وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دستورالعمل فنی

ساخت مدل رقومی ارتفاع (DEM)
از تصاویر پهپادی در نرم‌افزار Agisoft Metashape

نویسندگان:
زهرا گرامی

شماره ثبت: ۶۹۱۹۴
۱۴۰۵

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دستورالعمل فنی:

ساخت مدل رقومی ارتفاع (DEM) از تصاویر پهپادی در نرم‌افزار Agisoft Metashape

نویسنده:
زهرا گرامی

شماره ثبت: ۶۹۱۹۴

۱۴۰۵

وزارت جهادکشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

عنوان: ساخت مدل رقومی ارتفاع (DEM) از تصاویر پهپادی در نرم‌افزار Agisoft Metashape
نویسنده: زهرا گرامی
ویراستار: سعید نبی‌پی لشکریان
طراحی جلد و صفحه آرایی: عباس صدیق
ناشر: پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری
شمارگان: ۱۰ نسخه
تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۵
این اثر در مورخه **۱۴۰۵/۰۲/۰۷** با شماره **۶۹۱۹۴** در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است. حق چاپ محفوظ است. نقل مطلب، تصاویر، جداول، منحنی‌ها و نمودارها با ذکر مأخذ بلامانع است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

۱- مقدمه ۲

۲- کاربردهای تبدیل تصاویر به DEM ۳

۲-۱- مطالعه و مدل‌سازی فرسایش خاک ۳

۲-۲- پایش تغییرات مورفولوژیکی زمین ۴

۲-۳- نقشه‌برداری و تهیه نقشه‌های توپوگرافی محلی ۴

۲-۴- مطالعات منابع طبیعی و جنگل‌ها ۴

۲-۵- کاربردهای آموزشی و پژوهشی ۵

۲-۶- پشتیبانی از مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی ۵

۲-۷- بررسی‌های میدانی پیش از اجرای پروژه‌ها ۵

۳- مراحل گام‌به‌گام تولید DEM از تصاویر پهپادی در Agisoft Metashape ۵

۳-۱- پیش‌نیازها و آماده‌سازی ۶

۳-۲- واردکردن تصاویر (Add Photos) ۷

۳-۳- تنظیم سیستم مختصات پروژه ۸

۳-۴- هم‌ترازی تصاویر (Align Photos) ۹

۳-۵- اضافه‌کردن نقاط کنترل زمینی ۱۰

۳-۶- بهینه‌سازی دوربین (Optimize Cameras) ۱۱

۳-۷- ساخت ابرنقاط متراکم (Dense Cloud) ۱۱

۳-۸- ساخت مدل سه‌بعدی سطح زمین (Mesh) ۱۳

۳-۹- ساخت مدل رقومی ارتفاع (DEM) ۱۵

۳-۱۰- ساخت عکس ژئورفرنس‌شده (Ortho-mosaic) ۱۶

۳-۱۱- بررسی کیفیت و دقت ۱۸

۳-۱۲- خروجی‌گرفتن از مدل رقومی ارتفاع ۱۸

۳-۱۳- نکات فنی و کاربردی ۱۹
نتیجه‌گیری ۱۹
منابع مورد استفاده ۲۰
Abstract ۲۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱- ایجاد پروژه جدید ۷
شکل ۲- اضافه‌کردن تصاویر به پروژه ۸
شکل ۳- مشاهده مختصات در ستون Reference ۸
شکل ۴- انتخاب سیستم مختصات مناسب منطقه موردنظر ۹
شکل ۵- انتخاب گزینه Align Photos ۹
شکل ۶- تنطیمات گزینه Align Photos ۱۰
شکل ۷- واردکردن نقاط GCP ۱۰
شکل ۸- بهینه‌سازی دوربین ۱۱
شکل ۹- انتخاب گزینه Build Dense Cloud ۱۲
شکل ۱۰- تنظیمات گزینه Build Dense Cloud ۱۲
شکل ۱۱- ابر نقاط متراکم ۱۳
شکل ۱۲- انتخاب گزینه Build Mesh ۱۴
شکل ۱۳- تنظیمات گزینه Build Mesh ۱۴
شکل ۱۴- مدل سه‌بعدی سطح زمین ۱۵
شکل ۱۵- انتخاب گزینه Build DEM ۱۵
شکل ۱۶- تنظیمات گزینه Build DEM ۱۶
شکل ۱۷- مدل رقومی ارتفاع ۱۶
شکل ۱۸- انتخاب گزینه Build Orthomosaic ۱۷
شکل ۱۹- تنظیمات گزینه Build Orthomosaic ۱۷
شکل ۲۰- بررسی کیفیت و دقت خروجی‌های نرم‌افزار ۱۸
شکل ۲۱- خروجی‌گرفتن از مدل رقومی ارتفاع ۱۹

چکیده

با گسترش استفاده از پهپادها در سنجش از دور، تولید مدل‌های رقومی ارتفاع (DEM) با وضوح مکانی بالا به ابزاری کارآمد در مطالعات علوم زمین، منابع طبیعی و مهندسی محیط زیست تبدیل شده است. DEMهای حاصل از تصاویر پهپادی امکان تحلیل دقیق توپوگرافی، استخراج پارامترهای مورفومتری نظیر شیب و جهت دامنه، شناسایی مسیرهای جریان، برآورد تغییرات حجمی سطح زمین و پایش فرایندهای ژئومورفولوژیکی را فراهم می‌کنند. در این میان، نرم‌افزار Agisoft Metashape با بهره‌گیری از الگوریتم فتوگرامتری ساختار از حرکت (Structure from Motion; SfM) یکی از ابزارهای رایج برای بازسازی سه‌بعدی و تولید DEM محسوب می‌شود. هدف این دستورالعمل، ارائه یک روند گام‌به‌گام، استاندارد و قابل تکرار برای تولید DEM از تصاویر پهپادی در محیط Metashape است. در این چارچوب، مراحل آماده‌سازی و انتخاب تصاویر، تنظیم سسیستم مختصات، هم‌ترازی تصاویر، تولید ابرنقاط متراکم، بهینه‌سازی پارامترهای دوربین و استخراج مدل ارتفاعی نهایی تشریح شده است. همچنین، نکات فنی مرتبط با افزایش دقت، استفاده از نقاط کنترل زمینی (GCP) و ارزیابی خطای مدل براساس شاخص RMSE ارائه شده است. این راهنما می‌تواند به‌عنوان مرجعی کاربردی برای پژوهشگران، متخصصان منابع طبیعی و دانشجویان در تولید DEM دقیق و استفاده از آن در طیف گسترده‌ای از مطالعات محیطی، ازجمله پایش تغییرات سطح زمین و تحلیل فرسایش خاک، مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ابرنقاط متراکم، پردازش تصاویر، توپوگرافی، فتوگرامتری، نقاط کنترل زمینی.

۱- مقدمه

مدل رقومی ارتفاع[1] از مهم‌ترین داده‌های پایه در علوم زمین، مهندسی منابع طبیعی و مطالعات محیطی محسوب می‌شود و نقش اساسی در تحلیل‌های توپوگرافی، مدل‌سازی هیدرولوژیکی، شبیه‌سازی فرایندهای سطح زمین، ارزیابی مخاطرات طبیعی، برنامه‌ریزی کاربری اراضی و پایش تغییرات مورفولوژیک دارند (Wilson و Gallant، ۲۰۰۰؛ Li و همکاران، ۲۰۰۵). دقت و وضوح مکانی DEM تأثیر مستقیمی بر صحت تحلیل‌های مکانی و مدل‌های فرایندی دارد؛ ازاین‌رو انتخاب روش مناسب برای تولید آن اهمیت زیادی دارد (Hengl و Reuter، ۲۰۰۹).

روش‌های مختلفی برای تولید DEM توسعه یافته‌اند که شامل برداشت زمینی با GPS و توتال استیشن، فتوگرامتری هوایی، داده‌های لیدار[2]، تصاویر ماهواره‌ای استریو و روش‌های فتوگرامتری مبتنی بر تصاویر دیجیتال هستند (Maune، ۲۰۰۷). هریک از این روش‌ها دارای مزایا و محدودیت‌هایی از نظر دقت، هزینه، سرعت برداشت و مقیاس کاربرد هستند. به‌عنوان‌مثال، داده‌های LiDAR اگرچه دقت بسیار بالایی دارند، اما هزینه برداشت آن‌ها زیاد و دسترسی به آن در بسیاری از مناطق محدود است، درحالی‌که تصاویر ماهواره‌ای پوشش وسیع‌تری دارند، اما معمولاً از نظر وضوح مکانی محدودترند (Maune، ۲۰۰۷).

در سال‌های اخیر، پیشرفت سریع فناوری پهپادها[3] و الگوریتم‌های بازسازی سه‌بعدی مبتنی بر ساختار از حرکت[4] تحول چشمگیری در تولید داده‌های ارتفاعی ایجاد کرده است. روش SfM با استفاده از مجموعه‌ای از تصاویر با همپوشانی، امکان استخراج اطلاعات سه‌بعدی سطح زمین را فراهم می‌کند و بدون نیاز به تجهیزات گران‌قیمت می‌تواند مدل‌های ارتفاعی با دقت بالا تولید کند (Westoby و همکاران، ۲۰۱۲). این روش به‌ویژه در مطالعات مقیاس محلی و متوسط، به‌دلیل انعطاف‌پذیری عملیاتی، سرعت برداشت و هزینه پایین، به یکی از ابزارهای پرکاربرد تبدیل شده است (Fonstad و همکاران، ۲۰۱۳).

