جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور
سازمان نقشه‌برداری کشور

دستورالعمل تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد

نگارش ۱

دستورالعمل شماره:

STD00-S01CT005D

سازمان نقشه‌برداری کشور	**http://ncc.gov.ir**
مدیریت نظارت، کنترل فنی و استاندارد	**گروه استانداردسازی**
آذر ۱۴۰۰	

جناب آقای پیمان بکتاش
معاون محترم فنی و تولید اطلاعات مکانی
سرکار خانم اشرف السادات قریشی
مدیر کل محترم نظارت ، کنترل فنی و استاندارد
جناب آقای حمید رضا سیدین بروجنی
کارشناس پژوهش و توسعه

با سلام واحترام

به پیوست دستورالعمل " تهیه نقشه ها و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد " نگارش ۱ به شماره STD۰۰-S۰۱CT۰۰۵D با توجه انجام فرآیندهای مصوب در خصوص تدوین دستورالعمل و تایید کمیته استاندارد در جلسه مورخ ۱۴۰۰/۱۰/۰۴ (صورتجلسه پیوست) جهت اجرا، ابلاغ می گردد. مقتضی است جهت انجام فعالیت تولید یا نظارت اطلاعات مکانی با استفاده از پهپاد در دستور کار قرارگیرد.
لازم به ذکر است این دستورالعمل، مراحل انتشار از طریق نظام فنی و اجرایی کشور را نیز طی خواهد کرد.

علی جاویدانه
سرپرست سازمان نقشه برداری کشور

رونوشت:
- سرکار خانم شمس الملوک علی آبادی رئیس گروه استاندارد سازی
- جناب آقای مصطفی تبیانیان معاون محترم توسعه مدیریت و منابع
- جناب آقای سید محمد صادق قنبرزاده مدیرکل محترم دفتر ریاست ، روابط عمومی و امور بین الملل

پیشگفتار

روند رو به رشد به‌کارگیری سیستم‌های تصویربرداری پهپاد (پرنده هدایت پذیر از راه دور) با قابلیت تولید نقشه و اطلاعات مکانی و مزایای خاص این سیستم‌ها که موجب اقبال فعالان در حوزه اطلاعات مکانی به این سو گردیده است؛ ضرورت وجود دستورالعملی جامع در خصوص تهیه نقشه‌ها و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد را مشخص می‌سازد. وجود این دستورالعمل موجب ایجاد یک وحدت رویه در روند تولید محصولات مکانی با استفاده از سیستم‌های تصویربرداری پهپاد و نظارت این محصولات همچنین ارتقاء کیفی محصولات تولیدی می‌گردد.

ایجاد دستورالعمل تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد از سال ۱۳۹۵ در دستور کار سازمان نقشه‌برداری کشور قرار گرفته و نسخه پیش‌نویس در اسفند ماه سال ۹۵ آماده گردید. پس از گذشت چند سال و با توجه به تجارب به دست آمده در خصوص اجرا و نظارت پروژه‌های فتوگرامتری پهپاد و دریافت نظرات و بازخوردهای صاحب‌نظران این حوزه در خصوص نسخه پیش نویس، نسخه اول این دستورالعمل با تلاش و همکاری متخصصان این امر در سازمان نقشه‌برداری کشور، مراکز دانشگاهی و شرکت‌های مهندسی مشاور آماده شده و در اختیار فعالان در این حوزه قرار می‌گیرد.

دستورالعمل حاضر مراحل تهیه نقشه و سایر محصولات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد و چگونگی ارزیابی کیفی این محصولات را مورد بررسی قرار خواهد داد. این دستورالعمل مشتمل بر پنج فصل می‌باشد. فصل اول به معرفی سامانه فتوگرامتری پهپاد و اجزاء این سامانه و نکاتی در خصوص انواع سیستم‌های پهپاد و نحوه انتخاب پهپاد مناسب برای تهیه نقشه و اطلاعات مکانی پرداخته و شمای کلی از مراحل تهیه اطلاعات مکانی با استفاده از سامانه فتوگرامتری پهپاد ارائه می‌دهد. فصل دوم تحت عنوان عملیات طراحی به مباحثی شامل تعیین نوع پهپاد و سنجنده، طراحی پرواز و طراحی نقاط چک و کنترل زمینی می‌پردازد. فصل سوم به تشریح مراحل انجام عملیات میدانی در اجرای پروژه‌های فتوگرامتری پهپاد شامل طراحی شبکه، عملیات نقشه‌برداری زمینی و عملیات تصویربرداری هوایی و نکات مهم در اجرای این مراحل به منظور بهبود کیفی محصولات تولیدی می‌پردازد. فصل چهارم به پردازش داده‌ها و محاسبات مثلث‌بندی هوایی اختصاص دارد و کلیه عملیات ستادی را که پیش از تولید محصولات به منظور پردازش داده‌های کمکی، پیش‌پردازش تصاویر و محاسبات مثلث‌بندی هوایی انجام می‌شود شرح خواهد داد؛ و در آخر فصل پنجم به روند تولید محصولات مکانی شامل ابر نقطه سه‌بعدی، mesh، مدل ارتفاعی رقومی، ارتوفتوموزائیک و نقشه می‌پردازد و نکات مهم در تولید این محصولات و ارزیابی کیفی آن‌ها را مورد بحث قرار خواهد داد. درمتن این مستند به دستورالعمل هایی اشاره شده است که همه آنها در سایت سازمان نقشه‌برداری کشور قابل دریافت می‌باشد.

امید است که دستورالعمل حاضر قدمی مؤثر در راستای ساماندهی پروژه‌های فتوگرامتری پهپاد و ارتقاء کیفی محصولات تولید شده با کمک این سامانه باشد.

اعضای گروه تهیه کننده (به ترتیب حروف الفبا):

سید هومن سید الماسی	مهندسین مشاور رصد ایران	کارشناسی ارشد
مهدی برومند	شرکت نما پرداز رایانه	کارشناسی مهندسی نقشه‌برداری
نعمت اله حبشی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS
محمد سرپولکی	مهندسین مشاور جهان پیمایش سیستم	کارشناس ارشد فتوگرامتری
محمد سعادت سرشت	هیأت علمی گروه فتوگرامتری دانشگاه تهران	دکتری فتوگرامتری
شمس الملوک علی آبادی (مسئول گروه کاری)	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناس ارشد ریاضی
رقیه فتحی الماس	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناس ارشد سنجش از دور
الهام طیبی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
سمیه طحان‌پور	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناس ارشد سنجش ازدور-دکتری مدیریت دولتی
مسعود ورشوساز	هیأت علمی گروه فتوگرامتری دانشگاه خواجه-نصیرالدین طوسی	دکتری فتوگرامتری

اعضای گروه نظارت:

احمد ابوطالبی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد سنجش از دور
اشرف‌السادات قریشی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد فتوگرامتری

اعضای گروه تایید کننده:

اشرف السادات قریشی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
شمس الملوک علی آبادی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناس ارشد ریاضی
رقیه فتحی الماس	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناس ارشد سنجش از دور
حمید رضا سیدین بروجنی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناس نقشه بردار- ارشد گردشگری
هما درزی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی
مهدی سعیدی انجیله	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی نقشه برداری
شهره صیفی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناس نقشه برداری
حمیده چراغی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی ارشد ژئودزی
مریم صارمی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناس ارشد سنجش از دور وGIS
عطیه ثقه مجتهدی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی نقشه برداری

اعضای گروه راهبری:

اشرف السادات قریشی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
پیمان بکتاش	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی ارشد سیستم های اطلاعات مکانی

فهرست مطالب

پیشگفتار ..... أ
مقدمه ..... خ
فصل ۱: معرفی سامانه فتوگرامتری پهپاد ۱
۱-۱- موارد استفاده از پهپاد در نقشه برداری ۲
۱-۲- انتخاب نوع پهپاد ۳
۱-۳- تجهیزات تعیین موقعیت و وضعیت پهپاد (GNSS/IMU) ۴
فصل ۲: عملیات طراحی ۵
۲-۱- تعیین نوع عدسی ۶
۲-۲- تعیین نوع دوربین و تنظیمات آن ۷
۲-۳- تعیین ضریب کاهش حد تفکیک تصویری ۹
۲-۴- تعیین GSD تصویربرداری ۹
۲-۵- تعیین محدوده پرواز ۱۰
۲-۶- تعیین امتداد نوارهای پرواز ۱۱
۲-۷- تعیین پوشش طولی و عرضی تصاویر ۱۲
۲-۸- طراحی نوارهای متقاطع (کراس) ۱۲
۲-۹- طراحی شکل و ابعاد تارگت زمینی ۱۳
۲-۱۰- طراحی نقاط کنترل و چک زمینی ۱۳
فصل ۳: عملیات میدانی ۱۵
۳-۱- عملیات نقشه برداری زمینی ۱۶
۳-۱-۱- ایجاد شبکه ایستگاههای ماندگار: ۱۶
۳-۱-۲- نصب تارگت های نقاط کنترل و چک ۱۶
۳-۱-۳- تعیین مختصات سه بعدی تارگت های نقاط کنترل و چک ۱۷
۳-۲- عملیات تصویربرداری هوایی ۱۸
۳-۲-۱- مجوز پرواز و تصویربرداری هوایی ۱۸
۳-۲-۲- محدوده زمانی و مکانی تصویربرداری هوایی ۱۸
۳-۲-۳- تعیین ایستگاههای زمینی پرواز ۱۹
۳-۲-۴- کنترل‌های قبل از پرواز ۱۹
۳-۲-۵- کنترل‌های حین پرواز ۲۰
۳-۲-۶- کنترل‌های بعد از پرواز ۲۰

۳-۲-۷- تهیه گزارش تصویربرداری ۲۰
۳-۲-۸- تهیه اندکس پرواز ۲۰
۳-۳- انجام مشاهدات تعیین موقعیت مراکز تصویربرداری و تعیین وضعیت تصاویر ۲۱
۳-۳-۱- مشاهدات تعیین موقعیت مراکز تصویربرداری ۲۱
۳-۳-۲- مشاهدات تعیین وضعیت تصاویر ۲۱
۳-۴- عملیات تکمیلی زمینی ۲۲
فصل ۴: پردازش داده‌ها و محاسبات مثلث‌بندی هوایی ۲۳
۴-۱-پردازش داده‌های کمکی ۲۴
۴-۱-۱- پردازش مشاهدات تعیین موقعیت مراکز تصویربرداری و تعیین وضعیت تصاویر ۲۴
۴-۲-پیش پردازش تصاویر ۲۵
۴-۲-۱- ارزیابی و کاهش نویز تصاویر ۲۵
۴-۲-۲- بهبود روشنایی و کنتراست تصاویر ۲۵
۴-۲-۳- کاهش تصاویر ۱۶ بیتی خام به ۸ بیتی ۲۶
۴-۳- مثلث‌بندی هوایی ۲۶
۴-۳-۱- تشکیل بلوک فتوگرامتری ۲۷
۴-۳-۲- بخش‌بندی به زیر بلوک‌های فتوگرامتری ۲۷
۴-۳-۳- تنظیم پارامترهای کالیبراسیون و خود کالیبراسیون ۲۸
۴-۳-۴- استخراج و پالایش نقاط گرهی ۲۸
۴-۳-۵- معرفی مشاهدات نقاط کنترل و چک به بلوک فتوگرامتری ۳۰
۴-۳-۶- معرفی مشاهدات RTK/PPK هوایی به بلوک فتوگرامتری ۳۰
۴-۳-۷- وزن دهی مشاهدات ۳۱
۴-۳-۸- نتایج مثلث‌بندی هوایی و ارزیابی کیفی نتایج ۳۲
۴-۳-۸-۱- ارزیابی دقت پارامترهای توجیه خارجی تصاویر ۳۳
۴-۴- تصحیح هندسی تصاویر ۳۴
فصل ۵: محصولات مکانی ۳۵
۵-۱- ابر نقطه سه بعدی ۳۶
۵-۱-۱- ارزیابی کیفیت ابر نقطه ۳۶

۵-۲- رویه یا مش ۳۷
۵-۲-۱- ارزیابی کیفیت مش ۳۷
۵-۳- مدل ارتفاعی رقومی ۳۷
۵-۳-۱- ارزیابی کیفیت مدل ارتفاعی رقومی ۳۸
۵-۴- ارتوفتوموزائیک ۳۸
۵-۴-۱- مشخصات ارتوفتوموزائیک خروجی ۳۸
۵-۴-۲- ارزیابی کیفیت ارتوفتوموزائیک ۳۸
۵-۵- نقشه و پایگاه داده مکانی ۳۹
۵-۵-۱- ملاحظات تبدیل و ترسیم در فتوگرامتری پهپاد ۳۹
۵-۵-۲- ارزیابی کیفیت نقشه ۴۰
۵-۵-۲-۱- دقت اطلاعات هندسی ۴۰
۵-۵-۲-۲- صحت اطلاعات توصیفی ۴۰
۵-۵-۲-۳- کامل بودن و سازگاری اطلاعات ۴۱
پیوست ۱: گزارش فنی ۴۲
پیوست ۲: مدارک مورد نیاز به‌منظور کنترل و نظارت فنی ۴۳
پیوست ۳: تعیین ضریب کاهش حد تفکیک تصویری دوربین با استفاده از تارگت زیمنس ۴۵
پیوست ۴: تعیین سی-فاکتور سیستم تصویربرداری ۴۷
پیوست ۵: معیارهای خطای هندسی در محصولات مکانی ۴۹
پیوست ۶: گزارش عملیات تصویربرداری ۵۱
پیوست ۷: تهیه اندکس مدل ۵۲
پیوست ۸: ایستگاه ماندگار ۵۴
منابع و مراجع ۵۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: شرایط به‌کارگیری روش فتوگرمتری پهپاد برای تولید نقشه ۳
جدول ۲-۱: مقادیر مناسب GRD مطابق با مقیاس نقشه ۹

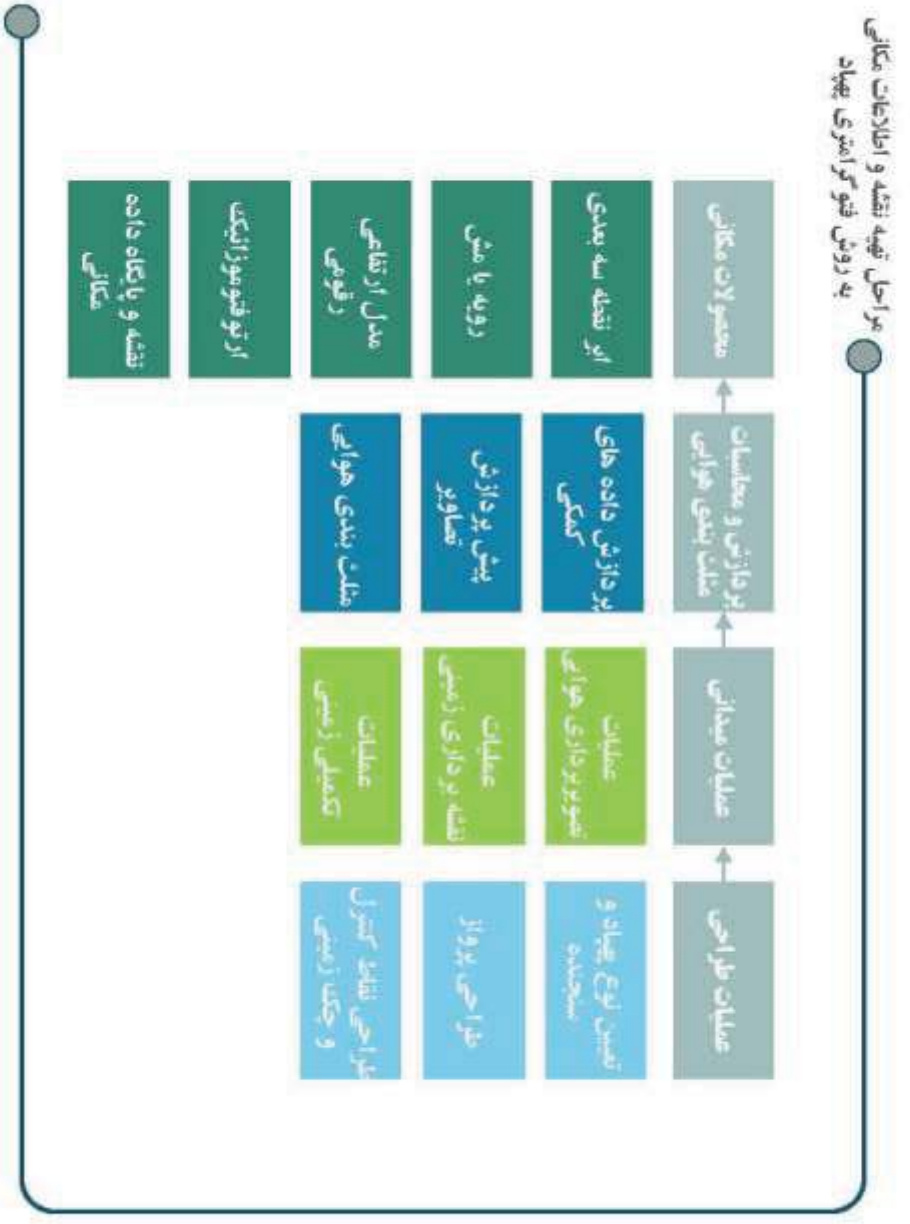
مقدمه

با توجه به گسترش بهره‌گیری از سیستم‌های تصویربرداری پهپاد و اخذ تصاویر از دوربین‌های غیر متریک با قابلیت تهیه نقشه و اطلاعات مکانی، سازمان نقشه‌برداری کشور به‌منظور ایجاد وحدت رویه در تهیه نقشه و اطلاعات مکانی تهیه‌شده از این تصاویر، مجموعه حاضر را در قالب دستورالعمل تهیه نقشه و اطلاعات مکانی آماده نموده است. این مجموعه بر اساس دستورالعمل همسان نقشه‌برداری جلد دوم؛ نقشه‌برداری هوایی (کلیات) نشریه شماره دو از سری نشریات ۱۱۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی به شماره ۱۰۰/۹۳۶۰ مورخ ۱۳۸۶/۰۱/۲۹؛ تهیه گردیده و با مجموعه استاندارد و دستورالعمل تهیه نقشه‌های بزرگ‌مقیاس به روش فتوگرامتری و همچنین دستورالعمل تهیه نقشه‌های بزرگ‌مقیاس تهیه‌شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور مطابقت داشته و در بخش‌های مربوطه به این دستورالعمل‌ها ارجاع داده‌شده است.

با توجه به تنوع ربات‌های پرنده، دوربین‌های غیر متریک و تنظیمات متنوع در آن‌ها، پیکربندی‌های مختلف در شبکه تصویربرداری، روش‌های تعیین موقعیت پرنده و تعیین مختصات مراکز تصویر مورداستفاده در پهپاد و نرم‌افزارهای مختلف پردازش داده‌ها و تنظیمات مربوطه، در تهیه این دستورالعمل سعی گردیده که تطابق نقشه و اطلاعات مکانی تهیه‌شده با مشخصات فنی موردنظر، بدون تأکید و یا توجه خاص بر بهره‌گیری از تجهیزات و ابزار، از طریق ارائه مستندات و گزارش‌هایی توسط تهیه‌کننده نقشه و اطلاعات مکانی (مطابق پیوستهای یک و دو دستورالعمل حاضر) اثبات گردد.

با توجه به تغییرات سریع فناوری در عرصه سیستم‌های پهپاد، دوربین‌های مورد استفاده و روش‌های تعیین موقعیت و وضعیت تصاویر، تا حد امکان سعی گردیده این دستورالعمل با اطمینان از حفظ دقت محصولات تهیه‌شده، محدودیتی در بهره‌گیری از تجهیزات و روش‌های نوین ایجاد ننماید. بدیهی است علی‌رغم این تمهیدات، بازنگری و به هنگام رسانی دستورالعمل در فواصل زمانی مناسب ضروری می‌باشد.

مراحل کلی تهیه نقشه و اطلاعات مکانی با استفاده از پهپاد مطابق نمودار زیر می‌باشد که در فصل‌های بعد این مراحل توضیح داده خواهد شد.



-این نمودار مراحل تهیه نقشه و محصولات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد را نشان می‌دهد که بر اساس نیاز پروژه نوع محصول تعیین می‌گردد.

