رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره هفتم، شماره دوم، ۱۴۰۲، صفحه: ۱۳-۲۹

تکنولوژی های جدید پهپادی و ضرورت استفاده از آنها در دستیابی به داده های مکانی از طریق سنجش از دور در جغرافیای ایران

بردیا برجسته [*1]

*[*1] دانشجوی مقطع کارشناسی مهندسی نقشه برداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران*

(bardiabarjesteh@yahoo.com)

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۲۷، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۱۳)

چکیده

پهپادها وسایل هوایی بدون سرنشینی می باشند که با توسعه سریع علم و تکنولوژی به عرصه مهندسی نقشه برداری وارد شده اند. عامل مهم در توسعه پهپادها این است که دارای مزایای کوچک سازی، مانورپذیری بالا و توانایی انجام کارهای دشوار در مقایسه با هواپیماهای سرنشین دار می باشند. .با ارتقاء دانش مرتبط با حسگرها و تجهیز پهپادها به حسگرهای مدرن، به تدریج، فرآیند سنجش از دور توسط این پرنده-های کارآمد، عملیاتی شده است. پهپادها جهت ارسال از دور اطلاعات مکانی به سه زیرساخت هوایی، زمینی و سیستم جمع آوری اطلاعات پیشرفته، مجهز شده اند. قابلیت پرواز در ارتفاع پایین این امکان را به پهپادها می دهد که در ارسال تصاویر با وضوح بالا موفق عمل نموده و داده های دریافتی از آنها بسیار دقیق باشند. همچنین استفاده از پهپادها زمینه لازم برای بکارگیری چندین حسگر را بصورت همزمان فراهم می-نماید که این امر در افزایش سرعت اندازه گیری دقیق یک منطقه جغرافیایی موثر می باشد. از آنجاییکه کشور ایران دارای گستره وسیعی بوده و از لحاظ مشخصات جغرافیایی بسیار متنوع (جنگل، مراتع، کویر، دریا و...) می باشد، لذا لاجرم بایستی از تکنولوژی های جدید پهپادی جهت نقشه برداری و دستیابی به داده های مکانی استفاده کرد. در این مقاله سعی شده است که فن آوری های جدید پهپادهای هوشمند جهت دریافت دقیق اطلاعات مکانی و سنجش از دور بررسی شده و نحوه بهره¬برداری بهینه از این اطلاعات مکانی برای مخاطب تبیین گردد.

کلمات کلیدی

مهندسی نقشه برداری، پهپاد، داده های مکانی، سنجش از دور، پردازش داده ها.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره هفتم، شماره دوم، ۱۴۰۲، صفحه: ۱۳-۲۹

New UAV Technologies and the Need to use them in Obtaining Spatial data Through Remote Sensing in the Geography of Iran

Bardia Barjesteh [1*]

[1*] *Bs.C. Student, Department of Surveying Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran*

(bardiabarjesteh@yahoo.com)

(Date of received: 17/01/2023, Date of accepted: 04/08/2023)

ABSTRACT

Drones are unmanned aerial vehicles (UAV) that have entered the field of surveying engineering with the rapid development of science and technology. The important factor in the development of UAVs is that they have the advantages of miniaturization, high maneuverability, and the ability to perform difficult tasks compared to manned aircraft. By improving the knowledge related to sensors and equipping drones with modern sensors, the process of remote sensing by these efficient drones has been gradually operationalized. UAVs are equipped with three infrastructures, air, ground and advanced information collection system to send location information remotely. The ability to fly at a low altitude allows drones to be successful in sending high resolution images and the data received from them is very accurate. Also, the use of drones provides the necessary ground for using several sensors simultaneously, which is effective in increasing the speed of accurate measurement of a geographical area. Since the country of Iran has a wide area and is very diverse in terms of geographical features (forests, pastures, deserts, seas, etc.), it is necessary to use new drone technologies for mapping and obtaining data. In this article, an attempt has been made to examine the new technologies of smart drones for accurately receiving spatial information and remote sensing, and to explain to the audience how to optimally use this spatial information.

Keywords:

Surveying engineering, UAV, spatial data, remote sensing, data processing.

۱- مقدمه

ایران با مساحت جغرافیایی ۱٬۶۴۸٬۱۹۵ کیلومتر مربع، دومین کشور بزرگ خاورمیانه است. با توجه به وسعت و تنوع جغرافیایی کشور عزیزمان، لازم است جهت مدیریت بر سرزمین و منابع، متخصصان از پیشرفته‌ترین وسایل جهت استخراج داده‌های مکانی بهره‌برداری نمایند. در سال‌های اخیر، توسعه سریع فناوری‌های پهپادی و حسگرهای دقیق، باعث شده است که سنجش از دور اطلاعات مکانی (Remote Sensing-RS)، توسط این وسایل پرنده به تدریج در مهندسی نقشه‌برداری ظهور کند. از نقطه نظر اقتصادی (افزایش سرعت انجام کار، کاهش تعداد نیروی انسانی و کاهش هزینه) استفاده از این فن‌آوری برای مهندسان نقشه‌بردار بسیار مقرون بصرفه بوده و این جاذبه‌ی اقتصادی، روند توسعه تکنولوژی‌های وابسته به این نوع پرنده را سرعت بیشتری بخشیده است [۱-۲]. در حال حاضر، هواپیماهای بدون سرنشین سریع‌ترین سیستم‌های پایش برای خشکی‌ها و مناطق ساحلی محسوب شده و تصاویر اخذشده به وسیلهٔ آن‌ها، پس از تصحیح و ترمیم (اورتوفتو)، ابزار سودمندی برای مطالعات سرزمینی و محیطی هستند. پهپادها منبع با ارزشی از داده‌های مکانی را برای تهیه نقشه و مدل‌سازی سه بعدی و کم هزینه، برای مهندسان نقشه‌برداری، فراهم می‌کنند تکنولوژی پیشرفته و مدرن نقشه‌برداری توسط پهپاد، پتانسیل مناسب و وسیعی را در اختیار متخصصان حوزه GIS (Geographic Information System) قرار می‌دهد [۳]. با یک هواپیمای بدون سرنشین می‌توان بررسی‌های توپوگرافی را با کیفیتی مشابه اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق جمع‌آوری شده با روش‌های سنتی، اما در کسری از زمان انجام داد که این امر هزینه بررسی سایت و حجم کاری متخصصان را به شدت کاهش می‌دهد. استفاده از پهپاد برای اخذ داده‌های مکانی با حسگرهای رو به پایین، مانند دوربین‌های(Red-Green-Blue) RGB و فن‌آوری پیشرفته و بروز LiDAR (Light Detection And Ranging) انجام می‌گردد. در طی یک بررسی پهپادی با دوربین RGB، زمین چندین بار از زوایای مختلف عکس‌برداری شده و هر تصویر با مختصات نشان‌گذاری می‌شود. دوربین مجهز به حسگر استاندارد CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) بوده که از طریق آن تصاویر رنگی سطح موردنظر به دست می‌آید. حسگر CMOS یک تراشه الکترونیکی است که فوتون‌ها را برای پردازش دیجیتال به الکترون تبدیل می‌کند[۴-۶]. با توجه به پیشرفت صنایع مختلف در سراسر جهان، نیاز به خدمات مهندسی نقشه‌برداری هوایی (نقشه‌ها، مدل‌ها و تجسم‌های دقیق) روز به روز در حال افزایش است. چندین صنعت در سطح جهانی در آینده نزدیک، شاهد افزایش نیاز به دریافت خدمات مهندسی نقشه‌برداری هوایی خواهند بود، که از آن جمله می‌توان به این صنایع اشاره داشت: ۱- ساختمان‌سازی ۲- شهرسازی ۳- معدن ۴- نفت و گاز ۵- کشاورزی ۶- جنگل‌داری ۷- سدسازی ۹-کویرزدایی ۸-میراث فرهنگی و باستان‌شناسی و غیره [۷-۸]. بدیهی است که تولید و ارائه اطلاعات صحیح توسط نقشه‌برداری با هواپیماهای بدون سرنشین، کمک شایانی به طراحان و سازندگان ساختمان‌ها و سازه‌ها در راستای اتخاذ تصمیم مناسب می‌نماید. اخذ تصمیم بهینه توسط بدنه تصمیم‌گیر صنایع، از حجم دوباره‌کاری‌ها به شدت کاسته که این امر صرفه‌جویی در زمان و هزینه انجام پروژه و افزایش بهره‌وری را در پی خواهد داشت. نقشه‌برداری هوایی دیجیتال توسط پهپادها هنوز یک صنعت جدید بوده و در حال رشد است. با پیشرفت‌های به دست آمده در حوزه‌های حسگرها، سنجش، ناوبری، مانیتورینگ و پردازش نرم‌افزاری داده‌ها [۸] به ابعاد تکنولوژی نقشه‌برداری هوایی بصورت روزانه افزوده شده و قابلیت‌های آن ارتقاء می‌یابد. برای مهندسین نقشه‌برداری کشور که به دنبال ادغام فناوری هواپیماهای بدون سرنشین در خدمات خود هستند، اولین قدم این است که صنعت هوایی را بخوبی درک نموده و با دامنه کاربردی آن آشنایی کامل داشته باشند. از طرف دیگر با توجه به تنوع جغرافیایی ایران مهندسان نقشه‌بردار، لزوما بایستی به این تکنولوژی جهت دستیابی به اطلاعات مکانی که امکان حضور فیزیکی انسان در آن نقطه وجود ندارد، مسلط گردند تا بتوانند بخوبی اطلاعات آن زمین را تولید و در اختیار بهره‌برداران قرار دهند. در این مقاله سعی شده است آخرین تکنولوژی‌های احصاء شده در سطح جهانی در حوزه مهندسی نقشه‌برداری هوایی توسط پهپادها، مطرح گردد و چگونگی بهره‌برداری از این فن‌آوری‌ها مورد بحث و بررسی واقع شود.

