سازمان‌نقشه‌برداری کشور

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه‌وبودجه کشور
سازمان نقشه‌برداری کشور

دستورالعمل تهیه مدل سه‌بعدی شهری

نگارش ۱

آخرین ویرایش: ۰۹-۰۲-۱۴۰۵

سازمان نقشه‌برداری کشور

اداره‌کل نظارت، کنترل فنی و استاندارد

گروه استانداردسازی

www.ncc.gov.ir

۱۴۰۵

پیشگفتار

با عنایت به وظایف قانونی سازمان نقشه‌برداری کشور در چارچوب قوانین نظام فنی و اجرایی یکپارچه کشور و به استناد ماده (۱۱) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه، وظیفه نظارت و کنترل فنی کلیه فعالیت‌های مرتبط با نقشه‌برداری و تولید اطلاعات مکانی همچنین تدوین دستورالعمل‌های مورد نیاز به منظور تهیه و نظارت این محصولات مکانی، بر عهده سازمان نقشه‌برداری کشور قرار دارد.

توجه روزافزون به مدل‌های سه‌بعدی شهری به عنوان یکی از محصولات مکانی پرکاربرد در حوزه‌های گوناگونی چون برنامه‌ریزی و طراحی شهری، مدیریت زیرساخت‌ها و شبکه‌های حمل‌ونقل، مدیریت بحران، املاک و اراضی و...، با هدف ایجاد نمایشی واقعی‌تر و کامل‌تر از مناظر و عوارض شهری و انجام تحلیل‌های سه‌بعدی مورد نیاز؛ ضرورت تعیین و تدوین مشخصات فنی و الزامات مربوط به تولید این مدل‌ها را روشن می‌سازد.

در این راستا، دستورالعمل حاضر، به منظور ارتقاء کیفیت، افزایش بهره‌وری و ایجاد وحدت رویه در فرآیند تولید مدل‌های رقومی سه‌بعدی شهری، با تکیه بر منابع علمی و عملی و دستورالعمل‌های موجود در دنیا، سایر استانداردها و دستورالعمل‌های موجود در کشور و تجارب اجرایی بدنه فنی فعال در داخل کشور و با تلاش و همکاری متخصصان این امر در سازمان نقشه‌برداری کشور، شرکت‌های مهندسی مشاور و مراکز دانشگاهی تهیه گردیده است.

در این دستورالعمل که مشتمل بر شش فصل می‌باشد، مراحل مختلف تهیه مدل‌های سه‌بعدی شهری همراه با الزامات فنی مربوطه تشریح می‌گردد. فصل اول دستورالعمل به بیان تعاریف و مفاهیم کلی در حوزه مدل‌سازی سه‌بعدی شهرها پرداخته و انواع ساختار مدل‌های سه‌بعدی، مفهوم سطح جزئیات در مدل‌سازی سه‌بعدی شهری و فرآیند کلی تولید این مدل‌ها معرفی می‌گردد. در فصل دوم، روش‌های مختلف جمع‌آوری داده برای تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری و الزامات فنی مربوطه شرح داده خواهد شد. فصل سوم به عملیات نقشه‌برداری زمینی در روند تولید مدل‌های سه‌بعدی اختصاص دارد. فصل چهارم به الزامات فنی مربوط به مراحل مختلف پردازش داده‌ها برای تولید مدل‌های سه‌بعدی، نحوه مستندسازی مدارک و گزارش‌های فنی پروژه و ملاحظات مربوط به به‌روزرسانی مدل‌های سه‌بعدی می‌پردازد. در فصل پنجم، معیارهای ارزیابی کیفی مدل‌های سه‌بعدی شهری شرح داده می‌شود و در فصل ششم که فصل پایانی می‌باشد، نحوه ذخیره‌سازی و تبادل این مدل‌ها بیان خواهد شد.

امید است که دستورالعمل پیش‌رو، پاسخ‌گوی نیازهای دستگاه‌های اجرایی، مشاوران و متخصصان فعال در این حوزه بوده و قدمی مؤثر، در راستای سامان‌دهی پروژه‌های تولید مدل سه‌بعدی شهری و ارتقاء کیفی محصولات تهیه شده باشد.

جناب آقای پیمان بکتاش - سرپرست معاونت محترم فنی و تولید اطلاعات مکانی
جناب آقای حمیدرضا سیدین بروجنی - معاون محترم فناوری و ارائه اطلاعات مکانی
جناب آقای نوربخش عسکری - معاون محترم توسعه مدیریت و منابع
جناب آقای سید عبدالرضا سعادت - سرپرست محترم اداره کل نظارت ، کنترل فنی و استاندارد
جناب آقای رامین پاپی - مدیرکل محترم دفتر ریاست ، روابط عمومی و امور بین الملل
جناب آقای علی سلطانپور - مدیر محترم آبنگاری و امور جزر و مدی
سرکار خانم معصومه آمیغ پی - سرپرست محترم اداره کل نقشه برداری زمینی و بنیادی
جناب آقای منصور حسن پور - سرپرست محترم اداره کل نقشه برداری هوایی و فضایی
جناب آقای علی مدد - مدیر کل محترم سامانه های ملی و زیر ساخت های اطلاعات مکانی
جناب آقای مهدی سعیدی انجیله - مدیر محترم نقشه نگاری و اطلس های ملی
جناب آقای نعمت الله حبشی - مدیر محترم خدمات فنی
سرکار خانم فاطمه اسدی - مدیرکل محترم دفتر فناوری اطلاعات و امنیت فضای مجازی

موضوع : ابلاغ دستورالعمل تهیه مدل سه بعدی شهری (3D City)

سلام علیکم؛

امروزه رشد سریع شهرها و گسترش پدیده شهرنشینی، به‌ویژه افزایش تراکم و توسعه عمودی بافت‌های شهری، ضرورت تصمیم‌گیری در حوزه‌های مختلف مدیریتی بر پایه ساختار سه‌بعدی محیط‌های شهری را بیش از پیش آشکار ساخته است. گستردگی کاربردهای مدل‌های سه‌بعدی شهری و استفاده از آنها توسط کاربران مختلف با اهداف متنوع، ضرورت ایجاد وحدت رویه در تولید این مدل‌ها را روشن می‌سازد. بر این اساس به پیوست "**دستورالعمل تهیه مدل سه‌بعدی شهری (3D City)**" که به منظور ایجاد وحدت رویه در فرآیند تولید مدل‌های رقومی سه‌بعدی و تعیین چارچوب و الزامات فنی برای محصولات مدنظر بر اساس پرسشنامه نیازسنجی ارسالی دبیرخانه کمیسیون معین شورای‌عالی نقشه‌برداری طی نامه شماره ۱۱۴۴۳-۱۴۰۳ مورخه ۱۴۰۳/۰۷/۱۵ و به استناد منابع علمی و دستورالعمل‌های موجود در دنیا، با استفاده از تجارب اجرایی و دانشگاهی فعال در کشور و با تلاش و همکاری متخصصان این امر در سازمان نقشه‌برداری کشور، مراکز دانشگاهی و شرکت‌های مشاور نقشه‌برداری تهیه و تدوین شده است، جهت بهره‌برداری و سایر اقدامات لازم ابلاغ می‌گردد.

سیداسکندر صیدایی

بسمه تعالی

صورتجلسه تایید استاندارد / دستورالعمل سازمان نقشه برداری کشور

عنوان: تائیدیه نسخه دستورالعمل با عنوان " تهیه مدل سه بعدی شهری 3D City"

جمع بندی:

- نسخه دستورالعمل با عنوان " تهیه مدل سه بعدی شهری 3D City" در تاریخ ۱۴۰۵/۲/۹ مورد تائید می باشد.

سید عبدالرضا سعادت	حمیدرضا سیدین بروجنی	ساحل قلعه شاهینی
مهدی سعیدی انجیله	عطیه ثقه مجتهدی	مهین حسینی اصل
زهرا کشمیری	میلاد رفیعی طرقی	رقیه فتحی الماس
مهرنوش امتی	زهرا نام پرست	

اعضاء گروه تهیه‌کننده (به ترتیب حروف الفبا):

سیدهومن سیدالماسی	مهندسین مشاور رصد ایران	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
مهرنوش امتی	سازمان نقشه‌برداری کشور	دکتری سنجش از دور
علیرضا امیری	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد سامانه‌های اطلاعات مکانی
محمد سرپولکی	مهندسین مشاور جهان پیمایش سیستم	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
سیامک طالبی	مهندسین مشاور پویا نقش امید	دکتری فتوگرامتری
سمیه طحان‌پور	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد سنجش از دور
الهام طیبی (مسئول گروه کاری)	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
منیر دارستانی فراهانی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد ژئودزی
مرجان قنبری	سازمان نقشه‌برداری کشور	دکتری سامانه‌های اطلاعات مکانی

اعضاء گروه نظارت (به ترتیب حروف الفبا):

احمد ابوطالبی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
محمد سعادت سرشت	هیأت علمی دانشگاه تهران	دکتری فتوگرامتری
رقیه فتحی الماس	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد سنجش از دور
علی مدد	سازمان نقشه‌برداری کشور	دکتری سامانه‌های اطلاعات مکانی

اعضاء گروه هدایت و راهبری (سازمان نقشه‌برداری کشور)**:**

پیمان بکتاش	مدیرکل نظارت، کنترل فنی و استاندارد	کارشناسی ارشد سامانه‌های اطلاعات مکانی
ساحل قلعه‌شاهینی	رئیس گروه استانداردسازی	کارشناسی ارشد سنجش از دور

با تشکر از آقای سعید محمدنژاد نیازی و خانم سارا مجردی، شرکت‌های مهندسی مشاور فرازمین، سیروان، ساحل‌نقشه‌گستر، نقش‌نگاران‌تو سعه، نوآوران علوم مکانی، رایان‌نق شه و ن شانه‌های عمران و تو سعه، شرکت دانش‌بنیان پارس‌اطلس و مو س سه سنجش از دور بصیر، که با ارائه تجربیات خود، ما را در تهیه این دستورالعمل یاری رساندند.

فهرست مطالب

پیشگفتار ..... أ

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۱-۱- اهمیت مدل سه‌بعدی شهری و کاربردهای آن ۲

۱-۱-۲- ضرورت تدوین دستورالعمل ۳

۱-۱-۳- حوزه شمول دستورالعمل ۴

۱-۲-تعاریف و مفاهیم پایه ۴

۱-۲-۱- تقسیم‌بندی مدل‌های سه‌بعدی شهری بر اساس ساختار آنها ۴

۱-۲-۱-۱- مدل مش سه‌بعدی ۴

۱-۲-۱-۲- مدل برداری سه‌بعدی ۴

۱-۲-۱-۳- مدل سه‌بعدی مبتنی بر GIS ۵

۱-۲-۲- تعریف سطح جزئیات در مدل‌سازی سه‌بعدی شهری ۶

۱-۲-۳- روش‌های جمع‌آوری داده برای تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری ۸

۱-۲-۳-۱- استفاده از نقشه‌های برداری سه‌بعدی ۹

۱-۲-۳-۲- استفاده از تصاویر ۹

۱-۲-۳-۳- استفاده از داده‌های اسکن لیزری ۱۱

۱-۲-۴- نمودار مراحل تولید مدل سه‌بعدی شهری با استفاده از تصاویر هوایی ۱۲

فصل دوم: جمع‌آوری داده‌ها ۱۳

۲-۱-پیش‌طراحی و طراحی پروژه ۱۴

۲-۲-تصویربرداری هوایی (پرنده سرنشین‌دار یا بدون سرنشین) ۱۶

۲-۲-۱- تصویربرداری با استفاده از دوربین تک‌فریمه ۱۶

۲-۲-۲- تصویربرداری با استفاده از دوربین تک‌فریمه با قابلیت تغییر زاویه ۱۷

۲-۲-۳- تصویربرداری با استفاده از سیستم‌های چندفریمه ۱۹

۲-۳-جمع‌آوری داده‌های تکمیلی ۲۱

۲-۳-۱- تصویربرداری بردکوتاه ۲۱

۲-۳-۲- جمع‌آوری داده‌های اسکن لیزری ۲۲

فصل سوم: عملیات نقشه‌برداری زمینی ۲۴

۳-۱-ایجاد شبکه ایستگاه‌های ماندگار ۲۵

۳-۲-جمع‌آوری نقاط کنترل و چک زمینی ۲۵

۳-۳-جمع‌آوری داده‌های کمکی ۲۶

فصل چهارم: پردازش داده‌ها و تولید مدل سه‌بعدی ۲۸

۴-۱-پیش‌پردازش داده‌ها ۲۹
۴-۲-پردازش داده‌ها ۳۰
۴-۲-۱- مثلث‌بندی تصاویر ۳۰
۴-۲-۲- تولید ابرنقاط از تصاویر ۳۲
۴-۲-۳- پردازش داده‌های اسکن لیزری ۳۲
۴-۲-۴- تولید مدل سه‌بعدی ۳۴
۴-۲-۴-۱- تولید مدل مش سه‌بعدی ۳۴
۴-۲-۴-۲- تولید مدل برداری سه‌بعدی ۳۶
۴-۲-۴-۳- تبدیل یک مدل برداری سه‌بعدی به مدل سه‌بعدی مبتنی بر GIS ۳۸
۴-۳-تنظیم مدارک و مستندات نهایی ۴۰
۴-۴-به‌روزرسانی مدل‌های سه‌بعدی شهری ۴۴
فصل پنجم: ارزیابی کیفی مدل‌های سه‌بعدی شهری ۴۶
۵-۱-ارزیابی دقت هندسی ۴۷
۵-۲-ارزیابی جزئیات هندسی ۴۸
۵-۳-ارزیابی کامل بودن مدل سه‌بعدی ۴۹
۵-۴-ارزیابی کیفیت بصری ۴۹
۵-۴-۱- بررسی اعوجاجات هندسی موجود در مدل سه‌بعدی ۵۰
۵-۴-۲-بررسی کیفیت بافت تصویری مدل سه‌بعدی ۵۰
۵-۵-ارزیابی کیفیت اطلاعات توصیفی و فراداده ۵۱
۵-۶-ارزیابی توپولوژی و صحیح بودن ارتباط بین عوارض ۵۳
۵-۷-ارزیابی تطابق با مشخصات تعیین شده در مراحل پیش‌طراحی و طراحی ۵۴
فصل ششم: ذخیره‌سازی مدل‌های سه‌بعدی شهری و استانداردهای تبادل داده ۵۵
۶-۱-فرمت‌های نهایی مورد نظر برای ذخیره‌سازی مدل‌های سه‌بعدی شهری ۵۶
۶-۱-۱- آماده‌سازی داده‌های برداری به منظور تبدیل به فرمت‌های متن‌باز ۵۷
۶-۱-۲- تبدیل فرمت مدل سه‌بعدی به فرمت متن‌باز ۵۷
پیوست ۱: واژه‌نامه ۵۹
پیوست ۲: مدل داده مکانی ۶۱
پیوست ۳: قالب نمونه برای گزارش پیش‌طراحی و طراحی پروژه ۶۸
پیوست ۴: فرم فراداده ۷۴
پیوست ۵: فرم گزارش عملیات تصویربرداری ۷۵
پیوست ۶: جمع‌آوری و پردازش داده‌های لیدار هوایی ۷۸
منابع و مراجع ۸۸

فصل اول

کلیات

۱-۱-مقدمه

مدل رقومی سه‌بعدی شهری، یک بازنمایی رقومی از مناطق شهری می‌باشد که بر اساس سطح جزئیات و دقت مورد نظر، اطلاعات سطح زمین، ساختمان‌ها و سازه‌ها، زیرساخت‌ها، پوشش‌های گیاهی، مبلمان شهری، عوارض آبی و سایر اجزاء مناظر شهری را به صورت سه‌بعدی ارائه می‌نماید. مدل‌های سه‌بعدی شهری در مقایسه با سایر اطلاعات زمین مرجع مانند نقشه خطی و ارتوفتو، امکان تجسم سه‌بعدی مناظر و عوارض شهری را به صورت تعاملی‌تر، کامل‌تر و با شباهت بیشتر به واقعیت، فراهم می‌سازند، همچنین این مدل‌ها می‌توانند داده‌های لازم برای انجام تحلیل‌های سه‌بعدی را فراهم نمایند.

در دهه‌های اخیر، تسریع و تسهیل در جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی دقیق و با جزئیات زیاد از مناطق شهری، به روش های مختلفی مانند استفاده از تصاویر هوایی، اسکنرهای لیزری زمینی، اسکنرهای لیزری هوایی و...، همچنین پیشرفت‌های به وجود آمده در ابزارها و روش‌های پردازش و ارائه این داده‌ها، شرایط مناسبی را برای تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری فراهم نموده است. کاربردهای مختلف و متنوع مدل‌های سه‌بعدی تولید شده، منجر گردیده این مدل‌ها مورد استقبال و توجه طیف وسیعی از کاربران قرار گیرند. لذا با توجه به در دسترس نبودن یک دستورالعمل مناسب در داخل کشور، به منظور تولید این نوع مدل‌ها؛ در این نوشتار تلاش گردیده دستورالعملی برای تولید مدل سه‌بعدی شهری با استفاده از تصاویر هوایی، به همراه اطلاعات تکمیلی حاصل از سایر منابع مانند نقشه‌های سه‌بعدی تهیه شده به روش فتوگرامتری، داده‌های اسکنرهای لیزری زمینی و هوایی و تصاویر برد کوتاه ارائه گردد.

۱-۱-۱- اهمیت مدل سه‌بعدی شهری و کاربردهای آن

رشد شهرها و شهرنشینی در دهه‌های گذشته، تراکم و گسترش ارتفاعی شهرها را موجب گردیده است. نیاز کاربران مختلف به اتخاذ تصمیمات بر مبنای ساختار سه‌بعدی محیط‌های شهری و به تبع آن، نیاز به مدل‌سازی عوارض عمود بر سطح زمین با دقت و جزئیات بیشتر نسبت به گذشته، منجر گردیده است که نقشه‌های سه‌بعدی تهیه شده از شهرها با ساختار فعلی، پاسخگوی نیازهای مختلف مدیران، برنامه‌ریزان و کاربران اطلاعات مکانی شهری نباشد. از سوی دیگر، توسعه تکنولوژی‌های گردآوری، پردازش، نمایش، تجزیه و تحلیل، ذخیره‌سازی و تبادل داده‌های سه‌بعدی، این فرصت را ایجاد کرده است که به جای اطلاعات مکانی ساده‌سازی شده و سمبولیک، نمایش رقومی سه‌بعدی از دنیای اطراف در دسترس کاربران قرار گیرد. این موضوع فعالیت‌های مرتبط با اطلاعات مکانی را تحت تاثیر قرار داده و توجه روز افزون به مدل‌های سه‌بعدی شهری را موجب گردیده است.

امروزه، مدل‌های سه‌بعدی شهری، با توجه به سطح دقت، کیفیت، جزئیات و ساختار داده‌های خود، کاربردی گسترده در حوزه‌های گوناگون چون برنامه‌ریزی و طراحی شهری، مدیریت زیرساخت‌ها و شبکه‌های حمل‌ونقل، مدیریت بحران، املاک و اراضی، تحلیل‌های محیطی و اقتصادی، گردشگری و حفاظت از میراث فرهنگی یافته‌اند.

این مدل‌ها به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از سامانه‌های اطلاعات مکانی[1]، مطرح شده و بستری یکپارچه برای تلفیق داده‌های فضایی و کالبدی شهر فراهم می‌کنند. مدل‌های سه‌بعدی شهری همچنین می‌توانند زیرساخت داده‌های مکانی مورد نیاز به منظور تحقق شهر هوشمند و همسان رقمی[2] را ایجاد نمایند. از سوی دیگر، ترکیب مدل‌های سه‌بعدی شهری با فناوری BIM[3] (مدل‌سازی اطلاعات ساختمان)، امکان نمایش و تحلیل دقیق اطلاعات ساختمان در بستر شهر سه‌بعدی را فراهم ساخته است.

۱-۱-۲- ضرورت تدوین دستورالعمل

کاربردهای گسترده و متنوع مدل‌های سه‌بعدی شهری و بکارگیری این مدل‌ها توسط کاربران مختلف و با اهداف متفاوت، ضرورت ایجاد وحدت رویه‌ای در تولید این مدل‌ها، از طریق تعیین و تدوین مشخصات فنی و حداقل‌های لازم برای تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری، هماهنگ با سایر استانداردها و دستورالعمل‌های تولید نقشه و اطلاعات مکانی در کشور را روشن می‌سازد.

تهیه مدل‌های سه‌بعدی شهری با مشخصات فنی معین و مطابق با نیازهای مشترک کاربران مختلف، انتظارات طیف گسترده‌تری از کاربران در سطح کشور را تأمین نموده و از دوباره‌کاری همچنین اتلاف هزینه، زمان و منابع انسانی جلوگیری می‌نماید. از سوی دیگر، آرشیو و نگهداری این مدل‌های سه‌بعدی که منطبق با دستورالعمل‌ها و مشخصات فنی معین تهیه گردیده‌اند، بیانگر وضعیت شهرها و تغییرات بوجود آمده در محیط‌های شهری، نه تنها در سطح، بلکه به صورت سه‌بعدی بوده و مجموعه‌ای غنی از اطلاعات مکانی سه‌بعدی را فراهم می‌سازد.

با توجه به ماهیت نوین مدل‌های سه‌بعدی شهری و وابستگی این حوزه از علوم ژئوماتیک به پیشرفت‌های سریع و پرشتاب فناوری، بازنگری و به‌روزرسانی دوره‌ای این دستورالعمل با فواصل زمانی مناسب، به‌منظور حفظ کارایی و انطباق با تحولات فنی؛ ضروری به نظر می‌رسد.

---

[1] GIS
[2] Digital Twin
[3] Building Information Modeling

۱-۱-۳- حوزه شمول دستورالعمل

حوزه شمول این دستورالعمل، کلیه فعالیت‌های نقشه‌برداری منجر به تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری است که در چارچوب نظام یکپارچه فنی و اجرایی کشور انجام می‌شوند و نظارت و کنترل آن بر اساس ماده (۱۱) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، بر عهده سازمان نقشه‌برداری کشور می‌باشد.

۱-۲-تعاریف و مفاهیم پایه

۱-۲-۱- تقسیم‌بندی مدل‌های سه‌بعدی شهری بر اساس ساختار آنها

مدل‌های سه‌بعدی شهری می‌توانند ساختارهای مختلفی داشته باشند که هر یک ویژگی‌ها و کاربردهای خاص خود را دارند. در ادامه به معرفی این ساختارها پرداخته می‌شود.

۱-۲-۱-۱- مدل مش سه‌بعدی[۴]

مدل مش سه‌بعدی از مجموعه‌ای از سطوح به هم پیوسته تشکیل می‌شود که شامل رئوس، لبه‌ها و وجوهی است که معمولاً به صورت مثلثی هستند. در این نحوه مدل‌سازی، انحناء صرفاً با کاهش ابعاد سطوح و افزایش تعداد آن‌ها، شبیه‌سازی می‌گردد. وجوه، نمای بیرونی مدل را تشکیل داده و ظاهر شیء سه‌بعدی را تعیین می‌کنند همچنین از طریق اعمال بافت[۵] برگرفته از تصاویر بر روی سطح هندسی مدل، امکان بهبود بصری مدل سه‌بعدی وجود دارد.

مدل‌های مش سه‌بعدی، امکان نمایش جزئیات پیچیده بصری و بازسازی واقع‌گرایانه محیط‌های شهری را دارا هستند. مزیت این روش مدل‌سازی آن است که انجام آن از طریق پردازش اتوماتیک، تا حدود زیادی میسر است، اما در مقابل، مدل‌های مش سه‌بعدی دارای حجم داده نسبتاً بالا بوده و ویرایش آن‌ها نیز به‌سادگی قابل انجام نیست.

با توجه به ساختار پیوسته مدل‌های مش سه‌بعدی (به‌صورت پیش‌فرض)، عوارض مکانی به‌صورت مستقل در دسترس قرار نمی‌گیرند و فقط به‌صورت بصری می‌توان آنها را از یکدیگر متمایز نمود، لذا به دلیل این نوع ساختار، همچنین نبود اطلاعات دقیق توصیفی (به‌صورت پیش‌فرض) در این نوع مدل‌ها، در تحلیل‌های مبتنی بر داده دارای محدودیت می‌باشند.

۱-۲-۱-۲- مدل برداری سه‌بعدی[۶]

مدل‌های برداری سه‌بعدی، بر مبنای تعریف هندسه اشیاء به‌صورت موجودیت‌های مجزا، با استفاده از نقاط، خطوط، سطوح یا احجام؛ ایجاد می‌گردند.

---

[4] 3D Mesh Model
[5] Texture
[6] 3D Vector Based Model

به دلیل ساختار این نوع مدل‌ها، حجم داده کمتر بوده و ویرایش آن‌ها ساده‌تر است همچنین امکان شناسایی عوارض به‌صورت دقیق وجود داشته و قابلیت استفاده از ابزارهای تحلیل مکانی مبتنی بر اشیاء را نیز دارا می‌باشند؛ اما از سوی دیگر، با توجه به روش تولید دستی یا نیمه اتوماتیک، نیاز به صرف زمان و هزینه بیشتری دارند، همچنین در مقایسه با مدل‌های مش سه‌بعدی، ممکن است کیفیت بصری پایین‌تر و شباهت ظاهری کمتری به دنیای واقعی داشته باشند.

در زمان تولید مدل‌های برداری سه‌بعدی، به تناسب کاربرد مورد نظر می‌توان از ساختار داده‌های مختلف استفاده کرد. دو نمونه متداول، مدل‌های سه‌بعدی سطحی[۷] و مدل‌های سه‌بعدی حجمی[۸] می‌باشند.

مدل‌های سه‌بعدی سطحی، از توصیف‌های سطحی برای نمایش عوارض سه‌بعدی استفاده می‌کنند. سطوح با استفاده از نقاط و خطوط، تعریف شده و شامل سطوح منحنی یا مسطح هستند. در واقع این روش مدل‌سازی، فرآیند ایجاد یک مدل سه‌بعدی از طریق تعریف هر یک از وجوه موجود در هندسه عارضه مورد نظر می‌باشد.

در روش مدل‌سازی حجمی، فرآیند ساخت مدل سه‌بعدی اشیاء، از طریق یک‌سری عملیات افزاینده و کاهنده انجام می‌گیرد، به‌نحوی که حجم قابل محاسبه آنها حفظ شود. مدل‌های سه‌بعدی حجمی، نمایانگر حجم‌های توپر بوده و بجای نمایش صرفاً سطوح خارجی، امکان نمایش ساختارهای سه‌بعدی کامل شامل احجام داخلی و خارجی را فراهم می‌آورند.

۱-۲-۱-۳- مدل سه‌بعدی مبتنی بر GIS[۹]

مدل‌سازی سه‌بعدی شهری در سامانه‌های اطلاعات مکانی، به معنای بازنمایی رقومی اشیاء، سازه‌ها و پدیده‌های واقعی در فضای سه‌بعدی است، به‌گونه‌ای که هر عنصر شهری یا طبیعی نه تنها به‌عنوان یک شکل هندسی، بلکه به‌عنوان یک شیء مستقل، با هویت، معنا و ارتباطات مکانی خاص خود تعریف می‌شود. این روش تولید مدل سه‌بعدی، عملاً یک روش مدل‌سازی مستقل نمی‌باشد، بلکه مدل‌های سه‌بعدی مبتنی بر GIS، از سایر داده‌های زمین مرجع سه‌بعدی مانند مدل های مش سه‌بعدی و مدل‌های برداری سه‌بعدی، تولید می‌گردند.

در مدل‌های سه‌بعدی مبتنی بر GIS، که از آن‌ها با عنوان مدل‌های سه‌بعدی مبتنی بر عارضه[۱۰] نیز یاد می‌شود؛ هر شیء از سه مؤلفه اصلی تشکیل شده است، هندسه که شکل، ابعاد و موقعیت فیزیکی پدیده را تعیین می‌کند؛ توپولوژی[۱۱] که روابط مکانی و اتصالات میان اشیاء مختلف مانند مجاورت ساختمان‌ها، ارتباط خیابان‌ها یا مسیر عبور رودخانه‌ها را مشخص می‌کند؛ و ویژگی‌های توصیفی[۱۲] که شامل اطلاعات غیرهندسی مانند نام، نوع کاربری، مصالح یا سال ساخت بوده

---

[7] 3D Surface Model
[8] 3D Solid Model
[9] 3D GIS Model
[10] Feature Based Model
[11] Topology
[12] Attributes

و هویت معنایی هر شیء را شکل می‌دهند. در این روش مدل‌سازی، به تناسب رویکرد، حداکثر تلاش بر این است که مدل تولید شده بیشترین توانایی بازنمایی دنیای واقعی به شکل سه‌بعدی را داشته، همچنین از مزایا و امکانات سامانه‌های اطلاعات مکانی برای بازیابی، تحلیل و آنالیز داده‌ها نیز برخوردار باشد. ساختار شیءگرای این مدل‌ها، انعطاف‌پذیری بالایی در فرآیند به‌روزرسانی فراهم می‌کند، زیرا هر جزء مدل به‌صورت مستقل مدیریت می‌شود و اصلاح یک بخش، بدون نیاز به بازتولید کامل مدل سه‌بعدی میسر است.

۱-۲-۲- تعریف سطح جزئیات[۱۳] در مدل‌سازی سه‌بعدی شهری

مفهوم سطح جزئیات در مدل‌سازی سه‌بعدی عوارض شهری، این امکان را فراهم می‌سازد که یک شیء سه‌بعدی در سطوح متفاوتی از پیچیدگی هندسی و اجزاء معنایی (در صورت وجود)، نمایش داده شود. این شاخص، ابزاری برای مدیریت ایجاد تعادل میان دقت، حجم داده و هدف کاربردی مدل سه‌بعدی شهری بوده و بر اساس دقت، پیچیدگی و جزئیات مورد نیاز کاربر تعیین می‌گردد.

مطابق استاندارد CITYGML[۱۴]، که یکی از استانداردهای پرکاربرد در حوزه مدل‌سازی سه‌بعدی شهری است؛ همه عوارض محیط شهری را می‌توان در پنج سطح جزئیات به نمایش گذاشت (شکل ۱) که هر یک از این سطوح دارای کاربردهای متفاوتی هستند:

LOD 0: مدل رقومی دو و نیم بعدی زمین

در این سطح از جزئیات، ساختمان‌ها با پلیگون‌های پای خود یا پلیگون‌های لبه پشت‌بامشان نمایش داده می‌شوند.

