

# تهیه مدل رقومی زمین مناطق جنگلی با استفاده از داده‌های لایدار هوایی

## مطالعه موردی: درود، لرستان

زهرا عزیزی<sup>۲</sup>

اصغر حسینی<sup>۱</sup>

سعید صادقیان<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۱۱/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۰۶/۱۹

\*\*\*\*\*

### چکیده

مدل رقومی زمین برای پردازش اطلاعات مکانی یک مؤلفه اصلی محسوب می‌شود و در علوم زمین کاربردهای فراوانی دارد. برای تولید مدل رقومی زمین از داده‌های لایدار بایستی نقاطی که متعلق به عوارض غیرزمینی هستند از مجموعه داده‌ها حذف شوند و سپس با روشی مناسب اقدام به درون‌یابی نقاط زمینی شود تا مدل رقومی زمین بصورت یک شبکه رستر با ابعاد مناسب از این نقاط تولید گردد. در تحقیق حاضر برای تولید مدل رقومی زمین از داده‌های لایدار در بخشی از مناطق جنگلی شهرستان درود، ابتدا فیلتر مورفولوژیک شیب‌منا برای جداسازی نقاط مربوط به پوشش جنگلی (نقاط مربوط به عوارض غیرزمینی) استفاده شد و آستانه شیب مناسب برای فیلتر شیب‌منا تعیین گردید. این فیلتر بر پایه مفاهیم مورفولوژیک ریاضی طراحی شده است. الگوریتم فیلترینگ شیب‌منا دو پارامتر ورودی شعاع همسایگی و آستانه شیب دارد. پس از اجرای الگوریتم شیب‌منا بر ابر نقاط لایدار برای اطمینان از دقت فیلتر کردن داده‌ها، بخشی از ابر نقاط منطقه (۵ درصد سطح منطقه) انتخاب و نقاط آن بصورت دستی فیلتر شد. نتایج فیلتر دستی با نتایج فیلتر کردن شیب‌منا (با در نظر گرفتن آستانه شیب‌های مختلف) مقایسه شد. آستانه شیب‌های پیشنهادی براساس شرایط منطقه انتخاب شدند و در نهایت بهترین آستانه شیب برای فیلترینگ داده‌ها انتخاب گردید. سپس دو روش عکس فاصله وزنی و کریجینگ برای درون‌یابی و تولید مدل رقومی زمین بکار گرفته شدند. نتایج نشان داد شیب ۴۴ درجه بهترین آستانه برای جداسازی نقاط عوارض غیرزمینی از زمینی است و روش عکس فاصله وزنی با توان سوم با ضریب همبستگی ۰/۹۹۸۶ و خطای ۰/۲۰۴ متر دقیق‌ترین روش برای درون‌یابی و تولید مدل رقومی زمین در منطقه مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: لایدار، فیلتر کردن، شیب‌منا، درون‌یابی، عکس فاصله وزنی.

\*\*\*\*\*

۱- کارشناس ارشد، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان چهارمحال و بختیاری، a.hdp68@yahoo.com

۲- استادیار گروه سنجش از دور و GIS، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی (نویسنده مسئول) zazizi@srbiau.ac.ir

۳- دانشیار دانشگاه شهید بهشتی، sa\_sadeghian@sbu.ac.ir

## ۱- مقدمه

در مناطق جنگلی ارتفاع درختان پس از اندازه‌گیری اختلاف DTM و DSM به دست می‌آید. بنابراین دقت DTM بر دقت و صحت برآورد اطلاعات مربوط به ساختار جنگل تأثیرگذار است. برای بازیابی دقیق اطلاعات ساختار جنگل از داده‌های گسسته لایدار، نیاز به طبقه‌بندی نقاط لایدار با روش‌های فیلترینگ می‌باشد (Kraus & Pfeifer, 1998, P.195). منظور از فیلترکردن، شناسایی نقاط عوارض غیرزمینی و زمینی و حذف یا جداسازی بخشی از نقاط از مجموعه داده‌هاست و از مهمترین پردازش‌هایی است که بر داده‌های لایدار صورت می‌پذیرد. بنابراین در تهیه DTM، حاصل عمل فیلترکردن، نقاط متعلق به سطح زمین عاری از پوشش است.

فیلترینگ یک گام ضروری برای تولید DTM است و الگوریتم‌های زیادی برای تولید آن با استفاده از داده‌های لایدار توسعه یافته‌اند. روش‌های معمول فیلترکردن داده‌های لایدار عبارتند از شیب‌مبنا (Sithole & Vosselman, 2001, P.208) و حدافل بلوک (Wack & Wimmer, 2002, P.939) و سطح مبنا و قطعه‌بندی. روش شیب‌مبنا و حدافل بلوک در اجرا روش‌های ساده‌تری هستند.

