



دستورالعمل تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد

الهام طیبی - شمس الملوک علی آبادی

اداره کل نظارت، کنترل فنی و استاندارد
مرداد ۱۴۰۱

CONTENTS

- 1 تاریخچه و روند اجرای دستورالعمل
- 2 معرفی سامانه فتوگرامتری پهپاد
- 3 عملیات طراحی و میدانی
- 4 پردازش داده ها و محاسبات مثلث بندی هوایی
- 5 محصولات مکانی



01

تاریخچه و روند اجرای
دستورالعمل

دستورالعمل تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد

نگارش ۱

این مجموعه در قالب پنج فصل به معرفی سامانه فتوگرامتری پهپاد و مراحل تهیه نقشه و سایر محصولات مکانی با استفاده از این سامانه می پردازد همچنین چگونگی ارزیابی کیفی این محصولات مورد بحث قرار می گیرد.

رعایت کامل مفاد این دستورالعمل توسط دستگاه های اجرایی، مهندسان مشاور و عوامل دیگر در طرح های عمرانی الزامی است.

Replace with your own text

 دولت جمهوری سازمان برنامه و بودجه رئیس سازمان		پارتی
شماره : ۱۴۰۰/۶۲۰۲۳۱	پخشنامه به دستگاه های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	
تاریخ : ۱۴۰۰/۱۲/۰۲		
موضوع: دستورالعمل تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهباد		
در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه های توسعه کشور موضوع نظام فنی و اجرایی یکپارچه، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۹-۱۱۹ امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران با عنوان «دستورالعمل تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهباد» از نوع گروه سوم ابلاغ می شود. سازمان نقشه برداری کشور، دریافت کننده نظرات و پیشنهاد های اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان اعلام خواهد کرد.		
 حسین مسعودی میر کائنات		

دستورالعمل های همسان نقشه برداری – جلد نهم: تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد

نوع

عنوان انگلیسی

ضوابط فنی (نشریه) ،

Generating Maps and Spatial Information Using UAV Photogrammetry

نسخه

زبان

تاریخ انتشار

تاریخ تصویب

۰

فارسی

۱۴۰۰/۱۲/۰۷

۱۴۰۰/۱۲/۰۲

تاریخ اجرا

تاریخ ابلاغ

تاریخ اعتبار

شماره بخشنامه

۱۴۰۱/۰۴/۰۱

۱۴۰۰/۱۲/۰۲

۱۴۰۰/۶۲۰۲۳۱

شماره نشریه

نوع دستورالعمل

کد ضابطه

۰۱۱۹

گروه ۳ (لازم الاجرا)

۱۷۰۵۰۱۰۹-۱۴۰۰-۰۱۱۹-۹-۰-FA

کلمات کلیدی

نقشه برداری همسان دستورالعمل

دانش

نقشه برداری ، جزئیات همسان ، دستورالعمل های اجرایی ، نقشه برداری

ضابطه های مرتبط

دستورالعمل های همسان نقشه برداری - جلد ششم: داده های شتابسنجی و تصاویر (تجدید نظر اول)

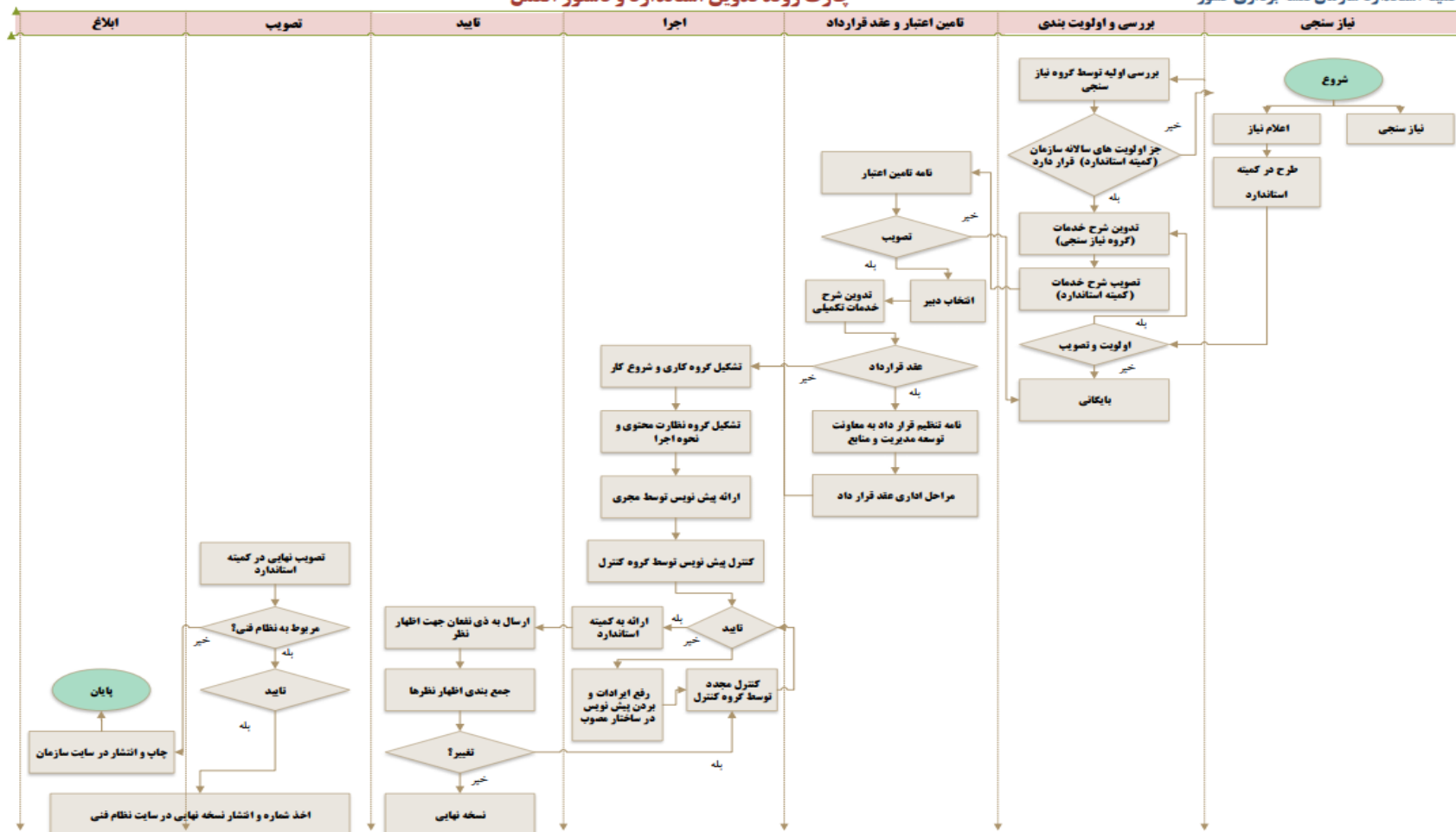
اعضای گروه تهیه کننده (به ترتیب حروف الفبا):

