

## تولید ارتوفتوی حقیقی از تصاویر گوگل ارث و مقایسه با ارتوفتوی تولیدی از تصاویر پهپاد

حسن امامی<sup>۲</sup>

میناق سپهری<sup>۱</sup>

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۱۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۳۰

\*\*\*\*\*

### چکیده

در این تحقیق، رویکردی متفاوت به منظور تولید ارتوفتو از تصاویر گوگل ارث برای کاربردهای خاص پیشنهاد شده و با ارتوفتوی تولیدی از تصاویر پهپاد از لحاظ کیفی و کمی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. دقت ارتوفتوی حاصل از تصاویر گوگل ارث و داده‌های پهپاد به ترتیب ۰/۱۲۴ و ۰/۰۵۹ متر بر پیکسل حاصل شد. ارزیابی بصری نتایج نشان داد که در ارتوفتو تولیدی از تصاویر گوگل ارث لبه‌های عوارض کم ارتفاع بهتر از ارتوفتو تولیدی از تصاویر پهپاد هستند، ولی لبه‌های عوارض بلند به خصوص دارای سایه محسوس، کیفیت مناسبی ندارند. همچنین، نتایج کمی در مناطق غیرساختمانی نشان داد که با در نظر گرفتن خطای ریشه مربعی متوسط خطای ارتفاعی، در ارتوفتوی تولیدی از داده‌های گوگل ارث نسبت به داده‌های پهپاد به ترتیب ۱/۱۰ متر و ۱/۳۴ متر است. علاوه بر آن، در این مناطق ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث دارای همبستگی بالای ۹۵ درصد بوده و ضریب تعیین ۹۱ درصد را نشان دادند. در مقابل، در مناطق ساختمانی متوسط خطای ارتفاعی با در نظر گرفتن خطای ریشه مربعی متوسط، در ارتوفتوی تولیدی از داده‌های گوگل ارث نسبت به داده‌های پهپاد، به ترتیب حدوداً ۹ متر و ۵ متر است. در این مناطق نیز همبستگی پایین ۸۰ درصد بوده و ضریب تعیین ۶۵ درصد بین دو ارتوفتو حاصل شد. بنا به مجموع نتایج حاصله، خطای مؤلفه ارتفاعی ارتوفتوی تولیدی از تصاویر گوگل ارث با افزایش ارتفاعات عوارض و وجود سایه‌های بلند، افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از تصاویر گوگل ارث در تولید ارتوفتو برای کاربردهای خاص و مناطق مسطح و تپه ماهور پیشنهاد می‌شود. از دیگر مزایای استفاده از داده‌های گوگل ارث نسبت به داده‌های پهپاد، رایگان بودن داده‌های آن، استفاده از تصاویر قدیمی برای تولید ارتوفتو، کمتر بودن تقریباً چهار برابری در حجم ارتوفتو تولیدی و زمان پردازش است.

واژه‌های کلیدی: هواپیمای بدون سرنشین (پهپاد)، فتوگرامتری پهپادمبنا، تصاویر گوگل ارث، ارتوفتو

\*\*\*\*\*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، آذربایجان شرقی، ایران misag.1998@gmail.com

۲- دانشیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی مرند، دانشگاه تبریز، آذربایجان شرقی، ایران (نویسنده مسئول) h\_emami@tabrizu.ac.ir

## ۱- مقدمه

به عبارتی، می‌توان در تصویر غیرارتوفتو، علاوه بر گوشه بالایی عارضه زمینی مثل سقف ساختمان، پای قائم آن را نیز مشاهده نمود. در مراحل تولید ارتوفتو حقیقی علاوه بر حذف اعوجاجات هندسی، برای یکسان کردن روشنایی و کنتراست همه تصاویر، تصحیحات رادیومتریکی نیز صورت می‌پذیرد. نگاره (۱) نمونه‌ای از یک تصویر غیرارتوفتو و تصویر ارتوفتو شده را نشان می‌دهد.

امروزه استفاده از ارتوفتو به‌عنوان داده مکانی با دقت هندسی بالا به دلیل رفع جابه‌جایی‌های ناشی از تیلت دوربین عکسبرداری و اختلاف ارتفاع، کاربردهای روزافزون پیدا کرده است. عدم وجود جابه‌جایی‌های ارتفاعی، مقیاس ثابت و زمین-مرجع بودن ارتوفتو موجب می‌شود تا بتوان از آن به‌عنوان یک نقشه با حجم اطلاعات رستری بسیار بالا استفاده کرد. از مهم‌ترین قابلیت‌های ارتوفتو در مقابل نقشه‌های خطی، تولید سریع آن به دلیل سطح بالای اتوماسیون و وجود اطلاعات بافتی عوارض است. ارتوفتو از چندین تصویر که پوشش‌دهنده منطقه مورد نظر است تشکیل شده که به لحاظ دارا بودن خصوصیت شبکه‌ای عکس و زمین مرجع بودن آن از قابلیت‌های زیادی همچون نقشه‌های خطی در کسب اطلاعات مکانی و استخراج عوارض برخوردار است (Ebrahimikia & Enayati, 2012; Shoab, Singh, & Ravibabu, 2022).

وجود اطلاعات مکانی و بافتی دقیق عوارض در ارتوفتو موجب می‌شود تا بتوان از آن در تلفیق با مدل‌های سه‌بعدی به واقعیت مجازی دست یافت که در آن امکان اندازه‌گیری موقعیت مسطحاتی عوارض حین دید سه‌بعدی وجود دارد (Modiri, 2011; Zhou et al., 2022). از دیگر کاربردهای تصویر ارتوفتو می‌توان به استفاده در برنامه‌ریزی‌های شهری، معماری، باستان‌شناسی، کاداستر، ناوبری، آشکارسازی تغییرات عوارض و به‌روزرسانی اطلاعات نقشه‌ها اشاره کرد (Ayman F. Habib, Kim, & Kim, 2007; Li, Jiang, Bian, Wang, & Niu, 2020; Nwilo et al., 2022). رشد سریع تکنولوژی، افزایش تقاضا برای تولید ارتوفتو را با کیفیت و دقت بالا، به یکی از

ارتوفتو<sup>۱</sup> یکی از پرکاربردترین محصولات فتوگرامتری رقومی و یک عکس نقشه دقیق و ارزان برای دستیابی به اطلاعاتی مانند موقعیت، فاصله، مساحت و تغییرات عوارض موجود در تصویر است. در ارتوفتو تصویر قائم زمین به همراه تمامی عوارض موجود بر روی آن به صورت یکپارچه تولید می‌شود. با پیدایش الگوریتم‌های قدرتمند پردازش تصاویر هوایی، پهپادی، زمینی و ماهواره‌ای، تولید ارتوفتو بسیار سریع‌تر از تولید یک نقشه توپوگرافی مرسوم انجام می‌گیرد. در فتوگرامتری می‌توان مدل‌های سه‌بعدی، ارتوفتو، ابرنقاط مترکم، نقشه‌های توپوگرافی، کاداستر زراعی، کاداستر شهری و سایر نقشه‌های موضوعی را تولید نمود (Ostrowski, Gulli, Bakula, & Kurczyński, 2020; Sona, Pinto, Pagliari, Passoni, & Gini, 2014). هدف اصلی در تولید ارتوفتو، رسیدن به ارتوفتوموزاییک حقیقی است. چیزی که در آن تمامی اعوجاجات برطرف شده و تصویری یکپارچه از سطح زمین به دست می‌آید که دارای حداقل اعوجاجی بوده و کاملاً منطبق با نقشه قائم است (Ostrowski et al., 2020). برای تولید ارتوفتو حقیقی تصحیحات نظیر جابه‌جایی ناشی از تیلت، جابه‌جایی ناشی از ناهمواری زمین و جابه‌جایی ناشی از بلندی عوارض از سطح زمین باید انجام شود. براین اساس، یکی از پراهمیت‌ترین محصولات که در نقشه‌برداری با پهپاد تولید می‌شود، ارتوفتو حقیقی است. با انجام تصحیحات تیلت و ناهمواری سطح زمین و نواحی پنهان عوارض زمینی بر روی تصاویر هوایی، پهپادی و ماهواره‌ای، ارتوفتو حقیقی به دست می‌آید. از آنجایی که یک تصویر در دوربین عکسبرداری دارای سیستم تصویر مرکزی است، لذا تصویر کردن دنیای سه‌بعدی بر روی یک تصویر دو بعدی، باعث به‌وجود آمدن اعوجاجات مختلفی می‌شود و نقاطی که از نظر مسطحاتی دارای یک مختصات بوده ولی از نظر ارتفاعی دارای مختصات متفاوتی هستند، در مکان‌های مختلفی بر روی تصویر ثبت می‌شوند.



نگاره ۱: یک تصویر هوایی (سمت چپ) و یک تصویر ارتوفتوی واقعی (سمت راست) از یک منطقه

(Fugro EarthData, <https://www.fugroearthdata.com>)

کانون‌های اصلی تحقیقات تبدیل نموده است (Li et al., 2020; Lin, Zhou, Wang, Crawford, & Habib, 2021; Liu, Zheng, Ai, Zhang, & Zuo, 2018; Trubia, Curto, Severino, Arena, & Puleo, 2021) تحقیقات متفاوتی توسط محققان مختلف در خصوص تولید ارتوفتو حقیقی از تصاویر مختلف هوایی، پهپادی و ماهواره‌ای صورت گرفته است. زائو و همکارانش (Rau, Chen, & Chen, 2002) در تحقیقی پیشنهاد کردند که با استفاده از تصاویر چند نمایه، می‌توان عکس‌های ارتوفتو واقعی از مناطق ساختمانی تولید کرد. آن‌ها یک سیستم تصحیح ترمیم برای توسعه عکس‌های اورتوفتو واقعی در مقیاس بزرگ از مناطق ساختمانی ارائه کردند. مطالعات آن‌ها نشان داد که اگر مدل رقومی سطح در دسترس باشد، روش پیشنهادی آن‌ها می‌تواند نواحی پنهان و اثرات سایه را کاهش دهد و در عین حال، قابلیت تفسیر را در ارتوفتو واقعی بهبود بخشد.

