

دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری جلد سوم:
مدیریت اطلاعات مکانی (کلیات)

نشریه ۳-۱۱۹

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

گروه اجرا

دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

محمد رضا ملک

گروه تدوین و بازنگری

کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی

سازمان نقشه‌برداری کشور

علیرضا امیری

دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی

سازمان نقشه‌برداری کشور

نیما قاسملو

دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی

سازمان نقشه‌برداری کشور

مرجان قنبری

نظارت

دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی

سازمان نقشه‌برداری کشور

محمد احمدلو

کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات

سازمان نقشه‌برداری کشور

مهدی سعیدی انجیله

فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱
۱-۲- هدف و دامنه دستورالعمل	۲
۲- اصول پایه داده‌های مکانی	۴
۲-۱- انواع داده‌های مکانی	۴
۲-۱-۱- داده‌های مکانی- زمانی	۶
۲-۱-۲- داده‌های بیدرنگ از سنجنده‌ها	۶
۲-۱-۳- داده‌های اینترنت اشیا	۶
۲-۱-۴- داده‌های نقاط جذاب	۷
۲-۱-۵- داده‌های مکانی سه‌بعدی	۷
۲-۲- استانداردهای داده‌های مکانی	۷
۲-۲-۱- استانداردهای داده‌های مکانی- زمانی	۸
۲-۲-۲- استانداردهای داده‌های بیدرنگ از سنجنده‌ها	۸
۲-۲-۳- استانداردهای اینترنت اشیا	۹
۲-۲-۴- استانداردهای داده‌های نقاط جذاب	۱۱
۲-۲-۵- استانداردهای داده‌های مکانی سه‌بعدی	۱۱
۲-۳- طبقه‌بندی داده‌های مکانی	۱۵
۲-۴- نام‌گذاری داده‌های مکانی	۱۸
۲-۵- سیستم‌های مختصات و مرجع	۱۹
۲-۶- کدگذاری داده‌های مکانی	۲۰
۲-۷- نمادگذاری داده‌های مکانی	۲۰
۲-۸- اصطلاحنامه داده‌های مکانی	۲۰
۳- جمع‌آوری داده‌های مکانی	۲۱

۲۱.....	۱-۳- روش‌های جمع‌آوری داده‌ها
۲۱.....	۱-۱-۳- نقشه‌برداری زمینی
۲۲.....	۲-۱-۳- عکاسی هوایی
۲۲.....	۳-۱-۳- سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی (GNSS/GPS)
۲۳.....	۴-۱-۳- سنجش از دور
۲۳.....	۵-۱-۳- لیزر اسکنینگ
۲۴.....	۶-۱-۳- اینترنت اشیا (IoT)
۲۴.....	۷-۱-۳- جمع‌سپاری (Crowdsourcing)
۲۵.....	۲-۳- استانداردهای کیفیت داده‌ها
۲۶.....	۴- آماده‌سازی داده‌های مکانی
۲۷.....	۱-۴- آماده‌سازی داده‌های برداری و حذف خطاهای توپولوژیکی
۲۸.....	۱-۱-۴- قواعد توپولوژی سه‌بعدی برای عوارض مکانی
۴۲.....	۲-۱-۴- شناسایی خطاهای توپولوژیکی و اصلاح آن‌ها
۴۲.....	۲-۴- آماده‌سازی داده‌های رستری
۴۴.....	۵- ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌های مکانی
۴۴.....	۱-۵- رویکردهای مبتنی بر فایل‌های داده مکانی
۴۵.....	۲-۵- رویکردهای مبتنی بر پایگاه‌های داده مکانی
۴۶.....	۱-۲-۵- طراحی پایگاه داده
۴۸.....	۶- پردازش و نمایش داده‌های مکانی
۴۸.....	۱-۶- مدل‌سازی اطلاعات مکانی
۵۳.....	۲-۶- تحلیل‌های داده‌های مکانی سه‌بعدی
۵۷.....	۳-۶- تجسم و نمایش داده‌های مکانی سه‌بعدی
۵۸.....	۷- اشتراک‌گذاری و توزیع داده‌های مکانی

۵۹.....	۱-۷- اشتراک‌گذاری
۵۹.....	۱-۱-۷- استاندارد فراداده (Metadata)
۶۳.....	۲-۱-۷- استاندارد کاتالوگ وب (CSW)
۶۵.....	۳-۱-۷- استاندارد سرویس نقشه (WMS)
۶۶.....	۴-۱-۷- استاندارد خدمات پاره‌چینی نقشه (WMTS)
۶۷.....	۵-۱-۷- استاندارد خدمات پاره‌چینی وکتوری (VTS)
۶۸.....	۶-۱-۷- استاندارد سرویس عارضه (WFS)
۷۰.....	۷-۱-۷- استاندارد سرویس پوشش وب (WCS)
۷۲.....	۸-۱-۷- استاندارد ساده GeoRSS
۷۴.....	۹-۱-۷- استاندارد SMS داده‌های مکانی
۷۵.....	۱۰-۱-۷- استاندارد ارتباط با سنجنده‌ها (Sensor)
۷۶.....	۱۱-۱-۷- استاندارد تحلیل‌های مکانی کاربردی (WPS)
۷۷.....	۲-۷- توزیع داده‌ها
۷۷.....	۱-۲-۷- پلتفرم‌های توزیع داده‌های مکانی
۷۸.....	۲-۲-۷- مسائل مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده‌ها
۷۸.....	۸- آموزش و توانمندسازی
۷۸.....	۱-۸- برنامه‌های آموزشی برای کاربران
۷۹.....	۲-۸- منابع و ابزارهای یادگیری
۷۹.....	۳-۸- ایجاد جامعه‌های علمی و حرفه‌ای
۷۹.....	۹- نگهداری و به‌روزرسانی داده‌های مکانی
۷۹.....	۱-۹- روش‌های به‌روزرسانی داده‌ها
۷۹.....	۲-۹- برنامه‌های نگهداری و پشتیبانی

۹-۳- ارزیابی کیفیت داده‌ها ۸۰

منابع و مراجع ۸۱

چگونگی
تفصیل

۱- مقدمه

در عصر تحول رقمی، داده‌های مکانی دقیق و به‌روز به زیرساخت حیاتی برای توسعه و بهره‌برداری مؤثر از فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند همسان رقمی (Digital Twins) و متاورس تبدیل شده‌اند. همسان رقمی برای ایجاد بازتاب رقمی دقیق و پویای دنیای فیزیکی (اعم از شهرها، تأسیسات زیربنایی، یا فرآیندهای صنعتی) وابستگی اساسی به داده‌های مکانی معتبر به‌عنوان ستون فقرات نمایش فضایی و تحلیل موقعیت دارد. به‌طور هم‌زمان، متاورس به‌عنوان یک فضای مجازی پایدار و تعاملی، برای غنی‌سازی تجربه کاربر، ایجاد حس حضور واقعی و امکان تعامل معنادار بین اشیاء و محیط‌های مجازی، نیازمند یک چارچوب مکانی منسجم و قابل اتکا است که تنها از طریق مدیریت حرفه‌ای اطلاعات مکانی (شامل جمع‌آوری، پردازش، ذخیره‌سازی، استانداردسازی و به‌اشتراک‌گذاری) حاصل می‌شود. بنابراین، تدوین این دستورالعمل، نه تنها تضمین‌کننده کیفیت، یکپارچگی و دسترس‌پذیری این داده‌های حیاتی است، بلکه سنگ بنای ضروری برای موفقیت کاربردهای نوظهوری است که بر پایه همسان رقمی و متاورس شکل می‌گیرند و آینده تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و تعامل را متحول خواهند کرد.

هرگونه اطلاعاتی که دارای زمینه و یا بافت مکانی باشد را اطلاعات مکانی می‌گویند. این نوع اطلاعات می‌تواند شامل تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر هوایی یا داده‌های مرتبط، نقشه‌های عارضه‌نما^۱ و موضوعی، داده‌های برداشت زمینی، داده‌های موقعیتی، داده‌های نشان‌دار مکانی^۲ باشد. اطلاعات مکانی می‌تواند شامل داده‌های توصیفی نیز باشد. داده‌ها علاوه بر سنجنده‌های فیزیکی ممکن است از طریق جمع‌سپاری^۳ و محیط‌های مردم‌گستر^۴ نیز گردآوری شوند. همچنین اطلاعات استخراج شده از پردازش این داده‌ها به‌عنوان بخشی از اطلاعات مکانی محسوب می‌شوند. همه این موارد می‌توانند به صورت دیداری در قالب نقشه، تصویر و یا شکل‌های دیگر ارائه شده و انواع تحلیل‌ها و پرس‌وجوها بر روی آن‌ها در بستر سامانه‌های اطلاعات مکانی^۵ انجام گیرند.

استاندارد به مجموعه‌ای از اصول، مشخصات و دستورالعمل‌ها گفته می‌شود که به منظور تضمین کیفیت، سازگاری و قابلیت هم‌خوانی بین محصولات، خدمات و فرآیندها به کار می‌رود. این اصول و دستورالعمل‌ها به‌طور معمول با هدف بهبود کارایی، ایمنی و ظرفیت همکاری متقابل در یک صنعت یا موضوع خاص تصویب می‌شوند. استاندارد اطلاعات مکانی به مجموعه‌ای از ضوابط و دستورالعمل‌ها گفته می‌شود که برای مدیریت، تبادل و استفاده بهینه از اطلاعات مکانی طراحی شده‌اند. این استانداردها شامل قوانین و رهنمودهایی برای فرمت داده‌ها، روش‌های نمایش و پردازش، جمع‌آوری، نگهداری و ارائه اطلاعات مکانی هستند.

^۱ Topography

^۲ Geotag Data

^۳ Crowdsourcing

^۴ Volunteered Geographic Information

^۵ Geospatial Information System (GIS)

برای مدیریت اطلاعات مکانی تعامل‌پذیر و مرجع، وجود استانداردها و دستورالعمل‌های مناسب حایز اهمیت می‌باشند. هدف اصلی استانداردهای اطلاعات مکانی، تسهیل در استفاده صحیح و بهینه از داده‌ها و تضمین دقت، سازگاری و قابلیت انتقال داده‌های مکانی میان سامانه‌ها و کاربران مختلف است. استانداردها تضمین می‌کنند که داده‌های مکانی، سازگار و قابل اشتراک‌گذاری باشند.

با توسعه بسترهای اینترنتی، سامانه‌های GIS نیز به این بسترها گرایش پیدا کردند و شرایط برقراری ارتباط و تعامل را ممکن ساختند. در پی آن، استانداردهایی برای سرویس‌های مکانی تحت وب تدوین شد و زیرساخت‌های اطلاعات مکانی^۶ پا به عرصه وجود گذاشتند. این زیرساخت در ابتدا دارای پنج رکن به نام‌های استاندارد، شبکه، داده، مردم و سیاست بوده است. در سال ۲۰۱۸ کمیته UN-GGIM^۷ سازمان ملل، طی انتشار مستندات IGIF^۸، تعداد نه رکن را به شرح ذیل جایگزین ارکان قبلی SDI معرفی نمود. این ارکان عبارتند از: حاکمیت و نهادهای، قانون و سیاست، وضعیت مالی، داده، نوآوری، استانداردها، مشارکت‌ها، ظرفیت و آموزش، و ارتباط و تعامل. این امر بیانگر این حقیقت است که حوزه مدیریت اطلاعات مکانی از حیطه محدود تخصصی مربوط به سامانه‌ها و تحلیل‌ها به تمامی ارکان عمومی در سطوح ملی و بین‌المللی جوامع گسترش پیدا کرده است و جایگاه کلیدی در تحقق اقتصاد الکترونیک دارد.

استانداردهای اطلاعات مکانی در سطح ملی وابسته به چارچوب مکانی ملی (NSF)^۹ می‌باشد. چارچوب مکانی ملی شامل داده‌های مکانی پایه مانند شبکه راه‌ها یا محدوده‌های سیاسی و توپوگرافی برای اهدافی چون گسترش دامنه همکاری‌های بین‌المللی، مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی، بهره‌برداری از فرصت‌های اقتصادی و تأمین دسترسی عادلانه به خدمات پایه می‌باشد. دسترسی به این چارچوب باید برای همه کاربران اعم از دولتی، خصوصی و عموم مردم به سادگی امکان‌پذیر بوده و تهیه خود این چارچوب نیز باید تحت استانداردها و دستورالعمل‌های ویژه خود باشد. با وجود استاندارد پشتیبان NSF، امکان تحقق پایگاه داده مکانی ملی فراهم می‌شود. متن حاضر گرچه در موارد لازم به مشخصات چارچوب مرجع ملی اشاره داشته، ولی به جزئیات نمی‌پردازد.

۲-۱- هدف و دامنه دستورالعمل

هدف از نگارش این متن، ارائه کلیات نیازمندی‌ها، الزامات و توصیه‌های لازم در حوزه‌های مرتبط با حوزه مدیریت اطلاعات مکانی می‌باشد. در راستای کاربردی‌سازی فناوری‌های مکانی روز، اقدام به تحقیق و توسعه در خصوص شناسایی فناوری‌های نوین حوزه

^۶ Spatial Data Infrastructure (SDI)

^۷ United Nations Global Geospatial Information Management

^۸ Integrated Geospatial Information Framework

^۹ National Spatial Framework (NSF)

مدیریت اطلاعات مکانی با افق‌گذاری و چشم‌انداز پیاده‌سازی همسان رقمی^{۱۰} شده است و در این مسیر اقدام به تدوین استانداردها، دستورالعمل‌ها، و شیوه‌نامه‌های مرتبط شده است.

دنیای واقعی که سامانه‌های اطلاعات مکانی باید آن‌ها را پشتیبانی کنند، سه‌بعدی هستند. استفاده از اطلاعات مکانی سه‌بعدی سبب افزایش بازدهی در برنامه‌ریزی شهری و بهبود تصمیم‌گیری‌ها می‌شود. در زمینه ساخت و توسعه شهری، رقمی‌سازی سه‌بعدی ساختمان‌ها به عنوان یکی از راهکارهای کلیدی برای تدوین داده‌های مکانی در راستای مدیریت محیط شهری شناخته می‌شود. استفاده از روش‌ها و استانداردهای مختلف برای رقمی‌سازی سه‌بعدی ساختمان‌ها می‌توانند به تولید این اطلاعات کمک کنند. به منظور اشتراک‌گذاری تمامی محصولات رقمی تولید شده در کشور در یک بستر یکسان و استفاده یکپارچه از آن‌ها، ضروری است که استانداردها و دستورالعمل‌های مربوط به رقمی‌سازی سه‌بعدی ساختمان‌ها در کشور تدوین شده و تولیدکنندگان محصولات رقمی سه‌بعدی به رعایت الزامات آن‌ها پایبند باشند. به همین خاطر، در بروزرسانی دستورالعمل حاضر، به مباحث دو بعدی که در ویرایش قبل لحاظ گردیده بود کمتر پرداخته شده و توجه ویژه‌ای به بحث رقمی‌سازی سه‌بعدی شده است.

در این دستورالعمل برای ایجاد چارچوب‌های مکانی ملی به مبانی مختلفی شامل: انواع مدل‌های سه بعدی، فرمت‌های استاندارد داده‌های سه‌بعدی، تحلیل‌های داده‌های مکانی سه‌بعدی، تجسم و نمایش داده‌های سه‌بعدی پرداخته شده است. اهمیت رقمی‌سازی و نمایش سه‌بعدی ساختمان‌ها زمانی مشخص می‌شود که این موضوع به عنوان یکی از اهداف آتی در مبحث شماره ۲ از مقررات ملی ساختمان ایران به خصوص برای ساختمان‌های گروه‌های "ج" و "د"^{۱۱} موضوع ماده ۱۸-۱-۱ ذکر شده است. سال‌ها است اینگونه اقدامات در کشورهای پیشرو در زمینه مدیریت اطلاعات مکانی در حال انجام می‌باشند و از خدمات ارزشمند آن استفاده می‌شود. برای نمونه می‌توان از کشورهای سنگاپور، فنلاند، انگلیس، ایالات متحده آمریکا، چین، و فرانسه به عنوان پیش‌تازان این عرصه در بکارگیری فناوری در مدیریت‌های شهری و پشتیبانی تصمیم‌گیری‌ها نام برد. به طور مثال، گزارش‌ها حاکی از این می‌باشند که سنگاپور از سال ۲۰۱۴ بطور رسمی رقمی‌سازی سه‌بعدی عوارض ساختمانی را در دستورکار خود قرار داد و از سال ۲۰۱۵ ارائه فایل رقمی سه‌بعدی ساختمان را برای بناهای بزرگتر از ۵۰۰۰ مترمربع الزامی نمود که در طول یک سال بیش از ۹۲٪ از ساخت و سازهای جدید را شامل شد. هرچند این اقدام در کشور ما با تأخیر زیادی همراه بوده و هنوز در مراحل ابتدایی تعریف و تصویب قرار دارد، اما این مزیت را داریم که کمتر از کشورهای پیشرو نیازمند آزمون و خطا باشیم و می‌توانیم از تجربیات موفق و ناموفق آن‌ها بهره‌برداری کرده و روندهای مربوطه را تسریع ببخشیم. برنامه راهبردی کشور برای توسعه مدل‌های سه‌بعدی شهری، ایجاد یک تصویر واقعی از مناظر شهری با استفاده از مش‌های سه‌بعدی و بافت‌های مربوطه است که به تدریج مدل‌های BIM^{۱۲} ایجاد شده توسط مالکین

^{۱۰} Digital Twin

در مبحث دوم مقررات ملی ساختمان، ساختمان‌ها از نظر سطح زیربنا به ترتیب از یک تا ۶۰۰ مترمربع در گروه «الف» و از ۶۰۱ تا ۲۰۰۰ مترمربع در گروه «ب» و از ۲۰۰۱ تا ۵۰۰۰ مترمربع^{۱۱} در گروه «ج» و بیشتر از ۵۰۰۰ مترمربع در گروه «د» طبقه‌بندی شده‌اند.

^{۱۲} Building Information Modeling

ساختمان‌ها، بر روی آن اضافه می‌شوند. هدف از این دستورالعمل، استفاده از استانداردهای مختلف مکانی برای هماهنگ نمودن متولیان داده‌ها در راستای رسیدن به پیاده‌سازی همسان رقمی در کشور است.

باتوجه به سرعت تغییرات و پیشرفت تکنولوژی، مطالب این دستورالعمل نیاز به بازبینی متناوب خواهند داشت. شایسته است مجموعه حاضر که نتیجه تلاش و تحقیق چندین ساله کارشناسان این حیطه است به عنوان ملاک عمل کاربران و متولیان داده‌های مکانی در تولید و کاربردی‌سازی آن قرار گیرد و در تامین بستری یکپارچه از مکان و عوارض سه‌بعدی برای مدیریت بهینه و تصمیم‌گیری‌های کشوری مفید واقع شود.

برای پوشش کلیات دستورالعمل مدیریت اطلاعات مکانی، متن حاضر ساختار مشخصی را برای تعیین موارد الزامی و یا توصیه‌ای مربوطه، ارائه می‌دهد. این دستورالعمل شامل ۸ فصل می‌باشد که عبارتند از: مقدمه، اصول پایه داده‌های مکانی، جمع‌آوری داده‌های مکانی، آماده‌سازی داده‌های مکانی، ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها، پردازش و نمایش داده‌های مکانی، اشتراک‌گذاری و توزیع داده‌های مکانی، آموزش و توانمندسازی، و نگهداری و به‌روزرسانی داده‌های مکانی.

۲- اصول پایه داده‌های مکانی

هرگونه داده که دارای زمینه و یا بافت مکانی باشد را داده مکانی می‌گوییم. این نوع داده می‌تواند شامل تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر هوایی یا داده‌های مرتبط، نقشه‌های عارضه‌نما^{۱۳} و موضوعی، داده‌های برداشت زمینی، داده‌های موقعیتی و داده‌های نشان‌دار مکانی^{۱۴} باشد. داده مکانی می‌تواند شامل داده‌های توصیفی نیز باشد. داده‌ها علاوه بر سنجنده‌های فیزیکی ممکن است از طریق جمع‌سپاری^{۱۵} و محیط‌های مردم‌گستر^{۱۶} نیز گردآوری شوند. همچنین اطلاعات استخراج شده از پردازش این داده‌ها به عنوان بخشی از اطلاعات مکانی محسوب می‌شوند. همه این موارد می‌توانند به صورت دیداری در قالب نقشه، تصویر و یا شکل‌های دیگر ارایه شده و انواع تحلیل‌ها و پرس‌وجوها بر روی آن‌ها در بستر سامانه‌های اطلاعات مکانی^{۱۷} انجام گیرند.

۲-۱- انواع داده‌های مکانی

داده مکانی پایه (داده‌ای که به موقعیتی منتسب شده باشد) دارای دو مولفه می‌باشد:

^{۱۳} Topography

^{۱۴} Geotag Data

^{۱۵} Crowdsourcing

^{۱۶} Volunteered Geographic Information

^{۱۷} Geospatial Information System (GIS)

۱- داده‌های مکانی یا گرافیکی که ارائه دهنده موقعیت عارضه می‌باشد:

با توجه به پیچیدگی جهان واقعی و میزان بیشمار جزئیات موجود در آن، ذخیره سازی و نمایش داده از طریق ساده سازی و خلاصه کردن آنها انجام می‌شود. لذا به طور معمول جهان واقعی به صورت المان‌هایی مجزا ذخیره و نمایش داده می‌شوند که این کار مدلسازی داده نامیده می‌شود. در فرایند مدلسازی، اطلاعات مکانی به یکی از اشکال زیر می‌توانند ارائه شوند:

- **نقطه^{۱۸}:** شیء صفر-بعدی که در فضای دوبعدی با یک جفت مختصات (x, y) و در فضای سه‌بعدی با یک سه‌تایی مختصات (x, y, z) تعریف می‌شود. این شیء فاقد طول، مساحت و حجم است.
- **خط^{۱۹}:** شیء یک‌بعدی که در فضای دوبعدی به صورت دنباله‌ای از نقاط دوبعدی $(x_1, y_1) \rightarrow (x_2, y_2) \rightarrow \dots \rightarrow (x_n, y_n)$ و در فضای سه‌بعدی به صورت دنباله‌ای از نقاط سه‌بعدی $(x_1, y_1, z_1) \rightarrow (x_2, y_2, z_2) \rightarrow \dots \rightarrow (x_n, y_n, z_n)$ تعریف می‌شود. این شیء دارای طول است، اما مساحت و حجم آن صفر است.
- **سطح^{۲۰}:** شیء دوبعدی بسته که در فضای دوبعدی با حداقل سه نقطه دوبعدی $(x_1, y_1) \rightarrow (x_2, y_2) \rightarrow \dots \rightarrow (x_1, y_1)$ و در فضای سه‌بعدی با حداقل سه نقطه سه‌بعدی $(x_1, y_1, z_1) \rightarrow (x_2, y_2, z_2) \rightarrow \dots \rightarrow (x_1, y_1, z_1)$ تعریف می‌شود. این شیء دارای مساحت است، اما حجم آن صفر است.
- **حجم^{۲۱}:** شیء سه‌بعدی بسته که با مجموعه‌ای از سطوح سه‌بعدی $(x_1, y_1, z_1) \rightarrow (x_2, y_2, z_2) \rightarrow \dots \rightarrow (x_1, y_1, z_1)$ تعریف می‌شود. این شیء دارای طول، مساحت و حجم است.

۲- داده‌های توصیفی که مبین توصیفات داده است:

اطلاعات توصیفی^{۲۲} به مجموعه‌ای از ویژگی‌های غیرمکانی مربوط به یک عارضه اشاره دارد که جزئیات کیفی یا کمی آن را توصیف می‌کنند. این اطلاعات می‌توانند شامل مشخصاتی مانند نام، نوع، جمعیت، تاریخ و یا هر ویژگی دیگری باشند که به درک بهتر ماهیت و کارکرد آن عارضه کمک می‌کنند. در سیستم‌های اطلاعات مکانی، اطلاعات توصیفی به طور معمول در قالب جدولی ذخیره می‌شوند و از طریق یک شناسه منحصر به فرد (مانند ID) به داده‌های مکانی (مانند نقطه، خط، سطح و یا حجم) مرتبط می‌شوند. این داده‌ها امکان تحلیل‌های پیچیده، جستجو، فیلتر کردن، و نمایش لایه‌های اطلاعاتی را فراهم می‌کنند و نقش اساسی در تصمیم‌گیری‌های مکانی ایفا می‌نمایند.

سامانه ملی GIS و یا فعالیت‌های مرتبط با اطلاعات مکانی در سطح ملی برای ارائه خدمات به طیف وسیعی از کاربران، نیازمند

^{۱۸} Point

^{۱۹} Line

^{۲۰} Polygon

^{۲۱} 3D Solid

^{۲۲} Attribute Data

محتوای معتبر و جامع است. این محتوا، که دارای مکانی GIS نامیده می‌شود، باید به صورت یکپارچه و تحت مشخصات یکسانی تهیه شود.

برخی از انواع رایج داده مکانی به شرح زیر می‌باشند:

۲-۱-۱- داده‌های مکانی - زمانی

اصطلاح «GIS زمانی» به سامانه اطلاعات مکانی با قابلیت مدل‌سازی، دسترسی، ترکیب، پردازش، تجزیه و تحلیل و دیداری‌سازی داده مکانی و زمانی گفته می‌شود. مدل‌های مفهومی متعددی برای مدیریت داده‌های مکانی و زمانی ارائه شده است. بعضی از استانداردهای الزامی در بخش خدمات و سرویس‌ها تا حدی اطلاعات مکانی و زمانی را پشتیبانی می‌کنند. از کاربردهای اطلاعات مکانی-زمانی می‌توان به پدیده‌هایی نظیر پایش تغییرات کاربری اراضی در طی زمان، تجزیه و تحلیل جریان ترافیک، پایش توسعه شهری، ارزیابی خسارات ناشی از سیل و ... اشاره نمود.

۲-۱-۲- داده‌های بی‌درنگ^{۲۳} از سنجنده‌ها

یکی از فعالیت‌های مهم در GIS، یکپارچه‌سازی داده‌های بی‌درنگ حسگرها^{۲۴}، سنجنده‌ها و منابع وب با داده‌های نشان‌دار^{۲۵} مکانی است. این امر به ویژه برای کاربردهای نظارت بی‌درنگ، ایجاد آگاهی موقعیتی و برنامه‌های داشبورد مکانی اهمیت دارد. بویژه اگر محیط‌های اطلاعات مکانی مردم‌گستر^{۲۶} را «کاربر به‌عنوان سنجنده» بدانیم، اهمیت و کاربرد آن بیشتر مشخص خواهد شد.

۲-۱-۳- داده‌های اینترنت اشیا^{۲۷}

اینترنت اشیا به دستگاه‌های متصل به اینترنت اطلاق می‌شود که داده‌ها را گردآوری و به اشتراک می‌گذارند. ظهور تراشه‌های ارزان و شبکه‌های بی‌سیم جهانی این امکان را فراهم کرده است که تمام اشیا به اینترنت متصل شوند و بخشی از اینترنت اشیا گردند. اتصال اشیا به اینترنت و افزودن حسگرها، سطحی از هوشمندی رقمی به آن‌ها می‌بخشد، به‌طوری‌که بدون نیاز به مداخله انسانی، می‌توانند در زمان واقعی (بی‌درنگ) با یکدیگر تعامل کنند. اینترنت اشیا با استفاده از فناوری‌های مختلف، جهان فیزیکی و رقمی را ادغام کرده و بستری هوشمندتر و واکنش‌گراتر ایجاد می‌کند. یکی از جنبه‌های کلیدی اینترنت اشیا، تعامل‌پذیری است که به دستگاه‌ها و سیستم‌های مختلف اجازه می‌دهد تا به‌طور پیوسته با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و داده‌ها را مبادله کنند. این امر باعث بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌ها، بهبود تجربه کاربر و رشد کسب‌وکار می‌شود. لذا، تعامل‌پذیری برای بهره‌گیری کامل از مزایای اینترنت اشیا

^{۲۳} Real-Time

^{۲۴} Sensors

^{۲۵} Geo-tagged

^{۲۶} Volunteered Geographic Information (VGI)

^{۲۷} Internet of Things (IoT)

ضروری است.

۲-۱-۴- داده‌های نقاط جذاب^{۲۸}

داده‌های نقاط جذاب به مکان‌های خاصی اشاره دارند که از نظر جغرافیایی موقعیت‌شان مشخص است و برای کاربران یا تحلیل‌های مکانی حائز اهمیت هستند. این نقاط به صورت مختصات نقطه‌ای ذخیره می‌شوند و همراه با اطلاعات توصیفی ارائه می‌گردند.

۲-۱-۵- داده‌های مکانی سه‌بعدی

دنیای واقعی که سامانه‌های اطلاعات مکانی باید آن‌ها را پشتیبانی کنند، سه‌بعدی هستند. داده‌های مکانی سه‌بعدی به مجموعه‌ای از داده‌های جغرافیایی اشاره دارد که ویژگی‌ها و عوارض زمین را در سه بعد نمایش می‌دهد: طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع. این نوع داده‌ها به منظور مدل‌سازی و تحلیل دقیق‌تر محیط‌ها و ساختارهای پیچیده استفاده می‌شوند. داده‌های سه‌بعدی در زمینه‌هایی از قبیل مدیریت شهری، مدیریت بحران، مدیریت محیط زیست، ارتباطات شبکه مخابرات بی‌سیم، حدنگاری سه‌بعدی، گردشگری و ناوبری در راستای برنامه‌ریزی و بهبود تصمیم‌گیری‌ها بسیار حائز اهمیت است. گرچه هنوز تا تهیه یک استاندارد کامل، جامع و با کارایی اجرایی مناسب در حوزه اطلاعات مکانی سه‌بعدی فاصله داریم، ولی به خاطر تسهیل تبادل و اشتراک‌گذاری داده‌های مکانی سه‌بعدی، بهبود سطح همکاری بین سازمانی و بهبود نظام تصمیم‌گیری در حوزه‌هایی چون برنامه‌ریزی شهری، مدیریت منابع طبیعی و پاسخ به بلایای طبیعی نیاز به معرفی استاندارد در این حوزه محسوس است.

۲-۲- استانداردهای داده‌های مکانی

استاندارد داده‌های مکانی به مجموعه‌ای از اصول، مشخصات و دستورالعمل‌ها گفته می‌شود که به منظور تضمین کیفیت، یکپارچه‌سازی، تبادل پذیری، و مدیریت مؤثر داده‌های مکانی بین سیستم‌ها و سازمان‌های مختلف به کار می‌رود.

برای مدیریت داده‌های مکانی تعامل‌پذیر و مرجع، وجود استانداردها و دستورالعمل‌های مناسب حایز اهمیت می‌باشند. هدف اصلی استانداردهای داده‌های مکانی، تسهیل در استفاده صحیح و بهینه از داده‌ها و تضمین دقت، سازگاری و قابلیت انتقال داده‌های مکانی میان سامانه‌ها و کاربران مختلف است. استانداردها تضمین می‌کنند که داده‌های مکانی، سازگار و قابل اشتراک‌گذاری باشند.

استانداردهای داده‌های مکانی در سطح ملی وابسته به چارچوب مکانی ملی (NSF)^{۲۹} می‌باشد. چارچوب مکانی ملی شامل داده‌های مکانی پایه مانند شبکه راه‌ها یا محدوده‌های سیاسی و توپوگرافی برای اهدافی چون گسترش دامنه همکاری‌های بین‌المللی، مقابله با

^{۲۸} Point of Interest (PoI)

^{۲۹} National Spatial Framework (NSF)

چالش‌های زیست‌محیطی، بهره‌برداری از فرصت‌های اقتصادی و تأمین دسترسی عادلانه به خدمات پایه می‌باشد. دسترسی به این چارچوب باید برای همه کاربران اعم از دولتی، خصوصی و عموم مردم به سادگی امکان‌پذیر بوده و تهیه خود این چارچوب نیز باید تحت استانداردها و دستورالعمل‌های ویژه خود باشد. با وجود استاندارد پشتیبان NSF، امکان تحقق پایگاه داده مکانی ملی فراهم می‌شود. متن حاضر گرچه در موارد لازم به مشخصات چارچوب مرجع ملی اشاره داشته، ولی به جزئیات نمی‌پردازد.

