



زمین‌شناسی شهری

دکتر وحید احدنژاد

سرشناسه	احدنژاد، وحید، ۱۳۵۳ -
عنوان و نام پدیدآور	زمین شناسی شهری/ پدیدآورنده وحید احدنژاد؛ ویراستار علمی حسن علیزاده سالومحله.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه پیام نور، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	سیزده، ۲۷۳ص.
فروست	دانشگاه پیام نور؛ ۲۲۴۷. گروه زمین شناسی؛ آ/۱۱۵.
شابک	978-964-14-0294-7
وضعیت فهرست نویسی	فیا
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	بوم شناسی شهری (جامعه شناسی) -- آموزش برنامه ای
موضوع	شهرسازی -- جنبه های زیست محیطی -- آموزش برنامه ای
موضوع	آموزش از راه دور -- ایران
شناسه افزوده	دانشگاه پیام نور
رده بندی کنگره	۱۳۹۴ از ۱۳ الف/ ۲۴۱ HT
رده بندی دیویی	۳۰۷/۷۶
شماره کتابشناسی ملی	۴۱۶۱۹۰۳



زمین شناسی شهری

دکتر وحید احدنژاد

ویراستار علمی: دکتر حسن علیزاده سالومحله

تهیه و تولید: دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز چاپ و توزیع دانشگاه پیام نور

شمارگان: نسخه

نوبت و تاریخ چاپ: اول، ۱۳۹۵

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۴-۰۲۹۴-۷

ISBN: 978-964-14-0294-7

فروش این کتاب فقط از طریق نمایندگی های دانشگاه پیام نور مجاز می باشد و فروش آن در سایر مراکز فروش کتاب موجب تعقیب قانونی فروشنده خواهد گردید.

(کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر محفوظ و متعلق به دانشگاه پیام نور است، تولید، کپی یا خلاصه برداری، نشر و ترجمه، چاپ، افست، توزیع گسترده، تهیه CD و ... این اثر یا بخشی از آن اعم از متن، طرح پشت و روی جلد و ... بدون اخذ مجوز کتبی از معاونت فناوری و پژوهش دانشگاه خلاف مقررات و تعرض به حقوق مادی و معنوی دانشگاه است. متخلفین وفق قانون حمایت از مؤلفان و مصنفان و هنرمندان دارای مسئولیت حقوقی و کیفری بوده، و تحت پیگرد قرار می گیرند.)

قیمت: ریال

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام(ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار	یازده
فصل اول. کلیات.....	۱
هدف کلی.....	۱
هدف‌های یادگیری.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱ تاریخچه مطالعات زمین‌شناسی شهری.....	۴
۱-۱-۱ آمریکا.....	۴
۱-۱-۲ اروپا.....	۵
۱-۱-۳ آسیا.....	۵
۱-۱-۴ پروژه اسکاپ.....	۶
۱-۱-۵ آسیای مرکزی.....	۷
۱-۱-۶ آسیای جنوب شرقی.....	۸
۱-۱-۷ جنوب آسیا.....	۸
۱-۱-۸ شرق آسیا.....	۹
۱-۱-۹ ایران.....	۹
۲-۱ نقشه‌های زمین‌شناسی در مناطق شهری و مسائل پیش‌رو.....	۱۱
۲-۱-۱ مسائل بهداشتی.....	۱۱
۲-۱-۲ مسائل مهندسی.....	۱۱
۲-۱-۳ مسائل مرتبط با نقشه‌برداری.....	۱۲
۳-۱ آینده داده‌های زمین‌شناسی شهری.....	۱۲
۴-۱ بررسی‌های آینده در زمین‌شناسی شهری.....	۱۵
خلاصه.....	۱۶
خودآزمایی چهارگزینه‌ای.....	۱۷

۱۷.....	خودآزمایی تشریحی.....
۱۹.....	فصل دوم. مدیریت زمین‌شناسی مناطق شهری.....
۱۹.....	هدف کلی.....
۱۹.....	هدف‌های یادگیری.....
۲۰.....	مقدمه.....
۲۳.....	۱-۲ توسعه زیرساخت‌ها در مناطق زیرسطحی شهری.....
۲۴.....	۲-۲ کاربری مناطق شهری.....
۲۵.....	۳-۲ تاریخچه وضع قوانین.....
۲۶.....	۴-۲ آلاینده‌های زیرزمینی.....
۲۷.....	۵-۲ برآورد و محافظت از منابع آب زیرزمینی.....
۲۷.....	۶-۲ آلاینده‌های سطحی.....
۲۷.....	۷-۲ شهرهای ساحلی.....
۲۹.....	۱-۷-۲ عوامل زمین‌شناسی.....
۳۱.....	۲-۷-۲ عوامل انسانی.....
۳۵.....	۸-۲ مدیریت پسماندهای شهری.....
۳۵.....	۱-۸-۲ اصول زمین‌شناسی دفن زباله در مناطق شهری.....
۴۰.....	۲-۸-۲ عوامل هیدرولوژیکی.....
۴۲.....	۳-۸-۲ انتخاب محل دفن زباله بهداشتی.....
۴۲.....	۴-۸-۲ محدودیت‌های زمین‌شناسی.....
۴۳.....	۵-۸-۲ بهره‌برداری از سایت دفن زباله.....
۴۳.....	۶-۸-۲ پایش آلودگی‌های ناشی از محل دفن زباله‌ها.....
۴۴.....	۷-۸-۲ بازرسی بهره‌برداری از محل دفن زباله‌ها.....
۴۵.....	۹-۲ آلاینده‌های خاک‌های سطحی و زیرسطحی.....
۴۵.....	۱۰-۲ مخاطرات زمین‌شناسی.....
۴۵.....	۱۱-۲ روش‌های مطالعه و بازیابی داده‌های زمین‌شناسی مرتبط با زیرسطح ساختمان‌های شهری.....
۴۶.....	۱۲-۲ انواع داده‌های زمین‌شناسی موردنیاز مناطق شهری.....
۴۹.....	۱۳-۲ مدیریت داده‌های زمین‌شناسی مناطق شهری.....
۵۱.....	۱-۱۳-۲ سازمان‌های زمین‌شناسی.....
۵۲.....	۲-۱۳-۲ مسئولین شهری.....
۵۳.....	۳-۱۳-۲ شرکت‌های خصوصی.....
۵۴.....	۱۴-۲ ارتباط بین داده‌های زمین‌شناسی و برنامه‌ریزی در مناطق شهری.....
۵۵.....	۱-۱۴-۲ سیستم‌های برنامه‌ریزی.....
۵۵.....	۲-۱۴-۲ اطلاعات.....
۵۷.....	۳-۱۴-۲ ارتباط و انتشار اطلاعات.....
۵۹.....	۴-۱۴-۲ اقدامات بعدی.....
۵۹.....	خلاصه.....
۶۰.....	خودآزمایی چهارگزینه‌ای.....
۶۰.....	خودآزمایی تشریحی.....

فصل سوم. اصول استفاده پایدار از منابع شهری.....	۶۱
هدف کلی.....	۶۱
هدف‌های یادگیری.....	۶۱
مقدمه.....	۶۱
۱-۳ موضوعات مرتبط با زمین‌شناسی در محیط شهری.....	۶۴
۲-۳ گسترش فضاهای زیرسطحی در مناطق شهری.....	۶۵
۳-۳ اطلاعات موردنیاز زمین‌شناسی شهری.....	۶۶
۴-۳ نقشه‌برداری زمین‌شناسی کاربردی.....	۶۸
۵-۳ اهداف برنامه‌ریزی شهری.....	۷۰
۶-۳ خروجی برنامه‌ریزی شهری.....	۷۰
۷-۳ استانداردهای ثبت مشاهدات.....	۷۱
۸-۳ دسته داده‌های زمین‌شناسی شهری.....	۷۱
۱-۸-۳ نقشه‌ها.....	۷۳
۲-۸-۳ عکس‌های هوایی عمودی.....	۷۴
۳-۸-۳ مدل رقومی زمین و مدل رقومی ارتفاعی.....	۷۵
۴-۸-۳ پایگاه داده گمانه‌ها.....	۷۶
۵-۸-۳ منحنی تراز راس سنگ بستر.....	۷۷
۶-۸-۳ اطلاعات مربوط به خاک‌های مناطق شهری.....	۷۸
۷-۸-۳ پایگاه داده‌های ژئوتکنیکی.....	۷۸
۸-۸-۳ خروجی موضوعی.....	۸۰
۹-۸-۳ کاربری قدیمی زمین.....	۸۰
۱۰-۸-۳ کاربری فعلی زمین.....	۸۱
۱۲-۸-۳ داده‌های ژئوشیمیایی.....	۸۲
۱۳-۸-۳ اطلاعات مربوط به خسارت ساختمان‌ها.....	۸۸
۱۴-۸-۳ منابع معدنی.....	۹۰
۱۵-۸-۳ مخاطرات زمین‌شناسی.....	۹۰
۱۶-۸-۳ بقایای معدنکاری.....	۹۰
۹-۳ مدل‌سازی و نمایش.....	۹۱
۱-۹-۳ مدل‌سازی زمین‌های مصنوعی.....	۹۲
۲-۹-۳ مدل‌سازی سطح سنگ.....	۹۲
۳-۹-۳ مدل‌سازی رسوبات سطحی.....	۹۳
۴-۹-۳ شاخص‌های اطمینان.....	۹۳
۱۰-۳ روش‌های تخصیص، توسعه و ارائه داده‌های توصیفی زمین‌شناسی بسیار متنوع.....	۹۵
۱-۱۰-۳ مقیاس‌گذاری مجدد.....	۹۸
۲-۱۰-۳ استفاده از اطلاعات داده‌های توصیفی.....	۱۰۱
خلاصه.....	۱۰۳
خودآزمایی چهارگزینه‌ای.....	۱۰۳
خودآزمایی تشریحی.....	۱۰۴

فصل چهارم. مخاطرات زمین‌شناسی در محیط‌های شهری.....	۱۰۵
هدف کلی.....	۱۰۵
هدف‌های یادگیری.....	۱۰۵
مقدمه.....	۱۰۵
۱-۴ انواع مخاطرات زمین‌شناسی.....	۱۰۹
۱-۴-۱ مخاطرات ناشی از گسیختگی شیب.....	۱۰۹
۱-۴-۲ مخاطرات ناشی فرونشست، ریزش و آماس زمین.....	۱۰۹
۱-۴-۳ مخاطرات ناشی از زلزله.....	۱۱۰
۱-۴-۴ مخاطرات ناشی از آتش‌فشان.....	۱۱۱
۱-۴-۵ مخاطرات ناشی از سیل.....	۱۱۲
۱-۴-۶ سونامی.....	۱۱۳
۱-۴-۷ طوفان دریایی.....	۱۱۳
۱-۴-۸ مخاطرات ناشی از به خطر افتادن سلامت انسان‌ها در اثر عناصر طبیعی.....	۱۱۴
۱-۴-۹ مخاطرات طبیعی در مناطق شهری واقع در نقاط خشک و نیمه‌خشک.....	۱۱۴
۱-۴-۱۰ مخاطرات زمین‌شناسی و توسعه پایدار شهری.....	۱۱۶
۲-۴ روش‌های برآورد مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری.....	۱۱۷
۲-۴-۱ سامانه اطلاعات جغرافیایی یا دانش اطلاعات مکانی (GIS).....	۱۱۹
۲-۴-۲ دورسنجی یا سنجش از دور.....	۱۲۵
۳-۴ تکنیک‌های نقشه‌برداری ویژه.....	۱۳۰
۳-۴-۱ نقشه‌برداری مخاطرات چندگانه.....	۱۳۱
۳-۴-۲ نقشه‌برداری تجهیزات حیاتی.....	۱۳۴
۳-۴-۴ ترکیب نقشه‌های مخاطرات چندگانه و تجهیزات حیاتی.....	۱۳۴
۵-۴ مقیاس بررسی مخاطرات زمین‌شناسی.....	۱۳۷
۶-۴ مدیریت مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری.....	۱۳۹
خودآزمایی چهارگزینه‌ای.....	۱۴۱
خودآزمایی تشریحی.....	۱۴۲
فصل پنجم. ژئوشیمی مناطق شهری.....	۱۴۳
هدف کلی.....	۱۴۳
هدف‌های یادگیری.....	۱۴۳
مقدمه.....	۱۴۳
۱-۵ محیط شهری.....	۱۴۶
۲-۵ اهداف مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری.....	۱۵۱
۳-۵ روش‌های مطالعات ژئوشیمیایی مناطق شهری.....	۱۵۲
۳-۵-۱ نمونه‌برداری.....	۱۵۲
۳-۵-۲ نمونه‌برداری از خاک.....	۱۵۳
۳-۵-۳ مسائل مربوط به روش‌های آنالیز.....	۱۵۸
۳-۵-۴ آلاینده‌گی یا حضور طبیعی مواد.....	۱۶۰
۴-۵ چشم‌انداز نتایج مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری.....	۱۶۵

۱۶۵	۴-۵-۱ کاربردهای بهداشتی (زمین‌های بازی پاک برای کودکان).....
۱۶۵	۴-۵-۲ نقشه‌های آگاهی‌بخش (جلوگیری از انتشار بیش‌تر آلاینده‌ها).....
۱۶۶	۴-۵-۳ تشخیص منابع آلودگی.....
۱۶۷	خودآزمایی چهارگزینه‌ای.....
۱۶۷	خودآزمایی تشریحی.....
۱۶۹	فصل ششم. تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در محیط‌های شهری.....
۱۶۹	هدف کلی.....
۱۶۹	هدف‌های یادگیری.....
۱۷۰	مقدمه.....
۱۷۳	۶-۱ تهیه نقشه زمین‌شناسی در یک منطقه شهری.....
۱۷۳	۶-۱-۱ اطلاعات و چالش‌های پیش‌رو در تهیه نقشه.....
۱۷۵	۶-۱-۲ منابع اطلاعات، یکپارچه‌سازی و برآورد قابلیت استفاده از آن‌ها.....
۱۸۰	۶-۱-۳ ایجاد مدل زمین‌شناسی مفهومی.....
۱۸۲	۶-۱-۴ مطالعات صحرایی.....
۱۸۹	۶-۱-۵ آنالیز رخساره‌ها.....
۱۹۳	۶-۱-۶ ایجاد و توسعه مقاطع عرضی.....
۱۹۵	۶-۱-۷ تهیه نقشه مبنا.....
۱۹۸	۶-۱-۸ آماده‌سازی طرح نهایی نقشه.....
۲۱۵	خلاصه.....
۲۱۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای.....
۲۱۷	خودآزمایی تشریحی.....
۲۱۹	فصل هفتم. نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی مناطق شهری.....
۲۱۹	هدف کلی.....
۲۱۹	هدف‌های یادگیری.....
۲۱۹	مقدمه.....
۲۲۱	۷-۱ آسیب‌پذیری زیرسطحی و توسعه نقشه آسیب‌پذیری.....
۲۲۳	۷-۲ روش‌ها.....
۲۳۰	۷-۳ مطالعه موردی تهیه نقشه منطقه حوضه آبریز روج‌ریور.....
۲۳۵	۷-۴ نمایش اهمیت تهیه نقشه آسیب‌پذیری.....
۲۳۷	۷-۴-۱ سایت با آسیب‌پذیری کم.....
۲۴۲	۷-۴-۲ سایت با آسیب‌پذیری بالا.....
۲۴۹	۷-۴-۳ مقایسه سایت‌ها.....
۲۵۰	خلاصه.....
۲۵۳	خودآزمایی چهارگزینه‌ای.....
۲۵۳	خودآزمایی تشریحی.....
۲۵۷	منابع.....

پیشگفتار

علوم مدرن زمین‌شناسی می‌تواند راه‌حل‌های بسیار مناسبی برای استفاده پایدار از منابع زیرزمینی در محیط‌های شهری ارائه کند. منابع زیرزمینی شهری و به‌ویژه آب‌های زیرزمینی در مقابل اثرات محیطی بسیار آسیب‌پذیر بوده و مدیریت منطقی آن بسیار مهم است. بنابراین، برنامه‌های توسعه‌ای شهرها باید به بهترین نحو و با استفاده از دانش زمین‌شناسی تدوین و به اجرا درآید. این برنامه‌ها باید هم‌زمان آثار زیان‌بار زیست‌محیطی بر منابع زیرزمینی مثل گسترش زیرساخت‌ها و استفاده نامناسب از آب‌های زیرزمینی و منابع زمین‌گرمایی را مورد توجه قرار دهد. غالباً، توسعه زیرساخت‌ها در محیط‌های شهری و اثرات آن بر کاربری زمین تنها از دیدگاه پیشبرد خود زیرساخت مورد توجه قرار می‌گیرد و اتمام سریع و به‌صرفه معیارهای اصلی در اجرای این‌گونه پروژه‌ها هستند. این مسئله باعث ایجاد و یا تشدید مخاطرات مختلفی بر منابع زیرزمینی از قبیل تغییر رژیم جریان آب‌های زیرزمینی، تحریک وقوع مخاطرات زمین‌شناسی و به‌طورکلی بروز اختلاف در نوع کاربری زمین می‌شود. با این‌که در سال‌های اخیر چارچوب قانونی محافظت از منابع زیرزمینی به‌طور پیوسته در حال بازنگری بوده اما هنوز خسارات ناشی از فعالیت‌های بشری در محیط‌های شهری بر روی این منابع بسیار زیاد است. تاکنون خسارات بر منابع یاد شده عمدتاً به‌صورت محدود در نظر گرفته می‌شده و سایر جنبه‌ها از قبیل برهم‌کنش‌های احتمالی در مقیاس ناحیه‌ای مورد توجه نبوده است. این مسئله دلایل متعددی دارد که از جمله آن‌ها

می‌توان به توجه محض به مسائل مدیریت تکنولوژیکی مرتبط با منابع زیرزمینی به‌جای در نظر گرفتن سایر مسائل مرتبط با استفاده پایدار از این منابع به‌عنوان بخشی از زیست‌بوم بشری اشاره کرد. علاوه بر این، بسیاری از پروژه‌های شهری که مثلاً در ۳۰ سال پیش یا بیشتر مورد تأیید قرار گرفته و در محیط‌های شهری اجرا شده‌اند امروزه با توجه به قوانین جدید امکان تأیید نداشته‌اند و این پروژه‌های زیان‌بار موجب تشدید خسارات به منابع زیرزمینی شهرها شده‌اند.

به‌منظور توسعه راهبردهای استفاده پایدار از منابع زیرزمینی در مناطق شهری، بررسی‌های خسارات زیست‌محیطی نه‌تنها دربردارنده تأثیرات سطحی از قبیل آلودگی صوتی و آلودگی هوا را در برمی‌گیرد بلکه تأثیرات منفی بر روی منابع زیرزمینی از جمله رژیم‌های جریانی آب‌های زیرزمینی را نیز شامل می‌شود.

در این کتاب سعی شده است اهمیت مطالعات زمین‌شناسی در توسعه پایدار شهرها و کلان‌شهرها را مورد بررسی قرار داده و نظر مدیران شهری را به این مقوله جلب نماید که هرگونه برنامه‌های توسعه‌ای بدون این‌گونه مطالعات آینده شهرها و منابع موجود در آن‌ها به خطر انداخته و دیر یا زود تصمیم‌گیران را بر آن خواهد داشت تا با صرف هزینه‌های بسیار گزاف نسبت به کاهش این مخاطرات تلاش کنند هرچند که در برخی موارد این تلاش‌ها بیهوده بوده و چاره‌ای جز انتقال شهر از منطقه نامناسب زمین‌شناسی به مناطق مناسب‌تر باقی نمی‌ماند.

این کتاب را به همه همکاران و دانشجویان علوم زمین تقدیم می‌کنم و امیدوارم که اهمیت علوم زمین‌شناسی در ایران به مانند کشورهای پیشرفته از سوی مدیران و تصمیم‌گیران روزبه‌روز بیشتر مورد توجه قرار گیرد تا با استفاده از این دانش بتوان آینده‌ای روشن برای میهن عزیز و نسل‌های آینده ترسیم کرد.

در پایان بر خود لازم می‌بینم که از زحمات همه همکاران علمی و اداری دانشگاه پیام‌نور که در تألیف این کتاب مرا یاری کردند سپاسگزاری کنم. کتاب حاضر در مرحله اول توسط ارزیاب محترم مورد تأیید قرار گرفته و پس از اتمام توسط داور محترم بررسی شده است. در مرحله سوم ویراستار محترم علمی نیز نظرات خود را اعلام نموده و در کتاب گنجانده شده است. در مراحل چهارم و پنجم نیز این کتاب توسط ویراستار ادبی (جهت سلیس و روان بودن) و بخش صفحه‌آرایی مورد بررسی قرار

گرفته است. بدین وسیله از همه این عزیزان تشکر می‌کنم. به‌ویژه از خانم قطبی که در بخش تدوین به‌صورت مستقیم زحمات پیگیری و هماهنگی‌های لازم را متقبل شده‌اند سپاسگزاری می‌کنم و برای ایشان آرزوی موفقیت دارم.

در نهایت این کتاب را به پاس زحمات بی‌شائبه به همسر عزیزم که امید زندگی من است و همچنین دختران عزیزتر از جانم آیدا و آیلین تقدیم می‌کنم.

وحید احدنژاد

عضو هیئت علمی گروه زمین‌شناسی

دانشگاه پیام نور - زمستان ۱۳۹۴

فصل اول

کلیات

هدف کلی

با توجه به این که شاخه زمین‌شناسی شهری مبحث نسبتاً جدید و ناشناخته‌ای در علم زمین‌شناسی است، در این فصل به اجمال تاریخچه این گونه مطالعات مورد بررسی قرار گرفته و افق پیش روی آن را مورد بحث خواهد کرد.

هدف‌های یادگیری

- با توجه به هدف کلی یاد شده می‌توان با مطالعه این فصل از کتاب با موارد ذیل آشنا شد:
۱. تعریف زمین‌شناسی شهری و تفاوت آن با شاخه‌های دیگر علم زمین‌شناسی.
 ۲. از قبیل زمین‌شناسی محیط‌زیست، زمین‌شناسی مهندسی، ژئومورفولوژی و غیره.
 ۳. دامنه مطالعات زمین‌شناسی شهری.
 ۴. تاریخچه مطالعات زمین‌شناسی شهری در نقاط مختلف جهان از جمله در ایران.
 ۵. مسائل و مشکلات پیش روی زمین‌شناسان در مطالعات مرتبط با مناطق شهری از جمله تهیه نقشه زمین‌شناسی این مناطق.
 ۶. انواع داده‌های زمین‌شناسی شهری.
 ۷. آینده مطالعات زمین‌شناسی شهری و نقش آن در توسعه پایدار مناطق شهری.
 ۸. آشنایی با برخی از حوزه‌های جدید مطالعات زمین‌شناسی شهری.

مقدمه

در سال‌های اخیر با گسترش سریع مناطق شهری در جهان مسائل زمین‌شناسی مرتبط با این مناطق روزبه‌روز اهمیت بیش‌تری می‌یابد. در سال ۱۸۰۰ میلادی دو درصد مردم

جهان شهرنشین بوده‌اند که این مقدار در سال ۱۹۰۰ به ۱۵ درصد رسید (پیتال، ۲۰۱۱). در سال ۲۰۰۰ نیز تعداد مردم شهرنشین دنیا به ۴۷ درصد افزایش یافت و پیش‌بینی می‌شود که ۶۰ درصد مردم جهان در سال ۲۰۳۰ در شهرها ساکن باشند (گزارش سازمان ملل متحد^۱).

به‌طور کلی شهرنشینی به معنی تمرکز مکانی مردم و فعالیت‌های اقتصادی است (رابرتز و کانالی، ۲۰۰۶) که عمدتاً در اثر مهاجرت مردم روستا به شهر به‌دلیل رشد اجتماعی-اقتصادی و سیاسی صورت می‌گیرد که باعث می‌شود اجتماعات و مراکز شهری توسعه یافته و نهادهای روستایی، نظام‌های اجتماعی و بهره‌برداری از زمین را در این مناطق تغییر دهند.

امروزه دانش زمین‌شناسی و فنون پیشرفته جهت برآورد بلایای طبیعی و کاهش آسیب‌های ناشی از آن، کاربری پایدار زمین و برنامه‌ریزی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این شاخه از دانش زمین‌شناسی، زمین‌شناسی مناطق شهری یا به اختصار زمین‌شناسی شهری^۲ گفته می‌شود. طبق تعریف «زمین‌شناسی شهری» عبارتست از مطالعه مواد زمین و منابع آب‌زیرزمینی که مرتبط با گسترش و توسعه مناطق شهری هستند. برخی زمین‌شناسان (کالشاو و پرایس، ۲۰۱۰) تعریف دیگری نیز برای این شاخه از علم زمین‌شناسی ارائه کرده‌اند بدین‌صورت که زمین‌شناسی شهری عبارتست از مطالعه برهم‌کنش‌های انسان و طبیعت در محیط زمین‌شناسی در مناطق شهری و اثرات حاصل از این برهم‌کنش‌ها و همچنین تهیه اطلاعات زمین‌شناسی به‌منظور گسترش، بازیافت و محافظت پایدار مناطق شهری. بنابراین علم مستقیم یا غیرمستقیم با شهروندان سروکار داشته و یکی از شاخه‌های علوم زمین است که به‌سرعت در حال رشد است. از آن‌جا که بین مناطق شهری و بافت زمین‌شناسی زیر آن‌ها ارتباط پیچیده‌ای وجود دارد از این‌رو این شاخه از دانش زمین‌شناسی خود از شاخه‌های دیگر بهره می‌گیرد. زمین‌شناسی شهری مجموعه‌ای از مطالعات در زمینه‌های گوناگونی مانند آب‌زمین‌شناسی^۳، ژئوفیزیک آب^۴، زمین‌شناسی مهندسی، زمین‌ریخت‌شناسی^۵، دیرین‌بوم‌شناسی^۶، بوم‌شناسی رودخانه^۷ و غیره است. در واقع این شاخه از علم

1. UNHSP/BASICS1/02

2. Urban Geology

3. Hydrogeology

4. Hydrogeophysics

5. Geomorphology

6. Paleocology

7. River-ecology

زمین‌شناسی پلی است بین زمین‌شناسی ناحیه‌ای و کاربردی. با این‌که روش‌های مورد استفاده در این دانش جدید نبوده و از روش‌های مرسوم و استاندارد در سایر شاخه‌های زمین‌شناسی استفاده می‌شود اما زمین‌شناسی محاسباتی مدرن می‌تواند نقش به‌سزایی در ارائه راه‌کارهای مناسب در زمینه استفاده پایدار از منابع مناطق شهری داشته باشد. دامنه مطالعات زمین‌شناسی شهری گسترده است و می‌تواند شامل منابع آب‌زیرزمینی و آلودگی آن‌ها، ژئوشیمی، تعیین مناطق آسیب‌پذیر، تهیه نقشه پایه زمین‌شناسی، محل دفن زباله‌ها، کاربرد ژئوفیزیک در مطالعات آب، گازهای آلاینده مانند رادون، دی‌اکسید کربن و غیره بلایای طبیعی، انتخاب محل مناسب جهت احداث بناهای شهری، انتخاب مصالح ساختمانی مناسب و غیره باشد.

منابع زیرزمینی شهری و به‌ویژه سفره‌های آب‌های زیرزمینی به‌شدت تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی آسیب‌پذیر هستند. بنابراین مقابله با این مشکلات مستلزم برنامه‌ریزی‌های دقیق است. این برنامه‌ریزی‌ها باید همزمان انواع گوناگون تأثیرات منفی بر منابع زیرزمینی شهری از قبیل گسترش خانه‌سازی و در نتیجه افزایش استفاده از آب‌های زیرزمینی و منابع زمین‌گرمایی را مورد توجه قرار دهد. غالباً در حین ساخت‌وساز در محیط‌های شهری و تغییر کاربری زمین، مهندسين فقط منافع کوتاه‌مدت اقتصادی خود را در نظر می‌گیرند و این مسئله اغلب موجب تأثیرات منفی کمی و کیفی بر ذخایر زیرزمینی، تغییر رژیم جریانات آبی، تشدید بلایای طبیعی، ایجاد تنش ناشی از کمبود منابع زیرزمینی و غیره می‌شود.

گرچه اقدامات قانونی به‌منظور محافظت از منابع طبیعی در دهه‌های اخیر مدام تغییر کرده و بهبود یافته اما نابودی این منابع همچنان در حال افزایش است. اغلب توجهات در زمینه مقابله با آسیب به منابع معدنی متوجه موارد جزئی و موردی است و موارد کلی و ناحیه‌ای کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. دلایل متعددی برای این مسئله وجود دارد که مهم‌ترین آن محدودیت‌های فناوری در زمینه مدیریت منابع است.

