پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی بر مبنای روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی

امیرحسین شکری[1] سعید صادقیان[2]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۱۱/۰۳

****

چکیده

در چند دهه اخیر کاداستر به‌عنوان بستری مناسب برای انجام مشارکت در زمینه مدیریت زمین و دارایی‌های آن در سطح جهانی تبدیل شده است. کاداستر سه‌بعدی برای استفاده از منابع کمیاب زمین به‌عنوان پایه محکمی برای یکپارچه‌سازی و اتصال اطلاعات در قالب سیستمی کامل و کارآمد برای نگهداری اطلاعات بوده و به‌عنوان عنصری کلیدی جهت دستیابی به موفقیت‌های حقوقی و مدیریتی املاک در آینده مطرح می‌شود. هدف تحقیق حاضر ارزیابی روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی به‌منظور تهیه مدل‌های سه‌بعدی کاداستر می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز از منطقه مورد مطالعه توسط پهپاد فتوگرامتری ایبی پلاس اخذ و برای به‌دست آوردن مقادیر دقیق المان‌های توجیه خارجی تصاویر از واحد اندازه‌گیری اینرشیال و گیرنده سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی با استفاده از تکنیک‌های تعیین موقعیت آنی و پس‌پردازش کینماتیک بهره گرفته شده است. پردازش تصاویر در دو مرحله توسط نرم‌افزارهای Pix4dmapper و Metashape صورت گرفته و از نرم‌افزارهای ArcGIS.v10 و SketchUp به‌منظور تولید مدل‌های سه‌بعدی و بصری‌سازی استفاده شده است. برای اثبات دقت هندسی مثلث‌بندی مجموعاً از ۸ نقطه کنترل زمینی در منطقه به‌عنوان نقاط چک استفاده و مقدار بیشینه خطای جذر میانگین مربعات ۳/۱۲ در مؤلفه (X)، ۲/۸۶ در مؤلفه (Y) و ۳/۹۶ سانتی‌متر در مؤلفه (Z) در دو مرحله مشاهده گردیده است. در ادامه برای ارزیابی نهایی مدل‌های سه‌بعدی از ۳۲ نقطه نمونه به‌عنوان نقاط چک استفاده شد و نتایج حاصل از برازش داده‌های مشاهداتی بر داده‌های مرجع نشان‌دهنده خطای جذر میانگین مربعات در مؤلفه‌های مسطحاتی (X,Y) به‌ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۱۳ متر و مؤلفه ارتفاعی (Z)، ۰/۳۹ متر که حاکی از دقت بالای این روش به‌منظور تهیه مدل‌های سه‌بعدی کاداستر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کاداستر سه‌بعدی، فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد، مدل‌سازی سه‌بعدی، مدیریت شهری

****

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنّی دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول) mrahshokri@gmail.com

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران sa_sadeghian@sbu.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه از کاداستر به‌عنوان بستری برای بهبود مدیریت شهری و کشوری و قانومند کردن اراضی استفاده می‌شود. طی دو قرن اخیر در بسیاری از کشورهای جهان، تراکم جمعیت در مناطق شهری به‌طور چشمگیری رو به رشد بوده که به موجب آن شهرها شاهد افزایش ساخت‌وساز آپارتمان‌های چند طبقه و بهره‌گیری از فضای بالا و زیر سطح زمین بوده‌اند ***(Stoter, 2004: 344)***. کاداستر سه‌بعدی برخلاف سیستم کاداستر دوبعدی این قابلیت را دارد که عوارضی مانند ساختمان‌ها را با درنظر گرفتن بعد سوم (ارتفاع) مدل‌سازی نماید تا به واسطه آن بتواند حق دسترسی را برای مالکین اعم از فرد یا سازمان‌ها مشخص نماید ***(Choon et al, 2013)***. کاداستر سه‌بعدی به مدیریت تغییرات در سه بعد، توسعه و افزایش قابلیت‌ها و کارایی یک کاداستر چندمنظوره کمک خواهد کرد. نمایش رقومی حقوق مالکیت واقعی، محدودیت‌ها، مسئولیت‌ها (موضوعات حقوقی) و اشیاء فیزیکی مربوط به آن‌ها مانند ساختمان‌ها، خدمات رفاهی، آب و برق بر روی، بالای یا زیر سطح زمین امکان‌پذیر خواهد بود ***(Aein, 2013)***. در برخی از کشورها محدوده مالکیت ارتفاعی به‌صورت نوشتاری و در بعضی از موارد به‌صورت نقشه‌های متقاطع و یا برش‌های عرضی ارائه می‌گردد. اما کاداستر در ایران همانند سایر کشورهای درحال‌توسعه بر مبنای اطلاعات دوبعدی زمین طراحی و پیاده‌سازی شده است. این امر در گذشته به سبب تراکم کم جمعیت مشکل‌زا نبوده ولی در دهه‌های اخیر به دلیل رشد سریع جمعیت در شهرها و انتقال مالکیت به ارتفاعات و زیر زمین سبب به‌وجود آمدن دعاوی و مشکلات عدیده حقوقی و مدیریتی شده است. در شبکه حمل‌ونقل نیز از ابنیه بالای سطح (مانند پل) و زیر زمین (مانند تونل) به‌خصوص در مناطق و راه‌های پرتردد بسیار استفاده می‌شود.

از این‌رو کاداستر دوبعدی برای سازماندهی قطعات و مدل‌سازی اطلاعات کالاهای پیچیده و منافع در زمین مناسب نمی‌باشد ***(Bennett et al, and kalantari et al, 2008)***. طراحی و پیاده‌سازی سیستم کاداستر سه‌بعدی امری بسیار مهم، اجتناب‌ناپذیر و در عین حال پیچیده می‌باشد.

تغییرات سریع شهرها و رشد افقی و عمودی آن‌ها مستلزم داشتن نقشه‌های به‌روز می‌باشد و در این راستا مدیران و تصمیم‌گیران همواره به دنبال روش‌هایی دقیق، سریع و در عین حال کم‌هزینه برای دستیابی به این مهم می‌باشند. به‌منظور دستیابی به این امر روش‌های مختلفی ارائه شده است که این روش‌ها را می‌توان به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی کرد. روش‌های مستقیم در واقع روش‌های نقشه‌برداری زمینی هستند که عمدتاً از دقت کافی برخوردار هستند و در عین حال بسیار پرهزینه و زمان‌بر خواهند بود و انجام آن در برخی از مناطق با مشکلات جدی مواجه است. از روش‌های غیرمستقیم می‌توان روش‌هایی مانند روش فتوگرامتری سنتی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا، روش‌های فتوگرامتری پهپاد و استفاده از لیزر اسکنر را نام برد که در مقایسه با روش‌های مستقیم از سرعت بیشتر و هزینه‌ای به مراتب کمتر برخوردار هستند ولی این روش‌ها همواره با چالش‌هایی همراه هستند.

اخیراً، پهپاد فتوگرامتری به‌عنوان ابزاری برای جمع‌آوری داده‌های مکانی در ارتفاع پرواز پایین در حوزه مهندسی ژئوماتیک معرفی شده است ***(Colomina et al, 2014)***. اخذ تصاویر با قدرت تفکیک بالا و پردازش با روش ساختار ناشی از حرکت (SFM[1])، دید چند استریو (MVS[2]) و ابر نقاط سه‌بعدی با دقت حدود چند سانتی‌متر از مزایای این ابزارها می‌باشد. تحقیقات جدید در این زمینه نشان‌دهنده ظرفیت‌های بالای پهپادهای فتوگرامتری به منظور بازنگری و به‌روزرسانی نقشه‌های مختلف می‌باشد. این مقاله در چهار بخش سازماندهی شده است. بخش حاضر به بررسی مفاهیم مقدماتی تحقیق و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه اختصاص داده شده است. در بخش دوّم ضرورت

1- Structure from Motion

2- Multi-View Stereo

انجام تحقیق در ایران ارائه شده است و در قسمت سوم روش پیشنهادی شرح داده شده و نهایتاً در آخرین بخش نتیجه‌گیری و پیشنهادات به‌منظور انجام تحقیقات آتی بیان گردیده است.

