



بسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رییس سازمان

شماره:	۱۰۰/۹۳۶۴
تاریخ:	۱۳۸۲/۱/۲۹

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران

موضوع: دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری (تجدیدنظر اول)

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۳۱) قانون برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران، آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی و نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷-هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۶-۱۱۹ (تجدیدنظر اول) دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری (داده‌های شبکه‌ای و تصویری)» از نوع گروه اول (لازم‌الاجرا)، ابلاغ می‌شود؛ تا از تاریخ ۱۳۸۶/۴/۱ به اجرا درآید.

رعایت کامل مفاد این نشریه از طرف دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر در طرح‌های عمرانی، الزامی است.

مطالب مندرج در این دستورالعمل جایگزین مطالب مشابه از مندرجات نشریه ۱-۱۱۹ تا ۴-۱۱۹ پیوست دستورالعمل شماره ۲۰۰۹-۵۶/۱۷۵۴۹-۱ مورخ ۱۳۷۱/۱۱/۳ می‌شوند.

امیرمنصور برقی

معاون رییس جمهور و رییس سازمان

جمهوری اسلامی ایران

**دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری
جلد ششم: داده‌های شبکه‌ای و تصویری**

نشریه شماره ۶-۱۱۹

سازمان نقشه‌برداری کشور
www.ncc.org.ir

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و
کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
<http://tec.mporg.ir>

فهرست برگه

<محل نامہ ابلاغ>

<محل نامۀ ابلاغ>



فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	پیشگفتار
۳	۱- مقدمه
۳	۱-۱- تعاریف و اصطلاحات
۳	۱-۱-۱- اطلاعات توصیفی
۴	۱-۱-۲- داده
۴	۱-۱-۳- داده‌های شبکه‌ای
۴	۱-۱-۴- داده‌های تصویری
۴	۱-۱-۵- متادیتا
۴	۱-۱-۶- المانهای تصویری (پیکسل)
۴	۱-۱-۷- قدرت تفکیک
۴	۱-۱-۸- کیفیت
۴	۲-۱- اجزای اصلی داده‌های شبکه‌ای و تصویری
۴	۲-۱-۱- المانهای تصویری (پیکسل)
۵	۲-۲-۱- متادیتا
۵	۲-۲-۳-۱- اطلاعات مربوطه به مرجع‌دهی هندسی
۵	۲-۲-۴-۱- نحوه ذخیره سازی و فشرده‌سازی داده‌ها
۶	۳-۱- مراحل اصلی در انجام پروژه‌های تهیه داده‌های شبکه‌ای و تصویری
۷	۲- مدل ارتفاعی رقومی زمین (DEM)
۷	۲-۱- کلیات
۷	۲-۱-۱- تعریف مدل ارتفاعی رقومی زمین
۸	۲-۱-۲- اطلاعات قابل استخراج از مدل ارتفاعی رقومی
۸	۲-۱-۳- زمینه‌های کاربرد مدل ارتفاعی رقومی

۹	۲-۲- ساختار مدل ارتفاعی رقومی.....
۹	۳-۲- جمع آوری داده.....
۱۰	۱-۳-۲- نقشه های رقومی موجود.....
۱۱	۲-۳-۲- نقشه برداری زمینی.....
۱۲	۳-۳-۲- پردازش زوج تصاویر ماهواره ای.....
۱۳	۴-۳-۲- پردازش زوج تصاویر هوایی.....
۱۴	۵-۳-۲- نقشه های کاغذی موجود.....
۱۵	۴-۲- واسطه یابی (Interpolation).....
۱۵	۵-۲- ویرایش.....
۱۶	۱-۵-۲- نواحی خالی از داده های ارتفاعی.....
۱۶	۲-۵-۲- نواحی دارای ارتفاع متغیر.....
۱۶	۳-۵-۲- پهنه های بزرگ آبی.....
۱۶	۶-۲- کنترل کیفیت.....
۱۷	۱-۶-۲- اشتباهات.....
۱۷	۲-۶-۲- خطاهای سیستماتیک.....
۱۷	۳-۶-۲- خطاهای تصادفی.....
۱۷	۴-۶-۲- دقت ارتفاعی.....
۱۸	۷-۲- مشخصات کلی مدل ارتفاعی رقومی.....
۱۸	۱-۷-۲- مشخصات فایل‌های مدل ارتفاعی رقومی و نحوهٔ بلوک بندی.....
۱۹	۲-۷-۲- سیستم مختصات و سیستم تصویر.....
۲۲	۳-۷-۲- فرمت.....
۲۳	۳- نقشه‌های تصویری.....
۲۳	۱-۳- کلیات.....
۲۳	۱-۱-۳- مشخصه‌های المانهای تصویری.....
۲۴	۲-۳- انواع نقشه‌های تصویری.....
۲۴	۱-۲-۳- تعاریف اولیه.....
۲۵	۲-۲-۳- نقشه‌های تصویری قائم.....
۲۵	۳-۲-۳- موزاییک‌های تصویری کنترل شده (مختصات دار).....
۲۵	۳-۳- مشخصات داده‌های ورودی.....
۲۵	۱-۳-۳- عکسهای هوایی رقومی (اسکن) شده.....
۲۶	۲-۳-۳- تصاویر هوایی و ماهواره‌ای.....

۲۷.....	۳-۳-۳- مدل ارتفاعی رقومی زمین
۲۷.....	۴-۳-۳- نقاط کنترل (اندازه‌گیری شده یا استخراج شده از نقشه)
۲۹.....	۵-۳-۳- پارامترهای سنجنده (شامل پارامترهای مداری و مشخصات کالیبراسیون دوربین هوایی)
۲۹.....	۶-۳-۳- اطلاعات برداری و نقشه‌های موجود
۲۹.....	۴-۳-۴- مشخصات نقشه‌های تصویری تهیه شده
۳۰.....	۱-۴-۳- مشخصات فنی
۳۱.....	۲-۴-۳- مشخصات کیفی
۳۲.....	۵-۳-۵- مراحل اجرایی
۳۲.....	۱-۵-۳- تهیه داده‌های پایه
۳۳.....	۲-۵-۳- تهیه داده‌های تکمیلی
۳۳.....	۳-۵-۳- پردازش‌های اولیه
۳۸.....	۴-۵-۳- تهیه خروجی نهایی
۴۱.....	۴- متادیتا (Metadata)
۴۱.....	۱-۴-۱- تعریف متادیتا
۴۱.....	۲-۴-۲- کاربرد و اهداف متادیتا
۴۱.....	۳-۴-۳- تعریف " مجموعه داده ها " (Data Set)
۴۲.....	۴-۴-۴- لیست عناوین و جزئیات مربوط به متادیتا
۴۲.....	۱-۴-۴-۱- اطلاعات شناسایی پروژه
۴۲.....	۲-۴-۴-۲- اطلاعات شناسائی مجموعه داده ها
۴۲.....	۳-۴-۴-۳- منابع اطلاعاتی و تاریخ آنها
۴۳.....	۴-۴-۴-۴- استاندارد
۴۳.....	۵-۴-۴-۵- اطلاعات لازم برای انتقال داده‌ها
۴۳.....	۶-۴-۴-۶- کیفیت ودقت
۴۴.....	۷-۴-۴-۷- سیستم مختصات و سیستم تصویر
۴۴.....	۸-۴-۴-۸- مسائل حقوقی
۴۴.....	۹-۴-۴-۹- محدوده جغرافیایی مجموعه داده ها
۴۵.....	۱۰-۴-۴-۱۰- اطلاعات مربوط به متادیتا
۴۶.....	منابع و مأخذ

پیشگفتار

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، طبق مواد ۲۳ و ۳۴ قانون برنامه و بودجه، به منظور ایجاد هماهنگی و ارتقای کیفیت فعالیت‌های فنی، دارای مسئولیت‌های زیر می‌باشد:

- تعیین معیارها و استانداردها، همچنین اصول کلی و شرایط عمومی قراردادهای مربوط به طرح‌های عمرانی .
 - نظارت بر اجرای فعالیت‌ها و طرح‌های عمرانی که هزینه آنها از محل اعتبارات جاری و عمرانی دولت تامین می‌شود.
- به منظور ایجاد معیارهای فنی مشخص و مورد توافق برای اجرا و نظارت قراردادهای نقشه‌برداری، مجموعه دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری (نشریه شماره ۱۱۹) توسط معاونت امور فنی سازمان برنامه و بودجه تدوین، و به عنوان ملاک عمل در اختیار تمامی مشاوران و پیمانکاران نقشه‌برداری در طرح‌های عمرانی قرار گرفت. این مجموعه، که اولین نگارش آن در سال ۱۳۷۱ به چاپ رسید، با گذشت زمان و پیشرفت‌های قابل توجه در دانش و فن‌آوری نقشه‌برداری، دیگر پاسخگوی نیازهای فنی روز نبود. پیشرفت‌های علمی و همچنین مطرح شدن مقوله‌های جدید در رشته مهندسی نقشه‌برداری، از قبیل سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، سیستم تعیین موقعیت جهانی، نقشه‌های رقومی و ... ایجاب می‌کرد که دستورالعمل‌های مزبور بازنگری و توسعه داده شوند.

در سال ۱۳۸۰، سازمان نقشه‌برداری کشور به عنوان سازمان مادر تخصصی در زمینه‌های نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، با هماهنگی معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مأموریت یافت تا نسبت به بازنگری مجموعه دستورالعمل‌های موجود اقدام نماید. بدین منظور، گروه‌های کاری و راهبری زیر نظر کمیته استاندارد و معاونت فنی سازمان نقشه‌برداری کشور تشکیل گردید تا نسبت به تدوین و بازنگری دستورالعمل‌های مزبور اقدام نمایند. سری جدید دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، مجموعه‌ای شامل ۱۱ جلد می‌باشد که جلد حاضر بخشی از این مجموعه است. فهرست جلد‌های سری مزبور به شرح زیر می‌باشد:

- جلد اول (۱-۱۱۹): ژئودزی و ترازایی
- جلد دوم (۲-۱۱۹): نقشه‌برداری هوایی (کلیات)
- جلد سوم (۳-۱۱۹): سیستم اطلاعات مکانی (کلیات)
- جلد چهارم (۴-۱۱۹): کارتوگرافی (کلیات)
- جلد پنجم (۵-۱۱۹): میکروژئودزی
- جلد ششم (۶-۱۱۹): داده‌های شبکه‌ای و تصویری
- جلد هفتم (۷-۱۱۹): آبنگاری
- جلد هشتم (۸-۱۱۹): استاندارد و دستورالعمل تهیه نقشه و پایگاه داده توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰
- جلد نهم (۹-۱۱۹): استاندارد و دستورالعمل تهیه نقشه و پایگاه داده توپوگرافی مقیاس ۱:۱۰۰۰
- جلد دهم (۱۰-۱۱۹): استاندارد و دستورالعمل تهیه نقشه و پایگاه داده توپوگرافی مقیاس ۱:۲۰۰۰
- جلد یازدهم (۱۱-۱۱۹): استاندارد و دستورالعمل تهیه نقشه مقیاس ۱:۵۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰

برای حفظ هماهنگی و همگامی با پیشرفت‌های ملی و جهانی، استانداردها و دستورالعمل‌های تدوین شده در مواقع لزوم مورد تجدید نظر قرار خواهند گرفت و پیشنهادات در هنگام تجدید نظر مورد توجه قرار می‌گیرد. بنابراین برای مراجعه به این مجموعه‌ها باید همواره از آخرین نگارش آنها استفاده نمود.

اسامی اعضای گروه راهبری در سازمان نقشه‌برداری کشور، به شرح زیر است:

معاون فنی	- مهندس محمد سرپولکی
رئیس کمیته استاندارد	- مهندس شاهین قوامیان
مدیر پژوهش و برنامه‌ریزی	- مهندس بهداد غضنفری
رئیس آموزش‌شکده نقشه‌برداری	- مهندس مرتضی صدیقی
مدیر کل نقشه‌برداری هوایی	- مهندس علی اسلامی راد
مدیر امور نظارت و کنترل فنی	- مهندس محسن رجب‌زاده

مجلد حاضر، تحت عنوان داده‌های شبکه‌ای و تصویری توسط اعضای گروه کاری زیر تدوین شده است.

اعضای گروه کاری:

- مهندس محمد سرپولکی
- مهندس علی اسلامی راد
- مهندس فریبا صادقی نائینی فرد
- مهندس محبوبه سادات هاشمیان
- مهندس معصومه خیری
- مهندس احمد ابوطالبی

جا دارد که از آقایان مهندسین فرهاد کیانیفر و مجید کیاورز مقدم که در تهیه این مجموعه همکاری داشته‌اند تشکر شود.

۱- مقدمه

در طی سالیان اخیر با افزایش سرعت و حافظه کامپیوترهای شخصی شاهد گسترش سریع کاربردهای داده‌های شبکه‌ای و تصویری در حوزه علوم نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی بوده‌ایم. ماهواره‌های سنجنش از دور مانند Landsat، SPOT و RADARSAT به تولید مقادیر عظیمی از این نوع داده‌ها مشغولند به طوری که بر اساس برخی آمارها روزانه ۲۲۰۰۰ تصویر از سطح زمین تهیه می‌شود. به همین ترتیب تولید کنندگان نقشه و اطلاعات مکانی به طور روزافزونی به تولید مقادیر زیادی از داده‌های تصویری به شکل تصاویر ارتو و داده‌های شبکه‌ای که عمدتاً به شکل مدل ارتفاعی رقومی زمین (DEM) هستند، اشتغال دارند. از اهم کاربردهای این نوع از داده‌ها می‌توان به تولید سریع نقشه‌های تصویری، بهنگام کردن نقشه‌های برداری، ایجاد نماهای سه بعدی و بررسی تغییرات زمانی اشاره نمود.

به طور کلی عنوان "داده‌های شبکه‌ای یا رستری" نشان‌دهنده یکی از روشهای اصلی ارائه داده‌هاست که در آن مقادیر اطلاعات توصیفی (Attribute) بر روی یک شبکه منظم هندسی توزیع شده‌اند. نقشه‌های تصویری نیز نوعی خاص از داده‌های شبکه‌ای هستند که در آن مقدار توصیفی هر شبکه همان مقدار متناسب با امواج رادیومتریکی منعکس شده از همان نقطه است که توسط یک سنجنده ثبت شده است. نحوه نگهداری و کار با این نوع از داده‌ها دقیقاً مشابه داده‌های ماتریسی است.

بدیهی است که به منظور هماهنگی این نوع داده‌ها با سایر منابع داده‌های مکانی، نیاز مبرمی به وجود مشخصات و ساختار استاندارد وجود خواهد داشت. با توجه به این اصل کلی، اهداف اصلی از تدوین این مجموعه را می‌توان به شرح زیر عنوان نمود:

- استاندارد سازی، ایجاد هماهنگی و یکپارچگی در تولید داده‌های تصویری و شبکه‌ای
- تسهیل در امر تبادل اطلاعات و در نتیجه، صرفه‌جویی در هزینه‌ها
- ایجاد یک چارچوب ملی جهت مشارکت در فعالیتهای منطقه‌ای و بین‌المللی
- ایجاد زمینه مناسب جهت تهیه دستورالعمل اجرایی برای تولید داده‌های تصویری و شبکه‌ای
- دستیابی به سطح کیفیت مناسب، از طریق پیروی نمودن از مشخصات و روشهای واحد
- امکان مشارکت تولید کنندگان مختلف در اجرای پروژه‌ها.

این مجموعه به دو نوع اصلی از داده‌های تصویری و شبکه‌ای یعنی مدل ارتفاعی رقومی زمین (DEM) و نقشه‌های تصویری پرداخته است. با توجه به اینکه این دو نوع داده از نظر ماهیت یکسان ولی از نظر منابع اولیه و روشهای تولید متفاوت هستند، در فصلهای جداگانه‌ای مورد بحث قرار گرفته‌اند.

۱-۱- تعاریف و اصطلاحات

۱-۱-۱- اطلاعات توصیفی

توصیفی از مشخصه‌های یک چیز شامل مشخصه‌های هندسی، توپولوژی، موضوعی یا موارد دیگر.

۱-۱-۲- داده

نوعی از اطلاعات که قابل تفسیر و تشریح بوده و به نحوی مناسب برای نقل و انتقال، تفسیر یا پردازش دسته‌بندی شده باشد.

۱-۱-۳- داده‌های شبکه‌ای

داده‌هایی متشکل از اطلاعات توصیفی که موقعیت هندسی آنها بر روی یک سیستم مختصات شبکه‌ای، منظم شده باشد.

۱-۱-۴- داده‌های تصویری

نوعی از داده‌های شبکه‌ای که در آن اطلاعات توصیفی، مقادیر عددی متناسب با یک مشخصه فیزیکی موضوع مورد نظر است. این مشخصه فیزیکی معمولاً توسط وسیله خاصی اندازه‌گیری و ثبت می‌شود.

۱-۱-۵- متادیتا

داده در باره داده.

۱-۱-۶- المانهای تصویری (پیکسل)

کوچکترین المان یا جزء یک تصویر رقمی که اطلاعات توصیفی در مورد آن موجود است.

۱-۱-۷- قدرت تفکیک

اندازه پیکسل.

۱-۱-۸- کیفیت

تمامی ویژگی‌های یک محصول که گواهی بر توانایی آن در برآورده کردن نیازهای تصریحی یا تلویحی می‌دهد.

۱-۲- اجزای اصلی داده‌های شبکه‌ای و تصویری

بر خلاف داده‌های برداری، اجزای اصلی مورد نیاز برای شناسایی و تبادل داده‌های تصویری و شبکه‌ای بسیار ساده‌اند و از چهار بخش زیر تشکیل شده‌اند:

۱-۲-۱- المانهای تصویری (پیکسل)

هر المان تصویری یا پیکسل محتوی اطلاعات توصیفی از خصوصیات فیزیکی مربوط به منطقه تحت پوشش است. این اطلاعات توصیفی یا مقادیر اخذ شده توسط سنجنده مانند اسکنرهای تصویر برداری (در داده‌های تصویری) و یا مقادیر اندازه‌گیری شده یا محاسبه شده مانند ارتفاع (در مدل ارتفاعی رقمی زمین) یا هارمونیکیهای جزر و مدی (در داده‌های هیدروگرافی) هستند. علاوه بر نوع داده ارائه شده توسط المانهای تصویری، موارد دیگری نیز باید برای هر پیکسل مشخص شود که عبارتند از:

- تعداد و اندازه پیکسل‌ها

- حوزه مقادیر اطلاعات توصیفی (در داده‌های تصویر همان عمق یا تعداد مقادیر خاکستری هر پیکسل است)
- نحوه ارائه اطلاعات رنگی توسط هر پیکسل

۱-۲-۲- متادیتا

تفسیر و استفاده از داده‌های تصویری و شبکه‌ای بدون اطلاع از محتویات و نحوه تولید تقریباً غیر ممکن است. لذا متادیتا که به توصیف داده‌ها می‌پردازد به اندازه خود داده‌ها اهمیت دارد. داده‌های تصویری عمدتاً با استفاده از مشاهدات فیزیکی سنجنده‌ها بر روی مشخصات طیفی، رادیومتریک و هندسی عوارض تولید می‌شوند که در نتیجه وجود اطلاعات در مورد دقت و منابع خطا در آن را بسیار حیاتی می‌سازد. دو موضوع اساسی در این باره مربوط به دقت هندسی و کالیبراسیون رادیومتریک سنجنده است که اطلاعات کافی در مورد میزان درستی موقعیت سه‌بعدی هر پیکسل بر روی زمین و میزان اطمینان از صحت مقدار ذخیره شده در هر پیکسل به دست می‌دهد.

