سازمان نقشه‌برداری کشور

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه‌وبودجه کشور
سازمان نقشه‌برداری کشور

دستورالعمل تهیه مدل سه‌بعدی شهری

نگارش 1: آذر 1404

برای اطلاع نظر

سازمان نقشه‌برداری کشور

اداره‌کل نظارت، کنترل فنی و استاندارد

گروه استانداردسازی

www.ncc.gov.ir

1404

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 این سازمان قرار دارد.

توجه روزافزون به مدل‌های سه‌بعدی شهری به عنوان یکی از محصولات مکانی پرکاربرد در حوزه‌های گوناگون چون برنامه‌ریزی و طراحی شهری، مدیریت زیرساخت‌ها و شبکه‌های حمل‌ونقل، مدیریت بحران، املاک و اراضی و ...، با هدف ایجاد نمایش واقعی‌تر، کامل‌تر و تعاملی‌تر از مناظر و عوارض شهری و انجام تحلیل‌های فضایی و سه‌بعدی مورد نیاز؛ ضرورت وجود وحدت رویه‌ای در فرآیند 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.

در این راستا، دستورالعمل حاضر، به منظور ارتقای کیفیت، افزایش بهره‌وری و ایجاد وحدت رویه در فرآیند تولید مدل‌های رقومی سه‌بعدی شهری همچنین کاهش زمان نظارت بر پروژه‌ها، 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، آماده شده است.

در این دستورالعمل، مراحل مختلف تهیه مدل‌های سه‌بعدی شهری همراه با الزامات فنی مربوطه تشریح گردیده است تا علاوه بر تضمین دقت و کیفیت محصولات، پاسخ‌گوی نیازهای دستگاه‌های اجرایی، مشاوران و متخصصان فعال در این حوزه باشد.

امید است که دستورالعمل پیش‌رو، قدمی مؤثر در راستای سامان‌دهی پروژه‌های تولید مدل سه‌بعدی شهری و ارتقاء کیفی محصولات تهیه شده باشد.

اعضای گروه تهیه‌کننده (به ترتیب حروف الفبا):

سیدهومن سیدالماسی	مهندسین مشاور رصد ایران	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
مهرنوش امتی	سازمان نقشه‌برداری کشور	دکتری سنجش از دور
محمد سرپولکی	مهندسین مشاور جهان پیمایش سیستم	کارشناسی ارشد فتوگرامتری
سیامک طالبی	مهندسین مشاور پویانقش 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

اعضای گروه نظارت (به ترتیب حروف الفبا):

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

اعضای گروه هدایت و راهبری:

پیمان بکتاش	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد سامانه‌های اطلاعات مکانی
ساحل قلعه شاهینی	سازمان نقشه‌برداری کشور	کارشناسی ارشد سنجش از دور

فهرست مطالب

پیشگفتار ..... آ

فصل 1: کلیات **1**

1-1- مقدمه **2**

1-1-1- اهمیت مدل سه‌بعدی شهری و کاربردهای آن 2

1-1-2- ضرورت تدوین دستورالعمل 3

1-1-3- حوزه شمول دستورالعمل 3

1-2-تعاریف و مفاهیم پایه **4**

1-2-1- تقسیم‌بندی مدل‌های سه‌بعدی شهری بر اساس ساختار آنها 4

1-2-1-1- مدل مش سه‌بعدی 4

1-2-1-2- مدل برداری سه‌بعدی 4

1-2-1-3- مدل GIS سه‌بعدی 5

1-2-2- تعریف سطح جزئیات در مدل‌های سه‌بعدی شهری 6

1-2-3- روش‌های جمع‌آوری داده برای تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری 8

1-2-3-1- استفاده از نقشه‌های برداری سه‌بعدی 8

1-2-3-2- استفاده از تصاویر 9

1-2-3-3-استفاده از داده‌های اسکن لیزری 11

1-2-4- نمودار مراحل تولید مدل سه‌بعدی شهری با استفاده از تصاویر هوایی 12

فصل 2: جمع‌آوری داده‌ها **13**

2-1- پیش‌طراحی و طراحی پروژه **14**

2-2- تصویربرداری هوایی (پرنده سرنشین‌دار یا بدون سرنشین) **16**

2-2-1- تصویربرداری با استفاده از دوربین تک‌فریمه 16

2-2-2- تصویربرداری با استفاده از دوربین تک‌فریمه با قابلیت تغییر زاویه 16

2-2-3- تصویربرداری با استفاده از سیستم‌های چندفریمه 18

2-3- جمع‌آوری داده‌های تکمیلی **20**

2-3-1- تصویربرداری بردکوتاه 20

2-3-2- داده‌های اسکن لیزری 21

فصل 3: عملیات نقشه‌برداری زمینی **23**

3-1- ایجاد شبکه ایستگاه‌های ماندگار **24**

3-2- جمع‌آوری نقاط کنترل و چک زمینی **24**

3-3- جمع‌آوری داده‌های کمکی **25**

فصل 4: پردازش داده‌ها و تولید مدل سه‌بعدی **26**

4-1-پیش‌پردازش داده‌ها 27
4-2-پردازش داده‌ها 28
4-2-1- مثلث‌بندی تصاویر 28
4-2-2- تولید ابرنقاط از تصاویر 29
4-2-3- پردازش داده‌های اسکن لیزری 30
4-2-4- تولید مدل سه‌بعدی 31
4-2-4-1- مدل مش سه‌بعدی 32
4-2-4-2- مدل برداری سه‌بعدی 34
4-2-4-3-تبدیل یک مدل برداری سه‌بعدی به مدل GIS سه‌بعدی 36
4-3-تنظیم مدارک و مستندات نهایی 38
4-4-به‌روزرسانی مدل‌های سه‌بعدی شهری 41
فصل 5: ذخیره‌سازی مدل‌های سه‌بعدی شهری و استانداردهای تبادل داده 43
5-1-فرمت نهایی مورد نظر برای ذخیره‌سازی مدل‌های سه‌بعدی شهری 44
5-1-1- آماده‌سازی داده‌های برداری به منظور تبدیل به فرمت‌های متن‌باز 44
5-1-2- تبدیل فرمت مدل سه‌بعدی به فرمت متن‌باز 44
فصل 6: ارزیابی کیفی مدل‌های سه‌بعدی شهری 46
6-1- معیارهای ارزیابی مدل سه‌بعدی 47
6-1-1- ارزیابی داده‌های اولیه مورد استفاده 47
6-1-2- ارزیابی سیستم مختصات و مبنای مسطحاتی و ارتفاعی 47
6-1-3- ارزیابی دقت هندسی 48
6-1-4- ارزیابی سطح جزئیات هندسی 48
6-1-5- ارزیابی کامل بودن مدل سه‌بعدی 49
6-1-6- ارزیابی کیفیت بصری 49
6-1-6-1- بررسی اعوجاجات هندسی موجود در مدل سه‌بعدی 50
6-1-6-2- بررسی کیفیت بافت مدل سه‌بعدی 50
6-1-7- ارزیابی کیفیت داده‌های اضافی 51
6-1-8- بررسی توپولوژی و صحیح بودن ارتباط بین عوارض 52
6-1-9- ارزیابی تطابق با مشخصات تعیین شده در مرحله پیش‌طراحی و طراحی 52
پیوست 1: واژه‌نامه 53
پیوست 2: مدل داده مکانی 55
پیوست 3: فرم متادیتا 64
پیوست 4: فرم گزارش عملیات تصویربرداری مایل 65

پیوست 5: جمع‌آوری و پردازش داده‌های لیدار هوایی 68
منابع و مراجع 78

برای اظهارنظر

فصل اول

کلیات

برای اطلاع

1-1 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 یکی دو دهه اخیر، تسریع و تسهیل در جمع‌آوری داده‌های سه‌بعدی دقیق و با جزئیات زیاد از مناطق شهری، به روش‌های 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.

1-1-1 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 بهتر 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.

1-1-2 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 مالی 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 این حوزه از علوم ژئوماتیک و وابستگی آن به پیشرفت‌های پرشتاب فناوری، بازنگری و به‌روزرسانی دستورالعمل‌های مرتبط، در فاصله‌های زمانی کوتاه، حداکثر هر دو تا سه سال، ضروری به نظر می‌رسد.

1-1-3 حوزه شمول دستورالعمل

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

حوزه شمول این دستور العمل، کلیه فعالیت‌های نقشه‌برداری منجر به تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری است که در چارچوب نظام یکپارچه فنی و اجرایی کشور انجام گرفته و نظارت و کنترل آن بر اساس ماده 11 قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، بر عهده سازمان نقشه‌برداری کشور می‌باشد.

2-1 تعاریف و مفاهیم پایه

1-2-1 تقسیم‌بندی مدل‌های سه‌بعدی شهری بر اساس ساختار آنها

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

1-1-2-1 مدل مش سه‌بعدی[4]

مدل مش سه‌بعدی از سطوحی 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 سطوح، شبیه‌سازی می‌گردد. وجوه، نمای بیرونی مدل را تشکیل داده و ظاهر شیء سه‌بعدی را تعیین می‌کنند و از طریق اعمال بافت 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 واقع گرایانه محیط‌های شهری را دارا هستند. تولید این نوع مدل‌ها از طریق پردازش اتوماتیک، تا حدود زیادی میسر می‌باشد اما در مقابل دارای حجم داده نسبتاً بالا بوده و ویرایش آن نیز به سادگی قابل انجام نیست.

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

2-1-2-1 مدل برداری سه‌بعدی[5]

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

[4] 3D Mesh Model
[5] 3D Vector based model

به دلیل ساختار این نوع مدل‌ها، حجم داده کمتر بوده و ویرایش آن ساده‌تر است همچنین امکان شناسایی عوارض بصورت دقیق وجود داشته و قابلیت تولید اشیای مستقل و استفاده از ابزارهای تحلیل مکانی مبتنی بر اشیا، را نیز دارا می‌باشند (رجوع شود به بخش **1-2-1-3**). از سوی دیگر، با توجه به روش تولید دستی یا نیمه اتوماتیک، نیاز به صرف زمان و هزینه بیشتری دارند و در مقایسه با مدل‌های مش سه‌بعدی، ممکن است کیفیت بصری پایین‌تر و شباهت 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[۶] و مدل‌های سه‌بعدی حجمی[۷] 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 یک سری عملیات افزاینده و کاهنده انجام می‌گیرد، به نحوی 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.

1-2-1-3 مدل GIS سه‌بعدی[۸]

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 GIS سه‌بعدی، از سایر منابع تولید داده‌های زمین مرجع سه‌بعدی مانند مدل های مش سه‌بعدی و مدل‌های برداری سه‌بعدی، تولید می‌گردند.

در مدل‌های GIS سه‌بعدی، که از آن‌ها با عنوان مدل‌های سه‌بعدی مبتنی بر عارضه[۹] نیز یاد می‌شود؛ هر شیء از سه مؤلفه‌ی اصلی تشکیل شده است، هندسه که شکل، ابعاد و موقعیت فیزیکی پدیده را مشخص می‌کند؛ توپولوژی[10] که روابط مکانی و اتصالات میان اشیاء مختلف مانند مجاورت ساختمان‌ها، ارتباط خیابان‌ها یا مسیر عبور رودخانه را توصیف می‌کند؛

[6] 3D Surface model
[7] 3D Sollid model
[8] 3D GIS Model
[9] Feature based Models
[10] Topology

و ویژگی‌های توصیفی[11] که شامل اطلاعات غیرهندسی مانند نام، نوع کاربری، مصالح یا سال ساخت بوده 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.

2-2-1 تعریف سطح جزئیات[12] در مدل‌های سه‌بعدی شهری

در مدل‌سازی سه‌بعدی عوارض شهری، پارامتر سطح جزئیات، براساس دقت، پیچیدگی و جزئیات مورد نیاز کاربر تعیین می‌گردد و بیانگر میزان شباهت مدل‌سازی صورت‌گرفته با واقعیت است. بر اساس استاندارد CITYGML[13]، که یکی از استانداردهای پرکاربرد در حوزه مدل‌سازی سه‌بعدی شهری است؛ همه اشیاء محیط شهری را می‌توان در پنج سطح جزئیات به نمایش گذاشت (شکل 1) 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 به مدل‌سازی عارضه اضافه می‌گردد. به طور مثال ارتفاع به محدوده پای ساختمان اضافه شده و یک بلوک سه‌بعدی ساده با سقف مسطح ایجاد می‌شود.

LOD 2: نمایش هندسه دقیق عوارض

در این سطح، جزئیات واقع‌گرایانه‌تری از عوارض (به عنوان مثال اشکال مختلف بام ساختمان‌ها) ایجاد شده و عوارض شهری از قابلیت تمایز بهتری برخوردار هستند.

---

[11] Attributes

[12] Level of Detail (LOD)

[13] CITY GML جزء استانداردهای OGC، یک مدل دادهٔ استاندارد متن باز و فرمت تبادل داده است که به طور خاص برای نمایش و تبادل مدل‌های سه‌بعدی شهری طراحی شده است.

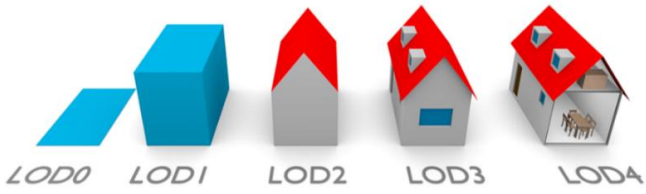
LOD 3: نمایش هندسه دقیق عوارض توأم با جزئیات نما

در این سطح، جزئیات بیش‌تری به نمای عوارض اضافه شده و ظاهری واقعی از عوارض به نمایش گذاشته می‌شود (همانند پنجره، در و جزئیات سقف ساختمان‌ها).