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در زمینه استفاده از روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد در کاربردهای تهیه نقشه و کاداستر صورت گرفته است. در ادامه برخی از پژوهش‌های داخلی و خارجی ارائه شده است:

مَنیُکی و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی با عنوان "پهپاد در کاربردهای کاداستر" به ارزیابی کاربردهای پهپاد فتوگرامتری در تهیه نقشه‌های کاداستر و مزایای استفاده از این سیستم در این کاربردها پرداخته‌اند. در همان سال آیزنبایس در مقاله‌ای با عنوان "پتانسیل‌های پهپاد برای تهیه نقشه" به بررسی و طبقه‌بندی پهپادها در کاربردهای نقشه‌برداری و مراحل تهیه نقشه با آن‌ها پرداخته و به عملی بودن استفاده از پهپاد در کاربردهای کاداستر و تهیه مدل‌های ارتفاعی در ابعاد کوچک تأکید داشته است.

ریجسدیجک و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله خود با عنوان "سیستم‌های هوایی بدون سرنشین در فرآیند تأیید مرزهای قانونی کاداستر" به دو منطقه در کشور هلند و جمهوری چک پرداخته‌اند که نتایج این تحقیق نمایانگر به‌روزرسانی ۲۰ ساختمان جدید در مناطق مورد مطالعه بوده است.

کدزرسکی و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به ارزیابی سیستمی مبتنی بر پهپاد برای تولید نقشه‌های کاداستر از مناطق شهری پرداخته‌اند که نتایج این تحقیق نشان‌دهنده دقت مناسب تصویر ارتوموزاییک تهیه شده از تصاویر پهپاد برای تهیه نقشه‌های دوبعدی کاداستر از مناطق شهری می‌باشد. همچنین پارک و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله خود تحت عنوان "کاربرد تصاویر ارتو در نقشه‌برداری کاداستر" به کاربردهای تصاویر ارتوفتو سیستم‌های پهپاد در نقشه‌های کاداستر، استانداردها و مشکلات آن برای استخراج مرزهای کاداستر پرداخته‌اند.

کووا و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی پتانسیل‌ها و کاربردهای پهپاد در تهیه و به‌روزرسانی نقشه‌های کاداستر دوبعدی در رواندا را مورد بررسی قرار داده است. در این سال رامَدهانی در پروژه‌ای با عنوان "استفاده از تصاویر سیستم‌های (UAS[1]) به‌منظور جمع‌آوری داده‌های مرزهای کاداستر در اندونزی" به مقایسه دقت تصاویر پهپاد و روش‌های زمینی پرداخته که نتایج نمایانگر دقت تقریباً همسان این دو روش می‌باشد.

و سرانجام لوکاسری (۲۰۱۷) در پایان‌نامه خود با عنوان "قابلیت استفاده از پهپاد در ثبت زمین‌های کاداستر در اندونزی" پهپاد را جایگزین مناسبی برای روش‌های زمینی ثبت زمین در Bengkulu Tengah and Bogor اندونزی معرفی نموده است.

در ایران نیز تحقیقاتی در زمینه کاربردهای نوین پهپاد در کاداستر صورت گرفته است که در ادامه برخی از آن‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت:

یزدان و همکاران (۱۳۹٤) در تحقیق خود ارزیابی جامعی بر روی استفاده از پهپاد در تهیه نقشه کاداستر از مناطق شهری یا نیمه‌شهری به روش فتوگرامتری ارائه داده‌اند. سرعت بالا در اخذ داده و تولید نقشه در کنار هزینه پایین این روش‌ها از مزایای عمده و اثبات شده آن‌ها می‌باشد. نتایج تحقیق فوق نمایانگر این مهم است که فتوگرامتری پهپاد مبنا روش مؤثری در تهیه نقشه کاداستر می‌باشد.

احمدی و صادقیان (۱۳۹٤) در مقاله‌ای با عنوان "ارزیابی تصاویر پهپاد در تهیه نقشه‌های کاداستر" تصاویر به‌دست آمده از پهپاد، با مجموع ۳۰ نقطه کنترل و چک و با استفاده از روابط چند جمله‌ای‌ها، در ۵ مرتبه برای تعیین دقت هندسی و استفاده در تهیه نقشه‌های کاداستر را مورد ارزیابی قرار داده‌اند.

باغانی و همکاران (۱۳۹٤) در مقاله‌ای با عنوان "تهیه نقشه‌های کاداستر بزرگ مقیاس از مناطق شهری با استفاده از روش فتوگرامتری پهپاد مبنا" به بررسی قابلیت‌های پهپاد در تهیه نقشه‌های کاداستر از مناطق وسیع

1- Unmanned Aerial System

پرداخته‌اند و برای نخستین بار نوعی طراحی پرواز ویژه و ابتکاری تحت عنوان طراحی پرواز مضاعف به‌منظور غلبه بر اعوجاجات موجود در لبه‌های ساختمان‌ها و دیوارها در تصاویر ارتوموزاییک را ارائه داده‌اند.

خوش‌برش ماسوله و صادقیان (۱۳۹۷) در مقاله‌ای تحت عنوان "پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی شهری بر مبنای تصاویر هوایی با قابلیت مدیریت املاک در کلان‌شهر تهران" به تولید مدل سه‌بعدی کاداستر شهری برای بهبود وضعیت مدیریت املاک در کلان‌شهر تهران با رویکردی اجرایی بر مبانی تصاویر هوایی پرداخته‌اند.

نتایج نشان‌دهنده خطای جذر میانگین مربعات مؤلفه X و Y به ترتیب با ۱/٤٥٤ و ۱/٤٣١ متر و با ضریب همبستگی ۰/۹۳۷ درصد و ۰/۹۷۱ درصد و دقت مؤلفه ارتفاعی با خطای جذر میانگین مربعات ۲/٦۰٥ متر و ضریب همبستگی ۰/٦٦٥ درصد می‌باشد که نمایانگر تطابق زیاد داده‌های به‌دست آمده با داده‌های مرجع می‌باشد. سرانجام خوش‌برش ماسوله و صادقیان (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان "روش مبتنی بر یادگیری عمیق برای ساخت و بازسازی مدل‌های سه‌بعدی کاداستر از تصاویر هوایی" به مدل‌سازی و بازسازی سه‌بعدی ساختمان‌ها و ساخت مدل‌های کاداستر با هدف بهبود مدیریت زمین در کلان‌شهر تهران پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده دقت هندسی بهتر از ٦۰ سانتیمتر مدل‌های سه‌بعدی ساختمان‌ها است که با الگوریتم پیشنهادی تولید می‌شوند.

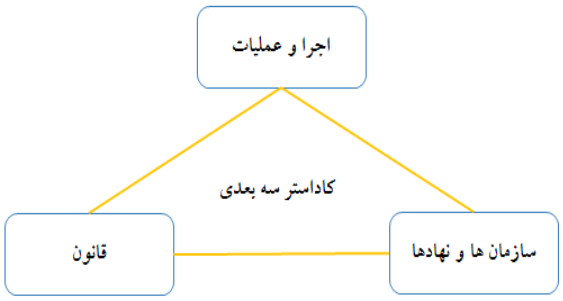
با توجه به سوابق ارائه شده در خصوص تحقیقات و پروژه‌های پیشین به‌نظر می‌رسد که موضوع تهیه نقشه‌ها و مدل‌های سه‌بعدی کاداستر با استفاده از روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی موضوعی نوین می‌باشد که تاکنون در سطوح مختلف مورد بررسی قرار نگرفته است. در این راستا نویسندگان برآن شدند تا در جهت پیاده‌سازی و دستیابی به مدل‌های دقیق کاداستر سه‌بعدی، روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد را مورد ارزیابی قرار دهند.