۲-۲-۱- استانداردهای داده‌های مکانی - زمانی

استانداردهای داده مکانی-زمانی به روش‌ها و رهنمودهایی اشاره دارند که برای مدیریت و تحلیل داده‌های مکانی-زمانی طراحی شده‌اند. این استانداردها به تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی در محیط‌های جغرافیایی کمک می‌کنند. در زیر یکی از مهمترین استانداردها و مفاهیمی مرتبط با اطلاعات مکانی-زمانی آورده شده است:

استاندارد ISO 19108:2002 مفاهیمی را برای توصیف ویژگی‌های زمانی اطلاعات مکانی تعریف می‌کند. این استاندارد مبنایی برای تعریف داده‌های توصیفی عوارض زمانی، عملگرهایی روی عوارض، ارتباط‌های بین آن‌ها، و تعریف جنبه‌های زمانی فراداده در مورد اطلاعات مکانی فراهم می‌کند. از آنجایی که این استاندارد به ویژگی‌های زمانی اطلاعات مکانی استخراج شده از دنیای واقعی تمرکز دارد، به جای زمان تراکنش^{۳۰} بر زمان معتبر^{۳۱} تأکید می‌کند.

در پروژه‌های GIS زمانی، برای سازمان‌های دولتی و یا در سطح ملی با مقیاس کوچکتر از ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده از استاندارد

ISO 19108:2002 الزامی است. برای سایر سطوح نیز توصیه می‌شود که از همین استاندارد بهره برده شود.

۲-۲-۲- استانداردهای داده‌های بی‌درنگ از سنجنده‌ها

استانداردهای داده‌های بی‌درنگ از سنجنده‌ها به مجموعه‌ای از پروتکل‌ها، فرمت‌ها و رهنمودهایی اشاره دارند که برای جمع‌آوری، پردازش، و تبادل داده‌های مکانی در زمان واقعی طراحی شده‌اند. این استانداردها به ویژه در زمینه‌های مختلفی مانند از سنجش از دور، جغرافیای فضایی و سامانه‌های اطلاعات مکانی کاربرد دارند.

بخش‌های ملی و دولتی به منظور تبادل داده‌های مکانی و حسگری ملزم به استفاده از چارچوب OGC Sensor Web Enablement (SWE) برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه از داده‌های سنجنده‌ای هستند.

استانداردهای OGC SWE مجموعه‌ای از پروتکل‌ها و مدل‌ها را به منظور تسهیل تبادل داده‌های مکانی و حسگری ارائه می‌دهد که در زیر به تشریح آن‌ها می‌پردازیم.

^{۳۰} Transaction Time

^{۳۱} Valid Time

- **استاندارد مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها (Observations & Measurements - O&M):** این استاندارد مدل‌های عمومی و کدگذاری‌های XML برای مشاهدات و اندازه‌گیری‌ها را مشخص می‌کند. استفاده از این استاندارد کمک می‌کند تا داده‌های حسگر به شکل سازگار و هماهنگ در سیستم‌ها یکپارچه شوند.
- **پروتکل PUCK:** پروتکل PUCK رویکردی برای بازیابی توصیف SensorML، کد محرک حسگر و سایر اطلاعات از خود تجهیزات را تعریف می‌کند. این پروتکل امکان نصب، پیکربندی و بهره‌برداری خودکار از حسگرها را فراهم می‌سازد.
- **زبان مدل‌سازی سنجنده (Sensor Model Language - SensorML):** استاندارد برای مدل‌ها و طرح‌واره‌های^{۳۲} XML جهت توصیف فرآیندهای درونی سیستم‌های پردازش مشاهدات و حسگرها است. SensorML به تعریف و مستندسازی فرآیندهای حسگری کمک می‌کند.
- **سرویس مشاهده حسگر (Sensor Observation Service - SOS):** این استاندارد یک رابط وب سرویس بوده که امکان پرس‌وجو روی مشاهدات، فراداده‌های سنجنده‌ها و همچنین مشخصات عوارض مشاهده شده را می‌دهد. همچنین، تضمین می‌کند که داده‌های حسگری به صورت متمرکز و استاندارد قابل دستیابی می‌باشند.
- **سرویس برنامه‌ریزی حسگر (Sensor Planning Service - SPS):** این استاندارد رابط‌هایی را تعریف می‌کند که در پاسخ درخواست‌ها، اطلاعاتی درباره قابلیت‌های یک حسگر و نحوه تنظیم آن ارائه می‌دهد. بنابراین می‌توان امکان‌سنجی جمع‌آوری داده از حسگرها یا مدل‌های مختلف را بررسی و درخواست‌های جمع‌آوری را ارسال کرد.
- **مدل داده مشترک SWE:** الگوهای داده‌ای برای مبادله داده‌های ابتدایی و خام، مرتبط با حسگرها در چارچوب OGC SWE را تعریف می‌کند. این مدل، یکپارچگی و انسجام داده‌ها بین نقاط مختلف شبکه حسگری را تضمین می‌کند.
- **مدل سرویس SWE:** در این مجموعه انواع داده‌ای برای استفاده عمومی در خدمات تعریف شده است. به عبارت دیگر، OGC Sensor Web Enablement (SWE) بسته‌هایی بوده که انواع درخواست و پاسخ عملیات را مشخص می‌کنند.

۲-۲-۳- استانداردهای داده‌های اینترنت اشیا

^{۳۲} Schema

در اینترنت اشیا از استانداردهای OGC استفاده می‌شود تا تعامل‌پذیری بین دستگاه‌ها و سیستم‌های مختلف تضمین شود. دلیل اصلی استفاده از این استانداردها اطمینان از هماهنگی و تبادل اطلاعات بین دستگاه‌هاست. OGC با ایجاد استانداردهای مشترک برای فرمت داده، پروتکل‌های ارتباطی و سایر جنبه‌های فناوری اینترنت اشیا، تسهیل‌گر تبادل اطلاعات شده و یکپارچگی استفاده از اینترنت اشیا را در حوزه‌ها و صنایع مختلف تضمین می‌کند. علاوه بر این، استانداردهای OGC با ارائه دستورالعمل‌ها و بهترین شیوه‌ها برای طراحی و پیاده‌سازی، به بهبود مقیاس‌پذیری، قابلیت اطمینان و امنیت سیستم‌های اینترنت اشیا کمک می‌کنند. با رعایت این استانداردها، سازمان‌ها می‌توانند راه‌حل‌های کارآمدتر و مقرون‌به‌صرفه‌تر اینترنت اشیا را توسعه دهند که به راحتی با تغییر نیازمندی‌های تکنولوژیکی و تجاری سازگار می‌شوند. به طور کلی، استانداردهای OGC نقش مهمی در ارتقای نوآوری و همکاری در صنعت اینترنت اشیا ایفا می‌کنند و امکان توسعه سیستم‌های پیشرفته و به هم پیوسته را فراهم می‌سازند که مزایای قابل توجهی از نظر کارایی، بهره‌وری و پایداری به همراه دارند. برخی از استانداردهای کلیدی OGC برای اینترنت اشیا عبارتند از:

- **سرویس Sensor Observation Service (SOS):** یک رابط استاندارد برای ارسال درخواست^{۳۳} و اشتراک‌گذاری

داده‌ها و فراداده‌های حسگرها است. این استاندارد به دستگاه‌های اینترنت اشیا اجازه می‌دهد تا داده‌های حسگر خود را به روشی استاندارد منتشر کنند تا سیستم‌های دیگر بتوانند به راحتی به آن داده‌ها دسترسی داشته و از آنها استفاده کنند.

- **SensorThings API:** این استاندارد مدرن OGC، یک رابط RESTful^{۳۴} ساده و کارآمد برای درج، بازیابی و مدیریت

داده‌ها و فراداده‌های حسگرهای اینترنت اشیا ارائه می‌دهد. با تمرکز بر JSON و طراحی سبک، پیاده‌سازی و یکپارچه‌سازی سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیا را برای توسعه‌دهندگان بسیار تسهیل می‌کند و به عنوان جایگزین بهینه برای معماری‌های سنتی‌تر مطرح است.

- **استاندارد Sensor Web Enablement (SWE):** مجموعه‌ای از استانداردها برای رمزگذاری و تبادل داده‌های حسگرها

در پلتفرم‌ها و پروتکل‌های مختلف است. این مجموعه شامل استانداردهایی برای رمزگذاری مشاهدات حسگرها، فراداده آنها و مدل‌های داده حسگر است.

- **استاندارد Observation & Measurement (O&M):** استاندارد برای رمزگذاری و تبادل مشاهدات و

اندازه‌گیری‌های حسگرها است. این استاندارد یک مدل داده مشترک و طرح XML برای نمایش داده‌های حسگرها تعریف می‌کند و تبادل داده‌ها بین سیستم‌های مختلف را آسان‌تر می‌کند.

پیاده‌سازی موفق سامانه‌های اینترنت اشیا در حوزه اطلاعات مکانی، نیازمند پایبندی به چارچوب‌های استاندارد است که

^{۳۳} Request

^{۳۴} Representational state transfer

اطمینان دهند دستگاه‌ها، پلتفرم‌ها و سرویس‌های مختلف می‌توانند در طول زمان با یکدیگر ارتباط برقرار کرده و داده‌ها را به طور معناداری تبادل کنند. رعایت استانداردهای OGC دقیقاً این نقش حیاتی را ایفا می‌کند. این استانداردها با تعریف مدل‌های داده‌ای یکسان، پروتکل‌های ارتباطی مشترک و رابط‌های ثابت، قابلیت تعامل‌پذیری بین اجزای متنوع یک اکوسیستم اینترنت اشیا را تضمین می‌کنند. علاوه بر این، با اتکا بر استانداردهای پذیرفته شده بین‌المللی، از وابستگی به راه‌حل‌های انحصاری کاسته شده و پایداری بلندمدت سامانه در برابر تغییرات فناوری و توسعه‌های آینده حفظ می‌شود.

در این راستا، برای بخش عملیاتی ثبت حسگرها، ارائه سرویس و مدیریت چرخه عمر داده‌های آنها، استاندارد SensorThings API به عنوان انتخاب بهینه پیشنهاد می‌گردد. این استاندارد با بهره‌گیری از فلسفه RESTful و استفاده گسترده از JSON، رویکردی مدرن، سبک و توسعه‌پسند ارائه می‌دهد. با تعریف عملیات استاندارد وب‌سرویس مانند POST برای ثبت موجودیت‌های جدید (مثل خود حسگر یا یک مشاهده) و GET برای بازیابی و پرس‌وجوی کارآمد داده‌ها، پیچیدگی ذاتی استانداردهای نسل قدیم‌تر را حذف می‌کند. در نتیجه، فرآیند توسعه برای برنامه‌نویسان تسریع شده، یکپارچه‌سازی با سایر سرویس‌ها و نرم‌افزارهای مبتنی بر وب به شکل چشمگیری آسان‌تر گردیده، و راه برای مقیاس‌پذیری سامانه با افزایش تعداد حسگرها و حجم داده‌ها هموار می‌شود. در حقیقت، SensorThings API توازن مناسبی بین قدرت مدل‌سازی داده‌ای استانداردهای OGC و سادگی و کارایی مورد نیاز در دنیای اینترنت اشیا برقرار می‌سازد.

۲-۲-۴- استانداردهای داده‌های نقاط جذاب^{۳۵}

در حوزه اطلاعات مکانی، داده‌های نقاط جذاب بدلیل توجه به نقاط کلیدی مرتبط با موقعیت‌ها و مکان‌های خاص اهمیت ویژه‌ای دارند. توصیه می‌شود از تلاش‌های OGC در این زمینه استفاده شود. در آنجا برای نمایه‌سازی و نمایش داده‌های POI از GeoJSON، KML 2، GPX، CSV، XML و ... بهره گرفته شده است.

۲-۲-۵- استانداردهای داده‌های مکانی سه‌بعدی

استانداردهای مختلفی برای داده‌های مکانی سه‌بعدی وجود دارند که به تبادل و تعامل داده‌ها بین سیستم‌های مختلف کمک می‌کنند. از میان آنها، می‌توان ^{۳۶}CityGML، ^{۳۷}KML، ^{۳۸}glTF، 3D Tiles و ^{۳۹}I3S را نام برد. به طور ویژه، یکی از پر استفاده‌ترین استانداردها، استاندارد CityGML است که یک مدل مفهومی و قالب تبادل برای نمایش، ذخیره‌سازی و تبادل مدل‌های شهری سه

^{۳۵} Point of Interest (PoI)

^{۳۶} City Geographic Markup Language (CityGML)

^{۳۷} Keyhole Markup Language (KML)

^{۳۸} Graphics Language Transmission Format (glTF)

^{۳۹} Indexed 3D Scene Layers (I3S)

بعدی را تعریف می‌کند. در این استاندارد یک مدل داده باز و یک فرمت متنی مبتنی بر XML، اطلاعات سه‌بعدی هندسی و اطلاعات مفهومی را در یک مدل داده واحد با هم ترکیب می‌کند. استاندارد CityGML از طرح‌واره کاربردی GML3 استفاده می‌کند که استاندارد قابل گسترش برای تبادل داده‌های مکانی است. در این استاندارد توصیف هندسه بر مبنای GML است، اما علاوه بر آن شامل جنس و بافت و غیره نیز می‌باشد. **جدول ۱** برخی از پر استفاده‌ترین استانداردهای داده‌های مکانی را ارائه می‌کند.

جدول ۱- برخی از پر استفاده‌ترین استانداردهای داده‌های مکانی

نام استاندارد (فرمت)	مشخصات
CityGML	فرمت باز برای مدلسازی اطلاعات شهری و پشتیبانی از ویژگی‌ها و تحلیل‌های فضایی.
3D Tiles	فرمت بهینه برای نمایش داده‌های سه‌بعدی پیچیده و بزرگ که برای بارگذاری سریع در وب توسعه یافته است.
I3S	یک استاندارد باز است که برای انتشار کارآمد حجم زیادی از داده‌های مکانی سه‌بعدی توسعه یافته است که بعد معنایی عوارض مکانی را نیز پشتیبانی می‌کند.
Collada	فرمتی برای تبادل و مدیریت مدل‌های سه‌بعدی و گرافیکی. این فرمت یک فرمت مبتنی بر XML بوده که به خوبی در صنعت بازی و انیمیشن استفاده می‌شود.
glTF/glb	فرمتی سبک و کارآمد برای بارگذاری و نمایش داده‌های سه‌بعدی.
OBJ	فرمت برداری برای مدل‌های سه‌بعدی، معمولاً شامل اطلاعات هندسی و فیلتراسیون سطح است.
STL	این فرمت برای مدلسازی سه‌بعدی که عمدتاً در چاپ سه‌بعدی استفاده می‌شود. این فرمت تنها داده‌های هندسی را ذخیره می‌کند.
VRML	فرمت قدیمی برای نمایش داده‌های سه‌بعدی و تعامل در محیط‌های مجازی. امکان تعریف انیمیشن‌ها و تعاملات کاربر را فراهم می‌کند.
X3D	نسل بعدی فرمت VRML برای نمایش داده‌های سه‌بعدی تحت وب که شامل قابلیت‌های پیشرفته‌تری نسبت به VRML است.
IFC	فرمت معمول در صنعت ساخت و ساز برای تبادل مدل‌های اطلاعات ساختمان، پشتیبانی از اطلاعات سه بعدی و توصیف ویژگی‌های ساختمان
LAS/LAZ	فرمت‌های مخصوص ذخیره‌سازی داده‌های نقطه‌ای لیدار. LAZ نسخه فشرده‌سازی شده LAS است.
DGN	فرمت فایل CAD مورد استفاده در نرم افزار MicroStation. پشتیبانی از مدلسازی دو بعدی و سه بعدی.

فرمت فایل مربوط به نرم‌افزار 3D Studio Max. به طور گسترده‌ای برای مدلسازی و انیمیشن‌های سه‌بعدی استفاده می‌شود.	3DS
فرمت برای تبادل و مدیریت داده‌های سه‌بعدی و انیمیشن.	FBX
بطور پیش‌فرض در برخی موارد می‌تواند برای تعریف خصوصیات سه‌بعدی استفاده شود. فرمتی از JSON برای داده‌های مکانی که به راحتی قابل خواندن و تبادل است.	GeoJSON
یک فرمت XML برای مدلسازی داده‌های مکانی سه‌بعدی شامل CityGML و دیگر مدل‌ها.	XGML
یک استاندارد جدیدتر بر مبنای OBJ برای تبادل داده‌های سه‌بعدی در صنعت تاسیسات و ساختمان.	ObjX

• استاندارد CityGML

CityGML یک استاندارد بین‌المللی برای ممکن ساختن نمایش قابل تعامل و تبادل مدل‌های مجازی سه‌بعدی شهرها و مناظر است. به بیان دیگر، CityGML، یک مدل داده استاندارد باز است و همچنین یک فرمت تبادل داده نیز محسوب می‌شود که ذخیره‌سازی مدل‌های سه‌بعدی رقومی شهرها و مناظر را انجام می‌دهد و توسط OGC ارائه شده است. این مدل داده، هندسه سه‌بعدی، توپولوژی، معنا و ظاهر اشیای محیط‌های شهری را تعریف می‌کند. این تعاریف، در سطوح مختلف از جزئیات ۴۰ (مدل چند رزولوشنی) ارائه می‌شود. CityGML مبتنی بر زبان GML است که یک مدل هندسی استاندارد ارائه می‌دهد. CityGML قابلیت تعامل‌پذیری داده‌ها را در زمینه خدمات وب مکانی و زیرساخت‌های داده‌های مکانی تسهیل می‌کند.

این استاندارد، عوارض شهری را به چند طبقه تقسیم‌بندی می‌کند که یکی از این طبقات، سازه‌ها (مانند ساختمان‌ها، پل‌ها و تونل‌ها) به عنوان عوارض غالب شهرها می‌باشند.

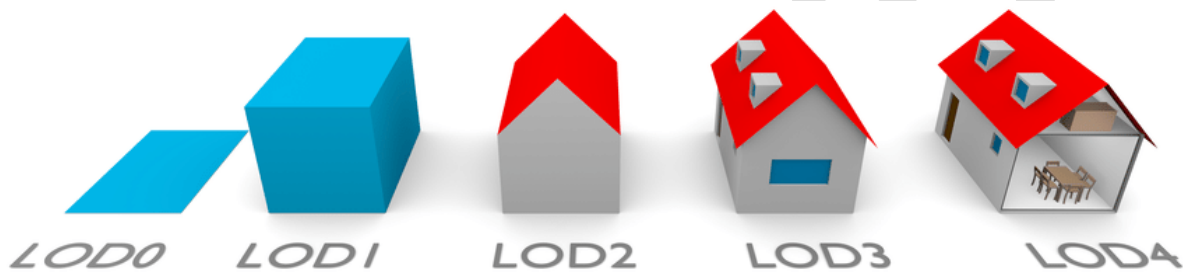
نسخه دوم CityGML (CityGML 2) از پنج سطح از جزئیات پشتیبانی می‌کند. در سطح سفر یا LoD 0، می‌توان ساختمان‌های سه‌بعدی به صورت یک صفحه دو بعدی (کف یا سقف ساختمان) نمایش داد. در سطح اول یا LoD 1، یک ساختمان به صورت یک منشور یا مکعب مستطیل (بلوک) ساده نمایش داده می‌شود و به هیچ وجه جزئیات ساختمان مدل نمی‌شوند. در LoD 1، پشت‌بام‌ها به صورت تخت، مدل می‌شوند.

در سطح دوم یا LoD 2، پوسته بیرونی ساختمان و اجزای آن یعنی عوارض کوچکتر ساختمان (تاسیسات و تجهیزات بیرونی ساختمان) نه تنها از نظر هندسی، بلکه به صورت معنایی مدل می‌شوند. مثال‌های بارز این عوارض عبارتند از دودکش‌ها، پنجره‌های روی شیروانی، تراس‌ها، پله‌های فرار. ساختار سقف ساختمان در LoD 2 پیشرفته‌تر است و از هندسه سقف‌های شیبدار و شیروانی‌ها

پشتیبانی می‌کند.

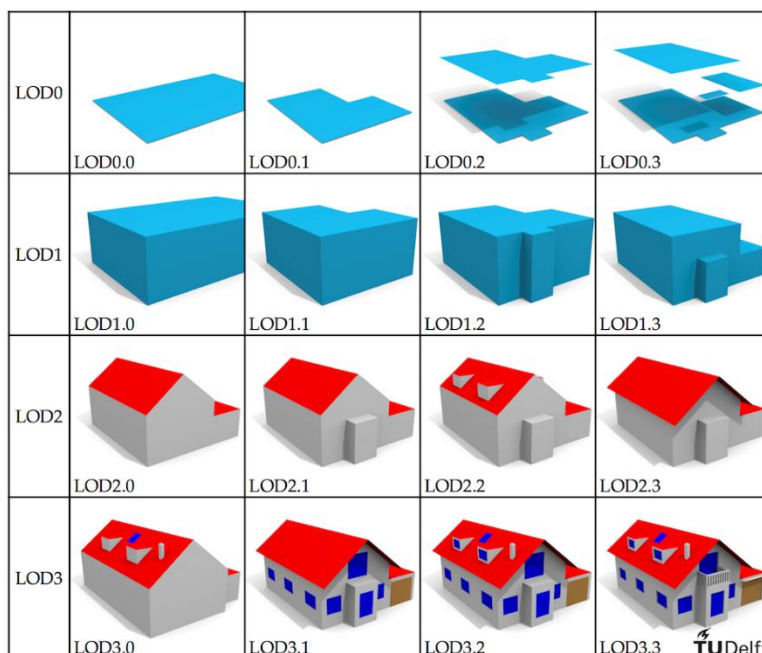
LoD 3، مشابه با LoD 2 است، اما LoD 3 برای رسیدن به دقت هندسی بالاتر و عوارض با ابعاد کوچکتر مانند آنتن‌ها و ناودان‌های روی نمای ساختمان و نیز مدل کردن درب‌ها و پنجره‌های ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در LoD 3 در مورد سقف ساختمان، می‌توان حتی بیرون‌زدگی‌های جزئی شیروانی از کناره‌های ساختمان را نیز مدل کرد.

LoD 4 در مورد پوسته خارجی ساختمان، تفاوتی با LoD 3 ندارد، لیکن LoD 4 این امکان را فراهم کرده که ساختار داخلی یک ساختمان با اضافه شدن دیوارها، پله‌ها، دکوراسیون و مبلمان داخلی مدل شود. همچنین در همه LoDها، اطلاعات ظاهری و نما مانند جنس مصالح و بافت‌های با رزولوشن بالا را می‌توان بر روی سازه‌ها نگاشت. توضیحات فوق را می‌توان بطور خلاصه در شکل ۱ ملاحظه کرد.



شکل ۱- سطوح جزئیات در CityGML 2

شایسته است که به تفاوت CityGML 2 و CityGML 3 اشاره شود. در استاندارد CityGML 2، برای نمایش فضای داخلی یک ساختمان (مانند اتاق‌ها و پله‌ها) از دقیق‌ترین و جزئی‌ترین سطح (LoD4) استفاده می‌شود. اما CityGML 3 این رویه را به کلی تغییر داده است و سطح LOD4 را حذف کرده است. همچنین می‌توان سطح جزئیات نمای بیرونی و فضای داخلی یک ساختمان را به طور مستقل و آزادانه با هم ترکیب نمود. برای مثال: می‌توان نمای بیرونی یک ساختمان را در سطح جزئیات دو (LOD2) نشان داد، در حالی که فضای داخلی آن در سطح جزئیات پایین (LOD1) نمایش داده شود. CityGML 3 انعطاف‌پذیری بسیار بیشتری دارد و اجباری در جفت نمودن یک فضای داخلی با جزئیات بسیار بالا با یک نمای بیرونی فوق‌العاده دقیق وجود ندارد. به عبارت دیگر، می‌توان بر حسب نیاز، سطح جزئیات مناسب را برای هر بخش به طور جداگانه انتخاب کرد (شکل ۲).



شکل ۲- سطوح جزئیات در CityGML 3

۲-۳- طبقه‌بندی داده‌های مکانی

دارایی GIS دارای طبقه‌بندی‌های مختلفی می‌باشد به طور معمول می‌توان این داده‌ها را به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:

• بر اساس ساختار داده ^{۴۱}

این دسته‌بندی پایه‌ای‌ترین تقسیم‌بندی است:

- داده‌های برداری ^{۴۲}:

نمایش عوارض با نقاط، خطوط و چندضلعی‌ها.

مناسب برای عوارض گسسته (مثل جاده‌ها، ساختمان‌ها، مرزها).

مثال: Shapefile، GeoJSON.

- داده‌های رستری ^{۴۳}:

نمایش عوارض به صورت شبکه‌ای از پیکسل‌ها (سلول‌ها).

مناسب برای داده‌های پیوسته (مثل ارتفاع، دما، تصاویر ماهواره‌ای).

مثال: DEM، TIFF.

^{۴۱} Data Model

^{۴۲} Vector Data

^{۴۳} Raster Data

- داده‌های شبکه‌ای نامنظم مثلثی^{۴۴}:

نمایش سطوح سه‌بعدی با مثلث‌های نامنظم (برای مدل‌سازی ارتفاع).

- بر اساس مقیاس^{۴۵}

- بزرگ مقیاس^{۴۶}:

جزئیات زیاد، پوشش منطقه‌ای کوچک (مثلاً ۱:۱۰۰۰ برای نقشه‌های شهری).

- متوسط مقیاس^{۴۷}:

تبادل بین جزئیات و پوشش (مثلاً ۱:۱۰۰۰۰۰ برای استان‌ها).

- کوچک مقیاس^{۴۸}:

جزئیات کم، پوشش منطقه‌ای وسیع (مثلاً ۱:۱۰۰۰۰۰۰۰ برای نقشه‌های جهانی).

- بر اساس منبع داده^{۴۹}

- داده‌های اولیه^{۵۰}:

جمع‌آوری مستقیم (مثلاً GPS، نقشه‌برداری زمینی).

- داده‌های ثانویه^{۵۱}:

استفاده از داده‌های موجود (مثلاً تصاویر ماهواره‌ای لندست، OpenStreetMap).

- بر اساس بعد زمانی^{۵۲}

- داده‌های ایستا^{۵۳}:

^{۴۴} Triangulated Irregular Network (TIN)

^{۴۵} Scale

^{۴۶} Large Scale

^{۴۷} Medium Scale

^{۴۸} Small Scale

^{۴۹} Data Source

^{۵۰} Primary Data

^{۵۱} Secondary Data

^{۵۲} Temporal Dimension

^{۵۳} Static

وضعیت در یک زمان خاص (مثلاً مرزهای کشورها در سال ۲۰۲۳).

• داده‌های پویا^{۵۴}:

تغییرات در طول زمان (مثلاً گسترش شهری، حرکت وسایل نقلیه).

• بر اساس محتوا/موضوع^{۵۵}

- داده‌های فیزیکی:

عوارض طبیعی (رودها، کوه‌ها).

- داده‌های انسانی:

عوارض انسان‌ساخت (جاده‌ها، شهرها).

- داده‌های موضوعی:

اطلاعات خاص (تراکم جمعیت، کاربری اراضی).

• بر اساس دقت^{۵۶}

- داده‌های دقیق:

خطای مکانی کم (مثلاً داده‌های لیدار).

- داده‌های تقریبی:

خطای بالاتر (مثلاً نقشه‌های تاریخی).

• بر اساس گستره^{۵۷}

- داده‌های مکانی سراسری:

پوشش جغرافیایی وسیع (کل کشور، قاره یا جهان)

دارای جزئیات محدود اما پوشش گسترده هستند.

کاربردها: مدل‌سازی اقلیمی، مطالعات بین‌المللی، برنامه‌ریزی منطقه‌ای

^{۵۴} Dynamic

^{۵۵} Thematic Data

^{۵۶} Accuracy

^{۵۷} Extent

- داده‌های شهری:

پوشش محدود به مناطق شهری و پیرامون آنها
کاربردها: مدیریت شهری، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل، خدمات شهری
مثال: نقشه‌های کاداستر، شبکه معابر شهری، کاربری اراضی شهرها

اغلب دارای GIS ملی به هشت کلاس اصلی پوشش گیاهی، عوارض آبی، حمل‌ونقل، عوارض خاص، سازه‌های ساختمانی، تأسیسات زیربنایی، محدوده، عوارض ارتفاعی، نقاط کنترل و تقسیمات کشوری تقسیم می‌شود. هرکدام از کلاس‌ها نیز شامل تعدادی عارضه مکانی از داده‌های آماری، جمعیتی، برنامه‌ریزی و توسعه، زیرساخت‌ها و سایر داده‌های بخشی وزارتخانه‌ها و استان‌ها است.

۲-۴- نام‌گذاری داده‌های مکانی

برای نام‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی مکانی، توصیه می‌شود از یک قرارداد نام‌گذاری استاندارد استفاده شود. این قرارداد می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- **مخفف نام لایه:** برای نمونه Luse برای کاربری اراضی
- **جزئیات:** برای نمونه مقیاس لایه مانند ۵۰k , ۱۰k
- **منبع داده:** برای نمونه محیط اطلاعات مکانی مردم‌گستر^{۵۸} OSM
- **سال تولید داده:** برای نمونه ۱۴۰۳

در ادامه یک مثال برای نام‌گذاری لایه‌های اطلاعاتی با رعایت قواعد ذکر شده ارائه می‌شود.

- نام لایه Luse_50k_OSM_1403 با توضیحات:
- **Luse** : مخفف نام لایه (کاربری اراضی)
- **50k** : مقیاس لایه
- **OSM** : منبع داده (OpenStreetMap)
- **1403** : سال تولید داده

^{۵۸} Open Street Map (OSM)

برای نام‌گذاری لایه‌های مکانی استانداردهای جهانی مانند ISO19115 و ISO19152 موجود است که می‌توان از آن‌ها برای استانداردسازی نام‌ها بهره گرفت.

۲-۵- سیستم‌های مختصات و مرجع

مشخصات سیستم‌های مختصات، سطوح مبنا و سیستم‌های تصویر مورد استفاده در نقشه‌های توپوگرافی ایران، در جلد ژئودزی و جلد کارتوگرافی از مجموعه دستورالعمل‌های حاضر آورده شده است. علاوه بر موارد ذکر شده، ممکن است مرجع مختصات دیگری نیز مورد نیاز باشد. به طور کلی، انتخاب مرجع برای سیستم باید بر اساس عوامل زیر صورت گیرد:

- **وسعت منطقه:** پهناوری منطقه مورد مطالعه.
- **موقعیت منطقه:** مکان جغرافیایی و ویژگی‌های منطقه‌ای.
- **مقیاس و دقت لازم:** دقت مورد نیاز و مقیاس نقشه‌ها.
- **نوع تحلیل‌های مد نظر:** نوع تجزیه و تحلیل‌هایی که باید انجام شود.
- **نحوه ارائه داده‌های مکانی:** روش‌های مختلف برای ارائه داده‌های مکانی.
- **حفظ بعضی ویژگی‌های هندسی:** اطمینان از حفظ ویژگی‌های هندسی داده‌ها هنگام تبدیل مختصات.
- **نیاز به مرجع دهی جهانی یا محلی:** بر حسب نیاز، استفاده از مراجع جهانی یا محلی.

در مواردی ممکن است که داده‌های مکانی در سیستم‌های مختصات متفاوتی قرار داشته باشند. در این حالت، لازم است که تبدیل مختصات صورت گیرد تا یکپارچگی بوجود بیاید. در این تبدیلات، باید ملاحظات لازم صورت گیرد تا دقت داده‌ها کاهش نیافته و میزان خطا تحت کنترل باشد.