LOD 4: نمایش هندسی دقیق از بیرون و داخل عوارض

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

شکل 1: 5 سطح جزئیات مطابق استاندارد CITYGML

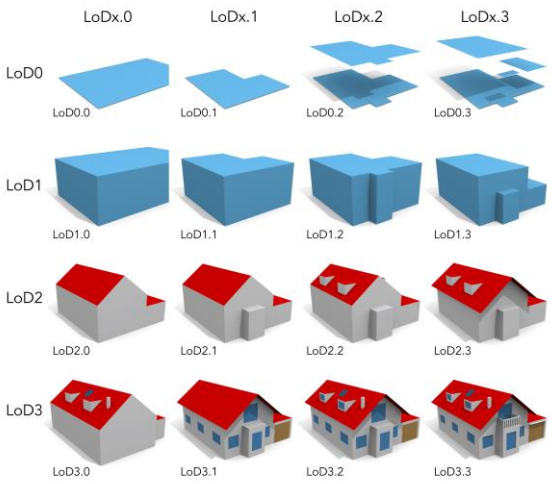


نکته 1: تولید مدل‌های سه‌بعدی در سطوح صفر و یک، خارج از حوزه شمول این دستورالعمل می‌باشد.

نکته 2: علاوه بر پنج سطح جزئیات معرفی شده در فوق که معرف سطح ساده‌سازی[14] در نمایش مدل‌های سه‌بعدی شهری می‌باشد، میزان جزئیات قابل ارائه در یک مدل سه‌بعدی شهری، از منظر دیگری نیز قابل تعریف است که مستقیماً به دقت هندسی و رزولوشن مدل سه‌بعدی بستگی دارد. عواملی مانند قدرت تفکیک مکانی 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 2، نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد، ممکن است با توجه به دقت هندسی و رزولوشن داده‌های اولیه مورد استفاده، عوارض قابل نمایش در یک LOD، در مقایسه با یک مدل سه‌بعدی در LOD بالاتر، که از داده‌های اولیه با رزولوشن و دقت هندسی پایین‌تری تولید شده است؛ دارای جزئیات هندسی بیشتری باشند.

[14] Generalization

شکل 2: امکان نمایش عوارض با رزولوشن‌های مختلف، در یک سطح جزئیات (LOD)



1-2-3 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 مدل سه‌بعدی مورد نظر باشد.
- مبنای مسطحاتی و ارتفاعی داده‌های مورد استفاده یکسان باشد.
- به منظور هم مرجع نمودن داده‌های منابع مختلف، نقاط کنترل مشترک با توزیع مناسب 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 به دلیل اختلاف زمانی مشخص شده و در بخش تغییر یافته، صرفاً از داده‌های بروز استفاده شود.

1-3-2-1 استفاده از نقشه‌های برداری سه‌بعدی

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

- اطمینان از بروز 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 ارتفاع

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 شمول این دستورالعمل می‌باشد.

1-2-3-2 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 با فاصله کانونی بسیار کوتاه و زوایای خیلی باز (فیش آی[15])، در حوزه شمول این دستورالعمل نمی‌باشد.

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 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.

ب- استفاده از دوربین تک‌فریمه 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 نادیر به منظور

[15] Fish Eye

حفظ دقت هندسی مدل سه‌بعدی، در بهبود کیفیت مدل‌سازی در امتداد عمود بر سطح زمین (به عنوان مثال نمای ساختمان‌ها)، تأثیر بسزایی خواهد داشت.

در روش تصویربرداری از طریق 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[16]

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 تصاویر لنزهای مختلف الزامی است.

در طراحی سیستم‌های چند فریمه، به طور معمول یک دوربین به عنوان دوربین نادیر و چهار دوربین به عنوان دوربین مایل (زاویه تیلت حدود 30 تا 45 درجه) لحاظ می‌گردد. به منظور این‌که تا حد امکان، GSD در سطح میدان دید این دوربین‌ها بصورت همگون حفظ شود، معمولاً دوربین‌های با زاویه تیلت بیشتر، به نسبت عکس کسینوس تیلت آنها، دارای فاصله کانونی بزرگتری هستند.

تعریف:

مجموعه داده استاندارد تصویربرداری مایل هوایی: مجموعه داده‌ای 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 نادیر می‌باشد. این مجموعه داده استاندارد ممکن است بوسیله یک سیستم چند فریمه معمول یا به هر روش دیگری جمع‌آوری شده باشد به نحوی که یک مجموعه تصویری شامل تصاویر مایل در چهار جهت همراه با تصویر نادیر مربوطه، ایجاد گردد.

- تصویر برداری بردکوتاه

استفاده از تصاویر بردکوتاه به منظور تولید مدل سه‌بعدی شهری، در محدوده‌های کوچک شامل یک یا چند ساختمان یا به عنوان داده‌های تکمیلی در تلفیق با تصاویر هوایی، 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

[16] Multi Head

پذیرتر از روش تصویربرداری هوایی می‌باشد. تصویربرداری بردکوتاه به دو روش تصویربرداری با پهپاد یا تصویربرداری زمینی انجام‌پذیر است.

1-2-3-3 استفاده از داده‌های اسکن لیزری

یکی از روش‌های تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری، که معمولاً به منظور تکمیل داده‌های 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 ایستگاهی

برای جمع‌آوری داده‌ها، در هر استقرار اسکنر محیط اطراف اسکن می‌شود. در این روش که معمولاً دقیق‌ترین روش جمع‌آوری داده‌های اسکن لیزری است، به دلیل استقرار زمینی، محدودیت زاویه دید وجود داشته و زمان جمع‌آوری داده‌ها نیز طولانی است.

- اسکنرهای لیزری موبایل

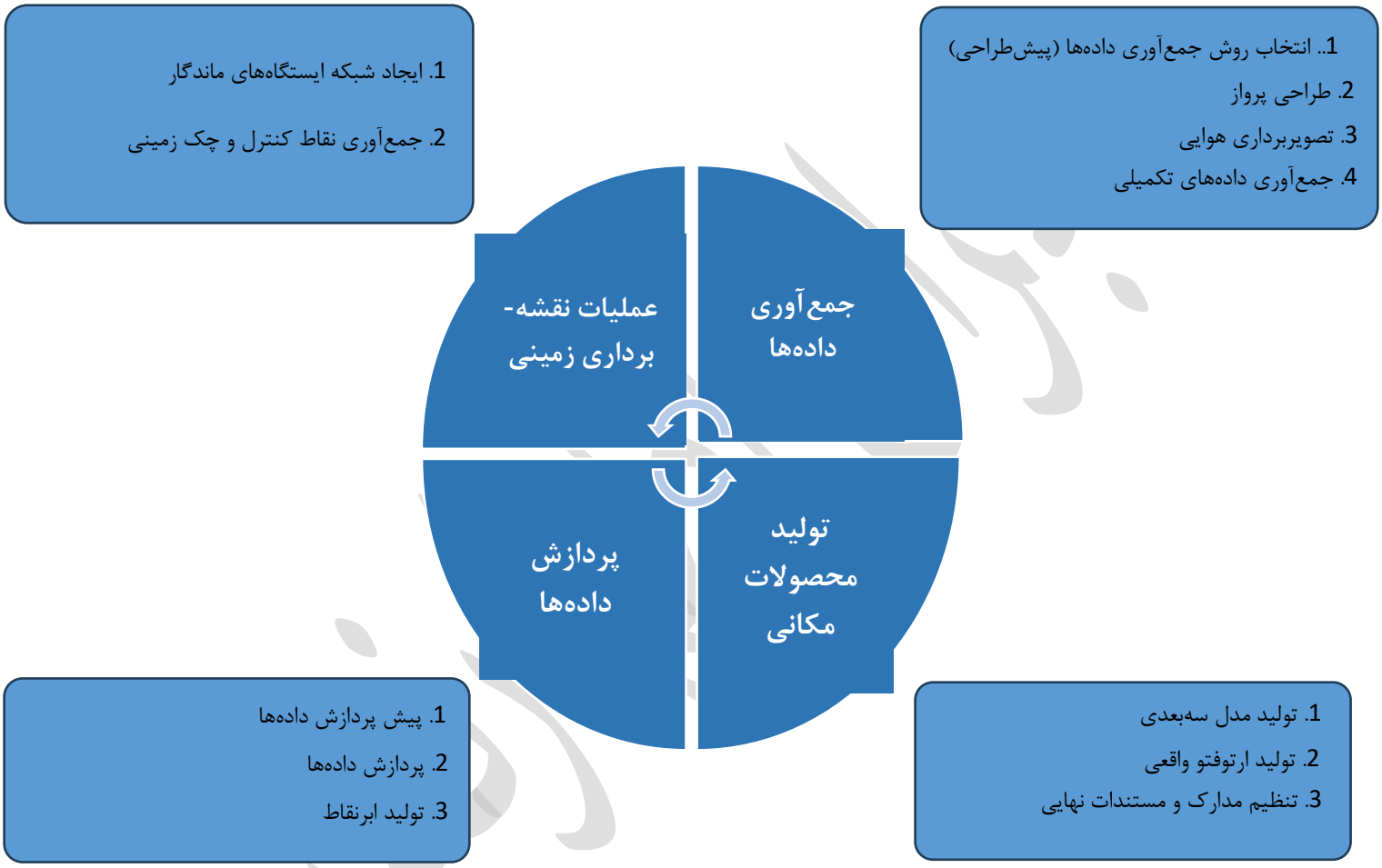
برای جمع‌آوری داده‌ها به این روش، ابزار بر روی یک وسیله متحرک نصب شده و اسکن محیط اطراف در حین حرکت میسر می‌گردد. از این رو سرعت برداشت داده‌ها نسبت به روش ایستگاهی بالاتر است.

نکته: اسکنرهای لیزری زمینی با توجه به موقعیت قرارگیری دستگاه، با محدودیت زاویه دید روبرو هستند. 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 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 به تنهایی صرفاً برای تولید مدل سه‌بعدی شهری در سطح صفر تا دو مناسب هستند و در ترکیب با تصاویر هوایی منجر به بهبود دقت ارتفاعی مدل سه‌بعدی شهری می‌گردند.

4-2-1 نمودار مراحل تولید مدل سه‌بعدی شهری با استفاده از تصاویر هوایی



فصل دوم

جمع آوری داده‌ها

برای اطلاع

2-1 پیش‌طراحی و طراحی پروژه

- **مرحله پیش‌طراحی**:

هدف از مرحله پیش‌طراحی آن است که از بین دامنه‌های ابزاری و روش‌های مختلف قابل استفاده برای جمع‌آوری و پردازش داده‌های مورد نیاز برای تولید مدل سه‌بعدی شهری، بهینه‌ترین روش 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 مورد نظر پروژه
- دامنه ابزاری در دسترس
- وضعیت جوی و محدودیت‌های زمانی و مالی پروژه

با در نظر گرفتن متغیرهای ذکر شده، فرآیند پیش‌طراحی شامل مراحل زیر است:

الف- انتخاب روش‌های جمع‌آوری داده 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، ترکیب روش‌های مختلف تعیین شده برای جمع‌آوری داده در محدوده‌های مختلف پروژه و مشخص نمودن محدوده تقریبی مناطقی که مدل سه‌بعدی از مشخصات فنی مورد نظر برخوردار نخواهد بود (به عنوان مثال نواحی پنهان ناشی از موانع ساختمانی) همچنین دریافت تأییدیه از کارفرما و دستگاه نظارت 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 متغیرهای اصلی ذکر شده؛ می‌باشد. مرحله طراحی پروژه، 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
- راستای خطوط تصویربرداری
- نوع دوربین تصویربرداری و زوایای تصویربرداری مورد نیاز
- مشخصات داده‌های لیزر مورد استفاده شامل تراکم ابرنقاط، دقت ابرنقاط و ...

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

- با توجه به 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 بصورت 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 (overdesign) 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 1: با در نظر گرفتن متغیرهای ذکر شده، استفاده از ترکیب چندین روش و تنظیمات متفاوت در محدوده‌های مختلف پروژه مجاز است. در انتخاب روش‌های ترکیبی، لازم است اختلاف مقیاس تصاویر اخذ شده به روش‌های مختلف و امکان برقراری اتصال بین تصاویر مدنظر قرار گرفته و در صورت نیاز از روش‌هایی مانند تصویربرداری با مقیاس‌های واسط استفاده شود.

نکته 2: لازم است قبل از طراحی و اجرای هر پروژه، مدل داده مورد نظر (رجوع شود به پیوست 2) که مشخص کننده عوارض هدف مدنظر پروژه می‌باشد، توسط کارفرمای پروژه مشخص گردد.

2-2 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 2-119 و 9-119 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.

1-2-2 تصویربرداری با استفاده از دوربین تک‌فریمه

در این روش، تصویربرداری با یک دوربین تک‌فریمه و معمولاً بصورت نادیر (در بعضی مواقع با زاویه نسبت به امتداد نادیر) انجام می‌شود. به منظور بهبود کیفیت مدل سه‌بعدی، لازم است پارامترها و تجهیزات تصویربرداری به نحوی تنظیم گردد که با رعایت پوشش یکپارچه از منطقه، نواحی پنهان کاهش یافته همچنین نمای ساختمان‌ها و عوارض تا حد امکان به خوبی مدل‌سازی شود.