۲- ضرورت انجام تحقیق در ایران

عملکرد صحیح نظام اقتصادی کشور در گرو سازماندهی بازار زمین به‌عنوان بازاری پایه در اقتصاد است. از این‌رو پیشرفت و حرکت در راستای اهداف تعیین شده در سند چشم‌انداز نیازمند سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی اصولی و دقیق در بازار زمین است.

اهمیت سیاست‌گذاری و اعمال سیاست‌های وضع شده در بازار زمین به قدری است که برخی از کشورها روند توسعه و پیشرفت اقتصادی خود را از اصلاح سیاست‌های زمین آغاز کرده‌اند.

اصولاً اگر سیاست‌های زمین در اقتصاد یک کشور به درستی طراحی و اجرا نشود کل اقتصاد از این ناحیه دچار آسیب و انحراف می‌شود و هزینه‌های تولید در تمام بخش‌ها اعم از مسکن، کشاورزی، صنعت و خدمات افزایش می‌یابد ***(Agus et al, 2002)***. در نگاره (۱) ارتباط بین ابعاد کاداستر سه‌بعدی بر اساس تعریف سازمان بین‌المللی استانداردسازی ارائه شده است.



نگاره ۱- ارتباط بین ابعاد کاداستر سه‌بعدی *(ISO 19152-2012)*

۲-۱- جنبه سازمانی

اداره ثبت اسناد و املاک یکی از قدیمی‌ترین سازمان‌های کشور است که تاریخچه آن را باید در ایران باستان جستجو کرد. در سال ۱۳۵۲ قانون تبدیل اداره کل ثبت اسناد و املاک به سازمان ثبت اسناد و املاک کشور تصویب شد

و در تاریخ ۲۱ بهمن ۱۳۰٦ قانون ثبت عمومی املاک در ۹ ماده تصویب شد که در آن ثبت کلیه اموال غیرمنقول را الزامی نمود و برای تأخیر در تقاضا ثبت افزایش حق‌الثبت را مقرر داشته است. در تاریخ ۱۳ بهمن ۱۳۰۷ قانون تشکیل دفاتر اسناد رسمی در ۲۰ ماده به تصویب رسید (ssaa.ir). در کشورهای درحال‌توسعه، توفیق در پیاده‌سازی و حفظ سیستم‌های حقوقی ثبت املاک به میزان بسیار زیادی به داشتن آموزش‌های صحیح، اطلاعات کافی و ساماندهی درست وابسته است و در کشور ایران باید به این امر توجه بیشتری داشت.

۲-۲- جنبه‌های قانونی

اولین بخشنامه‌های سازمان ثبت در خصوص کاداستر به سال ۱۳۳٤ برمی‌گردد. این بخشنامه صدور سند مالکیت را منوط به تهیه نقشه ثبتی کاداستر می‌دانست هر چند که محرکی برای نقشه‌برداری کاداستر نگردید.

بعد از انقلاب طرح کاداستر در سال ۱۳٦۸ با تصویب نمایندگان مجلس و در زیرمجموعه سازمان ثبت اسناد و املاک کشور تأسیس شد و در سال ۱۳۷۰ با هدف کمک به ایجاد یک سیستم ثبت املاک پیشرفته و مکانیزه که قادر به پاسخگویی سریع به ارباب رجوع و حل مشکلات آنان باشد کار خود را آغاز کرد و سرانجام قانون جامع کاداستر در بهمن ماه ۱۳۹۳ تصویب شد (شاهدی و همکاران، ۱۳۹٦). جدول (۱) سیر تحول قوانین کاداستر ایران را طی شصت‌سال اخیر نشان می‌دهد.

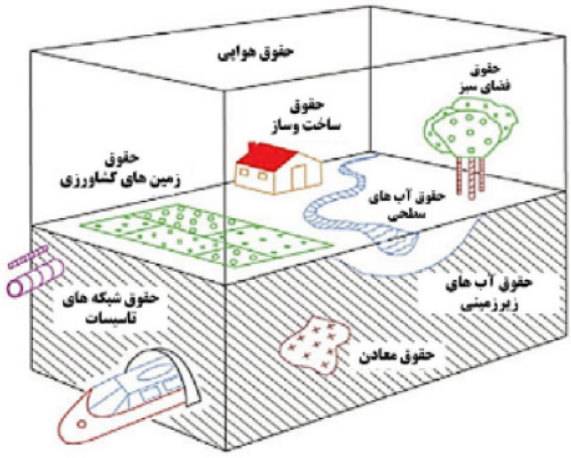
براساس مستندات موجود تاکنون، قانون تعریفی از حق مالکیت در سه بعد نداشته و مهم‌ترین مسئله مورد توجه آن صدور اسنادی با ضریب امنیت بالا بوده است، اگرچه صدور اسناد با ضریب امنیت بالا بسیار مهم و پراهمیت است، اما عدم وجود قانونی برای حل مشکل حق مالکیت در سه بعد یک چالش مهم در سیستم کاداستر کشور به‌شمار می‌رود (خوش‌برش ماسوله و صادقیان، ۱۳۹۷).

جدول ۱- سیر تحول قوانین مربوط به کاداستر در ایران

(خوش‌برش ماسوله و صادقیان، ۱۳۹۷)

سال	اقدامات	اهداف
۱۳۳٤	اولین بخش‌نامه‌های کاداستر کشور	کاهش تعارضات ملکی استقرار سیستم مالیاتی عادلانه
۱۳۵۱	قانون ثبت املاک در قالب کاداستر	تولید نقشه‌های کاداستری مبتنی‌بر نقشه‌های بزرگ مقیاس
۱۳٦۸	تصویب طرح کاداستر	تعیین محدوده‌های قانونی مالکیت مستحدثات و اراضی
۱۳۸۹	صدور سند مالکیت جدید تک برگ	ارتقاء ضریب امنیت تکمیل بانک جامع اطلاعات املاک و کاداستر
۱۳۹۳	تصویب قانون جامع کاداستر (حدنگار)	شفاف‌سازی در امر صدور سند املاک و اراضی

کاداستر در ایران بر مبنای اطلاعات دوبعدی طراحی و پیاده‌سازی شده است و برای تعیین مالکیت در زیر یا بالای سطح زمین (بعد سوم) راهکاری درنظر گرفته نشده است. در نگاره (۲) پیچیدگی بعد سوم در کاداستر نمایش داده شده است.



نگاره ۲- مفهوم حق مالکیت در سه بعد *(ISO 19152:2012)*

۲-۳- جنبه‌های اجرایی و عملیاتی

هدف اصلی سیستم کاداستر کشور در حوزه فنی ایجاد نظام دقیق و کارآمد با قابلیت بهنگام شدن نسبت به پیشرفت کشور بوده است و تا حدی می‌توان این موضوع را موفق دانست به‌طوری که با گذشت زمان، تجهیزات و فناوری نوین وارد عرصه نقشه‌برداری ایران شده‌اند که به واسطه‌ی آن می‌توان اطلاعات را ساده‌تر، سریع‌تر و دقیق‌تر برداشت نمود، اما به‌دلیل ناسازگاری قوانین ثبتی و همچنین ضعف فناوری‌های موجود در مسئله ثبت املاک در سه بعد این موضوع همچنان یک مشکل اساسی در سیستم کاداستر کشور به‌شمار می‌رود.

