



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Slum Area Mapping Using UAV Photogrammetry

H. Salih Mahdi, E. Ghanbari Parmehr*, S. A. Anvari

Department of Geomatics, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

ABSTRACT

Received: 12 January 2024
 Reviewed: 6 April 2024
 Revised: 17 April 2024
 Accepted: 9 May 2024

KEYWORDS:

3D Mapping
 Oblique Images
 Photogrammetry
 Slum
 UAV
 Vertical Images

* Corresponding author

✉ parmehr@nit.ac.ir

☎ (+9811) 35501580

Background and Objectives: The urbanization occurs everywhere, especially in developing countries and is the process of changing the social order and transforming the landscape of a city. However, urbanization always leads to the growth of slums or informal settlements. The development of urban areas with dense and complex slum areas requires extensive planning and very accurate and reliable information. The process of collecting data using traditional methods is time-consuming and expensive.

Methods: Remote sensing is used to identify, identify and monitor slum settlements in space and time and better understand the physical effects of slums. But due to the complexities of the slum areas and the spatial resolution of satellite images, it is not possible to use satellite images to prepare accurate maps with high details. With the emergence of unmanned aerial vehicle (UAV) as an imaging platform and the use of these images for aerial photogrammetric mapping of UAVs, its applications in various fields have increased day by day. Due to their portability, accuracy, low cost, and high imaging speed, UAVs have attracted attention in many research fields to obtain the latest information about target areas. Due to the use of non-metric cameras in UAV photogrammetry, camera calibration is necessary is carried out in the UAV image processing software using the bundle adjustment technique. However, the conventional aerial photogrammetry imaging structure, i.e. obtaining vertical images with overlaps, due to the dependence between the camera calibration parameters and the external orientation parameters of the camera, cannot achieve high accuracy in the 3D maps. In addition, due to the low height of UAV images, more hidden areas are created in the 3D photogrammetric model. In this research, vertical and oblique UAV images with angles of 30 and 45 degrees were used to prepare a three-dimensional map of the slum area with high density and complexity, and the accuracy of the vertical and oblique images was evaluated using control points in the study area.

Findings: The high resolution of UAV images and the generated orthomosaic makes it possible to recognize details and provides a better understanding of the earth's features. For example, walls with a thickness of ten centimeters and power lines with a thickness of two centimeters can be seen. As a result, urban planners can determine the boundaries of buildings with high accuracy and produce cadastral maps with high accuracy. Oblique images are distinguished by a wider field of view than vertical images. It is also possible to see areas hidden under obstacles such as plants, buildings and narrow alleys. This feature provides high accuracy that can be used in projects that require detailed descriptions, such as cultural heritage protection projects and urban projects that require details such as building facades and height estimates.

Conclusion: In this research, vertical and oblique UAV images were used to prepare a 3D map of the slum area, and based on the results, the total error of oblique images is 6.2 and 8.3 cm for oblique images with angles of 30 and 45 degrees, respectively. While the total error of vertical images is equal to 16.1 cm. This comparison shows the superiority of the accuracy of oblique images compared to vertical images.



NUMBER OF REFERENCES

30



NUMBER OF FIGURES

9



NUMBER OF TABLES

8

مقاله پژوهشی

نقشه‌برداری مناطق زاغه‌نشین با استفاده از فتوگرامتری پهپاد

هدی صالح مهدی، عبادت قنبری پرمهر*، سید احمد انوری

گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: پدیده شهرنشینی به‌عنوان فرآیند تغییر نظم اجتماعی و دگرگونی منظر یک شهر در همه جا به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه رخ می‌دهد، اما شهرنشینی، رشد زاغه‌نشینی یا سکونت‌گاه‌های غیررسمی را به‌دنبال داشته و توسعه مناطق شهری با مناطق زاغه‌نشین متراکم و پیچیده، نیازمند برنامه‌ریزی گسترده و اطلاعات دقیق و قابل اعتماد است. جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از روش‌های سنتی زمان‌بر و پرهزینه است، اما فتوگرامتری پهپاد قادر به تهیه نقشه‌های دقیق و قابل اعتماد در مدت زمان کوتاه با جزئیات مکانی بالا برای توصیف و تجسم مناطق زاغه‌نشین هستند.

