

کاربرد تصاویر پهپاد در محاسبه مدل رقومی ارتفاعی زمین

محمد حسینقلی زاده¹ و مسعود شیرازیان^{2*}

¹ دانشجوی کارشناسی، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

² استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

m.shirazian@sru.ac.ir

چکیده: امروزه پرنده‌های هدایت پذیر از دور، نقش مهمی را در زمینه‌های مختلف علوم مهندسی و نظامی ایفا می‌کنند. مزایای استفاده از این گونه فناوری قابل مقایسه با دوربین‌های نقشه‌برداری و یا سیستم‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای نمی‌باشد. هدف اصلی استفاده از این گونه فناوری‌ها جمع‌آوری اطلاعات بدون نیاز به حضور مستقیم در محل، در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با بیشترین دقت می‌باشد. مدل رقومی ارتفاعی زمین یکی از نیازهای اساسی در بسیاری پروژه‌ها می‌باشد. روش‌های قدیمی برای بدست آوردن آن بسیار پرهزینه و زمانبر است. پرنده‌های سبک یا همان پهپادها این قابلیت را دارند که هم به صورت غیر اتوماتیک، نیمه اتوماتیک و یا اتوماتیک فرایند گردآوری داده و یا تصویر برداری از منطقه مورد مطالعه را انجام داده و در کوتاه‌ترین زمان ممکن مدل رقومی ارتفاعی زمین با استفاده از روش‌های فتوگرامتری برد کوتاه بدست آید. هدف اصلی این پژوهش تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین با استفاده داده‌های اخذ شده از تصاویر پهپاد می‌باشد. در این مطالعه متناسب با مساحت منطقه مورد نظر 11 نقطه کنترل با کمک روش RTK برای کنترل و افزایش دقت پردازش‌ها در نظر گرفته شده است. دقت مدل رقومی ارتفاعی بدست آمده برابر با 2.23 سانتی متر می‌باشد. با توجه به دقت بدست آمده از این روش می‌توانیم از آن در پروژه‌های مختلف نقشه‌برداری به عنوان داده‌های کمکی، یا روشی جایگزین نقشه‌برداری زمینی و یا کنترل و نظارت پروژه به دلیل قیمت مناسب و جمع‌آوری داده‌ها در کوتاهترین زمان ممکن استفاده کنیم.

کلمات کلیدی: تصویربرداری هوایی، مدل رقومی ارتفاعی زمین، پهپاد، روش RTK، ارزیابی دقت.

The usage of UAV photogrammetry for DEM calculation

M. Hosseingholizadeh and M. Shirazian

Abstract: Having a lot of wondrous benefits, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are widely used for an array of applications in engineering and military sciences for several purposes. Without a shadow of doubt, the merits of using UAVs is not comparable with other Surveying techniques. The main aim of utilizing these kinds of technology would be gathering field data with high accuracy which will otherwise is colossal waste of time and expenditure. Digital elevation model is one of the most significant part of each project. Producing this data with old methods is not acceptable due to time and price of these kind of old approaches. DEM can be produced with manual, semi-automatic and automatic techniques by applicability of UAVs technology gathering images in very short time and convert them into DEM maps with the usage of photogramarty methods. The main purpose of this study is generating new method or approach for producing digital elevation model (DEM) with the use of UAVs data. In this research 11 control point (GCP) were gathered by RTK GPS method for improving the accuracy of final results. The accuracy of this model is 2.23 cm. With regard to the accuracy of the result, this approach can be utilized instead of many surveying techniques, or as a supplement data, or it can help organizations to use it as an approach for monitoring and assessing the accuracy of each project.