لازم به ذکر است به دلیل نبود تصاویر از زوایای مختلف، مدل سه‌بعدی تولید شده به این روش، در مناطق با بافت ساختمانی متراکم و سازه‌های مرتفع، معمولاً دارای نواحی پنهان زیادی بوده و نمای ساختمان‌ها در بخش‌های زیادی از مدل سه‌بعدی به خوبی نمایش داده نمی‌شود 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:

- استفاده از لنزهای با زاویه دید باریک مجاز نیست.
- حداقل پوشش طولی 80 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 70 درصد باشد.
- علاوه بر خطوط پروازی اصلی، ترجیحاً تصویربرداری با خطوط پروازی متقاطع نیز انجام گرفته و برنامه‌ریزی انجام عملیات تصویربرداری به‌نحوی باشد که حداقل اختلاف ساعت تصویربرداری ما بین پروازهای انجام گرفته، وجود داشته باشد.
- در صورت امکان، طراحی پرواز در راستای معابر اصلی انجام گیرد.
- از صحت موقعیت تعیین شده برای مراکز تصویر اطمینان حاصل گردد (اعمال تصحیحات لازم به بردار واسط بین آنتن گیرنده تعیین موقعیت و مرکز تصویر)

2-2-2 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 عارضه علاوه بر تصویربرداری بصورت نادیر، از چهار جهت مختلف نیز تصویربرداری گردد. با استفاده از یک دوربین تک فریمه 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:

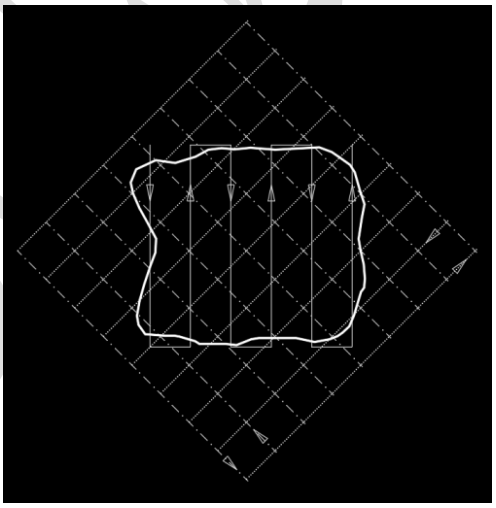
- **انجام دو پرواز**

در این روش که سیستم تصویربرداری امکان اخذ یک تصویر نادیر و دو تصویر مایل به سمت چپ و راست را دارا می‌باشد، انجام یک پرواز تکمیلی در جهت عمود بر پرواز اصلی الزامی است.

- **انجام سه پرواز**

در این روش، علاوه بر پرواز اصلی که بصورت نادیر انجام می‌گیرد، لازم است دو پرواز مایل تکمیلی که با راستای پرواز نادیر زاویه 45 درجه می‌سازند (یکی به سمت چپ و یکی به سمت راست، مطابق شکل 2) لحاظ گردد.

شکل 3: طراحی خطوط پرواز در روش سه پروازه



- **انجام پنج پرواز**

در این روش، علاوه بر تصویربرداری نادیر، چهار پرواز تکمیلی با زاویه مایل مشخص، منطبق بر خطوط پرواز نادیر یا عمود بر این خطوط، انجام می‌شود به نحوی که یک مجموعه داده استاندارد (رجوع شود به بخش 1-2-3-2) ایجاد شود. 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، تا حد امکان، عوامل محیطی از جمله زاویه تابش خورشید، وضعیت جوی و زمان تصویربرداری برای تمامی پروازها مشابه باشد.

نکته 1: 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.

- حداقل پوشش طولی تصاویر نادیر 80 درصد باشد.
- حداقل پوشش عرضی تصاویر نادیر 60 درصد باشد. در روش سه‌پروازه، پوشش عرضی حداقل 80 درصد الزامی است.

نکته 2: لازم است پوشش‌های طولی و عرضی تصاویر مایل در کلیه جهات، مشابه تصاویر نادیر 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 3: چنان‌چه طی فرآیند پیش‌طراحی، به دلایل مختلف ناشی از شرایط پروژه، ضرورت ایجاب شود که پوشش‌ها افزایش یابند، اولویت با نتایج پیش‌طراحی است.

نکته 4: چنان‌چه اختلاف فاصله کانونی دوربین‌های مورد استفاده در تصویربرداری مایل و قائم زیاد باشد (بیش از 50 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 به نحوی انتخاب شود که قدرت تفکیک مکانی در مرکز تصاویر مایل نیز، با توجه به دستورالعمل 2-119 در محدوده مجاز قرار گیرد.
- در صورت استفاده از دوربین‌های غیرمتریک، با در نظر گرفتن زاویه دید دوربین، حداکثر زاویه مایلی که تصویر حاصله فاقد تصویر آسمان باشد، مجاز است.
- محدوده پروازی به نحوی 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 به نحوی انجام شود که در هر زون، محدوده پرواز نادیر با پروازهای مایل کمترین اختلاف را داشته باشد.
- از صحت موقعیت تعیین شده برای مراکز تصویر اطمینان حاصل گردد (اعمال تصحیحات لازم به بردار واسط بین آنتن گیرنده تعیین موقعیت و مرکز تصویر)

2-2-3 تصویربرداری با استفاده از سیستم‌های چندفریمه

در این روش از مجموعه چندین دوربین در جهت‌های مختلف، به منظور پوشش بهتر جزئیات ساختمان‌ها و سطوح عمودی استفاده می‌گردد. در طراحی سیستم‌های چندفریمه، به طور معمول یک دوربین به عنوان دوربین نادیر و چهار دوربین به عنوان دوربین مایل (زاویه تیلت در حدود 30 تا 45 درجه) 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 2-119 و 9-119 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 دوربین‌های مختلف نسبت به یکدیگر ثابت و مشخص باشد.
- وجود اطلاعات در خصوص موقعیت و وضعیت دوربین‌ها نسبت به یکدیگر، به‌نحوی که بتوان با مجموعه داده‌های موقعیت و وضعیت مراکز تصویر یک دوربین، پارامترهای موقعیت و وضعیت تمامی دوربین‌ها را محاسبه نمود؛ ضروری است.
- از صحت موقعیت تعیین شده برای مراکز تصویر اطمینان حاصل گردد (اعمال تصحیحات لازم به بردار واسط بین آنتن گیرنده تعیین موقعیت و مرکز تصویر)
- در صورتی که تعداد تصاویر اخذ شده با سیستم چندفریمه، کمتر از 5 تصویر از زوایای مختلف باشد، تصویربرداری تکمیلی در خطوط متقاطع انجام شود به نحوی که یک مجموعه داده استاندارد (رجوع شود به بخش 1-2-3-2) ایجاد گردد. برنامه‌ریزی انجام عملیات تصویربرداری در این حالت به نحوی باشد که حداقل اختلاف زمان تصویربرداری ما بین پروازهای انجام گرفته از منطقه، وجود داشته باشد.
- حداقل پوشش طولی تصاویر نادیر 70 درصد باشد.
- حداقل پوشش عرضی تصاویر نادیر 60 درصد باشد.

نکته 1: لازم است پوشش‌های طولی و عرضی تصاویر مایل در کلیه جهات، مشابه تصاویر نادیر 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 2: چنان‌چه طی فرآیند پیش‌طراحی به دلایل مختلف ناشی از شرایط پروژه، ضرورت ایجاب شود که پوشش‌ها افزایش یابند، اولویت با نتایج پیش‌طراحی است.

نکته 3: چنان‌چه اختلاف فاصله کانونی دوربین‌های مورد استفاده در تصویربرداری مایل و قائم زیاد باشد (بیش از 50 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 مایلی که تصویر حاصله فاقد تصویر آسمان باشد، مجاز است.
- ارتفاع پرواز به نحوی انتخاب شود که قدرت تفکیک مکانی در مرکز تصاویر مایل نیز، با توجه به دستورالعمل 2-119 در محدوده مجاز قرار گیرد.
- محدوده پروازی به نحوی انتخاب گردد که محدوده پروژه توسط تصاویر مایل هر چهار جهت، پوشش داده شود.

3-2 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 وجود درختان، 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 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 بصورت نقاط گرهی در مثلث‌بندی تصاویر هوایی، به منظور بهبود دقت داخلی شبکه
- تلفیق ابرنقاط تولید شده از داده‌های تکمیلی با ابرنقاط تصاویر هوایی، به منظور تکمیل مدل سه‌بعدی حاصله
- تولید مدل سه‌بعدی با رزولوشن 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: برای جمع‌آوری داده‌های تکمیلی، می‌بایست به تناسب شرایط و نیاز پروژه، در صورت لزوم برای هر بخش از محدوده پروژه، روش اجرا و طراحی مستقلی در نظر گرفته شود.

در ادامه برخی از روش‌های متداول در جمع‌آوری این داده‌ها و الزامات فنی مربوطه بیان می‌گردد.

2-3-1 تصویربرداری بردکوتاه

تهیه مدل سه‌بعدی شهری با استفاده از تصاویر برد کوتاه، در محدوده‌های کوچک شامل یک یا چند ساختمان یا به صورت داده‌های تکمیلی در تلفیق با تصاویر هوایی، به منظور بهبود مدل سه‌بعدی؛ قابل انجام 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، با فتوگرامتری کلاسیک مشابه بوده و صرفاً در خصوص زوایای عکسبرداری آزادی عمل بیشتری وجود دارد لذا نتایج حاصله از نظر صحت و دقت، مطابق با دستورالعمل 2-119 ارزیابی می‌گردد.
- طراحی تصویربرداری برد کوتاه به نحوی انجام گیرد که نسبت GSD تصاویر موجود در یک خط پروازی همچنین تصاویر موجود در خطوط پروازی مجاور، بیش از دو نباشد.
- به منظور امکان پردازش یکپارچه داده‌های بردکوتاه و تصاویر هوایی و اطمینان از دقت هم مرجع 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 واسط انجام شود.
- از صحت موقعیت تعیین شده برای مراکز تصویر، اطمینان حاصل گردد (اعمال تصحیحات لازم به بردار واسط بین آنتن گیرنده تعیین موقعیت و مرکز تصویر)
- تصویربرداری به نحوی برنامه‌ریزی گردد که هر نقطه از سوژه حداقل در 4 تصویر از زوایای مختلف دیده شود.
- حداقل تعداد تصاویر در هر خط پروازی، به نحوی انتخاب گردد که امکان محاسبه پارامترهای کالیبراسیون دوربین وجود داشته باشد.
- پوشش بین تصاویر مجاور حداقل 80 درصد باشد.
- در صورتی که مسیر تصویربرداری دارای انحناء باشد، زاویه بین تصاویر مجاور بیش از 15 درجه نباشد.

2-3-2 داده‌های اسکن لیزری

به منظور استفاده از داده‌های اسکن لیزری برای بهبود مدل‌های سه‌بعدی شهری حاصل از تصاویر هوایی، فارغ از روش مورد استفاده، لازم است ملاحظات زیر در جمع‌آوری داده‌ها 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 انجام گیرد (هوای صاف بدون مه، دود یا بارندگی و سطح زمین فاقد برف یا آب گرفتگی)
- در جمع‌آوری داده‌های لیدار هوایی، میان خطوط پرواز حداقل 50 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[17] سنجنده لیدار هوایی افزایش یابد.

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

- داده‌های اسکن لیزری شامل مختصات سه‌بعدی (X,Y,Z) و شدت بازتاب[18] باشند.

نکته: 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 ...)، مجموعاً 95 درصد محدوده‌های مورد نظر بایستی فاقد گپ باشد.

نکته: به منظور کاهش نواحی پنهان ناشی از موانع متحرک، عملیات اسکن لیزری تا حد امکان در بهترین زمان ممکن 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 همگن بوده و دارای تراکم یکنواخت باشد.
- تراکم ابرنقاط اسکن لیزری در مناطق مورد نظر برای تکمیل مدل سه‌بعدی، به گونه‌ای باشد که فاصله بین نقاط، بیش از نصف دقت هندسی مدل سه‌بعدی نباشد.

به منظور دریافت نکات فنی بیشتر در خصوص نحوه جمع‌آوری داده‌های اسکن لیزری، به پیوست 5 این دستورالعمل رجوع گردد.

[17] FOV
[18] Intensity

فصل سوم

عملیات نقشه‌برداری زمینی

برای اطلاع

3-1 ایجاد شبکه ایستگاه‌های ماندگار

ایجاد شبکه ایستگاه‌های ماندگار، به منظور 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 به‌خوبی پوشش دهند.

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

3-2 جمع‌آوری نقاط کنترل و چک زمینی

نقاط کنترل زمینی به منظور بهبود صحت زمین مرجع نمودن داده‌ها همچنین هم مرجع‌سازی 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. برای آگاهی از الزامات فنی در خصوص نحوه طراحی و اخذ نقاط کنترل زمینی، به دستورالعمل‌های 2-119 و 9-119 مراجعه گردد.

انتخاب نقاط چک زمینی به تعداد و پراکندگی مناسب، به منظور اطمینان از دقت انجام مثلث‌بندی هوایی، دقت ابرنقاط حاصل از اسکن لیزری و ارزیابی دقت مدل سه‌بعدی تولید شده الزامی است. 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.
- تعداد نقاط چک با توجه به وسعت منطقه و دقت هندسی مدل سه‌بعدی مورد نظر، تعیین می‌گردد. حداقل تعداد نقاط چک مورد نیاز حتی در مناطق با وسعت کم، 4 نقطه می‌باشد.

نکته: در صورتی که موقعیت مراکز تصاویر حاصل از سیستم GNSS ناوبری باشد، لازم است حداقل یک سوم تعداد نقاط کنترل زمینی پروژه، نقطه چک اخذ گردد.

- نقاط چک ترجیحاً بصورت نشانه (تارگت)، پیش از عملیات جمع‌آوری داده‌ها در منطقه ایجاد گردند.

تارگت‌های نقطه‌ای، ترجیحاً متقارن (بصورت 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 10 تا 20 برابر GSD) باشد به نحوی که بر روی تصاویر یا ابرنقاط اسکنر لیزری به خوبی قابل تشخیص باشند همچنین مرکز تارگت با یک علامت کراس با دقت حداقل یک‌دهم GSD مشخص باشد.