---

[1] Digital Elevation Model (DEM)
[2] LiDAR
[3] Unmanned Aerial Vehicle (UAVs)
[4] Structure from Motion (SfM)

هم‌زمان با توسعه این فناوری، نرم‌افزارهای متعددی برای پردازش تصاویر و تولید مدل‌های سه‌بعدی طراحی شده‌اند که ازجمله شناخته‌شده‌ترین آن‌ها می‌توان به Agisoft Metashape، Pix4D و ContextCapture اشاره کرد. این نرم‌افزارها با استفاده از الگوریتم‌های تطابق تصویر، تنظیم دسته‌ای[1] و تولید ابرنقاط متراکم، قادر به تولید مدل‌های رقومی ارتفاع با وضوح بالا هستند (James و Robson، ۲۰۱۲). مطالعات نشان داده‌اند که DEMهای حاصل از فتوگرامتری پهپادی در صورت طراحی صحیح برداشت و تنظیم مناسب پارامترهای پردازشی می‌توانند دقتی قابل مقایسه با روش‌های زمینی داشته باشند (Turner و همکاران، ۲۰۱۲).

با وجود مزایای قابل توجه، تولید DEM دقیق با استفاده از تصاویر پهپادی مستلزم رعایت مجموعه‌ای از مراحل فنی شامل طراحی پرواز، همپوشانی تصاویر، تعیین نقاط کنترل زمینی، تنظیم پارامترهای پردازش و ارزیابی دقت است. عدم رعایت هر یک از این مراحل می‌تواند موجب افزایش خطای ارتفاعی و کاهش کیفیت مدل نهایی شود (Smith و همکاران، ۲۰۱۶). ازاین‌رو، وجود دستورالعمل‌های عملی و استاندارد برای کاربران، به‌ویژه پژوهشگران و کارشناسانی که تجربه محدودتری در پردازش فتوگرامتری دارند، ضروری است.

براین‌اساس، هدف مطالعه حاضر ارائه یک دستورالعمل گام‌به‌گام و قابل تکرار برای تولید مدل رقومی ارتفاع از تصاویر پهپادی در نرم‌افزار Agisoft Metashape است. این دستورالعمل به‌گونه‌ای طراحی شده که بتواند در طیف گسترده‌ای از مطالعات محیطی و مهندسی، ازجمله پایش تغییرات سطح زمین، تحلیل‌های ژئومورفولوژیک و ارزیابی فرایندهای سطحی، مورد استفاده قرار گیرد.

۲- کاربردهای تبدیل تصاویر به DEM

۲-۱- مطالعه و مدل‌سازی فرسایش خاک

- پایش تغییرات توپوگرافی سطح زمین قبل و بعد از رویدادهای بارشی
- تخمین حجم خاک فرسایش‌یافته یا رسوب‌گذاری‌شده

[1] Bundle adjustment

- تحلیل الگوهای شیب، جهت دامنه و انباشت آب برای مدل‌های RUSLE، WEPP، WaTEM/SEDEM و غیره
- ارزیابی اثر عملیات حفاظتی مانند تراس‌بندی، مالچ‌پاشی، بادشکن‌ها، سازه‌های سنگی و زیستی
- محاسبه شاخص‌های پیوستگی رسوب[1] در حوزه‌های آبخیز (Westoby و همکاران، ۲۰۱۲)

۲-۲- پایش تغییرات مورفولوژیکی زمین

- بررسی تغییرات سطحی در اراضی کشاورزی، دامنه‌های ناپایدار، سواحل و بستر رودخانه‌ها
- مقایسه DEMهای چندزمانه[2] برای تحلیل تغییرات ناشی از فرسایش، رسوب، رانش و لغزش
- پایش پیشروی یا عقب‌نشینی خطوط ساحلی یا جابجایی تپه‌های ماسه‌ای (Westoby و همکاران، ۲۰۱۲)

۲-۳- نقشه‌برداری و تهیه نقشه‌های توپوگرافی محلی

- تولید نقشه‌های شیب، جهت، سایه‌روشن و منحنی میزان در مقیاس‌های محلی
- تهیه زیرساخت توپوگرافی برای پروژه‌های منابع طبیعی، آبخیزداری و مهندسی خاک
- پشتیبانی از پروژه‌های مکان‌یابی سازه‌ها (سد، کانال، سدهای سنگی، بندهای خاکی) (Maune، ۲۰۰۷)

۲-۴- مطالعات منابع طبیعی و جنگل‌ها

- پایش تغییرات در پوشش گیاهی و ناهمواری‌ها در عرصه‌های مرتعی و جنگلی
- بررسی اثر تخریب پوشش گیاهی بر تشدید فرسایش خاک
- مستندسازی وضعیت فیزیوگرافی مناطق حساس به فرسایش و تخریب سرزمین (Hengl و Reuter، ۲۰۰۹)

---

[1] Sediment Connectivity
[2] Multi-temporal DEMs

۲-۵- کاربردهای آموزشی و پژوهشی

- آموزش تکنیک‌های فتوگرامتری، تولید DEM و مدل‌سازی سطح زمین به دانشجویان
- استفاده در پروژه‌های دانشجویی، پایان‌نامه‌های کارشناسی‌ارشد و دکتری

۲-۶- پشتیبانی از مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی

- ایجاد ورودی‌های توپوگرافی برای مدل‌هایی مانند HEC-HMS، SWAT، LISFLOOD-FP
- مدل‌سازی رواناب، مسیر جریان، و شدت سیلاب در حوضه‌های کوچک
- تحلیل خطرات محیطی نظیر وقوع سیلاب‌های متمرکز یا حرکت گل‌ولای (Arnold و همکاران، ۱۹۹۸)

۲-۷- بررسی‌های میدانی پیش از اجرای پروژه‌ها

- تهیه نقشه پایه برای طراحی سازه‌های کنترل فرسایش
- ارزیابی اولیه کاربری زمین، شیب دامنه‌ها و مسیرهای رواناب
- تصمیم‌گیری درباره مکان‌یابی بهینه برای عملیات حفاظت خاک یا استقرار ایستگاه‌های اندازه‌گیری (Morgan، ۲۰۰۵)

در ادامه یک دستورالعمل جامع و گام‌به‌گام برای تولید مدل رقومی ارتفاع (DEM) از تصاویر گرفته‌شده با پهپاد با استفاده از نرم‌افزار Agisoft Metashape ارائه می‌شود. این دستورالعمل شامل مقدمه، مراحل عملیاتی دقیق، نکات فنی و کاربردی و تنظیمات پیشنهادی است.

۳- مراحل گام‌به‌گام تولید DEM از تصاویر پهپادی در Agisoft Metashape

در دهه‌های اخیر، پهپادها (UAVs) با فراهم‌کردن امکان برداشت داده‌های هوایی با تفکیک مکانی بالا، انقلابی در نقشه‌برداری، مدیریت منابع طبیعی و پایش تغییرات محیطی ایجاد کرده‌اند. در میان کاربردهای

متنوع پهپادها، تولید مدل رقومی ارتفاع (DEM) از تصاویر هوایی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین خروجی‌ها شناخته می‌شود.

نرم‌افزار Agisoft Metashape (پیش‌تر Photoscan)، به‌عنوان یکی از ابزارهای پیشرفته در زمینه پردازش تصاویر پهپادی، امکان تولید مدل‌های سه‌بعدی و DEM دقیق را از مجموعه‌ای از تصاویر با هم‌پوشانی فراهم می‌کند. برای تهیه نرم‌افزار، کاربران می‌توانند به وب‌سایت رسمی Agisoft (https://www.agisoft.com) مراجعه کنند. Metashape نسخه‌های مختلفی دارد، ازجمله Standard و Professional، که نسخه Professional برای پردازش پروژه‌های بزرگ و با دقت بالا توصیه می‌شود. پس از دانلود بسته نصبی مناسب سیستم عامل (Windows, macOS, Linux)، نصب نرم‌افزار با اجرای فایل نصب‌کننده انجام می‌شود و مراحل معمول نصب شامل انتخاب مسیر نصب، تأیید شرایط لایسنس و راه‌اندازی اولیه نرم‌افزار است.

کاربران می‌توانند نسخه آزمایشی (Trial) نرم‌افزار را برای مدت محدودی فعال کنند تا با امکانات و محیط نرم‌افزار آشنا شوند. همچنین، فعال‌سازی کامل نرم‌افزار نیازمند لایسنس معتبر است که به‌صورت آنلاین یا با خرید مستقیم از Agisoft قابل دریافت است. در این دستورالعمل، فرایند کامل پردازش تصاویر پهپادی بدون نیاز به کدنویسی یا نرم‌افزارهای مکمل، صرفاً در محیط Metashape شرح داده می‌شود.

۳-۱- پیش‌نیازها و آماده‌سازی

برای تولید مدل رقومی ارتفاع (DEM) دقیق، انتخاب و تهیه تصاویر پهپادی با کیفیت و پوشش مناسب اهمیت ویژه‌ای دارد. تصاویر باید از پرواز پهپاد در ارتفاع مناسب گرفته شوند و شرایط زیر رعایت شود.