Keywords: airborne photogrammetry, digital elevation model, UAVs, RTK method, accuracy analysis

1- مقدمه

پرنده هدایت پذیر از دور یا به اختصار پهپاد¹ یکی از برترین و بروزترین روش‌ها از نظر قیمت و قابلیت تطبیق سازی با شرایط محیطی مختلف در مقایسه با روش‌های تصویر برداری با هواپیماهای نقشه‌برداری می‌باشد [1]. در حیطه‌ی کارهای ژئوماتیک استفاده از پهپادها برای بدست آوردن اطلاعات توپوگرافی زمین به یکی پرکاربردترین ویژگی‌های این پرنده‌های سبک تبدیل شده است. پرنده‌های بال ثابت² یکی از ابزارهای مناسب برای تولید مدل‌های رقومی سطح زمین³ و تصاویر ارتو به ویژه در بلوک-های بزرگ (حدود 100 هکتار) می‌باشند. از جمله مزایای این گونه پرنده‌ها به طراحی نقشه‌های پروازی متناسب با موقعیت عوارض با شرایط زمینی مختلف، رزولوشن مکانی مناسب تصاویر (پنج سانتیمتر و در برخی موارد کمتر) و همچنین استفاده ساده از این پرنده‌ها و پایین بودن مدت زمان یادگیری هدایت آن‌ها نسبت به هواپیما فتوگرامتری، می‌باشد [2]. البته به دلیل محدودیت‌های فراوان به خصوص در مورد وزن محموله دقت بدست آمده از برخی پروژه‌های تصویربرداری با هواپیماهای فتوگرامتری نسبت به پهپادها از دقت بالاتری برخوردار هستند اما برای رسیدن به دقت‌های بهتر در پروژه‌های تصویربرداری با پرنده‌های سبک نیاز به اندازه‌گیری نقاط کنترل با دقت بالاتر می‌باشد [3].

مدل رقومی ارتفاعی زمین یکی از نیازهای اساسی در بسیاری پروژه‌ها می‌باشد. روش‌های قدیمی برای بدست آوردن آن بسیار پرهزینه و زمانبر می‌باشد مانند نقشه برداری زمینی. امروزه یکی از استفاده‌های رایج فتوگرامتری تولید نقشه توپوگرافی می‌باشد. فتوگرامتری هوایی و لایدار⁴ یکی از مناسب‌ترین روش‌ها با دقت بسیار بالا می‌باشد ولی هزینه آن‌ها به خصوص برای محدوده‌های کوچک بسیار زیاد است. دلایل بسیاری از جمله هزینه مناسب، نظارت و کنترل پروژه‌های در حال انجام، شناسایی و جمع‌آوری اطلاعات مکانی با دقت بالا و همچنین تولید نقشه‌هایی با اهداف مختلف سبب می‌شود که استفاده از پهپادها روز به روز گسترش و فراگیر شود. پرنده‌های سبک این قابلیت را

دارند که هم به صورت غیر اتوماتیک، نیمه اتوماتیک و یا اتوماتیک فرایند گردآوری داده و یا تصویر برداری از منطقه مورد مطالعه را انجام دهند که نشانه‌ی انعطاف پذیری آن‌ها در پروژه‌ها و حل مسائل گوناگون می‌باشد [4,5]. پرنده‌های سبک ابتدا در زمینه‌های نظامی کاربرد داشتند اما از سال 1979 پرنده‌های بال ثابت برای کاربردهای مختلف نقشه برداری و علوم ژئوماتیک مورد استفاده قرار گرفت.