واسیلوپولو و همکارانش (Vassilopoulou et al., 2002) با استفاده از تصاویر IKONOS و مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک بالا، ارتوفتو حقیقی تولید کردند. آن‌ها از یک تبدیل مکانی فضای شی به پیکسل، با استفاده از نقاط کنترل زمینی، یک تبدیل آفاین تصحیح شده و توابع نگاشت چندجمله‌ای استفاده کردند. آن‌ها در مطالعاتشان این تبدیل‌ها را برای تصحیحات ارتوفتو به کار بردند. کوزمین و همکارانش (Kuzmin, Korytnik, & Long, 2004) در مطالعه‌ای از یک الگوریتم مبتنی بر چندضلعی، برای تشخیص مناطق پنهان در تولید ارتوفتو، استفاده کردند و چندین رویکرد مبتنی بر چندضلعی سریع، دقیق و مستقل از قدرت تفکیک مکانی ارائه دادند. روش پیشنهادی آن‌ها امکان ادغام آسان تکنیک‌های بازسازی ارتوفتو واقعی را با نرم‌افزارهای پردازش تصاویر و ابزارهای تحلیل مکانی فراهم می‌کرد. آیمان و همکارانش (Ayman F Habib, Bang, Kim, & Shin, 2006) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا ارتوفتو واقعی تولید کردند و روشی را برای تشخیص نواحی پنهان توسعه دادند که برای ایجاد ارتوفتو دقیق ضروری است.

1- Digital Surface Model (DSM)

2- Digital Building Model (DBM)

آیمان و همکارانش (Ayman F. Habib et al., 2007) در تحقیقی دیگر، استراتژی‌های جدیدی را برای تولید ارتوفتو واقعی ارائه کردند که از مشکلات روش‌های موجود مانند حساسیت آن‌ها به فاصله نمونه‌برداری از مدل رقومی سطح<sup>۱</sup> جلوگیری می‌کرد. آن‌ها عملکرد روش‌های پیشنهادی خود را با استفاده از یافته‌های تجربی از داده‌های شبیه‌سازی شده و واقعی اعتبارسنجی کردند. در مقابل، رویکردهای آن‌ها نیاز به یک مدل رقومی ساختمان<sup>۲</sup> با پیش‌پردازش گسترده و پرهزینه داشت.

واسیلوپولو و همکارانش (Vassilopoulou et al., 2002) با استفاده از تصاویر IKONOS و مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک بالا، ارتوفتو حقیقی تولید کردند. آن‌ها از یک تبدیل مکانی فضای شی به پیکسل، با استفاده از نقاط کنترل زمینی، یک تبدیل آفاین تصحیح شده و توابع نگاشت چندجمله‌ای استفاده کردند. آن‌ها در مطالعاتشان این تبدیل‌ها را برای تصحیحات ارتوفتو به کار بردند. کوزمین و همکارانش

وانگ و همکارانش (Wang et al., 2018) تولید ارتوفتو واقعی را با استفاده از تطابق خطوط، پیشنهاد دادند تا اثرات دندانهای در لبه‌های عوارض هنگام به‌دست‌آوردن یک ارتوفتو واقعی از مناظر شهری را به حداقل برسانند. به منظور حذف چنین تأثیراتی، آن‌ها یک رویکرد پیشرفته براساس تطبیق خطوط ارائه دادند که امکان بازسازی دقیق لبه‌های ساختمان سه‌بعدی را فراهم می‌کرد.

دی اولیویرا و همکارانش (de Oliveira, Dal Poz, Galo, & Habib, 2018) در تحقیقی یک رویکرد گرادیان سطحی برای تشخیص مناطق پنهان براساس شبکه نامنظم مثلثی برای تولید ارتوفتو واقعی ارائه دادند. نتایج پژوهش آن‌ها با استفاده از شاخص‌های کیفیت (کامل بودن)، سازگاری موزاییک ارتوفتو و زمان پردازش ارزیابی شد و قابلیت رویکرد گرادیان سطحی برای تشخیص مناطق پنهان در تولید ارتوفتو واقعی مورد تأیید قرار گرفت.

غریبی و همکارانش (Gharibi & Habib, 2018) در مطالعه‌ای، رویکردهای تشخیص مناطق پنهان را با سه روش مختلف و با استفاده از یافته‌های تجربی مرور نمودند. لی و همکارانش (Li et al., 2020) در تحقیقی، چارچوبی را برای تولید ارتوفتو واقعی براساس الگوریتم تشخیص مناطق پنهان مبتنی بر زاویه، معرفی و روش‌های تصحیح و تشخیص مناطق پنهان تصویر، تصحیح سایه و سایر مشکلات را تشریح کردند.

روش‌ها و تحقیقات پیشین بیشتر در خصوص بهبود الگوریتم‌ها و روش‌های تشخیص و تصحیح مناطق پنهان، اثرات دندانهای در لبه‌های عوارض و نظایر آن، تصاویر هوایی، یا پهپادی، یا ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا و داده‌های لیدار و یا ترکیبی از آن استفاده کرده‌اند. در این مقاله رویکرد متفاوتی برای تولید ارتوفتو حقیقی با استفاده از تصاویر گوگل‌ارث اتخاذ شده است و برای ارزیابی ارتوفتو تولیدی از لحاظ کیفی و کمی با ارتوفتو حاصل از تصاویر پهپادی مورد مقایسه قرار گرفته است. امروزه تصاویر گوگل‌ارث به دلیل رایگان و قابل دسترس بودن با پوشش جهانی، به کانون توجه و محبوبیت فزاینده در میان

والنتینی و همکارانش (Barazzetti, Brovelli, & Valentini, 2010) در تحقیقی با استفاده از مدل‌های رقومی ساختمان حاصل از داده‌های لیدار، به تولید ارتوفتو واقعی پرداختند. روش پیشنهادی آن‌ها با استفاده از یک مدل رقومی سطح برای بهبود ارتوفتو سازه‌ها، امکان توسعه ارتوفتوهای واقعی را فراهم می‌کرد. آن‌ها روش جدیدی را برای تصحیح جابه‌جایی سقف با استفاده از یک استراتژی مبتنی بر ادغام محصولات متعددی نظیر پایگاه داده‌های مکانی، سیستم مدیریت آموزش رقومی<sup>۱</sup> و داده‌های لیدار<sup>۲</sup> استفاده کردند. ژونگ و همکارانش (Zhong, Li, & Huang, 2011) در مطالعه‌ای یک رویکرد سریع و مؤثر برای تولید ارتوفتو واقعی در منطقه ساختمانی ارائه دادند. آن‌ها با استفاده از تئوری محاسبات ریاضی و حساب دیفرانسیل، پیچیدگی رویکردها را در تولید ارتوفتو به حداقل رساندند.

اولیویرا و همکارانش (Oliveira & Galo, 2013) در تحقیقی با هدف توسعه روشی جایگزین برای تشخیص مناطق پنهان با استفاده از داده‌های لیدار در عکس‌های هوایی به تولید ارتوفتوی واقعی پرداختند. به جای مدل ساختمان مورد استفاده در برخی از روش‌ها، آن‌ها برای شناسایی مناطق پنهان، روش مبتنی بر محاسبه گرادیان ارتفاعی، که برای مدل رقومی سطح منطقه اعمال می‌شود را پیشنهاد کردند.

چن و همکارانش (Chen, Briese, Karel, & Pfeifer, 2014) در یک مطالعه، روشی را برای تولید ارتوفتو واقعی و استخراج یک مدل طرح کلی سقف ساختمان با استفاده از تقسیم‌بندی تصویر و الگوریتم‌های تشخیص لبه توسعه دادند که نتیجه طبقه‌بندی ابرنقاط با استفاده از تناظریابی نقاط مناظر تصویری صورت می‌گرفت.

بارازتی و همکارانش (Barazzetti, Brumana, Oreni, Previtali, & Roncoroni, 2014) در تحقیقی تولید ارتوفتو واقعی از تصاویر پهپاد را با اجرای یک رویکرد ترکیبی فتوگرامتری و ماشین بینایی انجام دادند.

1- Digital Training Management System (DTMS)

2- Light Detection and Ranging (LIDAR)

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( ۳۳ )

تولید ارتوفتوی حقیقی از تصاویر گوگل ارث و مقایسه با ارتوفتوی تولیدی از ... / ۱۱

۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ به تحقیق پرداختند. ارزیابی آن‌ها با استفاده از داده‌های زمینی حاصل از سیستم موقعیت‌یابی جهانی و کاداستر انجام شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که تصاویر گوگل ارث با وضوح بسیار بالا دارای دقت موقعیتی کلی نزدیک به ۱ متر هستند که برای استخراج نمونه‌های حقیقت زمینی، اندازه‌گیری‌ها و نقشه‌های مسطحاتی در مقیاس‌های متوسط و کوچک کافی است.

گودرزی و همکارانش (Goudarzi & Landry, 2017) در مطالعه‌ای، دقت موقعیت افقی تصاویر گوگل ارث را در شهر مونترال کانادا، با استفاده از مختصات دقیق ده نقطه سیستم تعیین موقعیت مکانی که به صورت مکانی در سراسر شهر توزیع شده بودند، ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که دقت موقعیت در منطقه مورد مطالعه تقریباً بین ۰/۱ متر در جنوب تا ۲/۷ متر در شمال متغیر بود. علاوه بر این، آن‌ها دو روش برای تصحیح خطاهای موقعیتی مشاهده شده توسعه دادند: در روش اول، با استفاده از مجموعه‌ای از پارامترهای تبدیل مختصات نقاط ژئودتیکی و مختصات متناظر آن‌ها در گوگل ارث، و در روش دوم با درون‌یابی بردارهای خطا در نقاط ژئودتیکی را به کار بردند. روش اول با در نظر گرفتن خطای ریشه میانگین مربع را تقریباً به ۶۷ سانتی‌متر کاهش می‌داد، در حالی که روش دوم عملاً تمام اعوجاج را حذف می‌کرد و به دقت یک سانتی‌متر می‌رساند. آن‌ها پیشنهاد دادند که هر دو روش را می‌توان برای سایر نقاط جهان با توجه به در دسترس بودن نقاط کنترل مناسب توسعه داد.