سایر موارد که وابستگی زیادی به نوع سیستم تصویربرداری دارد و در متادیتا توصیف می‌شوند عبارتند از: قدرت تفکیک هندسی، نحوه نمونه‌برداری، حساسیت و کنتراست، نسبت سیگنال به نویز، پاسخ و قدرت تفکیک طیفی و سایر موارد مرتبط با کیفیت. به این موارد باید اقلامی مانند مشخصات سیستم خروجی، مراحل پردازش، شاخصهای مربوط به درستی عملکرد نرم‌افزار و مشخصات محیطی را نیز اضافه نمود که بسته به شرایط، به نحو مقتضی در متادیتای مورد اشاره قرار خواهد گرفت.

۱-۲-۳- اطلاعات مربوطه به مرجع دهی هندسی

یکی از مهمترین جنبه‌های داده‌های تصویری و شبکه‌ای مربوط به اطلاعاتی است که موقعیت دقیق داده‌ها را شرح می‌دهد. عوامل دخیل در این مورد فراوانند که به صورت کلی در سه دسته زیر قرار می‌گیرند:

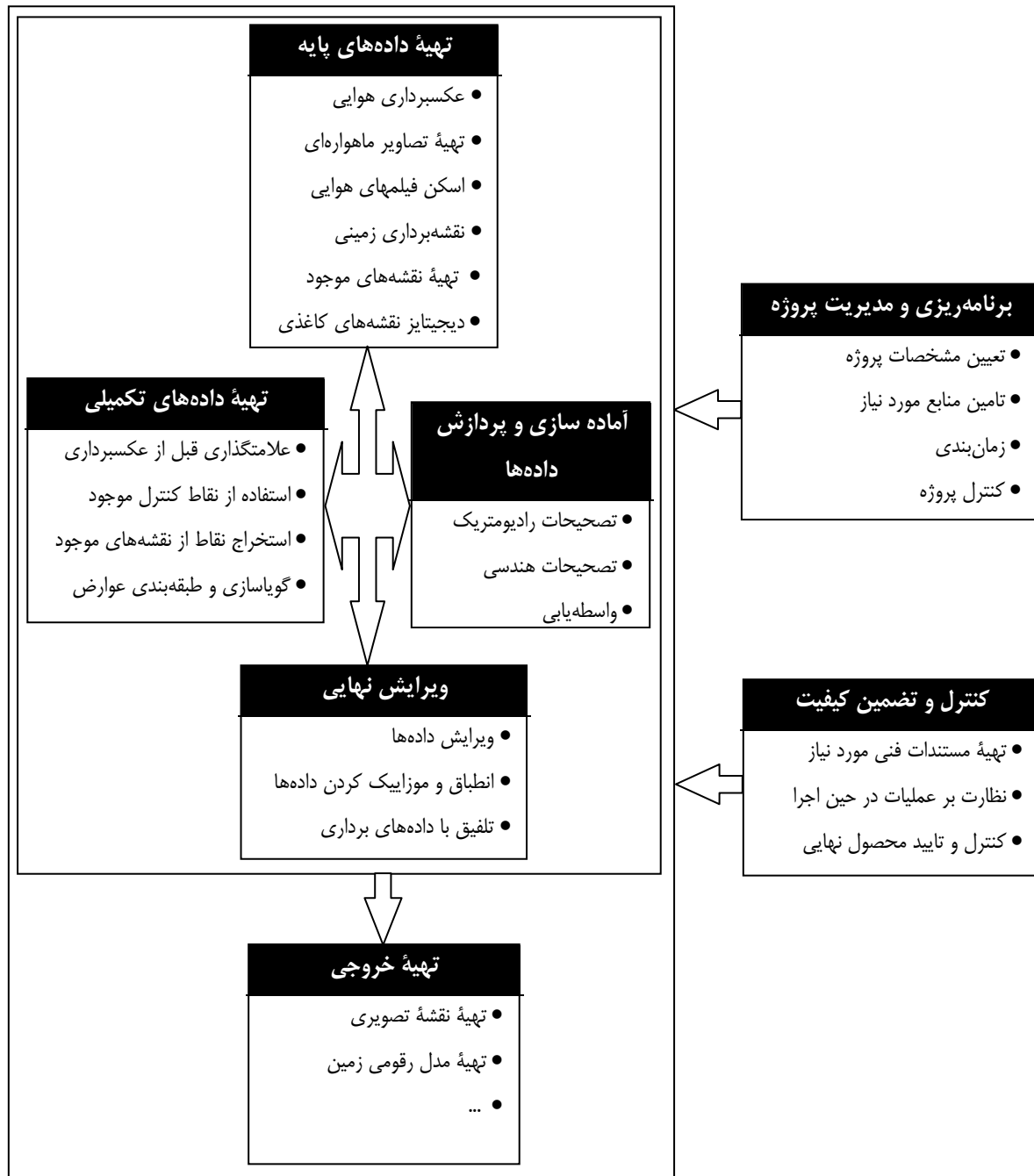
- مدل خطا که در داده‌های تصویری عمدتاً مربوط به متغیرهایی مانند اعوجاج لنز یا سایر منابع خطا در آن می‌شود. اعوجاجات ذاتی سنجنده باید در فرایند زمین مرجع کردن هر پیکسل لحاظ گردد.
- مدل هندسی شبکه‌ای. این مدل مربوط به نحوه تهیه داده‌ها (اخذ، اندازه‌گیری یا محاسبه) است و به عنوان مثال می‌توان به تاثیر دید مایل سنجنده به زمین و نحوه جبران آن اشاره کرد.
- پارامترهای مورد نیاز برای زمین مرجع نمودن داده‌ها ابتدا باید به توصیف "شکل و موقعیت زمین" پردازند. برخی از این پارامترهای زمینی عبارتند از نوع بیضوی، مبنای ارتفاعی و سیستم تصویر مورد استفاده.

۱-۲-۴- نحوه ذخیره سازی و فشرده‌سازی داده‌ها

برای ذخیره‌سازی داده‌های شبکه‌ای و تصویری، قالبها یا فرمت‌های زیادی ابداع شده که هر یک مزایا و معایب خود را دارا هستند. بنابراین اطلاعات در مورد قالب مورد استفاده برای ارائه داده‌های شبکه‌ای و تصویری نقش مهمی در استفاده از این داده‌ها ایفا می‌کند. در ضمن با توجه به اینکه یکی از مشخصه‌های ذاتی این داده‌ها، وجود مقادیر توصیفی یکسان در تعداد زیادی از پیکسلها است، باید با استفاده از روشی مناسب و باصرفه، حجم داده‌ها را تا حد ممکن کاهش داد. این موضوع خود مستلزم استفاده از روشهای فشرده‌سازی و کددهی داده‌هاست که در صورت استفاده از آن باید اطلاعات مربوطه به نحو مقتضی به کاربران ارائه گردد.

۱-۳- مراحل اصلی در انجام پروژه‌های تهیه داده‌های شبکه‌ای و تصویری

پروژه‌های تهیه داده‌های شبکه‌ای و تصویری با توجه به نوع داده‌های ورودی و اطلاعات خروجی مورد نظر، از فرآیندهای مختلفی تشکیل می‌شوند. مراحل مختلف طراحی و اجرای این پروژه‌ها در شکل ۱-۱ نشان داده شده که با توجه به مشخصات پروژه، قسمتهای مختلفی از این نمودار می‌تواند مورد عمل قرار گیرد.



شکل ۱-۱: نمودار مراحل طراحی، اجرا و مدیریت پروژه‌های تهیه داده‌های شبکه‌ای و تصویری

۲- مدل ارتفاعی رقومی زمین (DEM)

۲-۱- کلیات

امروزه با گسترش فناوری رقومی در زمینه‌های مختلف مهندسی، کاربردهای متعددی نیازمند استفاده از مدل ارتفاعی رقومی زمین می‌باشند. تولید مدل ارتفاعی رقومی زمین با توجه به نوع داده‌های ورودی، از فرآیندهای مختلفی تشکیل می‌شود. به منظور تهیه مدل ارتفاعی رقومی زمین لازم است دو فعالیت عمده صورت گیرد، جمع‌آوری داده‌ها و ساختار دهی مدل. در این مجموعه ساختارهای مختلف مدل و روشهای مختلف جمع‌آوری داده مورد بحث قرار می‌گیرند. هم‌چنین مشخصات مدل ارتفاعی رقومی بر اساس نوع، قدرت تفکیک و دقت داده‌های ورودی و روش‌های مناسب برای دستیابی به دقت مطلوب، تعیین می‌گردند.

۲-۱-۱- تعریف مدل ارتفاعی رقومی زمین

از آنجا که سطح زمین رویه‌ای پیوسته و با پیچیدگیهای زیاد است، مدل‌سازی کامل آن در محیط رایانه نیازمند تعداد زیادی نقطه است که ذخیره‌سازی این حجم داده برای سیستم‌های رقومی عملاً امکان‌پذیر نیست. بنابراین، برای نمایش سطح پیوسته زمین به صورت یک مدل رقومی با استفاده از تعداد محدودی نقطه، مدل ارتفاعی رقومی زمین تولید می‌شود.

مدل ارتفاعی رقومی زمین به عنوان نمایش رقومی تغییرات پستی و بلندی زمین روی سطح خاصی تعریف می‌شود. این اطلاعات می‌تواند به صورت داده‌های رستری، رشته‌نقاط و یا توابع ریاضی بیان گردند. لازم به ذکر است که در روش رستری، پراکندگی نقاط به صورت منظم^۱ و در روش رشته‌نقاط، پراکندگی نقاط به صورت منظم یا نامنظم^۲ می‌باشد. برای نمایش اطلاعات ارتفاعی به صورت توابع ریاضی، معمولاً از توابع پیوسته بصورت $Z = f(X, Y)$ استفاده می‌شود. نمایش مدل ارتفاعی رقومی زمین بصورت رشته‌نقاط و توابع ریاضی در این مجموعه مورد بحث قرار نمی‌گیرند.

مدل ارتفاعی رقومی با نامهای مختلفی ارائه می‌شود که برخی از آنها عبارتند از:

DEM: Digital Elevation Model

DGM: Digital Ground Model

DTED: Digital Terrain Elevation Data

DTM: Digital Terrain Model

در این مجموعه عبارت DEM، برای مدل ارتفاعی رقومی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل ارتفاعی رقومی رستری مد نظر در این مجموعه، تصویر رقومی با درجات خاکستری بیش از ۸ بیت است که در آن مختص اول و دوم نشان دهنده مختصات X و Y و مختص سوم، ارتفاع نقطه می‌باشد. به منظور استفاده مناسب از مدل ارتفاعی رقومی، در قسمت بعد به اطلاعات قابل استخراج کاربردهای آن پرداخته می‌شود.

¹ Grid

² TIN

۲-۱-۲ - اطلاعات قابل استخراج از مدل ارتفاعی رقومی

اطلاعات قابل استخراج از مدل ارتفاعی رقومی عبارتند از:

- تخمین Z با استفاده از (X, Y) مشخص؛
- تعریف یک رویه با استفاده از نقاط با مختصات (X, Y, Z) معلوم، بصورت تابعی از X, Y برای تخمین Z ؛
- واسطه یابی Z در نقطه ای با X, Y مشخص با استفاده از یک سری نقاط دارای فواصل ثابت با مختصات (X, Y, Z) معلوم؛
- تولید پروفیل از طریق تقاطع خط یا صفحه با از مدل ارتفاعی رقومی؛
- تولید منحنی میزان؛
- تعیین امتدادهای قابل دید بین نقاط یا تعیین مکانهایی که از مکان دیگر قابل رؤیت باشند (برای مثال طراحی محل ایستگاههای مخابراتی یا پیش‌بینی مکانهای دریافت کننده امواج رادیویی و تلویزیونی)؛
- محاسبه احجام (مانند حجم عملیات خاکی)؛
- تهیه نقشه شیب و جهت شیب (Aspect, Slope).

۲-۱-۳ - زمینه‌های کاربرد مدل ارتفاعی رقومی

زمینه های مختلف کاربرد از مدل ارتفاعی رقومی عبارتند از :

- مهندسی عمران: محاسبه حجم عملیات خاکبرداری و خاکریزی در طراحی مسیر، محاسبات حجمی در ساخت سد‌ها و مخازن؛
- مهندسی آب: طراحی و توسعه شبکه‌های فاضلاب و زهکشی، مدلسازی روان آب و...؛
- مدیریت منابع طبیعی: تهیه نقشه کاربری اراضی و نقشه زمین شناسی و بهبود طبقه بندی، طراحی کاربری اراضی، تولید نقشه های شیب و جهت شیب، تصحیح هندسی و رادیومتریکی تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در مدیریت منابع، بررسی جهت وزش باد و نحوه پراکندگی آلودگی، مدلسازی فرسایش خاک در زمینه کشاورزی و طراحی خطوط انتقال نیرو و بهره برداری از معادن؛
- مهندسی نقشه برداری: تعیین ژئوئید دقیق کشور، تصحیح اعوجاجات در عکسهای هوایی و تولید ارتوفوتو، تهیه نقشه‌های عکسی / تصویری و نقشه‌های مبنایی ماهواره‌ای، بازنگری نقشه‌ها، تهیه منحنی های میزان و تولید نقشه های توپوگرافی؛
- کاربردهای نظامی: بررسی میدان دید در فعالیت های نظامی، شبیه سازی پرواز و تحلیل مسیر انتشار امواج رادار؛
- شبیه سازی و نمایش: حرکت شبیه سازی شده بر فراز منطقه مورد نظر (fly through)؛
- تلفیق از مدل ارتفاعی رقومی با سایر داده های GIS به منظور ایجاد GIS سه بعدی.

۲-۲- ساختار مدل ارتفاعی رقومی

همانطور که ذکر شد، بمنظور تقریب سطح زمین، در مرحله اول نیاز است که داده های اولیه یا به عبارتی داده های ورودی برای تهیه از مدل ارتفاعی رقومی تهیه شوند. در مرحله بعد نیاز به تشکیل مدلی است که بتواند ارتباط توپولوژیکی بین داده های جمع آوری شده را مهیا نماید. بدین منظور مدل مورد استفاده باید دارای خصوصیات زیر باشند:

- توانایی نمایش سطح بطور دقیق؛
- توانایی به حداقل رساندن حجم ذخیره سازی داده ها؛
- قابلیت به حداکثر رساندن کارایی و در دسترس بودن داده ها ؛
- مناسب برای تحلیل سطح.

معمولاً از دو روش برای نمایش سطوح به شکل رقومی استفاده می شود: شبکه منظم ماتریسی و شبکه نامنظم مثلثی. در شبکه منظم ماتریسی، ارتباط توپولوژیکی بین داده ها با استفاده از شبکه ماتریسی نمایش داده می شود، یعنی فاصله نقاط نمایش دهنده منطقه با ابعاد المانهای شبکه مساوی است. در این روش دقت نمایش سطح به اندازه المانهای شبکه بستگی دارد. در واقع در این روش با تعریف مقدار مشخصی به عنوان قدرت تفکیک، تمامی المانهای منطقه با استفاده از روش واسطه یابی دارای ارتفاع می شوند. مدل شبکه نامنظم مثلثی یک روش ساده برای ساختن سطوح از مجموعه نقاط غیر منظم است. تعداد نقاط نمونه برداری مطابق با شکل زمین تعیین می شود و با افزایش ناهمواری، تعداد نقاط نمونه برداری نیز افزایش می یابد. در مدل شبکه نامنظم مثلثی، نقاط نمونه به صورت مثلثی به هم وصل می شوند که هر یک از صفحات مثلث بوسیله رئوس آن مشخص می شوند. مدل ارتفاعی رقومی اغلب به صورت شبکه منظم تولید می شود لذا در این مجموعه تنها به این محصول پرداخته می شود.

۲-۳- جمع آوری داده

انتخاب روش جمع آوری داده به عوامل زیر بستگی دارد:

- گستره جغرافیایی و نوع منطقه مورد نظر
- دقت مورد نیاز
- نوع اطلاعاتی که باید استخراج شوند
- هزینه و فناوری موجود

با توجه به این موارد، بایستی از میان روشهای موجود، مناسب ترین روش تعیین و مورد استفاده قرار گیرد. در حال حاضر،

داده های اولیه از پنج منبع عمده بدست می آیند:

- نقشه های رقومی موجود
- نقشه برداری زمینی
- پردازش زوج تصاویر ماهواره ای
- پردازش زوج تصاویر هوایی
- نقشه های کاغذی موجود

در این بخش روشهای جمع آوری داده و مشخصات مدل ارتفاعی رقومی قابل تولید مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۳-۱- نقشه‌های رقومی موجود

نقشه‌های رقومی موجود معمولاً با استفاده از روشهای فتوگرامتری تهیه می‌شوند. جمع آوری اطلاعات به روش فتوگرامتری بر مبنای اندازه گیری استرئوسکوپی بر روی عکسهای هوایی است که با استفاده از تجهیزات فتوگرامتری مناسب انجام می‌شود. دقت‌های مسطحاتی و ارتفاعی، فاصله منحنی میزانها، مقیاس نقشه یا مدل ارتفاعی رقومی زمین که با استفاده از روشهای فتوگرامتری به دست می‌آیند، به عوامل مختلفی وابسته هستند که برخی از آنها عبارتند از: ارتفاع پرواز، مقیاس و قدرت تفکیک عکسها، نسبت باز به ارتفاع (هندسه عکسهای پوشش‌دار)، دقت دستگاههای فتوگرامتری و غیره. برای توضیح بیشتر در این زمینه و برای تهیه نقشه‌های فتوگرامتری، به مجموعه دستورالعمل‌های همسان نقشه برداری شماره ۱۱۹ جلد دوم، کلیات نقشه برداری هوایی مراجعه نمایید.

روشهای فتوگرامتری برای جمع‌آوری داده‌ها در محدوده وسیعی از مقیاس‌ها و دقت‌ها به کار می‌روند. در مناطق نسبتاً کم وسعت که چگالی نمونه‌برداری خیلی بالا مورد نیاز است، روشهای نقشه‌برداری زمینی مناسب‌تر است اما در مناطق وسیع، خصوصاً در زمینهای ناهموار، روش فتوگرامتری به کار گرفته می‌شود.

قدرت تفکیک یا اندازه پیکسل‌های مدل ارتفاعی رقومی حاصل از نقشه‌های ارتفاعی که از هر روشی (فتوگرامتری یا نقشه برداری زمینی) تهیه شده باشند، با دو معیار مورد سنجش قرار می‌گیرند که عبارتند از دقت ارتفاعی و دقت مسطحاتی داده‌های ورودی، بدین معنی که تغییرات قدرت تفکیک در محدوده این دو معیار قرار خواهد گرفت.

در مورد استفاده از نقشه به عنوان داده‌های ورودی، قدرت تفکیک از یک طرف باید در محدوده یک برابر تا دو برابر دقت ارتفاعی یعنی در فاصله یک دوم تا یک برابر فاصله منحنی میزان‌ها باشد و از سوی دیگر باید در فاصله ۳/۵ تا ۵/۵ میلی‌متر در مقیاس نقشه باشد. رابطه بین اندازه پیکسل و عوامل تعیین‌کننده آن در جدول ۲-۱ نشان داده شده است.