استفاده از پهپادها به عنوان یک جایگزین مناسب برای روش‌های متداول تصویربرداری با روش‌های سنتی فتوگرامتری می‌باشد [6]. هدف از استفاده از این گونه تصاویر رسیدن به دقت مکانی⁵ و زمانی⁶ بالاتر با هزینه‌ی کمتر می‌باشد. برای جمع‌آوری داده‌ها یک پرنده، یک دستگاه کنترل‌کننده و یک محموله متناسب با هدف پروژه مورد نیاز است [7-9]. از جمله کاربردهای مهم استفاده از تصاویر پهپادها می‌توان به شناسایی و تولید نقشه تغییرات برای اشکارسازی و مدیریت حوادث طبیعی به دلیل سهولت در جمع‌آوری اطلاعات بدون نیاز به باند پرواز یا مسیری مشابه آن می‌باشد [10]. کشاورزی دقیق از جمله کاربردهای دیگر این گونه پرنده‌های سبک می‌باشد. محاسبه میزان رطوبت خاک، مشاهده روند تغییرات پوشش گیاهی یا میزان رشد محصولات با استفاده از محموله‌هایی که توانایی تولید داده‌های چند طیفی⁷ را دارند، می‌باشد. بنابراین برای محصولات کشاورزی مانند برنج، گندم و ذرت که پایش روند رشد گیاه در یک سری زمانی بسیار مهم می‌باشد، می‌توان از قابلیت این گونه ابزارها استفاده کرد [11]. آثار باستانی مخصوصاً بناهای تاریخی که قدمت چندین ساله دارند از جمله مواردی هستند که نیازمند نگهداری و پایش تغییرات در طول بازه زمانی مشخص می‌باشند. به همین دلیل می‌توان از قابلیت‌های پهپادها برای رسیدن به این هدف استفاده کرد [12]. مدلسازی سه بعدی از جمله نکات برجسته استفاده از پهپاد می‌باشد. این پرنده سبک قادر است تصاویر را هم به صورت قائم و هم به صورت مایل تهیه کند. در این صورت می‌توانیم مدلی سه بعدی از منطقه مورد مطالعه را بدست آوریم و از آن برای کنترل و مدیریت برنامه‌های شهری استفاده کنیم [13]-

¹ UAVs (Unmanned Aerial Vehicles)

² Fixedwing UAVs

³ Digital Surface Model (DSM)

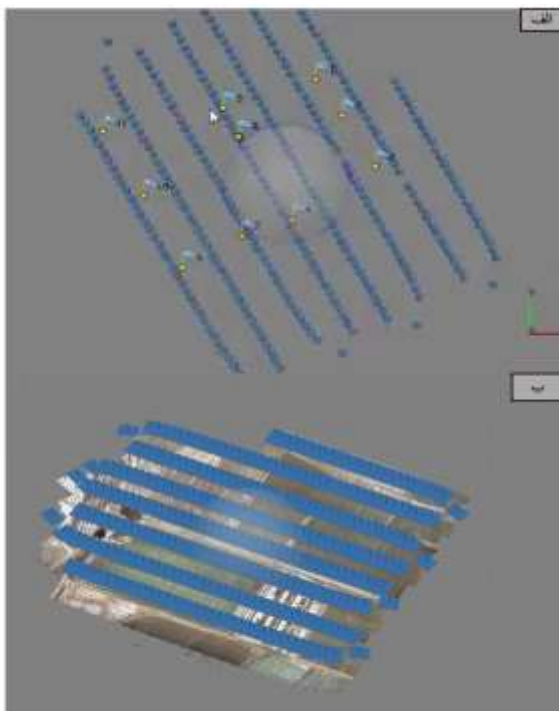
⁴ Airborne Light Detection and Ranging

⁵ Spatial Resolution

⁶ Temporal Resolution

⁷ Multi-Spectral

میزان پوشش عرضی و پوشش طولی، نقاط پروازی، طول مسیر و ارتفاع پروازی، نقشه نهایی مطابق با شکل 1-ب طراحی شد. در فرایند تصویر برداری باید به برخی عوامل بسیار مهم توجه شود از جمله: شرایط آب و هوایی و شدت باد منطقه در روز پرواز، جهت قرار گیری خورشید برای داشتن تصاویری با شدت تقریباً یکسان بازتاب نور، متناسب با مدت زمان پرواز و به تعداد پرواز باید به تعداد مناسب باتری برای پرند تعبیه شود و در نهایت سلامت باتری‌ها، موتورها و مسیریاب پرند چک شود. بعد از تعریف مسیر پروازی پرند متناسب با نقشه و محل نقاط تعریف شده تصویربرداری کرده و به نقطه‌ای پروازی باز می‌گردد [19].



شکل 2. تصویر "الف" نشاندهنده 11 نقطه کنترل به همراه شماره نقاط آن‌ها در نرم افزار Photoscanner Agisoft می‌باشد و تصویر "ب" نشاندهنده ابرنقاط و محل قرار گیری دوربین در موقعیت‌های مختلف می‌باشد.

Fig. 2. The above picture indicates 11 control points implementing in Agisoft Photoscanner and second one representing the location of cameras.