آنگ و همکارانش (Aung & Tint, 2018) در تحقیقی، به تشخیص و استخراج مناطق رودخانه‌ای از تصاویر گوگل ارث پرداختند. آن‌ها برای شناسایی و استخراج مناطق رودخانه از جمله رودخانه‌ای و ساحل با استفاده از تصاویر RGB گوگل ارث و فضاهای رنگی مختلف پیشنهاد دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که روش پیشنهادی‌شان ۹۴ درصد دقت کلی را برای تشخیص مناطق رودخانه‌ای به دست می‌آورد.

کاربران در پروژه‌های تحقیقاتی - علمی تبدیل شده است. مطالعات مختلفی دقت مختصات افقی و عمودی حاصل از تصاویر گوگل ارث را بررسی کرده اند.

قاضی و همکارانش (Mohammed, Ghazi, & Mustafa, 2013) در تحقیقی به منظور برآورد دقت افقی و عمودی تصاویر گوگل ارث از مقایسه مختصات نقاط اندازه‌گیری شده با سیستم موقعیت جهانی در نمونه‌ای از ۱۶ نقطه کنترل واقع در ایالت خارطوم استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها با در نظر گرفتن ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مختصات افقی ۱/۵۹ متر و برای ارتفاع ۱/۷ متر محاسبه شد.

روسلی و همکارانش (Rusli, Majid, & Din, 2014) در تحقیقی با تجزیه و تحلیل آماری نشان دادند مدل رقومی ارتفاعی حاصل از تصاویر گوگل ارث همبستگی خوبی با داده‌های ارتفاعی ASTER و SRTM دارد. آن‌ها دقت نقاط ارتفاعی مدل رقومی ارتفاعی حاصل از تصاویر گوگل ارث را با مدل‌های رقومی ارتفاعی حاصل از ASTER و SRTM برای مناطق مسطح، تپه‌ماهور و کوهستانی مقایسه کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که داده‌های مدل رقومی ارتفاعی حاصل از تصاویر گوگل ارث و SRTM برای مناطق مسطح و تپه‌ماهور به ترتیب ۰/۷۹۱ و ۰/۸۹۱ همبستگی با در نظر گرفتن ضریب تعیین ( $R^2$ ) دارند. آن‌ها اعلام کردند که مدل رقومی ارتفاعی مشتق شده از تصاویر گوگل ارث تقریباً به اندازه داده‌های ارتفاعی سایر منابع قابل قبول است.

تیلاهون و همکارانش (Tilahun & Teferie, 2015) در مطالعه‌ای، ارزیابی دقت طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر گوگل ارث را در اتیوپی بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که صحت کل نقشه کاربری پوشش زمین حاصل از تصاویر گوگل ارث برای سال ۲۰۱۴، ۸۲ درصد و کاپا ۷۷/۰۲ درصد است که هم در دقت کل و هم در دقت کاپا قابل قبول است.

پولیگه و همکارانش (Pulighe, Baiocchi, & Lupia, 2016) با هدف تجزیه و تحلیل دقت افقی تصاویر گوگل ارث با وضوح بسیار بالا در شهر رم ایتالیا برای سال‌های ۲۰۰۷،

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه تحقیق

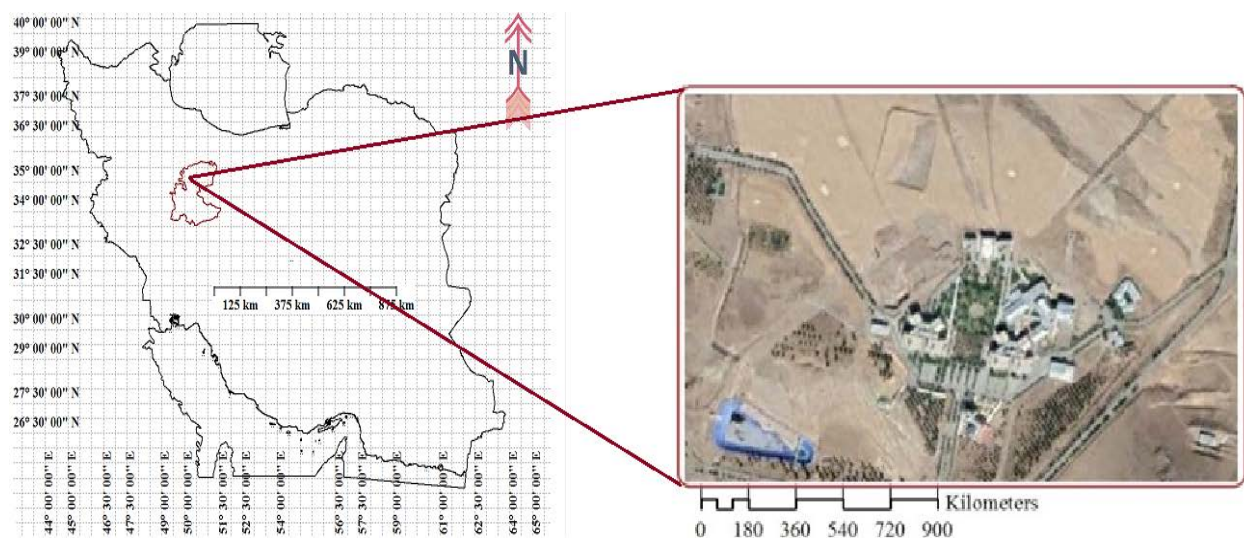
منطقه مورد مطالعه این تحقیق، منطقه‌ای مربوط به کشور ایران در محدوده دانشگاه نقرش با عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی مشخص شده در نگاره (۲) است. منطقه مورد مطالعه با برخورداری از چشم‌اندازهای طبیعی ویژه، طبیعت بکر، محیط زیبا؛ ویژگی‌های خاص اقلیمی و متنوع دارد. آب و هوای این منطقه نسبتاً سرد و خشک است و از نقطه نظر جغرافیایی، منطقه‌ای کوهستانی به حساب می‌آید. در بیابان‌های مستعد و استثنایی این منطقه گیاهان متنوع وحشی و دارویی بسیار رشد می‌کند.

### ۲-۲- داده‌های تحقیق و و پیش‌پردازش آن‌ها

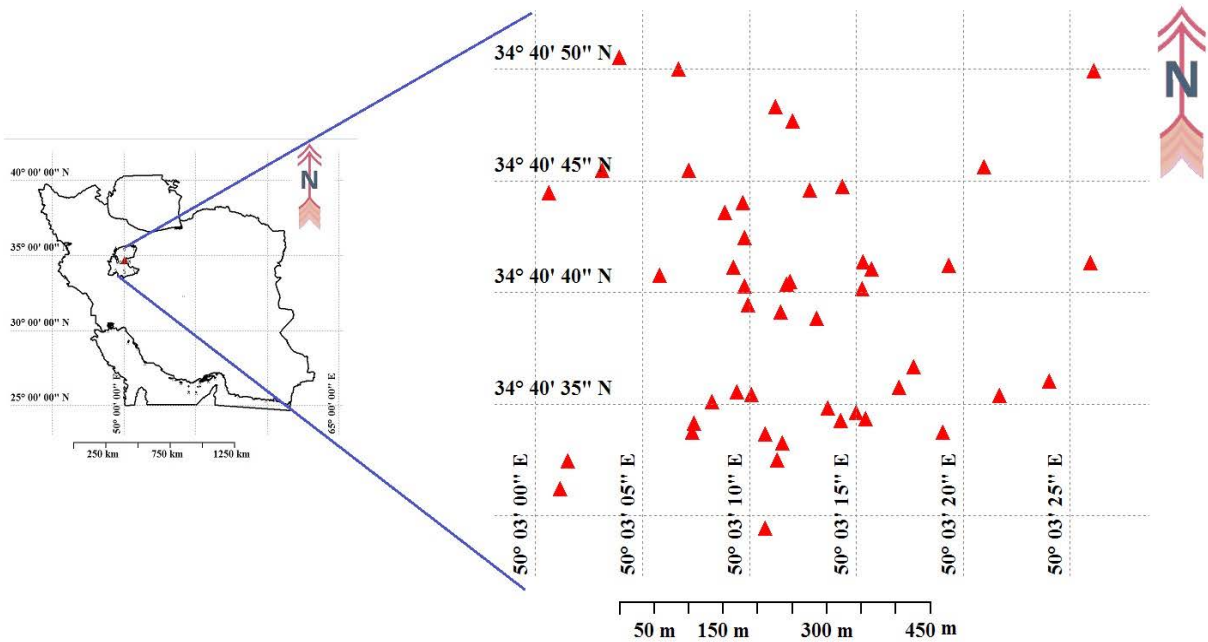
داده‌های پهپاد مبنای این تحقیق (داده‌های اول) توسط دوربین FC6310 با قدرت تفکیک  $3648 \times 4864$  پیکسل و فاصله کانونی  $8/8$  میلی‌متر با  $194$  عکس در نه خط پرواز و ارتفاع پرواز  $120$  متری تهیه شده است. داده‌های دوم مربوط به تصاویر زمین‌مرجع همان منطقه از گوگل‌ارث است. علاوه بر داده‌های مذکور، از یک سری نقاط کنترل زمینی برای تصحیح هندسی تصاویر گوگل‌ارث و همچنین

آدم و همکارانش (Adam & Heeto, 2018) در تحقیقی به ارزیابی دقت افقی بر روی تصاویر گوگل‌ارث در شهر دهوک با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از طریق سیستم تعیین موقعیت جهانی به روش کینماتیک پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که خطای ریشه میانگین مربع برای مختصات موقعیت افقی  $1/53$  متر محاسبه شده است.

