اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی نقشه‌برداری
۲۹ و ۳۰ دی ماه ۱۳۹۴

The 1st National Conference on
Geospatial Information Technology
K.N.Toosi University of Technology
Faculty of Geomatics Engineering
19 - 20 January 2016

تهیه نقشه‌های کاداستر بزرگ مقیاس از مناطق شهری با استفاده از روش فتوگرامتری پهپاد

امین باغانی[۱]، محمدجواد ولدان‌زوج[۲]، مهدی مختارزاده[۳]

۱-دانشجوی دکتری فتوگرامتری دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲-دانشیار دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳-استادیار دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده :

رشد فزاینده مناطق شهری و نرخ بالای تغییرات آن‌ها در کنار پیچیده بودن برخی ساختارهای شهری و دشواری تهیه اطلاعات موثق از این ساختارها در سطح زمین، روشهای نقشه‌برداری متداول را به منظور تهیه و بروزرسانی نقشه‌های کاداستر از این مناطق، با چالش جدی مواجه ساخته است. اخیراً روش نوین فتوگرامتری پهپاد برد کوتاه، با غلبه بر برخی مشکلات فتوگرامتری هوائی کلاسیک، به عنوان یک راه حل جدی به منظور تهیه نقشه‌های توپوگرافی مطرح شده است. در تحقیق حاضر امکان استفاده از سکوهای بدون سرنشین جهت تولید نقشه‌های کاداستر با مقیاس ۱:۵۰۰ از مناطق شهری نسبتاً وسیع، ارزیابی گردیده است. تحلیل جامعی بر روی پارامترهای اثرگذار بر دقت و ویژگی‌های اطلاعات سه‌بعدی تولید شده از این روش، ارائه شده است و با توجه به دقت مورد درخواست این پارامترها تحلیل و نهایتاً مقدار بهینه برای آنها انتخاب گردیده‌اند. ارزیابی جامعی بر روی دقت و قابلیت اعتماد این روش در تهیه نقشه‌های کاداستر ارائه شده است. به علت وجود مشکل نواحی پنهان، اعوجاجات نسبتاً شدیدی در ارتوفتو در محل لبه ساختمان‌ها و دیوارها به عنوان مهم‌ترین عوارض شهری، مشاهده گردید. جهت غلبه بر عوامل ایجادکننده این مشکل، از نوعی طراحی پرواز ویژه و ابتکاری تحت عنوان طراحی پرواز مضاعف استفاده گردید. نتایج بهبود چشم‌گیر دقت‌ها را نشان داد. همچنین مشاهدات کیفی و ارزیابی‌های کمی در ارتوفتو، کارائی-های طرح پرواز مضاعف در مقایسه با طرح پروازهای متداول را نشان داد. ارزیابی‌های دقت نشان دادند که با استفاده از طراحی پرواز مضاعف و بهره بردن از تنها ۹ نقطه کنترل برای مساحت در حدود ۵۰۰ هکتار، می‌توان به دقت مسطحاتی و ارتفاعی در حدود ۵ سانتی-متر دست یافت. خطای بیشینه مسطحاتی و ارتفاعی در این حالت در حدود ۱۰ سانتی‌متر برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی : فتوگرامتری پهپاد، کاداستر، طراحی پرواز

نویسنده مکاتبه کننده : امین باغانی
آدرس پستی :
تلفن :
آدرس پست الکترونیک :

۱- مقدمه

امروزه اطلاعات مکانی یکی از مهم‌ترین ابزارهای تصمیم‌گیری در سطوح مختلف یک جامعه محسوب می‌گردند. اهمیت اطلاعات مکانی و کارایی آن در تسهیل روند تصمیم‌سازی به حدی است که در کشورهای بسیاری در بین سایر اطلاعات، از اطلاعات مکانی بعنوان" اطلاعات ویژه "یاد می‌گردد. اطلاعات کاداستر بعنوان یکی از مهم‌ترین انواع اطلاعات مکانی محسوب می‌گردد و بعنوان یکی از ابزارهای لازم برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار در مرکزیت سیستم مدیریت زمین هر کشوری قرار می‌گیرد. اهمیت کاداستر کارآمد زمانی آشکارتر می‌گردد که سیستم‌های مدیریت زمین مبتنی برآن می‌توانند به آسانی حقوق، محدودیت‌ها و مسئولیت‌های وابسته به املاک، ارزیابی بازار زمین و ملک و همچنین کاربری زمین را تحت کنترل درآورند [۱].

روش‌های تهیه نقشه‌های کاداستر را می‌توان به دو روش مستقیم و غیر مستقیم دسته‌بندی نمود. در روش مستقیم معمولاً از گیرنده‌های GNSS، متر و دستگاه‌های تاکئومتری نظیر تئودولیت و توتال استیشن، استفاده می‌شود. نقشه-برداری با استفاده از چنین تجهیزاتی، معمولاً دقت‌های مناسبی را در تعیین موقعیت نقاط و خطوط مالکیت در اختیار قرار می‌دهد. اما سرعت نسبتاً پائین روش‌های مستقیم را می‌توان عمده‌ترین ضعف آن‌ها برشمرد. از طرف دیگر اخذ داده‌ها در سطح زمین با یک دید محدود و ضعیف، با توجه به پیچیدگی‌های موجود در برخی بافت‌های شهری که یک دید کلی و سرتاسری را می‌طلبد، ممکن است منجر به اندازه‌گیری نقاط و مرزهای مالکیت توأم با اشتباه گردد. همچنین بروز برخی تغییرات در وضعیت و موقعیت خطوط مالکیت پس از انجام نقشه‌برداری، مستند و منضم نبودن داده‌های کمی مکانی به داده‌های کیفی نظیر عکس‌ها و ارتوفتوی یکپارچه، سبب بروز برخی ابهامات و دعوی‌های حقوقی می‌شود.

در مقابل روش مستقیم زمینی، روش‌های غیرمستقیم از تکنولوژی‌های نوین‌تری نظیر فتوگرامتری هوائی، فتوگرامتری فضائی و لیدار بهره می‌برند. در حال حاضر نقشه‌های کاداستر که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا یا تصاویر هوائی تهیه می‌شوند، کوچک مقیاس یا متوسط مقیاس هستند که یا توانائی تفکیک مرزهای مالکیت به صورت انفرادی برای هر قطعه را ندارند و یا دقت درخور نیازهای کاداستر ارائه نمی‌دهند. این مسأله به دلیل توان تفکیک مکانی و رادیومتریکی پایین این تصاویر است [۲].

رشد سریع نیازمندی‌های مربوط به حیطه اطلاعات مکانی بویژه در سیستم‌های کاداستر، سبب ایجاد تقاضاهائی برای ارائه روش‌های سریع و کارآمد نقشه‌برداری شده است. تصاویر اخذ شده از سکوهای پرنده بدون سرنشین امروزه به عنوان یک منبع داده با ارزش به منظور تهیه نقشه‌ها و اطلاعات مکانی با قدرت تفکیک مکانی بالا، به صورت جدی مطرح شده‌اند. از آنجائیکه فتوگرامتری هوائی بردکوتاه با استفاده از پرنده‌های بدون سرنشین را می‌توان به عنوان یک جایگزین ارزان‌قیمت و سهل‌الوصول برای فتوگرامتری هوائی کلاسیک دانست، کاربردهای جدید در حیطه فتوگرامتری برد کوتاه را نیز می‌توان برای آن متصور شد [۳].

عمودپروازها و هواپیماهای بدون سرنشین قابلیت اخذ داده توسط دوربین‌های رقومی غیرمتریک و پرواز در حالت‌های دستی، نیمه خودکار و خودکار را دارا هستند. فتوگرامتری با استفاده از پهپاد، در مقایسه با فتوگرامتری سنتی، به دلیل استفاده از سکوهای بدون سرنشین سبک و کوچک، بسیار انعطاف پذیر است. عمودپروازها را معمولاً می‌توان از هر مکانی پرواز داد و نیاز به باند پرواز ندارند. ارتفاع پرواز آنها در مقایسه با انواع با سرنشینشان، آنها را در تراز پایینتر از ابرها قرار می‌دهد، در نتیجه در روزهای ابری نیز امکان اخذ اطلاعات را خواهند داشت. از طرف دیگر ارتفاع پائین، سبب اخذ تصاویر با قدرت تفکیک مکانی و کیفیت محتوی تصویر بالاتر می‌شود، بنابراین با استفاده از آن‌ها می‌توان اطلاعات سه‌بعدی دقیق‌تری از سطح زمین تولید نمود.