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

3-3 جمع‌آوری داده‌های کمکی

منظور از داده کمکی در این بخش، طول یا اسکیل‌بار است. انتخاب اسکیل‌بارها باید به نحوی باشد که در مرحله اندازه‌گیری زمینی همچنین شناسایی بر روی تصاویر مربوطه، به آسانی و وضوح قابل تشخیص باشند. بکارگیری این داده‌های کمکی به دو منظور زیر مجاز است:

- استفاده در بهبود نتایج محاسبات مثلث‌بندی هوایی و مدل سازی سه‌بعدی
- استفاده در ارزیابی دقت هندسی مدل سه‌بعدی تولید شده

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

پس از بهره‌گیری از داده‌های کمکی در فرآیند محاسبات مثلث‌بندی یا مدل‌سازی، نتایج محاسبات و آزمون‌های آماری نیز می‌تواند ملاکی برای تأیید یا رد مستندات فنی ارائه شده باشد. لذا چنان‌چه پس از بررسی نتایج محاسبات مشخص شود که خطاهای باقیمانده روی اسکیل‌بارهای مورد استفاده، از حد آستانه‌ی قابل‌قبول فراتر رفته است، استفاده از این داده‌ها به دلیل احتمال ایجاد اعوجاج در داده‌های اصلی، مجاز نمی‌باشد.

فصل چهارم

پردازش داده‌ها و تولید مدل سه‌بعدی

برای اطلاع رضا

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

4-1 پیش‌پردازش داده ها

در مرحله پیش‌پردازش و قبل از ورود به پردازش داده‌ها، لازم است علاوه بر رعایت الزامات مورد اشاره در دستورالعمل-های 2-119 و 9-119، مراحل زیر به منظور اطمینان از مطابقت داده‌های جمع‌آوری شده با پیش‌طراحی صورت گرفته، انجام گیرد. بدیهی است در صورتی عدم مطابقت، ضروری است اقدامات لازم به منظور حصول دقت‌های مورد نیاز پروژه انجام شود:

- 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 هندسی (GRD) تصاویر با استفاده از تصاویر حاوی تارگت زیمنس مطابق با دستورالعمل 9-119 و مقایسه با مقادیر تعیین شده در مرحله پیش‌طراحی.

نکته: ضروری است ارزیابی قدرت تفکیک هندسی تصاویر، در مرکز تصاویر نادیر و مایل انجام گرفته و گزارش مربوطه ارائه گردد.

- 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 با توجه به طراحی انجام گرفته.
- ارزیابی نحوه تعیین موقعیت مراکز تصویر شامل روش تعیین موقعیت، دقت تعیین موقعیت، تعداد تصاویر فاقد مختصات مرکز تصویر و ....
- ارزیابی نحوه تعیین وضعیت تصاویر و دقت تعیین وضعیت.
- ارزیابی پوشش‌های طولی و عرضی تصاویر، 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 سرنشین دار
- پیش‌پردازش و ارزیابی کیفی داده‌های اسکن لیزری شامل انجام موارد زیر:

- بررسی پوشش کامل محدوده مورد نظر و عدم وجود گپ در داده‌ها
- پردازش داده‌های خام مسیر و برآورد بهترین تخمین هموار از مسیر حرکت اسکنر لیزری

- بررسی دقت تعیین موقعیت مسیر حرکت اسکنر لیزری
- حذف بخش‌های غیر ضروری خطوط پرواز مانند چرخش های مسیر، خطوط ترانزیت و سایر مانورهای هوایی که برای پوشش منطقه مورد نیاز نیستند.
- 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 اورلپ خطوط یک پرواز همچنین بین پروازهای مختلف
- بررسی توزیع و تراکم ابرنقاط
- بررسی وجود بازتاب‌های غیرمعمول یا ناهنجاری در داده‌ها
- حذف نقاط نامعتبر و عوارض غیرضروری
- فیلتر کردن نویزهای موجود در ابرنقاط

4-2 پردازش داده‌ها

4-2-1 مثلث‌بندی تصاویر

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

1- انجام عملیات مثلث‌بندی در دو مرحله:

- مرحله اول: مثلث‌بندی و تعیین پارامترهای توجیه داخلی و خارجی تصاویر قائم
- مرحله دوم: انجام مثلث‌بندی و پردازش تصاویر مایل و قائم به صورت همزمان با ثابت نگهداشتن پارامترهای توجیه داخلی و خارجی تصاویر قائم و برقراری اتصال بین تصاویر قائم و مایل با استفاده از نقاط کنترل و نقاط گرهی.

نکته 1: در استفاده از روش مثلث‌بندی دو مرحله‌ای، قبل از پردازش همزمان تصاویر قائم و مایل، لازم است نتایج مثلث-بندی تصاویر قائم در مرحله اول، ارزیابی شده و تأمین کننده دقت مورد نظر پروژه باشد.

نکته 2: استفاده از این روش در شرایطی که تعیین موقعیت مراکز تصاویر نادیر در زمان پرواز، بصورت دقیق انجام شده اما مختصات مراکز تصاویر مایل دارای دقت مناسب نمی‌باشد، توصیه می‌شود.

2- مثلث‌بندی و تعیین پارامترهای توجیه داخلی و خارجی تصاویر نادیر و مایل به صورت همزمان در یک مرحله

در انجام مثلث‌بندی تصاویر مایل و قائم و ارزیابی نتایج، علاوه بر الزامات قید شده در دستورالعمل‌های 2-119 و 9-119، لازم است ملاحظات زیر نیز در نظر گرفته شود:

- در صورت نیاز کل منطقه به چند بلوک محاسباتی تقسیم شده و به منظور اتصال بلوک‌های محاسباتی، رن‌های پروازی و نقاط کنترل مشترک در نظر گرفته شده و نقاط مشترک گرهی نیز اندازه‌گیری شود.
- در مورد دوربین‌های مولتی‌هد، ضروری است مستندات کافی در خصوص دقت تعیین موقعیت و وضعیت اندازه‌گیری شده در زمان پرواز، برای کلیه دوربین‌ها ارائه شود.
- نقاط گرهی روی تصاویر نادیر و مایل، از طریق حذف نقاط اشتباه، نقاط گرهی 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 نادیر 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 گردد و سپس پارامترهای توجیه داخلی و خارجی بدست آمده، به عنوان مقادیر اولیه در مرحله بعد (مثلث‌بندی همزمان تصاویر هوایی و برد کوتاه) استفاده شود.

4-2-2 تولید ابرنقاط از تصاویر

ابرنقاط با استفاده از سطوح مختلف هرم تصاویر، قابل تولید می‌باشد. 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 و ... می‌باشد.

در تولید ابرنقاط از تصاویر، لازم است الزامات زیر رعایت گردد:

- ابرنقاط تولید شده دارای رنگی متناسب با رنگ نقاط ثبت شده در تصاویر باشد.
- فیلترهای مورد نیاز به منظور حذف بلاندر و کاهش نویز اتفاقی بر روی ابرنقاط اعمال شود.
- نویز باقیمانده در ابرنقاط بیش از یک سوم دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی نباشد.

- حداقل فاصله ابرنقاط برابر با وضوح هندسی تصاویر و حداکثر فاصله ابرنقاط، نصف دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی انتخاب شود.
- ابرنقاط می‌تواند 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.
- 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 و حد آستانه خطاهای قابل قبول، مطابق با دستورالعمل 2-119 می‌باشد.
- کامل بودن ابرنقطه به میزان پوشش‌های طولی و عرضی تصاویر، روش تناظریابی نرم‌افزار مورد استفاده و کیفیت و وضوح تصاویر مورد استفاده در تولید ابرنقطه بستگی دارد. کمتر از 5 درصد مناطق، دارای تراکم نقاط پایین‌تر از دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد.

4-2-3 پردازش داده‌های اسکن لیزری

پس از جمع‌آوری داده‌های اسکن لیزری مطابق با الزامات قید شده در بخش 2-3-2 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 و به منظور به حداقل رساندن خطاهای باقیمانده در ابرنقاط متناسب با دقت مورد نیاز پروژه، صورت می‌گیرد. به منظور دریافت نکات فنی بیشتر در خصوص پردازش داده‌های اسکن لیزری، به پیوست 5 این دستورالعمل رجوع گردد.

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:

- 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، می‌بایست 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.
- ابرنقاط اسکن لیزری از طریق فیلتر کردن نویزهای موجود، حذف نقاط نامعتبر و عوارض غیر ضروری، پالایش گردد.
- 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 و حد آستانه خطاهای قابل قبول، مطابق با دستورالعمل 2-119 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.
- اختلاف ارتفاعی بین خطوط اسکن مجاور، از نصف دقت ارتفاعی مورد نظر پروژه تجاوز نکند.
- در خصوص مجموعه داده‌های بسیار بزرگ، ابرنقاط کالیبره شده نهایی، تایل‌بندی گردد.
- ابرنقاط با فرمت LAS یا LAZ، اندکس تایل‌بندی 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 تجهیزات مورد استفاده (اسکنر، سنسورهای GNSS/IMU و ...)، 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.

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 بروز استفاده شود.

4-2-4 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.

1-4-2-4 مدل مش سه‌بعدی

پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای تولید مدل مش سه‌بعدی شامل تصاویر هوایی یا زمینی یا ابرنقاط اسکن لیزری (با مشخصات اعلام شده در فصل 2) همچنین انجام مراحل پیش‌پردازش و پردازش‌های اولیه بر روی داده‌ها مطابق بخش‌های قبلی (4-2-1-4، 4-2-2-4، 4-2-3-4)، در ادامه به منظور تولید مدل مش سه‌بعدی، مراحل کلی کار به شرح زیر است:

- تولید ابرنقطه یا نقشه عمق[19] از تصاویر
- ویرایش داده‌ها، در صورت نیاز
- تولید رویه
- ویرایش رویه، در صورت نیاز
- اعمال بافت 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 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.
- وضوح Depth map تولید شده متناسب با دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد.

[19] depth map

- 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 رزولوشن بافت بیشتر از نصف دقت هندسی مدل سه‌بعدی نباشد.
- بافت تصویری مدل سه‌بعدی، دارای کیفیت رادیومتریکی مناسب باشد (از نظر یکنواختی روشنایی و رنگ، تفاوت سایه‌ها و ...).
- در ویرایش مدل 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 سایر عوارض تحت تأثیر قرار نگیرد، بلامانع است.
- قید مسطح بودن سطوح به‌منظور هموارسازی سطوح یا سقف ساختمان یا سازه‌ها، در صورتی که که بیش از نصف دقت هندسی مدل سه‌بعدی جابجایی ایجاد نکند، بلامانع است.
- شارپ‌کردن لبه‌های عوارض با 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.
- حذف گپ یا حفره‌های موجود در مدل سه‌بعدی، ناشی از عواملی مانند محدودیت در اخذ تصاویر با پوشش کافی و زوایای مناسب از منطقه، سایه‌ها یا وجود عوارض براق و بازتابی، در صورتی که دارای ابعاد بزرگتر از 3 برابر دقت هندسی مدل سه‌بعدی باشند؛ مجاز نمی‌باشد.
- حفره‌های باقیمانده روی عوارض هدف پروژه، نباید بیش از 5٪ سطح عوارض هدف را پوشش دهند.
- اعوجاج در مدل‌سازی، ناشی از ضخامت کم عوارض یا تغییر در هندسه عوارض به شکل میخ‌شدگی و شکستگی، نباید بیش از دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد. وجود اعوجاجات هندسی بیش از حد مجاز، در صورتی که به استخراج اطلاعات مورد نیاز از مدل، لطمه وارد نکند، حداکثر در 10 درصد عوارض هدف مورد نظر پروژه، مجاز است.

- 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 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.

4-2-4-2 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 2) باشد، همچنین انجام مراحل پیش-پردازش و پردازش‌های اولیه بر روی داده‌ها مطابق بخش‌های قبلی (4-1، 4-2-1، 4-2-2، 4-2-3)؛ 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: استخراج رئوس متناسب با ساختار داده مورد نظر و سطح جزئیات (LOD) مورد نیاز انجام شده همچنین با توجه به دقت مورد انتظار می‌تواند از طریق برجسته‌بینی، ابرنقاط یا مدل مش صورت گیرد.

- ویرایش المان‌های برداری ورودی، در صورت نیاز
- تولید المان‌های سه‌بعدی سطحی یا حجمی متناسب با ساختار داده مورد نظر
- افزودن بافت (تکسچر) به مدل سه‌بعدی، در صورت نیاز پروژه
- تهیه خروجی مناسب از مدل سه‌بعدی با یکی از فرمت‌های متداول مانند SHP، DXF، OBJ، 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 تولید شده 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 می بایست 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.

- استخراج رئوس عوارض از داده‌های جمع‌آوری شده، متناسب با 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 باشند.
- دقت هندسی استخراج رئوس عوارض از نظر مسطحاتی و ارتفاعی، متناسب با دقت مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد.
- به منظور بهینه بودن حجم مدل همچنین عدم وجود تضاریس اضافی، در ترسیم هر موجودیت[20]، از حداقل تعداد رئوس که تأمین کننده دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد، استفاده گردد.
- در هر کلاس عارضه، با توجه به مدل داده موردنظر پروژه؛ تک‌تک موجودیت‌ها به شکل مستقل باشند.
- ساختار فیزیکی عوارض هر لایه، یکسان باشد.
- بین عوارض موجود در مدل سه‌بعدی همچنین بین اجزاء مختلف یک عارضه، سازگاری منطقی وجود داشته باشد (با رعایت قواعد توپولوژی مطابق دستورالعمل 3-119)
- موجودیت‌های ایجاد شده، فاقد تداخل یا گپ هندسی باشند.
- علاوه بر عوارض هدف مورد نظر پروژه، مدل سه‌بعدی شامل یک لایه پایه (حداقل نمایش توپوگرافی سطح زمین) بوده و گپ یا حفره در مدل وجود نداشته باشد.

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

- عوارض نقطه‌ای (در صورتی که جزء عوارض هدف مورد نظر پروژه نباشد) همچنین عوارض با جزئیات تکرار شونده (مانند پنجره و ...) می‌توانند بصورت نماد به مدل اضافه شوند. این سمبل‌ها باید طراحی ساده‌ای داشته و شکل، رنگ و ابعاد آن متناسب با عارضه مورد نظر باشد.

