

## ارائه فیلتری محلی جهت بهبود مدل رقومی ارتفاعی زمین

محمدامین قنادی، استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک

اراک، خیابان دانشگاه، دانشگاه صنعتی اراک، کدپستی: ۳۸۱۸۱۴۶۷۶۳، تلفن: ۰۸۶۳۳۴۰۰۷۶۴

ایمیل: [m.ghannadi@arakut.ac.ir](mailto:m.ghannadi@arakut.ac.ir)

متین شهری، استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک

### چکیده

مدل رقومی ارتفاعی دقیق و با کیفیت از سطح زمین برای بسیاری از کاربردها ضروری می‌باشد. به علت وجود برخی مشکلات در برداشت داده و همچنین ضعف در تکنیک‌های تولید مدل رقومی ارتفاعی از جمله روش‌های درون‌یابی، این مدل‌ها با خطاهایی بعضاً بزرگ همراه می‌باشند که می‌بایست به صورت دستی و یا خودکار **ویرایش** شوند. در این مطالعه یک روش جهت حذف خطاهای بزرگ و همچنین بازسازی مدل رقومی ارتفاعی زمین پیشنهاد شده است. در این روش دو مرحله‌ای ابتدا با استفاده از انحراف معیار فیلتر کوتاه شده آلفا، نقاط با خطای بزرگ شناسایی و حذف می‌شوند. در ادامه یک فیلتر وزندهی با استفاده از معکوس فاصله که انطباق پذیر است با هدف حذف اشتباهات و بازسازی مدل رقومی ارتفاعی زمین اجرا می‌شود. روش پیشنهادی و چند روش رقابتی معمول بر روی یک مدل رقومی ارتفاعی شبیه‌سازی شده و یک مدل رقومی ارتفاعی **یک متری** مستخرج از تصاویر استریو ماهواره‌ای از جنوب غرب شهرستان مشهد اجرا شده‌اند و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. **خطای جذر میانگین مربعات مدل رقومی تصحیح شده مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش پیشنهادی ۱.۸۹ متر است و این در حالی است که این شاخص برای روش فیلتر وزندهی با استفاده از معکوس فاصله معمول ۲.۴۳ متر می‌باشد.** نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی علیرغم افزایش ۱۹٪ هزینه زمانی می‌تواند دقت مدل رقومی ارتفاعی اصلاح شده را در قیاس با روش وزندهی با استفاده از معکوس فاصله معمول حداقل ۲۲٪ بهبود دهد. بنابراین می‌توان از فیلتر پیشنهاد شده در این مطالعه در حذف نویز و بهبود مدل رقومی ارتفاعی زمین در شرایطی که افزایش دقت در اولویت است استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** مدل رقومی ارتفاعی زمین، حذف اشتباهات، بهبود مدل رقومی ارتفاعی، فیلتر انطباق‌پذیر

### مقدمه

مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) نشان‌دهنده سطح توپوگرافی زمین طبیعی به استثنای درختان، ساختمان‌ها و سایر اشیاء سطحی است که یک نمایش گرافیکی کامپیوتری سه‌بعدی از داده‌های ارتفاع می‌باشد (۱-۳). مدل‌های رقومی ارتفاعی برای بسیاری از علوم از جمله مهندسی عمران (۴)، برنامه‌ریزی کشاورزی و مدیریت منابع طبیعی (۵، ۶)، زمین‌شناسی (۷)، کاربردهای نظامی (۸)، نقشه‌برداری (۹)، فلورگامتری (۱۰) و سیستم اطلاعات مکانی (۱۱) نقشی اساسی دارد. از شاخص‌ترین این کاربردها می‌توان محاسبات مربوط به خاک‌برداری و خاک‌ریزی (۱۲)، نقشه‌برداری زمین (۱۳)، محاسبات حجم در ساخت سدها و مخازن آب (۱۴)، توصیف و توسعه شبکه‌های زهکشی و مدل کردن جریان‌های آبی (هیدرولوژی)، شبیه‌سازی و طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی و مدل‌سازی زمین‌شناسی (۱۵-۱۸)، تهیه نقشه‌های شیب و منظر، تهیه پروفیل‌های شیب برای تولید نقشه‌های ارتفاعی (۱۹)، استفاده در تصحیحات هندسی و رادیومتریکی تصاویر سنجنش‌ازدور (۲۰)، استفاده در تعیین مدل‌های پتانسیل فرسایش خاک (۲۱)، مطالعات شرایط محصولات کشاورزی (۲۲)، مدل‌های انتشار جریان باد و آلودگی هوا (۲۳) را نام برد.

Commented [۱۵]: ایمیل نویسنده مسوول زیرنویس شود

در ضمن فونت تنظیم شود

مشخصات نویسنده یا نویسنده گان با فونت B Lotus 13 Bold

Deleted: الویت

Commented [۲۵]:

• مزبان برخی قسمت‌ها نیاز به ویرایش دارد.

این متن مقدمه یک مقاله علمی است که به معرفی مدل‌های رقومی ارتفاعی زمین (DEM) و کاربردهای آنها در علوم مختلف می‌پردازد.

اصلاح انواع خطاهای نگارشی با نرم افزار Commented [3۵]: ویراستیار انجام گیرد

Deleted: نشان دهنده

Deleted: به استثنای

Deleted: ساختمان‌ها

Deleted: سه بعدی

Deleted: مدل های

Deleted: از جمله

Deleted: برنامه ریزی

Deleted: زمین شناسی

Deleted: نقشه برداری

Deleted: خاکبرداری

Deleted: خاکریزی

Deleted: نقشه برداری

Deleted: شبکه های

Deleted: جریان های

Deleted: شبیه سازی

Deleted: طبقه بندی

Deleted: مدل سازی

Deleted: زمین شناسی

Deleted: نقشه های

Deleted: سنجنش از دور

مدل‌های رقومی به روش‌های مختلفی تهیه می‌شوند. این مدل‌ها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (۲۴، ۲۵)، برداشت مستقیم نقشه‌برداری با استفاده از تجهیزات زمینی، سامانه‌های ماهواره‌ای **از جمله** سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) (۲۶، ۲۷)، تصاویر هوایی (۲۸)، سیستم‌های لیدار هوایرد (۲۹-۳۱) زمینی (۳۲) و یا تصاویر ماهواره‌ای (۳۳-۳۵) تولید می‌شوند. روش‌های قدیمی‌تر تولید مدل‌های رقومی اغلب شامل استفاده از نقشه‌های منحنی تراز دیجیتال بوده است (۲۴). این روش هنوز در مناطق کوهستانی که استفاده از روش‌های دیگر با چالش مواجه است **(به عنوان مثال استفاده از تداخل سنجی ماهواره‌ای)**، استفاده می‌شود. مدل رقومی ارتفاعی را می‌توان **به صورت** رستر **(شبکه‌ای از مربع‌ها)** یا **به صورت** یک شبکه نامنظم مثلثی مبتنی بر پایه بردار (TIN) نمایش داد.

مدل‌های رقومی ارتفاعی در معرض انواع مختلفی از خطاها قرار دارند. از جمله این خطاها عبارتند از خطای بزرگ<sup>۱</sup> در طول جمع‌آوری داده‌ها (۳۵)، خطای سیستماتیک از جمله خطای جهت‌دار در تصویربرداری تصاویر استریو و خطاهای تصادفی که اجتناب‌ناپذیر می‌باشند. این خطاها از نظر جغرافیایی بسته به شرایط زمین نیز می‌توانند متفاوت باشند (۳۶).

در کنار خطاهای موجود در جمع‌آوری اطلاعات با هدف تولید مدل رقومی ارتفاعی، فرآیند تولید مدل رقومی و تکنیک‌های درون‌یابی نیز با خطا همراه می‌باشند. به عنوان مثال، خطای موجود در تناظریابی تصویری در تولید مدل رقومی از تصاویر استریو هوایی و یا ماهواره‌ای در فتوگرامتری، و یا خطاهای موجود در تولید اینترفروگرام در تداخل سنجی راداری از جمله خطاهای موجود در تکنیک‌های تولید مدل رقومی ارتفاعی می‌باشند. بنابراین رسیدن به یک مدل رقومی با کیفیت بالا یک چالش جدی محسوب می‌شود (۳۳). از این رو مطالعاتی پیرامون منابع خطا در مدل‌های رقومی ارتفاعی، حذف اشتباهات و بهبود آنها صورت گرفته است (۳۷). در برخی مطالعات صورت گرفته در گذشته، نقش تکنیک‌های درونیابی در تولید مدل‌های رقومی مورد ارزیابی قرار گرفته است (۳۴). در این مطالعات روش‌های K نزدیکترین همسایه (KNN) (۲۷-۳۰، ۳۸)، وزن‌دهی با استفاده از معکوس فاصله (IDW) (۲۴-۳۰، ۳۲، ۳۴)، Kriging و روش‌های بهبود یافته آن (۲۸، ۳۰، ۳۲، ۳۸) Spline (۲۸-۳۰)، انواع توابع پایه شعاعی (RBF) (۲۵، ۳۱، ۳۸)، RST (۲۵، ۳۱)، Minimum Triangular linear interpolation، curvature (۳۲) و ANUDEM (۲۷، ۲۹، ۳۰، ۳۸) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، که در این بین روش‌های IDW، KNN و توابع پایه شعاعی مولتی کوادریک (MRBF) سه مورد از روش‌های معمول می‌باشند. هر کدام از روش‌های ذکر شده دارای مزایا و معایبی می‌باشند که از منظر دقت روش و حجم محاسبات قابل مقایسه می‌باشند. مطالعاتی که به ارزیابی دقت تکنیک‌های درونیابی در تولید مدل‌های رقومی پرداخته‌اند، از منابع مختلفی تولید شده‌اند. در اکثر مطالعات صورت گرفته از معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مربعات خطا (MAE) جهت ارزیابی دقت مدل رقومی ارتفاعی استفاده شده است (۲۵، ۲۷-۲۹، ۳۴). در چند مطالعه از روش IDW برای بهبود مدل رقومی ارتفاعی استفاده گردیده است. همچنین از شاخص RMSE برای ارزیابی دقت استفاده شده است (۲، ۳۹). در مطالعه دیگری از فیلتر کالمن برای حذف نویز مدل‌های رقومی مستخرج از تصاویر سنتینل-۱ با هدف بهبود کیفیت آن استفاده شده است و این روش با فیلتر میانه مقایسه شده است (۳۵).