با نقشه‌برداری زمینی صرفاً می توان به نقشه توپوگرافی یک منطقه در زمان طولانی و با هزینه زیاد دست یافت، در حالیکه در نقشه های استخراج شده از تصاویر هوایی می توان علاوه بر کاهش زمان و هزینه (به نسبت ابعاد) به محصولات دیگری نظیر: ارتوفتو، مدل سه‌بعدی و ابرنقطه رنگی نیز دست یافت. درحالیکه بسیاری از نیازهای مطرح شده در زمینه کاربرد تهیه نقشه‌های کاداستر، فقط محدود به جنبه دقت اطلاعات سه‌بعدی تولید شده برای خطوط مالکیت نیست، بلکه صحت و قابلیت اعتماد این اطلاعات از اهمیت بیشتری برخوردار است [۴].

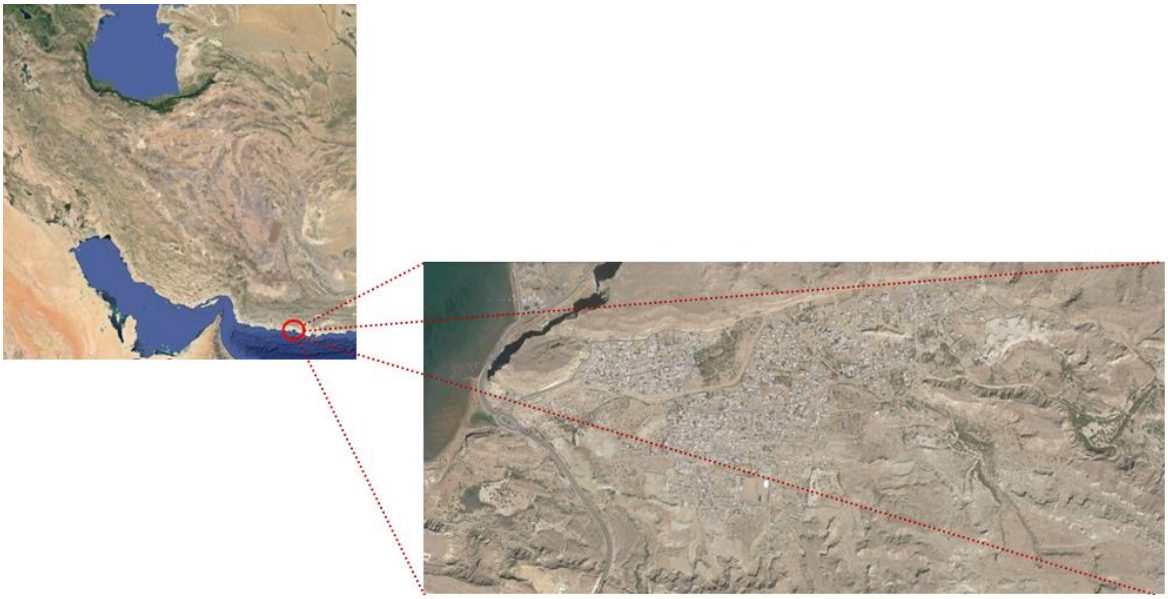
ارتوفتوی با قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریکی بالا، به عنوان یک منبع اطلاعاتی بالاسری به علت منضم بودن ویژگی-های کیفی به اطلاعات کمی در آن، می‌تواند از پیچیدگی‌های اخذ اطلاعات سه‌بعدی در سطح زمین و اشتباهات احتمالی در تشخیص مرزهای مالکیتی و جداکننده بین قطعات، بکاهد.

هدف از این تحقیق، انجام یک مطالعه جامع برروی امکان استفاده از پهپاد به منظور تهیه نقشه‌های کاداستر بزرگ مقیاس است. در تحقیق حاضر از پهپاد عمودپرواز به منظور اخذ تصویر از منطقه نیمه‌شهری به منظور تهیه نقشه کاداستر به مقیاس ۱:۵۰۰ استفاده شده است. به طراحی پرواز، به عنوان یکی از مهمترین و تعیین‌کننده‌ترین مراحل تهیه نقشه به روش فتوگرامتری، به شکل ویژه‌ای پرداخته شده است. انتخاب دوربین، فاصله کانونی، ارتفاع پرواز، پوشش‌های طولی و عرضی در نوارهای عکسبرداری، موقعیت ایستگاه‌های عکسبرداری و هندسه نوارهای عکسبرداری، در این مرحله و بر حسب دقت مورد درخواست تعیین گردیده‌اند و اثر این پارامترها بر دقت نهائی، تحلیل شده است. مشکل ذاتی فتوگرامتری در اعوجاج ارتوفتوی مناطق شهری در محل لبه ساختمان‌ها و دیوارها، بررسی گردید و جهت حل آن، طراحی پرواز ویژه و ابتکاری تحت عنوان "نوارهای مضاعف و متعامد" پیاده‌سازی گردید و نتایج حاصل از آن مورد ارزیابی واقع شده است. در نهایت، دقت ارتوفتو و اطلاعات ارتفاعی حاصل نیز، جهت تولید نقشه‌های کاداستر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد نظر جهت تهیه نقشه، روستای باستانی تیس از توابع شهرستان چابهار ایران به مساحت ۴۷۱ هکتار است که در منطقه کوهپایه‌ای در پنج کیلومتری شمال غربی چابهار و در کنار دریای عمان واقع شده‌است (شکل ۱). مختصات جغرافیایی شمال غربی و جنوب شرقی منطقه به ترتیب برابر (° ۶۰/۶۰۹ ، ° ۲۵/۳۶۲) و (° ۶۰/۶۴۷ ، ° ۲۵/۳۴۹) است. اختلاف بین بیشینه و کمینه ارتفاع موجود در منطقه نیز برابر ۱۴۰ متر است.



شکل ۱: معرفی منطقه مورد مطالعه

۲-۲- پهپاد مورد استفاده و ویژگی‌های آن

سیستم بدون سرنشین مورد استفاده در تحقیق حاضر، یک عمود پرواز هشت بال[1] بود (شکل ۲). وزن تقریبی این پرنده ۴ کیلوگرم و ابعاد آن ۰/۲۹× ۰/۴۶ ×۰/۵۰ متر می‌باشد. مجموعه باطری تعبیه شده برای این سیستم، مداومت پرواز ۲۰ دقیقه‌ای را برای آن فراهم می‌سازد. استفاده از سیستم‌های ناوبری خودکار[2] حرفه‌ای نیز امکان انجام پرواز در حالت خودکار بر روی یک نقشه یا ارتوفتوی زمین‌مرجع را فراهم ساخته است. الگوریتم‌های نوین این سیستم‌ها، قابلیت کنترل شاتر دوربین را فراهم کرده است. بنابراین پس از انجام طراحی پرواز و مشخص شدن موقعیت مراکز عکسبرداری، پرنده قابلیت اخذ تصاویر در تمامی ایستگاه‌های عکسبرداری از پیش تعیین‌شده را به صورت خودکار دارد. به منظور پایدارسازی دوربین و جلوگیری از تأثیر لرزش و تکان‌ها، از پایدارساز سه محوره در پرنده استفاده گردیده است. با استفاده از پایدارسازها، می‌توان تصاویر قائم و یا با زوایای دورانی دلخواه اخذ نمود و خطای کشیدگی تصویر در اثر حرکت دوربین را کمینه نمود.

شکل ۲: پرنده بدون سرنشین مورد استفاده

[1] OcotoRotor
[2] Autopilot

۳-۲- دوربین مورد استفاده

در تحقیق حاضر از دوربین رقومی غیرمتریک Sony NEX-7، استفاده گردید. مشخصات این دوربین در شکل (۳) ذکر گردیده است.

Sensor Type:	CMOS
Effective Megapixels:	24.3
Sensor size:	366.6mm^2 (23.50mm x 15.60mm)
Pixel size:	3.92 microns
Image Resolution:	6000 x 4000 (24.0 MP, 3:2)
Focal Length :	16 - 55mm

شکل ۳: دوربین مورد استفاده و برخی ویژگی‌های آن

۴-۲- نرم‌افزار پردازش فتوگرامتری

نرم‌افزارهای بسیاری تا کنون به منظور پردازش تصاویر هوائی جهت تولید نقشه، توسعه یافته‌اند. اخیراً این نرم‌افزارها، دانش فتوگرامتری و ماشین بینائی را باهم تلفیق نموده و تا حدود زیادی مختص پردازش تصاویر هوائی بردکوتاه اخذ شده توسط دوربین‌های رقومی غیرمتریک، هستند. این نرم‌افزارها از روش موسوم به "ساختار از حرکت[۳]" استفاده می کنند [۵]. برخی از این نرم‌افزارها به صورت منبع باز و رایگان منتشر شده‌اند، نظیر Bundler and CMVS [۶] و Apero and Mic-Mac [۷].