فصل ۱: معرفی سامانه فتوگرامتری پهپاد

سامانه فتوگرامتری پهپاد[1] مجموعه‌ای متشکل از ایستگاه زمینی، پهپاد نقشه‌برداری، دوربین هوایی غیرمتریک، نرم‌افزار طراحی و هدایت عملیات تصویربرداری، تجهیزات تعیین موقعیت و وضعیت پرنده و نرم‌افزارهای پردازش داده و تولید محصولات مکانی است.

در فتوگرامتری پهپاد به دلیل غیر متریک بودن دوربین (دوربین با پارامترهای کالیبراسیون با مقادیر بزرگ، نامعلوم و ناپایدار) و بسته به سطح غیرمتریک بودن آن، خطاهای مسطحاتی و ارتفاعی در مقایسه با فتوگرامتری متریک افزایش می‌یابد. برای کنترل و کاهش خطاها، تصویربرداری با GSD[2] کمتری صورت می‌گیرد، افزونگی داده‌ها با افزایش پوشش‌های تصویری به بالای ۶۰٪ بیشتر می‌شود، از نقاط کنترل زمینی با تراکم بیشتر استفاده می‌شود، از مشاهدات کمکی GNSS/IMU بهره‌گیری می‌شود و اعوجاجات باقیمانده در تصاویر بر اساس روش‌های مثلث‌بندی هوایی غیر متریک تا حد امکان در یک فرآیند بهینه‌سازی تخمین زده‌شده و کاهش می‌یابد.

لازم به ذکر است این دستورالعمل با پیش فرض به‌کارگیری سنجنده‌های تصویربرداری رنگی یا چند طیفی تهیه شده است و نکات فنی مربوط به به‌کارگیری سنجنده‌های دیگر مانند لایدار، رادار و حرارتی را پوشش نمی‌دهد.

۱-۱- موارد استفاده از پهپاد در نقشه‌برداری

با توسعه فناوری پهپادها و قابلیت‌های آن‌ها، امروزه در کاربردهایی از قبیل تولید نقشه، به‌روزرسانی نقشه، تولید مدل رقومی زمین، تولید ارتوفتوموزائیک و ... استفاده می‌شود.

استفاده از روش فتوگرامتری پهپاد برای تهیه محصولات مکانی مسطحاتی مانند ارتوفتوموزائیک در مقایسه با محصولات مکانی ارتفاعی (نقشه‌های سه‌بعدی یا مدل رقومی ارتفاعی) مناسب‌تر می‌باشد.

برای تهیه ارتوفتوموزائیک در انجام مطالعات و طراحی‌های مهندسی از مناطق شهری و غیرشهری، با اهداف آشکارسازی تغییرات و تهیه نقشه تصویری زمینه، استفاده از روش فتوگرامتری پهپاد توصیه می‌شود.

روش فتوگرامتری پهپاد به‌منظور تهیه و بهنگام رسانی نقشه‌های بزرگ‌مقیاس (۱:۵۰۰، ۱:۱۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰) از مناطق غیرشهری قابل استفاده است و در مناطق شهری به‌کارگیری دوربین‌های متریک در اولویت نسبت به دوربین‌های غیر متریک (روش فتوگرامتری پهپاد) می‌باشد.

برای تهیه نقشه به روش فتوگرامتری پهپاد در مقیاس‌های مختلف و با توجه به وسعت منطقه، موارد قید شده در جدول ۱-۱، مورد توجه قرار گیرد:[3]

[1] UAV Photogrammetry

[2] Ground Sampling Distance یا فاصله نمونه‌برداری زمینی معادل ابعاد فیزیکی پیکسل روی زمین است.

[3] مقادیر آستانه قید شده در جدول، با پیشرفت فناوری فتوگرامتری پهپاد در آینده می‌بایست بهنگام شود.

جدول ۱-۱: شرایط به‌کارگیری روش فتوگرمتری پهپاد برای تولید نقشه

مقیاس نقشه	وسعت منطقه	شرایط به‌کارگیری
۱:۵۰۰	چند هکتار تا چند ده هکتار	در صورت وجود شرایط خاص مانند عدم دسترسی به منطقه، جایگزین روش نقشه‌برداری زمینی
۱:۵۰۰ تا ۱:۲۰۰۰	چند ده تا چند هزار هکتار	استفاده از پهپادهای با مداومت پروازی ۳۰ دقیقه و بیشتر، به‌کارگیری دوربین با حد تفکیک مکانی بالای ۲۰ مگا پیکسل و قابلیت پرواز پرنده بال ثابت یا مولتی روتور در ارتفاع بالاتر از ۵۰ متر نسبت به سطح زمین
۱:۵۰۰ تا ۱:۲۰۰۰	چند هزارتا چند ده هزار هکتار	استفاده از پهپادهای با مداومت پروازی یک ساعت و بیشتر، به‌کارگیری دوربین با حد تفکیک مکانی بالای ۵۰ مگاپیکسل و قابلیت پرواز پرنده بال ثابت در ارتفاع بالاتر از ۱۰۰ متر نسبت به سطح زمین
۱:۲۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰	چند ده هزار تا چند صد هزار هکتار	استفاده از پهپادهای با مداومت پروازی چند ساعت، به‌کارگیری دوربین با حد تفکیک مکانی بالای صد مگاپیکسل و قابلیت پرواز پرنده بال ثابت بدون/با سرنشین در ارتفاع بالاتر از ۲۵۰ متر نسبت به سطح زمین

تبصره: برای تهیه نقشه بزرگ مقیاس تر از ۱:۵۰۰ و منحنی میزان دقیق تر از ۲۵ سانتیمتر با استفاده از سامانه فتوگرامتری پهپاد، در نظر گرفتن ملاحظات مربوط به نواحی پنهان (تصویربرداری از زوایای مناسب)، حدتفکیک ارتفاعی و حدتفکیک تصویری متناسب با مقیاس نقشه همچنین تراکم مناسب نقاط کنترل زمینی الزامی است در غیر این صورت روش نقشه‌برداری زمینی از صحت و قابلیت اطمینان بالاتری برخوردار است.

۱-۲- انتخاب نوع پهپاد

پهپادها یا پرنده‌های هدایت‌پذیر از راه دور دارای انواع مختلف می‌باشند. انتخاب نوع پهپاد برای تهیه نقشه و اطلاعات مکانی می‌بایست با توجه به نوع بافت و توپوگرافی منطقه، وسعت منطقه، ارتفاع پرواز طراحی‌شده، محدودیت‌های زمانی برای پرواز، مداومت پروازی، دقت و مقیاس نقشه و اطلاعات مکانی موردنیاز، محدودیت‌های حجم و وزن سنجنده مورد استفاده، شرایط آب و هوایی و وضعیت وزش باد، وجود فضای کافی برای برخاستن و فرود آمدن، سقف مجاز پروازی پرنده و منطقه و محدودیت‌های بهره‌برداری از انواع مختلف پهپاد در منطقه انجام گیرد.

به طور کلی در انتخاب پهپاد می‌بایست موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- استحکام در انجام تصویربرداری با وضعیت پایدار و اخذ حداقل تصاویر با زوایای انحراف از قائم غیرمعمول که در تشکیل مدل‌ها و پوشش کامل منطقه خلل ایجاد ننمایند.
- نوع دوربین، نوع شاتر (گلوبال یا رولینگ)، تنظیمات خودکار هوشمند

- توانایی حمل دوربین و سنجنده موردنظر و دارا بودن سقف پرواز مناسب برای تصویربرداری از منطقه
- مداومت پروازی متناسب با ابعاد و وضعیت منطقه
- سقف پروازی کافی بخصوص در مناطق کوهستانی
- مجهز بودن به گیرنده تعیین جهت و تعیین موقعیت مراکز تصویر با دقت موردنظر
- امکان کنترل و هدایت پرنده به‌نحوی‌که تصویربرداری به‌صورت کامل و بدون گپ از منطقه انجام گیرد.
- متناسب بودن حداکثر سرعت باد قابل‌تحمل پرنده با شرایط وزش باد در منطقه
- مجهز بودن به سنجنده تعیین سرعت و جهت باد با دقت کافی
- مجهز بودن به امکانات هدایت و کنترل پرنده مانند FVP[۴]، RTH[۵] و ...

۱-۳- تجهیزات تعیین موقعیت و وضعیت پهپاد (GNSS/IMU)

در تمام پرنده‌ها، تجهیزات تعیین موقعیت و وضعیت تصاویر به‌منظور هدایت و کنترل پرواز پهپاد وجود دارد. در پهپاد فتوگرامتری، داده‌های این تجهیزات ذخیره‌شده و در بعضی موارد به‌عنوان مقادیر اولیه در محاسبات و پردازش تصاویر مورداستفاده قرار می‌گیرند. اگرچه در حال حاضر با توجه به محدودیت وزن و همچنین هزینه‌های بالای IMU، تعیین وضعیت پهپاد (سه زاویه کاپا، فی، امگا) دقیق نبوده و به‌عنوان مقادیر اولیه کم دقت قابل استفاده می‌باشد؛ ولی استفاده از گیرنده‌ی GNSS دقیق برای تعیین مختصات مراکز تصویر با دقت‌های در حد چند سانتیمتر در پهپادهای فتوگرامتری و به‌کارگیری مشاهدات آن‌ها در مثلث‌بندی هوایی متداول گردیده است.

[4] First View Person
[5] Return To Home

فصل ۲: عملیات‌طراحی

قبل از انجام عملیات میدانی در هر پروژه نقشه‌برداری، باید تجهیزات مورداستفاده و برنامه مشاهداتی را طوری تعیین نمود که علاوه بر رعایت قیود زمان و هزینه، به صحت و کیفیت موردنیاز پروژه دست پیدا کرد. به این مرحله عملیات طراحی می‌گویند. عملیات طراحی درواقع یک نوع پیش تحلیل[۶] از نتایج پردازش مشاهدات برنامه‌ریزی شده می‌باشد که توسط مفاهیم انتشار خطاها صورت می‌گیرد. به‌طور خلاصه عملیات طراحی در فتوگرامتری را می‌توان به تعیین سکو و سنجنده، طراحی پرواز و طراحی نقاط کنترل تقسیم‌بندی نمود.

در ادامه موارد زیر برای عملیات طراحی در فتوگرامتری پهپاد مورد بحث قرار می‌گیرد:

- تعیین سکو وسنجنده
  - تعیین نوع عدسی
  - تعیین نوع دوربین و تنظیمات آن
- طراحی پرواز
  - تعیین ارتفاع پرواز
  - تعیین ضریب کاهش حد تفکیک تصویری
  - تعیین سی-فاکتور سیستم تصویربرداری
  - تعیین محدوده پرواز
  - تعیین امتداد نوارهای پرواز
  - تعیین پوشش طولی و عرضی تصاویر
- طراحی نقاط کنترل
  - طراحی شکل و ابعاد تارگت زمینی
  - طراحی نقاط کنترل زمینی

۱-۲- تعیین نوع عدسی

عدسی مورد استفاده باید از نوع ثابت[۷] بوده و به‌کارگیری عدسی با بزرگنمایی متغیر[۸] مجاز نیست. اتوفوکوس[۹] عدسی باید خاموش باشد و در صورت روشن بودن اتوفوکوس می‌بایست تصویربرداری تکرار شود. عدم استفاده از لنزهایی که سیستم لرزه‌گیر دارند همچنین استفاده از لنز با فاصله کانونی که نسبت باز به ارتفاع را تأمین کند، مورد توجه قرار گیرد.

[6] Pre-Analysis
[7] Prime or Fixed Lense
[8] Zoom Lense

[۹] اتوفوکوس قابلیتی در دوربین‌ها است که به‌صورت خودکار p (فاصله شیء تا عدسی) را تقریب زده و q یا فاصله اصلی را بر اساس رابطه نیوتن ($1/p+1/q=1/f$) برای نقاط مشخصی در تصویر تنظیم می‌کند تا تصویر شفاف ایجاد شود. البته تغییر q باعث تغییر هندسه عکسبرداری شده و خطای بازسازی سه بعدی را به شکل معنی داری افزایش می‌دهد.

در انتخاب عدسی با توجه به فاصله کانونی آن موارد ذیل لحاظ شود:

- **عدسی زاویه نرمال (لنز ۳۵ تا ۵۰ میلی‌متر[۱۰])**: به منظور تهیه نقشه‌های سه‌بعدی یا ارتفاعی، عدسی زاویه نرمال (فاصله کانونی عدسی حدوداً برابر با قطر سنجنده) مناسب است. به‌طورکلی در این حالت، فاصله کانونی عدسی به نحوی انتخاب گردد که در تصاویر با پوشش طولی ۶۰ درصد، نسبت B/H (باز عکس یا فاصله‌ی زمینی بین عکس‌های متوالی به ارتفاع پرواز) از ۰/۲۵ بیشتر باشد.

عدسی زاویه باریک یا تِلِه[۱۱] (لنز با فاصله کانونی بیشتر از نرمال): به‌منظور تهیه محصولات مکانی مسطحاتی مانند نقشه‌های کاداستر و ارتوفتوموزائیک، عدسی زاویه باریک یا تله (فاصله کانونی عدسی حداقل یک و نیم تا دو برابر قطر سنجنده) مناسب است و ارتفاع پرواز نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد. به‌کارگیری عدسی‌های زاویه باریک در ارتفاع بالاتر موجب کاهش جابجایی ناشی از ناهمواری شده و کیفیت ارتوفتوموزائیک بیشتر می‌شود اما استحکام ارتفاعی شبکه کمتر شده و خطای ارتفاعی افزایش می‌یابد. در این حالت برای حفظ کیفیت ارتفاعی می‌توان از مشاهدات PPK[۱۲] /RTK[۱۳]هوایی یا نقاط کنترل زمینی متراکم استفاده نمود. با توجه به افزایش تأثیر لرزش‌های ناخواسته تصویری و کاهش محسوس وضوح تصاویر هنگام بکارگیری عدسی های زاویه باریک، می‌بایست کاهش حد تفکیک تصویری برآورد و در طراحی پرواز لحاظ شود همچنین به‌کارگیری جیمبال[۱۴] و پایدارساز خارجی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

از موارد کاربرد دیگر عدسی زاویه باریک در تهیه نقشه از نواحی شهری متراکم و کوهستانی سخت به منظور غلبه بر مشکل نواحی پنهان همچنین تصویربرداری با حد تفکیک بالا از نواحی با محدودیت حداقل ارتفاع پرواز است.

- **عدسی زاویه باز (لنز با فاصله کانونی کمتر از نرمال):** به‌منظور تهیه نقشه سه‌بعدی در مقیاس معمولاً کمتر از ۱:۲۰۰۰ از نواحی وسیع مسطح یا با شیب یکنواخت، عدسی زاویه باز استفاده می‌شود. در تصویربرداری با این نوع عدسی، در صورت وجود عوارض ارتفاعی، نواحی پنهان بشدت افزایش می‌یابد.

۲-۲- تعیین نوع دوربین و تنظیمات آن

به منظور تأمین کیفیت تصاویر، در انتخاب دوربین و انجام تنظیمات آن موارد ذیل مورد توجه قرار گیرد:

---

[۱۰] منظور فاصله کانونی اسمی است که با فرض ابعاد سنجنده با قطر ۳۶ میلی‌متر لحاظ شده است. فاصله کانونی واقعی در دوربین‌های رقومی معمولاً ۵ تا ۱۰ برابر از فاصله کانونی اسمی شناخته‌شده در بازار کمتر می‌باشد. برای تعیین این ضریب کافی است قطر واقعی سنجنده برحسب میلی‌متر را به ۳۶ تقسیم کنیم.

[11] Tele
[12] Post Processing Kinematic
[13] Real Time Kinematic
[14] Gimbal

- حجم تصویر حداقل ۲۰ مگا پیکسل باشد.
- ابعاد پیکسل سنجنده نباید کمتر از ۲ میکرون باشد و در صورت امکان سنجنده با ابعاد پیکسل بیش از ۴ میکرون مورد استفاده قرار گیرد. (خطای تفرق[۱۵] نور بخصوص در fstop های بالا باعث تار شدن تصویر می‌شود)
- برای حفظ پایداری هندسی، فاصله کانونی عدسی باید ثابت باشد. پایدارساز[۱۶] یا لرزش گیر سنجنده و عدسی (منظور پایدارساز داخلی است) همچنین اتوفوکوس باید خاموش باشد[۱۷].
- عدسی مورد استفاده در دوربین و نحوه اتصال آن به بدنه دوربین، از پایداری مناسب برخوردار باشد به‌نحوی‌که در حین انجام یک پروژه علی‌رغم چندین فرود و برخاستن تغییر محسوسی در پارامترهای کالیبراسیون عدسی ایجاد نگردد.
- بدنه دوربین از استحکام لازم برخوردار بوده و به‌واسطه تغییرات دما، فشار هوا، ضربه و لرزش تغییر شکل ندهد.
- با توجه به اینکه در اکثر پهپادها دوربین فاقد FMC[۱۸] می‌باشد، برای جلوگیری از کشیدگی تصویری باید سرعت شاتر در حدی باشد که کشیدگی تصویری به کمتر از نیم پیکسل برسد.
- حساسیت دوربین یا ISO می‌بایست مقدار ثابتی باشد. عدد ایده آل برای آن ۱۰۰ بوده و نباید بیشتر از ۴۰۰ باشد.[۱۹]
- پارامتر سرعت عدسی یا f/stop بین ۴ تا ۸ تنظیم‌شده و مقداری ثابت باشد.
- در صورت فعال بودن تنظیم خودکار روشنایی تصویر، ملاحظات مربوط به سرعت شاتر، f-stop و ISO که در بالا ذکر شده است رعایت شود تا ضمن هماهنگی با شرایط نوری متغیر، کیفیت تصاویر مخدوش نشود.
- حداکثر نرخ تصویربرداری و ذخیره‌سازی دوربین می‌بایست با سرعت پرنده و حداقل پوشش طولی مورد نیاز مطابقت داشته باشد.

---

[15] Diffraction

[16] Stablizer

[۱۷] پایدارساز داخلی بر روی عدسی یا سنجنده دوربین نصب می‌شود و باعث جابجایی نسبی لحظه‌ای عدسی و سنجنده و در نتیجه موجب عدم استحکام هندسه تصویربرداری شده و خطای بازسازی سه بعدی به‌صورت معنی داری افزایش می‌یابد. در صورتی که کل دوربین شامل عدسی و سنجنده روی پایدارساز قرار گیرد (پایدارساز خارجی) نه تنها هندسه تصویربرداری حفظ می‌شود بلکه تأثیر زیادی در کیفیت تصویربرداری و کاهش تاری تصویر خواهد داشت و استفاده از آن بخصوص در پهپادهای دارای لرزش بالا توصیه می‌شود.

[18] Forward Motion Compensation

[۱۹] ISO در دوربین‌های تصویربرداری به میزان حساسیت سنجنده در ثبت نور اطلاق شده و با حد تفکیک ارتفاعی، عمق بیت سنجنده و میزان S/N (نسبت سیگنال به نویز) مرتبط است. مقادیر ISO بزرگ‌تر از ۴۰۰ منجر به افزایش نویز تصاویر خواهد شد.

- دوربین امکان تصویربرداری حداقل سه طیفی (RGB) با وضوح ۲۴ بیت را دارا باشد.
- ترجیحاً دوربین امکان ذخیره تصاویر با فرمت RAW داشته باشد.

تذکر: در سیستم‌های چند سنجنده[۲۰] که امکان اخذ تصویر قائم و مایل در جهات مختلف را دارند تمامی سنجنده ها باید شرایط مذکور را دارا باشند.[۲۱]

۲-۳- تعیین ضریب کاهش حد تفکیک تصویری

در فتوگرامتری پهپاد به دلیل عواملی همچون لرزش، کشیدگی تصویری، تاری دید به‌واسطه ابر، مه، رطوبت، Haze، گرد وغبار، آلودگی هوا و پدیده تفرق نور روی سنجنده‌ها، شاخص GRD[۲۲] دارای مقداری بیشتر از ابعاد پیکسل زمینی تصویر یا GSD می‌شود. نسبت این دو (k=GRD/GSD) را ضریب کاهش حد تفکیک تصویری می‌نامند. با توجه به تنوع دوربین‌ها و عدسی‌های مورد استفاده در انواع پهپاد و شرایط محیطی مختلف در حین تصویربرداری، حد تفکیک تصاویر می‌بایست قبل از انجام هر پروژه تصویربرداری هوایی با به‌کارگیری تارگت زیمنس تعیین‌شده و ضریب کاهش حد تفکیک تصویری k برآورد گردد. روش محاسبه این ضریب در پیوست ۳ آورده شده است.