جدول ۲-۱: اندازه پیکسل‌های مدل ارتفاعی رقومی بر اساس مقیاس (یا دقت ارتفاعی و مسطحاتی) نقشه‌های ورودی

اندازه پیکسل یا قدرت تفکیک (متر)	حد بالای دقت مسطحاتی (متر) (۰/۵ میلی‌متر در مقیاس نقشه)	حد پایین دقت مسطحاتی (متر) (۰/۳ میلی‌متر در مقیاس نقشه)	دقت ارتفاعی (متر) (نصف فاصله منحنی میزان)	فاصله منحنی میزان (متر)	مقیاس نقشه
۰/۱	۰/۱	۰/۰۶	۰/۱	۰/۲	۱:۲۰۰
۰/۱۵-۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۱۲۵	۰/۲۵	۱:۵۰۰
	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۵	
۰/۳-۰/۵	۰/۵	۰/۳	۰/۲۵	۰/۵	۱:۱۰۰۰
۰/۶-۱	۱	۰/۶	۰/۵	۱	۱:۲۰۰۰
	۱	۰/۶	۱	۲	
۰/۲۵-۰/۵	۱/۲۵	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۵*	۱:۲۵۰۰
	۱/۲۵	۰/۷۵	۰/۵	۱	
	۱/۲۵	۰/۷۵	۱	۲	

اندازه پیکسل یا قدرت تفکیک (متر)	حد بالای دقت مسطحاتی (متر)	حد پایین دقت مسطحاتی (متر)	دقت ارتفاعی (متر)	فاصله منحنی (متر)	مقیاس نقشه
۰٫۵-۱	۲٫۵	۱٫۵	۰٫۵	۱**	۱:۵۰۰۰
۱٫۵-۲	۲٫۵	۱٫۵	۱	۲	
۱٫۵-۲٫۵	۲٫۵	۱٫۵	۱٫۲۵	۲٫۵	
۲٫۵	۲٫۵	۱٫۵	۲٫۵	۵	
۰٫۵-۱	۵	۳	۰٫۵	۱**	۱:۱۰۰۰۰
۱-۲	۵	۳	۱	۲**	
۱٫۲۵-۲٫۵	۵	۳	۱٫۲۵	۲٫۵**	
۳-۵	۵	۳	۲٫۵	۵	
۷٫۵-۱۰	۱۲٫۵	۷٫۵	۵	۱۰	۱:۲۵۰۰۰
۱۰-۱۲٫۵	۱۲٫۵	۷٫۵	۱۰	۲۰	
۱۵-۲۰	۲۵	۱۵	۱۰	۲۰	۱:۵۰۰۰۰
۲۰-۲۵	۲۵	۱۵	۲۰	۴۰	
۳۰-۵۰	۵۰	۳۰	۲۵	۵۰	۱:۱۰۰۰۰۰
۷۵-۱۰۰	۱۲۵	۷۵	۵۰	۱۰۰	۱:۲۵۰۰۰۰
۳۰۰-۵۰۰	۵۰۰	۳۰۰	۲۵۰	۵۰۰	۱:۱۰۰۰۰۰۰

* بمنظور تهیه اینگونه نقشه‌ها از روش مستقیم زمینی با شبکه بندی قائم الزاویه استفاده می‌شود و برای تخمین اندازه پیکسل مدل ارتفاعی رقومی نهایی آن، فقط از دقت ارتفاعی بهره گرفته خواهد شد.

** در این موارد که بین دو شرط اولیه (قدرت تفکیک از یک طرف در محدوده یک برابر تا دو برابر دقت ارتفاعی یعنی در فاصله یک دوم تا یک برابر فاصله منحنی میزانه‌ها باشد و از سوی دیگر در فاصله ۰٫۳ تا ۰٫۵ میلی‌متر در مقیاس نقشه باشد) اشتراکی وجود ندارد، برای تخمین اندازه پیکسل مدل ارتفاعی رقومی نهایی فقط از دقت ارتفاعی استفاده می‌شود.

۲-۳-۲- نقشه برداری زمینی

از آنجا که جمع‌آوری داده‌ها به روش نقشه برداری زمینی، نسبتاً وقت‌گیر و پرهزینه است، لذا از این داده‌ها بمنظور تولید مدل ارتفاعی رقومی بزرگ مقیاس برای مناطق کم وسعت و یا به عنوان مکمل روش‌های دیگر (مثلاً در مناطق جنگلی که سطح زمین بر روی عکس‌های هوایی دیده نمی‌شود) استفاده می‌شود. در این روش، داده‌ها منحصر به نقاط یا نمونه‌های ثبت شده است و با نقشه‌های تهیه شده با روش نقشه برداری متفاوت می‌باشد. این گونه نقشه‌ها باید مطابق قسمت قبل برای تهیه مدل ارتفاعی رقومی مورد استفاده قرار گیرند.

نوع وسایل نقشه برداری به منظور جمع‌آوری داده‌ها اهمیت چندانی ندارد، اما نمونه‌برداری باید به روش مناسب و مشخصی انجام شود تا هیچ گونه داده مبهمی تولید نشود. نمونه‌برداری باید به گونه‌ای انجام شود که فاصله نقاط نمونه برداری شده حداکثر ۲

سانتیمتر و ترجیحاً یک سانتیمتر در مقیاس نقشه باشد تا هیچ گونه خلاء اطلاعاتی روی نقشه وجود نداشته باشد. هم چنین برداشت نقاط اضافی در شکستگی‌ها، لبه عوارض خاص، خط الراس‌ها و خط القعرها الزامی است. از آنجا که در این روش نقشه‌ای تهیه نمی‌شود، تراکم نقاط نمونه برداری باید متناظر با مقیاس نقشه‌های قابل تهیه در نظر گرفته شود و قدرت تفکیک مدل ارتفاعی رقمی تولید شده با استفاده از این داده‌ها از جدول شماره ۲-۱ استخراج شود. به عنوان مثال فاصله بهینه نقاط نمونه برداری بر اساس دقت لازم برای تهیه نقشه‌های ۱:۲۰۰ معادل ۲ متر بوده و قدرت تفکیک مناسب برای مدل ارتفاعی رقمی نهایی باید معادل ۰/۱ متر در نظر گرفته شود.

۲-۳-۳- پردازش زوج تصاویر ماهواره ای

بوسیله توانایی تصویر برداری مایل، به طور جانبی یا در طول مسیر، ماهواره‌ها قادرند تصاویر استریویی تولید کنند که استخراج مدل ارتفاعی رقمی از آنها امکان پذیر است. هر چه نسبت باز به ارتفاع ماهواره بیشتر باشد، دقت مدل ارتفاعی تولید شده نیز بیشتر خواهد بود. بمنظور دستیابی به دقت بهینه در مدل ارتفاعی رقمی از تصاویر ماهواره‌ای، لازم است میزان باز به ارتفاع ماهواره بزرگتر از ۰/۶ باشد.

قدرت تفکیک مدل ارتفاعی رقمی تهیه شده از این تصاویر ماهواره‌ای، متناسب با دقت ارتفاعی سیستم تصویربرداری است. اندازه پیکسل مدل ارتفاعی رقمی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از دو معیار سنجیده می‌شود بدین ترتیب که اندازه پیکسل اولاً باید بین یک تا دو برابر دقت ارتفاعی سیستم تصویربرداری بوده و ثانیاً باید از دقت مسطحاتی تصاویر بزرگتر باشد. جدول شماره ۲-۲ دقت‌های مسطحاتی و ارتفاعی قابل دستیابی برای تعدادی ماهواره مطرح در این زمینه را نشان می‌دهد. این مقادیر در واقع دقت به دست آمده از تصاویر به روش باندل اجستمنت است. در صورتیکه برای تصاویر مورد نظر دستیابی به این دقتها امکان پذیر باشد، قدرت تفکیک مناسب از این جدول قابل استخراج است. در غیر این صورت با توجه به دقت‌های حاصله و با استفاده از دو معیار ذکر شده فوق قدرت تفکیک مناسب تعیین می‌شود.

جدول ۲-۲: اندازه پیکسل های مدل ارتفاعی رقمی بر اساس دقت ارتفاعی و مسطحاتی تصاویر ماهواره ای. (توضیح: مقادیر ذکر شده

دقت های متوسط تصاویر ماهواره ای هستند. برای به کار گیری این مقادیر به توضیحات فوق مراجعه شود.)

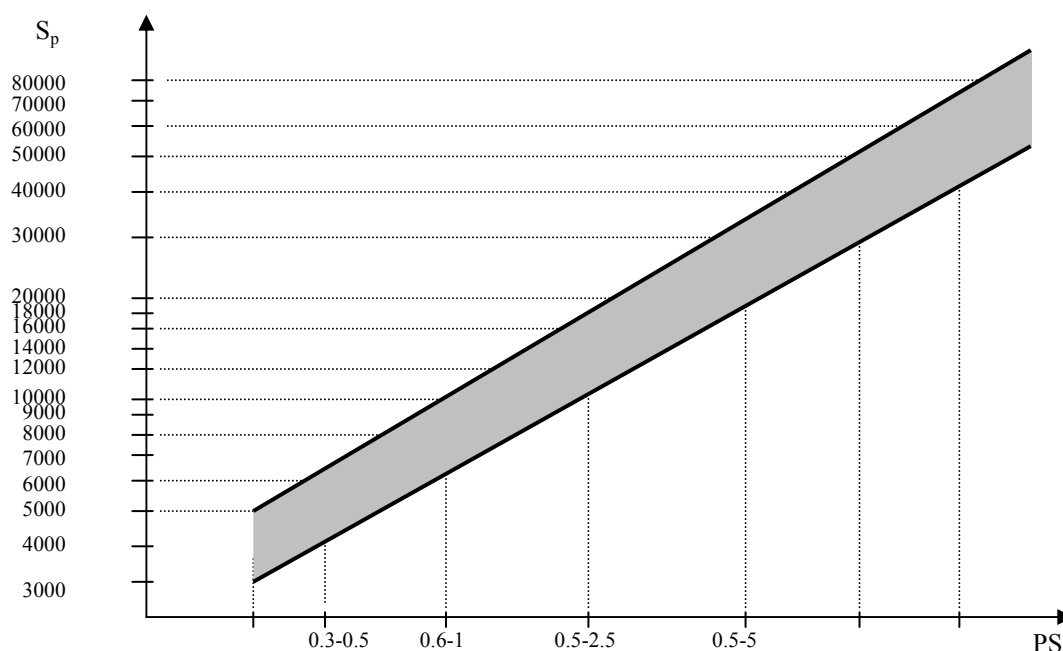
تصویر ماهواره‌ای	دقت مسطحاتی (متر)	دقت ارتفاعی (متر)	قدرت تفکیک DEM (متر)
<i>SPOT5</i>	۸	۴	۸
<i>IRS-1C/1D</i>	۵/۱	۸/۷	۹-۱۸
<i>IKONOS</i>	۱	۱/۷	۲-۴
<i>Quick Bird</i>	۰/۵۵	۱	۱-۲
<i>Aster</i>	۱۰/۸	۱۴/۶	۱۴-۲۸
<i>MOMs2</i>	۳	۴/۵	۵-۱۰

۲-۳-۴- پردازش زوج تصاویر هوایی

در سالهای اخیر، در زمینه استخراج کاملاً خودکار مدل‌های زمین با استفاده از تصاویر هوایی استریو رقمی پیشرفت‌های زیادی بوجود آمده است. این روش می‌تواند بوسیله تجهیزات فتوگرامتری یا بصورت کاملاً محاسباتی و بدون استفاده از تجهیزات فتوگرامتری انجام شود.

روشهای تناظریابی بسته به المانهای تصویر به دو روش Area-based و feature-based یا ترکیبی از این دو روش تقسیم می‌شوند که بر اساس آنها میزان پارالاکس‌ها محاسبه شده و در نتیجه ارتفاعات استخراج می‌گردند. اگر چه این روش دارای سرعت زیادی است و به نظر می‌رسد که برای جمع‌آوری اطلاعات وسیع مناسب است، ولی به دلیل وجود خطاهای زیاد و خلأهای اطلاعاتی زیاد، کیفیت داده‌ها معمولاً مناسب نیست.

از نمودار تجربی شکل ۲-۱ بمنظور ایجاد ارتباط بین مقیاس عکس و اندازه پیکسل مدل ارتفاعی رقمی قابل استخراج می‌توان استفاده نمود^۳. در این نمودار، محور Sp عدد مقیاس عکس و محور PS اندازه پیکسل را نشان می‌دهد (محورهای نمودار، لگاریتمی هستند).



شکل ۲-۱- نمودار مقدار مناسب اندازه پیکسل در مدل ارتفاعی رقمی برای هر مقیاس عکس.

^۳ این نمودار در واقع ترکیبی از نمودار موجود در دستورالعمل‌های همسان نقشه برداری شماره ۱۱۹- جلد دوم: نقشه برداری هوایی (کلیات) بر اساس مقیاس نقشه و عکس با جدول شماره ۲-۱ موجود در همین مجموعه است.

با توجه به احتمال وجود خطا و اشتباه در محصول نهایی، کنترل کیفیت داده‌های حاصل از این روش می‌بایست قبل از تولید مدل ارتفاعی رقومی و به نحوی انجام گیرد که اطمینان لازم از کیفیت داده‌ها حاصل گردد. بهترین روش برای این منظور، استخراج منحنی میزان از داده‌های جمع‌آوری شده و کنترل منحنی میزان‌های تولید شده با دید سه بعدی بر روی منطقه و ویرایش و تصحیح داده‌های جمع‌آوری شده است.

با توجه به اینکه محصول تولید شده با استفاده از این روش نمایش دهنده بالاترین سطوح ارتفاعی است، لذا باید بمنظور داشتن مدل ارتفاعی رقومی از سطح زمین، ارتفاعات مناطق جنگلی، شهری و ... که اطلاعات توپوگرافی راتشکیل نمی‌دهند تصحیح گردند.

۲-۳-۵- نقشه‌های کاغذی موجود

اجزاء اصلی نقشه‌های توپوگرافی که برای تولید مدل ارتفاعی رقومی قابل استفاده است عبارتند از نقاط ارتفاعی، منحنی میزان، پهنه‌های آبی و عوارضی که فرم و شکستگی‌های زمین را نشان می‌دهند مثل آبریز، رودخانه و مسیل.

منابع کارتوگرافی موجود مانند نقشه‌های توپوگرافی، یکی از منابع داده‌های اولیه برای تهیه مدل ارتفاعی رقومی است. رقومی نمودن نقشه‌های کاغذی با استفاده از دیجیتالایزر و یا بر روی صفحه نمایش کامپیوتر (پس از اسکن نقشه‌ها) به صورت دستی یا خودکار انجام می‌شود. یکی از مراحل غیر قابل اجتناب در این فرایند، ویرایش نقشه‌های رقومی شده است. عوامل مختلفی مثل قدرت تفکیک، پایداری و ثبات اسکنرها در دقت رقومی سازی مؤثر است.

بمنظور اطمینان از مدل ارتفاعی رقومی تولید شده، داده‌های رقومی شده مورد استفاده باید از کیفیت مناسب برخوردار باشند و آن مستلزم این است که برای رقومی کردن از تجهیزات و روش‌های کاری مناسب بر اساس استانداردهای موجود استفاده گردد. در این روش فرض می‌شود که دقت داده‌های حاصله (پس از انجام رقومی سازی) در حد دقت داده‌های نقشه اولیه است.

در نقشه‌های کاغذی، منحنی‌های میزان بعنوان خطوط پیوسته که نمایانگر سطح زمین در فواصل مشخصی هستند، رسم می‌شوند که هر خط شامل تعداد بیشمار نقطه است. هنگام رقومی کردن یک نقشه برای تبدیل منحنی میزانها به شکل رقومی، خطوط باید با تقریب مشخصی نمونه برداری شوند زیرا ذخیره سازی همه نقاط در طول یک خط امکان پذیر نیست. معمولترین روش رقومی سازی، انتخاب رئوس در شکستگی‌های عمده در طول منحنی‌های میزان است. خطوط رقومی که با این روش تولید می‌شوند، نباید تفاوت عمده‌ای با منحنی میزانهای اولیه داشته باشند.

موارد قابل توجه در رقومی نمودن نقشه‌ها عبارتند از:

- دقت عامل رقومیگر در روشهای دستی و یا نیمه خودکار
- دقت دیجیتالایزر مورد استفاده (دقت دیجیتالایزر مورد استفاده باید حداقل بهتر از ۱۰۰ میکرون باشد)
- وضوح و دقت هندسی اسکنر مورد استفاده (حداقل دقت و وضوح هندسی اسکنر مورد استفاده باید بهتر از ۱۰۰ میکرون باشد)
- الگوریتم مناسب جهت رقومی نمودن عوارض به طریق نیمه خودکار و یا خودکار
- باتوجه به تغییر بعد نقشه‌های کاغذی به دلایلی مانند گذشت زمان، رطوبت و تغییر درجه حرارت، اعمال تصحیحات هندسی به نقشه‌های رقومی شده بر اساس شبکه‌های موجود در نقشه ضروری است. بهتر آن است که برای اسکن از فیلم نقشه‌ها که دچار تغییر بعد کمتری است استفاده شود.

برای به حداقل رساندن مشکلات باید همه منابع مورد استفاده قبل از تهیه مدل ارتفاعی رقومی بازبینی تصحیح گردند. برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر در این زمینه به دستورالعمل‌های کارتوگرافی مراجعه شود. فاصله نقاط شبکه و قدرت تفکیک مکانی با فواصل داده‌هایی که اطلاعات ارتفاعی و ناپیوستگی‌های زمین را نمایش می‌دهند، تعیین می‌شود. از آنجا که نقشه خروجی باید دارای همان مقیاس و دقت نقشه ورودی باشد، برای تعیین قدرت تفکیک مدل ارتفاعی باید از جدول شماره ۲-۱ استفاده شود.

۲-۴- واسطه یابی (Interpolation)

واسطه یابی عبارتست از تخمین و پیش‌بینی مقدار کمیت در مکانهای نمونه‌برداری نشده با استفاده از اندازه‌گیریهای انجام شده در نقاط دیگر همان سطح یا منطقه. واسطه یابی در تبدیل داده‌ها از مشاهدات نقطه‌ای به سطوح پیوسته به کار می‌رود. برای ساختاردهی مدل ارتفاعی رقومی به صورت شبکه‌ای، بدست آوردن ارتفاع برای هر نقطه شبکه لازم است. بنابراین باید تعیین گردد که نقطه مورد نظر یکی از نقاط نمونه‌برداری منطبق شده است یا بین نقاط نمونه‌برداری شده قرار دارد. در حالت اول، ارتفاع باید بطور مستقیم از مشاهدات اولیه استخراج شود و در حالت دوم، برای تخمین ارتفاع از روش واسطه یابی استفاده می‌شود. در مورد روشهای واسطه یابی باید موارد زیر مورد توجه قرار گیرند:

- هیچ روش واسطه یابی ایده‌آلی که برای تمامی کاربردها مناسب باشد وجود ندارد.
- بهترین معیار برای انتخاب روش واسطه یابی مدل ارتفاعی رقومی آن است که روش مورد نظر بتواند عوارض خاصی مثل آبریزها، خط الرأس‌ها و خط القعرها و تغییرات ناگهانی سطح زمین را به خوبی در نظر بگیرد.
- روش واسطه یابی باید متناسب با نوع، دقت، اهمیت و توزیع داده‌های اولیه باشد.
- معیار دیگر برای انتخاب روش واسطه یابی، درجه دقت مطلوب و تجهیزات محاسباتی و نرم افزارهای مورد استفاده می‌باشد.

۲-۵- ویرایش

مدل ارتفاعی رقومی تولید شده ممکن است دارای اشکالاتی باشد که در صورت وجود باید تصحیح گردند. تغییرات ناگهانی درجات خاکستری در پیکسل‌های همسایه بیانگر عدم صحت ارتفاع نقاط می‌باشد، بنابراین لازم است در کل تصویر، تغییرات درجات خاکستری بصورت بصری بررسی و اشکالات احتمالی رفع گردند. در واقع از آنجا که اشکالات موجود در مدل ارتفاعی رقومی به علت وجود مشکلاتی در داده‌های اولیه است، با بررسی داده‌های اولیه و انجام تصحیحات لازم در آنها و تهیه مجدد مدل ارتفاعی رقومی با استفاده از داده‌های تصحیح شده، این اشکالات برطرف می‌شود. علاوه بر برطرف کردن تغییرات ناگهانی درجات خاکستری در پیکسل‌های همسایه، ممکن است مدل ارتفاعی رقومی شامل مناطقی با ارتفاع ثابت یا نامشخص باشد که بر اثر وجود داده‌های اولیه تقریبی یا عدم وجود اطلاعات کافی ایجاد شده باشد. چند نمونه از این موارد در ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرد تا نحوه تصمیم‌گیری در این شرایط نیز تعیین گردد.