سید هومن سید الماسی	مهندسین مشاور رصد ایران	کارشناسی ارشد
مهدی برومند	شرکت نما پرداز رایانه	کارشناسی مهندسی نقشه برداری
نعمت اله حبشی	سازمان نقشه برداری 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 نقشه برداری کشور	کارشناس ارشد ریاضی
رقیه فتحی الماس	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناس ارشد سنجش از دور
الهام طیبی	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
سمیه طحان پور	سازمان نقشه برداری کشور	کارشناس ارشد سنجش از دور-دکتری مدیریت دولتی
مسعود ورشوساز	هیأت علمی گروه فتوگرامتری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	دکتری فتوگرامتری

روند تدوین دستورالعمل

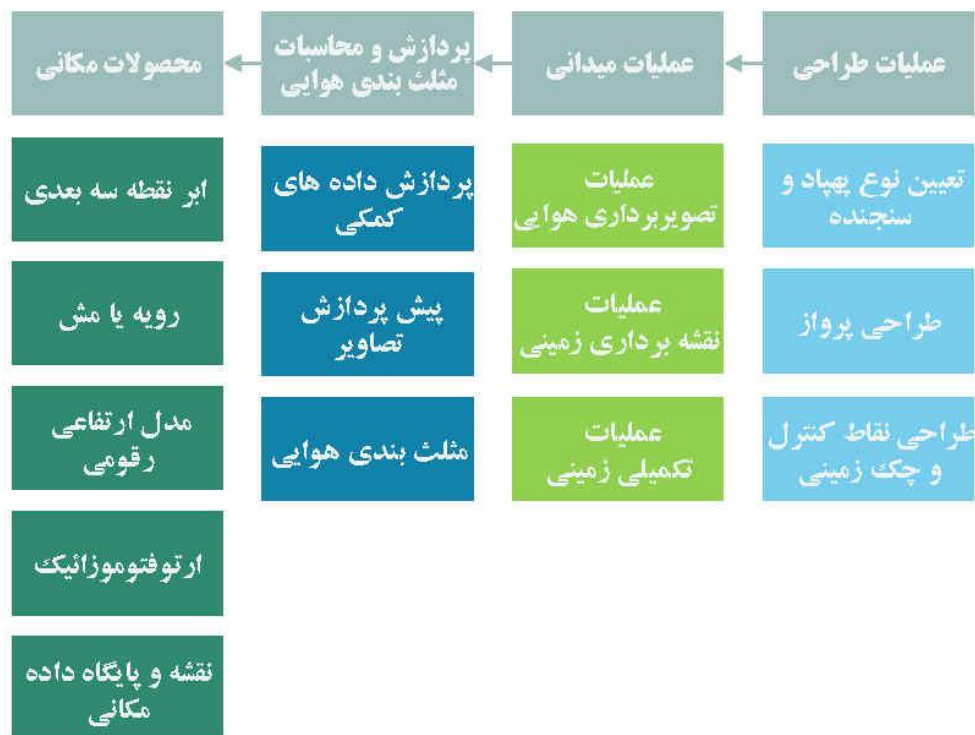
چارت روند تدوین استاندارد و دستورالعمل

کمیته استاندارد سازمان نقشه برداری کشور



مراحل کلی تهیه نقشه و اطلاعات مکانی با استفاده از پهپاد

مراحل تهیه نقشه و اطلاعات مکانی
به روش فتوگرامتری پهپاد





02

معرفی سامانه
فتوگرامتری پهپاد

سامانه فتوگرامتری پهپاد UAV Photogrammetry

- 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
- غیر متریک بودن دوربین (دوربین با پارامترهای کالیبراسیون با مقادیر بزرگ، نامعلوم و ناپایدار) و افزایش خطاهای مسطحاتی و ارتفاعی در مقایسه با فتوگرامتری متریک بسته به سطح غیرمتریک بودن
- کنترل و کاهش خطاها از طریق تصویربرداری با GSD کمتر، افزایش پوشش‌های تصویری به بالای ۶۰٪، نقاط کنترل زمینی با تراکم بیشتر، بهره‌گیری از مشاهدات کمکی GNSS/IMU، روش‌های مثلث‌بندی هوایی غیر متریک

موارد استفاده از پهپاد در نقشه برداری



- تولید نقشه، به روز رسانی نقشه، تولید مدل رقومی زمین، تولید ارتوفتوموزائیک و ...
- فتوگرامتری پهپاد برای تهیه محصولات مکانی مسطحاتی مانند ارتوفتوموزائیک در مقایسه با محصولات مکانی ارتفاعی مناسب تر می باشد.
- تهیه ارتوفتوموزائیک در انجام مطالعات و طراحی های مهندسی از مناطق شهری و غیر شهری، با اهداف آشکارسازی تغییرات و تهیه نقشه تصویری زمینه
- تهیه و بهنگام رسانی نقشه های بزرگ مقیاس (۱:۵۰۰، ۱:۱۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰) از مناطق غیر شهری