۲- انواع پهپادهای نقشه برداری

در حالت کلی، بر مبنای علم آیرودینامیک، پهپادهای نقشه‌برداری به سه نوع تقسیم میشوند: پهپادهای بال ثابت، پهپادهای تک روتور و پهپادهای چند روتور (هلیکوپتری).

اجزاء تشکیل‌دهنده پهپادها عبارتند از: ۱-بدنه: این قسمت تمامی اجزاء را در خود جای داده و به گونه‌ای طرحی می‌شود که سبک و مقاوم باشد. ۲- موتور: چرخاندن پروانه‌ها در راستای تولید نیروی جلوبرنده توسط موتور انجام می‌شود. ۳- کنترل‌کننده سرعت: سرعت چرخش موتور را بررسی می‌کند (rpm: round per minute). ۴- ملخ: پرواز و پایداری پرنده را تامین می‌کند. ۵- کنترلر پرواز: مغز پرنده است که حسگرهای شتاب‌سنج و ژیروسکوپ را در خود جای داده وتنظیم کننده سرعت چرخش ملخها است. ۶- فرستنده و گیرنده رادیویی: هدایت پرنده را امکان پذیر می‌کند. ۷- باطری: باتری‌های لیتیوم پلیمری (LiPo) یکی از رایج‌ترین انواع باتری‌ها برای پهپادها هستند، زیرا فضای کمتری اشغال کرده و از وزن پایین‌تری نیز برخوردار هستند، در عین حال راندمان بیشتری داشته و مداومت پروازی را افزایش می‌دهند. ۸- ماژول تله‌متری: با استفاده از این ماژول امکان کنترل پرنده به‌صورت بیسیم از طریق لپ تاپ، کامپیوتر، گوشی موبایل و ... فراهم می‌گردد. همچنین اخذ داده‌های سنسورهای ارتفاع، سرعت و فاصله پرنده از ایستگاه هدایت پرواز و بسیاری از اطلاعات دیگر قابل دستیابی است.۹- دوربین: جزء لاینفک یک پهپاد نقشه‌برداری بوده و امکان اخذ تصاویر را فراهم می‌نماید. ۱۰- فرستنده و گیرنده ویدئو: فرستنده اطلاعات را به یک سیگنال رادیویی تبدیل کرده و آن را به آنتن ورودی ارسال می‌کند.. گیرنده به عنوان دستگاهی برای تبدیل سیگنال رادیویی به ویدیوهای واضح عمل می‌کند [۷-۹].

از آنجایی که پهپادهای بال‌های ثابت دارای بال‌های استاتیک مانند هواپیما هستند (شکل ۱)، نمی‌توانند روی یک نقطه شناور شوند. این امر یک محدودیت در اخذ تصاویر با کیفیت را برای اینگونه پهپادها به همراه خواهد داشت. زیرا برای یک مهندس نقشه‌بردار این مهم است که برای بررسی دقیق‌تر یک منطقه و گرفتن تصاویر شفاف، پرنده بتواند در هوا ثابت باقی بماند. از طرف دیگر بسته به اندازه پهپاد، استفاده از باند یا پرتابگر برای پرتاب این نوع پرنده‌ها به هوا ضروری است. این مورد نیز دشواری‌هایی برای مهندسان ایجاد خواهد کرد. از طرف دیگر، آیرودینامیک بال‌ها به آن‌ها اجازه می‌دهد تا در یک زمان ۱۶ ساعته، زمین بزرگ‌تری را پوشش دهند. این پهپادها با توجه به استقامت پروازی آنها، برای خدمات مختلف نقشه برداری هوایی مانند بررسی های دوربرد، نقشه برداری فتوگرامتری و غیره مناسب هستند. هنگامی که نقشه برداری انجام شد، پهپاد باید از طریق باند یا چتر نجات فرود آید [۱۰]. بنابراین توضیحات چنانچه نقشه‌برداری از پهنه جغرافیایی کویر ایران و یا دریاها مد نظر باشد استفاده از این پهپادها توصیه می‌شود.

شکل ۱: نمایی از یک پهپاد بال ثابت [۱۰].

برخلاف پهپادهای بال ثابت، پهپادهای تک روتور (شکل ۲) نیاز به تجهیزات خاصی برای نشست و برخاست نداشته [۱۱] و با توجه به اینکه می‌توانند برای مدت طولانی در یک نقطه ثابت باقی بمانند، برای گرفتن چندین عکس از زوایای مختلف و با دقت مکفی، مناسب می‌باشند. این پهپادها از توانمندی پرواز به مدت بیشتری برخوردار بوده و بنابراین قادر به طی مسافت زیادتری خواهند بود.

از طرف دیگر با توجه به توان این نوع پهپادها از آنها در حمل بار نیز استفاده می‌شود. کار با این پهپادها با توجه به پیچیدگی فنآوری آنها نیاز به آموزش خاص داشته و اپراتور آن بایستی از مهارت لازم برخوردار باشد.

شکل ۲: نمایی از یک پهپاد تک روتور [۱۱].

پهپادهای مولتی روتور که عمدتا برای فیلمبرداری هوایی استفاده میشوند، از یک بدنه مرکزی و روتورهای متعددی ساخته شده‌اند که ملخ‌ها را برای پرواز و مانور پرنده به چرخش در می‌آورند [۱۲]. این پرنده‌ها معمولاً دارای چهار روتور (کوادکوپتر) هستند (شکل۳)، اما می‌توانند بصورت شش یا هشت روتوره (هگزاکوپتر و اکتوکوپتر) نیز ساخته شوند. از پهپادهای مولتی روتور به علت مزایای خاص آنها، در حوزه مهندسی نقشه‌برداری به وفور استفاده می‌شود. از مزایای مهم این پرنده‌ها می‌توان به این موارد اشاره داشت: ۱- مانورپذیری بیشتر: برخلاف پهپادهای بال های ثابت، هواپیماهای چند روتوری می‌توانند برخاست و فرود عمودی را انجام داده و لذا به فضا و تجهیزات کمتری برای نشست و برخاست نیاز دارند. این پرنده‌ها از قابلیت شناور شدن در آسمان و مانور دادن در اطراف فضاهای دلخواه برخوردار بوده که این مورد برای مهندسان نقشه‌بردار در راستای اخذ تصاویر دقیق‌تر بسیار ایده‌آل می‌باشد. ۲- حمل و نقل آسان: این پرنده‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که تا شوند و در جعبه‌های کوچک‌تر قرار گیرند که این امر حمل و نقل آنها را آسان‌تر می‌کند. ۳- قیمت پایین تر: در بازار فعلی، پهپادهای مولتی روتور دارای برچسب قیمت پایین‌تری نسبت به همتایان بال ثابت خود هستند. معمولا یک کوادکوپتر حرفه‌ای قیمتی معادل یک هفتم تا یک دهم پهپاد حرفه‌ای بال ثابت با کیفیت مشابه دارد. ۴- سهولت استفاده: اگر چه بهره‌برداری از این پهپادها نیاز به آموزش و تجربه دارد اما با توجه به نوع طراحی سیستم‌های کنترلی آنها، استفاده از این پهپادها ساده‌تر می‌باشد. ۵- ظرفیت حمل بار سنگین‌تر: پهپادهای مولتی روتور معمولاً وزن بیشتری را به دلیل طراحی خود تحمل می کنند. به هرحال، چنانچه نیاز باشد تجهیزات سنگین‌تری مانند انواع دوربین‌های نقشه‌برداری حمل گردند نیاز به پهپادهای بزرگ‌تر و گران‌تر می‌باشد. از طرف دیگر برد کوتاه‌تر این پهپادها و پایداری کمتر آنها در شرایط وزش بادهای شدید جزء محدودیت‌ها و نقاط ضعف این پرنده‌ها تعریف می‌شوند. با توجه به توضیحات فوق این پرنده‌ها مناسب برای نقشه‌برداری از جنگل‌ها و یا مناطقی از ایران هستند که دارای پستی بلندی و ناهمواری‌های جغرافیایی است.

شکل ۳: نمایی از یک کوادکوپتر [۱۲].