در این مطالعه یک فیلتر محلی انطباق‌پذیر بر پایه روش IDW با هدف شناسایی اشتباهات، حذف آن‌ها و بازسازی مدل رقومی ارتفاعی زمین پیشنهاد می‌شود. بخش‌های بعدی در این مقاله شامل روش پیشنهادی، محدوده مورد مطالعه، نتایج و جمع‌بندی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این بخش از دو زیربخش، محدوده مورد مطالعه و روش‌ها تشکیل شده است که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

### محدوده مورد مطالعه

روش پیشنهادی بر روی دو سری داده آزمایش می‌شود. داده اول مدل رقومی شبیه‌ساز شده با استفاده از تابع ریاضی Peaks می‌باشد. یک شبکه  $100 \times 100$  نقطه‌ای با مختصات  $(X, Y, Z)$  معلوم از این تابع استخراج شده است. مختصه Z تعداد ۱۰۰۰ نقطه که ۱٪ از کل این نقاط می‌باشد، با استفاده از نویز رندوم (محدوده‌ی این نویز حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه تنظیم شده است) مخدوش می‌شود و جهت اجرای روش پیشنهادی و سایر روش‌های رقابتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تصویر این تابع ریاضی در شکل (۲) نشان داده شده است. در برخی

Deleted: از جمله

Deleted: به عنوان

Deleted: می توان

Deleted: به صورت

Deleted: شبکه ای

Deleted: به صورت

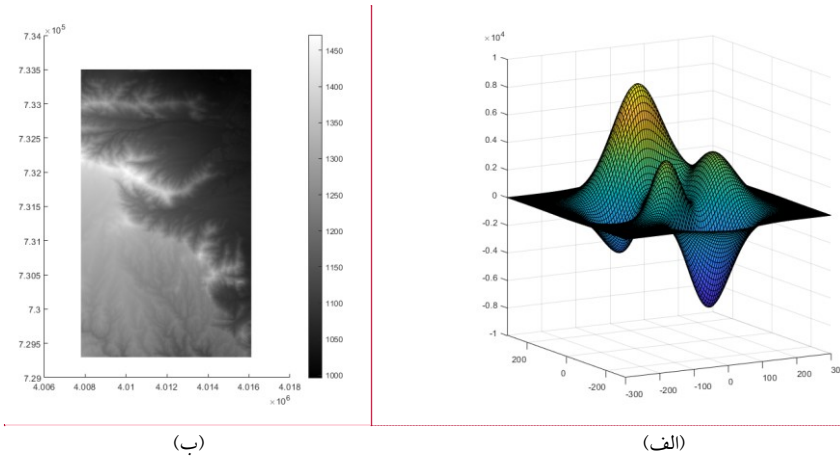
Commented [4]: اصلاح انواع خطاهای نگارشی با نرم افزار ویراستیار انجام گیرد  
<https://virastyar.ir/>

Commented [5]: نام فارسی:

<sup>1</sup> Blunders

مطالعات صورت گرفته در این موضوع نیز از داده‌های شبیه‌سازی شده استفاده شده است (۳۱).

داده دوم مورد استفاده در این مطالعه، مدل رقومی ارتفاعی تولید شده از تصاویر ماهواره‌ای Pleiadas از جنوب غرب مشهد می‌باشد. این منطقه به مساحت ۹۵۵۶ هکتار از جنوب غرب مشهد انتخاب شده است و شامل مناطق هموار، شهری و کوهستانی است. حداقل ارتفاع در این منطقه ۹۶۰ متر و حداکثر آن ۱۴۷۰ متر است. مختصات UTM برای این منطقه (زون ۴۰ شمالی) از شمال شرقی (X: ۷۴۰۴۹۰، Y: ۴۰۱۶۲۰۰) به سمت جنوب غربی (X: ۷۲۹۳۰۰، Y: ۴۰۰۷۸۰۰) می‌باشد. قدرت تفکیک مکانی مدل رقومی ارتفاعی مورد مطالعه یک متر و دقت ارتفاعی آن بهتر از یک متر می‌باشد و در شکل ۱ نشان داده شده است. از این مدل رقومی نیز یک شبکه ۸۳۰×۴۲۰ نقطه‌ای با مختصه‌های (X,Y,Z) معلوم استخراج شده است و ارتفاع ۵٪ از آنها با استفاده از نویز تصادفی مخدوش شده است و جهت انجام آزمون‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۱. مدل رقومی ارتفاعی شبیه‌سازی شده با تابع ریاضی Peaks (الف) و استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای Pleiadas (ب)  
 Fig 2. Simulated DEM with the Peaks function (a) and extracted DEM from Pleiadas satellite images (b)

### روش‌ها

روش پیشنهادی از دو مرحله اصلی تشکیل می‌شود. مرحله اول شناسایی و حذف خطاهای بزرگ موجود در مدل رقومی است و مرحله دوم نیز بازسازی نقاط اشتباه با استفاده از درونیابی به کمک مقادیر همسایگی‌های محلی می‌باشد. در ادامه این مراحل توضیح داده می‌شوند. روش پیشنهادی ارائه شده در این مطالعه بصورت فلوجارت در شکل ۲ نشان داده شده است.

**Commented [۱۵]:** فقدان توضیحات دقیق درباره داده‌های مورد استفاده: متن بیان می‌کند که از داده‌های "شبیه‌سازی شده" و "مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای" استفاده شده است، اما جزئیات بیشتری از این داده‌ها، از جمله نحوه شبیه‌سازی یا مشخصات تصاویر ماهواره‌ای ارائه نشده است.

**Commented [۱۶]:** لازم است دقیقاً بررسی شود این نوع داده‌ها DEM است یا DSM

**Commented [8]:** نام داده بهدرستی قید شود: Pleiades

<https://www.satimagingcorp.com/gallery/pleiades-1/pleiades-1-triple-stereo-1m-dem/>

**Commented [9]:** به درجه دقیقه ثانیه بیان شود

**Deleted:** رزولوشن

**Commented [10]:** افقی و عمودی ؟ چند

**Deleted:** (۱)

**Deleted:** رندوم

**Commented [11]:** بجای گرید از گراتیکول برحسب درجه و دقیقه استفاده شود

**Deleted:** (۲)



شکل ۲. مراحل اجرای روش پیشنهادی

Fig 1. Steps of the proposed method

شناسایی و حذف خطاهای بزرگ با استفاده از انحراف معیار فیلتر کوتاه شده آلفا:

در اینجا تمامی نقاط یک مدل رقمی ارتفاعی مورد پردازش قرار می‌گیرد. ابتدا حول هر نقطه یک همسایگی محلی تعیین می‌شود. سپس ارتفاع نقاط همسایگی محلی بصورت یک دنباله صعودی مرتب می‌شوند. آلفا درصد از ابتدا و انتهای این دنباله حذف می‌گردد. در ادامه انحراف معیار مقادیر باقی‌مانده محاسبه می‌شود. علت حذف این بخش از دنباله ارتفاع نقاط همسایگی این می‌باشد که چنانچه خطای بزرگی در ارتفاع یک یا چند نقطه از همسایگی محلی قرار داشت باعث مخدوش شدن مقدار انحراف معیار نشود (۴۰). در این روش با استفاده از رابطه (۱)، نقاطی از مدل رقمی ارتفاعی خطای بزرگ محسوب می‌شوند که اختلاف آن از میانگین ارتفاع نقاط همسایگی در سطح اطمینان ۹۵٪ قرار نداشته باشد.

$$|Z_i - \mu| > 1.96 \times S \quad [1]$$

اگر رابطه [۱] صدق کند آنگاه نقطه  $i$  با ارتفاع  $Z_i$  خطای بزرگ تشخیص داده می‌شود و از نقاط مدل رقمی حذف می‌گردد.

بازسازی مدل رقمی ارتفاعی با استفاده از روش‌های درونیایی

پس از شناسایی و حذف خطاهای بزرگ، حال ضروری می‌باشد که نقاط حذف شده با استفاده از همسایگی نقاط باسازی شوند. دو چالش اصلی در این مرحله وجود دارد. اول اینکه از چه تکنیک درونیایی برای باسازی نقاط حذف شده استفاده شود و دوم اینکه تاثیر همسایگی برای انجام فرآیند درونیایی چه میزانی در نظر گرفته شود.

همانگونه که در بخش مقدمه بیان شد، روش‌های KNN، MRBF و IDW از جمله معمول‌ترین روش‌های درونیایی در تولید مدل رقمی می‌باشند. در اینجا نیز ابتدا دو روش ذکر شده توضیح داده می‌شوند، سپس روش پیشنهادی معرفی می‌شود.