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

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

[20] Entity

3-4-2-4 تبدیل یک مدل برداری سه‌بعدی به مدل GIS سه‌بعدی

مدل‌های GIS سه‌بعدی، اغلب از مدل‌های برداری سه‌بعدی تولید می‌شوند. برای تبدیل یک مدل برداری سه‌بعدی به یک مدل GIS سه‌بعدی، لازم است مجموعه‌ای از مراحل و الزامات فنی 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 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 مکانی و واحد ارتفاعی مشترک تعریف شوند تا هم‌مرجع‌سازی کامل میان داده‌ها برقرار گردد. به منظور آماده‌سازی مدل و حذف خطاهای توپولوژیکی سه‌بعدی، به نشریه 3-119 (جلد سوم دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری: مدیریت اطلاعات مکانی) مراجعه شود.

- **تعیین ساختار داده در مدل GIS سه‌بعدی**: در این مرحله با توجه به مدل داده مورد نظر، باید مشخص گردد که هر شیء چه نوع پدیده‌ای را نمایش می‌دهد؛ به طور مثال آیا یک ساختمان به‌صورت یک حجم کلی مدل می‌شود یا اجزای دقیق‌تری مانند سقف، نما، در و پنجره نیز به‌عنوان اشیاء مستقل تعریف می‌شوند. بر این اساس لازم است دسته‌بندی صحیح و مناسب المان‌های موجود در عوارض مکانی صورت گیرد. این سطح از جزئیات به طور 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 شود؛ این روابط می‌توانند شامل مجاورت[21]، هم‌پوشانی[22]، تقاطع[23]، ارتباطات پیرامونی[24] 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 مرز یک ساختمان با مرز خیابان تماس داشته باشد، رابطه‌ی مجاورت برای آن‌ها ثبت می‌شود. این روابط باید به‌صورت کدگذاری‌شده در پایگاه داده مدل ذخیره شوند تا برای هر شیء، فهرستی از عناصر مرتبط و نوع رابطه‌ی میان آن‌ها موجود باشد. در این فرآیند، رعایت قواعد توپولوژیکی الزامی است تا از تداخل هندسی میان اشیاء،

[21] Adjacency
[22] Overlap
[23] Intersection
[24] Proximity

شکاف‌های[25] مکانی یا ناپیوستگی[26] مرزها جلوگیری شود. همچنین، کنترل توپولوژی باید تضمین کند که عناصر مرتبط از نظر مکانی 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 3-119 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 شوند تا مدل علاوه بر بازنمایی هندسی، قابلیت تحلیل پیدا کند. به‌این‌منظور، برای هر شیء سه‌بعدی مانند ساختمان، خیابان، پل و ...، ویژگی‌های توصیفی و اطلاعات معنایی متناسب با نوع پدیده باید 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 ضروری است:

- رعایت الزامات ساختاری ویژگی‌های توصیفی: بدین معنا که برای هر ویژگی، نوع داده (عددی، متنی، طبقه‌ای یا بولی) و دامنه مجاز مقادیر[27] به‌طور دقیق تعریف گردد و هر شیء دارای شناسه منحصربه‌فرد باشد تا ارتباط یک‌به‌یک میان هندسه و رکورد توصیفی برقرار شود.

- رعایت الزامات یکپارچگی و کنترل کیفیت داده‌ها: به این صورت که ویژگی توصیفی باید متناسب با هندسه عوارض باشد، به طور مثال عارضه تیر چراغ برق نمی تواند دارای ویژگی توصیفی مساحت باشد. همچنین، لازم است خطاهای احتمالی مانند تکرار رکوردها، ناهماهنگی مقادیر یا داده‌های ناقص شناسایی و اصلاح شوند.

- رعایت الزامات کاربردی بودن ویژگی‌های توصیفی در تحلیل داده: به این معنا که ویژگی‌های توصیفی به‌گونه‌ای ساختار یابند که امکان انجام تحلیل‌ها را فراهم کنند. به طور مثال، در تحلیل مقاوم بودن ساختمان‌ها ویژگی توصیفی جنس ساختمان یک ویژگی توصیفی کاربردی و الزامی است.

- **افزودن بافت به مدل سه‌بعدی**: همانطور که در بخش‌های 4-2-4-1 و 4-2-4-2 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.

[25] Gap
[26] Sliver
[27] Domain Values

3-4 تنظیم مدارک و مستندات نهایی

به‌منظور ارزیابی نهایی هر پروژه، لازم است مدارک زیر گردآوری شده و ارائه گردد:

الف) مدارک و داده‌های اولیهٔ مورد استفاده:

- لیست مختصات ایستگاه‌های ماندگار ایجاد شده در منطقه
- لیست مختصات نقاط کنترل و چک زمینی همراه با دقت‌های مربوطه
- اندکس عکسی حاوی مراکز عکس، موقعیت نقاط کنترل و چک زمینی و محدوده پروژه
- کروکی نقاط کنترل و چک زمینی
- مختصات دقیق مراکز تصاویر نادیر و مایل و پارامترهای وضعیت تصاویر نادیر و مایل همراه با دقت‌های مربوطه- مختصات مسیر حرکت اسکنر لیزری (محاسبه شده به روش RTK / PPK) همراه با دقت‌های مربوطه- گزارش پردازش مختصات و لیست مراکز تصویر تعیین موقعیت نشده- مختصات ایستگاه‌های مبنا در روش PPK
- تصاویر پروژه

ب) گزارش پیش‌طراحی:

- ارائه گزارشی مبنی بر پارامترهای موثر در انتخاب روش جمع‌آوری داده‌ها، متناسب با نیازهای پروژه از نظر دقت، جزئیات و سطح تکمیل بودن اطلاعات
- مشخص نمودن ترکیب روش‌های مختلف تعیین شده برای جمع‌آوری داده در محدوده‌های مختلف پروژه
- مدل داده مکانی مورد نیاز پروژه (ارائه شده توسط کارفرما)
- مشخص نمودن محدوده تقریبی مناطقی که مدل سه‌بعدی از مشخصات فنی مورد نظر برخوردار نخواهد بود
- مشخص نمودن بهینه‌ترین تنظیمات منتخب برای اجرای پروژه با توجه به روش یا روش‌های بکار گرفته شده، شامل موارد اعلام شده در بخش 2-1
- تأییدیه کارفرما و دستگاه نظارت در خصوص پیش‌طراحی انجام شده

پ) گزارش فنی:

لازم است گزارشی در خصوص نحوه جمع‌آوری و پردازش داده‌ها همچنین دقت محصولات تهیه شده به روش فتوگرامتری، 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:

1- گزارش عمومی پروژه

در این بخش باید حداقل مولفه‌های زیر گزارش گردد (سطح جزئیات ارائه شده در گزارشات ممکن است بر اساس ویژگی‌های پروژه و نیازهای کاربر متفاوت باشد):

- فرم متادیتا مطابق پیوست 3
- گزارش تصویربرداری: شامل طراحی پرواز، تاریخ پرواز، سنجنده مورد استفاده، آخرین گزارش و تاریخ کالیبراسیون سنجنده، تنظیمات سنجنده، فرآیند کنترل کیفی اولیه تصاویر، گزارش عملیات تصویربرداری برای دوربین‌های نادیر و مایل مطابق پیوست 4، گزارش تعیین وضوح (GRD) تصاویر نادیر و مایل مطابق دستورالعمل 9-119.
- گزارش جمع‌آوری داده‌های اسکن لیزری: شامل تاریخ جمع‌آوری داده‌ها، مشخصات فنی و دقت تجهیزات مورد استفاده (اسکنر و سنسورهای GNSS/IMU)، آخرین گزارش و تاریخ کالیبراسیون تجهیزات، نقشه موقعیت‌های استقرار/ مسیر حرکت اسکنر لیزری و تراکم ابرنقاط اسکن لیزری.
- گزارش نقشه‌برداری زمینی: شامل تجهیزات و نرم‌افزارهای مورد استفاده در نقشه‌برداری زمینی و انجام پردازش‌ها، فرآیندهای نقشه‌برداری انجام شده، سیستم مختصات و دیتوم مسطحاتی و ارتفاعی مورد استفاده، فرآیند ارزیابی دقت مشاهدات GNSS و نتایج حاصله، لیست ایستگاه‌های مبنایی مورد استفاده برای پردازش داده‌های GNSS، لیست مختصات ایستگاه‌های ماندگار و نقاط کنترل و چک زمینی و داده‌های کمکی همراه با دقت‌های مربوطه، کروکی و تصاویر نقاط کنترل و چک زمینی.
- 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، پردازش تصاویر و مثلث‌بندی هوایی، پردازش داده‌های اسکن لیزری همراه با اندکس تایل‌بندی داده‌های لیزر، پردازش‌ها و ویرایش‌های انجام شده برای تولید محصولات.

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

  - لیست مقادیر نهایی پارامترهای توجیه خارجی تصاویر
  - مشخص نمودن ترتیب دوران‌ها (برای مثال راست گرد یا چپ گرد)
  - 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 هوایی و میزان باقیمانده‌ها
  - گزارش پردازش و سرشکنی داده‌های لیزر و ارزیابی دقت داده‌ها

2- 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:
  - 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 حدآستانه دقت مورد نیاز هستند، نباید بدون 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.
  - در زمان گزارش دقت مسطحاتی یا ارتفاعی محصول، لازم است دقت نقاط چک مورد استفاده نیز لحاظ گردد.

- **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 فتوگرامتری 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 گردند.

ت) محصولات پروژه:

- مدل سه‌بعدی شهری
- DSM (در خصوص مدل مش)
- ارتوفتو واقعی (در خصوص مدل مش)
- ابرنقاط با فرمت LAS یا LAZ

ث) گزارش ایرادات و مشکلات موجود:

- نواحی ضعیف و فاقد استحکام لازم در بلوک مثلث‌بندی شده و توصیه‌های مربوطه
- مناطق مدل‌سازی نشده یا فاقد دید مناسب سه‌بعدی و توصیه‌های مربوطه
- لیست نقاط کنترل و چک زمینی مردود
- سایر مشکلات و موارد قابل ذکر

4-4 به‌روزرسانی مدل‌های سه‌بعدی شهری

ماهیت پویای شهرها، ضرورت به‌روز بودن مدل‌های سه‌بعدی شهری مورد استفاده به منظور ارتقای کیفی فرآیندهای توسعه، برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، را روشن می‌سازد. بر این اساس، در هنگام تولید مدل‌های سه‌بعدی شهری، لازم است پیش‌بینی‌ها و تمهیدات مورد نیاز به منظور میسر بودن به‌روز رسانی 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، بروزرسانی انجام خواهد گرفت.

امکان بروزرسانی یک مدل سه‌بعدی شهری با استفاده از تصاویر بروز اخذ شده، مستلزم در اختیار داشتن داده‌های اولیه و اطلاعات مربوط به مدل سه‌بعدی موجود (شامل تصاویر، محاسبات مثلث‌بندی، اطلاعات کالیبراسیون دوربین، متادیتا) و رعایت موارد زیر است:

- مطابقت شبکه مختصات و مبنای مسطحاتی و ارتفاعی مدل سه‌بعدی بروز شده با مدل سه‌بعدی قدیمی
- همخوانی حد تفکیک مکانی دو گروه تصاویر (تصاویر اخذ شده به منظور بروزرسانی 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 1: در صورت بکارگیری ابرنقاط اسکن لیزری در فرآیند تولید و بروزرسانی مدل سه‌بعدی شهری، الزامات مورد نیاز به منظور هماهنگی ابرنقاط مورد استفاده به منظور بروزرسانی با ابرنقاط اولیه رعایت گردد.

علاوه بر موارد فوق‌الذکر، ملاحظات زیر در فرآیند بروزرسانی هر یک از انواع مدل سه‌بعدی، مد نظر قرار گیرد.:

- مدل مش سه‌بعدی: به منظور همخوانی و هماهنگی بیشتر بین مدل سه‌بعدی بروز شده و مدل اولیه، بروزرسانی در یک بافر بزرگتر نسبت به محدوده موردنظر بروزرسانی، انجام گیرد به نحوی که کلیه تایلهای 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 بروزرسانی، کلیه عوارض تغییر یافته (با در نظر گرفتن مدل داده مورد نظر و نیاز کارفرما)، مجدداً ترسیم شده و پس از اطمینان از همخوانی با مدل سه‌بعدی اولیه در مرز محدوده بروزرسانی (مطابق با دقت هندسی مورد انتظار)، در ایجاد مدل سه‌بعدی بروز شده، بکار گرفته شوند.

نکته 2: کلیه الزامات فرآیند تولید مدل سه‌بعدی، در بروزرسانی نیز رعایت گردد

فصل پنجم

ذخیره سازی مدل‌های سه‌بعدی شهری و استانداردهای تبادل داده

برای اطلاع

5-1 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 هستند.

در حال حاضر، پلتفرم مد نظر سازمان نقشه‌برداری کشور برای انتشار و تبادل داده‌های سه‌بعدی در بستر وب، پلتفرم Cesium می‌باشد. به منظور فراهم نمودن امکان نمایش مدل‌های سه‌بعدی شهری تولید شده، در بستر این پلتفرم، فرمت‌های متن‌باز **CityGML** و **I3S**، فرمت‌های نهایی مورد نظر برای ارائه مدل‌های GIS سه‌بعدی می‌باشند.

در خصوص مدل‌های مش سه‌بعدی، علاوه بر یکی از فرمت‌های اعلام شده در بخش 4-2-4-1، که مطابق با نیاز کارفرما تعیین می‌گردد؛ به منظور میسر بودن امکان انتشار این مدل‌ها در بستر پلتفرم Cesium، فرمت **Cesium 3D Tiles**، به عنوان فرمت نهایی ارائه مدل‌های مش سه‌بعدی مورد نظر می‌باشد.