امروزه دانش ما در مورد فرایندهای زیرزمینی که می‌تواند توانایی ما را در زمینه استفاده پایدار از زیرسطح شهر بالا برد، بسیار کم است. قانون‌گذاری کنونی در مورد استفاده از محیط‌های شهری و قواعد مرتبط با آن دارای تناقضات زیادی است که باید در این زمینه به یک وحدت رویه دست پیدا کرد.

به‌منظور استفاده پایدار از منابع زیرزمینی در مناطق شهری، ارزیابی‌ها نه تنها باید آسیب‌های سطح زمین مانند آلودگی‌های صوتی و هوا را شامل شود، بلکه باید تأثیرات منفی بر روی منابع زیرزمینی مانند رژیم جریان آب‌زیرزمینی را نیز مورد بررسی قرار دهد.

۱-۱ تاریخچه مطالعات زمین‌شناسی شهری

واژه زمین‌شناسی شهری اولین بار توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ مورد توجه قرار گرفته است (مک‌گیل، ۱۹۶۴) گرچه مطالعات زمین‌شناسی قدیمی‌تری نیز توسط همین سازمان در برخی از شهرهای آمریکا در دهه ۱۹۵۰ انجام شده است، اما گسترش این نوع مطالعات به دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ مربوط می‌شود (شلوکر و همکاران، ۱۹۵۸؛ تریمبل، ۱۹۶۳). در دهه ۱۹۹۰ نیز در انگلیس به‌صورت حرفه‌ای پایگاه داده‌ای و کامپیوتری به این منظور ایجاد شد (الیسون، ۲۰۰۱). در دهه‌های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ مطالعاتی در زمینه فرونشینی حاصل از گسترش مناطق شهری انجام شد؛ گرچه بررسی‌های یاد شده از طریق شرکت‌های مهندسی انجام شده و فقط بخشی از آن به زمین‌شناسی منطقه پرداخته است و گزارش یاد شده به‌عنوان زمین‌شناسی شهری در نظر گرفته نشده است (هریس و هارلو، ۱۹۴۸؛ استون، ۱۹۶۱). مقالات بسیاری نیز در زمینه‌های زمین‌لغزش شهر کالیفرنیا در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ (جانز، ۱۹۵۸؛ لایتون، ۱۹۶۶)، زلزله آن منطقه (لیدز، ۱۹۶۶) و مسائل مربوط به مهندسی سواحل آن ارائه شده است (اسلوسن، ۱۹۶۶). بنابراین با توجه به کثرت مطالعات زمین‌شناسی در شهر کالیفرنیا، این مکان به‌عنوان مکان و الگوی جهانی جهت بررسی چگونگی کاهش آسیب‌های زمین‌شناسی در یک منطقه شهری تبدیل شده است.

۱-۱-۱ آمریکا

شاید بتوان یکی از اولین مطالعات زمین‌شناسی شهری را که مشخصاً با این هدف انجام شده است کاری باشد که در اوایل دهه ۱۹۶۰ در ماساچوست بوستون توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا انجام شد (کای، ۱۹۶۷؛ مک‌گیل، ۱۹۶۴؛ کارتر، ۱۹۶۷). در کانادا نیز در همین زمان نقشه‌های موضوعی در ارتباط با شهرهای آن کشور چاپ شد (لگت،

۱۹۶۲، ۱۹۶۸، ۱۹۷۳). حدوداً در همین زمان مطالعات وسیع زمین‌شناسی در آنکوراژ، والدز، آلاسکا (دوبوروونلی و شمول، ۱۹۶۸)، سن‌آنتونیو و هوستون تگزاس انجام شده است. موضوع مورد مطالعه اغلب این مثال‌ها در مورد مسائل مربوط به جابه‌جایی گسل‌ها در اطراف گنبد‌های نمکی، بررسی سواحل و زمین‌شناسی اقتصادی بوده است. بررسی سواحل تگزاس اولین تلفیق دقیق نقشه‌های منابع شهری به‌منظور برنامه‌ریزی محیطی یک منطقه بزرگ در ایالات متحده است. مطالعات شهری همچنین در برخی از ایالت‌های غربی مانند کانزاس و میسوری نیز انجام شده است. برنامه نقشه‌برداری کالیفرنیا بر کاربرد زمین‌شناسی مهندسی تأکید داشته و سازمان زمین‌شناسی آمریکا نیز از میان‌بلائی طبیعی به زلزله، فرونشینی و فرسایش سواحل توجه بیش‌تری کرده است.

۱-۱-۲ اروپا

مطالعات در این منطقه در هلند به‌منظور برنامه‌ریزی برای مناطق ساحلی کواترنری صورت‌گرفته است (هاگمن، ۱۹۶۳، ۱۹۸۹). در این منطقه تمرکز اصلی بر روی زمین‌شناسی مسیرهای عبور انرژی، راه‌آهن و بزرگراه‌ها بوده است. در اواخر دهه ۱۹۷۰، آلمان نقشه‌های موضوعی را ارائه کرد (لوتیگ، ۱۹۷۸). در اوایل دهه ۱۹۸۰، استفاده از بسیاری از این نوع نقشه‌ها در اروپا به امری ضروری و متداول تبدیل شد. کارها و نمونه مطالعات در حوضه اروپا توسط آرچر و همکاران (۱۹۸۵) مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۱-۳ آسیا

تا دهه ۱۹۶۰، زمین‌شناسی شهری در آسیا ناشناخته بود. پس از ده سال از گسترش زمین‌شناسی محیط‌زیست در آمریکا و کانادا دو کشور هند و پاکستان زمین‌شناسی محیط‌زیست و شهری را در دهه ۱۹۷۰ در اولویت قرار دادند (سازمان زمین‌شناسی هند، ۱۹۸۰). یک مثال دقیق در این زمینه پروژه آنانتاپور^۱ است که در آن مطالعه حرفه‌ای در مورد مناطق شهری جنوب هند صورت‌گرفته و نقشه‌های بسیار مناسبی تهیه شده‌است. این پروژه که در سال ۱۹۷۱ آغاز شد اولین مورد در زمینه مطالعات

چندوجهی پیرامون مدیریت برنامه‌ریزی و گسترش مناطق شهری از دیدگاه محیط‌زیست است (راجو و همکاران، ۱۹۷۹).

به‌طورکلی، به‌نظر می‌رسد مطالعات انجام شده در هند توسط برنامه‌ریزان چندان مورد توجه قرار نگرفته و غالباً به‌صورت محرمانه باقی ماندند. بیش‌تر این مطالعات هرگز مورد پشتیبانی قرار نگرفته و اطلس آن منتشر نشده است. در دهه ۱۹۸۰ در ویتنام نیز وضعیت مشابهی وجود داشته است و فقط یک نوع نقشه موضوعی از هانوی در دسترس بوده است. در پاکستان توسط سازمان زمین‌شناسی این کشور تلاش‌های اولیه‌ای مرتبط با زمین‌شناسی شامل انتشار متنی حاوی نقشه‌های متعدد رنگی صورت گرفت (خان و همکاران، ۱۹۸۶). این مطالعه سازمان زمین‌شناسی پاکستان که در کوئته انجام شده را شاید بتوان اولین مطالعه حرفه‌ای در آسیا نامید به این دلیل که داده‌های دقیقی از زمین‌شناسی شهری با نقشه‌های مقیاس بزرگ ارائه کرده است. این مطالعات در اواخر دهه ۱۹۷۰ یا اوایل دهه ۱۹۸۰ و قبل از شروع برنامه اسکاپ آغاز شده‌بود.

۱-۴ پروژه اسکاپ^۱

در سال ۱۹۸۵، بخش منابع طبیعی کمیسیون اقتصادی و اجتماعی آسیا و اقیانوسیه (اسکاپ) در سه مقاله موضوع زمین‌شناسی شهری را مطرح کرد (اسکاپ، ۱۹۸۵). پس از آن سازمان‌های زمین‌شناسی منطقه در زمینه مورد بحث فعال‌شده و اطلاعات قابل‌توجهی در زمینه توسعه مناطق شهری از دیدگاه زمین‌شناسی تهیه کردند. اسکاپ در سال ۱۹۸۵ یکی از اولین برنامه‌های مشاورتی و آموزشی زمین‌شناسی شهری را در سازمان ملل تأسیس کرد. برنامه دیگری نیز در همین زمینه در یونسکو با محوریت اروپا در جریان است. اسکاپ به‌مدت ۱۷ سال برنامه خود را ادامه داد و تقریباً تمامی اعضای آن در شرق، جنوب‌شرق و جنوب آسیا و همچنین کشورهای جزیره‌ای اقیانوسیه در بسیاری از فعالیت‌های آن مشارکت کردند. همکاری فنی کشورهای عضو در برنامه یاد شده به‌عنوان «اطلس زمین‌شناسی شهری» به چاپ رسیده است و بیش از ۲۰۰ مقاله علمی توسط سازمان ملل متحد در دوره زمانی ۲۰۰۰-۱۹۸۵ چاپ شده‌است.

مطالعات اولیه اسکاپ در زمین‌شناسی شهری معطوف به کاهش صدمات ناشی از بلایای طبیعی به‌طور اعم و به‌ویژه مواردی که جمعیت شهری را مورد تهدید قرار

1. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP)

می‌دهد مانند زمین‌لرزه، فوران‌های آتشفشانی، زمین‌لغزش و نشست زمین بوده است. در ۵۰ سال گذشته مطالعات زمین‌شناسی شهری اسکاپ بر روی استفاده از تکنولوژی‌های مناسب جهت تلفیق و شناسایی داده‌های زمین‌شناسی شهری در قالبی بوده است که برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران بتوانند بدون نیاز داشتن اطلاعات علمی زمین‌شناسی از آن استفاده کنند.

رویکرد اسکاپ جهت پیشبرد اهداف و به‌کارگیری زمین‌شناسی در توسعه مناطق شهری از سه جهت بوده است. اولین هدف ثبت تاریخچه اقدامات نادرست گذشته است. دومین قدم گردآوری داده‌های زمین‌شناسی و ارتقاء و ارائه آن‌ها به‌صورتی است که برای برنامه‌ریزان قابل استفاده باشد و هدف سوم نیز برجسته کردن مشکلات و مسائل متنوعی است که از گذشته باقی‌مانده است (اسکاپ، ۱۹۹۹).

در سال ۱۹۹۳ اسکاپ شعبه‌ای را در زمینه زمین‌شناسی شهری (فوگاپ)^۱ ایجاد کرد که در سال‌های گذشته پنج همایش برگزار کرده و مقالات آن چاپ شده است. این شعبه مشتمل بر ۲۵-۲۰ کشور است که در زمینه آموزش تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در مناطق شهری و افزایش آگاهی در زمینه منافع استفاده از این دانش در ارگان‌های دولتی مسئول برنامه‌ریزی شهری فعالیت می‌کند. بسیاری از کشورهای عضو در جنوب شرق آسیا اهمیت مطالعات زیست‌محیطی شهری را درک کرده و برای آن واحد و یا بخشی را در سازمان‌های زمین‌شناسی خود تأسیس کردند.

برنامه زمین‌شناسی شهری سازمان ملل متحد در آسیا گردهمایی‌ها، کارگاه‌ها، آموزش‌ها و مأموریت‌های فراگیری فنی ویژه‌ای را برای افراد باتجربه ۲۵ کشور عضو فراهم کرده است. این پروژه با حمایت مالی سازمان ملل متحد و برخی کشورهای توسعه‌یافته صورت گرفته است.

۱-۱-۵ آسیای مرکزی

در سال ۱۹۸۷ نشست‌های مشورتی در زمینه زمین‌شناسی و نقش آن در توسعه مناطق شهری در کشورهای جنوب شرق آسیا و آسیای مرکزی انجام شد. آخرین نوع از این نشست‌ها در سال ۲۰۰۱ در کشورهای هند، ازبکستان و ترکیه صورت گرفت. مطالعات

مورد نظر بر روی پایتخت‌های کشورهای آذربایجان، قزاقستان، ازبکستان، ایران و ترکیه در سال ۲۰۰۲-۲۰۰۱ انجام شد.

مطالعه ویژه‌ای در حیدرآباد - اسکندراباد هند یکی از مناطق جدید دهلی‌نو انجام شد که در آن انواع مشکلاتی که شهرهای متوسط در شبه‌جزیره هند با آن درگیر هستند مورد بررسی قرار گرفت. اخیراً ویتنام و کامبوج بخش‌های ویژه‌ای در زمینه مطالعات مناطق شهری در سازمان‌های زمین‌شناسی خود ایجاد کرده‌اند. در سال ۲۰۰۱ مغولستان نیز برای تأسیس چنین واحدی از اسکاپ درخواست همکاری کرد.

۱-۱-۶ آسیای جنوب شرقی

ویتنام تعداد زیادی نقشه‌های موضوعی برای مناطق شهری سه شهر بزرگ خود یعنی هانوی، هوشی‌مین و دانانگ تهیه کرده است که غالباً منتشر نشده‌اند. این اقدام در سال‌های ۱۹۸۸-۱۹۹۰ آغاز شد. نشست هانوی موضوع بررسی‌های بسیاری در دهه گذشته بوده است که دلیل آن سیستم غیرمؤثر زهکشی به‌جا مانده از دوران استعمار فرانسه است که پاسخگوی باران سیل‌آسای منطقه نیست. به دلیل این‌که سیل‌بندها کم‌ارتفاع (۱۰ متری) بودند هر ساله آب سرریز رودخانه سرخ^۱ این شهر را درمی‌نوردید. ویتنام خواستار کمک بین‌المللی برای انجام مطالعه در مورد شرایط آب‌شناسی به علت صدمه‌زدن به توسعه منطقه‌ای و شهری در دلتای سفلی رودسرخ شد. این مطالعه به‌ویژه تمرکز خود را بر روی شرایط زیست‌محیطی منطقه توریستی و مکانی شناخته‌شده به‌عنوان میراث فرهنگی جهانی (هالونگ بای) قرار داد. جمهوری دموکراتیک خلق لاوس نیز برنامه کوچکی در زمینه مطالعه زمین‌شناسی شهری برای پایتخت خود در سال ۱۹۹۸ انجام داد. تایلند دارای دو پروژه بزرگ در دهه ۱۹۹۰ بود که بر شهرهای چیانگ مای و سورات تانی در جنوب تمرکز داشت.

۱-۱-۷ جنوب آسیا

بنگلادش و هند اخیراً بر روی آرایش آرسنیک در دلتای بنگال تمرکز کرده‌اند و این موضوع مهم‌ترین مسئله برای سازمان بهداشت جهانی^۲ نیز شده‌است. سازمان

1. Red River

2. World Health Organization

زمین‌شناسی بنگلادش در سال ۱۹۹۳ با همکاری اسکاپ و سازمان زمین‌شناسی آمریکا برنامه وسیعی در زمین‌شناسی شهری در زمینه نقشه‌برداری شرایط خاک و ژئومورفولوژی مناطق زیرسطحی در حاشیه جنوبی پایتخت (داکا) و سه شهر بزرگ آن را آغاز کرد. این پروژه تا سال ۱۹۹۹ که اوج کار بود ادامه یافته و در نهایت نقشه‌های موضوعی داکا را منتشر کرده است.

۱-۱-۸ شرق آسیا

در چین شاخه‌ای از زمین‌شناسی که با مناطق شهری سروکار دارد تحت عنوان زمین‌شناسی اجتماعی^۱ شناخته می‌شود به این دلیل که با کمک این دانش می‌توان محیط‌زیست اجتماعات شهری را ایمن‌تر ساخت، موضوعی که یکی از اهداف اصلی دولت است. چین سه مرحله اصلی را جهت نقشه‌برداری زمین‌شناسی سواحل شهرهای بزرگ پیموده است. در دهه ۱۹۸۰ برخی مطالعات اولیه وزارت زمین‌شناسی و معادن (که اکنون وزارت زمین و منابع است) بر روی حل مسئله نشست زمین که در شهرهای ساحلی به‌ویژه شانگهای در حال افزایش است، متمرکز شده بود. در شانگهای این مشکل مانع رشد اقتصادی در این منطقه دلتایی می‌شد. جایگاه متنوع زمین‌شناسی شهری چین بستری برای سنجش ابتکار عمل زمین‌شناسان این کشور بوده و موجب تهیه نقشه‌های متنوع موضوعی بسیار مفید برای برنامه‌ریزان، شد. یکی از نتایج این مطالعات جابه‌جایی فرودگاه شانگهای بود که باعث صرفه‌جویی مبلغی در حدود دو میلیارد دلار شد.

۱-۱-۹ ایران

مطالعات زمین‌شناسی شهری در ایران عمدتاً توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، سازمان‌های محیط‌زیست و زمین‌شناسی صورت گرفته است. مواردی مانند تهیه لایه‌های اطلاعاتی مهندسی زلزله برخی شهرهای ایران، مطالعه گودبرداری و خطرات آن در شهر تهران، پهنه‌بندی زلزله در برخی مناطق شهری، تهیه نقشه خطرپذیری فروریزش قنات‌های موجود در گستره شهری تهران، بررسی اثر خشک‌شدن

روی ترک‌خوردگی لایه‌های نفوذناپذیر و تأثیر آن بر نفوذپذیری این لایه، پژوهش و ارزیابی زمین‌شناسی ساختگاهی، طبقه‌بندی نوع خاک با استفاده از روش لرزه‌نگاری شکست مرزی در ایستگاه‌های شتابنگاری کشور و غیره از جمله مطالعاتی است که مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در زمینه زمین‌شناسی شهری انجام داده است.

فعالیت‌های سازمان محیط‌زیست عمدتاً معطوف به حفاظت از محیط پاک در شهرها و اقامتگاه‌ها از طریق کنترل هوا، خاک و آب بوده است. پایش کیفی آب رودخانه‌ها و نظارت بر ایجاد مجتمع‌های دفع پسماندهای شهری اهواز و نظرآباد را می‌توان از جمله اقدامات این سازمان ذکر کرد.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور که مرجع تخصصی مطالعات زمین‌شناسی است، سال‌هاست که نقشه‌های پایه زمین‌شناسی را تهیه کرده و یا در حال تهیه آن‌ها است. این نقشه‌ها، اطلاعات پایه علوم زمین را در اختیار پژوهشگران دیگر قرار داده و در تمامی طرح‌های مکان‌یابی شهری و صنعتی، شامل انتخاب محل شهرها، روستاها و شهرک‌های جدید، انتخاب محل سازه‌های بزرگ مانند سد‌ها یا نیروگاه‌ها و طرح‌های مسیریابی، مانند انتخاب مسیر جاده‌ها، مسیر خطوط انتقال نیرو، مسیر لوله‌های گاز، آب و نفت نقش اساسی دارند.

علاوه بر این، سازمان مذکور به‌ویژه در زمینه مطالعات شهری برنامه‌هایی را اجرا کرده است که می‌توان به مطالعات موردی در مناطق شهری با عناوین پهنه‌بندی شیب و جغرافیا، آب‌زمین‌شناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی، مصالح ساختمانی و سهولت گودبرداری، ویژگی‌های سنگی و خاکی، بررسی علل فرونشست در برخی مناطق شهری به‌ویژه تهران، بررسی مکانیسم و علل تشکیل شکاف‌های زمین، بررسی زمین‌لغزش‌ها و غیره اشاره کرد.

در این زمینه نقشه زمین‌شناسی مهندسی تبریز را می‌توان اولین نقشه زمین‌شناسی مهندسی کشور برشمرد که در سال ۱۳۷۳ توسط سازمان زمین‌شناسی کشور و در گروه زمین‌شناسی مهندسی تهیه شد. همچنین می‌توان به نقشه زمین‌شناسی مهندسی و زیست‌محیطی شهر شیراز که با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده نیز اشاره کرد که در آن مواردی مانند نوع دانه‌بندی خاک‌ها و سنگ‌ها، محل‌های احتمالی زمین‌لغزش و سقوط سنگ و خاک، سهولت نسبی کوه‌کنی و گودبرداری، مصالح ساختمانی و سطوح ناپیوسته اشاره شده است.

شایان ذکر است که با توجه به اهمیت و کاربردی بودن این گونه نقشه‌ها در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌های کلان توسعه شهرها، امروزه تمرکز سازمان زمین‌شناسی بیش‌تر بر روی تهیه نقشه‌های ۱: ۲۵۰۰۰ زمین‌شناسی مهندسی کاربردی گذارده شده‌است.

۱-۲ نقشه‌های زمین‌شناسی در مناطق شهری و مسائل پیش‌رو

۱-۲-۱ مسائل بهداشتی

غالباً سازمان‌های زمین‌شناسی برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی شهری برنامه‌ریزی می‌کنند، اما گاهی متقاعدکردن تصمیم‌گیران مبنی بر لزوم انجام این کار به‌منظور حفظ امنیت سکونت‌گاه‌های شهری بسیار مشکل است. در سه دهه گذشته عناصر آلاینده و سمی مانند آرسنیک در برخی کشورها مانند هند، بنگلادش و میانمار به معضل مهمی تبدیل شده‌است. به‌ویژه مردم فقیر روستایی که از آب آشامیدنی بهداشتی بی‌بهره هستند به نسبت شهرهای بزرگ، تحت تأثیر شدیدتر مسمومیت ناشی از آرسنیک قرار دارند.

تعیین آبخوان‌های آلوده یکی از وظایف اصلی سازمان‌های زمین‌شناسی کشورهایی است که با این مشکل دست به گریبان هستند و بدیهی است انجام درست این کار فواید بسیاری برای مردم این مناطق خواهد داشت. این مورد تنها یک نمونه از مواردی است که نشان می‌دهد اگر داده‌های زمین‌شناسی به‌درستی گردآوری شوند، می‌تواند به‌عنوان ابزاری بسیار مؤثر در کاهش خطرات تهدیدکننده سلامتی مردم به حساب آید.

۱-۲-۲ مسائل مهندسی

برای برنامه‌ریزان و مهندسانی که برای توسعه شهر برنامه‌ریزی می‌کنند، دانستن ویژگی‌های خاک زیر شهر و ساختمان‌ها بسیار ضروری است. بنابراین باید سازمان‌های زمین‌شناسی در سمینارها و کارگاه‌های مرتبط با توسعه شهری که از سوی ارگان‌های دیگر برگزار می‌شود، فعال‌تر شوند تا اطلاعات تخصصی خود را در آن عرضه کنند.

برنامه‌ریزان باید آگاهی داشته باشند که مصالح مورد استفاده در شهرسازی مانند شن و ماسه، گل رس، و سایر مصالح ساختمانی در چه مکان‌هایی واقع شده‌اند و با نقشه‌برداری و منطقه‌بندی کردن در برنامه‌های توسعه‌ای شهر، آن‌ها را مدنظر قرار دهند زیرا که گسترش شهر به‌سوی این منابع می‌تواند آن‌ها را از دسترس خارج کند.

مهندسان زمین‌شناسی باید با برنامه‌ریزان و مهندسان زلزله در ارتباط تنگاتنگ باشند. با توجه به اطلاعاتی که از زلزله‌های بزرگ اخیر در ترکیه و ایران به‌دست آمده لازم است که دستورالعمل‌های ساخت‌وساز در شهرها مورد بازنگری کلی قرار گیرد.

۱-۲-۳ مسائل مرتبط با نقشه‌برداری

نقشه‌برداری زمین‌شناسی به‌شدت مرتبط با مسئله مدیریت زمین است و از همین رو بسیاری از جنبه‌های توسعه شهرنشینی، مانند نحوه استفاده از زمین، بدون داشتن دانش از شرایط زمین‌شناسی منطقه قابلیت اجرایی ندارد. در کنفرانسی که به‌منظور بررسی سکونتگاه‌های بشری در سال ۱۹۹۶ از سوی سازمان ملل^۱ در استانبول ترکیه برگزار شد به این نکته تأکید داشت که شهرهای مدرن باید مدل‌های توسعه‌ای را به خدمت گیرند که در آن‌ها اهمیت حفاظت جمعیت شهرها در مقابل بلایای طبیعی به رسمیت شناخته شده و منابعی که در زیر این شهرها قرار دارند از قبیل منابع آب و معدنی مورد حفاظت قرار گیرد.

۱-۳ آینده داده‌های زمین‌شناسی شهری

به‌طورکلی برنامه‌ریزی و توسعه پایدار شهری مستلزم در دسترس‌بودن داده‌های زمین‌شناسی با کیفیت است. رشد سریع شهرها و وفور و سرازیرشدن داده‌های زمین‌شناسی که موجب از بین رفتن اطلاعات قبلی سازمان‌های زمین‌شناسی در سراسر دنیا می‌شود، نیازمند در پیش گرفتن روشی جدید در نگهداری از آن داده‌ها است. از این رو به‌کارگیری پایگاه داده‌های کامپیوتری و نشان‌دادن این داده‌ها از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۲ ضروری است. خوشبختانه این مسئله در سال ۱۳۸۰ در ایران اجرا شده و بر این اساس سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدن کشور اقدام به ایجاد پایگاه ملی داده‌های علوم زمین (NGDIR. IR)^۳ کرده‌است و نگارنده نیز به‌عنوان یکی از مؤسسين این پایگاه افتخار همکاری داشته است. در پایگاه داده‌های یاد شده انواع داده‌های زمین‌شناسی گردآوری شده و پس از تلفیق به‌صورت گزارش‌های مختلف در اختیار تصمیم‌گیران کشور در سطوح مختلف قرار می‌گیرد. بنابراین در این

1. Habitat II

2. Geographic Information System

3. National Geoscience Database of Iran

زمینه ایران یکی از پیشروترین کشورها است و برخی از کشورها نیز (مانند ونزوئلا و تاجیکستان) با استفاده از الگوی ایران و تحت نظر کارشناسان آن دست به ایجاد پایگاه داده‌های مشابهی زده‌اند.

کاربران این پایگاه داده‌ها مشتمل بر دو گروه عمده هستند:

- زمین‌شناسان
 - غیرزمین‌شناسان.
- زمین‌شناسانی که با این داده‌ها سروکار دارند عمدتاً در شاخه‌های زمین‌شناسی مهندسی، زمین‌شناسان محیط‌زیست، آب‌زمین‌شناسان و زمین‌شناسان منابع معدنی هستند. در گروه غیرزمین‌شناسان افرادی مانند سرمایه‌گذاران، معماران، مهندسین عمران و ساختمان، نقشه‌برداران، افرادی که در ساخت‌وساز شهری فعال هستند، مؤسسات و سازمان‌های مرتبط با حمل‌ونقل شهری، برنامه‌ریزان، باستان‌شناسان، طرفداران محیط‌زیست و غیره قرار دارند.

- انواع داده‌هایی که در پایگاه داده‌های زمین‌شناسی شهری گردآوری می‌شود عبارتند از:
- داده‌های مکانی که در گذشته عمدتاً دوبعدی بودند اما با پیشرفت تکنولوژی داده‌های سه‌بعدی و چهاربعدی نیز ایجاد شده‌اند.
 - پایگاه داده‌های^۱ نقاط و محل‌های خاص.
 - گمانه‌های اکتشافی ایستگاه‌های گوناگون و داده‌های مرتبط با آن‌ها.
 - نقشه سنگ بستر، نهشته‌های سطحی و مصنوعی.
 - داده‌های معدنی.
 - داده‌های کاربری زمین در گذشته و حال.
 - داده‌های چاه‌ها و استخراج آب.
 - داده‌های حاصل از بررسی جنبش‌های زمین‌شناسی (مانند زمین‌لرزه، زمین‌لغزش و غیره).
- از مشکلاتی که در زمینه ایجاد پایگاه داده‌ها وجود دارد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- فراوانی داده‌ها برای بسیاری از شهرها که جست‌وجو، گردآوری و رقومی کردن آن‌ها را دچار مشکل می‌کند.
 - مدیریت و گسترش داده‌های گردآوری شده در درازمدت.