۳- بررسی تجهیزات داده پردازی پهپادها

مستقل از سیستم سخت‌افزاری پهپادها، دوربین‌ها و حسگرها نقش بسیار مهمی در جمع‌آوری داده‌های مکانی دارند[۱۳]. در حال حاضر طیف وسیعی از انواع دوربین‌ها و حسگرها جهت داده‌برداری روی پهپادهای نقشه‌برداری حرفه‌ای نصب می‌گردند. داده‌های دریافتی از این تجهیزات بایستی توسط نرم‌افزارهای خاص مورد پردازش قرار گیرند. برخی از این حسگرها و تجهیزات جمع‌آوری داده‌ها عبارتند از:

۳-۱- دوربین های RGB

به صورت کلی، یک دوربین RGB با کیفیت دقیق و بالا، به همراه سیستم حسگرهای خاص هدایت و ناوبری مانند GPS/IMU (Global Positioning System/ Inertial Measurement Units)، از اجزای ضروری یک سیستم نقشه‌برداری پهپاد به منظور فتوگرامتری می‌باشد. طیف وسیعی از دوربین‌های RGB جهت استفاده روی پهپادها در بازارهای بین‌المللی موجود می‌باشند. از این دوربین‌ها می‌توان برای گرفتن عکس و فیلم برای ایجاد نقشه‌های دو بعدی و همچنین مدل‌سازی سه بعدی استفاده کرد. جهت انتخاب این نوع دوربین‌ها بایستی پارامترهایی مانند لنز دوربین (اعوجاج هندسی کمتر نشان‌دهنده لنز بهتر است)، وضوح و کیفیت دستگاه همراه با شارژ (CCD)، تراشه‌های نیمه‌رسانای اکسید فلزی مکمل (CMOS)، اندازه پیکسل و سطح نویز را مدنظر قرار داد[۱۴]. چنانچه دوربین مناسبی جهت تصب روی پهپاد انتخاب شود، داده‌های به دست آمده از این دوربین از دید فتوگرامتری (نسبت سیگنال/نویز پایین) مناسب بوده و تجزیه و تحلیل داده‌های RS (مانند تقسیم‌بندی و طبقه‌بندی تصویر) را تضمین می‌نماید.

۳-۲- دوربین های چند طیفی سبک وزن

دوربین‌های چندطیفی یکی از رایج‌ترین حسگرهایی هستند که علاوه بر دوربین‌های RGB در خانواده حسگرهای پهپاد، جهت فتوگرامتری، مورد استفاده قرار می‌گیرند. دوربین‌های چند طیفی، همانطور که از نامش پیداست، قادر به جمع‌آوری داده‌های یک شی معین در باندهای طیفی وسیعی می‌باشد.. بنابراین، برخلاف دوربین‌های معمولی RGB که صرفاً داده‌های باند قرمز، سبز و آبی طیف الکترومغناطیسی را جمع‌آوری می‌کنند، دوربین‌های چند طیفی شامل باندهای اضافه مانند : مادون قرمز نزدیک، موج کوتاه مادون قرمز یا مادون قرمز حرارتی می‌شوند. دوربین‌های چند طیفی نصب‌شده بر روی یک پهپاد ممکن است علاوه بر باندهای RGB معمولی، حاوی چند دهم باند باشند. بنابراین تصاویر حاصله از این دوربین‌ها به راحتی با استفاده از روش‌های فتوگرامتری، برای خروجی عکس‌های استاندارد و DSM پردازش می‌شوند. یک مزیت بزرگ برای حسگرهای چندطیفی مبتنی بر پهپاد، داده های به دست آمده با وضوح بسیار بالاتر (بهتر از ۳۰ سانتی متر فاصله نمونه‌برداری از زمین (GSD- Ground Sampling Distance)) است که معمولاً در RS چندطیفی سنتی قابل دستیابی نیستند[۱۴]. از این دوربین‌ها برای نقشه‌برداری جغرافیای مراتع و جنگل‌های ایران (بخصوص شمال کشور) که دارای پوشش گیاهی می باشند می‌توان استفاده کرد.

۳-۳- دوربین های فرا طیفی سبک وزن

دوربین‌های فراطیفی در RS بسیار توانمند هستند، اما به علت گرانقیمت بودن کمتر مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. حسگرهای فتوگرامتری فراطیفی امکان دریافت تصاویر فراطیفی را فراهم می‌کنند. تصاویر فراطیفی مجموعه‌ای از تصاویر دیجیتالی است که به طور همزمان از یک سطح فیزیکی به دست می‌آیند. هر یک از این تصاویر انرژی الکترومغناطیسی حس شده در طول موج خاصی را نشان می‌دهد. به طور معمول، یک تصویر فراطیفی از ۴۰۰ نانومتر تا ۲۵۰۰ نانومتر با جدایی پیوسته و باریک بین ۴ تا ۱۰ نانومتر را حس می‌کند[۱۵]. بنابراین، وقتی صحبت از حس کردن خواص شیمیایی و فیزیکی یک نمونه به عنوان مثال یک برگ درخت به میان می‌آید، حتما بایستی فناوری سنجش فراطیفی ترجیح داده شود. تصویربرداری فراطیفی مبتنی بر پهپاد یک فناوری سنجش از دور نسبتاً جدید است. در مقایسه با سیستم‌های ماهواره‌ای و هوابرد سنتی، طیف‌سنجی نزدیک به زمین با استفاده از سیستم‌های

فراطیفی پهپاد محدودیت‌های مرتبط با وضوح (نسبت سیگنال به نویز) را شکسته و می‌تواند نیازهای طیف گسترده‌ای از کاربردهای نقشه‌برداری مانند داده‌برداری از دریاها، زمین‌های کشاورزی، جنگل، زمین ومعادن را برآورده سازد.

۳-۴- دوربین های مادون قرمز حرارتی سبک

دوربین‌های مادون قرمز سبک، به طور گسترده جهت نصب روی پهپادها در راستای اندازه‌گیری دمای سطح استفاده می‌شوند. از حسگرهای حرارتی در RS، نقشه‌برداری، کاربردهای کشاورزی، تخمین تبخیر میزان آب دریاها و شناسایی موقعیت مکانی افراد روی سطح بخصوص در شب، می‌توان استفاده نمود[۱۴و ۱۶و ۱۷]. معمولا به علت دقت کم دوربین‌های حرارتی در ثبت دقیق اطلاعات مکانی، یک دوربین RGB بصورت موازی کار تصویربرداری را انجام می‌دهد تا پس از ثبت تصاویر، پردازش آنها با سهولت بیشتری انجام شود. همچنین از دوربین‌های حرارتی نصب شده روی پهپادها به منظور مدیریت شهرهای هوشمند بخصوص در شب استفاده می‌شود. با این روش متخصصان قادر به جمع‌آوری اطلاعات از ارتفاع بالاتر (از ۶۰ تا ۱۳۰ متر) بوده و با پرسپکتیوهای مختلف (از ۳۰ تا ۹۰ درجه) خواهند بود. همچنین مکان‌های عمومی مختلف مانند مدارس، پارکینگ‌ها، جاده‌ها، زمین‌های بازی و غیره) در شب بهتر قابل رصد می‌باشند. همچنین این دوربین‌ها قادر به تشخیص افراد و اشیاء مختلف مانند انواع خودرو، موتورسیکلت و دوچرخه می‌باشند (شکل ۴).

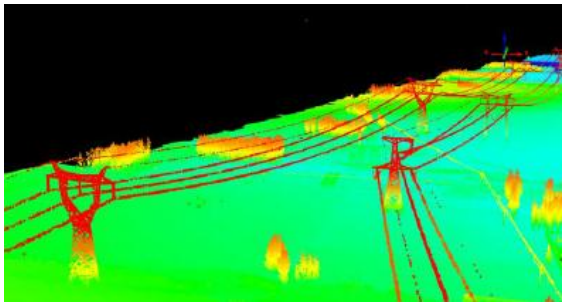
شکل ۴: تصویر ثبت شده از یک دوربین حرارتی نصب شده روی پهپاد [۱۷].

۳-۵- حسگرهای تشخیص نور و محدوده(LIDAR)

اسکنرهای LiDAR یک ابزار استاندارد در مهندسی نقشه‌برداری معاصر هستند. بطورکلی LiDAR یک روش سنجش از دور است که از نور به شکل لیزر پالسی برای اندازه‌گیری برد (فاصله‌های متغیر) تا زمین استفاده می‌کند. با استفاده از این تکنولوژی، اندازه‌گیری و تعیین ویژگی‌های خاص عوارض دور و در سطح زمین انجام می‌گردد. همچنین می‌توان پارامترهای موقعیت عوارض را نیز با دقت بسیار بالایی تعیین نمود. این تجهیز از قابلیت ارسال و دریافت ۲۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰ پالس در ثانیه برخوردار بوده و از یک لیزر، یک اسکنر، سیستم اندازه‌گیری اینرسی و یک گیرنده تخصصی GPS تشکیل شده است. معمولا در سیستم LIDAR از اشعه نورمرئی سیز (۵۳۲ نانومتر) و اشعه مادون قرمز نزدیک (۱۰۶۴ نانومتر) که در طیف امواج الکترو مغناطیس دسته‌بندی می‌شوند، استفاده می‌گردد. سنسور دقیق اندازه‌گیری واحد اینرسی (IMU)، پارامترهای دورانی را در سه جهت اصلی پرواز پرنده (شکل ۶- yaw, pitch, roll) در لحظه برداشت با دقت اندازه‌گیری می‌کند. این مقادیر در دقت ارتفاع محاسبه شده بسیار موثر می‌باشند.