تحقیقات مختلف از تصاویر گوگل‌ارث برای کاربردها و اهداف مختلف استفاده کرده‌اند. در تحقیق حاضر، رویکرد متفاوتی برای تولید ارتوفتو دقیق با استفاده از تصاویر گوگل‌ارث و نقاط کنترل زمینی به کار رفته و به منظور ارزیابی ارتوفتو تولیدی از لحاظ کیفی و کمی با ارتوفتو حاصل از تصاویر پهپادی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. برای تولید ارتوفتو در این مطالعه از تصاویر گوگل‌ارث و نرم‌افزار Agisoft Metashape استفاده شده است. این تحقیق در چهار بخش خلاصه شده است: بعد از مقدمه در بخش دوم معرفی داده‌های تحقیق و خصوصیات پیش‌پردازش داده‌ها و تولید ارتوفتو واقعی مورد بحث قرار گرفته است و در بخش سوم مقایسه و آنالیز نتایج صورت گرفته و نهایتاً در بخش آخر نتیجه‌گیری کلی از این تحقیق، بحث و بررسی شده است.



نگاره ۲: منطقه مورد مطالعه محوطه دانشگاه نقرش



نگاره ۳: نقاط کنترل مورد استفاده در منطقه تحقیق

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum (X_{UAVi} - X_{GEi})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_{UAVi} - Y_{GEi})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum (Z_{UAVi} - Z_{GEi})^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_{Total} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2 + RMSE_z^2} \quad (4)$$

در این معادلات  $RMSE_x$ ،  $RMSE_y$  و  $RMSE_z$  به ترتیب مقدار جذر میانگین مربع خطاها در جهت های مختصات  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  هستند و  $XYZ_{UAVi}$  و  $XYZ_{GEi}$  به ترتیب مختصات نقاط انتخابی متناظر حاصل از تولیدات ارتوفتوها و  $n$  تعداد کل نقاط مورد بررسی هستند.

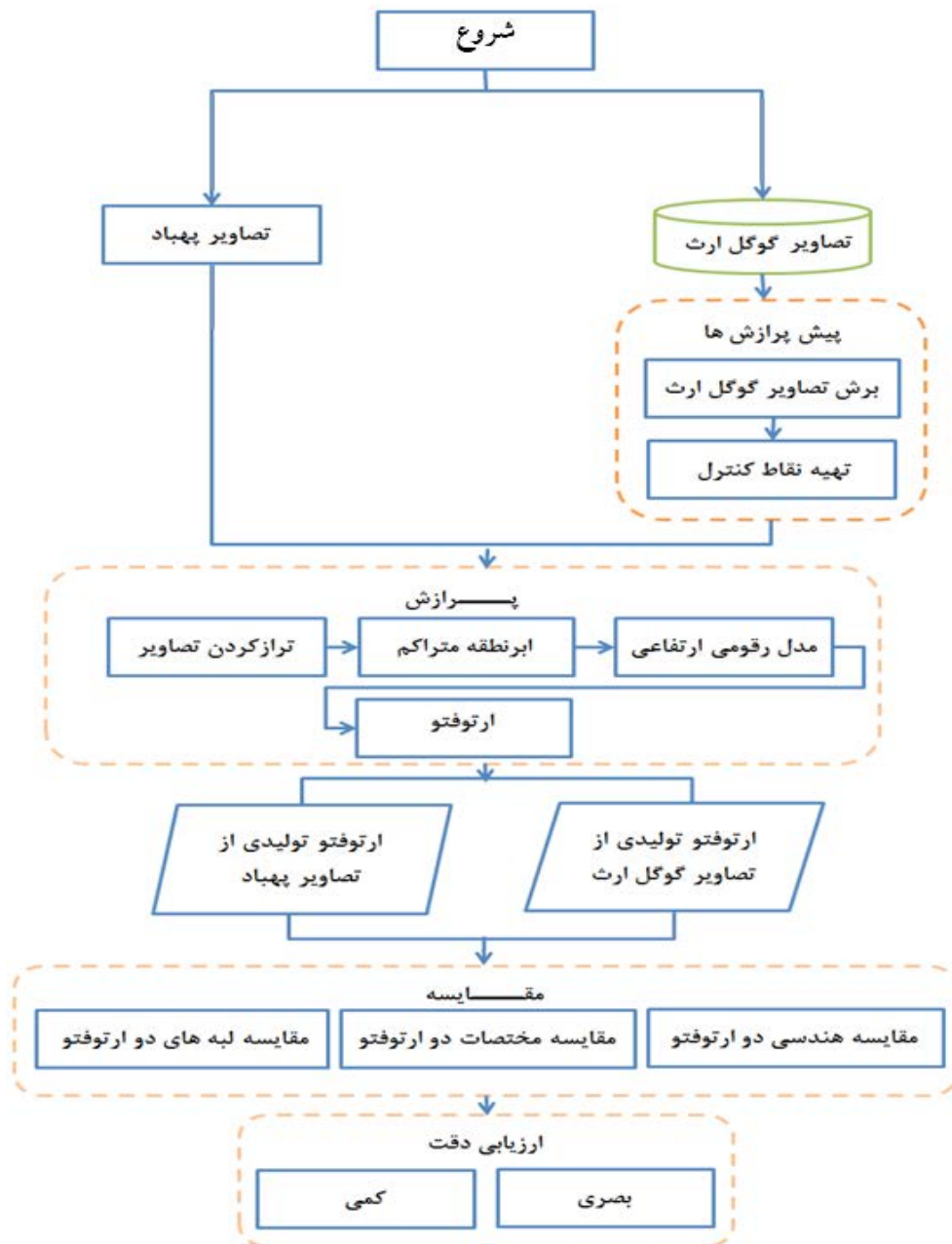
### ۲-۳-۱ استخراج و آماده سازی تصاویر گوگل ارث

شرط لازم برای تولید ارتوفتو استفاده از تصاویر پوشش دار است، لذا برای تولید تصاویر پوشش دار گوگل ارث می توان به هر تعداد دلخواه با پوشش های طولی دلخواه تولید کرد. چون فریم های مختلف تصاویر گوگل ارث از زوایا و

ارزیابی کمی ارتوفتوهای تولیدی استفاده شده است. در نگاره (۳) موقعیت و توزیع نقاط کنترل مورد استفاده در این تحقیق نشان داده شده اند.

### ۲-۳-۲ روش تحقیق

مراحل انجام این پروژه که در نگاره (۴) نشان داده شده، به شرح زیر است. ابتدا تصاویر حاصل از پهپادها و تصاویر اخذ شده از گوگل ارث فراهم شدند. سپس پیش پردازش های لازم برای تصاویر گوگل ارث انجام شد. در ادامه، ارتوفتو از روی تصاویر حاصل از گوگل ارث و پهپاد تولید شد. سپس، مقایسه ارتوفتوهای تولیدی و ارزیابی دقت ارتوفتو تولیدی از تصاویر گوگل ارث در مقایسه با ارتوفتو حاصل از تصاویر پهپاد انجام گرفت. در مرحله نهایی ارزیابی و مقایسه بصری و هندسی ارتوفتوهای تولیدی انجام شد. در مقایسه دقت هندسی مختصات، نقاط رندوم انتخابی در مناطق بایر، مناطق حاوی پوشش گیاهی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای ارزیابی کمی نتایج، معادلات (۱) تا (۴) مورد استفاده قرار گرفتند.

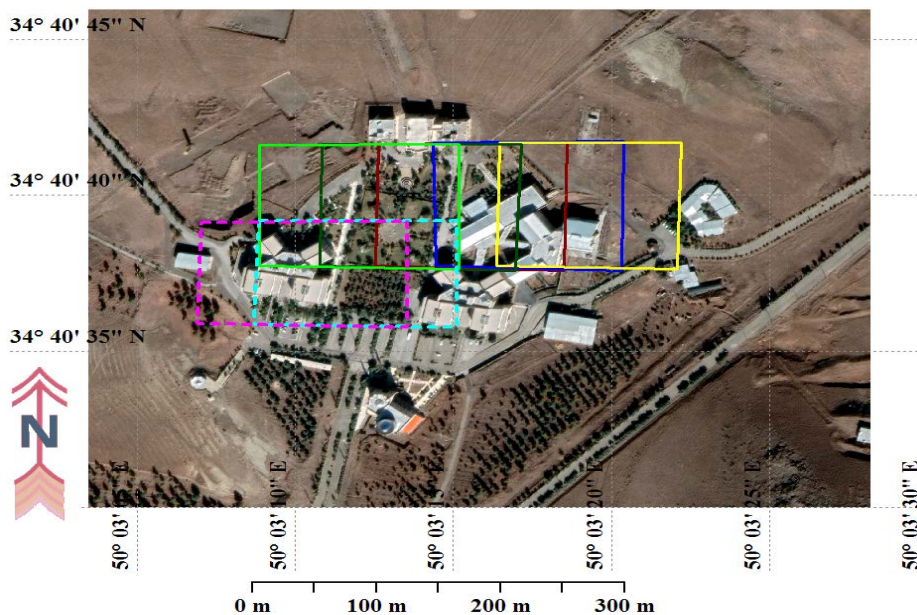


نگاره ۴: مراحل اجرایی روش پیشنهادی برای تولید ارتوفتو از تصاویر گوگل ارث و ارزیابی آن

اندازه فریم تصاویر پهبادی دریافت شدند. همچنین، با توجه به این که پوشش طولی تصاویر پهبادی متوسط ۸۰ درصد بود، لذا تصاویر برگرفته از گوگل ارث نیز با این پوشش طولی در نظر گرفته شدند. در استخراج تصاویر از گوگل ارث برای تولید ارتوفتو، نرم افزار Universal Maps downloader مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا مختصات زمینی منطقه و

مکان های مختلف توسط سنجندها با قدرت تفکیک مکانی بالای ماهواره ای جمع آوری شده اند، لذا حالت تصویر مرکزی و پرسپکتیو آن در ماهیت تصاویر گوگل ارث وجود دارد. در این تحقیق، به دلیل ارزیابی و مقایسه ارتوفتو تولیدی از تصاویر گوگل ارث با ارتوفتو حاصل از تصاویر پهبادی، تصاویر گوگل ارث به صورت زمین مرجع با اندازه فریم تقریباً مساوی با