- پایگاه داده‌های زمین‌شناسی شهری که عمدتاً توسط سازمان زمین‌شناسی، شهرداری و یا شرکت‌های خصوصی ایجاد می‌شوند باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:
 - داده‌ها باید همیشه به روز باشند.
 - این داده‌ها باید برای کاربران به‌سادگی قابل دسترسی باشند.
 - پایگاه داده‌ها باید دینامیک بوده و استفاده از آن‌ها برای کاربران ساده باشد.
 - داده‌ها باید به‌گونه‌ای طبقه‌بندی شوند که کاربرانی که اطلاعات زمین‌شناسی نداشته و یا دانش آن‌ها در این زمینه کم است، نیز بتوانند از آن استفاده کنند.
 - با توجه به گوناگونی کاربران این پایگاه، داده‌ها باید به‌گونه‌ای گردآوری شوند که برای اغلب آن‌ها اطلاعات قابل استفاده‌ای را فراهم کند.
 - داده‌های پایگاه باید ارتباط منطقی بین داده‌های محیطی و زمین‌شناسی برقرار کند.
 - گردآوری و تلفیق داده‌های زمین‌شناسی و شهری بسیار پرهزینه است بنابراین باید به‌گونه‌ای طبقه‌بندی شوند که در درازمدت قابل محافظت و استفاده باشند.
 - در آینده کاربردهای جدیدی برای داده‌های زمین‌شناسی یافت خواهد شد و زمین‌شناسی شهری به‌عنوان بخشی از اطلاعات و دانش گسترده‌ای خواهد بود که برای توسعه پایدار شهری مورداستفاده قرار می‌گیرند.
- بسیاری از شهرهای بزرگ شروع به گردآوری پایگاه داده‌هایی که شامل اطلاعات زمین‌شناسی به‌ویژه نقشه زمین‌شناسی کواترنری، آب‌زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی مناطق شهری با مقیاس مناسب کرده‌اند که البته در این زمینه ایران در مراحل ابتدائی قرار دارد. پیتز فلاون (۱۹۹۶) یکی از اولین زمین‌شناسانی بود که لزوم تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس مناسب را برای شهرهای آمریکا یادآور شد. وی عنوان کرد که «برای من این حقیقت بسیار تلخ و گزنده است که بسیاری از شهرها نقشه زمین‌شناسی نداشته و حتی یک زمین‌شناس را نیز به استخدام خود درنیاورده‌اند!». استفاده از مشاوره زمین‌شناس جز در موارد خاص راه‌حل مشکل نیست، بلکه باید یک زمین‌شناس به‌طور پیوسته داده‌های مرتبط با قلمروی شهری را گردآوری کرده و مصالح ساختمانی و منابع طبیعی آن را تعیین کند. به‌ویژه وظیفه اصلی زمین‌شناس تهیه و نگهداری یک نقشه زمین‌شناسی دقیق با مقیاس بزرگ از شهر است».
- شاید بتوان داده‌های زمین‌شناسی شهری را به «داده‌های امنیت شهری» تغییر نام داد زیرا حفاظت از شهروندان یکی از مهم‌ترین مسائل پیش روی این قبیل مطالعات است.

۴-۱ بررسی‌های آینده در زمین‌شناسی شهری

- برخی از جنبه‌هایی که در مطالعات آینده باید به آن‌ها پرداخت به صورت زیر هستند:
- استفاده از داده‌های ژئوتکنیکی برای آنالیز و بررسی واکنش زمین در برابر لرزش. هدف ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای تعیین کمیت خطرات لرزه‌ای با استفاده از تغییرات سطوح ارتعاشی حاصل از اختلافات سطح الارضی است.
 - استفاده از داده‌های ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای جهت تهیه نقشه لرزش احتمالی زمین.
 - شرکت در گروه‌هایی که توسط سازمان‌های مختلف جهت بررسی تأثیر زلزله تشکیل می‌شود، انجام بررسی‌های پس از وقوع زلزله و تهیه قوانینی جهت کاهش تأثیرات آسیب‌های ناشی از زلزله.
 - گسترش مطالعات تغییرات مناطق شهری که می‌تواند تغییر کاربری محیط‌های شهری را مورد بررسی قرار دهد. پایش انواع، دلایل، وسعت و تأثیر تغییرات چشم‌انداز مستلزم استفاده از روش‌های سنجش از دور است. بررسی شهرنشینی، استخراج منابع و توسعه منابع آب مستلزم وجود این داده‌ها است. منابع اولیه داده‌ها می‌تواند شامل نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های تاریخی شهری، آمار سرشماری، داده‌های دورسنجی و داده‌های رقومی کاربری زمین ۵۰-۱۰۰ ساله اخیر و پایگاه داده‌های ۲۵ ساله لندست^۱ باشد.
 - ایجاد پایگاه داده‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) که دربردارنده تاریخچه زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و آب‌شناسی شهرهای متوسط و بزرگ باشد. در نقشه‌ها باید به موارد زیر توجه شود:
 - نقشه‌برداری گسترش فضایی لایه‌های تراوا و مناطق شکستگی و تأثیرات مهاجرت آب‌های سطحی و زیرزمینی و زبانه‌های آلاینده در این آب‌ها،
 - نقشه‌برداری، بررسی‌های ژئوفیزیکی و آب‌شناسی مرتبط با بلایای طبیعی مانند خاک‌های منبسط‌شونده، سیل، فرونشینی حاصل از افت آب زیرزمینی، زمین‌لغزش و گسلش
 - تهیه پایگاه داده‌ها براساس سیستم GIS که بتوان از آن برای برنامه‌ریزی، پهنه‌بندی، ارتباطات و تراکم جمعیت استفاده کرد
 - برآورد جایگاه چینه‌نگاری و ساختاری زمین زیر شهر جهت تعیین قابلیت دسترسی به آب، نفت، مصالح ساختمانی و منابع معدنی.

- ایجاد پایگاه داده‌ها براساس سیستم GIS برای مکان‌هایی که دارای آلاینده‌های سمی بوده و بر آب‌های سطحی و زیرزمینی شهری و روستایی تأثیر می‌گذارند. آلاینده‌هایی که باید مورد بررسی قرار گیرند عبارتند از جیوه، سرب، آرسنیک، کادمیم و سلنیم. حیات وحش و انسان به‌صورت جدی تحت تأثیر آلاینده‌های حاوی جیوه منتشر شده توسط انسان، قرار دارند.
- سازمان‌های زمین‌شناسی باید تأثیر طبیعی نوع سنگ بر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی زیست‌بوم را مورد بررسی قرار دهند (کلارک، ۲۰۰۱). پارامترهای شیمیایی زیست‌بوم‌ها متأثر از سنگ‌شناسی آن‌ها بوده زیرا این مواد و فرایندهای زمین‌شناسی هستند که دسترسی اولیه به مواد مغذی خاک‌ها، اسیدیته و پتانسیل اکسیداسیون - احیا و محتوی فلزی خاک‌ها و آب را در کنترل دارد (کلارک، ۲۰۰۱).

خلاصه

زمین‌شناسی شهری در واقع کاربرد زمین‌شناسی در برنامه‌ریزی و مدیریت شهر و حومه آن است. بسیاری از زمین‌شناسان در محیط‌های بکر و دست‌نخورده به مطالعات فرایندهای بزرگ مقیاس زمین‌شناسی می‌پردازند اما در محیط‌های شهری به دلیل دستکاری توسط انسان و همچنین نبود رخنمون‌های مناسب دارای این امکان وجود نداشته و پیچیدگی‌های زمین‌شناسی بسیار بیش‌تری دارد. با این وجود این‌گونه مطالعات به دلیل فواید آن برای جوامع شهرنشین بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات زمین‌شناسی در محیط‌های شهری عمدتاً شامل زمین‌شناسی ساختاری، آب‌شناسی، ژئوشیمی، مخاطرات طبیعی، آلاینده‌های زیست‌محیطی و غیره است که در نوع خود دارای چالش‌ها و دشواری‌های خاصی است. از جمله این دشواری‌ها می‌توان به نبود سایت‌های دائمی طبیعی جهت مطالعات زمین‌شناسی اشاره کرد به گونه‌ای که ممکن است در نقطه‌ای از شهر حفره‌ای جهت ساخت‌وساز کنده شود و موقعیت زمین‌شناسی سطحی آن نقطه را در معرض دید قرار دهد اما اولاً ممکن است اجازه دسترسی به آن داده نشود و ثانیاً با پیشرفت ساخت‌وساز فقط چند روز امکان بررسی لایه‌های زمین‌شناسی وجود خواهد داشت و دوباره با مصالح ساختمانی پوشیده خواهد شد. بنابراین، مناطق شهری محیط‌هایی بسیار پویا هستند که مدام در حال تغییر هستند و این هنر یک زمین‌شناس است که بتواند از این تغییر و تحولات در مطالعات خود بهره گیرد.

در پایان این فصل باید یادآور شد که نگهداری تأسیسات شهری، سیستم‌های پایدار زهکشی و بررسی‌های باستان‌شناسی از حوزه‌های جدید مطالعات زمین‌شناسی شهری است.

خودآزمایی چهارگزینه‌ای

۱. در سال ۲۰۳۰ چند درصد مردم جهان شهرنشین خواهند بود؟
 (الف) ۴۷ (ب) ۱۵
 (ج) ۲ (د) ۶۰
۲. اولین مطالعات زمین‌شناسی شهری در کدام کشور صورت گرفت؟
 (الف) آمریکا (ب) هلند
 (ج) هند (د) آلمان
۳. پروژه اسکاپ در چه سالی شروع شد و چند سال ادامه داشت؟
 (الف) ۱۹۵۸-۱۶ سال (ب) ۱۹۸۵-۱۷ سال
 (ج) ۱۹۷۵-۱۶ سال (د) ۱۹۸۶-۱۷ سال
۴. اولین نقشه زمین‌شناسی مهندسی تهیه شده در ایران متعلق به کدام شهر است؟
 (الف) شیراز (ب) تهران
 (ج) تبریز (د) اهواز

خودآزمایی تشریحی

۱. زمین‌شناسی شهری عمدتاً از کدام شاخه‌های زمین‌شناسی تشکیل شده است؟ (حداقل چهار مورد).
۲. واژه زمین‌شناسی شهری اولین بار توسط چه شخص یا سازمانی مطرح شد و در کدام شهر بیش‌ترین مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته است؟
۳. پروژه اسکاپ چیست و رویکردهای اسکاپ جهت پیشبرد اهداف و به‌کارگیری زمین‌شناسی کدام است؟ (سه مورد).
۴. تاریخچه مطالعات زمین‌شناسی شهری در ایران را توضیح دهید.
۵. انواع داده‌های پایگاه داده‌های زمین‌شناسی شهری کدام هستند؟ (حداقل شش مورد).

فصل دوم

مدیریت زمین‌شناسی مناطق شهری

هدف کلی

در این فصل ملزومات زیست‌محیطی محیط‌های شهری مورد بررسی قرار گرفته و به اجمال مواردی مانند توسعه تأسیسات زیرزمینی، کاربری مناطق شهری و اختلافات احتمالی در نوع کاربری این مناطق، آلاینش منابع زیرزمینی و خاک، مدیریت پسماند شهری، مخاطرات زمین‌شناسی و مدیریت داده‌های زمین‌شناسی پرداخته خواهد شد.

هدف‌های یادگیری

با توجه به هدف‌های کلی یاد شده می‌توان با مطالعه این فصل از کتاب با موارد ذیل آشنا شوید:

۱. دلایل عدم توجه کافی به مسائل زیست‌محیطی در حین انجام پروژه‌های توسعه و عمران شهری.
۲. عوامل آلاینده خاک‌های سطحی و زیرسطحی مناطق شهری.
۳. روش‌های مطالعه و بازیابی داده‌های زمین‌شناسی در مناطق شهری.
۴. انواع داده‌های زمین‌شناسی موردنیاز مناطق شهری و منابع کسب این داده‌ها.
۵. عوامل موفقیت زمین‌شناسانی که حوزه مطالعات آنان محیط‌های شهری است.
۶. چگونگی مدیریت داده‌های زمین‌شناسی مناطق شهری.
۷. چگونگی ارتباط بین داده‌های زمین‌شناسی و برنامه‌ریزی در مناطق شهری.
۸. چگونگی انجام مطالعه موردی زمین‌شناسی شهری با ذکر مثال.

مقدمه

در این فصل خلاصه‌ای از ملزومات رایج در محیط‌های شهری از جمله توصیف کلی از ارزش، کاربردها و ویژگی‌های منابع شهری از قبیل آب، انرژی، مواد و غیره ارائه شده و چالش‌های پیش روی علوم زیست‌محیطی و همچنین مدیریت داده‌های مرتبط با آن‌ها مورد بحث قرار خواهد گرفت.

استفاده از منابع زیرزمینی در مناطق شهری عمدتاً مرتبط به فعالیت‌هایی است که در حین صنعتی‌شدن و پس از آن تا دهه ۱۹۵۰ رخ داده است. اگر شرایط فعلی منابع زیرزمینی به‌ویژه منابع آب در مناطق شهری مورد بررسی قرار گیرد باید به تغییراتی که در این دوره صورت گرفته است آگاهی داشت. برخی از این تغییرات شامل توسعه تأسیسات زیربنایی و زیرزمینی مانند خطوط مترو و راه‌آهن است که موجب اخلال مستقیم در منابع آبی می‌شود.

این تغییرات در ساختارهای زیرزمینی و تأثیرات فراوان انسانی موجب پیچیده‌شدن مطالعات زمین‌شناسی شهری و آب‌زمین‌شناسی شده است. علاوه بر این، ابتکارات جدید در زمینه مدیریت حفاظت از منابع زیرزمینی کم است. از نظر تاریخی حفاظت از منابع زیرزمینی کم‌عمق به مدت طولانی انجام شده است. در ابتدای قرن بیستم، مشکلات بهداشتی موجب آگاهی عمومی نسبت به تأثیرات منفی استفاده شدید و غیراصولی از منابع شدند. در مناطق شهری به‌ویژه انواع آلودگی‌ها از مناطق روستایی بیش‌تر است. این مسائل باعث شده است که در استفاده از آب‌های زیرزمینی، احداث خیابان‌ها و بزرگراه‌ها، مناطق دفن زباله و منابع زمین‌گرمایی بازنگری‌های جدی صورت گیرد. پیش‌بینی می‌شود که در صورت عدم‌توجه به این مسائل، مشکلات پیش‌روی جوامع شهری تشدید شود.

حدود ۷۰ درصد از جمعیت اروپا در مناطق شهری زندگی می‌کنند که در مجموع حدود ۲۵ درصد کل مساحت اروپا را تشکیل می‌دهند (EEA, ۱۹۹۹). بیش از ۴۰ درصد آب غرب و شرق اروپا و منطقه مدیترانه از آبخوان‌های شهری تأمین می‌شود. برای استفاده بهینه و پایدار از منابع آب در مناطق شهری ابزار مؤثر و اقتصادی بسیار ضروری است تا کیفیت زندگی حفظ شده و اطمینان حاصل شود که آب برای نسل‌های بعدی در دسترس خواهد بود (آیسورث و همکاران، ۲۰۰۳). استفاده پایدار از خاک، آب‌زیرزمینی و سایر منابع مهم در مناطق شهری یکی از قواعد اساسی کشورهای پیشرفته مانند کشورهای اروپایی است (پروکوپ، ۲۰۰۳).

در حالی که قوانین مدیریت منابع سطح‌الارضی موجود است، این قوانین برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع زیرزمینی غالباً وجود ندارد. به همین دلیل پروژه‌های جاری فاقد برنامه برای بررسی استفاده مناسب منابع زیرزمینی بوده و در نتیجه خطرات قابل‌توجهی محیط زندگی جوامع بشری را تهدید می‌کند. نمونه‌ای از این خطرات فرونشینی مشاهده‌شده در منطقه راین بالایی^۱ سوئیس است. مثال دیگر بالاآمدگی زمین در اثر ایجاد چاه ژئوترمال در عمق کم (استافن، جنوب شرق آلمان) که در ارتباط با آبخوان محصور در سنگ‌هایی است که در برابر تورم و آماس حساس هستند (هونگنبرگر و اپتینگ، ۲۰۱۱).

در ایران نیز موارد متعددی از این‌گونه آسیب‌های طبیعی ناشی از عدم توجه به بهره‌برداری درست از منابع زیرزمینی رخ داده است. به‌عنوان نمونه در سال ۱۳۸۳ در جنوب غرب تهران فرونشستی رخ داد که در پی آن سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور از سازمان زمین‌شناسی درخواست کرد که با اعزام کارشناسان نسبت به امکان‌سنجی مقدماتی علت وقوع این پدیده اقدام کند. پس از بررسی مشخص شد که ترکیب عواملی چون (۱) برداشت بیش از حدمجاز از منابع آب‌زیرزمینی، (۲) ضخامت لایه رسوبی و (۳) ویژگی‌های مهندسی رسوبات عامل اصلی ایجاد این فرونشست است. در اثر نیروهای مؤثر در ایجاد تراکم، رسوبات دانه‌ریز مانند سیلت و رس در مقایسه با رسوبات دانه درشت مانند شن و ماسه تأثیر بسیار بیش‌تری می‌پذیرند. از سوی دیگر هر اندازه ضخامت رسوبات بیش‌تر باشد؛ آن منطقه نسبت به افت سطح آب زیرزمینی حساس‌تر عمل کرده، دچار فرونشست بیش‌تری خواهد شد. همچنین براساس مطالعات غیومیان و همکاران (۱۳۸۱) در رابطه با پهنه‌بندی استعداد توان بارگذاری نهشته‌های کواترنری شهر تهران با استفاده از SPT^۲، قسمت عمده شهر تهران دارای توان بارگذاری مجاز متوسط به بالا است. با این وجود در چند نقطه از جنوب شهر ظرفیت بارگذاری و عوامل مقاومتی آبرفت‌ها پائین تا بسیار پائین است. نکته قابل توجه این‌که محدوده مورد بررسی در همین پهنه قرار دارد. این ویژگی می‌تواند عامل مهمی در شکل‌گیری فرونشست موردنظر باشد. با توجه به اهمیت موضوع، طرحی در سازمان زمین‌شناسی آغاز شد که موضوع آن مطالعه فرونشست‌های ایران است. براساس این طرح مطالعات مشابهی در دشت مشهد، جنوب ورامین، گلپایگان، همدان و غیره در حال انجام است (شکل ۲-۱).

1. Upper Rhine

2. Standard Penetration Test

برای گسترش مفاهیم و روش‌های استفاده پایدار از زیر سطح مناطق شهری، بررسی‌های تأثیرات محیطی نه تنها باید شامل آسیب‌های سطحی مانند تکان‌های زمین (موجب ارتعاش ساختمان‌ها و بناهای زیربنایی)، آلودگی صوتی و آلودگی هوا باشد بلکه باید تأثیرات منفی بر روی منابع زیرزمینی را نیز در برگیرد. به‌منظور توسعه قوانین استفاده از فضای زیرسطحی، مسائل مرتبط با آن باید به‌صورت جزء‌به‌جزء مشخص شود. بنابراین چالش اصلی عمده‌تاً توسط تجميع عقاید در زمینه ارائه برنامه‌های مؤثر و جامع جهت مدیریت منابع است.



شکل ۱-۲. نمونه‌ای از فروچاله‌های حاشیه شهر همدان (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور).

در این فصل ملزومات محیط‌های شهری به‌طور خلاصه تبیین شده و بر تفاوت آن با محیط‌های روستایی تأکید می‌شود. پس از آن به گسترش تأسیسات زیربنایی و مشکلات ناشی از تغییر کاربری در مناطق شهری پرداخته می‌شود.

۱-۲ توسعه زیرساخت‌ها در مناطق زیرسطحی شهری

معمولاً فضاهای خالی در مناطق شهری بسیار کمیاب است. بنابراین فضاهای زیرزمینی در این مناطق برای توسعه سازه‌های زیربنایی و خطوط حمل‌ونقل بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سازه‌ها می‌توانند به‌طور موقت سیستم‌های آب‌های زیرزمینی را در حین ساخت و پس از تکمیل آن تحت‌تأثیر قرار دهند. سازه‌های زیرزمینی به ناچار فشار را بر روی منابع آب‌زیرزمینی و ظرفیت ذخیره آبخوان افزایش می‌دهند. در نتیجه، منابع زیرزمینی برای سازگاری با محیط، شرایط آب‌شناسی خود را دگرگون می‌کنند.

در اغلب فعالیت‌های مهندسی، توسعه سازه‌های زیرزمینی و تغییرات کاربری زمین مرتبط با آن به‌عنوان منافع کوتاه‌مدت در نظر گرفته می‌شود. سازه‌های جدید زیرزمینی بیش‌تر تحت شرایط سخت ژئوتکنیکی و آب‌زمین‌شناسی ایجاد می‌شوند. در عمل، ساخت تونل در سنگ‌های سست و زیر سطح ایستابی می‌تواند موجب افزایش احتمال خطر فرونشست یا ریزش شود. برای حفظ رشد مناسب زندگی شهری هم‌زمان با حفظ استانداردهای ساخت‌وساز، روش‌های ژئوتکنیکی مانند تزریق سیمان برای پایداری زیرزمین در سنگ‌های سست مورد استفاده قرار می‌گیرد. پتانسیل وقوع خطرات زمین‌شناسی در حین ساخت‌وساز بسیار بالاست. از سوی دیگر مواد مورد استفاده در ساخت‌وساز مانند تزریقات سیمان و غیره نیز می‌تواند موجب آلودگی محیط شود. علاوه بر این، پایداری می‌تواند تأثیرات نامناسبی بر روی رژیم‌های جریان آب‌زیرزمینی و کیفیت و کمیت این منابع داشته باشد. گاهی دگرگونی‌ها در جریان آب‌زیرزمینی و سطحی و ایجاد مجراهای جدید آب می‌تواند تأثیرات منفی بسیاری بر روی سازه‌های زیرزمینی داشته باشد. به‌عنوان مثال در اثر نفوذ آب به ایستگاه‌ها و کارگاه‌های مترو تهران نظیر ایستگاه‌های ولیعصر، شهدا، فردوسی، قیطریه و شریعتی آسیب‌های فراوانی به آن‌ها وارد شده است به گونه‌ای که پس از بارش باران شدید و ناگهانی در تهران مسیل آب واقع در منطقه کن، به‌دلیل کاهش قابلیت نفوذ زمین بر اثر شهرسازی و ایجاد ساختمان‌ها، دچار طغیان شده و دیواره‌های مسیل به‌علت فرسودگی در مقابل این طغیان مقاومت خود

را از دست داده و دچار شکستگی شدند و ریزش دیواره این کانال باعث جاری شدن سیلاب به داخل تونل مترو ارم سبز و آب‌گرفتگی آن شد (شکل ۲-۲).



شکل ۲-۲. شکستگی دیواره‌های مسیل و نفوذ آب به درون ایستگاه ارم در خط ۴ (عکس از خبرگزاری مهر).

به این دلیل، سازه‌های درون آب‌زیرزمینی باید ایزوله شوند تا از آسیب‌رسیدن به چنین سازه‌هایی جلوگیری شود. روی‌هم‌رفته، ساخت سازه‌های زیرزمینی (مانند مترو، سیستم‌های زمین‌گرمایی، محلول‌های معدن‌کاری حاصل از تولید نمک، خطوط نیرو و غیره) باید تحت شرایط کنترل‌شده و پایش پیوسته هیدرولیکی قرار داشته و شرایط فیزیکی و شیمیایی (دما، ظرفیت الکتریکی، pH، آشفستگی و غیره) یا پارامترهای ژئوتکنیکی (شیب و غیره) آن‌ها نیز تحت نظر باشند.

۲-۲ کاربری مناطق شهری

منازعات بسیاری در زمینه کاربری مناطق شهری وجود دارد که از آن جمله می‌توان اختلاف در زمینه استفاده از آب‌های زیرزمینی توسط شهرداری و واحدهای صنعتی اشاره کرد. علاوه بر این، باید جنبه‌های تاریخی توسعه مناطق شهری نیز مورد توجه

قرار گیرد. درحالی‌که برخی از کاربری‌ها مانند ساخت تأسیسات زیربنایی در این مناطق تنها موجب عوارض موقتی برای سیستم‌های آب‌های زیرزمینی می‌شوند برخی دیگر از فعالیت‌ها تأثیرات پایداری از خود برجا می‌گذارند که می‌توان به کاهش دائمی جریان آب و ظرفیت نگهداری آبخوان‌ها اشاره کرد.

استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی مناطق شهری همچنین شامل موارد زیر نیز می‌شود:

- استخراج آب آشامیدنی و فرایندهای مرتبط با آن.
- استفاده از منابع گرمایی که شامل استخراج آب‌زیرزمینی و تزریق آن برای سرد و گرم کردن است.
- پروژه‌های مهندسی آب از قبیل کنترل سیلاب، ساخت زهکشی، ساخت تأسیساتی در زمینه مدیریت آبخوان‌ها و غیره.
- استفاده روزافزون از آب برای معماری شهری مانند فواره‌ها، رودهای کوچک، دریاچه‌ها و غیره.

ممکن است استفاده بیش‌ازحد موارد یاد شده موجب تنازعات بیش‌تری در آینده بین مردم، مؤسسات خصوصی و یا دولتی از قبیل شهرداری و محیط‌زیست شود. این‌گونه تغییر کاربری‌ها در منابع آب‌زیرزمینی می‌تواند باعث تغییر جدی در کیفیت و دینامیک جریان‌ات آبی محلی یا ناحیه‌ای شود. موضوع مهم این است که بتوان بین مدیریت منابع و توسعه زیرساخت‌ها تعادلی برقرار کرد.

۲-۳ تاریخچه وضع قوانین

اگرچه چارچوب قانون برای محافظت و تعیین رویه استفاده از منابع زیرزمینی به‌طور پیوسته در حال بهبود و سازگاری با نیازمندی‌های شهری است، اما همچنان آسیب‌های جدی به این منابع در حال وارد شدن است. قوانین موجود فقط به‌طور نسبی به نگهداری کیفی منابع زیرزمینی و سخت‌گیری در مورد ساخت تأسیسات زیربنایی و زهکشی مرتبط با آن‌ها پرداخته است.

دلایل متعددی برای این بی‌توجهی‌ها وجود دارد از جمله:

- در حین توسعه تأسیسات زیربنایی بیش‌تر توجه معطوف به مسائل فنی و ساختمانی منابع زیرزمینی بوده و استفاده پایدار از آن‌ها و احتمال آلاینش آن‌ها توسط تأسیسات

مورد توجه قرار نمی‌گیرد. به‌عنوان مثال در نظر داشت که در یک منطقه شهری مانند تهران، شهرداری تصمیم به ایجاد یک پارک یا پردیس گرفته است. در این حالت تمام توجه معطوف به این مسئله خواهد بود که برای تأمین آب فضای سبز چنین پارکی چگونه و در چه محل‌هایی می‌توان چاه‌هایی ایجاد کرد که بتواند با دبی بالا آب‌زیرزمینی را استخراج کند. درحالی‌که به‌ندرت پیش می‌آید که مسائل زمین‌شناسی و زیست‌محیطی زیرسطحی آن منطقه مورد مطالعه قرار گیرد و احتمال آلودگی منابع آب‌زیرزمینی آن منطقه در نظر گرفته شود. این مسئله در زمینه ساخت تأسیساتی مانند بیمارستان که فاضلاب آن به‌شدت موجب آلودگی آب‌زیرزمینی می‌شود نیز صادق است.

- برخی پروژه‌ها زمانی اجرا شده‌اند که از نظر قانونی هیچ منعی برای اجرای آن‌ها وجود نداشته است و خوشبختانه اجرای پروژه‌های مشابه با توجه به وضع قوانین جدید و افزایش درک عمومی در زمینه نگهداری از منابع زیرزمینی، غیرممکن است.
 - فعالیت‌های مرتبط با نگهداری منابع زیرزمینی در مناطق شهری همچنان عمده‌تر بر روی مستندسازی تغییرات کیفیت آب و رژیم جریانی آن (از قبیل محافظت از ظرفیت جریان محلی و ممانعت از پایین رفتن سطح ایستابی) متمرکز است.
 - غالباً تأثیرات منفی استفاده‌کنندگان مختلف منابع آب‌زیرزمینی به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته و برهم‌کنش آن‌ها در این زمینه بررسی نشده است.
- با توجه به سیستم آبخوان‌ها در مناطق شهری، قوانین متعددی مورد توجه قرار گرفته است. این قوانین شامل محافظت از آبخوان است که به‌طوری‌که (۱) هرگونه ساخت‌وساز نباید باعث تغییر کیفیت و یا کمیت رژیم جریانی آب‌زیرزمینی شود؛ (۲) این ساخت‌وسازها نباید ظرفیت نگهداری و عبور جریان در آبخوان را تحت‌تأثیر قرار دهند. این محدودیت‌ها، شامل کاهش جریان تا حداکثر ۱۰٪ نمی‌شود.

۲-۴ آلودگی آب‌های زیرزمینی

آلودگی آب‌های زیرزمینی در مناطق شهری یکی از مهم‌ترین مسائل مربوط به زمین‌شناسی شهری است. بیش‌تر مراکز شهری با افزایش تقاضا جهت تأمین آب آشامیدنی سالم روبه‌رو هستند. امروزه منابع اصلی آلاینده آب آشامیدنی در مناطق شهری مشخص شده‌اند.