در تحقیق حاضر از نرم افزار Agisoft Photoscan، به عنوان یکی از کارآمدترین انواع این نرم‌افزارها، استفاده شده است. این نرم‌افزار بر پایه تکنیک بازسازی سه‌بعدی چندمنظری عمل می‌کند و از سطح اتوماسیون بالائی برخوردار است [۸]. اگرچه الگوریتم دقیق عملکرد این نرم‌افزار تا کنون به صورت کامل منتشر نشده است، اما گام‌های اساسی آن کاملاً متداول و قابل درک هستند. این گام‌ها مبتنی بر الگوریتم‌های استاندارد و منتشر شده هستند و از لحاظ عملکرد و مراحل اجرا، مشابه سایر نرم‌افزارهای دیگر هستند.

مراحل الگوریتم این نرم‌افزارها به صورت مختصر به شرح ذیل است:

- پارامترهای تقریبی توجیه داخلی (فاصله کانونی و ابعاد سنجنده) از EXIF عکس‌ها قرائت می‌شوند و به عنوان مقادیر اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- مقادیر دقیق پارامترهای توجیه داخلی موجود در EXIF و همچنین پارامترهای اضافی (مختصات نقطه اصلی و اعوجاج شعاعی و مماسی و ...) به همراه سایر پارامترها (توجیه خارجی)، در فرآیند مثلث‌بندی هوائی بدست خواهند آمد. این فرآیند در فتوگرامتری تحت عنوان "خودکالیبراسیون" شناخته می‌شود.
- مدل مشهور پارامترهای اضافی Brown مطابق ذیل، برای کالیبراسیون در این نرم‌افزار اعلام شده است.

(رابطه ۱)

$$x' = x(1+k_1r^2+k_2r^4+k_3r^6+k_4r^8)+p_2(r^2+2x^2)+2p_1xy$$

$$y' = y(1+k_1r^2+k_2r^4+k_3r^6+k_4r^8)+p_1(r^2+2y^2)+2p_2xy$$

[3] Structure From Motion

$$u = c_x + x' f_x + y' skew \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

$$v = c_y + y' f_y$$

در روابط فوق x, y مختصات تصویری و x', y' معادل تصحیح شده آن است. همچنین k_1, k_2, k_3, k_4 ضرائب اعوجاج شعاعی، p_1, p_2 ضرائب اعوجاج مماسی، $skew$ زاویه عدم تعامد محورهای مختصات تصویری، f فاصله کانونی و u,v مختصات تصحیح شده است.

نرم‌افزار امکان استفاده و یا عدم استفاده از برخی از این پارامترها را توسط کاربر فراهم نموده است. البته از آنجائیکه دانش چندانی در خصوص نوع خطاهای موجود در فضای تصاویر وجود ندارد، ممکن است استفاده از تمامی این پارامترها ممکن است منجر به بروز خطای over-parameterization شود. بنابراین تنها از طریق آزمون و خطا می‌توان از موثر بودن و یا مخرب بودن این پارامترها اطمینان حاصل نمود. معمولاً در شرایط عادی و با یک دوربین نرمال، این پارامترهای اختیاری سبب بهبود نتایج نخواهند شد.

- سرشکنی دسته اشعه برای کل شبکه فتوگرامتری بر اساس نقاط متناظر یافت‌شده در محدوده پوشش مشترک تصاویر توسط الگوریتم مشهور SIFT با اندکی بهبود [۹] انجام می‌گیرد. نقاط متناظر اشتباه بر اساس نتایج سرشکنی کمترین مربعات حذف می‌شوند و سرشکنی دسته اشعه برای نقاط باقیمانده تکرار می‌شود.

- چنانچه مختصات موقعیت دوربین توسط GPS در لحظه عکسبرداری برای هر تصویر ثبت گردد، از این مختصات‌ها به دو منظور استفاده می‌شود: کاهش زمان جستجو برای یافتن نقاط متناظر در عکس‌های دارای هم‌پوشانی و فراهم کردن امکان زمین مرجع‌سازی تقریبی ابرنقاط کم‌پشت، متناسب با دقت مشاهدات کد گیرنده‌های GPS.

- در نهایت نیز تبدیل از سیستم مختصات مدل سه‌بعدی به سیستم مختصات زمینی با استفاده از نقاط کنترل زمینی انجام می‌پذیرد.

۲-۵- طراحی پرواز

در یک پروژه فتوگرامتری، جهت دستیابی به دقت‌های مطلوب در استخراج مختصات سه‌بعدی، بایستی یک ترکیب هندسی قوی برای شبکه فتوگرامتری انتخاب نمود [۱۰]. هندسه شبکه فتوگرامتری در مرحله طراحی پرواز، تعیین می‌گردد. طراحی پرواز را می‌توان مهم‌ترین بخش یک پروژه فتوگرامتری دانست، چرا که به غیر از نوع مدل ریاضی فتوگرامتری و پارامترهای آن، تقریباً بقیه فاکتورهای تأثیرگذار بر دقت نهائی، در این مرحله تعیین می‌شوند. طراحی پرواز کاملاً وابسته به نوع و مقیاس نقشه مورد درخواست و همچنین ویژگی‌های منطقه به لحاظ نوع عوارض و توپوگرافی آن، می‌باشد.

نوع دوربین از نظر فاصله کانونی و زاویه گشایش و سایر تنظیمات آن به همراه ویژگی‌های پرواز نظیر: رن‌های پرواز و موقعیت ایستگاه‌های عکسبرداری، ارتفاع پرواز، همپوشانی طولی و عرضی عکس‌ها و ... در این مرحله تعیین می‌گردند.

به طور کلی در یک ارتفاع پرواز ثابت با افزایش فاصله کانونی دوربین (کاهش زاویه گشایش دوربین)، ابعاد GSD کاهش یافته و در نتیجه رزولوشن مکانی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر افزایش فاصله کانونی برای یک دوربین به جهت ثابت ماندن ابعاد سنجنده، سبب کاهش اثر نواحی پنهان می‌شود. نواحی پنهان از بزرگترین مشکلات فتوگرامتری

به‌خصوص در مناطق شهری هستند و سبب بروز اعوجاج در لبه ساختمان‌ها و دیوارها می‌گردد. از طرف دیگر با افزایش فاصله کانونی، تصویر سطح کوچکتری را بر روی زمین پوشش خواهد داد و در نتیجه تعداد عکس‌ها افزایش خواهد یافت. در تحقیق حاضر با توجه به در اختیار بودن لنزهای با فواصل کانونی ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌متری، از بزرگترین آن‌ها (۲۰ میلی‌متر) استفاده گردید.

با ثابت ماندن فاصله کانونی، کاهش ارتفاع پرواز سبب افزایش مقیاس در نتیجه کاهش ابعاد GSD می‌شود. از طرف دیگر عکس‌هائی که از ارتفاع پائین‌تر اخذ شوند، سطح کوچکتری از زمین را پوشش خواهند داد، و در نتیجه به منظور حفظ پوشش‌های طولی و عرضی بایستی فاصله بین مراکز عکسبرداری و محورهای پرواز را کاهش داد، که این مسأله منجر به افزایش عملیات پرواز و تعداد عکس‌ها می‌شود. تصاویری که از یک ارتفاع یکسان از سطح زمین اخذ شده‌اند، تقریباً دارای ابعاد GSD یکسان هستند. مزیت یکسان بودن ابعاد GSD در تمامی تصاویر به این است که این تصاویر از مقیاس و سطح جزئیات یکسان برخوردار هستند و این مسأله فرایند تناظریابی عوارض بین تصاویر مختلف را تسهیل می‌کند و در نتیجه بازسازی سه‌بعدی با دقت و کیفیت بهتری انجام خواهد شد. در تحقیق حاضر با توجه به این که عملیات پرواز به صورت تدریجی و هر بار از نقاط مختلفی از سطح زمین در منطقه انجام می‌گرفت، در نتیجه مبنای ارتفاع پرواز در هر مرحله از برخاستن پرنده، نقطه‌ای است که پرنده از آن پرواز را شروع می کند تا مقیاس همه تصاویر تقریباً یکسان، باقی بماند.

با افزایش همزمان و متناسب ارتفاع پرواز و فاصله کانونی، پارامترهای GSD و سطح پوشش زمینی تصویر ثابت باقی می‌مانند، اما قدرت تفکیک مکانی واقعی تصویر حفظ نخواهد شد. این مسأله به قدرت تفکیک اپتیکی عدسی دوربین، شرایط فضای بین دوربین و زمین و شرایط نوری بستگی دارد. با دور شدن از سطح زمین سطح نویز و میزان تاری تصاویر افزایش می‌یابد. کیفیت پائین تصاویر، دقت استخراج نقاط و عوارض از تصاویر و همچنین فرآیند تناظریابی را مخدوش می‌کند. در نتیجه برای افزایش ارتفاع پرواز محدودیت‌هائی وجود دارد.