همان‌گونه که پیش‌تر ذکر شد، مدل‌های GIS سه‌بعدی، به‌طور معمول از مدل‌های برداری سه‌بعدی تولید می‌شوند. در ادامه مراحل مورد نیاز به منظور تبدیل فرمت‌های برداری سه‌بعدی به فرمت‌های متن‌باز، بیان می‌گردد.

5-1-1 آماده‌سازی داده‌های برداری به منظور تبدیل به فرمت‌های متن باز

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، با رعایت الزامات ذکر شده در بخش‌های 4-2-4-2 و 4-2-4-3، 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 (User-defined) جای گیرند یا در صورت غیرضروری بودن، حذف شوند.

5-1-2 تبدیل فرمت مدل سه‌بعدی به فرمت متن‌باز

در این مرحله، مدل سه‌بعدی تولید شده در یک فرمت برداری مطابق با الزامات ذکر شده در بخش 5-1-1، 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 متن مورد نظر این دستورالعمل، CityGML و I3S می‌باشند.

- **فرمت CityGML:**

CityGML، یک مدلِ دادهٔ استانداردِ باز و فرمت تبادل 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 و عوارض شهری را در 5 سطح از رزولوشن نمایش می‌دهد؛ 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 منتخب متنی هدف انتخاب می‌شود.

- **فرمت I3S:**

به دلیل این‌که مقصود نهایی از تهیه داده‌های مکانی سه‌بعدی، ارائه و نمایش آن‌ها در بستر وب به صورت سه‌بعدی است، گزینش یک فرمت منتخب نهایی که برای نمایش تحت وب استفاده می‌شود، 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 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 ذیل است:

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

نسخه‌های بالاتر فرمت‌های استاندارد از قابلیت بیشتری برخوردارند. لذا 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 به فرمت‌های استاندارد، صحت فرمت استاندارد خروجی با بکارگیری ابزارها یا نرم‌افزارهای مربوطه پایش شود.

فصل ششم

ارزیابی کیفی مدل‌های سه‌بعدی شهری

برای اطلاع رسانی

6-1 معیارهای ارزیابی مدل سه‌بعدی

ارزیابی کیفی یک مدل سه‌بعدی به بررسی جنبه‌های مختلف مدل برای اطمینان از دقت، کیفیت و کارایی آن می‌پردازد و شامل مراحل و معیارهای زیر است:

- ارزیابی داده‌های اولیه مورد استفاده
- ارزیابی سیستم مختصات و مبنای مسطحاتی و ارتفاعی
- ارزیابی دقت هندسی
- ارزیابی سطح جزئیات هندسی
- ارزیابی کامل بودن
- ارزیابی کیفیت بصری
- ارزیابی کیفیت داده‌های اضافی
- ارزیابی توپولوژی و ارتباط صحیح بین عوارض
- ارزیابی تطابق با مشخصات تعیین شده در مرحله پیش‌طراحی

6-1-1 ارزیابی داده‌های اولیه مورد استفاده

با توجه به اهمیت داده‌های اولیه مورد استفاده برای تولید مدل سه‌بعدی شهری در کیفیت مدل حاصله، قبل از شروع به ارزیابی مدل سه‌بعدی، لازم است داده‌های مورد استفاده، از نظر مطابقت با الزامات بخش 4-1 (پیش پردازش داده‌ها) مورد ارزیابی قرار گیرند.

6-1-2 ارزیابی سیستم مختصات و مبنای مسطحاتی و ارتفاعی

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.

6-1-3 ارزیابی دقت هندسی

مدل‌های سه‌بعدی باید به درستی هندسه عوارض هدف مورد نظر پروژه را نمایش دهند. بررسی کیفیت هندسی مدل‌های سه‌بعدی شهری، از طریق مقایسه با داده‌های مرجع یا واقعیت زمینی و صرفاً در محل تقاطع‌ها و گوشه‌های واضح و مشخصی که در نواحی پنهان مدل سه‌بعدی قرار نمی‌گیرند، انجام می‌شود.

ضروری است ارزیابی دقت هندسی مدل سه‌بعدی به یکی از دو روش زیر انجام گیرد:

- از طریق ترسیم عوارض به روش برجسته‌بینی (استرئوپلات) و بررسی انطباق ترسیمات انجام شده با مدل سه‌بعدی. برای این منظور لازم است ترسیمات صرفاً بر روی لبه‌هایی از عوارض انجام شود که بر روی مدل سه‌بعدی نیز کیفیت بصری مناسبی داشته و به خوبی قابل شناسایی باشند.

نکته 1: 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 هوایی، مطابق دستورالعمل 2-119 و با استفاده از نقاط چک صورت گرفته باشد.

- با استفاده از نقاط و طول‌های چک اندازه‌گیری شده به روش نقشه‌برداری زمینی: 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 اندازه‌گیری روی عوارض مشخص موجود، نقاط چک قبل از تصویربرداری در سطح منطقه تارگت‌گذاری شوند. دقت نقاط چک مورد استفاده باید بهتر از دقت مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی بوده و دارای پراکندگی یکنواخت در کل محدوده مورد نظر باشند همچنین این نقاط در فرآیند تولید مدل سه‌بعدی مورد استفاده قرار نگرفته باشند.

نکته 2: برای ارزیابی نتایج بدست آمده از مقایسه مدل سه‌بعدی با نقاط چک برداشت شده به روش نقشه‌برداری زمینی یا سایر داده‌های مرجع، مطابق مقادیر دقت‌های مسطحاتی و ارتفاعی محصولات مکانی در دستورالعمل‌های 2-119 و 9-119 عمل شود. همچنین با فرض این‌که خطاهای باقیمانده روی مختصات رئوس مستقل و تصادفی هستند، میزان خطای مجاز طول‌های چک (طول‌های افقی) روی مدل سه‌بعدی، 1/4 برابر خطای مسطحاتی مجاز نقاط چک در محصولات مکانی می‌باشد.

6-1-4 ارزیابی سطح جزئیات هندسی

هرچه جزئیات هندسی بازسازی شده در مدل سه‌بعدی بیشتر باشد، مدل سه‌بعدی از کیفیت هندسی بالاتری برخوردار خواهد بود. به منظور ارزیابی سطح جزئیات هندسی بازسازی شده در مدل سه‌بعدی، لازم است موارد زیر مدنظر قرار گیرد:

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

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

- بررسی سطح جزئیات هندسی در مدل برداری سه‌بعدی با توجه به LOD مورد نظر پروژه، شامل دو مرحله می‌باشد:
  - بررسی ترسیم جزئیات عوارض (تضاریس) با توجه به دقت مورد نظر، از طریق برجسته بینی
  - ارزیابی تکمیل بودن عوارض در مدل سه‌بعدی، با توجه به مدل داده مورد نظر کارفرما

6-1-5 ارزیابی کامل بودن مدل سه‌بعدی

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

- بررسی پوشش کامل مدل سه‌بعدی در محدوده مورد نظر پروژه (با در نظر گرفتن محدودیت‌های تعیین شده در پیش-طراحی)
- بررسی میزان نواحی پنهان تصویری و اسکن لیزری، مطابق با پیش‌طراحی انجام شده (اختلاف بیش از 10 درصد مجاز نیست)
- بررسی میزان سایه های تیره، پوشش ابر، برف و ...
- اطمینان از نمایش کلیه عوارض مورد نیاز پروژه در مدل سه‌بعدی

6-1-6 ارزیابی کیفیت بصری

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

ارزیابی کیفیت بصری مدل سه‌بعدی شامل بررسی موارد زیر است:

1-6-1-6 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. 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 در مدل سه‌بعدی، نباید بیش از پنج برابر دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد همچنین مجموع مساحت این حفره‌ها نباید بیش از 10٪ 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 و شکستگی، 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 10 درصد عوارض هدف مورد نظر پروژه، مجاز است.

2-6-1-6 بررسی کیفیت بافت مدل سه‌بعدی

ارزیابی کیفیت بافت مدل سه‌بعدی شامل بررسی موارد زیر است:

- صحت تطابق بافت و مدل سه‌بعدی:

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

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 10 درصد عوارض هدف مورد نظر پروژه، مجاز است.

- ارزیابی وضوح و رزولوشن بافت:

کیفیت تصاویر و بافت استفاده شده در مدل سه‌بعدی باید به گونه‌ای باشد که جزئیات مورد نیاز پروژه نمایش داده شوند. برای این منظور قدرت تفکیک مکانی بافت نباید بیش از نصف دقت هندسی مورد انتظار برای مدل سه‌بعدی باشد.

- ارزیابی کیفیت رادیومتریک بافت:

ارزیابی رادیومتریک مدل سه‌بعدی، شامل بررسی کیفیت اطلاعات رادیومتریک بافت مدل (ویژگی‌هایی مانند روشنایی، رنگ، کنتراست و...) می‌باشد. لازم به ذکر است برای اطمینان از کیفیت رادیومتریک مدل سه-بعدی، در مرحله اول ضروری است تصاویر اولیه دارای کیفیت مناسب، وضوح بالا و شرایط نوری یکسان باشند همچنین در صورت وجود نویز رادیومتریک در تصاویر اولیه، از الگوریتم‌های پردازش تصویری مناسب برای کاهش نویز و افزایش وضوح تصاویر استفاده گردد.

ارزیابی کیفیت رادیومتریک بافت مدل سه‌بعدی، شامل بررسی موارد زیر است:

1- وضوح رادیومتریک: بررسی دقت رادیومتریک بافت از نظر تعداد بیت‌هایی که برای ذخیره‌سازی روشنایی و رنگ استفاده شده است. برای این منظور باندهای تصویری مختلف مورد استفاده برای تولید مدل سه‌بعدی بافت‌دار، نباید دارای عمق بیت کمتر از 8 باشند.

2- تطابق رنگ و روشنایی: بررسی یکپارچگی رنگها و روشنایی در کل مدل سه‌بعدی به نحوی که عوارض یکسان در مدل سه‌بعدی از نظر رنگ و گام‌های خاکستری با یکدیگر مطابقت داشته باشند.

3- تفاوت سایه‌ها: با تبعیت از موارد اعلام شده در خصوص برنامه‌ریزی مناسب زمان پرواز (بخش 2-2)، می‌توان از دستیابی به بهترین نتیجه ممکن در خصوص کاهش اختلاف سایه‌ها در مدل سه‌بعدی اطمینان داشت. در صورت رعایت این شرط، وجود ایرادات باقیمانده بر روی مدل سه‌بعدی مجاز می‌باشد.

6-1-7 ارزیابی کیفیت داده‌های اضافی

در این مرحله، میزان کامل بودن، صحت و به‌هنگام بودن متادیتا و اطلاعات توصیفی اضافه شده به مدل سه‌بعدی همچنین درستی فرمت ذخیره‌سازی این اطلاعات و سازگاری اطلاعات توصیفی بررسی می‌گردد.

6-1-8 بررسی توپولوژی و صحیح بودن ارتباط بین عوارض

به منظور ارزیابی صحت روابط توپولوژیک در مدل سه‌بعدی، مطابق دستورالعمل 3-119 عمل شده و موارد اعلام شده در بخش 2-4-2-4 نیز مورد توجه قرار گیرد.

6-1-9 ارزیابی تطابق با مشخصات تعیین شده در مرحله 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 مرحله پیش‌طراحی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

پیوست 1: واژه‌نامه

کلیدواژه	توضیح
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 و معمولاً به صورت مثلثی، که امکان بازسازی واقع‌گرایانه محیط‌های شهری را فراهم می‌سازد.
مدل برداری سه‌بعدی (3D Vector Model)	مدل سه‌بعدی مبتنی بر تعریف هندسه اشیاء به‌صورت المان‌های مجزا، با استفاده از نقاط، خطوط، سطوح یا احجام که قابلیت تولید اشیاء مستقل را دارا می‌باشد.
مدل GIS سه‌بعدی (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.
مدل سه‌بعدی بافت‌دار (3D Textured Model)	مدل سه‌بعدی که با نگاشت تصاویر واقعی روی سطوح هندسی، ظاهر واقع‌گرایانه پیدا می‌کند.
CITYGML	یک مدل دادهٔ استاندارد متن باز و فرمت تبادل داده که جزء استانداردهای OGC می‌باشد و به طور خاص برای نمایش 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 بطور همزمان با دنیای واقعی همگام و بروز 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 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 برای تعیین میزان شباهت مدل‌های سه‌بعدی به واقعیت و بیانگر نحوه نمایش مدل‌ها در پنج سطح جزئیات، مطابق استاندارد CityGML.

زاویه تیلت/ زاویه دید (Tilt Angle/Look 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.
سیستم چند فریمه (Multi-head System)	سامانه‌ای با چند دوربین با زاویه‌های دید مختلف، به منظور تصویربرداری همزمان و پوشش کامل شهر.
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، تشخیص خطاها و بررسی صحت داده‌ها را فراهم می‌آورد.
نرم افزار متن‌باز (open source)	نرم افزاری که کد منبع آن برای عموم قابل دسترسی، بازبینی، ویرایش و توسعه است.
Cesium	یک پلت‌فرم یا نرم‌افزار باز برای داده‌های مکانی سه‌بعدی است که می‌توان با استفاده از آن، داده‌های مکانی حجیم را آپلود کرد، بهینه‌سازی نمود و در یک مرورگر وب به کاربران ارائه نمود.

پیوست 2: مدل داده مکانی

- **تعریف مدل داده مکانی**

مدل داده مکانی در نقشه‌برداری و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، چارچوبی برای تعریف، سازمان‌دهی و نمایش عوارض دنیای واقعی در قالبی قابل فهم و قابل پردازش، می‌باشد. هدف نهایی از به کارگیری مدل داده در نقشه‌ها و اطلاعات مکانی مختلف مانند مدل سه‌بعدی شهری، ارائه‌ی تصویری ساده شده اما گویا می‌باشد که در ضمن حفظ تناسب با موضوع نقشه و اطلاعات مکانی، بتواند جنبه‌های اصلی واقعیت جغرافیایی را از طریق المان‌های گرافیکی بازنمایی کند.