با فرض اینکه الگوریتم فیلترکردن زمینی لایدار فرضیات متفاوتی در مورد تمایز بین ویژگی‌های زمینی و غیرزمینی ایجاد می‌کند (Gomroki & et al., 2017, P.238)، چند ویژگی که موجب بروز خطا در الگوریتم فیلترکردن زمینی می‌شوند درختچه‌ها، دیوارهای کوتاه، پل‌ها، ساختمان‌های با اندازه و شکل‌های مختلف، صخره‌ها، پوشش گیاهی مخلوط و پیچیده، مناطق تپه ماهور و عدم ارزیابی دقت و صحت قابل اطمینان هستند (Meng & et al., 2010, P.835).

تنظیم پارامترهای مورد استفاده در فیلتر از جمله مهم‌ترین مسائل برای فیلترکردن کارآمد است. در تحقیق (Sithole & Vosselman, 2005, P.69) یک حالت ایده‌آل از انتخاب فیلتر اتوماتیک را آزمون کردند. زیرا الگوریتم بهینه فیلتر ممکن است با توجه به چشم‌انداز و شرایط منطقه متفاوت باشد. برای تنظیم پارامترها، روش فیلترکردن تکرارشونده

مدل‌های رقومی ارتفاع (DEM)<sup>۱</sup> و زمین (DTM)<sup>۲</sup> نقش مهمی در برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت منابع زمینی اجرا می‌کنند (امینی/امیرکلانی و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۴).

مدل رقومی ارتفاع در بسیاری از علوم زمین و محیطی مانند کنترل فرسایش، برنامه‌ریزی سیل، راه‌سازی، شناسایی منابع ارضی و غیره مورد نیاز می‌باشد (شفیعی خورشیدی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲). روش‌های سنتی از قبیل نقشه‌برداری زمینی و فتوگرامتری امکان تهیه مدل‌های رقومی مذکور را با دقت زیاد فراهم می‌نمایند اما اجرای این روش‌ها زمان‌بر و نیازمند حجم کاری بالایی است (Wierzbicki & Nienaltowski, 2019, P.2).

علاوه بر این در نواحی جنگلی استفاده از این روش‌ها به دلیل تراکم درختان و وجود تاج‌پوشش جنگل سخت‌تر نیز می‌شود (Liu, 2008, P. 33)، در این شرایط لایدار جایگزین مناسبی برای روش سنتی در تولید مدل‌های سه‌بعدی زمین است (Habib & et al., 2005, P.700).

درواقع امروزه استفاده از نسل جدید اسکن‌های لیزری و روند در حال توسعه تکنولوژی لایدار، تهیه مدل‌های سه‌بعدی از لایدار را به یک روش استاندارد برای تهیه مدل رقومی زمین و ارتفاع تبدیل کرده است (Hodgson & Bresnahan, 2004, P.333).

مدل‌های رقومی سطح عوارض DSM<sup>۳</sup> و زمین مجموعه‌ای از قطعات همگن و عموماً هم‌اندازه‌اند که هر یک دارای ارزش ارتفاعی خاصی هستند و برای استخراج عوارضی که از نظر هندسی ویژگی منحصر به فردی نسبت به سایر عوارض موجود در مدل دارند قابل استفاده می‌باشند (Hinze & Baumgartner, 2000, P.406).

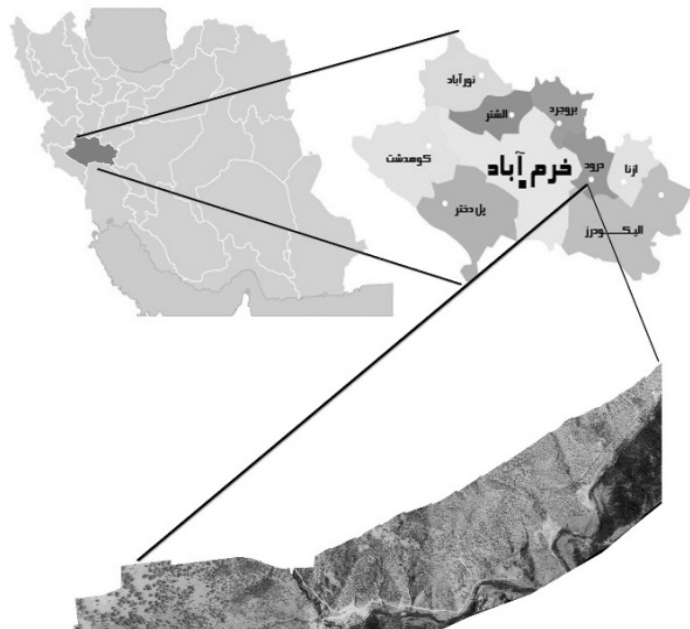
این مدل‌ها بصورت<sup>۴</sup> TIN، DEM، DTM، DSM و ... تعریف می‌شوند (Zhou, 2017, P.2).