نگاره ۵: نمونه‌ای از میزان همپوشایی طولی و عرضی تصاویر استخراجی از گوگل ارث

استفاده از نقاط کنترل امری ضروری است. در این تحقیق، نقاط کنترل مورد نیاز به روش زمینی توسط سیستم تعیین موقعیت جهانی به روش استاتیک جمع‌آوری شده است. این نقاط کنترل برای تولید ارتوفتو و تصحیح هندسی و ارتفاعی ارتوفتو تولیدی استفاده شده‌اند. لازم به ذکر است هنگام کار با نرم‌افزار Metashape، دو الگوریتم برای انجام مثلث‌بندی وجود دارد که شامل سرشکنی دسته اشعه مبتنی بر معادلات شرط هم‌خطی و الگوریتم دوم کالیبراسیون خودکار دوربین و سرشکنی دسته اشعه (روش خود کالیبراسیون) است که در این تحقیق روش خود کالیبراسیون برای مثلث‌بندی مورد استفاده قرار گرفته است. از طریق این الگوریتم، همه عکس‌ها به‌طور هم‌زمان سرشکنی می‌شوند تا یک تقاطع از تمام پرتوهای نور در هر نقطه عبور و نقاط کنترل زمین ایجاد شود. این به نوبه خود، کمیت‌های مجهول متشکل از مختصات سه‌بعدی فضای شیء را حل می‌کند. پس از انجام سرشکنی تکراری، فرایند سرشکنی تکمیل می‌شود. در نهایت نرم‌افزار یک مدل سه‌بعدی از ناحیه یا شیء کامل با خطوط، سطوح و بافت ایجاد می‌کند. در این تحقیق چون تمامی موقعیت‌های تصویربرداری دوربین به‌صورت

محدوده مورد مطالعه را در سیستم مختصات جهانی مرکاتور معکوس<sup>۱</sup> وارد کرده و یک تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و زمین مرجع شده از منطقه اخذ شد. سپس، تصویر کلی اخذ شده با ابعاد کوچک‌تر، با ابعاد تقریباً برابر با ابعاد تصاویر پهبادی منطقه تولید شد تا بتوان دو ارتوفتوی تولیدی را با هم مقایسه و اعتبارسنجی کرد. برای برش تصاویر از نرم‌افزار ENVI 5.3.1 استفاده شد.

نگاره (۵) نمونه‌ای از میزان همپوشایی طولی و عرضی تصاویر استخراجی از گوگل ارث را نشان می‌دهد. تصاویر برگرفته از گوگل ارث، طوری انتخاب شدند که هر منطقه در سه تصویر متوالی پوشش داده شده قرار بگیرد. برای استخراج تصاویر پوشش‌دار از گوگل ارث، تصاویر با ابعاد تصاویر پهبادی و با پوشش طولی تقریباً ۸۰ درصدی و پوشش عرضی ۲۰ درصدی دریافت شدند. مختصات مرکز هر فریم تصویر برش داده شده، به‌عنوان مختصات مسطحاتی مرکز تصویر هر فریم تصویر گوگل ارث در نظر گرفته شد و ارتفاع تصاویر استخراجی از ارتفاع گوگل ارث مبتنی بر وب<sup>۲</sup> انتخاب شد. برای بهبود دقت ارتوفتوی تولیدی

1- Universal Transverse Mercator (UTM)

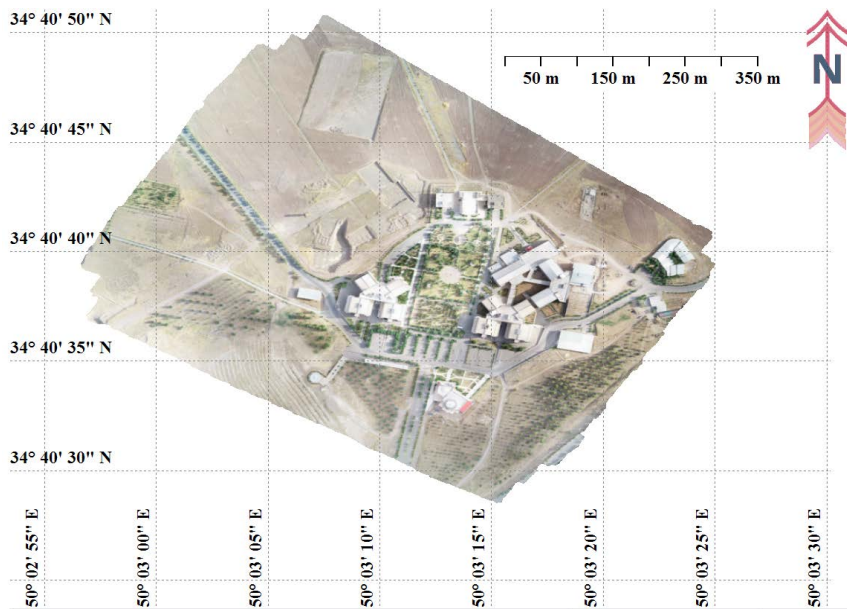
2- <https://earth.google.com/web/>

مجهول در نظر گرفته شده‌اند، با روش خود کالیبراسیون محاسبات انجام شده است.

۳-۱ تولید ارتوفتو از تصاویر پهپاد و تصاویر گوگل ارث امروزه ارتوفتو یکی از پرکاربردترین و محبوب‌ترین محصولات فتوگرامتری نوین است. در ارتوفتو می‌توان تصویر قائم زمین به همراه تمامی عوارض موجود بر روی آن (نظیر ساختمان‌ها، خیابان‌ها و ...) را در حکم یک نقشه مشاهده کرد. نگاره‌های (۶) و (۷) ارتوفتوی تولیدی از تصاویر پهپاد و تصاویر گوگل ارث را به ترتیب نشان می‌دهند.

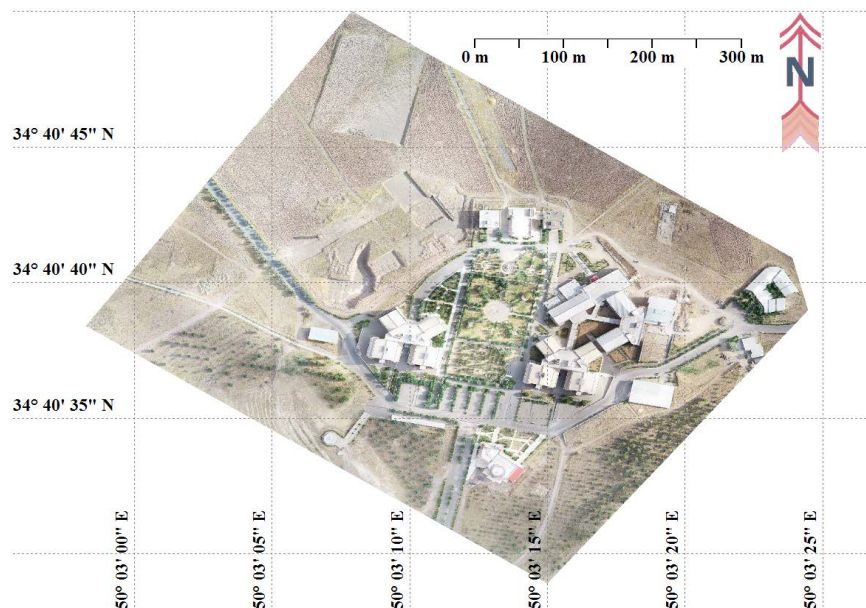
### ۳- نتایج و بحث

ارزیابی و مقایسه نتایج در این تحقیق، بر روی دو مؤلفه اصلی کیفیت بصری و دقت هندسی متمرکز شده و نتایج حاصل هم به صورت کمی و هم کیفی مورد ارزیابی و تجزیه-تحلیل قرار گرفته‌اند.



نگاره ۶: ارتوفتوی تولیدی از تصاویر پهپاد

نگاره ۷: ارتوفتوی تولیدی از تصاویر گوگل ارث



### فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ( ۳۳ )

تولید ارتوفتوی حقیقی از تصاویر گوگل ارث و مقایسه با ارتوفتوی تولیدی از ... / ۱۷

ارزیابی نتایج کمی فقط بر روی مختصات Z نقاط حاصل در ارتوفتو تولیدی از تصاویر پهپاد و گوگل ارث متمرکز شده است. جدول‌های (۲) و (۳) مدت زمان پردازش، حجم تعداد نقاط گرهی، حجم ابر نقاط تولیدی و حجم کل ارتوفتوی تولیدی را در دو سری داده‌های این تحقیق نشان می‌دهند.

جدول ۲: مدت زمان پردازش و حجم ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث

ردیف	داده‌های پهپاد	داده‌های گوگل ارث
مدت زمان پردازش تولید ارتوفتو (دقیقه)	۱۲/۴*	t
حجم ارتوفتوی تولیدی (گیگابایت)	۴/۴۶	۰/۳۱

### ۲-۳- ارزیابی نتایج به صورت کیفی یا بصری

ارزیابی بصری نتایج در دو ارتوفتو از یک منطقه در شرایط یکسان، نشان داد، این دو ارتوفتو نسبت به هم دارای مزایا و معایبی هستند از جمله: لبه‌ها در ارتوفتو تولیدی از تصاویر گوگل ارث دو حالت مختلف دارند. حالت اول لبه عوارض با ارتفاع کم و سایه‌های ناچیز بهتر از ارتوفتو تولیدی از تصاویر پهپادند. این شاید به دلیل الگوریتم‌های پردازشی مناسب هستند که بر روی تصاویر گوگل ارث به کار رفته‌اند تا لبه‌های عوارض بهتر نمایان شدند. نگاره (۸ الف و ب) نمونه‌ای از لبه‌ها در سطوح مختلف را با داده‌های پهپاد و داده‌های گوگل ارث نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه کیفیت و دقت نسبی و مطلق تولیدات فتوگرامتری به عوامل مختلفی از جمله پارامترهایی نظیر ویژگی‌های دوربین، فاصله نمونه برداری زمینی، فاصله پهپاد تا سطح زمین، طراحی پرواز، کیفیت هندسی و رادیومتریکی دوربین تصویربرداری، دقت، تعداد و پراکندگی نقاط کنترل زمینی و عوامل دیگر بستگی دارد؛ پارامترها و شرایط ایجاد ارتوفتو در هر دو روش یکسان انتخاب و پردازش شده است. دقت مسطحاتی و ارتفاعی ارتوفتوهای تولیدی در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