روش‌ها: به‌دلیل پیچیدگی زیاد بافت مناطق زاغه‌نشین و قدرت تفکیک مکانی محدود تصاویر ماهواره‌ای، امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه‌های دقیق با جزئیات بالا وجود ندارد. پرنده‌های هدایت‌پذیر از راه دور (پهپاد) به‌عنوان سکوی تصویربرداری، امکان اخذ تصاویر با جزئیات زیاد و قدرت تفکیک بالا را فراهم می‌سازند. از این‌رو، فتوگرامتری پهپاد به‌عنوان راهکار مناسب برای تهیه نقشه مناطق زاغه‌نشین مطرح می‌گردد. هر چند که ساختار تصویربرداری به‌روش فتوگرامتری هوایی مرسوم یعنی اخذ تصاویر قائم با پوشش طولی و عرضی امکان تهیه مدل سه بعدی را فراهم می‌سازد، پیچیدگی‌های بافت مناطق زاغه‌نشین، موجب بروز نواحی پنهان زیاد در مدل سه بعدی می‌شود. علاوه بر این، ساختار تصویربرداری متداول به‌دلیل وابستگی بین پارامترهای کالیبراسیون دوربین و پارامترهای توجیه خارجی دوربین در روش مثلث بندی دسته‌اشعه مناسب برای تعیین پارامترهای کالیبراسیون دوربین نیست. از این‌رو، در این تحقیق، تصاویر قائم و مایل پهپادی با زاویه ۳۰ و ۴۵ درجه برای تهیه نقشه سه بعدی منطقه زاغه‌نشینی واقع در شهر شطره استان ذی قار عراق استفاده شده و ارزیابی دقت حاصل از تصاویر قائم و مایل با استفاده از نقاط کنترل موجود در منطقه مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: استفاده از تصاویر مایل، موجب بهبود دید عوارض و کاهش نواحی پنهان گردیده و منجر به افزایش دقت کالیبراسیون شد. علاوه بر این، تصاویر مایل دید وسیع‌تر از تصاویر قائم را پوشش داده و می‌توان مناطق پنهان شده در زیر موانع مانند گیاهان، ساختمان‌ها و کوچه‌های باریک را مشاهده کرد. این ویژگی، دقت بالایی را ارائه می‌دهد که می‌توان از آن در پروژه‌هایی که نیاز به توصیف دقیق دارند، مانند پروژه‌های حفاظت از میراث فرهنگی و پروژه‌های شهری که نیاز به جزئیات مانند نمای ساختمان و برآورد ارتفاع آن‌ها دارند، استفاده کرد.

نتیجه‌گیری: در این تحقیق، از تصاویر قائم و مایل پهپاد برای تهیه نقشه سه بعدی منطقه زاغه‌نشین استفاده شد و بر اساس نتایج حاصل، خطای کل تصاویر مایل به‌ترتیب برابر ۶/۲ و ۸/۳ سانتی‌متر برای تصاویر مایل با زوایای ۳۰ و ۴۵ به‌دست آمد، در حالی که خطای کل تصاویر قائم برابر ۱۶/۱ سانتی‌متر است. این مقایسه، برتری دقت تصاویر مایل نسبت به تصاویر قائم را نشان می‌دهد. در پروژه‌هایی که نیاز به استخراج ارتفاع ساختمان با دقت بیشتری دارند، استفاده از تصاویر مایل، مناسب بوده در حالی که مدل سه بعدی ساختمان‌های دارای ارتفاع کم را می‌توان با تصاویر قائم تولید نمود.

تاریخ دریافت: ۲۲ دی ۱۴۰۲
تاریخ دوری: ۱۸ فروردین ۱۴۰۳
تاریخ اصلاح: ۲۹ فروردین ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۳

واژگان کلیدی:

پهپاد
تصاویر قائم
تصاویر مایل
فتوگرامتری
مناطق زاغه‌نشین
نقشه برداری سه بعدی

* نویسنده مسئول

parmehr@nit.ac.ir

۰۱۱-۳۵۵۰۱۵۸۰

مقدمه

است. مشکل زندگی در مناطق فقیرنشین، یکی از رایج‌ترین مشکلات در بسیاری از کشورها است. در عراق، به‌دلیل وقوع جنگ‌های فراوان و جابه‌جایی از روستاها به شهرها در جستجوی کار، اطلاعات مکانی و زمانی از سکونت شهروندان وجود نداشته و روند ساخت‌وسازهای غیررسمی گسترش یافته است. به‌منظور تسهیل فرآیند سازماندهی، برنامه‌ریزی و تملک زمین، دسترسی به اطلاعات و داده‌های مکانی دقیق، ضروری است. به‌دست آوردن اطلاعات مکانی به روز مستلزم دسترسی به داده‌های کافی در مورد وضعیت مسکن و توصیف دقیق ویژگی‌های مکانی آن‌ها است [۱]. بزرگترین چالش پیش روی

پدیده شهرنشینی، در همه جای دنیا به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه رخ می‌دهد. شهرنشینی، فرآیند تغییر نظم اجتماعی و دگرگونی منظر یک شهر است. با این حال، شهرنشینی، همواره رشد زاغه‌نشینی یا سکونت‌گاه‌های غیررسمی را به‌دنبال دارد [۱]. روند کنونی شهرنشینی، همراه با کمبود مسکن ارزان قیمت و رشد سریع جمعیت و مراکز شهری، منجر به گسترش زاعه‌نشینی یا سکونتگاه‌های غیررسمی در اکثر شهرهای جهان شده است. علاوه بر دشواری دستیابی به مسکن مناسب در مراکز شهرها، به‌گسترش مسکن حومه شهرها کمک کرده

این نقاط و مدل سه‌بعدی تولید می‌گردد. اساس روش ساختار ناشی از حرکت، از نحوه ادراک اجسام توسط چشم انسان الگوبرداری شده است. روش ساختار ناشی از حرکت، امکان دستیابی سریع، خودکار و کم هزینه به داده‌های سه بعدی را فراهم می‌سازد. این روش، به گونه‌ای است که با استفاده از تصاویر متوالی پوشش‌دار مربوط به یک شیء و پردازش تصویر، مدل سه‌بعدی دارای مختصات ایجاد می‌کند [۲۷].