1- Digital Elevation Model

2- Digital Terrain Model

3 - Digital Surface Model

4- Triangulated Irregular Network



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران  
و عکس هوایی منطقه

است لذا تفکیک نقاط مربوط به سطح زمین از نقاط واقع بر روی تاج پوشش درختان در این جنگل‌ها از پیچیدگی زیادی برخوردار است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل‌های زاگرس میانی در حوزه شهرستان درود و در استان لرستان واقع شده است (نگاره ۱). داده‌های لایدار موجود برای منطقه از نوع پالسی با طول موج مادون قرمز میانی مربوط به یک منطقه جنگلی شامل داده‌های بازگشت اول<sup>۳</sup>، بازگشت آخر<sup>۴</sup> و بازگشت‌های میانی<sup>۵</sup> فاصله لایدار است (نگاره ۲). زمان اخذ داده‌ها تابستان ۱۳۹۱، سیستم اسکنر لیزری از نوع Litemater 5600، طول موج لیزر ۱۵۵۰ نانومتر، ارتفاع متوسط پرواز ۱۰۰۰ متر و عرض نوار برداشت حدود ۶۰۰ متر بوده است.

نیز گزارش شده است (Kobler & et al., 2007, P.20).

در هر صورت پس از فیلترکردن و جداسازی نقاط مربوط به عوارض غیرزمینی نیاز به درونیابی نقاط زمینی و تهیه مدل رستری ارتفاع عوارض زمینی است. معمولاً داده‌های لایدار پس از فیلترشدن در بخش‌هایی که نقاط از دست رفته‌اند دچار گسستگی می‌شوند لذا باید با استفاده از روش‌های درونیابی نقاط از دست رفته جایگزین گردند (Umasuthan & Andrew, 1996, P.193).

درونیابی در داده‌های لایدار به معنی محاسبه ارتفاع نقاط از دست رفته است. روش‌های متعددی برای درونیابی این داده‌ها وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها IDW<sup>۱</sup>، TIN و Kriging می‌باشند (Axelsson, 2000, P.114).

هدف از پژوهش حاضر تهیه مدل رقومی زمین یک منطقه جنگلی و دارای پوشش درختی با ساختار دانه و شاخه‌زاد با استفاده از داده‌های لایدار و بکارگیری الگوریتم شیب‌مبنا<sup>۲</sup> در جداسازی نقاط زمینی و ارزیابی برخی روش‌های درونیابی در تهیه مدل رقومی زمین منطقه است. ساختار عمودی جنگل‌های مذکور دارای ارتفاع کمی

3- First Return

4- Last Return

5- Middle Return

1- Inverse Distance Weighting

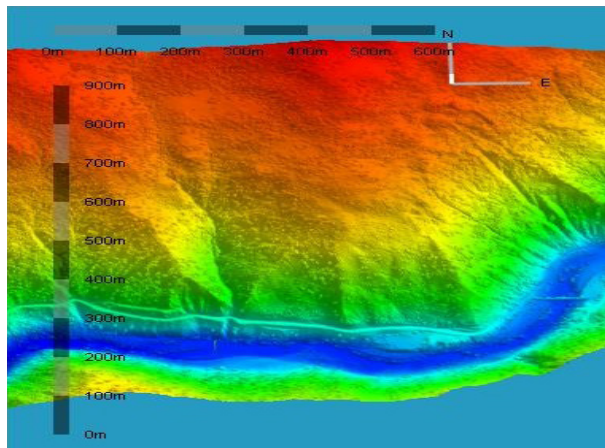
2- Slope based algorithm

## ۲-۲- روش انجام کار

در نظر گرفتن آستانه شیب‌های مختلف) مقایسه شد. آستانه شیب‌های پیشنهادی براساس شرایط منطقه انتخاب شدند و در نهایت بهترین آستانه شیب برای فیلترینگ داده‌ها انتخاب گردید. برای ارزیابی روش بکارگرفته شده میزان خطاهای تشخیص نقاط مربوط به عوارض غیرزمینی به شرح جدول ۱ و رابطه ۲ محاسبه شد.

در این جدول  $a$  تعداد نقاط غیر زمینی و  $d$  تعداد نقاط زمینی هستند که بر اساس الگوریتم شیب مینا به درستی تشخیص داده شده‌اند،  $c$  تعداد نقاط عوارض زمینی است که به اشتباه نقاط غیر زمینی تشخیص داده شده‌است،  $b$  تعداد نقاط عوارض غیر زمینی است که به اشتباه نقاط مربوط به زمین تشخیص داده شده‌است.

$$\text{خطا} = \left[ \frac{b}{(a+b)} \right] \times 100 \quad (۲)$$



نگاره ۲: ابر نقاط لیدار منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: نحوه محاسبه خطای تشخیص عوارض غیر زمینی

خروجی الگوریتم				
داده‌های مرجع		عوارض غیر زمینی	عوارض زمینی	
	عوارض غیر زمینی	$a$	$b$	$a + b$
	عوارض زمینی	$c$	$d$	$c + d$
		$a + c$	$b + d$	

در تحقیق حاضر برای جداسازی نقاط بازگشت آخر (DTM) لایدار (نقاط مربوط به زمین) از بازگشت‌های اول (DSM) و میانی (نقاط مربوط به درختان، درختچه‌ها و بوته‌ها) از فیلتر مورفولوژیک شیب‌مبنای وسلمن (Vosselman, 2000, P.938) استفاده شد. در این الگوریتم فرض بر آن است که گرادیان در زمین عاری از پوشش محدود است. این فیلتر بر پایه مفاهیم مورفولوژیک ریاضی طراحی شده است. الگوریتم فیلترینگ شیب مینا دو پارامتر ورودی شعاع همسایگی و آستانه شیب دارد (متکان و حاجب، ۱۳۹۲: ۶).