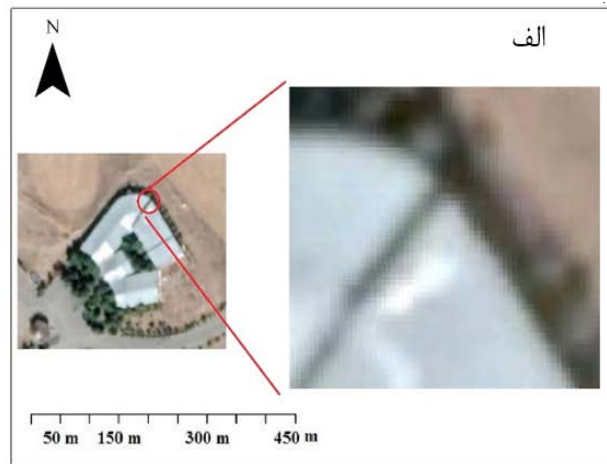
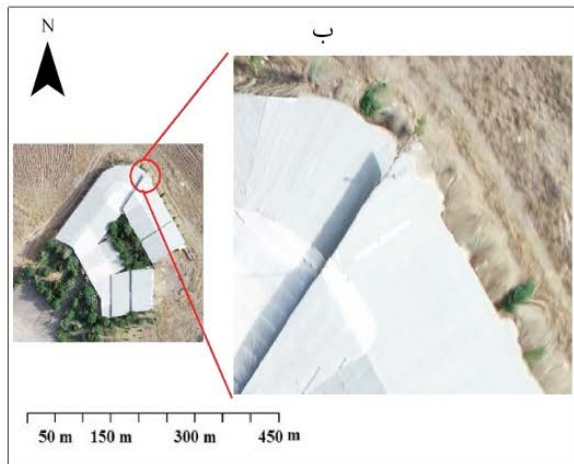
جدول ۱: خطای ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث

داده‌های پهپاد	داده‌های گوگل ارث
خطای ارتوفتو (سانتی متر بر پیکسل) (X,Y,Z)	خطای ارتوفتو (سانتی متر بر پیکسل) (X,Y,Z)
۵/۹۲	۱۲/۴

ارزیابی ارتوفتو تولیدی، بر روی دو مؤلفه اصلی کیفیت بصری و دقت هندسی متمرکز شده است. نتایج حاصل هم به صورت کمی و هم کیفی مورد ارزیابی و تجزیه-تحلیل قرار گرفت. در بررسی‌های کمی، با نقاط تصادفی انتخابی در دو کلاس مختلف از مناطق مسکونی و ساختمانی، و مناطق بایر و حاوی پوشش گیاهی انجام شد. بررسی نقاط در سه بعد XYZ نشان داد که نتایج برای مختصات مسطحاتی (XY) دارای خطای ناچیز و نزدیک به صفر با در نظر گرفتن خطای ریشه میانگین مربع بود. برای این منظور

جدول ۳: حجم مشتقات مختلف در دو سری از داده‌های تحقیق

گوگل ارث		پهپاد	
۰/۰۳	Tie points	۰/۰۴	Tie points
۰/۱۵	Depth map	۱/۳۸	Depth map
۰/۳۴	Dense cloud	۱/۴۷	Dense cloud
۰/۰۹	Dem	۰/۲۶	Dem
۰/۳۱	orthomosaic	۴/۴۶	orthomosaic
مقدار کل (گیگابایت)		مقدار کل (گیگابایت)	
۰/۹۲		۷/۶۱	



نگاره ۸: نمونه‌ای از لبه‌ها در سطوح مختلف، الف) داده‌های پهپاد ب) داده‌های گوگل ارث

از مزایای داده‌های گوگل ارث این است که امکان تولید ارتوفتو از تصاویر قدیمی وجود دارد. ارتوفتو با تصاویر قدیمی در سازمان‌های مختلف برای پیدا کردن موقعیت صحیح قطعه زمینی که دستخوش تغییرات قرار گرفته و همچنین برای کارشناسان دعاوی ملکی در محاکم قضایی از ضروریات است. مزیت دیگر داده‌های گوگل ارث، حجم کمتر ارتوفتوی تولیدی از داده‌های گوگل نسبت به داده‌های پهپاد است. همچنین مدت زمان پردازش‌های لازم برای تولید ارتوفتو داده‌های گوگل ارث در شرایط یکسان (کیفیت و سیستم پردازشی) کمتر از پهپاد است. این موارد علاوه بر رایگان بودن داده‌های لازم، در تولید ارتوفتو در مناطق وسیع یک مزیت خوب محسوب می‌شود.

حالت دوم در مورد لبه‌های عوارض بلند به‌خصوص در مناطق ساختمانی (نظیر ساختمان‌ها) است که سایه محسوس دارند، ارتوفتو تولیدی از تصاویر گوگل ارث در تناظریابی با مشکلاتی مواجه هستند، اول اینکه در حالت ارتوفتو کاملاً حالت عمودی ندارند. دوم اینکه لبه‌های ارتوفتو حاصل از گوگل ارث دندان‌های بوده، ولی در ارتوفتو پهپاد لبه‌های چنین عوارضی واضح‌تر و هموار هستند. این موارد را می‌توان از معایب ارتوفتو حاصل از گوگل ارث نام برد که در نگاره‌های (۸) و (۹) به‌صورت بصری نشان داده شده‌اند.

علی‌رغم وجود خطای دندان‌های در لبه‌های عوارض بلند در ارتوفتوی تولیدی از تصاویر گوگل ارث، استفاده از این داده‌ها در بسیاری از کاربردها دارای مزایا هست. یکی



نگاره ۹: نمونه‌ای از لبه‌ها در ساختمان‌های بلند با سایه محسوس، الف) داده‌های گوگل ارث ب) داده‌های پهپاد



نگاره ۱۰: محل نقاط تصادفی انتخاب شده در مناطق غیرساختمانی

### ۳-۳- ارزیابی کمی نتایج

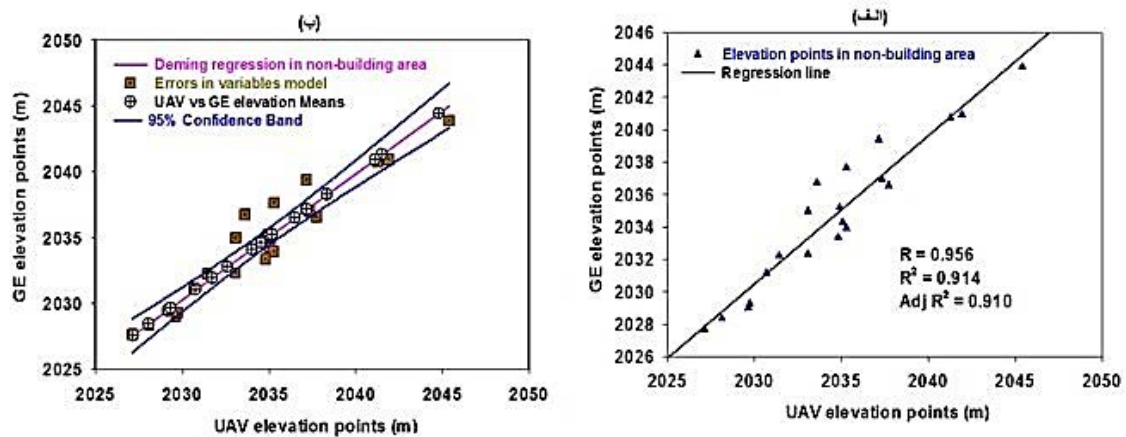
در این بخش، هدف بررسی و ارزیابی نتایج به صورت کمی و دقت هندسی ارتوفتوی تولیدی از داده‌های گوگل ارث و داده‌های پهپاد است. برای مقایسه دقت نسبی بین ارتوفتوی تولیدی از داده‌های گوگل ارث و داده‌های پهپاد، ابتدا با استفاده از نقاط کنترل زمینی دو ارتوفتو نسبت به هم، هم‌رجستر شدند، سپس، نقاط تصادفی انتخابی در داده‌های مورد استفاده در دو کلاس متفاوت، کلاس اول مربوط به مناطق مسکونی، کلاس دوم در مناطق بایر که تغییرات ارتفاعی ناچیزی داشته‌اند و همچنین در مناطق پوشش گیاهی شامل گیاهان، محصولات کشاورزی انتخاب شدند، در مجموع در هر کلاس ۲۰ نقطه و مجموعاً ۴۰ نقطه، به صورت تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای این منظور ابتدا تعدادی نقاط تصادفی در مناطق غیرساختمانی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. در نگاره (۱۰) محل انتخاب نقاط تصادفی انتخاب شده در مناطق غیرساختمانی نشان داده شده است.

همچنین نگاره‌های (الف و ب ۱۱) به ترتیب رگرسیون و رگرسیون دمینگ<sup>۱</sup> وضعیت نقاط انتخاب شده به صورت

تصادفی در کلاس غیرساختمانی و در دو ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث را نشان می‌دهند. نگاره (۱۱-الف) همبستگی بالایی را بین نقاط ارتفاعی تصادفی در مناطق غیرشهری و غیرساختمانی حاصل از ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث را نشان می‌دهد. همچنین، نگاره (۱۱-ب) رگرسیون دمینگ این دو داده را نشان می‌دهد.

رگرسیون دمینگ یک مدل خطا در متغیرها است که سعی می‌کند خط بهترین تناسب را برای یک مجموعه داده دوبعدی پیدا کند. تفاوت آن با رگرسیون خطی ساده در این است که خط‌های مشاهدات روی محورهای مختصات را محاسبه می‌کند. در حقیقت رگرسیون دمینگ یک مورد خاص از روش کمترین مربعات است. رگرسیون دمینگ معادل تخمین حداکثر احتمال یک مدل خطا در متغیر است که در آن خط‌های دو متغیر مستقل و به طور معمول توزیع شده فرض می‌شود. همچنین نگاره (۱۲) خطای ارتفاعی در ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث را نشان می‌دهد. هر چه نقاط در جاهای مسطح منطقه گرفته شود خطای ارتفاعی کمترین و به تناسب افزایش ارتفاع خطا در ارتوفتوی تولیدی از گوگل ارث افزایش پیدا می‌کند.