قاعده کلی دقت نتایج فتوگرامتری پهپاد برای مختصات مسطحاتی دو برابر ابعاد GSD و برای مؤلفه ارتفاعی سه برابر ابعاد GSD است [۱۱]. برخی از کمپانی‌های تولید کننده پهپادها و نرم‌افزارهای فتوگرامتری مربوطه نظیر Trimble محدودیت‌های زیر را برای دقت قابل دسترسی بر اساس ابعاد GSD ارائه داده‌اند:

- میانگین خطای مسطحاتی برابر ابعاد GSD و بیشینه آن ۱/۶ برابر ابعاد GSD است.
- میانگین خطای ارتفاعی ۱/۶ برابر ابعاد GSD و بیشینه آن ۲/۵ برابر GSD است.

با توجه به اینکه در این تحقیق هدف تهیه نقشه با مقیاس ۱:۵۰۰ بود و مطابق استانداردهای موجود برای این مقیاس، بیشینه خطای مسطحاتی قابل قبول برای این مقیاس، ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد، در نتیجه با در نظر گرفتن رابطه ذکر شده بین ابعاد GSD و خطاها [۱۱]، ابعاد GSD طراحی شده برای این پروژه برابر ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

رابطه ۳ ارتباط میان GSD را با فاصله کانونی نشان می‌دهد.

$$GSD = \frac{H}{f} Ps \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

در رابطه بالا ارتفاع پرواز با H، فاصله کانونی با f و ابعاد پیکسل در فضای تصویر با Ps نشان داده شده‌اند.

با استفاده از رابطه ۳ و با درنظر گرفتن GSD برابر ۴ سانتی‌متر و همچنین ابعاد پیکسل ۳/۹۲ میکرونی دوربین مورد استفاده، ارتفاع پرواز حدود ۲۰۴ متر محاسبه گردید. از طرف دیگر، معمولاً افزایش ارتفاع پرواز به بیش از ۲۰۰ متر از

سطح زمین، کیفیت و قدرت تفکیک مکانی واقعی تصاویر را از مقدار واقعی آن و ویژگی‌های فتوگرامتری هوائی برد کوتاه دور خواهد ساخت. بنابراین در تحقیق حاضر، به منظور کاهش اثرات تارشدن تصویر در اثر افزایش ارتفاع پرواز، ارتفاع پرواز از مقدار محاسباتی کمتر اختیار شده و برابر ۱۵۰ متر در نظر گرفته شد.

به طور کلی در یک بلوک فتوگرامتری هنگامی‌که تصاویر دارای نواحی مشترک بزرگتر باشند، استحکام هندسی در مرتبط‌سازی تصاویر داخل بلوک افزایش یافته و همچنین نقاط متناظر بیشتری بین تصاویر استخراج می‌گردد و درنتیجه سبب افزایش افزونگی داده می‌شود. افزونگی داده برای تعیین موقعیت یک نقطه سه‌بعدی با استفاده از مشاهدات تصویری در فتوگرامتری، امکان شناسائی و حذف نقاط متناظر اشتباه کشف شده توسط الگوریتم تناظریابی را به صورت کارآمدتری فراهم می‌کند. از طرف دیگر تقاطع با تعداد کمتر از سه اشعه نوری عبورکننده از نقاط متناظر، دقت مطلوبی را به همراه ندارد [۱۰]. معمولاً نقاط گرهی با فرکانس بیشتر از پنج، از دقت و قابلیت اعتماد نسبتاً بالائی برخوردار هستند [۱۱].

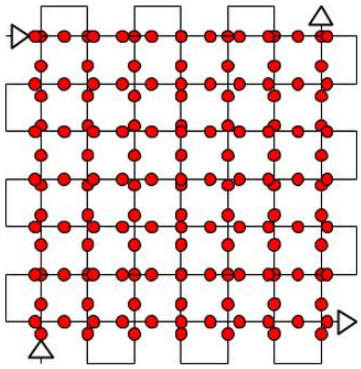
ترکیب چندین اندازه‌گیری از تصاویر با همپوشانی زیاد و هندسه تقاطع مناسب و از زوایا و مناظر مختلف، سبب افزایش دقت نقاط سه‌بعدی تولید شده خواهد شد. به همین دلیل،گسترش بلوک فتوگرامتری در حد یک نوار به خارج محدوده مورد درخواست برای نقشه سبب افزایش دقت برای محدوده مورد درخواست خواهد شد. چرا که در نوارهای حاشیه، برای زوایا و منظرهای خارج از بلوک، ایستگاه عکسبرداری وجود ندارد و این سبب ضعف هندسه عکسبرداری در نوارهای حاشیه خواهد شد که با این تمهید، مشکل برای محدوده مورد نظر داخل بلوک برطرف می‌شود.

از طرف دیگر جهت کاهش نواحی پنهان به خصوص در مناطق شهری و افزایش تراکم و جزئیات ابر نقطه و در نتیجه کامل بودن ارتوفتو به خصوص در لبه ساختمان‌ها و دیوارها در مناطق شهری، بایستی همپوشانی‌ها را مقدار بزرگی در نظر گرفت [۳]. بنابراین میزان همپوشانی به نوع زمین و عوارض آن نیز بستگی دارد. هر چه منطقه ذوعارضه و دارای توپوگرافی و تعییرات ارتفاعی شدیدتری باشد، مقدار همپوشانی را بایستی بزرگتر در نظر گرفت. بنابراین به منظور تهیه نقشه‌های کاداستر از مناطق شهری، نیاز به همپوشانی‌های نسبتاً بالاتری داریم. در تحقیق حاضر میزان همپوشانی‌ها در راستای طولی برابر ۷۵٪ و در راستای عرضی ۶۰٪ در نظر گرفته شد. با این پوشش‌ها فرکانس تمامی نقاط واقع در داخل بلوک حداقل برابر ۸ خواهد بود.

اعوجاجات و جابجائی‌ها در لبه ساختمان‌ها و دیوارها و به طور کلی در محل تغییرات ارتفاعی شدید، یکی از بزرگترین مشکلات موجود در ارتوفتوی مناطق شهری است. این مسأله به دلیل مشکل نواحی پنهان در بخشی از ناحیه‌ای که نسبت به دید سنجده مخفی است، رخ می‌دهد. در نتیجه در ابرنقاط مناطق شهری، در پیرامون ساختمان‌ها، مقداری گپ وجود دارد. میزان این گپ به ارتفاع پرواز، فاصله کانونی و همپوشانی طولی و عرضی تصاویر بستگی دارد و با تنظیم بهینه این پارامترها می‌توان مقدار آن را کاهش داد اما قابل حذف کردن نیست. این مسأله در مناطق با ساختمان‌های مرتفع و پیچیده شهری، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. اثر نواحی پنهان نهایتاً منجر به بروز خطای نگاشت مضاعف می‌شود. این مسأله سبب بروز خطا در لبه ساختمان‌ها و دیوارها، که مهم‌ترین عوارض در نقشه-های کاداستر هستند می‌شود و ممکن است کارآمدی فتوگرامتری به منظور تهیه نقشه‌های کاداستر از مناطق شهری را با چالش جدی مواجه سازد.

در تحقیق حاضر، طراحی پرواز ابتکاری و ویژه‌ای به منظور مقابله با مشکل اعوجاج لبه‌ها، تحت عنوان "نوارهای مضاعف و متعامد" پیاده‌سازی گردید. در واقع برای اینکه مشکل نواحی پنهان تا حدود زیادی مرتفع گردد، نمای ساختمان‌ها بایستی در هر چهار جهت (شمال، جنوب، شرق و غرب) رؤیت‌پذیر باشند. برای این منظور، محورهای پرواز

دیگری نیز علاوه بر محوارهای پرواز اولیه، تحت عنوان محورهای مضاعف، کاملاً یکسان با محورهـای پـرواز اصـلی، امـا عمود بر آن‌ها طراحی گردید (شکل ۴).



شکل ۴: طراحی پرواز "نوارهای مضاعف و متعامد"

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، طراحی نوارهای پرواز مضاعف، سبب افزایش دو برابری مشاهدات تصویری در فرآیند بازسازی سه‌بعدی می‌شود، به نحوی که با پوشش‌های ذکر شده برای ایـن تحقیـق، فرکـانس هـر نقطـه گرهـی حداقل برابر ۱۶ خواهد بود و همچنین وجود اشعه‌های نوری تصویرکننده از زوایا و منظرهای مختلـف کیفیـت هندسـه تقاطع را در محاسبات تقاطع فضائی به نحو مناسبی تضمین خواهد کرد.