LOD 1: نمایش بلوکی عوارض و ساختمان‌ها

در این سطح از جزئیات، هندسه کلی عوارض تشکیل می‌شود اما عوارض فاقد جزئیات هستند. در مقایسه با سطح صفر، با توجه به نوع عارضه؛ یک ویژگی هندسی به مدل‌سازی عارضه اضافه می‌گردد. به‌طور مثال با افزودن ارتفاع به محدوده پای ساختمان، یک بلوک سه‌بعدی ساده (معمولاً با سقف تخت) ایجاد می‌شود.

LOD 2: نمایش فرم واقعی عوارض

در این سطح، جزئیات هندسی واقع‌گرایانه‌تری از عوارض شامل شکل واقعی سقف‌ها و نمای کلی ساختمان‌ها، ایجاد می‌شود به‌نحوی که عوارض شهری از قابلیت تمایز بهتری برخوردار هستند.

---

[13] Level Of Detail (LOD)

[۱۴] CITYGML جزء استانداردهای OGC و یک مدل دادهٔ استاندارد متن باز است که به طور خاص برای نمایش، ذخیره‌سازی و تبادل مدل‌های سه‌بعدی شهری طراحی شده است.

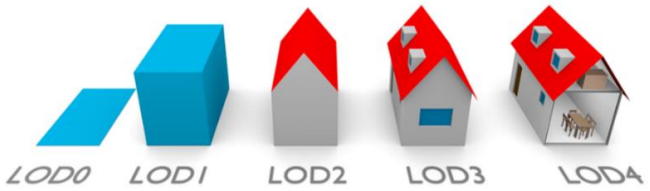
LOD 3: نمایش هندسه دقیق عوارض توأم با جزئیات نما

در این سطح، جزئیات بیشتری به نمای عوارض اضافه می‌گردد (همانند پنجره‌ها، درها و جزئیات سقف ساختمان‌ها) و ظاهر واقعی‌تری از عوارض به نمایش گذاشته می‌شود.

LOD 4: نمایش هندسی دقیق از بیرون و داخل عوارض

در این سطح، LOD3 از طریق اضافه نمودن ساختارها و فضاهای داخلی به عوارض (مانند درها، پله‌ها و مبلمان داخلی) تکمیل می‌شود.

شکل ۱: پنج سطح جزئیات مطابق استاندارد CITYGML



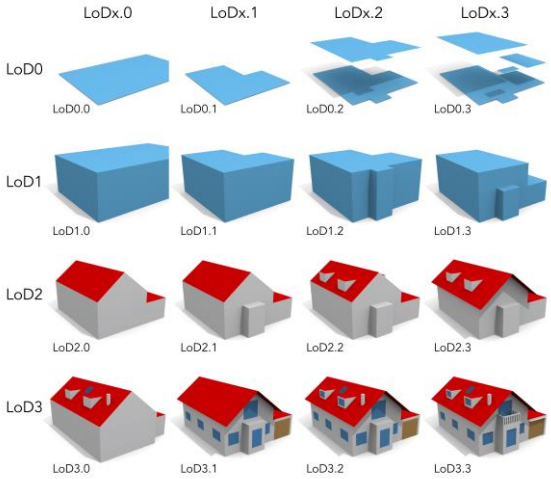
نکته 1: صرفاً تولید مدل‌های سه‌بعدی در سطوح دو و سه، در حوزه شمول این دستورالعمل قرار دارد.

نکته 2: علاوه بر پنج سطح جزئیات (LOD) معرفی شده در فوق، که معرف سطح ساده‌سازی[15] در نمایش مدل‌های سه‌بعدی شهری می‌باشند؛ میزان جزئیات قابل ارائه در یک مدل سه‌بعدی شهری، از منظر دیگری نیز قابل تعریف است که مستقیماً به دقت هندسی و حد تفکیک مکانی یک مدل سه‌بعدی بستگی دارد. عواملی مانند قدرت تفکیک مکانی[16] و کیفیت تصاویر مورد استفاده برای تولید مدل، تراکم ابرنقاط، تعداد چندضلعی‌های سازنده مدل مش سه‌بعدی یا تعداد رئوس تعریف شده برای عوارض در مدل‌های برداری سه‌بعدی، همگی بر میزان جزئیات هندسی قابل استخراج از مدل سه‌بعدی تأثیرگذارند. این موضوع به‌صورت شماتیک در شکل ۲، نمایش داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، علی‌رغم این‌که LOD و دقت هندسی/حد تفکیک مکانی یک مدل سه‌بعدی، هر دو بر میزان جزئیات قابل ارائه در یک مدل سه‌بعدی تأثیرگذار هستند، اما دو پارامتر کاملاً مستقل می‌باشند و بر این اساس در هر یک از سطوح LOD، امکان تولید مدل سه‌بعدی با دقت‌های هندسی متفاوت وجود دارد لذا با توجه به دقت هندسی و قدرت تفکیک مکانی داده‌های اولیه مورد استفاده، ممکن است عوارض قابل

[15] Generalization
[16] Resolution

نمایش در یک LOD، در مقایسه با یک مدل سه‌بعدی در LOD بالاتر، که از داده‌های اولیه با قدرت تفکیک مکانی و دقت هندسی پایین‌تری تولید شده است؛ دارای جزئیات هندسی بیشتری باشند.

شکل ۲: امکان نمایش عوارض با حد تفکیک مکانی مختلف، در یک سطح جزئیات (LOD)



۱-۲-۳- روش‌های جمع‌آوری داده برای تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری

جمع‌آوری داده برای تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری به روش‌های مختلفی قابل انجام است. صرف‌نظر از روش مورد استفاده، لازم است در جمع‌آوری داده‌ها ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- دقت هندسی و حد تفکیک مکانی داده‌های جمع‌آوری شده، متناسب با دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد.
- مبنای مسطحاتی و ارتفاعی داده‌های مورد استفاده یکسان باشد.
- به منظور هم‌مرجع نمودن داده‌های حاصل از منابع مختلف، نقاط کنترل مشترک با توزیع مناسب (به‌نحوی که دقت نهایی محصول تأمین گردد)، در نظر گرفته شود.
- اولویت در استفاده از داده‌های هم‌زمان است. در صورت اجبار به استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در زمان‌های مختلف، قبل از تلفیق داده‌ها، لازم است تغییرات عوارض ناشی از اختلاف زمانی، مشخص شده و در بخش‌های تغییر یافته، صرفاً از داده‌های به‌روز استفاده گردد.

۱-۲-۳-۱- استفاده از نقشه‌های برداری سه‌بعدی

نقشه‌های برداری سه‌بعدی می‌توانند به‌عنوان اطلاعات پایه برای تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری مورد استفاده قرار گیرند. در استفاده از این نقشه‌ها می‌بایست به موارد زیر توجه شود:

- اطمینان از به‌روز بودن و مطابقت دقت هندسی نقشه‌های برداری سه‌بعدی تهیه شده با دقت مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی شهری
- وجود ساختار داده‌ای مناسب در نقشه‌ها، شامل عوارض تفکیک شده و دارای اطلاعات ارتفاعی

نکته: با توجه به این‌که نقشه‌های برداری متداول موجود در کشور، صرفاً ظرفیت تولید مدل سه‌بعدی در سطوح صفر و یک را دارا هستند، لذا تهیه مدل سه‌بعدی با استفاده از این داده‌ها، خارج از حوزه شمول این دستورالعمل می‌باشد.

۱-۲-۳-۲- استفاده از تصاویر

در این روش با استفاده از تصاویر با پوشش بالا، که از زوایای مختلف منطقه مورد نظر را پوشش می‌دهند؛ داده‌های هندسی و بافت تصویری مورد نیاز به منظور تولید مدل سه‌بعدی حاصل می‌گردد. دامنه این روش می‌تواند بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای تا تصاویر بردکوتاه باشد. در این دستورالعمل، صرفاً استفاده از تصاویر اخذ شده مبتنی بر سیستم تصویر مرکزی شامل تصاویر هوایی و تصاویر بردکوتاه مدنظر می‌باشد.

نکته: تصویربرداری با دوربین‌های فیش‌آی[17] یعنی دوربین‌های با فاصله کانونی بسیار کوتاه و زوایای دید خیلی باز (معمولاً بالای ۱۵۰ درجه)، در حوزه شمول این دستورالعمل قرار ندارد.

در ادامه، روش‌های مختلف تصویربرداری به منظور تولید مدل سه‌بعدی، به اجمال معرفی خواهند شد.

- تصویربرداری هوایی (با پرنده سرنشین‌دار یا بدون سرنشین)

تصویربرداری هوایی به منظور تولید مدل سه‌بعدی شهری، به سه روش عمده قابل انجام است:

الف- استفاده از دوربین تک‌فریمه

در این روش، در صورت بکارگیری لنز با فاصله کانونی کم (زاویه باز یا زاویه خیلی باز) و رعایت پوشش‌های بالای طولی و عرضی، امکان تولید مدل سه‌بعدی در مناطق شهری با بافت غیرمتراکم وجود دارد. با توجه به این‌که در این روش، تصاویر مایل[18] از زوایای مختلف در دسترس نیست، انجام عملیات تصویربرداری مجدد، با خطوط پرواز متقاطع نسبت به پرواز اولیه؛ به بهبود کیفیت مدل سه‌بعدی تولید شده کمک خواهد کرد.

[17] Fish Eye
[18] Oblique

ب- استفاده از دوربین تک فریمه با قابلیت تغییر زاویه

در این روش، تصویربرداری از زوایای مختلف، با استفاده از یک دوربین تک‌فریمه و از طریق انجام پروازهای متعدد یا تغییر زاویه دوربین در حین یک پرواز انجام می‌شود. استفاده از تصویربرداری مایل در کنار تصویربرداری قائم[19]، در بهبود کیفیت مدل‌سازی در امتداد عمود بر سطح زمین (به‌عنوان مثال نماهای ساختمان‌ها)، تأثیر بسزایی خواهد داشت.

در روش تصویربرداری مبتنی بر چند پرواز جداگانه، لازم است به مشکل اختلاف سایه‌ها در تصاویر، که ناشی از فاصله زمانی تصاویر اخذ شده می‌باشد؛ توجه شده و با در نظر گرفتن تمهیداتی به حداقل ممکن کاهش یابد.

ج – استفاده از سیستم‌های چندفریمه[20]

بکارگیری این نوع سیستم‌ها، با توجه به قابلیت تصویربرداری از زوایای مختلف؛ روش کارآمدی به منظور جمع‌آوری داده برای تولید مدل سه‌بعدی شهری می‌باشد. در این روش، که از چندین دوربین در جهت‌های مختلف برای پوشش بهتر جزئیات ساختمان‌ها و سطوح عمودی شهر استفاده می‌گردد؛ رعایت هم‌زمانی تصویربرداری لنزهای مختلف الزامی است.

در طراحی سیستم‌های چند فریمه، به طور معمول یک دوربین قائم و چهار دوربین مایل (با زاویه تیلت حدود ۳۰ تا ۴۵ درجه نسبت به امتداد قائم) لحاظ می‌گردد. در این سیستم‌ها، به‌منظور این‌که GSD [21] تا حد امکان در سطح میدان دید کلیه دوربین‌ها همگون باشد، معمولاً دوربین‌های با زاویه تیلت بیشتر، به نسبت عکس کسینوس تیلت خود، دارای فاصله کانونی بزرگتری هستند.

- تصویربرداری بردکوتاه

استفاده از تصاویر بردکوتاه، به منظور تولید مدل سه‌بعدی شهری در محدوده‌های کوچک شامل یک یا چند ساختمان، یا به‌عنوان داده‌های تکمیلی در تلفیق با تصاویر هوایی و در شرایطی که تهیه مدل سه‌بعدی با مشخصات مورد انتظار، از طریق تصویربرداری با روش‌های متداول هوایی امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ قابل انجام است. در این روش، طراحی پرواز شامل امتداد خطوط تصویربرداری، پوشش تصاویر، زاویه تصویربرداری، فاصله کانونی دوربین مورد استفاده و...، به مراتب انعطاف پذیرتر از روش تصویربرداری هوایی می‌باشد. تصویربرداری بردکوتاه به دو روش تصویربرداری با پهپاد یا تصویربرداری زمینی انجام‌پذیر است.

[19] Nadir
[20] Multi Heads
[21] Ground Sampling Distance

۱-۲-۳-۳- استفاده از داده‌های اسکن لیزری

یکی از روش‌های تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری، که معمولاً به منظور تکمیل داده‌های حاصل از روش تصویربرداری هوایی بکار گرفته می‌شود؛ استفاده از ابرنقاط حاصل از سیستم‌های اسکنر لیزری سه‌بعدی است. دقت هندسی و تراکم ابرنقاط حاصل از اسکن لیزری همچنین همگن بودن این داده‌ها، بطور مستقیم بر کیفیت هندسی مدل سه‌بعدی تولید شده تأثیرگذار است. روش‌های متعددی برای گردآوری داده‌های اسکن لیزری موجود است:

- اسکنرهای لیزری زمینی ایستگاهی

جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از اسکنر لیزری ایستگاهی، از طریق استقرار اسکنر در ایستگاه‌های متعدد و اسکن محیط پیرامون انجام می‌گیرد. در این روش، که معمولاً دقیق‌ترین روش جمع‌آوری داده‌های اسکن لیزری است؛ به دلیل استقرار زمینی، محدودیت زاویه دید وجود داشته و مدت زمان جمع‌آوری داده‌ها نیز طولانی است.

- اسکنرهای لیزری زمینی موبایل

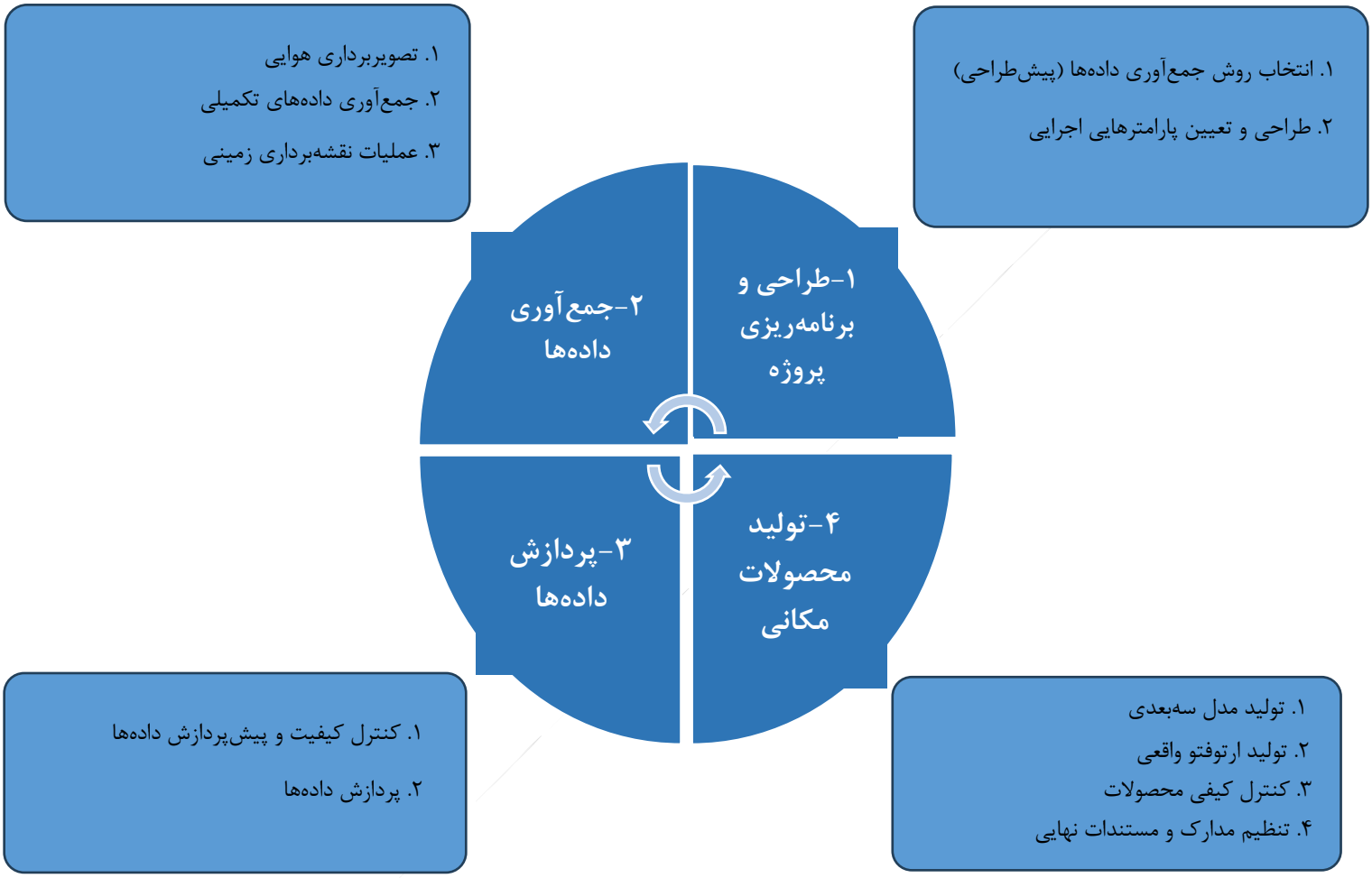
برای جمع‌آوری داده‌ها به این روش، اسکنر بر روی یک سکوی متحرک نصب شده و اسکن محیط اطراف در حین حرکت میسر می‌گردد. از این رو سرعت برداشت داده‌ها نسبت به روش ایستگاهی بالاتر است.

نکته: اسکنرهای لیزری زمینی، با توجه به موقعیت قرارگیری دستگاه، با محدودیت زاویه دید روبرو هستند. لذا تولید مدل سه‌بعدی شهری مبتنی بر این داده‌ها، در محدوده‌های بزرگ چندان متداول نیست و بیشتر برای محدوده‌های کوچک، یا به عنوان داده تکمیلی به منظور بهبود مدل سه‌بعدی تولید شده مبتنی بر تصاویر، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- اسکنرهای لیزری هوایی

روش عملکرد اسکنرهای لیزری هوایی مشابه اسکنرهای لیزری زمینی موبایل است، با این تفاوت که سکوی متحرک پرنده بوده، همچنین محدودیت زاویه دید در این روش نسبت به روش زمینی کمتر است. این داده‌ها در ترکیب با تصاویر هوایی، منجر به بهبود دقت ارتفاعی مدل سه‌بعدی شهری می‌گردند.

۱-۲-۴- نمودار مراحل تولید مدل سه‌بعدی شهری با استفاده از تصاویر هوایی



فصل دوم

جمع آوری داده‌ها

۲-۱-پیش‌طراحی و طراحی پروژه

قبل از شروع فرآیند اجرایی پروژه، انجام دو مرحله پیش‌طراحی و طراحی به منظور برنامه‌ریزی اجرای پروژه توسط مجری، ضروری می‌باشد. انجام دقیق این مراحل و مستندسازی نتایج بدست آمده، تأثیر قابل توجهی در تضمین کیفیت فرآیند اجرایی-سازی پروژه داشته و مبنای ارزیابی نهایی کیفیت محصول نیز قرار خواهد گرفت. در مرحله پیش‌طراحی، متناسب با دقت هندسی، سطح جزئیات و مدل داده مورد نظر، بهینه‌ترین روش یا ترکیب روش‌ها به منظور جمع‌آوری داده‌ها در محدوده‌های مختلف پروژه انتخاب می‌گردد، همچنین با توجه به روش یا روش‌های تعیین شده و ویژگی‌های منطقه، محدوده‌های تقریبی مناطقی که امکان دستیابی به مدل سه‌بعدی با کیفیت مورد نظر میسر نمی‌باشد، مشخص شده و به تأیید کارفرمای پروژه می‌رسد. سپس در مرحله طراحی، با توجه به نتایج به‌دست آمده در مرحله پیش‌طراحی، پارامترهای اجرایی مورد نیاز به منظور جمع‌آوری داده‌ها، تعیین می‌گردد.

نکته ۱: قبل از انجام پیش‌طراحی و طراحی، ضروری است سطح جزئیات (LOD) و مدل داده مکانی مورد نظر (رجوع شود به پیوست ۲)، با توجه به کاربرد مدل‌سازی سه‌بعدی؛ توسط کارفرمای پروژه مشخص گردد.

- مرحله پیش‌طراحی:

هدف از مرحله پیش‌طراحی آن است که از بین دامنه ابزارها و روش‌های مختلف قابل استفاده برای جمع‌آوری و پردازش داده‌های مورد نیاز برای تولید مدل سه‌بعدی شهری، بهینه‌ترین روش یا ترکیب روش‌ها که دارای حداقل افزونگی داده بوده و دقت و کیفیت مورد انتظار را نیز تأمین کند، انتخاب شود. به منظور انتخاب بهینه‌ترین روش، متغیرهای اصلی به شرح زیر می‌بایست مد نظر قرار گیرند:

- وسعت منطقه
- توپوگرافی و پوشش گیاهی منطقه
- شکل، ارتفاع و تراکم سازه‌ها
- متوسط عرض معابر
- دقت هندسی مورد نظر
- کاربرد مدل‌سازی سه‌بعدی و مدل داده مکانی مورد نظر پروژه
- دامنه ابزاری در دسترس
- وضعیت جوی و محدودیت‌های زمانی و مالی پروژه

با در نظر گرفتن متغیرهای اصلی ذکر شده در فوق، پیش‌طراحی شامل انجام مراحل زیر می‌باشد:

الف- انتخاب روش‌های جمع‌آوری داده‌ها متناسب با نیازهای پروژه از نظر دقت، جزئیات و سطح تکمیل بودن اطلاعات (با توجه به میزان از دست رفتن داده‌ها در هر روش). این روش‌ها می‌تواند شامل تصویربرداری با هواپیما، تصویربرداری با پهپاد و استفاده از داده‌های تکمیلی (تصاویر برد کوتاه هوایی، تصاویر برد کوتاه زمینی، اسکن لیزری سه‌بعدی هوایی، اسکن لیزری سه‌بعدی زمینی) باشد.

ب- تهیه گزارشی مبنی بر پارامترهای موثر در انتخاب روش جمع‌آوری داده‌ها، مشخص نمودن ترکیب روش‌های مختلف تعیین شده برای جمع‌آوری داده‌ها در محدوده‌های مختلف پروژه، مشخص نمودن محدوده تقریبی مناطقی که مدل سه‌بعدی با مشخصات فنی مورد نظر انطباق کامل نخواهد داشت (به عنوان مثال نواحی پنهان ناشی از موانع ساختمانی)، همچنین دریافت تأییدیه از کارفرما در خصوص پیش‌طراحی انجام شده، قبل از اجرای پروژه.

- مرحله طراحی:

هدف از این مرحله، انتخاب بهینه‌ترین تنظیمات برای اجرای پروژه، با توجه به روش یا روش‌های انتخاب شده در مرحله پیش‌طراحی و با در نظر گرفتن متغیرهای اصلی ذکر شده؛ می‌باشد. مرحله طراحی، شامل تعیین موارد زیر است:

- پوشش‌های طولی و عرضی تصویربرداری
- ارتفاع پرواز یا فاصله تا شیء
- GSD و قدرت تفکیک مکانی تصویربرداری
- فاصله کانونی دوربین تصویربرداری
- نوع دوربین تصویربرداری و زوایای تصویربرداری مورد نیاز
- مشخصات داده‌های لیزر مورد استفاده شامل تراکم ابرنقاط، دقت ابرنقاط و...

در مرحله طراحی، به منظور انتخاب تنظیمات بهینه برای اجرای پروژه، لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- به دلیل عواملی مانند زاویه دید و میزان تیلت دوربین تصویربرداری، در مدل سه‌بعدی شهری حاصله، قدرت تفکیک مکانی روی سطوح عمود بر سطح زمین (به عنوان مثال نمای ساختمان‌ها)، با قدرت تفکیک مکانی روی سطح زمین برابر نبوده و در بعضی موارد ممکن است به‌صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد.
- با توجه به کاهش دقت هندسی در محصولات حاصل از تصویربرداری مایل، به دلیل عواملی نظیر خطاهای ناشی از هندسه تصویربرداری مایل، اعوجاجات ایجاد شده در GSD، افزایش خطای مثلث‌بندی تصاویر و افت کیفیت ناشی از

افزایش تأثیرات جوی بر تصاویر مایل، لازم است در فرآیند تنظیم پارامترهای اجرایی پروژه، فاکتور کاهش دقت لحاظ شده و طراحی تا حد امکان با حاشیه اطمینان بالا[۲۲] انجام شود.

- به منظور نمایش عوارض و جزئیات مورد نیاز مطابق با مدل داده مورد نظر پروژه، لازم است حد تفکیک مکانی داده‌های مورد استفاده برای تولید مدل سه‌بعدی، حداکثر نصف ابعاد کوچکترین جزئیات هندسی مدنظر باشد.

نکته ۲: با در نظر گرفتن متغیرهای اصلی ذکر شده، استفاده از ترکیب چندین روش و تنظیمات متفاوت در محدوده‌های مختلف پروژه مجاز است. در انتخاب روش‌های ترکیبی، لازم است اختلاف مقیاس/GSD تصاویر اخذ شده به روش‌های مختلف و امکان برقراری اتصال هندسی بین تصاویر مدنظر قرار گرفته و در صورت نیاز از روش‌هایی مانند تصویربرداری با مقیاس‌های واسط استفاده شود.

۲-۲-تصویربرداری هوایی (پرنده سرنشین‌دار یا بدون سرنشین)

تصویربرداری هوایی به منظور تولید مدل سه‌بعدی شهری، متناسب با نوع پرنده و تجهیزات مورد استفاده، به روش‌های مختلف قابل انجام است. در تمام این روش‌ها، کلیه ضوابط و مشخصات فنی قید شده در دستورالعمل‌های ۲-۱۱۹ و ۹-۱۱۹ در خصوص جمع‌آوری و پردازش داده‌ها، به قوت خود باقی است. از این رو در این دستورالعمل صرفاً به الزامات خاص مورد نیاز با هدف تولید مدل سه‌بعدی شهری، پرداخته خواهد شد.

۲-۲-۱- تصویربرداری با استفاده از دوربین تک‌فریمه

در این روش، تصویربرداری با یک دوربین تک‌فریمه و معمولاً به‌صورت قائم (در بعضی مواقع با زاویه تیلت نسبت به امتداد قائم) انجام می‌شود. به منظور بهبود کیفیت مدل سه‌بعدی، لازم است پارامترها و تجهیزات تصویربرداری به نحوی تنظیم گردند که ضمن تأمین پوشش یکپارچه از منطقه، نواحی پنهان کاهش یافته و نماهای ساختمان‌ها و عوارض نیز تا حد امکان به خوبی مدل‌سازی شوند.

لازم به ذکر است در صورت تصویربرداری با استفاده از دوربین‌های تک‌فریمه قائم به منظور تولید مدل سه‌بعدی شهری، به دلیل نبود تصاویر از زوایای دید مختلف، معمولاً در مناطق با بافت ساختمانی متراکم و سازه‌های مرتفع، مدل سه‌بعدی دارای نواحی پنهان زیادی بوده و نماهای ساختمانی در بخش‌های زیادی از مدل سه‌بعدی به‌طور کامل بازسازی نمی‌شوند، لذا مدل سه‌بعدی حاصله، برای کاربردهای محدودی قابل استفاده می‌باشد.

به منظور جمع‌آوری داده‌ها با این روش، لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

[22] Overdesign

- استفاده از لنزهای با زاویه دید باریک مجاز نیست.
- حداقل پوشش طولی تصاویر ۸۰ درصد باشد. ترجیحاً تصویربرداری با حداکثر پوشش طولی ممکن انجام گیرد. (با توجه به محدودیت حداقل سرعت پرنده و فاصله زمانی بین تصاویر قابل اخذ با دوربین)
- حداقل پوشش عرضی تصاویر ۷۰ درصد باشد.
- علاوه بر خطوط پروازی اصلی، ترجیحاً تصویربرداری با خطوط پروازی متقاطع نیز انجام گیرد و برنامه‌ریزی انجام عملیات تصویربرداری به‌نحوی باشد که حداقل اختلاف ساعت تصویربرداری مابین پروازهای انجام گرفته، وجود داشته باشد.
- در صورت امکان، طراحی خطوط پروازی هم‌راستا با معابر اصلی انجام گیرد.
- به‌منظور استفاده از موقعیت‌های دقیق تصاویر در پردازش داده‌ها، از صحت موقعیت تعیین شده برای مراکز تصویر (اعمال تصحیحات لازم به بردار واسط بین آنتن گیرنده تعیین موقعیت و مرکز تصویر) اطمینان حاصل گردد.

۲-۲-۲- تصویربرداری با استفاده از دوربین تک‌فریمه با قابلیت تغییر زاویه

به منظور تولید یک مدل سه‌بعدی شهری تا حد امکان کامل و با نمایش بهتر وجوه عوارض، لازم است هر نقطه از عوارض هدف شامل سطح زمین، سطوح افقی و وجوه عمودی، علاوه بر تصویربرداری به‌صورت قائم، حداقل در چهار تصویر با زوایای دید متفاوت مشاهده شود. با استفاده از یک دوربین تک‌فریمه با امکان تغییر زاویه دوربین، این امر با انجام پروازهای متعدد یا از طریق تغییر زاویه دوربین در حین یک پرواز، محقق می‌شود.

تأمین تصاویر مایل مورد نیاز برای تهیه مدل سه‌بعدی، به روش‌های زیر قابل انجام است:

- **انجام دو پرواز**

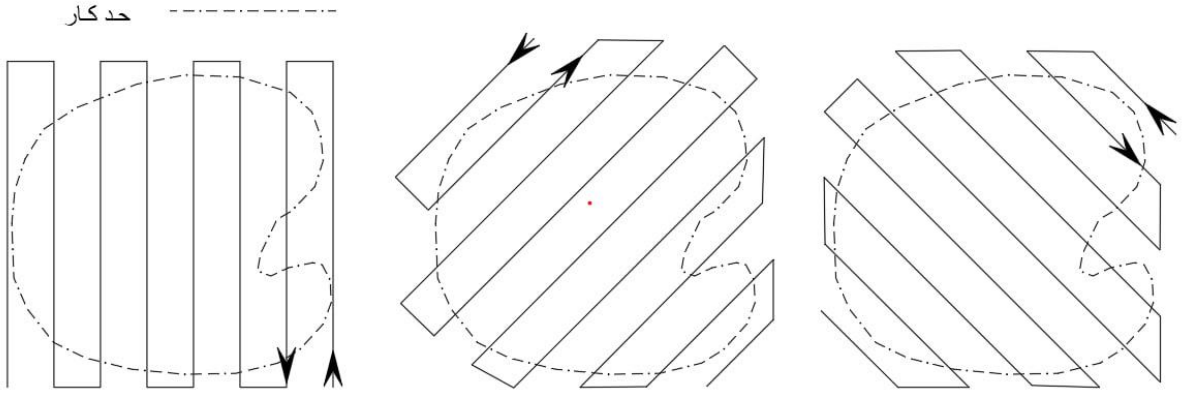
در این روش که سیستم تصویربرداری امکان اخذ یک تصویر قائم و دو تصویر مایل به سمت چپ و راست را دارا می‌باشد، انجام یک پرواز تکمیلی در جهت عمود بر پرواز اصلی الزامی است، به‌نحوی که یک مجموعه داده استاندارد[۲۳] ایجاد گردد.