- **منبع تصاویر:** تصاویر می‌توانند از پهپادهای تجاری با دوربین RGB استاندارد، یا پهپادهای مجهز به سنسور چندطیفی تهیه شوند. کاربران باید از سخت‌افزار با کیفیت تصویربرداری کافی برای ثبت جزئیات توپوگرافی منطقه استفاده کنند.
- **پوشش هم‌پوشانی (Overlap)**
- **پوشش عرضی (Side Overlap):** دست‌کم ۶۰ درصد
- **پوشش طولی (Forward Overlap):** دست‌کم ۸۰ درصد

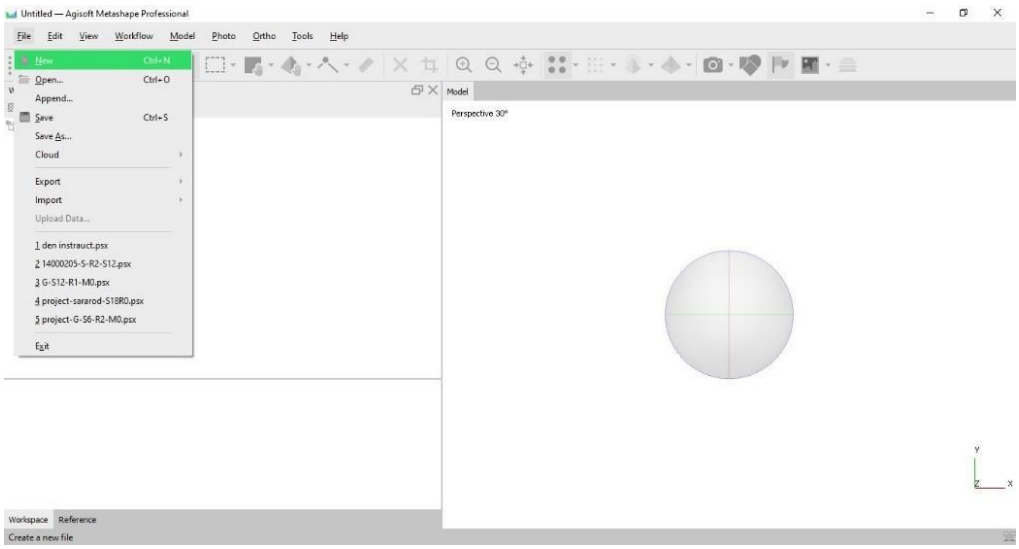
رعایت این مقادیر برای اطمینان از تطبیق تصاویر و تولید ابر نقاط دقیق ضروری است (Westoby و همکاران، ۲۰۱۲؛ Fonstad و همکاران، ۲۰۱۳).

- **شرایط پرواز و محیط:** در صورت امکان، پرواز در شرایط نور مناسب و بدون سایه شدید انجام شود. ارتفاع پرواز باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که دقت مکانی موردنیاز پروژه تأمین شود.
- **فرمت تصاویر و ذخیره‌سازی:** تصاویر با فرمت ترجیحاً JPEG یا TIFF و یا RAW با کیفیت بالا ذخیره شوند. تصاویر دارای مختصات GPS باشند (در متادیتای Exif). استفاده از GCP (نقاط کنترل زمینی) برای افزایش دقت توصیه می‌شود.

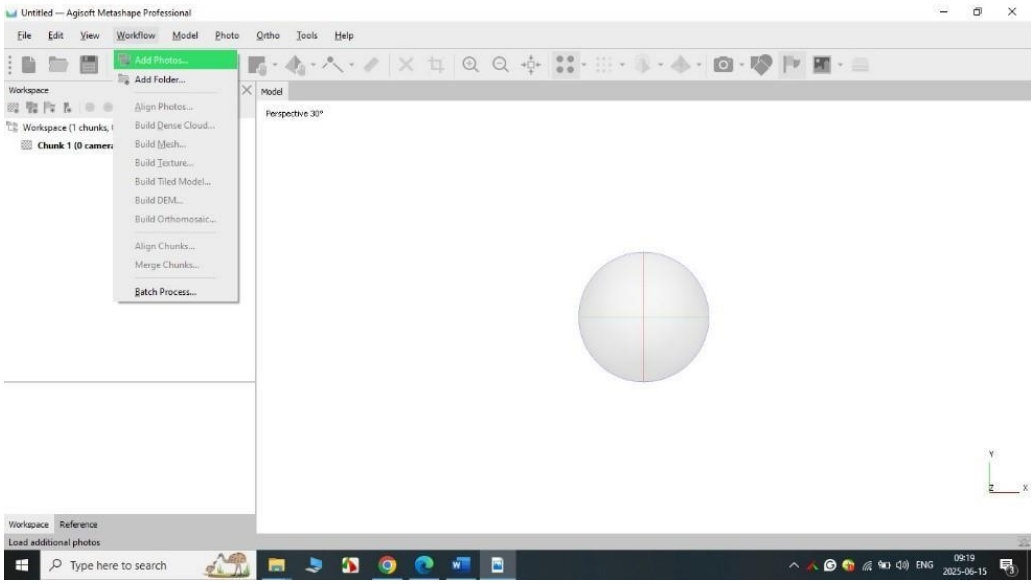
فایل‌ها باید در یک پوشه مرتب براساس زمان و مسیر پرواز ذخیره شوند تا در نرم‌افزار Metashape واردسازی آسان باشد. با رعایت این استانداردها، نرم‌افزار Agisoft Metashape قادر خواهد بود تصاویر را هم‌تراز کرده، ابرنقاط متراکم تولید کند و در نهایت DEM دقیق و قابل اعتماد ارائه دهد.

۳-۲- واردکردن تصاویر (Add Photos)

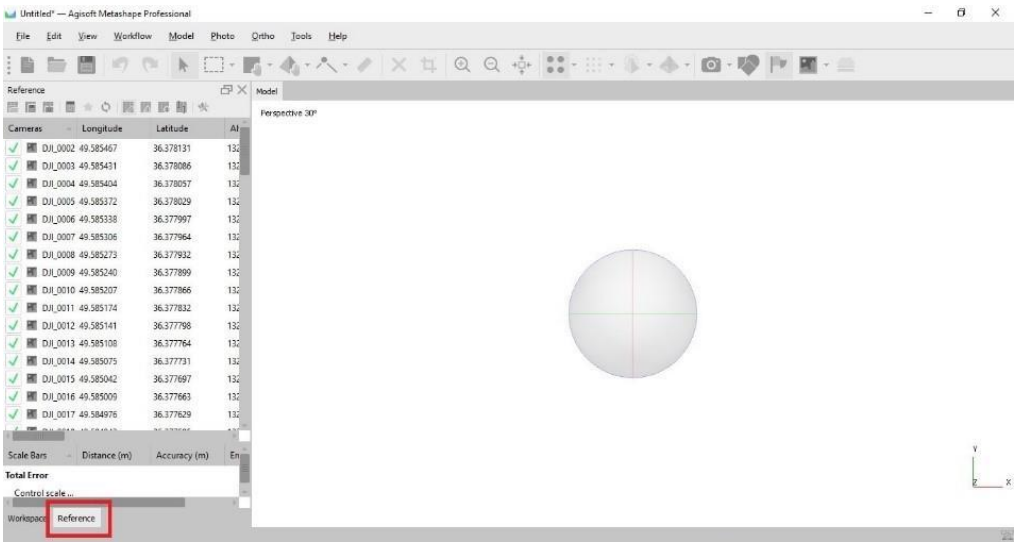
- پروژه جدید از طریق انتخاب گزینه File و سپس New Project ایجاد شود (شکل ۱).
- تصاویر با انتخاب گزینه Workflow و سپس Add Photos به پروژه جدید اضافه شود (شکل ۲).
- در صورت وجود GPS، مختصات در ستون Reference ظاهر خواهد شد (شکل ۳).



شکل ۱- ایجاد پروژه جدید



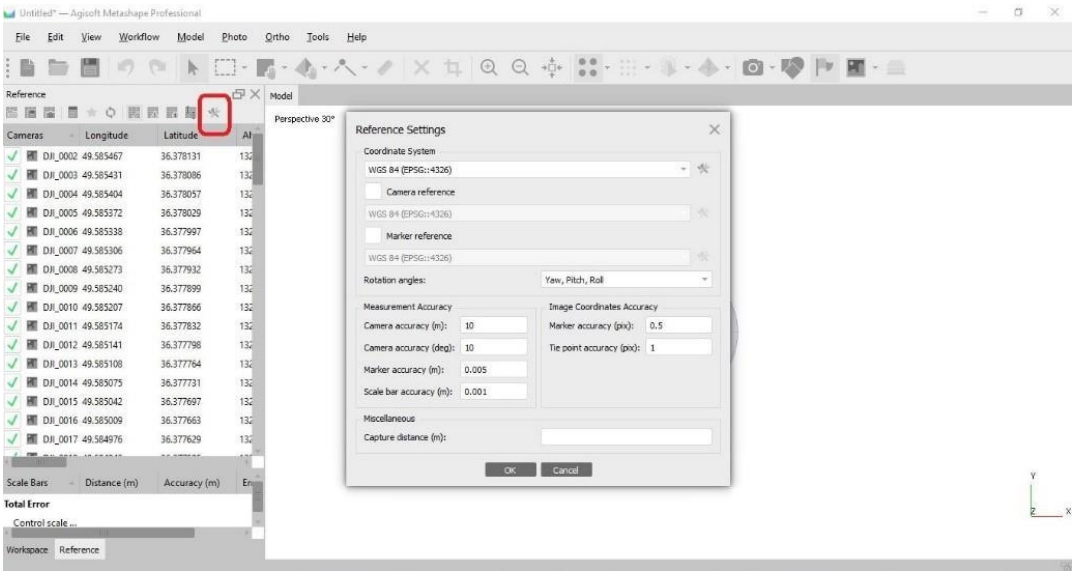
شکل ۲- اضافه‌کردن تصاویر به پروژه



شکل ۳- مشاهده مختصات در ستون Reference

۳-۳- تنظیم سیستم مختصات پروژه

- از منوی Reference، گزینه Settings انتخاب و سیستم مختصات مناسب منطقه موردنظر به‌طورمثال، UTM یا WGS 84 انتخاب شود (شکل ۴).