به‌طور کلی یک سیستم کاداستر مشتمل بر داده‌های مکانی (مانند موقعیت قطعه زمین) و توصیفی (مانند نوع مالکیت) می‌شود که هر دو این اطلاعات می‌توانند یک قطعه زمین را معین و مشخص کنند *(خوش‌برش ماسوله و صادقیان، ۱۳۹۷)*.

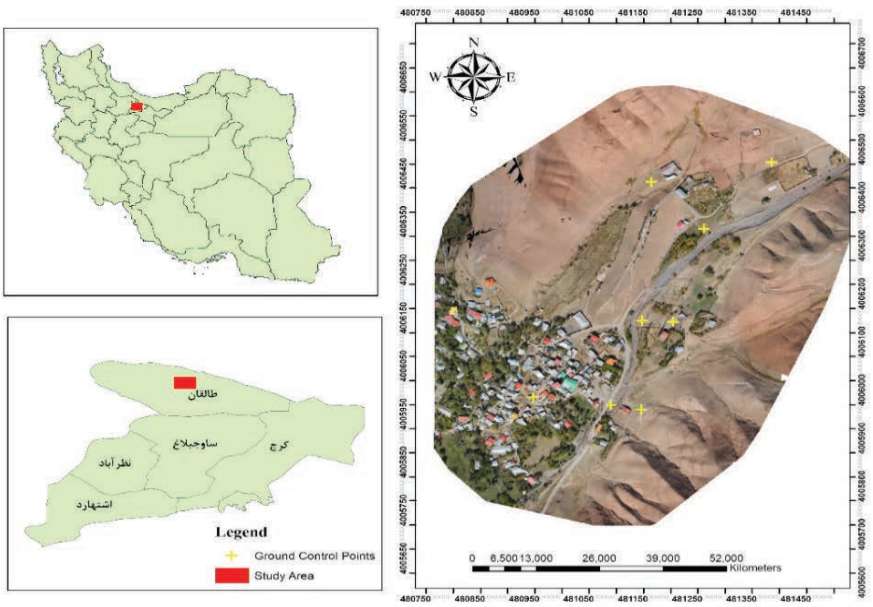
بعد فنی کاداستر در ایران برپایه تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس از مناطق مختلف به شیوه‌های نقشه‌برداری زمینی و فتوگرامتری بوده است که اولین فعالیت‌ها در سال ۱۳۵۱ مربوط به تهیه نقشه کاداستر با استفاده از نقشه‌های ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰۰ نقشه‌برداری کشور از برخی مناطق همچون شهر قزوین صورت پذیرفته است *(پورکمال، ۱۳۷۷)*.

۳- روش پیشنهادی تحقیق

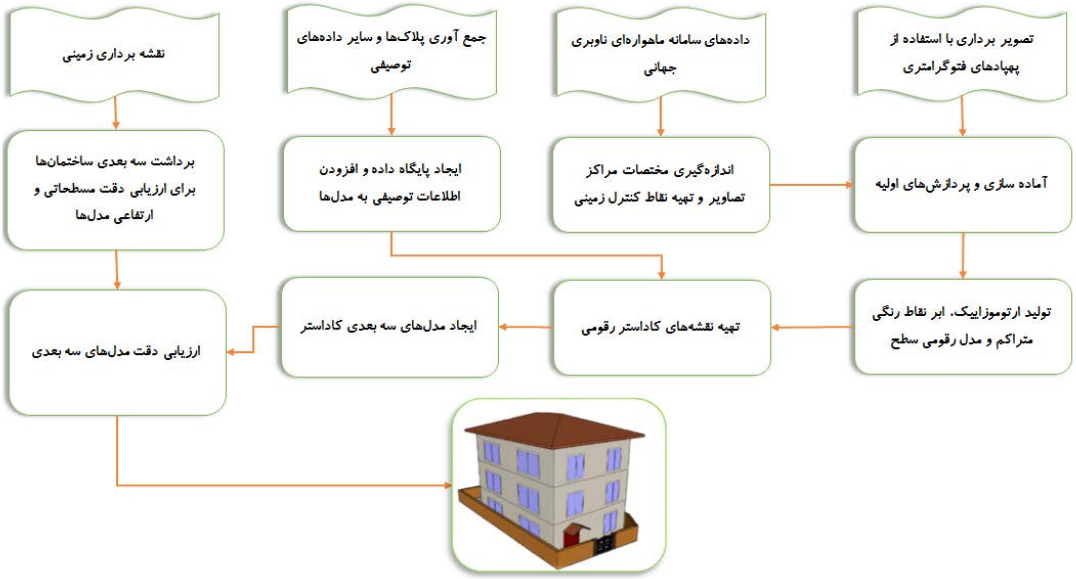
این پژوهش از نظر هدف، کاربردی می‌باشد؛ به‌منظور دستیابی به نتایج واقعی‌تر و نزدیک به شرایط فعلی منطقه مورد مطالعه از دستورالعمل تهیه اطلاعات مکانی شهرداری تهران به روش فتوگرامتری و دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، سازمان نقشه‌برداری کشور جهت تولید مدل سه‌بعدی کاداستری استفاده شده است.

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق خسبان، روستایی از توابع شهرستان طالقان در استان البرز می‌باشد (نگاره ۳). این روستا در عرض جغرافیایی $36°11'54''$ شمالی و طول $50°47'15''$ غربی و در فاصله حدود ۱۵۰ کیلومتری شمال‌غرب شهر تهران قرار دارد. داده‌های استفاده شده در این تحقیق متعلق به پروژه ارزیابی دقت و پتانسیل نقشه‌برداری سیستم پهپاد سنسفلای شرکت نماپرداز رایانه می‌باشد.



نگاره ۳- منطقه مورد مطالعه و پراکندگی نقاط کنترل



نگاره ٤- مدل مفهومی تحقیق برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی کاداستر با استفاده از روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد

۳-۲- مدل مفهومی تحقیق

نگاره (٤) مدل مفهومی تحقیق برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی کاداستر با استفاده از روش فتوگرامتری مبتنی‌بر پهپاد را نشان می‌دهد.

۳-۳- مراحل تهیه نقشه‌ها و مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد

در این بخش مراحل مختلف تهیه مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد شرح داده شده است. با وجود این‌که استفاده از این روش دارای مزایای زیادی ازجمله دقت، زمان و دسترسی است اما تولید محصولات سه‌بعدی با استفاده از این روش همواره با چالش‌هایی نیز مواجه است. مضمون کلی این فرآیند به شرح ذیل می‌باشد:

- برنامه‌ریزی پرواز
- عملیات پرواز و اخذ تصاویر
- مثلث‌بندی و سرشکنی
- ارزیابی دقت مثلث‌بندی
- تولید ابر نقاط و مدل رقومی سطح
- تولید ارتوموزاییک
- استخراج عوارض

لازم به توضیح است که پرداختن به هر یک از موارد فوق از حیطه اصلی این تحقیق خارج است و تنها برخی موارد دارای اهمیت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

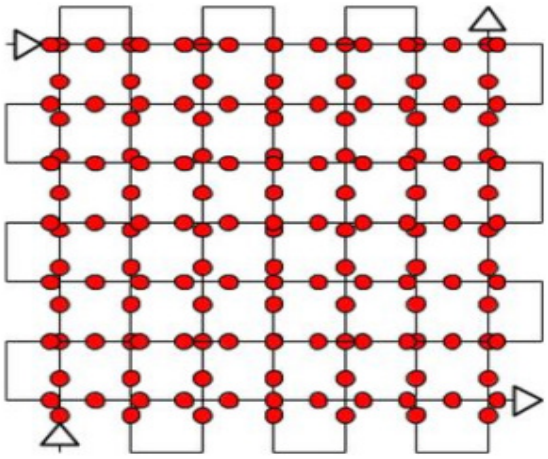
۳-۳-۱- طراحی پرواز

در یک پروژه فتوگرامتری جهت دستیابی به دقت مطلوب در استخراج مدل سه‌بعدی باید یک ترکیب هندسی قوی برای شبکه فتوگرامتری انتخاب نمود *(باغانی و همکاران، ۱۳۹٤)*. این امر در مرحله طراحی پرواز تعیین می‌گردد، طراحی پرواز بر اساس مقیاس، توپوگرافی منطقه و ارتفاع عوارض تعیین می‌گردد.