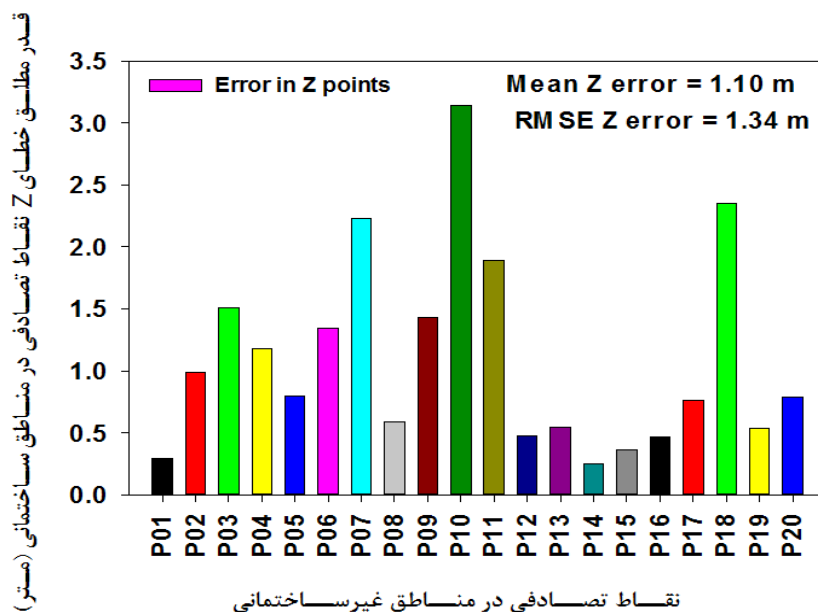
1- Deming regression



نگاره ۱۱: نقاط ارتفاعی تصادفی در مناطق غیرساختمانی، الف) رگرسیون، ب) رگرسیون دمینگ

در نگاره (۱۳) محل نقاط تصادفی انتخاب شده در مناطق ساختمانی و شهری نشان داده شده‌اند. در این حالت نیز، تعدادی نقاط تصادفی در مناطق ساختمانی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. نگاره‌های (۱۴ الف و ب) به ترتیب رگرسیون و رگرسیون دمینگ وضعیت نقاط ارتفاعی انتخاب شده به صورت تصادفی در کلاس ساختمانی و مناطق شهری را در دو ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث

همانطوری که در نگاره (۱۲) نشان داده شده است، نقاطی که روی سطح زمین آسفالت و نظایر آن مثل نقاط P14 و P1 گرفته شده است کمترین خطا را دارند. در مقابل نقاطی که مناطق پوشش گیاهی و روی درختان مثل نقاط P10 و P18 گرفته شده است دارای حداکثر خطا هستند، بقیه نقاط دارای خطای حالت بینابین هستند. در حالت دوم بررسی کمی نتایج، مجدداً نقاط تصادفی فقط روی مناطق ساختمانی در نظر گرفته شدند.



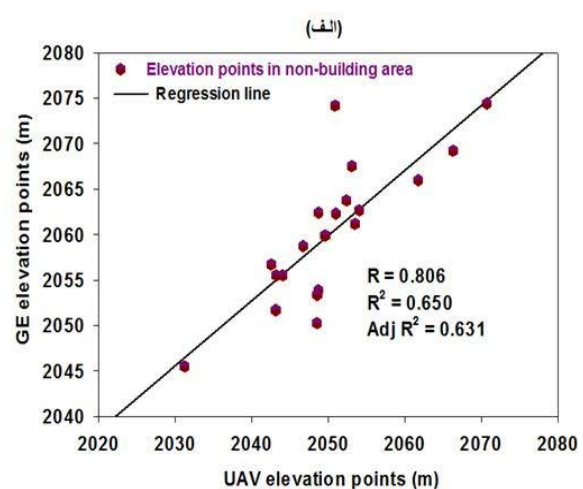
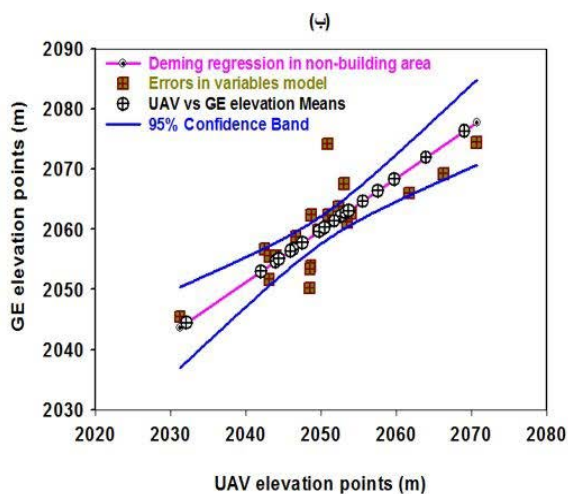
نگاره ۱۲: مقایسه خطای ارتفاعی در ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث



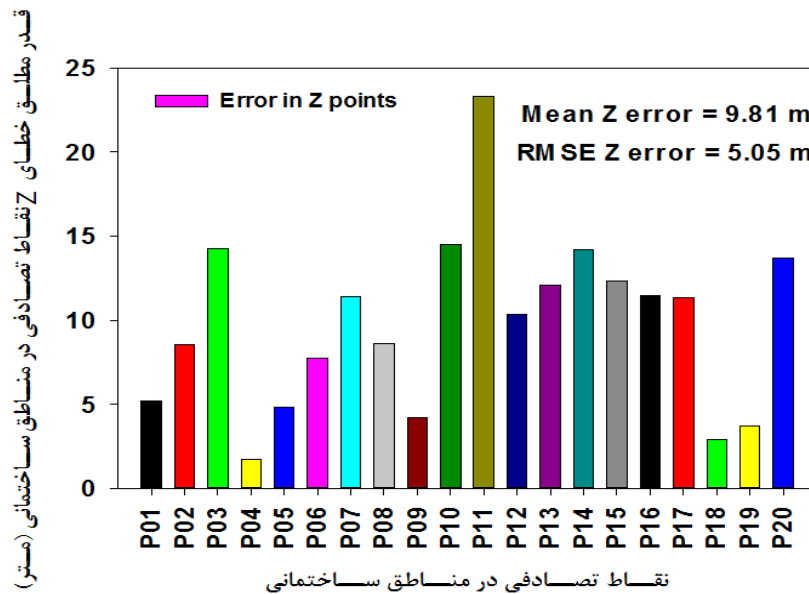
نگاره ۱۳: محل نقاط تصادفی انتخاب شده در مناطق ساختمانی

و وجود سایه‌های بلند، افزایش می‌یابد. نگاره (۱۵) خطای ارتفاعی در ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث را نشان می‌دهد. بررسی محل نقاط تصادفی انتخابی و خطای متناظر آن‌ها نشان می‌دهد نقاطی که در سقف شیروانی ساختمان‌ها گرفته شده‌اند، این سطوح ضعیف‌ترین بافت تصویری و بیشترین ارتفاع از سطح زمین را دارند. نظیر نقاط P13، P3، P17، P10 و P3، دارای بیشترین خطا هستند.

نشان می‌دهند. نگاره (۱۴- الف) همبستگی پایینی را بین نقاط ارتفاعی تصادفی در مناطق شهری و ساختمانی حاصل از ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث نشان می‌دهد. همچنین، نگاره (۱۴- ب) رگرسیون دمیگ این دو داده را نشان می‌دهد. با بررسی خطای ارتفاعی نقاط اتفاقی انتخاب شده در مناطق ساختمانی نشان می‌دهد برای عوارض با ارتفاعات زیاد، خطای مؤلفه Z در ارتوفتوی تولیدی از تصاویر گوگل ارث با افزایش ارتفاعات عوارض



نگاره ۱۴: نقاط ارتفاعی تصادفی در مناطق ساختمانی، الف) رگرسیون، ب) رگرسیون دمیگ



نگاره ۱۵: مقایسه خطای ارتفاعی در ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث

#### ۴- نتیجه گیری

مزیت خوب محسوب می‌شود. بررسی کمی نتایج، با نقاط تصادفی انتخابی در دو کلاس مختلف از مناطق ساختمانی و مناطق بایر و حاوی پوشش گیاهی انجام گرفت. با بررسی نقاط در سه بعد XYZ نشان داد که نتایج برای مختصات مسطحاتی (X,Y) دارای خطای ناچیز و نزدیک به صفر با در نظر گرفتن خطای ریشه مربعی متوسط بود. لذا ارزیابی کمی نتایج فقط بر روی مختصات Z نقاط حاصل در ارتوفتو تولیدی از تصاویر پهپاد و گوگل ارث انجام شد. ارزیابی بصری نتایج در دو ارتوفتو از یک منطقه در شرایط یکسان، نشان داد، لبه‌ها در ارتوفتو تولیدی از تصاویر گوگل ارث دو حالت مختلف دارند. حالت اول، لبه عوارض کم ارتفاع و دارای سایه‌های ناچیز بهتر از ارتوفتو تولیدی از تصاویر پهپاد هستند. در مقابل، حالت دوم در مورد لبه‌های عوارض بلند به‌خصوص در مناطق ساختمانی که سایه محسوس وجود دارد؛ ارتوفتو تولیدی از تصاویر گوگل ارث در تناظر یابی با مشکلاتی مواجه هستند، اول اینکه در حالت ارتوفتو کاملاً حالت عمودی ندارند. دوم اینکه لبه‌های ارتوفتو حاصل از گوگل ارث دندان‌های بوده، ولی در ارتوفتو پهپاد

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده توانایی و کارایی تصاویر رایگان گوگل ارث در مقایسه با تصاویر هزینه‌بر پهپاد مبنای برای بازسازی سه‌بعدی تولیدات مختلف فتوگرامتری در کاربردهای خاص است. برای این منظور، در تحقیق حاضر رویکرد متفاوتی برای تولید ارتوفتو از تصاویر گوگل ارث برای کاربردهای خاص و با دقت متوسط پیشنهاد شده و با ارتوفتوی تولیدی از تصاویر پهپاد از لحاظ کیفی و کمی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. مزیت استفاده از داده‌های گوگل ارث این است که امکان تولید ارتوفتو از تصاویر قدیمی هم وجود دارد. ارتوفتو با تصاویر قدیمی در سازمان‌های مختلف برای پیدا کردن موقعیت صحیح قطعه زمینی که دستخوش تغییرات قرار گرفته و همچنین برای کارشناسان دعاوی ملکی در محاکم قضایی از ضروریات است. مزیت دیگر استفاده از داده‌های گوگل ارث برای تولید ارتوفتو، کمتر بودن تقریباً چهار برابری حجم و مدت زمان پردازش‌های لازم برای تولید ارتوفتو از داده‌های گوگل ارث نسبت به داده‌های پهپاد است. این موارد علاوه بر رایگان بودن داده‌های لازم، در تولید ارتوفتو در مناطق وسیع، یک



بلند، افزایش می‌یابد. لذا استفاده از تصاویر گوگل ارث برای تولید ارتوفتو برای کاربردهای خاص و مناطق مسطح و تپه‌ماهور پیشنهاد می‌شود، ولی این تصاویر برای مناطق کوهستانی و یا مناطق شهری دارای خطای محسوس بوده و برای تولید ارتوفتو توصیه نمی‌شوند.