با توجه به استفاده از دوربین‌های غیرمتریک در فتوگرامتری پهپاد، کالیبراسیون دوربین امری ضروری است که در نرم‌افزار پردازش تصاویر پهپاد به روش دسته اشعه انجام می‌گیرد. اما ساختار تصویربرداری به روش فتوگرامتری هوایی مرسوم یعنی اخذ تصاویر قائم با پوشش طولی و عرضی به دلیل وابستگی بین پارامترهای کالیبراسیون دوربین و پارامترهای توجیه خارجی دوربین نمی‌تواند موجب حصول دقت بالا در نقشه‌های سه بعدی حاصل از تصاویر قائم پهپادی گردد. علاوه بر این، به دلیل ارتفاع پایین تصاویر پهپاد مناطق پنهان بیشتری در مدل سه بعدی فتوگرامتری ایجاد می‌گردد [۲۶، ۲۸].

از این رو، تصاویر مایل پهپادی برای تولید نقشه‌های توپوگرافی دقیق تر مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱۱، ۱۲، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۵، ۲۷-۲۹]. استفاده از تصاویر مایل امکان دسترسی به نواحی پنهان را افزایش داده و موجب بهبود دقت کالیبراسیون دوربین به دلیل بهبود استحکام هندسی تصویر برداری می‌شود [۳۰].

در این تحقیق، از تصاویر قائم و مایل پهپادی با زاویه ۳۰ و ۴۵ درجه برای تهیه نقشه سه بعدی منطقه زاغه‌نشینی با تراکم و پیچیدگی بالا استفاده شده و ارزیابی دقت حاصل از تصاویر قائم و مایل با استفاده از نقاط کنترل موجود در منطقه مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در کشور عراق، استان ذی قار، شهر شطره (۳۵° ۲۴' ۳۱" شمالی و ۱۸° ۱۰' ۴۶" شرقی)، واقع در جنوب کشور عراق، (شکل ۱)، در محدوده دشت رسوبی در محدوده‌ای به مساحت ۲۵ هکتار انجام شد. شهر شطره یکی از قدیمی‌ترین شهرهای عراق به شمار می‌رود. سابقه آن، به تمدن سومریان می‌رسد اما نام آن به دوران معاصر بر می‌گردد. رودخانه غراف آن را به دو قسمت تقسیم می‌کند. این امر، منجر به گسترش بسیاری از جوامع مسکونی غیررسمی و زاغه‌نشینی در حاشیه شهر شده است. منطقه مورد مطالعه در حومه جنوبی شهر، در کنار رودخانه، شامل تعداد زیادی ساختمان مسکونی بالغ بر ۳۰۰۰ واحد است. طبق آمار دولت محلی، خانه‌های مسکونی غیررسمی در این منطقه، شباهت ساختاری و بافتی به خانه‌های رسمی دارند، اما در مناطق مختلف و با همپوشانی تصادفی بین ساختمان‌ها ساخته شده‌اند. بیشتر ساختمان‌ها یک طبقه بوده و فاقد جاده دسترسی هستند. علاوه بر این، منطقه فاقد زیرساخت شهری، امکانات بهداشتی، زیست‌محیطی و خدماتی بوده که منجر به گسترش مکان‌های جمع‌آوری زباله شده و گیاهان و نیزار در اطراف منطقه رشد کرده که در بخش‌هایی نیز تجمع آب را که موجب گسترش بیماری شده است.

کارشناسان، جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های مکانی است. کار میدانی بر اساس ویژگی‌های سکونت‌گاهی، کاری پرخطر است، زیرا این زمین‌ها به طور غیرمعمول مشکل‌ساز توصیف می‌شوند. از این رو، نقشه‌برداری زمینی با مشکلات زیادی همراه بوده و بسیار زمان‌بر است.

در مقابل، داده‌های سنجش از دور می‌تواند منبع ارزشمندی در نمایش ویژگی‌های فیزیکی مناطق فقیرنشین و تولید نقشه‌های پایه باشد [۳-۷]. از این رو، از سنجش از دور برای شناسایی و پایش سکونت‌گاه‌های زاغه‌نشین در مکان و زمان و درک بهتر جلوه‌های فیزیکی زاغه‌ها استفاده می‌شود، اما با توجه به پیچیدگی‌های بافت مناطق زاغه‌نشین و قدرت تفکیک مکانی محدود تصاویر ماهواره‌ای، امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه‌های دقیق با جزئیات بالا وجود ندارد [۸، ۹]. در سال‌های اخیر، از پرنده‌های هدایت‌پذیر از راه دور (پهپادها) به طور گسترده‌ای در سازماندهی فعالیت‌های زمینی در محله‌های فقیرنشین استفاده شده است. در تحقیقی در کشور برزیل، از فتوگرامتری پهپاد با هدف یافتن بهترین روش برای بهسازی مسکونی و شهری در سکونت‌گاه‌های غیررسمی و بهینه‌سازی شبکه راه‌ها و شناسایی دقیق ساختمان‌ها برای ارائه بهترین خدمات و زیرساخت‌ها استفاده شده است [۱۰]. در تحقیقات مشابه، با توجه به نیاز روزافزون به نقشه‌های به روز، دقیق و با جزئیات بالا از پهپادها برای نقشه‌برداری مناطق زاغه‌نشین استفاده شده و چالش‌های مربوط به دقت دوربین‌های رقومی، هزینه کم و سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی مورد استفاده در فتوگرامتری پهپاد مورد بحث قرار گرفته است [۱۰-۲۶].