2-5 نقاط کنترل زمینی

نقاط کنترل زمینی¹¹ نقاطی هستند که مختصات آن‌ها به طور دقیق بروی زمین مشخص شده‌اند [20]. با طراحی این نقاط در نرم افزار Station Ground DJI و پیاده سازی این نقاط بر روی زمین قبل از پرواز کمک بسیاری برای تهیه‌ی

همچنین نقاط کنترل با استفاده از یک صفحه 50 در 50 سانتی متری آلومینیومی که برای تشخیص بهتر در تصاویر با رنگ‌های قرمز و سفید مشخص شده‌اند.

2-3 فتوگرامتری پهپاد

به طور کلی در این نوع فتوگرامتری تعدادی تصاویر از عارضه‌ی مورد نظر اخذ می‌گردد و سپس به تهیه نقشه و مدل سازی آن عارضه پرداخته می‌شود. به همین منظور باید مراحل آماده‌سازی، تارگت گذاری، ایجاد سیستم کنترل، کالیبراسیون (در صورت نیاز)، طراحی مسیر پرواز متناسب با نقاط کنترل از پیش طراحی شده، پردازش و پیاده‌سازی در نرم‌افزارهای مربوطه، اندازه گیری عوارض تولید شده و مقایسه با نقاط معلوم و سرانجام تولید محصول مورد نظر انجام شود. طراحی فرایند تصویر برداری به عوامل شکل هندسی که در بر گیرنده‌ی وسعت منطقه و فاصله تا عارضه می‌باشد، میزان پیچیدگی عوارض و همچنین بافت منطقه بستگی دارد. در مرحله تارگت گذاری میزان نور رسیده به هر تارگت و محل قرارگیری آن‌ها برای انجام توجیهات از اهمیت بالایی برخوردار است و هدف از این کار ثابت کردن نقاط اندازه‌گیری و نقاط کنترل می‌باشد [14].

منحصر به فرد بودن شرایط هر پروژه از ویژگی‌های فتوگرامتری پهپاد می‌باشد. طراحی اجزا شبکه فتوگرامتری در موفقیت پروژه ضروری است. به طور کلی دقت اندازه گیری در یک شبکه فتوگرامتری پهپاد با تغییر مقیاس تصویر برداری، دقت اندازه گیری نقاط عکسی و تعداد تصاویر تغییر می‌کند. رابطه کلی انتشار خطا را می‌توان به عنوان مبنایی برای طراحی شبکه های فتوگرامتری برد کوتاه در نظر گرفت که در رابطه 1 مشهود است.

$$\sigma_c = \frac{q}{\sqrt{k}} S \sigma \quad (1)$$

در این رابطه، σ_c متوسط انحراف معیار، q ضریب استحکام هندسی که مقداری بین صفر و یک است. و پارامتر k تعداد متوسط تصاویر اخذ شده، S عدد مقیاس و σ خطای متوسط مختصات نقاط عکسی می‌باشد [15].

2-4 برنامه پروازی و جمع آوری داده‌ها

مطابق با شکل 1-ب طراحی مسیر پروازی با نرم افزار DGI Station Ground انجام شده است. بعد از مشخص کردن

¹¹ Ground Control Points (GCPs)