۲-۵-۱- نواحی خالی از داده‌های ارتفاعی

این نواحی در اثر عدم وجود داده‌های ارتفاعی در مناطقی خاص و محدود ایجاد می‌شود که مواردی از آنها عبارتند از صخره‌ها با شیب‌های بسیار تند، گودال‌های باز دهانه معادن، مناطق گود برداری و خاکریزی و وجود سایه روی عکسها، که ممکن است در این موارد امکان برداشت عوارض ارتفاعی وجود نداشته باشد. برای رفع این مشکل، قبل از تهیه مدل ارتفاعی رقومی، لازم است با استفاده از داده‌های موجود دیگر یا در صورت امکان، با استفاده از داده‌های مناطق اطراف، داده‌هایی به صورت تقریبی تهیه شوند و سپس مدل ارتفاعی رقومی تولید گردد.

۲-۵-۲- نواحی دارای ارتفاع متغیر

نواحی مزبور در مدل ارتفاعی رقومی، مناطقی هستند که حصول اطلاعات ارتفاعی در آنها به علت متغیر بودن ارتفاعات در اثر تغییرات مداوم سطح زمین، امکان پذیر نیست. مثالی از این سطوح، مناطق پوشیده از شنهای روان است. معمولاً حدود این مناطق روی نقشه‌ها مشخص می‌شوند اما خالی از اطلاعات ارتفاعی هستند. هنگام تهیه مدل ارتفاعی رقومی، این مناطق به وسیله اطلاعات ارتفاعی مناطق اطراف، واسطه‌یابی شده و دارای ارتفاع می‌شوند، اما پس از تهیه مدل ارتفاعی رقومی لازم است حدود منطقه مشخص شود و به کل پیکسل‌های واقع شده در آن منطقه، مقدار ارتفاعی ۱۰۰- داده شود. در واقع به علت فقدان اطلاعات، با اختصاص این مقدار که بسیار کوچکتر از کمترین ارتفاع موجود در ایران (۲۸-) است، این مناطق از دیگر مناطق متمایز می‌شوند.

۲-۵-۳- پهنه‌های بزرگ آبی

پهنه‌های بزرگ آبی، طبیعتاً نواحی دارای ارتفاع ثابت هستند، اما به علت عدم اطلاع از توپوگرافی کف آب، در هنگام تهیه مدل ارتفاعی رقومی، لازم است این مناطق، مشابه مناطق دارای ارتفاع متغیر تعیین حدود شده و به تمام پیکسل‌های موجود در این محدوده ارتفاع ۱۰۰- تعلق بگیرد.

۲-۶- کنترل کیفیت

اشکالات موجود در مدل ارتفاعی رقومی بر سه نوع هستند:

- اشتباهات: که باید قبل از ورود به مرحله نهایی تولید مدل ارتفاعی رقومی حذف شوند.
- خطاهای سیستماتیک: که به روش و یا سیستم مورد استفاده وابسته است.
- خطاهای تصادفی: کاملاً غیرقابل پیش‌بینی هستند.

اگرچه این سه نوع خطا قابل کاستن می‌باشند ولی بطور کامل قابل حذف نمی‌باشند. پس از تهیه مدل ارتفاعی رقومی لازم است کل محصول مورد بازبینی قرار گرفته و خطاهای موجود در آن تا حد امکان اصلاح شوند.

۲-۶-۱- اشتباهات

اشتباه در مدل ارتفاعی رقومی عبارتست از خطایی در راستای قائم که معمولاً دارای مقداری بیشتر از ماکزیمم خطای مطلق مجاز (سه سیگما) باشد که به راحتی قابل شناسایی است. اشتباه در مدل ارتفاعی رقومی تولید شده زمانی اتفاق می افتد که خطای داده های جمع آوری شده بیشتر از خطای سیستماتیک یا تصادفی باشد، مثل قرائت اشتباه منحنی میزانها، درج اشتباه مقادیر عددی و مشاهدات فاقد دقت لازم.

۲-۶-۲- خطاهای سیستماتیک

خطاهای سیستماتیک خطاهایی هستند که از یک الگوی ثابت پیروی می کنند که معمولاً مقدار و جهت ثابت دارند و بایاسهایی در تولیدات نهائی ایجاد می کنند که در نتیجه روشها یا سیستمهای مورد استفاده ایجاد می شوند و نوعاً قابل پیش بینی هستند، مثل شیفت ارتفاع قائم در کل منطقه یا قسمتی از آن و تفسیر نامناسب سطح زمین بر اثر وجود درختها، ساختمانها و سایهها. این خطاها پس از شناسایی باید حذف شده یا تا حد امکان کاهش یابند.

۲-۶-۳- خطاهای تصادفی

خطاهایی هستند که بعد از حذف اشتباهات و خطاهای سیستماتیک باقی می ماند و نتیجه عوامل ناشناخته و خارج از کنترل مشاهده کننده می باشند. پخش خطاهای تصادفی از تابع توزیع نرمال تبعیت می کند.

۲-۶-۴- دقت ارتفاعی

دقت ارتفاعی مدل نهایی به روش تولید و میزان اصلاحات آن بستگی دارد. تنها خطای قابل اندازه گیری و مشهود در مدل ارتفاعی رقومی، خطای ارتفاعی است که ممکن است در اثر خطاهای مسطحاتی موجود در داده های مرجع یا خطای تبدیل داده های اولیه از حالت برداری به رستری ایجاد شود.

در بحث مدل ارتفاعی رقومی زمین، مساله دقت مربوط است به خطای ارتفاعی هر نقطه که خود به معنی اختلاف ارتفاع استخراج شده برای یک نقطه از فایل مدل ارتفاعی رقومی نسبت به ارتفاع واقعی آن بر روی سطح زمین است.

برای بیان دقت ارتفاعی مدل ارتفاعی رقومی، آماره خطای مربعی میانگین^۴ بکار می رود که شامل هر دو خطای تصادفی و سیستماتیک در داده ها است. خطای مربعی میانگین طبق فرمول زیر تعیین می گردد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Z_i - Z_i)^2}{n}}$$

که Z_i : ارتفاع انترپوله شده نقطه چک در مدل ارتفاعی رقومی نهایی، Z_i ارتفاع صحیح نقطه چک (نقاط کنترل زمینی یا نقاط مثلث بندی)، یا محتملترین ارتفاع (مثلاً ارتفاعات استخراج شده از منابع نقشه ای موجود) است و n تعداد نقاط چک میباشد. اندازه دقت، بوسیله مقایسه ارتفاعات محاسبه شده موجود در مدل ارتفاعی رقومی با ارتفاعات معلوم متناظر بدست می آید. نقاط چک باید به خوبی در منطقه توزیع شده باشند و دقت ارتفاعی آنها مطابق با معیار دقت مدل ارتفاعی رقومی باشد.

⁴ RMSE (Root Mean Square Error)

نقاط چک قابل قبول به ترتیب اولویت عبارتند از: نقاط کنترل زمینی، نقاط مثلث بندی و نقاط روی منحنی میزانهای نقشه‌های موجود با فواصل مناسب.

خطای مربعی استاندارد مدل ارتفاعی رقومی تولید شده باید کمتر از دو سوم فاصله منحنی میزان باشد. به بیان دیگر ۹۰ درصد نقاط استخراج شده از مدل ارتفاعی رقومی تولیدی باید دارای خطایی کمتر از ۱,۳ برابر دقت ارتفاعی داده‌های ورودی، نسبت به ارتفاع همان نقاط بر روی زمین باشد.

۲-۷- مشخصات کلی مدل ارتفاعی رقومی

از آنجا که تهیه کنندگان مدل ارتفاعی رقومی دارای حق انتخاب در گستره وسیعی از مشخصات مدل ارتفاعی رقومی مثل نحوه شیت بندی و برش فایل‌های تهیه شده، سیستم‌های مختصات و سیستم تصویر، فرمت فایل خروجی و غیره هستند، در اینجا به عنوان نمونه مشخصات مدل ارتفاعی رقومی ملی ایران که توسط سازمان نقشه برداری کشور از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ در حال تهیه است بیان می‌شود.

مدل ارتفاعی رقومی ملی ایران، تصویر رقومی با درجات خاکستری ۱۶ بیتی به صورت سه بعدی (بعد اول و دوم به صورت X و Y و بعد سوم، Z)، در قطع حدود ۷,۵ در ۷,۵ دقیقه‌ای با اندازه پیکسل ۱۰ متر است.

۲-۷-۱- مشخصات فایل‌های مدل ارتفاعی رقومی و نحوه بلوک بندی

برای ایجاد نظم در مراحل اجرایی کار و نام‌گذاری فایل‌های مدل ارتفاعی رقومی، به یک سیستم نام‌گذاری و اندکس راهنما نیاز می‌باشد. سیستم نام‌گذاری و تقسیم بندی فایل‌های مدل ارتفاعی رقومی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مطابق با سیستم نام‌گذاری نقشه‌های پوششی ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشد. در این سیستم هر شیت به صورت زیر نام‌گذاری می‌شود.

حروف نشان دهنده ربع نقشه ۱:۲۵۰۰۰ + شماره ربع نقشه ۱:۵۰۰۰۰ + شماره استاندارد نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ + حرف D

nw, ne, sw, se 1 تا 4

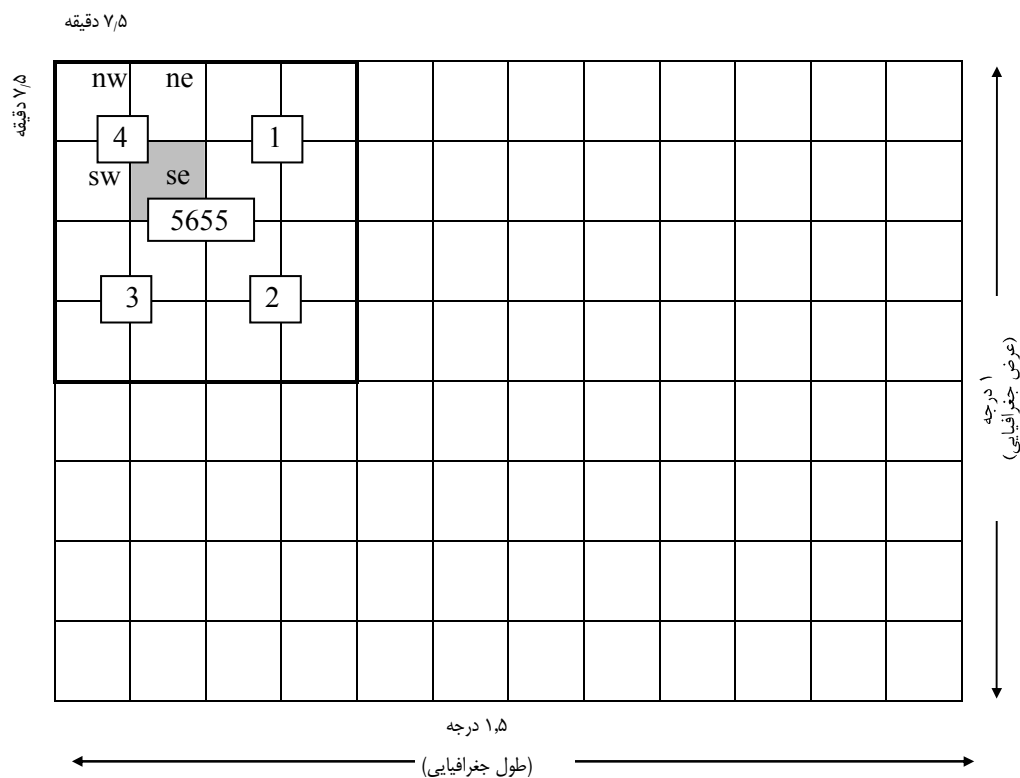
(دو مکان) (یک مکان) (چهار مکان) (یک مکان)

با توجه به نوع سیستم تصویر مورد استفاده در تهیه نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ (سیستم تصویر UTM) و به دلیل اعوجاجات مربوط به این سیستم تصویر، شکل برگه‌های نقشه کاملاً بصورت مستطیلی نیست. بنا به ماهیت فایل‌های مدل ارتفاعی رقومی زمین که همانند سایر فایل‌های رستری بر حسب تعداد مشخصی از سطرها و ستونها تعریف می‌شوند، شکل این فایلها بصورت مستطیل بوده و در نتیجه مقداری جزئی با محدوده نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ مربوطه اختلاف خواهند داشت. ابعاد و شکل فایل‌های مدل ارتفاعی رقومی زمین به نحوی انتخاب خواهند شد که اضلاع آن موازی با محورهای X و Y سیستم مختصات نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ رقومی بوده و کوچکترین مستطیل پوشاننده برگ نقشه ۱:۲۵۰۰۰ با شماره مشابه باشند. بنابراین محدوده فایل‌های مدل ارتفاعی رقومی مقداری بزرگتر از محدوده فایل نقشه ۱:۲۵۰۰۰ مربوطه بوده و اطلاعات لبه آنها در فایل‌های مجاور تکرار خواهد شد.

اندکس نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ ایران ملاک دسته بندی فایلها به گروههای مناسب جهت اجرا می‌باشد. یک بلوک ۱:۲۵۰۰۰ شامل ۹۶ برگ نقشه (یا فایل مدل ارتفاعی رقومی) بوده و وسعت جغرافیایی آن به شکل زیر می‌باشد (برای یک بلوک فرضی):

تعداد نقشه‌های بلوک: ۹۶ برگ نقشه ۱:۲۵۰۰۰

شماره محدوده هاشور خورده: D56554se



۲-۷-۲- سیستم مختصات و سیستم تصویر

برای ایجاد یکپارچگی هندسی، فعالیتهای تهیه نقشه و اطلاعات جغرافیایی باید در یک سیستم مختصات واحد کشوری صورت گیرد تا امکان تحلیل های مکانی در این سطح وجود داشته باشد. چارچوب هندسی مورد استفاده در تهیه مدل ارتفاعی رقومی مطابق زیر می باشد.

۲-۷-۲-۱- واحد اندازه گیری

واحد اندازه گیری، سیستم بین‌المللی (متریک) می‌باشد.

۲-۷-۲-۲- بیضوی مقایسه

بیضوی مقایسه WGS-84 با مشخصات زیر:

مبدأ: مرکز جرم زمین

محور Z: امتداد قطب زمینی قراردادی (CTP) برای حرکات قطبی. این امتداد توسط سازمان بین‌المللی Bureau International de l'Heure (BIH) بر اساس مختصات اختیار شده برای ایستگاههای BIH تعریف شده است.

محور X: تقاطع صفحه نصف‌النهار مرجع WGS-84 و صفحه استوای CIP; نصف‌النهار مرجع نصف‌النهار صفر است که توسط BIH بر اساس مختصات اختیار شده برای ایستگاههای BIH تعریف شده است.

محور Y: این محور یک سیستم مختصات با ویژگی‌های زیر ایجاد می‌کند:

- راست‌گرد.

- مبدأ در مرکز زمین و متصل به زمین (ECEF).

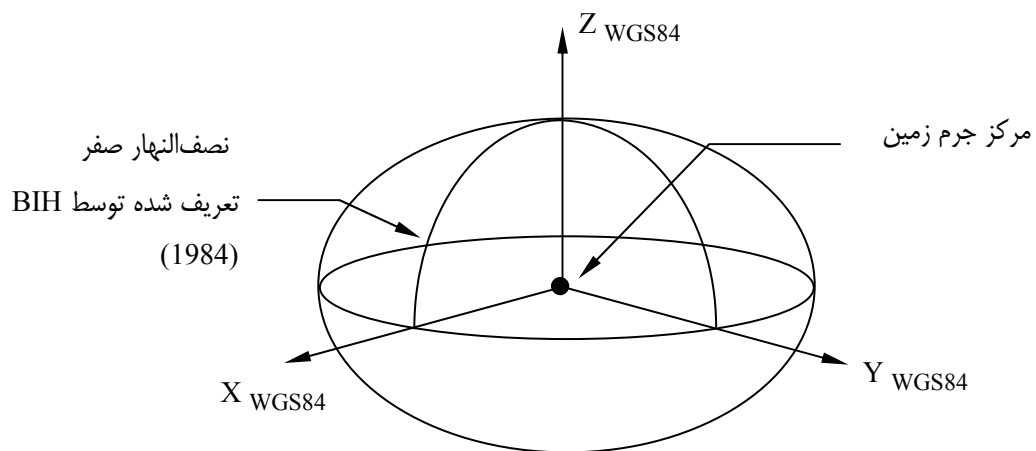
- قائم‌الزاویه؛ زاویه در صفحه استوای CIP اندازه‌گیری می‌شود و ۹۰ درجه شرق محور X قرار دارد.

اندازه نصف قطر بزرگ (a): 6378137 ± 2 متر

اندازه نصف قطر کوچک (b): $6356752/3142$ متر

فشرده‌گی (f): $1:298/257223563$

خروج از مرکزیت (e): 0.0818191908426



(1984) BIH توسط CTP تعریف شده توسط BIH (1984)

۲-۷-۲-۳- سطح مبنای ارتفاعی

سطح مبنای ارتفاعات ارتومتریک کشور، سطح متوسط آبهای آزاد است.

با آنالیز اطلاعات جزر و مدسنگ‌ها، ایستگاه "بندرعباس" به عنوان مبنای ارتفاعات ایران انتخاب شده است.

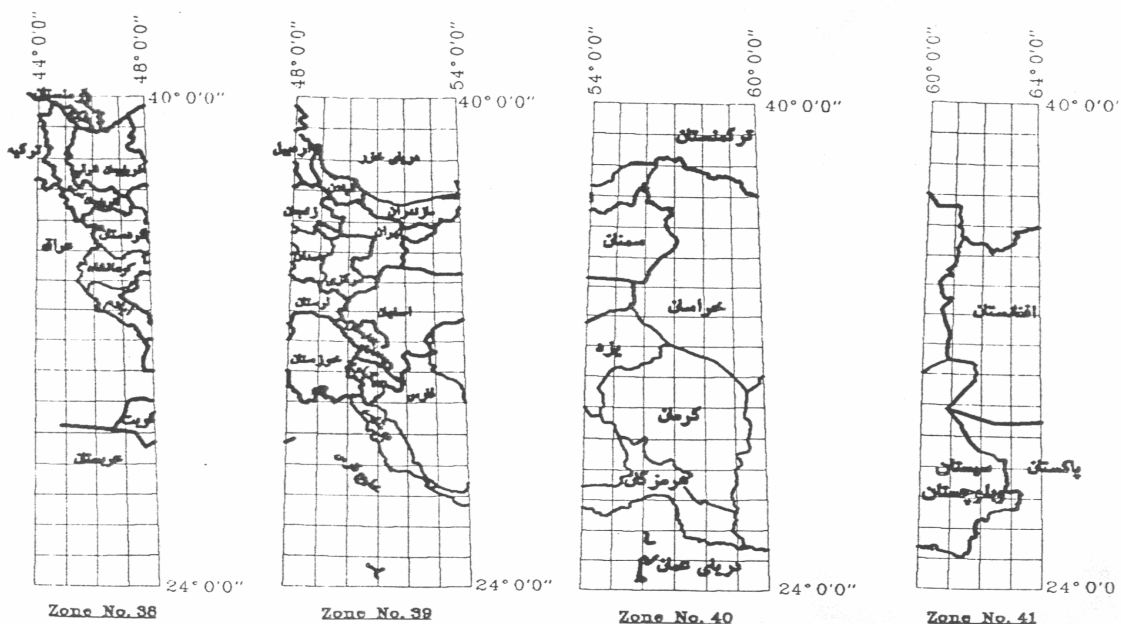
ارتفاعات ارتومتریک منسوب به ژئوئید با ارتفاعات ارتومتریک منسوب به سطح متوسط دریاها حداکثر ۱ متر اختلاف دارند.