از نظر تئوری، شعاع همسایگی باید اندکی از بزرگترین پدیده موجود در منطقه (درختی با بزرگترین تاج در منطقه مورد مطالعه) بزرگتر باشد. انتخاب آستانه شیب نیز از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا مقادیر کم این پارامتر موجب قرارگرفتن نقاط زمینی در طبقه درختان و حذف آن‌ها می‌شود. مقادیر بیشتر آن موجب می‌شود تعدادی از نقاطی که بر روی تاج درختان است به عنوان نقاط متعلق به زمین در نظر گرفته شود که در هر دو حالت موجب ایجاد خطا در مدل رقومی ارتفاع بدست آمده خواهد شد. بر این اساس، طبق رابطه ۱ اگر  $N$  مجموعه کل داده‌های لایدار و  $B$  مجموعه نقاط زمینی فرض شوند،

$$B = \begin{cases} 1 & \forall v_i \in N \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (۱)$$

$$\exists \Delta h(d(v_i, v_j)) > \Delta h_{max}(d(v_i, v_j))$$

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، بیشترین اختلاف ارتفاع مورد انتظار بین دو نقطه از زمین عاری از پوشش با فاصله مسطحاتی  $d$  است. شعاع همسایگی (مقادیر  $d$ ) به ازای هر بار تکرار الگوریتم یک عدد مشخص می‌باشد.

پس از اجرای الگوریتم شیب‌مینا بر ابر نقاط لایدار برای اطمینان از دقت فیلترکردن داده‌ها، بخشی از ابر نقاط منطقه (۵ درصد سطح منطقه) انتخاب و نقاط آن بصورت دستی فیلتر شد. نتایج فیلتر دستی با نتایج فیلترکردن شیب‌مینا (با

برآورد کننده خطی نااریب<sup>۲</sup> است. این تخمین گر به صورت رابطه (۵) تعریف می شود.

$$Z_V^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{vi} \quad (5)$$

در رابطه (۵) مقدار تخمینی،  $\lambda_i$  وزن یا مقدار اهمیت کمیت وابسته به نمونه (نقطه)  $i$  ام  $Z_{vi}$  مقدار نمونه (نقطه)  $i$  ام است. این نوع کریجینگ را خطی می نامند زیرا ترکیب خطی از  $n$  داده است.

پس از آنکه درون یابی نقاط بازگشت آخر با روش IDW برای توان های ۲ و ۳ و روش کریجینگ انجام شد. نتایج به دست آمده از نظر خطا (رابطه ۴) مورد بررسی قرار گرفتند. برای انجام این بررسی تعداد ۶۲ نقطه از منطقه که ارتفاع واقعی آنها موجود بود (قبلاً با DGPS تعیین موقعیت شده بود) با ارتفاع به دست آمده از همان نقاط از روش IDW و کریجینگ مقایسه شدند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Z_i(\text{interpolated}) - Z_i(\text{truth})}{N}} \quad (6)$$

جدول ۲: خطای محاسبه شده برای آستانه های شیب

درصد خطای تشخیص عوارض غیر زمینی	آستانه شیب (درجه)
۰/۰۸	۴۰
۰/۰۰	۴۴
۰/۷	۴۸
۰/۷	۵۲
۰/۷	۵۶
۱/۱	۶۰

### ۳- نتایج

در اجرای روش فیلتر کردن به روش شیب مبنا ابتدا شعاع همسایگی و آستانه شیب بهینه با توجه به شرایط منطقه و بررسی های صحرایی تعیین شد.

### ۲-۲-۱- درون یابی داده ها

روش درون یابی عکس فاصله وزنی (IDW) یک روش ریاضی و بر پایه فاصله ی بین نقاط مشاهده شده و نقطه ای که باید درون یابی شود، می باشد. از روش های پیشرفته نزدیک ترین همسایه است که اجازه می دهد تعدادی از نقاط همجوار در برآورد وزن های درون یابی سایر نقاط شرکت کنند و بدین ترتیب نزدیک ترین نقطه بیشترین وزن را به دست می آورد و نقاط دورتر برعکس (Andersen & et al., 2005, P.444). روش IDW از نظر ریاضی به صورت رابطه ۳ بیان می شود.