به عنوان مثال، در مدل داده برداری، با ساده‌سازی مفهومی واقعیت، اجزای متنوع محیط پیرامون، در قالب ساختاری مفهومی در سه دسته اصلی زیر طبقه بندی می‌گردند. این ساده‌سازی موجب کاهش پیچیدگی محیط و تسهیل درک داده‌ها می‌شود:

- المان‌های نقطه‌ای[۲۸]: نمایش‌دهنده‌ی عوارض منفرد با موقعیت دقیق، مانند درخت، تیر برق یا چاه
- المان‌های خطی[۲۹]: بیانگر عوارضی با امتداد و مسیر مشخص، مانند ردیف درخت، جاده یا رودخانه
- المان‌های سطحی[۳۰]: معرف عوارضی با گستره‌ی مشخص، مانند پارک، جنگل یا محدوده‌های کاربری زمین

در گام بعد، این تعاریف مفهومی در سطح نرم‌افزارهای GIS یا نقشه‌کشی به شکل لایه‌ها[۳۱] پیاده‌سازی می‌شوند. هر لایه مجموعه‌ای از عوارض هم ماهیت را در بر می‌گیرد که از نظر بصری، از طریق ویژگی‌هایی مانند رنگ، ضخامت خط، نوع خط[۳۲] یا نمادگذاری، از سایر لایه‌ها متمایز می‌شود. در این نوع مدل‌سازی ساده، داده‌های توصیفی پیچیده در نظر گرفته نمی‌شود و تمایز میان عوارض صرفاً با استفاده از نمادگذاری گرافیکی صورت می‌گیرد.

برای مثال، در یک نقشه‌ی شهری، در لایه‌ی فضای سبز ممکن است عناصری مانند درخت، ردیف درخت، پارک، جنگل و مزرعه وجود داشته باشد. در این ساختار، درخت‌ها به‌صورت نقطه‌ای نمایش داده می‌شوند، ردیف‌های ردیف درخت با المان خطی تعریف می‌شوند و پارک‌ها و جنگل‌ها به شکل سطحی ترسیم می‌گردند. در مرحله بعد، برای انتقال بهتر معنا و تمایز بصری، نمادگذاری گرافیکی انجام می‌شود. برای این منظور می‌توان از ویژگی‌هایی نظیر رنگ و نوع خط استفاده کرد. برای نمونه، پارک‌ها ممکن است

[28] Point Features
[29] Line Features
[30] Polygon Features
[31] Layers
[32] Line Style

با رنگ سبز روشن، خط ممتد برای مرز و سنتروئید مشخص شوند، در حالی‌که جنگل‌ها با رنگ سبز تیره و خط چین نمایش داده می‌شوند تا تفاوت مفهومی و بصری آن‌ها حفظ گردد.

باید توجه داشت که این نحوه‌ی تعریف مدل داده، نوعی ساده‌سازی مفهومی محسوب می‌شود و صرفاً مدل داده‌ی برداری ساده را در بر می‌گیرد. در عمل، در محیط‌های واقعی GIS یا نقشه‌های برداری کد بیس، با ساختارهای داده‌ی پیچیده‌تری مواجه هستیم که روابط میان المان‌های مختلف و امکان تشکیل عوارض مرکب از اجزای ساده‌تر را نیز در نظر می‌گیرند. به عبارت دیگر، در مدل‌های داده کامل‌تر، تعریف روابط توپولوژیک (مانند مجاورت، اشتراک یا اتصال)، سلسله مراتب عوارض و ساختارهای ترکیبی، بخش جدایی‌ناپذیر از طراحی مدل داده است. این ویژگی‌ها سبب می‌شوند مدل داده نه فقط ابزاری برای نمایش گرافیکی، بلکه بستری برای تحلیل فضایی و مدل‌سازی 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، مدل داده مورد نظر، بر اساس نیازهای پروژه و کاربرد مد نظر برای مدل سه‌بعدی شهری، توسط کارفرما تهیه گردد.

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

باتوجه به ساختار پیوسته مدل‌های مش سه‌بعدی، عوارض مکانی بصورت مستقل در دسترس قرار نمی‌گیرند و فقط بصورت 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 سه‌بعدی برداری بر مبنای تعریف هندسه اشیاء به‌صورت المان‌های مجزا، با استفاده از نقاط، خطوط، سطوح یا احجام؛ ایجاد می‌گردند. در این نوع مدل‌های سه‌بعدی، امکان شناسایی عوارض بصورت دقیق وجود داشته و قابلیت تولید اشیای مستقل و استفاده از ابزارهای تحلیل مکانی مبتنی بر اشیا، نیز وجود دارد. در تعریف مدل داده برای مدل‌های سه‌بعدی برداری، می‌بایست موارد زیر مشخص گردد:

- سطح جزئیات (LOD) مورد نظر
- عوارض هدف مورد نظر
- جزئیات مورد انتظار برای عوارض
- ساختار سطحی[۳۳] یا حجمی[۳۴] مدل سه‌بعدی
- 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 نمونه برای تهیه مش مدل سه‌بعدی**

مدل داده زیر به عنوان نمونه پیشنهادی (با اولویت ساختمان‌ها و سازه‌های شهری)، برای تهیه مدل مش سه‌بعدی با وضوح های مختلف (در 4 گروه) تهیه و ارائه می‌گردد. در این مدل داده "+" به منزله این است که عارضه می‌بایست از کیفیت و دقت مورد نظر برای مدل سه‌بعدی برخوردار باشد و "B " به منزله این است که عارضه صرفاً به عنوان پس زمینه نمایش داده شده و کیفیت و دقت هندسی مورد نظر برای مدل مش سه‌بعدی، در مورد آن صادق نمی‌باشد.

نکته: در صورتی که مطابق با جدول زیر، پهنه‌ای به صورت پس زمینه نمایش داده می‌شود (به عنوان مثال پارک و تفریحگاه)، در خصوص عوارض موجود داخل آن پهنه، لازم است با توجه به نوع عارضه، مطابق با ردیف مربوطه در جدول عمل گردد.

فهرست عوارض (به ترتیب حروف الفبا)

	نام عارضه	GSD<2	2<GSD<5	5<GSD<10	GSD>10
.1	آب نما	+	B	B	B

[33] Surface
[34] Solid

.2	آزادراه	+	+	+	+
.3	استادیوم	+	+	+	+
.4	استخر	+	+	B	B
.5	اسکله	+	+	+	+
.6	آسیاب	+	+	+	+
.7	آشیانهٔ هواپیما	+	+	+	+
.8	آلاچیق	+	B	B	B
.9	انبار	+	+	+	+
.10	انبار مواد سوختی	+	+	+	+
.11	آنتن	B	B	B	B
.12	ایستگاه آتش‌نشانی	+	+	+	+
.13	ایستگاه تغییر ولتاژ (پست فشار قوی)	+	B	B	B
.14	ایستگاه حمل و نقل زمینی	+	B	B	B
.15	ایستگاه هواشناسی	+	+	B	B
.16	باجه تلفن همگانی	+	B	B	B
.17	باسکول	+	B	B	B
.18	باغ	B	B	B	B
.19	باغ وحش	B	B	B	B
.20	باند فرود	+	+	+	+
.21	برج	+	+	+	+
.22	بریدگی	B	B	B	B
.23	بزرگراه	+	+	+	+
.24	بلوک ساختمانی	+	+	+	+
.25	بنای یادبود	+	+	B	B
.26	بند	+	+	+	+

.27	بندرگاه	B	B	B	B
.28	بهمن گیر	+	+	B	B
.29	پارک و تفریحگاه	B	B	B	B
.30	پارکینگ	B	B	B	B
.31	پالایشگاه	B	B	B	B
.32	پایانه حمل و نقل زمینی	B	B	B	B
.33	پل عابر پیاده	+	B	B	B
.34	پل وسائط نقلیه	+	+	+	+
.35	پله	+	+	B	B
.36	پهنه‌های غیرخشک	B	B	B	B
.37	پیاده رو	B	B	B	B
.38	تابلو تاسیسات	B	B	B	B
.39	تابلو تبلیغاتی	B	B	B	B
.40	تابلو راهنمایی	B	B	B	B
.41	تاسیسات خنک کننده	B	B	B	B
.42	تراس	+	B	B	B
.43	ترانس	**B**	**B**	**B**	**B**
.44	تصفیه خانه	B	B	B	B
.45	تک درخت	B	B	B	B
.46	توربین بادی	+	+	B	B
.47	تیر	B	B	B	B
.48	جایگاه سوخت رسانی	B	B	B	B
.49	جدول	+	+	B	B
.50	جزیرۀ وسط خیابان	+	+	B	B
.51	جزیره	B	B	B	B
.52	جزیره وسط رودخانه	B	B	B	B

.53	جنگل	B	B	B	B
.54	جوی با جدول	B	B	B	B
.55	چادر(های) عشایری	+	+	B	B
.56	چاه آب	B	B	B	B
.57	چاه نفت و گاز	B	B	B	B
.58	چراغ دریایی	B	B	B	B
.59	چراغ راهنمایی	B	B	B	B
.60	چراغ روشنایی	B	B	B	B
.61	چشمه	B	B	B	B
.62	چمن زار	B	B	B	B
.63	چمن کاری	B	B	B	B
.64	حصار	+	B	B	B
.65	حوضچه‌های مواد زائد نفتی	B	B	B	B
.66	خاکریز	B	B	B	B
.67	خر پشته	+	+	+	+
.68	خرابه	B	B	B	B
.69	خط لوله	B	B	B	B
.70	خلیج	B	B	B	B
.71	خور	B	B	B	B
.72	دپو	B	B	B	B
.73	درخت	B	B	B	B
.74	درختان پراکنده	B	B	B	B
.75	درختکاری	B	B	B	B
.76	دریچه تنظیم آب	B	B	B	B
.77	دریچه منهول	+	B	B	B
.78	دکل حفاری	B	B	B	B

.79	دکل فشار قوی	+	+	B	B
.80	دکل مخابراتی	+	+	B	B
.81	دکه	+	+	B	B
.82	دهانه تونل	B	B	B	B
.83	دهانه غار	B	B	B	B
.84	دهانه معدن	B	B	B	B
.85	دودکش صنعتی	+	+	B	B
.86	دیوار	+	+	+	+
.87	دیوار ساحلی	+	+	+	+
.88	دیوار محافظ	+	+	+	+
.89	راه برون شهری	+	+	+	+
.90	راه جیپ رو	+	+	+	+
.91	راه درون شهری	+	+	+	+
.92	راه مالرو	+	+	+	+
.93	ردیف درخت	B	B	B	B
.94	رود	B	B	B	B
.95	زراعت	B	B	B	B
.96	زمین تحقیقات کشاورزی	B	B	B	B
.97	زندان	B	B	B	B
.98	زهکش	+	B	B	B
.99	ساختمان	+	+	+	+
.100	ساختمان منفرد	+	+	+	+
.101	سایبان	+	B	B	B
.102	سد	+	+	+	+
.103	سرویس بهداشتی عمومی	+	+	+	+
.104	سطل زباله	B	B	B	B

.105	سوزن راه آهن	B	B	B	B
.106	سیل بند	+	+	+	+
.107	سیلو	+	+	+	+
.108	شانه خاکی	B	B	B	B
.109	شن زار	B	B	B	B
.110	شیر آتش نشانی	B	B	B	B
.111	صفحات خورشیدی	+	+	B	B
.112	صفحهٔ دوار لوکوموتیو	+	B	B	B
.113	علمک	B	B	B	B
.114	عوارضی	+	+	B	B
.115	فرودگاه	B	B	B	B
.116	قبرستان	B	B	B	B
.117	قنات	B	B	B	B
.118	کانال	+	+	B	B
.119	کانیوو	B	B	B	B
.120	کرانه رود (داغی آب)	B	B	B	B
.121	کلبه	+	+	B	B
.122	کوره آجرپزی	+	+	+	+
.123	گلخانه	+	+	B	B
.124	گودبرداری	B	B	B	B
.125	مانع انتهایی ریل	B	B	B	B
.126	مجتمع صنعتی	B	B	B	B
.127	مجرای آبرو	B	B	B	B
.128	مجسمه	+	B	B	B
.129	مجموعه نمایشگاهی	B	B	B	B
.130	مکان ورزشی	B	B	B	B

.131	محل جمع‌آوری اجناس اسقاطی	B	B	B	B
.132	محل جمع‌آوری زباله	B	B	B	B
.133	محل فرود بالگرد	+	+	+	+
.134	مخزن آب	+	+	B	B
.135	مخزن مواد سوختی	+	+	B	B
.136	مسیر اختصاصی اتوبوس	B	B	B	B
.137	مسیر حمل و نقل ریلی	B	B	B	B
.138	مسیل	B	B	B	B
.139	معدن روباز	B	B	B	B
.140	مقبره	+	+	B	B
.141	منطقه ممنوعه	B	B	B	B
.142	موج شکن	B	B	B	B
.143	میدان	+	+	B	B
.144	نهر یا جوی	B	B	B	B
.145	نورگیر	B	B	B	B
.146	نیروگاه	B	B	B	B
.147	نیزار	B	B	B	B
.148	نیوجرسی	+	+	B	B
.149	هواکش مسیرهای زیر زمینی	+	B	B	B
.150	ورودی مترو	B	B	B	B

پیوست 3: فرم متادیتا

برای دریافت بروزترین متادیتا، به مستندات کنترل فنی، موجود در وبسایت سازمان نقشه‌برداری کشور مراجعه شود.