در پروژه‌های فتوگرامتری برد کوتاه، جهت غلبه بر مشکل بروز وابستگی میان پارامترهای توجیـه داخلـی و خـارجی در خودکالیبراسیون دوربین، معمولاً اخذ یک تصویر با زاویه دورانی ۹۰ درجه حول محور دورانی نسبت به عکس اصلی در هر ایستگاه عکسبرداری (زاویه roll ۹۰ درجه‌ای عکسبرداری در هر ایستگاه) توصیه می‌شود [۱۲]. رعایت ایـن مسـأله، دقت‌های قابل دسترسی را در برآورد پارمترهای توجیه داخلی و خـارجی و پارامترهـای اضـافی و همچنـین مختصـات شیئی نقاط گرهی به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد داد. طراحـی پـرواز مضـاعف و متعامـد ارائـه شـده در ایـن تحقیق، می‌تواند در هر ایستگاه عکسبرداری، دو تصویر با زوایا roll در حدود ۹۰ درجه در اختیـار قـرار دهـد. بنـابراین یکی از نقاط قوت طراحی نوارهای پرواز مضاعف، تقویت استحکام هندسه شبکه عکسبرداری می‌باشد.

البته مهم‌ترین مزیت طراحی نوارهای مضاعف که در این تحقیق بر روی آن تأکید شده است، حـذف نـواحی پنهـان بـا رؤیت پذیر نمودن تمامی نماهای ساختمان‌ها در تصاویر و در نتیجه جلوگیری از خطاها و اعوجاجات لبه‌ها ساختمان‌هـا و دیوارها در ارتوفتو می‌باشد. ضعف طراحی پرواز مضاعف نیز، دو برابر شدن تعداد عکس‌های پروژه و در نتیجه افـزایش هزینه‌های محاسباتی و زمان پردازش داده‌ها می‌باشد.

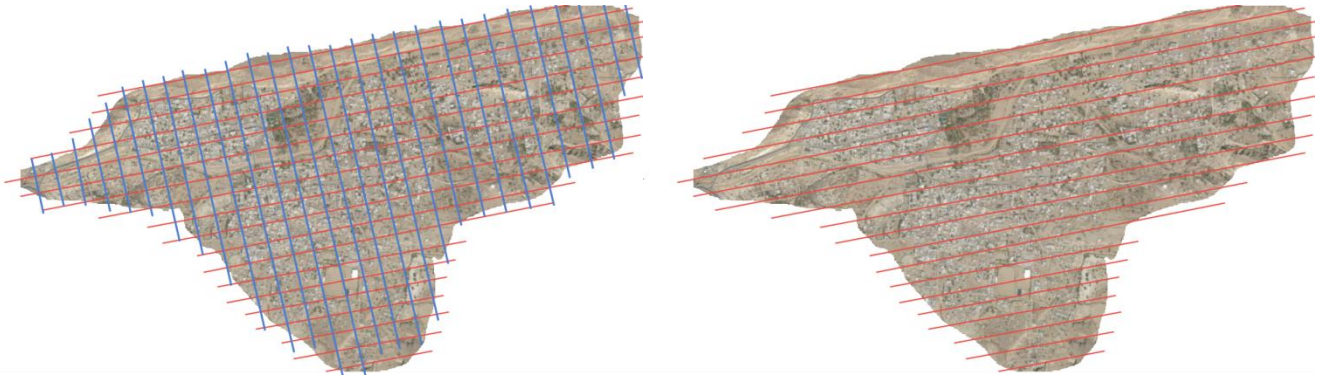
در انتها نیز استفاده از سامانه‌های پرواز خودکار، انجام پرواز و اخذ تصاویر در موقعیت‌های از پیش طراحی شده در حـد دقت مشاهدات کد گیرنده‌های GPS را به صورت خودکار تضمین می‌کنند.

۳-اخذ داده

۳-۱- اخذ تصاویر

تصویربرداری در تحقیق حاضر در دو مرحله منفرد و مضاعف انجام پذیرفت. هر دو مرحله تصویربرداری از نظر محدوده، فاصله بین مراکز عکسبرداری و فاصله بین محورهای پرواز دقیقاً مشابه یکدیگر ولی به صـورت متعامـد بـر هـم بودنـد.

شکل ۵ طرح پرواز منفرد و مضاعف را در کنار هم نشان می‌دهد. در حالت منفرد تعداد ۲۱۴۸ تصویر در حالت مضاعف نیز تعداد ۴۳۰۴ تصویر از منطقه اخذ و پردازش شدند.



شکل ۵: طراحی پرواز منفرد و مضاعف

به منظور ثابت نگه داشتن فاصله کانونی دوربین در تمامی عکس‌ها، تمرکز دوربین در حالت دستی و بر روی بینهایت تنظیم شد و با استفاده از چسب، لنز دوربین در برابر تکان‌ها و جابجائی‌ها ثابت نگه داشته شد. تنظیم تمرکز روی بینهایت سبب می‌شود تا بتوان فاصله اصلی دوربین را با فاصله کانونی، برابر در نظر گرفت.

وضوح تصویر، کیفیت و میزان نویز موجود در آن بستگی مستقیمی به پارامترهای سرعت شاتر ، قطر روزنه نوردهی و ISO دوربین دارد. به طور کلی پارامتر سرعت شاتر، تنظیم کننده میزان انرژی ورودی به سنجنده دوربین است. سرعت شاتر بالا، سبب تاریکی تصاویر می‌شود ولی خطای کشیدگی تصویر در اثر حرکت‌های دوربین در حین عکسبرداری را کمینه می‌کند. سرعت شاتر بین ۱/۳۰۰ تا ۱/۸۰۰ ثانیه معملاً مقدارهای متوسط و توصیه‌شده‌ای برای این پارامتر محسوب می‌شود [۱۱]. پارامتر ISO را نیز باید مقدار کوچکی در نظر گرفت، چرا که مقادیر بالای این پارامتر باعث ایجاد نویز در تصاویر خواهند شد و کیفیت تصویر را کاهش می‌دهند. پارامتر F-number که نسبت عکس با قطر روزنه نوردهی دوربین دارد نیز میزان نور ورودی را تنظیم می‌کند و افزایش آن به معنای کاهش قطر روزنه نوردهی است و در شرایطی که تمرکز دوربین بر روی بینهایت تنظیم شده است، سبب افزایش عمق میدان شده و در نتیجه تصاویر از وضوح بهتری برخوردار خواهند بود.

۲-۳- اخذ نقاط کنترل

به طور کلی به‌منظور زمین مرجع کردن تصاویر دو راه حل موجود است: استفاده از نقاط کنترل زمینی و استفاده از مشاهدات مختصات مراکز تصاویر در لحظه عکسبرداری توسط GPS. استفاده از نقاط کنترل زمینی برای زمین مرجع کردن، همواره دقت بالاتری دارد. مختصات این نقاط عموماً با استفاده از روشهای ژئودتیک یا ژئودزی ماهواره‌ای بدست می‌آیند. در تحقیق حاضر جهت زمین‌مرجع‌سازی تنها از نقاط کنترل زمینی استفاده شده است.

در فتوگرامتری هوائی کلاسیک به دلیل وسعت بالای منطقه، معمولاً از عوارض طبیعی به عنوان نقطه کنترل استفاده می‌شود، اما در فتوگرامتری هوائی بردکوتاه به دلیل دقت‌های بالای مورد درخواست و وسعت کم منطقه، معمولاً از تارگت‌های مصنوعی استفاده می‌شود [۱۳]. برای اینکه مرکز یک تارگت را بتوان در تصویر اندازه‌گیری کرد، قطر آن بایستی حداقل سه پیکسل باشد. اما این مقدار در عمل برای اینکه بتوان مرکز دایره را با دقت مناسب اندازه‌گیری نمود، برابر پنج یا بیش از پنج پیکسل است. معمولاً ابعاد قطر تارگت ۵ تا ۱۰ پیکسل توصیه می‌شود [۱۶].