زمین‌مرجع‌سازی (Georeferencing) فرآیندی است که در آن موقعیت جغرافیایی دقیق به داده‌های مکانی اختصاص می‌یابد و آن‌ها را به یک سیستم مختصات جغرافیایی مشخص تبدیل می‌کند. این فرآیند در سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS) از اهمیت حیاتی برخوردار است؛ زیرا:

۱. دقت و صحت داده‌های مکانی را افزایش می‌دهد.
۲. امکان تحلیل‌های فضایی معنادار و تصمیم‌گیری دقیق‌تر را فراهم می‌سازد.
۳. یکپارچگی داده‌ها و هماهنگی بین‌سازمانی را بهبود می‌بخشد.
۴. دسترسی به نقشه‌ها و اطلاعات مکانی دقیق را تسهیل می‌کند.

کدگذاری مکانی (Geocoding): کدگذاری مکانی فرآیندی است که در آن آدرس‌ها یا مکان‌های توصیفی به مختصات جغرافیایی تبدیل می‌شوند. این رویکرد در برنامه‌های مختلف مانند سیستم‌های مدیریت ترافیک، خدمات پستی و جستجوی مکان‌های جغرافیایی استفاده می‌شود. کدگذاری مکانی می‌تواند به دو شکل مستقیم (تبدیل آدرس‌ها به مختصات جغرافیایی) و معکوس (تبدیل مختصات جغرافیایی به آدرس‌ها یا مکان‌های توصیفی) انجام شود.

۲-۶- کدگذاری داده‌های مکانی

سیستم کدگذاری IRNG (Iran National Grid) به عنوان چارچوبی استاندارد برای شناسایی دقیق و سریع عوارض جغرافیایی توصیه می‌شود. این روش با ترکیب حروف و اعداد در یک ساختار سلسله‌مراتبی، موقعیت مکانی را در قالب کدهای مختصر و خوانا (مانند HN 32244 50464) ارائه می‌دهد که شامل دو بخش اصلی است:

- کد مربع ۱۰۰ کیلومتری (km Grid Square ID\۱۰۰) متشکل از دو حرف (مثلاً HN)،

- مختصات عددی (Numerical Coordinates) با قابلیت نمایش دقت از ۱ کیلومتر تا ۱ متر (با افزایش ارقام).

این استاندارد با کاهش خطای انسانی در گزارش‌دهی موقعیت‌ها، بهینه‌سازی ذخیره‌سازی داده‌ها مقایسه با مختصات طول/عرض جغرافیایی، و سازگاری با سیستم‌های جهانی مانند MGRS (Military Grid Reference System)، به ویژه در عملیات‌های فوریتی مانند امداد در بلایا (زلزله، سیل)، مدیریت منابع طبیعی، و عملیات‌های امنیتی کاربرد مؤثری دارد. پیاده‌سازی IRNG در پایگاه‌های داده مکانی، امکان جستجوی سریع، تبادل یکپارچه اطلاعات بین نهادها (همچون سازمان‌های دولتی، نیروهای نظامی و تیم‌های امداد)، و یکسان‌سازی زبان مکانی در سطح ملی را فراهم می‌کند. برای اطلاع از جزئیات دقیق پیاده‌سازی و کاربردهای این روش کدگذاری به "دستورالعمل‌های همسان نقشه‌برداری جلد هشتم، گرید ملی ایران" مراجعه شود.

۲-۷- نمادگذاری داده‌های مکانی

در تعریف نمادها توصیه می‌شود، رنگ‌ها و راهنمای عوارض مورد نیاز در حد امکان از دستورالعمل همسان نقشه‌برداری جلد چهارم، نشریه ۴-۱۱۹ پیروی کنند. در سایر موارد به طور مثال سرویس‌های نقشه‌ای در اینترنت، باید قابل فهم توسط سرویس‌گیرنده و سرویس‌دهنده باشند.

۲-۸- اصطلاح‌نامه^{۵۹} داده‌های مکانی

^{۵۹} Thesaurus

یکی از جنبه‌های مهم در استاندارد محتوا، ایجاد یک اصطلاح‌نامه جامع با هدف تسهیل درک یکپارچه و دقیق از محتواهای مختلف می‌باشد. توسعه چنین اصطلاح‌نامه‌ای، به کاهش اختلافات مفهومی بین کاربران مختلف کمک کرده و تضمین‌کننده یکپارچگی و قابلیت استفاده مجدد از داده‌های مکانی در سیستم‌های مختلف ملی و بین‌المللی است. با اجرای این استاندارد، می‌توان از سطوح مختلف داده‌های کدگذاری شده به صورت موثر و کارآمدتری بهره‌برداری کرد.

این اصطلاح‌نامه شامل طبقه‌بندی محتوا، نامگذاری، کدها و تعریف می‌باشد. در طبقه‌بندی مجموعه‌هایی از داده‌ها و اطلاعات بر اساس موضوعات، مقیاس‌ها یا انواع اطلاعات طبقه‌بندی شده‌اند. این عمل به سازماندهی بهتر داده‌ها کمک و بازیابی آنها را تسهیل می‌کند. نام‌گذاری بر اساس روش‌های یکپارچه نام‌گذاری اطلاعات مکانی انجام می‌شود. با استفاده از قراردادهای نام‌گذاری، هماهنگی و شفافیت در دسترسی به داده‌ها افزوده شده و امکان جستجو و بازیابی سریع را فراهم می‌سازند. با هدف تسهیل شناسایی و پردازش داده، اختصاص کد یکتا ضروری است. یکپارچگی کدها بین سازمان‌های مختلف به جلوگیری از تکرار یا اشتباه‌های احتمالی در جریان اشتراک داده‌ها کمک می‌کند. در مبحث تعاریف، توضیحات جامع و دقیق درباره هر نوع داده یا مجموعه داده برای ایجاد درک مشترک ارایه می‌شود. این تعاریف باید طوری باشد که کاربران با سطوح مختلف تخصصی، قادر به درک و استفاده از داده‌ها باشند. در این راستا، سازمان نقشه‌برداری کشور در حال تدوین مجموعه دستورالعمل‌های چندمقیاسه می‌باشد که شامل موارد فوق‌الذکر می‌باشند.

۳- جمع‌آوری داده‌های مکانی

۳-۱- روش‌های جمع‌آوری داده‌ها

۳-۱-۱- نقشه‌برداری زمینی^{۶۰}

نقشه‌برداری زمینی، به‌عنوان یک روش پایه‌ای و دقیق در جمع‌آوری داده‌های مکانی، متکی بر برداشت مستقیم از محیط است. این روش کاربرد محوری در پروژه‌هایی دارد که الزامات دقت بالا و توجه به جزئیات در آنها حیاتی است. فرآیند نقشه‌برداری زمینی در سه مرحله اساسی سازماندهی می‌شود: مرحله نخست شامل برنامه‌ریزی و طراحی شبکه است که در آن نقاط کنترل اصلی تعیین و چارچوب هندسی پروژه تدوین می‌گردد. مرحله دوم به اجرای میدانی اختصاص دارد که طی آن تجهیزات اندازه‌گیری مستقر شده، عوارض فیزیکی برداشت می‌شوند و ویژگی‌های توصیفی همزمان ثبت می‌گردند. در مرحله نهایی، پردازش داده‌ها انجام می‌پذیرد که شامل تصحیح خطاها، یکپارچه‌سازی اطلاعات و تبدیل آنها به سیستم مختصات هدف است. مهم‌ترین مزیت این روش، دقت میلی‌متری آن است که امکان ثبت جزئیات را حتی در محیط‌های پیچیده‌ای مانند مناطق جنگلی انبوه یا مراکز شهری متراکم فراهم

^{۶۰} Field Survey

می‌کند. افزون بر این، قابلیت جمع‌آوری همزمان داده‌های مکانی و توصیفی در حین عملیات میدانی، غنای تحلیلی خروجی‌ها را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد. با این حال، نقشه‌برداری زمینی اغلب فرآیندی زمان‌بر و پرهزینه است که نیاز مبرم به نیروی انسانی متخصص دارد. اجرای آن همچنین در مناطق صعب‌العبور (مانند کوهستان‌های مرتفع) با چالش‌های عملیاتی مواجه بوده و تشدید خطاهای اندازه‌گیری در شرایط جوی نامساعد (مه غلیظ، بارش شدید، طوفان) از محدودیت‌های جدی این روش محسوب می‌شود.

۳-۱-۲- عکاسی هوایی

عکاسی هوایی به عنوان یکی از روش‌های سنتی و در عین حال پیشرفته در تولید اطلاعات مکانی سه‌بعدی، نقش محوری در تهیه اطلاعات دقیق از عوارض سطح زمین ایفا می‌کند. این فناوری با استفاده از دوربین‌های نصب‌شده بر روی هواپیماها یا پهپادهای مدرن، تصاویر با کیفیت بالا و پوشش کامل از مناطق مورد نظر را ثبت می‌نماید. اساس تولید داده‌های سه‌بعدی در عکاسی هوایی بر پایه اصول فتوگرامتری هوایی استوار است. در این روش، با ثبت تصاویر همپوشان از زوایای مختلف و پردازش آنها، امکان بازسازی سه‌بعدی دقیق عوارض فراهم می‌شود. مزیت اصلی عکاسی هوایی در تنوع مقیاس‌پذیری آن نهفته است. این روش قادر است از مقیاس‌های محلی یک ساختمان تا سطح یک شهر کامل را با دقت بالا پوشش دهد. امروزه با ظهور پهپادهای پیشرفته، عکاسی هوایی وارد مرحله جدیدی شده که امکان تصویربرداری با دقت بسیار بالا و هزینه به نسبت پایین را فراهم می‌سازد. داده‌های حاصل از عکاسی هوایی پس از پردازش، به محصولات مختلفی از جمله: ابر نقاط متراکم سه‌بعدی، مدل‌های رقمی سطح و ارتفاع، ارتوفتوهای دقیق و مدل‌های بافت‌دار سه‌بعدی تبدیل می‌شوند که هر یک در کاربردهای تخصصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. عکاسی هوایی با وجود ظهور فناوری‌های جدید، همچنان به عنوان یکی از ارکان اصلی تولید اطلاعات مکانی سه‌بعدی در پروژه‌های بزرگ ملی و بین‌المللی مورد استفاده قرار می‌گیرد. انعطاف‌پذیری، هزینه به نسبت مناسب و توانایی تولید خروجی‌های متنوع، این روش را به گزینه‌ای ایده‌آل برای تولید اطلاعات مکانی در بسیاری از کاربردهای عملی تبدیل کرده است.

۳-۱-۳- سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی^{۶۱} (GNSS/GPS)

سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی با بهره‌گیری از شبکه‌ای از ماهواره‌ها (شامل GPS، GLONASS، Galileo و BeiDou)، موقعیت‌یابی دقیق نقاط زمینی را در سه بعد امکان‌پذیر می‌سازند. عملکرد این سیستم مبتنی بر محاسبه فاصله زمانی بین ارسال و دریافت سیگنال‌های رادیویی از حداقل چهار ماهواره است که از طریق فرآیند تریلاتراسیون، مختصات مکانی (طول، عرض و ارتفاع) را با دقت متغیر محاسبه می‌کند. برای دستیابی به دقت‌های ممتاز (سانتیمتری تا میلی‌متری)، روش‌های پیشرفته‌ای چون RTK (تصحیح لحظه‌ای با ایستگاه پایه زمینی)، PPK (پردازش پس‌از عملیات) و DGNS (تفاضلی) به کار گرفته می‌شوند. مزیت‌های کلیدی GNSS شامل پوشش جهانی، سرعت بالای برداشت داده (هزاران نقطه در ساعت)، کاهش هزینه‌ها (حذف شبکه‌های زمینی

^{۶۱} Global Navigation Satellite System

گسترده) و یکپارچه‌سازی بی‌درنگ با سامانه‌های GIS است. با این وجود، محدودیت‌هایی چون کاهش دقت در محیط‌های مسدود (ساختمان‌های مرتفع، دره‌های عمیق، جنگل‌های انبوه)، خطاهای اتمسفری (تأثیر لایه‌های یونوسفر و تروپوسفر) و پدیده چندمسیری چالش‌های عملیاتی ایجاد می‌کنند. تحولات نوین از جمله گیرنده‌های چندفرکانسه (خنثی‌سازی خطاها با دریافت همزمان باندهای L1/L2/L5)، ادغام با سیستم‌های اینرسیال (ناوبری در فضاهای بسته) و سرویس‌های تصحیح ابری (دقت سانتیمتری بدون ایستگاه پایه) این محدودیت‌ها را به‌طور فزاینده‌ای مرتفع ساخته‌اند.

۳-۱-۴- سنجش از دور

سنجش از دور به عنوان یکی از روش‌های پیشرفته تولید اطلاعات مکانی سب‌بعدی، با بهره‌گیری از تصاویر چندطیفی و چندزمانه ماهواره‌ای، قابلیت ایجاد بازنمایی رقمی دقیق از عوارض سطح زمین را فراهم می‌سازد. این فناوری از طریق پردازش تصاویر استریوسکوپیک و تحلیل اختلاف منظر، امکان استخراج پارامترهای سب‌بعدی شامل موقعیت مکانی و ارتفاع عوارض را با دقت بالا ممکن می‌سازد. ماهواره‌های مجهز به سنجنده‌های پیشرفته با ثبت تصاویر از زوایای مختلف، داده‌های خام مورد نیاز برای بازسازی سب‌بعدی محیط را تهیه می‌کنند. این تصاویر در فرآیند پردازش تخصصی، به مدل‌های رقمی ارتفاعی تبدیل می‌شوند که بیانگر ویژگی‌های توپوگرافیک سطح زمین هستند. تکنیک‌های نوین مانند تداخل‌سنجی راداری، امکان پایش تغییرات ارتفاعی را نیز فراهم کرده‌اند. داده‌های تولید شده از طریق سنجش از دور، به عنوان ورودی اصلی در ساخت مدل‌های سب‌بعدی شهری، شبیه‌سازی محیطی و تحلیل‌های مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. قابلیت پوشش گسترده و به‌روزرسانی دوره‌ای این سیستم‌ها، آنها را به ابزاری استراتژیک در توسعه و نگهداری پایگاه‌های اطلاعات مکانی سب‌بعدی تبدیل کرده است. این ویژگی‌ها موجب شده سنجش از دور به عنوان یکی از ارکان اساسی در چرخه تولید اطلاعات مکانی سب‌بعدی شناخته شود.

۳-۱-۵- لیزر اسکنینگ

لیزر اسکنینگ به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های جمع‌آوری داده‌های سب‌بعدی، با استفاده از فناوری سنجش فاصله توسط نور لیزر، امکان ثبت دقیق و سریع عوارض و سطوح را در محیط‌های مختلف فراهم می‌آورد. این فناوری با انتشار پرتوهای لیزر و اندازه‌گیری زمان بازگشت آنها، میلیون‌ها نقطه را در فضای سب‌بعدی ثبت می‌نماید. این سیستم‌ها در دو نوع هوایی و زمینی توسعه یافته‌اند که هر کدام کاربردهای خاص خود را دارند. لیزر اسکنینگ هوایی که به‌طور عمده بر روی هواپیماها و پهپادها نصب می‌شود، قابلیت پوشش گسترده مناطق و ثبت داده‌های توپوگرافی با دقت بالا را دارا است. این روش به‌ویژه در نقشه‌برداری از مناطق وسیع و تهیه مدل‌های رقمی زمین کاربرد فراوانی دارد. در مقابل، لیزر اسکنینگ زمینی که بر روی پایه‌های ثابت نصب می‌شود، امکان ثبت جزئیات دقیق‌تر سطوح، سازه‌ها و فضاهای داخلی را فراهم می‌کند و برای مستندسازی آثار تاریخی، بازرسی تأسیسات صنعتی و مطالعات دقیق معماری بسیار مناسب است. از مهم‌ترین مزایای این فناوری می‌توان به دقت بسیار بالا، توانایی عملکرد در شرایط نوری مختلف، سرعت بالای جمع‌آوری داده‌ها و تولید خروجی به صورت ابر نقاط متراکم اشاره کرد. این ویژگی‌ها باعث شده است

لیزر اسکینینگ در حوزه‌های متنوعی از جمله تهیه مدل‌های سه‌بعدی شهری، پایش تغییرات سازه‌های مهندسی، مستندسازی میراث فرهنگی، مدیریت تأسیسات صنعتی و مطالعات زمین‌شناسی به کار گرفته شود. پس از جمع‌آوری داده‌های خام، فرآیند پردازش شامل مراحل مختلفی از جمله فیلتر نویز، ثبت نقاط، ایجاد سطوح و تولید مدل‌های نهایی انجام می‌پذیرد. خروجی این فرآیند می‌تواند به صورت ابر نقاط، مش سه‌بعدی یا مدل‌های پارامتریک ارائه شود که هر کدام در کاربردهای خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این قابلیت‌های منحصر به فرد، لیزر اسکینینگ را به یکی از ابزارهای ضروری در تولید اطلاعات مکانی سه بعدی تبدیل کرده است.

۳-۱-۶- اینترنت اشیا^{۶۲} (IoT)

اینترنت اشیا با ایجاد شبکه‌ای یکپارچه از حسگرهای هوشمند و سیستم‌های ارتباطی، رویکردی نوین در گردآوری داده‌های مکانی پویا و پیوسته ایجاد کرده است. هسته این رویکرد مبتنی بر استقرار گره‌های حسگر (نظیر GPS، شتاب‌سنج‌ها، سنسورهای محیطی) در عوارض فیزیکی است که به‌طور خودکار پارامترهای مکانی-زمانی را اندازه‌گیری و از طریق پروتکل‌های کم‌مصرف (مانند LoRaWAN یا NB-IoT) به پلتفرم‌های ابری^{۶۳} منتقل می‌کنند. این داده‌ها با تخصیص مختصات جغرافیایی به هر دستگاه، لایه‌های اطلاعاتی زنده‌ای خلق می‌نمایند که امکان رصد بلادرنگ محیط را فراهم می‌سازند. مزیت‌های کلیدی اینترنت اشیا در گردآوری داده‌های مکانی، اتوماسیون فرآیند برداشت، تولید جریان‌های داده‌ای با فرکانس بالا (ثانیه‌ای تا ساعتی) و پایش محیط‌های غیرقابل دسترس (مانند معادن یا مناطق آلوده) است. با این وجود، چالش‌هایی چون محدودیت انرژی حسگرهای میدانی، آسیب‌پذیری امنیتی در انتقال داده‌ها، پیچیدگی یکپارچه‌سازی داده‌های ناهمگن و مشکلات پوشش شبکه در مناطق کوهستانی وجود دارد. راهکارهای نوظهور مانند حسگرهای خودتأمین‌گر انرژی (خورشیدی/جنبشی)، پردازش لبه‌ای^{۶۴} برای تحلیل بلادرنگ در محل، فناوری بلاکچین^{۶۵} برای امنیت داده و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی الگوهای مکانی، این محدودیت‌ها را هدفمند مرتفع می‌سازند.

۳-۱-۷- جمع‌سپاری (Crowdsourcing)

جمع‌سپاری با بهره‌گیری از ظرفیت مشارکت عمومی، انقلابی در تولید داده‌های مکانی مقیاس کلان ایجاد کرده است. این روش مبتنی بر گردآوری داوطلبانه یا نیمه‌داوطلبانه اطلاعات مکانی توسط کاربران عادی (از طریق پلتفرم‌های دیجیتال نظیر OpenStreetMap یا اپلیکیشن‌های تخصصی) است که با تبدیل افراد به حسگرهای انسانی مجهز به دستگاه‌های همراه، لایه‌های اطلاعاتی پویا و کم‌هزینه تولید می‌کند. مکانیزم اجرایی آن شامل طراحی پلتفرم‌های مشارکت‌محور، ایجاد انگیزه‌های داوطلبانه/رقابتی و اعتبارسنجی داده‌ها از طریق الگوریتم‌های هوشمند یا تأیید جمعی است. مزیت‌های کلیدی آن مقیاس‌پذیری بی‌نظیر، کاهش

^{۶۲} Internet of Things

^{۶۳} Cloud platforms

^{۶۴} Edge Computing

^{۶۵} Blockchain

چشمگیر هزینه‌ها نسبت به روش‌های سنتی و تولید داده‌های به‌روز با دانش محلی است. با این حال، چالش‌های اساسی مانند تضمین کیفیت داده (ناشی از تنوع مهارت کاربران)، سوگیری مکانی (تمرکز داده‌ها در مناطق شهری) و ابهامات حقوقی (مالکیت داده و حریم خصوصی) نیازمند راهکارهای هدفمند است.

۳-۲- استانداردهای کیفیت داده‌ها

کیفیت داده‌های مکانی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مسایل مربوط به داده‌ها که تعیین‌کننده امکان بکارگیری آن برای کاربردی خاص بوده، مورد بررسی قرار می‌گیرد. ISO 19157 (۲۰۱۳) کیفیت داده‌های مکانی را در دودسته درون‌خیز^{۶۶} و برون‌خیز^{۶۷} طبقه‌بندی کرده است. دسته درون‌خیز به ویژگی‌های درونی اطلاعات همانند دقت مکانی مربوط شده درحالی‌که دسته دوم به «برازندگی استفاده^{۶۸}» ارجاع می‌شود. کیفیت درون‌خیز سطح تطابق داده تولیدشده و داده‌ای که می‌باید تولید شود را بیان می‌کند. کیفیت درون‌خیز با استفاده از شاخص^{۶۹} یا معیارهای کیفیت توصیف می‌گردد. درواقع معیارهای کیفیت، یک مؤلفه برای توصیف جنبه مشخصی از کیفیت داده‌های مکانی است که به گروه‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند. ISO/TC 211:19157، اصولی را برای توصیف کیفیت داده‌های مکانی تدوین کرده که کیفیت داده‌های مکانی را با استفاده از پنج عنصر زیر بررسی می‌کند:

- کامل بودن^{۷۰}: نشان‌دهنده وجود و عدم وجود عوارض، اطلاعات توصیفی و روابط آن‌ها است؛
- سازگاری منطقی^{۷۱}: نشان‌دهنده میزان مطابقت با قوانین منطقی ساختار داده‌ها، اطلاعات توصیفی و روابط است؛
- دقت موقعیت^{۷۲}: نشان‌دهنده دقت موقعیت عوارض مکانی است؛
- دقت زمانی^{۷۳}: نشان‌دهنده دقت روابط و توصیف زمانی عوارض است؛
- دقت موضوعی^{۷۴}: نشان‌دهنده توصیف کمی و غیرکمی و طبقه‌بندی و روابط عوارض است.

کیفیت برون‌خیز بیانگر میزان مطابقت میان داده تولید شده و نیاز کاربر و یا انتظار کاربر از داده، در شرایط مورد نظر می‌باشد. کیفیت خارجی یک مقدار مطلق نبوده و بسته به شرایط استفاده تعیین می‌شود. مفهوم مذکور بیانگر کیفیت مناسب داده برای یک کاربرد و عدم کیفیت کافی برای کاربرد دیگر است. بنابراین مسأله کیفیت به‌صورت نسبی و از کاربردی به کاربرد دیگر تغییرپذیر است. پیشنهاد می‌شود برای پروژه‌های GIS دولتی و یا در سطح ملی از استاندارد ISO/TC 211:19157 برای کیفیت استفاده شود.

کنترل کیفیت و ارزیابی داده‌ها در پروژه‌های مردم‌گستر مرتبط با داده‌های مکانی، به دلیل ماهیت پیچیده داده‌های مکانی و

^{۶۶} Intrinsic

^{۶۷} Extrinsic

^{۶۸} Fitness For Use

^{۶۹} Indicator

^{۷۰} Completeness

^{۷۱} Logic Consistency

^{۷۲} Positional Accuracy

^{۷۳} Temporal Accuracy

^{۷۴} Thematic Accuracy

محیط‌های مرتبط با این داده‌ها، به طور معمول توسط هیچ مرجع رسمی و قانونی و یا حتی خود محیط اطلاعاتی مردم‌گستر انجام نمی‌گیرد. همانطور که پیش‌تر بیان شد، برآورد کیفیت داده‌های مکانی، یکی از موارد ضروری قبل از استفاده از آن، می‌باشد. به صورت مشابه، اطلاع از کیفیت داده‌های مکانی مردم‌گستر برای کسانی که می‌خواهند از این داده‌ها در موارد علمی و یا تصمیم‌گیری استفاده کنند، یک ضرورت محسوب می‌شود. با این حال، تجزیه و تحلیل جامع و نظام‌مند بر روی کیفیت این داده‌ها وجود نداشته است. بر مبنای همین اصل، **جدول ۲** برای استفاده از داده‌های مردم‌گستر و محیط‌های جمع‌سپاری مکانی توصیه می‌شود.

جدول ۲ - معیارها، زیرمعیارها و روش ارزیابی آن‌ها

معیارهای کیفیت	زیرمعیارهای کیفیت	روش ارزیابی
کامل بودن	خطای مازاد	مقایسه تعداد آیتم‌های مجموعه داده جمع‌آوری شده با تعداد آیتم‌ها در مجموعه مرجع
	خطای حذف	
سازگاری منطقی	سازگاری مفهومی	شمارش تعداد عوارض و روابطی که شمای مفهومی را نقض کند
	سازگاری فرمت	مقایسه ساختار ثبت‌شده برای همه موارد با تعریف صحیح
	سازگاری توپولوژی	واپایی محدوده‌ها از نظر بهم‌رسیدگی و تکرار، شمارش تعداد تعارض‌ها
دقت هندسی	دقت مطلق	محاسبه خطای مطلق/نسبی فاصله برای هر نقطه از طریق مقایسه مقادیر مختصات مطلق/نسبی هر نقطه در دو مجموعه جمع‌سپرده و مرجع، محاسبه جذر میانگین مربعات از خطای فاصله
	دقت نسبی	
دقت زمانی	دقت اندازه‌گیری زمانی	اندازه‌گیری تفاوت بین وقوع در دو مجموعه داده جمع‌سپرده و مرجع، محاسبه جذر میانگین مربعات از تفاوت زمانی
	اعتبار زمانی	بررسی و تأیید صحیح بودن زمان اکتساب
	سازگاری زمانی	تأیید ترتیب زمانی
دقت داده توصیفی	صحت طبقه‌بندی	مقایسه طبقه‌بندی آیتم با طبقه صحیح
	صحت توصیفات غیر کمی	مقایسه توصیفات غیر کمی با کل مجموعه
	صحت توصیفات کمی	اندازه‌گیری تفاوت بین توصیفات کمی نسبت به کل مجموعه، محاسبه جذر میانگین مربعات از تفاوت

۴- آماده‌سازی داده‌های مکانی

۴-۱- آماده‌سازی داده‌های برداری و حذف خطاهای توپولوژیکی

آماده‌سازی، ویرایش اطلاعات مکانی و حذف خطاهای توپولوژیکی برای ورود به پایگاه داده مانند کنترل عوارض، صحت ارتباط آنها، حذف عوارض تکراری، حذف خطاهای ظاهری در فایل رقمی و برقراری پیوستگی عوارض انجام می‌شود. این فرآیند به بهبود کیفیت داده‌ها و کاهش خطاهای احتمالی در تحلیل‌های مکانی کمک می‌کند. در این راستا، عملیات پاکسازی داده‌ها^{۷۵} شامل کلیه فعالیت‌هایی است که روی عوارض فایل رقمی انجام می‌شود تا امکان انجام تحلیل‌های مکانی فراهم گردد و نتایج دقیق و معتبری به دست آید. پاکسازی داده‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شود: (۱) عملیات روی عوارض موجود در یک لایه اطلاعاتی و (۲) عملیات روی عوارض موجود در لایه‌های اطلاعاتی مختلف. مراحل مختلف پاکسازی داده‌های دوبعدی در **جدول ۳** قرار گرفته است.

جدول ۳- مراحل پاکسازی داده‌های مکانی

شماره	مرحله	توضیحات
۱	ایجاد گره (Node Creation)	ایجاد گره در محل تقاطع المان‌های خطی برای جلوگیری از خطاهای گرافیکی.
۲	اصلاح ردشدگی و نرسیدگی (Over/Under Shoot) (Correction)	رفع عدم انطباق دقیق خطوط در محل برخورد با استفاده از ابزارهایی مانند Snap.
۳	رفع Pseudo Nodes یا Unsplit کردن قطعه خطوط به هم متصل	حذف گره‌های اضافی و ایجاد خطوط یکپارچه.
۴	اصلاح خطوط خود متقاطع (Self-Intersections) (Correction)	شناسایی و رفع تقاطع‌های نادرست خطوط با خودشان.
۵	حذف خطوط کوچک اضافی (Remove Small) (Extraneous Lines)	حذف خطوط کوچک و ناخواسته برای بهبود ویرایش خطوط اصلی.
۶	حذف Gap و Sliver	رفع خطاهای ناشی از عدم تطابق دقیق مرزهای پلی‌گون‌ها.
۷	رفع پلی‌گون‌های زائد (Remove Redundant) (Polygons)	شناسایی و حذف پلی‌گون‌های زائد با مساحت نزدیک به صفر.
۸	رفع خطوط تکراری یا همپوشان (Duplicate/Overlapping Lines Correction)	رفع خطوط تکراری و همپوشان برای بهبود دقت نقشه.

^{۷۵} Data Cleaning

۹	کنترل یکپارچگی عوارض و انطباق لبه‌ها در فایل‌های مجاور (Edge Matching)	بررسی و تطبیق لبه‌های فایل‌های مجاور برای جلوگیری از خطا در پایگاه داده یکپارچه.
۱۰	تشکیل پلی‌گون‌های جزیره‌ای (Island Polygons) (Creation)	شناسایی و اصلاح پلی‌گون‌های داخلی که به صورت جزیره‌ای قرار گرفته‌اند.
۱۱	حذف همپوشانی در سطح یک لایه (Remove Self) (Overlap)	رفع همپوشانی پلی‌گون‌های موجود در یک لایه.
۱۲	حذف همپوشانی در سطح چند لایه (Remove) (Multi-Layer Overlap)	رفع همپوشانی پلی‌گون‌های موجود در لایه‌های مختلف.
۱۳	قرار گرفتن عوارض نقطه‌ای در داخل پلی‌گون (Ensure Points Inside Polygons)	اطمینان از قرار گرفتن صحیح عوارض نقطه‌ای داخل پلی‌گون‌ها.
۱۴	انطباق عوارض نقطه‌ای بر نقاط انتهایی عوارض خطی (Snap Points to End Points)	انطباق عوارض نقطه‌ای بر نقاط انتهایی عوارض خطی برای دقت بیشتر.

در محیط‌های سه‌بعدی، خطاهای توپولوژیکی می‌توانند منجر به مشکلاتی مانند شکاف‌ها (Gaps)، همپوشانی‌های ناخواسته (Overlaps)، یا عدم انطباق صحیح سطوح شوند. این خطاها بر دقت تحلیل‌های فضایی و نمایش بصری داده‌ها تأثیر منفی می‌گذارند. در ادامه، روش‌های شناسایی و اصلاح خطاها و قواعد رایج توپولوژیکی در داده‌های سه‌بعدی ارائه می‌شود:

۴-۱-۱- قواعد توپولوژی سه‌بعدی برای عوارض مکانی

توپولوژی سه‌بعدی به روابط مکانی بین عوارض (مانند اتصال، همجواری و محصورشدگی) در فضای سه‌بعدی اشاره دارد. این قواعد برای اطمینان از سازگاری، دقت و یکپارچگی داده‌های مکانی ضروری هستند. در ادامه، قواعد توپولوژیکی بر اساس نوع عارضه (نقطه‌ای، خطی، سطحی و حجمی) با جزئیات فنی بیان می‌شود. لازم به ذکر است این قواعد بر اساس استانداردهای بین‌المللی (مانند ISO و CityGML) و تجربه‌های عملی در GIS سه‌بعدی تنظیم شده‌اند.