[۲۳] مجموعه داده استاندارد تصویربرداری مایل هوایی، مجموعه داده‌ای است که از طریق اخذ تصاویر مایل، ایجاد شده و نمایانگر تمام بخش‌های محدوده پروژه در چهار جهت اصلی نسبت به امتداد پرواز (چپ، راست، جلو، عقب) به علاوه یک تصویر قائم می‌باشد. این مجموعه داده استاندارد ممکن است به‌وسیله یک سیستم چند فریمه معمول یا به هر روش دیگری جمع‌آوری شده باشد، به‌نحوی که یک مجموعه تصویری شامل تصاویر مایل در چهار جهت همراه با تصویر قائم مربوطه، ایجاد گردد.

- **انجام سه پرواز**

در این روش، علاوه بر پرواز اصلی که به‌صورت قائم انجام می‌گیرد، لازم است دو پرواز مایل تکمیلی که با راستای خطوط پرواز قائم، زاویه ۴۵ درجه می‌سازند (یکی به سمت چپ و یکی به سمت راست، مطابق شکل ۲) لحاظ گردد.

شکل ۳: طراحی خطوط پرواز در روش سه پروازه



- **انجام پنج پرواز**

در این روش، علاوه بر تصویربرداری قائم، چهار پرواز تکمیلی با زاویه مایل مشخص، منطبق بر راستای خطوط پرواز قائم یا عمود بر این خطوط، انجام می‌شود، به‌نحوی که یک مجموعه داده استاندارد ایجاد گردد. در صورت امکان چرخش دوربین در حین پرواز، اجرای این روش با یک پرواز واحد نیز امکان‌پذیر است.

به منظور جمع‌آوری داده با هر یک از این سه روش، لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- برای کاهش مشکلات مربوط به تغییر سایه‌ها در تصاویر، عوامل محیطی از جمله زاویه تابش خورشید، وضعیت جوی و زمان تصویربرداری، تا حد امکان برای تمامی پروازها مشابه باشد.

نکته ۱: در صورت عدم امکان رعایت این امر برای کل محدوده پروژه، می‌توان محدوده را به زون‌های کوچک‌تری تقسیم نموده و برای هر زون طراحی پرواز جداگانه‌ای انجام داد و به این طریق در محدوده‌های کوچک‌تر، مشکل مذکور را به حداقل ممکن رساند. در این حالت، باید پیوستگی هندسی زون‌ها در هنگام طراحی و پردازش داده‌ها مدنظر قرار گیرد.

- حداقل پوشش طولی تصاویر قائم ۸۰ درصد باشد.

- حداقل پوشش عرضی تصاویر قائم ۶۰ درصد باشد. در روش سه‌پروازه، پوشش عرضی حداقل ۸۰ درصد الزامی است.

نکته ۲: لازم است پوشش‌های طولی و عرضی تصاویر مایل در کلیه جهات، مشابه تصاویر قائم باشد. در صورتی که به دلایلی، در بخش‌های محدودی از پروژه، امکان رعایت این امر وجود نداشته باشد، کاهش این مقادیر، بیش از ده درصد مجاز نیست.

نکته ۳: مقادیر همپوشانی تعیین شده، حداقل قابل قبول است. در صورتی که در مرحله پیش‌طراحی، متناسب با شرایط پروژه؛ افزایش پوشش‌ها فراتر از مقادیر حداقلی مقرر، ضروری تشخیص داده شود، نتایج پیش‌طراحی اولویت خواهد داشت.

نکته ۴: چنان‌چه اختلاف فاصله کانونی دوربین‌های مورد استفاده در تصویربرداری مایل و قائم زیاد باشد (بیش از ۵۰ درصد)، به منظور اجتناب از گپ پروازی، لازم است تأثیر ناشی از این اختلاف در کاهش پوشش تصاویر مایل، مورد توجه قرار گیرد.

- ارتفاع پرواز یا فاصله کانونی دوربین به‌نحوی انتخاب شود که قدرت تفکیک مکانی در مرکز تصاویر مایل نیز، مطابق با دستورالعمل ۲-۱۱۹در محدوده مجاز قرار گیرد.
- در صورت استفاده از دوربین‌های غیرمتریک، با در نظر گرفتن زاویه دید دوربین؛ حداکثر زاویه تیلت مجاز به‌گونه‌ای انتخاب گردد که لبه میدان دید تصویر از افق عبور نکرده و تصویر حاصل فاقد تصویر آسمان باشد.
- محدوده پروازی به‌نحوی انتخاب گردد که محدوده پروژه توسط تصاویر مایل هر چهار جهت، پوشش داده شود.
- در صورتی که وسعت منطقه به اندازه‌ای باشد که امکان تکمیل فرآیند تصویربرداری در یک پرواز وجود نداشته باشد، زون‌بندی محدوده به‌نحوی انجام شود که در هر زون، محدوده پوشش مکانی پرواز قائم با پروازهای مایل کمترین اختلاف را داشته باشد.
- به‌منظور استفاده از موقعیت‌های دقیق تصاویر در پردازش داده‌ها، از صحت موقعیت تعیین شده برای مراکز تصویر (اعمال تصحیحات لازم به بردار واسط بین آنتن گیرنده تعیین موقعیت و مرکز تصویر) اطمینان حاصل گردد.

۲-۲-۳- تصویربرداری با استفاده از سیستم‌های چندفریمه

در این روش، تصویربرداری همزمان با استفاده از مجموعه چندین دوربین در جهت‌های مختلف، به منظور پوشش بهتر جزئیات ساختمان‌ها، بهبود بازسازی وجوه عمودی و کاهش نواحی پنهان در مدل سه‌بعدی انجام می‌گیرد. در طراحی سیستم‌های چندفریمه، به‌طور معمول یک دوربین قائم و چهار دوربین مایل (با زاویه تیلت در حدود ۳۰ تا ۴۵ درجه نسبت به امتداد قائم) لحاظ می‌گردد.

به منظور جمع‌آوری داده‌ها با این روش، لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- کلیه سنجنده‌های این سیستم دارای مشخصات فنی مورد نیاز، مطابق دستورالعمل‌های ۲-۱۱۹ و ۹-۱۱۹ باشند.

- درصورتی‌که سنجنده‌های مورد استفاده در این سیستم یکسان نباشند، این موضوع در طراحی پرواز مورد توجه قرار گیرد، به نحوی که GSD مورد نیاز (مطابق با نتایج پیش‌طراحی و طراحی) در خصوص تصاویر کلیه سنجنده‌ها تأمین گردد.
- موقعیت و وضعیت دوربین‌های مختلف نسبت به یکدیگر، ثابت و مشخص باشد.
- پارامترهای کالیبراسیون نسبی دوربین‌ها (اطلاعات مربوط به موقعیت و وضعیت دوربین‌ها نسبت به یکدیگر) موجود بوده و ارائه گردد، به‌نحوی که بتوان با مجموعه داده‌های موقعیت و وضعیت یک دوربین، پارامترهای موقعیت و وضعیت تمامی دوربین‌ها را محاسبه نمود.
- به‌منظور استفاده از موقعیت‌های دقیق تصاویر در پردازش داده‌ها، از صحت موقعیت تعیین شده برای مراکز تصویر (اعمال تصحیحات لازم به بردار واسط بین آنتن گیرنده تعیین موقعیت و مرکز تصویر) اطمینان حاصل گردد.
- در صورتی که تعداد تصاویر اخذ شده با سیستم چندفریمه، کمتر از ۵ تصویر از زوایای مختلف باشد، تصویربرداری تکمیلی با خطوط پرواز متقاطع انجام شود، به‌نحوی که یک مجموعه داده استاندارد ایجاد گردد. برنامه‌ریزی انجام عملیات تصویربرداری در این حالت، به‌گونه‌ای باشد که حداقل اختلاف زمان تصویربرداری مابین پروازهای انجام گرفته از منطقه، وجود داشته باشد.
- حداقل پوشش طولی تصاویر قائم ۸۰ درصد باشد.
- حداقل پوشش عرضی تصاویر قائم ۶۰ درصد باشد.

نکته ۱: در صورت استفاده از دوربین متریک، پوشش طولی تصاویر می‌تواند تا ۷۰٪ کاهش یابد.

نکته ۲: لازم است پوشش‌های طولی و عرضی تصاویر مایل در کلیه جهات، مشابه تصاویر قائم باشد. در صورتی که به دلایلی، در بخش‌های محدودی از پروژه، امکان رعایت این امر وجود نداشته باشد، کاهش این مقادیر بیش از ده درصد مجاز نیست.

نکته ۳: مقادیر همپوشانی تعیین شده، حداقل قابل قبول است. در صورتی که در مرحله پیش‌طراحی، متناسب با شرایط پروژه؛ افزایش پوشش‌ها فراتر از مقادیر حداقلی مقرر، ضروری تشخیص داده شود، نتایج پیش‌طراحی اولویت خواهد داشت.

نکته ۴: چنان‌چه اختلاف فاصله کانونی دوربین‌های مورد استفاده در تصویربرداری مایل و قائم زیاد باشد (بیش از ۵۰ درصد)، به منظور اجتناب از گپ پروازی، لازم است تأثیر ناشی از این اختلاف در کاهش پوشش تصاویر مایل مورد توجه قرار گیرد.

- در صورت استفاده از دوربین‌های غیرمتریک، با در نظر گرفتن زاویه دید دوربین؛ حداکثر زاویه تیلت مجاز به‌گونه‌ای انتخاب گردد که لبه میدان دید تصویر از افق عبور نکرده و تصویر حاصل فاقد تصویر آسمان باشد.

- ارتفاع پرواز یا فاصله کانونی دوربین‌ها به‌نحوی انتخاب شود که قدرت تفکیک مکانی در مرکز تصاویر مایل نیز، مطابق با دستورالعمل ۲-۱۱۹در محدوده مجاز قرار گیرد.
- محدوده پروازی به نحوی انتخاب گردد که محدوده پروژه توسط تصاویر مایل هر چهار جهت، پوشش داده شود.

۲-۳-جمع‌آوری داده‌های تکمیلی

جمع‌آوری داده‌های تکمیلی در کنار تصاویر هوایی، معمولاً به منظور بهبود دقت بازسازی سه‌بعدی، تکمیل مدل سه‌بعدی در نواحی پنهان (ناشی از عواملی مانند پوشش گیاهی متراکم، قرار گرفتن در فضای مرده تصاویر یا زیر بالکن‌ها وکنسول‌ها و...) یا به منظور افزایش جزئیات در مدل سه‌بعدی انجام می‌گیرد. به منظور بهبود هم مرجع‌سازی هندسی داده‌های تکمیلی و تصاویر هوایی، لازم است نقاط کنترل مشترک در نظر گرفته شود.

استفاده از این مشاهدات به منظور بهبود مدل سه‌بعدی حاصل از تصاویر هوایی، می‌تواند به چند روش انجام گیرد:

- بکارگیری داده‌های تکمیلی به‌صورت نقاط گرهی در مثلث‌بندی تصاویر هوایی، به منظور بهبود دقت داخلی شبکه
- تلفیق ابرنقاط تولید شده از داده‌های تکمیلی با ابرنقاط حاصل از تصاویر هوایی، به منظور تکمیل مدل سه‌بعدی حاصله
- تولید مدل سه‌بعدی با قدرت تفکیک مکانی بالاتر و جزئیات بیشتر از داده‌های تکمیلی (تصاویر بردکوتاه یا داده‌های اسکن لیزری) در بخش‌های مورد نیاز و تلفیق آن با مدل سه‌بعدی حاصل از تصاویر هوایی

نکته: به منظور جمع‌آوری داده‌های تکمیلی، به تناسب شرایط و نیاز پروژه؛ در صورت لزوم می‌بایست برای هر بخش از محدوده پروژه، روش اجرا و طراحی مستقلی در نظر گرفته شود.

در ادامه برخی از روش‌های متداول برای جمع‌آوری داده‌های تکمیلی و الزامات فنی مربوطه بیان می‌گردد.

۲-۳-۱- تصویربرداری بردکوتاه

استفاده از تصاویر بردکوتاه به منظور تهیه مدل سه‌بعدی در محدوده‌های کوچک شامل یک یا چند ساختمان، یا به‌عنوان داده‌های تکمیلی در تلفیق با تصاویر هوایی، به منظور بهبود مدل سه‌بعدی حاصله؛ امکان‌پذیر است.

نکته: در تصویربرداری بردکوتاه، الزامی به رعایت خطوط پروازی مستقیم نمی‌باشد.

در استفاده از تصاویر بردکوتاه، لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- اصول هندسی و محاسبات در این روش، مشابه فتوگرامتری کلاسیک بوده و صرفاً در خصوص زوایای عکسبرداری آزادی عمل بیشتری وجود دارد، لذا ارزیابی دقت نتایج حاصله، مطابق با دستورالعمل ۲-۱۱۹ انجام می‌گیرد.

- طراحی تصویربرداری بردکوتاه به‌نحوی انجام گیرد که نسبت GSD تصاویر موجود در یک خط پروازی، همچنین نسبت GSD تصاویر موجود در خطوط پروازی مجاور، بیش از دو نباشد.
- به منظور امکان پردازش یکپارچه داده‌های بردکوتاه و تصاویر هوایی و اطمینان از دقت هم‌مرجع نمودن این داده‌ها، شرط GSD ذکر شده در بند قبل، بین تصاویر هوایی و برد کوتاه نیز رعایت گردد و برای این منظور، در صورت نیاز تصویربرداری با GSD واسط انجام شود.
- به‌منظور استفاده از موقعیت‌های دقیق تصاویر در پردازش داده‌ها، از صحت موقعیت تعیین شده برای مراکز تصویر (اعمال تصحیحات لازم به بردار واسط بین آنتن گیرنده تعیین موقعیت و مرکز تصویر) اطمینان حاصل گردد.
- تصویربرداری به‌نحوی برنامه‌ریزی گردد که هر نقطه از سوژه حداقل در ۴ تصویر از زوایای مختلف دیده شود.
- در طراحی تصویربرداری بردکوتاه، توجه شود که حداقل تعداد تصاویر دارای ساختار مشابه (از نظر فاصله کانونی، فاصله تا شیء و...)، به‌نحوی انتخاب گردد که محاسبه پارامترهای کالیبراسیون دوربین برای آن‌ها امکان‌پذیر باشد (حداقل ۱۵ تصویر).
- پوشش بین تصاویر مجاور، حداقل ۸۰ درصد باشد.
- در صورتی که مسیر تصویربرداری دارای انحناء باشد، زاویه بین تصاویر مجاور بیش از ۱۵ درجه نباشد.

۲-۳-۲- جمع‌آوری داده‌های اسکن لیزری

به منظور استفاده از داده‌های اسکن لیزری به‌عنوان داده‌های تکمیلی برای بهبود مدل‌های سه‌بعدی شهری حاصل از تصاویر هوایی، فارغ از روش مورد استفاده برای جمع‌آوری این داده‌ها، لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- هنگام جمع‌آوری داده‌ها، محدوده مورد نظر پروژه به‌طور دقیق مشخص شده و حاشیه امن مناسب به منظور پوشش کامل منطقه در نظر گرفته شود.
- به منظور بهبود برد اسکنر لیزری و کاهش نویز در مشاهدات، جمع‌آوری داده‌ها در شرایط جوی مناسب (هوای صاف بدون مه، دود یا بارندگی و سطح زمین فاقد برف یا آب گرفتگی) انجام گیرد.
- در جمع‌آوری داده‌های لیدار هوایی، میان خطوط پرواز حداقل ۵۰ درصد همپوشانی وجود داشته باشد.
- به منظور نمایش بهتر نماهای جانبی عوارض، در صورت امکان و تا جایی که حفظ تراکم نقاط مورد نظر اجازه می‌دهد، زاویه دید[۲۴] سنجنده لیدار هوایی افزایش یابد.

[24] FOV

- سیستم لیدار پس از نصب در پرنده و در طول پروژه، حداقل یک بار کالیبره شود. کالیبراسیون باید شامل پرواز بر روی مناطق مسطح و شیب‌دار و بدون پوشش گیاهی باشد. ثبت و ارائه گزارش کالیبراسیون الزامی است.

- داده‌های اسکن لیزری شامل مختصات سه‌بعدی (X,Y,Z) و شدت بازتاب[۲۵] باشند.

نکته ۱: در خصوص داده‌های اسکنرهای لیزری موبایل، وجود زمان GPS، شماره بازتاب و زاویه اسکن، نیز الزامی است.

- در خصوص اسکنرهای لیزری زمینی موبایل، علاوه بر گیرنده GNSS و IMU دقیق، وجود طول‌یاب نیز ضروری است.
- پوشش کامل مناطق مورد نظر، قبل از پایان عملیات اسکن لیزری کنترل گردد.. صرف‌نظر از مناطقی که به دلیل جنس عارضه، پالس لیزر دارای بازتاب مناسب نمی‌باشد (مانند آب، شیشه و...)، حداقل ۹۵ درصد مساحت محدوده‌های مورد نظر بایستی فاقد گپ باشد.

نکته ۲: به منظور کاهش نواحی پنهان ناشی از موانع متحرک، عملیات اسکن لیزری تا حد امکان در بازه‌های زمانی با حداقل تردد موانع متحرک، انجام شود. در صورت رعایت این موضوع، تجاوز از حد آستانه تعیین شده در بند فوق، به شرط توافق با کارفرمای پروژه مجاز است.

- ابرنقاط اسکن لیزری دارای توزیع مکانی و تراکم یکنواخت باشد.
- تراکم ابرنقاط اسکن لیزری در مناطق موردنظر برای تکمیل مدل سه‌بعدی، به‌گونه‌ای باشد که فاصله متوسط نقاط، بیش از نصف دقت هندسی مدل سه‌بعدی نباشد.

به منظور دریافت نکات فنی بیشتر در خصوص نحوه جمع‌آوری داده‌های اسکن لیزری، به پیوست ۶ این دستورالعمل رجوع گردد.

[25] Intensity

فصل سوم

عملیات نقشه‌برداری زمینی

عملیات نقشه‌برداری زمینی، یک مرحله مهم و ضروری در فرآیند تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری و مرجع اصلی کنترل و تضمین دقت مطلق مدل سه‌بعدی شهری بوده و نتایج آن، مبنای ارزیابی دقت نهایی محصول قرار می‌گیرد. در انجام مراحل مختلف عملیات نقشه‌برداری زمینی شامل ایجاد و اندازه‌گیری شبکه ایستگاه‌های ماندگار، طراحی و اندازه‌گیری نقاط کنترل و چک زمینی و ارائه گزارش و مستندات فنی مورد نیاز، کلیه الزامات ذکر شده در دستورالعمل تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس به روش نقشه‌برداری زمینی و دستورالعمل‌های ۲-۱۱۹ و ۹-۱۱۹، به قوت خود باقی است.

۳-۱-ایجاد شبکه ایستگاه‌های ماندگار

ایجاد شبکه ایستگاه‌های ماندگار، برای انتقال مختصات از ایستگاه‌های مبنایی مسطحاتی و ارتفاعی در محدوده تهیه نقشه و اطلاعات مکانی همچنین به منظور بهره‌گیری از اطلاعات مکانی تهیه شده، در پیاده‌سازی طرح‌ها و پروژه‌های عمرانی انجام می‌گیرد.

شبکه ایستگاه‌های ماندگار، نقش اساسی در فرآیند تهیه نقشه و اطلاعات مکانی از یک منطقه دارد و ایجاد آن، به منظور تهیه مدل‌های سه‌بعدی شهری نیز الزامی است. موقعیت این ایستگاه‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که کل محدوده پروژه را به خوبی پوشش دهند.

در خصوص نحوه ایجاد شبکه ایستگاه‌های ماندگار و الزامات فنی مربوطه، به دستورالعمل تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس به روش نقشه‌برداری زمینی، مراجعه گردد.

۳-۲-جمع‌آوری نقاط کنترل و چک زمینی

نقاط کنترل زمینی به منظور بهبود صحت زمین مرجع نمودن داده‌ها (اعم از تصاویر یا داده‌های اسکن لیزری) همچنین هم‌مرجع‌سازی داده‌های جمع‌آوری شده به روش‌های مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند. تعداد نقاط کنترل زمینی مورد نیاز در پروژه‌های تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری، با توجه به حد کار مورد نظر پروژه، نوع دوربین مورد استفاده (از نظر متریک یا غیرمتریک بودن) و در دسترس بودن مختصات دقیق مراکز تصویر و وضعیت تقریبی آن‌ها در لحظه تصویربرداری، تعیین می‌گردد. لازم به ذکر است توزیع نقاط کنترل به‌ویژه در مناطق با تغییرات ارتفاعی قابل توجه، باید به‌گونه‌ای باشد که دقت ارتفاعی مدل سه‌بعدی نیز تضمین گردد.

برای آگاهی از الزامات فنی در خصوص نحوه طراحی و اخذ نقاط کنترل زمینی، به دستورالعمل‌های ۲-۱۱۹ و ۹-۱۱۹ مراجعه گردد.

انتخاب نقاط چک زمینی به تعداد و پراکندگی مناسب، به منظور اطمینان از دقت انجام مثلث‌بندی هوایی، ارزیابی دقت داده‌های اسکن لیزری و در نهایت ارزیابی دقت هندسی مدل سه‌بعدی تولید شده، الزامی است. نقاط چک مستقل صرفاً برای ارزیابی دقت نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند و نباید در فرآیند تولید دخالت داده شوند. در طراحی و اندازه‌گیری نقاط چک لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- نقاط چک با پراکندگی مناسب و پوشش کل منطقه انتخاب شوند.
- نقاط چک با فاصله مناسب از نقاط کنترل و مابین این نقاط انتخاب شوند.
- حداقل به تعداد یک سوم نقاط کنترل زمینی پروژه، نقاط چک مستقل و مجزا از نقاط کنترل اخذ گردد. تعداد نقاط چک حتی در مناطق با وسعت کم، نباید از ۴ نقطه کمتر باشد.
- بهتر است نقاط چک به‌صورت نشانه (تارگت)، پیش از عملیات جمع‌آوری داده‌ها در منطقه ایجاد گردند.

تارگت‌های نقطه‌ای، ترجیحاً متقارن (به‌صورت شطرنجی یا دایره‌ای) و با ترکیب دو رنگ متضاد بوده همچنین کنتراست بالایی با زمینه داشته باشند. اندازه تارگت‌ها باید ضریبی از GSD تصاویر (بین ۱۰ تا ۲۰ برابر GSD) باشد به نحوی که بر روی تصاویر به خوبی قابل تشخیص باشند، همچنین مرکز تارگت با یک علامت ضربدر با دقت حداقل یک‌دهم GSD مشخص باشد.

- در صورت بکارگیری عوارض طبیعی یا مصنوعی به عنوان نقطه چک، از عوارضی استفاده شود که امکان شناسایی و تشخیص عارضه روی مدل سه‌بعدی، با دقتی بهتر از GSD تصاویر وجود داشته باشد.

نکته: در صورت استفاده از داده‌های اسکن لیزری نیز رعایت الزامات فوق برای جمع‌آوری نقاط چک، ضروری است.

۳-۳-جمع‌آوری داده‌های کمکی

منظور از داده کمکی در این بخش، طول یا اسکیل‌بار است. طول‌ها باید به صورت مستقیم (متر دستی، متر لیزری، دوربین توتال استیشن) اندازه‌گیری شوند، همچنین انتخاب اسکیل‌بارها باید به‌نحوی باشد که در مرحله اندازه‌گیری زمینی همچنین شناسایی بر روی تصاویر مربوطه، به آسانی و وضوح قابل تشخیص باشند.

بکارگیری طول‌های کمکی به دو منظور زیر مجاز است:

- برای بهبود نتایج محاسبات مثلث‌بندی هوایی و مدل‌سازی سه‌بعدی
- برای ارزیابی دقت هندسی مدل سه‌بعدی تولید شده

باید توجه داشت برای استفاده از این داده‌های کمکی، ارائه مستندات فنی کافی شامل روش اندازه‌گیری، ابزارهای مورد استفاده و دقت اندازه‌گیری داده‌ها، الزامی است.

پس از بهره‌گیری از داده‌های کمکی در فرآیند محاسبات مثلث‌بندی یا مدل‌سازی سه‌بعدی، نتایج محاسبات و آزمون‌های آماری می‌تواند ملاکی برای تأیید یا رد مستندات فنی ارائه شده در خصوص دقت این داده‌ها باشد. چنان‌چه پس از بررسی نتایج محاسبات مشخص شود که خطاهای باقیمانده روی اسکیل‌بارهای مورد استفاده، با مقادیر دقت معرفی شده برای آنها همخوانی نداشته و از حد آستانه قابل قبول فراتر رفته است، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این داده‌های کمکی موجب بهبود فرآیند مثلث‌بندی و تولید مدل سه‌بعدی نگردیده است لذا بکارگیری آن‌ها، به دلیل احتمال ایجاد اعوجاج در داده‌های اصلی، مجاز نمی‌باشد.

فصل چهارم

پردازش داده‌ها و تولید مدل سه‌بعدی

چگونگی پردازش داده‌های جمع‌آوری شده برای تولید مدل سه‌بعدی شهری، تأثیر بسزایی روی کیفیت محصول نهایی دارد. این فرآیند شامل دو مرحله پیش‌پردازش و پردازش داده‌ها می‌باشد.

۴-۱-پیش‌پردازش داده‌ها

قبل از شروع به پردازش داده‌ها برای تولید مدل سه‌بعدی شهری، انجام مرحله پیش‌پردازش، به منظور کنترل کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده و حصول اطمینان از مطابقت داده‌ها با پیش‌طراحی و طراحی صورت گرفته، الزامی است. بدیهی است در صورت عدم مطابقت، انجام اقدامات مورد نیاز به منظور دستیابی به کیفیت و دقت هندسی مورد نظر پروژه، ضروری می‌باشد.

در مرحله پیش‌پردازش داده‌ها، علاوه بر رعایت کلیه الزامات مورد اشاره در دستورالعمل‌های ۲-۱۱۹ و ۹-۱۱۹، لازم است مراحل زیر انجام گیرد:

- کنترل پوشش کامل منطقه با مجموع داده‌های جمع‌آوری شده، مطابق با طراحی انجام گرفته.
- کنترل مطابقت مبنای مسطحاتی و ارتفاعی و سیستم تصویر کلیه داده‌های جمع‌آوری شده.
- ارزیابی قدرت تفکیک مکانی (GRD) تصاویر با استفاده از تصاویر حاوی تارگت زیمنس مطابق با دستورالعمل ۹-۱۱۹.

نکته: ضروری است ارزیابی قدرت تفکیک مکانی تصاویر، در مرکز تصاویر قائم و مایل انجام گرفته و گزارش‌های مربوطه مطابق دستورالعمل ۹-۱۱۹ ارائه شود.

- ارزیابی دقت مختصات نقاط کنترل و چک زمینی با توجه به دقت مورد نیاز پروژه و مناسب بودن پوشش نقاط کنترل و چک در سطح منطقه مطابق با طراحی انجام گرفته.
- ارزیابی نحوه تعیین پارامترهای موقعیت و وضعیت تصاویر شامل روش تعیین موقعیت، دقت تعیین موقعیت، دقت تعیین وضعیت و تعداد تصاویر فاقد پارامترهای موقعیت و وضعیت.
- ارزیابی پوشش‌های طولی و عرضی تصاویر، به منظور شناسایی وجود گپ بین نوارهای تصویربرداری یا فریم‌های از دست رفته.
- ارزیابی کیفی تصاویر اخذ شده از نظر میزان کشیدگی تصویر، کیفیت رادیومتریک، میزان تصاویر پوشیده با ابر، برف و... و در صورت نیاز کاهش نویز و بهبود کیفیت بصری تصاویر.
- اعمال تصحیحات جوی و کرویت بر روی تصاویر، در صورت تصویربرداری در ارتفاع بالا با هواپیمای سرنشین‌دار.
- پیش‌پردازش و ارزیابی کیفی داده‌های حاصل از اسکن لیزری شامل انجام موارد زیر:

- بررسی پوشش کامل محدوده مورد نظر و عدم وجود گپ در داده‌ها.
- بررسی دقت تعیین پارامترهای موقعیت و وضعیت اسکنر لیزری.
- حذف بخش‌های غیرضروری خطوط پرواز مانند چرخش‌های مسیر، خطوط ترانزیت و سایر مانورهای هوایی که برای پوشش منطقه مورد نیاز نیستند.
- پردازش داده‌های خام مسیر و برآورد بهترین تخمین هموار از مسیر حرکت اسکنر لیزری.
- تولید ابرنقاط کالیبره نشده و طبقه‌بندی نشده با استفاده از مسیر حرکت تخمین زده شده برای سنجنده و داده‌های خام لیدار.
- بررسی پوشش بین نوارهای پرواز.
- بررسی تطابق ابرنقاط در همپوشانی خطوط یک پرواز همچنین بین پروازهای مختلف.
- بررسی توزیع و تراکم ابرنقاط.
- بررسی وجود بازتاب‌های غیرمعمول یا ناهنجاری در داده‌ها.
- حذف نقاط نامعتبر (پرت) و عوارض غیرضروری (به‌عنوان مثال شاخ و برگ درختان، وسایل نقلیه متحرک و...).
- فیلتر کردن نویزهای موجود در ابرنقاط.

۴-۲-پردازش داده‌ها

پس از انجام مرحله پیش‌پردازش داده‌ها و اطمینان از کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده، پردازش این داده‌ها به منظور تولید مدل سه‌بعدی با ساختار مورد نظر، صورت می‌گیرد. پردازش داده‌ها شامل مراحلی چون مثلث‌بندی تصاویر جمع-آوری شده اعم از تصاویر هوایی و بردکوتاه، تولید ابر نقاط از تصاویر، پردازش داده‌های اسکن لیزری و در نهایت تولید مدل سه‌بعدی با ساختار مورد نظر می‌باشد که در ادامه به الزامات فنی مربوط به هر یک از این مراحل خواهیم پرداخت.