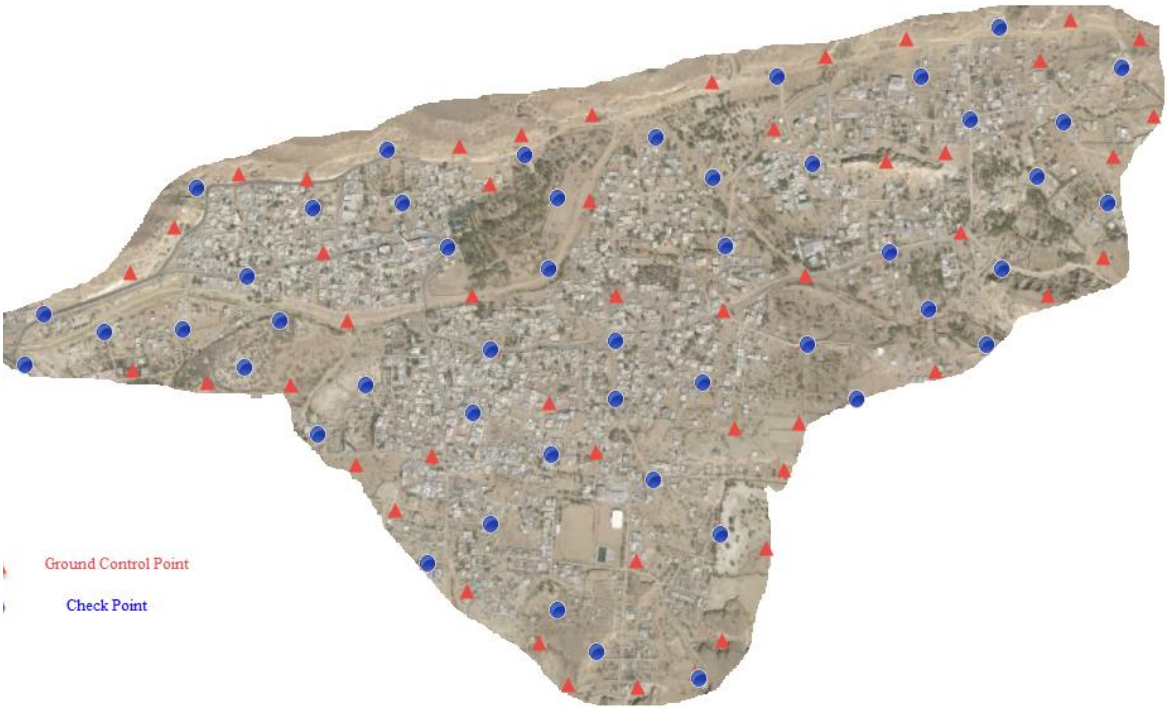
در تحقیق حاضر از تارگت‌هائی به شکل ۶ استفاده گردید. مزیت استفاده از چنین تارگتی، سهولت و دقت بالا در اندازی‌گیری دستی مرکز آن در فضای تصاویر می‌باشد. چرا که محل تقاطع رنگ‌های سفید و سیاه آن به نحو مطلوبی در تصاویر ظاهر می‌شوند. ابعاد هر یک از مربع‌های این تارگت ۶ برابر GSD طراحی شده، یعنی ۲۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

شکل ۶: تارگت مصنوعی طراحی شده برای نقاط کنترل زمینی

به طور کلی دقت نقاط کنترل زمینی بایستی بالاتر از دقت مورد درخواست برای نقشه باشد و پارامترهای دقت این نقاط، جهت تعیین وزن شبه‌مشاهدات مختصات آن‌ها، به دستگاه معادلات سرشکنی دسته اشعه معرفی گردند. با توجه به اینکه حداکثر دقت اندازه‌گیری مختصات نقاط کنترل در تصاویر در حدود نیم پیکسل است، بنابراین دقت نقاط کنترل زمینی تا نصف ابعاد GSD مطلوب بوده و دقت‌های بیشتر از این مقدار در تصویر قابل تفکیک نیست. یعنی در تحقیق حاضر با توجه به GSD چهار سانتی‌متری، دقت تعیین مختصات زمینی نقاط کنترل در حدود دو سانتی‌متر، کفایت می‌کند.

نقاط کنترل بایستی از توزیع و پراکندگی هموژنی در مسطحات و ارتفاع، برخوردار باشند. پراکندگی مسطحاتی نقاط کنترل به نحوی است که حدود بلوک را مورد پوشش قرار داده و همچنین تعدادی نقطه کنترل داخل بلوک نیز در نظر گرفته شود. همچنین به لحاظ ارتفاعی نقاط کنترل بایستی، کمینه و بیشینه و همچنین ترازهای ارتفاعی مختلف را پوشش دهند. در این تحقیق به منظور افزایش فرکانس نقاط کنترل در بلوک، با توجه به اینکه بلوک فتوگرامتری طراحی شده دارای یک نوار حاشیه‌ای اضافی در پیرامون منطقه است، بنابراین نقاط کنترل طراحی شده برای محیط بلوک، در محدوده همپوشانی مشترک عرضی عکس‌های دوم و سوم ابتدا و انتهای نوارها در نظر گرفته شد. بدین ترتیب نقاط کنترل نیز از فرکانس‌ها بالائی همانند نقاط گرهی داخل بلوک برخوردار شدند.

تعداد ۱۰۶ تارگت زمینی با استفاده از RTK GNSS اندازه‌گیری شد. بیشینه خطای مربوط به این نقاط ۱/۹ سانتی‌متر در مسطحات و ۲/۶ سانتی‌متر در مؤلفه ارتفاعی اندازه‌گیری شد. به جهت قابل مقایسه بودن نتایج آزمون‌های مختلف تحقیق حاضر، از بین این ۱۰۶ نقطه، تعداد ۵۰ نقطه به عنوان چک مستقل انتخاب گردید و آزمون‌ها با استفاده از تعداد و ترکیب‌های مختلفی نقاط کنترل، از سایر نقاط باقی‌مانده انجام پذیرفت. تمامی ارزیابی‌های دقت ارائه شده در تحقیق حاضر، مربوط به همین ۵۰ نقطه چک مستقل است. شکل ۷ نحوه پراکندگی این نقاط را در منطقه نمایش می‌دهد.



شکل ۷: پراکندگی نقاط کنترل زمینی

۴- آنالیز و بحث نتایج

جدول ۱ و ۲ به ترتیب نتایج حاصل از طرح پرواز منفرد و مضاعف را با استفاده از تعداد مختلفی نقاط کنترل، در محل نقاط چک مستقل نشان می‌دهند. تمامی دقت‌های ارائه شده در این تحقیق، در محل ۵۰ نقطه چک مستقل می‌باشد.

جدول ۱- خطای نقاط چک مستقل در طرح پرواز منفرد

تعداد نقاط کنترل	خطای XY RMSE	خطای RMSE Z	بیشینه خطای XY	بیشینه خطای Z
۳	۱/۷۰۰	۲/۶۹۸	۳/۸۸۲	۴/۶۶۷
۵	۰/۵۷۲	۰/۹۸۹	۱/۱۵۴	۲/۰۲۵
۷	۰/۲۵۷	۰/۹۰۲	۰/۵۵۹	۱/۰۲۴
۹	۰/۱۸۳	۰/۷۸۱	۰/۳۳۱	۰/۸۸۴
۱۱	۰/۱۲۲	۰/۳۸۶	۰/۲۴۴	۰/۶۶۳
۱۳	۰/۰۹۸	۰/۲۱۴	۰/۲۱۱	۰/۵۲۹
۱۵	۰/۰۹۱	۰/۱۴۹	۰/۱۹۸	۰/۴۴۷
۱۷	۰/۰۸۶	۰/۱۳۹	۰/۱۸۲	۰/۴۳۵
۱۹	۰/۰۷۹	۰/۱۶۱	۰/۱۲۱	۰/۳۷۲
۲۱	۰/۰۷۸	۰/۱۴۲	۰/۱۰۸	۰/۳۷۱
۲۳	۰/۰۷۲	۰/۱۰۶	۰/۱۰۷	۰/۳۰۰
۵۶	۰/۰۵۹	۰/۰۹	۰/۰۹۹	۰/۲۵۶