۲-۴- تعیین GSD تصویربرداری

در تعیین GSD تصویربرداری می‌بایست موارد ذیل لحاظ شود:

الف) **محدودیت ناشی از کاهش حد تفکیک مکانی تصویر**: GSD تصویربرداری مورد نیاز برای پروژه باید به میزان 1:k (k=GRD/GSD) کاهش یابد تا کاهش حد تفکیک مکانی تصویر جبران شود.

ب) محدودیت ناشی از دقت مسطحاتی محصولات مکانی: با توجه به دقت مسطحاتی مورد نیاز پروژه، حد تفکیک مکانی تصویر GRD می‌بایست به نحوی انتخاب شود که ۲,۵ برابر GRD از دقت مسطحاتی متوسط نقشه (۰,۲ میلی‌متر در مقیاس نقشه)، کمتر باشد. در جدول زیر مقادیر مناسب GRD به‌منظور رسیدن به دقت‌های مسطحاتی متناسب با مقیاس نقشه آورده شده است.

جدول ۲-۱: مقادیر مناسب GRD مطابق با مقیاس نقشه

مقیاس نقشه	GRD متوسط تصاویر	بازه مجاز GRD تصاویر

[20] Multi Heads

۲۱ درصورتی‌که یکی از سنجنده ها قابلیت پایین‌تری داشته باشد می‌بایست تصاویر این سنجنده در پردازش نهایی مورداستفاده قرار نگیرد یا طراحی روش کار بر اساس ضعیف‌ترین سنجنده انجام شود. دقت و کیفیت محصول نهایی ملاک قضاوت است.

[۲۲] Ground Resolved Distance یا فاصله حد تفکیک زمینی معادل ابعاد زمینی کوچک‌ترین عارضه قابل تشخیص در تصویر بوده و شاخصی برای میزان محتوای اطلاعاتی قابل استخراج از تصویر می‌باشد.

	(سانتیمتر)	(سانتیمتر)
۱:۵۰۰	۴	۵-۳
۱:۱۰۰۰	۸	۱۰-۶
۱:۲۰۰۰	۱۶	۲۰-۱۲

د) محدودیت ناشی از دقت ارتفاعی محصولات مکانی: به‌منظور تأمین دقت ارتفاعی مورد نیاز نقشه، در حالتی که منحنی میزان ۲۵ سانتیمتر و کمتر مورد نظر باشد، می‌بایست شاخص C-Factor یا CF[۲۳] مورد توجه قرار گیرد. برای این منظور ارتفاع پرواز (H) می‌بایست کمتر از حاصل‌ضرب C-Factor در فاصله منحنی میزان (CI) باشد (نحوه محاسبه سی-فاکتور در پیوست ۴ آورده شده است). همچنین برای محاسبه GSD بر اساس شاخص CF از رابطه ذیل استفاده می‌شود:

$$GSD= \alpha CF.CI \quad , (\alpha=\frac{PS}{f})$$

به‌عنوان نمونه با فرض CF=200، PS=3.33 micron و f=9 mm، میزان GSD مناسب برای دستیابی به منحنی میزان ۲۵ سانتیمتر معادل ۱/۸۵ سانتیمتر است.

ج) محدودیت ناشی از ایمنی پرواز یا موارد امنیتی: سازمان هواپیمایی کشوری و نهادهای نظامی و امنیتی در کشور، مقرراتی را برای حداقل یا حداکثر ارتفاع پرواز پهپادها در مناطق مختلف وضع نموده‌اند که برای حفظ ایمنی یا ملاحظات امنیتی بایستی از آن‌ها تبعیت نمود.[۲۴]

۵-۲- تعیین محدوده پرواز

طراحی محدوده پروازی به روش ذیل انجام می‌شود:

- محدوده پروژه (محدوده یا مسیر مورد نظر) با استفاده از منابع اطلاعاتی مانند تصاویر گوگل، نقشه‌های پوششی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های کوچک‌مقیاس، تصاویر یا عکس هوایی کوچک‌مقیاس (تقریباً پنج برابر کوچک‌تر از مقیاس موردنظر جهت تصویربرداری هوایی) تعیین شده و در یکی از فرمتهای برداری ارائه می‌شود.

---

[۲۳] CF شاخص تعیین فاصله منحنی میزان CI قابل استخراج از تصاویر پوشش‌دار در ارتفاع موردنظر H از سطح زمین است و از رابطه CF=H/CI به دست می‌آید. اگرچه خطای متوسط ارتفاعی، علاوه بر H به پارامترهای دیگری مانند میزان پوشش تصویری، میدان دید عدسی، کیفیت تصویر، دقت مثلث‌بندی هوایی و ... وابسته است اما این شاخص به‌صورت تجربی ابزار سریعی برای تخمین دقت ارتفاعی قابل حصول از تصاویر اخذ شده با ارتفاع پرواز مشخص می‌باشد.

[۲۴] این محدودیت‌ها توسط خلبانان از چارت‌های هوایی و ممنوعیت‌های پروازی قبل از پرواز شناسایی می‌شود. ازاین‌رو دریافت گواهی‌نامه آشنایی با مقررات هوایی از سوی سازمان هواپیمایی کشوری یا نمایندگان آن‌ها الزامی است.

- محدوده پرواز به میزان حداقل ۶۰ درصد بزرگ‌ترین ضلع محدوده عکس روی زمین (معادل با تعداد پیکسل طولی عکس ضربدر GSD) در مرز بیرونی حد پروژه لحاظ می‌شود.[۲۵]

تبصره: در نواحی کریدور شکل حتی اگر عرض کریدور طراحی‌شده با یک مسیر پرواز پوشش داده شود، می‌بایست تصویربرداری با حداقل دو مسیر (رفت‌وبرگشت) یا بیشتر با پوشش عرضی ۶۰ درصد انجام شود به‌طوری‌که منطقه موردنظر با پوشش کامل در حداقل دو نوار ظاهر شود.

۶-۲- تعیین امتداد نوارهای پرواز

امتداد نوارهای پرواز می‌بایست با در نظر گرفتن موارد مربوط به چهار پارامتر جهت وزش باد، جهت شیب و توپوگرافی زمین، شکل حد کار و جهت سایه‌ها طراحی شود.

- **جهت وزش باد**

در صورتی که شرایط فیزیکی پهپاد به گونه‌ای باشد که وزش باد روی پایداری آن تأثیر بگذارد باید ملاحظاتی در نظر گرفته شود:

- جهت نوارهای پرواز به‌صورت رفت‌وبرگشت و در جهت غالب وزش باد طراحی شود. البته در مورد پهپادهای بال ثابت دلتا که دم ندارند چون ناپایداری آن‌ها با کاهش وزن پهپاد و کاهش سرعت پرواز به‌شدت افزایش می‌یابد، بهتر است برای جلوگیری از مشکلات تغییرات پوشش طولی، نوارهای پرواز در راستای عمود برجهت غالب وزش باد طراحی شود.

- با توجه به تغییرات پوشش طولی نسبت به طراحی اولیه بر اثر وزش باد، بهتر است تنظیمات اتوپایلوت روی تصویربرداری با باز مکانی ثابت و نه زمان ثابت قرار گیرد. لازم به ذکر است تصویربرداری با پوشش طولی کمتر از ۶۰٪ به‌هیچ‌وجه مجاز نمی‌باشد.

- **جهت شیب و توپوگرافی زمین**

پیش‌فرض در تصویربرداری هوایی فتوگرامتری، هدایت پهپاد در ارتفاع مطلق ثابت است. تغییرات ارتفاع پرواز یا GSD به دلیل شیب و توپوگرافی زمین، به میزان ۱۰٪ مجاز است اما اگر تغییرات ارتفاع بیشتر از این میزان شد، می‌بایست نوارهای پرواز در جهت غالب منحنی میزان‌های منطقه طراحی شود و ارتفاع پرواز هر نوار را متناسب با تغییر ارتفاع متوسط پروفیل مربوطه روی سطح زمین تغییر داد.

- **شکل حد کار:** اگر منطقه کشیدگی داشته باشد ترجیح بر آن است که طراحی نوارهای پرواز در پرنده‌های بال ثابت در راستای طولی منطقه و در پرنده‌های مولتی روتور در راستای طولی یا عرضی منطقه انجام شود مگر اینکه قیود فوق مانع آن شود.

---

[۲۵] علت ایجاد این حد اضافی پرواز، حفظ استحکام شبکه و کیفیت بازسازی سه‌بعدی در حاشیه مرزی حد کار می‌باشد.

- **جهت سایه‌ها:** درصورتی‌که تصویربرداری هوایی در نوارهای هم‌جهت با امتداد سایه‌ها (راستای شرقی-غربی) انجام شود تغییر طول سایه در عکس‌های متوالی و نوارهای جانبی به حداقل رسیده و کیفیت تناظر یابی تصاویر بالاتر و کیفیت بصری ارتوفتوموزائیک بهتر می‌شود مگر اینکه قیود دیگر فوق مانع آن شود.

۲-۷- تعیین پوشش طولی و عرضی تصاویر

در تعیین پوشش طولی و عرضی تصاویر، نکات ذیل باید مورد توجه قرار گیرد:

- پوشش طولی و عرضی تصاویر در حالت ایده آل ۸۰٪-۸۰٪ است. هیچ یک از پوششهای طولی و عرضی نباید از ۶۰٪ کمتر شود و مجموع پوشش طولی و عرضی حداقل ۱۳۰ درصد باشد.
- تغییرات پوشش طولی و عرضی تصاویر (وابسته به عواملی مانند وزش باد، سرعت پرنده، مدت‌زمان موردنیاز بین دو تصویربرداری متوالی، وجود تیلت در تصویربرداری، ارتفاع پرواز و فاصله کانونی دوربین) نسبت به پوشش‌های طراحی شده در حد ۵٪ مجاز می‌باشد.[۲۶]
- هرچه پوشش تصاویر بیشتر شود تعداد تصاویر همپوشان[۲۷] برای بازسازی سه‌بعدی یک نقطه بیشتر شده و دقت، قابلیت اطمینان و همگونی دقت مختصات سه‌بعدی نقاط بخصوص ازلحاظ ارتفاعی در تولید مدل رقومی سطح بیشتر می‌شود. همچنین کیفیت ارتوفتوموزائیک به خاطر کاهش نواحی پنهان و استفاده از نواحی مرکزی‌تر تصاویر افزایش می‌یابد.
- درصورتی که انحراف معیار مشاهدات PPK/RTK هوایی از ۱:۴ خطای نقشه بیشتر نباشد، با توجه به افزایش استحکام شبکه می‌توان پوشش‌های طولی و عرضی را تا ۶۰٪-۶۰٪ کاهش داد.

۲-۸- طراحی نوارهای متقاطع (کراس)

- در مناطق کوهستانی شدید یا شهری شلوغ با ساختمان‌های بلند به‌منظور افزایش قابلیت دید و استحکام شبکه و ارتقاء کیفیت خروجی می‌بایست طراحی نوارهای متقاطع (کراس) انجام شود.
- در مناطق مسطح بهتر است برای افزایش استحکام شبکه و کاهش وابستگی پارامترهای توجیه داخلی و خارجی، حداقل یک نوار کراس در میانه بلوک طراحی شود.

---

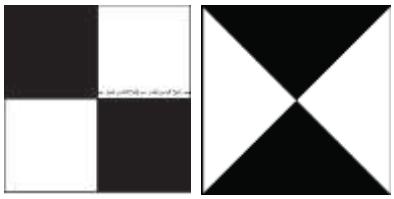
[۲۶] جهت حفظ تغییرات پوشش طولی نسبت به پوشش طولی طراحی شده (کمتر از ۵٪) تنظیمات اتو پایلوت روی تصویربرداری با باز مکانی ثابت و نه زمان ثابت قرار گیرد.

[۲۷] رابطه کلی برای محاسبه تعداد تصاویر همپوشان n، با توجه به پوشش طولی p_x و عرضی p_y برابر است با: $n= 1/[(1-p_x)(1-p_y)]$

۹-۲- طراحی شکل و ابعاد تارگت زمینی

برای افزایش دقت مثلث‌بندی هوایی، نصب تارگتهای با شکل متقارن، کنتراست بصری بالا و ابعاد مناسب قبل از پرواز در سطح منطقه توصیه‌شده است. درواقع این امر باعث می‌شود دقت قرائت عکسی نقاط کنترل و چک زمینی تا ۱:۱۰ ابعاد پیکسل به‌شرط رعایت ملاحظات زیر افزایش یابد.

- **شکل تارگت:** اصل تقارن مرکزی در آن رعایت شود (مشابه اشکال زیر).



- **اندازه تارگت:** ابعاد کلی تارگت می‌بایست حداقل 10 برابر GRD و حداکثر 20 برابر GRD باشد. ضخامت خطوط تارگت کراس نیز می‌بایست بین یک GRD تا دو برابر GRD باشد.
- **مرکز تارگت:** محل مرکز تارگت حداقل با دقت یک‌دهم GRD با یک نقطه یا کراس علامت‌گذاری شود.

۱۰-۲- طراحی نقاط کنترل و چک زمینی

نقاط کنترل و چک، بر اساس حد کار کارفرما در سطح منطقه جانمایی می‌شوند. بدین ترتیب لازم است جانمایی نقاط در محیط‌هایی مانند گوگل ارث Google Earth انجام شود تا دسترسی به نقطه و محل مناسب آن نیز مدنظر قرار گیرد. در طراحی نقاط کنترل و چک نکات ذیل می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

- فواصل و تراکم نقاط کنترل باید در حدی باشند که خطای مثلث‌بندی هوایی روی نقاط کنترل و چک از نصف خطای نقشه (مطابق پیوست ۵) کمتر باشند.
- نقاط کنترل حتی برای مقاصد تولید محصولات مکانی مسطحاتی، به‌صورت سه‌بعدی یا زوج مسطحاتی-ارتفاعی برداشت شوند.
- به‌طورکلی نقاط کنترل در دور تا دور بلوک در محل شکستگی‌ها به‌گونه‌ای جانمایی شوند که کل حد کار را پوشش دهند.
- نقاط کنترل در میانه بلوک با تراکم مناسب طراحی شوند.
- نقاط کنترل در ناحیه مشترک مرزی بین زیر بلوک‌ها مشابه با تراکم دورتادور بلوک طراحی و اندازه-گیری شوند.
- در پروژه‌های کوریدوری که دقت ارتفاعی نقشه اهمیت دارد توصیه می‌شود نقاط ارتفاعی در راستای مسیر، به نحوی طراحی شوند که در هر تصویر یک نقطه کنترل قرار گیرد.

- در صورت به‌کارگیری مشاهدات RTK[۲۸] /PPK[۲۹]هوایی می‌توان تراکم نقاط کنترل را به میزان قابل توجهی کاهش داد اما به‌واسطه ملاحظات معرفی ارتفاع ژئوئید، قابلیت اطمینان بیشتر به نقشه بخصوص در تهیه محصولات مکانی ارتفاعی و نقشه‌برداری کوریدور (به‌واسطه استحکام پایین شبکه تصاویر) به‌کارگیری تعداد مناسب نقاط کنترل زمینی ضروری است.
- در انتخاب فواصل نقاط کنترل موارد ذیل توصیه می‌شود:
  - فواصل نقاط کنترل در حالت پوشش طولی و عرضی ۸۰٪-۸۰٪ تا سه برابر ابعاد عکس (ضلع بزرگ‌تر عکس) روی زمین در نظر گرفته شود.
  - فواصل نقاط کنترل در حالت پوشش طولی و عرضی ۶۰٪-۶۰٪ تا دو برابر ابعاد عکس روی زمین باید کاهش یابد.
  - در صورت به‌کارگیری مشاهدات PPK/RTK هوایی با انحراف معیار ۱:۴ خطای متوسط نقشه، آنگاه می‌توان فاصله نقاط کنترل را تا ده برابر ابعاد متوسط عکس روی زمین یا حداکثر ۲,۵ کیلومتر روی زمین افزایش داد[۳۰].
  - اگر هدف از تصویربرداری، صرفاً تولید محصولات مکانی مسطحاتی باشد، فواصل ذکر شده نقاط کنترل می‌تواند در یک ضریب ۱,۵ ضرب شود.
- برای اطمینان پذیری بیشتر نتایج، وجود تعدادی نقطه چک با فواصل مناسب ضروری است. نقاط چک در میانه و مرز منطقه به‌گونه‌ای طراحی شوند که:
  - در فواصل معادل ده برابر ابعاد متوسط عکس روی زمین دست کم یک نقطه چک وجود داشته باشد.
  - تعداد نقاط چک در هیچ شرایطی نباید کمتر از سه باشد.
  - در بیشترین فاصله از نقاط کنترل مورد استفاده در مثلث‌بندی قرار گیرند.
  - تعدادی از نقاط چک روی مرز منطقه همچنین در اطراف مناطق گپ که نقطه گرهی نداریم اخذ شود.
  - برای ارزیابی دقت ابر نقطه، نقاط چک ترجیحاً در سایه‌ها، اطراف نواحی پنهان و در مرز با تغییرات عمق شدید نباشد.

---

[۲۸] Real Time Kinematic

[۲۹] Post Processing Kinematic

[۳۰] در خصوص حدود آستانه ده برابر یا ۲,۵ کیلومتر، این مقادیر با توسعه فناوری‌ها و قابلیت اطمینان به آن‌ها در عمل، می‌تواند در نسخه‌های بعدی دستورالعمل تغییر یابد.

تذکر: لازم است دقت تمامی نقاط چک مطابق دقت مسطحاتی و ارتفاعی مورد نیاز پروژه تأمین شود در غیر این صورت می‌بایست نقاط کنترل زمینی تکمیلی در نواحی خطادار اضافه شود.

فصل ۳: عملیات میدانی

۱-۳- عملیات نقشه‌برداری زمینی

عملیات نقشه‌برداری زمینی شامل مراحل زیر می‌باشد:

۱-۱-۳- ایجاد شبکه ایستگاه‌های ماندگار:

- ایستگاه‌های ماندگار به شکل بنچ مارک بتن درجا، حکاکی روی سنگ ریشه دار یا نصب پلاک روی بتن مطابق دستورالعمل تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس سازمان نقشه‌برداری کشور (پیوست نامه شماره ۶۳۳۵ مورخ ۱۳۹۰/۰۳/۲۳) در منطقه ایجاد می‌شود.
- حداکثر فاصله ایستگاه‌های ماندگار از هم برای تهیه نقشه با مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰، ۱:۱۰۰۰ و ۱:۵۰۰ باید به ترتیب ۲، ۱,۵ و ۱ کیلومتر باشد. در مسیرها (کوریدور) محل ایستگاه‌های ماندگار باید به‌صورت زیگزاگ در دو طرف محور و با لحاظ این فواصل باشد.
- تعیین مختصات سه‌بعدی ایستگاه‌های ماندگار با انتقال از ایستگاه‌های دائم سازمان نقشه‌برداری و مطابق با دستورالعمل پیوست نامه شماره ۶۳۳۵ مورخ ۱۳۹۰/۰۳/۲۳ انجام می‌گیرد.
- ارتفاع مورد استفاده در ایستگاه‌های ماندگار، نقاط کنترل، نقاط چک، نقشه و کلیه محصولات مکانی ارتفاعی و سه‌بعدی باید ارتومتریک باشد و صرفاً ارائه ارتفاع ژئودتیک مجاز نیست.
- به منظور تبدیل ارتفاع ژئودتیک به ارتومتریک باید ارتفاع ژئوئید اندازه‌گیری شود. این کار به دو روش ترازیابی مستقیم زمینی و به‌کارگیری مدل‌های جهانی یا محلی ژئوئید انجام می‌گیرد. درصورتی‌که کارفرما روی تهیه ژئوئید به روش ترازیابی مستقیم تأکید نداشته باشد و دقت ارتفاعی بهتر از ۶۰ سانتیمتر مورد انتظار نباشد، در حال حاضر می‌توان از مدل محلی ژئوئید ایران ارائه‌شده توسط سازمان نقشه‌برداری از وبگاه http://www.irg2016.ir استفاده نمود. به‌هرحال باید روش اندازه‌گیری ژئوئید در متادیتای محصولات مکانی ذکر شود.
- از آنجا که در اکثر موارد نقشه‌های تهیه‌شده در سیستم مختصات UTM می‌باشند و اکثراً در پروژه‌های عمرانی از مختصات محلی استفاده می‌شود، ارائه ضریب مقیاس برای تمامی ایستگاه‌های شبکه ماندگار الزامی است.