۲-۵ برآورد و محافظت از منابع آب زیرزمینی

برطرف کردن منابع آلاینده آب‌های زیرزمینی ارتباط تنگاتنگی با برآورد و محافظت از این منابع دارد. در آمریکای شمالی حدود ۱۱۰ میلیون نفر در منطقه‌ای مستقیماً متأثر از یخچال‌های پلیستوسن زندگی می‌کنند. آبخوان‌های درون توالی‌های پیچیده رسوبات یخچالی منبع مهمی از آب آشامیدنی بسیاری از اجتماعات شهری است. در جنوب اونتاریو، بزرگ‌ترین سیستم آبخوان قرار دارد که شهر اونتاریو در مرکز آن قرار دارد. با توجه به وضع زمین‌شناسی و آبخوان‌های این منطقه، وضع قوانین بازدارنده در زمینه مقابله با آلاینده منابع زیرزمینی از طریق محدود کردن تغییر کاربری در مناطق مجاور شهر و چاه‌های آب (مراقبت از سرچشمه‌ها) بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

۲-۶ آلاینده آب‌های سطحی

آب‌های زیرزمینی عنصری از چرخه آب‌شناسی بوده و می‌توانند توسط آب‌های سطحی آلوده شوند و این مشکلی است که تمام مناطق شهری با آن درگیر هستند و با افزایش آلاینده حاصل از انباشت آب‌های سطحی آلوده در خیابان‌ها و سایر سازه‌ها این معضل در حال افزایش است. آب‌های اسیدی حاصل از فعالیت‌های معدنی اسیدی یا بازی نیز یکی دیگر از منابع آلاینده آب‌های سطحی به‌شمار می‌رود.

۲-۷ شهرهای ساحلی

بسیاری از محیط‌های زمین‌شناسی به‌ویژه متمرکز در مناطق اسکله‌ای شهر است که دارای تاریخچه کاربری صنعتی طولانی و در نتیجه آلاینده آب‌های سطحی، فاضلاب و آب‌های زیرزمینی هستند. به‌منظور طراحی سیستم‌های مدیریت هرزآب‌ها باید اطلاعات کافی در زمینه توانایی انتقال و ذخیره آب توسط رسوبات یک منطقه در دسترس باشد. بندر هامیلتون در غرب اونتاریو در حوضه گریٹ لیک^۱ دارای بیش از ۴۰ نقطه است که تحت تأثیر آلودگی قرار گرفته‌اند (آیلس، ۱۹۹۶). براساس بررسی مغناطیسی رسوبات آلوده و تهیه نقشه آلودگی، مشخص شده است که در مناطق یاد شده، آلاینده آهن و سرب وجود دارد. براساس کارهای مشابهی که انجام شده است می‌توان گفت که آگاهی به فرایندهای

زمین‌شناسی جهت اصلاح و مدیریت اسکله‌ها و بنادر بسیار ضروری است. بالا آمدن سطح آب دریاها و دریاچه‌ها موجب فرسایش زیاد در امتداد سواحل شهری شده است و بنابراین مستلزم اصلاح مداوم است که هزینه بالایی دارد. ایجاد خطوط ساحلی مصنوعی مستحکم در این مناطق باید به گونه‌ای باشد که تعادل طبیعی را به هم نزند. مسئله دیگر در این مناطق، زمین‌لغزش‌های زیرآبی است که می‌تواند در اثر زلزله یا انباشت زباله‌ها و ضایعات صنعتی ایجاد شود.

مناطق ساحلی یکی از مهم‌ترین منابع محدود در جهان به‌شمار می‌آیند (آپسیمون و همکاران، ۱۹۹۰). در این مناطق، بسیاری از مردم جهان زندگی کرده و غذای خود را از طریق صیادی تأمین می‌کنند. در حال حاضر به دلیل رشد جمعیت، توسعه شهرها و کشاورزی، ساخت‌وسازهای بی‌رویه، گسترش صنعت، گسترش مناطق تفریحی، ورود زباله‌ها و فاضلاب‌ها به ساحل، استفاده بیش از حد از منابع دریایی، فرسایش ساحلی و تأثیرات افزایش سطح آب دریاها موجب در خطر قرار گرفتن مناطق ساحلی شده است. این تهدیدات در آینده بیش‌تر نیز خواهند شد به دلیل این‌که جمعیت مناطق ساحلی به‌طور پیوسته در حال افزایش است. از این‌رو لازم است شهرهای ساحلی معیارهای توسعه پایدار را مدنظر قرار دهند. از آن‌جا که بسیاری از شهرها در سواحل دریاها و اقیانوس‌ها قرار گرفته‌اند، بنابراین در ادامه به بررسی مسائل مرتبط با زمین‌شناسی سواحل در مناطق شهری پرداخته می‌شود.

خطوط ساحلی جزو فعال‌ترین مناطق زمین‌شناسی در زمین محسوب می‌شوند که در آن‌ها اتمسفر، ژئوسفر، هیدروسفر و بیوسفر همگی محیط‌های ساحلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. فرورائش در امتداد بسیاری از سواحل قاره‌ای (مانند سواحل مکران ایران) رخ می‌دهد. امواج و آب‌وهوا باعث فرسایش، حمل و نقل و تجمع رسوبات در امتداد سواحل می‌شود. علاوه بر این، آب‌های کم‌عمق در فلات قاره‌ای جزو مولدترین اکوسیستم‌های زیستی در زمین هستند. بسیاری از ارگانیسم‌ها که در این نواحی زندگی می‌کنند دارای پوسته‌های سخت و یا اسکلت‌های کربنات کلسیمی هستند. در نتیجه، بقایای این پوسته‌ها و اسکلت‌ها در اثر سنگ‌شدگی به سنگ آهک تبدیل می‌شوند. بنابراین ارگانیسم‌های زنده به‌عنوان بخشی از چرخه سنگ درمی‌آیند.

در نتیجه رخدادهای قدیمی زمین‌شناسی توده‌های رسوبی و سنگی را ایجاد و دچار تغییر کرده و سواحل کنونی را به‌وجود آورده‌اند. در طی زمان، فرایندهای مختلف

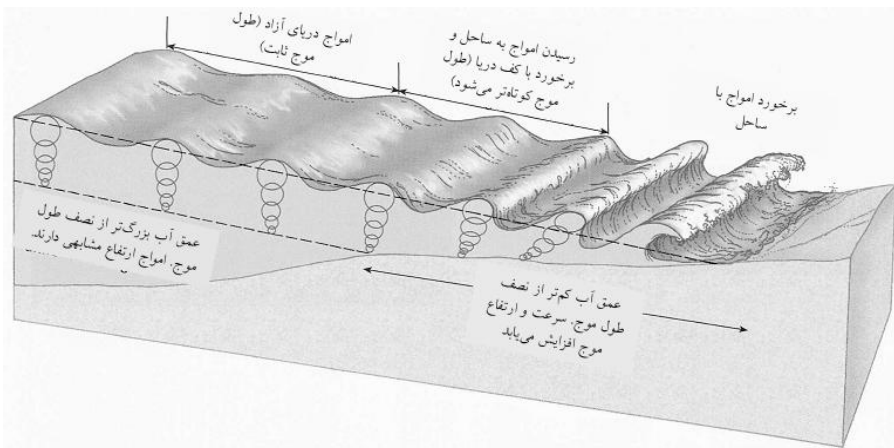
فیزیکی بر روی این عوارض زمین‌شناسی تأثیر گذاشته و باعث فرسایش، شکل‌دهی و تغییر چشم‌اندازهای آن می‌شوند. این فرایندها می‌توانند به دو نوع بزرگ تقسیم شوند: نیروهای فعال مانند امواج و جزرومد که به‌طور پیوسته رخ داده و نیروهای درازمدت و تغییرات جهانی که سواحل را در طی زمان تحت تأثیر قرار می‌دهند.

بسیاری از شهرهایی که در مجاورت سواحل قرار دارند در معرض سیلاب‌ها و امواج جزرومدی و حتی طوفان‌های شدید قرار می‌گیرند. علاوه براین، فعالیت‌های بشری نیز موجب تخریب سواحل و تغییر چشم‌انداز آن‌ها می‌شود. در ادامه تأثیر این دو عامل بر سواحل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲-۷-۱ عوامل زمین‌شناسی

- **زمین‌شناسی زیرسطحی و زمین ریخت‌شناسی:** جایگاه زمین‌شناسی سواحل زمین‌ریخت‌شناسی سطحی، نوع رسوبات، قابلیت دسترسی و شیب کلی آن‌ها را تحت کنترل دارد. همان‌طور که ذکر شد زمین‌شناسی، خود توسط فرایندهای فیزیکی (مانند امواج و آب‌وهوا)، زیست‌شناسی و فعالیت‌های بشری دچار تغییر می‌شود اما نمای کلی سواحل تابعی از زمین‌شناسی ناحیه‌ای و زمین‌ساخت خواهد بود.

- **هوازدگی و فرسایش سواحل:** غالباً امواج سواحل را به‌طور پیوسته مورد تاخت‌وتاز قرار می‌دهند. در امتداد سواحل مشاهده می‌شود که آب‌های خروشان ذرات ماسه و یا حتی قطعات بزرگ شن را با خود جابه‌جا می‌کنند. حتی در روزهای آرام، امواجی که به ساحل می‌رسند تند بوده و به‌شدت با ساحل برخورد می‌کنند. وقتی که امواج به آب‌های کم‌عمق می‌رسند، زیر امواج در کف دریا کشیده می‌شود. این کشیدگی موجب حرکت بیضوی آن‌ها شده و سرعت بخش‌های زیرین موج را کاهش می‌دهد و در نتیجه بخش‌های بالایی با سرعت بیشتری به حرکت ادامه می‌دهند. هنگامی که بخش‌های پیشانی امواج برمی‌خیزند، امواج شدیدتر می‌شوند تا این‌که به‌سمت جلو تحلیل شوند و یا خرد شوند (شکل ۲-۳). در نهایت امواج نامنظم و متلاطم در امتداد سواحل به‌صورت خیزآب^۱ به اتمام می‌رسند.



شکل ۲-۳. هنگامی که یک موج به ساحل می‌رسد، حرکت چرخشی کف آن تسطیح شده و تبدیل به حرکت بیضوی شده و زیر موج به کف دریا کشیده می‌شود. در نتیجه، طول موج کوتاه‌تر شده و امواج شدیدتر می‌شوند تا در نهایت به ساحل رسیده و خیز آب را تولید کنند.

بیش‌تر فرسایش سواحل در طی طوفان‌های شدید رخ می‌دهد به این دلیل که امواج طوفان و به‌ویژه امواج بلند آن بسیار بزرگ‌تر و پرانرژی‌تر از امواج معمولی هستند. به‌عنوان مثال یک موج شش متری ساحل را با نیرویی ۴۰ برابر بیش‌تر از یک موج ۱/۵ متری مورد هدف قرار می‌دهد (شکل ۲-۴). آب دریا سواحل را از طریق نیروی هیدرولیکی، سایش، انحلال و املاح دچار هوازدگی و فرسایش می‌کند.

• **افزایش سطح دریاها:** امروزه دانش ما در مورد تأثیرات مخرب تغییرات آب‌وهوایی بر روی محیط‌های ساحلی افزایش یافته است. زمین‌شناسان دره‌های رودخانه‌ای و فسیل‌های جانوران خشکی را در فلات قاره‌ای زیر دریا یافته‌اند. آن‌ها همچنین سنگ‌های رسوبی حاوی فسیل ماهی و سایر ارگانسیم‌های دریایی را در درون خشکی پیدا کرده‌اند. این بدان معنی است که سطح آب دریاها در طول زمان زمین‌شناسی گاهی به‌شدت تغییر پیدا کرده است. نرخ فعلی تغییرات سطح دریا از ۹-۲ میلی‌متر در سال محاسبه شده که ۴-۲ برابر نرخ آن در ۱۰۰ سال گذشته است. مطالعات انجام شده براساس تصاویر ماهواره‌ای افزایش سطح متوسط آب‌های دریا را از سال ۱۹۹۲ به میزان سه میلی‌متر تعیین کرده است (نیرم و همکاران، ۲۰۱۰). افزایش سطح دریاها به همراه طوفان‌های بزرگ، سیل‌ها و امواج ساحلی موجب تسریع نرخ فرسایش سواحل شده است.



شکل ۲-۴. خانه‌های گرانبهای ساحلی معمولاً از طریق فرسایش ساحلی در اثر طوفان‌های شدید تهدید می‌شوند (جرج تاون در جزیره گراند کایمن).

- تأثیرات مخرب بالا آمدن سطح دریا در شهرهای ساحلی را می‌توان به صورت زیر برشمرد (میدگلی و همکاران، ۲۰۰۵):
- افزایش رخدادهای شدید مانند طوفان (در تعداد و یا شدت).
 - افزایش ورود شورابه و بالا آمدن سطوح آب‌های زیرزمینی.
 - تأثیرات بیش‌تر جزر و مد.
 - افزایش سیل (تعداد یا گستردگی).
 - افزایش فرسایش ساحلی.

۲-۷-۲ عوامل انسانی

انسان به صورت مستقیم و غیرمستقیم، بسیاری از سواحل را از طریق لایروبی و یا تغییرات زیست‌محیطی که رسوب‌گذاری، آب‌های جاری و یا آب‌وهوا را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، دچار تغییر کرده است. متداول‌ترین فعالیت‌هایی که محیط‌های ساحلی را تهدید می‌کند، ساخت اسکله‌ها و کرانه‌های ساحلی و همچنین توسعه زیرساخت‌های

مجاور ساحل است. از نظر تاریخی بسیاری از شهرهای ساحلی سواحل خود را توسعه داده‌اند. با این‌که بسیاری از آن‌ها در خلیج‌ها و لنگرگاه‌های محافظت شده قرار دارند اما عمدتاً توسعه‌یافته و سواحل بکر را نیز به فضای شهری خود اضافه کرده‌اند.

نوع کاربری زمین در ساحل نیز تأثیرات مهمی بر روی رسوب‌گذاری در این نواحی دارد. تشخیص و بررسی این عوامل مشکل‌تر بوده و گاهی منطقه تحت‌تأثیر به صدها کیلومتر می‌رسد. برای نمونه، ساخت سد می‌تواند به‌شدت ورودی طبیعی رسوبات از طریق جریان‌ات و رودخانه‌ها را به ساحل کاهش دهد درحالی‌که جنگل‌زدایی و روان‌آب‌های کشاورزی مقدار رسوبات رودخانه‌ها را افزایش می‌دهد.

• **سدها و مخازن آب:** در بسیاری از نواحی ساحلی، منبع اصلی رسوبات ساحلی جریان‌ات و رودخانه‌ها هستند. سدها و مخازن ذخیره آب از طریق موانع رسوبی، مانع جابه‌جایی رسوب به سیستم ساحلی می‌شوند. این تأسیسات همچنین جریان‌های شدید را محدود و باعث کاهش جابه‌جایی مواد رسوبی به پایین‌دست رود می‌شوند. بنابراین، در نهایت رسیدن رسوبات به مناطق ساحلی از طریق رودخانه‌ها کاهش می‌یابد. اگر این نقصان به هر طریقی جبران نشود، سواحل دچار پسروی و فرسایش می‌شوند (شوارتز، ۱۹۸۲). مهم‌ترین مثال در این زمینه دلتای نیل است که از زمان ساخت سد نیل تقریباً هیچ رسوبی به ساحل نرسیده است (فریحی، ۱۹۹۲). دماغه روزتا^۱ از سال ۱۹۰۹ تاکنون با نرخ متوسط ۵۵ میلی‌متر در سال شروع به فرسایش کرده است. نبود رسوبات سیلتی غنی از مواد مغذی در سیلاب‌های سالانه بهاری نیز تأثیر منفی بر کشاورزی دره و دلتای نیل گذاشته و ماهیگیری شرق مدیترانه را به زوال کشانده است. بخش‌هایی از ساحل جنوب کالیفرنیا نیز در این قرن تحت‌تأثیر نبود رسوبات آبرفتی قرار گرفته‌اند (بودن و اینمن، ۱۹۶۶).

• **فرسایش و تأسیسات ساحلی:** تأسیسات ساحلی مانند اسکله‌ها، کرانه‌های ساحلی و دیواره‌های ساحلی احتمالاً اصلی‌ترین عوامل انسانی فرسایش سواحل هستند. این تأسیسات به چند دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- دیواره‌های ساحلی که به‌منظور محافظت از صخره‌ها و شیب‌ها احداث می‌شوند.

- کرانه‌هایی که عمود بر خط ساحل احداث می‌شوند تا اختلاف ارتفاع ساحل و دریا را بپوشانند.

- موج‌شکن‌ها که برای محافظت از خورها و بندرها تأسیس می‌شوند.

• **تغییر در محافظت طبیعی سواحل:**

- تأثیرات مخرب: تخریب تپه‌های ماسه‌ای و فضای سبز ساحلی، توسعه مناطق جزرومدی، و ساخت‌وساز در بخش‌های پشتی جزایر سدی می‌تواند موجب افزایش بروز سیلاب در خلال طوفان شود. در بسیاری نقاط، مواد ماسه‌ای به دلیل تسطیح و ساخت‌وساز از بین برده می‌شوند. در نتیجه فرسایش جزرومدی افزایش یافته و نفوذ آب به مناطق ساحلی بیش‌تر می‌شود. در سراسر دنیا به دلیل تغییر در رژیم روان‌آب و رسوب‌گذاری، افزایش آلودگی و برنامه‌های توسعه شهری، آسیب‌های جدی به سواحل زیستی وارد شده است.

- فعالیت‌های سازنده: تپه‌های ماسه‌ای غالباً با استفاده از توسعه فضای سبز و فنس‌ها تثبیت می‌شوند. این تپه‌ها موجب محافظت سواحل کم‌ارتفاع در برابر سیل می‌شوند.

• **بازیابی سواحل:** یک گزینه برای بازیابی سواحل بدون ایجاد تأسیسات سخت مانند کرانه‌ها یا سایر سازه‌های سخت، آوردن ماسه به محل از مناطق دور از ساحل از طریق لایروبی و یا از منابع خشکی از طریق کامیون است. با این‌که در نظر اول بازیابی سواحل ساده به نظر می‌رسد اما در عمل، طراحی، انجام و پایداری پروژه‌های بازیابی ساحلی برنامه زمین‌شناسی مهندسی بسیار پیچیده‌ای است.

• **معدنکاری:** معدنکاری ساحلی مستقیماً مقدار رسوبات در دسترس سیستم کرانه‌ای را کاهش می‌دهد. همچنین معدنکاری می‌تواند به‌طور غیرمستقیم از طریق تخلیه ساحل موجب افزایش فرسایش شده و حجم رسوبات انتقال داده شده به دریا توسط رودخانه‌ها را افزایش دهد.

• **انحراف جریان:** انحراف جریان به‌صورت طبیعی و مصنوعی موجب اختلال در تأمین رسوبات برای مناطق دریافت‌کننده مواد آبرفتی، می‌شود. با انحراف جریان آب برای کشاورزی و یا مصارف شهری، تأثیرات مخرب مشابه با ایجاد سد به‌وجود می‌آید؛ رسوبات که باید به‌صورت طبیعی به سواحل برسند در مناطق

بالادست رود به تله می‌افتند. مدت حضور این مواد در این مخازن مصنوعی، دهه‌ها و یا قرن‌ها طول می‌کشد که شاید در مقیاس زمین‌شناسی بسیار کوتاه باشد، اما به اندازه‌ای است که بتواند دلتا را خشک کرده و فرسایش شدیدی را ایجاد کند. انحراف طبیعی زمانی رخ می‌دهد که یک رودخانه مسیر خود را به یک مسیر جدید و کوتاه‌تر نسبت به دریا جابه‌جا کند و معبر قبلی را از بین ببرد.

- **فعالیت‌های کشاورزی:** فعالیت‌های کشاورزی ضعیف باعث ایجاد زمین‌های کشاورزی و افزایش نرخ فرسایش می‌شود. خاک‌های فرسوده به‌سادگی از طریق جریان‌ات و رودخانه‌ها از محل دور شده و در نهایت در خلیج‌ها و مناطق جزرومدی تجمع پیدا می‌کنند. نتیجه این فرایند رشد و گسترش مناطق رسوبی است.

- **جنگل‌زدایی:** جنگل‌زدایی مشکلی اساسی در بسیاری از جوامع در حال توسعه است که در آن مناطق کوهستانی از درختان محافظت‌کننده تهی شده و به‌سرعت فرسایش پیدا می‌کنند. خاک‌ها به دریا منتقل می‌شوند و در سواحل محلی به‌صورت موقت گسترش می‌یابند، اما در مناطق بالادست خاک نامناسب برجا مانده و موجب فقر گیاهی و جانوری در آن می‌شود.

برای پیش‌بینی تغییرات در سیستم ساحل لازم است موارد زیر مورد بررسی قرار گیرد:

- ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی و نیم‌رخ ساحل (شیب، ارتفاع، زاویه برخورد موج و غیره)، زمین‌شناسی، توپوگرافی و عمق‌سنجی که می‌تواند موجب شناسایی واکنش‌های احتمالی فیزیکی و زیستی سواحل نسبت عوامل خارجی شود.
- پایش فرایندهای فیزیکی و انرژی وارد شده که قادر به تغییر سیستم سواحل هستند (مانند امواج، طوفان، سطح آب و غیره).

- پایش توسعه منابع، تغییرات الگوی کاربری زمین و پوشش زمین و سایر فعالیت‌های انسانی که می‌تواند مناطق ساحلی را تحت تأثیر قرار دهد (USGS، ۲۰۰۹).

شش متغیر زمین‌ریخت‌شناسی، فرسایش خط ساحلی و سرعت آن با واحد متر در سال، شیب ساحلی (درصد)، نرخ بالادستی سطح دریا (میلی‌متر در سال)، میزان متوسط جزرومد (متر) و ارتفاع متوسط موج (متر) برای آسیب‌پذیری سواحل معرفی شده‌اند (تیلر و هامر-کلو، ۱۹۹۹).

۲-۸ مدیریت پسماندهای شهری

مدیریت پسماندهای شهری مسئله‌ای است که تمام مناطق شهری دنیا با آن درگیر هستند. هرگونه مطالعه در این زمینه باید معطوف به بررسی مناطق دفن زباله باشد. البته این مشکل جدیدی نیست و از زمان گسترش شهرنشینی وجود داشته است. مکان‌های جدید دفن زباله باید دارای مشخصات زمین‌شناسی مهندسی باشند به شکلی که بتوانند آب‌های زیرزمینی خود را از هرگونه آلودگی حاصل از شیرابه‌های زباله‌ها مصون نگه‌دارند. از این‌رو مطالعات دقیق زمین‌شناسی محل دفن زباله‌ها بسیار ضروری است. به‌عنوان مثال مشخص شده است که شیرابه‌های زباله در مناطق دفن زباله اونتاریو تا مجاورت آبشار نیاگارا در منطقه هامیلتون منتقل شده‌اند (آیلس، ۱۹۹۶).

علاوه بر تولید شیرابه‌های آلوده، براساس تفاوت خواص ایزوتوپی و ژئوشیمیایی گازهای متان حاصل از رسوبات یخچالی و سنگ‌بستر و گاز استحصال شده از مناطق دفن زباله، مشخص شده است که زباله‌ها می‌توانند مقادیر زیادی گاز متان تولید کنند.

۲-۸-۱ اصول زمین‌شناسی دفن زباله در مناطق شهری

زمین‌شناسان و مهندسين ژئوتکنیک به‌طور فزاینده‌ای درگیر حل مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با دفن زباله‌ها و پاکیزگی محل‌های آلوده هستند. این‌گونه تلاش‌ها عمدتاً معطوف به یافتن ترتیبات جدید در زمینه‌های ژئوتکنیک زیست‌محیطی است. برای مؤثر بودن، مهندسين ژئوتکنیک زیست‌محیطی نه تنها باید به دانش سنتی در زمینه زمین‌شناسی و مهندسی عمران مسلط باشند بلکه باید از علوم نظیر آب‌زمین‌شناسی، شیمی و فرایندهای زیستی نیز آگاهی داشته باشند. علاوه بر این، مهندسين ژئوتکنیک باید کاملاً از قوانین معمولاً پیچیده محلی و ملی نیز اطلاع کافی داشته باشند.

- **انواع زباله‌های جامد:** در این بخش به جنبه‌های زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی مؤثر در دفن درست زباله‌های شهری پرداخته می‌شود. دفن زباله‌های جامد می‌تواند موجب بروز مشکلات بهداشتی، زیست‌محیطی و همچنین تخریب مناظر طبیعی شود و با انتخاب دقیق محل دفن، انجام عملیات دفن مناسب و انجام پایش آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌توان مطمئن بود که مسائل زیست‌محیطی رعایت شده‌است. در این گفتار در مورد زباله‌های جامد و روش‌های تدفین آن‌ها که در حال استفاده است بحث شده و

مهم‌ترین مسئله زیست‌محیطی مرتبط با آن‌که همان آلودگی آب‌های زیرزمینی است، مورد بحث قرار خواهد گرفت. همچنین ملزومات انتخاب محل مناسب دفن زباله، مدیریت و پایش آب‌های زیرزمینی نیز مورد تأکید قرار می‌گیرند.

یک زباله جامد در صورتی‌که دارای هر یک از شرایط زیر باشد به‌عنوان پسماند خطرناک محسوب خواهد شد:

- زباله‌ای که خود در زمره پسماندهای خطرناک لیست شده‌باشد به این منظور که این زباله خطرناک است.

- زباله ترکیبی بوده که در آن پسماند خطرناک نیز وجود داشته باشد (به‌عبارت‌دیگر زباله‌ای که با یک زباله خطرناک ترکیب شده‌باشد خود نیز جزو زباله‌های خطرناک به حساب خواهد آمد).

- زباله‌ای که از نگهداری یا دفن زباله خطرناک به‌دست آید نیز خطرناک خواهد بود یعنی یک زباله خطرناک همیشه خطرناک باقی خواهد ماند.

- زباله‌ای که یکی از چهار ویژگی زیر را داشته باشد نیز جزو پسماندهای خطرناک خواهد بود:

○ قابلیت اشتعال داشته باشد (معمولاً با تغییر خودبه‌خودی ترکیب دچار اشتعال می‌شوند).

○ قابلیت خوردگی داشته باشد ($pH \leq 2$ یا $pH \leq 12/5$).

○ قابلیت واکنش‌پذیری داشته باشد (زباله ناپایدار که واکنش شدیدی را متحمل می‌شود).

○ سمی باشد.

اجتماعات شهری انواع مختلفی از زباله‌های جامد را تولید می‌کنند. در جدول

۱-۲ دسته‌های مختلف و منابع تولید مواد زائد نشان داده شده‌اند. زباله‌هایی که دارای شرایط خاص هستند و یا به‌طور معمول جزو پسماندهای شهری محسوب نمی‌شوند (مانند زباله‌های رادیواکتیو) در این جدول گنجانده نشده‌اند.

• روش‌های دفن زباله‌های شهری: دفن زباله‌های شهری معمولاً از طریق یکی از شش روش زیر صورت می‌گیرد. براساس ویژگی‌های محلی، می‌تواند یکی از این روش‌ها و یا ترکیبی از آن‌ها را انتخاب کرد:

- دفن رو باز

- حفر بهداشتی زباله‌ها در مکان‌های مناسب
 - سوزاندن
 - دفن در محل (در مکان تولید زباله)
 - تغذیه حیوانات اهلی (گوسفند و به‌ویژه خوک و غیره)
 - تبدیل کردن زباله‌ها به کود
- هر روش دارای تأثیر مشخصی بر روی آب‌های زیرزمینی منطقه است، اما تنها دو روش اول مرتبط با زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی بوده و از این دو روش مورد بحث قرار می‌گیرند.