### روش K نزدیکترین همسایه

در این روش  $k$  نقطه با ارتفاع معلوم نزدیک به نقطه با ارتفاع مجهول انتخاب می‌شود و میانگین ارتفاع نقاط معلوم برای ارتفاع نقطه مجهول در نظر گرفته می‌شود. انتخاب  $k$  نقطه همسایه نیز با استفاده از دو استراتژی تعداد نقاط نزدیک و یا نقاط درون شعاع همسایگی صورت می‌پذیرد.

## روش وزن‌دهی با استفاده از فاصله معکوس

در روش درون‌یابی IDW فرض بر این است که میزان همبستگی و تشابه میان همسایه‌ها با فاصله بین آنها متناسب است که می‌توان آن را به صورت تابعی با توان معکوس از فاصله هر نقطه از نقاط همسایه تعریف کرد. در این روش ارتفاع نقطه هدف با استفاده از رابطه [۲] محاسبه می‌شود (۴۱، ۴۲):

$$Z_U = \frac{\sum_{i=1}^n (r_i^{-\alpha} \cdot Z_i)}{\sum_{i=1}^n r_i^{-\alpha}} \quad [2]$$

در رابطه [۲]،  $Z_U$  ارتفاع مجهول نقطه هدف می‌باشد که می‌بایست ارتفاع آن برآورد شود،  $Z_i$  ارتفاع نقاط همسایگی و  $r_i$  نیز فاصله نقطه هدف تا نقاط همسایگی می‌باشد که به توان  $-\alpha$  می‌باشند. طبیعتاً هر چه مقدار  $\alpha$  بزرگتر باشد تأثیر ارتفاع نقاط همسایگی نزدیکتر در تعیین ارتفاع مجهول نقطه هدف بیشتر می‌شود.

## روش توابع پایه شعاعی مولتی کوادریک

در روش RBF سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. این روش حالتی از شبکه عصبی مصنوعی است. تابع شعاعی تابعی به صورت رابطه [۳] است که وابسته به فاصله اقلیدسی بین نقطه هدف با ارتفاع مجهول  $p_i$  و نقاط ثابت و معلوم  $p$  است (۴۱):

$$\varphi_i(p) = \varphi(|p - p_i|) \quad [3]$$

در رابطه [۳]،  $\varphi$  تابعی پیوسته و وابسته به فاصله نقاط می‌باشد. به لحاظ جبری روش MRBF با استفاده از روابط [۴] تا محاسبه می‌شود (۴۳):

$$\begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & \cdot & \cdot & r_{n1} \\ r_{12} & r_{22} & : & : & r_{n2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{1n} & r_{2n} & \cdot & \cdot & r_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \lambda_n \end{bmatrix} \quad [4]$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_Z \quad \underbrace{\hspace{10em}}_R \quad \underbrace{\hspace{10em}}_\lambda$

در رابطه [۴]،  $Z$  ارتفاع  $n$  نقطه معلوم،  $R$  فاصله  $n$  نقطه معلوم از یکدیگر و  $\lambda$  ضرایب معادله می‌باشد. در روش MRBF فاصله  $r$  بر اساس رابطه [۵] محاسبه می‌شود:

$$r = \sqrt{d^2 + C^2} \quad [5]$$

که  $d$  فاصله مسطحاتی دو نقطه در فضای اقلیدسی و  $C$  مقدار ثابت است. برای تعیین بردار  $\lambda$  از روش سرشکنی کمترین مربعات براساس رابطه [۶] استفاده می‌شود.

$$\lambda = (R^t \cdot R)^{-1} \cdot R^t \cdot Z \quad [6]$$

در ادامه با استفاده از رابطه [۷] می‌توان ارتفاع  $m$  نقطه هدف (مجهول) را با داشتن ارتفاع  $n$  نقطه معلوم تعیین نمود.

$$\begin{bmatrix} Z'_1 \\ Z'_2 \\ \vdots \\ Z'_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{21} & \cdot & \cdot & r'_{n1} \\ r'_{12} & r'_{22} & : & : & r'_{n2} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r'_{1m} & r'_{2m} & \cdot & \cdot & r'_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \cdot \\ \lambda_n \end{bmatrix} \quad [7]$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{Z'} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_{R'} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_\lambda$

در رابطه (۷)  $R'$  فاصله  $m$  نقطه با ارتفاع مجهول از  $n$  نقطه با ارتفاع معلوم می‌باشد.

روش پیشنهادی (IDW انطباق‌پذیر)

یکی از نقاط ضعف روش های درون یابی مانند IDW در تعیین ارتفاع نقاط در بازسازی مدل های رقمی ارتفاعی این است که بدون در نظر گرفتن توپوگرافی منطقه و با ثابت فرض کردن مقدار  $\alpha$  در رابطه (۱) فرآیند درون یابی را انجام می دهند و این در حالی می باشد که این مقدار می تواند در مناطق کوهستانی مقداری بزرگتر و در مناطق هموار مقدار کوچکتری انتخاب شود. از این رو روش IDW انطباق پذیر به عنوان روش پیشنهادی در این مطالعه، ضمن حفظ مزایای روش IDW از جمله سادگی و حجم کم پردازش، با محاسبه انحراف معیار محلی که نشان دهنده شدت توپوگرافی محلی منطقه می باشد، وزن  $\alpha$  را تعیین می کند. رابطه [۸] چگونگی این محاسبات را نشان می دهد.

$$\alpha_i = \left[ \frac{\sigma_i - \sigma_{min}}{\sigma_{max} - \sigma_{min}} \cdot (\alpha_{max} - \alpha_{min}) \right] + \alpha_{min} \quad [8]$$

بر اساس رابطه (۷)، مقدار  $\alpha_i$  در هر موقعیت و متناسب با توپوگرافی منطقه تعیین می شود. در این رابطه مقادیر  $\sigma_i$ ,  $\sigma_{min}$ ,  $\sigma_{max}$  و  $\alpha_{min}$  به ترتیب انحراف معیار محلی، انحراف معیار حداقل در منطقه، انحراف معیار حداکثر در منطقه، حداکثر ضریب تعیین شده  $\alpha$  توسط اپراتور و حداقل آن مقدار که توسط اپراتور تعیین می شود. **نقطه قوت این روش این است که متناسب با میزان زبری توپوگرافی زمین عمل می کند و وزن  $\alpha$  متناسب با توپوگرافی تعیین می شود.**

#### معیار ارزیابی

جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی و روش های رقابتی از معیار RMSE استفاده شده است. مدل های رقمی ارتفاعی پس از اصلاح (بهبود یافته) با روش های مختلف و مدل رقمی ارتفاعی نویزی، با مدل ارتفاعی اصلی مقایسه می شوند و دقت آنها تخمین زده می شود. معیار RMSE در رابطه [۹] نشان داده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((Z_i - z_i) - \mu)^2}{n}} \quad [9]$$

در این رابطه  $Z_i$  ارتفاع نقطه  $\mu$  از مدل رقمی ارتفاعی مرجع و  $Z_i$  متناظر آن از مدل رقمی ارتفاعی مورد ارزیابی می باشد.  $\mu$  میانگین ارتفاع نقاط مدل رقمی مرجع و  $n$  تعداد کل نقاط می باشد.

#### نتایج و بحث

روش پیشنهادی به همراه روش های رقابتی IDW، KNN، معمول و روش MRBF بر روی مدل رقمی ارتفاعی شبیه سازی شده و همچنین روش پیشنهادی به همراه روش رقابتی IDW معمول بر روی مدل رقمی ارتفاعی مستخرج از تصاویر استریو Pleidias پیاده سازی شده اند و نتایج این آزمون ها در این بخش ارائه خواهند شد. **همانگونه که در بخش مقدمه مرور شد، روش های IDW، KNN و MRBF در بسیاری از مطالعات گذشته با هدف درون یابی و بازسازی مدل های رقمی ارتفاعی مورد استفاده قرار گرفته اند.** در آزمون اول چهار روش ذکر شده بر روی مدل رقمی ارتفاعی شبیه سازی شده که ۱۰٪ از تعداد ۱۰,۰۰۰ نقطه ارتفاعی از شبکه نقاط (یعنی ۱۰۰۰ نقطه) خطای بزرگ می باشند، اجرا شده اند و نتایج آنها در جدول ۱ گزارش شده است. دقت (RMSE) مدل رقمی نویزی ۱۴,۴۶۰ واحد می باشد. همچنین شعاع همسایگی فیلتر جهت اجرای روش های مذکور ۳ واحد در نظر گرفته شده است.

جدول ۱. نتایج اجرای روش پیشنهادی و روش های رقابتی بر روی مدل رقمی ارتفاعی شبیه سازی شده

روش	دقت مدل رقمی ارتفاعی بهبود یافته	زمان پردازش
KNN	۲۱۷ واحد	کمتر از یک ثانیه
IDW	۸۹,۵ واحد	کمتر از یک ثانیه
MRBF	۳۰,۷ واحد	۳۰,۲۱ ثانیه
IDW انطباق پذیر	۳۴,۸ واحد	کمتر از یک ثانیه

**Commented [۱۲]:** معادله RMSE درست محاسبه نشده است یعنی شما اول اختلاف یک نقطه با مرجع بدست آورده و بعد از میانگین کم می شود این منطق درستی برای محاسبه خطا نیست بررسی مجدد شود

**Commented [۱۲]:** در مورد روش نمونه گیری پیشنهاد شود واسنجی + اعتبارسنجی ارائه شود روش نمونه گیری مناسب برای پژوهش ها معمولاً بسته به موضوع و هدف پژوهش متفاوت است. اما در ادامه چند روش نمونه گیری رایج را برای شما توضیح می دهم:

۱. نمونه گیری تصادفی ساده: در این روش، هر عضو یا واحد هدف در جامعه مورد مطالعه با احتمال یکسانی به عنوان نمونه انتخاب می شود. به عنوان مثال، اگر شما می خواهید نظرات جمعیتی را درباره درباره یک موضوع خاص بدانید، می توانید افراد را به طور تصادفی از لیست همه افراد انتخاب کنید.