تذکر: آخرین نسخه دستورالعمل ابلاغی تهیه نقشه بزرگ مقیاس به روش زمینی ملاک عمل می‌باشد.

۲-۱-۳- نصب تارگت های نقاط کنترل و چک

کلیه تارگت ها مطابق با موقعیت طراحی شده در مرحله طراحی و جانمایی نقاط کنترل و چک (بخش ۲-۱۰)، روی زمین نصب می‌شوند. (حداکثر جابجایی ۱:۱۰ فاصله طراحی‌شده نقاط)، به‌منظور ایجاد و نصب تارگت‌ها، موارد ذیل مورد توجه قرار گیرد:

- در صورت ایجاد تارگتها توسط نوارهای پارچه‌ای، پلاستیکی و یا چاپ بر روی بنر، از میخ سر کج L در چهارگوشه و مرکز به منظور نصب تارگت استفاده شود.
- تارگتها می‌بایست در سطح نسبتاً صاف به نحوی قرار گیرند که به‌خوبی در تصاویر دیده شوند.
- درصورتی‌که تارگت گذاری قبل از پرواز انجام نشود، یا تعدادی از تارگتها در هنگام عملیات پرواز تخریب‌شده و از دست رفته باشند، باید نقاط کنترل و چک تکمیلی بر اساس دستورالعمل تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس سازمان نقشه‌برداری کشور اخذ شده و با ترسیم کروکی، تعیین مختصات شوند.
- در مقایسه بین عملیات استرئو زمینی و تارگت‌گذاری، اولویت با نصب تارگت است زیرا دقت قرائت مشاهدات عکسی نقاط کنترل و چک می‌تواند از نیم پیکسل به یک‌دهم پیکسل افزایش یابد.

۳-۱-۳- تعیین مختصات سه‌بعدی تارگت های نقاط کنترل و چک

- در تعیین موقعیت تارگت ها از عدم جابجایی آن‌ها در فاصله زمانی بین تصویربرداری و اندازه‌گیری، اطمینان حاصل شود. برای این منظور توصیه می‌شود در زمان اندازه‌گیری تارگت از آن تصویری که نشان‌دهنده موقعیت تارگت نسبت به عوارض اطراف باشد گرفته شود.
- تعیین مختصات تارگتهای غیر ماندگار به عنوان نقاط کنترل و چک زمینی در شبکه فتوگرامتری، باید بر مبنای شبکه ایستگاه‌های ماندگار انجام شود.
- اندازه‌گیری مختصات نقاط کنترل و چک بایستی از نزدیک‌ترین نقطه ماندگار انجام گیرد.
- در تعیین موقعیت تارگتها علاوه بر روش استاتیک می‌توان از روش کینماتیک نیز استفاده نمود با در نظر گرفتن این نکته که دقت مختصاتی یا RMSE تارگتها می‌بایست کمتر از ۱:۴ خطای هندسی مجاز نقشه باشد.
- در صورت عدم تارگت‌گذاری و برداشت نقاط کنترل به روش استرئو زمینی، می‌بایست برداشت هر نقطه کنترل به صورت جفت نقطه مسطحاتی-ارتفاعی مطابق با آخرین دستورالعمل‌های موجود در این زمینه صورت پذیرد.
- درصورتی‌که هدف از روش فتوگرامتری پهپاد تولید نقشه سه‌بعدی باشد، ارتفاع نقاط کنترل باید ارتومتریک بوده و سازگار با شبکه نقاط ارتفاعی سازمان نقشه‌برداری کشور باشد. لذا بایستی با ترازیابی مستقیم یا GPS Leveling ارتفاعات ارتومتریک شبکه سازمان را به نقاط کنترل منتقل نمود. روش GPS Leveling به شرطی قابل‌قبول است که فاصله از نقطه مرجع بیش از دو کیلومتر در مناطق کوهستانی و چهار کیلومتر در مناطق دشت نشود.

۳-۲- عملیات تصویربرداری هوایی

در انجام عملیات تصویربرداری هوایی با پهپاد موضوعاتی از قبیل مجوز پرواز، محدوده زمانی تصویربرداری هوایی، تعیین ایستگاه‌های زمینی پرواز و کنترل‌های قبل، حین و بعد از پرواز اهمیت دارند که در ادامه توضیح داده شده است.

۳-۲-۱- مجوز پرواز و تصویربرداری هوایی

به‌طورکلی اخذ سه دسته مجوز باید مدنظر قرار گیرد:

- **اخذ مجوز ایمنی** از سازمان هواپیمایی کشوری شامل مواردی مانند صدور گواهینامه خلبانی، کارت شناسایی پهپاد و مجوز برای پرواز در مناطق و ارتفاع‌های با محدودیت پروازی.
- **اخذ مجوز امنیتی** از مراجع ذیصلاح
- **اخذ مجوز فنی** از سازمان نقشه‌برداری کشور یا نهادهای مرجع رسمی دیگر در حوزه نقشه‌برداری و مورد تأیید سازمان نقشه‌برداری کشور. در این رابطه شرکت باید علاوه بر کسب حداقل رتبه سه نقشه‌برداری زمینی و فتوگرامتری، مجوزهای لازم مربوط انجام عملیات فتوگرامتری پهپاد را طبق آخرین مصوبات دفتر نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه اخذ نمایید.

لازم به ذکر است آخرین دستورالعمل‌های ابلاغی توسط مراجع قانون‌گذاری در حوزه‌های ایمنی، مجوز پرواز و فنی ملاک عمل خواهد بود. اخذ مجوزهای پرواز باید بر اساس دستورالعمل‌های ابلاغی و منتشر شده دستگاه‌های ذی‌ربط در زمان پرواز باشد.

۳-۲-۲- محدوده زمانی و مکانی تصویربرداری هوایی

- تعیین تاریخ و زمان تصویربرداری بستگی زیادی به نیاز پروژه همچنین ویژگی‌های منطقه مورد تصویربرداری دارد. به‌طورکلی بهترین زمان برای تصویربرداری هوایی به‌منظور تهیه نقشه و اطلاعات مکانی زمانی است که هوا صاف و فاقد گردوغبار بوده، شرایط آب و هوایی پایدار باشد، پوشش گیاهی سطح زمین در وضعیت حداقل رشد و درختان فاقد برگ باشند.
- محدوده ساعتی پرواز باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که با توجه به فصل و روز عملیات پرواز، ارتفاع خورشید بالاتر از ۴۵ درجه بالای افق قرار داشته باشد تا ضمن برخورداری از حداکثر نور، از وجود سایه‌های بلند در تصاویر اجتناب شود.
- تصویربرداری از مناطق پوشیده از برف فصلی (غیر دائم)، در صورتی که قطر پوشش برف در حدی باشد که عوارض موردنظر قابل‌شناسایی باشند، مجاز می‌باشد.[۳۱]

[۳۱] منطقه پوشیده از برف فصلی غیرقابل‌شناسایی حداکثر ۱۰ درصد سطح هر عکس باشد.

- همانطور که در بخش ۲-۵ ذکر شد تصویربرداری در یک محدوده بزرگ‌تر نسبت به حد کار پروژه انجام می‌شود همچنین در طراحی مسیرهای پرواز باید توجه داشت که چرخش‌ها و تغییرات ارتفاع پرنده در انتهای رنهای پروازی، خارج از این حد پرواز صورت گیرد.

۳-۲-۳- تعیین ایستگاه‌های زمینی پرواز

- با توجه به محدودیت مداومت پروازی و برد مطمئن پرنده، برای محدوده پرواز مورد نظر، یک یا چند ایستگاه زمینی پرواز تعیین می‌شود به‌طوری‌که بتوان با توجه به محدودیت‌های فوق، از طریق این ایستگاه‌ها کل منطقه را تصویربرداری هوایی نمود.
- محل ایستگاه باید ترجیحاً دید آسمانی و زمینی باز و بدون مانع داشته، بر روی زمین‌های مرتفع‌تر از اطراف قرار داشته، از مراکز جمعیتی بیشترین فاصله را داشته و از دکل‌های برق و مخابرات تا حد امکان دور باشد و با توجه به شرایط و امکانات پهپاد، از امکان ایجاد باند یا ایستگاه مناسب برای برخاست و نشست پرنده برخوردار باشد.
- از هر ایستگاه پرواز می‌توان چندین پرواز انجام داد و تمام یا بخشی از منطقه پروازی را تصویربرداری نمود.
- بین مناطق پروازی باید به اندازه نصف طول عکس روی زمین هم‌پوشانی وجود داشته باشد.

۴-۲-۳- کنترل‌های قبل از پرواز

- از صدور مجوزهای موردنیاز مطمئن بوده و ملاحظات ایمنی پرواز را رعایت کند.
- وضعیت جوی در منطقه را بررسی نموده و بعد از تعیین سرعت و جهت باد، تناسب آن با حداکثر باد قابل‌تحمل ذکرشده در کتابچه راهنمای پهپاد را کنترل نماید.
- بعد از نصب و راه‌اندازی پهپاد، بازدید چشمی بخش‌های پهپاد را انجام داده و از صحت عملکرد فرمان‌های پرواز، تجهیزات پهپاد و ایستگاه کنترل زمینی اطمینان یابد.
- مکان ایستگاه‌های پروازی را بعد از شناسایی منطقه مشخص نماید.
- تنظیمات دوربین را برای کسب تصاویر باکیفیت و با هندسه پایدار با توجه به شرایط نوری و فیلتر نوری مورداستفاده در دوربین انجام دهد.
- برنامه‌ریزی برای تست زیمنس و تست حد تفکیک ارتفاعی را با نصب تارگتهای مربوطه در محل مناسب انجام دهد.
- از نصب تارگت های نقاط کنترل و چک در سطح منطقه مطمئن شود.

- بهبودهای مورد نیاز برای طراحی پرواز را با توجه به شرایط موجود انجام دهد (مثلاً تغییر جهت نوارها به خاطر تغییر جهت باد) و نقاط مسیر طراحی پرواز را در اتو پایلوت پهپاد بارگذاری نماید.
- درصورتی‌که چند پرواز برای تصویربرداری کامل منطقه لازم است، حداقل پوشش تصاویر در فصل مشترک پروازهای مختلف رعایت گردد.
- با توجه به شرایط آب و هوایی و موانع فیزیکی و فرکانسی در منطقه، اقدام به پرواز دادن پهپاد طبق کتابچه راهنمای آن و آموزش‌های استاندارد نماید.

۳-۲-۵- کنترل‌های حین پرواز

- تا حد امکان پهپاد در دید چشمی خلبان قرار داشته باشد.
- از عملکرد مناسب پرنده و دوربین و تجهیزات مخابراتی در حین پرواز اطمینان یابد.
- ناوبری پرنده روی مسیرهای طراحی‌شده و تصاویر برداشتی را لحظه‌به‌لحظه مانیتور نماید.
- توجه به حضور پرنده‌ها یا اشیاء مزاحم در آسمان داشته و اقدامات ایمنی را انجام دهد.
- از اخذ تصاویر به تعداد و پوشش کافی از تارگت زیمنس و تارگت حد تفکیک ارتفاعی اطمینان یابد.
- در زمان اتمام پرواز، ملاحظات ایمنی برای فرود پرنده را مطابق کتابچه راهنمای آن رعایت شود.
- پروتکل‌های اخلاق حرفه‌ای و حفظ حریم خصوصی در حین پرواز را رعایت نماید.

۳-۲-۶- کنترل‌های بعد از پرواز

- از کیفیت بصری تصاویر از نظر روشنایی، کنتراست، ISO و کشیدگی تصویر بخصوص در گوشه‌های تصویر اطمینان حاصل نماید (میزان کشیدگی تصویر حداکثر نیم پیکسل باشد).
- اندکس مراکز تصاویر یا مسیر پرواز را بررسی نموده و از عدم وجود گپ، پوشش کامل منطقه و عدم وجود تیلت بالای تصاویر(در تصویربرداری قائم تیلت به‌صورت معمول زیر ۵ درجه بوده و نباید از ۱۵ درجه بیشتر باشد) اطمینان یابد.

۳-۲-۷- تهیه گزارش تصویربرداری

فرم گزارش عملیات تصویربرداری و جداول مربوط به هر پرواز مطابق پیوست ۶ تهیه و ارائه شود.

۳-۲-۸- تهیه اندکس پرواز

اندکس پرواز می‌بایست با فرمت برداری و مطابق با مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی جلد ۵-تهیه اندکس طراحی پرواز، تهیه و ارائه شود.

۳-۳- انجام مشاهدات تعیین موقعیت مراکز تصویربرداری و تعیین وضعیت تصاویر

۳-۳-۱- مشاهدات تعیین موقعیت مراکز تصویربرداری

مشاهدات تعیین موقعیت مراکز تصویربرداری به سه روش مستقل و به‌تنهایی، RTK و PPK قابل انجام است.

در انجام مشاهدات تعیین موقعیت مراکز تصویربرداری موارد زیر می‌بایست مورد توجه قرار گیرد:

- به‌کارگیری گیرنده‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای با قابلیت ثبت وقایع[۳۲]
- نصب آنتن گیرنده حتی‌الامکان در امتداد قائم بالای دوربین تصویربرداری و محلی از پرنده که مانعی برای دریافت امواج ماهواره وجود نداشته باشد. در هر صورت می‌بایست خروج از مرکزیت آنتن نسبت به مرکز مختصات دوربین[۳۳] حداقل بوده و مشخص باشد.
- قرار داشتن حداقل پنج تا شش ماهواره در ارتفاع بیشتر از ۱۵ درجه نسبت به افق در معرض دید آنتن گیرنده و مقدار PDOP در طول پرواز در محدوده ۳ تا ۵
- انتخاب ایستگاه مرجع زمینی در مکان‌هایی بدون وجود مانع بین امواج ارسالی از ماهواره‌ها تا گیرنده مستقر بر روی ایستگاه
- عدم وجود سطوح منعکس‌کننده امواج در مجاورت ایستگاه‌های مرجع زمینی به‌منظور جلوگیری از پیدایش پدیده چند مسیری شدن امواج[۳۴] یا استفاده از آنتن‌های مجهز به تجهیزات حذف این پدیده
- ثبت اطلاعات در گیرنده مستقر روی ایستگاه‌های مرجع زمینی و گیرنده نصب‌شده در پهپاد به‌طور هم‌زمان و با نرخ یکسان

۳-۳-۲- مشاهدات تعیین وضعیت تصاویر

مشاهدات تعیین وضعیت تصاویر با استفاده از سیستم اندازه‌گیری اینرشیال IMU[۳۵] انجام می‌شود. ازآنجاکه IMU به دوربین متصل می‌شود، در صورت آگاهی از زوایای اتصال[۳۶]، می‌توان وضعیت لحظه‌ای دوربین را با نرخ بالا (معمولاً ۱۰۰ تا ۴۰۰ هرتز) اندازه‌گیری نمود و مشاهدات تعیین وضعیت تصاویر را به دست آورد.

---

[32] Input Event Marking
[33] Lever Arm
[34] Multipath
[35] Inertial Measuring Unit
[36] Boresight misalignment angles

۳-۴- عملیات تکمیلی زمینی

عملیات تکمیلی زمینی شامل مواردی مانند گویا سازی نقشه، تکمیل زمینی عوارض فتوگرامتری، تعیین حدود پارسلها و جداسازی بالکنها مطابق با شرح خدمات پروژه انجام شود.

فصل ۴: پردازش داده‌ها و محاسبات مثلث‌بندی هوایی

پس از عملیات طراحی و جمع‌آوری داده‌ها با کیفیت و کمیت موردنظر، در این مرحله این داده‌ها مورد پردازش قرار گرفته و زیرساخت هندسی تولید محصولات مکانی را فراهم می‌آورند. در این فصل موضوعاتی شامل پردازش داده‌های کمکی، پیش‌پردازش تصاویر، مثلث‌بندی هوایی و تصحیح هندسی تصاویر تشریح می‌شوند.

۴-۱-پردازش داده‌های کمکی

داده‌های کمکی در فتوگرامتری به کلیه داده‌های هندسی به‌جز مختصات عکسی و نقاط کنترل زمینی اطلاق می‌شود که باعث استحکام شبکه و بهبود نتایج مثلث‌بندی هوایی شده و نیاز به عملیات میدانی برای برداشت نقاط کنترل زمینی را کاهش می‌دهند. داده‌های کمکی می‌تواند شامل مشاهدات تعیین موقعیت مراکز تصویربرداری، مشاهدات تعیین وضعیت تصاویر، مشاهدات ژئودتیک عوارض زمینی (فاصله، زاویه)، مشاهدات ارتفاعی و اختلاف ارتفاع و مشاهدات مبتنی بر نقشه‌ها و مدل‌های سه‌بعدی موجود باشد. روش‌های مثلث‌بندی هوایی با به‌کارگیری هر یک از مشاهدات فوق به‌منظور تعیین پارامترهای توجیه داخلی، خارجی و مختصات سه‌بعدی نقاط گرهی توسعه یافته است. در ادامه توضیحاتی در خصوص پردازش مشاهدات تعیین موقعیت و وضعیت تصاویر که در حال حاضر در فتوگرامتری پهپاد متداول هستند بیان می شود.

۴-۱-۱- پردازش مشاهدات تعیین موقعیت مراکز تصویربرداری و تعیین وضعیت تصاویر

نرم‌افزارهای محاسبات GNSS/IMU در فتوگرامتری از سه مرحله کلی تشکیل می‌شوند:

- **محاسبات PPK تعیین موقعیت مرکز فاز آنتن GNSS متحرک در فواصل نسبتاً بلند**

هرچه سرعت پرنده بیشتر و نرخ GNSS متحرک و ایستگاه‌های ثابت کمتر باشد فواصل فوق بلندتر است. محاسبات PPK باید با استفاده از مشاهدات چند ایستگاه مرجع و معلوم زمینی انجام شود. هر چه تعداد و فاصله این ایستگاه‌ها بیشتر باشد (حالت ایده آل سه ایستگاه زمینی در شعاع ده کیلومتری از پرنده)، محاسبات PPK تعیین موقعیت پرنده با صحت بالاتری انجام می‌شود.

- **محاسبات متراکم سازی مسیر حرکت[۳۷] و وضعیت لحظه‌ای پرنده از طریق تلفیق مشاهدات IMU و GNSS**

تلفیق این مشاهدات معمولاً با فیلتر کالمن انجام شده و پارامترهای کالیبراسیون مانند خروج از مرکزیت آنتن نسبت به مرکز مختصات دوربین (lever arms)، زوایای اتصال IMU و دوربین (Boresight misalignment angles) و هم‌زمانی ساعت GNSS و IMU مورد نیاز می‌باشد. همچنین IMU باید نرخ تعیین موقعیت چند ده برابری GNSS داشته باشد.

- **استخراج پارامترهای توجیه خارجی تصویر**

[37] Trajectory

استخراج پارامترهای توجیه خارجی تصاویر از طریق درونیابی روی پارامترهای موقعیت و وضعیت GNSS/IMU در مرحله قبل انجام می‌شود. برای این منظور باید ساعت دوربین و GNSS هم زمان شده و خطای عدم هم‌زمانی در کالیبراسیون سیستم برآورد شده باشد. برداشت پارامترهای توجیه خارجی تصاویر در سیستم‌های جدیدتر می‌تواند از طریق ارسال پالس از سوی دوربین در لحظه دقیق تصویربرداری به GNSS/IMU به‌طور مستقیم صورت گرفته و بدون درون‌یابی انجام شود.

۴-۲-پیش پردازش تصاویر

درصورتی‌که تصاویر حاصل از دوربین‌های غیر متریک در فتوگرامتری پهپاد در شرایط نوری مناسبی اخذ نشده باشند، قبل از استخراج و تناظر یابی عوارض تصویری، می‌بایست نویز[۳۸] تصویری را ارزیابی و در صورت امکان کاهش داد و با بهبود روشنایی و کنتراست تصاویر آن‌ها را همگون نمود.