دو نوع LiDAR توپوگرافی و عمق‌سنجی وجود دارد. تجهیز LIDAR توپوگرافیک معمولاً از لیزر مادون قرمز نزدیک برای نقشه‌برداری از زمین استفاده می‌کند، در حالی که لیدار عمق‌سنجی از نور مرئی برای اندازه‌گیری ارتفاع کف دریا و بستر رودخانه استفاده می‌کند[۱۸]. پهپادهای مجهز به این فنآوری در حین پرواز بر فراز منطقه پروژه، یک لیزر در سطح زمین به جلو و عقب

ساطع می‌نمایند که قادر به اسکن سطح و استخراج ویژگی‌های آن می‌باشد. پس از برقراری تماس با زمین، انرژی پرتو به پهپاد باز گشته و داده‌های نقطه‌ای و تصویر تولید می کند. پس از جمع‌آوری تمام داده‌ها، به یک تصویر مشتق از نقطه پردازش می شود. هر نقطه، که ۳ بعدی است، می تواند در هر جهت دلخواه مشاهده شده و نمایشی سه بعدی از یک صحنه ارائه دهد. داده‌های دریافتی توسط این سیستم را می‌توان در عرض چند هفته (برای مناطق بزرگ) پردازش کرد، برخلاف تکنیک‌های فتوگرامتری دستی که به زمان تکمیل طولانی‌تری نیاز دارند. از این فنآوری در زمینه تولید مدل‌های سه بعدی، طبقه بندی سطح و کاربری اراضی، مدل‌سازی زمین برهنه و فیلتر کردن داده‌ها، تشخیص و استخراج پیشرفته داده‌های مرتبط با ساختمان ها، تولید پروفیل های ارتفاعی، مدل‌های رقومی سطح (DSM) و مدل‌های رقومی زمین (DTM) و طبقه بندی پوشش گیاهی (پوشش گیاهی بالا، متوسط و کم)، بصورت وسیع در سطح جهانی استفاده می‌شود. این حسگرها به عنوان یکی از دقیق‌ترین روش‌ها برای جمع‌آوری داده‌های هندسی شناخته شده‌اند. امروزه فن‌آوری پیشرفته LiDAR به طور گسترده در جنگل‌داری، شهرسازی، تعیین عمق اقیانوس‌ها و میراث فرهنگی استفاده می‌شود. این تکنولوژی هم در دانشگاه و هم در صنعت به خوبی تثبیت شده و جایگاه خود را پیدا نموده است. مزایای آن نسبت به فتوگرامتری قابلیت اطمینان بالا و توانایی انجام داده‌برداری در مناطق صعب‌العبور است. خروجی اسکن یک منطقه توسط LiDAR یک ابر نقطه سه بعدی بوده که شامل اندازه‌گیری‌های متراکم خط دید قطبی از محیط اطراف است. یکی از مزیت‌های LiDAR این است که بدون توجه به نور طبیعی قادر به فعالیت است. سیستم‌های LiDAR به دانشمندان و متخصصان نقشه‌برداری کشور این امکان را می‌دهند که هم محیط‌های طبیعی و هم محیط‌های مصنوعی را با دقت و انعطاف‌پذیری بالایی، حتی در نور کم، بررسی کنند. متخصصان کشور می‌توانند از LiDAR در طیف گسترده‌ای از مدیریت زمین از جمله مدیریت ریسک و ارزیابی خطر (رانش زمین، جریان گدازه‌ها، سونامی، و سیل)، تولید نقشه‌های خط ساحلی دقیق‌تر، ساخت مدل‌های دیجیتال ارتفاع برای استفاده در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، جنگل‌داری، کشاورزی و بررسی‌های مرتبط با منبع آبی استفاده کنند. همچنین این فن‌آوری قادر به تشخیص خطوط جریان برق با دقت بالا بوده و از این تکنولوژی جهت طراحی و بهینه سازی مسیرهای انتقال برق می‌توان بخوبی بهره برد (شکل ۵)[۱۸].

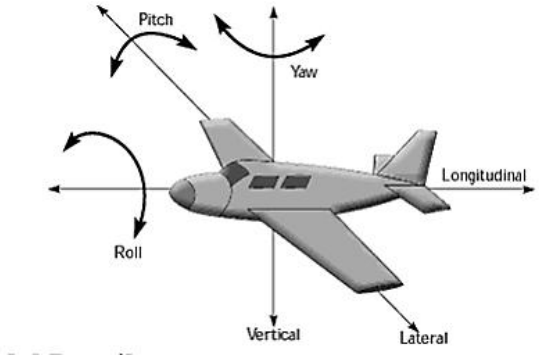


شکل ۵: نقشه‌برداری خطوط برق با داده‌های ابر نقطه LiDAR [۱۸].

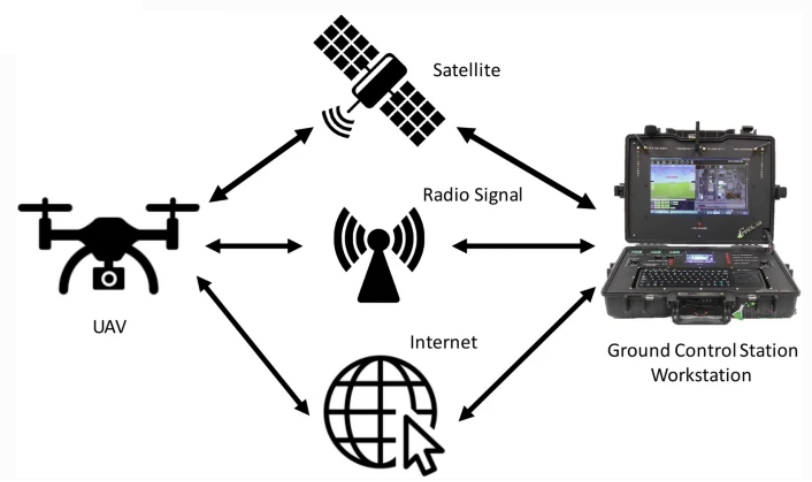
از آنجاییکه ایران دارای مناطق کوهستانی، جنگل‌های وسیع، منابع آبی گسترده و ... می‌باشد، از این تکنولوژی در راستای نقشه‌برداری و ایجاد اطلاعات مکانی دقیق می‌توان بخوبی بهره برد. این اطلاعات زمانی دقیق‌تر خواهند بود که پهپادهای نقشه‌برداری علاوه بر حسگر LiDAR به سیستم RGB نیز مجهز باشند[۱۴و ۱۸و ۱۹].

۴- سیستم کنترل از راه دور پهپاد

سیستم کنترل پرواز یک پهپاد یک سیستم پیچیده و یک مفهوم سیستماتیک است که ناوبری پرواز، دینامیک پرواز و هدایت پرواز را یکپارچه می‌کند. سیستم کنترل پرواز یک پهپاد نقشه‌برداری معمولاً از دو بخش تشکیل شده است: ۱-حسگرها و ۲- کامپیوترهای هوابرد [۲۰]. عملکرد موثر سیستم کنترل پرواز هواپیماهای بدون سرنشین نقش اساسی در جمع‌آوری بهینه داده‌های مکانی ایفاء می‌نماید. زیرا حرکت روان پهپاد در پهنه آسمان کاملا به سیستم کنترل آن بستگی دارد. چنانچه سطحی که در نظر است داده‌های مرتبط با آن استخراج شود از پیچیدگی جغرافیایی برخوردار باشد، در این‌صورت سیستم کنترل خطی ساده پهپاد نمی‌تواند جوابگو باشد. در حال حاضر، طراحی سیستم‌های کنترل غیرخطی و استفاده از آنها به تدریج به روش‌های جایگزین نسبتاً بهتری تبدیل شده اند. سیستم کنترل یک پهپاد مدرن نقشه‌برداری بایستی از توانمندی لازم جهت تامین تمامی جهات نشان‌داده شده در شکل ۶ برخوردار باشد. یک حسگر اینرسی (INS) و یک حسگر جهت ژئومغناطیسی (GDS) برای به دست آوردن اطلاعات یک پهپاد با زاویه قرارگیری (Pitch angle) مناسب تشخیص داده شده‌اند. علاوه بر این، گیرنده GPS (سیستم موقعیت‌یابی جهانی) و IMU (واحد اندازه‌گیری اینرسی) برای اندازه‌گیری داده‌های زاویه رول (Roll angle) و داده‌های چرخش پهپاد حول محور عمودی (Yaw axis) استفاده می‌شوند [۲۱]. شکل ۷ نشان‌دهنده روش‌های پیش فرض کنترل پهپادها از طریق ایستگاه‌های کنترل زمینی می‌باشد [۲۲].