شرایط به کارگیری روش فتوگرامتری پهپاد برای تولید نقشه

مقیاس نقشه	وسعت منطقه	شرایط به کارگیری
۱:۵۰۰	چند هکتار تا چند ده هکتار	در صورت وجود شرایط خاص مانند عدم دسترسی به منطقه، جایگزین روش نقشه برداری زمینی
۱:۵۰۰ تا ۱:۲۰۰۰	چند ده تا چند هزار هکتار	استفاده از پهپادهای با مداومت پروازی ۳۰ دقیقه و بیشتر، به کارگیری دوربین با حد تفکیک مکانی بالای ۲۰ مگاپیکسل و قابلیت پرواز پرنده بال ثابت یا مولتی روتور در ارتفاع ع بالاتر از ۵۰ متر نسبت به سطح زمین
۱:۵۰۰ تا ۱:۲۰۰۰	چند هزار تا چند ده هزار هکتار	استفاده از پهپادهای با مداومت پروازی یک ساعت و بیشتر، به کارگیری دوربین با حد تفکیک مکانی بالای ۵۰ مگاپیکسل و قابلیت پرواز پرنده بال ثابت در ارتفاع بالاتر از ۱۰۰ متر نسبت به سطح زمین
۱:۵۰۰۰ تا ۱:۲۰۰۰۰	چند ده هزار تا چند صد هزار هکتار	استفاده از پهپادهای با مداومت پروازی چند ساعت، به کارگیری 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

انتخاب نوع پهپاد



- 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 به نحوی که تصویربرداری به صورت کامل و بدون گپ از منطقه انجام گیرد.
- متناسب بودن حداکثر سرعت باد قابل تحمل 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، RTH و ...

تجهيزات تعیین موقعیت و وضعیت پهپاد (GNSS/IMU)

- به منظور هدایت و کنترل پرواز پهپاد

- در پهپاد فتوگرامتری، به عنوان مقادیر اولیه در محاسبات و پردازش تصاویر

03

عملیات طراحی و میدانی

1. عملیات طراحی

2. عملیات میدانی

1. تعیین سکو و سنجنده،

2. طراحی پرواز

3. طراحی نقاط کنترل

مشخصات و تنظیمات لازم سکو و سنجنده

- عدسی

عدسی مورد استفاده باید از نوع ثابت بوده و به کارگیری عدسی با بزرگنمایی متغیر مجاز نیست.

اتوفوکوس عدسی باید خاموش باشد.

عدم استفاده از لنزهایی که سیستم لرزه گیر دارند

استفاده از لنز با فاصله کانونی که نسبت باز به ارتفاع را تأمین کند.

مشخصات و تنظیمات لازم سکو و سنجنده



دوربین و تنظیمات آن

- 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
- برای حفظ پایداری هندسی، فاصله کانونی عدسی باید ثابت باشد. پایدارساز یا لرزش گیر سنجنده و عدسی (منظور پایدارساز داخلی است) همچنین اتوفوکوس باید خاموش باشد.
- عدسی مورد استفاده در دوربین و نحوه اتصال آن به بدنه دوربین، از پایداری مناسب برخوردار باشد
- بدنه دوربین از استحکام لازم برخوردار باشد
- سرعت شاتر در حدی باشد که کشیدگی تصویری به کمتر از نیم پیکسل برسد.
- حساسیت دوربین یا ISO می بایست مقدار ثابتی باشد. عدد ایده آل برای آن ۱۰۰ بوده و نباید بیشتر از ۴۰۰ باشد.
- پارامتر سرعت عدسی یا $f/stop$ بین ۴ تا ۸ تنظیم شده و مقداری ثابت باشد.
- در صورت فعال بودن تنظیم خودکار روشنایی تصویر، ملاحظات مربوط به سرعت شاتر، $f-stop$ و ISO رعایت شود تا ضمن هماهنگی با شرایط نوری متغیر، کیفیت تصاویر مخدوش نشود.
- حداکثر نرخ تصویربرداری و ذخیره سازی دوربین می بایست با سرعت پرنده و حداقل پوشش طولی مورد نیاز مطابقت داشته باشد.
- دوربین امکان تصویربرداری حداقل سه طیفی (RGB) با وضوح ۲۴ بیت را دارا باشد.
- ترجیحاً دوربین امکان ذخیره تصاویر با فرمت RAW داشته باشد.

مشخصات و تنظیمات لازم برای طراحی پرواز سکو

- تعیین ضریب کاهش حد تفکیک تصویری

در فتوگرامتری پهباد به دلیل عواملی همچون

لرزش، کشیدگی تصویری، تاری دید به واسطه ابر، مه، رطوبت، Haze، گرد و غبار، آلودگی هوا و پدیده تفرق نور روی سنجنده‌ها، شاخص GRD یا فاصله حد تفکیک زمینی دارای مقداری بیشتر از ابعاد پیکسل زمینی تصویر یا GSD می‌شود.

نسبت این دو ($k = GRD/GSD$) را ضریب کاهش حد تفکیک تصویری می‌نامند. حد تفکیک تصاویر می‌بایست قبل از انجام هر پروژه تصویربرداری هوایی با به‌کارگیری تارگت زیمنس محاسبه شود.

مشخصات و تنظیمات لازم برای طراحی پرواز سکو



- تعیین GSD تصویربرداری

در تعیین GSD تصویربرداری می‌بایست موارد ذیل لحاظ شود:

(الف) محدودیت ناشی از کاهش حد تفکیک مکانی تصویر

(ب) محدودیت ناشی از دقت مسطحاتی محصولات مکانی

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.