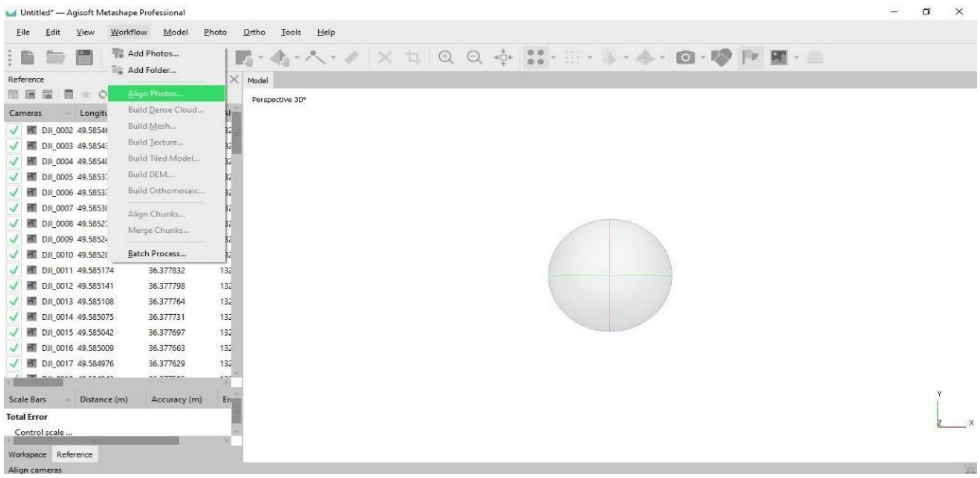


شکل ۴- انتخاب سیستم مختصات مناسب منطقه موردنظر

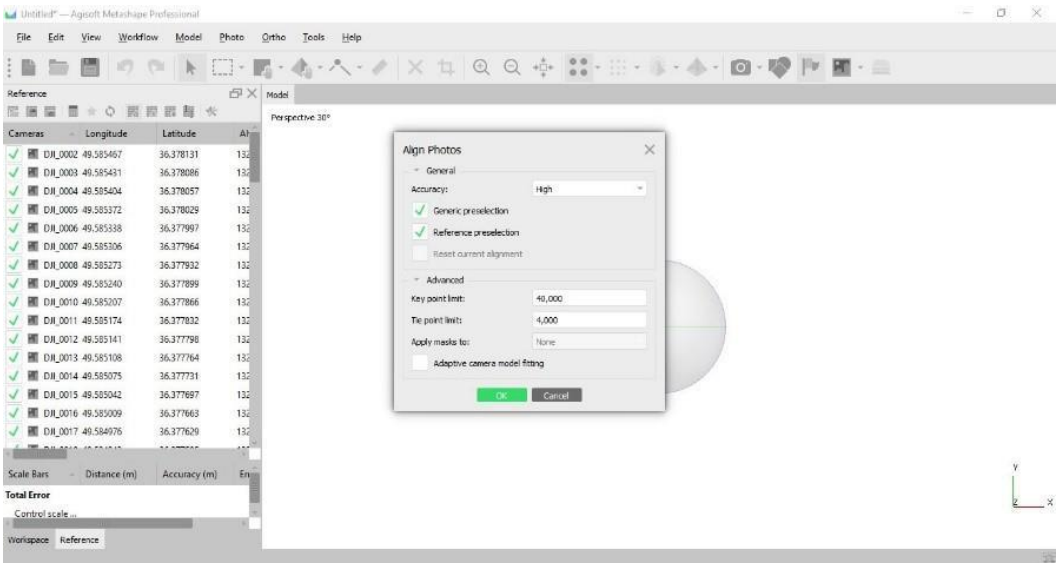
۳-۴- هم‌ترازی تصاویر (Align Photos)

برای هم‌ترازی تصاویر، گزینه Workflow و سپس Align Photos استفاده شود (شکل ۵). تنطیمات موردنظر در این قسمت در زیر آورده شده است (شکل ۶).

- **کیفیت (Accuracy)**: بسته به توان سامانه High یا Medium،
- **Pair Preselection**: گزینه Reference و Generic
- **Tie Point Limit** و Key Point Limit: 4000 و ۴۰۰۰۰ (به صورت پیش‌فرض)
- **خروجی**: ابرنقاط پراکنده (Sparse Point Cloud)



شکل ۵- انتخاب گزینه Align Photos

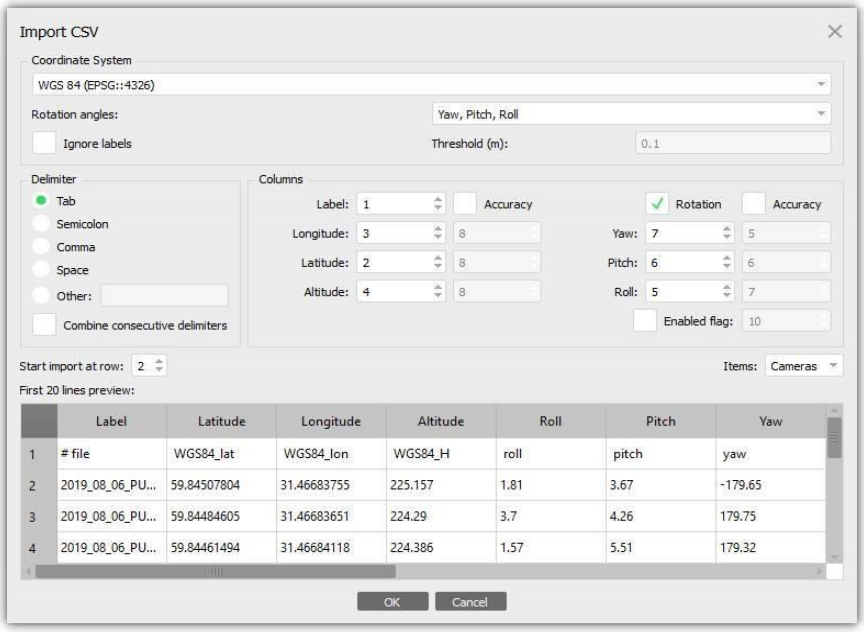


شکل ۶- تنظیمات گزینه Align Photos

۳-۵- اضافه‌کردن نقاط کنترل زمینی

مرحله اضافه‌کردن نقاط کنترل زمینی (GCP) به پروژه اختیاری است، اما برای انجام آن مراحل زیر انجام شود (شکل ۷):

- از منوی Reference نقاط GCP را وارد کنید (از فایل CSV با مختصات دقیق).
- به هر GCP باید روی چند عکس در محل GCP اشاره شود (مارک‌گذاری دستی یا اتوماتیک).

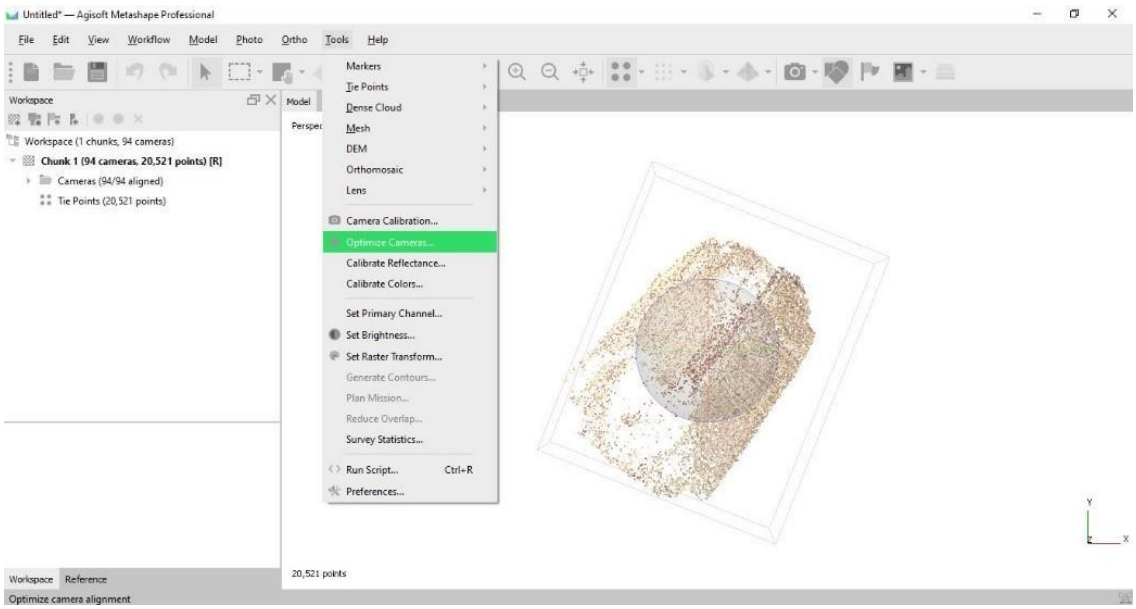


شکل ۷- واردکردن نقاط GCP

۳-۶- بهینه‌سازی دوربین (Optimize Cameras)

پس از واردکردن GCPها (Ground Control Points) و بررسی دقت اولیه با استفاده از آماره RMSE، گام بعدی بهینه‌سازی پارامترهای دوربین در محیط نرم‌افزار است. ابزار Optimize Cameras که در منوی Tools قرار دارد، پارامترهای داخلی و خارجی دوربین (intrinsic/extrinsic) را براساس نقاط کنترل زمینی اصلاح می‌کند تا خطای هم‌ترازی تصاویر و دقت DEM کاهش یابد (شکل ۸).

توجه: این عملیات هیچ تغییری در دوربین واقعی پهپاد یا تنظیمات سخت‌افزاری آن ایجاد نمی‌کند؛ بلکه یک بهینه‌سازی نرم‌افزاری است که دقت مدل سه‌بعدی و DEM را بهبود می‌بخشد.