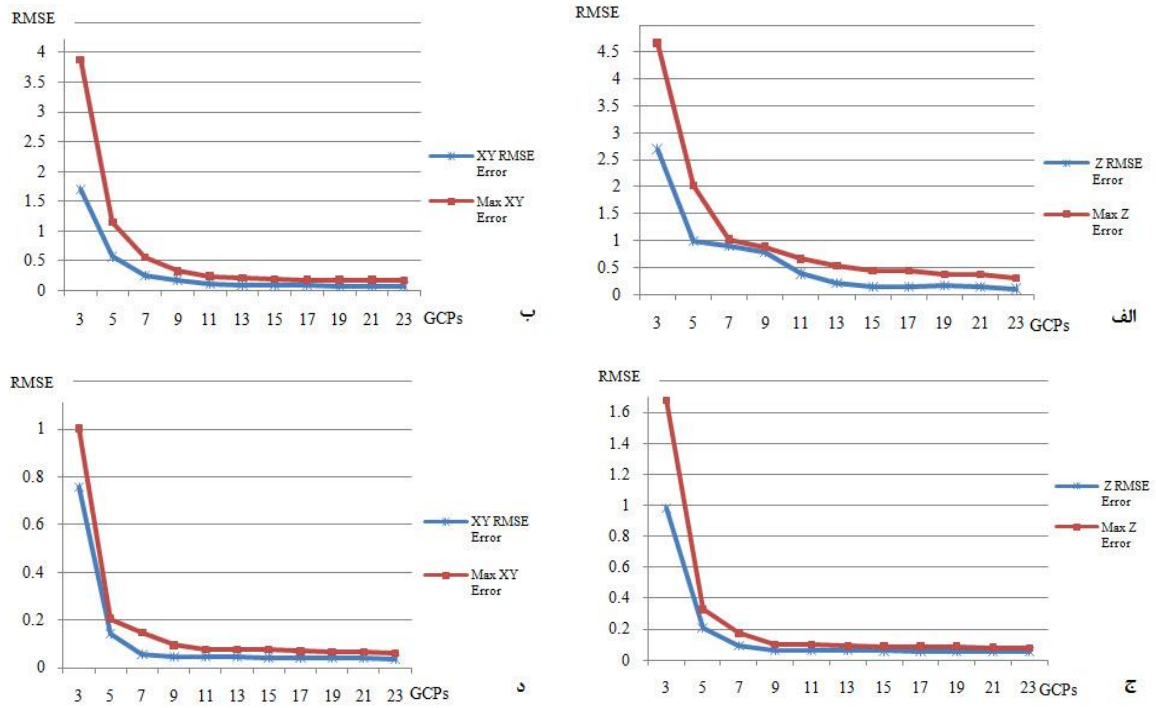
جدول ۲- خطای نقاط چک مستقل در طرح پرواز مضاعف

تعداد نقاط کنترل	خطای RMSE XY	خطای RMSE Z	بیشینه خطای XY	بیشینه خطای Z
۳	۰/۷۵۸	۰/۹۸۳	۱/۰۰۲	۱/۶۷۷
۵	۰/۱۴۲	۰/۲۰۹	۰/۲۰۵	۰/۳۲۸
۷	۰/۰۵۷	۰/۰۹۳	۰/۱۴۸	۰/۱۷۵
۹	۰/۰۴۷	۰/۰۶۱	۰/۰۹۵	۰/۱۰۲
۱۱	۰/۰۴۴	۰/۰۶۲	۰/۰۷۷	۰/۰۹۹
۱۳	۰/۰۴۵	۰/۰۶۳	۰/۰۷۶	۰/۰۹۰
۱۵	۰/۰۴۳	۰/۰۵۹	۰/۰۷۷	۰/۰۸۹
۱۷	۰/۰۴۰	۰/۰۵۸	۰/۰۶۹	۰/۰۸۸
۱۹	۰/۰۳۹	۰/۰۵۵	۰/۰۶۶	۰/۰۸۶
۲۱	۰/۰۳۹	۰/۰۵۴	۰/۰۶۵	۰/۰۸۱
۲۳	۰/۰۳۷	۰/۰۵۳	۰/۰۶۱	۰/۰۸۰
۵۶	۰/۰۳۰	۰/۰۴۱	۰/۰۵۹	۰/۰۷۶

جدول ۱ کاهش خطای مسطحاتی و ارتفاعی نقاط چک مستقل را، در قبال افزایش تعداد نقاط کنترل تا ۱۵ نقطه در طرح پرواز منفرد نشان می‌دهد. در واقع پس از نقطه کنترل پانزدهم، خطاها حساسیت چندانی نسبت به افزایش نقاط کنترل جدید نشان نمی‌دهند. برای طرح پرواز مضاعف (جدول ۲) نیز افزایش نقاط کنترل تا تعداد ۹ نقطه سبب کاهش خطاهای مسطحاتی و ارتفاعی می‌شود و نقاط کنترل بعدی تأثیر چندانی در کاهش خطاها ندارند.

در حالت مضاعف با تعداد نقاط کنترل کمتری میزان خطاها تثبیت می‌شوند و درنتیجه نیاز به نقاط کنترل کاهش می‌یابد. از طرف دیگر در حالت مضاعف، میزان اختلاف بین خطای ماکزیمم و خطای RMSE مقادیر کوچکتری در مقایسه با مشابه آن در طراحی پرواز منفرد دارد و این مسأله نشان‌دهنده این است که خطاها در حالت استفاده از طرح پرواز مضاعف، از بزرگی همگن‌تری در تمامی نواحی برخوردارند (شکل ۸)

بهبود نتایج در حالت طرح پرواز مضاعف را می‌توان در نتیجه افزایش استحکام هندسی شبکه فتوگرامتری، افزایش افزونگی داده در تقاطع فضائی و حل مشکل وابستگی بین پارامترهای توجیه داخلی و خارجی در اثر استفاده از نوارهای متقاطع در کل سطح بلوک، دانست. همچنین مقایسه میان ارتوفتو در دو حالت مذکور، نشان داد مشکل اعوجاج لبه ساختمان‌ها و دیوارها تا حدود زیادی برطرف شده است. شکل ۹ بخش‌هائی از ارتوفتو حاوی اعوجاج در لبه ساختمان‌ها را در طراحی پرواز منفرد، نشان می‌دهد. همچنین شکل ۱۰ بخش‌هائی از ارتوفتوی حاصل از طراحی پرواز مضاعف را نشان می‌دهد. مقایسه ارتوفتوی حاصل از این دو حالت طراحی پرواز، بهبود چشم‌گیر لبه‌ها و رفع اعوجاجات ناشی از رؤیت‌پذیری ضعیف نمای ساختمان‌ها در طراحی پرواز منفرد را نشان می‌دهد.



شکل ۸: الف)نمودار خطای ارتفاعی طراحی پرواز منفرد ب)خطای مسطحاتی طراحی پرواز منفرد ج)خطای ارتفاعی طراحی پرواز مضاعف د)خطای مسطحاتی طراحی پرواز مضاعف

شکل ۹: اعوجاج لبه‌های ساختمان‌ها در ارتوفتوی طراحی پرواز منفرد

شکل ۱۰: اعوجاج لبه‌های ساختمان‌ها در ارتوفتوی طراحی پرواز منفرد

همچنین به منظور بررسی هر چه بهتر حذف اثر اعوجاج لبه‌ها، با استفاده از ۱۵ نقطه کنترل، از تعداد ۳۵ مشاهده طولی مربوط به لبه ساختمان‌ها در سقف آن‌ها جهت مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده مربوطه‌شان در ارتوفتوی هر دو حالت طراحی پرواز، استفاده گردید. طول‌های اندازه‌گیری شده در ارتوفتو در طرح پرواز منفرد، خطای RMSE در حدود ۱۲ سانتی‌متر و در طرح پرواز مضاعف در حدود ۳ سانتی‌متر را نسبت به مشاهدات اندازه‌گیری شده در محل توسط متر را نشان می‌دهند. علاوه بر این به دلیل اعوجاجات موجود در ارتوفتو در حالت طرح پرواز منفرد، امکان اندازه‌گیری لبه سقف ساختمان‌ها در بسیاری از موارد با قطعیت وجود ندارد.

۶- نتیجه گیری

تحقیق حاضر ارزیابی جامعی بر روی استفاده از سکوهای بدون سرنشین در تهیه نقشه‌های کاداستر از مناطق شهری یا نیمه‌شهری به روش فتوگرامتری، ارائه داده است. سرعت بالا در اخذ داده و تولید نقشه در کنار هزینه پائین این روش‌ها از مزایای عمده و اثبات شده آن‌ها می‌باشد. نتایج نشان دادند که فتوگرامتری پهپاد، روشی مؤثر در تهیه نقشه کاداستر به روش فتوگرامتری است. غلبه بر مشکلات موجود در روش‌های زمینی نظیر مشکلات اخذ داده از منظرهای زمینی و بروز اشتباهات در تشخیص خطوط مالکیت و اتصال اشتباه نقاط برداشت شده و از طرف دیگر قدرت تفکیک مکانی و رادیومتریکی مطلوب در فتوگرامتری هوائی برد کوتاه نسبت به فتوگرامتری هوائی کلاسیک و فتوگرامتری فضائی که امکان تهیه نقشه کاداستر بزرگ مقیاس را فراهم می‌کند، از مهم‌ترین مزایای روش پیشنهادی در این تحقیق هستند.