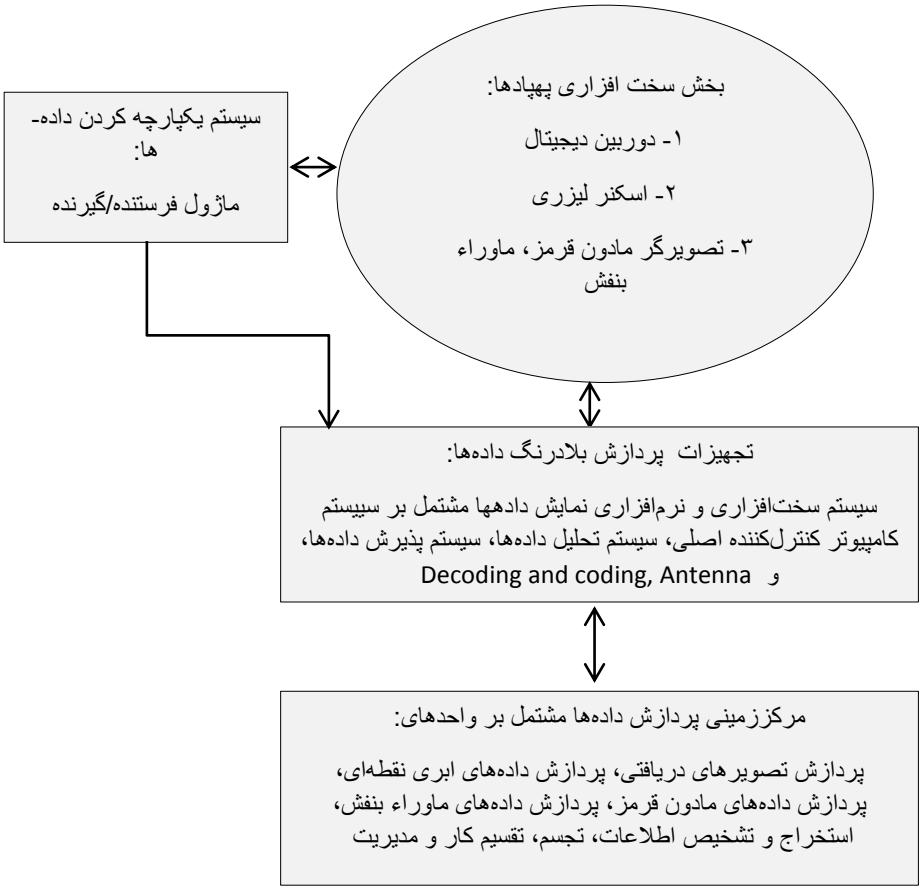
شکل ۶: جهات حرکتی مورد نیاز برای یک پهپاد مدرن نقشه‌برداری که بایستی توسط سیستم کنترل تامین گردد.



شکل ۷: نمایی از سیستم کنترل پهپادهای نقشه‌برداری[۲۲].

۵- پردازش داده های نقشه برداری هوایی توسط پهپاد

سنجش از دور توسط پهپاد یک سیستم یکپارچه مبتنی بر فناوری‌های پیشرفته است که عمدتاً به چهار بخش تقسیم می‌شود: بخش سخت‌افزاری پهپاد (جمع‌آوری داده‌ها)، تجهیزات انتقال بلادرنگ داده‌ها (Real Time) ، سیستم یکپارچه کردن داده‌ها و مرکز ذخیره‌سازی و پردازش زمینی داده‌ها [۲۱و ۲۳]. این موارد در شکل ۸ نشان داده شده است. تصویر اخذ شده توسط فرآیند سنجش از دور پهپادها عمدتاً در سیستم‌های مستقر در سطح زمین مورد پردازش واقع می‌گردنند. از آنجایی‌که پهپادها طیف وسیعی از حسگرها را حمل می کنند، داده‌های به دست آمده توسط حسگرهای مختلف یکسان نیست و هر کدام حاوی اطلاعات مختلفی است که بایستی این اطلاعات یکپارچه شوند.



شکل ۸: مراحل فرآیند نقشه‌برداری توسط پهپاد.

۵-۱- پردازش داده های فتوگرامتری

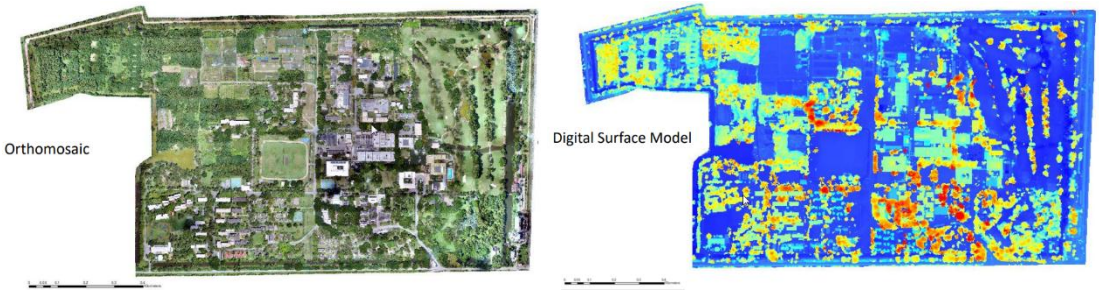
فتوگرامتری دیجیتال یک روش داده‌برداری و اندازه‌گیری مبتنی بر تصویر دیجیتال و اصول محاسباتی فتوگرامتری می‌باشد که فن‌آوری‌های مختلفی مانند تطبیق تصویر، جستجوی تصویر، تشخیص الگو و غیره را ترکیب می کند. پارامترهایی که در یک پروژه فتوگرامتری بایستی لحاظ شوند به صورت ذیل دسته‌بندی می‌شوند:

۱-مشخص نمودن مرزهای منطقه عکس گرفته شده.

۲- مدل دوربین و پارامترهای آن.

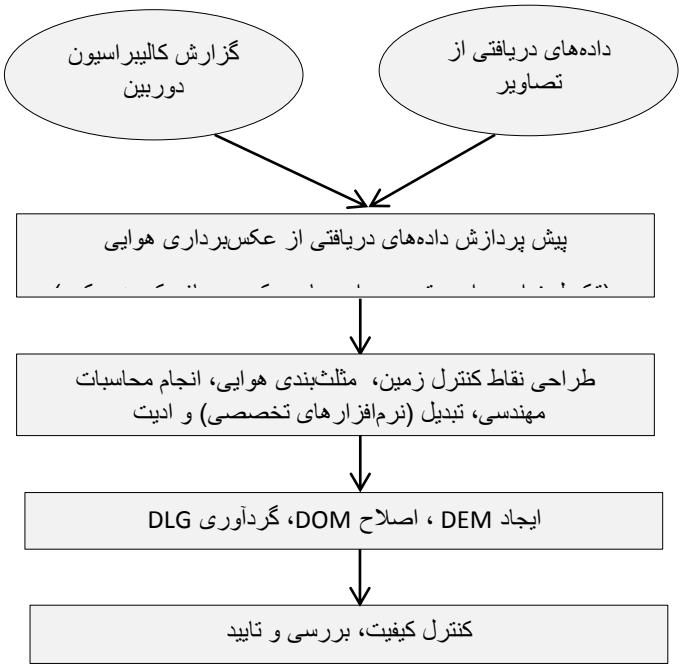
۳- مقیاس مورد انتظار از تصاویر عکاسی.
۴- همپوشانی طولی و عرضی عکس‌ها.
۵- جهت پرواز.
۶- سرعت پرواز.
۷- ارتفاع پرواز.
۸- سیستم مختصات داده.

از آنجاییکه تصاویر اخذ شده از روش فتوگرامتری خام هستند لذا لازم است که این داده‌های اندازه‌گیری شده توسط پهپاد، پردازش شده و به داده‌های مهندسی تبدیل شوند. بدین منظور از نرم‌افزارهای تخصصی مانند Pix4D, ,Trimble ,Agisoft PhotoMod, Photo Scanner و CMVS می‌توان بهره برد [۸]. مزیت استفاده از این نرم‌افزارها نسبت به گزینه‌های محاسبات دستی این است که امکان تولید گزارش‌های حاوی تمام اطلاعات کلیدی در مورد چگونگی اجرای نقشه‌برداری (به عنوان مثال، محل قرارگیری دوربین و همپوشانی تصویر، جزئیات مشخصات دوربین، کالیبراسیون دوربین) و پردازش داده‌ها، توسط این نرم‌افزارها فراهم شده است. همچنین از طریق خروجی داده‌های اصلی این روش، مانند داده‌های (Position Orientation System [24] POS)، داده‌های نقطه کنترل تصویر و پارامترهای کالیبراسیون دوربین می‌توان محاسبات مورد نظر را انجام داده وخروجی‌های چند بعدی دقیق و کاربردی مانند DEM (Digital Elevation Model), DOM (Digital Orthophoto Technology) DLG (Digital Line Graph), DSM (Digital Surface Model) را دریافت کرد [۳]. نمایی از تصاویر اورتوفتو و DSM (مدل رقومی سطح) در شکل ۹ آورده شده است[۲۵]. لازم به ذکر است که یک ارتفتو دیجیتال یک تصویرسازی واقعی در مقیاس سطح زمین است که در آن برای عدم اعوجاج تصاویر عمودی از یک مدل زمین دیجیتال استفاده می‌گردد. بسته به اندازه یک پروژه، تا چندین هزار تصویر از نظر هندسی و رادیومتری، همگن و پارتیشن‌بندی می‌شوند. مدل DSM با تطبیق تصویر استریوسکوپی ایجاد می‌شود. این مدل بیانگر سطح تصویر زمین قابل مشاهده، زیرساخت‌ها و پوشش گیاهی بر مبنای تفکیک رنگ بوده و امکان رویت هر نقطه‌ای را روی زمین فراهم می‌نماید.