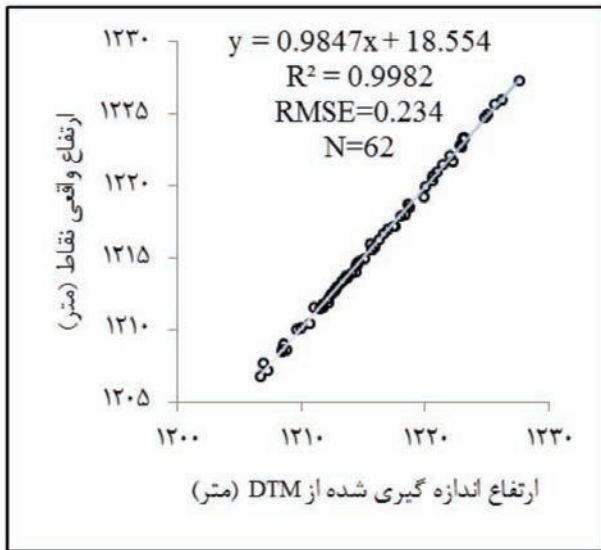
$$\bar{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (3)$$

که در آن  $\bar{Z}(s_0)$  مقدار کمیت مورد نظر در نقطه  $s_0$  است و  $N$  تعدادی از نقاط با مقدار معلوم که برای پیش بینی نقطه مجهول به کار می روند.  $\lambda_i$  وزن نسبت داده شده به هر یک از نقاط معمولی که برای محاسبه مقدار نقطه مجهول بکار می روند و مقدار این وزن با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می شود.

$$\lambda_i = \frac{d_{i0}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p}} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (4)$$

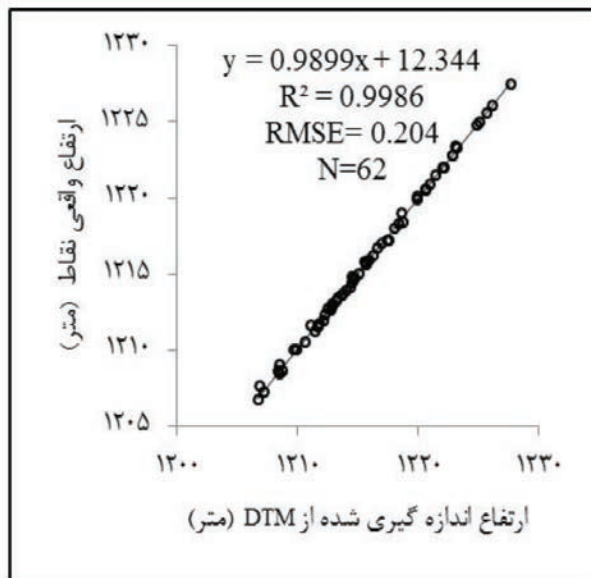
در رابطه (۴)  $d_{i0}$  فاصله بین نقطه  $s_0$  و نقاط معلوم دیگر می باشد.  $P$  توان بهینه می باشد که برای بدست آوردن آن باید حداقل میزان  $RMSE$  تعیین گردد لذا بهترین توان در جایی است که حداقل  $RMSE$  وجود داشته باشد. هرچه فاصله داده معلوم از نقطه مجهول افزایش یابد، وزن ها براساس فاصله کاهش می یابند. هنگامی که توان صفر است ( $p=0$ ) نقش فاصله از بین می رود و مقدار نامعلوم، از میانگین نقاط همسایه بدست می آید و اگر توان ( $p$ ) افزایش یابد، نقش فاصله افزایش می یابد و به فاصله های نزدیکتر وزن بالاتری تخصیص داده می شود. دیگر روش درون یابی بکار گرفته شده در این تحقیق روش کریجینگ است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می باشد، که بهترین





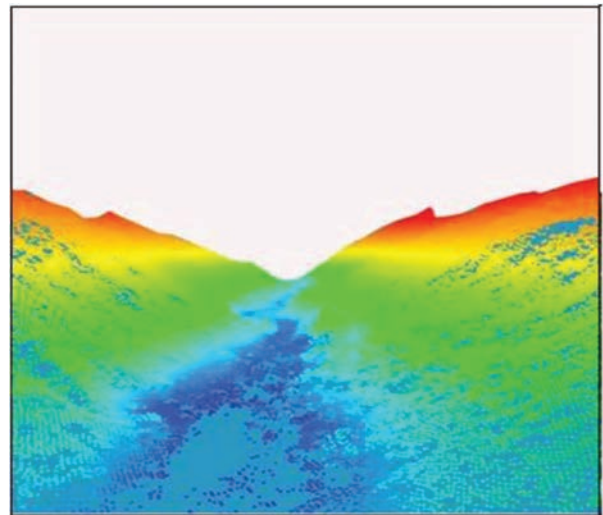
نگاره ۵: نتایج بررسی دقت درون‌یابی به روش IDW برای توان ۲

۳-۱- درون‌یابی به روش IDW و کریجینگ  
 بعد از فیلترکردن و حذف نقاط اشتباه از طریق درون‌یابی، ارزش درست نقاط از دست رفته محاسبه شد. روش درون‌یابی IDW برای توان‌های ۲ (نگاره ۵) و ۳ (نگاره ۶) و کریجینگ (نگاره ۷) انجام شد و میزان همبستگی و RMSE آن محاسبه گردید.