۴-۲-۱- مثلث‌بندی تصاویر

انجام عملیات مثلث‌بندی تصاویر مایل و قائم اخذ شده، به دو روش قابل انجام است:

۱- مثلث‌بندی و تعیین پارامترهای توجیه داخلی و خارجی تصاویر قائم و مایل به صورت هم‌زمان در یک مرحله.

۲- انجام عملیات مثلث‌بندی در دو مرحله:

- مرحله اول: مثلث‌بندی و تعیین پارامترهای توجیه داخلی و خارجی تصاویر قائم.

- مرحله دوم: مثلث‌بندی تصاویر مایل و قائم به صورت توأمان با اتکا به نتایج مرحله اول، از طریق ثابت نگهداشتن پارامترهای توجیه داخلی و خارجی تصاویر قائم (بدست آمده از مرحله اول) و برقراری اتصال بین تصاویر قائم و مایل با استفاده از نقاط کنترل و نقاط گرهی.

استفاده از روش دو مرحله‌ای در شرایطی که تعیین موقعیت مراکز تصاویر قائم در زمان پرواز، به‌صورت دقیق انجام شده اما مختصات مراکز تصاویر مایل دارای دقت مناسب نمی‌باشد، توصیه می‌شود.

نکته: در استفاده از روش مثلث‌بندی دو مرحله‌ای، قبل از پردازش هم‌زمان تصاویر قائم و مایل، لازم است نتایج مثلث‌بندی تصاویر قائم در مرحله اول، ارزیابی شده و تأمین کننده دقت مورد نظر پروژه باشد.

برای انجام مثلث‌بندی تصاویر مایل و قائم و ارزیابی نتایج، علاوه بر الزامات قید شده در خصوص تصاویر قائم در دستورالعمل‌های ۲-۱۱۹ و ۹-۱۱۹، لازم است ملاحظات زیر نیز در نظر گرفته شود:

- در صورت نیاز، کل منطقه به چند بلوک محاسباتی تقسیم شود و به منظور اتصال بلوک‌های محاسباتی، رن‌های پروازی و نقاط کنترل مشترک در نظر گرفته شده و نقاط مشترک گرهی نیز اندازه‌گیری گردد.
- در خصوص سیستم‌های چندفریمه (مولتی‌هد)، ضروری است مستندات کافی در مورد دقت پارامترهای موقعیت و وضعیت اندازه‌گیری شده در زمان پرواز، برای کلیه دوربین‌ها ارائه شود.
- نقاط گرهی روی تصاویر قائم و مایل، از طریق حذف نقاط اشتباه، نقاط ضعیف با باقیمانده‌های تصویری بالا و نقاط گرهی که در کمتر از دو تصویر اندازه‌گیری شده‌اند، پالایش شوند.
- در نواحی با نقاط گرهی کم، نقاط گرهی دستی با فواصل مناسب، در تصاویر مربوطه اندازه‌گیری شود.
- در صورت استفاده از تصاویر برد کوتاه، وجود نقاط کنترل و گرهی مشترک بین این تصاویر و تصاویر هوایی قائم و مایل، به منظور امکان اتصال تصاویر و ارزیابی انطباق مختصات هر دو گروه داده (با توجه به دقت مورد نیاز پروژه) ضروری است.
- به منظور انجام مثلث‌بندی هم‌زمان تصاویر برد کوتاه و تصاویر هوایی، توصیه می‌گردد ابتدا تصاویر برد کوتاه به صورت مستقل مثلث‌بندی شوند و سپس، پارامترهای توجیه داخلی و خارجی بدست آمده، به عنوان مقادیر اولیه در مرحله بعد (مثلث‌بندی هم‌زمان تصاویر هوایی و برد کوتاه) استفاده گردد.

۴-۲-۲- تولید ابرنقاط از تصاویر

ابرنقاط با استفاده از سطوح مختلف هرم تصاویر، قابل تولید است. تراکم و فواصل نقاط همچنین دقت ابرنقاط، متأثر از وضوح هندسی و کیفیت تصاویر اخذ شده، پوشش‌های طولی و عرضی، مشخصات دوربین، روش پردازش و تناظریابی و دقت تعیین پارامترهای توجیه داخلی و خارجی تصاویر می‌باشد.

در تولید ابرنقاط از تصاویر، می‌بایست الزامات زیر رعایت گردد:

- در زمان تولید ابرنقاط، انتخاب فاصله نقاط کمتر از GSD تصاویر یا بیشتر از نصف دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی، مجاز نمی‌باشد.
- فیلترهای مورد نیاز به منظور حذف نقاط نامعتبر (پرت)[۲۶] و کاهش نویز اتفاقی، بر روی ابرنقاط اعمال شود.
- نویز باقیمانده در ابرنقاط[۲۷]، بیش از یک سوم دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی نباشد.
- در ابرنقاط تولید شده، تراکم پایین نقاط (فاصله نقاط بیش از دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی)، حداکثر در ۵ درصد سطح عوارض هدف قابل قبول است.
- ابرنقاط تولید شده، دارای رنگی متناسب با رنگ نقاط ثبت شده در تصاویر باشد.
- دقت مسطحاتی و ارتفاعی ابرنقاط بر روی عوارض مشخص و قابل شناسایی روی ابرنقاط، متناسب با دقت مسطحاتی و ارتفاعی مدل سه‌بعدی مورد نظر باشد (نحوه ارزیابی دقت هندسی ابرنقاط، مطابق با دستورالعمل ۲-۱۱۹ است).
- ابرنقاط به صورت متنی یا باینری، به فرمت TXT یا فرمت LAS، حاوی رنگ نقاط استخراج شده از تصاویر و با سه رقم اعشار ذخیره و ارائه گردد. در ذخیره‌سازی ابرنقاط، استفاده از روش‌های فشرده‌سازی غیراتلافی مجاز می‌باشد.

۴-۲-۳- پردازش داده‌های اسکن لیزری

پس از جمع‌آوری داده‌های اسکن لیزری مطابق با الزامات قید شده در بخش ۲-۳-۲ و انجام مراحل پیش‌پردازش داده‌ها، یک مرحله مهم به منظور دستیابی به ابرنقاط با کیفیت و دقت مورد انتظار، پردازش این داده‌ها می‌باشد. در این فرآیند، کالیبراسیون نهایی ابرنقاط با استفاده از نقاط کنترل زمینی و نقاط گرهی، به منظور به حداقل رساندن خطاهای باقیمانده در ابرنقاط متناسب با دقت مورد نیاز پروژه؛ صورت می‌گیرد..

در هنگام پردازش داده‌های اسکن لیزری به منظور تولید ابرنقاط قابل استفاده در ایجاد مدل‌های سه‌بعدی شهری، لازم است موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

---

[26] Blunder

[۲۷] منظور از نویز ابرنقاط، ضخامت ابر نقاط روی سطوح صاف می‌باشد.

- ضروری است سیستم مختصات و مبنای مسطحاتی و ارتفاعی ابرنقاط اسکن لیزری و تصاویر یکسان باشد. به منظور هماهنگی فعالیت‌های مرتبط با نقشه‌برداری و حفظ یکپارچگی آنها در سطح کشور، ابرنقاط سه‌بعدی در چارچوب آخرین مرجع مختصات ملی، تهیه و ارائه گردد. در حال حاضر مرجع مختصات ملی، شامل سطح مبنای مسطحاتی ملی (Iranian Geodetic Datum) تحت عنوان IRGD2010، سیستم تصویر جهانی UTM و سیستم ارتفاعی ارتومتریک IRHS2014 می‌باشد.
- پردازش داده‌های اسکنر لیزری زمینی، با در نظر گرفتن تعداد کافی نقاط کنترل و چک مشترک، به منظور اتصال ابرنقاط حاصل از استقرارهای مختلف اسکنر و ابرنقاط تولید شده از تصاویر، همچنین ارزیابی انطباق مختصات هر دو گروه داده (با توجه به دقت مورد نیاز پروژه) انجام گیرد. با توجه به استفاده از سیستم تصویر UTM، ضریب مقیاس در پردازش ابرنقاط اسکنر لیزری زمینی اعمال گردد.
- پردازش داده‌های اسکنر لیزری هوایی، با در نظر گرفتن تعداد کافی نقاط کنترل و چک مشترک، به منظور امکان اتصال ابرنقاط حاصل از اسکنر لیزری و ابرنقاط تولید شده از تصاویر، همچنین ارزیابی انطباق مختصات هر دو گروه داده (با توجه به دقت مورد نیاز پروژه) انجام گیرد.
- میزان نویز باقیمانده در ابرنقاط اسکن لیزری، بیش از یک سوم دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی نباشد.
- دقت ابرنقاط اسکن لیزری متناسب با دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی نهایی باشد (نحوه ارزیابی دقت هندسی ابرنقاط، مطابق با دستورالعمل ۲-۱۱۹ است). به منظور بررسی دقت ابرنقاط، از مختصات اندازه‌گیری شده عوارض قابل تشخیص بر روی ابرنقاط یا تارگت‌هایی که به عنوان نقطه چک به تعداد و توزیع مناسب در منطقه قرار داده شده‌اند، استفاده گردد.
- عدم تطابق ارتفاعی در همپوشانی خطوط اسکن مجاور، از نصف دقت ارتفاعی مورد نظر پروژه تجاوز نکند.
- در خصوص مجموعه داده‌های بسیار بزرگ، ابرنقاط کالیبره شده نهایی، بخش‌بندی[۲۸] گردد.
- ابرنقاط با فرمت LAS یا LAZ، اندکس بخش‌بندی داده‌ها و داده‌های GNSS/IMU همراه با دقت مربوطه، ارائه شود.
- گزارش فنی شامل فهرست ایستگاه‌های نقشه‌برداری ایجاد شده در منطقه، مشخصات فنی و دقت اسمی تجهیزات مورد استفاده (اسکنر، سنسورهای GNSS/IMU و سایر تجهیزات مرتبط)، نقشه موقعیت‌های استقرار یا مسیر حرکت اسکنر لیزری، روش‌های پردازش، نتایج پردازش ابرنقاط و سرشکنی انجام گرفته و نتایج ارزیابی کیفی ابرنقاط، تهیه و ارائه شود.

[28] Tiling

نکته: در صورت وجود اختلاف زمانی بین داده‌های لیزر جمع‌آوری شده و تصاویر هوایی، تغییرات عوارض ناشی از اختلاف زمانی، شناسایی شده و در بخش تغییر یافته، صرفاً از داده‌های به‌روز استفاده گردد.

به منظور دریافت نکات فنی بیشتر در خصوص پردازش داده‌های اسکن لیزری، به پیوست ۶ این دستورالعمل رجوع گردد.

۴-۲-۴- تولید مدل سه‌بعدی

استفاده از روش‌های مناسب به منظور مدل‌سازی سه‌بعدی داده‌های جمع‌آوری شده و رعایت الزامات و نکات فنی مورد نیاز در این خصوص، تأثیر به‌سزایی در تولید مدل سه‌بعدی با دقت هندسی و کیفیت قابل قبول و مطابق با نیاز پروژه خواهد داشت.

در ادامه الزامات فنی مورد نیاز در مرحله مدل‌سازی سه‌بعدی داده‌ها، برای دو نوع ساختار متداول مدل سه‌بعدی، مدل مش سه‌بعدی و مدل برداری سه‌بعدی؛ آورده شده است.

۴-۲-۴-۱- تولید مدل مش سه‌بعدی

پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای تولید مدل مش سه‌بعدی شامل تصاویر یا ابرنقاط اسکن لیزری (با مشخصات اعلام شده در فصل ۲)، همچنین انجام مراحل پیش‌پردازش و پردازش‌های اولیه بر روی داده‌ها مطابق بخش‌های قبلی (۱-۴، ۴-۲-۱-۱، ۴-۲-۲-۲، ۴-۲-۳-۳)، در ادامه، به منظور تولید مدل مش سه‌بعدی، مراحل کلی کار به شرح زیر است:

- تولید ابرنقطه یا تولید نقشه عمق[۲۹] از تصاویر
- ویرایش داده‌ها، در صورت نیاز
- تولید رویه
- ویرایش رویه، در صورت نیاز
- اعمال بافت برگرفته از تصاویر بر رویه، در صورت نیاز پروژه
- تهیه خروجی از مدل سه‌بعدی، با فرمت مورد نظر

صرف‌نظر از روش مورد استفاده، در تولید مدل مش سه‌بعدی لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- به منظور هماهنگی فعالیت‌های مرتبط با نقشه‌برداری و حفظ یکپارچگی آنها در سطح کشور، مدل‌های سه‌بعدی شهری می‌بایست در چارچوب آخرین مرجع مختصات ملی، تهیه و ارائه گردد. در حال حاضر، مرجع مختصات ملی

[29] Depth Map

شامل سطح مبنای مسطحاتی ملی (Iranian Geodetic Datum) تحت عنوان IRGD2010، سیستم تصویر جهانی UTM و سیستم ارتفاعی ارتومتریک IRHS2014 می‌باشد.

- تغییر تراکم ابرنقاط مورد استفاده در تولید مدل، با رعایت شرط حفظ جزئیات موردنیاز در مدل‌سازی و در صورتی‌که فاصله نقاط، از نصف دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی بیشتر نباشد، مجاز است.
- حد تفکیک مکانی نقشه عمق مورد استفاده، از نصف دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی بیشتر نباشد.
- اعوجاج در مدل‌سازی، ناشی از ضخامت کم عوارض، تغییر در هندسه عوارض به شکل میخ‌شدگی و شکستگی و...، نباید بیش از دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد.
- در مدل سه‌بعدی بافت‌دار، بافت تصویری با دقت و بدون اعوجاج بر روی کلیه سطوح هندسی مدل نگاشت شده باشد، به نحوی که حداکثر اعوجاج در تطابق بافت با سطح مدل، بیش از نصف دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی نباشد.
- بافت تصویری مدل سه‌بعدی، دارای قدرت تفکیک مکانی متناسب با دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد، به نحوی که حد تفکیک مکانی بافت بیشتر از نصف دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی نباشد.
- بافت تصویری مدل سه‌بعدی، دارای کیفیت رادیومتریکی مناسب باشد (از نظر یکنواختی روشنایی و رنگ، تفاوت سایه‌ها و...).
- پس از تولید مدل مش نهایی، خروجی مناسب با یکی از فرمت‌های متداول قابل ویرایش مانند OBJ، FBX، PLY و صرفاً نمایشی مانند 3SM، SLPK، Cesium 3D Tiles، تهیه گردد.

نکته: فرمت پیش‌فرض این دستورالعمل در بخش تولید خروجی مدل مش سه‌بعدی، OBJ و Cesium 3D Tiles است. چنان‌چه کارفرما به فرمت دیگری نیاز دارد، می‌بایست در ابتدای پروژه مراتب را اعلام نماید.

- در ویرایش مدل مش سه‌بعدی تولید شده، لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- در صورتی که عارضه خاصی که به خوبی مدل‌سازی نشده، مورد نیاز پروژه نباشد (مانند وسایل نقلیه متحرک، کابل برق هوایی، لامپ روشنایی، عوارض معلق و...)، حذف آن از مدل سه‌بعدی تا جایی که دقت هندسی عوارض هدف پروژه تحت تأثیر قرار نگیرد، بلامانع است.
- قید مسطح بودن سطوح به‌منظور هموارسازی سطوح یا سقف ساختمان‌ها و سازه‌ها، در صورتی که که بیش از نصف دقت هندسی مدل سه‌بعدی جابجایی ایجاد نکند، بلامانع است.

- افزایش وضوح[۳۰] لبه‌های عوارض از طریق اعمال فیلترهای متفاوت تقویت لبه در پردازش تصاویر یا تغییر در ابعاد پنجره فیلترها، در صورتی که بیش از نصف دقت هندسی مدل سه‌بعدی جابجایی ایجاد نکند؛ بلامانع است.
- پر کردن گپ یا حفره‌های موجود در مدل سه‌بعدی (ناشی از عواملی مانند محدودیت در اخذ تصاویر با پوشش کافی و زوایای مناسب از منطقه، سایه‌ها، وجود عوارض براق و بازتابی، حذف عوارض غیرضروری و...)، صرفاً در صورتی که دارای ابعاد کمتر از ۳ برابر دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشند؛ مجاز است.

۴-۲-۴-۲- تولید مدل برداری سه‌بعدی

پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای تولید مدل برداری سه‌بعدی، که می‌تواند شامل داده‌های برداری موجود، تصاویر هوایی یا زمینی و ابرنقاط اسکن لیزری (با مشخصات اعلام شده در فصل ۲) باشد؛ همچنین انجام مراحل پیش-پردازش و پردازش‌های اولیه بر روی داده‌ها مطابق بخش‌های قبلی (۴-۱، ۴-۲-۱، ۴-۲-۲، ۴-۲-۳)، در ادامه، به منظور تولید مدل برداری سه‌بعدی، مراحل کلی کار به شرح زیر است:

- استخراج رئوس مدل از داده‌های جمع‌آوری شده، به منظور مشخص نمودن هندسه کلی و جزئیات عوارض مورد نظر (مانند وجوه ساختمان، سقف، پنجره و...).

نکته ۱: با توجه به دقت مورد انتظار، رئوس مدل می‌تواند به طریق برجسته‌بینی، یا از ابرنقاط یا مدل مش استخراج گردد.

- ویرایش المان‌های برداری مورد استفاده برای تولید مدل، در صورت نیاز
- تولید المان‌های سه‌بعدی سطحی یا حجمی، متناسب با ساختار داده مورد نظر
- افزودن بافت برگرفته از تصاویر به مدل سه‌بعدی، در صورت نیاز پروژه
- تهیه خروجی مناسب از مدل سه‌بعدی برداری با یکی از فرمت‌های متداول مانند OBJ و FBX

صرف‌نظر از روش مدل‌سازی و نرم‌افزار مورد استفاده، در تولید مدل برداری سه‌بعدی، لازم است ملاحظات زیر در نظر گرفته شود:

- ضروری است مدل برداری سه‌بعدی دارای سیستم مختصات و مبنای مسطحاتی و ارتفاعی باشد. به منظور هماهنگی فعالیت‌های مرتبط با نقشه‌برداری و حفظ یکپارچگی آنها در سطح کشور، مدل‌های سه‌بعدی شهری در چارچوب آخرین مرجع مختصات ملی، تهیه و ارائه گردند. در حال حاضر، مرجع مختصات ملی شامل سطح مبنای مسطحاتی

[30] Sharpening

ملی (Iranian Geodetic Datum) تحت عنوان IRGD2010، سیستم تصویر جهانی UTM و سیستم ارتفاعی ارتومتریک IRHS2014 می‌باشد.

- استخراج رئوس عوارض از داده‌های جمع‌آوری شده، متناسب با مدل داده مکانی و سطح جزئیات (LOD) مورد نظر انجام گیرد به نحوی که اطلاعات هندسی حاصله (بام و وجوه عوارض)، با توجه به سطح جزئیات مورد نیاز کامل باشد.
- دقت هندسی استخراج رئوس عوارض از نظر مسطحاتی و ارتفاعی، متناسب با دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد.
- به منظور بهینه بودن حجم مدل همچنین عدم وجود تضاریس اضافی، در ترسیم هر موجودیت[۳۱]، از حداقل تعداد رئوس که تأمین کننده دقت هندسی مدل سه‌بعدی باشد، استفاده گردد.
- در هر کلاس عارضه، تمامی موجودیت‌ها به‌صورت یکتا و بدون همپوشانی یا ادغام با یکدیگر نمایش داده شوند، به‌طوری‌که هر عارضه، بر اساس مدل داده و سطح جزئیات موردنظر پروژه؛ قابل شناسایی و تفکیک باشد.
- کلیه عوارض موجود در یک لایه، دارای ساختار داده یکسان باشند.
- موجودیت‌های ایجاد شده، فاقد تداخل یا شکاف[۳۲] هندسی باشند.
- بین عوارض موجود در مدل سه‌بعدی، همچنین بین اجزاء مختلف یک عارضه، سازگاری منطقی وجود داشته باشد (با رعایت قواعد توپولوژیکی، مطابق دستورالعمل ۳-۱۱۹)
- مدل سه‌بعدی برداری، علاوه بر عوارض هدف مورد نظر پروژه، شامل یک لایه پایه (حداقل نمایش توپوگرافی سطح زمین) باشد و هیچ‌گونه شکاف یا حفره‌ای در مدل مشاهده نشود.

نکته ۲: غیر از عوارض هدف مورد نظر پروژه، امکان ادغام سایر عوارض با لایه پایه مدل سه‌بعدی شهری وجود دارد و ضرورتی به تفکیک آن عوارض در لایه‌های مجزا نیست.

- عوارض نقطه‌ای و عوارض با جزئیات تکرار شونده (مانند پنجره و...)، در صورتی که جزء عوارض هدف مورد نظر پروژه نباشند؛ می‌توانند به‌صورت نماد[۳۳] به مدل اضافه شوند. این نمادها باید طراحی ساده‌ای داشته و شکل، رنگ و ابعاد آن متناسب با عارضه مورد نظر باشد.

نکته ۳: وجود المان‌های خطی و نقطه‌ای در مدل سه‌بعدی، صرفاً به شرط استفاده از نمادهای مرتبط سه‌بعدی مجاز است.

---

[31] Entity
[32] Gap
[33] Symbol

- بافت تصویری مدل سه‌بعدی، دارای قدرت تفکیک مکانی متناسب با دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد، به نحوی که حد تفکیک مکانی بافت بیشتر از نصف دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی نباشد.

۴-۲-۴-۳- تبدیل یک مدل برداری سه‌بعدی به مدل سه‌بعدی مبتنی بر GIS

مدل‌های سه‌بعدی مبتنی بر GIS، اغلب از مدل‌های برداری سه‌بعدی تولید می‌شوند. برای تبدیل یک مدل برداری سه‌بعدی به یک مدل سه‌بعدی مبتنی بر GIS، لازم است مجموعه‌ای از مراحل و الزامات فنی به شرح زیر، به‌صورت دقیق رعایت شود تا مدل از حالت هندسی صرف، به یک مدل تحلیلی تبدیل گردد:

- **تصحیح هندسی و توپولوژیکی مدل سه‌بعدی**: برای این منظور، تمام سطوح مدل باید بسته و بدون شکاف باشند، حجم‌ها نباید هم‌پوشانی یا تداخل غیرمجاز داشته باشند و مرزها باید به‌درستی به هم متصل شوند. همچنین ضروری است که تمامی عوارض در یک سیستم مختصات مشترک تعریف شوند تا هم‌مرجع‌سازی کامل میان داده‌ها برقرار گردد. به منظور آشنایی با الزامات فنی مربوط به حذف خطاهای توپولوژیکی سه‌بعدی، به نشریه ۳-۱۱۹ (جلد سوم دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری: مدیریت اطلاعات مکانی) مراجعه شود.

- **تعیین ساختار داده در مدل سه‌بعدی مبتنی بر GIS**: در این مرحله، با توجه به مدل داده مکانی مورد نظر پروژه، مشخص می‌گردد که هر عارضه با چه ساختاری مدل‌سازی می‌شود؛ به طور مثال آیا یک ساختمان به‌صورت یک حجم کلی مدل می‌شود یا اجزای دقیق‌تری مانند سقف، در، پنجره و... نیز به‌عنوان اشیاء مستقل تعریف می‌شوند. بر این اساس، لازم است المان‌های موجود در عوارض مکانی، به‌صورت صحیح و مناسب دسته‌بندی گردند. این سطح از جزئیات، به‌طور معمول با توجه به هدف نهایی مدل‌سازی و نوع تحلیل‌های مورد انتظار تعیین می‌شود.

- **تعریف توپولوژی**: در این مرحله، باید روابط مکانی میان اشیاء به‌صورت ساختاریافته تعریف شود. برای این منظور، ابتدا باید نوع روابط مکانی مورد نیاز، متناسب با هدف مدل‌سازی تعیین گردد؛ این روابط می‌توانند شامل مجاورت[۳۴]، هم‌پوشانی[۳۵]، تقاطع[۳۶]، ارتباطات پیرامونی[۳۷] و... باشند. برای تعریف این روابط، لازم است محدوده‌های هندسی هر شیء با سایر اشیاء مقایسه شده و موقعیت نسبی آن‌ها تحلیل شود. به‌عنوان نمونه، اگر

[34] Adjacency
[35] Overlap
[36] Intersection
[37] Proximity

مرز یک ساختمان با مرز خیابان تماس داشته باشد، رابطه مجاورت برای آن‌ها ثبت می‌شود. این روابط باید به‌صورت کدگذاری‌شده در پایگاه داده مدل ذخیره شوند تا برای هر شیء، فهرستی از اشیاء مرتبط و نوع رابطه میان آن‌ها موجود باشد. در این فرآیند، رعایت قواعد توپولوژیکی الزامی است تا از تداخل هندسی میان اشیاء، شکاف‌های[۳۸] مکانی یا ناپیوستگی[۳۹] مرزها جلوگیری شود. همچنین، کنترل توپولوژی باید تضمین کند که اشیاء مرتبط از نظر مکانی، دارای ارتباط منطقی هستند. پس از ثبت روابط، مدل بازبینی و اعتبارسنجی می‌شود تا از صحت هندسی و مفهومی آن اطمینان حاصل گردد. قواعد توپولوژی سه‌بعدی به تفصیل در نشریه ۳-۱۱۹ ارائه شده است.

- **اضافه کردن ویژگی‌های توصیفی به اشیاء**: پس از ایجاد هندسه سه‌بعدی اشیاء، ضروری است ویژگی‌های توصیفی و معنایی به هر شیء اضافه شود تا مدل سه‌بعدی علاوه بر بازنمایی هندسی، قابلیت تحلیل نیز پیدا کند. به این منظور، باید برای هر شیء سه‌بعدی مانند ساختمان، خیابان، پل و...، ویژگی‌های توصیفی و اطلاعات معنایی متناسب با نوع عارضه، افزوده شود. این اطلاعات می‌تواند شامل نام، نوع کاربری، تعداد طبقات، جنس مصالح، سال ساخت، مالکیت یا داده‌های عملکردی و مدیریتی باشد.

برای تضمین کیفیت و کارایی مدل، رعایت الزامات اساسی زیر در خصوص ویژگی‌های توصیفی، ضروری است:

- الزامات ساختاری ویژگی‌های توصیفی: بدین معنا که برای هر ویژگی توصیفی، نوع داده (عددی، متنی، طبقه‌ای یا بولی) و دامنه مجاز مقادیر[۴۰] به‌طور دقیق تعریف گردد و هر شیء دارای شناسه منحصربه‌فرد باشد تا ارتباط یک‌به‌یک میان هندسه و رکورد توصیفی برقرار شود.
- الزامات یکپارچگی و کنترل کیفیت داده‌ها: به این صورت که ویژگی‌های توصیفی باید متناسب با هندسه عوارض باشند، به طور مثال عارضه‌ای مانند تیر چراغ برق نمی‌تواند دارای ویژگی توصیفی مساحت باشد. همچنین، لازم است خطاهای احتمالی مانند تکرار رکوردها، ناهماهنگی مقادیر یا داده‌های ناقص، شناسایی و اصلاح شوند.
- الزامات کاربردی بودن ویژگی‌های توصیفی در تحلیل داده‌ها: به این معنا که ویژگی‌های توصیفی به‌گونه‌ای ساختار یابند که امکان انجام تحلیل‌های مورد نیاز را فراهم کنند. به طور مثال، در تحلیل مقاوم بودن ساختمان‌ها، ویژگی توصیفی جنس ساختمان، یک ویژگی توصیفی کاربردی و الزامی است.

[38] Gap
[39] Sliver
[40] Domain Values

- **افزودن بافت تصویری به مدل سه‌بعدی**: همان‌طور که در بخش‌های ۴-۲-۴-۱ و ۴-۲-۴-۲ نیز اشاره شد، در صورت نیاز پروژه و به منظور ارائه یک نمایش واقعی‌تر و کیفیت بصری بهتر، بافت تصویری به مدل سه‌بعدی افزوده می‌شود. در الصاق بافت به مدل سه‌بعدی، ضروری است الزامات فنی قید شده در دو بخش مذکور رعایت گردد.

نکته: به منظور دریافت نکات فنی مورد نیاز در خصوص طراحی و ایجاد پایگاه داده مکانی برای ذخیره‌سازی مدل‌های سه‌بعدی مبتنی بر GIS و الزامات مربوطه، به دستورالعمل ۳-۱۱۹ رجوع گردد.

۴-۳-تنظیم مدارک و مستندات نهایی

به منظور تکمیل پرونده فنی پروژه و مستندسازی فرآیند تولید، لازم است مدارک زیر گردآوری شده و ارائه گردد:

الف) مدارک و داده‌های اولیهٔ مورد استفاده:

- لیست مختصات ایستگاه‌های ماندگار ایجاد شده در منطقه، همراه با شناسنامه ایستگاه‌ها.
- لیست مختصات نقاط کنترل و چک زمینی، همراه با دقت‌های مربوطه و کروکی نقاط.
- لیست طول‌های کمکی اندازه‌گیری شده (در صورت وجود)، همراه با دقت‌های مربوطه، کروکی و مختصات تقریبی محل.
- اندکس عکسی حاوی مراکز تصویر، خطوط پرواز، موقعیت نقاط کنترل و چک زمینی و محدوده پروژه.
- مختصات اندازه‌گیری شده در زمان پرواز برای مراکز تصاویر قائم و مایل و پارامترهای وضعیت تصاویر، همراه با دقت‌های مربوطه و لیست مراکز تصویر تعیین موقعیت نشده.
- مختصات مسیر حرکت اسکنر لیزری (تعیین شده به روش RTK / PPK)، همراه با دقت‌های مربوطه.
- پارامترهای کالیبراسیون نسبی دوربین‌ها (اطلاعات مربوط به موقعیت و وضعیت دوربین‌ها نسبت به یکدیگر)، در خصوص سیستم‌های چندفریمه (Multi heads).
- کلیه تصاویر پروژه اعم از تصاویر هوایی یا تصاویر بردکوتاه (در صورت وجود).

ب) گزارش پیش‌طراحی و طراحی پروژه:

این گزارش باید شامل مشخصات تعیین شده برای پروژه طی فرآیندهای پیش‌طراحی و طراحی و شامل موارد زیر باشد:

- مدل داده مکانی مورد نیاز پروژه (ارائه شده توسط کارفرما).