شکل۹: تصویر اورتوفتو(چپ) و DSM(راست) اخذ شده از پهپاد[۲۵].

کالیبراسیون دوربین که تامین‌کننده دقت نتایج نقشه‌برداری می‌باشد، یکی از مهم‌ترین عواملی است که بایستی در پروسه نقشه‌برداری توسط پهپاد مورد توجه قرار داده شود. در فرآیند نقشه‌برداری هوایی، به دلیل حرکت و پرواز پهپاد، در عملکرد دوربین خطایی ایجاد می‌شود که به منظور بهبود پردازش داده‌ها، بایستی بصورت مداوم مورد تحلیل و ارزیابی قرار داده شود. خطای دوربین عمدتاً ناشی از دو جنبه است: ۱- اعوجاج زیاد لنز دوربین . ۲- تعیین مختصات مرکز عکس و فاصله اصلی دوربین دشوار بوده که این موضوع بر تعیین دقیق مختصات تصویر تاثیرگذار است. نمودار پردازش داده‌های فتوگرامتری در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل۱۰: جریان پردازش داده‌های سنجش از دور.

پس از اخذ تصاویر هوایی توسط دوربین کالیبره شده عکس‌های گرفته شده مورد بررسی قرار گرفته و نسبت به گویا سازی آن توسط مهندس مربوطه اقدام می‌شود. از طرف دیگر، عکس‌های تهیه شده فاقد مختصات زمینی می‌باشند. برای مختصات‌دار کردن عکس‌ها باید نقاط کنترل زمینی طراحی شده و در مراحل بعدی مختصات‌دار شوند تعداد و فواصل نقاط کنترل زمینی با توجه به دقت نقشه و نسبت مقیاس عکس به مقیاس نقشه تعیین می گردد. در مرحله بعد مثلث‌بندی هوایی صورت می‌پذیرد. منظور از این فرآیند، تکثیر نقاط مختصات‌دار زمینی است به طوری که برای هر مدل(زوج عکس) حداقل ۶ نقطه مختصات‌دار ایجاد شود. مثلث‌بندی هوایی یک فناوری متداول در نقشه‌برداری هوایی است که عمدتاً شامل محاسبه تنظیم، تطبیق نقطه تصویر و اندازه گیری است. تطبیق تصویر معمولا توسط کامپیوتر انجام می شود. با تنظیم پارامترها، می‌توان به طور خودکار تطبیق هر نقطه تصویر را در سیستم کامپیوتری کامل نمود. پس از تطبیق تصویر، می‌توان DEM (مدل ارتفاعی رقومی زمین) تولید کرد. داده‌های DEM با دقت بالا کاربردهای زیادی مانند ترسیم کانتور، شیب، پرسپکتیو، منظره و مدل زمین دارد [۲۶]. روش های اصلی جمع آوری داده های DEM در امتداد خط کانتور، شبکه منظم، اسکن در امتداد مقطع، پیش رونده، انتخاب، ترکیب و غیره است. جمع‌آوری خودکار داده‌های DEM یکی از کارآمدترین روش‌های جمع‌آوری داده است که اغلب در تولید ارتوفوتو استفاده می‌شود. پس از جمع آوری نقاط داده DEM، می‌توان از روش درون یابی برای تولید DEM استفاده نمود. پس از تولید DEM، می‌توان از DEM برای ساخت ارتفتو دیجیتال (DOM) استفاده کرد که عمدتاً به تصحیح تک عکس بستگی دارد. در فرآیند نقشه‌برداری، باید علمی‌ترین و منطقی‌ترین پردازش عکس‌های هوایی را انجام داد. از طریق DOM می‌توان دقت هندسی نقشه را به خوبی اندازه‌گیری کرد. کیفیت تولید DOM به طور جدی از چگونگی پردازش داده‌های DEM تأثیر می‌گیرد. یکی دیگر از خروجی‌های پردازش داده‌های سنجش از دور DLG است که رابطه داده‌های مکانی، اطلاعات جغرافیایی و داده‌های نقشه برداری را ذخیره می کند. بطور کلی DLG مجموعه ویژگی های جغرافیایی یک نقشه است. در نهایت پس از کنترل نقشه‌ها و مدل‌ها و تایید نهایی آنها این اطلاعات جهت بهره‌برداری ذینفعان آماده استفاده خواهد بود.

۵-۲- پردازش داده های LIDAR

همانگونه که قبلا توضیح داده شد LiDAR یک روش سنجش از دور است که برای اندازه‌گیری فواصل اجسام استفاده می‌شود. نرم‌افزار بخش مهمی در پردازش داده‌های LiDAR است[۲۹]. نرم افزارهای پردازش لیدار را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: ۱- نرم افزارهای پیش پردازش و۲- نرم افزارهای پس پردازش. نرم افزار پیش پردازش عمدتا توسط ارائه دهندگان داده استفاده می شود. این نوع نرم‌افزار باید قابلیت تجسم ابر نقطه‌ای را به سرعت داشته باشد، سیستم‌های ژئوئید و مختصات را به صورت انعطاف‌پذیر تغییر دهد و از انواع فرمت‌های خروجی پشتیبانی کند. نرم‌افزار پس پردازش دارای عملکردهای متنوع پردازش داده و استخراج اطلاعات است. استفاده دقیق از این نرم‌افزار تابع فیلتر نمودن ابرنقاط زمین و غیرزمین (درختان، خودروها، انسان‌ها، سیم‌های برق و...) است. پس از طبقه بندی نقاط، اطلاعات بدست آمده از زمین می تواند برای تولید DEM استفاده شود[۲۷]. بطورکلی می‌توان نرم‌افزارهای پردازش داده‌های خام لیدار را به‌صورت ذیل دسته‌بندی نمود[۲۸]:

۱-پردازش شکل موج: نرم افزاری برای استخراج شکل موج ها، اعماق و ارتفاعات از داده های خام لیدار.

۲- ویرایش داده‌ها: نرم افزاری برای تمیز کردن، ویرایش و اعتبارسنجی اعماق عمق سنجی و ارتفاعات توپوگرافی.

۳- شبکه‌ها و GIS: نرم‌افزاری برای تولید شبکه‌ها، خط ساحلی برداری، DEM زمین برهنه و سایر محصولات مورفولوژی سطح از مجموعه داده‌های تمیز اعماق عمق سنجی و ارتفاعات توپوگرافی.

۴- پارتیشن‌بندی فراطیفی: نرم افزار تولید پارتیشن‌های تصویر فراطیفی.

۵- ایجاد تصویر رنگی: نرم افزار تولید پارتیشن تصاویر رنگی.

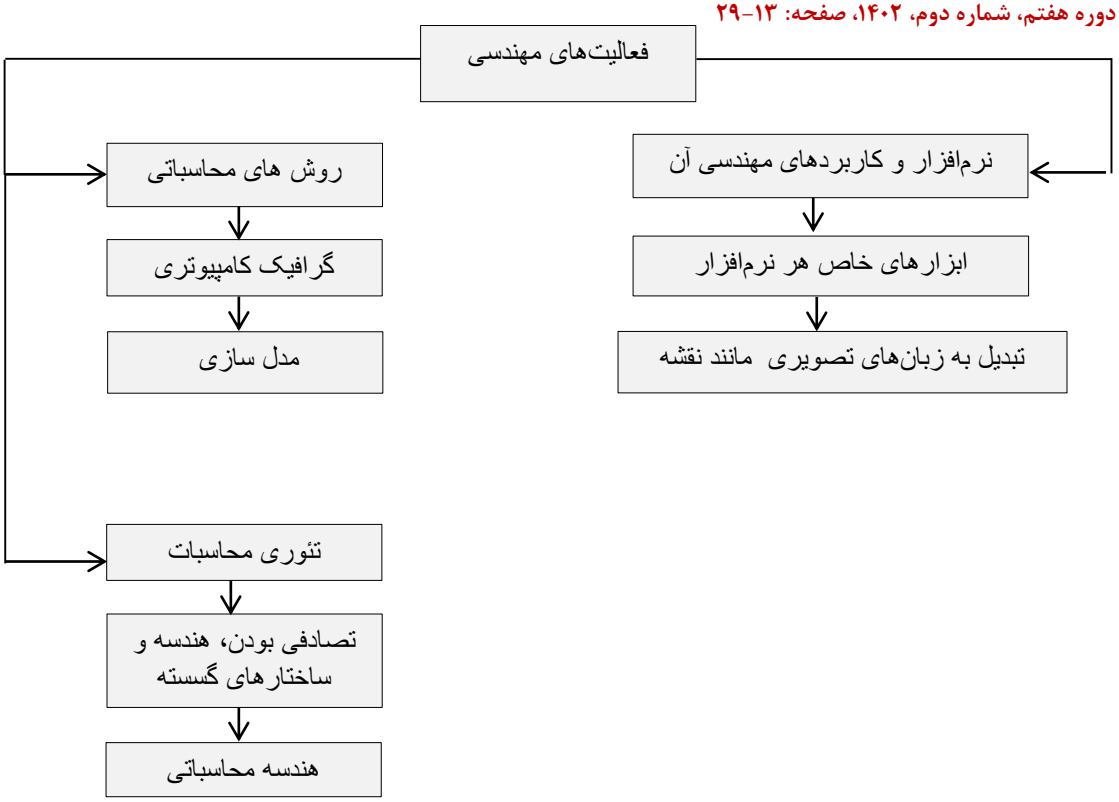
۶- استخراج اطلاعات: نرم افزاری برای استخراج خواص نوری ستون آب و توصیف محیط.