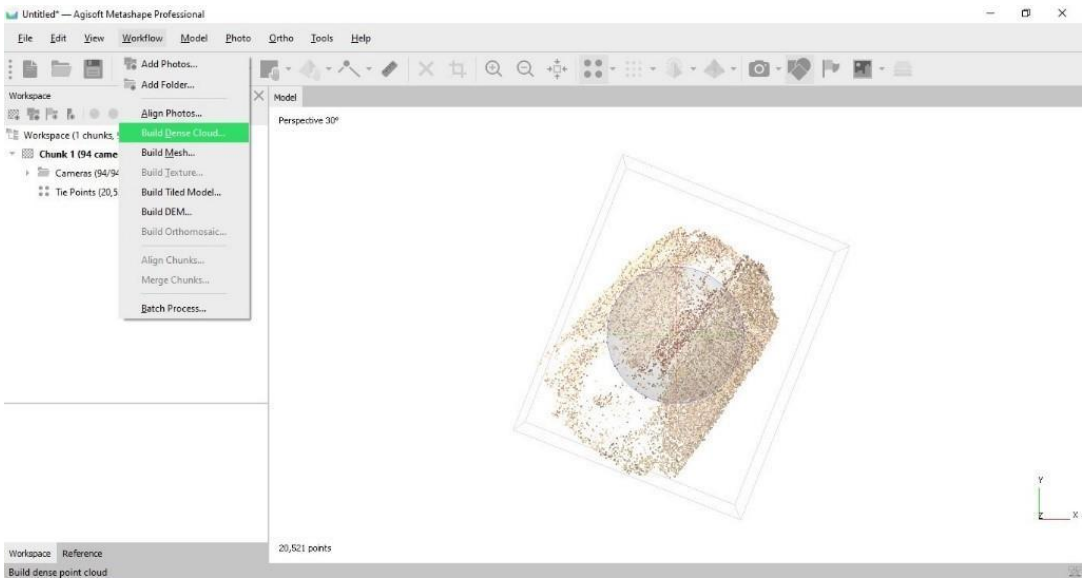


شکل ۸- بهینه‌سازی دوربین

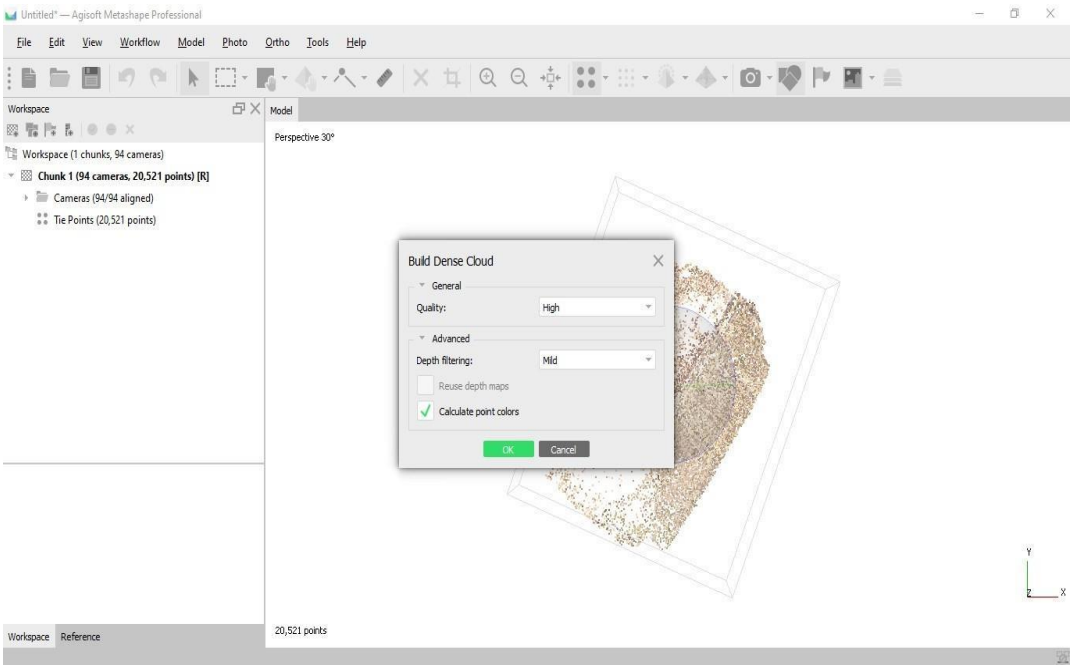
۳-۷- ساخت ابرنقاط متراکم (Dense Cloud)

ابر نقاط متراکم از طریق انتخاب منوی Workflow و انتخاب گزینه Build Dense Cloud ساخته شود (شکل ۹). این مرحله نیاز به تنظیماتی دارد که در زیر آورده شده است (شکل ۱۰).

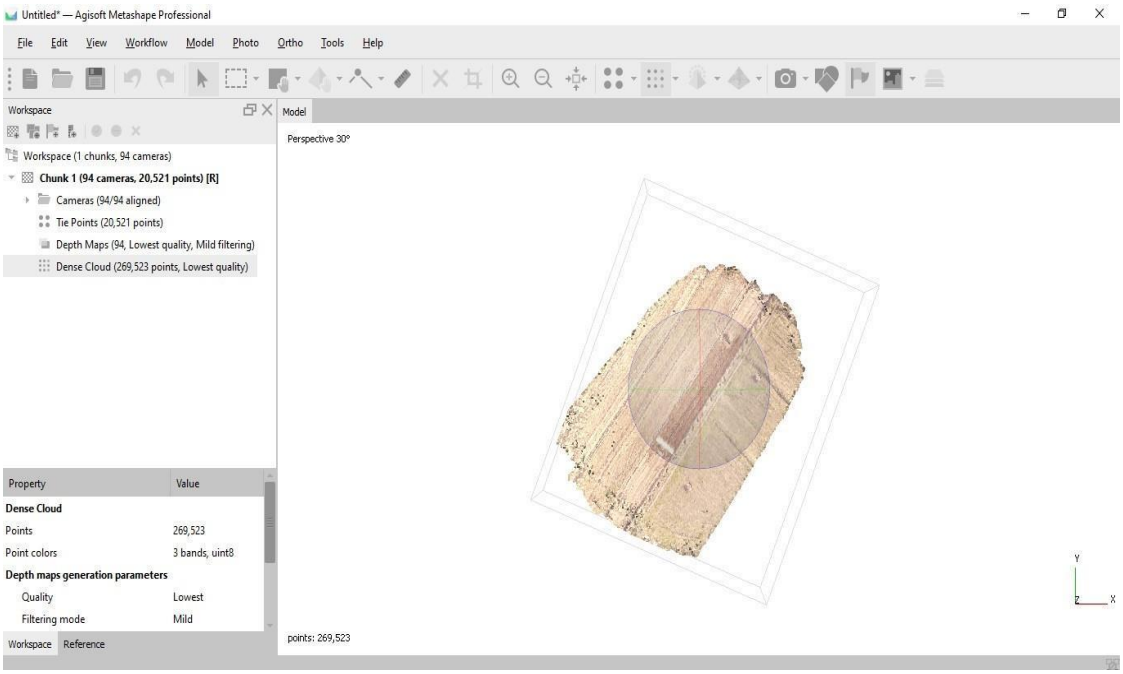
- **High:** Quality یا Ultra High (زمان‌بر است).
- **Mild:** Depth Filtering (برای سطوح طبیعی) یا Aggressive (برای سازه‌ها)
- **خروجی:** ابرنقاط متراکم (شکل ۱۱)