• قواعد توپولوژیکی برای عوارض نقطه‌ای

۱. عدم تداخل در مختصات سه بعدی^{۷۶}

این قاعده الزام می‌کند که دو نقطه مجزا در فضای سه‌بعدی نمی‌توانند مختصات هندسی یکسانی (مقادیر مشترک X، Y و Z)

^{۷۶} 3D Non-Overlap

داشته باشند، مگر در موارد استثنایی که توجیه فنی مشخصی وجود داشته باشد. علت این محدودیت، جلوگیری از ابهام در شناسایی عوارض، تحلیل‌های مکانی (مانند محاسبه فاصله یا همپوشانی) و صحت نمایش گرافیکی است. برای مثال، در مدلسازی شهری، دو چراغ راهنمایی مستقر بر روی یک دکل در ارتفاع مشترک (با مختصات X,Y,Z یکسان) نقض این قاعده محسوب می‌شود، چرا که وجود دو شیء مستقل در یک موقعیت مشابه، موجب تداخل مفهومی و عملیاتی می‌گردد. تنها استثناهای مجاز، مواردی مانند نقاط مشترک در شبکه‌های زیرساختی (مثل اتصالات لوله‌های آب در یک تقاطع سه‌بعدی) هستند که به‌طور عمدی با مختصات یکسان طراحی می‌شوند و نیازمند ثبت شناسه‌های منحصربه‌فرد برای تفکیک پذیری هستند (شکل ۳-الف).

۲. قرارگیری نقطه درون حجم^{۷۷}

این قاعده الزام می‌کند که هر نقطه‌ای مرتبط با یک حجم سه‌بعدی (مانند ساختمان، مخزن یا اتاق) باید در فضای داخلی آن حجم قرار گیرد و نه خارج از مرزهای آن یا روی سطح خارجی. هدف اصلی، حفظ انسجام مفهومی و عملیاتی داده‌ها است تا اطمینان حاصل شود که عوارض نقطه‌ای (مثل تجهیزات، حسگرها یا نقاط دسترسی) به‌درستی به فضای حجمی والد خود تعلق دارند. برای مثال، در مدل‌سازی یک ساختمان اداری، یک دستگاه اعلام حریق نصب‌شده در داخل اتاق تنها زمانی قاعده را رعایت می‌کند که مختصات X,Y,Z آن درون مرزهای بسته‌ی حجمی آن اتاق قرار گرفته باشد. استثناهای مجاز شامل نقاطی است که به‌طور عمدی روی مرز مشترک دو حجم تعریف می‌شوند (مثل شیرآلات میان‌طبقه‌ای) که نیازمند تعریف روابط توپولوژیک خاص هستند (شکل ۳-ب).

۳. اتصال نقطه به خط یا سطح^{۷۸}

این قاعده الزام می‌کند که نقاطی که نقش اتصالات (نظیر شیرهای آب، اتصالات الکتریکی یا نقاط اتصال شبکه) را ایفا می‌کنند، باید به صورت فضایی و مفهومی به حداقل یک خط (مانند لوله‌ها) یا سطح (مثل صفحات نصب) در فضای سه‌بعدی متصل باشند. هدف اصلی جلوگیری از ایجاد داده‌های معلق^{۷۹} است که انسجام شبکه‌های زیرساختی (آب، برق، گاز) را مختل می‌کنند. به طور مثال مختصات یک شیر فلکه آب تنها زمانی معتبر است که نقطه نمایش‌دهنده آن به طور مستقیم به خط لوله آبرسانی متصل باشد. اگر این نقطه حتی با فاصله اندکی از خط لوله قرار گیرد (عدم اتصال توپولوژیک)، موجب خطا در شبیه‌سازی جریان آب، محاسبه فشار یا شناسایی محل نشت می‌شود. استثنای مجاز این قاعده، نقاط انتهایی عمدی (مثل شیرهای انتهایی خط) هستند که باید با روابط توپولوژیک ویژه (مانند نقطه انتهایی^{۸۰}) تعریف شوند (شکل ۳-ج).

^{۷۷} Point Inside Volume

^{۷۸} Point Connected to Line/Surface

^{۷۹} Orphaned Points

^{۸۰} End Point

۴. رعایت فاصله عمودی از سطوح^{۸۱}

این قاعده الزام می‌کند که هر نقطه در فضای سه‌بعدی حداقل فاصله عمودی تعریف‌شده را از سطوح یا حجم‌های مجاور حفظ کند تا امنیت فیزیکی، کارکرد بهینه تجهیزات و پیشگیری از تداخل فضایی تضمین شود. برای مثال، مختصات یک چراغ راهنمایی معلق در خیابان تنها زمانی معتبر است که نقطه پایینی آن حداقل ۴/۵ متر با سطح زمین فاصله عمودی داشته باشد. نقض این فاصله (به طور مثال کاهش به ۳ متر) موجب خطر برخورد وسایل نقلیه بلندقد، نقض استانداردهای ترافیکی و اختلال در دید رانندگان می‌گردد. استثنای مجاز شامل تجهیزات ثابت در محیط‌های کنترل‌شده (مانند چراغ‌های کارخانه‌ای با ارتفاع ۲ متر) یا نقاط عمده کف‌نشین (مثل حسگرهای کف استخر) است (شکل ۳-د).

۵. تعلق نقطه به لایه ارتفاعی مشخص^{۸۲}

این قاعده الزام می‌کند که مقدار ارتفاعی (Z) هر نقطه باید منطبق بر لایه ارتفاعی تعریف‌شده برای کارکرد آن عارضه باشد تا انسجام معنایی و عملیاتی مدل سه‌بعدی حفظ گردد. برای مثال، یک شیر کنترل فاضلاب زیرزمینی باید در مختصات Z منفی (مثلاً ۲- متر) قرار گیرد، نه در ارتفاع مثبت یا صفر؛ چرا که نقض این قاعده (مانند تعریف شیر در ارتفاع ۵+ متر) موجب خطاهای تحلیلی فاحشی از قبیل تداخل در شبیه‌سازی جریان فاضلاب، محاسبات نادرست عمق نصب و اختلال در برنامه‌ریزی پروژه‌های حفاری می‌شود. استثنای مجاز شامل نقاط واقع در مرز لایه‌های ارتفاعی (نظیر پله‌های برقی بین طبقات) یا نقاط با ارتفاع پویا (مانند شناورهای اندازه‌گیری سطح آب) است که نیازمند تعریف روابط توپولوژیک ویژه یا بازه‌های ارتفاعی هستند (شکل ۳-ه).

۶. عدم تجمع نقاط در فضای سه‌بعدی^{۸۳}

این قاعده الزام می‌کند که نقاط هم‌نوع با ویژگی‌های مشابه (مانند تجهیزات شهری یا عناصر طبیعی) نباید در فاصله‌ای نزدیک‌تر از حد آستانه تعیین‌شده در سه بُعد قرار گیرند تا از تداخل مفهومی، خطاهای تحلیلی و نادرستی نمایش بصری جلوگیری شود. برای مثال، در مدل‌سازی فضای سبز شهری، چندین پایه چراغ روشنایی در یک تقاطع تنها زمانی معتبر هستند که فاصله افقی و عمودی آن‌ها حداقل ۵ متر باشد. پیامدهای نقض شامل تولید داده‌های تکراری، خطا در محاسبات تراکم (مثل شمارش نادرست تجهیزات) و تداخل در شبیه‌سازی‌های فضایی (پرتوافشانی چراغ‌ها) است. استثنای مجاز، خوشه‌های عمده (مثل گروه درختان در پارک) است که باید با فراداده ویژه علامت‌گذاری شوند (شکل ۳-و).

۷. نقاط به عنوان گره‌های شبکه^{۸۴}

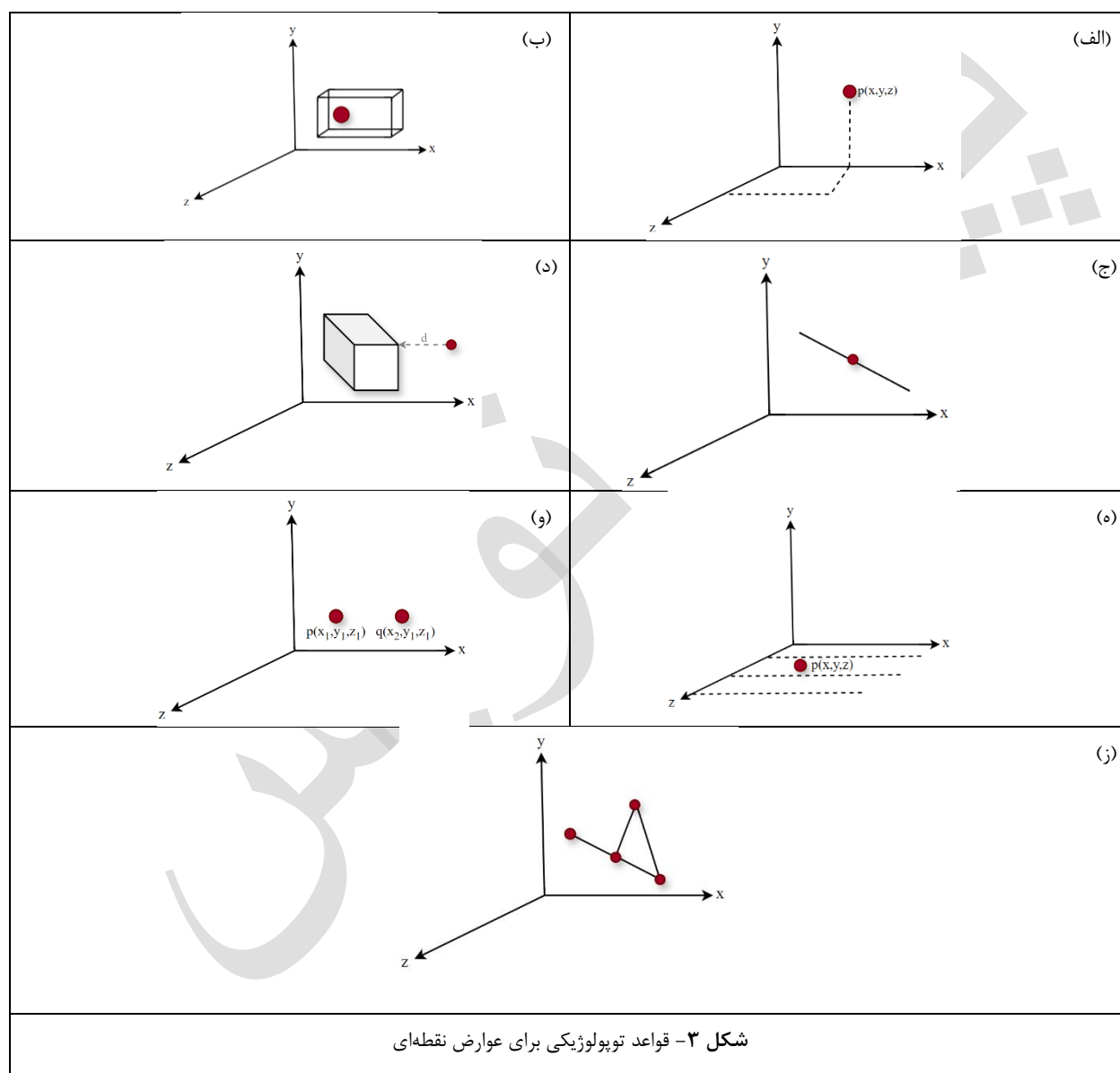
^{۸۱} Vertical Clearance

^{۸۲} Elevation Layer Compliance

^{۸۳} 3D No Clustering

^{۸۴} Points as Network Nodes

این قاعده الزام می‌کند که نقاطی که نقش گره اتصال در شبکه‌های سه‌بعدی را ایفا می‌کنند، باید دو شرط اساسی را همزمان دارا باشند: اتصال توپولوژیک کامل به تمام خطوط مرتبط و موقعیت فضایی دقیق در محل تقاطع یا انتهای خطوط. برای مثال، یک شیر قطع‌کننده آب در سیستم لوله‌کشی شهری تنها زمانی معتبر است که نقطه آن در محل تلاقی دو لوله قرار گرفته و به‌صورت توپولوژیکی به هر دو لوله متصل باشد. استثناهای مجاز شامل گره‌های انتهایی (اتصال تنها به یک خط) و اتصالات انعطاف‌پذیر (مانند اتصالات کشویی) است (شکل ۳-ز).



• قواعد توپولوژیکی برای عوارض خطی^{۸۵}

۱. عدم تقاطع خطوط در ارتفاع یکسان^{۸۶}

این قاعده الزام می‌کند که اگر دو خط در ارتفاع عمودی یکسان (مقدار Z مشترک) یکدیگر را قطع کنند، باید در نقطه تقاطع دارای یک گره مشترک باشند تا از تداخل مفهومی و خطاهای عملیاتی جلوگیری شود. برای مثال، در پروژه‌های زیرزمینی شهری، عبور یک لوله فاضلاب و کابل فشارقوی برق هر دو در عمق دقیق ۲- متری از زیر تقاطع خیابان بدون تعریف گره مشترک در نقطه تلاقی، نقض این قاعده محسوب می‌شود. پیامدهای چنین نقضی شامل خطرات ایمنی جدی، اختلال در شبیه‌سازی جریان و نمایش غیرواقعی عبور خطوط از هم بدون اتصال عملکردی است. تنها استثنای مجاز، خطوط با جدایی فیزیکی عمدی (مثل کابل‌های محصور در داکت) یا اختلاف ارتفاع عمودی هستند (شکل ۴-الف).

۲. اتصال خطوط به گره‌ها در فضای سه‌بعدی^{۸۷}

این قاعده الزام می‌کند که انتهای هر خط باید در مختصات سه‌بعدی یکسان (X,Y,Z) به یک گره متصل شود. برای مثال، اتصال لوله آب به شیر قطع‌کننده زیرزمینی تنها زمانی معتبر است که مختصات انتهای لوله با مختصات گره شیر منطبق باشد. هرگونه اختلاف یا فاصله افقی، پیامدهای شدیدی دارد. تنها استثنای مجاز، اتصالات انعطاف‌پذیر و خطوط موقت هستند (شکل ۴-ب).

۳. خطوط درون حجم^{۸۸}

این قاعده الزام می‌کند که هر خط باید کاملاً در فضای داخلی یک حجم بسته سه‌بعدی قرار گیرد، به‌طوری که هیچ بخشی از خط خارج از مرزهای حجم نباشد. هدف اصلی حفظ صحت فیزیکی مدل‌سازی و پیشگیری از خطرات عملیاتی است. برای مثال، کابل‌های برق جاسازی‌شده در دیوار یک ساختمان باید تمام نقاطشان درون حجم مستطیلی دیوار قرار گیرد. اگر بخشی از کابل از این حجم خارج شود، پیامدهای شدیدی شامل خطر برق‌گرفتگی حین حفاری دیوار، نمایش غیرواقعی کابل‌های شناور در نماهای سه‌بعدی و محاسبه نادرست مصالح ساختمانی رخ می‌دهد. تنها استثنای مجاز، خطوطی هستند که عمداً از چند حجم عبور می‌کنند (مانند کابل گذرنده از دیوار به سقف) که در محل تقاطع نیازمند گره مشترک هستند (شکل ۴-ج).

۴. عدم خودتقاطع خطوط^{۸۹}

این قاعده الزام می‌کند که یک خط در فضای سه‌بعدی نباید هیچ بخشی از خود را قطع کند یا حلقه‌های ناخواسته ایجاد نماید،

^{۸۵} Line Features

^{۸۶} 3D No Intersection at Same Elevation

^{۸۷} 3D Connectivity at Nodes

^{۸۸} Line Must Be Inside Volume

^{۸۹} No Self-Intersection

مگر به‌طور عمدی و با تعریف گره اتصال ویژه. هدف اصلی جلوگیری از ابهام در مسیریابی، خطاهای محاسبات جریان و تخریب بصری مدل‌ها است. برای مثال، یک لوله‌کشی آب در ساختمان چندطبقه که برای دور زدن ستون‌ها طراحی می‌شود، اگر در مسیر خود (بدون گره اتصال) از گره‌ای عبور کرده و سپس به اشتباه به آن بازگردد، یک خودتقاطع ایجاد می‌کند که پیامدهای شدیدی از جمله تشکیل حلقه بسته ناخواسته و اختلال در محاسبه فشار آب، نمایش مسیرهای اشتباه در نقشه‌های اجرایی، و شکست در ایزوله کردن بخشی از شبکه هنگام تعمیرات را دارد. استثنای مجاز، خطوطی هستند که عمداً به شکل حلقه (مانند سیستم‌های گردش آب گرم) طراحی می‌شوند، مشروط به تعریف گره شروع/پایان مشترک (شکل ۴-د).

۵. رعایت فاصله عمودی از سطوح^{۹۰}

این قاعده الزام می‌کند که خطوط هوایی یا معلق باید حداقل فاصله عمودی تعریف‌شده را از سطوح زیرین در تمام طول مسیر حفظ کنند تا امنیت عمومی، پیشگیری از خسارات زیرساختی و رعایت استانداردهای صنعتی تضمین شود. برای مثال، کابل‌های فشارقوی برق در یک خیابان شهری باید در تمام نقاط حداقل ۵ متر از بالاترین نقطه سقف ساختمان‌های مجاور و حداقل ۶ متر از سطح زمین فاصله داشته باشند. کاهش این فاصله پیامدهای شدیدی به دنبال دارد: خطر برق‌گرفتگی برای عملیات ساختمانی یا آتش‌نشانی، خرابی تجهیزات در طوفان‌ها بر اثر برخورد شاخه درختان و تخلف از استانداردهای ایمنی. استثنای مجاز شامل عبور موقت با ارتفاع کاهش‌یافته و مناطق با محدودیت فضایی ویژه (مثل تونل‌های شهری با فاصله ۳/۵ متری) است (شکل ۴-ه).

۶. توالی ارتفاعی منطقی^{۹۱}

این قاعده الزام می‌کند که خطوط زیرساختی زیرزمینی باید بر اساس سلسله مراتب عمقی استاندارد در لایه‌های مشخص قرار گیرند تا از تداخل فیزیکی، خطرات ایمنی و اختلال در تعمیرات جلوگیری شود. برای مثال، در حفاری خیابان شهری، لوله گاز باید در عمق ۰/۸ متری و لوله فاضلاب در عمق ۱/۵ متری قرار گیرد. اگر این ترتیب معکوس شود پیامدهایی از جمله خطر انفجار ناشی از نشت گاز به‌درون لوله فاضلاب ترک‌خورده و دشواری دسترسی به لوله گاز در تعمیرات اضطراری رخ می‌دهد. استثنای مجاز شامل مناطق با بستر سنگی سخت و تقاطع‌های برنامه‌ریزی‌شده است (شکل ۴-و).

۷. پیوستگی توپولوژیک^{۹۲}

این قاعده بر لزوم یکپارچگی ساختاری عوارض خطی در فضای سه‌بعدی تأکید دارد. بدین معنا که هر عارضه خطی باید بدون هرگونه شکاف، گسستگی ناگهانی، یا نقاط انفصال در طول مسیر خود تعریف شود تا اتصال و تداوم فیزیکی آن حفظ گردد. این پیوستگی تضمین می‌کند که جریان حرکت یا داده در امتداد عارضه به‌طور مداوم و بدون وقفه‌های غیرمنطقی امکان‌پذیر باشد.

^{۹۰} Vertical Clearance

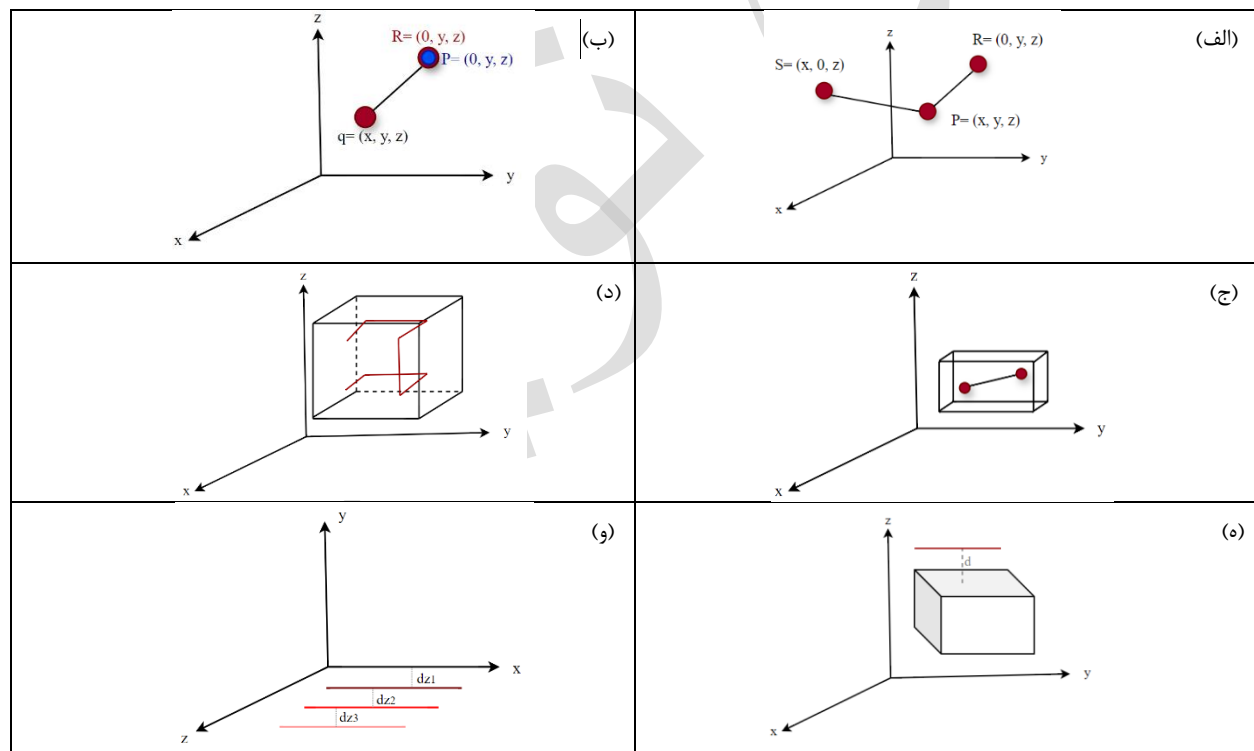
^{۹۱} Logical Vertical Ordering

^{۹۲} Topological Continuity

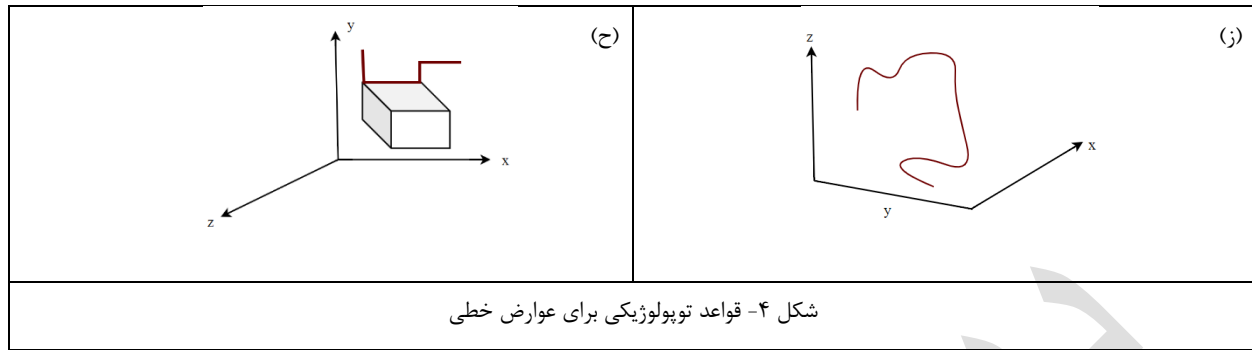
به‌عنوان نمونه، یک خط مترو در نقشه‌های شهری تنها زمانی از این قاعده تبعیت می‌کند که مسیر آن بین ایستگاه‌های متوالی (مثلاً از ایستگاه "الف" تا "ب" و سپس تا "ج") به‌صورت یک منحنی یا خط پیوسته نمایش داده شود و هیچ قطعی ناموجهی در تونل یا ریل‌ها وجود نداشته باشد (شکل ۴-ز).

۸. اتصال خطوط به سطوح/حجم‌ها^{۹۳}

این قاعده الزام می‌کند که عوارض خطی در انتها یا نقاط خاصی از مسیر خود، به‌طور دقیق و بدون فاصله به عوارض سطحی یا حجمی مرتبط متصل شوند تا پیوند فیزیکی و کارکردی بین آن‌ها در فضای سه‌بعدی به‌درستی بازنمایی گردد. این اتصال برای تضمین یکپارچگی شبکه‌ها و سیستم‌های شهری ضروری است. به‌طور مثال، یک خط لوله آب در مدل‌سازی شهری باید در نقطه‌ای مشخص (مانند محل نصب شیر یا فلنج) به دیواره مخزن ذخیره آب چسبیده باشد و هیچ فاصله یا انفصالی بین انتهای لوله و سطح مخزن وجود نداشته باشد (شکل ۴-ح).



^{۹۳} Line-Surface/Volume Attachment



• قواعد توپولوژیکی برای عوارض سطحی^{۹۴}

۱. سطوح بسته^{۹۵}

این قاعده بیانگر این اصل است که عوارض سطحی در مدل‌های سه‌بعدی، به‌ویژه آن‌هایی که نمایانگر مرزهای فیزیکی هستند، باید به‌طور کامل فضایی محدود و بدون منفذ را تعریف کنند تا یک حجم معین را به‌درستی محصور نمایند. این بدان معنا است که هر سطح باید مجموعه‌ای پیوسته و بدون هیچ شکاف، درز یا ناپیوستگی بین عناصر تشکیل‌دهنده‌اش باشد تا مرز بسته ایجاد کند. به‌عنوان مثال، یک ساختمان از نظر توپولوژیکی تنها زمانی به‌درستی مدل شده است که ترکیب تمام اجزای پوسته آن، شامل دیوارهای جانبی، سقف و کف، یک حجم بسته را تشکیل دهد، به‌طوری‌که هیچ فاصله‌ای بین صفحات دیوارها، محل اتصال دیوار به سقف یا درزهای کف وجود نداشته باشد (شکل ۵-الف).

۲. عدم همپوشانی سطوح^{۹۶}

این قاعده تأکید می‌کند که سطوح مجاور یا متداخل در فضای سه‌بعدی باید به‌گونه‌ای مدل شوند که هیچ گونه اشتراک فضایی یا تداخل هندسی بین آن‌ها وجود نداشته باشد؛ به‌عبارت دیگر، هر نقطه از فضای سه‌بعدی تنها می‌تواند متعلق به یک سطح واحد باشد مگر در موارد اتصال عمودی (مانند محل تقاطع). این اصل برای حفظ یکپارچگی هندسی و جلوگیری از ابهام در تفسیر مرزهای فیزیکی ضروری است. به‌عنوان مثال در مدل‌سازی شهری، سقف یک واحد در ساختمان و کف واحد بالایی آن باید کاملاً مجزا و بدون هرگونه همپوشانی در صفحه افقی تعریف شوند، به‌طوری‌که حتی کوچک‌ترین ناحیه‌ای از فضای میانی (مثلاً ارتفاع بین طبقات) مشترکاً به هر دو سطح نسبت داده نشود (شکل ۵-ب).

۳. جهت‌گیری صحیح سطح^{۹۷}

^{۹۴} Surface Features

^{۹۵} Closed Surfaces

^{۹۶} No Overlapping Surfaces

^{۹۷} Correct Surface Orientation

این قاعده بر لزوم تعیین بردار نرمال هر سطح در مدل‌های سه‌بعدی مطابق با جهت‌گیری فیزیکی آن در دنیای واقعی تأکید دارد. این بدان معنا است که هر سطح باید دارای یک نرمال بیرونی (روبه‌جلو) مشخص باشد که سمت "خارج" یا "جلو"ی آن عنصر را نسبت به حجم محصورشده یا جهت کارکردی تعریف کند. به‌عنوان مثال، دیوارهای خارجی یک ساختمان باید نرمال‌هایشان به‌طور یکنواخت به سمت بیرون از فضای داخلی (یعنی به سمت خیابان، حیاط یا فضای عمومی) جهت‌گیری شده باشد، نه به سمت داخل (شکل ۵-ج).

۴. اتصال سطوح به حجم‌ها^{۹۸}

این قاعده الزام می‌کند که هر سطح در مدل‌های سه‌بعدی باید به‌طور توپولوژیک به حجم مرتبط خود متصل و جزئی جدایی‌ناپذیر از ساختار آن باشد؛ به عبارت دیگر، هیچ سطحی نباید به صورت شیئی مستقل و بدون پیوند هندسی با حجم مادر مدل شود. این پیوند تضمین می‌کند که رابطه "مرز-محتوا" بین سطح و حجم در فضای سه‌بعدی حفظ گردد. به عنوان مثال، دیوارها، سقف و کف یک ساختمان باید به‌طور دقیق به حجم اصلی ساختمان چسبیده باشند، به طوری که مثلاً دیوار شمالی نه تنها از نظر مکانی در مجاورت حجم قرار گیرد، بلکه لبه‌های آن کاملاً با لبه‌های حجم منطبق بوده و هیچ فاصله‌ای بین صفحه دیوار و مرز حجم وجود نداشته باشد (شکل ۵-د).

۵. سطوح بدون حفره^{۹۹}

این قاعده تأکید می‌کند که سطوح باید به‌طور کامل یکپارچه و عاری از هرگونه شکاف، سوراخ یا ناپیوستگی در ساختار خود باشند تا یکپارچگی فیزیکی و کارایی عملیاتی آن‌ها در فضای سه‌بعدی حفظ شود. این بدان معنا است که هر سطح باید به عنوان یک کل پیوسته مدل شود، به طوری که حتی کوچک‌ترین اختلال در تداوم هندسی آن قابل‌پذیرش نباشد. به عنوان مثال، سطح یک پل باید بدون هرگونه شکاف یا حفره‌ی ناموجه در مسیر عبوری آن تعریف گردد تا اطمینان حاصل شود که تمامی بخش‌های سازه به صورت ایمن و یکدست به هم پیوسته‌اند (شکل ۵-ه).

۶. رعایت ارتفاع منطقی^{۱۰۰}

این قاعده الزام می‌کند که موقعیت عمودی سطوح در مدل‌های سه‌بعدی نسبت به عوارض پیرامون و کارکرد واقعی آن‌ها، در ارتفاعی صحیح و عقلانی تعیین شود تا انطباق با شرایط فیزیکی دنیای واقعی حفظ گردد. این بدان معنا است که هر سطح باید با توجه به نقش سازه‌ای یا عملکردی خود در یک سیستم مختصات یکپارچه، ارتفاع‌اش متناسب با زمینه توپوگرافیک و روابط منطقی با سطوح مجاور باشد. به عنوان مثال، کف یک پارکینگ زیرزمینی باید حتماً در ارتفاعی پایین‌تر از سطح خیابان مجاور مدل شود، یا

^{۹۸} Surface-Volume Attachment

^{۹۹} No Surface Gaps

^{۱۰۰} Logical Elevation Consistency

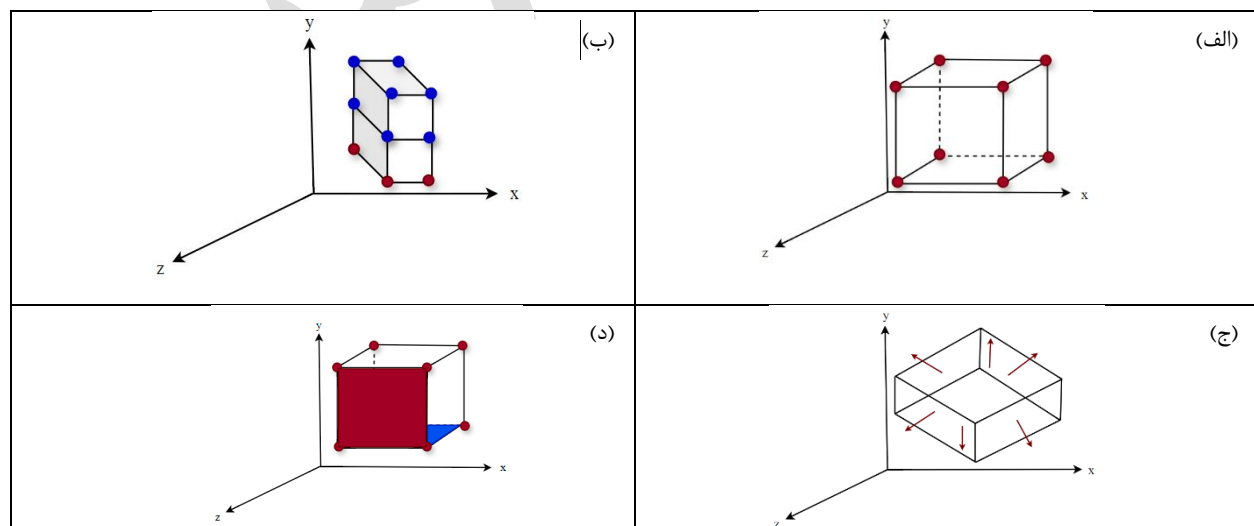
سقف یک ساختمان نمی‌تواند در ارتفاعی پایین‌تر از کف طبقه همکف قرار گیرد (شکل ۵-و).