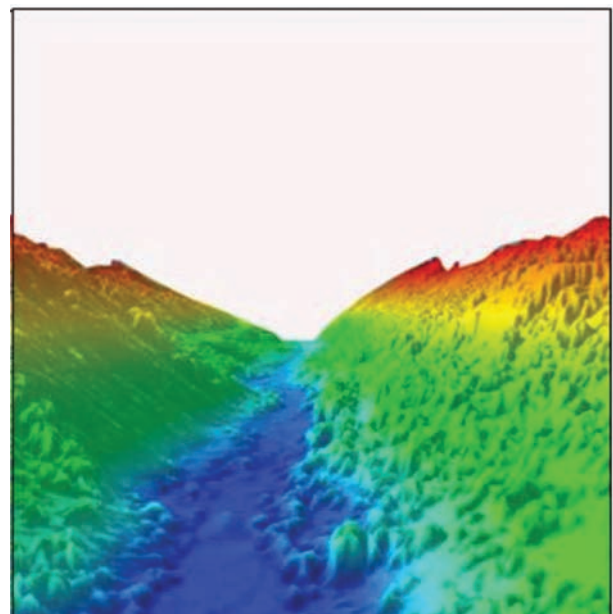


نگاره ۶: نتایج بررسی دقت درون‌یابی به روش IDW برای توان ۳

در این پژوهش مقدار شعاع همسایگی ۳ متر در نظر گرفته شد و فرآیند فیلترکردن با ۶ آستانه شیب ۴۰°، ۴۴°، ۴۸°، ۵۲°، ۵۶° و ۶۰° انجام شد. پس از محاسبه خطا (جدول ۲)، بهترین آستانه شیب ۴۴° شناخته شد. پس از این مرحله نقاط غیرزمینی (DSM) با آستانه شیب ۴۴° برای الگوریتم شیب مبنا حذف شدند (نگاره ۳ و ۴).



نگاره ۳: DTM منطقه مورد مطالعه

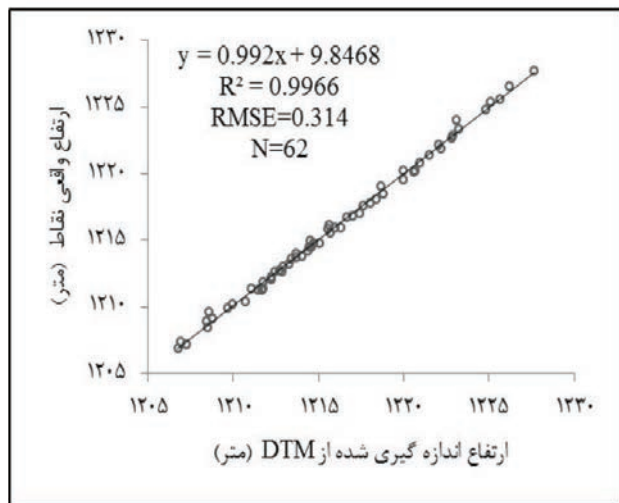


نگاره ۴: نمای سه‌بعدی DSM منطقه مورد مطالعه

**فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۱۶۵)**  
تهیه مدل رقومی زمین مناطق جنگلی با استفاده از ... / ۱۶۵

آستانه‌های ۴۰ تا ۶۰ درجه به عنوان محدوده‌ای که آستانه درست در آن قرار دارد انتخاب شدند. همانطور که تحقیقات (Zhang & et al., 2003, 878) نشان می‌دهد در عملیات فیلتر کردن ابر نقاط لایدار، 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 به عنوان نقاط زمینی تشخیص داده می‌شوند. لذا در این تحقیق با داشتن اطلاعات از عوارض منطقه تنها یک محدوده مشخص از آستانه شیب‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و بدین شکل حجم عملیات تعیین آستانه شیب کاهش داده شد.

بررسی عوامل تأثیرگذار در ایجاد خطا در مطالعه حاضر سه عامل تأثیرگذار در دقت جداسازی ابر نقاط عوارض زمینی نشان داد: (۱) وجود ناهمواری‌ها و ناپیوستگی شیب‌زمین، (۲) تاج پوشش جنگل که نفوذ پالس لیزر و کسب اطلاعات درست از کف جنگل را در زیر تاج کاهش می‌دهد و (۳) وجود مناطقی که پوشش بوته‌ای دارند و ارتفاع آنها نزدیک به سطح زمین است. نتایج مطالعات انجام شده توسط (Meng & et al., 2009, P.117; Montane & Torres, 2006, P.961) نیز عوامل تأثیرگذار در خطای جداسازی ابر نقاط لایدار در مناطق جنگلی را تأیید می‌نماید. نتایج تحقیق کنونی نشان می‌دهد در منطقه جنگلی مورد مطالعه مدل رقومی ارتفاع استخراج شده از داده‌های لایدار دقت بالاتر و قدرت تفکیک مکانی بیشتری از مدل تهیه شده به روش فتوگرامتری سنتی دارد. مطالعات مشابه (Gonçalves-Seco & et al., 2006, P.177; Azizi & et al., 2014, P.975;) را تأیید می‌نمایند و علت آن را امکان نفوذ پالس‌های لیزر از تاج پوشش جنگل و کسب اطلاعات از مختصات سه‌بعدی نقاط کف جنگل ذکر کرده‌اند. روش IDW از دقیق‌ترین روش‌های درون‌یابی است که به ویژه برای داده‌هایی با ابر نقاط متراکم و همگن نتایج خوبی ارائه می‌دهد، اما در حالتی که تراکم ابر نقاط پایین یا ناهمگن باشد دقت