۲. نمونه گیری تصادفی سیستماتیک: در این روش، ابتدا لیست کامل افراد یا واحدهای جامعه را می سازید و سپس با استفاده از فاصله ثابت میان هر دو نمونه متوالی، نمونه ها را انتخاب می کنید. به عنوان مثال، اگر شما دسترسی به لیست تمام دانشجویان یک دانشگاه دارید، با استفاده از فاصله ثابت، هر n امین دانشجو را به عنوان نمونه انتخاب می کنید.

۳. نمونه گیری خوشه ای: در این روش، جامعه را به خوشه های کوچکتر تقسیم می کنید و سپس تعدادی از خوشه ها را به طور تصادفی انتخاب کرده و افراد درون هر خوشه را به عنوان نمونه ها انتخاب می کنید. این روش برای جمعیت هایی که به صورت فیزیکی دسترسی به آنها مشکل است، مفید است.

بعد از جمع آوری داده ها، می توانید به اعتبارسنجی و واسنجی روش های استفاده شده در پژوهش بپردازید. اعتبارسنجی به معنای ارزیابی صحت و قابلیت اعتماد داده ها و ابزارهای استفاده شده است. برای این کار می توانید از روش های مختلفی مانند آزمون های آماری، تحلیل عملی، تحلیل پوششی و همبستگی استفاده کنید.

واسنجی به معنای تحلیل و توصیف دقیقی از یافته ها و نتایج به دست آمده است. می توانید از روش های آماری و تحلیلی مانند دلایل منطقی ارائه شود برای انتخاب روش نمونه گیری

**Commented [۱۳]:** نبود تحلیل جامع درباره نتایج بخش بحث باید شامل تحلیل جامعی از نتایج بوده و به تفسیر آنها پرداخته باشد، اما در اینجا تحلیل یا توضیحات بیشتری در مورد نتایج ارائه نشده است.

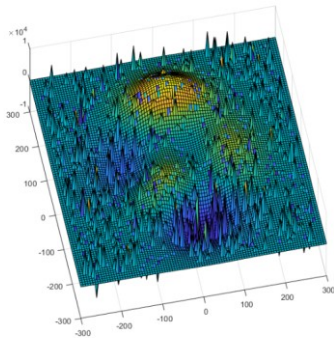
**مفقودان بحث درباره اثرات جانبی و محدودیت ها:** باید به بحث درباره محدودیت ها، مشکلات و اثرات جانبی نتایج پرداخته شود، اما این بخش از مقاله به این مسائل پرداخته نشده است. نتایج را با سایر مطالعات مقایسه نمایید

Deleted: (۱)

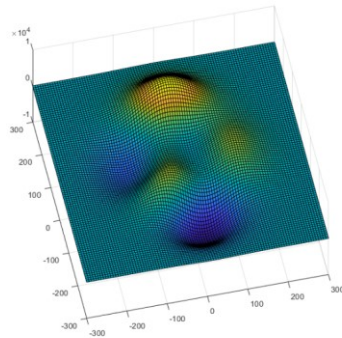
نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که، دقت روش IDW انطباق پذیر ۳۴٫۸ واحد می‌باشد و در مقایسه با روش MRBF که دقت ۳۰٫۷ واحد دارد، عملکرد نسبتاً خوبی از خود نشان داده است (دقت روش MRBF تنها به اندازه ۹٪ بهتر می‌باشد) و این در حالی است که هزینه زمانی بسیار کمتری نسبت به آن دارد. روش IDW انطباق پذیر تنها ۱ ثانیه برای پردازش به زمان احتیاج دارد از طرفی روش MRBF زمان ۳۰٫۲۱ ثانیه برای پردازش هزینه می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی به مراتب بهتر از روش IDW معمول عمل کرده است. روش پیشنهادی بهبود ۶۱٪ از نظر دقت در مقایسه با روش IDW معمول دارد و این بهبود بدون هزینه زمانی می‌باشد.

در شکل ۳ مدل‌های رقمی ارتفاعی اصلاح شده در آزمون اول با استفاده از روش‌های پیشنهادی و رقابتی نمایش داده شده‌اند. شکل ۳ نشان می‌دهد که در مدل‌های رقمی ارتفاعی بازسازی شده به وسیله روش‌های KNN و IDW معمول همچنان خطاهای بزرگ دیده می‌شود و این در حالی است که در مدل‌های رقمی ارتفاعی بازسازی شده بوسیله روش MRBF و IDW انطباق پذیر خطاهای بزرگ کمتر دیده می‌شود و یا اصلاً وجود ندارد.

با توجه به نتایج آزمون اول و دقت پایین روش KNN و هزینه زمانی بسیار بالای روش MRBF از اجرای این روش‌ها در آزمون دوم صرف نظر شده است و تنها دو روش IDW معمول و IDW انطباق پذیر بر روی داده‌های واقعی تست شده‌اند. در آزمون دوم روش‌های مذکور بر روی مدل رقمی ارتفاعی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای که ۵٪ از تعداد ۳۴۸۶۰۰ نقطه ارتفاعی از شبکه نقاط (یعنی ۱۷۴۳۰ نقطه) خطای بزرگ می‌باشند، اجرا شده‌اند و نتایج آنها در جدول (۲) گزارش شده است. دقت مدل رقمی ارتفاعی نویزی ۳۸٫۳ متر می‌باشد. شعاع همسایگی در این آزمون ۷ متر تنظیم شده است.



(ب)



(الف)

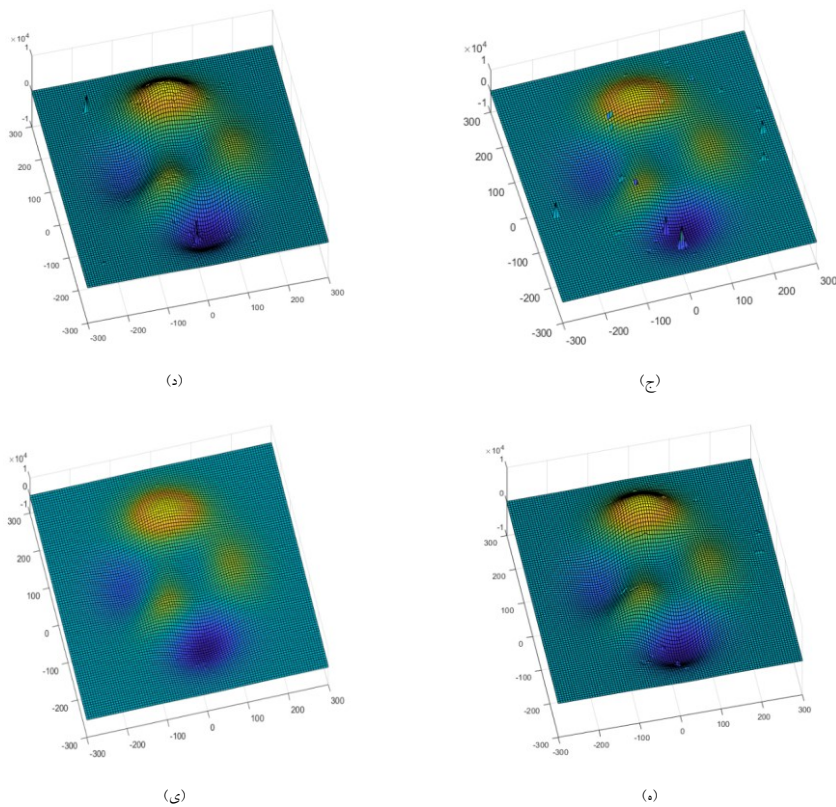
Commented [15]: کدام دقت؟

(۱): Deleted

Commented [16]: حتماً خطا چند است؟

(۳): Deleted

(۳): Deleted



شکل ۳- مدل های رقومی ارتفاعی شبیه سازی شده اصلی (الف)، نویزی (ب)، اصلاح شده با استفاده از روش های درونیایی kNN (ج)، IDW معمول (د)، MRBF (ه) و IDW انطباق پذیر (ی)

Fig. 3- Simulated DEMs: original (a), noisy (b), modified using KNN (c), standard IDW (d), MRBF (e) and adaptable IDW (f) interpolation methods

جدول ۲. نتایج اجرای روش پیشنهادی و روش IDW بر روی مدل رقومی ارتفاعی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای

Table 1. Results of the proposed method and IDW method on DEM extracted from satellite images

زمان پردازش	دقت مدل رقومی ارتفاعی بهبود یافته	روش
۱۳۷۶ ثانیه	۲٫۴۳ متر	IDW
۱۶۸۷ ثانیه	۱٫۸۹ متر	IDW انطباق پذیر

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که دقت روش IDW معمول و IDW انطباق پذیر به ترتیب ۲٫۴۳ متر و ۱٫۸۹ متر می‌باشد. روش پیشنهادی اگرچه حدود ۱۹٪ به لحاظ زمان پردازش هزینه بیشتری را تحمیل می‌کند اما موجب بهبود ۲۲٪ در دقت مدل رقومی ارتفاعی بهبود یافته می‌شود. بنابراین استفاده از IDW انطباق پذیر در مواردی که دقت مدل رقومی ارتفاعی از اهمیت بیشتری در قیاس با زمان پردازش قرار دارد، پیشنهاد می‌شود.