شکل ۹- انتخاب گزینه Build Dense Cloud



شکل ۱۰- تنظیمات گزینه Build Dense Cloud

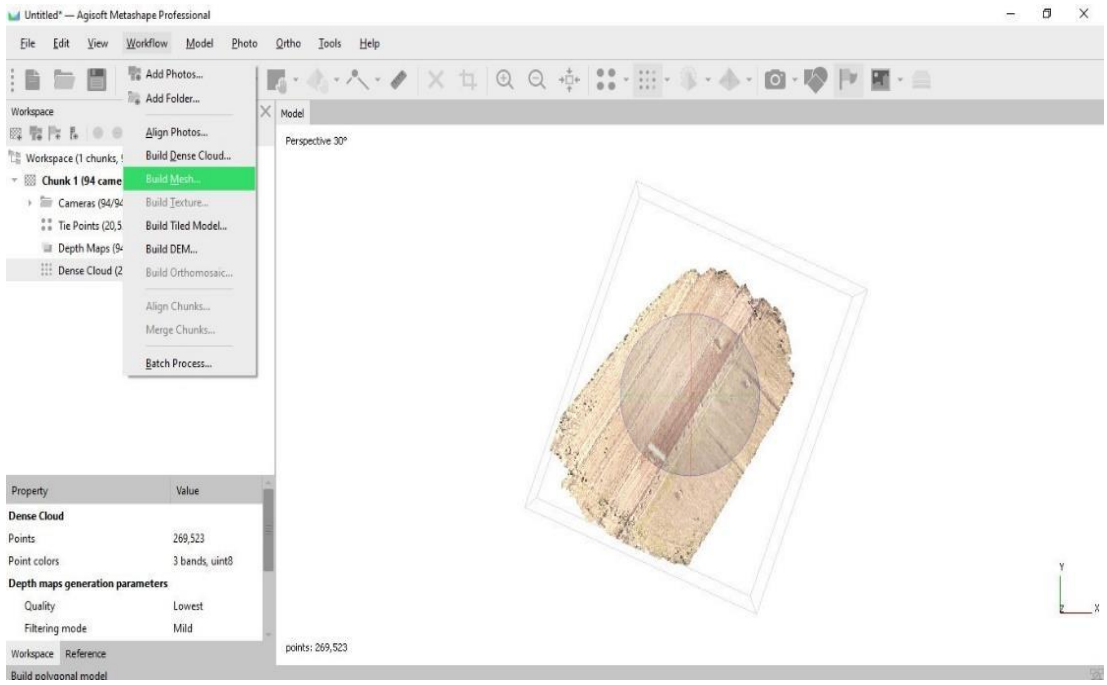


شکل ۱۱- ابر نقاط متراکم

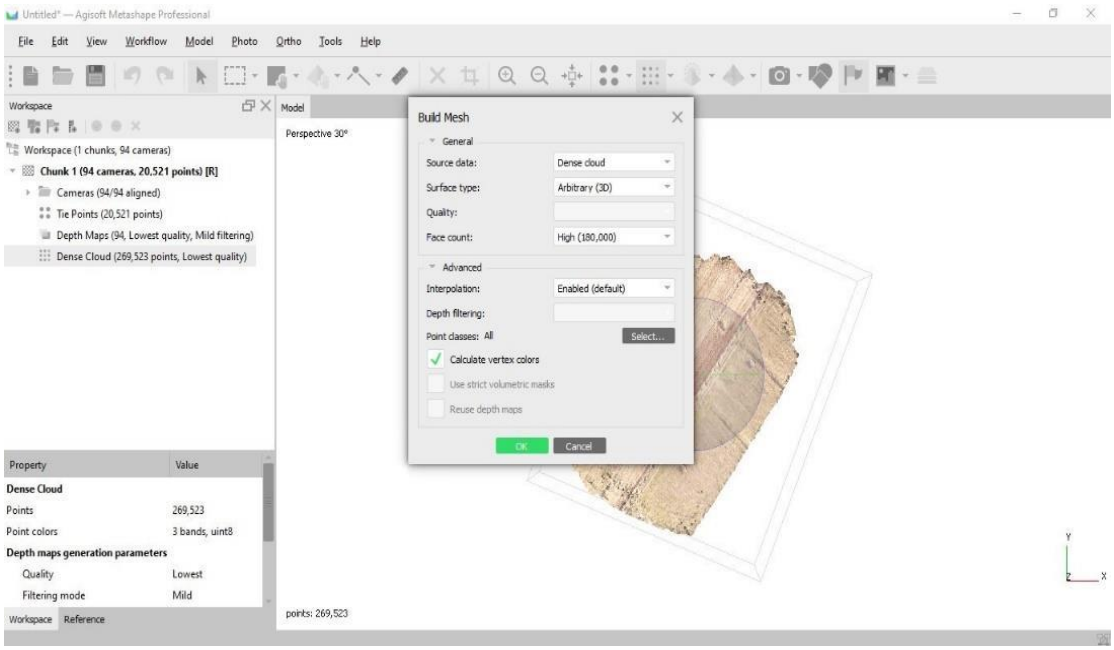
۳-۸- ساخت مدل سه‌بعدی سطح زمین (Mesh)

در صورت نیاز به مدل سه‌بعدی بصری از طریق انتخاب منوی Workflow و سپس Build Mesh اقدام شود (شکل ۱۲). این مرحله نیاز به تنظیماتی دارد که در زیر آورده شده است (شکل ۱۳).

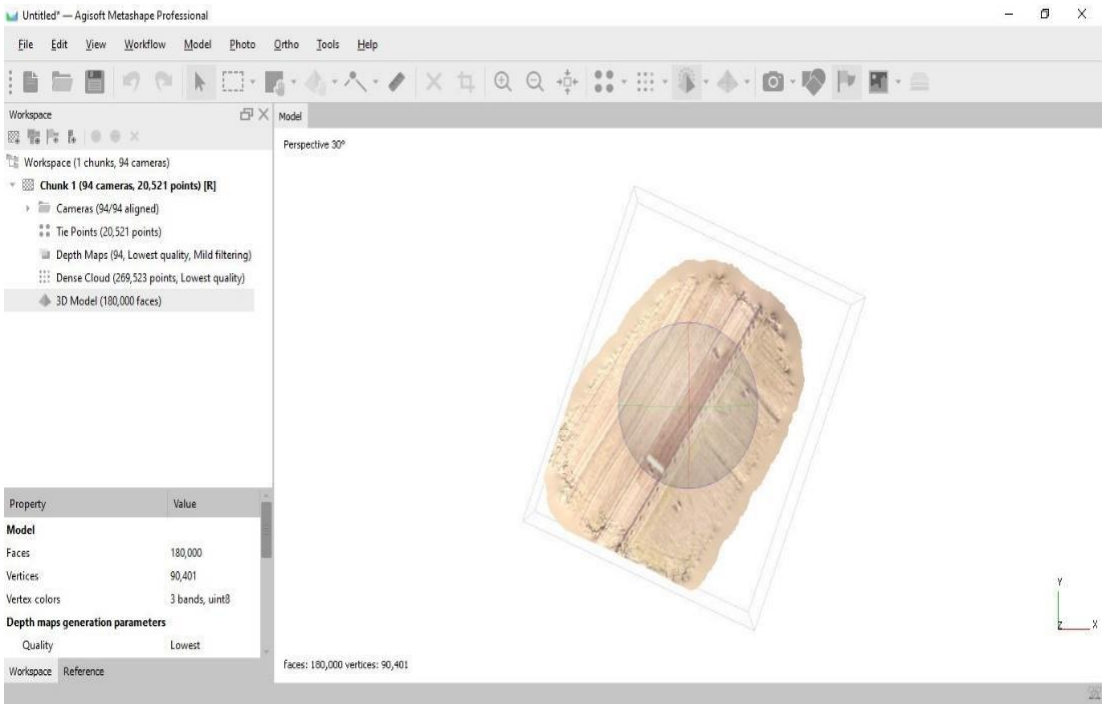
- **Arbitrary**: Surface Type یا Height Field
- **Dense Cloud**: Source Data
- **خروجی:** Mesh (شکل ۱۴)



شکل ۱۲- انتخاب گزینه Build Mesh



شکل ۱۳- تنظیمات گزینه Build Mesh

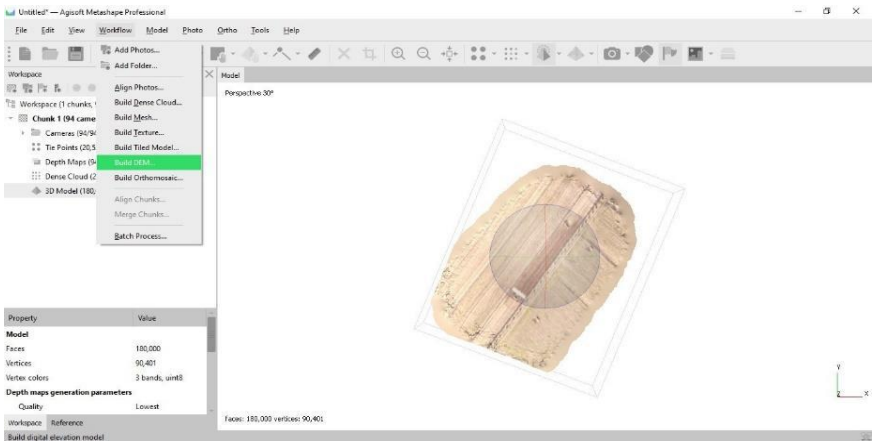


شکل ۱۴- مدل سه‌بعدی سطح زمین

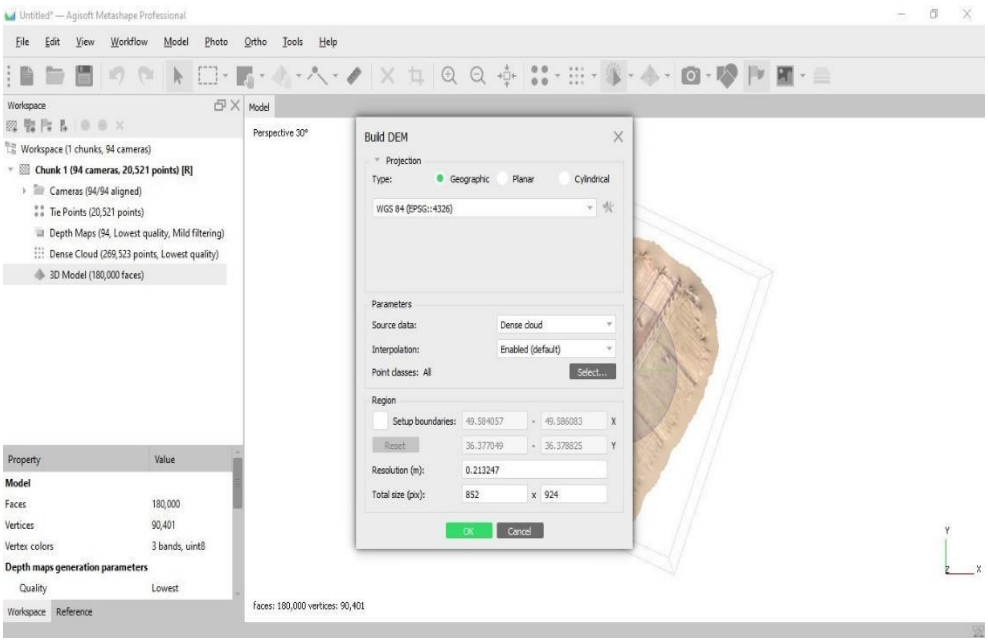
۳-۹- ساخت مدل رقومی ارتفاع (DEM)

ساخت مدل رقومی ارتفاع که هدف از این دستورالعمل است، با انتخاب منوی Workflow و سپس Build DEM ساخته شود (شکل ۱۵). تنظیمات مربوطه در زیر آورده شده است (شکل ۱۶).