۷. سطوح مجاور بدون فاصله^{۱۰۱}

این قاعده الزام می‌کند که سطوح هم‌مرز در مدل‌های سه‌بعدی باید بدون هیچ گونه شکاف یا فاصله‌ی هندسی به‌طور کامل به یکدیگر متصل شوند تا پیوستگی فیزیکی و کارکردی فضایی آن‌ها حفظ گردد. این اصل به‌ویژه برای سطوحی که مرز مشترک یک سیستم پیوسته را تشکیل می‌دهند حیاتی است، چرا که کوچک‌ترین فاصله‌ی توپولوژیک می‌تواند یکپارچگی ساختاری را مخدوش کند. به‌عنوان مثال، دیوار مشترک بین دو واحد مسکونی در یک ساختمان باید به‌گونه‌ای مدل شود که تمام نقاط مرزی آن دقیقاً بر نقاط مرزی واحد مقابل منطبق باشد، به‌طوری‌که نه تنها در پلان، بلکه در امتداد تمام ارتفاع دیوار (از کف تا سقف) هیچ فضای خالی یا جدایی بین دو صفحه وجود نداشته باشد (شکل ۵-ز).

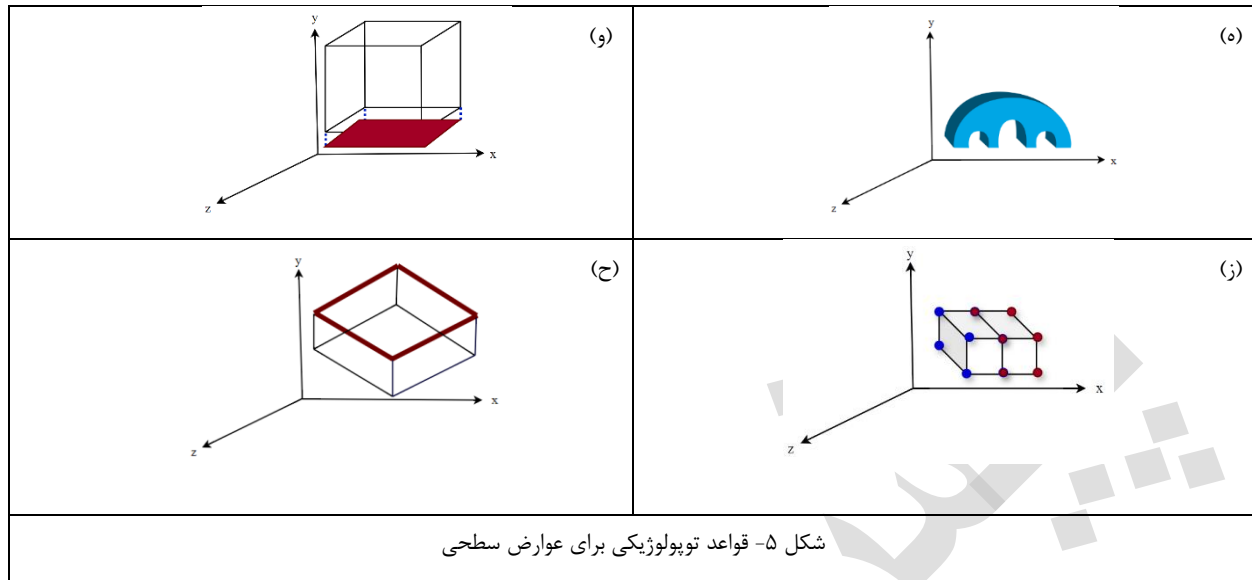
۸. سطوح متصل به خطوط^{۱۰۲}

این قاعده تأکید می‌کند که عوارض خطی مرتبط با یک سطح باید به‌طور دقیق و بدون فاصله به آن سطح متصل شوند تا پیوند فیزیکی و کارکردی بین این دو عنصر در فضای سه‌بعدی حفظ گردد. این اتصال، که معمولاً در نقاط انتهایی یا محل تقاطع خط با سطح رخ می‌دهد، تضمین می‌کند که رابطه توپولوژیک "تماس" یا "اتصال" به‌جای "جدایی" یا "فاصله" تعریف شود. به‌عنوان مثال، یک خط لوله آب که از نمای بیرونی ساختمان عبور می‌کند باید دقیقاً در نقاط اتصال مشخص (مانند محل ورود به دیوار یا اتصال به شیر فلکه) به سطح دیوار چسبیده باشد، به‌طوری‌که هیچ فضای خالی بین لوله و دیوار در مدل سه‌بعدی وجود نداشته باشد (شکل ۵-ح).



^{۱۰۱} Adjacent Surfaces Without Gaps

^{۱۰۲} Surface Connected to Lines



• قواعد توپولوژیکی برای عوارض حجمی^{۱۰۲}

۱. حجم‌های بسته^{۱۰۴}

این قاعده بیانگر این اصل است که هر حجم در مدل‌های سه‌بعدی باید کاملاً توسط سطوح پیوسته و بدون شکاف محصور شود تا یک فضای محدود تعریف کند که مرز دقیقی بین "داخل" و "خارج" آن ایجاد می‌نماید. این بدان معنا است که مجموعه سطوح تشکیل‌دهنده مرز حجم باید یک ساختار بسته را بدون هرگونه حفره، درز باز یا ناپیوستگی هندسی تشکیل دهند. به‌عنوان مثال، یک ساختمان به‌عنوان یک حجم معتبر تنها زمانی مدل می‌شود که تمامی اجزای پوسته آن، شامل دیوارهای خارجی، سقف، کف طبقه همکف و حتی سطوح زیرزمین، به‌طور کامل فضای داخلی را احاطه کرده باشند، به‌طوری‌که هیچ منفذی برای خروج حجم محصورشده وجود نداشته باشد (شکل ۶-الف).

۲. عدم تداخل حجم‌ها^{۱۰۵}

این قاعده الزام می‌کند که حجم‌های مجزا در مدل‌های سه‌بعدی نباید هیچ گونه اشتراک فضایی یا تداخل هندسی در مختصات سه‌بعدی داشته باشند، به‌طوری‌که هر نقطه از فضا حداکثر متعلق به یک حجم واحد باشد. این اصل تضمین می‌کند که مرزهای فیزیکی اجسام مستقل به‌درستی از یکدیگر تفکیک شده و روابط موقعیتی واقع‌گرایانه آن‌ها حفظ شود. به‌عنوان مثال، دو ساختمان مجاور باید به‌گونه‌ای مدل شوند که هیچ بخشی از حجم آن‌ها در فضای مشترک قرار نگیرد (شکل ۶-ب).

^{۱۰۲} Volumetric Features

^{۱۰۴} Closed Volume

^{۱۰۵} No Volume Overlap

۳. حجم‌های توخالی معتبر^{۱۰۶}

این قاعده الزام می‌کند که فضاهای توخالی مانند تونل‌ها دارای پوسته‌ای کاملاً بسته، بدون شکاف و خودتقاطع باشد تا فضای داخلی توخالی آن‌ها به‌درستی از محیط توپر پیرامون تفکیک گردد. این پوسته باید یک مرز دقیق بین "فضای خالی داخلی" و "جرم خارجی" تعریف کند، به‌طوری‌که تمامی ورودی‌ها و خروجی‌ها به‌صورت کنترل‌شده و بدون نقض یکپارچگی پوسته مدل شوند. به‌عنوان مثال، یک تونل مترو زمانی معتبر است که دیواره‌ها و سقف آن، بدون هیچ درز یا حفره‌ای، فضای خالی داخلی را به‌طور کامل محصور کنند، حتی المان‌های داخلی مانند ریل‌ها یا سیستم تهویه باید بدون ایجاد شکاف در پیوستگی این فضا الحاق گردند (شکل ۶-ج).

۴. اتصال حجم‌ها به سطوح/خطوط^{۱۰۷}

این قاعده تأکید می‌کند که هر حجم در مدل‌های سه‌بعدی باید در نقاط اتصال تعریف‌شده به‌طور دقیق و بدون فاصله به عوارض سطحی یا خطی مرتبط متصل گردد تا پیوند عملکردی و فیزیکی آن با شبکه پیرامون حفظ شود. این اتصال، که بر پایه تماس توپولوژیک مستقیم در فضای سه‌بعدی استوار است، تضمین می‌کند که انتقال جریان بین حجم و عناصر مجاور به‌درستی بازتولید گردد. به‌عنوان مثال، یک خط لوله گاز متصل به مخزن ذخیره باید در نقطه اتصال (مثل فلنج یا شیر) به‌طور کامل به سطح حجم مخزن چسبیده باشد (شکل ۶-د).

۵. توالی ارتفاعی منطقی^{۱۰۸}

این قاعده الزام می‌کند که موقعیت عمودی حجم‌ها در مدل‌های سه‌بعدی نسبت به یکدیگر و زمینه توپوگرافیک، مبتنی بر روابط علی-مکانی دنیای واقعی باشد تا سلسله‌مراتب لایه‌بندی به‌درستی بازتاب یابد. این بدان معنا است که هر حجم باید در ارتفاعی تعریف شود که انطباق ساختاری با کارکرد خود و اجزای پیرامون داشته باشد؛ برای نمونه، زیرساخت‌های زیرسطحی (مانند پارکینگ‌های زیرزمینی، تونل‌ها یا خطوط لوله) باید حتماً در عمقی پایین‌تر از سطوح شهری بالایی (مانند ساختمان‌ها یا جاده‌ها) قرار گیرند، در حالی که تجهیزات هوایی (مثل کابل‌های برق یا پل‌های عابر پیاده) باید در ارتفاعی بالاتر از حجم‌های زمینی مدل شوند (شکل ۶-ه).

۶. حجم‌های بدون اجزای شناور^{۱۰۹}

این قاعده تأکید می‌کند که هر جزء فرعی وابسته به یک حجم اصلی در مدل‌های سه‌بعدی باید به‌طور توپولوژیک و فیزیکی به

^{۱۰۶} Valid Hollow Volumes

^{۱۰۷} Volume-Surface/Line Connectivity

^{۱۰۸} Logical Vertical Ordering

^{۱۰۹} No Floating Components

بدنه اصلی حجم متصل باشد، بدون آن که کوچک‌ترین شکاف یا جدایی فضایی بین آن‌ها وجود داشته باشد. این اتصال مستقیم باید در تمامی ابعاد سه‌بعدی حفظ گردد تا یکپارچگی سازه‌ای و عملکردی سیستم تضمین شود. به‌عنوان مثال، یک دودکش صنعتی باید مستقیماً به پشت‌بام یا دیوار جانبی حجم ساختمان متصل باشد، نه آن‌که به‌صورت شیئی مستقل در هوا شناور مدل شده باشد (شکل ۶-و).

۷. رعایت حداقل فاصله بین حجم‌ها^{۱۱۰}

این قاعده الزام می‌کند که حجم‌های مستقل در مدل‌های سه‌بعدی باید حداقل فاصله ایمنی تعریف‌شده در سه بُعد را نسبت به یکدیگر حفظ کنند تا از بروز مخاطرات فیزیکی ناشی از مجاورت ناایمن جلوگیری شود. این فاصله باید به‌صورت یک فضای خالی پیوسته و بدون تداخل بین مرزهای خارجی حجم‌ها اعمال شود. به‌عنوان مثال، یک مخزن ذخیره گاز تحت فشار باید حتماً در فاصله‌ای ایمن (مثلاً ۱۰ متری) از حجم ساختمان‌های مسکونی مجاور مدل گردد، به‌طوری‌که حتی در بدترین سناریوهای انفجار یا نشت گاز، حجم ساختمان در معرض آسیب مستقیم قرار نگیرد (شکل ۶-ز).

۸. هم‌ترازی حجم‌ها با زمین^{۱۱۱}

این قاعده الزام می‌کند که موقعیت و جهت‌گیری حجم‌ها در مدل‌های سه‌بعدی شهری به‌طور دینامیک با توپوگرافی سطح زمین یا لایه‌های تراز زیرین تطابق یابد تا انطباق سازه با شرایط طبیعی سایت حفظ گردد. این بدان معنا است که پایه‌های حجم باید به‌صورت پیوسته و بدون شکاف ارتفاعی/افقی با سطح زمین مماس شوند، به‌طوری‌که حتی در سطوح شیبدار یا ناهموار، مرز تماس حجم با زمین، یک اتصال توپولوژیک یکپارچه را تشکیل دهد. به‌عنوان مثال، پایه‌های یک پل باید دقیقاً بر روی سطح زمین طبیعی (نه تراز صاف مصنوعی) مدل شوند، به‌گونه‌ای که انحناهای زمین زیر هر پایه به‌طور جداگانه رعایت شده و هیچ فضای خالی بین بتن پایه و خاک زیرین وجود نداشته باشد (شکل ۶-ح).

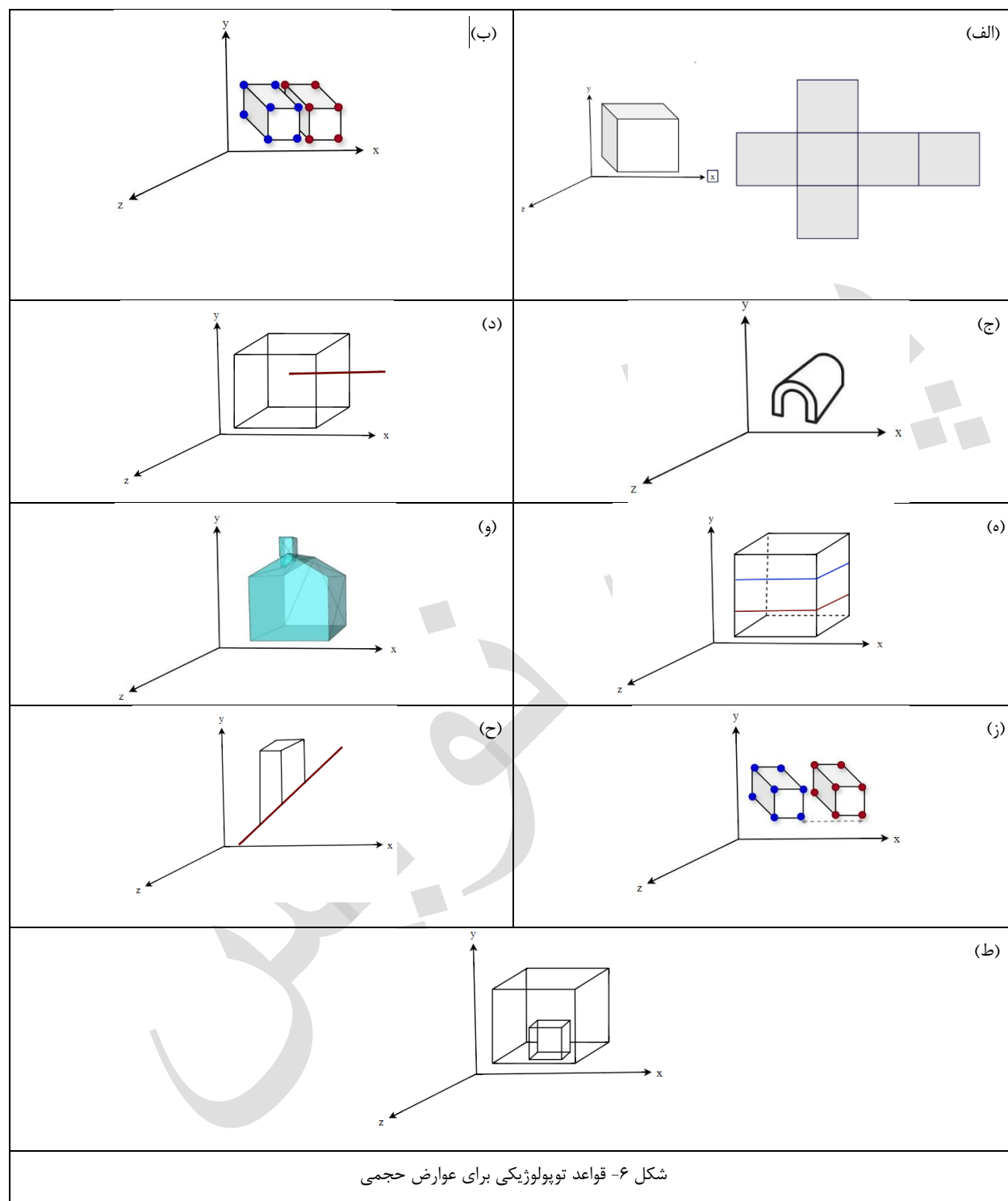
۹. حجم‌های سلسله‌مراتبی^{۱۱۲}

این قاعده الزام می‌کند که زیرحجم‌های تشکیل‌دهنده یک سیستم پیچیده شهری باید به‌صورت توپولوژیک درون حجم اصلی مادر قرار گیرند تا رابطه "جزء-کل" و سلسله‌مراتب فضایی آن‌ها حفظ شود. این بدان معنا است که هر عنصر فرعی باید کاملاً در محدوده مرزهای حجم کلی محصور شده و هیچ بخشی از آن خارج از این چارچوب تعریف نشود. به‌عنوان مثال، مخزن آب یک ایستگاه پمپاژ باید کاملاً درون حجم اصلی ایستگاه قرار گیرد، نه به‌صورت شیئی جداگانه در مجاورت آن (شکل ۶-ط).

^{۱۱۰} Minimum 3D Distance

^{۱۱۱} Volume Alignment with Terrain

^{۱۱۲} Hierarchical Volumes



۴-۱-۲- شناسایی خطاهای توپولوژیکی و اصلاح آن‌ها

• شناسایی خطاهای توپولوژیکی

- شکاف‌ها (Gaps): فضاهای خالی ناخواسته بین سطوح مجاور.
- همپوشانی‌ها (Overlaps): تداخل غیرمجاز بین اجزای سه‌بعدی.
- حفره‌های نادرست (Holes): نقاط یا سطوح گمشده در مدل.
- عدم انطباق گره‌ها (Non-manifold Edges): وجود لبه‌های مشترک بین بیش از دو وجه.

• روش‌های اصلاح خطاها

- ابزارهای نرم‌افزاری: استفاده از ابزارهایی مانند 3D Topology Check در نرم‌افزارهای GIS مانند ArcGIS Pro، QGIS با افزونه‌های سه‌بعدی یا نرم‌افزارهای مدلسازی مانند Blender، MeshLab.
- الگوریتم‌های خودکار: به‌کارگیری الگوریتم‌هایی مانند Snap Tolerance برای اصلاح گره‌های نزدیک به هم یا Merge Features برای ادغام سطوح همپوشان.
- اصلاح دستی: در موارد پیچیده، ویرایش دستی نقاط، لبه‌ها و سطوح برای رفع خطاها ضروری است.

• اعتبارسنجی پس از اصلاح

- اجرای دوباره بررسی توپولوژیکی برای اطمینان از رفع خطاها.
 - استفاده از نمایش سایه‌زنی (Shaded View) و برش‌های مقطعی (Cross-Section) برای بررسی پیوستگی مدل.
- با رفع این خطاها، اطمینان حاصل می‌شود که داده‌های سه‌بعدی از کیفیت لازم برای تحلیل‌های فضایی، شبیه‌سازی و نمایش دقیق برخوردار هستند.

۴-۲- آماده‌سازی داده‌های رستری

۱. بررسی سیستم مختصات^{۱۱۳} و سیستم تصویر^{۱۱۴}:

به عنوان گام نخست، سیستم مختصات و سیستم تصویر باید اعتبارسنجی شوند. در صورت نیاز به ادغام یا تحلیل توأمان با لایه‌های دیگر، تبدیل تمامی لایه‌ها به یک سیستم مختصات مشترک الزامی است.

^{۱۱۳} Coordinate System Check

^{۱۱۴} Projection

۲. پیش‌پردازش اولیه^{۱۱۵}:

فرآیند پیش‌پردازش داده‌های رستری با تصحیح رادیومتریک^{۱۱۶} آغاز می‌گردد که خطاهای سنجنده^{۱۱۷} و اثرات جوی^{۱۱۸} را کاهش می‌دهد. در گام بعدی، تصحیح هندسی^{۱۱۹} با استفاده از نقاط کنترل زمینی^{۱۲۰}، اعوجاجات هندسی^{۱۲۱} را اصلاح می‌نماید. سپس، عمل موزاییک‌سازی^{۱۲۲} تصاویر مجاور را برای ایجاد پوشش مکانی پیوسته^{۱۲۳} ادغام می‌کند. در نهایت، عملیات کلیپ کردن^{۱۲۴} داده‌ها را منطبق بر مرز دقیق منطقه مورد مطالعه برش می‌دهد.

۳. مدیریت پیکسل‌های فاقد مقدار^{۱۲۵}:

در راستای مدیریت پیکسل‌های فاقد مقدار ابتدا می‌بایست این پیکسل‌ها شناسایی شده و با استفاده از روش‌هایی نظیر درونیابی^{۱۲۶} یا جایگزینی مبتنی بر همسایگی^{۱۲۷} مقادیر آنها تکمیل گردد.

۴. اصلاح کیفیت داده^{۱۲۸}:

فرآیند بهبود کیفیت داده‌های رستری با نرمال‌سازی مقادیر پیکسل‌ها در بازه‌ای استاندارد (مانند [۰،۱]) آغاز می‌شود، سپس با بهبود کنتراست تصاویر از طریق بهینه‌سازی دینامیک طیفی، شرایط برای تفسیر بصری تسهیل می‌گردد، و در نهایت با اعمال فیلتراسیون مکانی (شامل فیلترهای میانگین، میانه و گوسی) جهت حذف نویز و افزایش کیفیت تصویر تکمیل می‌شود.

۵. استخراج باندها و شاخص‌ها^{۱۲۹}:

در این مرحله، پردازش داده‌ها بر دو محور متمرکز است: (۱) کمی‌سازی پدیده‌های اکولوژیکی از طریق محاسبه شاخص‌های طیفی (مانند NDVI؛^۲) بهینه‌سازی نمایش داده‌ها با ترکیب باندهای طیفی (به‌ویژه ترکیبات رنگی کاذب) که امکان استخراج اطلاعات کیفی از تصاویر رستری را فراهم می‌سازد.

^{۱۱۵} Preprocessing

^{۱۱۶} Radiometric Correction

^{۱۱۷} Sensor Errors

^{۱۱۸} Atmospheric Effects

^{۱۱۹} Geometric Correction

^{۱۲۰} Ground Control Points

^{۱۲۱} Geometric Distortions

^{۱۲۲} Mosaicking

^{۱۲۳} Seamless Spatial Coverage

^{۱۲۴} Clipping

^{۱۲۵} NoData

^{۱۲۶} Interpolation

^{۱۲۷} Neighborhood-based Replacement

^{۱۲۸} Data Enhancement

^{۱۲۹} Band Extraction/Indices

۶. تغییر ابعاد^{۱۳۰}:

فرآیند تغییر رزولوشن فضایی با اعمال روش‌های نمونه‌برداری مجدد نظیر نزدیک‌ترین همسایه^{۱۳۱}، بی‌لاینری^{۱۳۲} و مکعبی^{۱۳۳} بر روی سلول‌های رستری آغاز می‌گردد تا وضوح مکانی داده‌ها تنظیم شود؛ سپس با یکسان‌سازی مقیاس مکانی، شرایط برای ادغام کارآمد لایه‌های رستری با سیستم‌های مختصات یا رزولوشن‌های متفاوت فراهم می‌آید.

۷. نمونه‌برداری^{۱۳۴}:

نمونه‌برداری به‌عنوان گامی حیاتی در آماده‌سازی داده‌های رستری، متضمن انتخاب هدفمند زیرمجموعه‌ای از پیکسل‌ها برای تحلیل‌های کارآمد است. اهمیت این فرآیند نخست در کاهش حجم محاسباتی داده‌های حجیم (همچون تصاویر ماهواره‌ای با وضوح مکانی بالا) نهفته است که پردازش را عملی می‌سازد. از سویی دیگر، با به‌کارگیری روش‌هایی چون نمونه‌گیری طبقه‌بندی‌شده از سوگیری تحلیلی پیشگیری نموده و اطمینان حاصل می‌کند که تمامی پدیده‌ها (نظیر الگوهای پوشش زمین یا تغییرات اقلیمی) به‌تناسب در داده‌ها بازنمایی می‌شوند. در نهایت، این فرایند پایه‌ای برای ارزیابی اعتبار مدل‌های یادگیری ماشین فراهم می‌آورد؛ به‌طوری‌که با تقسیم داده‌ها به زیرمجموعه‌های آموزشی و اعتبارسنجی، هم از بیش‌برازش جلوگیری شده و هم دقت پیش‌بینی‌ها ارتقاء می‌یابد.

۸. ذخیره‌سازی و مدیریت:

مدیریت مؤثر داده‌های رستری مستلزم دو راهبرد کلیدی است: نخست انتخاب قالب‌های بهینه ذخیره‌سازی (نظیر GeoTIFF با قابلیت فشرده‌سازی بی‌تلفات) به‌منظور ایجاد توازن میان کیفیت داده، حجم فایل و سازگاری چندپلتفرمی. دوم استقرار ساختار سازماندهی شفاف شامل: الف) نام‌گذاری استاندارد فایل‌ها مبتنی بر معیارهای جغرافیایی، زمانی و موضوعی ب) پیاده‌سازی سیستم فراداده‌ای جامع که قابلیت بازیابی کارآمد، اشتراک‌گذاری بی‌دردسر و توسعه‌ی آینده‌ی مجموعه‌داده‌ها را تضمین می‌نماید.

۵- ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌های مکانی

۵-۱- رویکردهای مبتنی بر فایل‌های داده مکانی

^{۱۳۰} Resampling

^{۱۳۱} Nearest Neighbor

^{۱۳۲} Bilinear

^{۱۳۳} Cubic

^{۱۳۴} Sampling

داده‌های مکانی در این چارچوب به‌صورت فایل‌های مستقل و بدون نیاز به سیستم مدیریت پایگاه‌داده ذخیره می‌گردند. این ساختارها به طور عمده شامل دو دسته اصلی وکتوری (نمونه‌هایی چون Shapefile و GeoPackage) و رستری (مانند GeoTIFF) هستند. Shapefile به‌عنوان استاندارد تاریخی صنعت GIS، داده‌های برداری شامل نقاط، خطوط و چندضلعی‌ها را در مجموعه‌ای از فایل‌های وابسته (شامل .shp، .shx و .dbf) ذخیره می‌کند که با محدودیت حجمی ۲-گیگابایت و عدم پشتیبانی از روابط توپولوژیکی همراه است. در مقابل، GeoPackage به‌عنوان جایگزین مدرن مبتنی بر استاندارد OGC، با استفاده از پایگاه‌داده SQLite، انواع داده‌های وکتوری، رستری، موزایک‌های مکانی و سیستم‌های مختصات را در یک فایل واحد با ظرفیت نامحدود یکپارچه می‌سازد. برای داده‌های رستری همچون تصاویر ماهواره‌ای یا مدل‌های رقمی ارتفاع (DEM)، GeoTIFF با تعبیه فراداده‌های مکانی در ساختار TIFF، فرمت غالب به‌شمار می‌رود. ساختارهای تخصصی‌تر نظیر KML/KMZ (برای مصورسازی در پلتفرم‌هایی مانند Google Earth)، GPX (جهت ذخیره‌سازی مسیرهای GPS) و GeoJSON (با ساختار متنی سبک‌وزن مناسب توسعه وب‌اپلیکیشن‌های مکانی) نیز وجود دارند. با این حال، این قالب‌ها اغلب برای تحلیل‌های پیچیده یا داده‌های حجیم به‌دلیل ناتوانی در نمایه‌گذاری پیشرفته و مدیریت توپولوژی، با محدودیت مواجه هستند. به‌طور کلی، مزیت اصلی ساختارهای فایلی در سادگی، قابلیت حمل و سازگاری گسترده با نرم‌افزارهای GIS نهفته است، اما برای پروژه‌های بزرگ، چندکاربره یا نیازمند پردازش‌های پیشرفته، به‌دلیل عدم امکان اجرای پرس‌وجوهای پیچیده و مدیریت ناکارآمد داده‌های حجیم، گزینه مطلوبی محسوب نمی‌شوند.

۵-۲- رویکردهای مبتنی بر پایگاه‌های داده مکانی

اصطلاح “پایگاه داده GIS” می‌تواند برای توصیف بخش‌های مختلف عناصر داده مکانی در یک GIS، از جمله مختصات، عوارض مکانی، ویژگی‌ها، دقت‌ها و محدودیت‌ها، استفاده شود. طراحی و استانداردسازی پایگاه داده به‌عنوان طراحی منطقی داده‌های پایه برای ذخیره‌سازی، دسترسی و ارائه/سرویس‌دهی در نظر گرفته می‌شود.

پایگاه داده مجاز یک یا ترکیبی از مدل رابطه‌ای، شی‌گرا و گراف‌مبنا می‌باشد. در مدل ارتباطی، جداول و دیدها ۱۳۵ نقش کلیدی داشته و داده‌ها به گونه‌ای سازمان‌یافته‌اند که امکان بازیابی و تحلیل داده‌ها به شیوه‌ای ساده و موثر فراهم می‌شود. در یک پایگاه داده شی‌گرا، موجودیت‌ها و روابط به طور مستقیم به کلاس‌های شی و روابط نام‌گذاری شده منتقل می‌شوند. این مدل امکان انعطاف‌پذیری و تعامل سلسله‌مراتبی بین داده‌ها را افزایش می‌دهد. یک پایگاه داده گراف‌مبنا، نوعی سیستم مدیریت داده است که از ساختار گراف برای ذخیره‌سازی و نمایش داده‌ها و روابط بین آنها استفاده می‌کند. در این سیستم، داده‌ها به صورت گره‌ها و یال‌ها نگهداری می‌شوند. این موضوع اجازه می‌دهد به‌طور طبیعی روابط پیچیده و سلسله‌مراتبی را مدل‌سازی و جست‌وجو کرد. در این فصل به جزئیات استانداردهای پایگاه داده GIS می‌پردازیم.