در شکل ۴ مدل های رقومی ارتفاعی اصلاح شده در آزمون دوم با استفاده از روش های مورد مطالعه، نمایش داده شده‌اند. شکل ۴ نشان می‌دهد که هر دو مدل ارتفاعی بهبود یافته به وسیله روش های IDW معمول و IDW انطباق پذیر نتایج قابل قبولی دارند اگرچه روش

اصول کارتوگرافی رعایت نشده است: [17] Commented  
مثل کلیدر آهنما  
مقیاس  
.....

دقت ؟ کدام؟ [18] Commented

(۴): Deleted

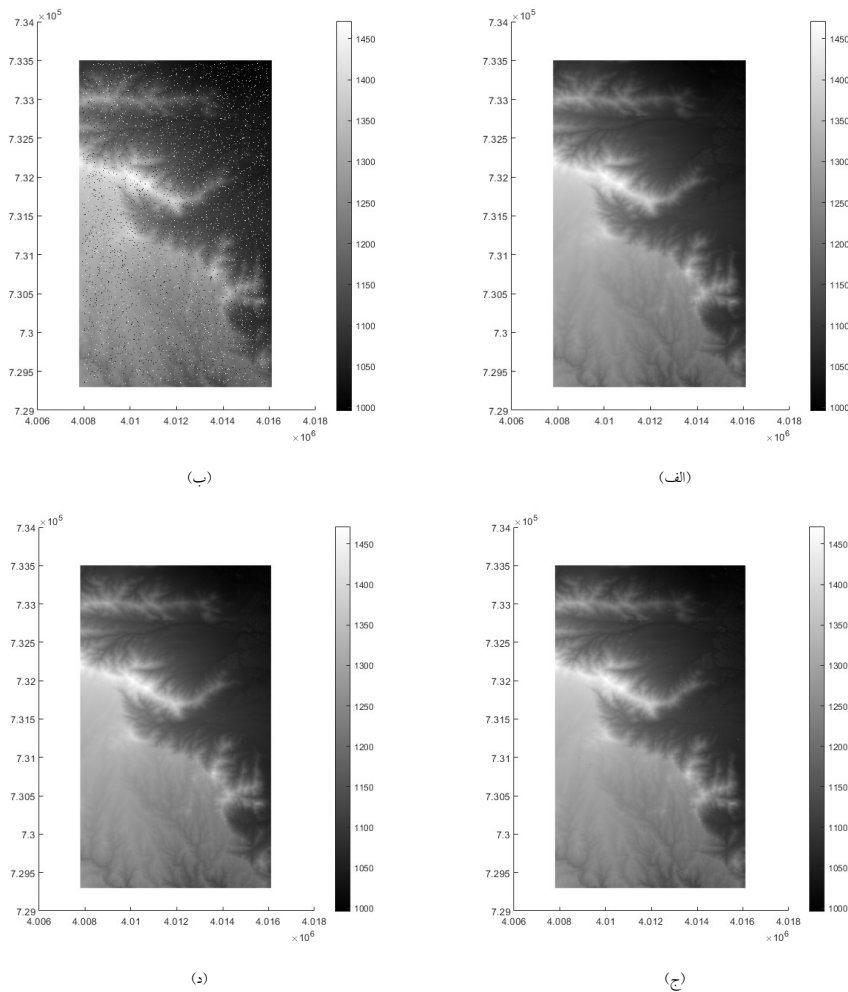
(۴): Deleted

(۴): Deleted



Deleted

پیشنهادی در این مورد بهتر عمل نموده است و همان چند مورد خطای بزرگی که همچنان در خروجی روش IDW معمول در شکل (۴-ج) دیده می شود در شکل (۴-د) مشاهده نمی شود. بنابراین می توان اینگونه ادعا نمود که روش پیشنهادی در بازسازی مدل رقومی ارتفاعی که خطاهایی با شدت بزرگتر در آن ها رخ داده است موفق تر می باشد. نکته قابل تامل در این می باشد که عملکرد روش پیشنهادی در قیاس با روش IDW معمول در اصلاح مدل رقومی ارتفاعی شبیه سازی شده، بهتر نمایش داده شده است و علت آن تغییرات ارتفاعی شدید در مدل رقومی ارتفاعی شبیه سازی شده می باشد. این نشان می دهد که روش پیشنهادی در مناطق کوهستانی عملکرد بهتری از خود در مقایسه با مناطق هموار نشان می دهد.



شکل ۴- مدل های رقومی ارتفاعی مستخرج از تصاویر ماهواره ای اصلی (الف)، نویزی (ب)، اصلاح شده با استفاده از روش های IDW معمول (ج) و IDW انطباق پذیر (د)

Fig. 4- DEM derived from satellite images: original (a), noisy (b), modified using standard IDW (c) and adaptable IDW (d) interpolation methods

اصول کارتوگرافی رعایت نشده است: [19] Commented  
مثال کلیدر اهنما  
مقیاس  
.....

### نتیجه گیری

ارائه روش های کارآمد جهت شناسایی و حذف اشتباهات و بازسازی مدل رقومی ارتفاعی برای افزایش دقت و کیفیت آنها مسئله ای ضروری محسوب می شود. در این مطالعه یک روش دو مرحله ای با هدف حذف اشتباهات و بازسازی مدل رقومی ارتفاعی زمین پیشنهاد گردید. در مرحله اول از روش پیشنهادی با استفاده از انحراف معیار فیلتر کوتاه شده آلفا، نقاط با خطای بزرگ شناسایی و حذف شدند. سپس در مرحله بعد با استفاده از یک فیلتر IDW انطباق پذیر مقادیر جدید بازیابی گردید. این فیلتر کمک می کند که تاثیر پذیری همسایه های نزدیکتر به نقطه هدف متناسب با میزان کوهستانی بودن منطقه تنظیم شود. جهت انجام آزمون ها از دو سری داده استفاده شده است. داده اول، مدل رقومی ارتفاعی شبیه سازی شده از تابع ریاضی Peaks و داده دوم مدل رقومی ارتفاعی مستخرج از تصاویر ماهواره ای Pleidias است که از جنوب غرب شهرستان مشهد تهیه شده است. مدل های رقومی ارتفاعی مذکور توسط نویز رندوم مخدوش شده اند و جهت انجام آزمایش ها استفاده گردیدند. در این پژوهش، عملکرد روش پیشنهادی با روش های رقومی IDW، معمول و MRBF مقایسه شده است. نتایج آزمایش ها بر روی مدل رقومی ارتفاعی شبیه سازی شده نشان می دهد که روش پیشنهادی می تواند به دقتی نزدیک به روش MRBF که یکی از روش های معمول و قدرتمند درون بومی می باشد، دست یابد در حالی که به مراتب هزینه زمانی کمتری نسبت به آن داشته باشد. خطای جذر میانگین مربعات مدل رقومی تصحیح شده مستخرج از تصاویر ماهواره ای با استفاده از روش پیشنهادی ۱٫۸۹ متر است و این شاخص برای روش فیلتر وزندهی با استفاده از معکوس فاصله معمول ۲٫۴۳ متر می باشد. همچنین نتایج آزمایش ها بر روی مدل رقومی یک متری مستخرج از تصاویر ماهواره ای نشان داد که مدل رقومی ارتفاعی اصلاح شده با استفاده از روش پیشنهادی می تواند دقت را تا ۲۲٪ در مقایسه با روش IDW معمول بهبود بخشد و به شکلی که تنها ۱۹٪ زمان پردازش آن بیشتر می باشد. روش پیشنهادی در مناطق کوهستانی عملکرد بهتری از خود در مقایسه با مناطق هموار نشان می دهد و در بازسازی مدل رقومی ارتفاعی که خطاهایی با شدت بزرگتر در آن ها رخ داده است موثرتر عمل می کند.

**Commented [2۰]:** این بخش از مقاله به ارائه نتایج و نتیجه گیری از آنها می پردازد. اما در بررسی متن، می توانیم به موارد زیر توجه کنیم:

\*\* بنیود ارجاع به نتایج و توضیحات کافی \*\* در این بخش، ارجاعی به جداول یا شکل های مرتبط با نتایج آزمایش ها نشده است، که این می تواند برای خواننده منابع اطلاعاتی بیشتری فراهم کند و اطمینان بیشتری به نتایج ارائه شده داشته باشد.

\*\* عدم بررسی محدودیت ها و مشکلات روش پیشنهادی \*\* در این بخش، به بررسی محدودیت ها و مشکلاتی که ممکن است در استفاده از روش پیشنهادی به وجود آید، پرداخته نشده است، که این موارد می توانند تأثیر بزرگی بر قابلیت اعتماد به نتایج داشته باشند.

\*\* فقدان بررسی جزئیات اجرایی \*\* مهم است که جزئیات اجرایی مانند پارامترهای استفاده شده در روش پیشنهادی، محدودیت های موجود در اجرای آن و راهکارهایی که برای حل مشکلات احتمالی ارائه شده است، بررسی شوند، اما در اینجا به این موارد پرداخته نشده است.