- سطح جزئیات (LOD) مورد نظر پروژه.
- گزارش پیش‌طراحی پروژه شامل پارامترهای موثر در انتخاب روش جمع‌آوری داده‌ها (متناسب با نیازهای پروژه از نظر دقت، جزئیات و سطح تکمیل بودن اطلاعات)، مشخص نمودن ترکیب روش‌های تعیین شده برای جمع-آوری داده‌ها در محدوده‌های مختلف پروژه و محدوده تقریبی مناطقی که مدل سه‌بعدی با مشخصات فنی مدنظر انطباق کامل نخواهد داشت (در قالب اندکس پیش‌طراحی و در یکی از فرمت‌های برداری مانند dgn، dwg، shp یا kmz، همراه با حد کار پروژه و تصویر گوگل ارث منطقه در پس‌زمینه).
- تأییدیه کارفرما در خصوص پیش‌طراحی انجام شده.
- گزارش طراحی پروژه و مشخص نمودن بهینه‌ترین تنظیمات منتخب برای اجرای پروژه با توجه به روش یا روش‌های تعیین شده در مرحله پیش‌طراحی، شامل پوشش‌های طولی و عرضی تصویربرداری، ارتفاع پرواز یا فاصله تا شیء، GSD و قدرت تفکیک مکانی تصویربرداری، راستای خطوط تصویربرداری، فاصله کانونی دوربین تصویربرداری، نوع دوربین تصویربرداری و زوایای تصویربرداری مورد نیاز و مشخصات داده‌های اسکن لیزری مورد استفاده شامل تراکم ابرنقاط، دقت ابرنقاط و....

پ) گزارش فنی:

لازم است گزارش فنی جامعی در خصوص نحوه جمع‌آوری و پردازش داده‌ها، همچنین دقت محصولات تهیه شده، ارائه گردد. به این طریق فرآیندهای کاری مستندسازی شده و به جلوگیری از بکارگیری داده‌های فتوگرامتری برای اهدافی که از نظر سطح دقت و کیفیت برای آن اهداف مناسب نیستند، کمک می‌گردد. گزارش فنی در دو بخش ارائه می‌شود:

۱- گزارش عمومی پروژه

در این بخش باید حداقل مولفه‌های زیر گزارش گردد:

- فرم فراداده [۴۱]مطابق پیوست ۴: فرم فراداده باید به صورت دقیق تکمیل گردیده و اطلاعات مندرج در آن با داده‌های تحویلی و گزارش‌های فنی مربوطه، سازگار باشد.
- گزارش تصویربرداری: شامل طراحی پرواز- تاریخ پرواز- سنجنده و پرنده مورد استفاده- آخرین گزارش و تاریخ کالیبراسیون سنجنده- تنظیمات سنجنده- فرم گزارش عملیات تصویربرداری مطابق پیوست ۵- فرم گزارش تعیین حد تفکیک مکانی (GRD) تصاویر قائم و مایل مطابق دستورالعمل ۹-۱۱۹- گزارش فرآیند پیش‌پردازش و کنترل کیفی اولیه تصاویر.
- گزارش جمع‌آوری داده‌های اسکن لیزری: شامل تاریخ جمع‌آوری داده‌ها- مشخصات فنی و دقت اسمی تجهیزات مورد استفاده (اسکنر، سنسورهای GNSS/IMU)-آخرین گزارش و تاریخ کالیبراسیون تجهیزات- نقشه موقعیت‌های استقرار/

[41] Meta Data

مسیر حرکت اسکنر لیزری- تراکم متوسط ابرنقاط اسکن لیزری- گزارش فرآیند کنترل کیفی و پیش‌پردازش داده‌های اسکن لیزری.

- گزارش نقشه‌برداری زمینی: شامل سیستم مختصات و دیتوم مسطحاتی و ارتفاعی مورد استفاده- تجهیزات و نرم‌افزارهای مورد استفاده در نقشه‌برداری زمینی و انجام پردازش‌ها- فرآیندهای نقشه‌برداری انجام شده به منظور تعیین مختصات ایستگاه‌های ماندگار و نقاط کنترل و چک زمینی- روش اندازه‌گیری طول‌های کمکی (در صورت وجود)- فرآیند ارزیابی دقت مشاهدات GNSS و نتایج حاصله، همراه با لیست ایستگاه‌های مبنایی مورد استفاده برای پردازش داده‌های GNSS.
- گزارش پردازش داده‌ها: شامل گزارش روش کار، نرم‌افزارهای مورد استفاده، تنظیمات پارامترها و دقت نتایج حاصله در مراحل مختلف پردازش شامل پردازش داده‌های GNSS/IMU همراه با مختصات ایستگاه‌های مبنایی مورد استفاده در روش PPK- پردازش تصاویر و مثلث‌بندی هوایی- پردازش داده‌های اسکن لیزری همراه با ارائه ابر نقاط اسکن لیزری با قرمت LAS یا LAZ و اندکس بخش‌بندی داده‌های لیزر- پردازش‌ها و ویرایش‌های انجام شده برای تولید محصولات نهایی.

لازم است گزارش پردازش داده‌ها همراه با موارد تکمیلی زیر باشد:

- لیست مقادیر نهایی پارامترهای توجیه خارجی تصاویر.
- مشخص نمودن نحوه توجیه سیستم دوربین در پرنده (مثلاً دوربین به نحوی توجیه شده که محور مثبت Y عکسی در جهت پرواز است).
- مقادیر نهایی پارامترهای کالیبراسیون کلیه دوربین‌ها (فاصله کانونی، مختصات نقطه اصلی، پارامترهای اعوجاج لنز).
- فایل پروژه پردازش تصاویر (شامل محاسبات مثلث‌بندی و مدل‌سازی سه‌بعدی).
- گزارش نرم‌افزار محاسبات مثلث‌بندی هوایی.
- گزارش ارزیابی خطاهای نقاط کنترل و چک زمینی در مثلث‌بندی و میزان باقیمانده‌ها.
- گزارش پردازش و سرشکنی داده‌های اسکن لیزری و ارزیابی دقت داده‌ها.

۲- گزارش تست دقت محصولات

فرآیندهایی که به منظور تست دقت محصولات تولید شده به روش فتوگرامتری استفاده می‌شوند، باید تضمین کنند که محصول مورد نظر، حداقل معیارهای دقت مورد نیاز برای پروژه را برآورده می‌کند. گزارش ارزیابی دقت باید شامل دو بخش زیر باشد:

- **تست دقت محصولات با استفاده از یک منبع مستقل با دقت بالاتر**: برای این منظور، مختصات نقاط با موقعیت مناسب که از محصول استخراج شده‌اند، با مختصات‌های متناظر حاصل از یک منبع مستقل با دقت بالاتر (به عنوان مثال نقاط چک حاصل از نقشه‌برداری زمینی)، مقایسه می‌گردد. در انجام این فرآیند باید موارد زیر مد نظر قرار گیرد:
  - در زمان گزارش دقت مسطحاتی یا ارتفاعی محصول، لازم است دقت نقاط چک مورد استفاده نیز لحاظ گردد.

- نقاط چک مورد استفاده برای تست دقت، نباید در فرآیند فتوگرامتری تولید محصول مورد استفاده قرار گیرند.
- نقاط چک باید در صورت امکان دارای توزیع مناسبی در محدوده جغرافیایی محصول بوده یا اینکه نماینده عوارضی باشند که در محصول مورد تست دقت قرار می گیرند.
- به منظور انجام یک تحلیل آماری قوی و قابل استناد برای تست دقت محصول، لازم است نقاط چک به تعداد کافی موجود باشد.
- نقاط چکی که دارای باقیمانده بیشتر از حد آستانه دقت مورد نیاز هستند، نباید بدون ذکر دلیل موجه حذف گردند، همچنین هر نقطه چک حذف شده باید در گزارش قید گردد.
- اگر نتایج به سختی حدآستانه دقت مورد نیاز را برآورده می‌کند، می‌تواند نشان‌دهنده خطای سیستماتیک در جایی از گردش کار فتوگرامتری تولید محصول باشد. این موضوع احتمال اینکه محصول در مناطق تست نشده، دقت مورد نیاز را تأمین نکند، بالا می‌برد، لذا در این شرایط بررسی بیشتر در خصوص منابع خطا ضروری است.

- **تست دقت محصولات با ارزیابی فرآیند تولید**: نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که طراحی پروژه (سنجنده، تنظیمات سنجنده، ارتفاع پرواز، نقاط کنترل و...)، کیفیت تجهیزات و روش‌های پردازشی بکار گرفته شده، دقتهای مورد نیاز پروژه را تأمین می‌کنند. در این حالت لازم است گزارشی از کل فرآیند انجام شده برای تولید محصولات، همچنین نحوه کنترل کیفی انجام شده در هر مرحله از فرآیند تولید محصول، ارائه گردد.

نکته: لازم است محدوده‌هایی در محصول مورد نظر، که امکان ارزیابی دقت، به دلایلی میسر نیست (مانند زمین یا عوارضی که به دلیل وجود سایه یا پوشش گیاهی در عکس پنهان هستند)، به روشی مانند ترسیم چندضلعی، به وضوح مشخص شده و به‌صورت فایل جداگانه همراه با محصول ارائه گردد و در فرم فراداده نیز ذکر شود.

ت) محصولات پروژه:

- مدل سه‌بعدی شهری
- DSM (در صورتی که مدل مش سه‌بعدی تهیه گردیده است)
- ارتوفتو واقعی تولید شده مطابق با الزامات فنی دستورالعمل ۶-۱۱۹ (در صورتی که مدل مش سه‌بعدی تهیه گردیده است)
- ابرنقاط با فرمت LAS یا LAZ

ث) گزارش ایرادات و مشکلات موجود:

- نواحی ضعیف و فاقد استحکام لازم در بلوک مثلث‌بندی شده، همراه با دلایل و ملاحظات فنی.
- مناطق مدل‌سازی نشده یا فاقد دید مناسب سه‌بعدی، همراه با دلایل و ملاحظات فنی.
- لیست نقاط کنترل و چک زمینی مردود.
- سایر مشکلات و موارد قابل ذکر.

۴-۴-به‌روزرسانی مدل‌های سه‌بعدی شهری

ماهیت پویای شهرها، ضرورت به‌روز بودن مدل‌های سه‌بعدی شهری مورد استفاده به منظور ارتقاء کیفی فرآیندهای توسعه، برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، را روشن می‌سازد. بر این اساس، در هنگام تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری، لازم است تا حد امکان پیش‌بینی‌ها و تمهیدات مورد نیاز به منظور میسر بودن به‌روزرسانی این مدل‌ها در آینده، مد نظر قرار گیرد.

به‌طورکلی، در صورت بروز تغییرات قابل ملاحظه در عوارض شهری مانند ساختمان‌ها، زیرساخت‌های حمل و نقل، پوشش‌های گیاهی و...، با توجه به نیاز کارفرما و متناسب با جزئیات و دقت هندسی پروژه؛ در تمام یا بخشی از محدوده مدل سه‌بعدی شهری موجود، به‌روزرسانی انجام خواهد گرفت.

امکان به‌روزرسانی یک مدل سه‌بعدی شهری با استفاده از تصاویر به‌روز اخذ شده، مستلزم در اختیار داشتن داده‌های اولیه و اطلاعات مربوط به مدل سه‌بعدی موجود (شامل تصاویر، محاسبات مثلث‌بندی، اطلاعات کالیبراسیون دوربین، فراداده و گزارش‌های فنی مربوطه) و رعایت موارد زیر است:

- مطابقت شبکه مختصات و مبنای مسطحاتی و ارتفاعی مدل سه‌بعدی به‌روز شده با مدل سه‌بعدی قدیمی.
- همخوانی قدرت تفکیک مکانی دو گروه تصاویر (تصاویر اخذ شده به منظور به‌روزرسانی و تصاویر استفاده شده در فرآیند تولید مدل سه‌بعدی موجود).
- همپوشانی و همخوانی بین محاسبات مثلث‌بندی دو گروه تصاویر (مطابق با دقت هندسی مورد انتظار).
- همخوانی رادیومتریکی (روشنایی، رنگ، کنتراست و...) بین دو گروه تصاویر، در خصوص مدل سه‌بعدی بافت‌دار.

نکته ۱: در صورت بکارگیری ابرنقاط اسکن لیزری در فرآیند تولید و به‌روزرسانی مدل سه‌بعدی شهری، رعایت کلیه الزامات مربوط به جمع‌آوری و پردازش داده‌های لیزر (مانند مرجع مختصاتی، دقت هندسی، تراکم، نویز و...)، به منظور هماهنگی ابرنقاط مورد استفاده به منظور به‌روزرسانی و ابرنقاط اولیه؛ الزامی است.

علاوه بر موارد فوق‌الذکر، لازم است ملاحظات زیر در فرآیند به‌روزرسانی هر یک از انواع مدل‌های سه‌بعدی، مد نظر قرار گیرد:

- مدل مش سه‌بعدی: به منظور همخوانی و هماهنگی بیشتر بین مدل سه‌بعدی به‌روز شده و مدل اولیه، به‌روزرسانی در یک بافر بزرگتر نسبت به محدوده موردنظر به‌روزرسانی، انجام گیرد به نحوی که کلیه موزاییک‌های[۴۲] درگیر، که شامل بخشی از محدوده مورد نظر می‌باشند؛ با بکارگیری تصاویر جدید اخذ شده و تصاویر قدیمی، مجدداً پردازش شده و در مدل سه‌بعدی اولیه جایگزین گردند.
- مدل برداری سه‌بعدی: در محدوده مد نظر برای به‌روزرسانی، کلیه عوارض تغییر یافته (با در نظر گرفتن مدل داده مکانی مورد نظر و نیاز کارفرما)، مجدداً ترسیم شده و پس از اطمینان از همخوانی با مدل سه‌بعدی اولیه در مرز محدوده به‌روزرسانی (مطابق با دقت هندسی مورد انتظار)، در ایجاد مدل سه‌بعدی به‌روز شده، بکار گرفته شوند.

نکته ۲: ضروری است کلیه الزامات فنی مربوط به فرآیند تولید و ارزیابی کیفی مدل‌های سه‌بعدی شهری، در به‌روزرسانی نیز رعایت گردد.

[42] Tiles

فصل پنجم

ارزیابی کیفی مدل‌های سه‌بعدی شهری

به منظور اطمینان از دقت، کیفیت و کارایی مدل سه‌بعدی شهری تولید شده مطابق با الزامات فصل ۴، لازم است جنبه‌های مختلف مدل سه‌بعدی مورد بررسی قرار گیرد. این فرآیند شامل ارزیابی موارد زیر می‌باشد که در ادامه این فصل، به بررسی هر یک از آن‌ها خواهیم پرداخت:

- دقت هندسی
- جزئیات هندسی
- کامل بودن
- کیفیت بصری
- کیفیت اطلاعات توصیفی و فراداده
- توپولوژی و ارتباط صحیح بین عوارض
- تطابق با مشخصات تعیین شده در مراحل پیش‌طراحی و طراحی

با توجه به اهمیت داده‌های مورد استفاده برای تولید مدل سه‌بعدی شهری در کیفیت مدل حاصله، قبل از شروع به ارزیابی مدل سه‌بعدی، لازم است این داده‌ها (شامل تصاویر، ابرنقاط، داده‌های اسکن لیزری، نقاط کنترل زمینی، داده‌های GNSS/IMU، نتایج مثلث‌بندی)، از نظر مطابقت با پیش‌طراحی و طراحی صورت گرفته، همچنین رعایت الزامات فنی ذکر شده در فصل‌های پیشین، مورد بررسی قرار گیرند.

نکته: ضروری است مدل سه‌بعدی در چارچوب آخرین مرجع مختصات ملی، تهیه و ارائه گردد. در حال حاضر مرجع مختصات ملی، شامل سطح مبنای مسطحاتی ملی (Iranian Geodetic Datum) تحت عنوان IRGD2010، سیستم تصویر جهانی UTM و سیستم ارتفاعی ارتومتریک IRHS2014 می‌باشد.

۵-۱-ارزیابی دقت هندسی

مدل‌های سه‌بعدی باید به‌درستی هندسه عوارض هدف مورد نظر پروژه را نمایش دهند. بررسی دقت هندسی مدل‌های سه‌بعدی شهری، از طریق مقایسه با داده‌های مرجع یا واقعیت زمینی و صرفاً در موقعیت‌های واضح و مشخص، که در نواحی پنهان مدل سه‌بعدی قرار نمی‌گیرند؛ انجام می‌شود.

روش‌های ذکر شده در این بخش به منظور ارزیابی دقت هندسی مدل‌های سه‌بعدی شهری، مبتنی بر این فرض می‌باشند که هیچ‌گونه خطای فاحش (بلاندر) یا خطای سیستماتیک، در فرآیند تولید مدل سه‌بعدی مورد نظر وجود ندارد. بر این اساس، ارزیابی دقت هندسی مدل سه‌بعدی، به یکی از دو روش زیر قابل انجام است:

۱- از طریق ترسیم عوارض با پراکندگی مناسب در کل محدوده پروژه، به روش برجسته‌بینی (استرئوپلات) بر روی مدل‌های استرئو حاصل از تصاویر و نتایج مثلث‌بندی پروژه و بررسی انطباق ترسیمات انجام شده با مدل سه‌بعدی مورد نظر. برای این منظور، لازم است ترسیمات صرفاً بر روی لبه‌هایی از عوارض هدف انجام شوند که بر روی مدل سه‌بعدی نیز کیفیت بصری مناسبی داشته و به خوبی قابل شناسایی باشند.

نکته ۱: ارزیابی دقت هندسی مدل سه‌بعدی حاصل از تصاویر به این روش و بدون استفاده از نقاط چک، صرفاً در شرایطی مجاز است که ارزیابی و تأیید نتایج محاسبات مثلث‌بندی پروژه، مطابق دستورالعمل ۲-۱۱۹ و با استفاده از نقاط چک مستقل صورت گرفته باشد.

۲- از طریق بکارگیری نقاط و طول‌های چک اندازه‌گیری شده به روش نقشه‌برداری زمینی. برای این منظور، لازم است نقاط و طول‌های چک صرفاً بر روی عوارض مشخص واقع روی سطح زمین (نقاطی مانند گوشه‌های تیز و تقاطع‌ها که می‌توان با اطمینان زیاد روی زمین و مدل سه‌بعدی مشخص نمود) اخذ گردند. روش بهتر این است که بجای اندازه-گیری روی عوارض مشخص موجود، نقاط و طول‌های چک قبل از تصویربرداری در سطح منطقه تارگت‌گذاری شوند. دقت تعیین موقعیت نقاط چک و اندازه‌گیری طول‌های چک مورد استفاده، باید بهتر از دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی بوده همچنین دارای پراکندگی مناسب و یکنواخت در کل محدوده مورد نظر باشند. لازم به ذکر است، نقاط و طول‌های چک نباید در فرآیند تولید مدل سه‌بعدی، مورد استفاده قرار گرفته باشند.

به منظور ارزیابی نتایج بدست آمده از مقایسه مدل سه‌بعدی با نقاط چک برداشت شده به روش نقشه‌برداری زمینی یا سایر داده‌های مرجع و تصمیم‌گیری در خصوص دقت هندسی مدل سه‌بعدی مطابق با مقیاس موردنظر، بر اساس مقادیر مجاز تعیین شده برای دقت‌های مسطحاتی و ارتفاعی محصولات مکانی در دستورالعمل ۲-۱۱۹، عمل می‌گردد.

نکته ۲: میزان خطای مجاز طول‌های چک[۴۳] بر روی مدل سه‌بعدی، برابر با خطای مسطحاتی مجاز نقاط چک، مطابق با دستورالعمل ۲-۱۱۹؛ می‌باشد.

۵-۲-ارزیابی جزئیات هندسی

به منظور ارزیابی سطح جزئیات هندسی بازسازی شده در مدل سه‌بعدی، لازم است موارد زیر مدنظر قرار گیرد:

[۴۳] منظور از طول چک، طول افقی اندازه‌گیری شده به روش مستقیم زمینی و با ابعاد حداقل ۲۰ برابر دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی، می‌باشد.

- در فرآیند تولید مدل مش سه‌بعدی، به منظور حفظ جزئیات هندسی مورد نظر؛ کاهش قدرت تفکیک مکانی تصاویر و ابرنقاط اسکن لیزری، نسبت به مقادیر تعیین شده در مرحله پیش‌طراحی و طراحی، مجاز نمی‌باشد.

تبصره: در صورتی که قدرت تفکیک مکانی داده‌های اولیه جمع‌آوری شده، بهتر از مقادیر تعیین شده در مرحله پیش‌طراحی و طراحی باشد، ساده‌سازی و خلاصه‌سازی داده‌ها، تا جایی که حد تفکیک مکانی از مقادیر تعیین شده در مرحله پیش-طراحی و طراحی بیشتر نشود، امکان‌پذیر است.

- ارزیابی جزئیات هندسی مورد نیاز در مدل برداری سه‌بعدی، شامل بررسی کامل بودن عوارض (مطابق با LOD موردنظر) و میزان جزئیات (تضاریس) عوارض با توجه به دقت هندسی مورد نظر پروژه، از طریق برجسته‌بینی بر روی مدل‌های استرئو حاصل از تصاویر پروژه؛ انجام می‌گیرد.

۵-۳-ارزیابی کامل بودن مدل سه‌بعدی

کامل بودن یک مدل سه‌بعدی شهری، لازم است از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد. این ارزیابی شامل مراحل زیر است:

- بررسی پوشش کامل مدل سه‌بعدی مطابق با محدوده مورد نظر پروژه (با در نظر گرفتن محدودیت‌های تعیین شده در مرحله پیش‌طراحی)
- اطمینان از نمایش کلیه عوارض مورد نیاز در مدل سه‌بعدی (با توجه به مدل داده مورد نظر کارفرما) به‌نحوی که بیش از ۹۵ درصد عوارض هدف قابل شناسایی و تشخیص، در مدل سه‌بعدی نمایش داده شوند.
- بررسی میزان نواحی پنهان تصویری و اسکن لیزری (ناشی از معابر کم عرض، پوشش گیاهی و...)، مطابق با پیش‌طراحی انجام شده. افزایش بیش از ۱۰ درصد نسبت به محدوده‌های تعیین شده در مرحله پیش‌طراحی، مجاز نمی‌باشد.
- بررسی میزان محدوده‌های مدل‌سازی نشده به دلیل عوامل طبیعی مانند سایه‌های تیره، پوشش ابر، برف و...، مطابق با دستورالعمل ۲-۱۱۹.

۵-۴-ارزیابی کیفیت بصری

یکی از مراحل مهم به منظور حصول اطمینان از کیفیت مدل سه‌بعدی شهری، ارزیابی کیفیت بصری مدل سه‌بعدی است. هرچه کیفیت بصری مدل سه‌بعدی به دلیل خطاهای ناشی از مدل‌سازی هندسه یا کیفیت نامناسب بافت تصویری، پایین‌تر باشد، شناسایی لبه‌ها و مرز عوارض نیز با خطای بیشتری همراه خواهد بود.

ارزیابی کیفیت بصری مدل سه‌بعدی شامل بررسی موارد زیر است:

۵-۴-۱- بررسی اعوجاجات هندسی موجود در مدل سه‌بعدی

در این مرحله، مدل سه‌بعدی از نظر وجود ناهمواری‌های غیرعادی، حفره، میخ شدگی و اعوجاجاتی از این دست، به‌صورت بصری بررسی می‌گردد. این ارزیابی صرفاً در خصوص عوارض هدف پروژه (مطابق با مدل داده مورد نظر کارفرما) انجام شده و لازم است موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- ابعاد گپ یا حفره‌های موجود روی عوارض هدف پروژه، نباید بیش از پنج برابر دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد، همچنین مجموع مساحت حفره‌های کوچک‌تر از این حدآستانه نیز، نباید بیش از 10 درصد[۴۴] سطح پوشش عوارض هدف مورد نظر پروژه باشد.
- اعوجاج در مدل‌سازی ناشی از ضخامت کم عوارض، یا تغییر در هندسه عوارض به شکل میخ شدگی، شکستگی و...، نباید بیش از دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد.

تبصره: وجود اعوجاجات هندسی بیش از حد مجاز تعیین شده در فوق، در صورتی که به استخراج اطلاعات مورد نیاز از مدل سه‌بعدی لطمه وارد نکند، حداکثر در ۱۰ درصد عوارض هدف مورد نظر پروژه، مجاز است.

۵-۴-۲-بررسی کیفیت بافت تصویری مدل سه‌بعدی

ارزیابی کیفیت بافت تصویری مدل سه‌بعدی شامل بررسی موارد زیر است:

- **صحت تطابق بافت و مدل سه‌بعدی:**

این معیار بررسی می‌کند که بافت تصویری به‌صورت دقیق و بدون اعوجاج (عدم وجود جابجایی، تداخل و...)، به مدل سه‌بعدی الصاق شده و با سطح هندسی مدل سه‌بعدی انطباق داشته باشد. میزان جابجایی در انطباق بافت با مدل سه‌بعدی، نباید بیش از نصف دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد. ارزیابی این بند صرفاً در خصوص عوارض هدف پروژه (مطابق با مدل داده مورد نظر کارفرما) انجام می‌گیرد.

تبصره: وجود جابجایی بیش از حد مجاز تعیین شده در فوق، در انطباق بافت با سطح هندسی مدل سه‌بعدی، در صورتی که به استخراج اطلاعات مورد نیاز از مدل سه‌بعدی لطمه وارد نکند؛ حداکثر در ۱۰ درصد عوارض هدف مورد نظر پروژه، مجاز است.

- **ارزیابی حد تفکیک مکانی بافت:**

[۴۴] یکی از روش‌ها برای ارزیابی درصد خطاهای موجود در پروژه، استفاده از خطوط تصادفی (Random Lines) در محدوده پروژه و سپس برآورد درصد خطاهای مشاهده شده بر روی عوارض هدف متقاطع با این خطوط می‌باشد.

کیفیت تصاویر و بافت استفاده شده در مدل سه‌بعدی باید به‌گونه‌ای باشد که جزئیات مورد نیاز پروژه نمایش داده شوند. بر این اساس و به منظور جلوگیری از کاهش قابلیت تشخیص لبه‌ها و مرزهای هندسی، حد تفکیک مکانی بافت نباید بیش از نصف دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد.

- **عدم وجود مناطق فاقد بافت:**

سطوح کلیه عوارض هدف پروژه (با در نظر گرفتن LOD مورد نظر)، می‌بایست دارای پوشش بافت تصویری مناسب باشند، به‌نحوی که بیش از پنج درصد سطح عوارض هدف پروژه، فاقد بافت تصویری نباشد.

- **ارزیابی کیفیت رادیومتریک بافت:**

ارزیابی رادیومتریک مدل سه‌بعدی، شامل بررسی کیفیت اطلاعات رادیومتریک بافت مدل (ویژگی‌هایی مانند روشنایی، رنگ، کنتراست و...) می‌باشد. این مرحله، شامل بررسی موارد زیر است:

- کیفیت تصاویر اولیه: برای اطمینان از کیفیت رادیومتریک مدل سه‌بعدی، در مرحله اول ضروری است تصاویر مورد استفاده برای تولید بافت، دارای کیفیت مناسب، وضوح بالا و شرایط نوری یکسان باشند، همچنین در صورت وجود نویز رادیومتریک در این تصاویر، از الگوریتم‌های پردازش تصویری مناسب برای کاهش نویز و افزایش وضوح تصاویر استفاده گردد.
- وضوح رادیومتریک: این مرحله شامل بررسی دقت رادیومتریک بافت از نظر تعداد بیت‌هایی که برای ذخیره‌سازی روشنایی و رنگ استفاده شده، می‌باشد. برای این منظور، باندهای تصویری مختلف مورد استفاده برای تولید مدل سه‌بعدی بافت‌دار، نباید دارای عمق کمتر از ۸ بیت باشند.
- تطابق رنگ و روشنایی: این مرحله شامل بررسی یکپارچگی رنگ‌ها و روشنایی در کل مدل سه‌بعدی می‌باشد، به نحوی که عوارض یکسان در مدل سه‌بعدی، از نظر رنگ و گام خاکستری با یکدیگر مطابقت داشته باشند.
- تفاوت سایه‌ها: با تبعیت از موارد اعلام شده در خصوص برنامه‌ریزی مناسب زمان پرواز (بخش ۲-۲)، می‌توان تا حد زیادی از دستیابی به بهترین نتیجه ممکن در خصوص کاهش اختلاف سایه‌ها در مدل سه‌بعدی، اطمینان داشت. در صورت رعایت این موارد، وجود ایرادات باقیمانده بر روی مدل سه‌بعدی مجاز می‌باشد.

۵-۵-ارزیابی کیفیت اطلاعات توصیفی و فراداده

در این مرحله، میزان کامل بودن، صحت و به‌هنگام بودن فراداده مدل سه‌بعدی و اطلاعات توصیفی (در صورت وجود)، همچنین سازگاری اطلاعات توصیفی بررسی می‌گردد. این ارزیابی می‌بایست بر اساس مولفه‌های زیر صورت پذیرد:

- **کامل بودن فراداده**: کلیه فیلدهای مورد نیاز در فرم فراداده تکمیل باشد.

- **به‌هنگام بودن فراداده**: اطلاعات ثبت شده در فرم فراداده، مطابق با مشخصات آخرین نسخه ارائه شده مدل‌سه‌بعدی باشد.
- **ارائه فراداده در قالب استاندارد:** فرم فراداده ارائه شده، مطابق پیوست ۴ این دستورالعمل باشد.
- **درستی اطلاعات توصیفی**[۴۵]: صحت اطلاعات توصیفی ثبت شده، از طریق مقایسه با یک منبع مبنا یا مشاهدات میدانی معتبر ارزیابی گردد.
- **سازگاری منطقی اطلاعات توصیفی**[۴۶]: ارزیابی سازگاری منطقی اطلاعات توصیفی بر مبنای یک چارچوب مشخص انجام می‌گیرد که شامل بررسی و کنترل موارد زیر است:
  - یکتایی شناسه‌ها در هر جدول
  - صحت تطابق کلیدهای خارجی[۴۷] با کلیدهای اصلی[۴۸] متناظر
  - انطباق مقادیر با دامنه مجاز تعریف‌شده
  - عدم وجود مقادیر ناسازگار یا متناقض در رکوردهای مرتبط

  کنترل موارد فوق، از طریق طراحی و اجرای پرس‌وجوهای اعتبارسنجی هدفمند صورت می‌گیرد و خروجی آن شامل شناسایی، مستندسازی و گزارش کلیه ناسازگاری‌های درون‌جدولی و بین‌جدولی، به همراه جزئیات کامل هر مورد می‌باشد.