مقیاس نقشه	GRD متوسط تصاویر (سانتیمتر)	بازه مجاز GRD تصاویر (سانتیمتر)
۱:۵۰۰	۴	۳-۵
۱:۱۰۰۰	۸	۶-۱۰
۱:۲۰۰۰	۱۶	۱۲-۲۰

(ج) محدودیت ناشی از دقت ارتفاعی محصولات مکانی: به منظور تأمین دقت ارتفاعی مورد نیاز نقشه، در حالتی که منحنی میزان ۲ سانتیمتر و کمتر مورد نظر باشد، می‌بایست شاخص $C\text{-Factor}$ یا مورد توجه قرار گیرد. برای این منظور ارتفاع پرواز (H) می‌بایست کمتر از حاصل ضرب $C\text{-Factor}$ در فاصله منحنی میزان (CI) باشد.

$$GSD = \alpha C.F. CI, \left(\alpha = \frac{PS}{f} \right)$$

(د) محدودیت ناشی از ایمنی پرواز یا موارد امنیتی: مطابق با مقررات سازمان هواپیمایی کشوری و نهادهای نظامی و امنیتی کشور در خصوص حداقل یا حداکثر ارتفاع پرواز پهپادها در مناطق مختلف

مشخصات و تنظیمات لازم برای طراحی پرواز سکو



- تعیین محدوده پرواز

- تعیین محدوده پرواز با استفاده از منابع اطلاعاتی مانند تصاویر گوگل، نقشه‌های پوششی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های کوچک‌مقیاس، تصاویر یا عکس هوایی کوچک‌مقیاس
- محدوده پرواز به میزان حداقل ۶۰ درصد بزرگ‌ترین ضلع محدوده عکس روی زمین در مرز بیرونی حد پرواز
- در نواحی کریدور شکل تصویربرداری با حداقل دو مسیر (رفت و برگشت) یا بیشتر با پوشش عرضی ۶۰ درصد انجام شود به‌طوری‌که منطبقه موردنظر با پوشش کامل در حداقل دو نوار ظاهر شود.

مشخصات و تنظیمات لازم برای طراحی پرواز سکو

- تعیین امتداد نوارهای پرواز

• جهت وزش باد

در صورتی که شرایط فیزیکی پهباد به گونه‌ای باشد که وزش باد روی پایداری آن تأثیر بگذارد:

- جهت نوارهای پرواز به صورت رفت و برگشت و در جهت غالب وزش باد

- در مورد پهبادهای بال ثابت دلتا که ناپایداری آن‌ها با کاهش وزن پهباد و کاهش سرعت پرواز به شدت افزایش می‌یابد، برای جلوگیری از مشکلات تغییرات پوشش طولی، نوارهای پرواز در راستای عمود بر جهت غالب وزش باد طراحی شود.

- تنظیمات اتوپایلوت روی تصویربرداری با باز مکانی ثابت و نه زمان ثابت با در نظر گرفتن اینکه تصویربرداری با پوشش طولی ۶۰٪ مجاز نمی‌باشد.

• جهت شیب و توپوگرافی زمین

- هدایت پهباد در ارتفاع مطلق ثابت. حداکثر مجاز تغییرات ارتفاع پرواز یا GSD به دلیل شیب و توپوگرافی زمین، به میزان ۱۰٪

- اگر تغییرات ارتفاع بیشتر از این میزان شد، نوارهای پرواز در جهت غالب منحنی میزان‌های منطقه طراحی شود و ارتفاع پرواز هر نوار متناسب با تغییر ارتفاع متوسط پروفیل مربوطه روی سطح زمین تغییر کند.

• شکل حد کار:

طراحی نوارهای پرواز در پرنده‌های بال ثابت در راستای طولی منطقه و در پرنده‌های مولتی روتور در راستای طولی یا عرضی منطقه

• جهت سایه‌ها:

تصویربرداری هوایی در نوارهای هم‌جهت با امتداد سایه‌ها (راستای شرقی-غربی)

مشخصات و تنظیمات لازم برای طراحی پرواز سکو

- تعیین پوشش طولی و عرضی تصاویر

- هرچه پوشش تصاویر بیشتر شود تعداد تصاویر همپوشان برای بازسازی سه بعدی یک نقطه بیشتر شده و دقت مختصات سه بعدی نقاط بخصوص از لحاظ ارتفاعی در تولید مدل رقومی سطح بیشتر می شود. افزایش کیفیت ارتوفتوموزائیک به خاطر کاهش نواحی پنهان و استفاده از نواحی مرکزی تر تصاویر
- پوشش طولی و عرضی تصاویر در حالت ایده آل $80\% - 80\%$ هیچ یک از پوششهای طولی و عرضی نباید د از 60% کمتر شود و مجموع پوشش طولی و عرضی حداقل 130% درصد
- تغییرات پوشش طولی و عرضی تصاویر در حد 5% مجاز می باشد.
- در صورتی که انحراف معیار مشاهدات PPK/RTK هوایی از $1:4$ خطای نقشه بیشتر نباشد، می توان پوششهای طولی و عرضی را تا $60\% - 60\%$ کاهش داد.

مشخصات و تنظیمات لازم برای طراحی پرواز سکو



- طراحی نوارهای متقاطع (کراس)

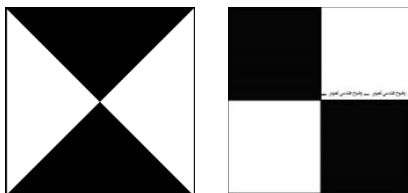
- در مناطق کوهستانی شدید یا شهری شلوغ با ساختمان‌های بلند به منظور افزایش قابلیت دید و استحکام شبکه ضروریست

- در مناطق مسطح برای افزایش استحکام شبکه و کاهش وابستگی پارامترهای توجیه داخلی و خارجی، بهتر است حداقل یک نوار کراس در میانه بلوک طراحی شود.