۴-۲-۱- ارزیابی و کاهش نویز تصاویر

وجود نویز در تصاویر موجب کاهش کیفیت ابر نقطه گرهی و متراکم می‌شود که تأثیر آن بخصوص در محصولات ارتفاعی مشهود است. برای کاهش اثر نویز، با فرض تابع توزیع گوسی[۳۹] برای آن، می‌توان ابتدا از طریق تعیین یک ناحیه با روشنایی و رنگ یکنواخت، انحراف معیار درجات روشنایی در آن ناحیه را تخمین زده و سپس تصاویر با اعمال فیلتر گوسین بهبود یابند.

۴-۲-۲- بهبود روشنایی و کنتراست تصاویر

بهبود روشنایی و کنتراست تصاویر موجب می‌گردد تناظر یابی عوارض تصویری باکیفیت بیشتری انجام شود و کیفیت ارتوفتوموزائیک و مدل‌های سه‌بعدی افزایش‌یافته و میزان تفسیرپذیری عوارض در تبدیل و ترسیم بهبود یابد. بهبود روشنایی و کنتراست تصاویر در دو مرحله متوالی کالیبراسیون رادیومتریک دوربین و تعدیل رادیومتریکی تصاویر انجام می‌شود. همسان‌سازی رنگی بین تصویر و واقعیت از طریق کالیبراسیون رادیو متریک دوربین[۴۰] انجام می‌شود. همچنین تغییرات روشنایی و کنتراست در تصاویر مختلف به‌واسطه تغییرات شرایط نورپردازی در طول مدت تصویربرداری، از طریق تعدیل رادیو متریک[۴۱] تصاویر رفع می‌شود.

---

[۳۸] در فتوگرامتری منظور از نویز مشاهدات عکسی، خطاهای اتفاقی است که باید آن‌ها را بر اساس مدل آماری به شکل مناسبی بین مشاهدات توزیع نمود.

[۳۹] تابع توزیع گوسی یک تابع توزیع آماری برای متغیرهای اتفاقی است. طبق تئوری اندازه‌گیری کلیه مشاهدات و مجهولات در نقشه‌برداری در صورت تکرار کافی و حذف خطاهای سیستماتیک و وابسته در آن، رفتار آماری مطابق با تابع توزیع گوسی خواهند داشت.

[40] Radiometric Calibration

[41] Radiometric Adjustment

در مرحله کالیبراسیون رادیومتریک، خطاهایی مانند تصحیح روشنایی ناشی از زاویه تابش خورشید، تصحیح خطای افت روشنایی در گوشه‌های تصویر، تصحیح کاهش روشنایی سطوح براق و مانند آن با مدل‌های رادیومتریکی برطرف می‌شود. در مرحله تعدیل رادیومتریک، باقیمانده ناسازگاری‌های رادیومتریکی بین تصاویر بر اساس یک مدل خطی که روشنایی و کنتراست تصاویر را تنظیم می‌کند کاهش می‌یابد. تعدیل رادیومتریک از طریق تصحیح هیستوگرام تصاویر و اعمال تصحیحات روشنایی و کنتراست انجام می‌شود. بهتر است تصحیح هیستوگرام تصاویر در هر نوار تصویربرداری به‌صورت یکسان صورت بگیرد و تغییرات تصحیحات در نوارهای متوالی به‌صورت تدریجی باشد.

۴-۲-۳- کاهش تصاویر ۱۶ بیتی خام به ۸ بیتی

معمولا تصاویر خام RAW دوربین‌های غیرمتریک موجود با توان تفکیک طیفی ۱۶ بیتی (۱۰ تا ۱۲ بیت واقعی) می‌باشند. به منظور کار با نرم‌افزارهای پردازشی، می بایست این تصاویر به تصاویر رنگی RGB و ۸ بیتی تبدیل شوند.

۴-۳- مثلث‌بندی هوایی

هدف از مثلث‌بندی هوایی محاسبه پارامترهای توجیه داخلی و خارجی تصاویر است که از طریق استخراج نقاط گرهی عکسی و با استفاده از مختصات نقاط کنترل زمینی و مشاهدات کمکی انجام می‌گیرد.

در این بخش مراحل متداول مثلث‌بندی هوایی در نرم‌افزارهای مربوطه، شامل تشکیل بلوک فتوگرامتری، بخش‌بندی به زیر بلوک‌های فتوگرامتری، استخراج و پالایش نقاط گرهی، تنظیم پارامترهای کالیبراسیون و خود کالیبراسیون[۴۲]، معرفی مشاهدات نقاط کنترل و چک به بلوک فتوگرامتری، معرفی مشاهدات تعیین موقعیت و وضعیت تصاویر و وزن دهی مشاهدات، توضیح داده شده و نکاتی که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد بیان می‌شود.

نرم‌افزار مورداستفاده برای پردازش داده‌ها و تعیین پارامترهای توجیه خارجی تصاویر پهپاد لازم است دارای قابلیت‌های زیر باشد:

- انعطاف‌پذیر بودن نسبت به ترتیب و فرمت داده‌های ورودی
- دارای توانایی ارائه نتایج در فرمت‌های مختلف
- امکان معرفی پارامترها و وزن‌های تعیین‌شده برای مشاهدات
- امکان تعیین پارامترهای کالیبراسیون دوربین (مقادیر نهایی و انحراف معیار) و ارائه نتایج به فرمت‌های قابل‌استفاده در سایر نرم‌افزارها به خصوص نرم‌افزارهای ترسیم سه‌بعدی

[42] Self Calibration

- قابلیت ارائه‌ی دقت تعیین پارامترهای توجیه خارجی دوربین با معیارهایی شامل خطای مربعی متوسط باقیمانده در نقاط کنترل، خطای مربعی متوسط نسبی، خطای باقیمانده نهایی بر روی نقاط کنترل
- امکان مشخص نمودن وجود اشتباه در نقاط کنترل و نقاط چک
- قابلیت شناسایی تصاویر با پوشش کم و تیلت غیرمتعارف

۴-۳-۱- تشکیل بلوک فتوگرامتری

مراحل تشکیل بلوک فتوگرامتری به شرح ذیل است:

- معرفی فهرستی از شماره عکس و مختصات مراکز تصویربرداری و در صورت امکان وضعیت تصاویر ترجیحاً همراه با انحراف معیار آن‌ها به نرم‌افزار
- معرفی فهرستی از نام و مختصات نقاط کنترل و چک زمینی ترجیحاً همراه با انحراف معیار آن‌ها به نرم‌افزار
- حذف مراکز تصویر و نقاط کنترل و چک خارج از حد پرواز

۴-۳-۲- بخش‌بندی به زیر بلوک‌های فتوگرامتری

تمامی تصاویر پروژه در صورت امکان، می‌بایست به‌طور هم‌زمان پردازش شوند. درصورتی‌که به دلیل محدودیت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری امکان پردازش هم‌زمان وجود نداشته باشد، حداکثر تعداد عکس مناسب برای پردازش برآورد شده و بلوک به زیر بلوک‌هایی بخش‌بندی می‌شود. در بخش بندی بلوک فتوگرامتری به زیر بلوک‌ها، نکات ذیل مورد توجه قرار گیرد:

- سعی شود حتی‌الامکان خطوط برش در راستای نوارهای پرواز بوده، ابعاد زیر بلوک‌ها مشابه بوده و ابعاد طول و عرض هر زیر بلوک یکسان باشد.
- زیر بلوک‌ها در راستای عمود بر نوارهای تصویربرداری حداقل باید در دو نوار مشترک باشند و در راستای نوارهای تصویربرداری حداقل باید در سه عکس مشترک باشند.
- تصاویر و نقاط کنترل مشترک در بلوک‌های محاسباتی مجاور در نظر گرفته شده و در صورت نیاز، نقاط مشترک گرهی[۴۳] نیز اندازه‌گیری شوند.
- هر زیر بلوک به‌صورت یک پروژه جداگانه مورد پردازش قرار گرفته و محصولات مکانی حاصل از آن‌ها باهم ترکیب و یکپارچه‌سازی شوند.

[43] Manual Tie point

- برای کنترل سازگاری هندسی مرز بین زیر بلوک‌ها، علاوه بر بررسی تطابق مختصات سرشکن شده نقاط کنترل و چک زمینی در آن‌ها، باید مدل‌های سه بعدی مشترک بین آن‌ها به روش برجسته‌بینی مورد کنترل قرار گیرند.

۴-۳-۳- تنظیم پارامترهای کالیبراسیون و خود کالیبراسیون

از آنجا که دوربین‌های غیر متریک دارای عدسی، سنجنده و بدنه با هندسه ناپایدار هستند، نمی‌توان آن‌ها را مشابه دوربین‌های متریک پیش‌کالیبراسیون نمود و از پارامترهای معلوم کالیبراسیون برای پروژه‌های بعدی در مدت زمان طولانی استفاده کرد. بلکه در هر پروژه می‌بایست با استفاده از روش خود کالیبراسیون پارامترهای توجیه داخلی و اضافی را برآورد نمود.

به‌طور معمول، علاوه بر سه پارامتر توجیه داخلی نقطه اصلی xo,yo و فاصله اصلی c، ده پارامتر مدل براون[۴۴] شامل اعوجاج شعاعی عدسی k1-k4، اعوجاج خروج از مرکز p1-p4، اعوجاج افینیتی b1-b2 نیز برای مدل‌سازی اعوجاجات عکسی مورداستفاده قرار می‌گیرد. ممکن است میان تعدادی از این پارامترها به‌واسطه میزان ناپایداری آن‌ها، سطح نویز مشاهدات نقاط گرهی و ضعف شبکه، وابستگی وجود داشته باشد. وجود پارامترهای وابسته منجر به بروز خطاهای بزرگ در نتایج سرشکنی می‌شود. از این رو پارامترهای با وابستگی بالای ۹۵٪ می‌بایست از فهرست پارامترهای اضافی حذف شوند. برای بررسی وابستگی پارامترهای توجیه داخلی و اضافی با هم ابتدا ماتریس کوریانس آن‌ها برآورد شده و ماتریس وابستگی[۴۵] از روی آن به دست می‌آید.

۴-۳-۴- استخراج و پالایش نقاط گرهی

در استخراج و پالایش نقاط گرهی موارد ذیل مورد توجه قرار گیرد:

- پیش‌پردازش کاهش نویز و بهبود روشنایی و کنتراست تصاویر موجب می‌شود استخراج و تناظر یابی عوارض با موفقیت بیشتری همراه باشد.
- به‌منظور افزایش کیفیت نتایج مثلث‌بندی هوایی و خود کالیبراسیون در دوربین‌های غیر متریک، نقاط گرهی باید در سطح تصاویر به‌صورت یکنواخت پراکنده‌شده باشند همچنین توصیه می‌شود فواصل نقاط گرهی در تصاویر از ۱۰۰ پیکسل بیشتر نشود.
- استخراج نقاط گرهی بهتر است با حد تفکیک تصویر اصلی انجام شود تا بالاترین دقت مثلث-بندی هوایی حاصل شود.
- هرچه نقاط گرهی در تعداد تصاویر بیشتری دیده شوند استحکام شبکه افزایش می‌یابد.

---

[44] Brown

[۴۵] آرایه‌های ماتریس وابستگی برای دو پارامتر x و y به‌صورت $\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$ محاسبه می‌شود.

- در نواحی با نقاط گرهی کم یا بدون نقطه گرهی (یک یا چند ربع تصویر بدون نقطه گرهی باشد) تأکید می‌شود چند نقطه گرهی دستی با فواصل مناسب در تصاویر اندازه‌گیری شود و با وزن مناسب به شبکه معرفی شود تا استحکام شبکه در این مناطق حفظ شود.
- نقاط گرهی اشتباه شامل نقاط گرهی با باقیمانده‌های بالای تصویری (باقیمانده بیشتر از سه برابر انحراف معیار کل باقیمانده‌ها)، نقاط گرهی با خطای تنافر بیشتر پرتوها در هنگام تقاطع[۴۶]، نقاط گرهی با بیضوی خطای بزرگ‌تر در مختصات بازسازی‌شده سه‌بعدی[۴۷] باید فیلتر شده و از فهرست نقاط گرهی حذف گردند.
- تصاویری که تعداد نقاط گرهی بسیار کمی دارند یا خطای باقیمانده عکسی آن‌ها از سه برابر خطای متوسط باقیمانده‌های عکسی در کل بلوک بیشتر است حذف شوند یا مشاهدات نقاط گرهی آن‌ها با وزن کمتری به مثلث‌بندی هوایی معرفی شوند.
- بعد از حذف نقاط گرهی اشتباه، باندل اجستمنت[۴۸] اولیه‌ای همراه با خود کالیبراسیون و صرفاً با نقاط گرهی انجام می‌شود. از طریق تکرار باندل اجسمنت حذف نقاط گرهی اشتباه و بلاندر[۴۹] و نویزی یک یا دو بار دیگر نیز انجام می‌شود تا شبکه‌ای از نقاط گرهی با حداقل خطا حاصل شود.
- خطای متوسط باقیمانده‌های عکسی[۵۰] بسته به کیفیت و سطح ناپایداری توجیه داخلی دوربین متغیر است اما این خطای متوسط نباید بیش از یک پیکسل شود. در غیر این صورت خطاهای مثلث‌بندی هوایی روی نقاط چک همچنین ناسازگاری‌های هندسی در محصولات مکانی و پارالاکس مدل برجسته‌بینی به‌سرعت افزایش می‌یابد[۵۱].

---

[46] Reconstruction Uncertainty

[47] Projection Accuracy

[48] Bundle Adjustment

[۴۹] بلاندر (Blunder) به مشاهداتی اطلاق می‌شود که نسبت به مشاهدات اطراف خود از خطاهای بزرگ‌تری برخوردار بوده و معمولاً خطای آن‌ها بیش از ۲٫۵ برابر انحراف معیار استاندارد مورد انتظار مشاهده می‌باشد.

[50] Reprojection Error

[۵۱] برای جبران تأثیر مخرب خطاهای باقیمانده عکسی روی نقاط گرهی به میزان بیش از یک پیکسل، دو راهکار وجود دارد: الف) با آگاهی از میزان این خطا که به تجربه برای پهپاد و دوربین روی آن به دست می‌آید، این مقدار خطا برحسب پیکسل را در ضریب کاهش حد تفکیک تصویری ضرب کرده و نتیجه را به‌عنوان ضریب کاهش حد تفکیک تصویری اصلاح‌شده منظور نمود ب) می‌توان از مدل تکمیلی Image Varient اعوجاجات تصویری استفاده نمود و تأثیر ناپایداری دوربین را کاهش داد. در این صورت تصاویر تصحیح هندسی شده باید از تصاویر اولیه باز نمونه‌برداری شوند.

۴-۳-۵- معرفی مشاهدات نقاط کنترل و چک به بلوک فتوگرامتری

بعد از معرفی مشاهدات عکسی و انجام باندل اجستمنت به همراه خود کالیبراسیون و پالایش این مشاهدات، نقاط کنترل و چک زمینی به بلوک فتوگرامتری معرفی می‌شوند. در معرفی نقاط کنترل و چک زمینی نکات ذیل مورد توجه قرار گیرد:

- در مناطقی که عارضه مسطحاتی مشخصی وجود ندارد، قرائت نقاط کنترل به صورت سه‌بعدی از اولویت بالاتری نسبت به قرائت مونوسکوپیک برخوردار است. درغیراینصورت روش خودکار تناظریابی تصویری چندگانه[۵۲] توصیه می‌شود.
- در مورد نقاط کنترلی که در مرز اشیاء با اختلاف ارتفاع زیاد قرارگرفته‌اند، اعمال روش تناظر یابی تصویری کمترین مربعات معمولاً دقت قابل قبولی نمی‌دهد و بهتر است قرائت نقاط به‌صورت دستی انجام شود. اما قرائت نقاط کنترل و چک در نواحی مسطح دارای عارضه با بکارگیری روش تناظر یابی کمترین مربعات، موجب افزایش دقت قرائت‌های عکسی و افزایش سرعت کار خواهد شد.
- اگر با توجه به سطح خطا روی نقاط چک، تعداد و پراکندگی نقاط کنترل کافی نباشد، باید مجدداً عملیات برداشت نقاط کنترل زمینی به روش استرئو زمینی تکرار گردیده و نقاط تکمیلی برداشت‌شده و محاسبات مثلث‌بندی هوایی با آن‌ها تکرار شود.
- در صورتی که با اضافه کردن نقاط کنترل نیز، دقت نقاط چک افزایش نیابد، این به معنی سطح خطای هندسی مستتر در بلوک فتوگرامتری است. به بیان دیگر مشاهدات از دقت کافی برخوردار نبوده و محصولات مکانی تولید شده، صحت مورد انتظار را نخواهند داشت. در این صورت می‌بایست بلوک فتوگرامتری مربوطه مجدداً مورد بازبینی قرارگرفته و مشکلات آن از طریق شناسایی و رفع بلاندر و خطاهای سیستماتیک مشاهدات، معرفی وزن بهینه به مشاهدات، جمع‌آوری مشاهدات کمکی و بهبود خطاهای رادیومتریک و هندسی تصاویر برطرف شود. معمولاً موفقیت در این مرحله به برداشت تصاویر با GSD مناسب و پوشش تصویری بالا بستگی دارد.

۴-۳-۶- معرفی مشاهدات RTK/PPK هوایی به بلوک فتوگرامتری

مشاهدات RTK/PPK هوایی پس از انجام محاسبات مورد نیاز برای تلفیق مشاهدات GNSS/IMU و انجام درون‌یابی، به‌صورت مشاهدات موقعیت و وضعیت تصاویر درمی‌آیند. سپس پارامترهای کالیبراسیون شامل اختلاف موقعیت GNSS/IMU/Camera، اختلاف وضعیت IMU نسبت به دوربین و اختلاف زمانی ساعت دوربین و ساعت GPS، به‌عنوان پارامترهای کالیبراسیون مختصات سه‌بعدی اعمال‌شده و موقعیت و وضعیت دقیق تصاویر به دست می‌آید.

---

[52] Automatic Multiple Image Matching

در معرفی مشاهدات RTK/PPK هوایی به بلوک فتوگرامتری نکات ذیل مورد توجه قرار گیرد:

- در صورتی که در مرحله پردازش مشاهدات موقعیت و وضعیت تصاویر، پارامترهای کالیبراسیون بر روی این مشاهدات اعمال نشده باشد؛ می‌بایست این پارامترها شامل شش پارامتر شیفت و دریفت برای هر strip (تمام یا بخشی از یک نوار تصویربرداری با طول محدود) به‌منظور تعیین موقعیت و سه پارامتر زوایای اتصال IMU و دوربین Boresight misalignment angles به‌منظور تعیین وضعیت تصاویر هوایی، به‌عنوان پارامترهای اضافی کالیبراسیون مشاهدات RTK/PPK، در مثلث‌بندی هوایی لحاظ شوند.
- مشاهدات RTK/PPK هوایی با قدر مطلق باقیمانده بیشتر از سه برابر انحراف معیار کل باقیمانده‌ها باید از فهرست مشاهدات حذف شوند.
- با توجه به اینکه در فتوگرامتری پهپاد معمولاً از IMU های کم‌دقت اتوپایلوت استفاده می‌شود، این مشاهدات هنوز از دقت دوران‌های حاصل از نقاط گرهی در مثلث‌بندی هوایی کمتر هستند و از آن‌ها صرفاً در مناطقی مانند نواحی پرچالش جنگلی، بیابانی با شن روان یا تصاویر روی دریا که نمی‌توان از تصاویر، نقاط گرهی استخراج نموده و دوران‌ها را به دست آورد؛ استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از این مشاهدات به‌عنوان مقادیر اولیه با دقت کم در تشکیل بلوک و مثلث‌بندی هوایی استفاده نمود.