۵-۲-۱- طراحی پایگاه داده

طراحی پایگاه داده، از جمله در محیط‌های متن‌باز، از یک رویکرد ساختاریافته با چندین مرحله کلیدی پیروی می‌کند. در اینجا مراحل اصلی طراحی پایگاه داده با تاکید بر ملاحظات متن‌باز آورده شده است:

۱. نیازسنجی

- شناسایی و ارزیابی نیازهای کاربر
- تعریف الزامات ذخیره‌سازی، بازیابی و پردازش داده‌ها
- بررسی سازگاری نیازها با پایگاه داده‌های متن‌باز مانند MySQL، PostgreSQL، MariaDB، یا پایگاه‌های داده NoSQL مانند MongoDB

۲. طراحی مدل مفهومی

- مدل‌سازی موجودیت‌های داده، ویژگی‌ها و روابط بین آنها با استفاده از نمودار Entity-Relationship (ERD)
- تاکید بر استفاده از ابزارهای مدل‌سازی متن‌باز مانند MySQL Workbench، pgModeler یا DBDiagram.io

۳. طراحی مدل منطقی

- تبدیل ERD به یک طرحواره رابطه‌ای با جداول نرمال شده (در صورت استفاده از RDBMS)
- تعریف کلیدهای اصلی، خارجی و قیود

۴. طراحی مدل فیزیکی

- پیاده‌سازی طرح منطقی در یک سیستم پایگاه داده متن‌باز منتخب
- بهینه‌نمودن ذخیره‌سازی، نمایه‌سازی^{۱۳۶} و پارتیشن‌بندی^{۱۳۷} بر اساس حجم کاری مورد انتظار
- تاکید بر تکنیک‌های بهینه‌سازی متن‌باز، روش‌های نمایه‌سازی (B-tree، نمایه‌های Hash) و استراتژی‌های تکرار

۵. پیاده‌سازی و ارزیابی

- نوشتن اسکرپت‌های SQL برای ایجاد جداول، viewها و رویه‌های ذخیره شده
- وارد کردن داده‌های نمونه و ارزیابی یکپارچگی
- استفاده از ابزارهای ارزیابی پایگاه داده متن‌باز مانند pgAdmin (برای PostgreSQL)، DBeaver یا Apache JMeter برای تست بار

^{۱۳۶} Indexing

^{۱۳۷} Partitioning

۶. استقرار و نگهداری

- استقرار پایگاه داده
- نظارت بر عملکرد، پشتیبان‌گیری از داده‌ها و اقدامات امنیتی
- استفاده از ابزارهای نظارت متن‌باز مانند Prometheus, Zabbix یا Grafana برای ردیابی عملکرد پایگاه داده و

سرویس

هر مرحله، طراحی ساختاریافته و کارآمد پایگاه داده را تضمین می‌کند، در حالی که راه‌حل‌های متن‌باز، انعطاف‌پذیری، صرفه‌جویی در هزینه و پشتیبانی جامعه را فراهم می‌کنند.

پایگاه داده مکانی مربوط به توصیف و نگهداری اطلاعات با ابعاد مکانی است. این اطلاعات در برنامه‌های مختلف از جمله سامانه‌های اطلاعات مکانی، برنامه‌ریزی شهری، و سیستم‌های ناوبری کاربرد دارند. فرآیند مناسب طراحی پایگاه داده با مدل رابطه‌ای، مدل شیء‌گرا و مدل گراف شامل مراحل است که در **جدول ۴** آورده شده است.

جدول ۴- مراحل طراحی پایگاه داده برای سه مدل اصلی

مرحله/مدل	مدل گراف	مدل شیء‌گرا	مدل رابطه‌ای
تعریف نیازمندی‌ها	تعیین روابط پیچیده و اتصالات مکانی برای تحلیل شبکه‌ای	شناسایی نیازهایی که به تعاملات پیچیده‌تر نیاز دارند.	شناسایی نیازهای داده‌های مکانی و ویژگی‌های مرتبط
تحلیل و مدل‌سازی	تعریف گره‌ها و یال‌ها، شناسایی ویژگی‌ها و روابط گراف	طراحی کلاس‌ها و اشیاء با UML، تعریف روابط وراثتی و چندریختی	طراحی مدل مفهومی با نمودارهای ER
طراحی منطقی	پایاده‌سازی گراف در سیستم‌های گراف محور مانند Neo4j	تطبیق مدل مفهومی با مدل منطقی شیء‌گرا	تبدیل مدل ER به جداول، تعریف کلیدهای اصلی و خارجی
پایاده‌سازی و آزمون	بارگذاری داده‌های نمونه و بررسی تعامل بین گره‌ها و یال‌ها یا ترجمه یک‌به‌یک به مدل شیء‌گرا	استفاده از پایگاه داده شیء‌گرا یا رابطه‌ای با پشتیبانی شیء مانند Oracle	پایاده‌سازی جداول در DBMS مانند PostgreSQL، ورود داده‌های نمونه و آزمون
بهینه‌سازی و نگهداری	بهینه‌سازی جستارها و مدیریت گره‌ها و روابط در گراف	به‌روزرسانی کلاس‌ها و بهینه‌سازی کد	بهینه‌سازی دسترسی با ایندکس‌ها، مدیریت و نگهداری مداوم

در مورد داده‌های مکانی، سه مدل داده برداری، رستری و گراف را می‌توان استفاده کرد. مدل برداری برای توصیف عوارضی مانند نقطه، خط و چندضلعی‌ها استفاده می‌شود. مدل داده‌های رستری برای توصیف داده‌ها به صورت شبکه‌ای از پیکسل‌ها مانند تصاویر ماهواره‌ای مناسب است. مدل داده‌های گراف یا شبکه برای توصیف داده‌هایی که روابط شبکه‌ای دارند، مانند جاده‌ها، خطوط حمل‌ونقل یا شبکه‌های توزیع برق استفاده می‌شود. داده‌ها در این مدل به صورت گره‌ها و یال‌ها توصیف می‌شوند.

در پایگاه‌داده‌های مکانی، پیاده‌سازی مدیریت نسخه‌های داده‌ها از طریق ثبت نظام‌مند تغییرات تدریجی و نگهداری تاریخچه تحولات داده‌ها امکان‌پذیر می‌شود. این سیستم با ردیابی دقیق تمامی پردازش‌ها (مانند تبدیل سیستم‌های تصویر، برش لایه‌ها یا اصلاحات توپولوژیک)، ابزارهای مورد استفاده و زمان اعمال هر تغییر، امکان بازگردانی نسخه‌های قبلی و شناسایی منشأ خطاها را فراهم می‌کند. همچنین با ثبت هویت مسئولان ویرایش‌ها و زمان‌بندی اصلاحات، چارچوبی برای پاسخگویی حقوقی و ردیابی فرآیندها ایجاد می‌نماید که در محیط‌های چندکاربره حیاتی است. این مکانیزم مبتنی بر قابلیت‌های ذاتی پایگاه‌داده‌ها (مانند تراکنش‌های اتمی و کنترل همزمانی) پیاده‌سازی می‌شود و در قالب‌های فایلی غیرممکن است.

تحويل مستندات مراحل مختلف طراحی پایگاه داده برای فعالیت‌های GIS در سطح ملی و یا برای سازمان‌های دولتی الزامی است.

۶- پردازش و نمایش داده‌های مکانی

به دلیل اهمیت و کاربردهای ارزشمند تحلیل‌های سب‌بعدی و همچنین جامعیت داده‌های سب‌بعدی نسبت به داده‌های دوبعدی، در این بخش به تحلیل داده‌های سب‌بعدی پرداخته شده است. تحلیل و پردازش داده‌های سب‌بعدی به مجموعه‌ای از رویکردها و روش‌های پیشرفته اطلاق می‌شود که امکان درک، مدل‌سازی و شبیه‌سازی پدیده‌های واقعی را در فضای سب‌بعدی فراهم می‌کنند.

۶-۱- مدل‌سازی اطلاعات مکانی

مدلسازی اطلاعات مکانی به فرآیند خلق نمایش رقمی از عوارض و پدیده‌های دنیای واقعی با استفاده از داده‌های مکانی اشاره دارد. این مدل‌ها با ترکیب موقعیت (مختصات X, Y, Z)، اشکال هندسی و اطلاعات توصیفی (مانند جنس خاک، کاربری زمین یا ارتفاع ساختمان)، امکان تحلیل فضایی هوشمند را فراهم می‌کنند. اهمیت این مدلسازی در شبیه‌سازی سناریوهای واقعی (مانند گسترش شهرها یا وقوع سیل) و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های راهبردی نهفته است. در واقع، مدل‌ها با تبدیل داده‌های خام به ساختارهای رابطه‌مند، امکان اجرای تحلیل‌ها را فراهم می‌آورد. به‌طور مثال، مدل‌های رقمی ارتفاع (DEM) پایه‌ای برای مطالعات هیدرولوژی و مدیریت بحران محسوب می‌شوند.

مدل‌سازی اطلاعات مکانی امروزه به‌عنوان ستون فقرات شهرهای هوشمند و زیرساخت‌های حیاتی عمل می‌کند. کاربردهای آن از مدیریت بحران تا بهینه‌سازی انرژی (تحلیل سایه‌اندازی و تابش خورشید در طراحی شهری) گسترده است. آینده‌ی این حوزه در گرو یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی (مانند پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی)، توسعه‌ی شهرها بر اساس همسان رقمی (Digital Twins) و فناوری‌های تعاملی مانند واقعیت مجازی (VR) است، به‌گونه‌ای که مدل‌ها نه تنها وضعیت موجود را بازتاب می‌دهند، بلکه سناریوهای آتی را با قابلیت به‌روزرسانی بلادرنگ شبیه‌سازی می‌کنند.

مدل‌های مکانی سه‌بعدی را می‌توان به دو دسته اصلی عارضه‌محور (Feature-Based) و مش‌مدل (Mesh Model) تقسیم‌بندی نمود. توضیحات تفصیلی هر دسته به شرح زیر است:

۱- مدل‌های عارضه‌محور (Feature-Based Models)

در این مدل، نمایش عوارض به عنوان اشیای مستقل با هویت مشخص (مثل ساختمان، درخت، لوله) می‌باشد که هر عارضه دارای هندسه (نقاط/خطوط/سطوح/احجام) و داده‌های توصیفی (جنس، کاربرد، تاریخ ساخت) می‌باشد. در این مدل از روابط توپولوژیک (مانند اتصال، تداخل، مجاورت) پشتیبانی می‌گردد.

از مزایای این مدل می‌توان به مواردی نظیر مدیریت روابط توپولوژیک، انعطاف‌پذیری در سطوح جزئیات (Level of Details - LoD)، به‌روزرسانی بلادرنگ عوارض و تحلیل‌های معنایی اشاره نمود.

از جمله استانداردهای کلیدی که در این مدل استفاده می‌شود می‌توان به CityGML، IFC (BIM) و IndoorGML اشاره نمود که به ترتیب در مدل‌های شهری، مدل‌های سازه‌ای و مدل‌های شبکه (برای فضاهای داخلی) کاربرد دارند.

۲- مش‌مدل‌ها (Mesh Models)

در این مدل، نمایش سطوح به‌صورت شبکه‌ای از مثلث‌ها/چهارضلعی‌ها بدون هویت مستقل برای عوارض ارائه می‌شود. ساختار این مدل متشکل از رأس‌ها (Vertices)، یال‌ها (Edges) و وجه‌ها (Faces) می‌باشد. این مدل عمدتاً با روش اسکن لیزری (LiDAR) و فتوگرامتری تولید می‌شود. مزیت اصلی این مدل سادگی تولید و سرعت پردازش بالا در محاسبات هندسی است.

جدول ۵ مقایسه‌ای بین دو مدل را با در نظر گرفتن چند معیار نشان می‌دهد:

جدول ۵- مقایسه مدل‌ها

معیار	مش مدل	مدل عارضه مبنا
-------	--------	----------------

هویت عوارض	فقط هندسه	شناسه منحصر به فرد
داده توصیفی	تنها تکسچر/رنگ	اتصال به پایگاه داده
تحلیل شبکه‌ای	غیر ممکن	پشتیبانی کامل
کاربرد در BIM	فقط برای نمایش سطوح	استانداردهای IFC, CityGML و ...
سرعت پردازش	بسیار سریع	متوسط
نوع پردازش قابل انجام	برای پردازش هندسی	برای تحلیل معنایی

در مدل‌های عارضه‌محور، اشیای گسسته (مانند ساختمان‌ها، پل‌ها یا تأسیسات) به‌عنوان واحدهای مستقل با ویژگی‌های معنایی، هندسی و توپولوژیک تعریف می‌شوند. ساختمان‌ها به‌عنوان عارضه‌های غالب شهری، نیازمند استاندارد هستند که داده‌های چندبُعدی (هندسی، معنایی، زمانی و فرآیندی) را در چرخه حیات کامل، از طراحی تا تخریب، یکپارچه کند. مدلسازی اطلاعات ساختمان (BIM) مبتنی بر استاندارد Industry Foundation Classes (IFC) این نقش را ایفا می‌کند. IFC (استاندارد ISO 16739) یک قالب باز و شی‌گراست که هر عنصر ساختمان (مثل دیوار یا سیستم مکانیکی) را با ویژگی‌های پویا (هندسه، مصالح، هزینه، ارتباطات مکانی) تعریف می‌نماید. برخلاف مدل‌های سنتی سه‌بعدی، BIM با پوشش ابعاد بعد چهارم (زمان) و بعد پنجم (هزینه)، امکان مدیریت هوشمند ساخت، نگهداری پیش‌گیرانه و شبیه‌سازی عملکردی را فراهم می‌سازد و به‌عنوان پایه‌ای برای شهرهای هوشمند عمل می‌کند.

برای یکپارچه‌سازی ساختمان‌ها در مقیاس شهری، استاندارد CityGML (به‌ویژه نسخه ۳/۰ و بالاتر) به‌عنوان چارچوب مدلسازی عارضه‌محور عمل می‌کند. این استاندارد با پشتیبانی از سطوح جزئیات (LOD1 تا LOD4)، اشیای شهری را در شبکه‌ای معنایی (مثلاً ارتباط ساختمان با معابر یا کاربری زمین) سازماندهی می‌کند. تبدیل داده‌های IFC به CityGML، امکان اتوماسیون فرآیندهایی مانند صدور مجوز ساخت یا تحلیل انرژی شهری را فراهم می‌کند. در فضای داخلی، استاندارد IndoorGML با تمرکز بر توپولوژی شبکه‌ای فضاها (اتاق‌ها، راهروها) و مسیریابی، مکمل BIM و CityGML است. این سه‌گانه استاندارد (IFC برای جزئیات ساختمان، CityGML برای بافت شهری و IndoorGML برای ناوبری داخلی) با هم زیرساختی یکپارچه برای مدیریت عارضه‌محور شهری -از مقیاس کوچک تا بزرگ- فراهم می‌کنند.

• مدل‌سازی اطلاعات ساختمان^{۱۳۸} (BIM)

داده‌ها و اطلاعات برای طراحی، ساخت و بهره‌برداری موفق از ساختمان‌ها، باید به‌طور یکپارچه بین ذینفعان در طول چرخه

^{۱۳۸} Building Information Modeling (BIM)

حیات ساختمان مبادله شوند. پروژه‌ها در طول مراحل طراحی و برنامه‌ریزی توسعه می‌یابند و اغلب شامل تغییرات قابل توجهی در ساختمان‌ها می‌شوند. مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، یک رویکرد مشارکتی در صنعت‌های معماری، مهندسی، ساخت‌وساز و بهره‌برداری می‌باشد. BIM اطلاعات فیزیکی و عملکردی پروژه‌های ساختمانی را نشان داده و یک پایگاه داده برای تسهیل کل فرآیند تولید، مدیریت، به اشتراک‌گذاری و تبادل داده و اطلاعات در طول چرخه حیات ساختمان می‌باشد و به‌عنوان یک رویکرد چندجانبه به‌منظور بهینه‌سازی برنامه‌ریزی، اجرا و مدیریت کارهای ساختمانی تعریف می‌شود. امروزه مدل و ساختار داده‌های مختلفی برای BIM توسعه داده شده است. تلفیق اطلاعات مکانی با مدل اطلاعات ساختمانی به‌طور گسترده به‌عنوان راهی برای پیشبرد هر دو حوزه در نظر گرفته می‌شود. ادغام مدل‌های اطلاعات ساختمان و سامانه‌های اطلاعات مکانی می‌تواند مزایای قابل توجهی در مدیریت فرآیندهای طراحی، پیش‌ساخت و بهره‌برداری از ساختمان‌ها داشته باشد.

○ مراحل سه‌بعدی سازی ساختمان

- گام اول: ترسیم ساختمان سه‌بعدی

اولین مرحله از فرآیند سه‌بعدی سازی ساختمان، ایجاد مدل سه‌بعدی ساختمان یا به عبارت دیگر، ترسیم سه‌بعدی آن است. در این مرحله می‌توان از نرم‌افزارهای تخصصی گوناگونی استفاده نمود. با توجه به کاربرد مد نظر، برای ترسیم سه‌بعدی ساختمان‌ها می‌توان از دو رویکرد پیروی نمود: ۱- ترسیم تعداد محدودی از ساختمان‌ها، ۲- ترسیم تعداد قابل ملاحظه‌ای از ساختمان‌ها (مثلاً در گستره شهر یا حداقل یک قسمت از شهر). برای ترسیم یک یا چند ساختمان به‌طور معمول از نقشه‌های مصوب معماری ساختمان‌ها و یا نقشه ازبیلت آن‌ها استفاده می‌شود. در ترسیم تعداد زیادی از ساختمان‌ها، روش‌های با سرعت بالاتر مانند بهره‌گیری از DSM منطقه یا داده‌های ابر نقطه پیشنهاد می‌شوند.

- گام دوم: زمین مرجع کردن ساختمان

پس از ترسیم سه‌بعدی ساختمان، باید فرآیند زمین مرجع کردن انجام شود. چرا که مدل‌های ساختمانی یک شهر در نهایت به صورت یکپارچه در یک پایگاه داده جمع می‌شوند، لازم است این داده‌ها زمین مرجع باشند تا در موقعیت مکانی صحیح خود قرار بگیرند. این اقدام برای به اشتراک‌گذاری داده‌های مکانی و نمایش آن‌ها در یک بستر مشترک ضروری است. دقت زمین مرجع کردن ساختمان‌های سه‌بعدی، بستگی به ضوابط و نیازهای دستگاه متولی این داده‌ها دارد. باتوجه به اینکه نقشه‌های پایه شهری در کشور بر مبنای مقیاس ۱:۲۰۰۰ می‌باشد، لازم است اقدامات زمین مرجع سازی نیز از این دقت تبعیت نماید. در صورتیکه دستگاه مجری متولی/کارفرما، دقت بیشتری را در این مورد قید نماید، ملاک عمل، آن دقت خواهد بود.

- گام سوم: تبدیل فرمت و ثبت در ژئوپرتال ملی

در این گام لازم است نتایج ساختمان‌های سه‌بعدی به منظور ثبت در ژئوپرتال ملی، در قالب فرمت‌های استاندارد مشخصی که در این دستورالعمل در زیربخش ۲-۲-۵ به آنها اشاره شده ذخیره‌سازی و قابل ارائه گردند. این الزام، ضمن ایجاد یکپارچگی در محصولات سه‌بعدی کشور، به منظور تسهیلات صدور آتی آن‌ها به بستر نمایش‌های سه‌بعدی تحت وب که مورد انتخاب این دستورالعمل قرار گرفته‌اند نیز می‌باشد. لازم است برای تسریع نمایش عوارض مزبور در ژئوپرتال ملی از فرمت استاندارد I3S بهره گرفته شود.

○ استانداردهای (فرمت‌های) مدل‌سازی اطلاعات ساختمان

پس از اینکه ترسیم سه‌بعدی یا مدل سه‌بعدی ساختمان تکمیل شد، باید آن را به یک فرمت استاندارد تبدیل نمود تا مدل مزبور در پلت‌فرم‌های مختلف نرم‌افزاری و میان کاربران، قابل اشتراک‌گذاری باشد. به لحاظ سازگاری با سایر دستورالعمل‌های مرتبط با حوزه مدیریت اطلاعات مکانی و ایجاد زیرساخت اطلاعات مکانی، و همچنین دستورالعمل "ساخت سرویس تحت وب از مدل‌های سه‌بعدی عوارض مکانی"، لازم است از فرمت استانداردهای جهانی متن‌باز OGC از قبیل CityGML، CityJSON، I3S، 3D Tiles، GeoJSON و IndoorGML استفاده شود، که برای تبادل داده‌های مکانی و نمایش آن‌ها در بستر وب به کار می‌روند.

در این میان به منظور مدل‌کردن عوارض شهری، یکی از استانداردهای مهم و متن‌باز، CityGML است. این استاندارد به دلیل مزایای قابل توجه خود توصیه می‌شود. از جمله این مزایا می‌توان به نمایش جامع چند وجهی از عوارض شهری اشاره کرد؛ CityGML امکان نمایش نه تنها اطلاعات هندسی پایه، بلکه جزئیات معنایی و موضوعی عوارض شهری را نیز فراهم می‌کند و مدل جامع‌تر و دقیق‌تری از شهر ارائه می‌دهد. این استاندارد همچنین انعطاف‌پذیری بالایی دارد؛ CityGML از سطوح مختلف جزئیات پشتیبانی می‌کند و به کاربران این امکان را می‌دهد که بسته به نیازهای خود، عوارض شهری را با سطوح مختلف پیچیدگی نشان دهند. علاوه بر این، CityGML تطابق خوبی با نیازهای آینده دارد؛ این استاندارد به طور وسیعی پذیرفته شده و در جامعه اطلاعات مکانی پشتیبانی می‌شود و تضمین می‌کند که مدل‌های شهری در آینده نیز قابل استفاده باقی بمانند.

فرمت IFC یک فرمت فایل باز ولی غیر OGC است که برای به اشتراک‌گذاری مدل‌های داده ساختمان در پلت‌فرم‌های مختلف نرم‌افزاری استفاده می‌شود. این فرمت به طور گسترده در صنعت معماری و مهندسی عمران پذیرفته شده است. به عنوان دیگر نمونه‌هایی از فرمت‌های استاندارد غیر OGC می‌توان از KML، COLLADA، OBJ، LAZ، LandXML نام برد.

مستندات مربوط به ایجاد عارضه سه‌بعدی، زمین‌مرجع‌سازی، و تبدیل به فرمت‌های استاندارد در بخش مستندات زیرساخت ملی داده‌های مکانی که آدرس آن در پانویس^{۱۳۹} این صفحه قرار داده شده، قابل دسترسی است.

^{۱۳۹} <https://iransdi.ncc.gov.ir/layersf/doc>

در حوزه تجزیه و تحلیل فضایی، روش‌هایی مانند تحلیل دید^{۱۴۰} و پوشش^{۱۴۱} و، تحلیل سایه‌اندازی^{۱۴۲}، شبیه‌سازی جریان^{۱۴۳} و تحلیل برخورد^{۱۴۴} به کار گرفته می‌شوند. این تحلیل‌ها به متخصصان امکان می‌دهد تا روابط فضایی پیچیده را درک کرده و سناریوهای مختلف را شبیه‌سازی نمایند. پردازش ابر نقاط^{۱۴۵} به عنوان یکی از روش‌های نوین، امکان استخراج اطلاعات از داده‌های لیدار و اسکن سه‌بعدی را فراهم می‌سازد. در این روش، الگوریتم‌هایی برای فیلتر کردن، طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل ابر نقاط به کار گرفته می‌شوند. از دیگر روش‌های پیشرفته می‌توان به تولید مدل‌های دیجیتال ارتفاع (DEM) و مدل‌های سطح دیجیتال (DSM) اشاره کرد که پایه‌ای برای بسیاری از تحلیل‌های سه‌بعدی محسوب می‌شوند. تلفیق داده‌های سه‌بعدی با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (3D GIS) نیز امکان انجام تحلیل‌های مکانی پیچیده‌تری را فراهم می‌آورد. در این روش‌ها، داده‌های مکانی سنتی با بعد سوم غنی شده و امکان درک بهتری از روابط عمودی بین عوارض مختلف فراهم می‌شود.

در صورتیکه پروژه مورد نظر تا سطح جزئیات خارجی عوارض ساختمان (LoD3) را پوشش می‌دهد، فرمت خروجی می‌بایست مطابق با استاندارد CityGML باشد. چنانچه پروژه، سطح جزئیات داخل ساختمان (LoD4) را پوشش می‌دهد، فرمت خروجی باید شامل فرمت‌های CityGML و IndoorGML باشد.

۶-۲- تحلیل‌های داده‌های مکانی سه‌بعدی

امروزه با پیشرفت فناوری‌های سنجش از دور، اسکن لیزری و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، داده‌های سه‌بعدی به‌عنوان قلب تپنده سیستم‌های مدرن مکانی ظهور کرده‌اند. این تحول، امکان درک پدیده‌ها را در ابعاد کامل فضایی فراهم می‌کند و تحلیل‌هایی چون تداخل حجمی سازه‌ها، شبیه‌سازی پدیده‌های عمودی و محاسبه حریم‌های واقع‌گرایانه را ممکن می‌سازد.

این تغییر، فقط افزودن یک بُعد نیست، بلکه نحوه طرح‌پرسش‌ها، ابزارها و نتیجه‌گیری‌ها را دگرگون می‌کند. در این چارچوب، مفاهیم کلاسیک (مانند بافر، همپوشانی و شبکه) به‌صورت حجم‌محور بازتعریف می‌شوند (مثل تبدیل "بافر دایره‌ای" به "حریم کروی اطراف دکل‌ها").

توانمندی‌های نوظهور (نظیر محاسبه حجم خاک‌برداری، تحلیل سایه‌اندازی ساختمان‌های بلند و مسیریابی سه‌بعدی پهباده‌ها) که مبتنی بر الگوی فکری فوق است، تصمیم‌سازی در حوزه‌هایی چون معدن، شهرسازی و مدیریت بحران را متحول کرده‌اند.

^{۱۴۰} Viewshed

^{۱۴۱} Coverage Analysis

^{۱۴۲} Shadow Analysis

^{۱۴۳} Shadow Analysis

^{۱۴۴} Collision Detection

^{۱۴۵} Point Cloud Processing

از مهم‌ترین تحلیل‌های سه‌بعدی در حوزه داده‌های سه‌بعدی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- بافر سه‌بعدی:

ایجاد یک ناحیه حجمی با فاصله ثابت در اطراف اشیاء سه‌بعدی (مثل ساختمان‌ها، لوله‌ها، یا معادن).
در بافر دوبعدی، محدوده بافر به صورت دایره/پلی‌گون مسطح است، اما در سه‌بعدی به شکل استوانه، کره یا پوسته‌ای حجمی ایجاد می‌شود.

-مثال کاربردی:

- تعیین حریم ایمنی اطراف خطوط لوله گاز زیرزمینی (به شکل استوانه)
- شناسایی مناطق ممنوعه پرواز در اطراف برج‌های مخابراتی (کره)

۲- همپوشانی سه‌بعدی:

ترکیب لایه‌های حجمی برای یافتن نقاط تلاقی یا ادغام ویژگی‌ها.
در همپوشانی دوبعدی، همپوشانی پلی‌گون‌ها بررسی می‌شود، اما در سه‌بعدی، برخورد حجم‌ها (مثل تقاطع تونل با لایه‌های زمین) تحلیل می‌شود.

-مثال کاربردی:

- شناسایی تداخل مسیر مترو با فونداسیون ساختمان‌های موجود
- محاسبه حجم خاکبرداری در پروژه‌های عمرانی با تلفیق مدل زمین و طرح سازه

۳- تحلیل نزدیک‌ترین همسایه:

یافتن نزدیک‌ترین شیء حجمی به یک نقطه/شیء هدف در فضا (مثلاً با معیار فاصله اقلیدسی).
در تحلیل نزدیک‌ترین همسایه دوبعدی فقط فاصله افقی محاسبه می‌شود، اما در سه‌بعدی، ارتفاع نیز مؤثر است.

-مثال کاربردی:

- یافتن نزدیک‌ترین خروجی اضطراری به یک واحد آپارتمانی در طبقه دهم
- اتصال لوله‌کشی‌های عمودی و افقی در صنعت نفت و گاز

۴- برش یا مقطع سه‌بعدی:

ایجاد مقطع از حجم داده‌ها در جهت‌های دلخواه (افقی، عمودی، یا مایل).

در برش دوبعدی، برش فقط حول یک محور انجام می‌شود، اما در سه‌بعدی امکان برش در هر زاویه وجود دارد.

-مثال کاربردی:

- بررسی لایه‌های زمین‌شناسی در عمق‌های مختلف برای اکتشاف معدن
- کنترل ساخت سازه‌ها با مقایسه برش‌های سه‌بعدی از مدل CAD و نمونه واقعی.

۵- تحلیل درونیابی حجمی:

پیش‌بینی مقادیر ناشناخته در فضای سه‌بعدی بر اساس داده‌های نمونه (مشابه IDW یا کریجینگ در دوبعدی).

-مثال کاربردی:

- ساخت مدل گرادین دمای در یک ساختمان بر اساس سنسورهای نقطه‌ای.
- مدل‌سازی توزیع آلودگی هوا در ارتفاع‌های مختلف شهر.

۶- تحلیل سه‌بعدی مسیر:

یافتن بهینه‌ترین مسیر با در نظر گرفتن موانع حجمی و تغییرات ارتفاعی. در تحلیل دوبعدی مسیر فقط موانع مسطح دیده می‌شود، اما در سه‌بعدی عوارض سه‌بعدی مانند پل‌ها، تونل‌ها و اختلاف ارتفاع لحاظ می‌گردد.

-مثال کاربردی:

- طراحی مسیر پهباد با اجتناب از برخورد با ساختمان‌ها و کابل‌ها.
- برنامه‌ریزی مسیر کابل‌کشی زیردریایی در کف اقیانوس.

۷- تحلیل پرسش و پاسخ سه‌بعدی مکانی:

پرسش‌های مبتنی بر روابط حجمی مانند:

- "کدام ساختمان‌ها در حریم ۵۰ متری عمودی این دکل قرار دارند؟"

- "آیا این تونل با لایه‌های سنگی سست، تلاقی دارد؟"

-مثال کاربردی:

- شناسایی واحدهای مسکونی واقع در حریم عمودی فرودگاه برای کنترل صدای هواپیما.

۸- محاسبه حجم:

محاسبه حجم عوارض پیچیده (مثل مخازن، تپه‌های معدنی یا حفاری‌ها).
در دوبعدی، مساحت محاسبه می‌شود، اما در سه‌بعدی، حجم محاسبه می‌شود.

-مثال کاربردی:

- برآورد حجم خاک‌برداری در پروژه‌های سدسازی.

- محاسبه ظرفیت سیلوهای غلات.

۹- تحلیل شبکه سه‌بعدی:

مدل‌سازی جریان در شبکه‌های پیچیده (مثل لوله‌کشی‌های چندطبقه، سیستم‌های تهویه).

-مثال کاربردی:

- شبیه‌سازی فشار آب در شبکه‌ای آبرسانی یک برج ۳۰ طبقه.

- بهینه‌سازی مسیر کابل‌های فیبر نوری در زیرگذرهای شهری.

۱۰- تحلیل سایه‌اندازی و تابش خورشید:

پیش‌بینی سایه‌های ساختمان‌ها و میزان تابش خورشید بر سطوح.

-مثال کاربردی:

- بررسی تأثیر ساخت برج جدید بر نورگیری ساختمان‌های مجاور.

- طراحی پنجره‌ها برای حداکثر جذب نور طبیعی.

۱۱- تحلیل خط دید

تعیین مناطقی که از یک نقطه مشاهده خاص قابل رؤیت هستند (یا برعکس، نقاطی که می‌توانند آن موقعیت را ببینند).

-مثال کاربردی:

- تعیین محل استقرار دوربین‌های نظارتی برای پوشش حداکثری یک محوطه.

- شناسایی نقاطی در شهر که نمای مشهوری از یک بنای تاریخی (مثل برج میدان آزادی) دارند.

- بررسی حریم بصری اطراف بناهای میراث فرهنگی (مثلاً جلوگیری از ساخت بلندمرتبه در حریم مسجد جامع اصفهان).

۱۲- تحلیل میدان دید:

تعیین حداقل نقاط مورد نیاز برای پوشش دید کامل یک منطقه (مثل نصب دوربین مداربسته).

-مثال کاربردی:

- تعیین محل دوربین‌ها برای پوشش تمام صندلی‌ها.

- استقرار ایستگاه‌های نگهبانی برای نظارت بر مناطق حساس.

۶-۳- تجسم و نمایش داده‌های مکانی سه‌بعدی

نمایش و تجسم داده‌های سه‌بعدی امروزه به یکی از ارکان اساسی درک و تحلیل دنیای واقعی تبدیل شده است. این فناوری‌ها با ایجاد تعاملی پویا بین کاربران و مدل‌های رقمی، امکان کاوش و درک عمیق‌تر فضاها و سیستم‌ها را فراهم می‌آورند. کاربران از طریق پلتفرم‌های پیشرفته می‌توانند در مدل‌های سه‌بعدی حرکت کنند، جزئیات را از زوایای مختلف بررسی نمایند و تصمیمات آگاهانه‌تری اتخاذ کنند.