نگاره ۷: نتایج بررسی دقت درون‌یابی به روش کریجینگ

براساس نتایج، خطا (RMSE) در درون‌یابی به روش IDW با توان ۳ (۰/۲۰۴ متر) کمتر از توان ۲ (۰/۲۳۴ متر) و کریجینگ (۰/۳۱۴ متر) بوده است، بنابراین برای تولید مدل رقومی زمین از داده‌های درون‌یابی شده با توان سوم و به روش IDW استفاده شد. در این تحقیق ابعاد شبکه رستری تهیه شده برای مدل رقومی زمین یک متر بود.

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر برای تفکیک و جداسازی ابر نقاط لایدار به نقاط زمینی و غیرزمینی روش فیلتر کردن شیب‌مبنا استفاده شد. در این روش هر نقطه در یک شعاع مشخص با نقاط همسایه بررسی می‌شود و تشخیص آن که نقطه‌ای مربوط به سطح زمین است یا مربوط به عوارض روی سطح (مانند درختان) بر اساس محاسبه اختلاف ارتفاع بین نقاط یا به عبارتی شیب خط فرضی حاصل از اتصال هر دو نقطه به هم صورت می‌گیرد (Vosselman, 2000, P. 940). شعاع همسایگی بستگی به شرایط منطقه دارد لذا در منطقه مورد مطالعه که یک منطقه جنگلی و کوهستانی است شعاع همسایگی با در نظر گرفتن حداکثر تغییرات ممکن ارتفاع نقاط زمینی در یک سطح، ۳ متر در نظر گرفته شد. براساس بررسی‌های انجام شده و شناختی که از منطقه مورد مطالعه وجود داشت

طبیعی، دوره ۲، شماره ۳، صفحه ۱-۱۱.  
 ۳. متکان، حاجب؛ علی اکبر، محمد (۱۳۹۲). مقایسه توانایی طبقه‌بندی کننده‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال در بهبود نتایج الگوریتم‌های فیلترینگ داده‌های لیدار، سنجش از دور و GIS ایران، سال ۵، شماره ۲: ۱-۱۶.

4. Andersen, Hans-Erik; McGaughey Robert J.; Reutebuch Stephen E. (2005). Estimating forest canopy fuel parameters using lidar data. *Remote Sensing of Environment*. Vol.94, No.4, pp. 441-449.

5. Axelsson, Peter. (2000). DEM generation form laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*. Vol. 33(4): 110-117.

6. Azizi, Zahra; Najafi, Akbar; Sadeghian, Saeed (2014). Forest Road Detection Using LiDAR Data. *Forestry Research Journal*. Vol.25, No. 4, pp. 975-980.

7. Bilskie, Matthew V; Hagen, Scott C. (2013). Topographic accuracy assessment of bare earth LiDAR-derived unstructured meshes. *Advances in Water Resources*. Vol. 52 pp. 165-177.

8. Childs, Colin (2004). Interpolation surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser July-September*, pp. 32-35.

9. Gomroki1, Masoomeh; Jafari, Marzieh; Sadeghian, Saeed; Azizi, Zahra (2017). Application of Intelligent Interpolation Methods for DTM Generation of Forest Areas Based on LiDAR Data, PFG – *Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, Vol.85:227-241.

10. Gonçalves-Seco, Luis; Miranda, David; Crecente, Rafael; Farto, Javier (2006). Digital terrain model generation using airborne LiDAR in a forested area Galicia, Spain. *Proceedings of 7th International symposium on spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences*, Lisbon, Portugal, pp. 169-180.

11. Habib, Ayman; Ghanma, Mwafag; Morgan, Michel; Al-Ruzouq, Rami (2005). Photogrammetric and LiDAR data registration using linear features. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol.71, No.6, pp. 699-707.

نتایج کاهش می‌یابد (Childs, 2004, P.33). در مطالعه حاضر ابر نقاط متراکم لیدار امکان درون‌یابی با دقت بالا را فراهم نمود. در روش IDW، معمولاً از توان بالاتر از یک استفاده می‌شود و به همین علت به آن مربع فاصله معکوس نیز گفته می‌شود. در تحقیق حاضر دقت ارتفاعی ۰/۲۰۴ متر برای مدل رقومی زمین بدست آمد. مقایسه نتایج تحقیق حاضر و برخی تحقیقات مشابه انجام شده در مناطق دارای تاج پوشش جنگلی (Bilskie & Hagen, 2013, P.174) نشان دهنده دقت بالای مدل رقومی تهیه شده است.