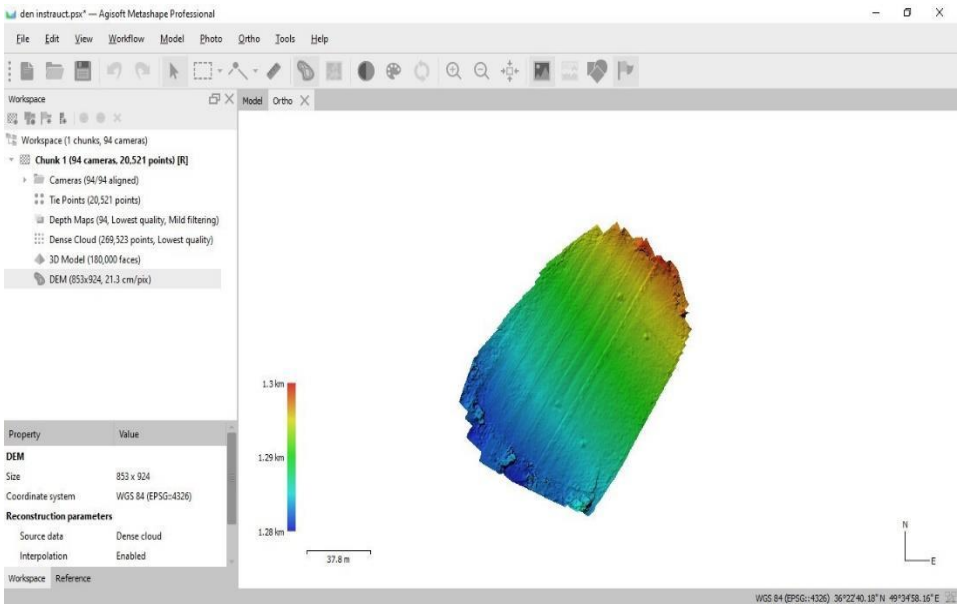
- **Dense Cloud:** Source
- **Projection:** مطابق سیستم مختصات پروژه
- **Resolution:** به‌صورت خودکار یا دستی (به‌طور مثال ۵ cm/pixel)
- **خروجی:** DEM (شکل ۱۷)



شکل ۱۵- انتخاب گزینه Build DEM



شکل ۱۶- تنظیمات گزینه Build DEM



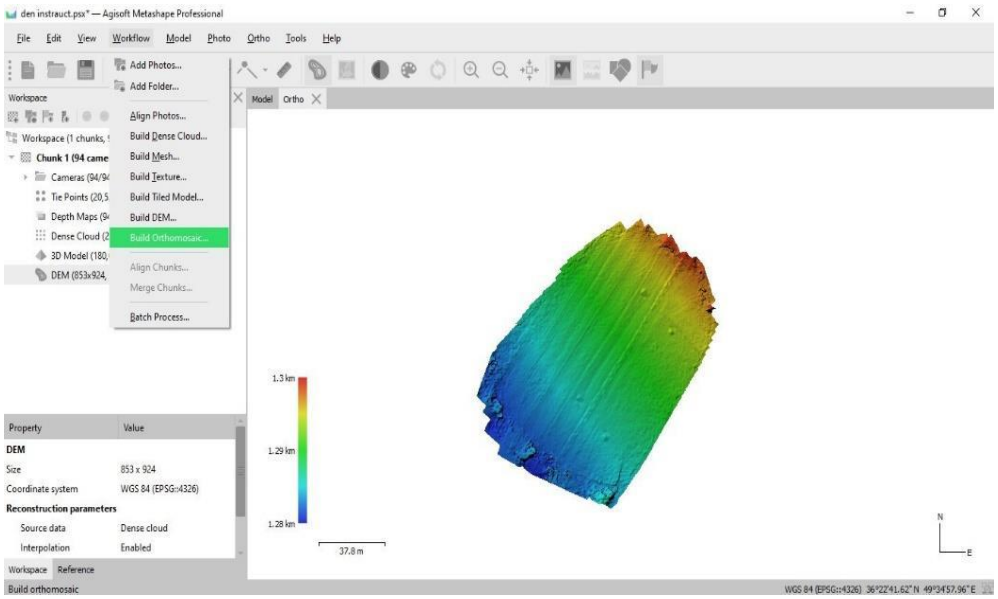
شکل ۱۷- مدل رقومی ارتفاع

۳-۱۰- ساخت عکس ژئورفرنس‌شده (Ortho-mosaic)

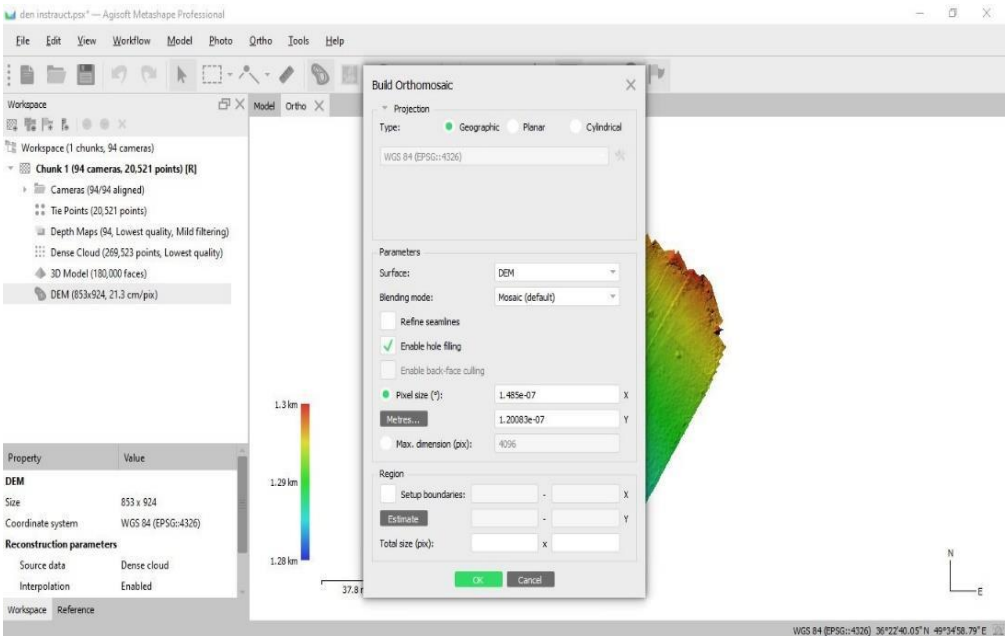
در صورت نیاز، برای تهیه عکس ژئورفرنس‌شده، ابتدا منوی Workflow و سپس Build Orthomosaic انتخاب شود (شکل ۱۸). تنظیمات موردنیاز در زیر آورده شده است (شکل ۱۹).