مواد و روش

فتوگرامتری پهپاد

فتوگرامتری علم و فناوری اندازه‌گیری سه بعدی با استفاده از اندازه‌گیری از روی عکس‌های پوشش‌دار است. فتوگرامتری، کاربردهای زیادی از جمله نقشه‌برداری توپوگرافی، نقشه‌های باستان‌شناسی برای حفاظت از تاریخ، معماری شهری و مدل‌سازی سه بعدی برای سازه‌ها، مهندسی عمران، توسعه زیرساخت‌ها و غیره دارد. فتوگرامتری هوایی، بیشتر به عکس‌های گرفته شده توسط دوربین‌های نصب شده در هواپیماهای سرنشین‌دار شناخته می‌شود. در یک دهه گذشته، با ظهور پرنده‌های هدایت‌پذیر از راه دور (پهپاد) به عنوان سکوی تصویربرداری و استفاده از این تصاویر برای نقشه‌برداری هوایی فتوگرامتری پهپاد مطرح و کاربردهای آن در حوزه‌های مختلف روز به روز بیشتر شده است. پهپادها به دلیل قابل حمل بودن، دقت، هزینه کم و سرعت بالا در تصویربرداری، در بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی برای به‌دست آوردن آخرین اطلاعات در مورد مناطق هدف مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین، استفاده از پهپادها در نقشه‌برداری توپوگرافی از قابلیت‌های بالایی در عکس‌برداری، ثبت وقایع و نظارت بر آن‌ها در مناطق برخوردار است و این امر به مدیریت امور شهری بر اساس داده‌ها کمک می‌کند [۲]. پردازش تصاویر رقومی پهپاد با استفاده از الگوریتم ساختار ناشی از حرکت انجام شده و



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

Fig. 1: Study area



شکل ۲: پهپاد DJI Mavic II Pro

Fig. 2: DJI Mavic II Pro UAV

جدول ۱: مشخصات دوربین پهپاد

Table 1: UAV camera specifications

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Test_Pro (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 μm

روند کار

جمع‌آوری داده‌ها

عملیات پرواز تصویربرداری در تاریخ ۲۰۲۳/۰۱/۲۸ انجام شد و قبل از انجام عملیات پرواز، مجوزها و موافقت اداره محلی شهر جهت انجام پرواز اخذ شده و تاریخ و ساعت پرواز اطلاع داده شد. قبل از تصویربرداری نقاط کنترل با توزیع مناسب بر روی زمین علامت‌گذاری و با GPS چند فرکانسه مختصات دقیق آنها اندازه‌گیری شد. برای تصویربرداری هوایی از پهپاد DJI Mavic II Pro (شکل ۲) به وزن ۹۰۷ گرم و ابعاد (۸۴×۹۱×۲۱۴) میلی‌متر و دوربین تجاری از نوع (Test Pro) با وضوح (۳۶۴۲×۵۴۷۲) پیکسل و فاصله کانونی (۲۶.۱۰ میلی‌متر) با شاتر مکانیکی با سرعت بسته شدن ۸-۸۰۰/۱ ثانیه، زاویه دید بیش از ۷۷ درجه و سنسور CMOS استفاده شد (جدول ۱).

۴۵ دقیقه انجام شده و تعداد ۴۹۳ تصویر با فاصله نمونه‌برداری از زمین ۲/۸۹ سانتی‌متر اخذ شد.

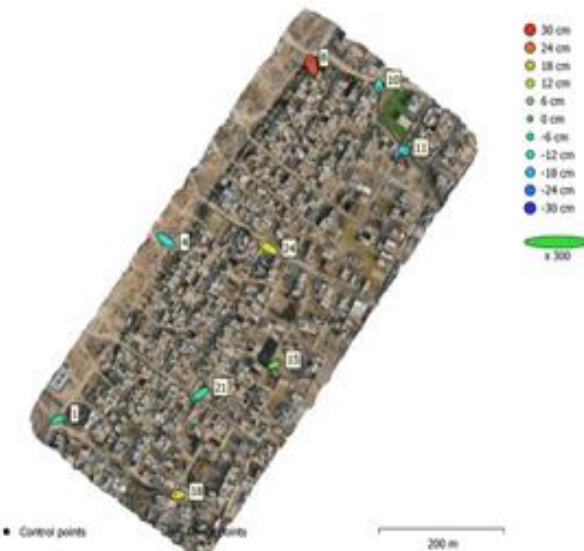


شکل ۵: نمونه تصویر مایل با زاویه ۴۵ درجه
Fig. 5: Oblique image sample (45-degree angle)

پردازش داده‌ها

پردازش تصاویر قائم

برای پردازش تصاویر از نرم‌افزار AgiSoft MetaShape نسخه (۳.۷.۱) استفاده شد. پس از انجام توجیه نسبی تصاویر معرفی، نه نقطه کنترل زمینی به مدل سه بعدی فتوگرامتری تشکیل شده، مثلث‌بندی هوایی انجام گردید. توزیع نقاط کنترل زمینی در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: توزیع و دقت نقاط کنترل زمینی
Fig. 6: Distribution and accuracy of GCPs

سپس، کالیبراسیون دوربین با استفاده پارامترهای فاصله کانونی (F) با واحد پیکسل، مختصات نقطه اصلی (CY, CX) با واحد پیکسل، پارامترهای اعوجاج شعاعی (K1, K2, K3) و پارامترهای اعوجاج مماسی (P1, P2) انجام شده و نتایج، در جدول ۲ نشان داده شده است.