پیشرفته‌ترین شکل این تجسم‌ها در قالب مفاهیمی مانند سایه رقمی (Digital Shadow) و همسان رقمی (Digital Twin) ظهور یافته است. سایه رقمی به عنوان یک نگاشت رقمی از دنیای واقعی عمل می‌کند که به صورت پویا و از طریق داده‌های حسگرها و دستگاه‌های اینترنت اشیا به‌روز می‌شود. این فناوری امکان نظارت لحظه‌ای و پیش‌بینی اختلالات را در سیستم‌های پیچیده فراهم می‌آورد. همسان‌های رقمی گام بلندتری در این مسیر برداشته‌اند، چرا که نه تنها وضعیت موجود را نمایش می‌دهند، بلکه از طریق جریان دوطرفه داده‌ها قادر به تأثیرگذاری بر محیط فیزیکی هستند. این فناوری با بهره‌گیری از هوش مصنوعی و اینترنت اشیا، امکان شبیه‌سازی سناریوهای مختلف و پیش‌بینی نتایج تصمیمات را قبل از اجرای فیزیکی آنها فراهم می‌کند.

آینده این فناوری‌ها در قالب متاورس در حال شکل‌گیری است، جایی که مرزهای بین دنیای فیزیکی و رقمی به تدریج محو می‌شود. در این محیط‌های غوطه‌ور، کاربران می‌توانند با استفاده از ابزارهایی مانند عینک‌های واقعیت مجازی و افزوده، به صورت کاملاً طبیعی با مدل‌های سه‌بعدی تعامل داشته باشند. این تحول نه تنها روش‌های برنامه‌ریزی و طراحی شهری، بلکه شیوه‌های آموزش، تجارت و ارتباطات انسانی را نیز دگرگون خواهد کرد.

کاربردهای این فناوری‌ها از مدیریت شهری و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل تا نظارت بر محیط زیست و بهینه‌سازی مصرف انرژی گسترده شده است. نمایش سه‌بعدی داده‌ها امروزه نه تنها یک ابزار کمکی، بلکه بخش جدایی‌ناپذیر فرآیند تصمیم‌گیری در سازمان‌ها و شهرهای هوشمند محسوب می‌شود. با پیشرفت فناوری‌هایی مانند پردازش ابری و هوش مصنوعی، دقت، سرعت و تعامل‌پذیری این سیستم‌ها روزبه‌روز در حال بهبود است و افق‌های جدیدی را در مدیریت هوشمند فضاها می‌گشاید.

استفاده از سمبل‌های عوارض سه‌بعدی نقشی حیاتی در انتقال مؤثر اطلاعات سه‌بعدی مکانی ایفا می‌کند. این سمبل‌ها با تبدیل داده‌های انتزاعی به اشکال بصری شهودی (مانند مدل‌سازی ساختمان‌ها به جای پلی‌گون‌های مسطح، نمایش درختان با حجم سایه‌دار، یا شبیه‌سازی تجهیزات شهری مانند تابلوهای راهنمایی به صورت اشیاء سه‌بعدی)، درک روابط عمودی، تداخلات و مقیاس واقعی عوارض را ممکن می‌سازند.

جزئیات سمبل‌های عوارض سه‌بعدی در نسخه بروز شده دستورالعمل همسان نقشه‌برداری ۴-۱۱۹ کارتوگرافی در دسترس است.

یکی از اهداف مهم در راستای پیاده‌سازی SDI سه‌بعدی، آن است که محصولات سه‌بعدی الزاما در

قالب فرمت‌های استاندارد نهایی IndoorGML، CityGML و I3S

که از استانداردهای OGC می‌باشند، در ژئوپرتال ملی ثبت گردند.

ثبت داده‌های استاندارد توسط متولیان داده در سراسر کشور از طریق زیرپرتال عوارض سه‌بعدی ژئوپرتال ملی، که آدرس آن در پانویس ۱۴۶ این صفحه درج شده است، امکان‌پذیر است.

۷- اشتراک‌گذاری و توزیع داده‌های مکانی

سرویس‌های GIS باید امکان اشتراک‌گذاری اطلاعات مکانی، اجرا و اشتراک‌گذاری برنامه‌های کاربردی و ارائه داده‌ها را از طریق ژئوپرتال و بدون نیاز به منابع اضافی برای کاربر فراهم کنند. از طریق ژئوپرتال، دارایی‌ها و برنامه‌های کاربردی GIS را می‌توان در دسترس متخصصان و عموم مردم، حتی افراد ناآشنا با GIS، قرار داد.

مراحل اصلی طراحی و پیاده‌سازی پرتال مکانی مشابه یک سامانه اطلاعات مکانی است. مرحله نخست، نیازسنجی و تحلیل است که شامل شناسایی نیازهای کاربران و سازمان‌ها برای خدمات اطلاعات مکانی و جمع‌آوری داده‌های مکانی مورد نیاز و تحلیل نیازهای عملکردی است. در مرحله دوم، طراحی معماری سیستم انجام می‌پذیرد. در این مرحله معماری پایه و زیرساخت‌های فنی انتخاب شده و سامانه‌های پایگاه داده و فناوری‌های سرور معرفی می‌شوند. طراحی یک رابط کاربری ساده و قابل درک برای کاربران جهت تعامل با داده‌ها مرحله سوم است. مرحله بعدی، ادغام داده‌ها و خدمات از منابع مختلف و استفاده از خدمات وب برای دسترسی به داده‌ها است. در مرحله چهارم عملکردهای برنامه‌ریزی شده، پیاده شده و از فناوری‌های مختلف برای مدیریت پایگاه داده سود جسته می‌شود. در مرحله آزمایش و ارزیابی، عملکرد و امنیت سیستم جهت شناسایی مشکلات احتمالی بررسی شده و پرتال جهت اطمینان از قابلیت دسترسی و استفاده ارزیابی می‌شود. مشابه سامانه‌های اطلاعاتی دیگر مراحل راه‌اندازی و استقرار پرتال و مرحله نگهداری و پشتیبانی نیز مراحل انتهایی هستند.

^{۱۴۶} https://iransdi.ncc.gov.ir/Form_PDF/fahm/BIM.html

در این فصل به استانداردهای سرویس‌های مرتبط به اطلاعات مکانی به‌عنوان اساس و شاکله بنیادی یک پرتال می‌پردازیم. استانداردهای اصلی سرویس‌های GIS عبارتند از:

- **استاندارد فراداده:** برای توصیف داده‌ها و سرویس‌های GIS
- **استاندارد کاتالوگ وب:** برای سازماندهی و جستجوی داده‌ها و سرویس‌های GIS.
- **استاندارد سرویس‌های نقشه وب:** برای ارائه نقشه‌های پویا و ایستا.
- **استاندارد سرویس‌های پاره‌چینی^{۱۴۷} نقشه وب:** برای ارائه نقشه‌ها در سطوح مختلف جزئیات.
- **استاندارد سرویس‌های پاره‌چینی وکتوری:** برای ارائه نقشه‌ها در سطوح مختلف جزئیات.
- **استاندارد سرویس‌های عوارض وب:** برای دسترسی به داده‌های مکانی و انجام عملیات بر روی آنها.
- **استاندارد سرویس‌های پوشش وب:** برای ارائه داده‌های رستری مانند تصاویر ماهواره‌ای.
- **استاندارد ساده GeoRSS:** برای اشتراک‌گذاری اطلاعات مکانی از طریق فید^{۱۴۸} های RSS.
- **استاندارد دریافت SMS:** برای دریافت اطلاعات مکانی از طریق پیامک.
- **استاندارد سرویس‌های ارتباط با سنجنده‌ها:** برای استفاده از داده‌های حسگرها و IOT
- **استاندارد تحلیل‌های کاربردی GIS:** با تمرکز بر پشتیبانی از تصمیم‌گیری در سطوح مختلف دولتی (ملی، استانی، شهرستانی و محلی)، خدمات شهروندی و تحلیل‌های کاربردی تجاری/سازمانی.

این استانداردها برای ایجاد یک ژئوپرتال کارآمد و قابل اعتماد ضروری هستند. با پیروی از این استانداردها، می‌توان اطمینان حاصل کرد که داده‌ها و سرویس‌های GIS به‌طور موثر و با کیفیت بالا در دسترس کاربران قرار می‌گیرند. در ادامه الزامات سرویس‌های اصلی بیان شده است.

۷-۱- اشتراک‌گذاری

۷-۱-۱- استاندارد فراداده (Metadata)

فراداده مکانی (Spatial Metadata)، اطلاعات توصیفی و فنی مربوط به مجموعه داده‌های مکانی را ارائه می‌دهد. این استاندارد، امکان جستجو، مدیریت مؤثر، بازیابی و استفاده صحیح از داده‌های مکانی را فراهم می‌کند.

فراداده مکانی شامل اطلاعاتی است که مشخصات، محتوا، کیفیت، شرایط، و سایر ویژگی‌های مجموعه داده‌های مکانی را توصیف

^{۱۴۷} Tiling

^{۱۴۸} Feed

می‌کند.

استاندارد ISO 19115 که توسط سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO) توسعه یافته است، چارچوبی جامع برای توصیف فراداده‌های اطلاعات مکانی ارائه می‌دهد. این استاندارد به منظور تسهیل مدیریت، کشف، دسترسی و استفاده مؤثر از داده‌های مکانی طراحی شده است. استاندارد مذکور شامل بخش‌های اجباری و اختیاری است که به طور گسترده در سطح بین‌المللی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اجزای اصلی فراداده مکانی را مطابق با استاندارد ISO 19115 می‌توان به صورت زیر برشمرد:

۱. بخش شناسایی (Identification)

این بخش شامل اطلاعات پایه‌ای برای شناسایی مجموعه داده‌ها است:

- عنوان (Title): نام مجموعه داده
- چکیده (Abstract): شرح مختصری از محتوای مجموعه داده
- تاریخ ایجاد (Date of Creation): تاریخ تولید داده‌ها
- نوع منبع (Resource Type): نوع منبع داده‌ای (مانند مجموعه داده، سری داده‌ها)
- مرجع مقیاس (Scale Reference): مقیاس نقشه یا داده
- کلیدواژه‌ها (Keywords): واژه‌های کلیدی برای توصیف موضوع داده‌ها

۲. اطلاعات تماس (Contact Information)

اطلاعات مربوط به اشخاص یا سازمان‌های مسئول مجموعه داده:

- ناشر (Publisher): سازمان مسئول انتشار داده‌ها
- توزیع‌کننده (Distributor): سازمان مسئول توزیع داده‌ها
- اطلاعات تماس (Contact Details): آدرس، تلفن، ایمیل و سایر اطلاعات تماس

۳. اطلاعات کیفیت داده (Data Quality Information)

این بخش به توصیف کیفیت و دقت داده‌ها می‌پردازد:

- دقت موقعیتی افقی و عمودی (Horizontal and Vertical Positional Accuracy): میزان دقت داده‌ها در ابعاد مختلف
- کامل بودن (Completeness): میزان کامل بودن داده‌ها

- یکپارچگی منطقی (Logical Consistency): سازگاری داخلی داده‌ها
- صحت (Accuracy): درستی و دقت داده‌ها

۴. مرجع مکانی (Spatial Reference)

اطلاعات مربوط به سیستم مختصات و مرجع مکانی:

- سیستم مختصات (Coordinate System): سیستم مورد استفاده برای مختصات داده‌ها
- سیستم تصویر (Projection System): سیستم تصویر مورد استفاده
- بیضوی مبنا (Reference Ellipsoid): بیضوی مرجع برای سیستم مختصات

۵. ویژگی‌ها و صفات (Attributes and Features)

توصیف ویژگی‌های داده‌های مکانی:

- نوع داده (Data Type): نقاط، خطوط، چندضلعی‌ها یا شبکه‌ها
- توضیح ویژگی‌ها (Attribute Description): شرح ویژگی‌های موجود در داده‌ها
- مقادیر مجاز (Allowed Values): دامنه مقادیر مجاز برای هر ویژگی

۶. اطلاعات توزیع (Distribution Information)

اطلاعات مربوط به چگونگی دسترسی و دریافت داده‌ها:

- فرمت داده (Data Format): فرمت‌های disponibles برای دریافت داده‌ها
- روش دسترسی (Access Method): روش‌های دسترسی به داده‌ها
- هزینه (Fees): هزینه‌های احتمالی دسترسی به داده‌ها

۷. اطلاعات زمانی (Temporal Information)

اطلاعات مربوط به بعد زمانی داده‌ها:

- تاریخ جمع‌آوری (Date of Collection): زمانی که داده‌ها جمع‌آوری شده‌اند
- تاریخ به‌روزرسانی (Date of Update): آخرین تاریخ به‌روزرسانی داده‌ها
- اعتبار زمانی (Temporal Validity): دوره زمانی که داده‌ها معتبر هستند

۸. محدودیت‌های دسترسی و استفاده (Access and Use Constraints)

محدودیت‌های قانونی و امنیتی مربوط به داده‌ها:

- محدودیت‌های دسترسی (Access Constraints): محدودیت‌های دسترسی به داده‌ها
- محدودیت‌های استفاده (Use Constraints): شرایط استفاده از داده‌ها
- مسائل امنیتی (Security Concerns): طبقه‌بندی امنیتی داده‌ها

۹. اطلاعات مرجع فراداده (Metadata Reference)

اطلاعات مربوط به خود فراداده:

- تاریخ ایجاد فراداده (Metadata Date): تاریخ ایجاد فراداده
- تاریخ بازبینی فراداده (Metadata Revision Date): تاریخ آخرین بازبینی فراداده
- نقطه تماس فراداده (Metadata Contact Point): اطلاعات تماس برای پرسش‌های مربوط به فراداده

۱۰. اطلاعات محتوای مکانی (Spatial Content Information)

توصیف محتوای مکانی مجموعه داده:

- محدوده جغرافیایی (Geographic Extent): مرزهای جغرافیایی پوشش داده‌ها
- محصولات (Products): محصولات تولید شده از داده‌ها

کاربردهای استاندارد فراداده مکانی را می‌توان به صورت زیر بیان داشت:

۱. مدیریت و سازماندهی داده‌ها

- ایجاد شناسنامه دیجیتال برای داده‌های مکانی که گویای وضعیت و مشخصات آنها است.
- سهولت در بازیابی و دسترسی به داده‌ها از طریق اطلاعات توصیفی ساختاریافته.
- پشتیبانی از تصمیم‌گیری بر اساس اطلاعات دقیق و به‌روز درباره کیفیت و دقت داده‌ها.

۲. تبادل و اشتراک‌گذاری داده‌ها

- تسهیل تبادل داده بین سازمان‌ها و سیستم‌های مختلف با ارائه اطلاعات استاندارد شده.
- کاهش دوباره‌کاری با اطلاع‌رسانی دقیق درباره موجودیت داده‌ها و ویژگی‌های آنها.
- پشتیبانی از زیرساخت‌های داده مکانی (SDI) با ارائه چارچوب استاندارد برای توصیف داده‌ها.

۳. تضمین کیفیت و قابلیت اعتماد

- ارزیابی تناسب داده‌ها برای کاربردهای خاص از طریق اطلاعات مربوط به دقت، منبع و تاریخچه داده‌ها.
- پایش کیفیت داده‌ها با مستندسازی مشخصات کیفی مانند دقت هندسی و صحت موقعیتی.
- پشتیبانی از تحلیل‌های مکانی با ارائه اطلاعات لازم درباره سیستم مختصات و روش تولید داده‌ها.

۴. پشتیبانی از حقوق مالکیت و دسترسی

- مدیریت حقوق دیجیتال با ثبت اطلاعات مالکیت، حق تکثیر و شرایط استفاده از داده‌ها.
- شفاف‌سازی مسائل حقوقی مربوط به داده‌ها برای استفاده‌کنندگان داخلی و خارجی.
- پشتیبانی از سیاست‌های دسترسی آزاد به داده‌ها با ارائه اطلاعات واضح درباره شرایط استفاده.

۵. کاربردهای تخصصی و حوزه‌های خاص

- پشتیبانی از پروژه‌های عمرانی و برنامه‌ریزی با ارائه اطلاعات دقیق درباره داده‌های پایه.
- کاربرد در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) با امکان یکپارچه‌سازی داده‌های مختلف.
- پشتیبانی از تحقیقات علمی با مستندسازی کامل روش تولید داده و مشخصات فنی.

لازم است اقلام فراداده مطابق با استاندارد ISO 19115 تهیه شوند و پیاده‌سازی آن مطابق استاندارد ISO 19139 انجام گیرد.

۷-۱-۲- استاندارد کاتالوگ وب (CSW)

CSW یا Catalog Service for the Web یک استاندارد بین‌المللی است که توسط کنسرسیوم مکانی باز OGC تعریف شده است و موتور جستجویی برای داده‌ها و سرویس‌های مکانی است. همانطور که از Google برای جستجوی صفحات وب استفاده می‌شود، از یک سرویس CSW برای پیدا کردن داده‌های مکانی (مثلاً نقشه‌های کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای، و...) در یک سازمان یا بین چندین سازمان استفاده می‌شود. این استاندارد یک رابط سرویس وب (Web Service) را برای انتشار، جستجو و بازیابی فراداده، خدمات وب (مانند WMS, WFS) و سایر منابع اطلاعاتی ارائه می‌کند. برای اطمینان از سازگاری با سیستم‌های مختلف، این استاندارد از HTTP استفاده می‌کند که حتی با نسخه‌های قدیمی‌تر استانداردهای ISO (مانند ISO 19115:2003) نیز کار می‌کند.

از کاربردهای اصلی CSW می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- ایجاد زیرساخت داده مکانی (SDI): هسته اصلی هر SDI یک کاتالوگ است. CSW استاندارد مورد استفاده برای ایجاد این کاتالوگ است که به کاربران اجازه می‌دهد در بین تمامی داده‌های موجود در SDI جستجو کنند. به عبارت دیگر، کاربران (انسان‌ها یا نرم‌افزارها) می‌توانند بر اساس معیارهای مختلف مانند موقعیت جغرافیایی (Bounding Box)، کلمات کلیدی، تاریخ تولید، فرمت داده و غیره، داده یا سرویس مورد نیاز خود را پیدا کنند.
- یکپارچه‌سازی و همکاری: سازمان‌های مختلف می‌توانند با پیاده‌سازی سرویس CSW، داده‌های خود را به صورت استاندارد در اختیار دیگران قرار دهند و از داده‌های یکدیگر استفاده کنند. این امر از دوباره‌کاری جلوگیری می‌کند.
- سرویس CSW از پروتکل‌های استاندارد وب مانند HTTP GET/POST استفاده می‌کند و query معمولاً به صورت XML (مطابق با استانداردهای OGC) هستند. رایجترین operation (عملیات) در CSW، عملیات GetRecords برای جستجو در کاتالوگ است.

پارامترهای اصلی یک درخواست GetRecords از موارد زیر تشکیل شده است:

- service: نوع سرویس که همیشه باید CSW باشد. (service=CSW)
- version: نسخه استاندارد مورد استفاده. رایجترین نسخه 2.0.2 است. (version=2.0.2)
- request: نام عملیاتی که قرار است انجام گیرد. (request=GetRecords)
- elementsetname: مشخص می‌کند چه میزان جزئیات از فراداده در پاسخ برگردانده شود. مقادیر رایج: brief (خلاصه)، summary (کامل‌تر)، full (تمام جزئیات). (elementsetname=full)
- resultType: نوع خروجی را مشخص می‌کند. hits (فقط تعداد نتایج)، results (خود نتایج)، validate (اعتبارسنجی کوثری). (resultType=results)
- startPosition: برای صفحه‌بندی نتایج استفاده می‌شود. شماره رکوردی که نمایش از آن شروع می‌شود. (startPosition=1)
- maxRecords: برای صفحه‌بندی نتایج استفاده می‌شود. حداکثر تعداد رکوردی که در پاسخ برگردانده می‌شود. (maxRecords=10)
- constraintLanguage: زبان و نحوه نوشتن پرس و جوی کاربر. معمولاً FILTER یا CQL_TEXT است. (constraintLanguage=FILTER)
- constraint: مهمترین پارامتر. شرط جستجو که در قالب XML (برای FILTER) یا متن ساده (برای CQL) نوشته می‌شود. به عنوان مثال، برای جستجوی فراداده‌هایی که شامل عبارت river باشند، با بکارگیری CQL، عبارت زیر درج می‌شود:

&constraint=AnyText LIKE '%rivers%' AND BBOX(ows:BoundingBox, 35.68, 51.38, 35.78, 51.48)

برای تدوین کاتالوگ وب GIS در سطح ملی و یا برای سازمان‌های دولتی، استفاده از استاندارد سرویس‌های کاتالوگ OGC الزامی است. برای سایر سطوح نیز توصیه می‌شود که از همین استاندارد بهره برده شود.

۷-۱-۳- استاندارد سرویس نقشه (WMS)

سرویس نقشه وب (WMS) که به‌عنوان یک استاندارد بین‌المللی تعریف شده است، پروتکلی برای ارائه پویای تصاویر نقشه‌های زمین‌مرجع شده از طریق اینترنت می‌باشد. در این استاندارد، یک سرور نقشه مبتنی بر داده‌های مکانی، با دریافت درخواست‌های استاندارد از طریق پروتکل HTTP (عمدتاً با عملیات GetMap)، تصاویر نقشه‌ای (معمولاً در فرمت‌هایی مانند PNG، JPEG یا GIF) را بر اساس پارامترهای تعیین‌شده شامل محدوده مکانی (Bounding Box)، اندازه خروجی، سیستم مختصات مرجع (CRS)، فرمت و لایه‌های درخواستی، تولید و به سمت کلاینت ارسال می‌کند. WMS به‌عنوان یک استاندارد بسیار مرجع و پرکاربرد، امکان دسترسی و تلفیق همزمان لایه‌های اطلاعاتی مکانی از منابع مختلف را بدون نیاز به نرم‌افزار تخصصی و تنها از طریق مرورگرهای وب یا نرم‌افزارهای کلاینت GIS فراهم می‌سازد و نقش اساسی در توسعه پورتال‌های ملی و سازمانی در راستای ایجاد نقشه‌های پویا و ساختارهای داده‌ای تعاملی تحت وب ایفا می‌کند.

انواع درخواست (عملگر) در این سرویس به شرح ذیل می‌باشند:

- GetCapabilities: پارامترهایی درباره WMS (مانند فرمت تصویر نقشه و نسخه WMS) و لایه‌های موجود (محدوده نقشه، سیستم‌های مرجع مختصات، URI داده‌ها) را برمی‌گرداند.
 - GetMap: یک تصویر نقشه را برمی‌گرداند. پارامترهای این درخواست شامل: عرض و ارتفاع نقشه، سیستم مرجع مختصات، نمادگذاری و فرمت تصویر هستند.
 - GetFeatureInfo: اگر لایه‌ای به عنوان "قابل پرس‌وجو" علامت‌گذاری شده باشد، می‌توانید اطلاعات توصیفی مربوط به مختصات مشخصی بر روی تصویر نقشه را درخواست کنید.
 - DescribeLayer: مشخصات اطلاعات توصیفی (مانند نام فیلد توصیفی و نوع آن) در مورد لایه را برمی‌گرداند.
 - GetLegendGraphic: تصویری از راهنمای نقشه را برمی‌گرداند که راهنمای بصری برای عناصر نقشه ارائه می‌دهد.
- در پردازش‌سازی^{۱۴۹} نقشه‌های GIS، راهنمای لایه و نمادگذاری و رنگ‌آمیزی تعریف شده برای عوارض بسیار مهم است. سرویس

^{۱۴۹} Rendering

نقشه باید شامل جزئیات نمادگذاری و مشخصات سازگار با راهنما باشد تا نقشه‌ها با نمادگذاری مشخص پردازش شوند. توانایی تعریف قوانین نمادگذاری به یک زبان نمادگذاری نیاز دارد که سرویس‌گیرنده و سرویس‌دهنده هر دو بتوانند آن را درک کنند.

برای پروژه‌های GIS در سطح ملی و یا برای سازمان‌های دولتی، استفاده از استاندارد سرویس‌های OGC Web Map Service برای GIS الزامی است. برای سایر سطوح نیز توصیه می‌شود که از همین استاندارد بهره برده شود.

۷-۱-۴- استاندارد خدمات پاره‌چینی نقشه (WMTS)

Web Map Tile Service (WMTS) یک استاندارد بین‌المللی است که توسط کنسرسیوم مکانی باز (OGC) تعریف شده است. برخلاف سرویس‌هایی مانند WMS که نقشه را به صورت پویا (Dynamic) و در یک درخواست واحد تولید می‌کند، WMTS از یک روش از پیش پردازش شده استفاده می‌کند.

در این روش، نقشه در سطوح مختلف مقیاس (Zoom Levels) از قبل به تکه‌های کوچک مربعی (Tiles) با اندازه‌های ثابت (مثلاً ۲۵۶x۲۵۶ پیکسل) تقسیم‌بندی و ذخیره می‌شود. هنگامی که کلاینت (مثل یک نرم‌افزار یا وب‌سایت) نیاز به نمایش نقشه دارد، تنها کافی است tileهای مربوط به محدوده و سطح مقیاس مورد نظر را از سرور درخواست و کنار هم بچیند.

مزایای کلیدی WMTS:

- سرعت بسیار بالا: از آنجایی که tileها از قبل تولید و کش (Cache) شده‌اند، پاسخگویی سرور به درخواست‌ها، فوری است.
- مقیاس‌پذیری (Scalability): سرور به جای پردازش سنگین برای هر درخواست، فقط فایل‌های ایستا را ارسال می‌کند. این امر تحمل بار بسیار بالا (مانند میلیون‌ها درخواست) را ممکن می‌سازد.
- کارایی در سمت کلاینت: چیدمان tileها در مرورگر یا نرم‌افزار موبایل بسیار سبک و سریع است.

کاربردهای اصلی WMTS به شرح زیر می‌باشند:

- نقشه‌پایه (Basemap) در برنامه‌های وب و موبایل: تقریباً تمام سرویس‌های نقشه‌آنلاین معروف مانند Google Maps، Bing Maps و OpenStreetMap از این الگو استفاده می‌کنند. WMTS استاندارد باز مورد استفاده برای پیاده‌سازی چنین سرویس‌هایی است.
- ارائه داده‌های ثابت و پرکاربرد: برای لایه‌هایی که به ندرت تغییر می‌کنند (مانند عکس‌های هوایی، نقشه‌های ثابت، لایه‌های زمین‌شناسی) ایده‌آل است.

- کاربردهایی که نیاز به عملکرد و سرعت بالا دارند: برنامه‌هایی که باید نقشه را به سرعت پن و زوم کنند (مانند اپلیکیشن‌های میدانی روی موبایل) از WMTS بهره زیادی می‌برند.
- کاهش بار سرور: با خارج کردن بار پردازشی از سرور اصلی و تحویل tile‌های از پیش ساخته شده، منابع سرور برای پردازش‌های دیگر (مانند سرویس‌های WFS یا پردازش‌های تحلیلی) آزاد می‌ماند.

پارامترهای مورد نیاز این سرویس به شرح زیر می‌باشند:

سرویس WMTS نیز مانند دیگر سرویس‌های OGC از پروتکل HTTP و درخواست‌های GET/POST استفاده می‌کند. سه عملگر اصلی دارد:

- GetCapabilities: دریافت سند XML که توانایی‌های سرور (لیست لایه‌ها، سیستم‌های مختصات و...) را شرح می‌دهد.
- GetTile: دریافت یک tile خاص. این اصلی‌ترین عملگر است.
- GetFeatureInfo (اختیاری): دریافت اطلاعاتی درباره یک ویژگی خاص در یک tile (اگر داده‌های مکانی پشت tile‌ها وجود داشته باشد).

برای پاره‌چینی نقشه در سطح ملی و یا برای سازمان‌های دولتی، استفاده از استاندارد OGC Web Map Tiling Services الزامی است. برای سایر سطوح نیز توصیه می‌شود که از همین استاندارد بهره برده شود.

۷-۱-۵- استاندارد خدمات پاره‌چینی وکتوری (VTS)

سرویس Vector Tile Service (VTS) یک استاندارد پیشرفته برای ارائه داده‌های مکانی در قالب تایل‌های برداری است که توسط کنسرسیوم‌های مختلف و شرکت‌های پیشرو در حوزه GIS توسعه یافته است. برخلاف سرویس‌های رستری که تصاویر از پیش render شده را ارائه می‌دهند، این سرویس داده‌های خام برداری را در قالب تایل‌های کوچک منتقل می‌کند و رندرینگ نهایی در سمت کلاینت انجام می‌شود.

کاربردهای اصلی VTS به شرح زیر می‌باشند:

- نقشه‌پایه (Basemap) با کیفیت بالا: ایجاد نقشه‌های پایه با قابلیت بزرگنمایی روان و بدون کاهش کیفیت
- برنامه‌های موبایل: کاهش مصرف داده و افزایش سرعت در اپلیکیشن‌های موبایل
- نمایش داده‌های پویا: امکان به‌روزرسانی پویای استایل بدون نیاز به تولید مجدد تایل‌ها
- کاربردهای آفلاین: قابلیت ذخیره تایل‌ها برای استفاده در محیط‌های بدون دسترسی به اینترنت

- ویژوالی‌سازی پیشرفته: ایجاد افکت‌های ویژه و نمایش سه‌بعدی با استفاده از WebGL

فرمت‌های رایج:

- MVT: فرمت پیشنهادی برای تولید. بهینه‌ترین فرمت با پشتیبانی گسترده
- GeoJSON: قابل خواندن توسط انسان. حجم نسبتاً بالا، پشتیبانی محدود.
- TopoJSON: مناسب برای داده‌های پلیگونی. پیچیدگی بالا، پشتیبانی محدود.

پارامترهای ضروری:

layer: نام لایه مورد نظر (roads, buildings)

z: سطح زوم یا مقیاس (۱۴)

x: مختصات افقی تایل (۱۱۴۲۳)

y: مختصات عمودی تایل (۱۶۲۳۴)

format: فرمت خروجی (pbf, json, mvt)

attributes: فیلدهای اطلاعاتی مورد نیاز (name, type, population)

۷-۱-۶- استاندارد سرویس عارضه (WFS)

سرویس عارضه وب (WFS یا Web Feature Service) یک استاندارد برای دسترسی پویا و دقیق به داده‌های مکانی در سطح تک‌عوارض (نه الزاماً فایل کامل) است. این سرویس یکی از استانداردهای کلیدی کنسرسیوم مکانی باز (OGC) برای دسترسی و مدیریت داده‌های برداری از طریق وب است. برخلاف سرویس‌هایی مانند WMS که نقشه را به صورت تصویر ارائه می‌دهند، WFS امکان دسترسی به خود عوارض مکانی (نقاط، خطوط، چندضلعی‌ها) همراه با ویژگی‌های توصیفی آنها را فراهم می‌کند. سرویس مزبور به کاربران اجازه می‌دهد نه تنها داده‌ها را مشاهده کنند، بلکه بتوانند پرس‌وجوهای پیچیده انجام دهند و در مواردی WFS-T (Transaction WFS) داده‌ها را ویرایش کنند.

این سرویس چهار قابلیت اصلی را فراهم می‌کند:

۱. بازیابی عوارض (GetFeature)

۲. ایجاد عوارض جدید (Insert)

۳. ویرایش عوارض موجود (Update)

۴. حذف عوارض (Delete)

این سرویس، به جای اشتراک‌گذاری اطلاعات مکانی در سطح فایل با استفاده از پروتکل انتقال فایل (FTP)، سرویس عرضه، دسترسی مستقیم و دقیق در سطح عرضه و ویژگی‌های عرضه را ارائه می‌دهد. سرویس‌های عرضه وب به سرویس‌گیرنده‌ها اجازه می‌دهند فقط داده‌هایی را که به دنبال آن بوده را بازیابی یا اصلاح کنند. بنابراین نیازی نیست که فایلی را بازیابی کنند که حاوی داده‌های مورد نظر آنها و موارد بسیار بیشتری باشد. سرویس عرضه برای سرویس‌های پشتیبانی تصمیم که نیاز به پرس‌وجوهای گسترده و سرویس‌های کاربردی دارند، حیاتی است.