۴-۳-۷- وزن دهی مشاهدات

- **وزن مشاهدات نقاط گرهی خودکار**

این مشاهدات به‌واسطه تعداد بسیار بالا، بیشترین تأثیر را در نتایج سرشکنی دارد و شاید بتوان گفت مهم‌ترین پارامتر قابل تنظیم در مثلث‌بندی هوایی است. در حالت کلی انحراف معیار متوسط باقیمانده‌های عکسی در کل بلوک یا شاخص Reprojection Error، مبنای محاسبه وزن مشاهدات نقاط گرهی در سرشکنی است. توصیه می‌شود انحراف معیار نقاط گرهی (وزن برابر عکس مربع انحراف معیار است) را ۱٫۵ تا سه برابر انحراف معیار متوسط باقیمانده‌های عکسی در نظر گرفت. اگر وزن مشاهدات نقاط گرهی را بیشتر از این مقدار قرار دهیم، شبکه تصاویر قابلیت انعطاف و سازگاری خود با مشاهدات دیگر را از دست داده و خطا روی مشاهدات RTK/PPK یا نقاط کنترل افزایش می‌یابد اما نیاز به این دو گروه مشاهدات کمتر می‌شود. بالعکس اگر وزن مشاهدات نقاط گرهی را کمتر از این مقدار قرار دهیم، شبکه تصاویر قابلیت انعطاف و تغییر شکل بیشتری پیدا نموده و سازگاری خود با مشاهدات دیگر را بیشتر کرده و اهمیت مشاهدات RTK/PPK یا نقاط کنترل افزایش می‌یابد و بنابراین به نقاط کنترل با تراکم بیشتری نیاز است.

- **وزن‌های مشاهدات عکسی و زمینی نقاط کنترل/چک**

وزن‌های مشاهدات عکسی و زمینی نقاط کنترل/چک می‌بایست در تعادل با یکدیگر باشند. برای این منظور ابتدا باید GSD متوسط تصاویر بلوک فتوگرامتری برآورد گردد سپس انحراف معیار مشاهدات عکسی نقاط کنترل/چک (وزن برابر عکس مربع انحراف معیار است) برابر با حاصل تقسیم انحراف معیار مشاهدات زمینی نقاط کنترل/چک بر GSD قرار داده شود. هرچه این تعادل به هم بخورد، بعد از انجام سرشکنی، باقیمانده‌های مشاهدات عکسی و زمینی نقاط کنترل/چک به سمت مشاهدات با وزن کمتر (انحراف معیار بیشتر) تجمع خواهد کرد. لذا اگر وزن مشاهدات زمینی را بسیار بیشتر از وزن مشاهدات عکسی قرار دهیم، در گزارش مثلث‌بندی هوایی به شکل خوش‌بینانه‌ای خطای مثلث‌بندی هوایی را روی نقاط کنترل زمینی پایین نشان داده‌ایم درحالی‌که باقیمانده‌های عکسی این نقاط مقادیر بالایی در حد چند پیکسل خواهند داشت که منجر به پله بین مدل‌ها و بروز ناسازگاری‌های هندسی داخلی در شبکه خواهد شد.

- **وزن مشاهدات GNSS/IMU**

انحراف معیار مشاهدات GNSS/IMU (وزن برابر عکس مربع انحراف معیار است) را باید معادل دقت محاسبه شده برای این مشاهدات در نظر گرفت. در حالت ایده آل انحراف معیار مشاهدات RTK/PPK هوایی (به عنوان نقاط کنترل هوایی) کمتر از ۱:۴ خطای مجاز نقشه می‌باشد. به طور کلی اگر انحراف معیار خطای این مشاهدات از خطای مجاز نقشه کمتر باشد آنگاه می‌توان آن‌ها را به‌صورت وزن‌دار به بلوک فتوگرامتری معرفی نمود اما اگر انحراف معیار خطای این مشاهدات برای تعدادی یا همه تصاویر از خطای مجاز نقشه بیشتر شود به‌کارگیری مشاهدات مربوطه در مثلث بندی هوایی مجاز نیست.

۴-۳-۸- نتایج مثلث‌بندی هوایی و ارزیابی کیفی نتایج

پس از انجام مثلث‌بندی هوایی، پارامترهای توجیه داخلی تصاویر شامل xo,yo,c، پارامترهای اضافی توجیه داخلی شامل پارامترهای اعوجاج شعاعی عدسی k1-k4، پارامترهای خروج از مرکز p1-p2، پارامترهای افینیتی b1-b2 و پارامترهای توجیه خارجی تصاویر شامل مختصات مراکز تصویر و وضعیت دوربین (X0, Y0, Z0, ω, φ ,κ) در زمان تصویربرداری ارائه می‌گردد. نتایج این مرحله در مراحل تولید محصولات مکانی مورداستفاده قرار می‌گیرد.

کیفیت نتایج سرشکنی به عوامل متعددی بستگی دارد ازجمله:

- ارتفاع پرواز و وضوح هندسی تصاویر
- کیفیت، پایداری و دقت هندسی عدسی، سنجنده و بدنه دوربین تصویربرداری
- نوع شاتر دوربین: مکانیکی/گلوبال[۵۳] یا رولینگ[۵۴]
- شرایط تصویربرداری و کیفیت تصاویر

[53] Global
[54] Rolling

- پوشش‌های طولی و عرضی
- توپوگرافی و تغییرات ارتفاعی منطقه
- دقت تعیین مقادیر اولیه پارامترهای توجیه خارجی تصاویر
- تعداد و توزیع نقاط کنترل و دقت تعیین موقعیت این نقاط.
- وجود مشاهدات RTK/PPK هوایی و دقت کالیبراسیون آن‌ها
- توانایی پردازش نرم‌افزار مورداستفاده در تعیین پارامترهای توجیه خارجی
- میزان اشتباهات (بلاندر) تشخیص داده نشده (باقیمانده) در داده‌ها
- خطاهای سیستماتیک تصحیح نشده در داده‌ها
- نحوه وزن دهی به مشاهدات

۴-۳-۸-۱- ارزیابی دقت پارامترهای توجیه خارجی تصاویر

ارزیابی دقت پارامترهای توجیه خارجی تصاویر در دو مرحله انجام می‌گیرد:

- **ارزیابی بر اساس گزارش کیفیت ارائه‌شده توسط نرم‌افزار**

- کنترل GSD متوسط
- آمار نقاط گرهی تولیدشده‌ی خودکار
- کنترل پوشش‌ها
- بررسی دیاگرام‌های استحکام یکنواخت هندسی
- بررسی مقادیر جدول دقت‌های نقاط کنترل و نقاط چک
- عدم وجود نشانه‌ای دال بر وجود خطای سیستماتیک در باقیمانده‌های موجود بر روی نقاط عکسی یا نقاط کنترل زمینی
- عدم بهبود قابل‌توجه در نتایج نهایی با افزودن تعداد تکرار در مرحله محاسبات
- تفسیر و تحلیل بخش‌های دیگر گزارش به کمک راهنمای نرم‌افزار

- **ارزیابی مستقل پارامترهای تعیین‌شده**

قابل‌قبول بودن خطاهای RMSE روی نقاط کنترل یک بلوک الزاماً به معنی قابل‌قبول بودن محاسبات سرشکنی آن بلوک نیست. بنابراین ضروری است همواره مشخصات هندسی بلوک نیز به‌دقت کنترل‌شده و از مطابقت آن‌ها با معیارهای شناخته‌شده اطمینان حاصل گردد. به همین دلیل ارزیابی دقت پارامترهای تعیین‌شده می‌بایست به‌صورت مستقل و به یکی از روش‌های زیر نیز انجام گیرد:

- بررسی مدل سه‌بعدی اولیه پس از اولین مرحله‌ی پردازش و تشکیل نقاط گرهی خودکار یا ابر نقطه کم تراکم[55] از طریق انتخاب تعدادی نقاط اتفاقی از قسمتهای مختلف مدل و کنترل عکس‌های مرتبط آن بطوریکه همگی به‌طور مشابه روی همان عارضه مارک شده باشند.
- تشکیل مدل‌های سه‌بعدی استرئو و بررسی وجود پارالاکس در تصاویر (پارالاکس حداکثر یک‌چهارم نقطه شناور[56] مجاز است)
- اندازه‌گیری مختصات سه‌بعدی نقاط کنترل و چک در محیط برجسته‌بینی در مدل‌های سه‌بعدی مختلف و مطابقت دقت‌های به دست آمده با دقت نقشه و محصولات مکانی موردنظر

۴-۴- تصحیح هندسی تصاویر

در صورت یکسان بودن مدل اعوجاجات هندسی و پارامترهای آن برای کلیه تصاویر بلوک (مدل Image Invarient)، نیازی به انجام این مرحله و تصحیح هندسی تصاویر نمی‌باشد زیرا بدون دست بردن در تصاویر تنها کافی است پارامترهای توجیه داخلی را به نرم‌افزار معرفی نمود.

اگر مدل اعوجاجات تصویری در تصاویر مختلف متغیر باشد (مدل Image Varient)، می‌بایست قبل از ورود به مراحل تولید محصولات مکانی، اعوجاجات هندسی مربوطه را در تصاویر مرتفع نمود و تصاویر بدون اعوجاج را از روی تصاویر خام باز نمونه‌برداری کرد. عدم انجام تصحیح هندسی تصاویر در این شرایط، موجب ایجاد شکستگی در محل برش تصاویر ارتوفتوموزائیک، ایجاد نویز بیشتر در ابر نقطه، ایجاد پله های ارتفاعی در مدل رقومی زمین بخصوص در مناطق مسطح و به وجود آمدن پارالاکس و پله بین مدل‌ها در برجسته بینی می‌شود.

در حالات زیر مدل اعوجاجات هندسی در تصاویر حاصل از دوربین‌های غیر متریک به‌صورت Image Varient درمی‌آید:

- تصویربرداری با دوربین‌های رولینگ شاتر
- تصویربرداری با دوربین‌های غیر متریک با پارامترهای توجیه داخلی ناپایدار
- تصویربرداری با پارامترهای توجیه داخلی متغیر در حالت روشن بودن اتوفوکوس و پایدارساز

[55] Sparse Point cloud
[56] Floating Mark

فصل ۵: محصولات مکانی

بعد از انجام محاسبات مثلث‌بندی هوایی و ایجاد و تنظیم چهارچوب هندسی شبکه، امکان تولید محصولات مکانی از خط تولید فتوگرامتری پهپاد فراهم می‌آید. موضوعاتی که در این فصل بررسی می‌شوند عبارت‌اند از تولید ابر نقطه سه‌بعدی متراکم، تولید رویه یا مش، تولید مدل رقومی ارتفاعی، تولید ارتوفتوموزائیک و تولید نقشه. لازم به ذکر است تمامی محصولات مکانی تولیدشده می‌بایست در سیستم تصویر UTM، سیستم مختصات مسطحاتی WGS84 و ارتفاعی ارتومتریک (در مورد محصولات مکانی دو بعدی ارتفاع ارتومتریک الزامی نیست) در محدوده دقتی استاندارد مقیاس مورد نظر باشد.

۵-۱- ابر نقطه سه‌بعدی

ابر نقطه یا Point Cloud به مجموعه نقاط مربوط به یک سطح اطلاق می‌شود. در فتوگرامتری ابر نقطه سه-بعدی متراکم Dense Point Cloud از طریق تناظر یابی چند تصویری و تقاطع هم‌زمان پرتوهای مربوطه به دست می‌آید. تولید ابر نقطه با توجه به‌دقت مورد نیاز می‌تواند بر اساس لایه‌های مختلف هرم تصویری انجام شود. ابر نقطه حاصل از روش فتوگرامتری باید به‌صورت رنگی باشد و در فرمت ترجیحاً LAZ ارائه شود.

بعد از تولید ابر نقطه متراکم مراحلی شامل اعمال فیلتر حذف نقطه بلاندر، فیلتر کاهش نویز اتفاقی، طبقه بندی و فیلتر حذف عوارض غیرزمینی (به‌منظور تولید DTM) انجام می‌شود.

۵-۱-۱- ارزیابی کیفیت ابر نقطه

ارزیابی دقت ابر نقطه با توجه به‌دقت مسطحاتی و ارتفاعی مورد نیاز با استفاده از روش‌های زیر انجام می‌شود:

- بررسی خطای نقاط کنترل و چک بر روی ابر نقطه
- بررسی سطح دقت، سازگاری و کامل بودن ابر نقطه تولیدشده از طریق مشاهده و کنترل انطباق آن با مدل‌های برجسته‌بینی سه‌بعدی
- مقایسه ابر نقطه با عوارض ارتفاعی نقشه‌های دقیق‌تر موجود از منطقه
- بررسی یکنواختی و همگونی نقشه تراکم ابر نقطه
- کنترل DSM رنگی یا ترسیم خطوط تراز بر اساس ارتفاع ابر نقطه و بررسی وضعیت قله‌ها و گودال‌های غیرواقعی
- بررسی نمایش عوارض مشخص مصنوعی و طبیعی از قبیل ساختمان‌ها، دیوارها، راه‌ها، عوارض ساخت بشر، درخت‌ها و ... بر روی ابر نقطه

- تخمین نویز ارتفاعی باقیمانده در ابر نقطه[۵۷]

۵-۲- رویه یا مش[۵۸]

مش یک مدل از سطح اجسام (زمین یا زمین و عوارض روی آن) است. مش می‌تواند در فرمت رستری یا برداری ارائه شود. در فتوگرامتری فرمت برداری مش معمولاًدر قالب شبکه نامنظم مثلثی TIN[۵۹] ارائه می‌شود.

به‌منظور تولید ارتوفتوموزائیک، مدل رقومی ارتفاعی و مدل‌های واقعیت مجازی سه‌بعدی، می‌توان بجای تبدیل ابر نقطه به DSM و به‌کارگیری آن، ابر نقطه را به مش تبدیل نمود. معمولاً الگوریتم دلونی برای تولید شبکه نامنظم مثلثی یا TIN استفاده می‌شود. در این مرحله خطوط شکست و ساختاری (آبریزها، مرزهای ساختمانی، مرز جاده‌ها و جوی و جدول) معرفی می‌شود تا اضلاع TIN روی آن‌ها منطبق شده و موجب بهبود کیفیت ارتوفتوموزائیک و منحنی میزان شود.

بعد از تولید رویه مراحلی شامل پر کردن گپ‌ها، سبک‌سازی، متراکم سازی و هموارسازی انجام می‌شود.

۵-۲-۱- ارزیابی کیفیت مش

ارزیابی سطح دقت، سازگاری و کامل بودن مش تولیدشده می‌بایست به روش‌های ارائه شده در بند ۵-۱-۱ صورت گیرد.

۵-۳- مدل ارتفاعی رقومی

مدل ارتفاعی رقومی یا DEM [۶۰]به انواع مدل سطح رقومی DSM، مدل زمین رقومی DTM یا مدل ساختمان رقومی DBM گفته می‌شود. DSM، مربوط به زمین و کلیه عوارض روی آن بوده و DTM، مربوط به سطح زمین می‌باشد. با حذف عوارض غیر از سطح زمین از ابر نقطه یا DSM می‌توان DTM تولید نمود. همچنین به‌منظور تولید DTM می‌توان از منحنی میزان‌ها و نقاط ارتفاعی عوارض سطح زمین در نقشه‌های موجود استفاده کرد. به‌طورکلی برای تولید DTM از DSM دو مرحله ویرایش خودکار و ویرایش دستی انجام می‌شود. برای انجام ویرایش خودکار می‌بایست تراکم ابر نقطه بکار رفته بالا باشد تا الگوریتم‌ها بتوانند تفکیک عوارض غیرزمینی از عوارض زمینی را انجام دهند. ابعاد پیکسل مدل ارتفاعی رقومی نباید از ابعاد GRD تصاویر کوچک‌تر باشد. مدل رقومی ارتفاعی حاصل از روش فتوگرامتری می‌تواند در قالب‌های رستری و برداری ارائه شود.

---

[۵۷] برای این منظور می‌توان چند ناحیه کوچک مسطح مانند بام ساختمان‌ها، سطح خیابان یا زمین مسطح بایر در سطح منطقه در نظر گرفت و ابر نقطه را از ارتفاع متوسط خود در هر ناحیه کم کرد و انحراف معیار کل باقیمانده‌های ارتفاعی را محاسبه نمود.

[58] Mesh

[59] Triangulated Irregular Network

[60] Digital Elevation Model

۵-۳-۱- ارزیابی کیفیت مدل ارتفاعی رقومی

دقت ارتفاعی به روش تولید و میزان اصلاحات اعمال‌شده به مدل ارتفاعی بستگی دارد. ارزیابی سطح دقت، سازگاری و کامل بودن مدل ارتفاعی رقومی تولیدشده می‌بایست به روش‌های ارائه شده در بند ۵-۱-۱ صورت گیرد.

۵-۴- ارتوفتوموزائیک

ارتوفتوموزائیک نمایش تصاویر زمین مرجع از سیستم تصویر مرکزی به سیستم تصویر متعامد[۶۱] است و از طریق اعمال تصحیحات هندسی شامل تصحیح جابجایی تصویری ناشی از تیلت و ناهمواری عوارض تولید می‌شود به نحوی که دارای مقیاسی یکنواخت بوده و سازگار با نقشه هم‌مقیاس خود می‌باشد.

۵-۴-۱- مشخصات ارتوفتوموزائیک خروجی

در تولید ارتوفتوموزائیک موارد ذیل می‌بایست مورد توجه قرار گیرد:

- ابعاد پیکسل زمینی ارتوفتوموزائیک نباید از GRD تصاویر کوچک‌تر باشد.
- در صورت وجود خطاهای رادیومتریک مانند روشنایی و کنتراست موضعی یا سراسری نامناسب در ارتوفتوموزائیک تولیدی، می‌توان آن را در محیط‌های ادیت رستری، اصلاح رادیومتریک نمود.
- تصحیح رنگی تصاویر[۶۲] به نحو مطلوبی باشد همچنین موزائیک کردن در اطراف خطوط برش تصویری می‌بایست به نحوی انجام گیرد که نقشه تصویری نهایی به‌صورت یک تصویر واحد دیده شود.
- شیت بری ارتوفتوموزائیک باید در ابعاد و نام‌گذاری استاندارد در مقیاس نقشه تولیدی (۶۰*۸۰ سانتیمتر مربع در مقیاس نقشه) انجام شود و اسامی استاندارد به نام فایل هر شیت اختصاص داده شود. (مطابق با دستورالعمل ۶-۱۱۹- داده‌های شبکه ای و رستری)

۵-۴-۲- ارزیابی کیفیت ارتوفتوموزائیک

دقت مسطحاتی عوارض می‌بایست در حد دقت نقشه با مقیاس موردنظر باشد. برای ارزیابی دقت از عوارضی استفاده می‌گردد که در سطح زمین قرار داشته و فاقد ارتفاع باشند.

ارزیابی کیفی ارتوفتوموزائیک به روش‌های زیر همچنین بر اساس تابع توزیع گوسی مطابق با مقادیر آورده شده در جداول پیوست ۵ انجام می‌گیرد:

- بررسی موقعیت نقاط کنترل و چک در نقشه تصویری قائم

[61] Orthogonal
[62] Color Balancing

- مقایسه با عوارض نقشه‌های موجود منطقه با مقیاس بالاتر
- بررسی انطباق و پیوستگی عوارض
- بررسی نحوه نمایش صحیح عوارض
- بررسی انطباق عوارض در مرز قطعات ارتوفتوموزائیک
- ارزیابی بصری کیفیت رادیومتریک ارتوفتوموزائیک و عدم وجود اشکالات قابل رویت مانند فضاهای خالی طولی یا عرضی و نوارهای تیره و روشن همچنین عدم وجود پیکسل‌های با مقادیر یکسان با کمترین یا بیشترین مقدار (۰ یا ۲۵۵ در تصاویر ۸ بیتی) داخل فریم نقشه تصویری نهایی
- پوشش دادن تمام محدوده گام‌های خاکستری در تمام باندها تا حد امکان، در هیستوگرام نقشه تصویری نهایی
- مطابقت تمام نقشه‌های تصویری ارائه شده در فایل‌های مختلف از نظر رنگ و گام‌های خاکستری

۵-۵- نقشه و پایگاه داده مکانی

تبدیل، ویرایش، ترسیم، کارتوگرافی، GIS Ready و ایجاد پایگاه داده مکانی از تصاویر پهپاد بر اساس دستورالعمل تهیه نقشه‌های رقومی ۱/۵۰۰، ۱/۱۰۰۰ و ۱/۲۰۰۰ به روش نقشه‌برداری هوایی و دستورالعمل GIS Ready نقشه-های بزرگ مقیاس انجام می‌شود.