کاربرد تصاویر پهپاد در محاسبه مدل رقومی ارتفاعی زمین

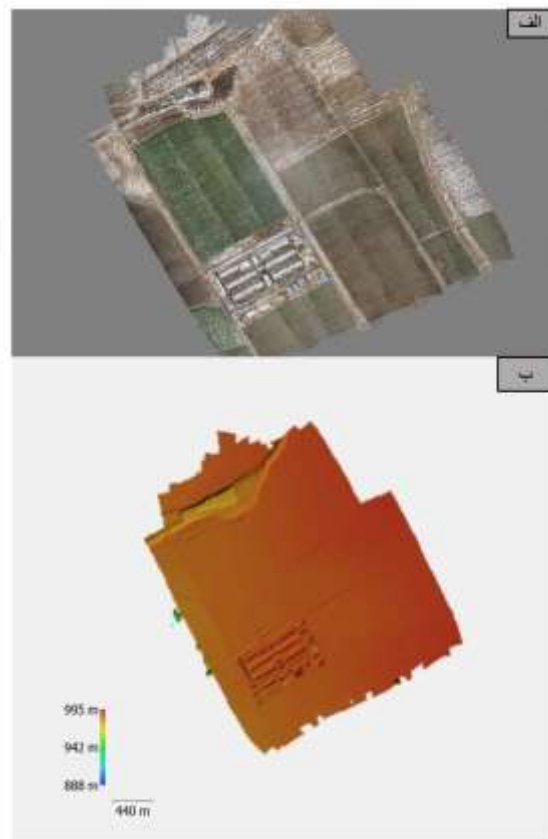
شده از پهپاد، از نرم افزاری تجاری Agisoft Photoscanner استفاده شده است. البته نرم افزارهای دیگری برای پردازش تصاویر پهپاد وجود دارد که مطابق مطالعات انجام شده نرم افزار Agisoft Photoscanner از دقت بیشتری نسبت به سایر نرم افزارها برخوردار است [22]. این نرم افزار از جمله قوی ترین نرم افزارهای پردازش تصاویر پهپاد با هدف تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین و ارتوفتو¹³ می باشد. برای استفاده بهتر از این نرم افزار توصیه شده است که از یک سیستم عامل قدرتمند برای پیاده سازی و گرفتن خروجی های مورد نظر استفاده گردد [23]. خروجی ابر نقاط (18756247 نقطه) در شکل 3-الف و مدل رقومی ارتفاع زمین که از ابر نقطه بدست آمده است با دقت 5.1 سانتی متر در شکل 3-ب نشان داده شده است.

3- ارزیابی دقت¹⁴ و نتایج

برای بررسی دقت نقاط ارتفاعی از پنج نقطه کنترل استفاده می کنیم که این نقاط با شماره های 2، 4، 6، 9 و 11 در شکل 2-الف مشخص شده اند. ترتیب نقاط چک و تعداد آن ها از اهمیت بسیاری برخوردار است به طوری باید به صورت همگن تمامی سطوح منطقه مورد مطالعه را پوشش دهند [24]. حال با کمک این پنج نقطه که متناسب با مساحت سطح مورد بررسی انتخاب شده اند، مقدار RMSE¹⁵ یا همان میانگین مربع خطاها بر اساس رابطه شماره دو محاسبه می شود که همان مقدار ارتفاع محاسبه شده از داده های پهپاد و zref همان مقدار دقیق ارتفاع در پنج نقطه مورد نظر می باشد. تمامی نتایج در شکل 4- نشان داده شده است. مقدار دقت محاسبه شده 2.23 سانتی متر می باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (zdem - zref)^2}{n}} \quad (2)$$

ابر نقطه دقیق تر می نماید. در نتیجه نقاط کنترل که 40 درصد آن ها به عنوان نقطه چک برای ارزیابی در نظر گرفته شده اند، قبل از پرواز در منطقه مورد مطالعه با کمک روش RTK GPS¹² که استفاده از آن باعث شده است که دقت این 11 نقطه کنترل (شکل 2) 2.12 سانتی متر شود، در منطقه مشخص گردیده اند و برای مشخص شدن هرچه بهتر این نقاط در تصاویر از صفحات الومینیومی با رنگ سفید و قرمز که بازتاب بهتری دارند استفاده شده است [21].



شکل 3. تصویر "الف" نشاندهنده ابرنقاط تولید شده در نرم افزار Agisoft Photoscanner و تصویر "ب" نشاندهنده مدل رقومی ارتفاعی زمین می باشد.