۲-۷-۲-۴- سیستم تصویر

در فایل‌های مدل ارتفاعی رقومی ایران، برای نمایش سطح زمین بر روی یک صفحه، از سیستم تصویر جهانی Universal Transverse Mercator (UTM) با مشخصات زیر استفاده می‌شود:

- استوانه‌ای.
- متشابه.
- نصف‌النهارها و مدارها به جز نصف‌النهار مرکزی و استوا منحنی هستند.
- شکل زمین بیضوی فرض شده (بیضوی WGS-84).
- برای مناطق واقع در فاصله عرض‌های جغرافیایی $84^{\circ} N$ و $80^{\circ} S$ بکار می‌رود.
- متشکل از ۶۰ قاچ (Zone) که هر قاچ آن ۶ درجه طول جغرافیایی را در بر می‌گیرد. (شماره گذاری از نصف‌النهار 180° درجه در جهت شرق انجام می‌شود).
- ضریب مقیاس نصف‌النهار مرکزی 0.9996 است.
- سیستم مختصات قائم‌الزاویه راستگرد است.
- مختصات بر حسب X (یا E) و Y (یا N) می‌باشد که به ترتیب در امتداد شرق و شمال هستند.
- مبدا مختصات تقاطع خط استوا و نصف‌النهار مرکزی قاچ است.
- مبدا مختصات در نیم‌کره شمالی دارای مختصات: $X = 500000 \text{ m}$ و $Y = 0 \text{ m}$ و برای نیم‌کره جنوبی دارای مختصات: $X = 500000 \text{ m}$ و $Y = 10000000 \text{ m}$.

در این سیستم تصویر، کشور ایران با چهار قاچ سیستم UTM پوشش داده می‌شود. شکل زیر نحوه قرارگیری کشور ایران در این سیستم تصویر را نمایش می‌دهد. (توضیح: شکل مقیاس خاصی ندارد).



۲-۷-۳- فرمت

اطلاعات خروجی به دو فرم رستری و متنی ارائه می‌شوند. با توجه به اینکه هر یک از این اطلاعات رستری و متنی می‌توانند به فرمت های گوناگونی عرضه شوند، به منظور ایجاد هماهنگی و یکپارچگی در تولید مدل ارتفاعی رقومی در سطح ملی، فرمت استاندارد اطلاعات رستری و متنی به شکل زیر می‌باشد:

۲-۷-۳-۱- فرمت رستری

به علت امکان استفاده از نرم افزارهای مختلف برای تهیه مدل ارتفاعی رقومی، اطلاعات رستری با فرمت های مختلف مثل PIX (PIX مخفف فرمت PCIDSK است که برای نرم افزارهای PCI ابداع شده و بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. این فرمت ساختار سامان یافته‌ای برای نگهداری داده‌های تصویری و سایر اطلاعات وابسته شامل نقاط کنترل زمینی، اطلاعات طیفی، جداول LUT و غیره است)، ERS (مربوط به نرم افزار ERMAPPER)، IMG (مربوط به نرم افزار ERDAS) و غیره قابل ارائه می‌باشد. این فرمت رستری در یک لایه ۱۶ بیتی ارائه می‌گردد.

۲-۷-۳-۲- فرمت متنی (TEXT)

به منظور عدم وابستگی به نرم افزارهای خاص و امکان دستیابی کاربران در سطوح مختلف، اطلاعات مدل ارتفاعی رقومی به فرمت متنی نیز ارائه می‌شود. در این فرمت، اطلاعات مورد نظر به صورت ASCII می‌باشند. تمامی فایلها شامل یک سرفصل (Header) هستند که شامل موارد زیر است:

- تعدادسطر (nrows)
- تعدادستون (ncols)
- مختصات مسطحاتی نقطه گوشه سمت چپ و پایین (xllcorner, yllcorner) بر حسب متر
- فاصله نقاط شبکه DEM (cellsize) بر حسب متر
- عددی که بیانگر عدم وجود اطلاعات ارتفاعی است (NODATA_value)
- اطلاعات ارتفاعی (بر حسب متر) به صورت ماتریس دو بعدی از اعداد صحیح است که در فواصل منظم (cellsize) در راستای X و Y استخراج شده اند و با حفظ سه فضای خالی (Space) در کنارهم قرار می‌گیرند.

لازم به ذکر است که مختصات مسطحاتی کلیه نقاط به طور ضمنی در این ماتریس وجود دارد.

در شکل زیر، نمونه‌ای از نحوه ذخیره سازی اطلاعات DEM به صورت فایل متنی آورده شده است:

```
ncols      1130
nrows      1382
xllcorner  533640.000
yllcorner  4011780.000
cellsize   10
NODATA_value -9999
1530  1520  1520  1510  1510  1505  ...
1698  1698  1699  1699  1704  1710  ...
.....  .....  .....  .....  .....  .....  ....
```

۳- نقشه‌های تصویری

۳-۱- کلیات

نقشه‌های تصویری دارای کاربردها و مزایای فراوانی می‌باشند و با گسترش سیستم‌های رقومی، تولید این نقشه‌ها که در گذشته به راحتی انجام نمی‌گرفت با سرعت و سهولت بیشتری انجام می‌گیرد. از مهمترین زمینه‌های استفاده از نقشه‌های تصویری می‌توان به کاربرد این نقشه‌ها در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، بهنگام کردن نقشه‌های برداری، ایجاد نماهای سه بعدی از مناطق و بررسی تغییرات زمانی اشاره نمود.

به طور کلی منظور از نقشه‌های تصویری، نمایشی زمین مرجع و مختصات دار از زمین است که در آنها جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع و دوران‌های سنجنده و یا دوربین در لحظه تصویر برداری حذف شده و یا با توجه به مقیاس و کاربرد قابل اغماض می‌باشند. بدین ترتیب، نقشه تصویری علاوه بر دارا بودن مشخصه‌های یک تصویر، تا حدود زیادی مشخصات هندسی نقشه را نیز دارا می‌باشد.

۳-۱-۱- مشخصه‌های المانهای تصویری

به منظور توصیف نقشه‌های تصویری و داده‌های شبکه‌ای ابتدا باید ویژگی‌های اصلی شبکه را تعریف کرد. به طور کلی هر جزء (یا Cell) از داده‌های شبکه‌ای یا هر پیکسل در نقشه‌های تصویری با دو مشخصه اصلی زیر تعریف می‌شود:

- شکل و اندازه: اندازه هر پیکسل یا شبکه به سطحی از زمین که توسط آن پوشش داده می‌شود اشاره دارد و شکل پیکسل یا شبکه نشان دهنده شکل منطقه‌ای است که روی زمین توسط آن تشکیل می‌شود. عموماً شکل پیکسلها در نقشه‌های تصویری مربع یا شکلی نزدیک به مربع بوده و در این حالت اندازه پیکسل با طول یکی از اضلاع آن مشخص می‌شود. شکل و اندازه پیکسل می‌تواند در سطح منطقه تحت پوشش یکسان یا متفاوت باشد. برای مثال در یک تصویر مایل از زمین، اندازه و شکل هر پیکسل با پیکسلهای مجاور مقداری متفاوت خواهد بود.
- موقعیت هندسی: ویژگی مهم دیگر هر پیکسل و یا شبکه مربوط به نحوه ارتباط آن با سطح زمین یا به بیان دیگر مختصات جغرافیایی آن می‌شود. در صورتی که اندازه و شکل پیکسلها در کل منطقه تحت پوشش یکسان باشد، با دانستن مبدأ، دوران، اندازه و شکل هر پیکسل، می‌توان محل جغرافیایی هر پیکسل را بر روی زمین مشخص کرد. در غیر این صورت برای این کار به اطلاعات اضافی مانند شکل و اندازه هر پیکسل نیاز خواهیم داشت.

۲-۳- انواع نقشه‌های تصویری

۱-۲-۳- تعاریف اولیه

بر اساس ویژگی‌های شرح داده شده در بند قبلی، داده‌های تصویری به دو گروه اصلی تصاویر قائم و تصاویر غیر قائم تقسیم‌بندی می‌شوند.

۱-۱-۲-۳- تصاویر قائم (Georectified)

در این تصاویر اندازه و شکل هر پیکسل یکسان بوده و موقعیت هر پیکسل بر روی زمین با توجه به اندازه، مبدأ و دوران آنها مشخص و در بیشتر این نوع از داده‌ها، اندازه پیکسل در تمام سطح مورد پوشش یکسان است. در داده‌های شبکه‌ای و تصاویر قائم، با داشتن اطلاعات ساده‌ای مانند مختصات دو پیکسل غیر واقع بر روی یک سطر یا ستون، می‌توان تمام پیکسلها را در سیستم مختصات نقشه مختصات دار نمود (اندازه پیکسلها، مبدأ مختصات و دوران‌ها می‌توانند از مختصات دو پیکسل استخراج شوند).

۲-۱-۲-۳- تصاویر غیر قائم (Ungeorectified)

در این داده‌ها، اندازه پیکسلها در تمام سطح منطقه یکسان نبوده و بر خلاف تصاویر قائم، محل یک پیکسل بر اساس موقعیت سایر پیکسلها قابل تخمین نیست. تصاویر غیر قائم بر اساس وجود یا عدم وجود اطلاعاتی که منجر به تخمین مختصات پیکسلها می‌شود، به دو نوع مختصات دار (Georeferenced) و بدون مختصات (Ungeoreferenced) تقسیم می‌شوند.

۳-۱-۲-۳- تصاویر مختصات دار (Georeferenced)

تصاویر مختصات دار به آن دسته از تصاویر غیر قائم اطلاق می‌شود که در آنها محل قرار گیری هر پیکسل بر روی زمین از طریق یک روش ریاضی مرجع‌دهی هندسی (Spatial Georeferencing) و با استفاده از اطلاعات ارائه شده به همراه داده‌های تصویری قابل تخمین باشد. بیشتر داده‌های تصویری سنجش از دور (تصاویر ماهواره‌ای) از این دسته‌اند. همانطور که از تعریف فوق استنباط می‌شود، تفاوت اصلی بین تصویر قائم و تصویر مختصات دار این است که در تصویر قائم اندازه پیکسلها در سطح زمین ثابت بوده و در تصویر مختصات دار این اندازه متفاوت است. تصاویر قائم معمولاً با استفاده از تصاویر مختصات دار در طی مرحله تصحیحات هندسی تصویر تولید می‌شود.

۴-۱-۲-۳- تصاویر بدون مختصات (Ungeoreferenced)

عنوان تصاویر بدون مختصات به آن دسته از تصاویر غیر قائم اطلاق می‌شود که فاقد هر گونه اطلاعاتی برای تخمین موقعیت هندسی پیکسلها باشند. به عنوان نمونه می‌توان به عکس هوایی اسکن شده اشاره نمود که می‌توان آن را با تعدادی نقاط کنترل زمینی به تصویر مختصات دار تبدیل نمود.

۳-۲-۲- نقشه‌های تصویری قائم

این نقشه‌ها تصاویر سیاه و سفید یا رنگی (شامل طیف‌های مختلف امواج الکترومغناطیس) قائم (Georectified) و مختصات‌دار هستند که بر اساس تعاریف فوق، دارای مقیاس (یا به بیان دیگر اندازه پیکسل) ثابت در سطح منطقه تحت پوشش بوده و در آنها جابجایی عوارض ناشی از دوران دوربین یا سنجنده و همچنین جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع تا حد دقت متناسب با مقیاس نقشه برطرف شده است. این نقشه‌ها تلفیقی از مشخصات تصاویر رقومی و کیفیت هندسی نقشه می‌باشند. مقیاس این نقشه‌ها متفاوت و اندازه پیکسل به تناسب با مقیاس در تغییر است.

۳-۲-۳- موزاییک‌های تصویری کنترل شده (مختصات دار)

از تصاویر سیاه و سفید یا رنگی (شامل طیف‌های مختلف امواج الکترومغناطیس) غیر قائم (Ungeorectified) تشکیل شده‌اند که مختصات‌دار (Georeferenced) بوده و بر اساس تعاریف فوق، دارای مقیاس (یا به بیان دیگر اندازه پیکسل) حدودی و غیر ثابت در سطح منطقه تحت پوشش بوده و در آنها جابجایی عوارض ناشی از دوران دوربین یا سنجنده و همچنین جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع برطرف نشده است. مقیاس این نقشه‌ها متفاوت و اندازه پیکسل به تناسب با مقیاس در تغییر است.

۳-۳- مشخصات داده‌های ورودی

داده‌های ورودی در تهیه نقشه‌های تصویری عبارتند از: عکسهای هوایی رقومی (اسکن) شده، تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، مدل ارتفاعی رقومی زمین، نقاط کنترل (اندازه‌گیری شده یا استخراج شده)، پارامترهای سنجنده (شامل پارامترهای مدار و مشخصات کالیبراسیون دوربین هوایی) و اطلاعات برداری و نقشه‌های موجود.

۳-۳-۱- عکس‌های هوایی رقومی (اسکن) شده

عکس‌های هوایی قائم و یا نزدیک به قائم متریک سیاه و سفید، رنگی و یا مادون قرمز که توسط اسکنرهای فتوگرامتری با دقت هندسی بهتر از دو میکرون و عمق حداقل ۸ بیت برای هر باند و با وضوح هندسی متناسب با مقیاس نقشه نهایی رقومی (اسکن) شده‌اند برای تهیه نقشه‌های تصویری قابل استفاده‌اند. برای تعیین اندازه پیکسل تصویر حاصله از فرایند رقومی سازی، دو نکته زیر باید مد نظر قرار گیرد:

- نقشه تصویری تهیه شده باید دارای قدرت تفکیک 300DPI باشد به این معنی که برای داشتن خروجی رقومی یا کاغذی مناسب تصویر حاصله باید در هر اینچ دارای حداقل ۳۰۰ پیکسل باشد.
- نمایش صحیح علائم حاشیه‌ای عکس هوایی نیازمند اندازه پیکسل معادل ۳۰ میکرون و کوچکتر است.

بر این اساس، جدول شماره ۳-۱ اندازه پیکسل تصاویر رقومی بر حسب میکرون را با توجه به مقیاس نقشه تصویری و مقیاس عکس مورد نظر نشان می‌دهد. بدیهی است که مقادیر ذکر شده در این جدول حداکثر اندازه مجاز پیکسل مورد نیاز بوده و در صورت لزوم می‌توان مقادیر کوچکتری را انتخاب نمود.

جدول ۳-۱: حداکثر اندازه پیکسل تصویر رقومی (میکرون) بر حسب مقیاس عکس و نقشه تصویری

مقیاس نقشه تصویری								مقیاس عکس
۱:۵۰۰۰۰	۱:۲۵۰۰۰	۱:۲۰۰۰۰	۱:۱۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰	۱:۲۰۰۰	۱:۱۰۰۰	۱:۵۰۰	
-	-	-	-	-	۳۰	۲۸	۱۴	۱:۳۰۰۰
-	-	-	-	-	۳۰	۲۱	۱۰	۱:۴۰۰۰
-	-	-	-	۳۰	۳۰	۱۷	-	۱:۵۰۰۰
-	-	-	-	۳۰	۲۸	۱۴	-	۱:۶۰۰۰
-	-	-	۳۰	۳۰	۲۱	-	-	۱:۸۰۰۰
-	-	-	۳۰	۳۰	۱۷	-	-	۱:۱۰۰۰۰
-	-	۳۰	۳۰	۲۸	-	-	-	۱:۱۵۰۰۰
-	۳۰	۳۰	۳۰	۲۱	-	-	-	۱:۲۰۰۰۰
-	۳۰	۳۰	۲۸	-	-	-	-	۱:۳۰۰۰۰
۳۰	۳۰	۳۰	۱۹	-	-	-	-	۱:۴۰۰۰۰
۳۰	۳۰	۳۰	-	-	-	-	-	۱:۵۰۰۰۰

لازم به ذکر است که اندازه‌های ذکر شده باید بطور مستقیم از فرآیند رقومی‌سازی در اسکنر حاصل شوند و باید از نمونه‌گیری مجدد (Resampling) خودداری شود. در برخی موارد که به دلیل لزوم اعمال تصحیحات در مشخصات هندسی یا طیفی تصاویر که خود مربوط به مشخصات اسکنر و یا کاربرد مورد نظر است، نمونه‌گیری مجدد تصویر به طور قطعی لازم باشد، این کار باید به گونه‌ای انجام گیرد که فقط منجر به ایجاد پیکسل‌های بزرگتر شود. به بیان دیگر، نمونه‌گیری مجدد برای ایجاد تصویر، برای پیکسل‌های کوچکتر از تصویر اصلی به هیچ وجه مجاز نیست. در هر صورت به منظور حفظ اصالت تصویر در هر مرحله نمونه‌گیری مجدد باید اندازه پیکسلها تا حداکثر دو برابر افزایش یافته و از نمونه‌گیری به روش واسطه‌یابی (Interpolation) وزن دار با شعاع اندازه پیکسل تصویر نهایی استفاده شود.

۳-۳-۲- تصاویر هوایی و ماهواره‌ای

تصاویر اخذ شده توسط دوربین‌های هوایی رقومی متریک در یک یا چند طیف با وضوح هندسی مناسب، برای تولید نقشه تصویری قابل استفاده‌اند. با توجه به عدم وجود علائم حاشیه‌ای در این تصاویر، شرط مربوط به حداقل اندازه پیکسل ۳۰ میکرون برای نمایش صحیح این علائم (به بند ۳-۳-۱ مراجعه شود) حذف شده و حداکثر اندازه پیکسل مناسب بر روی زمین بر حسب مقیاس نقشه تصویری با استفاده از داده‌های این دوربینها بر اساس جدول ۳-۲ انتخاب می‌شود.

جدول ۳-۲: حداکثر اندازه پیکسل تصاویر دوربینهای هوایی رقومی (سانتی‌متر) بر حسب مقیاس نقشه تصویری

مقیاس نقشه تصویری								
۱:۱۰۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰۰	۱:۲۵۰۰۰	۱:۲۰۰۰۰	۱:۱۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰	۱:۲۰۰۰	۱:۱۰۰۰	۱:۵۰۰
۸۵۰	۴۲۰	۲۱۰	۱۷۰	۸۵	۴۲	۱۷	۸	۴

به همین ترتیب تصاویر اخذ شده توسط ماهواره‌های تصویر برداری سنجش از دور با وضوح مناسب در یک یا چند طیف امواج الکترومغناطیسی، برای تولید نقشه‌های تصویری قابل استفاده‌اند. اندازه زمینی پیکسل مناسب برای تولید نقشه‌های تصویری با استفاده از این تصاویر دقیقاً مشابه تصاویر هوایی بوده و از جدول ۳-۲ قابل استخراج است. در خصوص تصاویر ماهواره‌ای باید توجه گردد که پوشش ابر بیش از ۵ درصد سطح هر نقشه و زاویه میل تصویر بیش از ۲۰ درجه مجاز نیست.

۳-۳-۳- مدل ارتفاعی رقومی زمین

مدل رقومی زمین با دقت ارتفاعی و وضوح هندسی مناسب برای تولید نقشه‌های تصویری قائم به صورت Grid و یا Tin استفاده می‌شوند. دقت ارتفاعی و وضوح هندسی مدل رقومی زمین برای تولید این نقشه‌ها در مقیاس‌های مختلف بر اساس جدول ۳-۳ تعیین می‌گردد.