۷- مدیریت داده‌ها: نرم افزار مدیریت برنامه‌ریزی در مهندسی نقشه‌برداری تا حصول نتیجه مطلوب.

۸- مدیریت فراداده: نرم‌افزاری برای مدیریت فایل‌های ابرداده برای محصولات نهایی.

شکل ۱۱ نشان‌دهنده مراحل مهندسی پردازش داده‌های لیدار به زبان ساده می‌باشد:

از نرم‌افزارهای پردازش داده‌های لیدار می‌توان به QGIS 3 (نرم‌افزار برای مشاهده ابر نقاط سه بعدی)، Whitebox GAT (مختص تجزیه و تحلیل ابر نقاط)، Fugro Viewer (جهت مشاهده داده‌های ابرنقاط بر اساس ارتفاع و طبقه‌بندی آنها، ساخت پروفیل‌های دو بعدی، اندازه‌گیری فواصل، ایجاد نماهای دو بعدی و سه بعدی درکنار هم)، Plas.io (مبتنی بر وب با ابزارهای تجسمی خاص)، SAGA GIS (سیستم تجزیه و تحلیل خودکار زمین شناسی) و GRASS (سیستم پشتیبانی تجزیه و تحلیل منابع جغرافیایی)، اشاره داشت. بطور خلاصه می‌توان عنوان داشت که یک مهندس نقشه بردار که تمایل به پردازش داده‌های لیدار داشته باشد بایستی از این قابلیت‌ها برخوردار باشد:۱- تسلط بر وارد کردن فایل‌های لیدار. ۲- ایجاد داده‌های لیدار از فایل های XYZ. ۳- تجزیه و تحلیل ویژگی‌های ابر نقطه‌ای. ۴- ایجاد یک تصویر ارتو.۵- ایجاد یک مش سه بعدی. ۶- اعمال رنگ بر روی یک ابر نقطه. ۷- ایجاد نمای مقطعی از ابر نقطه. ۸- فیلتر بر اساس محدوده ارتفاع، برش جغرافیایی و حذف نویز. ۹- ویرایش داده‌ها و انجام اصلاحات لازم. ۱۰- شناسایی و طبقه‌بندی دقیق نقاط زمین با استفاده از داده‌های لیدار. ۱۱- استخراج ویژگی‌های زمین از داده‌های دریافتی. ۱۲- مثلث کردن نقاط لیدار و ایجاد DTM,DSM و ۱۳.DEM- صادر کردن فایل‌های .las یا .laz و ۱۴- ایجاد یک فایل PDF سه بعدی از داده‌های لیدار.



شکل ۱۱: مراحل مهندسی پردازش داده LIDAR جهت تولید مدل و نقشه.

۶- آینده نقشه برداری هوایی توسط پهپاد

پهپادها به عنوان ابزار کارآمدی که ارتباط فی ما بین افراد متخصص شاغل در امر ساخت و ساز اعم از مهندسین نقشه‌برداری، مهندسین عمران و مهندسین کنترل و مدیریت پروژه را به بهترین وجه ممکن افزایش می‌دهد [۹]، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر این وسایل در زمینه جمع‌آوری اطلاعات مکانی از قابلیت بسیاری برخوردار هستند. بدیهی است که ضرورت توجه به این موارد، در آینده زمینه‌ساز پیشرفت‌های وسیعی در طراحی و ساخت پهپادهای نقشه‌برداری خواهد گردید. به نظر می‌رسد در آینده نزدیک، فن‌آوری وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین، با سرعتی شگرف فاصله بین داده‌های سنجش از دور فضابردی، هوابرد و زمینی را پر نماید. جهت دستیابی به این هدف طراحان پهپادهای نسل آینده، بایستی مواردی از قبیل افزایش پایداری و مدت زمان پرواز یک پهپاد را با لحاظ نمودن توسعه فن‌آوری‌های کنترل پرواز و باتری/سوخت، مدنظر دقیق‌تر قرار دهند. از طرف دیگر پهپادهای نقشه‌برداری نسل آینده بایستی از امکان نصب هر چه بیشتر انواع حسگرها (مانند حسگر نوری، حسگر لیدار، حسگر رادار و ...) برخوردار باشند. طراحان همچنین بایستی طراحی و ساخت انواع حسگرها و دوربین‌های جدید و پیشرفته را در برنامه‌های خود لحاظ نمایند. به عنوان مثال، در حالی‌که دوربین‌های چند طیفی تقریبا به سطوح بلوغ رسیده‌اند و در کاربردهای عملی مورد استفاده قرار می‌گیرند، دوربین‌های فراطیفی در حال تکامل بوده و تا حد زیادی توسط جامعه تحقیقاتی استفاده می‌شوند. همچنین سیستم‌های لیدار کنونی بزرگ، سنگین و حجیم بوده و نیاز به بازنگری جامع دارند. همانگونه که ملاحظه می‌شود به کار بردن پهپادها در مهندسی نقشه‌برداری در تقاطع بین علوم مهندسی هوافضا، مکانیک، الکترونیک، مواد، کامپیوتر، رباتیک و سنجش از دور و همچنین سایر حوزه‌های کاربردی قرار داشته و برای دستیابی به پیشرفت‌های موثر، یک تیم تحقیقاتی فعال، بایستی در این حوزه متمرکز گردند. با تحقق این پیشرفت‌ها، انتظار می‌رود در آینده، مهندسان نقشه‌بردار با برخورداری از پهپادهایی سبک و مستحکم که دارای مداومت پرواز اطمینان بخش بوده و امکان جمع‌آوری انواع داده‌های مکانی را با استفاده از حسگرها و دوربین‌های مدرن دارند، می‌توانند به پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه اطلاعات مکانی از مناطق مختلف با جغرافیای متفاوت و تولید نقشه‌های خاص دست یابند.

یکی از مواردی که به نظر می‌رسد در آینده بسیار مورد توجه قرار گیرد موضوع اتوماسیون جمع‌آوری اطلاعات مکانی توسط پهپادها می‌باشد. اتوماسیون در پروازهای پهپاد اغلب به عنوان یک استراتژی برای انجام جمع‌آوری داده‌های ایمن‌تر و کامل‌تر تلقی می‌شود. بسیاری از پیشرفت‌ها در رباتیک نشان می‌دهند که پروازهای اتوماتیک می‌توانند به شدت جمع‌آوری داده‌ها را در کاربردهای سنجش از دور تقویت کرده و راه را برای تحقیقات و برنامه‌های جدید هموار نمایند. پهپادهای خودران به لطف الگوریتم‌های پیشرفته‌تر که امکان ناوبری ایمن‌تر، درک محیط و ظرفیت تصمیم‌گیری مستقل را فراهم می‌کند، در آینده نزدیک به واقعیت تبدیل خواهند شد [۱]. علاوه برموارد فوق، جهت بهینه‌سازی پردازش داده‌های اخذ شده از پهپادها نیاز است تا پیشرفت‌های بیشتر در زمینه نرم‌افزارهای تخصصی نیز حاصل گردد تا با تجمیع تمامی امکانات نرم‌افزاری، سخت‌افزاری (پهپاد و حسگرها) و مغزافزاری (انسان)، بتوان بهترین عملکرد را در زمینه نقشه‌برداری و جمع‌آوری اطلاعات مکانی ارائه و نتایج حاصله را برای اخذ تصمیم بهینه در اختیار تصمیم‌گیران کلان کشور، قرار داد.