\*\* عدم بررسی نتایج در دسترس های بیرونی \*\* تأثیرات و کاربردهای بیرونی از نتایج، مانند تأثیرات در تصمیم گیری های سیاست گذاری یا کاربردهای صنعتی، باید مورد بررسی قرار گیرند، اما این بخش از مقاله به این موارد پرداخته نشده است.

\*\* پیشنهاد برای تحقیقات آتی ارائه دهید \*\* با این وجود، این بخش به طور کلی به ارائه نتایج و نتیجه گیری از آنها می پردازد و به توصیه هایی در مورد ادامه تحقیقات و پیشنهادات عملی می پردازد. اما با اضافه کردن بررسی های بیشتری در مورد جزئیات اجرایی، محدودیت ها و کاربردهای بیرونی، این بخش می تواند بهبود یابد.

### منابع مورد استفاده

1. Polidori L, El Hage M. 2020. Digital elevation model quality assessment methods: A critical review. Remote sensing, 12(21): 3522.
2. Gharib Bafghi Z, Tian J, d'Angelo P, Reinartz P. 2016. A new algorithm for void filling in a DSM from stereo satellite images in urban areas. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2016, 3: 55-61.
3. Bhushan S, Shean D, Alexandrov O, Henderson S. 2021. Automated digital elevation model (DEM) generation from very-high-resolution Planet SkySat triplet stereo and video imagery. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 173: 151-165.
4. Silva Id. 2020. Geomatics Applied to Civil Engineering State of the Art. In: Applications of Geomatics in Civil Engineering. Springer, pp 31-46.
5. Fijałkowska A. 2021. Analysis of the influence of DTM source data on the LS factors of the soil water erosion model values with the use of GIS technology. Remote Sensing, 13(4): 678.
6. Bagheri M, Jelokhani Noaryki M, Bagheri K. 2018. Investigation of the land potential of Kermanshah province for rainfed wheat cultivation using artificial neural network. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 8(4): 36-48. (In Persian).
7. Scheip CM. 2021. Integrating water-classified returns in DTM generation to increase accuracy of stream delineations and geomorphic analyses. Geomorphology, 385: 107722.
8. Erskine J, Oxendine C, Wright W, O'banion M, Phillips A. 2022. Evaluating the relationship between data resolution and the accuracy of identified helicopter landing zones (HLZs). Applied Geography, 139: 102652.
9. Schreyer J, Walker BB, Lakes T. 2022. Implementing urban canopy height derived from a TanDEM-X-DEM: An expert survey and case study. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 187: 345-361.
10. Polat N, Uysal M. 2018. An experimental analysis of digital elevation models generated with Lidar Data and UAV photogrammetry. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 46(7): 1135-1142.

تمام رفرنسها شماره صفحات باید داشته باشد: **Commented [21]:**

11. Sudalaimuthu K, Jesudhas CJ, Ramachandran U, Somanathan AK, Ganapathy S, Jeyakumar RB. 2022. Development of digital elevation model for assessment of flood vulnerable areas using Cartosat-1 and GIS at Thamirabarani river, Tamilnadu, India. *Environmental Quality Management*.
12. Jawecki B, Szewrański S, Stodolak R, Wang Z. 2019. The use of digital terrain models to estimate the pace of filling the pit of a central European granite quarry with water. *Water*, 11(11): 2298.
13. Singh S, Vinod Kumar K, Jagannadha Rao M. 2020. Utilization of LiDAR DTM for systematic improvement in mapping and classification of coastal micro-geomorphology. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(5): 805-816.
14. Irvem A. 2011. Application of GIS to determine storage volume and surface area of reservoirs: the case study of Buyuk Karacay dam. *Int J Nat Eng Sci*, 5: 39-43.
15. Liu X, Wang N, Shao J, Chu X. 2017. An automated processing algorithm for flat areas resulting from DEM filling and interpolation. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11): 376.
16. Niipele JN, Chen J. 2019. The usefulness of alos-palsar dem data for drainage extraction in semi-arid environments in The Ilishana sub-basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 21: 57-67.
17. Ibrahim M, Al-Mashaqbah A, Koch B, Datta P. 2020. An evaluation of available digital elevation models (DEMs) for geomorphological feature analysis. *Environmental Earth Sciences*, 79(13): 1-11.
18. Zali M, Solaimani K, Habibnejad Roshan M, Miryaghoubzadeh MH. 2022. Comparison and prioritization of flooding in Nekarood sub-basins using morphometric method in GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 13(2): 6-10. (In Persian).
19. Guth P, Kane M. 2021. Slope, aspect, and hillshade algorithms for non-square digital elevation models. *Transactions in GIS*, 25(5): 2309-2332.
20. Toutin T. 2011. State-of-the-art of geometric correction of remote sensing data: a data fusion perspective. *International Journal of Image and Data Fusion*, 2(1): 3-35.
21. Depountis N, Michalopoulou M, Kavoura K, Nikolakopoulos K, Sabatakakis N. 2020. Estimating soil erosion rate changes in areas affected by wildfires. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(10): 562.
22. Handayani HH, Bawahir A, Cahyono AB, Hariyanto T, Hidayat H. 2022. Surface drainage features identification using LiDAR DEM smoothing in agriculture area: a study case of Kebumen Regency, Indonesia. *International Journal of Image and Data Fusion*: 1-22.
23. Zhan D, Kwan M-P, Zhang W, Yu X, Meng B, Liu Q. 2018. The driving factors of air quality index in China. *Journal of Cleaner Production*, 197: 1342-1351.
24. Achilleos G. 2011. The Inverse Distance Weighted interpolation method and error propagation mechanism—creating a DEM from an analogue topographical map. *Journal of spatial Science*, 56(2): 283-304.
25. Chaplot V, Darboux F, Bourennane H, Leguédois S, Silvera N, Phachomphon K. 2006. Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology*, 77(1-2): 126-141.
26. Arun PV. 2013. A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(2): 133-139.
27. Salekin S, Burgess JH, Morgenroth J, Mason EG, Meason DF. 2018. A comparative study of three non-geostatistical methods for optimising digital elevation model interpolation. *ISPRS international journal of geo-information*, 7(8): 300.
28. Ajvazi B, Czimmer K. 2019. A comparative analysis of different DEM interpolation methods in GIS: case study of Rahovec, Kosovo. *Geodesy and cartography*, 45(1): 43-48.
29. Bater CW, Coops NC. 2009. Evaluating error associated with lidar-derived DEM interpolation. *Computers & Geosciences*, 35(2): 289-300.
30. Stereńczak K, Ciesielski M, Bałazy R, Zawila-Niedźwiecki T. 2016. Comparison of various algorithms for DTM interpolation from LIDAR data in dense mountain forests. *European Journal of Remote Sensing*, 49(1): 599-621.
31. Chen C, Li Y, Zhao N, Yan C. 2017. Robust interpolation of DEMs from LiDAR-derived elevation data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(2): 1059-1068.
32. Heritage GL, Milan DJ, Large AR, Fuller IC. 2009. Influence of survey strategy and interpolation model on DEM quality. *Geomorphology*, 112(3-4): 334-344.
33. Giribabu D, Rao SS, Murthy YK. 2013. Improving Cartosat-1 DEM accuracy using synthetic stereo pair and triplet. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 77: 31-43.
34. Kim S, Rhee S, Kim T. 2018. Digital surface model interpolation based on 3D mesh models. *Remote Sensing*, 11(1): 24.
35. Ghannadi MA, Alebooye S, Izadi M, Moradi A. 2020. A method for Sentinel-1 DEM outlier removal using 2-D Kalman filter. *Geocarto International*: 1-15.
36. Mukherjee S, Joshi PK, Mukherjee S, Ghosh A, Garg R, Mukhopadhyay A. 2013. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21: 205-217.

37. Moradi AR, Ghannadi MA. 2020. Presenting a method for the improvement of Sentinel-1 generated DEM, using SRTM and 2D wavelet transform. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 29(115): 35-48.
38. Zhu Y, Liu X, Zhao J, Cao J, Wang X, Li D. 2019. Effect of DEM interpolation neighbourhood on terrain factors. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(1): 30.
39. Gharibbafghi Z, Tian J, Reinartz P. 2018. Modified superpixel segmentation for digital surface model refinement and building extraction from satellite stereo imagery. *Remote Sensing*, 10(11): 1824.
40. Bednar J, Watt T. 1984. Alpha-trimmed means and their relationship to median filters. *IEEE Transactions on acoustics, speech, and signal processing*, 32(1): 145-153.
41. Esfandiari F, Ghorbani Filabadi R, Nasiri Khiavi A, Mostafazadeh R. 2019. Assessing the accuracy of algebraic and geostatistical techniques to determine the spatial variations of groundwater quality in Boroojen Plain. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(20): 115-130. (In Persian).
42. Asghari Saraskanroud S, Ghale E, Ebady E. 2021. Investigation of land use changes and its relationship with groundwater level (Case study: Ardabil plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(1): 86-106. (In Persian).
43. Ghannadi M, Saadatseresht M, Motagh M. 2015. Sentinel-1 Image Matching Using Strong Scatters. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-1-W5: 233-235.