جدول ۳-۳: مشخصات مدل ارتفاعی رقومی قابل استفاده برای تولید هر مقیاس نقشه تصویری قائم

۱:۲۵۰۰۰۰	۱:۱۰۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰۰	۱:۲۵۰۰۰	۱:۱۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰	۱:۲۰۰۰	۱:۱۰۰۰	۱:۵۰۰	مقیاس نقشه تصویری	مشخصات DEM
*	*	*	*	*	*	*	*	*		وضوح هندسی ۱۰ cm دقت ارتفاعی ۲۵ cm
*	*	*	*	*	*	*	*			وضوح هندسی ۲۰ cm دقت ارتفاعی ۲۵ تا ۵۰ cm
*	*	*	*	*	*	*				وضوح هندسی ۵۰ cm دقت ارتفاعی ۲۵ تا ۵۰ cm
*	*	*	*	*	*					وضوح هندسی ۱ m دقت ارتفاعی ۵۰ cm تا ۱ m
*	*	*	*	*						وضوح هندسی ۲ m دقت ارتفاعی ۱ تا ۲ m
*	*	*	*							وضوح هندسی ۵ m دقت ارتفاعی ۵ تا ۱۰ m
*	*	*								وضوح هندسی ۱۰ m دقت ارتفاعی ۱۰ تا ۲۰ m
*	*									وضوح هندسی ۲۰ m دقت ارتفاعی ۲۰ تا ۴۰ m
*										وضوح هندسی ۵۰ m دقت ارتفاعی ۵۰ تا ۱۰۰ m

لازم به توضیح است که مشخصات فوق برای مدل ارتفاعی رقومی به نحوی تنظیم شده که به طور قطع برآورده کننده نیازهای نقشه‌های تصویری مقیاس مربوطه باشد و استفاده از مدل‌های ارتفاعی رقومی با وضوح و دقت کمتر به شرط وجود کنترل‌های کافی برای اطمینان از کیفیت مطلوب نقشه نهایی امکان پذیر است.

۳-۳-۴- نقاط کنترل (اندازه‌گیری شده یا استخراج شده از نقشه)

نقاط کنترل برای مختصات دار کردن، ترمیم تصویر و رفع دوران‌های سنجنده و یا دوربین در لحظه تصویر برداری (تصحیحات هندسی) و یا کنترل دقت نقشه تصویری تهیه شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. انواع نقاط کنترل مورد استفاده در تهیه نقشه‌های تصویری به شرح زیر می‌باشند:

۳-۳-۴-۱- نقاط کنترل حاصل از مثلث بندی هوایی

نقاط کنترل موجود بر روی دیاپوزیتیوهای که برای پروژه تهیه نقشه تصویری و یا پروژه‌های دیگری در مرحله مثلث بندی هوایی مختصات دار شده اند با رعایت موارد زیر می‌توانند به عنوان نقاط کنترل در تهیه نقشه تصویری مورد استفاده قرار گیرند:

- تعداد این نقاط کنترل باید حداقل چهار نقطه در چهار گوشه هر دیاپوزیتیو باشد.
- دقت عملیات مثلث بندی هوایی و محاسبات فتوگرامتری که منجر به مختصات دار شدن این نقاط گردیده‌اند باید متناسب با دقت نقشه عکسی مورد نظر باشد.
- در صورت انتقال نقاط کنترل از دیاپوزیتیوهای مربوط به پروژه‌های دیگر، باید انتقال نقاط با دقت کامل انجام شده و از کیفیت لازم برخوردار باشد و اختلاف مقیاس بین دو سری دیاپوزیتیو بیش از چهار برابر نباشد. قابل توجه اینکه انتقال مختصات فقط از مقیاس بزرگتر به مقیاس کوچکتر امکان‌پذیر است.

۳-۳-۴-۲- نقاط کنترل استخراج شده از نقشه های موجود

در صورت موجود بودن نقشه از منطقه مورد نظر برای تهیه نقشه تصویری، می‌توان با رعایت شرایط زیر مختصات تعدادی از عوارض قابل تشخیص بر روی تصویر و موجود بر روی نقشه را به عنوان نقاط کنترل استخراج نمود:

- دقت نقشه مورد استفاده از دقت نقشه تصویری بالاتر باشد (مقیاس نقشه مورد استفاده بزرگتر از نقشه تصویری تولید شده باشد)
- عوارض مورد استفاده به عنوان نقطه کنترل از نوع عوارض مشخص بر روی سطح زمین، ثابت و بدون تغییر در فاصله زمانی تهیه نقشه و تصویر باشد.
- از عوارضی که در مرحله کارتوگرافی جابجا شده و یا جنرالیزاسیون در مورد آنها انجام می‌گیرد استفاده نشود.
- اندازه عارضه مورد استفاده به عنوان نقطه کنترل متناسب با مقیاس و دقت تهیه نقشه باشد.
- در صورت استفاده از نقشه های کاغذی، تغییر بعد کاغذ در طی زمان به نحو مقتضی محاسبه و حذف گردد.

۳-۳-۴-۳- نقاط کنترل اندازه گیری شده در منطقه

- دقت اندازه گیری نقاط کنترل متناسب با دقت تهیه نقشه تصویری باشد
- عوارض مورد استفاده به عنوان نقطه کنترل از نوع عوارض مشخص، ثابت و بدون تغییر در فاصله زمانی تهیه نقشه و تصویر باشد
- اندازه عارضه مورد استفاده به عنوان نقطه کنترل متناسب با مقیاس و دقت تهیه نقشه باشد.

- در صورت بهره‌گیری از گیرنده‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای GPS تصحیحات لازم برای انتقال ارتفاع از بیضوی به ارتفاع ارتومتریک انجام گیرد.

۳-۳-۵- پارامترهای سنجنده (شامل پارامترهای مداری و مشخصات کالیبراسیون دوربین هوایی)

بمنظور حصول نتایج مطلوب در مرحله اعمال تصحیحات هندسی، وجود اطلاعات از کالیبراسیون دوربین هوایی، مشخصات هندسه تصویر برداری، پارامترهای مداری سنجنده تصویر بردار و مدل‌های ریاضی مناسب برای انجام تصحیحات هندسی تصویر ضروری می‌باشد. مشخصات فنی اطلاعات جانبی مورد نیاز به شرح زیر می‌باشد:

- گزارش کالیبراسیون دوربین شامل فاصله کانونی دوربین، مختصات مرکز عکس، میزان اعوجاج شعاعی، مختصات فیدوشال مارکها و مقیاس عکسبرداری.
- در صورتی که تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده دارای Header باشد، پارامترهای مداری قابل استفاده شامل اطلاعاتی از قبیل سرعت ماهواره در سه راستای حرکتی، زمان ثبت مربوط به هر یک از المان‌های سرعت، زاویه میل مداری، زاویه دید و ... می‌باشد.
- در ارتباط با برخی سنجنده‌ها از جمله Ikonos و Quickbird می‌توان از داده‌های کمکی تحت عنوان RPC استفاده کرد که به همراه هر باند تصویر یک فایل متنی حاوی ضرایب معادلات Rational را داراست.

۳-۳-۶- اطلاعات برداری و نقشه‌های موجود

اطلاعات برداری، اسامی و سمبل‌ها نقش مهمی در افزایش کارایی نقشه‌های تصویری و درک بهتر کاربران از محتوای اطلاعاتی و تکمیل آنها دارد. علاوه بر اهمیت نحوه نمایش و ترتیب قرار گرفتن اطلاعات برداری بر روی نقشه‌های تصویری، کیفیت اطلاعات برداری مورد استفاده نیز از اهمیت بسزائی برخوردار است. لذا در انتخاب و استفاده از اطلاعات برداری می‌بایست موارد لحاظ گردد:

- دقت هندسی و مقیاس اطلاعات برداری با دقت هندسی و مقیاس نقشه تصویری مطابقت داشته باشد.
- سازگاری کامل بین تاریخ تهیه اطلاعات برداری و تصویر مورد استفاده لحاظ گردد.
- با توجه به پردازشهای کارتوگرافی انجام گرفته بر روی بعضی از عوارض، قبل از استفاده از این داده‌ها، انطباق اطلاعات برداری و نقشه تصویری باید بررسی گردد.

۳-۳-۴- مشخصات نقشه‌های تصویری تهیه شده

در این بخش مشخصات نهایی نقشه‌های تصویری تهیه شده مطرح می‌شود. این مشخصات به دو بخش مشخصات فنی و مشخصات کیفی تقسیم‌بندی شده‌اند. با توجه به دو نوع اصلی نقشه‌های تصویری مورد نظر این مجموعه یعنی نقشه‌های تصویری قائم و موزاییک‌های تصویری کنترل شده، در موارد لزوم، مشخصات هر یک بطور جداگانه شرح داده می‌شود.

۳-۴-۱- مشخصات فنی

۳-۴-۱-۱- مقیاس

مقیاس نقشه‌های تصویری قائم در سطح نقشه کاملاً دقیق، مطابق با دقت تعریف شده نقشه می‌باشد. به بیان دیگر اندازه زمینی پیکسلها در تمام سطح منطقه یکسان است (متناسب با دقت نقشه).
در مورد موزاییکهای تصویری، مقیاس متوسط نقشه‌های تهیه شده نباید بیش از $\pm 5\%$ درصد با مقیاس درج شده در نقشه‌ها تفاوت داشته باشد. در مناطق کوهستانی، برای حداکثر ۱۰ درصد سطح پوشش هر برگ نقشه، اختلاف مقیاس تا $\pm 10\%$ درصد نسبت به مقیاس درج شده در نقشه قابل قبول است.

۳-۴-۱-۲- فرمت

تا زمان معرفی استانداردهای تبادل اطلاعات رقومی در کشور، فرمت اصلی ذخیره نقشه‌های تصویری رقومی، فرمت GeoTIFF غیر فشرده به صورت ۸ یا ۱۶ بیتی خواهد بود. در این فرمت که نگارشی توسعه یافته از فرمت TIFF استاندارد است، برای نگهداری اطلاعات هندسی (مختصات) و سایر داده‌های وابسته از برچسب‌های (Tag) اختصاصی استفاده می‌شود. این موضوع امکان نمایش داده‌ها در نرم‌افزارهای غیر تخصصی و عمومی را تضمین و کاربرد این داده‌ها را تسهیل می‌کند.
به منظور ایجاد امکان استفاده از نرم‌افزارهای مختلف برای تهیه نقشه‌های تصویری، تهیه این داده‌ها با سایر فرمت‌های معمول مانند PIX (مخفف فرمت PCIDSK ابداع شده توسط شرکت PCI Geomatics)، ERS (مربوط به نرم افزار ERMAPPER)، IMG (مربوط به نرم افزار ERDAS) قابل قبول می‌باشد.

۳-۴-۱-۳- قطع بندی

قطع بندی نقشه‌های تصویری باید به گونه‌ای انجام شود که گوشه تمامی این نقشه‌ها دارای مختصات روند باشند. در نقشه‌های کوچک مقیاس تر از ۱:۲۰۰۰، مختصات گوشه‌ها بر اساس مختصات جغرافیایی و در نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ و بزرگ مقیاس تر، مختصات گوشه‌ها بر اساس مختصات کارتیزین انتخاب می‌شود. وسعت منطقه‌ای که هر برگ نقشه در مقیاسهای مختلف می‌پوشاند به شرح زیر می‌باشد:

- در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، هر برگ ۳۰ دقیقه طول جغرافیایی در ۳۰ دقیقه عرض جغرافیایی.
- در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، هر برگ ۱۵ دقیقه طول جغرافیایی در ۱۵ دقیقه عرض جغرافیایی.
- در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، هر برگ ۷/۵ دقیقه طول جغرافیایی در ۷/۵ دقیقه عرض جغرافیایی.
- در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، هر برگ ۵ دقیقه طول جغرافیایی در ۳ دقیقه عرض جغرافیایی.
- در مقیاس ۱:۵۰۰۰، هر برگ ۲/۵ دقیقه طول جغرافیایی در ۱/۵ دقیقه عرض جغرافیایی.
- در مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰ و بزرگتر، ابعاد هر برگ ۸۰ سانتیمتر در ۶۰ سانتیمتر ضربدر مقیاس نقشه می‌باشد.

شماره‌گذاری به‌ترتیبی انجام گرفته که با داشتن هر برگ نقشه کوچک مقیاس، شماره نقشه‌های بزرگ مقیاس آن نیز به‌سادگی قابل تشخیص باشد. البته نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ از این موضوع استثنا می‌باشد. در حال حاضر آلبوم کلی این شماره‌گذاری برای تمام سطح کشور تهیه شده و در دسترس است.

روش قطع بندی و شماره‌گذاری نقشه‌های تصویری دقیقاً مشابه نقشه‌های برداری هم مقیاس می‌باشد. نحوه شماره‌گذاری این نقشه‌ها در جلد چهارم این مجموعه (کارتوگرافی) درج شده است.

۳-۱-۴- سیستم مختصات و سیستم تصویر

سیستم مختصات و سیستم تصویر نقشه‌های تصویری دقیقاً مشابه سایر داده‌های مکانی مورد نظر در این مجموعه است. در این مورد به بند ۲-۷-۲ همین دستورالعمل مراجعه شود.

۳-۲-۴- مشخصات کیفی

۳-۲-۴-۱- کامل بودن

منطقه مورد نظر باید به طور کامل توسط نقشه‌های تصویری پوشش داده شود. مناطق خالی مربوطه به اطراف منطقه تحت پوشش نقشه‌های تصویری باید با مقادیر پیکسل حداقل یا حداکثر (صفر یا ۲۵۵ در حالت تصاویر ۸ بیتی) مشخص شده و از محدوده تحت پوشش مجزا گردد. علاوه بر نقشه‌های تصویری، متادیتای مربوط به پروژه نیز باید بر اساس فصل پنجم این مجموعه کامل شده و ارائه گردد.

۳-۲-۴-۲- درستی هندسی

- **نقشه‌های تصویری قائم:** ۹۰ درصد عوارض مشخص نقشه تبدیلی (نسخه رقومی) نباید بیش از ۰/۳ میلیمتر در مقیاس نقشه با محل واقعی خود اختلاف موقعیت مسطحاتی داشته باشند. منظور از نقاط مشخص، نقاطی مانند تقاطع جاده‌ها و راه‌آهن‌ها، گوشه ساختمانها، گوشه استخرها و ... است که می‌توان به راحتی و با اطمینان زیاد آنها را روی زمین و نقشه تصویری مشخص نمود.

هیچ عارضه‌ای نباید بیش از ۰/۵ میلی‌متر در مقیاس نقشه با محل واقعی خود بر روی زمین اختلاف داشته باشد. این قاعده در مورد عوارضی که بر اثر تلفیق با داده‌های برداری به طور کامل قابل تشخیص نیستند، صادق نیست. عوارض مشابه در برگ نقشه‌های مجاور نباید بیش از ۰/۲ میلی‌متر در مقیاس نقشه با هم اختلاف موقعیت داشته باشند.

- **موزاییک‌های تصویری (مختصات دار):** این نوع نقشه‌های تصویری به دلیل عدم اعمال کامل تصحیحات هندسی، دارای دقت متناسب با مقیاس نبوده و تقریبی بودن مختصات و مقیاس باید به نحو مقتضی در برگ نقشه و متادیتای مربوط درج گردد. در موزاییک‌های تصویری نحوه اعمال تصحیحات و تراکم نقاط کنترل باید به گونه‌ای باشد که هیچ عارضه‌ای بیش از ۵ میلی‌متر در مقیاس نقشه با محل واقعی خود بر روی زمین اختلاف

نداشته باشد. عوارض مشابه در برگ نقشه‌های مجاور و یا محل اتصال تصاویر اولیه نباید بیش از ۳ میلی‌متر در مقیاس نقشه با هم اختلاف موقعیت داشته باشند.

۳-۴-۲-۳- درستی زمانی

زمان اخذ داده‌های اولیه و پردازشهای انجام شده برای تهیه نقشه‌های تصویری باید با مقادیر درج شده در نقشه و متادیتا کاملاً منطبق باشد. استفاده از داده‌های اولیه با تفاوت زمانی بیش از یک سال در تهیه یک نقشه تصویری مجاز نیست. در صورت تغییرات جزئی در منطقه و الزام به استفاده از داده‌های با تفاوت زمانی بیش از یک سال در یک پروژه تهیه نقشه تصویری، اطلاعات مربوط به هر یک از داده‌های اولیه به همراه نقشه راهنمای دقیق که نشان دهنده نحوه تلفیق این داده‌هاست باید به همراه نقشه‌ها ارائه شود.

۳-۴-۲-۴- درستی موضوعی (رادئومتریک)

کیفیت رادئومتریک نقشه‌های تصویری تهیه شده باید به گونه‌ای باشد که از نظر بصری دچار هیچ اشکال قابل رویت مانند فضاهای خالی طولی یا عرضی یا نوارهای تیره و روشن نبوده و بیشترین اطلاعات موضوعی از آن قابل استخراج باشد. بدین منظور، هیچ قسمتی از داخل فریم نقشه تصویری نهایی با ابعاد حداکثر ۲۰۰×۲۰۰ پیکسل نباید دارای مقادیر پیکسل‌های یکسان با کمترین یا بیشترین مقدار (صفر یا ۲۵۵ در حالت تصاویر ۸ بیتی) باشند. هیستوگرام نقشه تصویری نهایی باید تمام محدوده گام‌های خاکستری را پوشش بدهد (ابتدا و انتهای منحنی بر ابتدا و انتهای محدوده منطبق باشد) و مرکز منحنی روی مقدار ۱۲۷ قرار گیرد. عوارض یکسان در برگ‌های مجاور نقشه‌های تصویری باید از نظر رنگ و گام‌های خاکستری کاملاً با یکدیگر مطابقت داشته باشند.

۳-۵-۳- مراحل اجرایی

۳-۵-۱- تهیه داده‌های پایه

۳-۵-۱-۱- رقومی سازی (اسکن) عکسهای هوایی

رقومی سازی عکسهای هوایی به مجموعه عملیاتی اطلاق می‌شود که در آن تصاویر آنالوگ ثبت شده بر روی فیلمهای هوایی به تصاویر رقومی قابل نگهداری در حافظه کامپیوتر تبدیل می‌گردد. این تصاویر رقومی می‌توانند در سیستمهای پردازش تصاویر رقومی برای تهیه نقشه‌های تصویری مورد استفاده قرار گیرند. به منظور حفظ کیفیت محصول نهایی، مدارک مورد اسکن می‌باید دارای تغییر بعد کم (فیلم هوایی منفی و دیاپوزیتیو) باشند. بنابراین اصطلاح رقومی سازی عکسهای هوایی نباید با عملیات رقومی سازی عکسهای کاغذی اشتباه شود.

در مورد مراحل، تجهیزات و دقت‌های فرایند رقومی سازی عکسهای هوایی به جلد دوم این مجموعه (نقشه برداری هوایی - کلیات)

مراجعه شود.

۳-۱-۵-۲- اخذ تصاویر هوایی و ماهواره‌ای

- در صورت استفاده از تصاویر ماهواره ای برای تهیه هر مقیاس نقشه تصویری، تصاویر مورد استفاده باید علاوه بر توانایی برآورده کردن نیازهای فنی و کیفی طرح دارای مشخصات زیر نیز باشند:
- در صورت نیاز به استخراج مدل ارتفاعی رقومی زمین از تصاویر، داده‌های اخذ شده باید دارای شرایط استریو بوده و دارای پوشش نزدیک به ۱۰۰٪ باشند.
 - نسبت B/H تصاویر استریو بیشتر از ۰/۶ باشد.
 - اختلاف زمانی دو تصویر استریو کمتر از ۱۵ روز باشد.
 - به منظور تهیه پوشش کاملی از مدل ارتفاعی رقومی در منطقه، تصاویر باید عاری از ابر باشند.