وجود نواحی پنهان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات در بحث فتوگرامتری خصوصاً در مناطق شهری می‌باشد. افزایش پوشش طولی و عرضی تصاویر سبب کاهش نواحی پنهان می‌شود ولی این امر موجب افزایش تعداد تصاویر و مدت زمان بیشتر پردازش اطلاعات می‌شود. یکی دیگر از راهکارهای عملی، افزایش فاصله کانونی همزمان با افزایش

ارتفاع پرواز است و همچنین استفاده از طراحی پرواز موسوم به "نوارهای پرواز مضاعف و متعامد" می‌باشد که در این روش، نمای ساختمان‌ها بایستی در هر چهار جهت جغرافیایی قابل رؤیت باشند.

برای این منظور، محورهای پرواز دیگری نیز علاوه بر محورهای پرواز اولیه، تحت عنوان محورهای مضاعف، کاملاً یکسان با محورهای پرواز اصلی، اما عمود بر آن طراحی می‌گردد (نگاره ۵) *(باغانی و همکاران، ۱۳۹٤)*.



نگاره ۵- طراحی پرواز مضاعف و متعامد *(باغانی و همکاران، ۱۳۹٤)*

همان‌طور که در نگاره ۵ مشاهده می‌شود، طراحی نوارهای پرواز مضاعف، سبب افزایش دو برابری مشاهدات تصویری در فرآیند بازسازی سه‌بعدی می‌شود، به نحوی که فرکانس هر نقطه گرهی حداقل برابر ۱٦ خواهد بود و همچنین وجود اشعه‌های نوری تصویرکننده از زوایا و منظرهای مختلف کیفیت هندسه تقاطع را در محاسبات تقاطع فضائی به نحوه مناسبی تضمین خواهد کرد *(باغانی و همکاران، ۱۳۹٤)*.

در این پژوهش عملیات پرواز و تصویربرداری با استفاده از پهپاد eBee plus شرکت سنسفلای و سنجنده SODA[1] صورت پذیرفت که مشخصات سنجنده فوق در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات سنجنده مورد استفاده در این تحقیق

Sensor Type	SenseFly SODA. 3D
Sensor	1” RGB
RGB lens	F/2.8-11, 10.6 mm (35 mm equivalent: 29 mm)
RGB resolution	20 MP 5,472 x 3,648 px
Sensor Width, Height	12,75 x 8,5 mm
Exposure compensation	±2.0 (1/3 increments)
RGB shutter	Global 1/30 - 1/2000 s
White balance	Auto, sunny, cloudy, shady
ISO range	125-6400
RGB FOV	,Total FOV: 154° optical, 90° mechanical 64°
RTK/PPK support	Yes
IMU/DIFG	DIFG

۳-۳-۲- عملیات پرواز و تصویربرداری

محدوده تصویربرداری به‌صورت مستطیل شکل در ابعادی حدود ۳۸ هکتار با فاصله نمونه‌برداری زمینی[2] حدود ٦ سانتیمتر در ارتفاع متوسط ۳۰۰ متری در ۹ خط پرواز با پوشش طولی و عرضی ۷۵٪ {که به‌منظور افزایش دقت، کاهش نواحی پنهان، دستیابی به مدل سه‌بعدی دقیق‌تر پرواز به‌صورت خطوط متقاطع کامل می‌گردد و طراحی پرواز به گونه‌ای بوده که مجموع پوشش طولی و عرضی کمتر از ۱۳۰ درصد نباشد} و پرواز در مدت زمان ۲٤ دقیقه صورت گرفته و همچنین برای کنترل و اثبات دقت هندسی مثلث‌بندی نیز تعدادی نقاط کنترل زمینی تهیه شده است. گیرنده سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی[3] نصب شده برروی

1- Sensor Optimized for Drone Applications

2- Ground Sample Distance

3- Global Navigation Satellite System

پهپاد در حین پرواز با دریافت تصحیحات روش تعیین موقعیت آنی[1] از طریق اتصال به سرور سامانه شمیم اداره ثبت اسناد کشور مختصات مراکز تصاویر را اندازه‌گیری کرده و به‌طور همزمان داده‌های دقیق روش پس‌پردازش کینماتیک[2] نیز ثبت و به‌عنوان داده‌های پشتیبان از آن استفاده شده است. در مرحله اول، پردازش داده‌های روش تعیین موقعیت آنی به‌علت دقت بالاتر انجام گرفت و در صورتی که بیشتر از ۹۵٪ تصاویر فیکس شوند مورد قبول واقع شده و اگر مقداری کمتر از این مقدار ارزیابی شوند باید در مرحله دوم از داده‌های پشتیبان استفاده شود. همچنین سطح مبنا ارتفاعات سامانه ژئودتیک جهانی[3] ۱۹۸٤ می‌باشد که به‌دلیل محدودیت‌های مختلف و در دسترس نبودن مدل دقیق ژئوئید از منطقه، تصحیحات ارتومتریک به ارتفاع‌های اندازه‌گیری شده اعمال نشده است.

۳-۳-۳- ارزیابی دقت مثلث‌بندی

فرآیند مثلث‌بندی و سرشکنی با استفاده از المان‌های توجیه خارجی که توسط واحد اندازه‌گیری اینرشیال[4] و گیرنده تعیین موقعیت سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی نصب شده بر روی پهپاد با استفاده از روش‌های تعیین موقعیت آنی و پس‌پردازش کینماتیک در لحظه پرواز صورت گرفته است. تصاویر اخذ شده در دو تست توسط نرم‌افزارهای Pix4dmapper و Metashape پردازش و به منظور اثبات دقت هندسی مثلث‌بندی و سرشکنی مجموعاً از ۸ نقطه کنترل زمینی با دقت نسبی بهتر از ۲ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است که به‌عنوان نقاط چک در ارزیابی دقت هندسی تصاویر در نظر گرفته شده که نهایتاً خطای جذر میانگین مربعات هر یک از این نقاط توسط هر دو نرم‌افزار Pix4dmapper و Metashape محاسبه گردیده است (جدول ۳).