جدول ۱-۲. منابع و انواع زباله‌های شهری

منابع	مولدین زباله‌ها	انواع زباله‌های جامد
مسکونی	مجتمع‌ها و منازل مسکونی	زباله‌های غذایی، کاغذ، مقوا، پلاستیک، پارچه، شیشه، فلزات و زباله‌های مضر خانگی
تجاری	فروشگاه‌ها، هتل‌ها، رستوران‌ها، ساختمان‌های اداری و غیره	کاغذ، مقوا، پلاستیک، چوب، پسماندهای خوراکی، شیشه، فلزات و زباله‌های مضر
سازمانی	مدارس، مراکز دولتی، بیمارستان‌ها، زندان‌ها و غیره	کاغذ، مقوا، پلاستیک، چوب، پسماندهای خوراکی، شیشه، فلزات و زباله‌های مضر
خدمات شهری	زباله‌های خیابانی، پارک‌ها، نماهای شهری، سواحل، مکان‌های تفریحی	زباله‌های ریخته شده در خیابان، زباله‌های حاصل از درختان و نماهای شهری، زباله‌های عمومی در پارک‌ها، سواحل و سایر مکان‌های تفریحی

- **دفن روباز^۱:** برآورد زمین‌شناسی و زیست‌محیطی سنگ‌ها و خاک‌های بستر در مکان‌های دفن زباله برای بررسی شیرابه‌های آلوده و زباله‌های رادیواکتیو بسیار ضروری است. نوع فعالیت در این گونه مکان‌ها متفاوت است؛ در برخی مکان‌های دفن روباز به‌صورت دوره‌ای تسطیح و تراکم صورت می‌گیرد، اما در برخی دیگر از زباله‌ها در صورت امکان انباشته می‌شوند. در برخی از سایت‌ها نیز زباله‌های جامد سوزانده شده و با این کار از حجم آن کاسته می‌شود. به‌طورکلی، تلاش‌های کمی جهت مقابله با خطرات بهداشتی ایجاد شده در این نوع دفع زباله صورت می‌پذیرد و از این‌رو امروزه این روش به‌تدریج با دفن بهداشتی زباله جایگزین شده‌است.

• **دفن بهداشتی^۱:** دفن بهداشتی شامل لایه‌های متناوب خاک و زباله است. هر روز زباله‌ها دفن، متراکم و با لایه‌ای از خاک پوشیده می‌شوند. دو نوع دفن بهداشتی متداول است:

- حفرات بزرگی که اساساً مسطح هستند.
 - حفرات گود که طبیعی بوده و یا به صورت مصنوعی به شکل دره، مجرا و یا گودال ساخته شده‌اند. عمق حفرات عمده‌تاً وابسته به شرایط محلی، نوع تجهیزات، قابلیت دسترسی و سایر عوامل هستند اما معمولاً از ۳۰-۲۰ متر متغیر است.
- کاربرد زمین‌شناسی در زمینه مسائل مرتبط با دفن زباله‌ها مرتبط با انتخاب محل، طراحی و مدیریت است. انتخاب اولیه محل باید مسائل مربوط به نوع خاک، زمین‌ریخت‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی را مدنظر قرار دهد. بررسی‌های دقیق‌تر محل انتخاب‌شده نیز مشتمل بر تهیه نقشه دقیق زمین‌شناسی است. روش انکسار امواج لرزه‌ای ابزاری توانمند در بررسی امکان حفاری و طراحی بوده و روش‌های مقاومت الکتریکی نیز برای پایش مداوم تغییرات در ترکیب آب‌های زیرزمینی تحت‌تأثیر آلاینش، بالقوه مفید است. افزایش آگاهی در زمینه نیاز برای کنترل آلاینش بدین معنی است که بررسی‌های آب‌زمین‌شناسی و برپایی سیستم‌های پایش آب‌های زیرزمینی الزامی است.

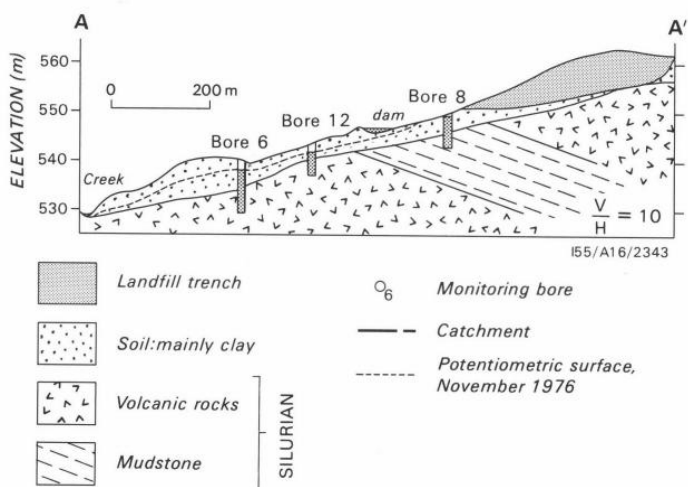
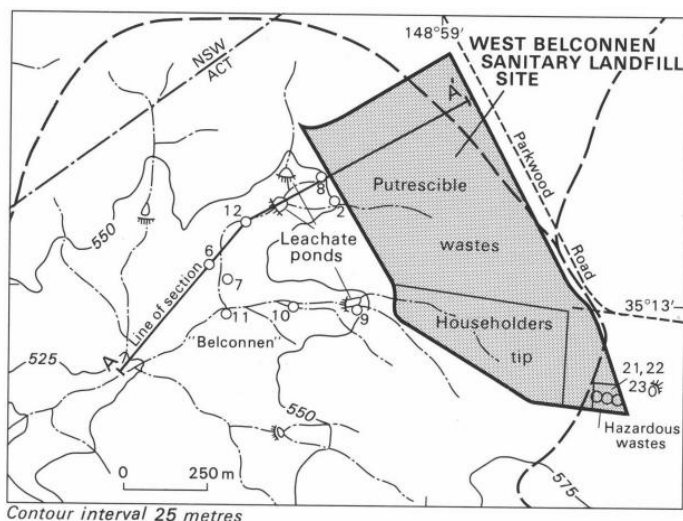
عوامل اصلی زمین‌شناسی که جهت انتخاب محل دفن بهداشتی مورد توجه است شامل عمق خاک و سنگ هوازده، سهولت حفاری، وجود آب‌های زیرزمینی و احتمال آلاینش آب‌های زیرزمینی یا سطحی توسط شیرابه‌های حاصل از زباله‌ها، و بالاخره در دسترس بودن مواد پرکننده مناسب است. موارد دیگری نیز جزو ملزومات انتخاب محل دفن زباله‌ها به روش بهداشتی است که شامل مناسب بودن محل در ارتباط با کاربری‌های مناطق مجاور، مسافت محل دفن نسبت به منابع زباله و احتمال احیای زمین برای کاربری‌های آینده خود محل است. مطلوب آن است که محل‌های دفن زباله در زمان اولیه طراحی یک شهر تعیین شوند تا راه‌حل‌های مناسب زمین‌شناسی مورد استفاده قرار گیرند. بررسی‌های زمین‌شناسی اساساً بر پایه نقشه‌برداری زمین‌شناسی و اطلاعات موجود در زمینه ارتباط بین چشم‌اندازها، خاک‌ها و زمین‌شناسی است. برآورد دقیق شرایط حفاری را می‌توان از طریق

نقشه‌برداری زمین‌شناسی، مطالعات لرزه‌ای و مغزه‌برداری به‌دست آورد و برای هر محل معین، عمق حفاری می‌تواند متفاوت باشد. احتمال آرایش آب‌های زیرزمینی را می‌توان با مطالعه رژیم این آب‌ها که شامل حفاری و آزمایش آبخوان است مورد بررسی قرار داد.

در شکل ۲-۵ محل دفن زباله در شهر کانبرا برای استرالیا را نشان می‌دهد. مطالعات لرزه‌ای و مغزه‌برداری در این محل نشان می‌دهد که بیش از چهار متر از خاک بر روی سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی سیلورین قرار دارد. آب‌های زیرزمینی در آبخوان سنگ دارای درز و شکاف قرار داشته و از طریق خاک بالایی محصور شده‌است.

در سایت مورد بحث آرایش آبخوان به‌عنوان یکی از خطرات زیست‌محیطی عمده در نظر گرفته شده‌است و از این رو برای کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی آن زباله‌ها را در گودال‌ها دفن و روی آن را با خاک رس دارای نفوذپذیری کم پوشاندند. آب‌های سطحی مستقیماً در مجاورت گودال قرار داده شد تا نفوذ آب به‌حداقل برسد و یک لایه رسی در کف گودال‌ها ریخته شد تا به‌عنوان یک سد نفوذناپذیر بین زباله جامد و آبخوان سنگ درز و شکاف‌دار زیرین نقش ایفا کند. شیرابه‌هایی که از زباله و جریان‌های آلوده نشأت گرفته‌اند در استخرها ذخیره شده و برای تجزیه و اکسیداسیون در شرایط بی‌هوازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نوع آرایش احتمالی مستقیماً وابسته به نوع زباله و نوع دفن آن است. شیرابه‌های محل‌های دفن روباز و دفن بهداشتی معمولاً حاوی متشکله‌های زیستی و شیمیایی است. مواد زیستی که در شرایط بی‌هوازی تجزیه شده و دی‌اکسیدکربن ایجاد می‌کنند که در اثر ترکیب با شیرابه به اسیدکربنیک تبدیل می‌شوند. این اسید به‌نوبه خود بر روی فلزات موجود در زباله‌ها و مواد آهکی خاک‌ها و سنگ‌ها واکنش داده و سختی آب را افزایش می‌دهد. در شرایط بی‌هوازی، واکنش‌های باکتریایی مواد زیستی را تجزیه و آمونیاک تولید می‌کنند که به‌شدت اکسیده شده و نیترات را به‌وجود می‌آورد. در هر دو نوع روش تدفین یاد شده، زمانی که تجزیه با واکنش‌های باکتریایی تکمیل شود، شیرابه دارای میزان اکسیژن بیوشیمیایی^۱ (BOD) یا به‌عبارت دیگر موادآلی بالا خواهد بود. بالا بودن این میزان به این منظور است که اکسیژن کافی برای ماهیان و غیره وجود ندارد.



شکل ۲-۵. موقعیت زمین‌شناسی محل دفن بهداشتی زباله‌های شهر کانبرا، استرالیا (اقتباس از جاکوبسون و اوانز، ۱۹۸۱).

۲-۸-۲ عوامل هیدرولوژیکی

بارندگی در محل دفن زباله‌ها هم می‌تواند باعث تراوش زباله یا جاری شدن آب‌های زهکش (روان‌آب) آن‌ها در سطح شود. در محل دفن روباز، احتمال جاری شدن روان‌آب کم است در صورتی که زباله شدیداً فشرده شده باشد. در دفن بهداشتی، نرخ تراوش وابسته به توانایی نفوذپذیری و نفوذ خاک مورد استفاده به عنوان پوشش زباله

است. غیر از آب وارد شده، زباله به سمت پایین و خاک زیرین و در نهایت سطح آب‌زیرزمینی تراوش می‌کند. در خلال این تراوش، آب مواد ارگانیک و غیرارگانیک را از زباله شسته و جدا می‌کند. به‌هنگام رسیدن به سطح آب، شیرابه به‌عنوان بخشی از آب‌های زیرزمینی شروع به حرکت کرده و ممکن است به‌صورت عمودی جابه‌جا شده و از محل چشمه‌ها به سطح زمین وارد شود و یا این‌که به‌عنوان یک زبانه آب‌آلوده درون آبخوان به آهستگی به حرکت درآید.

آلایش درازمدت به‌درستی از طریق زبانه‌های متعدد آب‌آلوده مورد پایش قرارگرفته اثبات شده‌اند. در برخی موارد زبانه‌های آلوده از محل‌های دفن روباز و بهداشتی بسته‌شده در سال‌های گذشته منشأ گرفته‌اند.

آب‌های زیرزمینی در کانبرا عمدتاً در آبخوان‌های موجود در سنگ‌های درز و شکاف‌دار یا در سنگ‌های هوازده فوقانی و خاک‌ها نگهداری می‌شوند. مقداری نیز در رسوبات حمل شده (آبرفت‌های رودخانه‌ای) ذخیره شده‌اند. اغلب آب‌های زیرزمینی در نهایت از طریق چشمه‌ها و زهکش‌ها به جریانات وارد شده به رودخانه راه پیدا می‌کنند. گرچه آب‌های زیرزمینی در تمامی شهرها منبع اصلی آب محسوب نمی‌شوند، اما به‌عنوان منبع کمکی نباید از آن چشم پوشید و موجبات آلایش آن را فراهم کرد. آلایش آب‌های زیرزمینی از طریق دفن زباله‌های جامد می‌تواند موجب بروز مشکلات سلامتی برای مردم مناطق استفاده‌کننده از آب‌های سطحی، شود. به‌دلیل این‌که نشت آب‌های زیرزمینی از آبخوان‌های زیرین متداول است، جداسازی زباله جامد از آب‌های زیرزمینی و همچنین نگهداری شیرابه‌ها مهم‌ترین راهکارهای مقابله با آلودگی آب‌های زیرزمینی است.

زمان کنترل آلاینده‌گی از یک محل دفن زباله در واقع از همان ابتدای زمان انتخاب محل باید صورت گیرد و اقدامات بعدی باید در زمینه کاهش آلایش آب‌های زیرزمینی و برآورد تأثیرات درازمدت آن صورت گیرد:

- زهکشی سطحی برای اطمینان از این‌که حداکثر روان‌آب حاصل از دفن زباله‌ها هدایت شده و مانع فرسایش سطح مواد پوشاننده زباله‌ها شود.
- نفوذپذیری موادپوشاننده حفره باید کم‌ترین میزان باشد.
- نزدیکی سطح آب به کف حفره زباله و ویژگی‌های آب‌شناسی مواد زیر آن باید برای بررسی حساسیت آب‌های زیرزمینی نسبت به آلایش مورد بررسی قرار گیرند.

- مطالعه آبخوان‌های زیرزمینی شامل نقاط و فواصل تخلیه آب، برای برآورد اثرات آلاینش شیرابه‌هایی که به درون آبخوان سرازیر می‌شود.

۲-۸-۳ انتخاب محل دفن زباله بهداشتی

انتخاب محل دفن زباله‌ها مرتبط با شرایط خاص فیزیکی یک سایت است که متأثر از زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی آن منطقه است. همچنین برنامه‌ریزی شهری وابسته به شرایط اقتصادی توسعه شهری نیز در این زمینه مؤثر است. گاهی ملزومات و شرایط برنامه‌ریزان بر شرایط زمین‌شناسی ارجحیت پیدا می‌کند. درخواست انتخاب محل دفن زباله می‌تواند همراه با نقشه نشان‌دهنده تمام مناطق مورد استفاده قرار گرفته برای کاربری‌های دیگر باشد. گاهی مناطق خالی باقیمانده کاملاً برای دفن زباله نامناسب هستند. محدودیت‌های زمین‌شناسی انتخاب زمین محل دفن زباله می‌تواند بسیار زیاد باشد، از این رو برنامه‌ریزان باید در حین برنامه‌های توسعه‌ای شهر مکان مناسبی را انتخاب کنند تا این محدودیت‌ها کم‌تر شود. اقدام مناسب دیگر می‌تواند این باشد که زباله‌ها خشک و در محل غیراشباع از آب جمع شده و نرخ تولید آلاینده‌ها نیز کم و مانع از تحرک آلاینده‌ها شود. دو نوع محل دفن را می‌توان در نظر گرفت: (۱) محل به شکلی باشد که دفن در زیرزمین و بالای منطقه اشباع از آب صورت گیرد (۲) دفن در سطح زمین انجام شده و توسط مواد مناسب به منظور جلوگیری از نفوذ آب پوشانده شود.

۲-۸-۴ محدودیت‌های زمین‌شناسی

محدودیت‌های زمین‌شناسی انتخاب محل دفن زباله معطوف به نفوذپذیری و سهولت حفاری زمین و سنگ، آب‌زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی و زمین‌شناسی عمومی کلی منطقه است.

یک سایت باید دربردارنده مواد زمین‌شناسی قابل حفاری توسط ماشین‌های حفار تا عمق ۱۰ متر یا بیش‌تر بوده و نفوذپذیری مناسبی برای استفاده از پوشش خاک بر روی زباله جامد در عملیات روزانه داشته باشد. در تکمیل شرایط اساسی عنوان‌شده، برای کاهش آلاینش آب‌های زیرزمینی، محل دفن زباله‌ها باید در مناطق صاف، مرتفع، شدیداً هوازده و در محلی میان دو حوضه آبریز و در حفرات خشک معادن روباز انتخاب شوند. این محل‌ها احتمالاً کم‌ترین آسیب را از طریق روان‌آب‌ها متحمل شده و

به‌خوبی در بالای سطح ایستابی آب قرار دارند. محل‌های نامناسب عبارتند از گودی‌هایی که در آن‌ها آب جمع می‌شود، محل‌های مجاور آبگذرها، کانال‌ها یا دره‌های کوچک، مسیل سیلاب‌ها و بخش‌های بالایی مخروط افکنه‌ها که در آن برخی رسوبات نفوذپذیر قرار دارند.

۲-۸-۵ بهره‌برداری از سایت دفن زباله

- مدیریت یک سایت باید در ارتباط با مهندسی مناسب بوده و شامل موارد زیر باشد:
- پایش مداوم مناسب‌بودن خاک برای پوشاندن فعالیت‌های روزانه در زمینه جاده‌ای و تراکم زباله‌ها.
 - بررسی منظم مناسب‌بودن بستر جهت قراردادن زباله در محل جدیدی از سایت.
 - نگهداری و مراقبت از سطوح به‌منظور جلوگیری از فرسایش و تراوش آب.
 - حفر مغزه به‌منظور بررسی آب‌های زیرزمینی و محاسبه سطوح آب زیرزمینی.
 - پایش منظم و نمونه‌برداری دوره‌ای آب در مغزه‌های برداشت‌شده، آنالیزهای شیمیایی و زیستی بر روی نمونه‌ها و تفسیر نتایج.

۲-۸-۶ پایش آلودگی‌های ناشی از محل دفن زباله‌ها

هیچ سایت دفن زباله‌ای چه در گذشته و چه در حال حاضر وجود ندارد که از نظر زیست‌محیطی بی‌ضرر بوده و فاقد هرگونه آلاینش آب‌های زیرزمینی باشد. از این‌رو باید به‌طور پیوسته این آسیب‌های زیست‌محیطی مورد پایش قرار گیرند تا راهکارهای مناسب جهت کاهش آن‌ها در پیش‌گرفته شود. پایش باید با حفر مغزه‌ها شروع شود که می‌تواند برای محاسبه سطح آب‌های زیرزمینی و اخذ نمونه آب مورد استفاده قرار گیرد. این کار باید به‌طور مناسب و پیش از هرگونه دفن زباله در محل صورت گیرد. پایش سطوح آب‌های زیرزمینی و کیفیت آن‌ها باید در طول عمر یک سایت دفن زباله و حتی چندین سال پس از آن نیز ادامه یابد. نتایج باید به‌صورت کارشناسانه مورد بررسی و تفسیر قرار گیرند. انجام این مراحل امکان آن را فراهم خواهد ساخت که گستره و طبیعت هرگونه آلاینش آب‌های زیرزمینی به‌صورت مستدل مشخص شده و راهکارهای مقابله با آن‌ها مورد توجه قرار گیرند.

۲-۸-۷ بازرسی بهره‌برداری از محل دفن زباله‌ها

بهره‌برداری از محل دفن زباله‌ها باید در ارتباط تنگاتنگ با بازدیدهای منظم بوده و در حین توسعه و طول عمر این محل‌ها مورد بازنگری مداوم قرار گیرند. در بسیاری از نقاط دنیا محل‌های دفن بهداشتی زباله‌ها باید با شرایط معین انتخاب محل، مدیریت مناسب و پایش آب‌های زیرزمینی مطابقت داشته باشد. بازرسی‌ها باید از طریق مراجع ذیصلاح صورت پذیرد و این امر مستلزم وجود اطلاعات متناسب از سایت، جزئیات روش بهره‌برداری از محل و فرایند پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی است.

در نهایت باید گفت که انتخاب محل دفن زباله‌های جامد و مدیریت آن‌ها و فرایند پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی به شدت مرتبط با زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی محل و مناطق اطراف آن است.

آلایش آب‌های زیرزمینی از طریق شیرابه‌ها یکی از مشکلات مهم زیست‌محیطی دفن زباله‌ها است.

محل‌های دفن زباله‌های مورد بحث قرار گرفته به عنوان منابع بالقوه آلاینده آب‌های زیرزمینی باقی می‌مانند که باید مورد پایش مداوم قرار گیرند و از این‌رو تأثیرات بلندمدت زیست‌محیطی نیز باید بررسی شوند.

صدور مجوز و بازرسی محل‌های دفن زباله که از طریق مراجع ذیصلاح صورت می‌گیرد به عنوان یکی از مراحل اصلی و دائمی بهره‌برداری از این‌گونه محل‌ها در سراسر دنیا محسوب می‌شود.

امکان‌پذیری و تأثیر تکنیک‌های مورد استفاده در محل دفن بهداشتی زباله‌ها عمدتاً وابسته به شرایط زمین‌شناسی است. از این‌رو یکپارچه‌سازی زمین‌شناسی محل با برنامه‌های توسعه‌ای قبلی حیاتی است. از آن‌جا که کاربری‌های متعدد زمین افزایش می‌یابد، اهمیت نقشه‌برداری دقیق زمین‌شناسی و شناخت خاک‌ها، زمین‌ریخت‌شناسی و آب‌شناسی مناطق شهری و مناطق مجاور آن در حال افزایش است. روش‌های ژئوفیزیکی، به‌ویژه آنکسار لرزه‌ای، نقش مهمی در برآورد سریع یک محل بر عهده دارند. استانداردهای جدید در زمینه کنترل آلایش مستلزم وجود سیستم‌های بررسی دقیق کیفیت آب‌های زیرزمینی و پایش شیرابه‌ها است.

۲-۹ آلاینش خاک‌های سطحی و زیرسطحی

بسیاری از مناطق شهری دارای خاک‌های سطحی و زیرسطحی آلوده هستند. این آلودگی حاصل عوامل زیر هستند: (۱) دفن زباله‌ها در این مناطق (۲) تغییر مصنوعی سطح زمین به منظور تغییر کاربری و (۳) فعالیت‌های صنعتی غیرقانونی. بسیاری از مناطق آلوده در مناطق حاشیه‌ای و مرکزی شهر مورد بازسازی قرار گرفته برای مقاصد مسکونی و یا غیره دیده شده است. از این رو برای جلوگیری از آلاینش بیش‌تر این خاک‌ها باید تکنولوژی مناسبی برای پاکیزگی و تصفیه مورد استفاده قرار گیرد تا نه تنها موجب رشد پایدار مناطق شهری شود، بلکه بتواند سلامتی نسل‌های آینده را نیز تضمین کند.

۲-۱۰ مخاطرات زمین‌شناسی

تأثیرات خطرات زمین‌شناسی در مناطق پرجمعیت شهری تشدید می‌شود. آزادسازی طبیعی گاز رادن در مناطق شهری از جمله خطرات طبیعی است که در آمریکا و اروپا اخیراً به آن پی‌برده شده و مورد بررسی قرار گرفته است. این مشکل از طریق انباشت غیرقانونی زباله‌های رادیواکتیو در سطوح کم عمق به وجود می‌آید. کلاگ (۱۹۹۷) مخاطره طبیعی (زمین لرزه بزرگ) در منطقه عمومی ونکوور که در مرز صفحات زمین‌ساختی آمریکای شمالی و پاسیفیک در اثر رورانش صفحه آمریکای شمالی بر روی صفحه پاسیفیک را مورد بررسی قرار داد. براین اساس مشخص شد که ریسک تخریب حاصل از این زمین لرزه در منطقه تورنتو افزایش یافته و بنابراین باید از این پس از نظر پایداری زمین‌شناسی مورد بررسی بیش‌تری قرار گیرد. ایجاد زمین لرزه درون‌قاره‌ای (درون‌صفحه‌ای) متأثر از فعال‌شدن مجدد برخی از ساختارهای زمین‌شناسی قدیمی است که در اعماق صفحه آمریکای شمالی مدفون شده‌اند.

۲-۱۱ روش‌های مطالعه و بازیابی داده‌های زمین‌شناسی مرتبط با زیرسطح

ساختمان‌های شهری

تعیین، بررسی و بازیابی بسیاری از مسائل زمین‌شناسی زیست‌محیطی به شدت وابسته به روش‌های مورد استفاده در این موارد دارد. تعیین زمین‌شناسی زیرسطحی سایت‌ها یا ایستگاه‌های شهری که معمولاً به مدت طولانی دچار کاربری و تغییرات بوده‌اند

به‌سادگی امکان‌پذیر نیست. روش سنتی حفاری بسیار هزینه‌بر بوده و اطلاعات کم و ناقصی را نشان می‌دهد و علاوه بر آن موجب افزایش و گسترش آلاینده‌گی از طریق آشفته‌گی فیزیکی لایه‌های زیرسطحی می‌شود. اما، بررسی‌های ژئوفیزیکی (مانند انعکاس امواج لرزه‌ای) سریع، غیرمخرب و ارزان بوده و از این‌رو استفاده از آن پیوسته در حال افزایش است تا براساس داده‌های حاصل از آن تصویری از لایه‌های زیرسطحی مناطق شهری به‌دست آید.

پالایش آلودگی‌های مناطق شهری نیازمند انتخاب روش و تکنولوژی مناسب است. بک (۱۹۹۶) روش‌های مختلف پالایش خاک‌ها و آب‌های زیرزمینی، فواید و مضرات هر یک از آن‌ها را مورد بررسی قرار داده است که به‌دلیل مفصل‌بودن آن از حوصله این کتاب خارج است و توصیه می‌شود دانشجویان به مطالعه این روش‌ها بپردازند.

۲-۱۲ انواع داده‌های زمین‌شناسی موردنیاز مناطق شهری

به‌طور سنتی داده‌های زمین‌شناسی در مناطق شهری به دو صورت تهیه می‌شود:

- داده‌های مکانی که معمولاً به‌صورت دوبعدی بر روی کاغذ چاپ می‌شود، اما اخیراً داده‌های رقومی در ابعاد بیش‌تر (سه و چهاربعدی)^۱ نیز تولید می‌شوند.
- پایگاه داده‌ها (غیررقومی) از اطلاعات نقطه‌ای که امروزه به‌صورت روزافزون با داده‌های مکانی ترکیب می‌شوند (کالشاو، ۲۰۰۵).

منابع اصلی این داده‌ها عبارتند از:

- مطالعه گمانه‌ها
 - نقشه‌برداری سنگ‌بستر و دپوهای سطحی و مصنوعی
 - ثبت فعالیت‌های معدنی
 - ثبت کاربری‌های قبلی زمین
 - ثبت اطلاعات چاه‌های آب و استخراج آب از آن‌ها
 - بررسی جابه‌جایی‌های زمین.
- جهت گردآوری این داده‌ها و تلفیق آن‌ها و تبدیل به پایگاه داده‌های مناسب به‌منظور مدیریت منابع زمین‌شناسی به تلاش‌های بیش‌تری نیاز است.

۱. لازم به ذکر است که در مطالعات مدرن از زمان به‌عنوان بعد چهارم نام برده می‌شود.

در صورتی که داده‌های حاصل از بررسی یک نقطه می‌تواند کمک شایانی به برنامه‌ریزی شهری کند، با این حال داده‌های جدید و پیشرفته حاصل از روش‌های سنجش از دور و ژئوفیزیک می‌تواند در این زمینه نوآوری‌هایی را ارائه دهد. از جمله روش‌های اکتشافی جدید در این زمینه می‌توان از LIDAR^۱، PSInSAR^۲ و توموگرافی الکتریکی^۳ نام برد. این روش‌ها می‌توانند در زمین، هوا و یا فضا قرار گیرند و علاوه بر آن در برخی موارد داده‌های آن‌ها قابل دریافت از دور و تکرارپذیر هستند. البته در حوصله این کتاب نیست که روش‌های یاد شده را به تفصیل توضیح دهد و علاقمندان می‌توانند به مقالات و نوشتارهای موجود در این زمینه مراجعه کنند. به عنوان مثال مایسینا (۲۰۰۸) در مورد استفاده از روش PSInSAR در زمینه پایش یا مونیتورینگ جابه‌جایی زمین در اثر پمپ آب‌های زیرزمینی به شهرهای شمال ایتالیا بحث‌هایی را انجام داده است در حالی که کالشاو (۲۰۰۹) چگونگی استفاده از روش یاد شده در زمینه مشاهده جابه‌جایی زمین مرتبط با معدنکاری‌های متروک را بررسی کرده است. همچنین پارچایدیس و همکاران (۲۰۰۹) از این روش برای بررسی گسل‌های فعال در پاتراس^۴ و پیرگوس^۵ یونان بهره گرفته است.