در تحقیق حاضر به طراحی پرواز به عنوان مهم‌ترین بخش یک پروژه فتوگرامتری توجه ویژه‌ای شد. پارامترهای تأثیرگذار بر دقت‌های مسطحاتی و ارتفاعی و همچنین کیفیت ارتوفتوی حاصل از این روش، بررسی گردیدند و با توجه به مقیاس نقشه و دقت مسطحاتی و ارتفاعی مورد درخواست، ابعاد GSD مربوطه محاسبه گردید و با توجه به آن، فاصله کانونی لنز دوربین و ارتفاع پرواز محاسبه و اختیار شدند.

بروز اعوجاج در لبه سقف ساختمان‌ها و دیوارها به علت عدم رؤیت یا رؤیت ضعیف نمای ساختمان‌ها و دیوارها در تصاویر قائم، از مهم‌ترین موانع مشاهده شده بر سر راه تهیه نقشه کاداستر از ارتوفتوی حاصل از روش فتوگرامتری

پهپاد بودند. جهت حل این مشکل از طراحی پرواز ابتکاری "نوارهای مضاعف و متقاطع" استفاده گردید. آزمون‌ها در دو حالت طراحی پرواز منفرد و مضاعف و در تعداد نقاط کنترل متفاوتی انجام شدند. تمامی ارزیابی دقت‌های ارائه شده در تحقیق حاضر در محل ۵۰ نقطه چک مستقل انجام شدند. نتایج نشان دادند دقت‌ها در طراحی پرواز مضاعف به میزان نسبتاً زیادی بهبود می‌یابند. از طرف دیگر با استفاده از طراحی پرواز مضاعف، بدلیل افزایش استحکام هندسی بلوک فتوگرامتری، نیاز به نقاط کنترل کاهش می‌یابد. در این حالت با استفاده از ۹ نقطه کنترل خطای RMSE مسطحاتی در حدود ۴ سانتی‌متر و RMSE ارتفاعی در حدود ۶ سانتی‌متر برآورد گردید و افزایش تعداد نقاط کنترل به بیش از این تعداد، تأثیر معناداری در نتایج نداشتند. نکته قابل توجه در نتایج این است که خطاها در این حالت نسبتاً همگن بوده و از انحراف معیار کوچکی برخوردارند، خطای بیشینه در این حالت در حدود ۱۰ سانتی‌متر ارزیابی گردید.

در حالیکه، در طراحی پرواز منفرد با استفاده از ۱۵ نقطه کنترل خطای RMSE مسطحاتی در حدود ۹ سانتی‌متر و خطای RMSE ارتفاعی در حدود ۱۵ سانتی‌متر برآورد گردیدند و افزایش نقاط کنترل به بیش از این تعداد، تأثیر چندانی در بهبود نتایج نداشت. در این حالت خطاها انحراف معیار بالائی دارند. بیشینه خطای مسطحاتی در این حالت در حدود ۲۰ سانتی‌متر و بیشینه خطای ارتفاعی در حدود ۴۵ سانتی‌متر برآورد گردیدند.

مهم‌ترین بهبود ناشی از استفاده از طرح پرواز مضاعف، افزایش چشمگیر کیفیت ارتوفتو که مبنای ترسیم نقشه مسطحاتی قرار می‌گیرد بود. با استفاده از طرح پرواز مضاعف بسیاری از اعوجاجات موجود در لبه سقف ساختمان‌ها و دیوارها به طرز چشم‌گیری کاهش یافتند. به منظور بررسی کمی این مسأله از تعداد ۳۵ مشاهده طولی مربوط به لبه سقف ساختمان‌ها استفاده گردید و با مقادیر اندازه‌گیری شده از متناظر آنها در ارتوفتوی حاصل از طرح پرواز منفرد و مضاعف مقایسه گردیدند. نتایج بهبود چشمگیر دقت اندازه‌گیری‌ها بر روی ارتوفتو ناشی از اتخاذ طراحی پرواز مضاعف، را نشان داد. اگرچه به علت بروز اعوجاجات شدید در لبه‌ها، بسیاری از لبه‌ها بر روی ارتوفتوی حاصل از طراحی پرواز منفرد، اصلاً امکان اندازه‌گیری ندارند.

دو بهبود مهم در ارتوفتو و دقت بازسازی سه‌بعدی حاصل از بلوک فتوگرامتری در حالت طراحی پرواز مضاعف در مقایسه با حالت متداول آن، نشان از کارآمدی چنین طراحی پروازی دارد. البته مزیت اصلی طراحی پرواز مضاعف، که دوبرابر شدن حجم داده‌ها و زمان پردازش آن‌ها را توجیه‌پذیر می‌نماید، برطرف شدن اعوجاجات موجود در ارتوفتوی حاصل از روش‌های متداول است، چرا که این لبه‌ها در نقشه‌های کاداستر مهم‌ترین و حیاتی‌ترین عوارض هستند و وجود چنین اعوجاجاتی منجر به ناکارآمدی فتوگرامتری هوائی بردکوتاه به منظور تهیه نقشه‌های کاداستر شهری خواهد شد.

مراجع

[1] Kaufmann, J. (2002). *Cadastre 2014 - A Vision on Future Cadastral Systems.* Paper and Presentation at 1st Congress on Cadastre in the European Union, Granada, 15-17 May 2002.

[2] Oğuz Kansu & Sezgin Gazioğlu, The Availability of the Satellite Image Data in Digital Cadastral Map Production, Shaping the Change XXIII FIG Congress, Munich, Germany, October 8-13, 2006

[3] Francesco Nex & Fabio Remondino, UAV for 3D mapping applications: a review, Applied Geomatics, Volume 6, Issue 1 , pp 1-15, 2014

[4] P. Srinivas & V. Raghu Venkataraman & I. Jayalakshmi, Digital Aerial Orthobase for Cadastral Mapping, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Volume 40, Issue 3 , pp 497-506, 2012

[5] Tokunaga Mitsuharu, Accuracy verification of DSM obtained from UAV using commercial software, Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International

[6] Furukawa, Y., Ponce, J., Accurate, dense, and robust multi-view stereopsis. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 32 (8), 1362–1376., 2010

[7] Deseilligny, M.P., Clery, I. Apero, an open source bundle adjustment software for automatic calibration and orientation of set of images. In: Proceedings of ISPRS International Workshop on 3D Virtual Reconstruction and Visualisation of Complex Architectures, Trento, Italy, 2011

[8] Agisoft, 2012. Agisoft Photoscan User Manual, Professional Edition, Version 0.9.0.

[9] Lowe, D., 2004. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. Int. J. Comput. Vision 60 (2), 91–110.

[10] Fei Dai, Youyi Feng, Ryan Hough, Photogrammetric error sources and impacts on modeling and surveying in construction engineering applications, Visualization in Engineering , 2014

[11] B. Ruzgienė, T. Berteška, S.Gečyte, E.Jakubauskienė, V.C.Aksamitauskas, The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation, measurement, Volume 73, Pages 619–627, 2015

[12] Luhmann, T. (2009). Precision potential of photogrammetric 6DOF pose estimation with a single camera. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64(3), 275–284.

[13] Eisenbeiss, H. "UAV Photogrammetry"; Ph.D. Thesis, ETHZ Univ., Zurich, 2009.

[14] J. Dold, Influence of large targets on the results of photogrammetric bundle adjustment, International Archive of photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXI, Part B5. Vienna 1996

Large-scale cadastral map production from urban areas using UAV photogrammetry

Abstract:

Growing urban areas and their high rate of changes In addition to their complexity and the difficulty of providing reliable information about some of urban structures at ground level views, has been seriously challenged the mapping methods used to produce and update cadastral maps of this regions. Recently, the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) photogrammetry has been proposed as a serious solution to produce topographic maps, by overcoming some of the problems of classic photogrammetry. In this study, utilization of unmanned platforms for the production of cadastral maps with a scale of 1: 500 from relatively large urban areas, is investigated. A comprehensive analysis on the parameters affecting the accuracy of the results is presented and according to the required accuracy, these parameters are analyzed and the optimal values are chosen for them. Comprehensive assessment on the accuracy and reliability of this method on producing the cadastral maps is presented. Due to the hidden areas problem, severe distortions at the edges of buildings and walls were observed on the orthophoto. To overcome this problem, an innovative flight plan as “double runs” was used. Result showed the improvements of accuracy. Qualitative and quantitative assessment of Ortophoto, showed better performance for double flight plan compared with conventional flights plans. Accuracy assessments showed that using double flight plan and the use of only 9 control points for an area of about 500 hectares, the planimetric and altimetric accuracy of about 5 cm can be achieved. The maximum planimetry and altimetric accuracy was about 10 cm.

Key words: UAV photogrammetry, Cadastre, Flight plan