مشخصات لازم برای نقاط کنترل و چک در طراحی

- طراحی شکل و ابعاد تارگت زمینی

- نصب تارگتهای با شکل متقارن، کنتراست بصری بالا و ابعاد مناسب قبل از پرواز در سطح منطقه موجب افزایش دقت قرائت عکسی نقاط کنترل و چک زمینی تا ۱۰:۱ ابعاد پیکسل میشود
- رعایت اصل تقارن مرکزی در شکل تارگت



- ابعاد کلی تارگت حداقل ۱۰ برابر GRD و حداکثر ۲۰ برابر GRD .
- ضخامت خطوط تارگت کراس نیز میبایست بین یک GRD تا دو برابر GRD
- محل مرکز تارگت حداقل با دقت یک دهم GRD با یک نقطه یا کراس علامت گذاری شود.

مشخصات لازم برای نقاط کنترل و چک در طراحی

طراحی نقاط کنترل و چک زمینی

● فواصل و تراکم نقاط کنترل به نحوی باشد که خطای مثلث‌بندی هوایی روی نقاط کنترل و چک از نصف خطای نقشه کمتر باشند.

● به صورت سه‌بعدی

● کل حد کار را پوشش دهند.

● در میانه بلوک با تراکم مناسب

● در ناحیه مشترک مرزی بین زیر بلوک‌ها مشابه با تراکم دورتادور بلوک

● در پروژه‌های کوریدوری که دقت ارتفاعی نقشه اهمیت دارد نقاط ارتفاعی در راستای مسیر، به نحویکه در هر تصویر یک نقطه کنترل قرار گیرد.

● در صورت به کارگیری مشاهدات PPK/RTK هوایی می‌توان تراکم نقاط کنترل را کاهش داد اما به کارگیری تعداد مناسب نقاط کنترل زمینی ضروری است.

● فواصل نقاط کنترل:

- در حالت پوشش طولی و عرضی ۸۰٪-۸۰٪ تا سه برابر ابعاد عکس روی زمین

- در حالت پوشش طولی و عرضی ۶۰٪-۶۰٪ تا دو برابر ابعاد عکس روی زمین

- در صورت به کارگیری مشاهدات PPK/RTK هوایی با انحراف معیار ۱:۴ خطای متوسط نقشه، تا ده برابر ابعاد متوسط عکس روی زمین یا حداکثر ۲.۵ کیلومتر

- در تولید محصولات مکانی مسطحاتی، فواصل ذکر شده نقاط کنترل می‌تواند در یک ضریب ۱.۵ ضرب شود.

● نقاط چک در میانه و مرز منطقه:

- در فواصل معادل ده برابر ابعاد متوسط عکس روی زمین دست کم یک نقطه چک

- تعداد نقاط چک کمتر از سه نباشد.

- در بیشترین فاصله از نقاط کنترل مورد استفاده در مثلث‌بندی

- تعدادی نقاط چک روی مرز منطقه همچنین در اطراف مناطق گپ که نقطه گرهی نداریم

- ترجیحاً در سایه‌ها، اطراف نواحی پنهان و در مرز با تغییرات عمق شدید نباشد.

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 خطا دار اضافه شود.

عملیات میدانی در فتوگرامتری پهپاد

1. ایجاد شبکه ایستگاه-های ماندگار
2. نصب و تعیین مختصات سه بعدی تارگت های نقاط کنترل و چک
3. عملیات تصویربرداری هوایی
 1. مجوز پرواز و تصویربرداری هوایی
 2. محدوده زمانی و مکانی تصویربرداری هوایی
 3. تعیین ایستگاه-های زمینی پرواز
 4. کنترل های قبل از پرواز
 5. -کنترل های حین پرواز
 6. تهیه اندکس پرواز
 7. تهیه گزارش تصویربرداری
 8. کنترل های بعد از پرواز
 9. انجام مشاهدات تعیین موقعیت مراکز تصویربرداری و تعیین وضعیت تصاویر
4. عملیات تکمیلی زمینی



04

پردازش داده ها و
محاسبات مثلث بندی
هوایی

پردازش داده‌های کمکی

داده‌های کمکی در فتوگرامتری شامل کلیه داده‌های هندسی به‌جز مختصات عکسی و نقاط کنترل زمینی که باعث استحکام شبکه و بهبود نتایج مثلث‌بندی هوایی شده و نیاز به عملیات میدانی برای برداشت نقاط کنترل زمینی را کاهش می‌دهند.

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
محاسبات PPK باید با استفاده از مشاهدات چند ایستگاه مرجع و معلوم زمینی
- محاسبات متراکم سازی مسیر حرکت و وضعیت لحظه‌ای پرنده از طریق تلفیق مشاهدات $GNSS$ و IMU
تلفیق این مشاهدات معمولاً با فیلتر کالمن و با استفاده از پارامترهای کالیبراسیون
- استخراج پارامترهای توجیه خارجی تصویر
از طریق درونیایی روی پارامترهای موقعیت و وضعیت $GNSS/IMU$ در مرحله قبل
باید ساعت دوربین و $GNSS$ هم زمان شده و خطای عدم هم‌زمانی در کالیبراسیون سیستم برآورد شده باشد.

ارزیابی و کاهش نویز تصاویر

- وجود نویز در تصاویر موجب کاهش کیفیت ابر نقطه گرهی و متراکم می شود که تأثیر آن بخصوص در محصولات ارتفاعی مشهود است.
- کاهش اثر نویز با اعمال فیلتر گوسین

بهبود روشنایی و کنتراست تصاویر

- بهبود روشنایی و کنتراست تصاویر موجب بهبود کیفیت تناظر یابی عوارض تصویری و کیفیت ارتوفتوموزائیک و مدل های سه بعدی و می زان تفسیرپذیری عوارض در تبدیل و ترسیم
- بهبود روشنایی و کنتراست تصاویر در دو مرحله متوالی کالیبراسیون رادیومتریکی دوربین و تعدیل رادیومتریکی تصاویر
- کالیبراسیون رادیومتریکی دوربین با استفاده از مدل های رادیومتریکی و تعدیل رادیومتریکی تصاویر از طریق تصحیح هیستوگرام تصاویر و اعمال تصحیحات روشنایی و کنتراست

کاهش تصاویر ۱۶ بیتی خام به ۸ بیتی

- به منظور کار با نرم افزارهای پردازشی، می بایست تصاویر خام دوربینهای غیرمتریکی به تصاویر رنگی RGB و ۸ بیتی تبدیل شوند.