۳-۵-۲- تهیه داده‌های تکمیلی

به منظور تصحیح هندسی تصاویر ماهواره ای اخذ شده در صورت عدم وجود نقشه از منطقه می بایست یکسری نقطه کنترل زمینی جمع آوری گردد. بدین منظور با استفاده از تصاویر اخذ شده ابتدا بایست این نقاط روی تصویر مشخص گردند، محل قرارگیری نقاط باید حتی المقدور در مکان‌هایی گرفته شوند که تغییر شکل و یا تغییر هندسی نداشته باشند مانند تقاطع جاده‌ها، گوشه ساختمان‌ها و پل‌ها (به عنوان مثال تقاطع آبریزها، تقاطع آبریز و جاده، تقاطع رودخانه‌ها و ... مورد استفاده در طراحی قرار نمی‌گیرند).

توزیع نقاط باید طوری در نظر گرفته شود که تراکم مناسب داشته و در کل تصویر پراکنده باشد. بطور مثال نباید نقاط طوری انتخاب گردند که در یک قسمت از تصویر به تعداد زیاد دیده شوند و در قسمتی دیگر از تصویر نقطه ای وجود نداشته باشد. تعداد نقاط GPS مورد نیاز برای تصحیح تصاویر بستگی به مدل ریاضی مورد استفاده دارد، حداقل تعداد نقطه مورد نیاز ۴ نقطه می باشد اگر از مدل چند جمله ای مرتبه اول استفاده گردد، در صورت استفاده از مدل پارامترهای مداری حداقل نقاط مورد نیاز ۵ نقطه می باشد که به منظور داشتن دقت بیشتر توصیه می گردد حداقل ۱۵ نقطه GPS طراحی و اندازه گیری شود.

۳-۵-۳- پردازشهای اولیه

۳-۳-۵-۱- تصحیحات رادیومتریک

تصحیحات رادیومتریک برای بهبود کیفیت رادیومتریک تصاویر، افزایش وضوح و در نتیجه افزایش میزان اطلاعات قابل استخراج از تصاویر موثر می‌باشد. در این مرحله نسبت به اصلاح دو دسته از خطاهای رادیومتریک به شرح زیر اقدام می‌شود:

الف) خطاهای مکانیکی / الکترونیکی که بر اثر نقص در سنجنده یا ایستگاه گیرنده زمینی حادث شده که خود به دلیل دو عامل اساسی زیر می‌باشند:

- اختلال در بعضی قسمتهای سنجنده یا ایستگاه گیرنده زمینی. این نقص موجب می گردد که قسمتی از یک تصویر یا خطی از تصویر بصورت نامتجانس با اطراف خود دارای مقادیر ثابت گردد که اصطلاحاً به آن miss line اطلاق

می‌گردد. برای رفع این نقیصه، باید به جای این خط از خط بالا یا پائین و یا میانگین خطوط بالا و پایین استفاده شود.

- ایجاد تغییر در خروجی سنسورها با ورودی یکسان با فرض اینکه سنسورها طوری کالیبره شده باشند که برای هر ورودی یک خروجی یکسان تولید کنند. برای تصحیح این خطا از روشهای مختلفی مانند: استفاده از داده‌های کالیبره شده، تصحیح خطی بودن خطا، تطبیق هیستوگرام و یا تبدیل فوریه استفاده می‌شود.
- (ب) خطاهای اتمسفری که بر اثر فعل و انفعالات فوتونها توسط مولکول‌ها و ذرات معلق گرد و غبار در اتمسفر زمین ایجاد می‌شود. این نوع نیز به دو گروه Haze و Skylight تقسیم می‌شود که خطای اول مربوط به دریافت نور پخش شده از اتمسفر توسط سنجنده و دومی مربوط به دریافت نور پخش شده بعد از انعکاس از سطح زمین توسط سنجنده می‌باشد.
- به منظور استفاده بهینه از تصویر جهت استخراج و یا شناسایی عوارض مورد نظر، عملیات یکنواخت سازی هیستوگرام بر روی تصویر انجام می‌گیرد. در واقع در این نوع از تصحیحات، درجه خاکستری بین عوارض افزایش می‌یابد که نتیجه آن، بهبود در کیفیت تصویر است.

۳-۵-۳-۲- تصحیحات هندسی

تصاویر مورد استفاده بصورت خام، دارای مختصات تصویری می‌باشند و برای استفاده از آنها به عنوان نقشه، به تصحیح هندسی و زمین مرجع نمودن نیاز دارند. در این راستا انواع تبدیلات (Transformation) دو یا سه بعدی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. دو نوع استراتژی برای استفاده از این توابع تبدیل وجود دارد:

- استفاده از توابع تبدیلی که به هندسه سنجنده در لحظه تصویربرداری نیازمند است (Rigorous Models).
- توابع تبدیلی که به هندسه سنجنده در لحظه تصویربرداری احتیاج ندارد و مستقیماً ارتباط بین فضای تصویر خام و فضای عارضه (مدل یا زمین) را برقرار می‌سازد (Generic Models).

۳-۵-۳-۱- انتخاب نقاط کنترل

برای برقراری ارتباط بین سیستم مختصات تصویر و زمین، باید مجهولات مدلها با استفاده از نقاط کنترل زمینی حل شوند. بنابراین ابتدا باید بر اساس مدل ریاضی انتخاب شده، نقاط کنترل، با تعداد و پراکندگی مناسب انتخاب گردند. برای این کار رعایت موارد زیر الزامی است:

- تعداد نقاط کنترل بستگی مستقیمی به روش و مدل انتخاب شده دارد.
- پراکندگی مسطحاتی نقاط باید طوری باشد که کل پیرامون منطقه را پوشش داده و به طور یکنواخت در داخل منطقه توزیع شوند. در حالتی که از مدل‌های عمومی (Generic) استفاده می‌شوند بهتر است که نقاط داخل منطقه، بصورت مثلثهای متساوی الاضلاع انتخاب گردند.
- نقاط علاوه بر پراکندگی مسطحاتی، بایستی دارای پراکندگی یکسان ارتفاعی (در ارتفاعات مختلف) نیز باشند.
- نقاط بر روی عوارضی با قابلیت تشخیص و دسترسی آسان (روی تصویر و منبع استخراج مختصات) انتخاب شوند. نمونه‌های این عوارض عبارتند میدانها، تقاطع جاده‌ها و تقاطع عوارض خطی مشخص.

- از عوارضی که دارای اختلاف ارتفاع از سطح زمین هستند مانند ساختمانها حتی الامکان استفاده نشود چرا که بدلیل وجود اختلاف ارتفاع، مختصات تصویری دستخوش تغییر می‌شود.
- در مواردی که منطقه توسط چندین تصویر دارای پوشش مشترک پوشش داده شود، برای تشکیل مدل با دقت بالاتر، بهتر است نقاط مشترک در منطقه پوشش دار تصاویر انتخاب شوند.

۳-۵-۲-۲-۲- انتخاب مدل مناسب

الف) مدل‌های خاص (Rigorous Models): لازمه استفاده از این مدلها، وجود داده‌های دقیق سنجنده و اطلاعات مورد نیاز برای کالیبراسیون و نقاط کنترل زمینی (GCPs) می‌باشد. هر چند که این روش نسبت به سایر روشهای موجود دارای مزایای نسبی هستند ولی در بسیاری از موارد، بعلت عدم وجود اطلاعات یا کم تجربه بودن عامل، استفاده کنندگان از آنها با مشکلات مختلفی مواجه می‌شوند. این مدل با نام مدل پارامتر مداری نیز شناخته می‌شود.

به طور کلی خارج شدن سکوی سنجنده از حالت قائم به علت حرکات دورانی، دوران حول محور $(\Omega) X$ ، حول محور $(\Phi) Y$ و حول محور $(K) Z$ ، از پدیده‌های متداول در زمان اخذ تصاویر می‌باشد. حال برای استفاده از این تصویر ثبت شده در فرایند تولید نقشه تصویری، باید خطای ناشی از دوران سکوی دوربین و در صورت ناهموار بودن زمین، خطای ناشی از تغییر ارتفاع عوارض حذف گردد. بدین منظور مدلی سه بعدی از منطقه تشکیل می‌شود که بر اساس هم خطی نقطه روی تصویر و زمینی و مرکز تصویر می‌باشد و معادلات شرط هم خطی نامیده می‌شود. در تصویر برداری ماهواره‌ای، با لحاظ نمودن پارامترهای کپلری و المانهای ترانسفورماسیون سیستم تصویر فضایی و زمینی و همچنین المانهای دورانی سکو در زمان تصویر برداری، مدلی ایجاد می‌شود که با نام مدل پارامترهای مداری شناخته می‌شود. از این مدل در مواردی که فقط قسمتی از تصویر در دسترس باشد یا تصویر موجود از قبل تصحیح هندسی شده باشد و یا پارامترهای مداری موجود نباشد، نمی‌توان استفاده نمود.

از مزایای این مدل این است که هر یک از مجهولات تابعی از چند متغیر وابسته به هندسه تصویر برداری بوده و در نتیجه مدل دارای مجهولات مستقل بسیار کمی است. در نتیجه برای حل معادلات به تعداد کمتری نقاط کنترل زمینی نیاز می‌باشد. در جدول ۳-۴ تعداد نقاط کنترل زمینی مناسب به منظور تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای مختلف با استفاده از مدل پارامترهای مداری توتن (Toutin) نشان داده شده است.

جدول ۳-۴: تعداد نقاط کنترل مناسب برای اعمال تصحیحات هندسی با استفاده از مدل پارامتر مداری

تعداد پیشنهادی	حداقل نقاط کنترل زمینی	ماهواره
-	۴ نقطه در هر تصویر	SPOT 1-4
-	۵ نقطه در هر تصویر	SPOT 5
۶ تا ۸ نقطه در هر تصویر	۶ نقطه در هر تصویر	IRS-ASTER-EOC
۱۰ تا ۱۲ نقطه در هر تصویر	۶ نقطه در هر تصویر	LANDSAT-QUICKBIRD
۱۰ تا ۱۲ نقطه در هر تصویر	۸ نقطه در هر تصویر	IKONOS
۱۰ تا ۱۲ نقطه در هر تصویر	۸ نقطه در هر تصویر	تصاویر راداری شامل RADARSAT-ERS-JERS- ASAR-EROS

ب) مدل‌های عمومی (Generic Models): برخلاف روشهای مبتنی بر مدل‌های خاص، مدل‌های عمومی، از یک رابطه مستقیم برای ایجاد ارتباط بین سیستم مختصات تصویر و زمین استفاده می‌کنند. این مدلها، بدون نیاز به هر گونه اطلاعات اضافی، پارامترهای توجیه خارجی سنجنده را در قالب یکسری از ضرایب محاسبه می‌کنند. برای تهیه نقشه‌های تصویری، می‌توان از مدل‌های عمومی زیر استفاده نمود:

• مدل ریاضی چند جمله‌ای (Polynomial):

چند جمله‌ایها یکی از مدل‌های ریاضی ساده هستند که با درجات مختلف (و به تبع آن تعداد ترمهای متفاوت) تعریف می‌شوند. عموماً ضرایب چندجمله‌ایها در این مدل بر اساس نقاط کنترل دو بعدی با روش کمترین مربعات محاسبه می‌شوند. درجه چند جمله‌ای بر اساس میزان اعوجاج تصویر، توپوگرافی منطقه و دقت مطلوب، انتخاب می‌شود. با افزایش تعداد جمله‌ها، مدل پیچیده تر شده و گاهاً اعوجاج‌های بیشتری قابل رفع می‌باشند. به هر صورت در انجام تصحیحات با این مدل، به دلایل زیر، استفاده از کمترین درجه ممکن توصیه می‌شود:

○ سرعت بالاتر انجام تصحیح؛

○ احتمال کمتر بروز نوسان مختصات در نواحی فاقد نقاط کنترل؛

○ عدم ایجاد خطای افزونگی داده (over parameters).

جدول ۳-۵ حداقل تعداد نقاط کنترل زمینی مورد نیاز برای اعمال تصحیحات هندسی با استفاده از مدل ریاضی چند جمله‌ای درجات یک تا پنج را نمایش می‌دهد.

جدول ۳-۵: حداقل تعداد نقاط کنترل مورد نیاز برای اعمال تصحیحات هندسی با استفاده از مدل ریاضی چند جمله‌ای

تعداد پیشنهادی	حداقل نقاط کنترل زمینی	مدل ریاضی چند جمله‌ای
انتخاب نقاط به میزان ۲۰ درصد بیشتر از تعداد درج شده باعث کاهش و سرشکنی خطا در نقاط غیر دقیق می‌باشد	۴ نقطه در هر تصویر	درجه یک
	۷ نقطه در هر تصویر	درجه دو
	۱۱ نقطه در هر تصویر	درجه سه
	۱۶ نقطه در هر تصویر	درجه چهار
	۲۲ نقطه در هر تصویر	درجه پنج

• مدل ریاضی Thin Plate:

Thin Plate یکی از مدل‌های ریاضی ساده است که در آن، تمام نقاط انتخاب شده بصورت همزمان در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

این مدل طوری برازش داده می‌شود که دقیقاً از نقاط GCP عبور می‌کند، در نتیجه برای نقاط GCP مقدار RSME صفر می‌باشد و برای تخمین صحت مدل باید تعدادی نقاط چک انتخاب کرد و از روی RMSE این نقاط، صحت

مدل ارزیابی شود. در مدل Thin Plate تغییرات زمین نسبت به چند جمله‌ایها بهتر دنبال شده و خطاهای درونیابی که بین نقاط GCP رخ می‌دهد، مینیمم خواهد بود. استفاده از این مدل در مناطق ناهموار توصیه نمی‌شود چرا که نیاز به تعداد زیادی نقاط GCP برای حل این معادلات می‌باشد. با توجه به توضیحات فوق، حداقل نقاط کنترل زمینی مورد نیاز برای انجام تصحیحات هندسی با استفاده از مدل ریاضی Thin Plate چهار نقطه است ولی افزایش این نقاط با توجه به گستردگی منطقه منجر به کاهش خطا خواهد شد.

تذکره: دو مدل عمومی چند جمله‌ای و Thin Plate بعلت عدم استفاده از اطلاعات ارتفاعی خطای جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع (Relief Displacement) را حذف نمی‌کند، در نتیجه در تصویر حاصله فقط تا حدی خطاهای مربوط به کالیبراسیون و خطای جابجایی ناشی از تیلت حذف شده است. در نتیجه تصویر حاصله یک نقشه تصویری قائم نبوده و این مدلها فقط برای تولید موزاییکهای تصویری مختصات دار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- مدل ریاضی رشنال (Rational):

این مدل در موارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- هنگامی که استفاده از مدل‌های خاص به علت عدم دسترسی به هندسه سنجنده امکان پذیر نباشد.
- وقتی که فقط قسمتی از تصویر موجود می‌باشد.

انجام تصحیحات هندسی با استفاده از مدل رشنال، به یکی از دو روش زیر قابل انجام می‌باشد:

۱- محاسبه ضرایب با استفاده از نقاط کنترل زمینی :

نقاط کنترل زمینی با توجه به بند ۳-۵-۳-۲-۱ انتخاب می‌شوند. تعداد این نقاط به عواملی مثل تعداد ترمهای مورد استفاده، عوارض موجود در تصویر، میزان اعوجاج تصویر بستگی دارد. به طور کلی استفاده از ترمهای بالاتر از ۱۰ برای انجام تصحیحات هندسی توصیه نمی‌شود و حداقل نقاط کنترل زمینی مورد نیاز از رابطه $(2*n)-1$ محاسبه می‌شود که در آن n تعداد ترمهای مورد استفاده از معادلات رشنال است. توصیه می‌شود که تعداد نقاط کنترل ۲۰ درصد بیش از حداقل نقاط مورد نیاز انتخاب شود.

اعوجاجهای ناشی از سیستم اپتیکی سنجنده عموماً توسط ترمهای درجه یک، تصحیحات مربوط به انحناى زمین، انکسار اتمسفر تقریباً بوسیله ترمهای درجه دو و سایر خطاها توسط ترمهای با درجات بالاتر تصحیح می‌شوند. برای تولید تصاویر قائم (Ortho Rectification) با استفاده از مدل رشنال باید از ترمهای بالاتر از ۳ (۴ تا ۱۰) استفاده شود. برای انتخاب تعداد ترمهای قابل استفاده باید از روش سعی و خطا بهره گرفت. بهترین تعداد ترم بر اساس معیار مقدار RMSE بر روی نقاط چک معین می‌شود. وجود بردارهای خطای موازی در قسمتی از تصویر و نیز مجموع جبری مخالف صفر آنها مؤید وجود خطای سیستماتیک در مدل تعریف شده می‌باشد.

۲- استفاده از ضرایب محاسبه شده در فایل متنی RPC (Rational Polynomial Coefficient) :

فایل RPC فایل متنی است که توسط ارائه‌دهنده داده‌های ماهواره‌ای محاسبه شده و در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. در

این فایل همه ضرایب معادله رشنال درجه سه (۲۰ ترم) محاسبه و ارائه می‌شود.

برای انجام تصحیحات هندسی با این روش به دو نقطه کنترل زمینی و DEM منطقه نیاز داریم که باعث بهبود دقت ضرایب ارائه شده در فایل RPC خواهد شد.

نکته حائز اهمیت اینکه در استفاده از روش RPC باید DEM مورد استفاده نسبت به مبنای ارتفاعی بیضوی محاسبه شده باشد، زیرا ضرایب موجود در فایل RPC در این مبنای ارتفاعی می‌باشند.

۳-۵-۳-۲-۳- بازنمونه برداری Resampling

پس از اعمال تصحیحات هندسی موقعیت پیکسلها در تصویر، موقعیت اولیه نمی باشد بنابراین برای تعیین درجه خاکستری در تصویر جدید باید بازنمونه برداری انجام شود. روشهای بازنمونه برداری عبارتند از :

- روش Nearest Neighbor: درجه خاکستری نزدیکترین پیکسل در تصویر اولیه به عنوان درجه خاکستری تصویر در نظر گرفته می شود.
- روش Bilinear: درون یابی با استفاده از چهارپیکسل اطراف موقعیت پیکسل در تصویر اولیه انجام می شود.
- روش Bicubic: در این روش از شانزده پیکسل اطراف با درونیابی درجه خاکستری را بدست می آوریم.

۳-۵-۴- تهیه خروجی نهایی

۳-۵-۴-۱- موزاییک کردن تصاویر

موزاییک ترکیب دو یا چند تصویر مجاور یا همپوشش با سیستم مختصات و سیستم تصویر یکسان است که در تشکیل تصویری از منطقه تحت پوشش مورد استفاده قرار گرفته است و انواع آن عبارتند از:

- موزاییک کنترل نشده: بدون نقطه کنترل ایجاد شده و از کنار هم قرار دادن و توجیه تصاویر در کنار یکدیگر بوجود می آید.
- موزاییک تقریباً کنترل شده: مانند کنترل نشده است با این تفاوت که لبه ها به درستی توجیه می شوند.
- موزاییک کنترل شده: فاقد اثر تیلت و جابجایی ارتفاعی زمین می باشد.

در تشکیل موزاییک تصویری، ابتدا همه تصاویر به سیستم تصویر واحدی برده شده و co-register می شوند. در این فرآیند از resampling (که می تواند هر یک از روشهای نزدیک ترین همسایه ، روش خطی یا دو خطی باشد) استفاده می شود.

خط برش مرز بین دو تصویر همپوشش در تولید موزائیک را گویند که می‌تواند بطور اتوماتیک یا دستی ایجاد گردد. معمولاً این خط بر روی برخی عوارض مانند جاده ها و یا ساختمانها منطبق می‌گردد بطوریکه کمتر قابل تشخیص باشد.

یکنواخت کردن تصاویر در ضمن موزاییک کردن و در نواحی اطراف خط بین دو تصویر انجام می گیرد. در این زمینه می‌توان از روش یکسان سازی هیستوگرام (Histogram matching) استفاده نمود که تصویر موزائیک شده را از مجموعه ای از تصاویر متصل به هم بصورت یک تصویر واحد تبدیل می نماید.