شولتز (۲۰۰۴) با استفاده از روش LIDAR هوابرد توانست زمین‌لغزش‌های منطقه سیاتل را نقشه‌برداری کند. وی دریافت که روش LIDAR برای تشخیص زمین‌لغزش‌های بزرگ با تاریخچه فعالیت بسیار مناسب‌تر از روش‌های سنتی عکس‌برداری هوایی و بررسی صحرایی است. بررسی‌های مکرر از طریق LIDAR همچنین می‌تواند برای پایش تغییرات در زمین‌لغزش‌های فعال مورد استفاده قرار گیرد (به عنوان مثال هوبس و همکاران، ۲۰۰۲).

روش‌های ژئوفیزیکی بسیاری وجود دارد که برای پایش مناطق شهری به کار برده می‌شوند. برای نمونه، اوگیلوی و همکاران (۲۰۰۹) در مورد چگونگی به کارگیری سیستم توموگرافی مقاومت الکتریکی کامپیوتری برای دیده‌بانی نفوذ شورابه به جنوب اسپانیا توضیحاتی را ارائه کرده است. دیده‌بانی لرزه‌ای ده‌ها سال است که برای بررسی فعالیت لرزه‌ای طبیعی و ارتباط آن با معدنکاری به کار برده می‌شود.

1. Light Detection And Ranging

2. Permanent Scatterer Interferometry Single Aperture Radar

3. Electrical tomography

4. Patras

5. Pyrgos

با در دسترس قرارگیری داده‌های مکانی در فضای اینترنتی، استفاده از روش‌های مختلف در مطالعات زمین‌شناسی شهری گسترش بیش‌تری یافته است. این داده‌ها معمولاً به دو صورت نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای است. تصاویر زمین‌مرجع^۱ متصل به تصاویر ماهواره‌ای به صورت روزافزون در دسترس قرار می‌گیرند. این داده‌ها منابع مهمی برای گردآوری اطلاعات زمین‌شناسی در مناطق شهری و ارائه آن‌ها است. زمین‌شناسان با این گونه ارتباط بین اطلاعات زمین‌شناسی و داده‌های توپوگرافی در دسترس در اینترنت آشنایی دارند (به عنوان مثال وب سایت www.onegeology.org می‌تواند در این زمینه مورد استفاده قرار گیرد).

برای تهیه اطلاعات زمین‌شناسی شهری موارد زیر باید در نظر گرفته شوند:

گردآوری و رقومی کردن داده‌های شهری به‌ویژه:

- داده‌های حاصل از حفر گمانه‌ها.
- نقشه‌برداری نهشته‌های ساختمانی (مثل تپه‌ها و دریاچه‌های ساختمانی).
- بازمانده معدنکاری‌های گذشته.
- کاربری‌های گذشته زمین‌های شهری.
- آب‌های زیرزمینی.
- جابه‌جایی آب.
- ایجاد مدل‌های سه‌بعدی و چهاربعدی سطوح کم‌عمق زیرزمینی و ارتباط دادن^۲ آن با داده‌های مناسب.
- توصیف مجهولات مرتبط با مدل‌های یاد شده (به عنوان مثال عدم مشخص بودن pH آب) و توضیح دلایل آن.
- ارائه مباحث تخصصی و عمومی مرتبط با اطلاعات زمین‌شناسی شهری به نحوی که عموم مخاطبین اعم از زمین‌شناس و غیرزمین‌شناس بتوانند از آن بهره گیرند.
- تهیه تفاسیر مناسب در زمینه اطلاعات مکانی دقیقاً به صورتی که متقاضی درخواست کرده است و ذکر محدودیت‌های آن.
- انجام مطالعاتی که صرفه اقتصادی داشته باشد تا از این طریق ارزش مطالعات زمین‌شناسی شهری نشان داده شود.

1. Ground-based

2. Link

- تلفیق مدل‌های سه‌بعدی با فرایندها و مدل‌های اقتصادی - اجتماعی به‌نحوی که با مطالعه مجموع آن‌ها بتوان آسیب‌پذیری سطوح زیرزمینی مناطق شهری و آینده تغییرات محیطی را بررسی کرد.

پژوهشگران این شاخه از علم زمین‌شناسی نیز نیازمند موارد زیر هستند:

- فراگیری روش‌های ترسیم و توصیف چهاربعدی تغییرات و مجهولات در محیط‌های شهری.

- فهم فرایندهایی که موجب ایجاد تغییرات محیط‌های شهری می‌شوند.

- پژوهش و گسترش فناوری‌های نوین مانند PSInSAR, LIDAR و سامانه‌های ژئوفیزیکی برای مونتورینگ محیط‌های شهری.

مواردی که مشاوران در مطالعات زمین‌شناسی شهری باید مدنظر قرار دهند عبارتند از:

- انجام بررسی‌های بیش‌تر آزمایشگاهی به‌ویژه گسترش و کاربرد مدل‌های رقومی مکانی.
- تغییر روش‌های فعلی مورد استفاده در بررسی سایت‌ها که به‌طور کلی از طریق مؤسسات غیرتخصصی تبیین می‌شود و انتخاب روش‌های مبتنی بر مدل‌های زمین‌شناسی. براین اساس باید استانداردهای مطالعات نیز بازنگری شده و دانش زمین‌شناسی پایه تهیه استانداردهای جدید باشد.

تمام زمین‌شناسانی که حوزه مطالعات آن‌ها محیط‌های شهری است برای موفقیت در کار خود باید پیگیر موارد زیر باشند:

- فراگیری چگونگی کار با گستره وسیعی از کاربران اطلاعات زمین‌شناسی که این خود مستلزم کسب تجارب حرفه‌ای در زمینه ارتباطات اجتماعی است.
- ترغیب قانون‌گذاران و سیاستمداران که تأمین‌کننده اصلی منابع مالی اطلاعات زمین‌شناسی شهرها هستند به این مطلب که سرمایه‌گذاری آن‌ها در این بخش مقرون به‌صرفه بوده و بازده اجتماعی بسیاری خواهد داشت.

۲-۱۳ مدیریت داده‌های زمین‌شناسی مناطق شهری

محیط‌های شهری نسبت به مناطقی که در آن‌ها عملیات مهندسی با مقیاس بزرگ صورت می‌پذیرد (مانند سدها یا معادن) متفاوت هستند به این ترتیب که اولاً این مناطق دور از محیط‌های شهری بوده و ثانیاً مناطق مذکور تابع قوانین و اصول داده‌های زمین‌شناسی

هستند، اما در مناطق شهری این گونه نیست. مسئله اصلی در مناطق شهری یافتن اطلاعات زمین‌شناسی است. در بریتانیا به‌عنوان مثال فعالیت‌های مناسبی در این زمینه صورت گرفته است و اطلاعات بسیاری از طریق پروژه‌های نقشه‌برداری موضوعی برای مناطق شهری و اطراف آن کسب شده است. به‌عنوان مثال، بارکلی و همکاران (۱۹۹۰) با مطالعه منطقه‌ای به وسعت ۱۵۰ کیلومترمربع در اطراف جنوب شرق لیدز و غرب یورک‌شایر (کاستل‌فیلد)^۱ انگلیس که منطقه‌ای در حاشیه شهر بوده و دارای معادن زغال‌سنگ بسیاری است، گزارشی را منتشر کرد که براساس گمانه‌ها، حفرات و شفت‌های موجود بنا شده و به کمک سازمان زمین‌شناسی بریتانیا توانست داده‌های بسیار مناسبی را از آن‌ها کسب کند. البته در ایران نیز همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، این کار توسط سازمان زمین‌شناسی کشور در برخی مناطق شهری صورت گرفته است (مانند نقشه زمین‌شناسی مهندسی تبریز و همچنین نقشه زمین‌شناسی مهندسی و زیست‌محیطی شیراز).

شاید تبدیل داده‌های صحرایی به داده‌های رقومی کاری زمان‌بر باشد، اما با این کار می‌توان از این داده‌ها برای مدل‌سازی سه‌بعدی استفاده کرد (کالشاو، ۲۰۰۵؛ کسلر و همکاران، ۲۰۰۹). در گذشته فقط ثبت ساده جزئیات یک منطقه مورد مطالعه، چاه‌نگاری گمانه‌ها و در نهایت پیاده‌کردن آن‌ها بر روی نقشه کافی بود. اما امروزه برای مدل‌سازی رقومی داده‌های چاه‌نگاری باید این داده‌ها شامل مرزهای سنگ‌چینه‌نگاری^۲ (لیتواستراتیگرافی) و در صورت امکان داده‌های ژئوتکنیکی رقومی شوند (رویز و همکاران، ۲۰۰۹). با اینکه مدت زمان گردآوری و تبدیل داده‌ها مسئله مهمی است اما مهم‌تر از آن نگهداری و مدیریت درازمدت داده‌ها است.

مسائل اساسی متعددی در ارتباط با داده‌های زمین‌شناسی مناطق شهری وجود دارد که باید پاسخ داده شود. از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- آیا باید داده‌هایی که از صدها و شاید هزاران نقطه اکتشافی، چاه‌های آب و معدن‌کاوی به‌دست آمده به یکدیگر متصل شده و یکپارچه شوند؟
- اگر پاسخ مسئله یک مثبت است آیا باید داده‌ها در دوره‌های زمانی خاصی به روز شوند و یا این‌که به‌صورت پیوسته این به روز رسانی انجام شود؟
- آیا داده‌ها باید به همان صورت اولیه دسته‌بندی شوند و یا این‌که رقومی شوند؟

- چه کسانی باید کار رقومی‌سازی را انجام دهند و هزینه آن از کجا تأمین می‌شود؟
 - آیا اساساً فرایند رقومی‌سازی مقرون به‌صرفه است؟
- پاسخ به این مسائل بسیار ضروری است. اگر نشان داده شود که گردآوری و نگهداری داده‌های زمین‌شناسی مناطق شهری مقرون به‌صرفه است، در آن صورت سایر مسائل در درجه دوم اهمیت قرار گرفته و قابل پاسخگویی خواهند بود. باید گفت که بسیاری از سازمان‌های زمین‌شناسی در کشورهای مختلف دنیا به این سؤالات پاسخ داده‌اند. تعدادی از مطالعات مقرون به‌صرفه در زمینه نقشه‌های زمین‌شناسی و اکتشافات زمین‌شناسی صورت گرفته است که اهمیت مسائل مالی در انجام پروژه‌ها را نشان داده‌اند (به‌عنوان مثال اکتشافات زمین‌شناسی توسط آنون، ۲۰۰۳؛ نقشه‌های زمین‌شناسی توسط برنکنوف و همکاران، ۱۹۹۳؛ نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی توسط دی‌مولدر، ۱۹۸۸). بنابراین انجام مطالعات زمین‌شناسی در مناطق شهری با سایر مطالعات زمین‌شناسی تا حدودی متفاوت است و مسائل مالی در این زمینه بسیار تأثیرگذار است. اگر یک پروژه مطالعه زمین‌شناسی که به‌دلیل انجام‌شدن در مناطق شهری بسیار پرهزینه است، پشتیبانی مالی نشود نتایج حاصل از آن بسیار مفید نخواهد بود. از این‌رو، غالباً این مطالعات توسط سازمان‌های بزرگ و دولتی از قبیل شهرداری و سازمان زمین‌شناسی و یا با پشتیبانی آن‌ها صورت می‌گیرد.

۲-۱۳-۱ سازمان‌های زمین‌شناسی

بسیاری از سازمان‌های زمین‌شناسی در دنیا دارای قدمت نسبتاً زیادی هستند و این سازمان‌ها بهترین مکان برای نگهداری و مدیریت داده‌های زمین‌شناسی شهری محسوب می‌شوند. گستره وسیعی از این داده‌ها باید به‌عنوان بخشی از نقشه زمین‌شناسی مناطق شهری در نظر گرفته شوند. علاوه‌بر جزئیات گسترش سطحی و زیرسطحی مواد زمین‌شناسی طبیعی در مناطق شهری، در صورت امکان باید اطلاعات مربوط به معادن، مناطق دفن زباله، نقاط اکتشافی، چاه‌ها، گمانه‌های اکتشاف معدنی، ژئوتکنیک، آب‌شناسی، کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی نیز گردآوری شود.

لازم به‌ذکر است که امروزه بسیاری از سازمان‌های زمین‌شناسی از جمله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران تحت فشار مضاعف هستند از یک‌سو تحت فشار دولت هستند تا حجم خود را کوچک کنند (به‌دلیل صرفه‌جویی مالی) و از سوی دیگر

فشار از طرف جامعه دانشگاهی است به این دلیل که اعتقاد دارند که فعالیت‌های این سازمان‌ها علمی نیست و اغلب منابع مالی که دولت در اختیار پژوهش‌های زمین‌شناسی قرار می‌دهد از طریق این سازمان تلف می‌شود.

شاید یکی از مشکلات سازمان‌های زمین‌شناسی این باشد که از ابتدا در ساختار سازمانی این مؤسسات تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس‌های گوناگون به‌عنوان وظیفه اصلی آن‌ها تعیین شده است و بنابراین انجام سایر مطالعات به‌ویژه بررسی‌های زمین‌شناسی شهری نیازمند غلبه بر بوروکراسی اداری بسیار است. با تمامی این شرایط گسترش مدل‌های سه و چهاربعدی فرصت جدیدی برای این سازمان‌ها است تا با استفاده از آن‌ها داده‌های زمین‌شناسی شهری را نمایش گذاشته و اهمیت آن‌ها را نشان دهند.

۲-۱۳-۲ مسئولین شهری

زمانی که بانک داده‌های زمین‌شناسی برای شهرها ایجاد می‌شود، نگهداری آن در درازمدت دشوار خواهد بود. کشور کانادا نمونه خوبی در این زمینه است. انجمن علوم کانادا در سال ۱۹۷۱ یک مطالعه کلی و سراسری در مورد زمین‌شناسی این کشور انجام داد (بلیس و همکاران، ۱۹۷۱). یکی از فصول این گزارش بر روی زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست متمرکز است. در نتیجه‌گیری این فصل دو توصیه بسیار مهم به شرح زیر وجود دارد: ۱) تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و یا بزرگ‌تر از مناطق شهری با توجه ویژه به نهشته‌های سطحی، تغییرات سطح زمین در اثر عوامل طبیعی، داده‌های آب‌زمین‌شناسی. ۲) تمامی شهرهای بزرگ و اصلی باید دارای یک زمین‌شناس مهندسی باشد که مسئول گردآوری داده‌های زمین‌شناسی از منابع در دسترس بوده تا بتوان از آن‌ها در پروژه‌های شهری و ساخت‌وسازها بهره گرفت. این توصیه‌ها بعدها توسط لگت (۱۹۷۳) نیز تکرار شد. نتیجه این شد که سازمان زمین‌شناسی کانادا در پی جذب اعتبارات دولتی به‌منظور اجرای بررسی‌های زمین‌شناسی شهری برآید (اسکات، ۱۹۹۸). این بررسی‌های شامل گردآوری داده‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی برای ۲۷ شهر بزرگ کانادا به‌صورت یک‌سری بانک‌های اطلاعاتی غیررقومی بود. برنامه سازمان زمین‌شناسی کانادا تا سال ۱۹۷۸ ادامه یافت و در این زمان عدم‌علاقه و حمایت کافی از سوی شهرها موجب اتمام پروژه شد. بسیاری از بانک‌های اطلاعاتی حاصل از این مطالعات از بین رفت، گرچه خوشبختانه اطلاعات

نه شهر به صورت رقومی درآمده و در برخی موارد برای استفاده در محیط GIS به روزرسانی شد (کارو و وایت، ۱۹۹۸).

در بریتانیا بانک اطلاعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی مشابهی که بر روی میکروفیش به عنوان بخشی از پروژه نقشه‌برداری زمین‌شناسی شهرهای نیوکاسل و ساندرلند تهیه شده بود (استراخان و دیرمن، ۱۹۸۲؛ دیرمن و همکاران، ۱۹۷۷)، عمدتاً با بسته‌شدن دپارتمان‌های زمین‌شناسی در دانشگاه‌های این دو شهر از بین رفت. با وجود مشکل در اختیارداشتن پرسنل متخصص ژئوتکنیک، در شهر گلاسکو این داده‌ها رقومی شده و به صورت منظم مورد استفاده قرار می‌گیرد (مولن و فریتز، ۲۰۰۹).

هدف از ذکر این مثال‌ها این است که نشان داده شود مسئولین بسیاری از شهرها فاقد منابع یا انگیزه (شاید به دلیل عدم آگاهی از اهمیت داده‌های زمین‌شناسی) برای ساخت، نگهداری و گسترش بانک اطلاعات ژئوتکنیکی زیربنای استفاده از دانش زمین‌شناسی در مناطق شهری، هستند.

۲-۱۳-۳ شرکت‌های خصوصی

شرکت‌های خصوصی به منظور گسترش و فروش خدمات خود به طور فزاینده اطلاعات عمومی را مورد استفاده قرار می‌دهند که این اطلاعات شامل داده‌های زمین‌شناسی نیز است. به عنوان مثال، برای انجام معاملات ملکی از داده‌های مربوط به بلایای طبیعی استفاده کرده و قیمت ملک را براساس آن تعیین می‌کنند. این مورد متأسفانه در ایران به ویژه شهر تهران به هیچ وجه مورد توجه واقع نشده است به نحوی که در حال حاضر بیشترین تراکم ساخت و ساز و برج‌های بسیار بلند در مناطقی از این شهر قرار دارند که بر روی گسل واقع شده و دارای بیشترین خطر زلزله هستند و جالب این که جزو گران‌قیمت‌ترین املاک نیز محسوب می‌شوند!

در کشورهای پیشرفته شرکت‌های درگیر در این مسئله اطلاعات زمین‌شناسی را اخذ و با سرمایه‌گذاری و به روزرسانی آن‌ها و دادن پروانه استاندارد به این داده‌ها از آن‌ها استفاده کرده و با در اختیار گذاشتن آن‌ها به سایر بخش‌ها اعم از حقیقی یا حقوقی برای خود کسب درآمد می‌کنند.

در مناطق شهری که اطلاعات از لایه‌های زیرسطحی آن به نسبت زیاد است این امکان را برای شرکت‌های یاد شده فراهم می‌کند که با گردآوری و فروش

اطلاعات زمین‌شناسی موجب گسترش، محافظت و بازسازی فضای شهری شوند. بنابراین این گونه شرکت‌ها فقط زمانی در پی این مسئله خواهند بود که متقاعد شوند اطلاعاتی که با صرف هزینه گردآوری و مرتب شده‌اند برای آن‌ها درآمدزا باشد. به همین دلیل است که این شرکت‌ها معمولاً دیگر داده‌های جدید را گردآوری نمی‌کنند، بلکه ترجیح می‌دهند که آن را از سازمان‌های ذیربط مانند سازمان زمین‌شناسی و یا سازمان تحقیقات زمین و مسکن اخذ کنند. برای شرکت‌های مذکور تضمینی وجود ندارد که بتوانند در درازمدت به استفاده و نگهداری از بانک‌های اطلاعاتی ادامه دهند.

ذکر این نکته ضروری است که گرچه ممکن است کار گردآوری برخی داده‌ها و یا کل آن‌ها در مؤسسات اجتماعی (مانند سازمان زمین‌شناسی) متوقف شود، اما احتمال توقف نگهداری بانک‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی که قبلاً ایجاد شده‌اند نیز کم است، حتی اگر هیچ داده جدیدی به آن افزوده نشود. از این‌رو، شرکت‌های خصوصی جهت مدیریت پایگاه داده‌های زمین‌شناسی شهری برای کاربری‌های آینده مناسب نیستند.

۲-۱۴ ارتباط بین داده‌های زمین‌شناسی و برنامه‌ریزی در مناطق شهری

با توجه به گسترش روزافزون شهرها، برقراری تعادل بین مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در سیاست‌های توسعه‌ای بسیار مهم است. ارزیابی‌های مناسب زیست‌محیطی و توسعه پایدار، تعیین محل و مشاوره اجتماعی مستلزم اطلاعات دقیق است. بسیاری از مشارکت‌کنندگان در فرایند برنامه‌ریزی در فهم مسائل زمین‌شناسی مشکل دارند از این‌رو زمین‌شناسان باید مسائل دشوار را برای مخاطبان مختلف در یک سیستم اجرایی پیچیده توضیح دهند. در این ارتباط لازم است که بر حوضه اجرایی معینی تمرکز کرده و داده‌های زمین‌شناسی با داده‌های اجتماعی و اقتصادی هماهنگ شوند. برای بسیاری از مشارکت‌کنندگان باید اطلاعات تفسیر شده و نوع کاری که باید انجام دهند را به آن‌ها پیشنهاد کرد. این امر مستلزم آماده‌سازی خروجی‌های معین برای مخاطبان معین و بیان ساده و گویای مسائل است. نقشه‌ها و تکنیک GIS در صورت توضیح دقیق و استفاده مناسب می‌تواند ابزار خوبی برای برقراری این گونه ارتباطات باشند. انتشار اطلاعات نیازمند ارتباط اولیه و مداوم با سرمایه‌گذاران بوده و اغلب باید در این مورد به دفعات اقدام کرد تا به نتیجه مناسب رسید. این ارتباط همچنین مستلزم داشتن تخصص‌ها و آموزش‌های ویژه

است. برای مدیریت و به‌روزرسانی اطلاعات باید همواره سرمایه‌گذاری صورت گیرد که این مسئله اغلب از دید مسئولین پنهان می‌ماند.

۲-۱۴-۱ سیستم‌های برنامه‌ریزی

اولویت‌های برنامه‌ریزی را می‌توان از درون سیاست‌ها، توسعه پایدار و یا بررسی‌های زیست‌محیطی و همفکری شهروندان بیرون آورد. نوع و کیفیت برنامه‌ریزی متأثر نتایج بررسی‌ها و نظرات خواهد بود. سیاست‌ها نیز به‌صورت متناوب بازنگری و به‌روزرسانی شده و این سیاست‌ها باید همه مسائل مربوط به اجتماع، اقتصاد و محیط‌زیست را در نظر بگیرند (لارسون، ۲۰۰۶). برخی جنبه‌های زمین‌شناسی برنامه‌ریزی‌ها از طریق ارتباط با کارشناسان مسئول قابل انتقال است، اما مسئولین برنامه‌ها، اعضای شورای شهر و عموم مردم اغلب دارای اطلاعات محدودی در زمینه علوم زمین هستند. بنابراین مشاورین، سیاستمداران و تصمیم‌گیران ممکن است نتوانند منابع زمین، مخاطرات طبیعی و محافظت در برابر آن‌ها را در برنامه‌های خود لحاظ کنند.

۲-۱۴-۲ اطلاعات

سیاست‌های برنامه‌ریزی ممکن است اولویت را بر تعیین مناطقی با توسعه‌یافتگی ویژه و یا محافظت شده قرار دهد. در غیراین‌صورت، این سیاست‌ها احتمالاً معیارهایی در مورد شناسایی نوع کاربرد تعیین می‌کنند (لوگین، ۱۹۹۰). برنامه‌ریزان معمولاً با نقشه‌های توسعه‌یافتگی فعلی، عوارض فیزیکی و زیست‌محیطی، مناطق محافظت شده طبیعی و همچنین داده‌های آماری، اجتماعی و اقتصادی سروکار دارند. در برخی سیستم‌ها نقشه‌های قانونی مخاطرات طبیعی وجود دارد (کلاری، ۱۹۸۵)، اما غالب اوقات اطلاعات زمین‌شناسی مهم‌ترین بخش آن‌هاست.

سیاست‌های برنامه‌ریزی بر روی مناطق ویژه اداری متمرکز می‌شوند و بنابراین داده‌های گردآوری شده برای این محدوده‌ها و یا کدهای پستی این نقاط با واحدهای جغرافیایی طبیعی یا زمین‌شناسی به‌ندرت تطابق دارند. اطلاعات زمین‌شناسی باید با سایر اطلاعات هماهنگ باشد (مارکر، ۱۹۹۸). اطلاعات موردنیاز برای سیاست‌های برنامه‌ریزی، ارزیابی‌های توسعه پایدار و تأثیرات زیست‌محیطی (ODPM، ۲۰۰۳؛ DETR، ۲۰۰۰) و تهیه زمینه بررسی نقاط و شرایط مصوب

متفاوت هستند. این اطلاعات شامل موارد زیر است: مکان‌های معادن قبلی و فعلی، مکان‌های مجاز و یا مجوزدار برای توسعه بعدی، مناطق حاوی کانه‌هایی که باید تحت محافظت قرار گیرد، مناطق محافظت شده برای آب‌های سطحی و زیرزمینی، زمین‌های کشاورزی یا حاصلخیز یا مناطق مستعد در مقابل فرسایش خاک، مناسب بودن شرایط زمین برای انواع توسعه مقرون به صرفه شهری، مکان‌هایی که ارزش محافظت دارند و ممکن است به طرق مختلف آسیب ببینند (مانند تپه‌های باستانی)، مناطق آسیب‌پذیر در مقابل مخاطرات طبیعی، تجهیزات آلوده‌کننده و یا امکان ایجاد آلودگی در آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک‌ها یا هوا در مناطق پرجمعیت که به انتشار حساس هستند و تجهیزات قبلی، فعلی و مورد نیاز در آینده جهت مدیریت زباله‌های شهری.

اما اطلاعات پایه زمین‌شناسی دارای استفاده محدود برای بسیاری از کاربران و مدیران شهری است. این افراد نیازمند دریافت توضیح در مورد نقاط مثبت و منفی سیاست‌های شهری در مورد جامعه، اقتصاد و آثار زیست محیطی هستند. مهم‌ترین مسائل عبارتند از: آسیب‌پذیری توسعه و همچنین جامعه در مقابل خسارات، اهمیت اقتصادی منابع، حساسیت زمین و تغییرات منابع آن و مناسب بودن زمین برای توسعه. مدیران شهری همچنین نیاز دارند که در مورد زمان پیاده‌سازی گزینه‌ها، چگونگی ارائه و فعالیت‌های پیشنهادی در زمینه محدودیت‌های تصمیمات آتی و این‌که کجا اطلاعات و توضیحات اضافی را به دست آورند، اطلاعات خود را افزایش دهند. این امر مستلزم داشتن تیمی با توانایی‌های علمی، اقتصادی و اجتماعی است.

مدیران دارای مسئولیت‌ها، پیش‌زمینه‌ها و علایق مختلفی بوده و اغلب دارای گرایش‌های اجتماعی و فرهنگی (غیرعلمی) هستند. بنابراین بعید است خروجی منفرد و تک‌بعدی تمام نیازهای آنان را برآورده کند. بنابراین نتایج باید منطبق با نیازها بوده و بر روی موارد مرتبط با هر مدیر تمرکز یابد و به صورت منطقی و شفاف و با زبانی ساده و گویا که توسط کردارها و اشکال مناسب پشتیبانی می‌شود، به شنونده (مدیر مربوطه) ارائه شوند (فورستر و فری‌بوروغ، ۲۰۰۶). ارائه مثال‌های محلی می‌تواند مفید واقع شوند. باید در نظر داشت که مختصر و ساده کردن ارائه گزارش و اطلاعات به صورت فرمایشی و دستوری به نظر نرسد و یا باعث پیچیدگی بیش‌تر نشود. اغلب زمین‌شناسان نیازمند آموزش در زمینه نگارش نامه‌های رسمی غیرعلمی هستند.

زمین‌شناسان و برنامه‌ریزان از نقشه‌ها و تکنیک GIS استفاده می‌کنند، بنابراین در این زمینه زبان مشترکی دارند ولی به‌نظر نمی‌رسد که تصور شود که همه افراد به گزارشی که در نقشه و محیط GIS نشان داده شده، توجه کنند. ساده‌سازی راهنمایی‌ها، خلاصه‌کردن موارد مهم برای برنامه‌ریزی، پرهیز از استفاده اصطلاحات تخصصی و ارائه مجموعه پیشنهادات در مورد چگونگی استفاده از نقشه‌ها، بسیار مهم است. بهتر است که عنوان شود نقشه به چه دلیل باید استفاده شود و با ذکر محدودیت‌های آن نباید باعث سلب اطمینان مدیران شد.

توسعه مناسب را می‌توان از طریق تعیین مناطق مستعد تکمیل کرده و با تعیین این مناطق می‌توان بررسی‌های اولیه را در آن انجام داده و نوع مطالعات موردنیاز و مشکلات احتمالی را تعیین کرد (تامپسون و همکاران، ۱۹۹۶). در غیر این صورت باید این مکان‌ها براساس اولویت نیاز یا تأسیسات موردنیاز احتمالی و همچنین قیمت نسبی طبقه‌بندی کرد (هونجت و نجان - تیلارد، ۲۰۰۷). به‌خصوص تعیین کاربردهای واقعی دسته‌بندی‌های مخاطرات طبیعی از قبیل «بالا»، «متوسط» یا «پایین» و یا ارزش عددی آن‌ها مهم خواهد بود (فورث و همکاران، ۱۹۹۹). برنامه‌ریزان ترجیح می‌دهند که در خطوط معین و قلمروهایی که شناخته شده فاقد ابهام کار کنند، بنابراین درباره موضوعاتی که بین‌رشته‌ای بوده و هنوز ابهامات زیادی در مورد آن‌ها وجود دارد، باید با جانب احتیاط برخورد کرد.