امروزه در اغلب سیستم‌های لیدار و از جمله سیستم لیدار بکار گرفته شده در این تحقیق نیز دقت مختصات سه‌بعدی داده‌های لیدار به حدود ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متر در هر بعد (X، Y و Z) رسیده است، لذا یکی از دلایل دقت مناسب DTM تولید شده دقت داده‌های لیدار است. همچنین در تحقیق حاضر حذف کامل نویزها، فیلترکردن دقیق ابر نقاط و بکارگیری روش درون‌یابی مناسب امکان تولید DTM با دقت ۰/۲۰۴ متر (RMSE) را فراهم نمود. در مجموع، برای مدیریت جنگل‌ها دسترسی به داده‌های زمین (مدل رقومی زمین) با وضوح بالا مانند اطلاعات مشتق از لیدار امکان برنامه‌ریزی‌های اولیه و دفتری و طرح‌ریزی بهتر برای بهره‌برداری از منابع جنگلی را فراهم می‌نماید (White & et al., P.1139).

## منابع و مآخذ

۱. امینی امیرکلایی، عنایتی، ویسی؛ حامد، حمید، مریم (۱۳۹۶). استخراج مدل رقومی زمین از ابرنقاط با ارائه یک روش پیش رونده مورفولوژی مینا. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۶، شماره ۱۰۲، صفحه ۵۳-۶۵.  
 ۲. شفیعی خورشیدی، متین فر، علوی پناه، فرخی؛ فاطمه، حمیدرضا، سیدکاظم، مهدی (۱۳۹۰). تولید مدل رقومی ارتفاع با استفاده از زوج تصویر سنجنده ASTER. نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع



of airborne laser scanner data based on segmented point clouds. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol.36(19): 66-71.

22. Umasuthan, Martin; Wallace, Andrew (1996). Outlier removal and discontinuity preserving smoothing of range data. *IEE Proceedings on Visual Imaging & Signal Processing*. Vol.143(3):191-200.

23. Vosselman, George (2000). Slope based filtering of laser altimetry data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam. Vol. 11: 935- 942.

24. Wack, Robert; Wimmer, Anna (2002). Digital terrain models from airborne laser scanner data-A grid based approach. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Graz, Austria. Vol.34, Vol.3B: 293-296.

25. White, Russell A.; Dietterick, Brian C.; Mastin, Thomas; Strohm Rollin (2010). Forest roads mapped using LiDAR in steep forested terrain. *Remote Sensing Journal*. Vol.2, pp. 1120-1141.

26. Wierzbicki, Damian; Nienaltowski, Marcin (2019). Accuracy Analysis of a 3D Model of Excavation, created from Images Acquired with an Action Camera from Low Altitudes. *ISPRS Internanal Journal of Geo-Information*, Vol.8(2): 83, 1-26.

27. Zhang, Keqi; Chen, Shu-Ching; Whitman, Dean; Shyu, Mei-Ling; Yan, Jianhua; Chengcui Zhang (2003). A progressive morphological filter for removing non-ground measurements from airborne lidar data. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 41, No.4, pp. 872-882.

28. Zhou, Qiming (2017). Digital Elevation Model and Digital Surface Model, *The International Encyclopedia of Geography*, John Wiley & Sons, Ltd.P:1-12.

12. Hinz, Stefan; Baumgartner, Albert (2000). Road extraction in urban areas supported by context objects. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol.33, Vol.3. 405-412.

13. Hodgson, Michael.E; Bresnahan, Patrick (2004). Accuracy of airborne LiDAR-derived elevation: empirical assessment and error budget. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 70, No.3, pp. 331-339.

14. Kobler, Andrej; Pfeifer, Norbert; Ogrinc, Peter; Todorovski, Ljupčo; Oštir, Krištof; Džeroski, Sašo (2007). Repetitive interpolation: A robust algorithm for DTM generation from aerial laser scanner data in forested terrain. *Remote Sensing of Environment*. Vol.108(1): 9-23.

15. Kraus, Karl; PfeiferKraus, Norbert (1998). Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. Vol.53, No.4, pp. 193-203.

16. Liu, Xiaoye (2008). Airborne LiDAR for DEM generation: Some critical issues." *Progress in Physical Geography: an international review of geographical work in the natural and environmental sciences*. Vol. 32, No.1, pp. 31-49.

17. Meng, Xuelian; Currit, Nate; Zhao, Kaiguang (2010). Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: A review of critical issues. *Remote Sensing journal*. Vol. 2: 833-860.

18. Meng, Yu Song; Hui, Lee Yee; Chong Ng Boon (2009). Study of propagation loss prediction in forest environment. *Progress in Electromagnetic Research B*. Vol.17, pp. 117-133.

19. Montané, Juana M.; Torres, Raymond (2006). Accuracy assessment of lidar saltmarsh topographic data using RTK GPS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 72, No.8, pp. 961-967.

20. Sithole, George; Vosselman, George (2001). "Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter." *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol.34, No.(3/W4), 203-210.

21. Sithole, George; Vosselman, George (2005). Filtering