خطوط و لبه‌های دو تصویر در محل اتصال با میانگین‌گیری مقادیر دو تصویر در نواحی لبه نرم می‌شوند بطوریکه رفتن از تصویری به تصویر دیگر تدریجی بوده و تصویر موزاییک را همگون سازد.

در صورت وجود عکسهای استریو، به منظور به حداقل رساندن میزان جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع و نقاط پنهان عکس در موزاییک نهایی، بهتر است از نواحی مرکزی تمامی عکسها استفاده شود.

۳-۵-۴- ویرایش نهایی

اطلاعات حاشیه‌ای نقشه‌ها شامل است موارد زیر می باشد:

- لژاند نقشه: در سمت راست برگ نقشه و باتوجه به لیست عوارض موجود در منطقه .
 - نام منطقه: در بالای نقشه در سمت راست به فارسی و در سمت چپ به لاتین .
 - مقیاس نقشه: در دو گوش بالای نقشه پس از نام منطقه در سمت چپ به لاتین و در سمت راست به فارسی.
 - نام تهیه کننده ، نام سفارش دهنده ، تاریخ عکسبرداری (تصویر برداری) ، تاریخ تهیه نقشه: در پایین نقشه و در گوشه " سمت چپ با حروف مناسب به فارسی و لاتین .
 - شماره " برگ نقشه: در دو گوش بالای نقشه و در جلوی مقیاس نقشه در سمت چپ به لاتین و در سمت راست به فارسی.
 - مقیاس خطی: در قسمت پایین و وسط برگ نقشه .
 - مقیاس عددی: در قسمت پایین و وسط برگ نقشه و در زیر مقیاس خطی.
 - اندکس (راهنمای اتصال برگهای نقشه): در سمت راست برگ نقشه و زیر راهنما (لژاند) .
 - راهنمای شمال نقشه: علامت شمال، نشاندهنده شمال شبکه، در قسمت پایین کادر نقشه و در سمت راست ترسیم می شود. شمال شبکه همان امتداد محور Y یا N است.
 - سیستم تصویر و بیضوی مبنا
- توصیه می گردد قبل از پردازش های نهایی ، موارد زیر در نظر گرفته شود:
- لژاند نقشه باید با توجه به مقیاس و عوارض موجود در منطقه انتخاب گردد و در سمت راست برگ نقشه قرار داده شود.
 - شمال نقشه‌ها بر دو نوع می باشد:
- نوع اول: نقشه‌های بزرگ مقیاس تر از ۱:۵۰۰۰ که شمال شبکه خواهد بود.
- نوع دوم: نقشه‌های ۱:۵۰۰۰ و کوچک مقیاس تر که در این مورد سه شمال باید ترسیم شود. این سه شمال عبارتند از شمال شبکه، شمال جغرافیایی و شمال مغناطیسی که در قسمت پایین گوشه سمت راست به شرح زیر ترسیم می گردد: شمال شبکه که همان امتداد محورهای شمال جغرافیایی که زاویه آن را شمال شبکه تقارب نصف النهارات نیز می گویند و برای مرکز هر برگ نقشه جداگانه محاسبه می گردد، و شمال مغناطیسی که در محل، اندازه گیری می شود و انحراف سالیانه و دوره تناوب آن نیز حتی المقدور ثبت می گردد. پس از ترسیم شمال های یاد شده، جهت و مقدار انحراف آنها از شمال شبکه روی شکل ترسیم و نوشته خواهد شد.

۳-۵-۴- تلفیق اطلاعات برداری و تصویر

پس از تصحیح و موزائیک نمودن تصاویر و تولید نقشه‌های تصویری مورد نظر، از قرار دادن بردار عوارض مشخص (مانند راه، بلوک ساختمانی و ...) بر آنها خودداری نموده و فقط از متن و یا نماد مشخص کننده نوع و نام عوارض استفاده شود. در سایر موارد مانند محدوده نواحی و نیز خطوط انتقال و ...، قراردادن بردار مربوطه برای مشخص کردن عارضه بر روی تصویر بلامانع است.

۳-۵-۴- استخراج اطلاعات موضوعی از تصاویر ماهواره‌ای

کامل بودن نقشه‌های تولید شده بستگی مستقیمی به میزان اطلاعات قابل تشخیص در آن دارد. بر خلاف نقشه‌های برداری، تفسیر و استخراج اطلاعات از نقشه‌های تصویری نیاز بیشتری به اطلاعات جانبی دارد. دو راه برای استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد. نخست استخراج اطلاعات بوسیله اپراتور انسانی، که گوشه‌ها، الگوها و نقشه‌ها را در تصویر مشاهده کرده و با استفاده از تجارب شخصی در درک المانهای مختلف بصری مانند تن، شکل، اندازه، الگو، بافت و سایه، اشیاء و عوارض مختلف را تشخیص داده و ترسیم می‌نماید.

دومین راه طبقه بندی از طریق کامپیوتر می‌باشد که در آن از درجات خاکستری در باندهای مختلف برای تعریف کلاسهای مختلف مانند نواحی مختلف در کاربری اراضی استفاده می‌کنند. در بیشتر موارد، نواحی مرجع بعنوان اطلاعات اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. خطاهای این روش عمدتاً بصورت اشتباه در طبقه‌بندی (misclassification) هستند که کاربران این روش را ملزم به اعمال فرایندهای کنترلی برای رفع این اشتباهات می‌نماید.

۴- متادیتا (Metadata)

تبادل و مدیریت داده های رقومی ایجاب می کند که داده ها همراه با مشخصات و توضیحات مربوطه باشند تا این اطلاعات برای تشخیص میزان کاربری داده ها مورد استفاده قرار گیرد. در این زمینه می توان این مشخصات و توضیحات را که اصطلاحاً "متادیتا نامیده می شود به دو دسته تقسیم نمود :

- متادیتا برای فعالیتهای درون سازمانی
- متادیتا برای ارائه به کاربران در سازمانهای دیگر

در ارتباط با بخش درون سازمانی ، هر سازمانی بر حسب نیازهای خاص خود ممکن است اطلاعات ویژه ای را نگهداری نماید که برای آن سازمان اهمیت اجرایی دارد ولی برای ارائه اطلاعات به سازمانهای دیگر بایستی مشخصات و توضیحات ضروری برای کاربران ذکر گردد.

مواردی که در زیر ارائه خواهند شد مربوط به متادیتای استاندارد است که همراه فایل های مدل ارتفاعی رقومی ایران به کاربران ارائه می شود.

۴-۱- تعریف متادیتا

متادیتا عبارتست از " اطلاعات در مورد داده ها ". به عبارتی دیگر متادیتا اطلاعاتی در رابطه با مشخصات، محتویات، کیفیت، شرایط و دیگر ویژگی های مجموعه داده ها را شامل می شود.

۴-۲- کاربرد و اهداف متادیتا

دو هدف عمده از مشخص کردن متادیتا برای داده ها دنبال می شود:

- ایجاد شناسنامه ای برای داده ها که گویای وضعیت و مشخصات آنها باشد .
- ارائه اطلاعات لازم در مورد داده ها به کاربران جهت تشخیص تناسب داده ها برای کاربرد مورد نظر.

۴-۳- تعریف " مجموعه داده ها " (Data Set)

" مجموعه داده ها " کوچکترین جزء اطلاعاتی است که برای آن متادیتای منحصر به فردی تعریف می شود. متادیتای تنظیم شده از طرفی دارای یک ساختار مناسب و استاندارد بوده و از طرفی دیگر رقومی است بنابر این می توان با جستجوی رایانه ای به هدف مورد نظر رسید. در این ارتباط، برای هر عنوان ذکر شده در این استاندارد، موارد زیر مشخص می گردد:

- عنوان (Data Element)
- تعریف (Definition)
- نوع (Type)
- دامنه تغییرات (Domain)

• فرمت (Format)

توجه شود که در فایل متادیتا فقط بندهای "عنوان" (همراه اطلاعات مربوط به عنوان) و توضیحات مربوطه آورده می‌شوند. موارد "تعریف"، "نوع"، "دامنه تغییرات" و "فرمت" در درون فایل قید نمی‌شوند ولی در هنگام ایجاد فایل متادیتا رعایت می‌گردند. تا زمان نهایی شدن استاندارد ملی کد تبادل اطلاعات فارسی، اطلاعات متادیتا به زبان انگلیسی در یک فایل ASCII آورده شده و با نام پروژه با پسوند mdt ذخیره خواهد شد.

۴-۴-۱ لیست عناوین و جزئیات مربوط به متادیتا

۴-۴-۱-۱ اطلاعات شناسایی پروژه

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
نام پروژه	نام پروژه‌ای که مجموعه داده‌ها به آن تعلق دارد	Character	-	نام پروژه نوشته شود
مشخصات پروژه	توضیح کلی در مورد مشخصات پروژه از قبیل مقیاس و منطقه تحت پوشش کل پروژه و همچنین هدف و منظور از اجرای پروژه	String	-	مشخصات پروژه نوشته شود

۴-۴-۲ -۲ - اطلاعات شناسایی مجموعه داده‌ها

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
نام مجموعه داده‌ها	نامی که مجموعه داده‌های مورد نظر را به صورت منحصر به فرد نسبت به سایر داده‌های پروژه مشخص نماید.	Character	-	نام مجموعه داده‌ها نوشته شود.
نام منطقه	نام منطقه‌ای که مجموعه داده‌ها به آن تعلق دارد.	Character	-	نام بلوک / شماره بلوک
مقیاس	مقیاس مجموعه داده‌ها	Character	-	< عدد مقیاس > / 1
تعداد فایل‌های بلوک	تعداد فایل‌های DEM و یا تصاویر در برگرفته منطقه	Numeric	عدد صحیح کوچکتر یا مساوی ۹۶	تعداد فایل‌های بلوک نوشته شود

۴-۴-۳ -۳ - منابع اطلاعاتی و تاریخ آنها

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
نوع منابع اطلاعاتی	منبعی که برای استخراج اطلاعات و تهیه مجموعه داده‌ها بکار رفته	Character	نقشه موجود ، نقشه برداری زمینی ، عکس هوایی ، تصویر ماهواره‌ای ، غیره	اگر بیش از یک منبع اطلاعاتی بکار رفته است این منابع بترتیب اهمیت بشکل زیر آورده شوند : منبع اول / منبع دو م / ... مشابه موارد ذکر شده در "دامنه تغییرات"

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
تاریخ ایجاد منبع اطلاعاتی	تاریخی که وضعیت موجود زمین بر روی منبع اطلاعاتی ثبت گردیده (تاریخ شمسی)	Date	روز (۱-۳۱) ، ماه (۱-۱۲) ، سال (۱۳۰۰-)	YYYY/MM/DD
تاریخ تهیه یا بازنگری	تاریخ تهیه یا آخرین بازنگری مجموعه داده ها (تاریخ شمسی)	Date	روز (۱-۳۱) ، ماه (۱-۱۲) ، سال (۱۳۰۰-)	YYYY/MM/DD

۴-۴-۴- استاندارد

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
نام استاندارد بکار رفته	نام و شماره نگارش استاندارد که برای جمع آوری و پردازشهای مجموعه داده بکار رفته است	Character	-	نام استاندارد / شماره نگارش

۴-۴-۵- اطلاعات لازم برای انتقال دادهها

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
فرمت داده‌های رستری	شکل کد نرم افزاری که داده های رستری تحت آن موجود می باشند	Character	-	فرمت اول / فرمت دوم / ...
فرمت داده‌های متنی	شکل کد نرم افزاری که داده های متنی تحت آن موجود می باشند	Character	-	فرمت اول / فرمت دوم / ...
اندازه داده‌ها	فضای ذخیره سازی لازم برای مجموعه داده ها وقتی که داده ها طبق ساختار و فرمت های ذکر شده در بندهای "ساختار داده ها" و "فرمت داده ها" ذخیره شده باشند (واحد اندازه گیری "Byte" می باشد)	Numeric	عدد صحیح مثبت	Byte _ اندازه مجموعه داده ها
محیط ذخیره‌سازی فیزیکی	محیط های فیزیکی ذخیره سازی که تولید کننده می‌تواند داده‌ها را روی آنها ارائه دهد	Character	Diskette, Tape, CD, Network	محیط ذخیره سازی اول / محیط ذخیره سازی دوم / ... مشابه موارد ذکر شده در "دامنه تغییرات"

۴-۴-۶- کیفیت ودقت

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
درستی هندسی	دقت مختصات برحسب واحد اصلی اندازه گیری طول (سطح اطمینان 90% در نظر گرفته شود) (در مورد DEM فقط دقت Z و برای نقشه‌های تصویری فقط دقت X و Y ذکر می‌شوند)	Numeric	عدد حقیقی مثبت بزرگتر از صفر	ابتدا میزان دقت برآورد شده و سپس حرف مشخصه واحداندازه گیری نوشته شود m _ < دقت > = دقت x m _ < دقت > = دقت y m _ < دقت > = دقت z

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
توضیحات در خصوص موارد خاص	نکات قابل ملاحظه در مورد دقت، نحوه جمع‌آوری داده‌ها و یا سایر مواردی که ممکن است برای کاربران اهمیت داشته باشد.	String	-	توضیحات مورد نظر نوشته شود.

۴-۷- سیستم مختصات و سیستم تصویر

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
بیضوی مبنا	نام بیضوی مقایسه بکار رفته به عنوان سطح میناء مسطحاتی	Character	WGS-84	مشابه موارد ذکر شده در "دامنه تغییرات"
سطح مینای ارتفاعی	نام رویه ای که ارتفاعات نسبت به آن سنجیده شده اند	Character	-	سطح متوسط آبهای آزاد / <سال تعیین>
سیستم تصویر	نام سیستم تصویر بکار رفته برای نمایش داده ها	Character	UTM	مشابه موارد ذکر شده در "دامنه تغییرات"
شماره قاج (Zone)	شماره zone سیستم تصویر	Numeric	38-41	شماره قاج ذکر گردد
واحد اندازه‌گیری	نام واحد اندازه گیری طول	Character	SI	مشابه موارد ذکر شده در "دامنه تغییرات"

۴-۸- مسائل حقوقی

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
نام تولید کننده داده‌ها	نام ارگان، سازمان، شرکت یا شخص حقیقی که بطور قانونی مسئولیت تولید داده هارا دارد.	Character	-	عنوان تولید کننده (سازمان ، شرکت ، شخص حقیقی) / نام تولید کننده
مالکیت داده‌ها	نام ارگان ، سازمان ، شرکت یا شخص حقیقی که بطور قانونی مالکیت داده ها را دارد.	Character	-	عنوان مالک (سازمان ، شرکت ، شخص حقیقی) / نام مالک
حق تکثیر	مشخص شود که آیا حق تکثیر این داده ها محفوظ است یا آنکه در اختیار عموم می باشد. ضمناً نام دارنده حق تکثیر قید شود	Character	محفوظ ، آزاد	< محفوظ > یا < آزاد > / نام دارنده حق تکثیر

۴-۹- محدوده جغرافیایی مجموعه داده ها

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
محدوده جغرافیایی بر حسب طول و عرض جغرافیایی	مختصات محدوده جغرافیایی مجموعه داده ها بر حسب طول (λ) و عرض (φ) جغرافیایی	Numeric	λ(42°,66°) φ(24°,40°)	بترتیب گردش در جهت عقربه های ساعت بدور محدوده φ1(° ' ") λ1(° ' ") φn(° ' ") λn(° ' ")

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
محدوده جغرافیایی بر حسب X و Y در سیستم مربوطه	مختصات محدوده جغرافیایی مجموعه داده ها بر حسب X و Y در سیستم تصویر مربوطه	Numeric	-	بترتیب گردش در جهت عقربه های ساعت بدور محدوده x1= y1= xn= yn=
محدوده جغرافیایی تقریبی مناطق حذف شده از مجموعه	مختصات محدوده تقریبی منطقه ای در درون مجموعه داده ها که فاقد اطلاعات می باشد (بر حسب X و Y)	Numeric	-	بترتیب گردش در جهت عقربه های ساعت بدور محدوده x1= y1= xn= yn=
محدوده جغرافیایی کل پروژه	عبارتی که توضیح دهنده پوشش منطقه کل پروژه باشد	Character	پوششی کل ایران	پوششی کل ایران

۴-۴-۱۰- اطلاعات مربوط به متادیتا

عنوان	تعریف	نوع	دامنه تغییرات	فرمت
آخرین تاریخ تکمیل متادیتا	آخرین تاریخی که اطلاعات درون فایل Metadata به هنگام شده است	Date	روز (۱-۳۱) ، ماه (۱-۱۲) ، سال (-۱۳۰۰)	YYYY/MM/DD
مسئولیت تولید کننده متادیتا	نام ارگان، سازمان، شرکت یا شخص حقیقی که مسئولیت صحت داده های متادیتا را دارد	Character	-	عنوان مسئول (سازمان، شرکت، شخص حقیقی) // نام مسئول

منابع و مآخذ

- ۱- استاندارد اطلاعات توپوگرافی رقومی مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، نگارش ۲،۳، سازمان نقشه برداری کشور، کمیته استانداردهای اطلاعات توپوگرافی رقومی، تهران، اسفند ماه ۱۳۷۷
- ۲- استاندارد پیشنهادی تهیه نقشه‌های رقومی ۱:۵۰۰۰۰ (از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰)، نگارش اول، سازمان نقشه‌برداری کشور، مدیریت سیستم های اطلاعات جغرافیایی، تهران، آبان ماه ۱۳۷۶
- ۳- استاندارد و دستورالعمل تهیه نقشه‌های رقومی ۱:۵۰۰۰ بطریقه فتوگرامتری، نگارش ۱/۱، سازمان نقشه‌برداری کشور، مدیریت نظارت و کنترل فنی، تهران، اسفند ماه ۱۳۷۶
- ۴- استاندارد نقشه‌های تصویری فضایی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ - نگارش ۱/۰، سازمان نقشه برداری کشور، کمیته استانداردهای اطلاعات توپوگرافی رقومی، تهران، دی ماه ۱۳۷۶
- ۵- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری- جلد چهارم: کارتوگرافی (کلیات)، نسخه آزمایشی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور و سازمان نقشه‌برداری کشور، تیر ماه ۱۳۸۲
- ۶- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری- جلد دوم: نقشه‌برداری هوایی (کلیات)، نسخه آزمایشی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و سازمان نقشه‌برداری کشور، مهر ماه ۱۳۸۲
- ۷- استاندارد مدل ارتفاعی رقومی ایران در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، نگارش ۱، سازمان نقشه برداری کشور، مدیریت نقشه‌برداری هوایی و کمیته استانداردهای اطلاعات توپوگرافی رقومی، تهران، فروردین ماه ۱۳۸۰
- 8- General Specification for Mapping, Alberta (Canada) Sustainable Resource Development, Public Land Division, 2002
- 9- Manual of Photogrammetry, Fourth Edition, American Society of Photogrammetry, 1980
- 10- Digital Terrain Model, M.Charif, ITC, 1993
- 11- Geographic Information System, John C.Antenucci, Kay Brown, Peter L.Croswell, Michael J.Kevancy, 1991
- 12- Geographic Information Systems, A Management Perspective, Stan Aronoff, 1991
- 13- Standards for Digital Elevation Models, U.S. Geological Survey, National Mapping Division, 1998
- 14- Using PCI Software, Volume I, PCI Inc., 1997
- 15- British Columbia Standards System of Mapping, Ministry of Environment publication, 1996
- 16- Gridded DEM Specification, Ministry of Environment Lands and Parks, British Columbia, October 21, 1996
- 17- Geographic information- Imagery and Gridded Data, Technical Report ISO/TR19121, International Organization for Standardization (ISO), 2000
- 18- Geographic information - Imagery, gridded and coverage data framework, ISO/ TC 211-N1869, International Organization for Standardization (ISO), 2005
- 19- Geographic information - Data product specifications, ISO/CD19131, International Organization for Standardization (ISO), 2004