۲-۱۴-۳ ارتباط و انتشار اطلاعات

دانستن هدف مدیران و در نتیجه ایجاد اطمینان و تأمین هدف آنان بسیار مهم است. از این‌رو برقراری ارتباط در حین انجام پژوهش و پس از آن لازم است. کارگاه‌ها، گروه‌های تماس، ملاقات‌های عمومی، نمایشگاه‌ها و ارتباطات اینترنتی می‌تواند به‌منظور آگاهی‌بخشی به مدیران و افراد ذیربط به مدیریت شهری مورد استفاده قرار گیرند (انجمن زیست‌محیطی^۱، ۲۰۰۴). گروه‌ها نیازمند مهارت‌های ارتباطی مناسب و گاهی افراد خبره و دارای روابط عمومی بالا هستند. همچنین عاقلانه به‌نظر می‌رسد که نتایج اولیه در مورد کاربران مورد آزمایش و محک قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که این نتایج به بهترین شکل مورد استفاده قرار خواهند گرفت. توزیع مناسب یافته‌ها حیاتی

اما چالش برانگیز است، به این دلیل که علاقه‌مندی و ترجیحات مدیران با یکدیگر متفاوت است. رویکردها باید شامل برگزاری سمینارها و ملاقات‌های عمومی باشد، اما این موارد فقط کمی به اهداف مدیران نزدیک است. ارائه تصویری و ویدئویی در اینترنت و سایت‌های اینترنتی عمومی (شبکه‌های اجتماعی) مفید خواهند بود. مقالات روزنامه‌ها نیز بسیار مؤثر هستند (نیلد، ۲۰۰۸) اما ممکن است در اثر بی‌دقتی مطلب درست ارائه نشود و نتایج معکوسی به بار آورد. مصاحبه‌های رادیو و تلویزیونی نیز در رسیدن به اهداف نقش مهمی دارند اما هماهنگی این مصاحبه‌ها دشوار و زمان آن‌ها بسیار محدود است. به زمین‌شناسان جهت حضور در رسانه‌ها باید آموزش‌های لازم رسانه‌ای داده شود. در صورت نیاز به اطلاع‌رسانی عمومی با تهیه بروشورهای کاغذی و قراردادن آن در ساختمان‌های عمومی یا تحویل خانه‌به‌خانه نیز می‌توان به ارائه اطلاعات به شهروندان پرداخت. وسایلی با طراحی‌های مناسب برای استفاده در مدارس نیز می‌تواند مفید باشد به این دلیل که کودکان می‌توانند بر والدین خود تأثیر گذارند.

بسیاری از افراد غیرعلمی دید مناسبی نسبت به روش‌های علمی ندارند. این افراد معمولاً مسائل مبهم و حل‌نشده علمی را برابر با عدم اطمینان به کاربرد آن روش می‌دانند. اخطار لازم علمی گاهی حتی می‌تواند به این مفهوم برداشت شود که نتایج حاصله دارای ارزش کمی هستند. معانی اصطلاحات مخاطرات طبیعی^۱ و احتمال خطر^۲ به‌درستی درک نشده‌اند و از این‌رو در مورد آن‌ها یا بی‌توجهی شده و یا این‌که توجه بیش از اندازه‌ای می‌شود.

اگر یک پیش‌بینی علمی فارغ از این‌که توسط چه کسی انجام شده نادرست باشد موجب سلب اعتماد بیش‌تر خواهد شد. تأکید بر رخداد‌های طبیعی کم‌اهمیت نیز می‌تواند اهمیت موارد جدی‌تر را زیر سؤال ببرد (اسلوویک، ۲۰۰۰؛ دونلی، ۲۰۰۸). در برخی موارد دیدگاهی وجود دارد که مهندسی می‌تواند خطرات را از بین ببرد و این موجب می‌شود که اگر مخاطره طبیعی رخ دهد، درخواست‌های غیرواقعی به‌منظور مقابله با آن مطرح شود و نتیجه آن از بین رفتن اعتماد متقابل بین دانشمندان و مدیران خواهد بود.

این موارد نیازمند توجه بیش‌تر است در غیر این‌صورت مشارکت و حافظه اجتماعی به‌سرعت از بین می‌رود بنابراین انتشار اطلاعات اغلب مستلزم تکرار در

فواصل زمانی معین است. پژوهشگران باید انتشار اطلاعات را به‌عنوان بخش مهمی از کار قرار دهند و آن را مانند یک کار زائد در نظر نگیرند (مارکر، ۲۰۰۸).

۲-۱۴ اقدامات بعدی

به دلیل تغییرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و پیشرفت تکنولوژی، نتایج پژوهش می‌تواند به مرور زمان منسوخ و قدیمی شود. از این‌رو به‌روزرسانی منظم سیاست‌های برنامه‌ریزی بسیار مهم است. اما بسیاری از پروژه‌ها دارای محدودیت زمانی بوده و مدیران غالباً جهت به‌روزرسانی آن‌ها دارای محدودیت مالی هستند. اگر دسترسی یا بازیابی اطلاعات دشوار باشد استفاده از آن امکان‌پذیر نخواهد بود از این‌رو جاسازی اطلاعات در مکان مناسب قابل‌دسترس نیز حائز اهمیت است. به‌دلیل تغییرات مداوم در ساختار مدیریتی، آگاهی‌های پرسنل نیز کاهش می‌یابد. مروری بر بیش از ۵۰ پژوهش انجام شده در زمینه زمین‌شناسی زیست‌محیطی در بریتانیا نشان داده است که ۱۰٪ آن‌ها در حد مناسب، ۲۰٪ کمی قابل‌استفاده و مابقی نیز به‌طور کلی فراموش شده‌اند (اسمیت و الیسون، ۱۹۹۹).

خلاصه

بسیار مهم خواهد بود که برنامه‌های توسعه‌ای شهرها که از طریق مدیران شهری صورت می‌گیرد دارای تعادل بین تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی بوده و تصمیمات اتخاذ شده دارای پشتوانه مطالعات توسعه پایدار و زیست‌محیطی، انتخاب مناسب محل و همفکری عموم مردم باشد که این امر مستلزم داشتن اطلاعات کافی است. بسیاری از مدیران برنامه‌ریزی شهری، منتخبین شوراهای شهری و عموم مردم فاقد اطلاعات زمین‌شناسی کافی هستند. اغلب منابع زمین، مخاطرات طبیعی و محافظت در برابر آن به‌درستی برای سیاستمداران و تصمیم‌گیران تبیین نمی‌شود. زمین‌شناسان در زمینه توضیح یافته‌های پژوهشی خود به مردم با زمینه علمی کاملاً متنوع، با چالش مواجه هستند. برای تمرکز بر روی مسائل مورد علاقه مدیران باید تلاش بیش‌تری صورت گیرد. داده‌های زمین‌شناسی در مورد کانه‌ها، آب، خاک و محافظت از منابع طبیعی، شرایط فیزیکی زمین جهت اجرای برنامه‌های توسعه‌ای، مناطق مستعد وقوع مخاطرات طبیعی، منابع انتشار آلودگی‌ها در هوا و مکان‌های مستعد

دفن زباله موردنیاز است تا با هماهنگ‌سازی این داده‌ها با داده‌های اجتماعی و اقتصادی بتوان برنامه‌ریزی مناسبی برای مناطق شهری ایجاد کرد.

خودآزمایی چهارگزینه‌ای

۱. کدام گزینه صحیح نیست؟

(الف) ایجاد سازه‌های زیرزمینی زیر سطح ایستابی می‌تواند موجب ریزش یا فرونشست شود.

(ب) سازه‌های زیرزمینی سیستم جریان آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

(ج) در ایجاد سازه‌های زیرزمینی مسائل مالی نقش اساسی را ایفا می‌کنند.

(د) سازه‌های زیرزمینی بر شرایط طبیعی آبخوان‌ها تأثیر منفی دارد.

۲. کدام مورد از منابع اصلی داده‌های مکانی پایگاه داده‌های رقومی شهری محسوب می‌شود؟

(الف) نقشه راه‌ها و بزرگراه‌های شهری

(ب) نقشه‌برداری سنگ‌بستر و دپوهای سطحی و مصنوعی

(ج) نوع کاربری زمین

(د) عکس‌های هوایی

خودآزمایی تشریحی

۱. چهار مورد از استفاده‌های منابع آب‌های زیرزمینی مناطق شهری را نام ببرید.

۲. دلایل عدم توجه کافی در زمینه محافظت قانونی و تعیین رویه استفاده از منابع زیرزمینی را به‌طور خلاصه توضیح دهید.

۳. عوامل آلودگی خاک‌های سطحی و زیرسطحی مناطق شهری عمدتاً کدام هستند (حداقل دو مورد)؟

۴. داده‌های زمین‌شناسی در مناطق شهری به چند صورت تهیه می‌شوند؟ (یک مورد را توضیح دهید).

۵. برای تهیه اطلاعات زمین‌شناسی شهری رعایت چه مواردی ضروری است (حداقل چهار مورد ذکر شود)؟

فصل سوم

اصول استفاده پایدار از منابع شهری

هدف کلی

منابع طبیعی به‌ویژه در مناطق شهری همواره دستخوش استفاده بی‌رویه و غیراصولی بوده و از همین رو آسیب‌های فراوانی به جوامع بشری وارد شده است. مهم‌ترین دلیل این مسئله عدم توجه به شناخت شرایط زمین‌شناسی در مناطق شهری و در نتیجه استفاده غیرعلمی از منابع محدود طبیعی از جمله منابع آب زیرزمینی بوده که گاهی قابل بازیابی هستند. در این فصل تلاش شده تا اصول درست به‌کارگیری منابع طبیعی با استفاده از اصول زمین‌شناسی تبیین شود.

هدف‌های یادگیری

با توجه به هدف‌های کلی یاد شده می‌توان با مطالعه این فصل از کتاب با موارد ذیل آشنا شد:

۱. موضوعات موردنظر زمین‌شناسی در محیط شهری.
۲. کاربردهای اطلاعات زمین‌شناسی در توسعه پایدار شهری.
۳. اهمیت فراگیری مسائل حقوقی توسط زمین‌شناسان در زمینه توسعه پایدار شهری.
۴. موضوعات مهم توسعه شهری وابسته به اطلاعات زمین‌شناسی.
۵. دسته داده‌های زمین‌شناسی شهری.

مقدمه

با توجه به این‌که قرن بیست و یکم زمانی است که برای اولین بار در تاریخ، جمعیت بشری در محیط‌های شهری بیش‌تر از محیط‌های روستایی شده‌است، از این‌رو برای

تداوم نسل، پیشرفت و آسایش لازم است که بشر با توجه به طبیعت پیرامون خود توسعه پایدار را در پیش گیرد. به‌طور کلی توسعه پایدار توسعه‌ای است که نیازهای امروزی را برطرف کند، بدون آن‌که به نیازهای نسل‌های آینده خدشه‌ای وارد کند. چگونه می‌توان محیط‌های شهری را طراحی کرد تا نیازهای جامعه را در آینده تأمین کنند؟ به این منظور داشتن دانش نوین، ابزار دانش‌محور و مشارکت شاخه‌های مختلف علوم موردنیاز است تا ضمن توسعه و گسترش شهرها، تصمیم‌گیری‌ها براساس راهکارهای پایدار و مناسب انجام گیرد و مسئولان شهری بتوانند بافت‌های مرکزی شهر را مجدداً احیا کنند. بر این اساس، شناخت شرایط زمین‌شناسی محیط شهری و منابع محدود طبیعی از جمله منابع آب زیرزمینی از عوامل اساسی در توسعه پایدار همه شهرهای بزرگ محسوب می‌شوند. با این حال، تجربه نشان داده است که حتی در بسیاری از کشورهای پیشرفته نیز اطلاعات زمین‌شناسی به اندازه کافی در برنامه‌ریزی شهری مورد توجه قرار نگرفته است.

محاسباتی که باعث فهم بهتر سیستم‌های زیرسطحی شهری شود، برای تصمیم‌گیری‌های آینده بسیار حیاتی خواهند بود. این محاسبات می‌توانند به‌عنوان یک چارچوب و روشی مفید برای برنامه‌ریزی زیرسطحی محسوب شده و پروژه‌های مختلف زیرسطحی را مورد ارزیابی قرار دهند. همچنین داده‌های یاد شده در زمینه مدیریت استفاده مؤثر از ذخایر زیرسطحی در مناطق شهری بسیار مفید خواهند بود. شرایط زمین‌شناسی مناطق شهری و منابع محدود آن عاملی بسیار مهم در رشد پایدار همه شهرها محسوب می‌شود. با این حال، حتی در بسیاری از کشورهای پیشرفته تجربه نشان داده اطلاعات زمین‌شناسی آن‌گونه که شایسته بوده در طراحی‌ها و برنامه‌ریزی‌های شهری مورد استفاده قرار نگرفته است.

استفاده پایدار از منابع زیرسطحی مستلزم درک عمیق از فرایندهای زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی و به‌ویژه تأثیرات کوتاه‌مدت و بلندمدت فعالیت‌های انسانی فعلی و آتی است. این مسئله دربرگیرنده ارزیابی و توجه به شرایط مرزی مختلف آب‌شناسی و ژئوتکنیکی است که رژیم‌های جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در حال حاضر، دانش کنونی در مورد تأثیرات متقابل پیچیده طبیعت و انسان در این فرایندها کافی نیست. در گذشته، مطالب مرتبط با زمین‌شناسی شهری و آب‌زمین‌شناسی فقط در حد چند پروژه باقی مانده بود. استراتژی‌های محافظت از

آب‌های زیرزمینی در مناطق شهری عمدتاً بر موارد خاصی مانند حفاظت از چاه‌ها متمرکز شده بود. سیستم‌های کنترل کیفیت منابع آب زیرزمینی اغلب محدود به محاسبه برخی از پارامترها و تعیین مرزها براساس روش‌های متداول بود.

بنابراین مجموع اثرات طبیعی، انسانی و تأثیرات متقابل آن‌ها در زمان و مکان است که وضعیت فعلی منابع زیرزمینی ما را تعیین می‌کنند. چارچوب‌های قانونی برای محافظت از طبیعت معمولاً به جای این که بر فهم فرایندهای اساسی و تغییرات درازمدت متمرکز باشند، بر پایش داده‌های منطقه‌ای کوتاه‌مدت تکیه می‌کنند. این مسئله ممکن است برای مناطق مشخصی مناسب باشد اما کار تکمیل بهره‌برداری پایدار منابع زیرزمینی را با مشکل مواجه خواهد کرد. از این رو برنامه‌ریزی توسعه شهری باید اغلب بر روی استفاده مؤثر از منابع زیرزمینی، محاسبه فرایندهای وابسته به آن، محاسبه پارامترهای مرتبط با خطرات احتمالی طبیعی و آسیب‌رسان به محیط‌زیست به همراه برنامه درازمدت و کنترل بهره‌برداری از منابع متمرکز باشد. به منظور بهینه‌سازی مدیریت منطقه‌ای منابع زیرسطحی شهری لازم است که فرایندهای یاد شده شناخته شوند تا اهداف جامع کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت قابل دسترسی باشند. این برنامه‌ریزی‌ها شامل روش‌های نوین است که پیچیدگی‌های یک سیستم را مورد توجه قرار داده و به طور کمی ویژگی‌های یک مکان جغرافیایی را بررسی کند. همچنین در برنامه‌ریزی موردبحث باید تأثیرات انباشته‌شده پروژه‌های مختلف در مقیاس بزرگ موردبررسی قرار گیرند.

این روش‌ها به عنوان مفاهیم مدیریت سازگار آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند (فتا و همکاران، ۲۰۰۲؛ آیسورث و همکاران، ۲۰۰۳؛ پال ووستل و همکاران، ۲۰۰۵؛ اپتینگ و همکاران، ۲۰۰۸). در این صورت استفاده موفقیت‌آمیز از مفاهیم یاد شده در برنامه‌ریزی شهری به ندرت رخ می‌دهد. راهبردهای توسعه پایدار فضای زیرسطح شهری دارای حداقل دو بخش است که شامل: (۱) توسعه زیرساخت‌های جدید زیرزمینی و استفاده از آب‌های زیرزمینی (بهینه‌سازی فضا به منظور استفاده درست از منابع زیرزمینی با توجه به سازه‌های موجود و در حال ساخت؛ ۲) برنامه‌های کوتاه و بلندمدت مدیریت فضاها و آب‌های زیرزمینی. این بهینه‌سازی باعث می‌شود تا به مسائل مهم مرتبط با استفاده پایدار از منابع پاسخ داده شود.

۳-۱ موضوعات مرتبط با زمین‌شناسی در محیط شهری

عمدتاً هشت موضوع در ارتباط با توسعه پایدار شهری مورد توجه قرار می‌گیرند که عبارتند از:

(۱) تنوع زیستی؛ (۲) کیفیت هوا؛ (۳) آب و فاضلاب؛ (۴) محیط ساخت‌وساز زیرزمینی، زیرساخت‌ها و سرویس‌های همگانی مانند آب و برق در این مناطق؛ (۵) محیط ساخت‌وساز روزمینی و فضاهای باز؛ (۶) تعدد یا تمرکز تصمیم‌گیری شهری؛ (۷) رفتار سازمانی و نوآوری؛ (۸) نیازمندی‌های اجتماعی و سیاست‌های برنامه‌ریزی به منظور برآورد آن‌ها. از بین تمام این موضوعات، زمین‌شناسی تنها با موارد سه و چهار سروکار داشته و همچنان نقش اساسی در اجرای توسعه فیزیکی محیط‌های شهری ایفا می‌کند (هونت و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین در آینده لازم خواهد بود که دانش زمین‌شناسی شهری خود را با این ساختار وسیع‌تر توسعه شهری هماهنگ کرده و آثار تصمیم‌گیری‌های مختلف در این زمینه را درک کند. به‌طور کلی وقتی جوامع در روند توسعه دچار تغییر می‌شوند برخی کاربردهای اطلاعات زمین‌شناسی نیز در جهت کمک به پایداری این توسعه تغییر می‌کنند. از جمله این کاربردهای جدید می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی شهری
 - خطرات طبیعی در مناطق شهری
 - ژئوشیمی مناطق شهری
 - زهکشی پایدار محیط شهری و مدیریت کیفیت آب‌های زیرزمینی
 - توسعه و پایداری زیرساخت‌های شهری زیرزمینی
 - پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر زمین‌شناسی
 - فرایندهای کارست شهری و نشست زمین
 - زمین‌باستان‌شناسی محیط شهری
 - دفن زباله‌ها و آثار زیست‌محیطی آن بر محیط شهری
 - سیستم‌های زمین‌گرمایی
- برخی از این موارد به‌طور مفصل در فصل‌های بعد مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در ادامه به مطالعه چگونگی استفاده مناسب از فضاهای شهری پرداخته خواهد شد.

۲-۳ گسترش فضاهای زیرسطحی در مناطق شهری

معمولاً فضاهای خالی در مناطق شهری بسیار کمیاب است. از این رو به منظور توسعه و گسترش شهر و برای سیستم حمل و نقل ریلی و برخی تأسیسات شهری، ناگزیر فضاهای زیرزمینی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این تأسیسات می‌توانند به صورت موقت و در حین ساخت و ساز، سیستم‌های آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار دهند. متأسفانه غالباً پس از اتمام این بناها، تأثیرات نامطلوب یاد شده به صورت دائمی باقی می‌مانند. تأسیسات زیرزمینی موجب افزایش فشار بر روی منابع آب زیرزمینی مناطق شهری شده و اغلب باعث کاهش جریان آب و ظرفیت آبخوان‌ها می‌شود. در نتیجه، منابع زیرسطحی برای تطبیق با شرایط جدید، شرایط طبیعی آب‌شناسی و فنی خود را از دست می‌دهند.

ساختمان‌های زیرزمینی و تغییرات حاصل از استفاده فضاهای زیرزمینی مرتبط با آن عمدتاً به منظور استفاده کوتاه مدت توسط مهندسين طراحی شده و مسائل زمین‌شناختی حداقل دخالت را در آن داشته است. در طراحی‌های جدید شرایط سفت و سختی از لحاظ ژئوتکنیکی و زمین‌آب‌شناسی باید مدنظر قرار گیرد تا مشکلات یاد شده به حداقل برسد. به ویژه طراحی تونل‌ها در سنگ‌های سست (مانند مترو تهران) و زیر سطح ایستابی آب موجب می‌شود که خطر فرونشینی و افت سطح زمین بسیار افزایش یابد. برای محافظت از آهنگ موزون زندگی شهری در این مناطق، علاوه بر پیروی از استانداردهای ایمنی در محل حفاری، باید مسائل ژئوتکنیکی از قبیل تزریق سیمان نیز مدنظر قرار گیرد. احتمال بروز حادثه در حین عملیات ساختمانی زیرزمینی بسیار بالا است. فضاهای زیرزمینی مورد استفاده جهت تأسیس سازه، در اثر تزریق سیمان منشأ آلايش‌های زیرزمینی نیز می‌شوند. همچنین، تثبیت فضاهای یاد شده ممکن است موجب تأثیرات مضر در کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی و رژیم‌های جریان آب‌های زیرزمینی شود.

در برخی موارد، تغییر جریان آب‌های زیرزمینی و راه‌های آبی تازه ایجاد شده می‌تواند تأثیرات منفی در تأسیسات مجاور نیز بر جای گذارند. به این دلیل ایجاد تأسیسات در این گونه مکان‌ها که آب‌های زیرزمینی جریان بسیاری دارند حتی المقدور باید محدود شود. در صورتی که راه دیگری وجود نداشته باشد، باید در مورد محدود کردن مضرات ایجاد این گونه تأسیسات طراحی‌های مناسبی صورت گیرد. تأسیسات و بناهای زیرزمینی (از قبیل مترو، تونل، سیستم‌های زمین‌گرمایی، معادن

زیرزمینی نمک، خطوط انتقال نیرو و غیره) باید تحت شرایط کنترل شده هیدرولیکی شامل پایش مداوم هیدرولیکی به همراه شرایط فیزیکی و شیمیایی (دما، EC، pH، تلاطم و غیره) ایجاد شوند.

۳-۳ اطلاعات مورد نیاز زمین‌شناسی شهری

تهیه آنالیزهای قابل اعتماد و به‌روز زمین‌شناسی و تفسیر آن‌ها برای استفاده در مناطق شهری بخش بسیار مهم برنامه‌ریزی شهری محسوب می‌شود. از این‌رو گسترش محدوده شهرهای موجود مستلزم وجود بهترین داده‌های زمین‌شناسی است (مطابق جدول ۳-۱).

بدیهی است که مشخصات طبیعی ذخایر سطحی و سنگ‌ها باید تعیین شود اما میراث و اثرات بشری نیز در این زمینه باید در نظر گرفته شوند. این اثرات شامل کنده‌کاری‌ها و برداشت‌های قبلی، فرونشینی زمین در اثر برداشت‌های معدنی، معادن متروک، پرشدگی‌های مصنوعی، زمین‌های سست یا سخت ایجاد شده توسط انسان و آب‌های جاری و همچنین خاک‌های آلوده است.

همه این موارد مستلزم بررسی سیستماتیک است تا براساس آن نوع برنامه‌ریزی معین شده و پایه و اساسی برای راهکارهای مهندسی به‌وجود آید. تأثیر تغییرات آب‌وهوایی که ممکن است در اثر فصول پرباران و سیلاب‌ها رخ داده و سطوح آب دریا را افزایش دهد می‌تواند به‌صورت سیلاب‌گرفتگی مسیل‌ها و نواحی ساحلی خود را نشان دهد.

بررسی مناطق شهری مستلزم استفاده از داده‌های زمین‌شناسی با کیفیت به‌دست‌آمده از مطالعات آزمایشگاهی، بررسی‌های میدانی، تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، نمونه‌برداری ژئوشیمیایی خاک‌ها و محاسبات ژئوتکنیکی است. ویژگی‌های سه‌بعدی نهشته‌های سطحی و زیرسطحی و سنگ‌بستر مستلزم فهم تغییرات سنگ‌شناسی و هندسه سطوح مرزی مهم است. ارتباط مسائل زمین‌شناسی با تغییرات آب‌وهوایی و زمانی نیز باید مدنظر قرار گیرد، به‌عنوان مثال ارتباط بین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، سیلاب، فرایندهای هوازگی و پایداری زمین. ارتباط بین زمین‌شناسی و توسعه در محیط‌های شهری توسط الیسون و همکاران (۱۹۹۷) و همچنین تامپسون و همکاران (۱۹۹۸) مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی این گزارش‌ها می‌تواند اساس و راهنمای بهینه برای استفاده بهینه از محیط‌های شهری فراهم کند.

جدول ۳-۱. موضوعات مهم توسعه شهری وابسته به اطلاعات زمین و چگونگی یافتن راهنمای استفاده از آن اطلاعات (الیسون و همکاران، ۲۰۰۲).

موضوع	منابع و اسناد قابل استفاده
تدارک زمین مناسب جهت توسعه شهری	راهنمای برنامه‌ریزی DETR ^۱ که از آدرس زیر قابل دریافت است: http://www.planning.detr.gov.uk/ppg/index.htm Evaluation of Environmental Information for Planning Projects: A Good Practice Guide - HMSO, 1994.
محافظت و توسعه منابع معدنی	راهنمای برنامه‌ریزی معدنی DETR که از آدرس زیر قابل دریافت است: http://www.databases.detr.gov.uk/planning/npp/ListPublications.asp?thisCategory=MPPGS
محافظت و توسعه منابع آب زیرزمینی	http://www.environment-agency.gov.uk/gwcl/ngwclc.htm
تدارک زمین مناسب جهت دفن زباله‌های شهری	Waste Management: Department of the Environment Waste Management Paper No 26 – Landfilling Wastes, HMSO, 1986. http://www.environment-agency.gov.uk/epns/licence.html
کنترل آلاینش و زمین‌های آلوده	Framework for Contaminated Land, Department of the Environment and Welsh Office, November 1994. Contaminated Land. Department of the Environment, Transport and the Regions. 2000. 162p. (Great Britain, Department of the Environment, Transport and the Regions circular; 2000/02). (London: Stationery Office) – ISBN 0117535443 http://www.environment-agency.gov.uk/gwcl/ngwclc.htm
کنترل سیلاب‌ها	به‌عنوان نمونه سیستم GIS که توزیع مسیل‌های رودخانه و دریا، نقشه‌های دشت سیلابی، مکان سایت‌های آلوده، اطلاعات کیفی رودخانه و مناطق محافظ آب‌های زیرزمینی را معین کرده است، از طریق سایت‌های اینترنتی زیر قابل دسترسی هستند و می‌تواند به‌عنوان الگو مورد استفاده قرار گیرد. http://www.environment-agency.gov.uk/gwcl/index.htm http://www.maff.gov.uk/envirion/fcd/default.htm همچنین آژانس محیط‌زیست بریتانیا راهنمایی در مورد بررسی مکان‌های آلوده تنظیم کرده است که آن نیز از طریق سایت اینترنتی زیر قابل استفاده است: http://www.environment-agency.gov.uk/epns/package.html
محافظت از مکان‌ها و تأسیسات شهری	اطلاعات موجود در مورد مجموعه‌های سنگواره‌ای، استخراج معادن نامتراکم مانند شن‌وماسه، مدیریت دفن زباله و توسعه پایدار نیز در وب‌سایت زیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد: http://www.englishnature.org.uk/news/position.asp

1. Department of the Environment, Transport and the Regions

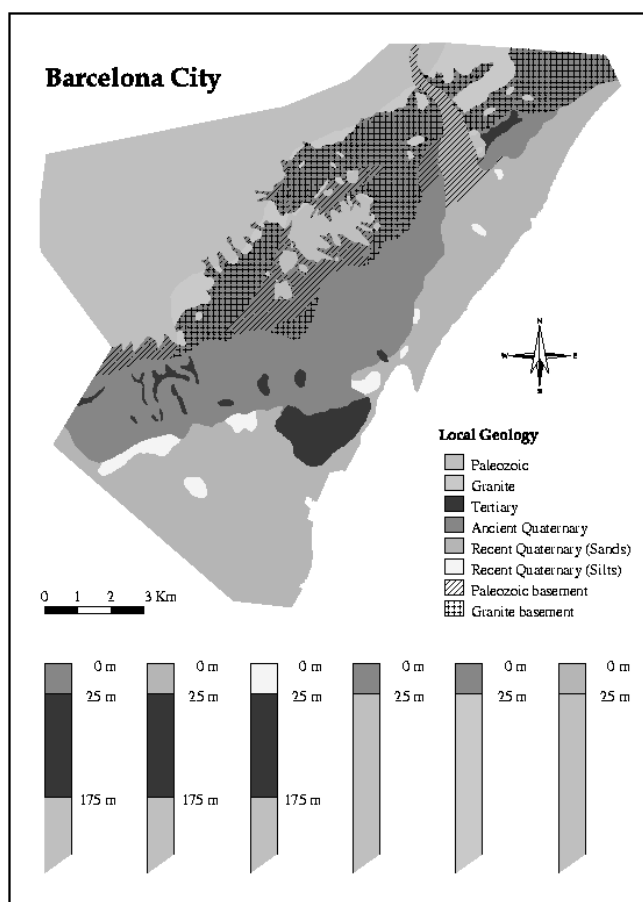
۳-۴ نقشه‌برداری زمین‌شناسی کاربردی^۱

در مناطق شهری که دارای جمعیت انسانی بسیاری است، لایه‌های سطحی زمین معمولاً به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های بشری قرار می‌گیرند. مناطق شهری و حومه آن‌ها به صورت مداوم در حال تغییر است که این مسئله مستقیماً وابسته به برهم‌کنش فعالیت‌های بشری و لایه‌های سطحی زمین‌شناسی است. همچنین، اغلب شهرها در دشت‌های آبرفتی قرار داشته و از این‌رو دارای پیچیدگی‌های زمین‌ساختی و ساختارهای آسیب‌پذیر هستند. جهت توسعه این مناطق و مقابله با خطرات طبیعی، به دست آوردن دانش دقیق در مورد شرایط زمین‌شناسی بسیار مهم است. به این دلیل است که در بسیاری از کشورهای پیشرفته پروژه‌های بسیاری در زمینه زمین‌شناسی (از جمله تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی) در مناطق شهری به مورد اجرا گذاشته می‌شود. در این‌گونه نقشه‌ها هدف اصلی تهیه و پیاده کردن اطلاعات زمین‌شناسی بر روی نقشه به منظور استفاده در مناطق شهری است و تمرکز عمده آن بر روی رسوبات و عوارض سطحی است زیرا جوامع شهری بیش‌ترین تماس و برهم‌کنش را در این محیط‌ها دارند. از این‌رو این نقشه‌ها ابزاری بسیار مهم برای محافظت از سلامت انسان و محیط‌زیست محسوب می‌شود (شوزتک، ۲۰۱۴).