جدول ۳- خطای جذر میانگین مربعات نقاط چک پس از پردازش با نرم‌افزار Pix4dmapper و Metashape (برحسب سانتی‌متر)

شماره نقاط	Pix4Dmapper			MetaShape		
	X	Y	Z	X	Y	Z
۱	۳/۷۳	۲/۸۰	۳/۹٦	۲/۱٤	۱/۲۰	۲/۸٦
۲	۲/۲۲	۲/۸٦	۳/۵۱	۲/۲۲	۱/۱۲	۲/۷۷
۳	۲/۳۷	۲/٦۷	۳/۱٦	۲/۳۷	۱/۱۷	۲/۹۳
٤	۲/۳٦	۲/٦۲	۲/۷٤	۲/۵۲	۱/۱۹	۲/۰۱
۵	۲/۳۲	۲/٦۲	۳/۰۲	۲/٦۹	۱/۲۸	۲/۱٦
٦	۲/۳۱	۲/۵۵	۲/۹۲	۲/٤۸	۱/٤۳	۲/٤۱
۷	۱/۷۱	۲/٤۷	۳/۵۹	۲/٦۲	۱/٦۳	۲/٦٦
۸	۱/٤۱	۲/۱۲	۳/۱۳	۳/۲۱	۱/۷٤	۲/٦۹

۳-٤- تولید مدل‌های کاداستر سه‌بعدی

به علت عدم وجود دستوالعمل یکسان از سوی سازمان‌ها و نهادهای ذی‌ربط، به‌منظور ترسیم و نمایش عوارض سه‌بعدی از مدل‌های فرضی استفاده شده است. بدین ترتیب که نقاط ارتفاعی (سقف‌ها) به یکی از نقاط گوشه‌ها متصل شد تا مدل سه‌بعدی تولید گردد. در این پژوهش با هدف ایجاد مدل‌های سه‌بعدی کاداستر چند نمونه ساختمان جهت مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه مراحل عملی طی شده در این تحقیق را مرور می‌کنیم:

مرحله اول: در این مرحله تصاویر اخذ شده از منطقه مورد مطالعه توسط نرم‌افزارهای Pix4dmapper و Metashape مورد پردازش قرار گرفته و محصولاتی نظیر تصویر ارتوموزاییک و مدل رقومی سطح[5] (با دقتی معادل دقت فاصله نمونه‌برداری زمینی، تقریباً ۵/۳ سانتی‌متر) و ابر نقاط رنگی (با تراکم ۲۲/٦ نقطه در هر مترمکعب) استخراج گردیده است.

مرحله دوم: شامل ترسیم عرصه، اعیان و شبکه راه‌ها از روی تصویر ارتوموزاییک به‌صورت مسطحاتی در محیط نرم‌افزار ArcMap می‌باشد که این کار در نهایت منجر به تهیه نقشه کاداستر دوبعدی از منطقه مورد مطالعه شده است (نگاره ٦).

1- Real-Time Kinematic
2- Post-Processing Kinematic
3- World Geodetic System
4- Inertial Measurement Unit
5- Digital Surface Model

نگاره ٦- مدل مسطحاتی کاداستر منطقه مورد مطالعه

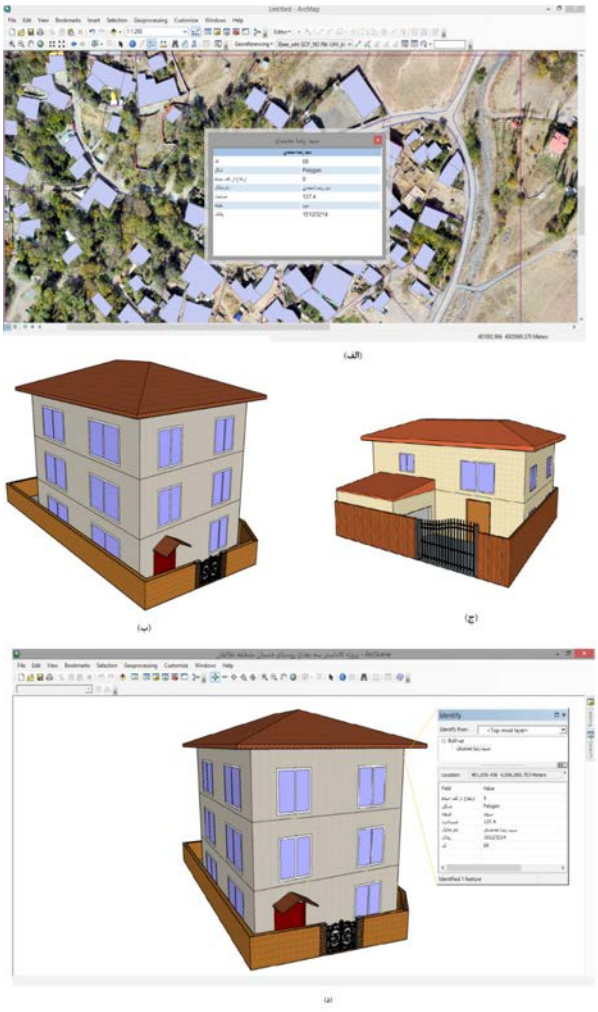
مرحله سوم: شامل اندازه‌گیری ارتفاع سقف هر ساختمان از روی ابر نقاط متراکم تولید شده در مرحله اول می‌باشد. برای این کار داشتن ارتفاع یک نقطه ارتفاعی در سقف هر ساختمان کافی می‌باشد تا با متصل کردن نقاط گوشه‌ها به این نقطه مدل سه‌بعدی ساختمان تهیه گردد.

مرحله چهارم: ترسیم مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها در نرم‌افزار SketchUp که این کار با هدف ایجاد دید بصری و داشتن مدلی واقعی‌تر صورت پذیرفته است.

مرحله پنجم: اضافه کردن مدل‌های سه‌بعدی فوق به مدل سه‌بعدی ساختمان‌ها در نرم‌افزار ArcScene و وارد کردن اطلاعات توصیفی هر طبقه به پایگاه داده مربوطه که در نهایت منجر به تولید نقشه‌های کاداستر سه‌بعدی می‌گردد (نگاره ۷).

۳-٤-۱- نتایج مدل‌سازی سه‌بعدی

بر طبق توضیحات ارائه شده در بخش‌های قبلی فرآیند تبدیل صورت می‌گیرد. اطلاعات مکانی تولید شده و اطلاعات توصیفی شامل شماره پرونده، نام مالک، مساحت مندرج در سند از منطقه مورد مطالعه در پایگاه داده ذخیره و به اطلاعات مکانی متصل گردیده‌اند. در نگاره ۷ مدل‌های سه‌بعدی پیشنهادی نشان داده شده است.



نگاره ۷- الف) مدل مسطحاتی کاداستر در نرم‌افزار ArcMap 10
ب و ج) نمونه‌ای از مدل‌های سه‌بعدی طراحی شده در نرم‌افزار SketchUp
د) مدل سه‌بعدی نهایی کاداستر در نرم‌افزار ArcScene 10

۳-۵- ارزیابی دقت نتایج

با توجه به دقت هندسی بالای روش‌های نقشه‌برداری زمینی از داده‌های این روش به‌عنوان داده‌های مبنا در تحقیق حاضر استفاده شده است. بدین‌وسیله تعداد ۳۲ نقطه در منطقه با روش نقشه‌برداری زمینی برداشت و با اطلاعات به‌دست آمده از روش مورد مطالعه مقایسه گردید. معیار مسطحاتی و ارتفاعی، اطلاعات به‌دست آمده از روش نقشه‌برداری زمینی است و برای مقایسه آماری با داده‌های

مبنا از خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) استفاده شده است (رابطه ۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(f_i - o_i)^2} \qquad (۱)$$