مثلث بندی هوایی

محاسبه پارامترهای توجیه داخلی و خارجی تصاویر از طریق استخراج نقاط گرهی عکسی و استفاده از مختصات نقاط کنترل زمینی و م

شاهدات کمکی

ویژگیهای نرم افزار مورد استفاده برای مثلث بندی هوایی تصاویر پهپاد:

- انعطاف پذیر بودن نسبت به ترتیب و فرمت داده های ورودی
- توانایی ارائه نتایج در فرمت های مختلف
- امکان معرفی پارامترها و وزن های تعیین شده برای مشاهدات
- امکان تعیین پارامترهای کالیبراسیون دوربین (مقادیر نهایی و انحراف معیار) و ارائه نتایج به فرمت های قابل استفاده در سایر نرم افزارها
- قابلیت ارائه ی دقت تعیین پارامترهای توجیه خارجی دوربین
- امکان مشخص نمودن وجود اشتباه در نقاط کنترل و نقاط چک
- قابلیت شناسایی تصاویر با پوشش کم و تیلت غیرمتعارف

تشکیل بلوک فتوگرامتری

مراحل تشکیل بلوک فتوگرامتری :

- 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

بخش‌بندی به زیر بلوک‌های فتوگرامتری

- در صورتی که به دلیل محدودیت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری امکان پردازش هم‌زمان کلیه تصاویر پروژه وجود نداشته باشد:
- زیر بلوک‌ها در راستای عمود بر نوارهای تصویربرداری حداقل در دو نوار مشترک و در راستای نوارهای تصویربرداری حداقل در سه عکس مشترک
 - تصاویر و نقاط کنترل مشترک در بلوک‌های محاسباتی مجاور در نظر گرفته شده و در صورت نیاز، اندازه‌گیری نقاط مشترک گرهی
 - پردازش هر زیر بلوک به صورت یک پروژه جداگانه و ترکیب و یکپارچه‌سازی محصولات مکانی حاصل از آن‌ها
 - کنترل سازگاری هندسی مرز بین زیر بلوک‌ها: بررسی تطابق مختصات سرشکن شده نقاط کنترل و چک زمینی در آن‌ها، بررسی و کنترل رل مدل‌های سه بعدی مشترک بین آن‌ها به روش برجسته‌بینی

تنظیم پارامترهای کالیبراسیون و خود کالیبراسیون

- در مورد دور بینهای غیرمتریک در هر پروژه می‌بایست با استفاده از روش خود کالیبراسیون پارامترهای توجیه داخلی و اضافی برآورد شود.
- سه پارامتر توجیه داخلی نقطه اصلی x_0, y_0 و فاصله اصلی c و به طور معمول ده پارامتر مدل براون شامل اعوجاج شعاعی k_1-k_4 ، اعوجاج خروج از مرکز p_1-p_4 ، اعوجاج افینیتی b_1-b_2 برای مدل سازی اعوجاجات عکسی
- حذف پارامترهای با وابستگی بالای ۹۵٪ از فهرست پارامترهای اضافی

استخراج و پالایش نقاط گرهی



- موفقیت بیشتر مرحله استخراج و تناظر یابی عوارض در صورت انجام پیش پردازش کاهش نویز و بهبود روشنایی و کنتراست تصاویر
- پراکندگی یکنواخت نقاط گرهی در سطح تصاویر و با فواصل مناسب (کمتر از ۱۰۰ پیکسل)
- بهبود نتایج در صورت استخراج نقاط گرهی با حد تفکیک تصویر اصلی
- اندازه گیری نقطه گرهی دستی با فواصل مناسب در نواحی با نقاط گرهی کم و معرفی به شبکه با وزن مناسب
- حذف نقاط گرهی اشتباه
- حذف تصاویری که تعداد نقاط گرهی بسیار کمی دارند (یا خطای باقیمانده عکسی آنها از سه برابر خطای متوسط باقیمانده های عکسی در کل بلوک بیشتر است) یا معرفی مشاهدات نقاط گرهی این تصاویر با وزن کمتر
- انجام باندل اجستمنت اولیه ای همراه با خود کالیبراسیون و صرفاً با نقاط گرهی و تکرار آن به منظور حذف نقاط گرهی اشتباه و نویزی و حصول شبکه ای از نقاط گرهی با حداقل خطا
- خطای متوسط باقیمانده های عکسی بیش از یک پیکسل نشود در غیر این صورت خطاهای مثلث بندی هوایی روی نقاط چک همچنین ناسازگاری های هندسی در محصولات مکانی و پارالاکس مدل برجسته بینی به سرعت افزایش می یابد.

معرفی مشاهدات نقاط کنترل و چک به بلوک فتوگرامتری

- ارجحیت قرائت نقاط کنترل به صورت سه‌بعدی نسبت به قرائت مونوسکوپیک در مناطقی که عارضه مسطحاتی مشخصی وجود ندارد
- قرائت نقاط بصورت دستی در مورد نقاط کنترلی که در مرز اشیاء با اختلاف ارتفاع زیاد قرار گرفته‌اند، (اعمال روش تناظر یابی تصویری کمترین مربعات معمولاً دقت قابل قبولی نمی‌دهد)
- تکرار عملیات برداشت نقاط کنترل زمینی به روش استرئو زمینی در صورتی که با توجه به سطح خطا روی نقاط چک، تعداد و پراکندگی نقاط کنترل کافی نباشد.
- 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 معنای اینکه مشاهدات از دقت کافی برخوردار نیستند.