  نکته : ویژگی‌های توصیفی باید از نظر سازگاری و تناسب با هندسه عوارض نیز مورد بررسی قرار گیرند. به عنوان مثال، عارضه‌ای مانند تیر چراغ برق نمی‌تواند دارای ویژگی توصیفی مساحت باشد.
- **کامل بودن اطلاعات توصیفی**[۴۹]: در خصوص تمامی عوارض هدف (مطابق با مدل داده مورد نظر)، کلیه ویژگی‌های توصیفی ضروری به منظور انجام تحلیل‌های مورد نظر پروژه، موجود بوده و رکوردهای مربوطه عاری از حالت تهی[۵۰] باشند.
- **قدرت تفکیک موضوعی اطلاعات توصیفی**[۵۱]: سطح جزئیات طبقه‌بندی اطلاعات توصیفی، مطابق با نیاز پروژه بوده و کمتر یا بیشتر از سطح جزئیات مورد نیاز نباشد.

---

[45] Attribute Accuracy
[46] Logical Consistency
[47] Foreign Keys
[48] Primary Keys
[49] Completeness
[50] Null
[51] Thematic Resolution

۵-۶-ارزیابی توپولوژی و صحیح بودن ارتباط بین عوارض

به منظور اطمینان از صحت هندسی و یکپارچگی مفهومی یک مدل سه‌بعدی مبتنی بر GIS، می‌بایست ارزیابی توپولوژی عوارض، با رعایت اصول و قواعد استاندارد انجام گیرد. این بررسی، با هدف شناسایی و رفع خطاهای توپولوژیکی (مانند شکاف‌ها، همپوشانی‌های غیرمجاز، حفره‌ها و...) و به این منظور انجام می‌شود که مدل سه‌بعدی نهایی، از قابلیت اطمینان لازم برای انجام تحلیل‌های فضایی و تصمیم‌گیری در فضای سه‌بعدی، برخوردار باشد.

ارزیابی توپولوژی مدل سه‌بعدی بر اساس چارچوب کلی زیر، به تفکیک نوع عارضه، انجام می‌پذیرد:

- **عوارض نقطه ای:** خطاهای توپولوژیکی رایج در عوارض نقطه‌ای، شامل تداخل مکانی (اشتراک مختصات دو نقطه مجزا)، فاصله گرفتن از اجزای مرتبط (مانند نقاط اتصال شناور) و قرارگیری نادرست در فضا (مانند قرارگیری خارج از حجم والد) می‌باشد. روش اصلاح این نوع خطاها به طور معمول، شامل جابجایی دقیق نقاط، الحاق[۵۲] آن‌ها به گره‌های شبکه یا سطوح، و رفع تراکم‌های بیش از حد مجاز است.
- **عوارض خطی:** مهم‌ترین خطاهای توپولوژیکی در خصوص عوارض خطی، شامل شکاف[۵۳] یا عدم پیوستگی در شبکه، خودتقاطعی غیرمنطقی، عدم اتصال دقیق به گره‌ها در فضای سه‌بعدی و تداخل یا نقض فواصل مجاز با عوارض دیگر است. اصلاح این خطاها، از طریق اتصال[۵۴] یا ادغام[۵۵] خطوط برای رفع شکاف، اصلاح هندسه برای حذف خودتقاطعی، و اعمال حدآستانه اتصال[۵۶] برای اطمینان از اتصال کامل گره‌ها صورت می‌گیرد.
- **عوارض سطحی:** خطاهای متداول توپولوژیکی در خصوص عوارض سطحی، شامل وجود شکاف بین سطوح مجاور، همپوشانی[۵۷] غیرمجاز، باز بودن مرز (عدم بسته بودن سطح) و وجود حفره‌های نادرست است. راه‌کارهای اصلاح این خطاها، شامل ایجاد پیوستگی[۵۸] برای حذف شکاف‌های ریز، برش[۵۹] یا ادغام سطوح همپوشان، ترسیم مجدد مرز برای بستن سطح و پُر کردن[۶۰] یا حذف حفره‌های غیرمجاز می‌باشد.
- **احجام:** خطاهای توپولوژیک متداول در خصوص احجام، شامل نقص در بسته بودن حجم (وجود سوراخ یا وجه گمشده)، تداخل فضایی با احجام دیگر، وجود اجزای شناور بدون اتصال به بدنه اصلی و عدم وجود

---

[52] Snap
[53] Gap
[54] Connect
[55] Merge
[56] Snap Tolerance
[57] Overlap
[58] Integrate
[59] Clip
[60] Fill

توالی ارتفاعی یا فواصل منطقی می‌باشد. رفع این خطاها، از طریق بستن احجام، تفکیک[۶۱] احجام درهم‌رفته، اتصال توپولوژیک اجزای فرعی به اصلی و اصلاح موقعیت ارتفاعی احجام انجام می‌گیرد.

لازم به ذکر است، به منظور ارزیابی دقیق و کامل صحت روابط توپولوژیکی در مدل سه‌بعدی، بایستی مطابق با چارچوب و الزامات فنی مندرج در دستورالعمل ۳-۱۱۹، عمل گردد.

۵-۷-ارزیابی تطابق با مشخصات تعیین شده در مراحل پیش‌طراحی و طراحی

در این مرحله، به منظور اطمینان از انطباق مدل سه‌بعدی تولید شده با نیازهای پروژه، نتایج حاصله، از نظر مطابقت با مشخصات تعیین شده در مراحل پیش‌طراحی و طراحی، مطابق با گزارش پیش‌طراحی و طراحی ارائه شده (گزارش پیش‌طراحی که به تأیید کارفرمای پروژه نیز رسیده است)؛ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

ضروری است کلیه نتایج به‌دست آمده از ارزیابی‌های کیفی صورت گرفته طی مراحل فوق‌الذکر، در قالب گزارش مدونی شامل روش‌ها، شاخص‌ها و نتایج کمی حاصله، مستند گردد.

[61] Disjoin

فصل ششم

ذخیره‌سازی مدل‌های سه‌بعدی شهری و استانداردهای تبادل داده

۶-۱-فرمت‌های نهایی مورد نظر برای ذخیره‌سازی مدل‌های سه‌بعدی شهری

فرمت‌های داده‌ای متن‌باز استاندارد، روشی استاندارد برای نمایش هندسه، روابط توپولوژیکی، معنا و ماهیت عوارض مختلف شهری ارائه نموده و امکان تعریف سطوح مختلف جنرالیزاسیون، همچنین قابلیت تعامل‌پذیری داده‌ها در زمینه خدمات وب مکانی را فراهم می‌نمایند. لذا این فرمت‌های متن‌باز، فرمت‌های نهایی مورد نظر به منظور ذخیره‌سازی مدل‌های سه‌بعدی شهری تأیید شده مطابق با معیارهای ارزیابی کیفی در فصل ۵، می‌باشند.

به منظور ذخیره‌سازی مدل‌های سه‌بعدی شهری، لازم است موارد زیر مدنظر قرار گیرد:

- با توجه به این‌که در حال حاضر، پلتفرم مورد نظر سازمان نقشه‌برداری کشور برای انتشار و تبادل داده‌های سه‌بعدی در بستر وب، پلتفرم Cesium می‌باشد، به‌منظور فراهم‌سازی امکان ارائه و نمایش برخط مدل‌های سه‌بعدی شهری مبتنی بر GIS در بستر پلتفرم Cesium، استفاده از فرمت‌های متن‌باز مناسب برای این منظور، از جمله I3S مدنظر قرار می‌گیرد. همچنین فرمت متن‌باز CityGML (و/یا CityJSON) نیز به‌عنوان فرمت مرجع ذخیره‌سازی و تبادل مدل‌های سه‌بعدی شهری مبتنی بر GIS، در نظر گرفته شده و تبدیل داده‌ها به فرمت‌های نمایشی، بر اساس این فرمت مرجع انجام می‌پذیرد.
- در خصوص مدل‌های مش سه‌بعدی، علاوه بر لزوم ارائه مدل سه‌بعدی با یکی از فرمت‌های اعلام شده در بخش ۴-۲-۴-۱ (مانند OBJ)، که مطابق با نیاز کارفرما تعیین می‌گردد؛ به منظور میسر بودن امکان انتشار این مدل‌ها در بستر پلتفرم Cesium، فرمت Cesium 3D Tiles نیز به عنوان فرمت نهایی ارائه مدل‌های مش سه‌بعدی مورد نظر می‌باشد.
- با توجه به این‌که مدل‌های مش سه‌بعدی فاقد ساختار کلاس‌بندی عوارض مکانی و شِمای داده‌ای مشابه مدل‌های برداری سه‌بعدی می‌باشند، الزامات مربوط به آماده‌سازی داده‌ها، نگاشت کلاس‌ها و اعتبارسنجی ساختاری که در این فصل برای مدل‌های برداری تشریح شده است، شامل مدل‌های مش سه‌بعدی نمی‌گردد.

همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، مدل‌های سه‌بعدی مبتنی بر GIS، به‌طور معمول از مدل‌های برداری سه‌بعدی تولید می‌شوند. در بخش‌های ۶-۱-۱ و ۶-۱-۲، مراحل کلی مورد نیاز به منظور تبدیل فرمت‌های برداری سه‌بعدی به فرمت‌های متن‌باز، بیان می‌گردد.

۶-۱-۱- آماده‌سازی داده‌های برداری به منظور تبدیل به فرمت‌های متن‌باز

به منظور تبدیل فرمت‌های برداری سه‌بعدی به فرمت‌های متن‌باز، لازم است داده‌های برداری آماده‌سازی شوند.

در این راستا، قبل از تبدیل فرمت یک مدل سه‌بعدی که از طریق ایجاد عوارض مکانی مدنظر و با رعایت الزامات ذکر شده در بخش‌های ۴-۲-۴-۲ و ۴-۲-۴-۳، تولید شده است؛ می‌بایست فرمت متن‌باز هدف، از نظر کلاس‌های عوارض مکانی مورد پشتیبانی، بررسی گردد. چنان‌چه عوارض مکانی ایجاد شده، در کلاس‌هایی قرار گرفته‌اند که در فرمت متن‌باز هدف، تعریف‌نشده است، لازم است این عوارض در کلاس دیگری که برای فرمت هدف شناخته شده است، قرار داده شده یا در کلاس عوارض تعریف شده توسط کاربر[۶۲] جای گیرند یا در صورت غیرضروری بودن، حذف شوند.

۶-۱-۲- تبدیل فرمت مدل سه‌بعدی به فرمت متن‌باز

در این مرحله، مدل برداری سه‌بعدی آماده‌سازی شده مطابق با الزامات ذکر شده در بخش ۶-۱-۱، به یکی از فرمت‌های متن‌باز مانند CityGML, CityJSON, 3Dtiles، I3S تبدیل می‌شود. برخی از این فرمت‌ها مانند 3DTiles و I3S، به منظور نمایش در بستر وب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فرمت‌های متن‌باز مورد نظر این دستورالعمل، CityGML و I3S می‌باشند.

- **فرمت CityGML:**

CityGML، یک مدل دادهٔ استاندارد باز و فرمت تبادل داده است که مبتنی بر GML بوده و جزء استانداردهای OGC می‌باشد. این فرمت، به طور خاص برای نمایش و تبادل مدل‌های سه‌بعدی شهری طراحی شده و روشی استاندارد برای نمایش هندسه، روابط توپولوژیکی و معنا و ماهیت عوارض مختلف شهری ارائه می‌کند، از پنج سطح از جزئیات (LOD) پشتیبانی نموده، همچنین قابلیت تعامل‌پذیری داده‌ها در زمینه خدمات وب مکانی و زیرساخت‌های داده‌های مکانی را تسهیل می‌کند. لذا با توجه به این ویژگی‌ها، CityGML، به عنوان فرمت مرجع متن‌باز هدف در این دستورالعمل انتخاب می‌شود.

- **فرمت I3S:**

به منظور ارائه و نمایش داده‌های مکانی سه‌بعدی در بستر وب، گزینش یک فرمت منتخب نهایی که برای نمایش تحت وب مناسب باشد، ضروری است. نظر به اینکه فرمت استاندارد I3S که جزء استانداردهای OGC می‌باشد، ارائه حجم سنگینی از داده‌های مکانی سه‌بعدی را در بستر شبکه امکان‌پذیر می‌سازد، با پهنای باندهای مختلف از جمله موبایل‌ها سازگاری دارد،

[62] User-defined

همچنین بعد معنایی عوارض مکانی را در فرآیند تبدیل فرمت به CityGML حفظ می‌نماید، به عنوان استاندارد منتخب به منظور ارائه سرویس‌های مکانی تحت وب، در این دستورالعمل الزام‌آور در نظر گرفته می‌شود.

در فرآیند تبدیل فرمت مدل‌های سه‌بعدی به فرمت‌های متن‌باز استاندارد، باید نکاتی رعایت شوند که دو مورد از مهمترین آن‌ها به شرح زیر است:

- **انتخاب درست نسخه فرمت استاندارد هدف:**

نسخه‌های بالاتر فرمت‌های استاندارد از قابلیت بیشتری برخوردارند. لذا ضروری است در فرآیند تبدیل فرمت داده‌های برداری به فرمت‌های استاندارد، آخرین نسخه مد نظر قرار گیرد.

- **اعتبارسنجی داده تحت فرمت استاندارد حاصل شده:**

بعد از تبدیل فرمت داده‌های برداری سه‌بعدی به فرمت استاندارد مورد نظر، لازم است صحت فرمت استاندارد خروجی با بکارگیری ابزارها یا نرم‌افزارهای مربوطه پایش شده و اعتبارسنجی گردد.

پیوست ۱: واژه‌نامه

کلیدواژه	تعریف
مدل سه‌بعدی شهری (3D City Model)	یک بازنمایی رقومی سه‌بعدی از مناطق شهری، که عوارضی مانند ساختمان‌ها و سازه‌ها، زیرساخت‌ها، مبلمان شهری، پوشش‌های گیاهی و سایر اجزاء مناظر شهری قابل ارائه است.
مدل مش سه‌بعدی (3D Mesh Model)	مدل سه‌بعدی متشکل از سطوح به‌هم‌پیوسته، که امکان بازسازی واقع‌گرایانه محیط‌های شهری را فراهم می‌سازد اما به دلیل ساختار پیوسته آن و در دسترس نبودن عوارض مکانی به‌صورت مستقل، در تحلیل‌های مبتنی بر داده دارای محدودیت می‌باشد.
مدل برداری سه‌بعدی (3D Vector Model)	مدل سه‌بعدی مبتنی بر تعریف هندسه اشیاء به‌صورت موجودیت-های مجزا، با استفاده از نقاط، خطوط، سطوح یا احجام؛ که قابلیت تولید اشیاء مستقل را دارا می‌باشد.
مدل سه‌بعدی مبتنی بر GIS (3D GIS Model)	مدل سه‌بعدی که از امکانات سامانه‌های اطلاعات مکانی برای بازیابی، تحلیل و آنالیز داده‌ها برخوردار است و هر عارضه در آن، به عنوان یک شیء مستقل، متشکل از سه مولفه اصلی هندسه، توپولوژی و ویژگی‌های توصیفی تعریف می‌گردد.
CITYGML	یک مدل دادهٔ استاندارد متن باز و جزء استانداردهای OGC می-باشد که به طور خاص برای نمایش، ذخیره‌سازی و تبادل مدل‌های سه‌بعدی شهری طراحی شده است.
همسان رقمی (Digital Twin)	یک مدل سه‌بعدی رقومی از محیط واقعی است، به‌طوری‌که یک جریان دادهٔ دو طرفه از دنیای واقعی به مدل رقومی و برعکس وجود داشته باشد و در نتیجه، مدل رقومی به‌طور هم‌زمان با دنیای واقعی همگام و به‌روز شود.
BIM (Building Information Modeling)	فرآیند ایجاد یک مدل رقومی حاوی اطلاعات دقیق در مورد هندسه، روابط مکانی، متریال، کمیت‌ها و سایر مشخصه‌های مرتبط با یک ساختمان است که جنبه‌های مختلف از مرحله طراحی تا ساخت و نگهداری یک سازه را در طول چرخه عمر یک پروژه، یکپارچه‌سازی می‌کند.
سطح جزئیات (LOD)	شاخصی است که در مدل‌سازی سه‌بعدی شهری، امکان نمایش یک شیء سه‌بعدی را در سطوح متفاوتی از پیچیدگی هندسی و اجزای معنایی (در صورت وجود) فراهم می‌کند.
زاویه تیلت (Tilt Angle)	زاویه بین محور اپتیکی دوربین و امتداد قائم (عبوری از مرکز پرسپکتیو).
تصویر هوایی مایل (Oblique Aerial Image)	یک تصویر هوایی که در زمان اخذ آن، محور اپتیکی دوربین، تعمداً نسبت به امتداد قائم منحرف گردیده است.

کلیدواژه	تعریف
سیستم چند فریمه (Multi-head System)	سامانه‌ای شامل چند دوربین با زاویه‌های دید مختلف و تصویربرداری هم‌زمان، به‌منظور پوشش بهتر و کامل‌تر عوارض شهری.
مدل داده مکانی (Spatial Data Model)	چارچوبی است که تعریف می‌کند اطلاعات مکانی چگونه نمایش داده شوند، چه نوع ساختاری داشته باشند و روابط بین عوارض چگونه باشد.
عارضه (Feature)	هر پدیده یا شیء در دنیای واقعی که دارای موقعیت مکانی و ویژگی‌های توصیفی باشد، مانند یک ساختمان.
موجودیت (Entity)	یک شیء یا پدیده قابل تشخیص در دنیای واقعی که دارای هویت یکتا بوده و می‌تواند با ویژگی‌های مکانی و توصیفی در پایگاه داده مکانی، مدل‌سازی شود.
لایه (Layer)	یک مجموعه سازماندهی شده از عوارض مکانی هم‌نوع و دارای یک ساختار داده‌ای مشترک، مانند لایه جاده‌ها یا لایه کاربری اراضی.
کلاس (Class)	دسته یا گروهی از عوارض که دارای ویژگی‌های مشترک هستند، مانند کلاس "مسکونی" در لایه کاربری اراضی.
زیر کلاس (Sub-Class)	یک زیرمجموعه تخصصی‌تر از یک کلاس اصلی که ویژگی‌ها یا معیارهای خاص‌تری را دارا می‌باشد، مثلا زیرکلاس "مسکونی آپارتمانی" در کلاس اصلی "مسکونی".
توپولوژی (Topology)	به مجموعه قواعد و روابط هندسی بین عوارض مکانی گفته می‌شود که صحت و یکپارچگی داده‌ها را تضمین می‌کند. این روابط شامل اتصال، هم‌پوشانی، هم‌مرزی و ترتیب بین موجودیت‌ها است و امکان تحلیل‌های پیچیده مکانی و تشخیص خطاها را فراهم می‌آورد.
نرم‌افزار متن‌باز (Open Source Software)	نرم‌افزاری که کد منبع آن برای عموم قابل دسترسی، بازبینی، ویرایش و توسعه است.
Cesium	یک پلت‌فرم یا نرم‌افزار متن‌باز است که می‌توان با استفاده از آن، داده‌های مکانی سه‌بعدی حجیم را آپلود کرد، بهینه‌سازی نمود و در یک مرورگر وب به کاربران ارائه کرد.

پیوست ۲: مدل داده مکانی

- **تعریف مدل داده مکانی**

مدل داده مکانی در نقشه‌برداری و سیستم‌های اطلاعات مکانی، چارچوبی برای تعریف، سازمان‌دهی و نمایش عوارض دنیای واقعی در قالبی قابل فهم و قابل پردازش می‌باشد. این چارچوب شامل تعریف عوارض موردنظر و مشخص نمودن کلاس طبقه‌بندی آنها، نحوه تولید و ترسیم عوارض، اطلاعات توصیفی مرتبط و نحوه ذخیره‌سازی اطلاعات توصیفی، نحوه نمایش عوارض (شامل ویژگی‌هایی مانند رنگ، ضخامت خط، نوع خط[۶۳]، نمادگذاری)، روابط و قواعد توپولوژیک موجود بین عوارض و...، با توجه به ساختار داده و مقیاس/حدتفکیک مکانی محصول موردنظر می‌باشد.

در مدل داده مکانی برداری که رایج‌ترین نوع مدل داده مکانی می‌باشد، برای کاهش پیچیدگی‌های عوارض دنیای واقعی و تسهیل درک داده‌ها، بسته به مقیاس/حدتفکیک مکانی محصول موردنظر، از تقسیم‌بندی زیر برای تعریف هندسه عوارض استفاده می‌شود:

- المان‌های نقطه‌ای[۶۴]: نمایش‌دهنده عوارض منفرد با موقعیت دقیق، مانند درخت، تیر برق یا چاه.
- المان‌های خطی[۶۵]: بیانگر عوارضی با امتداد و مسیر مشخص، مانند ردیف درخت، جاده یا رودخانه.
- المان‌های سطحی[۶۶]: معرف عوارضی با گستره مشخص، مانند پارک، جنگل یا محدوده‌های کاربری زمین.

به‌عنوان مثال، در یک نقشه شهری بزرگ مقیاس، عوارض موجود در کلاس پوشش گیاهی، ممکن است شامل عوارضی مانند درخت، ردیف درخت، پارک، جنگل و مزرعه باشند، که با توجه به چارچوب فوق‌الذکر، درخت به‌صورت المان نقطه‌ای، ردیف درخت با المان خطی و پارک و جنگل به صورت المان سطحی تعریف می‌گردند؛ همچنین برای انتقال بهتر معنا و تمایز بصری عوارض، از نمادگذاری گرافیکی (ویژگی‌هایی نظیر رنگ، نوع خط، نماد و...) استفاده می‌شود. به‌عنوان نمونه، پارک‌ها ممکن است با رنگ سبز روشن و خط ممتد برای مرز مشخص شوند، در حالی‌که جنگل‌ها با رنگ سبز تیره و خط چین نمایش داده شوند تا به این طریق تفاوت مفهومی و بصری آن‌ها حفظ گردد.

ذکر این نکته ضروری است که طراحی مدل داده مکانی می‌بایست متناسب با ساختار داده‌ای مورد نیاز باشد. در مدل‌های داده مکانی پیچیده‌تر، تعریف روابط توپولوژیک (مانند مجاورت، اشتراک یا اتصال)، سلسله مراتب عوارض و ساختارهای ترکیبی،

[63] Line Style
[64] Point Features
[65] Line Features
[66] Polygon Features

بخش جدایی‌ناپذیری از طراحی مدل داده محسوب می‌شود. این ویژگی‌ها سبب می‌شوند که مدل داده نه فقط ابزاری برای نمایش گرافیکی، بلکه بستری برای تحلیل مکانی و مدل‌سازی یکپارچه ساختار واقعی محیط باشد.

- **مدل داده مکانی برای مدل‌های سه‌بعدی شهری**

مدل داده مورد استفاده برای مدل‌های سه‌بعدی شهری، می‌بایست متناسب با ماهیت مدل سه‌بعدی شهری و با توجه به کاربرد مورد نظر برای مدل سه‌بعدی، تهیه گردد.

در ادامه به مشخصات مدل داده، متناسب با ساختار مدل مش سه‌بعدی و مدل برداری سه‌بعدی، اشاره شده و یک نمونه مدل داده برای مدل مش سه‌بعدی ارائه گردیده است.

نکته: ضروری است قبل از فرآیند پیش‌طراحی و طراحی پروژه، مدل داده مکانی مورد نظر، بر اساس نیازهای پروژه و کاربرد مدنظر برای مدل سه‌بعدی شهری، توسط کارفرما تهیه گردد.

- **تعریف مدل داده برای مدل مش سه‌بعدی**

با توجه به ساختار پیوسته مدل‌های مش سه‌بعدی، عوارض مکانی به‌صورت مستقل در دسترس قرار نمی‌گیرند و فقط به‌صورت بصری می‌توان آنها را از یکدیگر متمایز نمود، لذا امکان مشخص نمودن عوارض به صورت منفک وجود ندارد و در مدل داده مورد نظر، صرفاً باید عوارض هدف را تعیین نمود تا از طریق مشخص نمودن نحوه جمع‌آوری داده‌ها در مراحل پیش‌طراحی و طراحی، تلاش گردد نمایش بصری و دقت هندسی این عوارض در مدل سه‌بعدی، از کیفیت مورد نظر مطابق با نیازهای پروژه، برخوردار باشد.

- **تعریف مدل داده برای مدل برداری سه‌بعدی**

مدل‌های برداری سه‌بعدی بر مبنای تعریف هندسه اشیاء به‌صورت موجودیت‌های مجزا، با استفاده از نقاط، خطوط، سطوح یا احجام؛ ایجاد می‌گردند. در این نوع مدل‌های سه‌بعدی، امکان شناسایی عوارض به‌صورت دقیق وجود داشته، همچنین قابلیت استفاده از ابزارهای تحلیل مکانی مبتنی بر اشیا، را نیز دارا می‌باشند. در تعریف مدل داده برای مدل‌های برداری سه‌بعدی، می‌بایست موارد زیر مشخص گردد:

- سطح جزئیات (LOD) مورد نظر

- عوارض هدف مورد نظر
- جزئیات مورد انتظار برای عوارض هدف (به عنوان مثال تفکیک در، پنجره و... در خصوص ساختمان‌ها)
- نوع ساختار مدل سه‌بعدی (سطحی[۶۷] یا حجمی[۶۸])
- نحوه تشکیل سطوح با استفاده از نقطه یا خط، و منحنی یا مسطح بودن سطوح، در خصوص مدل‌های با ساختار سطحی
- نحوه نمایش عوارض به صورت احجام داخلی و خارجی، در خصوص مدل‌های با ساختار حجمی

- **مدل داده مکانی نمونه برای تهیه مدل مش سه‌بعدی**

مدل داده زیر به عنوان نمونه پیشنهادی (با اولویت ساختمان‌ها و سازه‌های شهری)، به‌منظور تهیه مدل‌های مش سه‌بعدی با حدود تفکیک مکانی متفاوت (متناسب با GSD تصاویر مورد استفاده)، در ۴ گروه تهیه و ارائه گردیده است. در جدول ارائه شده "+" به منزله این است که عارضه می‌بایست از کیفیت و دقت هندسی مورد نظر پروژه برخوردار باشد و "B" به منزله این است که عارضه صرفاً به عنوان پس‌زمینه نمایش داده شده و کیفیت و دقت هندسی آن مورد ارزیابی قرار نمی‌گیرد.

نکته ۱: جدول پیشنهادی نمونه می‌باشد، لذا با توجه به نیاز پروژه و کاربرد مدل سه‌بعدی، می‌توان تغییرات لازم را به عوارض هدف اعمال کرد یا سایر موارد و جزئیات مورد انتظار در خصوص این عوارض (به عنوان نمونه جزئیات مدنظر در خصوص نمای ساختمان‌ها مانند در، پنجره و...) را اضافه نمود.

نکته ۲: حد تفکیک مکانی تصاویر و داده‌های مورد استفاده، با توجه به دقت هندسی موردنظر پروژه و نتایج پیش‌طراحی و طراحی تعیین می‌گردد.

نکته ۳: در صورتی که مطابق با جدول پیشنهادی، پهنه‌ای به صورت پس زمینه (B) نمایش داده شود (به عنوان مثال پارک و تفریحگاه)، در خصوص عوارض موجود داخل آن پهنه، باید مطابق با ردیف‌های مربوط به آن عوارض در جدول، عمل گردد.