Fig. 3. The upper picture indicates cloud points producing in Agisoft Photoscanner and second one symbolized DEM

6-2 پردازش داده ها و تولید مدل رقومی ارتفاعی

زمین

هدف از این مطالعه تولید مدل زمین مرجع شده رقومی ارتفاعی زمین می باشد. برای پردازش تصاویر جمع آوری

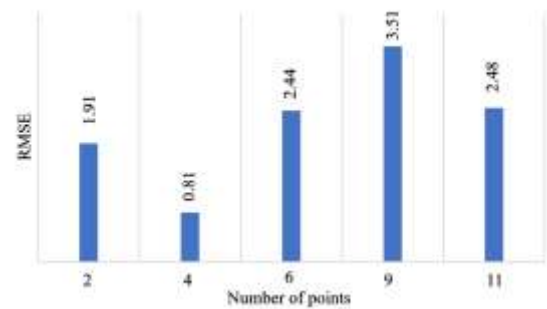
¹³ Orthophoto

¹⁴ Accuracy Analysis

¹⁵ Root Mean Square Error

¹² Real-Time Kinematic Global Positioning System

سه بعدی تولید شده از دقت بسیار خوبی برخوردار است [24] در حالی که شرایط آب و هوایی مختلف، لرزش‌های دوربین، خطای عدسی دوربین¹⁶ و حتی پردازش‌های نرم افزاری ممکن دقت مدل تولید شده را تحت تاثیر قرار دهد. با تمام این خطاها استفاده از پرنده‌ها سبک می‌تواند روش مناسبی برای تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین و یا استفاده در سایر زمینه‌ها باشد. مطالعات بعدی می‌تواند در مورد نحوه‌ی پیاده‌سازی و تولید مدل‌هایی با دقت بالاتر که اثر خطاهای سیستماتیک در آن‌ها کمتر باشد، انجام شود.



شکل 4. محاسبه میانگین مربع خطاها

Fig. 4. The bar chart indicates RMSE values

همانطور که در شکل 4- مشخص است مقدار خطاها بین 0.81 سانتی متر و 3.51 سانتی متر می‌باشد. با توجه به این مقادیر می‌توان نتیجه گرفت که هر چه مقدار ارتفاع نقاط افزایش می‌یابد مقدار RMSE هم همراه با آن افزایش می‌یابد [25].

4- نتیجه‌گیری

هدف از این مقاله نشان دادن توانای‌های پرنده‌های هدایت پذیر از دور یا همان پهپادها در علوم ژئوماتیک در حوزه تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین در محدوده‌های کوچک که نیازمند پایش در طول بازه‌های زمانی مشخص هستند، می‌باشد. در مقایسه با سایر روش‌های تصویربرداری هوایی این فناوری می‌تواند در بسیاری از پروژه‌ها که امکان نقشه برداری زمینی به دلیل خطرات مختلف که برای انسان وجود دارد مورد استفاده قرار گیرد. زیرا هم از لحاظ هزینه و هم از لحاظ دقت نتایج قابل قبولی دارد [1,2]. مزایای مختلف استفاده از پرنده‌های سبک به دلیل هزینه، زمان و دقت مکانی مناسب سبب شده است که هم در علوم ژئوماتیک و هم در سایر علوم مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه استفاده از پرنده‌های سبک یا همان پهپادها به عنوان یک روش جایگزین، کمک‌کننده و یا کنترل‌کننده پروژه‌ها و مطالعات مختلف در خصوص تولید مدل رقومی و ارتفاعی زمین می‌باشد.

در این مقاله با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده توسط پهپاد با دقت کلی 2.23 سانتی متر مدل رقومی ارتفاعی زمین محاسبه شد. می‌توان به این نکته اشاره کرد که استفاده از این فناوری می‌تواند در سطوح مختلف با توپوگرافی مختلف مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مدل

مراجع

1. Colomina, I. & Molina, P. *Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 92, 79–97. **2014**.
2. Cevik, P., Kocaman, I., Akgul, A. S. & Akca, B. *The Small and Silent Force Multiplier: A Swarm UAV — Electronic Attack.* 595–608 **2013**.
3. Gonçalves, J. A. & Henriques, R. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas.* 104, 101–111 **2015**.
4. Eisenbeiss, H. *a Mini Unmanned Aerial Vehicle (Uav): System Overview and Image Acquisition. Process. Vis. Using High-Resolution Imag.* 7 **2004**.
5. Howard, J., Murashov, V. & Branche, C. M. *Unmanned aerial vehicles in construction and worker safety. Am. J. Ind. Med.* 61, 3–10 **2018**.
6. Francioni et al. *A New Fast and Low-Cost Photogrammetry Method for the Engineering Characterization of Rock Slopes. Remote Sens.* 11, 1267. **2019**.
7. Alsadik, B., Gerke, M. & Vosselman, G., *Automated camera network design for 3D modeling of cultural heritage objects. – Journal of Cultural Heritage* 14(6): 515–526. **2012**.
8. Cimino, M. G. C. A., Lega, M. & Vaglini, G. *Adaptive exploration of a UAVs swarm for distributed targets detection and tracking.*

¹⁶ Lens Distortion

4154?hl=fa.