الزامی است تهیه نقشه از طریق تبدیل رقومی عوارض در محیط برجسته‌بینی سه‌بعدی در نرم‌افزارهای متداول انجام گیرد. به منظور تولید نقشه‌های دوبعدی نیز به دلیل نیاز به کسب دقت بالاتر در شناسایی و ترسیم عوارض مسطحاتی در حد زیر پیکسل، ترسیم باید در محیط‌های برجسته‌بینی سه‌بعدی صورت گیرد.

۵-۵-۱- ملاحظات تبدیل و ترسیم در فتوگرامتری پهپاد

- با توجه به به‌کارگیری دوربین‌های غیرمتریک در فتوگرامتری پهپاد، به‌منظور اجتناب از مشکل پارالاکس و پله بین مدل‌ها[۶۳] در برجسته‌بینی، توصیه می‌شود از دوربین‌های با سطح پایداری بالاتر استفاده شود و هم‌زمان ملاحظات حد مدل‌های برجسته بینی رعایت شود یا اینکه تصاویر دوربین‌های غیرمتریک مطابق بخش ۴-۴ مورد تصحیح هندسی قرار گیرد تا مشکلات هندسی فوق کاهش یابد.
- در صورت عدم تصحیح هندسی تصاویر (تشریح شده در بخش ۴-۴)، به‌منظور بهبود کیفیت هندسی عوارض ترسیم‌شده در نقشه، عملیات تبدیل و ترسیم باید فقط در محدوده مدل‌های برجسته‌بینی با باز ۶۰٪ یا نسبت B/H<0.25 انجام‌گرفته و از تبدیل عوارض خارج از محدوده مدل‌های برجسته‌بینی

[۶۳] یک روش شناسایی پله مدل‌ها، بررسی مختصات نقاط کنترل و گرهی در مدل‌های برجسته‌بینی مجاور و مقایسه آن‌ها با یکدیگر است.

خودداری شود. برای این منظور قبل از آغاز عملیات تبدیل می‌بایست اندکس مدل‌ها (مطابق پیوست ۷) با دقت مناسب تشکیل گردد.[۶۴]

۵-۵-۲- ارزیابی کیفیت نقشه

ارزیابی کیفیت نقشه‌های تهیه‌شده به روش‌های متداول از طریق مقایسه با واقعیت زمینی صورت می‌گیرد. این بررسی‌ها شامل بررسی موقعیت مسطحاتی و ارتفاعی تعدادی از عوارض و نقاط کنترل و چک، کنترل تصادفی تکمیل بودن و صحت عوارض ترسیم‌شده، صحت اطلاعات توصیفی و نیز سازگاری منطقی عوارض می‌باشد. کنترل کیفی نقشه‌ها مطابق با دستورالعمل‌های موجود و با رعایت چک‌لیست‌های مربوطه نقشه‌های بزرگ‌مقیاس (استرئوچک و کنترل کارتوگرافی و ...) انجام می‌شود.

در خصوص کیفیت نقشه‌های تبدیلی سه مولفهٔ دقت اطلاعات هندسی، صحت اطلاعات توصیفی، کامل بودن و سازگاری اطلاعات موردتوجه قرار می‌گیرند.

۵-۵-۲-۱- دقت اطلاعات هندسی

ارزیابی دقت اطلاعات هندسی شامل دقت مسطحاتی و دقت ارتفاعی نقشه به روش‌های زیر همچنین بر اساس تابع توزیع گوسی مطابق با مقادیر آورده شده در جداول پیوست ۵ انجام می‌گیرد:

- بررسی موقعیت نقاط کنترل و چک در نقشه
- مقایسه عوارض نقشه با واقعیت زمینی به روش برجسته بینی از طریق تشکیل مدلهای سه بعدی
- بررسی انطباق و پیوستگی عوارض
- بررسی انطباق عوارض در مرز شیت‌های نقشه

۵-۵-۲-۲- صحت اطلاعات توصیفی

صحت اطلاعات توصیفی بر اساس "دستورالعمل گویا سازی نقشه‌های بزرگ مقیاس" بررسی می‌گردد. منظور از صحت اطلاعات توصیفی، میزان انطباق مشخصات توصیفی عوارض تبدیل‌شده از عکس به نقشه (شامل اسامی، متون توصیفی و ...) در مقایسه با واقعیت و با توجه به مشخصات فنی نقشه است. لازم به ذکر است در نقشه‌های بزرگ‌مقیاس تبدیلی باید حداقل 95 درصد اطلاعات توصیفی عوارض با توجه به دستورالعمل گویا سازی نقشه‌های بزرگ‌مقیاس صحیح باشند. با این وجود هر نوع خطای توصیفی قابل‌تشخیص می‌بایست تصحیح گردد.

---

[۶۴] در صورت عدم تصحیح هندسی تصاویر، چنانچه تصاویر هوایی اخذ شده به‌واسطه ناپایداری پهپاد دارای تیلت بالای ۵ درجه (تا ۱۵ درجه) باشند، انتخاب مدل‌های برجسته بینی بهینه بر اساس پیوست ۷ صورت پذیرد.

۳-۲-۵-۵- کامل بودن و سازگاری اطلاعات

بیش از ۹۹ درصد عوارض موجود در منطقه طبق مشخصات فنی موردنظر باید در نقشه‌ها آورده شده باشند و جاافتادگی عوارض بیش از ۱٪ مجاز نمی‌باشد. به‌هرحال هر نوع جاافتادگی قابل‌تشخیص می‌بایست تکمیل شود.

عوارض تبدیلی از لحاظ مفهومی (تعریف عارضه)، هندسی و توصیفی و اصول کارتوگرافیک و ساماندهی نقشه باید باهم سازگاری داشته باشند و ارتباط منطقی عوارض مطابق دستورالعمل‌های موجود می‌بایست رعایت گردد (دستورالعمل تهیه نقشه‌های رقومی ۱/۵۰۰، ۱/۱۰۰۰ و ۱/۲۰۰۰ به روش نقشه‌برداری هوایی، دستورالعمل GIS Ready نقشه‌های بزرگ مقیاس، دستورالعمل ارتباط و اولویت عوارض در نقشه‌های بزرگ مقیاس).

پیوست ۱: گزارش فنی

ارائه نتایج عملیات تهیه نقشه به روش فتوگرامتری پهپاد می‌بایست علاوه بر موارد قیدشده در شرح خدمات تعرفه خدمات نقشه‌برداری به همراه ارائه یک گزارش فنی شامل موارد زیر باشد:

- مشخصات پروژه و هدف از اجرای پروژه
- گزارش طراحی شبکه شامل حد کار، حد پرواز، حدود زیر بلوک‌ها، ارتفاع پرواز و GSD، نوارهای پرواز و کراس، پوشش‌های طولی و عرضی طراحی‌شده، موقعیت نقاط کنترل و چک طراحی‌شده.
- گزارش عملیات زمینی شامل روند اجرایی عملیات زمینی و تعیین مختصات نقاط کنترل شامل محل ایستگاه‌های ماندگار و کارت شناسایی آن‌ها (مطابق پیوست ۸)، برگه‌های مشاهداتی و گزارش روزانه عملیات زمینی با جزئیات کامل، نتایج محاسبات عملیات GNSS و ترازیابی، جدول مختصات نقاط کنترل و چک و دقت‌های مربوطه به همراه شرح عارضه، کروکی نقاط در صورت وجود و در نهایت مشکلات و موانع احتمالی.
- گزارش عملیات تصویربرداری شامل گزارش تصویربرداری مطابق پیوست ۶، گزارش تست زیمنس و GRD مطابق پیوست ۳، تست حد تفکیک ارتفاعی و CF مطابق پیوست ۴، مسیرهای پرواز انجام‌شده، گزارش روزانه عملیات پرواز، الحاق فهرست تصاویر و مختصات تقریبی یا دقیق مراکز تصویر آن‌ها به همراه وضعیت تصاویر و دقت‌های مربوطه در صورت وجود. اندکس پرواز.
- گزارش کیفیت مثلث‌بندی هوایی تولیدشده و ارائه گزارشهای نرم‌افزار مربوطه و ارزیابی دقت پارامترهای توجیه خارجی و نقاط کنترل و چک که در آن جدول موقعیت نقاط چک و خطاهای آن‌ها ذکرشده باشد. فایل پروژه مربوطه به همراه کلیه تصاویر، می‌بایست به پیوست باشد.
- گزارش تهیه محصولات مکانی شامل کیفیت و تراکم ابر نقطه ادیت شده و در صورت وجود طبقه‌بندی‌شده، کیفیت مدل رقومی سطح و زمین از طریق مقایسه با نقاط کنترل و چک، کیفیت ارتوفتوموزائیک از طریق مقایسه آن با نقاط کنترل و چک و ارزیابی بصری، فهرست عوارض تبدیل‌شده و اندکس شیت بندی نقشه‌ها.

پیوست ۲: مدارک مورد نیاز به‌منظور کنترل و نظارت فنی

لیست مدارک مربوط به عملیات زمینی

- مشخصات فنی پروژه مطابق فرم شماره ۸ دستورالعمل تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس (۱/۵۰۰، ۱/۱۰۰۰، ۱/۲۰۰۰) ابلاغی به دستگاه‌های اجرایی و مشاوران به پیوست نامه $\frac{6335}{90/03/23}$
- ارائه گزارش فنی عملیات زمینی مطابق پیوست ۱
- کارت شناسایی نقاط مبنایی استفاده شده در پروژه
- کارت شناسایی نقاط ماندگار در صورت وجود مطابق فرم شماره ۳ دستورالعمل فوق الذکر
- اوراق ترازیابی به روش مستقیم زمینی
- فرم خلاصه ترازیابی
- لیست مختصات نقاط ماندگار و نقاط عکسی (نقاط کنترل و چک) مطابق فرم شماره ۴ دستورالعمل فوق الذکر
- کروکی کلیه نقاط عکسی
- فایل محدوده کار مورد تأیید کارفرما
- اندکس راهنمای دارای کد (شماره نقطه) نقاط عکسی
- مدارک گویا سازی نقشه‌ها
- مدارک مشاهدات با استفاده از GPS شامل:

- کروکی مربوط به نقاط GPS و Base line های موجود
- مشاهدات خام تخلیه شده از گیرنده‌های GPS
- مشاهدات Rinex
- گزارش محاسبات و پردازش فایل پروژه
- اوراق کلیه site log های مربوطه

لیست مدارک مربوط به محاسبات مثلث‌بندی

- فایل محاسبات مثلث‌بندی پروژه
- کلیه تصاویر پروژه در پوشه‌های جداگانه به تفکیک مناطق پروازی
- لیست پارامترهای توجیه خارجی تصاویر در فایل‌های جداگانه به تفکیک مناطق پروازی

- اندکس طراحی نقاط کنترل زمینی (گویا شده با نقشه ۲۵۰۰۰، تصاویر google earth و ...) در مختصات UTM (فرمت dxf، dwg یا dgn) شامل خطوط پرواز، مراکز عکس، حد مورد تأیید کارفرما، حدود مشخص کننده مناطق پروازی، نقاط کنترل و نقاط چک و لژاند حاوی اطلاعات پروژه
- فایل GPS-IMU مراکز تصویر همراه دقت‌های مربوطه
- فایل المان‌های کالیبراسیون دوربین
- ارائه گزارش عملیات طراحی، گزارش عملیات تصویربرداری و گزارش کیفیت مثلث‌بندی هوایی مطابق پیوست ۱
- متا دیتای مثلث‌بندی شامل موارد و توضیحات خاص مربوط به محاسبات مثلث‌بندی پروژه (در صورت وجود) و لیست نرم‌افزارهای مورد استفاده برای انجام محاسبات مثلث‌بندی

لیست مدارک مربوط به ارسال محصولات

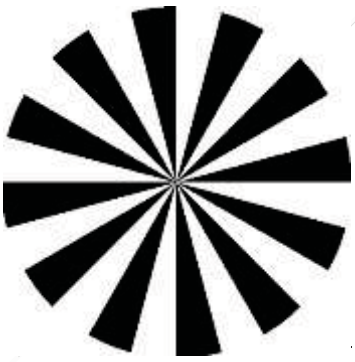
- فایل متادیتای نقشه‌های موردی مطابق دستورالعمل تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس
- اندگس گویا، اندکس مدل بندی و اندکس شیت بندی مطابق دستورالعمل تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس
- ارائه فایل‌های حاوی شیت‌های نقشه به‌صورت یکپارچه (فرمت shape) و یا شیت بندی شده مطابق دستورالعمل تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس مطابق با نیاز کارفرما
- فایل متادیتای استاندارد محصولات ارتوفتو
- اندکس محصولات ارتوفتو (در فرمت shape) حاوی مراکز تصویر، خطوط پرواز، حد کار، شیت بندی تصاویر ارتوفتو
- DEM ویرایش شده و ویرایش نشده (با فرمت Tiff) به‌صورت ژئورفرنس
- تصاویر ارتوفتو (ژئورفرنس شده) به‌صورت موزائیک و یا شیت بندی استاندارد بر اساس مقیاس، مطابق با نیاز کارفرما
- ارائه گزارش تهیه محصولات مکانی مطابق پیوست ۱

پیوست ۳: تعیین ضریب کاهش حد تفکیک تصویری دوربین با استفاده از تارگت زیمنس

با توجه به تنوع دوربین‌ها و عدسی‌های مورد استفاده در انواع پهپاد و شرایط محیطی مختلف در حین تصویربرداری، حد تفکیک تصاویر می‌بایست قبل از انجام هر پروژه تصویربرداری هوایی تعیین‌شده و ضریب کاهش حد تفکیک تصویری k برآورد گردد.

برای محاسبه k=GRD/GSD از تارگت زیمنس استفاده می‌شود.[۶۵] تارگت زیمنس دارای بازوهای یک در میان سیاه و سفید است. به‌طورکلی اگر n بازوی سیاه و سفید در نظر بگیریم، برای محاسبه ضریب k، قطر دایره ابهام[۶۶] روی تصویر برحسب پیکسل اندازه‌گیری شده و به عدد 2/sin(180/n) تقسیم می‌شود. به‌عنوان مثال اگر تعداد بازوهای سیاه ۱۶ عدد لحاظ شود برای محاسبه ضریب k، قطر دایره ابهام روی تصویر برحسب پیکسل به عدد ۱۰ تقسیم می‌شود. اگر دایره ابهام به شکل بیضی ظاهر شد باید بزرگ‌ترین قطر بیضی بجای قطر دایره ابهام در نظر گرفته شود.

ابعاد تارگت زیمنس نباید از ۱۵ برابر GSD تصویربرداری کمتر باشد. لذا برای نقشه‌های با مقیاس ۱:۵۰۰ و ۱:۱۰۰۰ ابعاد تارگت زیمنس می‌تواند در حد ۱٫۵*۱٫۵ مترمربع در نظر گرفته شود. برای نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و کوچک‌تر می‌توان بجای افزایش ابعاد تارگت زیمنس، تعداد بازوهای آن را به ۱۲ عدد کاهش داد.



تارگت زیمنس ۱۲ بازویی با ضریب تقسیم 2/sin(180/12)=7.7 (7.7/ قطر دایره ابهام برحسب پیکسل=k)

برای تعیین ضریب کاهش حد تفکیک تصویری در هر پروژه کافی است دو تصویر با پایین‌ترین کیفیت را به نحوی انتخاب نمود که تارگت زیمنس در وسط و گوشه آن‌ها ظاهر شود و متوسط ضریب حد تفکیک برای این دو تصویر محاسبه گردد.

گزارش تعیین ضریب کاهش حد تفکیک تصویری باید برای هر پروژه و تصاویر مربوطه مطابق فرمت زیر ارائه گردد.

---

[۶۵] تارگت زیمنس به شکل ستاره‌ای است. جنس آن باید مات بوده و نباید از نوع براق باشد همچنین از استحکام کافی برای عدم تغییر شکل هنگام قراردادن روی زمین یا وزش باد برخوردار باشد.

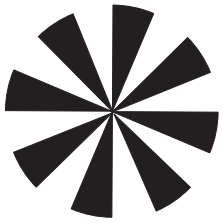
[۶۶] دایره ابهام جایی است که تفکیک بازوهای سفید و سیاه از هم به‌خوبی میسر نباشد.

گزارش تعیین ضریب کاهش حد تفکیک تصویری دوربین

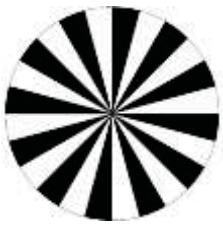
گزارش تعیین ضریب کاهش حد تفکیک تصویری دوربین .....

منطقه تصویربرداری: ..... تاریخ تصویربرداری: ..... GSD تصویربرداری: .....

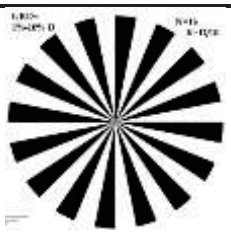
$$K = \frac{D}{2 \Big/ \sin(\frac{180}{n})}$$



☐n=8,K=D/5



☐n=12,K=D/8



☐n=16,K=D/10

Shutter Speed:	f/stop:	ISO:	موقعیت تارگت در وسط تصویر شماره ..... D= ……n=……..K=……

Shutter Speed:	f/stop:	ISO:	موقعیت تارگت در گوشه تصویر شماره ..... D= ……n=……..K=……

تصاویر ارائه شده به‌صورت خام است ☐ آشکار سازی و تغییر روشنایی و کنتراست بر تصاویر اعمال شده است ☐

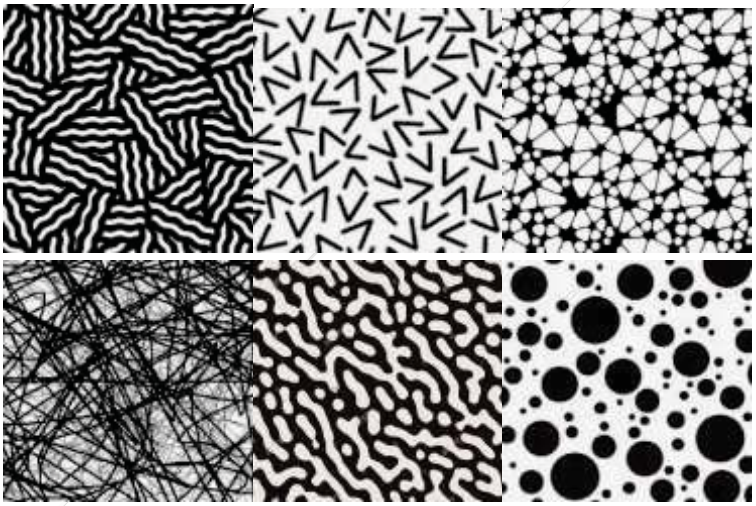
نتیجه‌گیری	ضریب کاهش حد تفکیک تصویری متوسط ..... می‌باشد که معادل .....=GRD است.

پیوست ۴: تعیین سی-فاکتور سیستم تصویربرداری

شاخص C-Factor نسبت ارتفاع پرواز به فاصله منحنی میزان نقشه تولیدی است. در فتوگرامتری هوایی با دوربین‌های متریک بسته به کیفیت دوربین و فاصله کانونی عدسی، این شاخص، اعدادی بین ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ می-باشد. در دوربین‌های غیر متریک سطح خطاها دو تا پنج برابر بیشتر بوده و لذا شاخص C-Factor اعدادی بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ می‌باشد.

به‌منظور تأمین دقت ارتفاعی مورد نیاز در تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد، در حالتی که منحنی میزان ۲۵ سانتیمتر و کمتر مورد نظر باشد، می‌بایست شاخص C-Factor مورد توجه قرار گیرد. با توجه به تنوع دوربین‌ها و عدسی‌های مورد استفاده در انواع پهپاد و شرایط محیطی مختلف در حین تصویربرداری، این شاخص می‌بایست قبل از انجام پروژه تصویربرداری مورد نظر، با استفاده از تارگت تخمین حد تفکیک ارتفاعی برآورد شود و گزارش حد تفکیک ارتفاعی پروژه مطابق نتایج بدست آمده ارائه گردد.

تارگت تخمین حد تفکیک ارتفاعی عبارت از یک سطح غیر براق مسطح به ابعاد ۲۰ برابر GSD (یک در یک تا دو در دو مترمربع) و دارای پترن با محتوای تصویری کافی برای تناظر یابی تصویری می‌باشد. برای این منظور می‌توان از سطح طبیعی زمین مسطح نیز استفاده نمود.