## A Local Filter for Improve Digital Elevation Model

### Abstract

An accurate, high-quality Digital Elevation Model (DEM) from the ground is essential for many applications. Due to some data collection problems as well as weaknesses in DEM production techniques, including interpolation methods, these models are associated with some blunder errors that must be edited manually or automatically. In this study, a method for removing noise and blunders as well as improving the DEM is proposed. In this two-step method, first, with the standard deviation of the alpha-trimmed filter, points with blunders are identified and removed. Then, an adaptive inverse distance weighted filter is applied to remove blunders and refine the DEM. The proposed method and some common competitive methods have been applied and evaluated on a simulated DEM and a DEM extracted from satellite stereo images from the southwest of Mashhad city. The root means square error of the DEM extracted from satellite images using the proposed method is 1.89 meters, while this criteria for the inverse distance weighted filter method is 2.43 meters. The experimental results show that the proposed method, despite a 20% increase in time cost, can improve the accuracy of the modified DEM by at least 22% compared to the weighting method using the inverse distance. Therefore, the filter proposed in this study can be used to remove noise and improve DEM when increasing the accuracy is a priority.

**Keywords:** Digital Elevation Model, Blunder removal, DEM refinement, Adaptive filter

## ارائه فیلتری محلی جهت بهبود مدل رقومی ارتفاعی زمین

### مقدمه:

مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) نشان دهنده سطح توپوگرافی زمین طبیعی به استثنای درختان، ساختمان ها و سایر اشیاء سطحی است که یک نمایش گرافیکی کامپیوتری سه بعدی از داده‌های ارتفاع می‌باشد. مدل های رقومی ارتفاعی برای بسیاری از علوم از جمله مهندسی عمران، علوم زمین، برنامه ریزی و مدیریت منابع طبیعی، زمین شناسی، کاربردهای نظامی، نقشه برداری و فتوگرامتری و سیستم اطلاعات مکانی نقشی اساسی دارد. مدل های رقومی به روش های مختلفی تهیه می شوند. این مدل ها با استفاده از برداشت مستقیم نقشه برداری با استفاده از تجهیزات زمینی، سامانه های ماهواره ای از جمله سیستم موقعیت یابی جهانی (GPS)، تصاویر هوایی، سیستم های لیدار و یا تصاویر ماهواره ای تولید می شوند. مدل های رقومی ارتفاعی در معرض انواع مختلفی از خطاها قرار دارند. از جمله این خطاها عبارتند از خطای بزرگ<sup>۲</sup> در طول جمع آوری داده ها، خطای سیستماتیک از جمله خطای جهت دار در تصویربرداری تصاویر استریو و خطاهای تصادفی که اجتناب

---

<sup>2</sup> Blunders

ناپذیر می‌باشند. این خطاها از نظر جغرافیایی بسته به شرایط زمین نیز می‌توانند متفاوت باشند. در کنار خطاهای موجود در جمع‌آوری اطلاعات با هدف تولید مدل رقومی ارتفاعی، فرآیند تولید مدل رقومی و تکنیک‌های درونیابی نیز با خطا همراه می‌باشند. بنابراین رسیدن به یک مدل رقومی با کیفیت بالا یک چالش جدی محسوب می‌شود. از این رو مطالعاتی پیرامون منابع خطا در مدل‌های رقومی ارتفاعی، حذف نویز و بهبود آنها صورت گرفته است. در برخی مطالعات صورت گرفته در گذشته، نقش تکنیک‌های درونیابی در تولید مدل‌های رقومی مورد ارزیابی قرار گرفته است. که در این بین روش‌های K نزدیکترین همسایه، وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) و توابع پایه شعاعی مولتی کوادریک (MRBF) سه مورد از پرکارترین این روش‌ها می‌باشند. اکثر مطالعات صورت گرفته از معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) جهت ارزیابی دقت مدل رقومی ارتفاعی استفاده شده است. در این مطالعه یک فیلتر محلی انطباق‌پذیر بر پایه روش IDW با هدف شناسایی نویز، حذف آن‌ها و بازسازی مدل رقومی ارتفاعی زمین پیشنهاد می‌شود.

#### مواد و روش‌ها:

روش پیشنهادی بر روی دو سری داده آزمایش می‌شود. داده اول مدل رقومی شبیه‌ساز شده با استفاده از تابع ریاضی Peaks می‌باشد. یک شبکه  $100 \times 100$  نقطه‌ای با مختصه‌های معلوم از این تابع استخراج شده است. مختصه Z تعداد 1000 نقطه که 10٪ از کل این نقاط می‌باشد، با استفاده از نویز رندوم (محدوده‌ی این نویز حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه تنظیم شده است) مخدوش می‌شود و جهت اجرای روش پیشنهادی و سایر روش‌های رقابتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده دوم مورد استفاده در این مطالعه، مدل رقومی ارتفاعی تولید شده از تصاویر ماهواره‌ای Pleidias از جنوب غرب مشهد می‌باشد. این منطقه به مساحت 9556 هکتار از جنوب غرب مشهد انتخاب شده است و شامل مناطق هموار، شهری و کوهستانی است. حداقل ارتفاع در این منطقه 960 متر و حداکثر آن 1470 متر است. مختصات UTM برای این منطقه (40 شمالی) از شمال شرقی (X: 740490، Y: 4016200) به سمت جنوب غربی (X: 729300، Y: 4007800) می‌باشد. رزولوشن مدل رقومی مورد مطالعه یک متر و دقت ارتفاعی آن بهتر از یک متر می‌باشد. از این مدل رقومی نیز یک شبکه  $830 \times 420$  نقطه‌ای با مختصه‌های معلوم استخراج شده است و ارتفاع 5٪ از آنها با استفاده از نویز رندوم مخدوش شده است و جهت انجام آزمون‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روش پیشنهادی از دو مرحله اصلی تشکیل می‌شود. مرحله اول شناسایی و حذف خطاهای بزرگ موجود در مدل رقومی است و مرحله دوم نیز بازسازی نقاط نویزی با استفاده از درونیابی به کمک مقادیر همسایگی محلی می‌باشد. در ادامه این مراحل توضیح داده می‌شوند. در اینجا تمامی نقاط یک مدل رقومی ارتفاعی مورد پردازش قرار می‌گیرد. ابتدا حول هر نقطه یک همسایگی محلی تعیین می‌شود. سپس ارتفاع نقاط همسایگی محلی بصورت یک دنباله صعودی مرتب می‌شوند. آلفا درصد از ابتدا و انتهای این دنباله حذف می‌گردد. در ادامه انحراف معیار مقادیر باقی‌مانده محاسبه می‌شود. علت حذف این بخش از دنباله ارتفاع نقاط همسایگی این می‌باشد که چنانچه خطای بزرگی در ارتفاع یک یا چند نقطه از همسایگی محلی قرار داشت باعث مخدوش شدن مقدار انحراف معیار نشود. یکی از نقاط ضعف روش‌های درونیابی مانند IDW در تعیین ارتفاع نقاط در بازسازی مدل‌های رقومی ارتفاعی این است که بدون در نظر گرفتن توپوگرافی منطقه و با ثابت فرض کردن مقدار توان فاصله فرآیند درونیابی را انجام می‌دهند و این در حالی می‌باشد که این مقدار می‌تواند در مناطق کوهستانی مقداری بزرگتر و در مناطق هموار مقدار کوچکتری انتخاب شود. از این رو روش IDW انطباق‌پذیر به عنوان روش پیشنهادی در این مطالعه، ضمن حفظ مزایای روش IDW از جمله سادگی و حجم کم پردازش، با محاسبه انحراف معیار محلی که نشان‌دهنده شدت توپوگرافی محلی منطقه می‌باشد، مقدار توان فرمول فاصله را تعیین می‌کند. جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی و روش‌های رقابتی از معیار RMSE

استفاده شده است. مدل‌های رقومی ارتفاعی پس از اصلاح با روش‌های مختلف به همراه مدل رقومی ارتفاعی نویزی، با مدل ارتفاعی اصلی مقایسه می‌شوند و دقت آنها تخمین زده می‌شود.

#### نتایج و بحث:

روش پیشنهادی به همراه روش‌های رقابتی KNN، IDW معمول و روش MRBF بر روی مدل رقومی ارتفاعی شبیه‌سازی شده و همچنین روش پیشنهادی به همراه روش رقابتی IDW معمول بر روی مدل رقومی ارتفاعی مستخرج از تصاویر استریو Pleidias پیاده‌سازی شده‌اند و نتایج این آزمون‌ها در این بخش ارائه خواهند شد. در آزمون اول چهار روش ذکر شده بر روی مدل رقومی ارتفاعی شبیه‌سازی شده که ۱۰٪ از تعداد ۱۰۰۰۰ نقطه ارتفاعی از شبکه نقاط (یعنی ۱۰۰۰ نقطه) خطای بزرگ می‌باشند، اجرا شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که، روش IDW انطباق‌پذیر به خوبی روش MRBF عمل کرده است (دقت روش MRBF تنها به اندازه ۹٪ بهتر می‌باشد) و این در حالی است که هزینه زمانی بسیار کمتری نسبت به آن دارد. از طرفی مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی به مراتب بهتر از روش IDW معمول عمل کرده است. در آزمون دوم تنها دو روش IDW معمول و IDW انطباق‌پذیر بر روی داده‌های واقعی تست شده‌اند. در آزمون دوم روش‌های مذکور بر روی مدل رقومی ارتفاعی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای که ۵٪ از تعداد ۳۴۸۶۰۰ نقطه ارتفاعی از شبکه نقاط (یعنی ۱۷۴۳۰ نقطه) خطای بزرگ می‌باشند، اجرا شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی اگرچه حدود ۱۹٪ به لحاظ زمان پردازش هزینه بیشتری را تحمیل می‌کند اما موجب بهبود ۲۲٪ در دقت مدل رقومی ارتفاعی بهبود یافته می‌شود. بنابراین استفاده از IDW انطباق‌پذیر در مواردی که دقت مدل رقومی ارتفاعی از اهمیت بیشتری در قیاس با زمان پردازش قرار دارد، پیشنهاد می‌شود.

