارجی تقسیم بندی می‌گردند. استراتژی‌های درونی خود شامل دو روال QA و QC هستند. روال QA قبل از اخذ داده انجام می‌گیرد و شامل تمامی فعالیت‌هایی است که بایستی برای رسیدن به یک دقت از پیش تعیین شده انجام گیرند. این فعالیت‌ها شامل طرح‌ریزی پرواز، نوع سیستم، زمان پرواز، نحوه‌ی کالیبراسیون و نظیر آن می‌باشند. لازم به تذکر است که کالیبراسیون‌های

مختص هر کدام از سه سیستم لایدار، GPS و INS به طور کلی، بایستی در روال فوق انجام پذیرند. در مقابل روال QC بعد از اخذ داده‌ها انجام می‌گیرد و شامل کلیه‌ی مراحل است که جهت کاهش خطاهای سیستماتیک، کنترل دقت از پیش تعیین شده، کالیبراسیون‌های میدانی و نظیر آن انجام می‌پذیرد. بعد از کنترل کیفیت درونی داده‌ها، لازم است داده‌های مذکور به صورت خارجی (مطلق) نیز کنترل گردند. که جهت انجام کنترل خارجی، از نقاط کنترل تعبیه شده در ناحیه‌ی مورد بررسی و به کارگیری روش‌های پردازش تصویر، استفاده می‌گردد. به طور خلاصه می‌توان نتایج زیر را بیان کرد.

- ۱) عمده دلیل استفاده از داده‌های لایدار جهت ساخت مدل رقومی زمین، دقت بالای آن‌ها در نمونه‌برداری از یک سطح پیوسته است.
- ۲) سیستم لایدار (به دلیل استفاده از پرتوی لیزر) قادر است حتی در مناطق جنگلی با پوشش متراکم سطح زمین را نمونه‌برداری کند.
- ۳) جهت نیل به دقت بالا در ساخت مدل رقومی سطح با استفاده از داده‌های لایدار، نیاز است تا مراحل کنترل کیفیت اولیه (QA/QC) با دقت بالا انجام گیرد، چرا که نتایج نهایی تحت تاثیر دقت مرحله‌ی مذکور می‌باشد.
- ۴) بر خلاف روش‌های زمین مرجع‌سازی در فوتوگرامتری و تصاویر ماهواره‌ای، در داده‌های لایدار نمی‌توان از نقاط زمینی استفاده کرد (به دلیل تعداد بسیار زیاد مشاهدات) از این رو به طور معمول از تلفیق دو سیستم GPS (روش-های تفاضلی) و سیستم INS استفاده می‌گردد.
- ۵) ترکیب دو سیستم فوق بایستی به صورت تحلیلی (استفاده از الگوریتم‌های درون‌یابی سطح بالا) انجام گیرد، از این رو خطاهای پردازشی و عدم قطعیت‌های (فرضیات آن‌ها) الگوریتم‌های مذکور، باعث کاهش دقت مدل رقومی نهایی خواهد شد.
- ۶) قبل از اخذ داده‌های لایدار، لازم است تا سیستم‌های GPS,INS و دستگاه لایدار، با استفاده از روش‌های بسیار دقیق (دقت و صحت در حد میلیمتر) نسبت به هم کالیبره شوند، در غیر این صورت، مختصات مسطحاتی به دست آمده اعتبار کافی را نداشته و مدل رقومی حاصل از آن نیز با واقعیت زمینی منطبق نخواهد بود.
- ۷) خطاهای موجود در داده‌های لایدار ممکن است ناشی از خطاهای سیستماتیک و یا نویزهای تصادفی باشند که باعث کاهش صحت و دقت داده‌های خام مورد استفاده خواهند شد.
- ۸) جهت فیلتراسیون داده‌های لایدار و جداسازی نقاط زمینی از غیر زمینی، یک روش مرسوم و عام وجود ندارد و بایستی با توجه به نوع لایدار و منطقه‌ی مورد بررسی و همچنین داده‌های مرجع در دسترس، از یک روش مناسب استفاده کرد.
- ۹) اساس تمامی روش‌های فیلتراسیون بر انتخاب یک اختلاف ارتفاع معین به عنوان حد‌آستانه و استفاده از آن جهت جداسازی نقاط زمینی و غیرزمینی است.

۸- مراجع

1. Afsharnia, H., Hadavand, A., & Arefi, H.(2014). A TIN-based filtering algorithm to create DTM from LiDAR DSM.
2. Bernhardsen, T. (2002). Geographic information systems: an introduction. John Wiley & Sons.
3. Davydov, A. V. (2015). Advances in Gamma Ray Resonant Scattering and Absorption. Springer.
4. Kashyap, R., S Bhuvan, M., Chamartia, S., Bhat, P., Jothish, M. & Annappa, K. (2014), Algorithmic Approach for Strategic Cell Tower Placement , Fifth International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation.

5. Krishna, B. G., Amitabh, T. P., Srinivasan, P., & Srivastava, K. (2008). Dem generation from high resolution multi-view data product. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 1099-1102.
6. Korzeniowska, K., & Łącka, M. (2011). Generating dem from lidar data—comparison of available software tools. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 22.
7. Liu, X., Zhang, Z., Peterson, J., & Chandra, S. (2007, December). The effect of LiDAR data density on DEM accuracy. In *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM07)* (pp. 1363-1369). Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc..
8. Li, Z., Zhu, C., & Gold, C. (2004). *Digital terrain modeling: principles and methodology*. CRC press.
9. Meng, X., Wang, L., Silván-Cárdenas, J. L., & Currit, N. (2009). A multi-directional ground filtering algorithm for airborne LIDAR. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1), 117-124.
10. Montane, J. M., & Torres, R. (2006). Accuracy assessment of LIDAR saltmarsh topographic data using RTK GPS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(8), 961-967.
11. Polat, N., Uysal, M., & Toprak, A. S. (2015). An investigation of DEM generation process based on LiDAR data filtering, decimation, and interpolation methods for an urban area. *Measurement*, 75, 50-56.
12. Pratt, W. K. *Digital Image Processing: PIKS inside*, 2001, John Wiley & Sons. Inc.
13. Arun, P. V. (2013). A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(2), 133-139.
14. Schlechte, T. (2012). *Railway track allocation: models and algorithms*.
15. Shan, J., & Toth, C. K. (Eds.). (2008). *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*. CRC press.
16. Sharma, M., Paige, G. B., & Miller, S. N. (2010). DEM development from ground-based LiDAR data: A method to remove non-surface objects. *Remote Sensing*, 2(11), 2629-2642.
17. TUNALIOĞLU, N., SOYCAN, M., & Kutalmı, G. Ü. M. Ü. (2004). Deriving Appropriate Digital Elevation Model (DEM) from Airborne LIDAR Data and Evaluating the Horizontal Highway Geometry for Transportation Planning.
18. Yuana, F., Zhanga, J. X., Zhanga, L., & Gaob, J. X. (2009). DEM generation from airborne LIDAR data.
19. 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. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 41(4), 872-882.