#### ۵- منابع و مآخذ

1. Adam, S. M., & Heeto, A. F. (2018). The Use of Semi-Automated Method for Assessing the Horizontal Positional Accuracy of Google Earth imagery. *Academic Journal of Nawroz University*, 7(4), 173-180.
2. Aung, E. M. M., & Tint, T. (2018). Ayeyarwady river regions detection and extraction system from Google Earth imagery. Paper presented at the 2018 IEEE International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP).
3. Barazzetti, L., Brovelli, M. A., & Valentini, L. (2010). LiDAR digital building models for true orthophoto generation. *Applied Geomatics*, 2(4), 187-196.
4. Barazzetti, L., Brumana, R., Oreni, D., Previtali, M., & Roncoroni, F. (2014). True-orthophoto generation from UAV images: implementation of a combined photogrammetric and computer vision approach. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2(5).
5. Chen, Y., Briese, C., Karel, W., & Pfeifer, N. (2014). True orthophoto generation using multi-view aerial images. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(3), 67.
6. de Oliveira, H. C., Dal Poz, A. P., Galo, M., & Habib, A. F. (2018). Surface gradient approach for occlusion detection based on triangulated irregular network for true orthophoto generation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(2), 443-457.
7. Ebrahimikia, M., & Enayati, H. (2012). Radiometric homogeneity in ortho-mosaic preparation. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 21(81), 41-46.

لبه‌های چنین عوارضی واضح‌تر و هموار هستند. علاوه بر آن، بررسی نتایج کمی با مقایسه دقت نسبی بین ارتوفتوی تولیدی از داده‌های گوگل ارث و داده‌های پهپاد صورت گرفت. نقاط تصادفی در دو کلاس متفاوت، کلاس اول مربوط به مناطق مسکونی، کلاس دوم در مناطق بایر که تغییرات ارتفاعی ناچیزی داشته‌اند و همچنین در مناطق پوشش گیاهی شامل گیاهان، محصولات کشاورزی انتخاب شدند. در مجموع در هر کلاس ۲۰ نقطه و مجموعاً ۴۰ نقطه، به صورت تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج پارامترهای آماری نشان داد که در مناطق غیرشهری و غیرساختمانی، ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث دارای همبستگی بالای ۹۵ درصد و ضریب تعیین ۹۱ درصد هستند. همچنین متوسط خطای ارتفاعی با در نظر گرفتن ریشه مربعی متوسط خطا، در ارتوفتوی تولیدی از داده‌های گوگل ارث نسبت به داده‌های پهپاد به ترتیب ۱/۱۰ متر و ۱/۳۴ متر را نشان داد. هر چه نقاط در جاهای مسطح منطقه قرار داشته، خطای ارتفاعی کمترین بود و به تناسب افزایش ارتفاع نقاط از سطح زمین، خطا در ارتوفتوی تولیدی از گوگل ارث افزایش پیدا می‌کند. در حالت دوم بررسی کمی نتایج، مجدداً نقاط تصادفی فقط روی مناطق ساختمانی در نظر گرفته شدند. نتایج پارامترهای آماری ضعیفی را بین نقاط ارتفاعی تصادفی در مناطق شهری و ساختمانی حاصل از ارتوفتوی تولیدی از داده‌های پهپاد و گوگل ارث نشان می‌داد. در این مناطق، این پارامترها همبستگی پایین ۸۰ درصد و ضریب تعیین ۶۵ درصد را نشان می‌دادند. همچنین، نتایج کمی در مناطق ساختمانی نشان داد که متوسط خطای ارتفاعی با در نظر گرفتن ریشه مربعی متوسط خطا، در ارتوفتوی تولیدی از داده‌های گوگل ارث نسبت به داده‌های پهپاد به ترتیب حدوداً ۹ متر و ۵ متر است. بررسی خطای ارتفاعی نقاط اتفاقی در مناطق ساختمانی نشان داد که برای عوارض با ارتفاع زیاد از سطح زمین، خطای مؤلفه Z ارتوفتوی تولیدی از تصاویر گوگل ارث با افزایش ارتفاعات عوارض و وجود سایه‌های

- I. I. (2022). Positional accuracy assessment of historical Google Earth imagery in Lagos State, Nigeria. *Applied Geomatics*, 1-24.
19. Oliveira, H., & Galo, M. (2013). Occlusion detection by height gradient for true orthophoto generation, using LiDAR data. *ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 275-280.
20. Ostrowski, W., Gulli, V., Bakula, K., & Kurczyński, Z. (2020). Quality Aspects of True Orthophoto in Urban Areas. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 191-198.
21. Pulighe, G., Baiocchi, V., & Lupia, F. (2016). Horizontal accuracy assessment of very high resolution Google Earth images in the city of Rome, Italy. *International Journal of Digital Earth*, 9(4), 342-362.
22. Rau, J., Chen, N.-Y., & Chen, L.-C. (2002). True orthophoto generation of built-up areas using multi-view images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(6), 581-588.
23. Rusli, N., Majid, M. R., & Din, A. H. M. (2014). Google Earth's derived digital elevation model: A comparative assessment with Aster and SRTM data. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
24. Shoab, M., Singh, V. K., & Ravibabu, M. (2022). High-precise true digital orthoimage generation and accuracy assessment based on UAV images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 50(4), 613-622.
25. Sona, G., Pinto, L., Pagliari, D., Passoni, D., & Gini, R. (2014). Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images. *Earth Science Informatics*, 7(2), 97-107.
26. Tilahun, A., & Teferie, B. (2015). Accuracy assessment of land use land cover classification using Google Earth. *American Journal of Environmental Protection*, 4(4), 193-198.
27. Trubia, S., Curto, S., Severino, A., Arena, F., & Puleo, L. (2021). The use of UAVs for civil engineering infrastructures. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
8. Gharibi, H., & Habib, A. (2018). True orthophoto generation from aerial frame images and LiDAR data: An update. *Remote Sensing*, 10(4), 581.
9. Goudarzi, M. A., & Landry, R. J. (2017). Assessing horizontal positional accuracy of Google Earth imagery in the city of Montreal, Canada. *Geodesy and cartography*, 43(2), 56-65.
10. Habib, A. F., Bang, K.-I., Kim, C., & Shin, S. (2006). True Ortho-photo Generation from High Resolution Satellite Imagery. In *Innovations in 3D Geo Information Systems* (pp. 641-656): Springer.
11. Habib, A. F., Kim, E.-M., & Kim, C.-J. (2007). New Methodologies for True Orthophoto Generation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(1), 25-36. doi:10.14358/pers.73.1.25
12. Kuzmin, Y. P., Korytnik, S. A., & Long, O. (2004). Polygon-based true orthophoto generation. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35(Part 3), 529-531.
13. Li, T., Jiang, C., Bian, Z., Wang, M., & Niu, X. (2020). A review of true orthophoto rectification algorithms. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
14. Lin, Y.-C., Zhou, T., Wang, T., Crawford, M., & Habib, A. (2021). New orthophoto generation strategies from UAV and ground remote sensing platforms for high-throughput phenotyping. *Remote Sensing*, 13(5), 860.
15. Liu, Y., Zheng, X., Ai, G., Zhang, Y., & Zuo, Y. (2018). Generating a high-precision true digital orthophoto map based on UAV images. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(9), 333.
16. Modiri, M. (2011). Ortho Image in Urban Planning (Urban Area With Tall Buildings) Part One - Orthophoto and Ortho Images. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 19(76), 2-9.
17. Mohammed, N. Z., Ghazi, A., & Mustafa, H. E. (2013). Positional accuracy testing of Google Earth. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, 4(6), 6-9.
18. Nwilo, P. C., Okolie, C. J., Onyegbula, J. C., Arungwa, I. D., Ayoade, O. Q., Daramola, O. E., . . . Uyo,

28. Vassilopoulou, S., Hurni, L., Dietrich, V., Baltsavias, E., Pateraki, M., Lagios, E., & Parcharidis, I. (2002). Orthophoto generation using IKONOS imagery and high-resolution DEM: a case study on volcanic hazard monitoring of Nisyros Island (Greece). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(1-2), 24-38.
29. Wang, Q., Yan, L., Sun, Y., Cui, X., Mortimer, H., & Li, Y. (2018). True orthophoto generation using line segment matches. *The Photogrammetric Record*, 33(161), 113-130.
30. Zhong, C., Li, H., & Huang, X. (2011). A fast and effective approach to generate true orthophoto in built-up area. *Sensor Review*.
31. Zhou, G., Wang, Q., Huang, Y., Tian, J., Li, H., & Wang, Y. (2022). True2 Orthoimage Map Generation. *Remote Sensing*, 14(17), 4396.

---

## COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)

---