- **DEM**: Source
- **DEM**: Surface

- **Mosaic:** Blending Mode یا Average
- **خروجی:** عکس ژئورفرنس‌شده



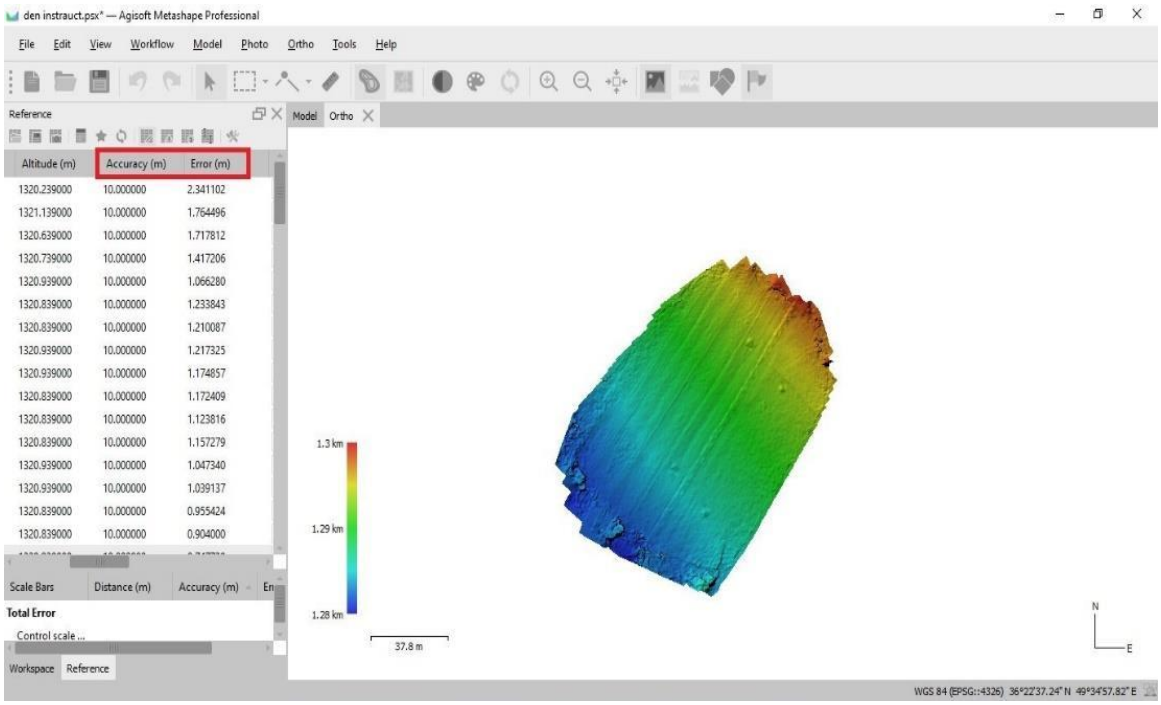
شکل ۱۸- انتخاب گزینه Build Orthomosaic



شکل ۱۹- تنظیمات گزینه Build Orthomosaic

۳-۱۱- بررسی کیفیت و دقت

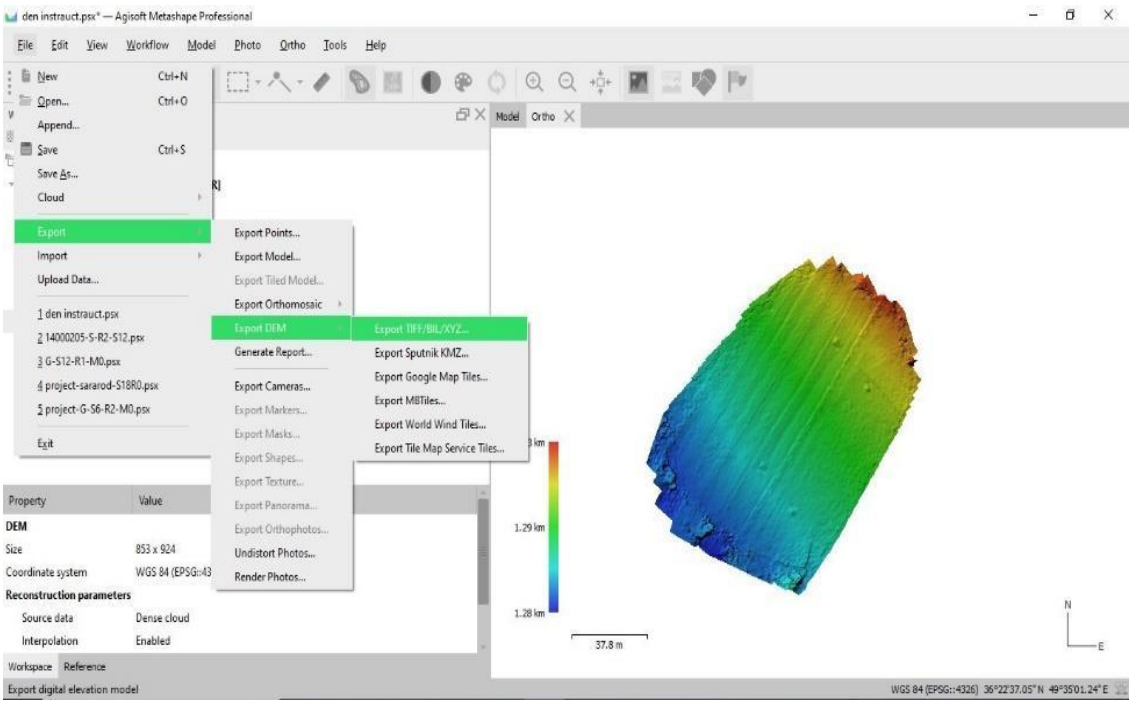
بررسی کیفیت و دقت محصولات خروجی، از طریق صفحه Reference انجام می‌شود که می‌توان خطای افقی و عمودی را بررسی کرد (شکل ۲۰). خطای مطلوب بسته به نوع پروژه و دقت مورد نیاز متفاوت است اما خطای مطلوب در راستای افقی کمتر از ۱۰ سانتی‌متر و در راستای عمودی کمتر از ۲۰ سانتی‌متر با داشتن GCP مطلوب است.



شکل ۲۰- بررسی کیفیت و دقت خروجی‌های نرم‌افزار

۳-۱۲- خروجی‌گرفتن از مدل رقومی ارتفاع

برای خروجی‌گرفتن از DEM، ابتدا منوی File، سپس Export و در نهایت Export DEM انتخاب شود (شکل ۲۱). فرمت پیشنهادی GeoTIFF است. امکان خروجی‌گرفتن از محصولات پروژه از قبیل Ortho، Cloud و Mesh نیز وجود دارد.



شکل ۲۱- خروجی‌گرفتن از مدل رقومی ارتفاع

۳-۱۳- نکات فنی و کاربردی

- استفاده از GCPها دقت DEM را به‌ویژه در مناطق با توپوگرافی متغیر به‌شدت افزایش می‌دهد.
- هنگام تصویربرداری، نور یکنواخت و پرهیز از سایه‌اندازی شدید، کیفیت نتایج را بهبود می‌دهد.
- از پرواز با ارتفاع کم (۱۲۰–۴۰ متر) و دوربین با قدرت تفکیک بالا استفاده شود.
- پس از ساخت DEM، می‌توان در نرم‌افزارهایی مانند QGIS یا ArcGIS برای تولید شیب، جهت، خطوط تراز، حوزه آبخیز و مسیر رواناب استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این دستورالعمل، فرایند تولید مدل رقومی ارتفاع (DEM) از تصاویر برداشت‌شده با تصاویر پهپاد و پردازش آنها در نرم‌افزار Agisoft Metashape تشریح شد. روش ساختار از حرکت (SfM)، این امکان را فراهم می‌سازد که مدل‌های سه‌بعدی دقیق از سطح زمین ایجاد شود. این مزیت، به‌ویژه در مطالعات محیطی و منابع طبیعی که نیازمند پایش‌های مکرر و کم‌هزینه هستند، بسیار ارزشمند است.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای این روش، مطالعه و پایش فرسایش خاک است. فرسایش به‌عنوان یکی از چالش‌های جدی در مدیریت پایدار منابع خاک، نیازمند درک دقیق از تغییرات ریزتوپوگرافی در بازه‌های زمانی مختلف است. DEMهای تولیدشده از تصاویر پهپاد، به‌ویژه در مقیاس‌های محلی، امکان برآورد حجم خاک فرسایش‌یافته یا تجمع‌یافته، تحلیل تغییرات ناهمواری قبل و بعد از بارش یا آزمایش‌های شبیه‌ساز باران، و تهیه نقشه‌های شیب، جهت و طول دامنه را فراهم می‌کنند؛ داده‌هایی که مستقیماً در مدل‌سازی فرسایش، مانند مدل‌های RUSLE، WaTEM/SEDEM و یا در تحلیل شاخص‌های اتصال رسوب[1] به‌کار می‌روند.

از سوی دیگر، امکان برداشت میدانی سریع با تصاویر پهپاد، اجرای مطالعات تکرارشونده[2] را در مناطق حساس به فرسایش مانند اراضی شیب‌دار، مناطق تخریب‌شده، یا نواحی تحت عملیات حفاظتی مانند مالچ‌پاشی و تراس‌بندی، تسهیل می‌کند. همچنین این روش می‌تواند در واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های فرسایش و نیز در آموزش‌های میدانی برای دانشجویان علوم خاک و مهندسی منابع طبیعی بسیار مفید باشد.

به‌طورکلی، ترکیب روش فتوگرامتری با رویکردهایی مانند استفاده از تصاویر پهپادی، می‌تواند ابزار قدرتمندی برای بررسی کمی و کیفی فرسایش خاک فراهم کند؛ ابزاری که بیشینه اطلاعات ممکن از تغییرات سطحی خاک را در اختیار محققان قرار می‌دهد.

منابع مورد استفاده

- Agisoft, LLC. 2020. Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.6. St. Petersburg, Russia, 23 pages. Retrieved from: https://www.agisoft.com
- Arnold, J.G. Srinivasan, R. Muttiah, R.S. Williams J.R. 1998. Large Area Hydrologic Modeling And Assessment Part I: Model Development. Journal of the American Water Resources Association. 34(1): 73-89.
- Fonstad, M.A., Dietrich, J.T., Courville, B.C., Jensen, J.L., & Carbonneau, P.E. 2013. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. Earth Surface Processes and Landforms, 38(4): 421–430.
- Hengl, T. & Reuter, H.I. 2009. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science, Elsevier, 772 pages.
- James, M.R. & Robson, S. 2012. Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 117(F3): 1-17.
- Li, Z., Zhu, Q. & Gold, C. 2005. Digital Terrain Modeling. CRC Press, 323 pages.

[1] Sediment Connectivity
[2] multi-temporal

- Maune, D.F. 2007. Digital Elevation Model Technologies and Applications. ASPRS, 657 pages.
- Morgan, R. 2005. Soil Erosion and Conservation, 304 pages.
- Smith, M.W., Carrivick, J.L. & Quincey, D.J. 2016. Structure from motion photogrammetry in physical geography. Progress in Physical Geography, 247–275.
- Turner, D., Lucieer, A. & Watson, C. 2012. An automated technique for generating georectified mosaics from UAV imagery. Remote Sensing, 1392–1410.
- Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J. & Reynolds, J.M. 2012. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. Geomorphology, 179: 300–314.
- Wilson, J.P. & Gallant, J.C. 2000. Terrain Analysis: Principles and Applications. Wiley, 479 pages.

Abstract

The rapid expansion of unmanned aerial vehicles (UAVs) in remote sensing has significantly enhanced the production of high-resolution Digital Elevation Models (DEMs) for environmental and geoscientific applications. UAV-derived DEMs provide a reliable basis for detailed topographic analysis, extraction of morphometric parameters such as slope and aspect, identification of flow pathways, volumetric change estimation, and monitoring of geomorphological processes. Among available photogrammetric software packages, Agisoft Metashape is widely used for three-dimensional reconstruction and DEM generation based on the Structure from Motion (SfM) algorithm .This guideline aims to present a standardized and reproducible workflow for generating DEMs from UAV imagery using Metashape. The procedure includes image preparation and selection, coordinate system definition, image alignment, dense point cloud generation, camera parameter optimization, and final DEM extraction. In addition, technical considerations for improving model accuracy, the incorporation of Ground Control Points (GCPs), and accuracy assessment using RMSE statistics are discussed .The proposed workflow serves as a practical reference for researchers, environmental specialists, and students seeking to produce accurate DEMs and apply them in a wide range of environmental studies, including land surface change detection and soil erosion analysis.

Keywords: Dense point cloud, Ground control points, Image processing, Photogrammetry, Topography.

Ministry of Agriculture-Jahad
Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Title: Building a Digital Elevation Model (DEM) from UAV images in Agisoft Metashape
Author: Zahra Gerami
Editor: Saeed Nabipay Lashkarian
Document Formatting: Abbas Seddigh
Publisher: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute
Circulation:10 Copies
Date of publication: Spring 2026
This scientific work has been registered with the series number of **69194** at the date of **2026-04-27** the Agriculture Information and Scientific Documents Center. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or translated without the original reference.

Ministry of Agriculture-Jahad
A Agricultural Research, Education and Extension Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Technical Guidline:
Building a Digital Elevation Model (DEM) from UAV Images in Agisoft Metashape for Soil Erosion Monitoring and Modeling

Author:
Zahra Gerami

Series number: 69194

2026

Minstry of Agriculture - Jahad
Agriculture Research, Education and Extention Organization
Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

Technical Guideline

Building a Digital Elevation Model (DEM) from UAV Images in Agisoft Metashape for Soil Erosion Monitoring and Modeling

Authors:
Zahra Gerami

Series Number: 69194

2026