معرفی مشاهدات RTK/PPK هوایی به بلوک فتوگرامتری

- لحاظ نمودن پارامترهای کالیبراسیون مشاهدات RTK/PPK در مثلث بندی هوایی در صورتی که در مرحله پردازش مشاهدات موقعیت و وضعیت تصاویر، پارامترهای کالیبراسیون بر روی این مشاهدات اعمال نشده باشد؛ شامل شش پارامتر شیفت و دریافت برای هر *strip* به منظور تعیین موقعیت و سه پارامتر زوایای اتصال IMU و دوربین به منظور تعیین وضعیت تصاویر هوایی
- حذف مشاهدات RTK/PPK هوایی با قدر مطلق باقیمانده بیشتر از سه برابر انحراف معیار کل باقیمانده ها از فهرست مشاهدات
- استفاده از مشاهدات IMU های کم دقت اتوپایلوت فتوگرامتری پهباد صرفاً در مناطقی که نمی توان از تصاویر، نقاط گرهی استخراج نمود و دوران ها را به دست آورد یا استفاده از این مشاهدات به عنوان مقادیر اولیه با دقت کم در تشکیل بلوک و مثلث بندی هوایی

- **وزن مشاهدات نقاط گرهی خودکار**

- انحراف معیار نقاط گرهی (وزن برابر عکس مربع انحراف معیار است) ۱.۵ تا سه برابر انحراف معیار متوسط باقیمانده‌های عکسی
- 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
- اگر وزن مشاهدات نقاط گرهی را کمتر از این مقدار قرار دهیم، شبکه تصاویر قابلیت انعطاف و تغییر شکل بیشتری پیدا نموده و اهمیت مشاهدات RTK/PPK یا نقاط کنترل افزایش می‌یابد 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 در تعادل با یکدیگر
- انحراف معیار مشاهدات عکسی نقاط کنترل/چک برابر با حاصل تقسیم انحراف معیار مشاهدات زمینی نقاط کنترل/چک بر
GSD

- **وزن مشاهدات GNSS/IMU**

- انحراف معیار مشاهدات GNSS/IMU معادل دقت محاسبه شده برای این مشاهدات
- اگر انحراف معیار خطای مشاهدات RTK/PPK از خطای مجاز نقشه کمتر باشد می‌توان آن‌ها را به صورت وزن دار به بلوک فتوگرامتری معرفی نمود
- در حالت ایده آل انحراف معیار مشاهدات RTK/PPK هوایی (به عنوان نقاط کنترل هوایی) کمتر از ۱:۴ خطای مجاز نقشه

نتایج مثلث بندی هوایی و ارزیابی کیفی نتایج

خروجی مثلث بندی هوایی:

- پارامترهای توجیه داخلی تصاویر شامل x_0, y_0, c
- پارامترهای اضافی توجیه داخلی: پارامترهای اعوجاج شعاعی عدسی k_1-k_4 ، پارامترهای خروج از مرکز p_1-p_2 ، پارامترهای افینیتی b_1-b_2
- پارامترهای توجیه خارجی تصاویر شامل مختصات مراکز تصویر و وضعیت دوربین $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa$ در زمان تصویربرداری

کیفیت نتایج سرشکنی وابسته است به:

- ارتفاع پرواز و وضوح هندسی تصاویر
- کیفیت، پایداری و دقت هندسی عدسی، سنجنده و بدنه دوربین تصویربرداری
- نوع شاتر دوربین
- شرایط تصویربرداری و کیفیت تصاویر
- پوشش های 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 نرم افزار مورد استفاده در تعیین پارامترهای توجیه خارجی
- میزان اشتباهات تشخیص داده نشده (باقیمانده) در داده ها
- خطاهای سیستماتیک تصحیح نشده در داده ها
- نحوه وزن دهی به مشاهدات

ارزیابی دقت پارامترهای توجیه خارجی تصاویر

- ارزیابی بر اساس گزارش کیفیت ارائه شده توسط نرم افزار

- کنترل GSD متوسط
- آمار نقاط گرهی تولیدشدهی خودکار
- کنترل پوشش ها
- بررسی مقادیر جدول دقت های نقاط کنترل و نقاط چک
- عدم وجود نشانه ای دال بر وجود خطای سیستماتیک در باقیمانده های موجود بر روی نقاط عکسی یا نقاط کنترل زمینی
- عدم بهبود قابل توجه در نتایج نهایی با افزودن تعداد تکرار در مرحله محاسبات
- تفسیر و تحلیل بخش های دیگر گزارش به کمک راهنمای نرم افزار

- ارزیابی مستقل پارامترهای تعیین شده

- بررسی مدل سه بعدی پس از اولین مرحله ی پردازش و تشکیل نقاط گرهی خودکار، از طریق انتخاب تعدادی نقاط اتفاقی از قسمتهای مختلف مدل و کنترل عکس های مرتبط آن
- تشکیل مدل های سه بعدی استرئو و بررسی وجود پارالاکس در تصاویر
- اندازه گیری مختصات سه بعدی نقاط کنترل و چک در محیط برجسته بینی

تصحیح هندسی تصاویر



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 رفع 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

مدل اعوجاجات هندسی در تصاویر حاصل از دوربین‌های غیر متریک به صورت *Image Varient* درمی‌آید اگر:

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



05

محصولات مکانی

- ابر نقطه سه بعدی

- ❖ ابر نقطه حاصل از روش فتوگرامتری باید به صورت رنگی باشد و در فرمت ترجیحاً LAZ ارائه شود.
- ❖ بعد از تولید ابر نقطه متراکم مراحل شامل اعمال فیلتر حذف نقطه بلاندر، فیلتر کاهش نویز اتفاقی، طبقه بندی و فیلتر حذف عوارض غیرزمینی (به منظور تولید DTM) انجام می شود.