[67] Surface
[68] Solid

فهرست عوارض مدل داده (به ترتیب حروف الفبا):

	نام عارضه	GSD<2 (سانتیمتر)	2<GSD<5 (سانتیمتر)	5<GSD<10 (سانتیمتر)	GSD>10 (سانتیمتر)
۱.	آب نما	+	B	B	B
۲.	آزادراه	+	+	+	+
۳.	استادیوم	+	+	+	+
۴.	استخر	+	+	B	B
۵.	اسکله	+	+	+	+
۶.	آسیاب	+	+	+	+
۷.	آشیانهٔ هواپیما	+	+	+	+
۸.	آلاچیق	+	B	B	B
۹.	انبار	+	+	+	+
۱۰.	انبار مواد سوختی	+	+	+	+
۱۱.	آنتن	B	B	B	B
۱۲.	ایستگاه آتش‌نشانی	+	+	+	+
۱۳.	ایستگاه تغییر ولتاژ (پست فشار قوی)	+	B	B	B
۱۴.	ایستگاه حمل و نقل زمینی	+	B	B	B
۱۵.	ایستگاه هواشناسی	+	+	B	B
۱۶.	باجه تلفن همگانی	+	B	B	B
۱۷.	باسکول	+	B	B	B
۱۸.	باغ	B	B	B	B
۱۹.	باغ وحش	B	B	B	B
۲۰.	باند فرود	+	+	+	+
۲۱.	برج	+	+	+	+
۲۲.	بریدگی	B	B	B	B
۲۳.	بزرگراه	+	+	+	+
۲۴.	بلوک ساختمانی	+	+	+	+
۲۵.	بنای یادبود	+	+	B	B
۲۶.	بند	+	+	+	+
۲۷.	بندرگاه	B	B	B	B
۲۸.	بهمن گیر	+	+	B	B
۲۹.	پارک و تفریحگاه	B	B	B	B
۳۰.	پارکینگ	B	B	B	B
۳۱.	پالایشگاه	B	B	B	B
۳۲.	پایانه حمل و نقل زمینی	B	B	B	B
۳۳.	پل عابر پیاده	+	B	B	B
۳۴.	پل وسائط نقلیه	+	+	+	+
۳۵.	پله	+	+	B	B
۳۶.	پهنه‌های غیرخشک	B	B	B	B
۳۷.	پیاده رو	B	B	B	B

	نام عارضه	GSD<2 (سانتیمتر)	2<GSD<5 (سانتیمتر)	5<GSD<10 (سانتیمتر)	GSD>10 (سانتیمتر)
.۳۸	تابلو تاسیسات	B	B	B	B
.۳۹	تابلو تبلیغاتی	B	B	B	B
.۴۰	تابلو راهنمایی	B	B	B	B
.۴۱	تاسیسات خنک کننده	B	B	B	B
.۴۲	تراس	+	B	B	B
.۴۳	ترانس	**B**	**B**	**B**	**B**
.۴۴	تصفیه خانه	B	B	B	B
.۴۵	تک درخت	B	B	B	B
.۴۶	توربین بادی	+	+	B	B
.۴۷	تیر	B	B	B	B
.۴۸	جایگاه سوخت رسانی	B	B	B	B
.۴۹	جدول	+	+	B	B
.۵۰	جزیرهٔ وسط خیابان	+	+	B	B
.۵۱	جزیره	B	B	B	B
.۵۲	جزیره وسط رودخانه	B	B	B	B
.۵۳	جنگل	B	B	B	B
.۵۴	جوی با جدول	B	B	B	B
.۵۵	چادر(های) عشایری	+	+	B	B
.۵۶	چاه آب	B	B	B	B
.۵۷	چاه نفت و گاز	B	B	B	B
.۵۸	چراغ دریایی	B	B	B	B
.۵۹	چراغ راهنمایی	B	B	B	B
.۶۰	چراغ روشنایی	B	B	B	B
.۶۱	چشمه	B	B	B	B
.۶۲	چمن زار	B	B	B	B
.۶۳	چمن کاری	B	B	B	B
.۶۴	حصار	+	B	B	B
.۶۵	حوضچه‌های مواد زائد نفتی	B	B	B	B
.۶۶	خاکریز	B	B	B	B
.۶۷	خر پشته	+	+	+	+
.۶۸	خرابه	B	B	B	B
.۶۹	خط لوله	B	B	B	B
.۷۰	خلیج	B	B	B	B
.۷۱	خور	B	B	B	B
.۷۲	دپو	B	B	B	B
.۷۳	درخت	B	B	B	B
.۷۴	درختان پراکنده	B	B	B	B
.۷۵	درختکاری	B	B	B	B
.۷۶	دریچه تنظیم آب	B	B	B	B
.۷۷	دریچه منهول	+	B	B	B

	نام عارضه	GSD<2 (سانتیمتر)	2<GSD<5 (سانتیمتر)	5<GSD<10 (سانتیمتر)	GSD>10 (سانتیمتر)
.۷۸	دکل حفاری	B	B	B	B
.۷۹	دکل فشار قوی	+	+	B	B
.۸۰	دکل مخابراتی	+	+	B	B
.۸۱	دکه	+	+	B	B
.۸۲	دهانه تونل	B	B	B	B
.۸۳	دهانه غار	B	B	B	B
.۸۴	دهانه معدن	B	B	B	B
.۸۵	دودکش صنعتی	+	+	B	B
.۸۶	دیوار	+	+	+	+
.۸۷	دیوار ساحلی	+	+	+	+
.۸۸	دیوار محافظ	+	+	+	+
.۸۹	راه برون شهری	+	+	+	+
.۹۰	راه جیپ رو	+	+	+	+
.۹۱	راه درون شهری	+	+	+	+
.۹۲	راه مالرو	+	+	+	+
.۹۳	ردیف درخت	B	B	B	B
.۹۴	رود	B	B	B	B
.۹۵	زراعت	B	B	B	B
.۹۶	زمین تحقیقات کشاورزی	B	B	B	B
.۹۷	زندان	B	B	B	B
.۹۸	زهکش	+	B	B	B
.۹۹	ساختمان	+	+	+	+
.۱۰۰	ساختمان منفرد	+	+	+	+
.۱۰۱	سایبان	+	B	B	B
.۱۰۲	سد	+	+	+	+
.۱۰۳	سرویس بهداشتی عمومی	+	+	+	+
.۱۰۴	سطل زباله	B	B	B	B
.۱۰۵	سوزن راه آهن	B	B	B	B
.۱۰۶	سیل بند	+	+	+	+
.۱۰۷	سیلو	+	+	+	+
.۱۰۸	شانه خاکی	B	B	B	B
.۱۰۹	شن زار	B	B	B	B
.۱۱۰	شیر آتش نشانی	B	B	B	B
.۱۱۱	صفحات خورشیدی	+	+	B	B
.۱۱۲	صفحهٔ دوار لوکوموتیو	+	B	B	B
.۱۱۳	علمک	B	B	B	B
.۱۱۴	عوارضی	+	+	B	B
.۱۱۵	فرودگاه	B	B	B	B
.۱۱۶	قبرستان	B	B	B	B
.۱۱۷	قنات	B	B	B	B

	نام عارضه	GSD<2 (سانتیمتر)	2<GSD<5 (سانتیمتر)	5<GSD<10 (سانتیمتر)	GSD>10 (سانتیمتر)
.۱۱۸	کانال	+	+	B	B
.۱۱۹	کانیوو	B	B	B	B
.۱۲۰	کرانه رود (داغی آب)	B	B	B	B
.۱۲۱	کلبه	+	+	B	B
.۱۲۲	کوره آجرپزی	+	+	+	+
.۱۲۳	گلخانه	+	+	B	B
.۱۲۴	گودبرداری	B	B	B	B
.۱۲۵	مانع انتهایی ریل	B	B	B	B
.۱۲۶	مجتمع صنعتی	B	B	B	B
.۱۲۷	مجرای آبرو	B	B	B	B
.۱۲۸	مجسمه	+	B	B	B
.۱۲۹	مجموعه نمایشگاهی	B	B	B	B
.۱۳۰	مکان ورزشی	B	B	B	B
.۱۳۱	محل جمع‌آوری اجناس اسقاطی	B	B	B	B
.۱۳۲	محل جمع‌آوری زباله	B	B	B	B
.۱۳۳	محل فرود بالگرد	+	+	+	+
.۱۳۴	مخزن آب	+	+	B	B
.۱۳۵	مخزن مواد سوختی	+	+	B	B
.۱۳۶	مسیر اختصاصی اتوبوس	B	B	B	B
.۱۳۷	مسیر حمل و نقل ریلی	B	B	B	B
.۱۳۸	مسیل	B	B	B	B
.۱۳۹	معدن روباز	B	B	B	B
.۱۴۰	مقبره	+	+	B	B
.۱۴۱	منطقه ممنوعه	B	B	B	B
.۱۴۲	موج شکن	B	B	B	B
.۱۴۳	میدان	+	+	B	B
.۱۴۴	نهر یا جوی	B	B	B	B
.۱۴۵	نورگیر	B	B	B	B
.۱۴۶	نیروگاه	B	B	B	B
.۱۴۷	نیزار	B	B	B	B
.۱۴۸	نیوجرسی	+	+	B	B
.۱۴۹	هواکش مسیرهای زیر زمینی	+	B	B	B
.۱۵۰	ورودی مترو	B	B	B	B

پیوست ۳: قالب نمونه برای گزارش پیش‌طراحی و طراحی پروژه

پروژه تهیه مدل سه‌بعدی شهری
از بخشی از محدوده شهر رودهن به وسعت ۶۵ هکتار
کارفرما: شهرداری رودهن

۱- گزارش پیش‌طراحی پروژه

هدف از این مرحله، انتخاب بهینه‌ترین روش قابل استفاده برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای تولید مدل سه‌بعدی شهری می‌باشد که دارای حداقل افزونگی داده بوده و دقت و کیفیت مورد انتظار کارفرما را تأمین نماید.
در این گزارش، پارامترهای موثر در انتخاب روش جمع‌آوری داده‌ها و ترکیب روش‌های مختلف تعیین شده برای جمع‌آوری داده در محدوده‌های مختلف پروژه ارائه گردیده است، همچنین محدوده تقریبی مناطقی که مدل سه‌بعدی از مشخصات فنی مورد نظر برخوردار نخواهد بود، شامل نواحی پنهان ناشی از موانع ساختمانی و پوشش‌های گیاهی؛ در قالب یک اندکس ارائه گردیده است.

۱-۱ کاربرد مدل‌سازی سه‌بعدی

الف- ممیزی املاک و دسترسی به اطلاعات به‌روز و دقیق اجزاء شهر و قطعات ملکی، به‌منظور سازماندهی و برنامه‌ریزی شهری با استفاده از مدل سه‌بعدی شهری، تعیین ارتفاع و تعداد طبقات ساختمان‌ها و دسترسی به اطلاعات وضع موجود املاک و گذرگاه‌ها.
ب- تهیه طرح تفصیلی و تعیین کاربری زمین‌های شهری، مساحت‌ها و...، با لحاظ نمودن وضعیت ساختار سه‌بعدی شهر.

۱-۲ مدل داده مکانی و LOD مورد نظر پروژه

- عوارض هدف و مدل داده مکانی مورد نظر پروژه (ارائه شده توسط کارفرما)، مطابق فایل پیوست گزارش می‌باشد.

موارد قابل ذکر:

در مدل داده ارائه شده توسط کارفرما، منهول و پرچین پیش‌بینی شده است اما با توجه به روش پیشنهادی برای جمع‌آوری داده‌ها، امکان مدل‌سازی این عوارض وجود ندارد.

....

....

....

- با توجه به کاربرد مدل‌سازی و مدل داده مورد نظر پروژه، از آنجا که اطلاعات مورد نیاز در نمای ساختمان‌ها، صرفاً شامل شناسایی حدود عرصه املاک، تعداد طبقات ساختمان‌ها، تشخیص تابلوهای واحدهای صنفی و ابعاد تقریبی آن‌ها بوده و نیازی به جزئیات دقیق‌تر از نمای ساختمان‌ها نمی‌باشد، لذا تهیه مدل مش سه‌بعدی در سطح LOD2 یعنی نمایش فرم واقعی و نمای کلی ساختمان‌ها، مد نظر پروژه است.

۱-۳ مشخصات منطقه

- **وسعت منطقه**: ۶۵ هکتار
- **طبقه‌بندی پیچیدگی عوارض، توپوگرافی و *بافت منطقه:***

منطقه شهری، تپه ماهور با شیب طولی حدود ده درصد می‌باشد.

پوشش گیاهی منطقه ناچیز است.

یک بوستان به وسعت ۴ هکتار شامل درختان تازه کاشت با ارتفاع حداکثر دو متر و تراکم کم، در منطقه وجود دارد.

بیش از ۸۰ درصد از سطح محدوده پروژه دارای بافت فشرده شهری با ساختمان‌های نوساز و حداکثر ۴ تا ۵ طبقه (ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ متر) می‌باشد.

این محدوده عمدتاً نوساز بوده و ساختار کوچه باغی و زمین‌های خالی و پارسل‌های تشکیل شده با عوارض ناپایدار مانند پرچین به ندرت مشاهده می‌شوند لذا انتظار می‌رود امکان تولید پارسل از داده‌ها با کیفیت مناسب، در سطح منطقه فراهم باشد.

به دلیل ترافیک شهری و پارک وسائل نقلیه، در بخشی از سطح معابر امکان مدل‌سازی سه‌بعدی میسر نیست.

- **شکل، ارتفاع و تراکم سازه‌ها:** بافت یکنواخت شهری تازه ساخت با ساختمان‌های ۴ تا ۵ طبقه (ارتفاع ۱۵ تا ۲۰ متر).
- **متوسط عرض معابر:** ۱۰ تا ۱۵ متر

۱-۴ دقت هندسی مورد نظر

دقت هندسی مورد انتظار، در حد دقت نقشه‌های ۱:۵۰۰ با منحنی تراز نیم‌متری می‌باشد.

۱-۵ دامنه ابزاری در دسترس

تجهیزات موجود برای تهیه مدل سه‌بعدی شهری شامل موارد زیر می‌باشد:

- تصویربرداری هوایی با استفاده از پهپاد ماتریس ۳۵۰ با دوربین P1 با امکان تعیین موقعیت دقیق و انجام تصویربرداری با زوایای مایل مختلف.
- تصویربرداری بردکوتاه با استفاده از پهپاد Mavic 3.
- اسکن لیزری با استفاده از دو عدد اسکنر لیزری زمینی موبایل VZ250 با امکان تعیین موقعیت دقیق.

پیش از اجرای طرح تهیه مدل سه‌بعدی شهری، نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ با استفاده از تصاویر هوایی، از محدوده مورد نظر تهیه گردیده است.

۱-۶ وضعیت جوی و محدودیت‌های زمانی و مالی پروژه

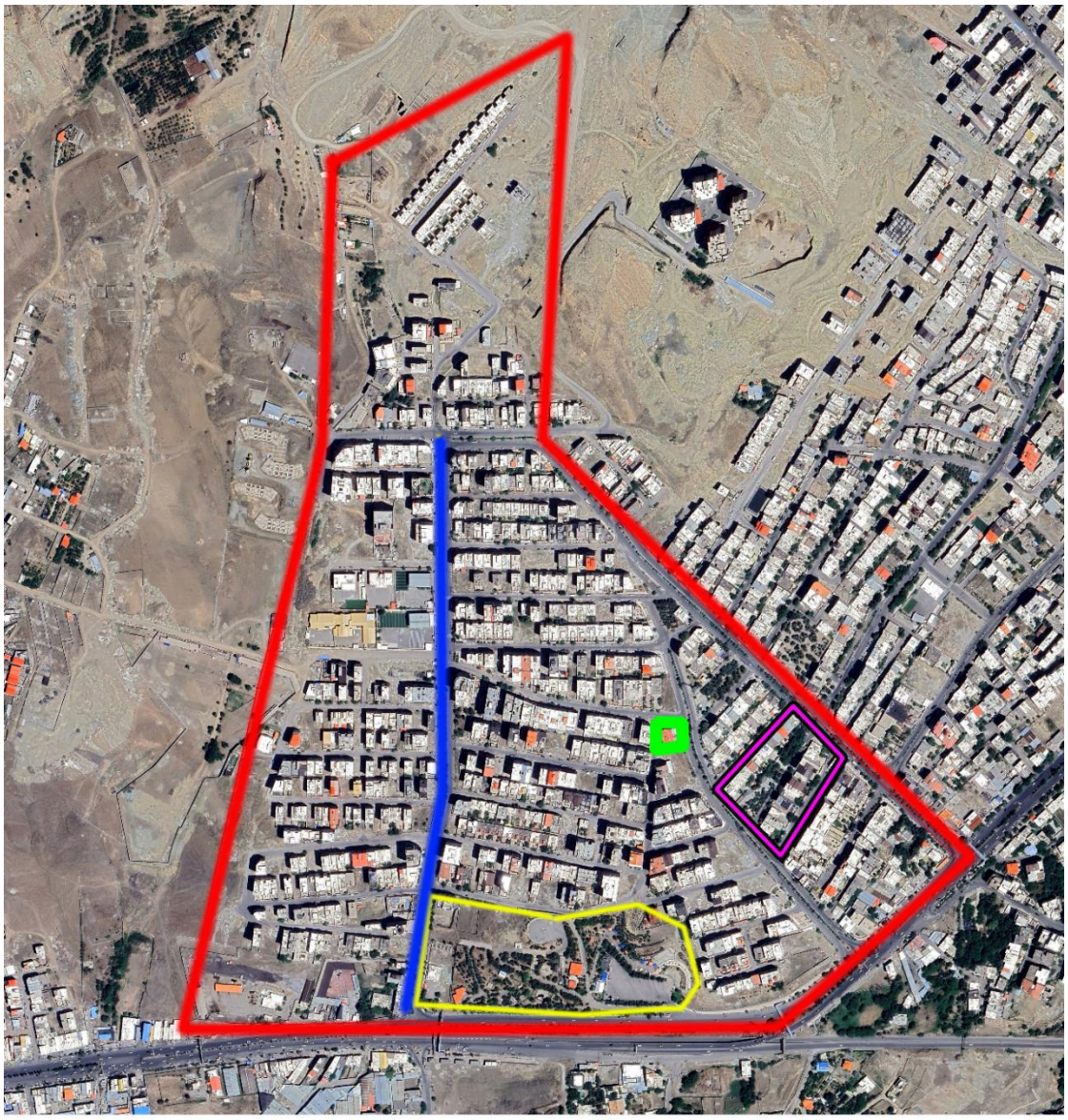
با توجه به وضعیت جوی منطقه، امکان تصویربرداری در اکثر فصول سال فراهم است همچنین به دلیل عدم وجود مناطق نظامی و حساس در محدوده پروژه، امکان هماهنگی برای انجام تصویربرداری‌های مورد نیاز، طی چند پرواز وجود دارد.

۱-۷ روش کار

- روش پیشنهادی اصلی برای تهیه مدل سه‌بعدی در این منطقه، استفاده از فتوگرامتری پهپاد و تصویربرداری هوایی، می‌باشد. با توجه به دقت هندسی و جزئیات مورد انتظار و با در نظر گرفتن ویژگی‌های منطقه از نظر وضعیت خیابان‌بندی، عرض معابر و ارتفاع ساختمان‌ها، از طریق تصویربرداری محدوده با سه پرواز (یک پرواز قائم همراه با دو پرواز مایل تکمیلی با زوایه ۳۰ درجه، در دو جهت عمود بر هم که با خطوط پرواز قائم زاویه ۴۵ درجه می‌سازند)، امکان تهیه مدل رقومی سه‌بعدی با جزئیات لازم برای کاربردهای مورد نظر پروژه، در اکثر مناطق محدوده فراهم می‌باشد.
- به منظور تکمیل مدل سه‌بعدی حاصل از تصاویر هوایی در خیابان اصلی شهر (مطابق اندکس پیش‌طراحی پیوست)، از اسکنر لیزری زمینی موبایل استفاده می‌گردد.
- با توجه به نیاز کارفرما، ساختمان شهرداری (محدوده شماره ۵ در اندکس پیش‌طراحی)، علاوه بر تصویربرداری هوایی، از طریق تصویربرداری تکمیلی برد کوتاه با استفاده از پهپاد، با دقت و جزئیات هندسی بیشتر برداشت می‌شود.
- در محدوده شماره ۲ در اندکس پیش‌طراحی، به دلیل وجود پوشش گیاهی و در محدوده شماره ۳، به دلیل وجود پوشش گیاهی همچنین عرض کم معابر، تقریباً ۳۰ درصد سطح پوشش ساختمان‌ها، به‌صورت کامل مدل‌سازی نخواهد شد.

در فایل اندکس پیش‌طراحی پیوست گزارش، که تصویر آن در ادامه مشاهده می‌گردد، حد کار پروژه، روش جمع‌آوری داده‌ها در محدوده‌های مختلف پروژه، همچنین محدوده‌هایی که مدل‌سازی سه‌بعدی به‌صورت کامل قابل انجام نمی‌باشد، مشخص گردیده است.

اندکس پیش‌طراحی:



۱- مسیر خیابان اصلی
۲- محدوده بوستان
۳- محدوده خیابان پردرخت
۴- محدوده تهیه مدل سه بعدی
۵- ساختمان شهرداری ناحیه

۸-۱ تائیدیه دریافت شده از کارفرما

تأییدیه دریافت شده از کارفرما در خصوص پیش‌طراحی پروژه، به شرح زیر می‌باشد:

کارفرمای پروژه

مهندسان مشاور .....

احتراما در راستای اجرای قرارداد شماره ..... مورخ ۰۰/۰۰/—۱۴ با موضوع ..... و تهیه مدل سه‌بعدی از شهر/ محدوده/ ..... بدینوسیله گزارش پیش‌طراحی تهیه شده توسط آن مشاور و اندکس پیش‌طراحی مربوطه که توسط این سازمان/شهرداری/ ..... تائید شده است ارسال می‌گردد. لطفا پیش از آغاز پروژه در خصوص هماهنگی موارد مورد اشاره در این گزارش با ناظر پروژه اقدام نمایید.

کارفرمای پروژه

رونوشت: اداره کل نظارت، کنترل فنی و استاندارد سازمان نقشه‌برداری کشور

۲- گزارش طراحی پروژه

بهینه‌ترین تنظیمات منتخب برای اجرای پروژه عبارتند از:

- **تصویربرداری هوایی:**

سنجنده: فاصله کانونی ۳۵ میلیمتر، زاویه گشایش (FOV) ۶۳/۵ درجه، ابعاد سنسور برابر با ۸۱۹۲×۵۴۶۰ پیکسل و ابعاد پیکسل برابر با ۴ میکرون

پوشش تصاویر: ۸۰٪ طولی و ۸۰٪ عرضی

ارتفاع پرواز: ۱۸۰ متر

ابعاد پیکسل زمینی (GSD): ۳ سانتیمتر

حد تفکیک مکانی تصاویر: حداکثر ۱/۲ برابر GSD

زاویه تیلت پرواز مایل: ۳۰ درجه نسبت به امتداد قائم

- **تصویربرداری بردکوتاه:**

سنجنده: فاصله کانونی 12 میلیمتر، ابعاد سنسور برابر با ۳۹۵۶×۵۲۸۰ پیکسل و ابعاد پیکسل برابر با ۳/۲ میکرون

حداقل فاصله تا شیء: ۲۵ متر

حداکثر فاصله تا شیء: ۶۰ متر

ابعاد پیکسل زمینی: بین ۰/۷ و ۱/۶ سانتیمتر

- **داده‌های اسکن لیزری** با تراکم متوسط ۴۰۰ نقطه در مترمربع (فاصله متوسط نقاط ۵ سانتیمتر)

پیوست ۴: فرم فراداده

برای دریافت به‌روزترین نسخه فراداده، به مستندات کنترل فنی موجود در وبسایت سازمان نقشه‌برداری کشور، مراجعه شود.

فرم فراداده: مدل متی سه‌بعدی ☐ مدل برداری سه‌بعدی ☐							تاریخ تهیه فراداده:
عنوان پروژه	منطقه	تهیه کننده	کارفرما	محدوده جغرافیایی		سیستم تصویر	شماره زون	بیضوی مبنا	مبنای ارتفاعی
				Xul:	Xlr:				
				Yul:	Ylr:				

اطلاعات داده‌های اولیه					
نوع داده مورد استفاده	تاریخ اخذ داده	تعداد باند تصاویر	تعداد تصاویر	GSD متوسط تصاویر /تراکم ابر نقطه	نام دوربین / سنجنده
تصویر هوایی ☐			نادیر: مایل:		
تصویر پردکوتاه ☐ اسکن لیزری هوایی ☐ اسکن لیزری زمینی ☐					

اطلاعات محصول نهایی					
فرمت محصول نهایی	تاریخ تهیه محصول	دقت مسطحاتی محصول (متر)	دقت ارتفاعی محصول (متر)	مساحت محدوده (هکتار)	حجم محصول	نرم افزار تهیه محصول

دستورالعمل‌های مورد استفاده

توضیحات	
خلاصه عملیات پردازش	
توضیحات تکمیلی	

پیوست ۵: فرم گزارش عملیات تصویربرداری

گزارش عملیات تصویربرداری مایل			
نام منطقه عملیات:		استان محل عملیات:	
طول جغرافیایی متوسط:		عرض جغرافیایی متوسط:	
ارتفاع متوسط پرواز از زمین:	ارتفاع متوسط منطقه:	کارفرما:	مجری پرواز:
تاریخ شروع تصویربرداری:		تاریخ خاتمه تصویربرداری:	
مساحت محدوده کار (هکتار):		مساحت محدوده تصویربرداری شده (هکتار):	
مشخصات پرنده			
نام تجاری پرنده: نوع پرنده: ☐ بال ثابت ☐ مالتی روتور ☐ ویتول نحوه هدایت و کنترل: ☐ دستی ☐ اتوپایلوت		مشخصات گیرنده GNSS مورد استفاده: روش تعیین موقعیت مراکز تصویر: ☐ کم دقت ☐ RTK/PPK دقیق	
مشخصات دوربین شماره ۱			
نام تجاری دوربین: ابعاد تصویر(پیکسل): ابعاد پیکسل (میکرومتر): فاصله کانونی واقعی (میلی‌متر): زاویه تیلت: میدان دید (FOV) در جهت افقی: میدان دید (FOV) در جهت عمودی:		تعداد تصاویر: تعداد پرواز: GSD طراحی شده (سانتیمتر): GSD متوسط در مرکز تصویر (سانتیمتر): GRD (سانتیمتر): پوشش طولی تصاویر: پوشش عرضی تصاویر:	

مشخصات دوربین شماره ۲	
نام تجاری دوربین:	تعداد تصاویر:
ابعاد تصویر(پیکسل):	تعداد پرواز:
ابعاد پیکسل (میکرومتر):	GSD طراحی شده (سانتیمتر):
فاصله کانونی واقعی (میلی‌متر):	GSD متوسط در مرکز تصویر (سانتیمتر):
زاویه تیلت:	GRD (سانتیمتر):
میدان دید (FOV) در جهت افقی:	پوشش طولی تصاویر:
میدان دید (FOV) در جهت عمودی:	پوشش عرضی تصاویر:
مشخصات دوربین شماره ۳	
نام تجاری دوربین:	تعداد تصاویر:
ابعاد تصویر(پیکسل):	تعداد پرواز:
ابعاد پیکسل (میکرومتر):	GSD طراحی شده (سانتیمتر):
فاصله کانونی واقعی (میلی‌متر):	GSD متوسط در مرکز تصویر (سانتیمتر):
زاویه تیلت:	GRD (سانتیمتر):
میدان دید (FOV) در جهت افقی:	پوشش طولی تصاویر:
میدان دید (FOV) در جهت عمودی:	پوشش عرضی تصاویر:
مشخصات دوربین شماره ۴	
نام تجاری دوربین:	تعداد تصاویر:
ابعاد تصویر(پیکسل):	تعداد پرواز:
ابعاد پیکسل (میکرومتر):	GSD طراحی شده (سانتیمتر):
فاصله کانونی واقعی (میلی‌متر):	GSD متوسط در مرکز تصویر (سانتیمتر):
زاویه تیلت:	GRD (سانتیمتر):
میدان دید (FOV) در جهت افقی:	پوشش طولی تصاویر:
میدان دید (FOV) در جهت عمودی:	پوشش عرضی تصاویر:
مشخصات دوربین شماره ۵	

نام تجاری دوربین:	تعداد تصاویر:
ابعاد تصویر(پیکسل):	تعداد پرواز:
ابعاد پیکسل (میکرومتر):	GSD طراحی شده (سانتیمتر):
فاصله کانونی واقعی (میلی‌متر):	GSD متوسط در مرکز تصویر (سانتیمتر):
زاویه تیلت:	GRD (سانتیمتر):
میدان دید (FOV) در جهت افقی:	پوشش طولی تصاویر:
میدان دید (FOV) در جهت عمودی:	پوشش عرضی تصاویر:

نمایش وضعیت دوربین‌ها نسبت به یکدیگر

سرعت متوسط باد:	دمای متوسط هوا:
جمع ساعات پرواز:	سرعت متوسط پرنده:

پیوست ۶: جمع‌آوری و پردازش داده‌های لیدار هوایی

مطالب این پیوست با تمرکز بر لیدار هوایی نوشته شده است اما موارد کلی مربوط به جمع‌آوری داده‌های لیزر، داده‌های GNSS/IMU و پردازش داده‌ها، قابل تعمیم به اسکنرهای لیزری زمینی موبایل نیز می‌باشد.

۱- طراحی پرواز و جمع‌آوری داده‌های لیدار

در فرآیند طراحی پرواز و هنگام جمع‌آوری داده‌های لیدار، لازم است موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- در هنگام طراحی پرواز برای جمع‌آوری داده‌های لیدار، لازم است ویژگی‌ها و نیازهای پروژه شامل دقت هندسی مورد نیاز، تراکم نقطه مورد نظر، کاربردهای مورد نظر و سایر فاکتورهای مدنظر پروژه مانند حداکثر FOV یا حداکثر ابعاد foot print، مورد توجه قرار گیرد. برای این منظور باید بین متغیرهای زیر بالانس برقرار شده و وزن این پارامترها به نحوی مشخص گردد که عملکرد سنسور و زمان پرواز برای دستیابی به نیازهای پروژه، بهینه شود:
  - نسبت سیگنال به نویز[۶۹]
  - سرعت پرنده
  - دامنه دید[۷۰]
  - فاصله نقاط در جهت پرواز و عمود بر جهت پرواز[۷۱]
  - ارتفاع پرواز
  - جهت خطوط پرواز
  - فرکانس تکرار پالس[۷۲]
  - نرخ اسکن / فرکانس اسکن[۷۳]
  - الگوی اسکن[۷۴]
  - دقت داده‌های GNSS/IMU

[69] Signal to Noise Ratio (SNR)
[70] Field of View (FOV)
[71] cross-track/down-track or along-track point spacing
[۷۲] تعداد دفعات ارسال پالس لیزر در هر ثانیه (Pulse Repetition Frequency)
[۷۳] مدت زمانی که طول می‌کشد تا یک خط به طور کامل اسکن شود، در حالتی که شیء اندازه‌گیری شونده، به صورت متوالی با استفاده از پرتو لیزر اسکن می‌گردد (scan frequency/scan rate)
[74] Scan Pattern

- محدودیتهای منطقه پروازی

- در طراحی خطوط پرواز، توپوگرافی زمین مد نظر قرار گیرد. در شرایطی که پرواز روی مناطق کوهستانی و دارای شیب زیاد انجام می‌شود، به منظور اینکه تا حد امکان از نوسانات بیش از حد ارتفاع زمین در یک خط پروازی و تغییرات FOV جلوگیری شود، خطوط پرواز، موازی کوهستان‌ها و خط الرأس‌ها (در راستای عمود بر جهت شیب زمین) طراحی شوند.
- خطوط پرواز متوالی، در جهات متضاد پرواز شوند. این نحوه پرواز، می‌تواند به فرآیند پردازش و محاسبه زوایای Boresight (انحراف زاویه‌ای کوچک مابین چارچوبهای مرجع لیزر و IMU شامل زوایای roll,pitch,yaw) کمک نماید.
- به منظور عدم ایجاد دریفت در داده‌های IMU، خطوط پرواز نباید خیلی طولانی باشند. حداکثر مدت زمان برداشت هر رن پروازی[۷۵]، با توجه به توصیه‌های سازنده مشخص گردد.
- در میانه هر بلوک از خطوط پرواز موازی، حداقل یک پرواز متقاطع[۷۶] یا در حالت بهینه دو پرواز متقاطع در ابتدا و انتهای بلوک در نظر گرفته شود. پروازهای متقاطع،به سرشکنی خطوط پرواز و محاسبه زوایای Boresight کمک می‌کنند.
- به منظور بهبود دقت داده‌های لیدار، توصیه می‌شود بخش‌هایی از خطوط پرواز متقاطع و خطوط پرواز اصلی که با یکدیگر همپوشانی دارند، در یک مأموریت، پرواز شوند.
- فاکتورهایی شامل PRF، ارتفاع پرواز، سرعت پرنده، نرخ اسکن، الگوی اسکن، FOV اسکنر و میزان هم‌پوشانی نوارهای پرواز، در ایجاد توزیع و تراکم نقاط لیزر تأثیرگذار هستند. فاصله نقاط در عرض مسیر، توسط پارامترهای PRF، ارتفاع پرواز و سرعت اسکن تعیین می‌شود، در حالی که فاصله نقاط در امتداد مسیر، توسط نرخ اسکن، ارتفاع پرواز و سرعت پرواز تعیین می‌شود. لازم است این پارامترها به نحوی تنظیم شوند که فاصله نقاط در امتداد مسیر و در عرض مسیر تا حد امکان مشابه و متقارن باشد. کاهش تقارن ممکن است مانع شناسایی عوارض و تارگت‌های مورد نظر گردد.
- موقع جمع‌آوری داده‌های لیزر، نباید طراحی بر اساس حداقل تراکم نقطه مورد نیاز انجام شود زیرا تغییرات به‌وجود آمده در حین پرواز در فاکتورهای موثر بر تراکم نقاط مانند سرعت پرنده، نرخ اسکن، ارتفاع پرواز و...، ممکن است موجب ایجاد تغییرات در بخش عمده‌ای از داده‌های جمع‌آوری شده گردد و تراکم نقطه مورد نظر تأمین نشود.
- افزایش فرکانس تکرار پالس، اگر چه باعث افزایش سرعت جمع‌آوری داده‌ها می‌گردد اما در عین حال موجب افزایش نویز و کاهش دقت نیز می‌شود. با توجه به این‌که کاهش نسبت سیگنال به نویز، ممکن است مانع شناسایی بعضی از تارگت‌ها

[75] Time-On-Line
[76] Cross

گردد، لذا با توجه به هدف پروژه، توانایی سنسور در شناسایی تارگت‌ها و عوارض مورد نظر در SNRهای مختلف، مورد توجه قرار گرفته و بر این اساس فرکانس تکرار پالس مشخص شود.