۷- جمع بندی و نتیجه گیری

وسایل نقلیه هوایی بدون سرنشین (پهپاد) یک فناوری جدید امیدوارکننده است که پتانسیل بالایی را به عنوان یک ابزار کارآمد در اختیار مهندسان نقشه‌بردار کشور قرار می‌دهد. اما جهت استفاده از تمامی ظرفیت‌های این تکنولوژی، تسلط بر اصول مهندسی نقشه‌برداری، امری لاینفک می‌باشد. جغرافیای متنوع ایران باعث شده که استفاده از تکنولوژی‌های جدید پهپادی در کشور از اهمیت خاصی جهت جمع‌آوری اطلاعات مکانی برخوردار گردد. در حال حاضر، با بهبود مستمر سطح علمی و فن‌آوری ایران در زمینه ساخت پهپادها، امکان ارتقاء فن‌آوری سنجش از دور توسط پهپاد، بیش از پیش فراهم شده است. ادغام مؤثر تکنولوژی پهپادی و فن‌آوری سنجش از دور، دسترسی راحت‌تر و دقیق‌تر به اطلاعات مکانی، بخصوص در مناطق جغرافیایی پیچیده و محیط‌های سخت، را برای مهندسان نقشه‌برداری کشور، محقق خواهد کرد. از آنجاییکه شناخت دقیق سرزمین برای دستگاه حاکمیت، در راستای مدیریت بهتر و شایسته‌تر بر تمامی منابع از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد و با توجه به جغرافیای خاص ایران، به نظر می‌رسد استفاده از تکنولوژی‌های جدید پهپادی در راستای اندازه‌گیری و تولید اطلاعات مکانی دقیق، بایستی در دستور کار خاص تصمیم‌گیران حوزه مهندسی نقشه‌برداری قرار گرفته و نگاه ویژه‌ای به این مقوله، با سرمایه‌گذاری مناسب، در راستای دستیابی به مرز جهانی دانش نقشه‌برداری توسط پهپادهای پیشرفته، معطوف گردد. در این راستا پیشنهاد می‌گردد با توجه به جغرافیای پیچیده ایران، یگان پهپادی نقشه‌برداری کشور با بهره‌گیری از پهپادهای پیشرفته نقشه‌برداری تشکیل و از حمایت‌های لازم در جهت توسعه و پیشرفت برخوردار گردد.

۸- مراجع

1-Nex, F., Armenakis, C., Cramer, M., Cucci, D. A., Gerke, M., Honkavaara, E., Kukkof, A., Persello, C., and Skaloud, J., 2022, **UAV in the advent of the twenties: Where we stand and what is next**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 184, 215-242. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.12.006.

2-Yan, Q., 2020, **Advantage and Application of Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing in Engineering Survey**, Remote Sensing, 9, 1, 22-25. https://doi.org/10.18282/rs.v9i1.1098.

3- Barjesteh, B., 1400, **The necessity of using GIS spatial information technology in the management of crises caused by natural disasters in Karaj**, 26th National Conference and Exhibition of Surveying Engineering and Spatial Information; Geomatics, Tehran, Iran.

4- Lafuente-Arroyo, S., Martín-Martín, P., Iglesias-Iglesias, C., Maldonado-Bascón, S., Javier Acevedo-Rodríguez, F., 2022, **RGB camera-based fallen person detection system embedded**

on a mobile platform, Expert Systems with Applications, 197, 116715. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.116715.
5- Tiwari1, A., and Dixit, A., 2015, **Unmanned Aerial Vehicle and Geospatial Technology Pushing the Limits of Development**, American Journal of Engineering Research, 4, 1, 16-21.
6- Morales, A., Hernández, R. G., Horstrand, P., and Diaz, M., 2020, **A Multispectral Camera Development: From the Prototype Assembly until Its Use in a UAV System**, Sensors, 20, 21, 6129. https://doi.org/10.3390/s20216129.
7- Giordan, D., Adams, M. S., Aicardi, I., Alicandro, M., Allasia, P., Baldo, M., De Berardinis, P., Dominici,, M., Godone, P., Hobbs Lechner, V., Niedzielski, T., Piras, M., Rotilio, M., Salvini, R., Segor, V., Sotier, B., and Troilo, F., 2020, **The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering**, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 79, 3437–3481. https://doi.org/10.1007/s10064-020-01766-2.
8- Guan, S., Zhu, Z., and Wang, G., 2022, **A Review on UAV-Based Remote Sensing Technologies for Construction and Civil Applications**, Drones, 6, 117, 1-20. https://doi.org/10.3390/drones6050117.
9- Tkac, M., & Mesaros, P., 2019, **Utilizing drone technology in the civil engineering**, journal of civil engineering, 14, 1, 27-37. https://doi.org/10.1515/sspjce-2019-0003.
10- Israr, A., Alkhammash, E. H., & Hadjouni, M., 2021, **Guidance, Navigation, and Control for Fixed-Wing UAV**, Mathematical Problems in Engineering, 2021, Article ID 4355253, 1-18. https://doi.org/10.1155/2021/4355253.
11- Zhang, K. F., Zhang, Z., Zhang, Z. H., & Li, H., 2019, **EXPERIMENTAL STUDY OF SINGLE-ROTOR UAV ON DROPLET DEPOSITION DISTRIBUTION IN SOYBEAN FIELD**, APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH, 17, 6, 13833-13844, http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1706_1383313844.
12- Budiharto, W., Irwansyah, E., Suroso, J. S., Chowanda, A., Ngarianto, H., Gunawan, A. A. S., 2021, **Mapping and 3D modelling using quadrotor drone and GIS software**, Journal of Big Data, 8, 1-12. https://doi.org/10.1186/s40537-021-00436-8.
13-Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R., & Sousa, J. J., 2017, **Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry**, Remote Sensing, 9, 1110. http://dx.doi.org/10.3390/rs9111110.
14- Yao, H., Qin, R., & Chen, X., 2019, **Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications-A Review**, Remote sensing, 11, 12, 1443, https://doi.org/10.3390/rs11121443.
15- Vazquez, J. S., & Vazquez, A. M., 2020, **A plug-and-play Hyperspectral Imaging Sensor using low-cost equipment**, HardwareX, 7, e00087, https://doi.org/10.1016/j.ohx.2019.e00087.
16- Micieli, M., Botter, G., Mendicin, G., & Senatore, A., 2020, **UAV Thermal Images for Water Presence Detection in a Mediterranean Headwater Catchment**, remote sensing, 14, 108, https://doi.org/10.3390/rs14010108.
17- Suo, J., Wang, T., Zhang, X., Chen, H., Zhou, W., & Shi, W., 2022, **HIT-UAV: A High-altitude Infrared Thermal Dataset for Unmanned Aerial Vehicles**, http://arxiv.org/abs/2204.03245v1, https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.03245.
18- Zhang, W., Wu, X., Zhang, G., Ke, L., Chen, L., Chen, X., Yang, H., Qiao, X., & Zhou, Y., 2017, **The Application Research of UAV-based LiDAR System for Power Line Inspection**, Advances in Computer Science Research, 74, 2nd International Conference on Computer Engineering, Information Science & Application Technology (ICCIA 2017).

19- Pecho, P., Škvarekova, I., Aţaltovič, V., and Bugaj, M., 2019, **UAV usage in the process of creating 3D maps by RGB spectrum**, Transportation Research Procedia, 43, 328-333. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.12.048.
20-Fan, Y., 2022, **Flight Control System Simulation for Quadcopter Unmanned**, Journal of Physics: Conference Series, 2283, 012011, https://doi.org/10.1088/1742-6596/2283/1/012011.
21-Yin, N., Liu, R., Zeng, B., & Liu, N., 2019, **A review: UAV-based Remote Sensing**, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 490 (2019) 062014, https://doi.org/10.1088/1757-899X/490/6/062014.
22- Aljehani, M., Inoue, M., Watanbe, A., Yokemura, T., Ogyu, F., & Iida, H., 2020, **UAV communication system integrated into network traversal with mobility**, SN Applied Sciences, 2, 1057, https://doi.org/10.1007/s42452-020-2749-5.
23- Sun, Z., Wang, X., Wang, Z., Yang, L., Xie, Y., & Huang, Y., 2021, **UAVs as remote sensing platforms in plant ecology: review of applications and challenges**, JOURNAL OF PLANT ECOLOGY, 14, 1003-1023. https://doi.org/10.1093/jpe/rtab089.
24-Li, J., Fang, J., Lu, Z., & Bai, L., 2017, **Airborne Position and Orientation System for Aerial Remote Sensing**, International Journal of Aerospace Engineering, 2017, Article ID 8721391, 1-11, https://doi.org/10.1155/2017/8721391.
25- Yrle, F., 2018, **Introduction to UAV, Remote Sensing, and GIS**.
26- Hawker, L., Bates, P., Neal, J., & Rougier, J., 2018, **Perspectives on Digital Elevation Model (DEM) Simulation for Flood Modeling in the Absence of a High-Accuracy Open Access Global DEM**, Frontiers in Earth Science, 6, ID 233, https://doi.org/10.3389/feart.2018.00233.
27-Chen, Q., 2007, **Airborne Lidar Data Processing and Information Extraction**, PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING, 109-112.
29-Hansen, M., & Howd, P., 2008, **Louisiana Barrier Island Comprehensive Monitoring Program (BICM)**, Volume 4: Louisiana Light Detection and Ranging Data (Lidar), Part 1: Lidar Systems and Data Processing Techniques, 4, 1-23.
29-Barjesteh, B., 1401, **The application of new surveying engineering technologies in the design and construction of smart cities**, 8th.International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran, Iran.