- ارزیابی کیفیت ابر نقطه

1. بررسی خطای نقاط کنترل و چک بر روی ابر نقطه
2. بررسی سطح دقت، سازگاری و کامل بودن ابر نقطه تولیدشده از طریق مشاهده و کنترل انطباق آن با مدل های برجسته زمینی سه بعدی
3. مقایسه ابر نقطه با عوارض ارتفاعی نقشه های دقیق تر موجود از منطقه
4. بررسی یکنواختی و همگونی نقشه تراکم ابر نقطه
5. کنترل DSM رنگی یا ترسیم خطوط تراز بر اساس ارتفاع ابر نقطه و بررسی وضعیت قله ها و گودال های غیر واقعی
6. بررسی نمایش عوارض مشخص مصنوعی و طبیعی از قبیل ساختمان ها، دیوارها، راه ها، عوارض ساخت بشر، درخت ها و ... بر روی ابر نقطه
7. تخمین نویز ارتفاعی باقیمانده در ابر نقطه

- **رویه یا مش**

ابر نقطه رامی توان به مش تبدیل نمود. معمولاً الگوریتم دلونی برای تولید شبکه نامنظم مثلثی یا *TIN* استفاده می شود. در این مرحله خطوط شکست و ساختاری (آبریزها، مرزهای ساختمانی، مرز جاده ها و جوی و جدول) معرفی می شود تا اضلاع *TIN* روی آنها منطبق شده و موجب بهبود کیفیت ارتوفتوموزائیک و منحنی میزان شود.

بعد از تولید رویه مراحلی شامل پر کردن گپ ها، سبک سازی، متراکم سازی و هموارسازی انجام می شود.

- **ارزیابی کیفیت مش**

ارزیابی سطح دقت، سازگاری و کامل بودن مش تولید شده می بایست به روش های ابر نقطه سه بعدی صورت گیرد.

مدل ارتفاعی رقومی



- مدل ارتفاعی رقومی

✓ برای تولید *DTM* از *DSM* دو مرحله ویرایش خودکار و ویرایش دستی انجام می شود. برای انجام ویرایش خودکار می بایست تراکم ابر نقطه بکار رفته بالا باشد تا الگوریتم ها بتوانند تفکیک عوارض غیرزمینی از عوارض زمینی را انجام دهند. ابعاد پیکسل مدل ارتفاعی رقومی نباید از ابعاد *GRD* تصاویر کوچک تر باشد. مدل رقومی ارتفاعی حاصل از روش فتوگرامتری می تواند در قالب های رستری و برداری ارائه شود.

- ارزیابی کیفیت مدل ارتفاعی رقومی مانند مش و ابر نقطه است

- ارتوفتوموزائیک

مشخصات ارتوفتوموزائیک خروجی

- ابعاد پیکسل زمینی ارتوفتوموزائیک نباید از GRD تصاویر کوچک تر باشد.
- در صورت وجود خطاهای رادیومتریکی مانند روشنایی و کنتراست موضعی یا سراسری نامناسب در ارتوفتوموزائیک تولیدی، می توان آن را در محیط های ادیت رستری، اصلاح رادیومتریکی نمود.
- تصحیح رنگی تصاویر به نحو مطلوبی باشد همچنین موزائیک کردن در اطراف خطوط برش تصویری می بایست به نحوی انجام گیرد که نقشه تصویری نهایی به صورت یک تصویر واحد دیده شود.

- ارزیابی کیفیت ارتوفتوموزائیک

1. دقت مسطحاتی عوارض می بایست در حد دقت نقشه با مقیاس مورد نظر
 2. ارزیابی کیفی ارتوفتوموزائیک:
- بررسی موقعیت نقاط کنترل و چک در نقشه تصویری قائم
 - مقایسه با عوارض نقشه های 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 رادیومتریکی ارتوفتوموزائیک و عدم وجود اشکالات قابل رویت مانند فضاهای خالی طولی یا عرضی و نوارهای تیره و روشن همچنین عدم وجود پیکسل های با مقادیر یکسان با کمترین یا بیشترین مقدار (۰ یا ۲۵۵ در تصاویر ۸ بیتی) داخل فریم نقشه تصویری نهایی
 - پوشش دادن تمام محدوده گام های خاکستری در تمام باندها تا حد امکان، در هیستوگرام نقشه تصویری نهایی
 - مطابقت تمام نقشه های تصویری ارائه شده در فایل های مختلف از نظر رنگ و گام های خاکستری

- ملاحظات تبدیل و ترسیم در فتوگرامتری پهپاد

- ✓ با توجه به بکارگیری دوربین‌های غیرمتریک در فتوگرامتری پهپاد، به‌منظور اجتناب از مشکل پارالاکس و پله بین مدل‌ها در برجسته‌بینی، توصیه می‌شود از دوربین‌های با سطح پایداری بالاتر استفاده شود و هم‌زمان ملاحظات حد مدل‌های برجسته‌بینی رعایت شود یا اینکه تصاویر دوربین‌های غیرمتریک مورد تصحیح هندسی قرار گیرد تا مشکلات هندسی فوق کاهش یابد.
- ✓ در صورت عدم تصحیح هندسی تصاویر، به‌منظور بهبود کیفیت هندسی عوارض ترسیم‌شده در نقشه، عملیات تبدیل و ترسیم باید فقط در محدوده مدل‌های برجسته‌بینی با باز ۶۰٪ یا نسبت $B/H < 0.25$ انجام گرفته و از تبدیل عوارض خارج از محدوده مدل‌های برجسته‌بینی خودداری شود. برای این منظور قبل از آغاز عملیات تبدیل می‌بایست اندکس مدل‌ها با دقت مناسب تشکیل گردد.
- ✓ یک روش شناسایی پله مدل‌ها، بررسی مختصات نقاط کنترل و گرهی در مدل‌های برجسته‌بینی مجاور و مقایسه آن‌ها با یکدیگر است.

- ارزیابی کیفیت نقشه در خصوص کیفیت نقشه‌های تبدیلی

1. دقت اطلاعات هندسی،

2. صحت اطلاعات توصیفی،

3. کامل بودن و سازگاری اطلاعات



مشكرم