تصویربرداری قائم

تصویربرداری قائم، در ساعت نه صبح با هم‌پوشانی طولی و عرضی ۸۰٪ و ۷۵٪، با ارتفاع پرواز ۷۰ متری در ۷۰ دقیقه انجام شده و تعداد ۹۱۱ تصویر با فاصله نمونه‌برداری از زمین ۱/۹ سانتی‌متر اخذ گردید. شکل ۳، یک نمونه تصویر قائم را نشان می‌دهد. ارتفاع هواپیما، یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر پرواز پهپاد، به‌طوری که دقت مکانی، تعداد تصاویر، مدت پرواز و همچنین مناطق تحت پوشش بر اساس آن تعیین می‌شود.



شکل ۳: نمونه تصاویر قائم
Fig. 3: Vertical image sample

تصویربرداری مایل

دو پرواز مایل با زوایای تصویربرداری ۳۰ و ۴۵ درجه انجام شد. اولین پرواز، در ساعت ۱۱ صبح با زاویه تصویربرداری ۳۰ درجه، با هم‌پوشانی طولی و عرضی ۸۰٪ و ۷۵٪، با ارتفاع پرواز ۱۰۲ متری در ۴۵ دقیقه انجام شده و تعداد ۴۹۳ عکس با فاصله نمونه‌برداری از زمین ۲.۲۳ سانتی‌متر اخذ گردید.



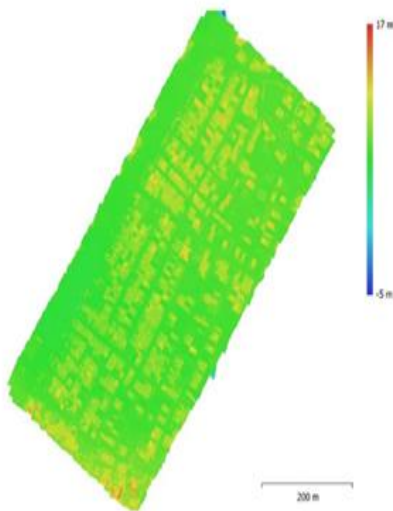
شکل ۴: نمونه تصویر مایل با زاویه ۳۰ درجه
Fig. 4: Oblique image sample (30-degree angle)

پرواز دوم، در ساعت ۴ بعد از ظهر با زاویه تصویربرداری ۴۵ درجه، با هم‌پوشانی طولی و عرضی ۸۰٪ و ۷۵٪، با ارتفاع پرواز ۱۲۵ متری در

جدول ۲: پارامترهای کالیبراسیون دوربین

Table 2: Camera calibration parameters

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2572.12	7.1	1.00	-0.76	-0.57	-0.43	-0.68	0.91	0.79	-0.64
Cx	56.409	0.1		1.00	0.44	0.32	0.53	-0.70	-0.51	0.49
Cy	-24.1578	0.074			1.00	0.25	0.39	-0.52	-0.45	0.45
K1	-0.002685	3.2e-05				1.00	-0.35	-0.05	-0.34	0.27
K2	-0.003354	5.6e-05					1.00	-0.92	-0.54	0.44
K3	0.002229	4.1e-05						1.00	0.72	-0.59
P1	0.001260	4.5e-06							1.00	-0.52
P2	-0.000615	2.6e-06								1.00



شکل ۷: مدل رقومی زمین
Fig. 7: Digital Elevation Model



شکل ۸: اورتوموزاییک
Fig. 8: Orthomosaic

پس از انجام کالیبراسیون و به دست آوردن پارامترهای توجیه داخلی و خارجی دوربین میانگین خطای مراکز تصویر قائم طبق جدول ۳ به دست آمد.

جدول ۳: میانگین خطای مراکز دوربین تصاویر قائم

Table 3: Mean error of camera centers for vertical images

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.4	3.4	30.2	4.2	30.4

خطای نقاط کنترل زمینی برای تصاویر قائم در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: خطا در نقاط کنترل زمینی تصاویر قائم

Table 4: Errors in GCPs for vertical images

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)
1	4.7	1.7	-9.1	10.4
4	6.3	-4.4	-14.2	16.2
8	-1.7	4.7	27.4	27.9
10	-0.006	-2.2	-12.7	12.9
11	1.7	-0.6	-16.1	16.2
15	4.1	1.7	5.5	7.1
18	-3.2	-0.4	16.5	16.9
21	-5.9	-4.0	-10.8	12.9
24	-6.1	3.4	14.1	15.8
Total	4.3	3.0	15.2	16.1

پس از مثلث بندی هوایی و کالیبراسیون دوربین، ابر نقاط سه بعدی و مدل رویه سه بعدی ایجاد شد. شکل ۷، مدل رویه سه بعدی را نشان می دهد. با استفاده از مدل رویه زمین اورتوموزاییک یا همان عکس نقشه تولید شده که می تواند برای ترسیم مسطحاتی عرصه و عیان ساختمان های منطقه زاغه نشین مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۸).