انواع سرویس WFS به صورت زیر می‌باشند:

- Basic WFS (خواندنی): تنها قابلیت بازیابی داده‌ها را فراهم می‌کند (عملگرهای GetCapabilities, DescribeFeatureType و GetFeature).
 - WFS-T (خواندنی-نوشتنی): علاوه بر قابلیت‌های Basic WFS، امکان ایجاد، ویرایش و حذف عوارض را از طریق عملکردهای Transaction و LockFeature فراهم می‌کند.
 - XLink WFS: از قابلیت پیونددهی به داده‌های خارجی با استفاده از XLink پشتیبانی می‌کند.
- پارامترهای WFS به صورت زیر می‌باشند:
- درخواست‌ها به سرویس WFS معمولاً از طریق HTTP GET یا POST ارسال می‌شوند و پارامترهای استاندارد دارند.

۱. پارامترهای عمومی تمام درخواست‌ها

- service: نوع سرویس که همیشه باید WFS باشد.
- version: نسخه استاندارد مورد استفاده (مانند ۱٫۰٫۰، ۱٫۱٫۰ یا ۲٫۰٫۰).
- request: نام عملیات درخواستی (مانند GetCapabilities, GetFeature, DescribeFeatureType).

۲. پارامترهای عملگر GetCapabilities

namespace (اختیاری): فیلتر کردن لایه‌ها بر اساس namespace خاص

۳. پارامترهای عملگر GetFeature (اصلی‌ترین عملگر)

- typeName: نام لایه یا لایه‌های مورد درخواست.

- srsName: سیستم مختصات مرجع خروجی.
- filter: فیلتر کردن عوارض بر اساس شرایط مکانی یا توصیفی با استفاده از XML.
- cql_filter: فیلتر کردن عوارض با استفاده از زبان پرس‌وجوی Common Query Language (CQL) که خوانایی بهتری دارد.
- maxFeatures: حداکثر تعداد عوارض بازگشتی.
- outputFormat: فرمت خروجی (پیش‌فرض معمولاً GML، ولی می‌تواند JSON، CSV و غیره باشد).
- startIndex: برای صفحه‌بندی نتایج، شاخص شروع را مشخص می‌کند.

۴. پارامترهای عملگر Transaction (در WFS-T)

insert, update, delete: مشخص کردن عملیات تراکنشی برای درج، به‌روزرسانی یا حذف عوارض.

محدودیت‌های سرویس WFS را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- پشتیبانی محدود از داده‌های رستر: WFS عمدتاً برای داده‌های برداری طراحی شده است.
- مشکلات مقیاس‌پذیری: بازیابی حجم بسیار زیادی از داده‌ها ممکن است باعث مشکلات عملکردی شود.
- پیچیدگی فنی: کار با داده‌های خام و پردازش آنها نسبت به سرویس‌های تصویری مانند WMS پیچیده‌تر است.
- حجم داده: داده‌های خام برداری، مخصوصاً با فرمت GML، می‌توانند حجم زیادی داشته باشند که به پهنای باند و قدرت پردازش بیشتری نیاز دارد.

برای پیاده‌سازی سرویس عارضه در سطح ملی و یا برای سازمان‌های دولتی، استفاده از استاندارد OGC Web Feature Service، الزامی است. برای سایر سطوح نیز توصیه می‌شود که از همین استاندارد بهره برده شود.

۷-۱-۷- استاندارد سرویس پوشش وب (WCS)

ژئوپرتال باید امکان بازیابی و ارائه محتوای چندبعدی GIS را به عنوان “پوشش ۱۵۰” - یعنی اطلاعات مکانی که پدیده‌های متغیر در مکان/زمان را نشان می‌دهند - ارائه دهد. برخلاف نقشه‌های ایستا که به صورت تصاویر توسط پرتال پردازش شده و یا برخلاف عوارض که به صورت عوارض گسسته نمایش داده می‌شوند، سرویس پوشش برای ارائه محتوای GIS با ویژگی‌ها/توضیحات آنها ضروری است.

¹ Coverage

سرویس WCS (Web Coverage Service) یک استاندارد بین‌المللی است که توسط کنسرسیوم مکانی باز (OGC) تعریف شده است. این سرویس دسترسی به داده‌های رستری (پوشش‌ها) در فرمت اصلی و خام خود را از طریق وب فراهم می‌کند.

برخلاف سرویس‌هایی مانند WMS که یک تصویر render شده از داده‌ها را نمایش می‌دهد، WCS داده‌های رستری خام (مانند تصاویر ماهواره‌ای، مدل‌های رقومی ارتفاع (DEM)، داده‌های آب‌وهوایی و...) را همراه با تمام اطلاعات ارزشمندشان (مقادیر پیکسل‌ها، متادیتا، سیستم مختصات) در اختیار کاربر قرار می‌دهد. این امر امکان تحلیل‌های پیشرفته را بر روی داده‌ها فراهم می‌سازد.

انواع سرویس WCS به صورت زیر می‌باشند:

- Core WCS (پایه): امکان بازیابی ساده رسترها را با استفاده از عملگر GetCoverage فراهم می‌کند.
- Transaction WCS (WCS-T): علاوه بر بازیابی، امکان بارگذاری (آپلود) و حذف رسترها را از سرور فراهم می‌کند (عملگر Transaction).
- Web Coverage Processing Service (WCPS): یک extension برای WCS است که امکان اجرای پرس‌وجوهای پردازشی پیچیده روی رسترها را مستقیماً در سمت سرور فراهم می‌کند (مثلاً محاسبه میانگین، فیلتر کردن و...).

پارامترهای اصلی سرویس WCS به شرح ذیل می‌باشند:

درخواست‌ها به سرویس WCS معمولاً از طریق HTTP GET یا POST ارسال می‌شوند.

۱. پارامترهای عمومی تمام درخواست‌ها

- service: نوع سرویس که همیشه باید WCS باشد. (service=WCS)
- version: نسخه استاندارد مورد استفاده (مانند ۱٫۰٫۰، ۱٫۱٫۰، ۱٫۱٫۱، ۲٫۰٫۱ یا ۲٫۱٫۰). (version=2.0.1)
- request: نام عملیات درخواستی. (request=GetCoverage)

۲. پارامترهای عملگر GetCapabilities

برای دریافت سند XML که توانایی‌های سرور (لیست پوشش‌های available) را شرح می‌دهد.

sections (اختیاری): محدود کردن بخش‌های بازگشتی سند (مثلاً ServiceIdentification, Contents).

۳. پارامترهای عملگر DescribeCoverage

برای دریافت سند XML که جزئیات کامل یک رستر خاص (محدوده مکانی، سیستم مختصات، باندهای available، فرمت‌های

خروجی و...) را شرح می‌دهد.

coverageid: شناسه رستر مورد نظر. (coverageid=My_DEM)

۴. پارامترهای عملگر GetCoverage (اصلی‌ترین عملگر)

برای دریافت خود داده رستری.

- coverageid: شناسه رستر مورد نظر. (coverageid=Sentinel2_Band4)
- subset: مهمترین پارامتر. برای محدود کردن داده در ابعاد مختلف (مکانی، زمانی، طیفی) استفاده می‌شود. می‌تواند چندین بار تکرار شود.
- محدوده مکانی: subset=Long(50.0,60.0)&subset=Lat(۳۰.۰,۴۰.۰)
- محدوده زمانی: subset=time("2023-01-01T00:00:00Z","2023-01-02T00:00:00Z")
- محدوده باند/مولفه: subset=elevation(۱۰۰,۵۰۰) یا subset=Band1
- format: فرمت خروجی داده رستری. (format=image/geotiff)
- mediatype: نوع رسانه خروجی. (mediatype=multipart/related)
- scalesize یا scaleaxes (در نسخه‌های جدید): برای تغییر اندازه خروجی (رزولوشن) استفاده می‌شود. ((scalesize=x(100),y(100))
- scaleextent: برای تغییر اندازه خروجی بر اساس extent. (scaleextent=x(0,100),y(0,100))
- interpolation: روش درونیابی برای تغییر اندازه. (interpolation=bilinear)

برای پیاده‌سازی سرویس پوشش وب در سطح ملی و یا برای سازمان‌های دولتی، استفاده از استاندارد OGC Web Coverage Service الزامی است. برای سایر سطوح نیز توصیه می‌شود که از همین استاندارد بهره برده شود.

۷-۱-۸- استاندارد ساده GeoRSS

سامانه‌های اطلاعات مکانی می‌توانند از GeoRSS-Simple استفاده کنند. این استاندارد یک قالب بسیار سبک با قابلیت پشتیبانی عناصر هندسی مانند نقطه، خط و چندضلعی است. استفاده از GeoRSS-Simple به دلیل سادگی و سبکی آن می‌تواند باعث بهبود کارایی و سرعت در پردازش داده‌های مکانی در پرتال GIS شود.

GeoRSS (مخفف Geographically Encoded Objects for Really Simple Syndication) یک استاندارد متن‌باز برای

افزودن اطلاعات مکانی به فیدهای وب (مثل RSS یا Atom) است. این استاندارد مختصات مکانی (نقاط، خطوط، چندضلعی‌ها) و

ویژگی‌های مرتبط (مانند ارتفاع یا نوع پدیده) را به محتوای فیدها اضافه می‌کند تا امکان نمایش نقشه‌ای، جستجو و تجمیع داده‌های مکانی فراهم شود.

GeoRSS پلی بین داده‌های مکانیو فیدهای وب‌است که در برنامه‌های اضطراری، ترافیکی و پایش محیطی نقش حیاتی دارد. با وجود محدودیت‌ها، به دلیل سادگی و انعطاف، همچنان استاندارد کلیدی در انتشار داده‌های جغرافیایی است.

از پارامترها (آرگومان‌ها)ی سرویس‌گیرنده این استاندارد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف) پارامترهای دریافت داده

- refreshInterval: بازه زمانی بروزرسانی خودکار (ثانیه)
- maxRecords: حداکثر رکوردهای دریافت شده در هر درخواست
- outputFormat: فرمت خروجی (مثلاً JSON, GeoJSON)
- filter: فیلتر مکانی (مثلاً BBOX=35.5,51.0,36.0,52.0)

ب) پارامترهای پردازش داده

- geometryType: تبدیل هندسه‌ها به نوع خاص (مثلاً نقطه به پلی‌گون)
- crs: تبدیل سیستم مختصات (مثلاً EPSG:4326 به EPSG:3857)
- attributeMapping: نگاشت فیلدها (مثلاً elev → altitude)
- timeField: مشخص کردن فیلد زمان برای داده‌های دینامیک (<updated>)

کاربردها و نمونه‌های عملی:

الف) پایش لحظه‌ای رویدادها

- زلزله: بعضی از سازمان‌های زمین‌شناسی داده‌های لرزه‌ای را به صورت GeoRSS منتشر می‌کنند.
- ترافیک: نمایش لحظه‌ای تصادف‌ها در نقشه‌های آنلاین (مثال: Google Maps).

ب) یکپارچه‌سازی با سیستم‌های GIS:

- ArcGIS: بارگذاری مستقیم GeoRSS در GeoEvent Server با تنظیم پارامترهایی مثل: Frequency (فاصله زمانی بروزرسانی بر حسب ثانیه و Last-Modified (دریافت فقط داده‌های جدید)
- تجزیه و تحلیل مکانی: شناسایی کانون‌های ترافیک یا آلودگی.

ج) سرویس‌های مبتنی بر مکان:

- جستجوی مکانی: موتورهای جستجو از GeoRSS برای پرس‌وجوهایی مثل "رستوران نزدیک یک مختصات معلوم" استفاده می‌کنند.

- کتابخانه‌های رقمی: ایندکس‌سازی داده‌های مکانی در ابزارهایی مثل GeoBlacklight.

از کاربردهای دیگر این استاندارد، استفاده از اینترنت اشیا و داده‌های پیوندی (Linked Data)

۷-۱-۹- استاندارد SMS داده‌های مکانی

استاندارد SMS برای ارسال داده‌های مکانی، به‌خصوص در حوزه‌های مرتبط با سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، ناوبری، و سامانه‌های مکان‌محور، به منظور انتقال داده‌های مکانی در قالب پیام‌های کوتاه (SMS) توسعه یافته است. این استاندارد معمولاً تحت عنوان "GeoSMS" یا "Location SMS" شناخته می‌شود و هدف آن این است که اطلاعات مکان، مانند مختصات جغرافیایی، آدرس‌ها یا سایر داده‌های مکانی، به صورت قابل فهم و قابل تفسیر در پیام‌های کوتاه منتقل شوند.

از کاربردهای استاندارد SMS برای داده‌های مکانی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نقشه‌برداری و مدیریت بحران: ارسال مختصات مکان‌های آسیب‌دیده یا نقاط بحرانی به تیم‌های امدادی.
- سیستم‌های ناوبری و مسیریابی: به‌کارگیری در خودروها یا دستگاه‌های همراه برای تعیین و انتقال مکان فعلی کاربر.
- سیستم‌های ردیابی و نظارت: ردیابی افراد، خودروها یا تجهیزات در مناطق مختلف.
- سیستم‌های اطلاع‌رسانی مکان‌محور: ارسال اطلاعات مکان‌هایی مانند فروشگاه‌ها، مراکز خدمات، یا نقاط دیدنی به کاربران.

پارامترهای مهم در استاندارد SMS برای داده‌های مکانی به شرح ذیل می‌باشند:

- نوع داده‌های مکانی: مشخص می‌کند که داده‌های ارسالی شامل چه نوع اطلاعاتی هستند، مانند: مختصات جغرافیایی (عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی)؛ آدرس‌های قابل تفسیر؛ و شناسه‌های مکان‌ها یا نقاط خاص.
- فرمت داده‌ها: معمولاً داده‌های مکانی به صورت کدگذاری شده، مانند URI‌های مکان (مثلاً geo:)، یا در قالب‌هایی مانند GPX، KML، یا JSON در داخل پیام قرار می‌گیرند.
- کدگذاری و رمزنگاری: برای اطمینان از صحت و امنیت داده‌های مکانی، معمولاً از کدگذاری پایه یا رمزنگاری استفاده می‌شود.
- پروتکل انتقال: استانداردهای مرتبط با نحوه فرستادن و دریافت پیام‌های مکانی، شامل کدهای خطای، تایید دریافت، و کنترل تداخل.

نمونه‌ای از قالب یک پیام معمولی GeoSMS در زیر آورده شده است که نشان‌دهنده مختصات شهر تهران است، و برنامه‌های گیرنده این پیام را تفسیر و روی نقشه نمایش می‌دهند:

geo:36.77,54.19?q=Tehran

۷-۱-۱۰- استاندارد ارتباط با سنجنده‌ها (Sensor)

سامانه‌های اطلاعات مکانی می‌توانند از داده‌های سنجنده‌ها و حسگرهای مختلفی استفاده کنند. برای دسترسی به داده‌های جمع‌آوری شده توسط سنجنده‌ها (حسگرها) معمولاً از استاندارد Sensor Observation Service (SOS) استفاده می‌شود.

سرویس‌گیرنده با ارسال درخواست‌های استاندارد به سرور SOS، داده‌های سنجنده را بازیابی می‌کند. انواع درخواست (عملگر) در این سرویس به شرح ذیل می‌باشند:

- **GetCapabilities**: با این عملگر می‌توان ابرداده‌های سرویس (قابلیت‌ها، سنجنده‌های پشتیبانی‌شده، پارامترهای اندازه‌گیری) را دریافت نمود. از پارامترهای این عملگر می‌توان به نوع سرویس (service)، نام عملیات (request) و فیلتر بخش‌های خروجی (sections) نام برد.

- **DescribeSensor**: با این عملگر می‌توان دریافت مشخصات فنی سنجنده (مدل، دقت، مکان، پارامترهای پایش) را دریافت نمود. از پارامترهای این عملگر می‌توان به شناسه منحصر به فرد سنجنده (procedure) و قالب خروجی (outputFormat) نام برد.

- **GetObservation**: با این عملگر می‌توان داده‌های مشاهده‌ای سنجنده‌ها را بازیابی نمود. از پارامترهای این عملگر می‌توان به شناسه دسته‌داده‌های مرتبط (offering)، بازه زمانی (temporalFilter)، محدوده مکانی (spatialFilter)، شناسه سنجنده خاص (برای فیلتر بیشتر) (procedure) و قالب خروجی (responseFormat) نام برد.

- **GetResult**: با این عملگر می‌توان سری‌های زمانی داده‌های خام (بدون ابرداده) را دریافت نمود. از پارامترهای این عملگر می‌توان به شناسه دسته‌داده (offering)، پارامتر موردنظر (observedProperty) و محدوده زمانی (temporalFilter) اشاره نمود.

کاربردها و نمونه‌های عملی:

الف) یکپارچه‌سازی داده‌های ناهمگون

- اتصال به سنجنده‌های متنوع (ایستگاه‌های هواشناسی، کیفیت هوا، ترافیک) بدون نیاز به درایورهای اختصاصی

ب) پایش بلادرنگ^{۱۵۱}

- رصد تغییرات دمای شهرها با GetObservation و temporalFilter

- هشدار سیل بر اساس داده‌های بارندگی از چندین سنجنده

ج) تحلیل‌های مکانی-زمانی

- ترکیب داده‌های سنجنده با لایه‌های GIS (مثلاً تحلیل آلودگی هوا در مناطق پرتراکم شهری)

د) مدیریت بحران

- جمع‌آوری سریع داده از سنجنده‌های میدانی (مثلاً زلزله‌نگارها) با GetResult

ه) اینترنت اشیا

- استاندارد SOS به‌عنوان واسطه یکپارچه‌کننده بین پلتفرم‌های IoT و سیستم‌های GIS.

۷-۱-۱۱- استاندارد تحلیل‌های مکانی کاربردی (WPS)

سرویس‌های تحلیلی کاربردی GIS نیازمند داشتن قابلیت پردازش در فضای وب و یا همراه بعنوان روشی برای استانداردسازی و تنظیم ورودی‌ها و خروجی‌ها (یعنی درخواست‌ها و پاسخ‌ها) در خدمات تحلیل GIS هستند. این خدمات شامل پردازش‌هایی مانند همپوشانی چندضلعی، برش، منطقه حایل یا بافر، اندازه‌گیری فاصله و ایجاد خط دید است. پردازش‌ها می‌تواند شامل الگوریتم‌ها، محاسبات یا مدل‌هایی باشند که بر روی داده‌های GIS عملیاتی می‌شوند. این قابلیت برای ایجاد ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری در سطح ملی بسیار حیاتی است. پردازش GIS بسته به نیاز هر وزارتخانه یا بخش متفاوت خواهند بود، بنابراین تعریف دقیق نیازهای کاربردی GIS امری ضروری است. ابتدا باید کاربردهای GIS در سطح ارگان و یا سازمان تعریف و سپس استانداردهای مربوط به هر کاربرد تدوین شود.

علاوه بر این، استاندارد باید چگونگی درخواست برای اجرای یک فرآیند توسط کاربر و چگونگی مدیریت خروجی‌های آن بر روی سرویس‌های WMS/WFS را تعیین کند. این استاندارد یک رابط کاربری ارائه می‌دهد که فرآیندهای پیچیده GIS را در پشت صحنه تسهیل می‌کند و داده‌های GIS را به این فرآیندها متصل می‌سازد.

OGC دارای استاندارد Web Processing Service (WPS) است. توصیه می‌شود از همین استاندارد برای تعریف استاندارد تحلیل‌های کاربردی GIS استفاده شود. استفاده از WPS به عنوان پایه استاندارد تحلیل‌های کاربردی ملی GIS می‌تواند باعث

^{۱۵۱} Real-time Monitoring

سازگاری با سایر سرویس‌های OGC و تسهیل ادغام با سایر سیستم‌های GIS شود.

در استاندارد WPS (Web Processing Service)، توابع تحلیلی متنوعی وجود دارند که در زیر به دو نمونه رایج از آن‌ها به همراه پارامترهای آن‌ها اشاره می‌شود:

• **Buffer:** با این تابع تحلیلی می‌توان ناحیه‌ای حول یک شی مکانی با فاصله مشخص را ایجاد نمود. پارامترهای این تابع عبارتند از: هندسه ورودی یا geometry (مثلاً نقطه، خط، چندضلعی)، فرمت یا format (مثلاً GML و GeoJSON) و فاصله یا distance (مثلاً ۵۰ متر) و واحد فاصله یا unit (مثلاً float)، نام برد.

• **Intersection:** با این تابع تحلیلی می‌توان نواحی مشترک بین دو لایه مکانی را محاسبه نمود. پارامترهای این تابع عبارتند از: لایه اول یا layer1، فرمت ((application/json (GeoJSON)، لایه دوم یا layer2، فرمت ((application/json (GeoJSON) نام برد. فرمت لایه‌های ورودی باید یکسان باشند.

۷-۲- توزیع داده‌ها

۷-۲-۱- پلتفرم‌های توزیع داده‌های مکانی

پلتفرم‌های متعددی برای انتشار و توزیع داده‌های مکانی وجود دارند. پلتفرم‌های متن‌باز مانند GeoNode و GeoServer انعطاف‌پذیری بالایی دارند و به کاربران امکان سفارشی‌سازی و توسعه قابلیت‌های جدید را می‌دهند. این پلتفرم‌ها برای پروژه‌هایی که به دنبال راه‌حل‌های مقرون‌به‌صرفه و قابل تنظیم هستند، گزینه‌های مناسبی محسوب می‌شوند. با این حال، محدودیت‌هایی مانند نیاز به دانش فنی برای مدیریت و پیکربندی، و همچنین نبود پشتیبانی رسمی، ممکن است چالش‌هایی را ایجاد کند. پلتفرم‌های تجاری مانند ArcGIS Online و Google Maps Platform امکانات پیشرفته‌تری مانند تحلیل‌های پیچیده، رابط‌های کاربری بهینه‌شده و پشتیبانی فنی ارائه می‌دهند. این پلتفرم‌ها دارای قابلیت‌های پیشرفته‌ای هستند. با این حال، هزینه‌های بالای اشتراک و محدودیت‌های مربوط به سفارشی‌سازی، از جمله چالش‌های این نوع پلتفرم‌ها محسوب می‌شود. پلتفرم‌های مبتنی بر رایانش ابری مانند AWS Location Service و Microsoft Azure Maps امکان ذخیره‌سازی و پردازش مقیاس‌پذیر داده‌های مکانی را فراهم می‌کنند. این پلتفرم‌ها به کاربران اجازه می‌دهند تا داده‌های خود را در محیطی امن و با قابلیت پردازش بالا مدیریت کنند. با این حال، هزینه‌های متغیر بسته به میزان پردازش و ذخیره‌سازی داده‌ها، و وابستگی به زیرساخت‌های ابری، از جمله محدودیت‌های این پلتفرم‌ها هستند. استفاده از شبکه‌های تحویل محتوا (CDN) می‌تواند کارایی سرویس‌های مکانی را با کاهش تأخیر در دسترسی به داده‌ها بهبود بخشد. این فناوری به‌ویژه برای سرویس‌هایی که نیاز به بارگذاری سریع داده‌های مکانی دارند، مفید است. با این حال، هزینه‌های اضافی و پیچیدگی در مدیریت داده‌های مکانی در شبکه‌های CDN، از جمله چالش‌های این روش محسوب می‌شود.

با عنایت به اعمال تحریم‌ها، محدودیت‌های تجاری و پیاده‌سازی زیرساخت داده‌های مکانی در سطح ملی مبتنی بر پلتفرم‌های متن‌باز، برای پیاده‌سازی پروژه‌ها در سطح ملی می‌بایست از پلت‌فرم‌های متن‌باز استفاده شود.

۷-۲-۲- مسائل مربوط به حریم خصوصی و امنیت داده‌ها

در عصر دیجیتال، داده‌های مکانی به عنوان دارایی‌های استراتژیک شناخته می‌شوند که نیازمند حفاظت ویژه هستند. ماهیت حساس این داده‌ها، به ویژه در کاربردهای حیاتی مانند مدیریت بحران، خدمات بهداشتی و امنیت ملی، ضرورت اتخاذ تدابیر امنیتی جامع را دوچندان می‌کند. تهدیدات متعددی از جمله دستکاری غیرمجاز، سرقت اطلاعات و نقض حریم خصوصی، سیستم‌های اطلاعات مکانی را در معرض خطر قرار می‌دهد. برای مقابله با این چالش‌ها، رویکردهای چندلایه پیشنهاد می‌شود. در سطح فنی، پیاده‌سازی مکانیزم‌های رمزنگاری پیشرفته برای محافظت از داده‌ها در تمام مراحل چرخه حیات آنها ضروری است. این شامل استفاده از الگوریتم‌های استاندارد رمزنگاری و مدیریت ایمن کلیدها می‌شود. کنترل دسترسی دقیق مبتنی بر نقش کاربران و احراز هویت چندعاملی، لایه دیگری از حفاظت را ایجاد می‌کند. در بعد حریم خصوصی، تکنیک‌هایی مانند ناشناس‌سازی و تجمیع داده‌ها می‌توانند از شناسایی افراد جلوگیری کنند. رعایت مقررات حفاظت داده مانند GDPR^{۱۵۲} و استانداردهای ملی، چارچوب قانونی لازم را فراهم می‌آورد. نظارت مستمر بر دسترسی‌ها و ثبت دقیق وقایع نیز امکان شناسایی و واکنش به موقع به تهدیدات را فراهم می‌سازد. پیاده‌سازی موفق این راهکارها مستلزم ترکیب مناسب فناوری‌های امنیتی، آموزش مستمر کارکنان و به‌روزرسانی دوره‌ای سیاست‌ها است. شفافیت در جمع‌آوری و پردازش داده‌ها نیز نقش کلیدی در جلب اعتماد کاربران دارد. در نهایت، رویکرد پیشگیرانه همراه با توانایی پاسخگویی به حوادث امنیتی، می‌تواند جامعیت و قابلیت اعتماد سیستم‌های اطلاعات مکانی را تضمین کند.

۸- آموزش و توانمندسازی

آموزش و توانمندسازی نیروی انسانی یکی از ارکان اساسی موفقیت در پیاده‌سازی و بهره‌برداری از سامانه‌های اطلاعات مکانی محسوب می‌شود. این فرآیند باید به صورت جامع و نظام‌مند طراحی شود تا تمامی ذینفعان از مدیران ارشد تا کاربران عملیاتی را تحت پوشش قرار دهد.

۸-۱- برنامه‌های آموزشی برای کاربران

برنامه‌های آموزشی برای کاربران می‌بایست متناسب با نقش و سطح دانش هر گروه طراحی گردد. برای کاربران فنی، آموزش‌های تخصصی شامل مفاهیم پایه GIS، سیستم‌های مختصات، جمع‌آوری و پردازش داده‌های مکانی، تحلیل‌های فضایی و کار با نرم‌افزارهای تخصصی ضروری است. برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان، کارگاه‌های کاربردی با تأکید بر مزایای کسب‌وکاری GIS و روش‌های

^{۱۵۲} General Data Protection Regulation

بهینه‌سازی فرآیندهای سازمانی با استفاده از تحلیل‌های مکانی پیشنهاد می‌شود. همچنین برای کاربران عمومی، آموزش مهارت‌های پایه کار با نقشه‌ها و ابزارهای جستجوی مکانی مفید خواهد بود.

۸-۲- منابع و ابزارهای یادگیری

در بخش منابع و ابزارهای یادگیری، توسعه محتوای آموزشی متنوع شامل کتابچه‌های راهنما، فیلم‌های آموزشی تعاملی، داده‌های نمونه و تمرین‌های عملی اهمیت ویژه‌ای دارد. ایجاد پلتفرم‌های آموزش الکترونیکی با امکان برگزاری دوره‌های آنلاین، آزمون‌های سنجش مهارت و سیستم‌های پرسش و پاسخ می‌تواند دسترسی به آموزش را برای همه کاربران تسهیل کند. همچنین تهیه بانک اطلاعاتی از بهترین تجربیات و نمونه‌های موفق پیاده‌سازی GIS در سازمان‌های مختلف می‌تواند الهام‌بخش کاربران باشد.

۸-۳- ایجاد جامعه‌های علمی و حرفه‌ای

ایجاد جامعه‌های علمی و حرفه‌ای گام مؤثری در توسعه دانش و مهارت‌های مرتبط با GIS است. تشکیل انجمن‌های تخصصی، برگزاری همایش‌های دوره‌ای، ایجاد گروه‌های بحث و تبادل نظر و شبکه‌های اشتراک تجربه می‌تواند به غنای دانش جمعی کمک کند. مشارکت در کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی مرتبط و همکاری با مراکز دانشگاهی و پژوهشی نیز از راهکارهای مؤثر در این حوزه محسوب می‌شود.

۹- نگهداری و به‌روزرسانی داده‌های مکانی

سیستم‌های اطلاعات مکانی نیازمند برنامه‌ریزی دقیق برای نگهداری و به‌روزرسانی مستمر هستند. این فرآیند تضمین می‌کند که داده‌های مکانی همواره از صحت، دقت و به‌روز بودن لازم برخوردار باشند.

۹-۱- روش‌های به‌روزرسانی داده‌ها

روش‌های به‌روزرسانی داده‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: به‌روزرسانی دوره‌ای و به‌روزرسانی بلادرنگ. در روش دوره‌ای، داده‌ها در بازه‌های زمانی مشخص (روزانه، هفتگی یا ماهانه) با استفاده از منابعی مانند تصاویر ماهواره‌ای جدید، عملیات میدانی یا داده‌های دریافتی از سازمان‌های همکار، به‌روز می‌شوند. روش بلادرنگ مبتنی بر فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا است که امکان دریافت و پردازش لحظه‌ای تغییرات را فراهم می‌کند. اتوماسیون فرآیند به‌روزرسانی از طریق توسعه اسکریپت‌های اختصاصی و یکپارچه‌سازی با سایر سیستم‌های سازمانی، کارایی این فرآیند را افزایش می‌دهد.

۹-۲- برنامه‌های نگهداری و پشتیبانی

برنامه‌های نگهداری و پشتیبانی شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌های منظم برای حفظ سلامت سیستم است. این برنامه‌ها شامل پشتیبان‌گیری دوره‌ای از داده‌ها، نظارت بر عملکرد سیستم و رفع مشکلات فنی می‌شود. مستندسازی دقیق تمام تغییرات اعمال شده بر روی داده‌ها و سیستم، ایجاد سیستم‌های هشدار برای شناسایی خطاها و تدوین پروتکل‌های واکنش به حوادث، از دیگر اجزای مهم برنامه‌های نگهداری محسوب می‌شوند. همچنین، تشکیل تیم‌های پشتیبانی فنی متشکل از متخصصان GIS، IT و حوزه‌های موضوعی مرتبط، پاسخگویی به مشکلات کاربران را تسهیل می‌کند.

۹-۳- ارزیابی کیفیت داده‌ها

ارزیابی کیفیت داده‌ها، فرآیندی نظام‌مند برای سنجش دقت، کامل بودن و قابلیت اعتماد داده‌های مکانی است. این ارزیابی بر اساس استانداردهای بین‌المللی مانند ISO 19157 انجام می‌شود و معیارهایی چون دقت موقعیتی، دقت موضوعی، کامل بودن، به‌هنگام بودن و سازگاری منطقی را مورد بررسی قرار می‌دهد. روش‌های ارزیابی شامل نمونه‌برداری آماری، مقایسه با منابع معتبر، تحلیل‌های توپولوژیکی و اعتبارسنجی توسط کارشناسان حوزه موضوعی است. نتایج این ارزیابی‌ها در قالب گزارش‌های کیفیت داده مستندسازی شده و مبنایی برای بهبود مستمر فرآیندهای جمع‌آوری و مدیریت داده‌ها قرار می‌گیرد.

منابع و مراجع

- [1] The International Organization for Standardization (ISO) - <https://www.iso.org/home.html/>
- [2] The Standards of the Open Geospatial Consortium (OGC) - <https://www.ogc.org/>
- [3] Federal Geographic Data Committee (FGDC) - <https://www.fgdc.gov/>
- [4] INSPIRE Knowledge base - European Commission - <https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/>