#### نتیجه‌گیری:

کاربرد مدل‌های رقومی ارتفاعی برای بسیاری از علوم از حائز اهمیت می‌باشد لذا تولید این مدل‌ها با دقت بالا امری ضروری می‌باشد. دقت مدل‌های رقومی ارتفاعی تحت تاثیر عوامل مختلف دچار مشکل می‌شود. از این رو ارائه روش‌های کارآمد با هدف شناسایی و حذف نویز و بازسازی مدل رقومی ارتفاعی امری مهم جهت انجام پژوهش محسوب می‌شود. در این مطالعه یک روش دو مرحله‌ای با هدف حذف نویز و بازسازی مدل رقومی ارتفاعی زمین پیشنهاد شده است. در مرحله اول از روش پیشنهادی با استفاده از انحراف معیار فیلتر کوتاه شده آلفا، نقاط با خطای بزرگ شناسایی و حذف گردید. سپس در مرحله بعد با استفاده از یک فیلتر IDW انطباق‌پذیر مقادیر جدید بازیابی شدند. این فیلتر کمک می‌کند که تاثیرپذیری همسایه‌های نزدیکتر به نقطه هدف متناسب با میزان کوهستانی بودن منطقه تنظیم شود. در این پژوهش، عملکرد روش پیشنهادی با چند روش رقابتی از جمله IDW معمول مقایسه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند دقت مدل رقومی ارتفاعی اصلاح شده را تا ۲۲٪ در مقایسه با IDW معمول بهبود ببخشد و این در حالی است که تنها ۱۹٪ زمان پردازش آن بیشتر می‌باشد.

واژگان کلیدی: مدل رقومی ارتفاعی، حذف اشتباهات، بهبود DEM، فیلتر انطباق‌پذیر

## **A Local Filter for Improve Digital Elevation Model**

**Amin Ghannadi, Assistant Professor of Surveying Engineering Department, Faculty of Mohammad  
Geoscience Engineering, Arak University of Technology**

**Arak, Daneshgah Street, Arak University of Technology, Postal Code: 3818146763, Phone:  
08633400764, Email: m.ghannadi@arakut.ac.ir**

**Matin Shahri, Assistant Professor of Surveying Engineering Department, Faculty of Geoscience  
Engineering, Arak University of Technology**

### **Introduction**

Digital Elevation Model (DEM) represents the topographic surface of the Earth except for trees, buildings, and other surface objects, which is a three-dimensional computer graphic representation of altitude data. DEMs play a key role in many fields including civil engineering, earth sciences, natural resource planning and management, geology, military applications, surveying, photogrammetry, and spatial information systems. DEMs are prepared in different ways. These models are generated from direct surveying, satellite systems including Global Positioning System (GPS), aerial imagery, LiDAR systems, or satellite imagery. DEMs are subject to a variety of errors. These include blunders during data collection, systematic errors such as directional errors in stereo imaging, and random errors which are unavoidable. These errors can also vary geographically depending on ground conditions. In addition to the errors in data collection to produce a DEM, the production process and interpolation techniques are also associated with errors. Therefore, achieving a high-quality DEM is a serious challenge. Thus, studies have been conducted on error sources in DEMs, noise removal, and their improvement. In some previous studies, the role of interpolation techniques in the production of DEMs has been evaluated. Among them, KNN, IDW methods, and multiquadric radial base functions (MRBF) are three of the most common methods. Most studies have used the root mean square error (RMSE) to evaluate the accuracy of the DEM. In

**Commented [22]:** Here are the proofreading issues in the text:

1. "Improve" should be "Improving" to maintain grammatical consistency.
2. "except for trees, buildings, and other surface objects," could be rephrased for clarity, such as "excluding trees, buildings, and other surface objects,"
3. "including civil engineering, earth sciences, natural resource planning and management, geology, military applications, surveying, photogrammetry, and spatial information systems," could be presented in a more organized list format for readability.
4. "DEM's" should be "DEMs" for plural consistency.
5. In "DEM's are prepared in different ways," the apostrophe is unnecessary. It should be "DEMs are prepared in different ways."
6. "LiDAR" should be consistent with the capitalization as "LIDAR" for accuracy.
7. "One of the weaknesses of interpolation methods such as IDW in determining the height of points in the refinement of DEMs is that they perform the interpolation process without considering the topography of the area and by assuming a constant value of distance power," could be broken down into shorter, clearer sentences for better readability.
8. "Modified DEMs and noisy DEMs are compared with the original DEMs and their accuracy is estimated," could be revised for clarity, such as "Modified DEMs and noisy DEMs are compared to the original DEMs, and their accuracy is assessed."
9. In the conclusion, "In this study, the performance of the proposed method is compared with several competitive methods, including the conventional IDW," could be rephrased for clarity, such as "The performance of the proposed method is compared to several competitive methods, including conventional IDW, in this study."
10. "up to 22% compared to the conventional IDW, while it has only a 19% longer processing time," could be rephrased for clarity, such as "up to 22% compared to conventional IDW, despite having only a 19% longer processing time."

These adjustments help improve the clarity and readability of the text.

**Commented [23]:** ایمیل نویسنده مسئول زیرنویس شود

**Commented [24]:**



this study, an adaptive local filter based on the IDW method is proposed to detect noise, remove them, and reconstruct the DEMs.

### **Material And Methods**

The proposed method is tested on two datasets. The first dataset is a simulated DEM using the Peaks mathematical function. A  $100 \times 100$  grid of points with known coordinates are extracted from this function. The z value of 1000 points, which is 10% of the total points, is distorted using random noise (the range of this noise is set to the minimum and maximum height of the area) and is utilized to implement the proposed method and other competitive methods. The second dataset used in this study is a DEM generated from Pleiades satellite images from southwest of Mashhad. This area of 9556 hectares has been selected from the southwest of Mashhad and includes flat, urban, and mountainous areas. The minimum height in this area is 960 meters and the maximum is 1470 meters. The UTM coordinates for this region (40 north) are from the northeast (740490, 4016200) to the southwest (729300, 4007800). The resolution of the DEM under study is one meter and its height accuracy is better than one meter. From this DEM, a  $430 \times 830$  network of points with known coordinates has been extracted the height of 5% of them has been distorted using random noise and is used to perform tests.

The proposed method consists of two main steps. The first step is to identify and eliminate blunders in the DEM, and the second step is to reconstruct the blunder points using interpolation with the help of local neighborhood values. These steps are explained below. In this method, all the points of a DEM are processed. First, a local neighborhood is determined around each point and then the heights of the local neighborhoods are arranged in ascending order. The alpha percentage is removed from the beginning and end of this sequence. Afterward, the standard deviation of the remaining values is calculated. The reason for removing this part of the neighborhood point elevation sequence is that if there is a blunder in the height of one or more points of the local neighborhood, it does not distort the standard deviation. One of the weaknesses of interpolation methods such as IDW in determining the height of points in the refinement of DEMs is that they perform the interpolation process without considering the topography of the area and by assuming a constant value of distance power. However, this amount can be selected as a larger amount in mountainous areas and a smaller amount in flat areas. Therefore, the adaptable IDW method maintains the advantages of the IDW method such as simplicity and low processing volume, as well as determining the value of distance power by calculating the local standard deviation that indicates the intensity of local topography. RMSE criterion has been used to evaluate the performance of the proposed method and competitive methods. Modified DEMs and noisy DEMs are compared with the original DEMs and their accuracy is estimated.

### **Results and discussion**

The proposed method along with the competitive methods of KNN, conventional IDW, and MRBF method are implemented on the simulated DEM, and the proposed method along with the competitive IDW method is implemented on DEM extracted from Pleiades stereo images. The results of these tests will be presented in this section. In the first test, the four methods that were mentioned are performed on a simulated DEM, in which 10% of the 10,000 elevation points of the network (i.e., 1000 points) blunders. The results show that the adaptive IDW method works as well as the MRBF method (the accuracy of the MRBF method is 9% better), while it is much less time-consuming. On the other hand, it can be seen that the proposed method has worked much better than the conventional IDW method. In the second test, two conventional and adaptive IDW methods were tested on real data. In the second test, the mentioned methods were performed on a DEM extracted from satellite images, in which 5% of the 348600 elevation points of the network (i.e., 17430 points) are blunders. The results show that the proposed method improves the accuracy of the DEM by 22% although it is about 19% more expensive in terms of processing time. Therefore, using adaptive IDW is recommended in cases where the accuracy of the DEM is more important than processing time.

### **Conclusion**

The use of DEMs is important in many fields of science; thus, the production of these models with high accuracy is essential. The accuracy of DEMs is affected by various factors. Therefore, providing efficient methods to identify and eliminate blunders and refine the DEMs is important for researchers. In this study, a two-stage method with the aim of eliminating blunders and reconstructing the DEM is proposed. In the first stage of the proposed method, using the standard deviation of the shortened alpha filter, points with blunders were identified and removed. Then, in the next step, new values were retrieved using an adaptive IDW filter. This filter helps to adjust the influence of the neighbors closer to the target point according to the mountainous nature of the area. In this study, the performance of the proposed method is compared with several competitive methods, including the conventional IDW. The experimental results show that the

proposed method can improve the accuracy of the modified DEM by up to 22% compared to the conventional IDW, while it has only a 19% longer processing time.

**Keywords:** Digital Elevation Model, Blunder removal, DEM refinement, Adaptive filter