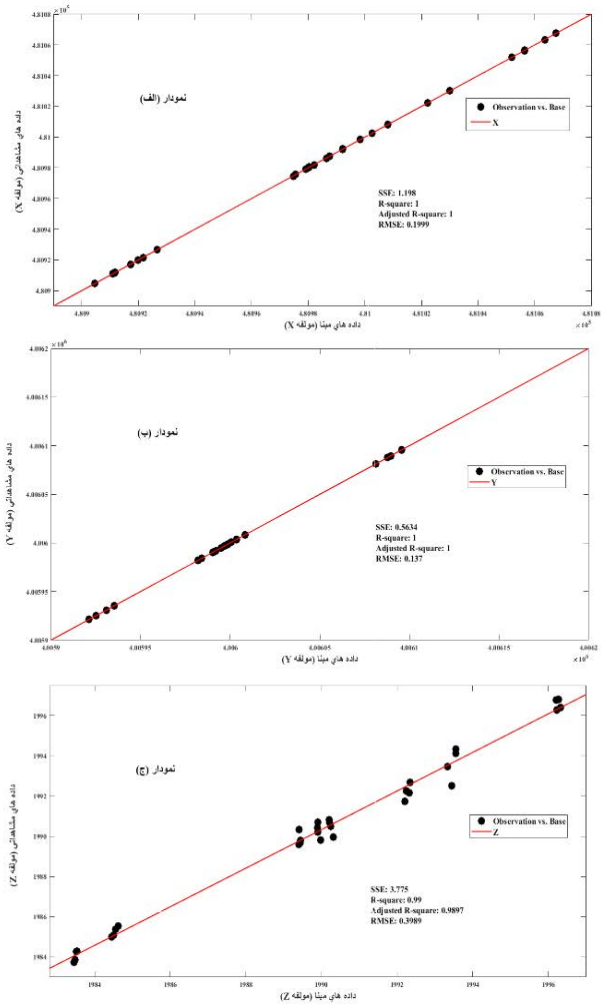
که در رابطه فوق:

n = تعداد نمونه

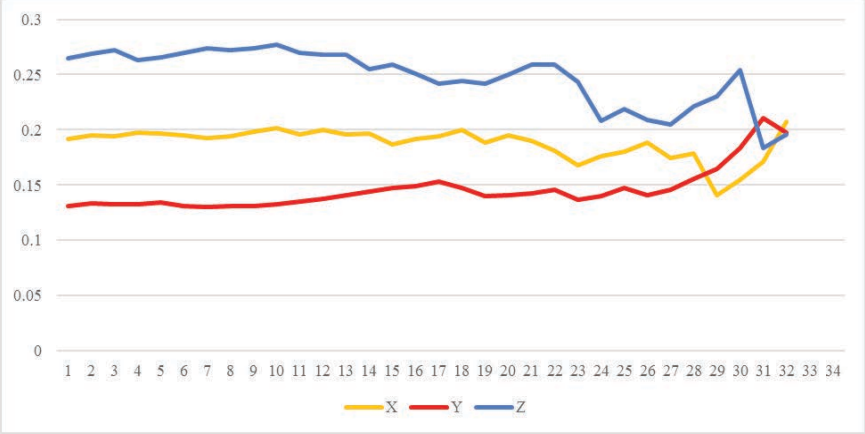
f = مقدار پیش بینی شده توسط مدل

o = مقدار مشاهداتی

خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد. یک ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مجموعه داده است و برای مقایسه چند مجموعه داده کاربرد ندارد. همچنین این تفاوت‌های مجزا را مانده‌ها می‌نامند و خطای جذر میانگین مربعات برای جمع‌آوری آن‌ها در یک عدد کاربر دارد ***(Rob et al, 2006)***. با توجه به توضیحات فوق از این معیار برای ارزیابی و پیش‌بینی دقت در مؤلفه مسطحاتی (X,Y) و ارتفاعی (Z) استفاده گردید (نگاره ۸). لازم به ذکر است که برای تأیید صحت نتایج بدست آمده از ضریب همبستگی (R^2) استفاده شده و همچنین به منظور ارزیابی نتایج، داده‌های نمونه به داده‌های مبنا برازش داده شده و نتایج حاصل از آن در نگاره ۹ نشان داده شده است.



نگاره ۸- برازش داده‌های مشاهداتی بر داده‌های مبنا در مؤلفه‌های (X,Y,Z)



نگاره ۹- خطای جذر میانگین مربعات نقاط نمونه در مؤلفه‌های (X,Y,Z) (برحسب متر)

٤- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

کاداستر سه‌بعدی می‌تواند به‌عنوان بستری برای بهبود مدیریت اراضی و املاک در سطوح مختلف مطرح گردد. در اکثر کشورهای جهان به‌علت وجود پیچیدگی‌های ساختاری و مسائل حقوقی مالکیت، هنوز کاداستر سه‌بعدی به‌صورت کامل پیاده‌سازی نشده است.

تا به امروز در کشور ما موضوع طراحی و پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی صرفاً در سطح تحقیقاتی و دانشگاهی دنبال شده و تاکنون گامی عملی در راستای پیاده‌سازی این سیستم در کشور صورت نپذیرفته است. در این راستا روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد می‌تواند به‌عنوان روشی مؤثر در راستای پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی مطرح شود ولی متأسفانه تنها یکی از جنبه‌های موضوع بحث فنی و تهیه مدل‌های سه‌بعدی بوده و قسمت اعظم موضوع مربوط به مسائل حقوقی و قانونی است که به‌علت عدم شناخت کافی و پیچیدگی موجود در بعد سوم مشکل‌زا بوده و موجب شده که بحث پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی در ایران تنها در سطوح تحقیقاتی و دانشگاهی محدود شود. در این مقاله به موضوع پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی با استفاده از روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی پرداخته شده است.

بر اساس جدول (۳) بیشینه مقدار خطای جذر میانگین مربعات مربوط به ۸ نقطه چک ۳/۲۱ در مؤلفه (X)، ۲/۸٦ در مؤلفه (Y) و ۳/۹٦ سانتی‌متر در مؤلفه (Z) در دو تست انجام شده می‌باشد که نشان‌دهنده دقت بالای محصولات سه‌بعدی با استفاده از این روش بدون استفاده از نقاط کنترل زمینی می‌باشد.

بر اساس نگاره‌های (۸ و ۹) بیشینه خطای جذر میانگین مربعات نقاط نمونه در مؤلفه‌های مسطحاتی (X,Y) به‌ترتیب ۰/۲ و ۰/۲۱ متر و در مؤلفه ارتفاعی (Z)، ۰/۲۷ متر و ضریب همبستگی (R^2) نزدیک به عدد یک نمایانگر دقت هندسی و صحت بالای مدل‌های سه‌بعدی تهیه شده با استفاده از این روش می‌باشد.

همچنین بر طبق نگاره‌های (۸ و ۹) بیشترین خطای جذر میانگین مربعات نقاط نمونه مربوط به مؤلفه ارتفاعی (Z) می‌باشد که نمایانگر دقت پایین‌تر مؤلفه ارتفاعی در مقایسه با مؤلفه‌های مسطحاتی (X, Y) این روش می‌باشد، علی‌هذا به پژوهشگران توصیه می‌شود که در تحقیقات آتی به موضوع تلفیق و استفاده از داده لایدار و روش فتوگرامتری مبتنی بر پهپاد به منظور تهیه مدل‌های سه‌بعدی دقیق و استفاده از آن‌ها در کاربردهای نوین مانند طراحی شهرهای هوشمند و... پرداخته شود.

٥- تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای مهندس مهدی برومند مدیرعامل شرکت نماپرداز رایانه و مهندس مهدی خوش‌برش ماسوله دانشجوی دکتری رشته سنجش از دور دانشگاه تهران بخاطر پشتیبانی و همکاری‌های بی‌دریغ‌شان در این تحقیق نهایت تشکر و قدردانی را به‌عمل آورند.

٦- منابع و مأخذ

۱- باغانی، ولدان زوج، مختارزاده؛ امین، محمدجواد، مهدی، (۱۳۹٤) «نقشه های کاداستر بزرگ مقیاس از مناطق شهری با استفاده از روش فتوگرامتری پهپاد» اولین کنفرانس ملی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، تهران، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۲- پورکمال، محمد، (۱۳۷۷). «مقدمه‌ای بر شناخت کاداستر و کاربردهای آن» مرکز اطلاعات جغرافیایی شهر تهران.