- میزان هم‌پوشانی بین نوارهای پرواز، وابسته به فاصله بین خطوط پرواز، ارتفاع پرواز و میدان دید (FOV) سنجنده می‌باشد. وجود هم‌پوشانی بین نوارهای پرواز، موجب افزایش تراکم نقاط، کاهش سایه‌های لیزر و کاهش احتمال گپ در داده‌ها می‌گردد، همچنین امکان ارزیابی دقت نسبی را فراهم کرده و می‌تواند به سرشکنی خطوط پرواز و کالیبراسیون سیستم کمک نماید. همپوشانی بیش از ۵۰٪ ایده‌آل است.
- در هنگام پرواز در ارتفاع ثابت نسبت به MSL[۷۷]، وجود تغییرات توپوگرافی و برجستگی‌های زیاد روی زمین، می‌تواند موجب ایجاد تغییر در میزان همپوشانی نوارهای پرواز گردد. در مواردی که تغییرات توپوگرافی شدید است، برای جلوگیری از گپ در داده‌ها، طراحی پرواز با مقادیر هم‌پوشانی بالاتر صورت گیرد.
- در زمان جمع‌آوری داده‌های لیزر نباید ابر، مه، دود، بارش باران و پوشش برف وجود داشته باشد همچنین آب راکد جمع شده بعد از بارندگی، ممکن است موجب ثبت غیر دقیق داده‌های لیزر و وجود گپ در داده‌ها شود.
- قبل ازجمع‌آوری داده‌ها، وضعیت PDOP[۷۸] و حداقل تعداد ماهواره‌ها کنترل شود. به نحوی که PDOP از ۳ بیشتر نشود و حداقل ۷ ماهواره در دید گیرنده باشد.
- گیرنده GNSS مستقر روی ایستگاه مبنای استاتیک همچنین گیرنده GNSS سنجنده، باید دست کم با فرکانس یک ثانیه داده جمع‌آوری کنند.
- فاصله پرنده از ایستگاه‌های مبنای GNSS، بیش از ۵۰ کیلومتر نباشد.
- برای کمک به کالیبراسیون نهایی سیستم بعد از پرواز، وجود حداقل دو نوار پرواز متقاطع ضروری است.
- قبل از جمع‌آوری داده‌ها، به منظور راه اندازی سیستم GNSS پرنده، بهتر است پروازی دور ایستگاه‌های مبنای زمینی انجام شود. در صورتی که از یک سرویس شبکه ایستگاه‌های مبنا به منظور پس‌پردازش داده‌های GNSS استفاده می‌شود، این کار ممکن است ضروری نباشد.
- کالیبراسیون زوایای Boresight، معمولا توسط سازنده انجام می‌شود، اما لازم است قبل از هر مأموریت پروازی نیز کالیبراسیون مجدد انجام گیرد. کالیبره کردن زوایای Boresight، به دو روش استاتیک و دینامیک انجام می‌شود:

[77] Mean Sea Level
[78] Position Dilution of Precision

- روش الاین کردن استاتیک، در هنگام راه‌اندازی سیستم انجام می‌شود، به این طریق که سیستم از ۳۰ ثانیه تا ۵ دقیقه در یک موقعیت ثابت قرار می‌گیرد و تقریبی از هدینگ IMU تعیین می‌شود.
- روش الاین کردن دینامیک، از سیستمی به سیستم دیگر متفاوت است و پس از برخاستن پرنده در طی مانورهای هوایی انجام می‌شود. این روش، با انجام تنظیمات دقیق، از ایجاد دریفت در هدینگ IMU جلوگیری می‌کند. برخی از سیستم‌ها، با پرواز در یک الگوی به شکل ۸ و بلافاصله پروازی در یک الگوی S شکل در هنگام برگشت پرنده به شروع خط پرواز، این تنظیمات را انجام می‌دهند.
- برای خطوط پرواز طولانی، ممکن است لازم باشد روش کالیبراسیون دینامیک در فواصل معینی تکرار شود، تا به این طریق از ایجاد دریفت در امتداد مسیر پرواز جلوگیری گردد.
- هر دو روش کالیبراسیون استاتیک و دینامیک، باید قبل از شروع اولین رن پروازی به منظور جمع‌آوری داده‌ها و بعد از اتمام آخرین رن انجام شوند.

- با توجه به محدودیت‌های سنجنده و مشخصات پروازی مورد نظر، حداکثر انحراف قابل قبول از طراحی پرواز انجام شده، مانند حداکثر انحراف قابل قبول از ارتفاع پرواز طراحی شده، حداکثر فاصله افقی از خطوط پرواز طراحی شده، انحرافات قابل قبول مربوط به داده‌های ناوبری، حداکثر bank angle[۷۹] و حداکثر time-online مربوط به IMU، باید از پیش تعیین شوند و در صورت تجاوز از این مقادیر، داده‌ها مجدداً جمع‌آوری گردند.
- بعد از جمع‌آوری داده‌ها، پوشش کامل منطقه و عدم وجود گپ در داده‌ها بررسی شود. در صورت وجود گپ در داده‌ها، لازم است پروازهای تکمیلی در حداقل فاصله زمانی ممکن، انجام گردند.
- برای هر مأموریت پروازی، یک گزارش پرواز به منظور مستندسازی اطلاعات مربوط به پرواز و بکارگیری آن در مراحل بعدی پروژه تهیه شود. گزارش پرواز، شامل حداقل اطلاعاتی مانند نام پروژه، مکان، خلبان، تاریخ پرواز، زمان شروع و پایان هر پرواز، پرنده، سنسور، سرعت پرواز، شناسه ایستگاه مبنای زمینی، سرعت و جهت باد، درجه حرارت، لیستی از خطوط پرواز حاصله و هر گونه اطلاعات یا نقطه نظرات مرتبط دیگر است.

[۷۹] زاویه تیلت پرنده به پهلو در هنگام چرخش

۲- جمع‌آوری نقاط کنترل و چک زمینی

نقاط کنترل زمینی به منظور زمین‌مرجع نمودن ابرنقاط نسبت به مبنای مختصاتی و سیستم مختصات مورد نظر و کالیبراسیون داده‌های لیزر، مورد استفاده قرار می گیرند.

در انتخاب نقاط کنترل و چک زمینی لازم است موارد زیر رعایت گردد:

- نقاط کنترل زمینی باید دارای توزیع مناسب در محدوده پروژه و تعداد متناسب با ابعاد محدوده باشند. این نقاط باید اطراف مرز، همچنین داخل محدوده پروژه در نظر گرفته شوند. بهتر است تعدادی نقطه کنترل نیز روی محدوده خطوط پرواز متقاطع قرار گیرند.
- به منظور ارزیابی دقت داده‌های لیدار، تعداد کافی نقطه چک زمینی در محدوده پروژه در نظر گرفته شود. نقاط چک هم در محدوده‌های فاقد پوشش گیاهی و هم در محدوده‌های شامل پوشش گیاهی قرار گیرند.
- نقاط کنترل و چک ارتفاعی، روی زمین‌های مسطح یا زمین‌های باز با شیب یکنواخت برابر یا کمتر از ۱۰ درصد قرار گرفته، همچنین نزدیک سطوح با تغییرات ناگهانی در ارتفاع و در فاصله کمتر از ۱۰ متری عوارض بلند نباشند.
- نقاط VVA زیر پوشش‌های گیاهی متراکم قرار نگیرند.
- نقاط کنترل و چک زمینی، حداقل دو برابر دقیق‌تر از داده‌های لیزر مورد نظر باشند.

۳- پردازش داده‌های لیدار

به منظور بهبود نتایج پردازش داده‌های لیدار و تولید ابرنقاط دقیق، لازم است مراحل زیر انجام شود:

الف- کالیبراسیون سیستم لیدار

برآورد پارامترهای کالیبراسیون سیستم لیدار شامل مواردی مانند lever arms، زوایای Boresight، بایاس طول، ضریب مقیاس، آفست و ضریب مقیاس انکودر، مقادیر تأخیر و پارامترهای مختلف مربوط به شدت[۸۰]، معمولاً از طریق ترکیب روش‌های کالیبراسیون آزمایشگاهی و میدانی صورت می‌گیرد. کالیبراسیون میدانی، با انجام پرواز روی فیلد کالیبراسیون با یک الگوی پروازی خاص (معمولا خطوط پروازی در چندین ارتفاع، همراه با خطوط پرواز متقاطع) و با استفاده از نقاط کنترل زمینی انجام می‌شود.

[80] Intensity

در خصوص کالیبراسیون سنجنده، لازم است موارد زیر مدنظر قرار گیرد:

- گواهی کالیبراسیون سنجنده توسط شرکت سازنده، ارائه گردد.
- کالیبراسیون کامل سنجنده مطابق با جدول زمانی پیشنهادی سازنده، تجدید گردد.
- در خصوص زوایای Boresight، کالیبراسیون مطابق جدول زمانی پیشنهادی سازنده کفایت نمی‌کند، بلکه لازم است در هر مأموریت پروازی نیز کالیبراسیون مجدد صورت گیرد.

ب- پردازش داده‌های GNSS/IMU مسیر حرکت سنجنده

در هنگام پردازش داده‌های GNSS/IMU، موارد زیر مد نظر قرار گیرد:

- از اعمال صحیح lever arm داده‌های GNSS و معرفی صحیح زوایای نصب IMU، اطمینان حاصل شود.
- دقت مختصات ایستگاه‌های مبنای مورد استفاده در پردازش داده‌های GNSS، متناسب با دقت مورد نیاز برای ابرنقاط لیزر باشد.
- از معرفی درست نوع آنتن و ارتفاع آنتن، اطمینان حاصل شود.
- اگر نقطه مبنا برای مختصات حاصل از GNSS/IMU، نقطه مبنای IMU می‌باشد، مقادیر lever arm داخلی مربوط به سنجنده لیزر، در هنگام پردازش ابرنقاط لیزر اعمال گردد.
- اگر به منظور جبران حرکت‌های roll,pitch,yaw پرنده در طول پرواز، سنجنده لیزر بر روی یک پایدارساز ژیروسکوپی (GSM) [۸۱] نصب شده است، مقادیر GNSS/IMU نسبت به نقطه مبنای GSM پردازش گردند.
- دقت مقادیر نهایی مختصات حاصل از GNSS/IMU، بهتر از دقت مورد انتظار برای ابرنقاط لیزر باشد.

پ- پردازش ابرنقاط لیدار

به منظور تولید ابرنقاط لیدار، لازم است داده‌های لیزر خام، با استفاده از داده‌های GNSS/IMU مسیر حرکت، پردازش شوند. برای این منظور، با استفاده از طول‌های لیزر[۸۲] و زوایای اسکن اندازه‌گیری شده و GNSS/IMU مسیر، مختصات سه‌بعدی هر بازگشت لیزر در ابرنقاط بدست می‌آید. در پردازش ابرنقاط، موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- اطمینان از این‌که پارامترهای کالیبراسیون سیستم، به‌طور صحیح در پردازش ابرنقاط مورد استفاده قرار گیرند.
- دیتوم و سیستم مختصات موردنظر، در پردازش ابرنقاط مورد استفاده قرار گیرد.

[81] Gyro Stabilized Mount
[82] Laser Ranges

- ابرنقاط با فرمت LAS یا LAZ، همراه با مقادیر شدت بازتاب ارائه گردد.

ت- ارزیابی کیفی اولیه ابرنقاط

به منظور اطمینان از کیفیت داده‌های لیزر برداشت شده، پیش از ورود به مرحله سرشکنی داده‌ها، لازم است یک ارزیابی کیفی اولیه، بر روی ابرنقاط تولیدشده انجام گیرد. در این ارزیابی، موارد زیر باید مورد بررسی قرار گیرد:

- بررسی پوشش کامل منطقه با توجه به محدوده پروژه
- بررسی پوشش بین نوارهای پرواز و عدم وجود گپ
- کنترل اولیه تطابق ابرنقاط در اورلپ خطوط پرواز
- بررسی فاکتورهای محیطی، مانند عدم وجود ابر در نتایج
- بررسی وجود بازتاب‌های غیرمعمول یا از دست رفته، به‌ویژه در مورد عوارض با بازتاب کم
- بررسی وجود ناهنجاری‌های غیر منتظره در داده‌ها، ناشی از خرابی سیستم لیدار
- بررسی توزیع و تراکم ابرنقاط، با توجه به نیازهای پروژه

در صورتی که در بخش‌هایی از منطقه نیازهای مورد نظر پروژه تأمین نگردد، لازم است در آن بخش‌ها، پرواز تکرار شود.

ث- سرشکنی زوایای Boresight و خطوط پرواز

حتی اگر سیستم لیدار به خوبی کالیبره شده باشد، خطای نسبی در منطقه اورلپ خطوط پرواز (ناشی از تغییرات کوچک در زوایای Boresight یا خطا در مقادیر GNSS/IMU)، به‌ویژه در ارتفاعات پروازی بالاتر، اغلب قابل توجه است. لذا با توجه به دقت نسبی مورد نیاز پروژه، به منظور کاهش عدم تطابق بین خطوط پرواز، ممکن است کالیبراسیون زوایای Boresight و سرشکنی خطوط پرواز ضروری باشد. در این فرآیند، لازم است مراحل زیر انجام شود:

حذف اشتباهات[۸۳]: قبل از انجام سرشکنی خطوط پرواز، لازم است دقت ابرنقاط، همچنین میزان عدم تطابق بین خطوط یک پرواز یا بین پروازهای مختلف، با استفاده از نقاط کنترل زمینی مشخص گردد. استفاده از تارگت‌های بزرگ هوایی به عنوان نقاط کنترل زمینی (فاکتورهایی مانند ارتفاع پرواز و تراکم ابرنقاط، ابعاد و نوع تارگت را تعیین می‌کند) می‌تواند به شناسایی بایاس در داده‌ها کمک کند. این کار از طریق مرتب کردن داده‌ها بوسیله مقادیر شدت (intensity) و سپس مقایسه موقعیت تارگت در ابرنقطه با موقعیت نقشه‌برداری شده برای آن، انجام می‌شود.

[83] Blunders

در صورتی که مقادیر خطاهای مطلق یا خطاهای نسبی موجود در ابرنقاط، با توجه به دقت مورد انتظار قابل توجه باشد، باید منشأ ایجاد خطا و بایاس بررسی شده و مرتفع گردد. یک شیفت آشکار مسطحاتی یا ارتفاعی در ابرنقاط، می‌تواند نشان‌دهنده وجود یک اشتباه در پردازش داده‌ها یا انواع دیگر خطای سیستماتیک باشد. به عنوان نمونه‌ای از این منابع خطا، می‌توان پارامترهای کالیبراسیون غلط، خطا در مختصات ایستگاه‌های مبنا، ارتفاع آنتن اشتباه و.... را برشمرد.

- **سرشکنی زوایای Boresight**[۸۴]: تغییرات کوچک در زوایای Boresight، ناشی از عوامل مختلفی مانند فرود سخت پرنده، تغییر درجه حرارت و... اجتناب‌ناپذیر است، اما اگر میزان تغییرات زوایای Boresight به اندازه‌ای باشد که روی دقت ابرنقاط تأثیر بگذارد، سرشکنی زوایای Boresight ضروری است. برای این‌که امکان سرشکنی زوایای Boresight فراهم باشد، هندسه پروازی خاصی شامل وجود خطوط پرواز در جهات متضاد و خطوط پرواز متقاطع، ضروری است.

- **سرشکنی خطوط پرواز**[۸۵]: پس از حذف خطاهای Boresight، به منظور حداقل کردن خطاهای نسبی باقیمانده بین خطوط پرواز متناسب با دقت مورد نیاز پروژه، لازم است سرشکنی خطوط پرواز انجام گردد. در سرشکنی خطوط پرواز، موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

● سرشکنی خطوط پرواز، مبتنی بر مسیر پرواز و شامل برآورد roll,pitch,yaw و آفستهای کوچک (X,Y,Z) برای هر خط پروازی و در صورت نیاز، برآورد پارامترهای دریفت (وابسته به زمان) در امتداد هر خط پروازی است.

● استفاده از نقاط کنترل زمینی و نقاط گرهی، به بهبود نتایج سرشکنی و استحکام هندسی کمک می‌کند.

● پوشش‌های گیاهی و پهنه‌های آبی، از فرآیند تناظریابی بین خطوط پرواز خارج گردند، اما تصحیحات برآورده شده حاصل از سرشکنی، روی کلیه نقاط در ابرنقاط اعمال شود.

● در هنگام سرشکنی خطوط پرواز، در صورت تقسیم داده‌های لیدار به چندین زیربلوک، به منظور حذف خطای نسبی بین زیربلوکهای پوشش‌دار، بخش‌هایی از منطقه پوشش‌دار در زیر بلوکی که قبلاً سرشکن شده، به عنوان داده مبنا در سرشکنی زیربلوک جدید بکار گرفته شود.

[84] Boresight adjustment
[85] Flight line adjustment

- به منظور حفظ یکپارچگی هر خط پروازی، در هنگام سرشکنی، از تغییر دادن بیش از حد داده‌ها، به نحوی که مقادیر ورودی حاصل از کالیبراسیون سیستم و GNSS/IMU، بیش از حد نادیده گرفته شده و برای انطباق با نقاط کنترل، بیش از حد تغییر یابند؛ اجتناب گردد.

۴- ارزیابی و گزارش دقت مطلق ابرنقاط

بعد از سرشکنی خطوط پرواز و قبل از کلاسه‌بندی ابرنقاط و تولید محصولات، لازم است با استفاده از نقاط چک زمینی، دقت مطلق ارتفاعی و مسطحاتی ابرنقاط ارزیابی شود. در این فرآیند، موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- ارزیابی دقت ارتفاعی، هم در محدوده‌های فاقد پوشش گیاهی (NVA[۸۶]) و هم در محدوده‌های شامل پوشش گیاهی (VVA[۸۷]) انجام شود. برای این منظور، RMSEZ از طریق مقایسه نقاط چک زمینی با TIN استخراج شده از ابرنقاط در کلاس زمین[۸۸]، محاسبه شده، سپس به منظور محاسبه دقت ارتفاعی ابرنقاط (RMSEV)، لازم است دقت نقاط چک زمینی نیز لحاظ گردد.
- VVA باید ارزیابی شده و دقت‌ها گزارش گردد، اما به منظور تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا عدم پذیرش داده‌ها، تنها NVA مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- برای ارزیابی دقت مسطحاتی داده‌های لیدار، می‌توان از تارگت‌های خاص طراحی شده برای این منظور یا عوارض مشخصی مانند خط‌کشی جاده‌ها استفاده کرد. برای محاسبه دقت مسطحاتی ابرنقاط، RMSEX و RMSEY از طریق مقایسه موقعیت نقاط چک زمینی با موقعیت این نقاط در ابرنقاط لیدار، بدست آمده و دقت نقاط چک زمینی نیز لحاظ گردد.
- در صورتی که مقادیر باقیمانده یک نقطه چک در مولفه X، Y یا Z، از سه برابر حد آستانه RMSE مورد نظر تجاوز نماید، آن نقطه به عنوان اشتباه (بلاندر) در نظر گرفته می‌شود. قبل از حذف نقطه چک اشتباه، باید منشاء خطا جستجو شده و در صورت امکان تصحیح گردد. صرفاً در صورتی که امکان تصحیح این خطا وجود نداشته باشد، نقطه چک اشتباه از فرآیند محاسبه دقت نهایی ابرنقاط، حذف می‌گردد.
- دقت موقعیت ارتفاعی، مسطحاتی و سه‌بعدی محاسبه شده برای ابرنقاط لیدار، باید در فراداده قید گردد.

[86] Non-Vegetated Vertical Accuracy
[87] Vegetated Vertical Accuracy
[88] Ground

۵- ارزیابی و گزارش دقت داخلی[۸۹] ابرنقاط

دقت داخلی، کیفیت و یکپارچگی هندسی داخلی داده‌های لیدار را بدون در نظر گرفتن نقاط کنترل زمینی، ارزیابی می‌کند. این نوع ارزیابی، شامل دو مولفه کیفیت داده یعنی دقت درون‌نواری و دقت بین‌نواری، می‌باشد.

به منظور ارزیابی این دو مولفه، سطوح رستری ارتفاعی از داده‌های لیدار ایجاد می‌شود که ابعاد پیکسل آن دو برابر فاصله متوسط نقاط در ابرنقاط لیزر است. ارزیابی این دو مولفه روی این سطوح رستری، با استفاده از مناطق تست در زمین‌های باز با شیب یکسان انجام می‌شود، که تنها شامل نقاط لیدار تک بازگشتی[۹۰] هستند. در صورتی که امکان انتخاب مناطق تست در کل سطح پروژه وجود نداشته باشد، حداقل از ۳۰ موقعیت تست که به طور یکسان در محدوده پروژه توزیع شده‌اند، استفاده گردد.

- **دقت درون نواری:**

این مولفه، معیاری برای سنجش دقت سیستم در شناسایی سطوح صاف و سخت بوده و در واقع نشان‌گر دقت اندازه‌گیری طول[۹۱] و پایداری سنسور است. برای ارزیابی دقت درون‌نواری در یک نوار پروازی، دو سطح ارتفاعی رستری، یکی از نقاط با کمترین ارتفاع در هر پیکسل و دیگری از نقاط با بیشترین ارتفاع در هر پیکسل ایجاد می‌شود. سپس این دو سطح از هم کم شده و مقادیر اختلاف بدست آمده، با حد آستانه مورد قبول (با توجه به دقت مورد انتظار برای ابرنقاط)، مقایسه می‌شود.

- **دقت بین نواری:**

این مولفه در زمین‌های باز واقع در اورلپ نوارهای پروازی برآورد می‌شود. برای محاسبه این مولفه دقت، دو سطح ارتفاعی رستری از دو نوار پرواز ایجاد می‌گردد. سپس این دو سطح از هم کم شده و RMS_{DZ}، با استفاده از مناطق نمونه‌ای که در زمین‌های باز واقع هستند، محاسبه می‌شود.

[89] Internal precision
[90] Single-Return
[91] Ranging

منابع و مراجع

۱- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد دوم: نقشه‌برداری هوایی (کلیات)، نشریه شماره ۲-۱۱۹ (تجدید نظر دوم)، امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور شماره ۱۴۰۴/۱۶۹۶۴۰ مورخ ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

۲- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد سوم: مدیریت اطلاعات مکانی (کلیات) نشریه شماره ۳-۱۱۹

۳- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد ششم: داده‌های شبکه‌ای و تصویری، نشریه شماره ۶-۱۱۹، معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی شماره ۱۰۰/۹۳۶۳ مورخ ۱۳۸۶/۱/۲۹

۴- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد نهم: تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد، نشریه شماره ۹- ۱۱۹، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور شماره ۱۴۰۰/۶۲۰۲۳۱ مورخ ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

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

۶- مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP جلد 2 سکوهای پرنده و عملیات تصویربرداری و سیستم‌های ناوبری و سنجنده‌های هوایی-1399- سازمان نقشه‌برداری کشور

۷- مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP جلد 3 پردازش تصاویر دوربین های رقومی-1399- سازمان نقشه‌برداری کشور

۸- مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP جلد 4 روش‌های پردازش داده های GPS/IMU پروژه‌های تصویربرداری-۱۳۹۹- سازمان نقشه‌برداری کشور

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

۱۰- دستورالعمل تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به‌روش مستقیم زمینی- ویرایش ۱۴۰۳-سازمان نقشه‌برداری کشور

11- ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, Edition 2, Version 2, (2024), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

12- Oblique Aerial Images: Geometric Principles, Relationships and Definitions, (2024), Styliani Verykokou and Charalabos Ioannidis, Encyclopedia 2024, 4, 234–255.

13- Nadir & Oblique Aerial Imagery – new possibilities in 3D mapping, (2023), Dubravko Gajski and Katarzyna Dzięgielewska-Gajski, GIS Odyssey Journal, Volume 3.

14- Virtual 3D city modeling: techniques and applications, (2013), Surendra Pal Singh, Kamal Jain, V. Ravibabu Mandla, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-2/W2.

15- Semi-Automatic 3D City Model Generation from Large-Format Aerial Images, (2018), Mehmet Buyukdemircioglu, Sultan Kocaman and Umit Isikdag, ISPRS International Journal of Geo-Information.

16- 3D modelling using aerial oblique images with close range UAV based data for single objects, (2021), Tomas Orlik, Eatay Ben Shechter, Gerhard Kemper, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLIII-B2.

17- 3D city modeling of Istanbul based on lidar data and panoramic images – issues and challenges, (2019), G. Buyuksalih , P. Baskaraca , S. Bayburt , I. Buyuksalih and A. Abdul Rahman, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W12.

18- Flight planning for city acquisition at high resolution, (2015), Konrad Wenzel – nFrames, EuroSDR Workshop Oblique Cameras & Dense Image Matching.
19- Orientation Strategies for Aerial Oblique Images, (2012), Albert Wiedemann and Jhon Schumann, The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
20- Oblique multi-camera systems - Orientation and dense matching issues, (2014), E. Rupnik, F. Nex and F. Remondino, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3/W1.
21- Principled Bundle Block Adjustment with Multi-head Cameras, (2024), Eleonora Maset, Luca Magri and Andrea Fusiello, ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.
22- Accuracy evaluation of UAS photogrammetry and structure from motion in 3D modeling and volumetric calculations, (2023), Sayed Ishaq Deliry and Ugur Avdan, Journal of Applied Remote Sensing.
23- Investigating the accuracy of 3D models created using SfM, (2017), Kosei Ishida, 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017).
24- Evaluation of multi-camera images in different SfM-MVS based photogrammetric software and comparison of digital products in generating 3D city models, (2024), Ibrahim Enes Saglam and Lutfiye Karasaka, Ain Shams Engineering Journal.
25- Assessing and benchmarking 3D city models, (2023), Binyu Lei, Rudi Stouffs and Filip Biljecki, International Journal of Geographical Information Science, 37(4): 788–809.
26- UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points, (2020), Ezequiel Ferrer-González, Francisco Agüera-Vega, Fernando Carvajal-Ramírez and Patricio Martínez-Carricondo, Remote sensing.
27- Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.8, (2022), Agisot LLC.
28- ContextCapture User Guide, (2021), Bentley Systems.
29- PhotoMesh User Guide, Version 7.8, (2022), Skyline Software Systems.
30- Applications of 3D City Models: State of the Art Review, (2015), Filip Biljecki, Jantien Stoter, Hugo Ledoux, Sisi Zlatanova and Arzu Çöltekin, ISPRS International Journal of Geo-Information.
31- Level Of Detail in 3D city models, (2017), Filip Biljecki, Delft university of technology.
32- Semantic 3D city models, (2021), GEO1004.2020, Lesson 6.1.
33- OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, (2012), Gerhard Groger, Thomas H. Kolbe, Claus Nagel and Karl-Heinz Hafele, Open Geospatial Consortium.
34- 3D City Database for CityGML, Version 4, (2018).
35- An object-oriented data model for complex objects in three-dimensional geographical information systems, (2003), Shi, W., Yang, B., & Li, Q., International Journal of Geographical Information Science, 17(5), 411-430.
36- 3D geo-information sciences, (2008), Lee, J., & Zlatanova, S. (Eds.), Springer Science & Business Media.
37- Introduction to 3D data: Modeling with ArcGIS 3D analyst and google earth, (2010), Kennedy, H., John Wiley & Sons.
38- Spatial data modelling for 3D GIS, (2007), Abdul-Rahman, A., & Pilouk, M., Springer Science & Business, Media.
39- Modelling for 3D GIS: Spatial analysis and visualisation through the web, (2000), Zlatanova, S., & Tempfli, K., International archives of photogrammetry and remote sensing, 33(B4/3; PART 4), 1257-1264.

40- Interoperable visualization of 3d city models using OGC's standard 3D portrayal service, (2018), Koukofikis, A., Coors, V., & Gutbell, R., ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4, 113-118.
41- Verification of the suitability of CityGML city models as a data basis for simulations at urban district level using extracted information from façade images, Disser, M., Heiß, M., Thiele, C. D., & Rüppel, U.
42- Digital twin smart city: Integrating IFC and CityGML with semantic graph for advanced 3D city model visualization., (2024), Lam, P. D., GU, B. H., Lam, H. K., Ok, S. Y., & Lee, S. H., Sensors, 24(12), 3761.
43- https://geo-matching.com/products
44- https://www.igi-systems.com/products
45- https://leica-geosystems.com/products
46- https://www.vexcel-imaging.com
47- https://www.phaseone.com
48- https://atlas-packagingmachines.com/multihead-weigher
49- https://ggs-solutions.eu/solutions/oblique-imaging-systems
50- https://kayainstruments.com/
51- https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis/3d-gis/citygmlbuildingstoi3s.
52- https://cesium.com/
53- https://www.ogc.org/





Islamic Republic of Iran

Plan and Budget Organization

National Cartographic Center

Generating 3D City Model

Version 1

Last Edition: 04-29-2026

National Cartographic Center **Standard Department**

www.ncc.gov.ir **http://standard.ncc.gov.ir**

2026