نمونه پترن‌های تارگت برای تعیین سی فاکتور ارتفاعی

برای برآورد شاخص سی-فاکتور لازم است در ارتفاع پرواز H و پوشش تصویری موردنظر از این سطح تصویربرداری نمود و خطای ارتفاعی بازسازی سطح (σ_z) را به دست آورد.

به منظور محاسبه سی-فاکتور تولید ابر نقطه و DEM با تناظر یابی خودکار (CF1)، باید ابر نقطه متراکم با تراکم یک پیکسل تولید کرد و از ارتفاعات حاصل، انحراف معیار σ_z را محاسبه نمود. آنگاه CF1 از طریق رابطه ذیل بدست می‌آید:

$$CF1=H/\sigma_z*0.3$$

برای محاسبه سی-فاکتور ارتفاعی حاصل از تبدیل و ترسیم نقشه به روش برجسته‌بینی استرئو (CF2) ، باید ابر نقطه متراکم سطح را فقط با استفاده از دو عکس متوالی با پوشش ۶۰٪ تولید نمود سپس σ_z را محاسبه نموده و CF2 را از طریق رابطه $CF2=H/\sigma_z*0.3$ بدست آورد.

اکنون بسته به محصول مکانی مورد نظر(ابر نقطه/ DEM و یا تولید نقشه به روش برجسته بینی) می‌توان ارتفاع پرواز مناسب برای دستیابی به دقت ارتفاعی مورد نیاز پروژه را از رابطه $H=CI*CF$ (CI فاصله منحنی میزان مورد نظر) و با استفاده از مقادیر CF1 و CF2 برآورد نمود. درصورتی‌که هر دو سی-فاکتور مدنظر باشد، ارتفاع پرواز کمتر باید مبنای طراحی پرواز قرار گیرد.

پیوست ۵: معیارهای خطای هندسی در محصولات مکانی

- **دقت مسطحاتی**: خطای مسطحاتی متوسط نقشه یا ارتوفتوموزائیک نباید بیش از ۰/۲ میلی‌متر در مقیاس نقشه باشد (معادل سطح اطمینان ۶۸٪ تابع توزیع گوسی). این معیار بر اساس تابع توزیع گوسی معادل خطای ۰/۴ میلی‌متر در مقیاس نقشه در سطح اطمینان ۹۵٪ و خطای ۰/۶ میلی‌متر در مقیاس نقشه در سطح اطمینان ۹۹/۷٪ است؛ به عبارت دیگر هیچ‌یک از عوارض مشخص نقشه تبدیلی (همچنین پیکسل‌های ارتوفتوموزائیک) نباید بیش از ۰/۶ میلی‌متر در مقیاس نقشه با محل واقعی خود اختلاف موقعیت داشته باشند. منظور از نقاط مشخص، نقاطی مانند تقاطع جاده و راه‌آهن، گوشهٔ ساختمان‌ها، گوشهٔ استخر و ... است که می‌توان به‌راحتی و با اطمینان زیاد آن‌ها را روی زمین و تصویر مشخص نمود. ضمن اینکه عوارض مشابه در مدل‌ها یا برگ نقشه‌های مجاور باید یکپارچه‌سازی شده و بدون شکست مسطحاتی باشند.
- **دقت ارتفاعی**: خطای ارتفاعی متوسط نقشه نباید از یک سوم فاصله منحنی تراز اصلی نقشه تبدیلی بیشتر باشد (معادل سطح اطمینان ۶۸٪ تابع توزیع گوسی). این معیار بر اساس تابع توزیع گوسی معادل خطای دو سوم فاصله منحنی تراز اصلی در سطح اطمینان ۹۵٪ و فاصله منحنی تراز اصلی در سطح اطمینان ۹۹/۷٪ است؛ به عبارت دیگر بیش از ۹۵ درصد نقاط موجود روی منحنی‌های تراز و همچنین نقاط استخراج‌شده از روی آن‌ها به روش درون‌یابی، باید دارای دقت بهتر از دو سوم فاصله منحنی تراز اصلی نقشه تبدیلی باشند. همچنین ارتفاع هیچ عارضه‌ای نباید بیش از فاصله منحنی تراز اصلی نقشه تبدیلی با مقدار واقعی خود بر روی زمین اختلاف داشته باشد. ضمن اینکه عوارض مشابه در مدل‌ها یا برگ نقشه‌های مجاور باید یکپارچه‌سازی شده و بدون شکست ارتفاعی باشند.

معیارهای خطاهای مسطحاتی و ارتفاعی برای مقیاس‌ها و فواصل منحنی میزان معمول در فتوگرامتری پهپاد، در سطوح اطمینان ۶۸/۲٪، ۹۵/۴٪ و ۹۹/۷٪ در دو جدول زیر آورده شده است.

معیار خطاهای مسطحاتی (سانتیمتر)

مقیاس نقشه	خطای محصول (نقشه، ارتوفتوموزائیک)			خطای مثلث‌بندی هوایی			خطای نقاط کنترل زمینی/هوایی		
سطح اطمینان(٪)	۶۸/۲	۹۵/۴	۹۹/۷	۶۸/۲	۹۵/۴	۹۹/۷	۶۸/۲	۹۵/۴	۹۹/۷
۱:۵۰۰	۱۰	۲۰	۳۰	۵	۱۰	۱۵	۲/۵	۵	۷/۵
۱:۱۰۰۰	۲۰	۴۰	۶۰	۱۰	۲۰	۳۰	۵	۱۰	۱۵
۱:۲۰۰۰	۴۰	۸۰	۱۲۰	۲۰	۴۰	۶۰	۱۰	۲۰	۳۰

معیار خطاهای ارتفاعی (سانتیمتر)

فاصله منحنی میزان	خطای محصول (نقشه، ابرنقطه، DEM)			خطای مثلث‌بندی هوایی			خطای نقاط کنترل زمینی/هوایی		
سطح اطمینان(٪)	۶۸/۲	۹۵/۴	۹۹/۷	۶۸/۲	۹۵/۴	۹۹/۷	۶۸/۲	۹۵/۴	۹۹/۷
۲۵	۸/۳	۱۶/۶	۲۵	۴/۱۵	۸/۳	۱۲/۵	۲	۴/۱۵	۶/۲۵
۵۰	۱۶/۶	۳۳/۳	۵۰	۸/۳	۱۶/۶	۲۵	۴/۱۵	۸/۳	۱۲/۵
۱۰۰	۳۳/۳	۶۶/۶	۱۰۰	۱۶/۶	۳۳/۳	۵۰	۸/۳	۱۶/۶	۲۵
۲۰۰	۶۶/۶	۱۳۳	۲۰۰	۳۳/۳	۶۶/۶	۱۰۰	۱۶/۶	۳۳/۳	۵۰

سطح اطمینان برای بازه اطمینان [-Kσ,+Kσ] در تابع توزیع نرمال

K	سطح اطمینان
۱/۰۰۰	٪۶۸/۲
۱/۲۸۲	٪۸۰
۱/۴۴	٪۸۵
۱/۶۴۵	٪۹۰
۱/۹۶	٪۹۵
۲/۵۷۶	٪۹۹
۳/۰۰۰	٪۹۹/۷

پیوست ۶: گزارش عملیات تصویربرداری

گزارش عملیات تصویربرداری به شرح زیر تهیه و ارائه شود:

گزارش عملیات تصویربرداری -کلیات		
نام منطقه عملیات:	استان محل عملیات:	
طول جغرافیایی:	عرض جغرافیایی:	ارتفاع متوسط منطقه:
ارتفاع متوسط پرواز از زمین:	سفارش‌دهنده:	مجری پرواز:
نام خلبان داری مجوز پرواز:	مرجع صادرکننده مجوز پرواز:	
تاریخ شروع تصویربرداری:	تاریخ خاتمه تصویربرداری:	
مشخصات دوربین	مشخصات پرنده	
نام تجاری دوربین: ابعاد تصویر(پیکسل): ابعاد پیکسل (میکرون): فاصله کانونی واقعی (میلی‌متر): **(فاصله کانونی موجود در گزارش پردازش تصاویر)**	نوع پهپاد: ☐بال ثابت ☐مالتی روتور ☐ویتول نام تجاری پهپاد: نحوه هدایت و کنترل: ☐دستی ☐اتوپایلوت مشخصات گیرنده GNSS مورداستفاده: ☐کم دقت ☐ RTK/PPK دقیق ☐سایر سنجنده ها	
مساحت حد کار کارفرما: هکتار	مساحت حد پرواز تصویربرداری شده: هکتار	
تعداد پرواز:	جمع ساعات پرواز:	GSD(طراحی) = cm GSD(متوسط)= cm GRD= cm
طول کل خطوط پرواز:	پوشش طولی:	پوشش عرضی:
سرعت متوسط پرنده:	سرعت متوسط باد:	دمای متوسط هوا:

همچنین به پیوست جدول فوق، فرم زیر برای هر پرواز تکمیل گردد:

ردیف	نام ایستگاه زمینی پرواز	تاریخ پرواز	ساعت برخاست	ساعت نشست	سرعت باد	دما	توضیحات تکمیلی

پیوست ۷: تهیه اندکس مدل

اندکس محدوده مدل‌های برجسته‌بینی در حالت به‌کارگیری پهپاد با قابلیت تصویربرداری نسبتاً قائم و پایدار (تیلت کمتر از ۵ درجه و تغییرات پوشش تصویری کمتر از ۵٪)، به روش زیر تهیه می‌گردد:

- نمایش هر تصویر به‌صورت یک نقطه با اطلاعات توصیفی شامل شماره تصویر و پارامترهای توجیه خارجی پس از مثلث‌بندی هوایی
- انتخاب زیرمجموعه ای از تصاویر که حداقل پوشش طولی ۶۰٪ و پوشش عرضی ۲۰٪ را تأمین کنند به‌طوری که گپ بین مدل‌های برجسته بینی سه بعدی رخ نداده و کل حد کار کارفرما با مدل‌های برجسته‌بینی پوشش داده شود.
- محاسبه ارتفاع متوسط سطح زمین در هر تصویر از طریق DTM منطقه و اضافه کردن آن به اطلاعات توصیفی نقطه مربوطه
- اتصال نقاط متوالی در هر نوار تصویربرداری با پاره خط‌هایی به یکدیگر (خطوط پروازی)
- ترسیم دو خط عمود از نقاط دو سر هر پاره خط که مشخص کننده حد چپ و راست مدل می‌باشد.
- ترسیم خطوطی به موازات خطوط پروازی و میانه آن‌ها که حد بالا و پایین مدل را تشکیل می‌دهد.
- تشکیل پلیگون هر مدل از اتصال و تقاطع حدود چپ، راست، بالا و پایین مدل‌ها

اندکس محدوده مدل‌های برجسته‌بینی در حالت به‌کارگیری پهپاد نسبتاً ناپایدار با تصویربرداری دارای تیلت بین ۵ تا ۱۵ درجه (تصاویر با تیلت بیش از ۱۵ درجه برای برجسته بینی توصیه نمی‌شود)، به روش فوق تهیه می‌گردد اما ملاحظات زیر باید در آن رعایت شود:

- نوارهای پرواز اضافی در گام اول به روش سعی و خطا حذف می‌گردند به‌طوری که گپ مدل برجسته بینی بین نوارها رخ ندهد. برای این منظور باید حد عکس‌ها روی سطح زمین محاسبه شده و برای یک گرید (ابعاد حداقل یک دهم ابعاد عکس) تعداد عکس‌های قابل مشاهده محاسبه شود. اگر با حذف نوارهای انتخابی، تعداد عکس‌های قابل دید در یکی از رئوس گرید کمتر از ۲ عکس شد نباید تمام یا بخشی از آن نوار حذف شود.
- در داخل هر نوار، عکس‌های اضافی یک یا چند در میان حذف می‌شوند به شرطی که تعداد عکس‌های قابل دید در همه رئوس گرید کمتر از ۲ عکس نشود.
- در هر صورت زوج تصاویر بهینه برای تشکیل مدل برجسته‌بینی بایستی به‌گونه‌ای انتخاب شوند که تا حد امکان مقیاس تصاویر به هم نزدیک باشد، محور اپتیکی تصاویر با هم موازی باشد، محور اپتیکی تصاویر در راستای بردار نرمال سطح باشد، شرط $B/H<0.25$ برقرار باشد و نواحی پنهان به حداقل برسد. برای زوج تصاویر انتخابی باید حد مدل بر اساس روش فوق ترسیم شود همچنین به دلیل وجود پیچیدگی‌های هندسی در ترسیم خطوط حد مدل‌ها، باید سعی شود محدوده مدل‌ها به نحوی انتخاب

شود که ضمن اینکه مساحت محدوده مدل از ۲۰٪ مساحت عکس روی زمین کوچک‌تر نشود تا حد امکان به محدوده مرکزی عکس‌ها نزدیک بوده و به سمت مرز عکس‌ها نرود.

پیوست ۸: ایستگاه ماندگار

نکاتی که می‌بایست در ایجاد شبکه ایستگاه‌های ماندگار رعایت شود عبارت‌اند از:

- موقعیت ایستگاه طوری انتخاب شود که امکان ماندگاری ایستگاه بالا باشد.
- ساختمان ایستگاه شبکه ماندگار به‌صورت بتن در جا ایجاد شود.
- ابعاد ایستگاه به‌صورت ۶۰*۴۰*۴۰ سانتیمتر با سر قالب ۳۵*۳۵ سانتیمتر و سطح بتن به‌صورت شابلون نویسی ایجاد گردد.
- تمامی ایستگاه‌ها با گیرنده تعیین موقعیت GNSS و با مدت زمان استقرار مناسب قرائت شوند.
- ایستگاه‌هایی که به‌صورت حکاکی ایجاد می‌شوند حکاکی آن‌ها مناسب و در حد ایستگاه‌های ماندگار باشد. (مثلثی به ابعاد ۱۵ سانتیمتر و به عمق یک سانتیمتر و وسط آن علامت‌گذاری شود)
- چنانچه در داخل شهر امکان ایجاد بتن و یا حکاکی وجود نداشته باشد می‌توان از پلاک‌های آلومینیومی به قطر ۱۰ سانتیمتر که روی آن اسم مشاور و شماره ایستگاه حک‌شده باشد استفاده کرد.
- برای تمامی نقاط شبکه ماندگار کارت شناسایی تهیه گردد.

	۱/۵۰۰	۱/۱۰۰۰	۱/۲۰۰۰
فواصل اضلاع شبکه ماندگار	۱۰۰۰ متر	۱۵۰۰ متر	۲۰۰۰ متر

فرم شماره ۳

کارت شناسایی ایستگاه های ماندگار

سال تهیه :	ایستگاه :	ارم مشاور :

مشاور :	پروژه :	شماره و تاریخ قرار داد :	کارفرما :
نظارت :	استان :	شهرستان :	منطقه :

	h بیضوی		N		ϕ
	H ژئوید		E		λ
سیستم تصویر :		قاچ :		بیضوی مبنا :	

مشخصات ایستگاه :	امتداد ایستگاه به ایستگاه های مجاور:

گروکی منطقه و راه های دسترسی :

مهر و امضاء مشاور

منابع و مراجع

۱- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد اول: ژئودزی و ترازیابی نشریه شماره ۱-۱۱۹، معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی شماره ۱۰۰/۹۳۶۱ مورخ ۱۳۹۶/۱/۲۹

۲- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد دوم: نقشه‌برداری هوایی (کلیات) نشریه شماره ۲-۱۱۹، معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی شماره ۱۰۰/۹۳۶۰ مورخ ۱۳۹۶/۱/۲۹

۳- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد ششم: داده‌ای شبکه‌ای و تصویری نشریه شماره ۶-۱۱۹، معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی شماره ۱۰۰/۹۳۶۳ مورخ ۱۳۹۶/۱/۲۹

۴- مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP–جلد ۱ طراحی پرواز-۱۳۹۹- سازمان نقشه‌برداری کشور

۵- مجموعه دستورالعملهای تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP–جلد ۲ سکوهای پرنده و عملیات تصویربرداری و سیستم‌های ناوبری و سنجنده های هوایی-۱۳۹۹- سازمان نقشه‌برداری کشور

۶- مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP–جلد ۳ پردازش تصاویر دوربینهای رقومی-۱۳۹۹- سازمان نقشه‌برداری کشور

۷- مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP–جلد ۴ روش‌های پردازش داده‌های GPS/IMU - پروژه‌های تصویربرداری-۱۳۹۹- سازمان نقشه‌برداری کشور

۸- مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP–جلد ۵ تهیه اندکس طراحی پرواز -۱۳۹۹- سازمان نقشه‌برداری کشور

۹- استاندارد و دستورالعمل تهیه نقشه‌های رقومی مقیاس ۱:۵۰۰، ۱:۱۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰ به روش فتوگرامتری، نگارش ۳، کمیته استانداردهای اطلاعات توپوگرافی رقومی، سازمان نقشه‌برداری کشور

۱۰-مجموعه دستورالعمل‌های کاری تبدیل رقومی عوارض فتوگرامتری و ویرایش فایل‌های گرافیکی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نگارش ۱/۱، مدیریت نقشه‌برداری هوایی، سازمان نقشه‌برداری کشور، سال ۱۳۷۶

۱۱-دستورالعمل نظارت و کنترل فنی نقشه‌ها و اطلاعات مکانی تهیه‌شده با استفاده از پهپاد (نسخه آزمایشی)، مورخ اسفند ماه ۱۳۹۵- سازمان نقشه‌برداری کشور

۱۲-دستورالعمل تهیه حد مدل‌های تبدیل در پروژه‌های فتوگرامتری- سازمان نقشه‌برداری کشور

۱۳-دستورالعمل آماده سازی داده های مکانی ۱:۲۰۰۰ برای تشکیل پایگاه داده های توپوگرافی (TDBنگارش ۱ شهریور ۸۷)- سازمان نقشه‌برداری کشور

۱۴-دستورالعمل تولید ایندکس محصولات عکسی و نقشه‌های موردی- ۱۳۹۷- سازمان نقشه‌برداری کشور

۱۵-موسسه و کتابخانه پهپادی ایران www.pahpad.com

۱۶-مرکز ساماندهی پهپادهای غیرنظامی www.UAVregister.ir

۱۷-وب سایت پهپاد هواپیمایی کشوری www.uas.cao.ir

۱۸-سرور نقشه‌ها و حریم‌های هوایی www.map.xed.ir

۱۹-خبرگزاری پهپاد نیوز www.pahpadnews.ir

۲۰-مقررات وسایل پرنده هدایت‌پذیر از دور (پهپادها) - مجموعه دستورالعمل‌های هواپیمایی کشوری شیوه نامه ۹۰۶۰- ویرایش 01 فروردین 00

21- International Association for Unmanned Vehicle Systems, www.auvsi.org
22- Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Analysis, (2019), Matt Weilberg, CALLISTO REFERENCE Press.
23- Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology, (2004), Li, Z, C. Zhu and C. Gold, CRC Press.
24- Introduction to Modern Photogrammetry, (2001), E.M. Mikhail, J.C. McGlone.
25- Manual of Photogrammetry, (2004), McGlone, J. C, E. M. Mikhail, J. S. Bethel, A. S. f. Photogrammetry, R. Sensing and R. Mullen, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
26- Adjustment Computations: Spatial Data Analysis, (2017), Ghilani, C. D. and Wolf, P. R 6th Edition, Wiley, ISBN 978-1-119-38598-1.
27- Close-range Photogrammetry and 3D Imaging, (2013), Luhmann, T., S. Robson, S. Kyle and J. Boehm De Gruyter.
28- Close Range Photogrammetry and Machine Vision, (2001), Atkinson, K. B. Whittles.
29- An invitation to 3D vision: from images to geometric models, (2012), Ma, Y., Soatto, S., Kosecka, J., & Sastry, S. S., Vol. 26, Springer Science & Business Media.
30- Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, (2013), Groves, P. D. Second Edition, Artech House.
31- Photogrammetric Image Analysis, (2011), Stilla, U., F. Rottensteiner, et al., ISPRS Conference, Munich, Germany, October 5-7, 2011. Proceedings, Springer Berlin Heidelberg.

تمام 69 صفحه این سند مهر شده توسط:
[national cartoghraphic center [Stamp
شناسه ملی:14000193436

زمان مهر: 1400/10/26 11:20:24