تحلیل نتایج

بحث

پس از مثلث‌بندی هوایی و کالیبراسیون دوربین، ابر نقاط سه بعدی و مدل رویه سه بعدی ایجاد شد. در نهایت، اورتوموزاییک یا همان عکس نقشه تولید شد که برای ترسیم مسطحاتی عرصه و عیان ساختمان‌های منطقه زاغه‌نشین مورد استفاده قرار گرفت. قدرت تفکیک بالای تصاویر اورتوموزاییک تشخیص جزئیات را به راحتی ممکن نموده و درک بهتری از ویژگی‌های زمین را فراهم کرده و دید جامعی از منطقه ارائه می‌دهد. با استفاده از اورتوموزاییک با قدرت تفکیک بالا، می‌توان مصالح مورد استفاده در ساخت واحدهای مسکونی و نوع سقف‌ها را نیز تشخیص داد (شکل ۹). به‌عنوان مثال، دیوارها با ضخامت ده سانتی‌متر و کابل‌های برق با ضخامت دو سانتی‌متر قابل رویت هستند. نتایج مشابه کارایی فتوگرامتری پهپاد در تهیه نقشه مناطق زاغه‌نشین متراکم در تحقیق [۱۰] گزارش شده است. با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک بالای پهپاد و مدل سه بعدی ساخته شده، برنامه‌ریزان شهری می‌توانند مرزهای واحدهای مسکونی را با دقت بسیار بالایی تعیین نموده و نقشه‌های کاداستر را با دقت بالا تولید نمایند.



شکل ۹: جزئیات در تصاویر قائم
Fig. 9: Details in vertical images

در مقایسه تصاویر قائم و مایل، هر یک از تصاویر مزایا و معایب خود را داشته و انتخاب نوع تصویر به نوع پروژه و هدف مورد نظر بستگی دارد، اما به‌طور کلی تصاویر مایل با دید وسیع‌تری از تصاویر قائم متمایز می‌شود. همچنین، می‌توان مناطق پنهان شده در زیر موانع مانند گیاهان، ساختمان‌ها و کوچه‌های باریک را مشاهده کرد. این ویژگی، دقت بالایی را ارائه می‌دهد که می‌توان از آن در پروژه‌هایی که نیاز به توصیف دقیق دارند، مانند پروژه‌های حفاظت از میراث فرهنگی و پروژه‌های شهری که نیاز به جزئیات مانند نمای ساختمان و برآورد ارتفاع آن‌ها دارند، استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

با ظهور روش‌های نوین نقشه‌برداری، فتوگرامتری پهپاد به‌عنوان روشی کارآمد، سریع و ارزان برای تهیه نقشه سه بعدی از مناطق کوچک شناخته شده است. بایستی عواملی مانند نوع پرنده، نوع سنجنده و دوربین و همچنین نحوه تصویربرداری و استفاده از نقاط کنترل و دقت

پردازش تصاویر مایل

پردازش تصاویر مایل، مشابه پردازش تصاویر قائم انجام شده و نتایج خطا، در اندازه‌گیری مراکز تصویر برای هر دو پرواز به‌دست آمد که در جدول ۵ و ۶ نشان داده شده است.

جدول ۵: میانگین خطای مراکز دوربین تصاویر زاویه ۳۰ درجه

Table 5: Mean error of camera centers for oblique images (30-degree angle)

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
3.1	1.9	3.5	3.7	5.1

جدول ۶: میانگین خطای مراکز دوربین تصاویر زاویه ۴۵ درجه

Table 6: Mean error of camera centers for oblique images (45-degree angle)

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.0	1.7	3.0	2.6	4.0

در تصاویر مایل ۳۰ درجه از نه نقطه کنترل زمینی استفاده شده است که به شیوه‌ای مشابه تصویر قائم توزیع شده که خطای مختصات آن‌ها در جدول ۷ نشان داده شده است. همچنین، در تصاویر مایل ۴۵ درجه، از پنج نقطه کنترل زمینی استفاده شده که خطای نقاط کنترل در جدول ۸ آمده است.

جدول ۷: خطای نقاط کنترل زمینی در تصاویر مایل ۳۰ درجه

Table 7: Errors in GCPs for oblique images (30-degree angle)

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)
1	3.1	-2.2	-4.0	5.5
4	1.1	-1.6	-2.43	3.1
8	1.5	1.6	6.2	6.7
10	0.0	-4.0	-1.7	4.4
13	3.3	1.9	-7.7	8.6
16	-0.3	2.0	2.6	3.3
18	-1.9	-1.4	4.2	4.8
22	0.2	0.1	-4.8	4.8
24	-7.0	3.6	7.6	11.0
Total	2.9	2.3	5.0	6.2

جدول ۸: خطای نقاط کنترل زمینی در تصاویر مایل ۴۵ درجه

Table 8: Errors in GCPs for oblique images (45-degree angle)

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)
1	4.5	1.6	-6.6	8.2
8	-0.7	-2.2	3.8	4.5
13	5.6	1.5	-8.9	10.7
18	-2.2	-2.8	5.2	6.3
24	-7.3	1.9	6.6	10.0
Total	4.7	2.1	6.5	8.3

[5] R. Mahabir, A. Croitoru, A. T. Crooks, P. Agouris, and A. Stefanidis, "A critical review of high and very high-resolution remote sensing approaches for detecting and mapping slums: Trends, challenges and emerging opportunities," *Urban Science*, vol. 2, no. 1, p. 8, 2018.

[6] J. C. Duque, J. E. Patino, and A. Betancourt, "Exploring the potential of machine learning for automatic slum identification from VHR imagery," *Remote Sensing*, vol. 9, no. 9, p. 895, 2017.

[7] A. Najmi, C. M. Gevaert, D. Kohli, M. Kuffer, and J. Pratomo, "Integrating remote sensing and street view imagery for mapping slums," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 11, no. 12, p. 631, 2022.

[8] A. M. Ambugadu and N. B. Hosni, "MODELLING INFORMAL SETTLEMENTS EXPANSION FOR SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT: A SCIENTOMETRIC REVIEW," *Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*, vol. 19, no. 1, pp. 1567-1592, 2022.