۳- خوش‌برش ماسوله، صادقیان؛ مهدی، سعید، (۱۳۹۷) «پیاده‌سازی کاداستر سه‌بعدی شهری بر مبنای تصاویر هوایی با قابلیت مدیریت املاک در کلان‌شهر تهران» فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۷ (۱۰۷)، ۲۵-٤۰.

٤- زین‌الدینی، صادقیان، سرکارگر اردکانی؛ محمد، سعید، علی، (۱۳۹۳). «بررسی قابلیت هندسی تصاویر پهپاد با استفاده از مدل‌های فیزیکی، تجربی و هوش مصنوعی» نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری. ۳ (٤)، ۹۱-۱۰۲.

۵- سادات احمدی، صادقیان؛ مریم، سعید، (۱۳۹٤). «ارزیابی تصاویر پهپاد در تهیه نقشه‌های کاداستر» اولین کنفرانس بین‌المللی زمین، فضا و انرژی پاک، اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.

٦- شاهدی، جلالی؛ رحمت‌الله، سیدمهدی، (۱۳۹٦). «تأثیر کاداستر در جلوگیری از اشتباهات ثبتی» فصلنامه مطالعات علوم اجتماعی، ۳ (۳)، ۱۰٤-۱۱۸.

۷- شکری، صادقیان؛ امیرحسین، سعید، (۱۳۹۷). «پیشرفت‌های نوین پهپاد در نقشه‌برداری و مدل‌سازی سه‌بعدی» کنفرانس ملی تحقیقات بنیادین در عمران، معماری و شهرسازی، تهران، موسسه آموزش عالی اوج.

۸- صادقیان، شکری؛ سعید، امیرحسین، (۱۳۹۷). «پیشرفت‌های نوین پهپاد در کاربردهای دفاعی و عمرانی» سیزدهمین کنگره انجمن جغرافیایی ایران، تهران، انجمن جغرافیایی ایران.

۹- صادقیان، سعید، (۱۳۷٦). «کاداستر؛ اجزا، انواع و روش‌ها» فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ٦ (۲۳)، ٥٤-٦۱.

10- Agus, R., Doling, J., Lee, D., (2002). “Housing Policy Systems in South and East Asia” Palgrave Macmillan UK.

11- Aien, A. (2013). “3D Cadastral Data Modelling” Ph.D. thesis, Centre for Spatial Data Infrastructures and Land Administration, Department of Infrastructure Engineering, School of Engineering, The University of Melbourne, Victoria, Australia, 474 pp.

12- Biljecki F., Ledoux H., Stoter J., (2017). “Generating 3D city models without elevation data. Computers” Environment and Urban Systems, 64, 1–18.

13- Choon, T. L., & Kam Seng, L. (2013). “Towards a Malaysian Multipurpose 3D Cadastre based on the Land Administration Domain Model (LADM) – An Empirical Study” 5th Land Administration Domain Model Workshop, Kuala Lumpur.

14- Colomina, I., Molina, P., (2014). “Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review” ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 92, 79–97.

15- Crommelinck, S., Bennett, R., Gerke, M., Nex, F., Yang, M.Y., Vosselman, G. (2016). “Review of automatic feature extraction from high-resolution optical sensor data for UAV-based cadastral mapping” Remote Sens. 8 (8), 689.

16- Crommelinck, S., Yang, M.Y., Koeva, M., Gerke, M., Bennett, R., & Vosselman, G. (2017). “Towards Automated Cadastral Boundary Delineation from UAV Data” CoRR, abs/01813/1709.

17- Crommelinck, Sophie & Bennett, Rohan & Gerke, Markus & Yang, Michael Ying & Vosselman, George. (2017). “Contour Detection for UAV-Based Cadastral Mapping” Remote Sensing. 9. 171. 3390/10/rs9020171.

18- Crommelinck, Sophie & Höfle, Bernhard & Koeva, Mila & Yang, Michael Ying & Vosselman, George. (2018). “Interactive Boundary Delineation from UAV Data” IV-2. 81-88. 5194/10/isprs-annals-IV-2-81.

19- Hasegawa H., (2018). “Applicability of Social

geoinformation science and earth observation.

29- Nex F, Remondino F. (2014). "UAV for 3D mapping applications: a review" Applied Geomatics. 6 (1), 1–15.

30- Park, J. K., Park, D. W., (2015). "Application of the Ortho Image for the Cadastral Survey" Advanced Science and Technology Letters (Architecture and Civil Engineering), 100, 113-117.

31- Ramadhani Sh.A., (2016). "Using unmanned aircraft system images to support cadastral boundary data acquisition in Indonesia" Bennett R.M., Nex F., University of Twente, faculty of geoinformation science and earth observation.

32- Remondino F, Barazzetti L, Nex F, Scaioni M, Sarazzi D, (2011). "UAV photogrammetry for mapping and 3D modellingcurrent status and future perspectives" ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 38 (1/C22), 25–31.

33- Rezaei, M, Shokri, A.H., Miri Jazari, B, (2016). "The effect of GPS antenna's phase center offset and satellite DOP's on the exact positioning" International Academic Journal of Science and Engineering. 3 (6), 218-230.

34- Rijsdijk M. and et al, (2013). "Unmanned aerial systems in the process of juridical verification of cadastral border" ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial 35-Information Sciences. XL-1/W2. 325-331.

35- Shokri, A., Sadeghian, S. (2020). Investigating the Role and Position of UAVs and Geospatial Information Systems in Command and Control from the perspective of Geomatics. Military Science and Tactics, 16(51), 27-46.

36- Stoter, J. E. (2004). "3D cadaster" Ph.D. thesis, Technische Universiteit Delft the Netherland, 344 pp.

Tenure Domain Model and 3D modeling by UAV photogrammetry to mountainous region in Indonesia" FIG Congress 2018, embracing our smart world where the continents connect: enhancing the geospatial maturity of societies Istanbul, Turkey, May 6–11.

20- ISO (2011), ISO 19152:2012, Geographic Information Land Administration Domain Model, edition 1. ISO, Geneva.

21- Kalantari, M., et al. (2008). "Spatially referenced legal property objects" In Land Use Policy, 173-181.

22- Kedzierski, M., Fryskowska, A., Wierzbicki, D., & Paulina, D. (2015). "Cadastral Mapping Based on UAV Imagery" Yucatan, Mexico: 15th International Scientific and Technical Conference "From imagery to map: digital photogrammetric technologies".

23- Khoshboresh Masouleh, M., Sadeghian, S., (2019). "Deep learning-based method for reconstructing three-dimensional building cadastre models from aerial images" Journal of Applied Remote Sensing 13(2), 024508.

24- Koeva M., Muneza M., Gevaert C., Gerke M., Nex F., (2016). "Using UAVs for map creation and updating. A case study in Rwanda" Survey Review. 50 (361), 312-325.

25- Lukitasari F., (2017). "The Usability of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Land Cadastral Registration in Indonesia" Bartholomeus H., Wageningen University and Research Centre, Laboratory of Geo-Information Science and Remote Sensing.

26- M., Fryśkowska A., Wierzbicki D., Deliś P., (2015). "Cadastral Mapping Based on UAV Imagery" 15th International Scientifi c and Technical Conference "From imagery to map: digital photogrammetric technologies", Yucatan. 26-29.

27- Manyoky, M & Theiler, Pascal & Steudler, D & Eisenbeiss, H. (2012). "Unmanned aerial vehicle in cadastral applications" The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 38. 57-62. 5194/10/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-57-2011.

28- Mumbone M., (2015). "Innovations in boundary mapping: Namibia, customary land and UAV's" Bennett R.M., Gerke M., University of Twente, faculty of