فرم متادیتا: مدل مش سه‌بعدی ☐ مدل برداری سه‌بعدی ☐							تاریخ تهیه متادیتا:
عنوان پروژه	منطقه	تهیه کننده	کارفرما	محدوده جغرافیایی		سیستم تصویر	شماره زون	بیضوی مبنا	مبنای ارتفاعی
				Xur:	Xul:				
				Yur:	Yul:				

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 بردکوتاه ☐ 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 4: فرم گزارش عملیات تصویربرداری مایل

گزارش عملیات تصویربرداری مایل			
نام منطقه عملیات:		استان محل عملیات:	
طول جغرافیایی:		عرض جغرافیایی:	
ارتفاع متوسط پرواز از زمین:	ارتفاع متوسط منطقه:	سفارش‌دهنده:	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 1			
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 2			

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 3	
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 4	
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 5	

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:

برای اطلاع رسانی

پیوست 5: 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.

1- طراحی پرواز و جمع‌آوری داده‌های لیدار

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 فاکتورهای دیگر مد نظر 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 رسیدن به نیازهای پروژه بهینه شود:

- نسبت سیگنال به نویز[۳۵]
- سرعت پرنده
- دامنه دید[۳۶]
- فاصله نقاط در جهت پرواز و عمود بر جهت پرواز[۳۷]
- ارتفاع پرواز
- جهت خطوط پرواز
- فرکانس تکرار پالس[۳۸]
- نرخ اسکن / فرکانس اسکن[۳۹]
- پترن اسکن
- دقت داده‌های GNSS/IMU
- محدودیتهای منطقه پروازی

[35] Signal to Noise Ratio (SNR)

[36] Field of View (FOV)

[37] cross-track/down-track or along-track point spacing

[38] تعداد دفعات ارسال پالس لیزر در هر ثانیه (Pulse Repetition Frequency)

[39] 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)

- 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 نوع پرواز در مرحله پردازش و محاسبه boresight (انحراف زاویه‌ای کوچک مابین چهارچوبهای مرجع لیزر و IMU شامل زوایای roll,pitch,yaw) کمک می‌کند.
- به منظور عدم ایجاد دریفت در داده‌های IMU، خطوط پرواز نباید خیلی طولانی باشند. حداکثر مدت زمان برداشت هر رن پروازی[40] با توجه به توصیه‌های سازنده مشخص گردد.
- در میانه هر بلوک از خطوط پرواز موازی، حداقل یک پرواز کراس یا در حالت بهینه دو پرواز کراس در ابتدا و انتهای بلوک در نظر گرفته شود. پروازهای کراس به سرشکنی خطوط پرواز و محاسبه زوایای boresight کمک می‌کنند.
- به منظور بهبود دقت نسبی و مطلق داده‌های لیدار، توصیه می‌شود بخش‌هایی از خطوط کراس 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 و کاهش نسبت سیگنال به نویز، ممکن است مانع شناسایی بعضی از تارگت‌ها گردد بنابراین 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.

[40] time-on-line

- 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 می‌کند و می‌تواند به سرشکنی خطوط پرواز و کالیبراسیون سیستم کمک نماید. همپوشانی بیش از 50٪ ایده‌آل است.
- در هنگام پرواز در ارتفاع ثابت نسبت به MSL[41]، 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. آب راکد جمع شده بعد از بارندگی ممکن است موجب ثبت غیر دقیق داده‌های لیزر همچنین وجود سوراخ در داده‌ها شود.
- قبل ازجمع‌آوری داده‌ها، وضعیت PDOP[42] و حداقل تعداد ماهواره‌ها کنترل شود. به نحوی که PDOP از 3 بیشتر نشود همچنین حداقل ۷ ماهواره در دید گیرنده باشد.
- گیرنده GNSS مستقر روی ایستگاه مبنای استاتیک همچنین گیرنده GNSS سنجنده، باید حداقل با فرکانس یک ثانیه داده جمع‌آوری کنند.
- فاصله پرنده از ایستگاه‌های مبنای GNSS بیش از 50 کیلومتر نباشد.
- 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 بهتر است قبل از هر مأموریت پروازی کالیبراسیون مجدد انجام گیرد. کالیبره کردن زوایای Boresight به روش استاتیک و دینامیک انجام می‌شود:
    - روش الاین کردن استاتیک در هنگام راه‌اندازی سیستم انجام می‌شود. به این طریق که سیستم از 30 ثانیه تا 5 دقیقه در یک موقعیت ثابت قرار می‌گیرد و تقریبی از هدینگ IMU تعیین می‌شود.

[41] Mean Sea Level
[42] Position Dilution of Precision

- روش الاین کردن دینامیک، از سیستمی به سیستم دیگر متفاوت است و پس از برخاستن پرنده در طی مانورهای هوایی انجام می‌شود. این روش تضمین می‌کند که هدینگ IMU با انجام تنظیمات دقیق، دریفت را تجربه نمی‌کند. برخی از سیستم‌ها، با پرواز در یک الگوی به شکل 8 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.
- حداقل دو نوار پرواز متقاطع، به منظور کمک به کالیبراسیون نهایی سیستم بعد از پرواز، ضروری است.

- 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[43] و حداکثر time-online مربوط به IMU مشخص گردیده و در صورت تجاوز از این مقادیر، داده‌ها مجدداً جمع‌آوری گردد.
- 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، تاریخ، مکان، خلبان، 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.

2- جمع‌آوری نقاط کنترل و چک زمینی

[43] زاویه تیلت پرنده به پهلو در هنگام چرخش

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 مناسبی در محدوده پروژه بوده و تعداد متناسب با ابعاد محدوده باشد. این نقاط باید اطراف مرز همچنین داخل محدوده پروژه در نظر گرفته شوند. بهتر است تعدادی نقطه کنترل نیز روی محدوده خطوط کراس قرار گیرند.
- به منظور ارزیابی صحت داده‌های لیدار، تعداد کافی نقطه چک زمینی در محدوده پروژه در نظر گرفته شود. نقاط چک هم در محدوده‌های فاقد پوشش گیاهی (NVA) و هم در محدوده‌های شامل پوشش گیاهی (VVA) قرار گیرند.
- نقاط کنترل و چک ارتفاعی روی زمین‌های مسطح یا زمین‌های باز با شیب یکنواخت برابر یا کمتر از 10 درصد قرار گرفته همچنین نزدیک سطوح با تغییرات ناگهانی در ارتفاع و در فاصله کمتر از 10 متری عوارض بلند نباشند.
- نقاط VVA زیر پوشش‌های گیاهی متراکم قرار نگیرند.
- نقاط چک و کنترل زمینی حداقل دو برابر دقیق‌تر از داده‌های لیزر مورد نظر باشند.

3- 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[44]، معمولاً از طریق ترکیب روش‌های کالیبراسیون آزمایشگاهی و میدانی صورت می‌گیرد. کالیبراسیون میدانی با انجام پرواز روی فیلد کالیبراسیون با یک پترن خاص (معمولا خطوط پروازی در چندین ارتفاع همراه با خطوط کراس) و با استفاده از نقاط کنترل زمینی انجام می‌شود.

در خصوص کالیبراسیون سنجنده موارد زیر مد نظر قرار گیرد:

- گواهی کالیبراسیون سنجنده توسط شرکت سازنده، ارائه گردد.

[44] Intensity

- 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، کالیبراسیون مجدد صورت گیرد.

ب- پردازش داده‌های GNSS/IMU

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 گردد.
- دقت مختصات ایستگاه‌های مبنای مورد استفاده در پردازش داده‌های GNSS، متناسب با دقت مورد نیاز برای ابرنقاط 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 GSM[۴۵] 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 ابرنقطه 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[۴۶] 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.

[45] Gyro Stabilized Mount
[46] Laser Ranges

- ابرنقاط با فرمت LAS یا LAZ ارائه گردد.

ت- ارزیابی کیفی اولیه ابرنقاط

- 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 به خصوص 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، کالیبراسیون زوایای boresight و سرشکنی خطوط پرواز ممکن است ضروری باشد. در این فرآیند لازم است مراحل زیر انجام شود:

حذف بلاندرها: قبل از انجام سرشکنی خطوط پرواز، لازم است صحت مطلق ابرنقاط همچنین میزان عدم تطابق (خطای نسبی) 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 ابرنقطه، ابعاد و نوع تارگت را تعیین می‌کند) می‌تواند به شناسایی بایاس در داده‌ها کمک کند. این کار از طریق سورت کردن داده‌ها بوسیله مقادیر شدت (intensity) و سپس مقایسه موقعیت تارگت در ابرنقطه با موقعیت نقشه‌برداری شده برای آن، انجام می‌شود.

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**[47]: 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 کراس، ضروری است.

- **سرشکنی خطوط پرواز**[48]: پس از حذف خطاهای boresight، به منظور حداقل کردن خطاهای نسبی باقیمانده بین خطوط پرواز متناسب با دقت مورد نیاز پروژه، سرشکنی خطوط پرواز انجام گردد:

- 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.
- به منظور حفظ یکپارچگی هر خط پروازی، در هنگام سرشکنی، از تغییر دادن زیاد داده‌ها به نحوی که، به منظور فیت نمودن آنها با نقاط کنترل، مقادیر ورودی حاصل از کالیبراسیون سیستم و GNSS/IMU، بیش از حد نادیده گرفته شوند، اجتناب گردد.

[47] Boresight adjustment
[48] Flight line adjustment

4- ارزیابی و گزارش صحت مطلق ابرنقاط

بعد از سرشکنی خطوط پرواز و قبل از کلاسه‌بندی ابرنقاط و تولید محصولات، لازم است با استفاده از نقاط چک زمینی، صحت مطلق ارتفاعی و مسطحاتی ابرنقاط ارزیابی گردد:

- ارزیابی صحت ارتفاعی باید در هر دو حالت NVA[49] و VVA[50] انجام شود. برای این منظور، RMSEZ از طریق مقایسه نقاط چک زمینی با TIN استخراج شده از ابرنقاط در کلاس زمین[51]، محاسبه می‌شود سپس به منظور محاسبه صحت ارتفاعی ابرنقاط (RMSEV)، لازم است صحت نقاط چک زمینی نیز لحاظ شود.
- VVA باید ارزیابی شده و گزارش گردد اما به منظور تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا عدم پذیرش داده‌ها، تنها NVA مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- برای ارزیابی صحت مسطحاتی داده‌های لیدار، می‌توان از تارگت‌های خاص طراحی شده برای این منظور یا عوارض مشخصی مانند خط‌کشی جاده‌ها استفاده کرد. برای محاسبه صحت مسطحاتی ابرنقاط، RMSEX و RMSEY، از طریق مقایسه موقعیت نقاط چک زمینی با موقعیت این نقاط در ابرنقاط لیدار بدست آمده و صحت نقاط چک زمینی نیز لحاظ می‌شود.
- 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 یک بلاندر، 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 صحت نهایی ابرنقاط حذف می‌گردد.
- صحت موقعیت ارتفاعی، مسطحاتی و سه‌بعدی محاسبه شده برای ابرنقاط لیدار، باید در متادیتا قید گردد.

5- ارزیابی و گزارش دقت داخلی[52] ابرنقاط

دقت داخلی، کیفیت و یکپارچگی هندسی داخلی داده‌های لیدار را بدون در نظر گرفتن نقاط کنترل زمینی یا مختصات‌های مطلق، ارزیابی می‌کند. این نوع ارزیابی‌ها شامل دو مولفه کیفیت داده یعنی صحت درون‌نواری[53] و صحت بین نواری[54] می‌گردد.

[49] Non-Vegetated Vertical Accuracy
[50] Vegetated Vertical Accuracy
[51] Ground
[52] Internal precision
[53] within-swath accuracy
[54] swath-to-swath accuracy

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[55] هستند. در صورتی که امکان انتخاب مناطق تست در کل سطح پروژه وجود نداشته باشد، حداقل از 30 موقعیت تست که به طور یکسان در محدوده پروژه توزیع شده‌اند، استفاده شود.

- **صحت درون نواری:**

این مولفه، معیاری برای سنجش دقت سیستم در شناسایی سطوح صاف و سخت بوده و در واقع نشانگر دقت اندازه‌گیری طول[56] و پایداری سنسور است. برای ارزیابی آن در یک نوار پروازی، دو سطح ارتفاعی رستری، یکی از نقاط با کمترین ارتفاع در هر پیکسل و دیگری از نقاط با ماکزیمم ارتفاع در هر پیکسل ایجاد می‌شود. سپس این دو سطح از هم کم شده و ماکزیمم اختلاف با حد آستانه مورد قبول، با توجه به دقت مورد انتظار برای ابرنقاط، مقایسه می‌شود.

- **صحت 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 RMSDZ با استفاده از مناطق نمونه‌ای که در زمین‌های باز واقع هستند، محاسبه می‌شود.

[55] single-return
[56] Ranging

منابع و مراجع

1- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد دوم: نقشه‌برداری هوایی (کلیات)، نشریه شماره 2-119 (تجدید نظر دوم)، امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور شماره 1404/169640 مورخ 1404/04/11

2- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد سوم: مدیریت اطلاعات مکانی (کلیات) نشریه شماره 3-119

3- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد ششم: داده‌های شبکه‌ای و تصویری، نشریه شماره 6-119، معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی شماره 100/9363 مورخ 1386/1/29

4- دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری، جلد نهم: تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به روش فتوگرامتری پهپاد، نشریه شماره 9- 119، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور شماره 1400/620231 مورخ 1400/12/02

5- مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP جلد 1 طراحی پرواز-1399- سازمان نقشه‌برداری کشور

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

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

8- مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP جلد 4 روش‌های پردازش داده های GPS/IMU پروژه‌های تصویربرداری-1399- سازمان نقشه‌برداری کشور

9- مجموعه دستورالعمل‌های تصویربرداری هوایی با استفاده از دوربین هوایی متریک UltraCam-XP جلد 5 تهیه اندکس طراحی پرواز -1399- سازمان نقشه‌برداری کشور

10- دستورالعمل تهیه نقشه و اطلاعات مکانی به‌روش مستقیم زمینی- ویرایش 1403-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/