[9] A. M. Ambugadu and N. Hosni, "Identifying Informal Settlements in Satellite Images for Sustainable Urban Planning: a Systematic Review of Methods Available," *J Inf Syst Technol Manag*, vol. 7, no. 25, pp. 102-119, 2022.

[10] J. G. Gomes and J. C. Pedrassoli, "Survey of slum housing characteristics using drones: An experiment in the Alto das Pombas community, Salvador de Bahia/Brazil," *Quaestiones Geographicae*, vol. 40, no. 3, pp. 169-182, 2021.

[11] I. Aicardi, F. Chiabrandi, N. Grasso, A. M. Lingua, F. Noardo, and A. Spanò, "UAV photogrammetry with oblique images: First analysis on data acquisition and processing," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing*, vol. 41, pp. 835-842, 2016.

[12] C. Gevaert, R. Sliuzas, C. Persello, and G. Vosselman, "Opportunities for UAV mapping to support unplanned settlement upgrading," *International Journal of Applied Earth Observation*, vol. 1, 2016.

[13] C. M. Gevaert, C. Persello, R. Sliuzas, and G. Vosselman, "Monitoring household upgrading in unplanned settlements with unmanned aerial vehicles," *International Journal of Applied Earth Observation Geoinformation*, vol. 90, p. 102117, 2020.

[14] Q. P. Ashilah and R. Hernina, "Urban slum identification in bogor tengah sub-district, bogor city using unmanned aerial vehicle (uav) images and object-based image analysis," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 716, no. 1: IOP Publishing, p. 012133.

[15] R. A. Ansari, R. Malhotra, and K. M. Buddhiraju, "Identifying informal settlements using contourlet assisted deep learning," *Sensors*, vol. 20, no. 9, p. 2733, 2020.

[16] F. Ali, "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in urban land regularization process. Opportunities and challenges," *African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences*, vol. 3, no. 1, pp. 1-10, 2020.

نهایی در پروژه‌های فتوگرامتری پهباد مورد توجه قرار گیرد. در این تحقیق، از تصاویر قائم و مایل پهباد برای تهیه نقشه سه بعدی منطقه زاغه‌نشین استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل، خطای کل تصاویر مایل به ترتیب برابر ۶/۲ و ۸/۳ سانتی‌متر برای تصاویر مایل با زوایای ۳۰ و ۴۵ به دست آمد در حالی که خطای کل تصاویر قائم برابر ۱۶/۱ سانتی‌متر است. این مقایسه، برتری دقت تصاویر مایل نسبت به تصاویر قائم را نشان می‌دهد. در پروژه‌هایی که نیاز به استخراج ارتفاع ساختمان با دقت بیشتری دارند استفاده از تصاویر مایل مناسب است در حالی که ساختمان‌های دارای ارتفاع کم یا مسطح هستند، با تصاویر قائم می‌توان به اهداف مشابهی دست یافت. علاوه بر این، ارتفاع پرواز در تصاویر قائم کمتر از تصاویر مایل بود و در نتیجه، با توجه به دید مایل، می‌توان از تصاویر مایل برای تصویربرداری از مناطق بزرگتر با تعداد تصویر کمتر استفاده کرد که جزئیات کاملتری از نمای جانبی ساختمان‌ها و عوارض را ارائه می‌دهد.

در کل، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فتوگرامتری پهباد، رقیب خوبی برای روش‌های نقشه‌برداری نوین بوده و از طریق آن می‌توان داده‌های یکپارچه را با کمترین هزینه و کوتاه‌ترین دوره‌های زمانی، هم در مرحله جمع‌آوری و هم در مرحله پردازش داده‌ها ارائه کرد.

مشارکت نویسندگان

در این مقاله، نویسندگان به نسبت سهم برابر مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمام افرادی که در جمع‌آوری اطلاعات و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها ما را در این تحقیق یاری رساندند، تشکر و تقدیر می‌نمایند.

تعارض منافع

«هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است»

منابع و مآخذ

[1] M. Barry and H. Rüter, "Data collection techniques for informal settlement upgrades in Cape Town, South Africa," *Urisa Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 43-52, 2005.

[2] C. M. Gevaert, R. Sliuzas, C. Persello, and G. Vosselman, "Evaluating the societal impact of using drones to support urban upgrading projects," *ISPRS international journal of geo-information*, vol. 7, no. 3, p. 91, 2018.

[3] M. Kuffer, K. Pfeffer, and R. Sliuzas, "Slums from space—15 years of slum mapping using remote sensing," *Remote Sensing*, vol. 8, no. 6, p. 455, 2016.

[4] T. Stark, M. Wurm, H. Taubenböck, and X. X. Zhu, "Slum mapping in imbalanced remote sensing datasets using transfer learned deep features," in *2019 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, 2019: IEEE, pp. 1-4.

[28] I. Toschi *et al.*, "Oblique photogrammetry supporting 3D urban reconstruction of complex scenarios," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42, pp. 519-526, 2017.

[29] C. Amrullah, D. Suwardhi, and I. Meilano, "Product accuracy effect of oblique and vertical non-metric digital camera utilization in UAV-photogrammetry to determine fault plane," *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sciences*, vol. 3, pp. 41-48, 2016.