19. Hackney, C. & Clayton, A. I. *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping*. 7, 1–12. **2015**.
20. Villanueva, J. K. S. & Blanco, A. C. *Optimization of Ground Control Point (GCP) Configuration for Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Surveying Using Structure From Motion*. XLII, 10–11. **2019**.
21. Sanz-ablanedo, E. & Chandler, J. H. *Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used*. **2018**. doi:10.3390/rs10101606
22. Yilmaz, C. S. & Gungor, O. *Comparison of the performances of ground filtering algorithms and DTM generation from a UAV-based point cloud*. *Geocarto Int.* 6049, 1–16. **2016**.
23. Hinge, L. et al. *Comparative Analysis of 3D Photogrammetry Modeling Software Packages For Drones Surveying*. XLII, 10–11. **2019**.
24. James, M. R., Robson, S., Oleire-oltmanns, S. & Niethammer, U. *Geomorphology Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality , quantity and bundle adjustment*. *Geomorphology* 280, 51–66. **2017**.
25. Case, M. A., Carolina, N. & Gebrehiwot, A. *Challenges and Opportunities for UAV-Based Digital Elevation Model Generation for Flood-Risk*. **2018**.
9. Baltazar, B. M., Espinoza, L. C., Banda, A. E., Horak, M. J. & Schapaugh, A. W. *Pollen-Mediated Gene Flow in Maize : Implications for Isolation Requirements and Coexistence in Mexico , the Center of Origin of*. **2015**.
10. Giordan, D., Manconi, A., Remondino, F. & Nex, F. *Use of unmanned aerial vehicles in monitoring application and management of natural hazards*. 5705, **2017**.
11. Perera, T. A. N. T., Priyankara, A. C. P. & Jayasinghe, G. Y. *Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Smart Agriculture : Trends , Benefits and Future Perspectives*, **2018**.
12. Themistocleous, K. *The Use of UAVs for Cultural Heritage and Archaeology*. 241–269 , **2019**.
13. Díaz-varela, R. A., Rosa, R. De, León, L. & Zarco-tejada, P. J. *High-Resolution Airborne UAV Imagery to Assess Olive Tree Crown Parameters Using 3D Photo Reconstruction: Application in Breeding Trials*. 4213–4232 **2015**.
14. Langhammer, J., Janský, B., Kocum, J. & Mina, R. *3-D reconstruction of an abandoned montane reservoir using UAV photogrammetry , aerial LiDAR and field survey*. 98, 9–21 **2018**.
15. Guisado-pintado, E., Jackson, D. W. T. & Rogers, D. *3D mapping efficacy of a drone and terrestrial laser scanner over a temperate beach-dune zone*. *Geomorphology*, **2018**.
16. Chow, J. Y. J. *International Journal of Transportation Dynamic UAV-based traffic monitoring under uncertainty as a stochastic arc-inventory routing policy*. *Int. J. Transp. Sci. Technol.* 1–19. **2017**.
17. Marx, A., Mcfarlane, D., Alzahrani, A. & Marx, A. *UAV data for multi-temporal Landsat analysis of historic reforestation : a case study in Costa Rica reforestation : a case study in Costa Rica*. *Int. J. Remote Sens.* 00, 1–18 **2017**.
18. Google, E. *No Title*. Available at: <https://www.google.com/maps/place/فرچک,+استان+تهران,+ایران/@35.4638333,51.5766767,22039m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x3f91ed3be5eb6c81:0x9788c66bb21777de!8m2!3d35.4367428!4d51.572>