[30] E. G. Parmehr, M. Savadkouhi, and M. Nopour, "The impact of oblique images and flight-planning scenarios on the accuracy of UAV 3D mapping," *The Photogrammetric Record*, 2023. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/phor.12466>

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



هدی صالح مهدی در سال ۱۳۸۶ کارشناسی مهندسی نقشه برداری خود را از دانشکده فنی مهندسی بغداد (عراق) و کارشناسی ارشد را از دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل (ایران) در رشته فتوگرامتری در سال ۱۴۰۲ دریافت نموده است. از سال ۱۳۸۸ به عنوان مسئول بخش پروژه‌ها در شهرداری شطره/ذی قار (عراق)، در بخش پروژه‌ها در زمینه راه و شهرسازی و سازماندهی مشغول به کار است. زمینه تخصصی ایشان سنجش از دور، فتوگرامتری هوایی و پهپاد می‌باشد.

Salih Mahdi, H., Department of Geomatics Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
[✉ hudasalam694@gmail.com](mailto:hudasalam694@gmail.com)



عبادت قنبری پرمهر دارای مدرک دکتری تخصصی مهندسی نقشه برداری (گرایش فتوگرامتری) از دانشگاه ملبورن استرالیا می‌باشد. پس از اخذ دکتری، ایشان به مدت دو سال به عنوان پژوهشگر پسادکتر در دانشگاه RMIT استرالیا تحقیق نموده و از سال ۱۳۹۵ تا کنون به عنوان استادیار در گروه مهندسی نقشه برداری دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل مشغول به فعالیت هستند. ایشان تا کنون موفق به چاپ بیش از ۳۰ مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین‌المللی شده‌اند. زمینه‌های تخصصی ایشان عبارتند از: فتوگرامتری، سنجش از دور، پردازش تصاویر، کاربرد یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در کشاورزی و سنجش از دور.

Parmehr, E. G. Assistant Professor at the Department of Geomatics Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
[✉ parmehr@nit.ac.ir](mailto:parmehr@nit.ac.ir)

[17] S. M. Azmi, B. Ahmad, and A. Ahmad, "Accuracy assessment of topographic mapping using UAV image integrated with satellite images," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2014, vol. 18, no. 1: IOP Publishing, p. 012015 .

[18] R. El Meouche, I. Hijazi, P. A. Poncet, M. Abunemeh, and M. Rezoug, "UAV photogrammetry implementation to enhance land surveying, comparisons and possibilities," *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, vol. 42, pp. 107-114, 2016.

[19] M. Fantin, J. C. Pedrassoli, G. N. Zaratine, and I. L. F. Coelho, "The use of UAV for slums land regularization: Potentialities, hindrances, and challenges," in *XXII Congresso Internacional da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital, Blucher Blucher Design Proceedings*, 2018, vol. 5, pp. 560-56 .7.

[20] C. M. Gevaert, C. Persello, R. Sliuzas, and G. Vosselman, "Informal settlement classification using point-cloud and image-based features from UAV data," *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 125, pp. 225-236, 2017.

[21] S. G. Gupta, D. M. Ghonge, and P. M. Jawandhiya, "Review of unmanned aircraft system (UAS)," *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET) Volume*, vol. 2, 2013.

[22] T. F. Olivatto, F. F. Inguaggiato, and F. N. Stanganini, "Urban mapping and impacts assessment in a Brazilian irregular settlement using UAV-based imaging," *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, vol. 29, p. 100911, 2023.

[23] N. Sahriman, M. Z. Z. Abiden, A. R. A. Rasam, and N. M. Tarmizi, "Urban poverty area identification using high resolution satellite imagery: A preliminary correlation study," in *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, 2013 2013: IEEE, pp. 430-434 .

[24] G. P. Sigdel, "Informal settlement segmentation using VHR RGB and height information from UAV imagery: A case study of Nepal," Master, Universitat Jaume I, 2021 .

[25] H. Yao, R. Qin, and X. Chen, "Unmanned aerial vehicle for remote sensing applications—A review," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 12, p. 1443, 2019.

[26] Y. Zhou, E. Rupnik, C. Meynard, C. Thom, and M. Pierrot-Deseilligny, "Simulation and analysis of photogrammetric UAV image blocks—Influence of camera calibration error," *Remote sensing*, vol. 12, no. 1, p. 22, 2019.

[27] E. Sanz-Ablanedo, J. H. Chandler, J. R. Rodríguez-Pérez, and C. Ordóñez, "Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SfM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used," *Remote Sensing*, vol. 10, no. 10, p. 16-2018, 06.

مجلات و کنفرانس‌ها می‌باشند. زمینه‌های تخصصی ایشان در زمینه‌های شهرسازی مبتنی بر نقشه‌برداری است.

Anvari, S. A. Assistant Professor at the Department of Geomatics Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

✉ s.a.anvari@nit.ac.ir



سیداحمد انوری دارای دکتری تخصصی مهندسی شهرسازی (برنامه ریزی شهری و منطقه‌ای) ازدانشگاه علم و صنعت ایران می‌باشد. در حال حاضر به عنوان عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل مشغول به فعالیت هستند. ایشان دارای چندین مقاله در

Citation (Vancouver): Salih Mahdi H, Ghanbari Parmehr E, Anvari S. A. [Slum Area Mapping Using UAV Photogrammetry]. *J. RS. GEOINF. RES.* 2024; 2(1): 1-10

 <https://doi.org/10.22061/jrsgr.2024.10593.1047>



COPYRIGHTS

© 2024 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)