بهترین ابزار برای بیان و ارائه ساختارهای زمین‌شناسی در یک منطقه نقشه زمین‌شناسی است (مالتمن، ۱۹۹۰). از دیدگاه نقشه‌برداری زمین‌شناسی، مناطق شهری و دشت‌های آبرفتی دارای ویژگی مشترکی هستند و آن رخنمون‌های بسیار ضعیف و سطحی است. از این‌رو، روش‌های مشاهده مستقیم فقط موجب تهیه نقشه کلی شده و نتیجه آن محدود به رخنمون‌های دیده شده و توپوگرافی خواهد بود. از این‌رو برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی باید از روش‌های دیگری (مانند حفاری، ژئوفیزیکی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل‌های رقومی سه‌بعدی DEM و غیره) نیز بهره برد.

هدف از تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در مناطق شهری برنامه‌ریزی برای کاهش خطرات زمین‌شناسی زمین‌های آسیب‌پذیر در مقابل زمین‌لغزش و زلزله، و پی‌جویی و مدیریت منابع زمین‌شناسی مانند مصالح ساختمانی (شن و ماسه) و همچنین آب‌های زیرزمینی است. به عبارت دیگر با استفاده از این نقشه‌ها می‌توان اطلاعات زمین‌شناسی را

جهت برنامه‌ریزی، توسعه و حفاظت از منابع طبیعی ارائه کرد. نقشه‌های مدرن زمین‌شناسی مناطق شهری شامل نقشه‌برداری دوبعدی سطحی هستند که پس از تلفیق با داده‌های حاصل از گمانه‌های حفر شده، آزمایش‌های ژئوتکنیکی و داده‌های ژئوفیزیکی به صورت مدل‌های زمین‌شناسی سه‌بعدی تهیه می‌شوند. کالشاو (۱۹۹۰) و اسمیت و الیسون (۱۹۹۹) مرور کاملی بر این گونه‌ها نقشه‌ها داشته‌اند که مطالعه آن برای دانشجویان توصیه می‌شود.



شکل ۳-۱. نقشه زمین‌شناسی شهر بارسلونای اسپانیا که در آن پراکندگی سطحی تشکیلات زمین‌شناسی نشان داده شده و اطلاعات حاصل از حفاری نیز وضعیت قرارگیری این عوارض در عمق را نیز مشخص کرده است.

نقشه‌های زمین‌شناسی معمولاً به صورت تفصیلی و با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه می‌شوند که در آن می‌توان اطلاعات مفیدی در زمینه ساختمان‌ها، تأسیسات زیرزمینی و برنامه‌ریزی شهری وارد کرد. در حین نقشه‌برداری زمین‌شناسی شهرها، معمولاً رخنمون‌های کمی یافت می‌شوند که عمدتاً مربوط به رسوبات کواترنری هستند. تعیین تغییرات زیرزمینی زمین‌شناسی جهت تأسیس ساختمان‌ها حائز اهمیت بوده و از این رو مستلزم وجود اطلاعات حفاری و آزمایش‌های ژئوتکنیکی هستند تا با تلفیق با داده‌های ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی سطحی بتوان اطلاعات جامعی از ساختارهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه به دست آورد (شکل ۳-۱).

۳-۵ اهداف برنامه‌ریزی شهری

به طور کلی برنامه‌ریزی شهری باید با آگاهی کامل از شرایط زمین‌شناسی منطقه صورت پذیرد. انجام پروژه‌های موضوعی در مناطق شهری مانند آب‌های زیرزمینی و بقایای فعالیت‌های معدنی (مناطق آلوده) باید به صورت غیرمحلّی صورت پذیرد. بنابراین اهداف اصلی پروژه‌ها باید تهیه بازه وسیعی از اطلاعات پایه و کاربردی زمین‌شناسی باشد تا مشاورین یا مقامات محلّی بتوانند از آن‌ها به عنوان پایه و اساس هرگونه اقدامات محلّی بهره گیرند.

۳-۶ خروجی برنامه‌ریزی شهری

بانک داده‌ها، GIS و مدل‌های سه بعدی باید سه برون‌داد اصلی هر برنامه شهری باشد. لایه‌های استاندارد مورد نیاز GIS توسط اسمیت و الیسون (۱۹۹۹) تشریح شده‌اند. بهترین مقیاس برای داده‌های زمین‌شناسی شهری ۱:۱۰۰۰۰ است. گزارش‌های چاپی باید به صورت مصور و با استفاده از لایه‌های GIS تهیه شوند اما گزارش اصلی بهتر است به صورت رقومی تهیه و به شکل CD یا فلش مموری و غیره ارائه شود.

پروژه‌های نقشه‌برداری زمین‌شناسی باید بر روی نقشه‌های ارائه‌کننده اطلاعات زمین‌شناسی متمرکز شوند. در یک محیط GIS این گونه نقشه‌ها پایه‌ای است که داده‌های وسیع دیگری به آن لینک می‌شوند و می‌توانند خروجی‌های رقومی جدیدی را تولید کنند. افزایش کاربرد GIS باعث گردآوری و یکپارچه‌سازی داده‌های مرتبط با زمین و در نتیجه بازدهی بسیار بیش‌تر آن‌ها شده است. این سیستم

به همراه روش‌هایی که نتایج را به صورت تصویر به نمایش درمی‌آورند با رشد روزافزون خود موجب شده‌اند که داده‌های بیش‌تر و با کیفیت مناسب‌تر و قابل فهم‌تری در دسترس مدیران جهت تصمیم‌گیری‌های کلان شهری قرار گیرند. به عنوان مثال، ارتباط بین توپوگرافی، سطح آب و ارتباط فضایی بین زمین‌های استفاده شده آلوده و سایت‌های مورد استفاده جهت دفن زباله و همچنین ذخایر معدنی سطحی با توانایی انتقال آلاینده‌ها می‌توانند در محیط GIS به خوبی نشان داده شوند.

۷-۳ استانداردهای ثبت مشاهدات

هدف از استانداردهای ثبت مشاهدات اطمینان از تعیین مناسب ناهنجاری‌های زمین‌شناسی است. لزوم وجود استانداردهای ثبت مشاهدات و طبقه‌بندی لایه‌ها به این دلیل است که تغییرات لایه‌ها به ویژه لایه‌ها و ذخایر معدنی سطحی به درستی تعیین و گزارش شوند. استانداردسازی نام‌گذاری سنگ‌های این ذخایر معدنی به طور مداوم در حال بازنگری است (به عنوان مثال باون، ۱۹۹۹ و مک‌میلان و همکاران، ۱۹۹۹). سازمان زمین‌شناسی بریتانیا (BGS)^۱ نیز استانداردهایی تهیه کرده است که به عنوان پایه‌ای برای ثبت و طبقه‌بندی سنگ‌شناسی مورد استفاده قرار گرفته و اصطلاحات توصیفی آن‌ها را در اختیار قرار می‌دهد. برای دریافت این استانداردها دانشجویان می‌توانند به آدرس اینترنتی زیر مراجعه کنند:

<http://www.bgs.ac.uk/bgsrscs/home.html>

۸-۳ دسته داده‌های^۲ زمین‌شناسی شهری

در این بخش دسته داده‌های اصلی (جدول ۳-۲) مورد نیاز در یک پروژه شهری قابل ارائه در محیط GIS، مورد بحث قرار می‌گیرند. برخی از دسته داده‌ها به صورت رقومی در دسترس هستند و برخی نیز به طور ویژه برای پروژه رقومی‌سازی می‌شوند و در نهایت برخی از داده‌های غیررقومی مانند نقشه‌ها نیز اسکن شده و وارد محیط GIS می‌شوند.

جدول ۳-۲. دسته‌داده‌های اولیه (P) و دسته‌داده‌های استخراج شده (D) برای یک پروژه زمین‌شناسی شهری (الیسون و همکاران، ۲۰۰۲)

ردیف	دسته‌داده	نوع داده	کاربرد دسته‌داده
۱	نقشه ۱: ۱۰۰۰۰ زمین‌شناسی	P	دید کلی زمین‌شناسی منطقه شهری
۲	نقشه ۱: ۱۰۰۰۰ توپوگرافی	P	پایه تهیه نقشه‌های موضوعی
۳	نقشه‌های توپوگرافی یا جغرافیایی قدیمی	P	استفاده قدیمی از مناطق مختلف شهری مناطق صنعتی آلوده مسیر جریان‌های آبی
۴	عکس‌های هوایی	P	استفاده فعلی از مناطق مختلف شهری نمایش مصور مناطق شهری
۵	مدل رقومی عوارض زمین	P	نمایش مصور مناطق شهری نمایش سه بعدی مناطق شهری
۶	بانک اطلاعات حاصل از مغزه‌گیری و حفاری	P	تعیین ویژگی‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی (شکل ۳-۱)
۷	نقشه مرزهای سنگ‌شناسی	D	ترسیم و نمایش زمین‌شناسی منطقه
۸	نقشه معدن‌کاری و حفاری‌های معدنی	P	پهنه حفاری‌های زیرزمینی و استحکام زمین در مناطق ذکر شده ویژگی‌های زمین‌شناسی سنگ‌ها و خاک‌ها
۹	نقاط نفوذ آب	P	ایجاد مدل تعادلی آب‌های زیرزمینی
۱۰	مناطق محافظ در مقابل آب	P	ایجاد مدل آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی
۱۱	مناطق سیل خیز	P	آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بررسی پایداری زمین طرح و توسعه
۱۲	داده‌های مربوط به چاه‌های آب	P	ایجاد مدل تعادلی آب‌های زیرزمینی
۱۳	بانک داده‌های سطح آب‌های زیرزمینی	D	ایجاد مدل تعادلی آب‌های زیرزمینی بررسی آب‌های کم‌عمق مهندسی زمین ایجاد مدل آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی
۱۴	بانک داده‌های ژئوتکنیکی	D	بررسی پایداری زمین
۱۵	کاربری فعلی زمین	D	طراحی فضاهای شهری
۱۶	کاربری قدیمی زمین	D	بررسی زمین‌های آلوده

در جدول ۳-۲ داده‌های اولیه و اصلی در دسترس با علامت (P) مشخص شده و مابقی داده‌ها که از طریق تفسیر یا مدل‌سازی داده‌های اولیه (مانند عمق ترازهای جهت اولیه آب) به دست می‌آید با علامت (D) تعیین شده‌اند. ترسیم مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی و سطح آب از طریق تفسیر این داده‌های اصلی امکان‌پذیر است.

۳-۸-۱ نقشه‌ها

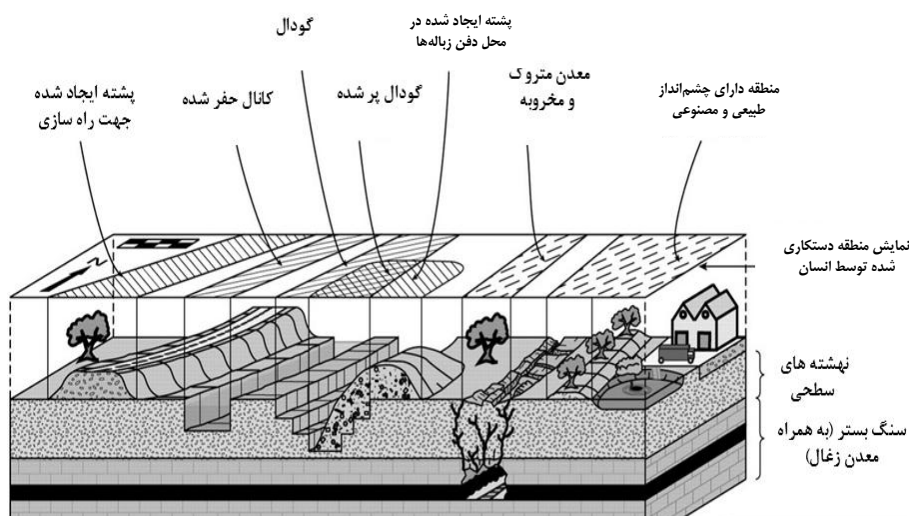
نقشه‌های زمین‌شناسی وارد محیط GIS می‌شوند تا دید کلی از یک منطقه شهری ارائه کنند. تصویر حاصل از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی بزرگ مقیاس به این منظور مناسب نیستند، به ویژه در مناطق شهری که اطلاعات توپوگرافی بسیار سنگین است و یا مناطقی که دارای زمین‌شناسی پیچیده‌ای هستند.

در ابتدای یک پروژه باید بررسی بر روی تهیه نقشه بزرگ مقیاس (شکل ۳-۲) انجام شود تا مشخص شود چه مقدار نقشه‌های موجود نیازمند به‌روزرسانی هستند. این مسئله وابسته به مقدار حفاری‌ها و سایر داده‌هایی است که پس از تهیه نقشه به دست آمده است. به منظور تهیه نقشه‌های تجسمی سه بعدی، معمولاً ذخایر سطحی نیازمند بازنگری و اصلاحات هستند، به دلیل این که در اغلب مناطق شهری مدل زمین‌شناسی سنگ‌بستر از مطالعات زمین‌شناسی سطحی و داده‌های حفاری به دست آمده است که برای مقاصد مدل‌سازی سه بعدی مناسب هستند.

• استانداردها و روش‌شناسی نقشه‌برداری زمین‌شناسی: روش به‌روزرسانی و

نقشه‌برداری در یک محیط کاملاً رقومی توسط هووارد و همکاران (۲۰۰۱) تشریح شده است. به‌روزرسانی نقشه‌های زمین‌شناسی مستلزم مطالعات صحرایی تکمیلی است تا توزیع منابع مصنوعی که عمدتاً حاصل گودبرداری و یا پرکردن زمین است، نیز مورد توجه قرار گیرند. برای نقشه‌برداری چنین مناطقی نیاز به مطالعات اولیه استریوگرافی عکس‌های هوایی است و پس از آن از طریق مطالعات میدانی بررسی‌ها تکمیل می‌شود. بررسی دقت نقشه‌های زمین‌شناسی موجود باید با توجه به عوارض زمین‌ریخت‌شناسی و داده‌های حاصل از حفاری صورت گیرد. در مناطقی برجستگی‌های توپوگرافی شدید، ارتباط بین مرزهای زمین‌شناسی و عوارض ریخت‌شناسی از طریق اسکن عکس بزرگ مقیاس زمین‌شناسی و انتقال آن به درون مدل رقومی زمینه امکان‌پذیر است.

توضیحات کامل و دقیق واحدهای زمین‌شناسی و ویژگی‌های آب‌شناسی و مهندسی آن‌ها باید در طی بررسی‌های صحرایی بروزردها تعیین شوند. افزون بر این، حفاری‌های و گمانه‌ها می‌توانند به تعیین توالی سنگ‌شناسی به ویژه ذخایر سطحی کمک شایانی کنند. در صورت امکان باید نمونه‌های دستی به منظور مطالعات بیش‌تر آزمایشگاهی برداشت شده و عکس‌های مناسبی در طی مطالعات صحرایی تهیه شوند.



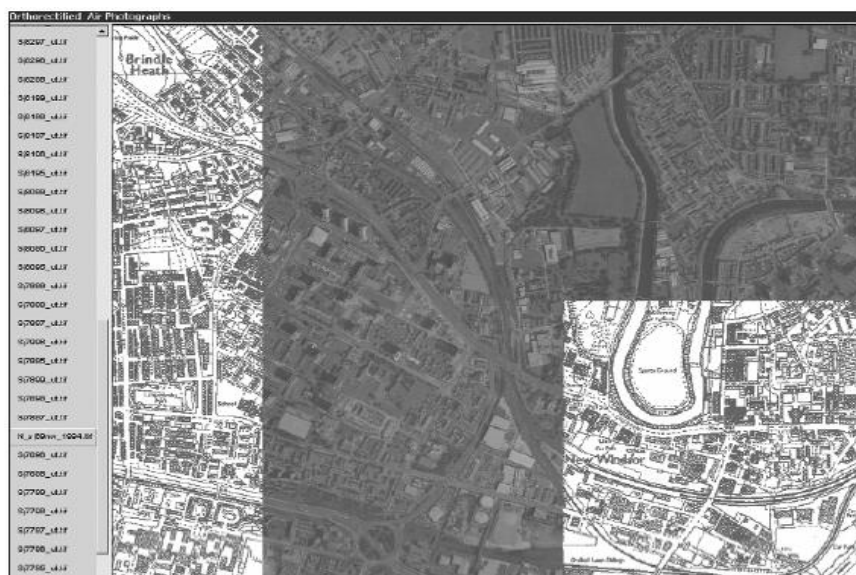
شکل ۳-۲. نمونه‌ای از نقشه زمین‌شناسی و نمایش انواع کاربری زمین به‌همراه نشانه‌های آن‌ها که توسط سازمان زمین‌شناسی بریتانیا مورد استفاده قرار می‌گیرد (فورد و همکاران، ۲۰۱۰).

تمام نقشه‌های زمین‌شناسی باید به‌صورت رقومی درآیند. واحدهای سنگ‌شناسی و معدنی نیز باید براساس استاندارد مورد استفاده در نقشه‌های یاد شده وارد محیط GIS شوند. بدیهی است نقشه‌های رقومی زمین‌شناسی در محیط GIS به جدولی مرتبط است که داده‌های گوناگون مربوط به نقشه در آن قابل ویرایش و پردازش است.

۳-۸-۲ عکس‌های هوایی عمودی

عکس‌های هوایی برجسته به‌منظور تشخیص و نقشه‌برداری واحدهای زمین‌شناسی و معدنی طبیعی و همچنین انواع عوارض مصنوعی زمین از طریق روش‌های سستی استریوسکوپ و از طریق فتوگرامتری^۱ رقومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دقت و مقدار جزئیات زمین‌شناسی به‌دست‌آمده اغلب تابعی از زمان در دسترس و تجربه کارشناس است. تجربه تفسیر عکس‌های هوایی در مناطق شهری نشان داده است که تشخیص اغلب عوارض زمین‌شناسی اگر غیرممکن نباشد، بسیار دشوار است.

۱. به فرایند اندازه‌گیری تصاویر اجسام بر روی عکس‌های هوایی گفته می‌شود.



شکل ۳-۳. نمونه‌ای از نمایش عکس‌هوایی (بخش سایه‌دار) بر روی یک نقشه توپوگرافی بزرگ‌مقیاس. بخش سایه‌دار عکس واقعی هوایی است که از طریق روش زمین‌مرجع^۱ کردن با نقشه توپوگرافی تلفیق شده است.

- عکس‌برداری هوایی به‌منظور چهار هدف مهم زیر به‌کار برده می‌شود:
- ساختار عوارض زمین‌شناسی ناحیه‌ای که می‌توان از طریق بررسی مناطق شهری به‌آن دست یافت.
- نمایش عکس‌های هوایی بر روی نقشه‌های توپوگرافی رقومی (شکل ۳-۳)
- طبقه‌بندی محیط شهری براساس پوشش سطح زمین که می‌تواند به‌منظور بررسی رسوبات و آبخوان‌های سطحی مورد استفاده قرار گیرد.
- نقشه زمین‌های ساخته شده.

۳-۸-۳ مدل رقومی زمین^۲ و مدل رقومی ارتفاعی^۳

یک DTM به‌طور خلاصه مدلی رقومی است که سطح زمین را به‌صورت سه‌بعدی نمایش می‌دهد و در آن برخی عوارض مانند ساختمان‌ها و جنگل‌ها حذف می‌شوند،

1. Georeferencing

2. DTM = Digital Terrain Model

3. DEM = Digital Elevation Model

در صورتی که در DEM داده‌های مربوط به عوارض یاد شده وجود دارند. در مورد مناطق شهری بهتر است هر دو مدل مورد استفاده قرار گیرند. به عنوان مثال جهت بررسی عمق گمانه‌ها، به راحتی می‌توان آن‌ها را در یک DTM پلات کرد. در مقابل به منظور نقشه‌برداری زمین‌های ساخته شده، ترجیحاً DEM مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا عوارض به صورت کامل در آن وجود دارد.

یکی از جنبه مهم کاربرد ویژگی واحدهای زمین‌شناسی، دانستن موقعیت دقیق آن‌ها در فضای عمودی است. یک DTM دقیق و مناسب برای ایجاد نقشه دوبعدی زمین‌شناسی و بررسی سه‌بعدی بسیار ضروری است.

• **استانداردها و روش‌ها:** یک DTM به روش‌های مختلف از ترازها و با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف تولید می‌شود. بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که براساس روش مثلث‌بندی دلونی^۱ مورد استفاده در بخش Vertical Mapper نرم‌افزار MapInfo که یک نرم‌افزار مستقل GIS است، بهترین نتایج را برای پروژه‌های شهری به دست می‌دهد. این نرم‌افزار اطلاعات جامع و تخصصی را در اختیار متخصصان و تحلیل‌گران قرار می‌دهد تا اطلاعات مربوط به هر قسمت از نقشه را به صورت متمرکز در نرم‌افزار در دسترس خود داشته باشند. از جمله قابلیت‌های این نرم‌افزار می‌توان به نمایش مناسب داده‌های گرافیکی، نمایش دقیق مختصات، امکان فراخوانی داده‌های رستری و وکتوری در فرمت‌های مختلف و همچنین امکان اتصال به بانک‌های اطلاعاتی مختلف اشاره کرد. البته نرم‌افزار ArcGis به مراتب دارای امکانات و ماژول‌های پیشرفته‌تری است و به این دلیل کار با آن دشوارتر است. ERDAS Imagine نیز دارای کیفیت برتر نمایش سه‌بعدی، یکپارچه‌سازی داده‌ها و پویانمایی بوده و به منظور تحلیل و تفسیر داده‌ها بسیار مناسب است. هدف اصلی این نرم‌افزار آماده‌سازی تصویر و اطلاعات استخراجی از آن جهت واردسازی به سیستم اطلاعات جغرافیایی و محیط CAD است.

۳-۴ پایگاه داده گمانه‌ها

پایگاه داده گمانه‌های حفاری شده به همراه DTM و نقشه‌های زمین‌شناسی می‌تواند

ارتباط سه بعدی زمین شناسی و سایر دسته داده ها را برقرار ساخته و نمایش مناسبی از آن ها جهت درک بهتر فراهم آورد.

حجم اطلاعات وارد شده به پایگاه داده گمانه ها در ابتدای هر پروژه ای تعیین می شود. این مسئله وابسته به اهداف پروژه، مقدار پیچیدگی زمین شناسی و منابع در دسترس است. مقدار اطلاعات دقیق نهشته های سطحی وارد شده در پایگاه داده متغیر است که از ابتدا براساس مدل مفهومی این نهشته ها تعیین می شود. به طور طبیعی رأس و کف واحدها عمدتاً از رس، ماسه و شن (رسوبات تراس های رودخانه ای و یخرفت ها)، سیلت (رسوبات دریاچه یخچالی) و ماسه (رسوبات یخرفت) تشکیل می شوند. به این دلیل فرایند انتخاب مستلزم ساده سازی جزئیات بسیاری از لاگ های گمانه ها است. کافی است برای ثبت تغییرات جزئی سازندها در پایگاه داده ها، به وارد کردن افق های چینه شناسی مهم پرداخته شود. یکی از اصول در این زمینه تعیین مرزهای زمین شناسی شامل آب شناسی، ژئوتکنیکی و اقتصادی است. اصل دیگر در نظر گرفتن این مسئله است که به طور کلی لایه ای با ضخامت بیش از ۵۰ متر در زیر سطح زمین در مناطق شهری مشخصات نسبتاً کمی از وضعیت زمین را ارائه می کند به جزء این که آن لایه به صورت آبخوان عمل کرده و یا در آن معدنکاری صورت گیرد.

- **استانداردها و روش ها:** داده های مربوط به گمانه ها باید به صورت جدولی تنظیم شوند. مهم ترین ویژگی این جدول آن است که برای لیتولوژی های مختلف باید کد اختصاص یابد. این کد معمولاً نام سنگ ها است که می تواند با یا بدون توصیفات مربوط به آن سنگ باشد.

۳-۸-۵ منحنی تراز رأس سنگ بستر^۱

موقعیت رأس سنگ بستر یکی از افق های مهم وارد شده به بانک داده ها است که در زمینه مدل سازی مهم ترین فصل مشترک زمین شناسی کمک می کند. افق های این رئوس سنگ بستر تقریباً معادل با کف رسوبات کواترنری است و بنابراین با درجه ای از دقت می توان به مدل سازی آن پرداخت. تعریف و معیار تشخیص افق مهندسی^۲ متفاوت

1. Rockhead Contours

۲. سطحی است که در آن سطح، سنگ توانایی تحمل ایجاد ساختمان های بزرگ را دارد.

است و تعیین آن از طریق لاگ‌های حاصل از گمانه‌ها به‌تنهایی سخت است. تعریف کلی افق مهندسی، سطحی از ماده است که دارای خواص ژئوتکنیکی سنگ باشد. عمق آغاز حفر مغزه دورانی، معمولاً معیار خوبی برای مشخص کردن افق مهندسی است که می‌توان آن را به پایگاه داده‌های گمانه‌ها افزود. مقدار اعتبار این سطح کم‌تر از موقعیت رأس سنگ‌بستر است به‌ویژه هنگامی که مرز درون یک نیمرخ هوازده قرار گیرد.

علاوه بر داده‌های مربوط به گمانه‌ها، اطلاعات مربوط به افق مهندسی را نیز می‌توان با چاه‌نگاری^۱ گمانه‌های حفر شده در مناطق هوازده به‌دست آورد (آنون، ۱۹۹۵). روش مدل‌سازی این افق و داده‌های دیگر در بخش‌های دیگر این فصل از کتاب ذکر خواهد شد.

۳-۸-۶ اطلاعات مربوط به خاک‌های مناطق شهری

خاک از دیدگاه خاک‌شناسی و زمین‌شناسی به رسوبات سطحی گفته می‌شود و یا سنگی است که در اثر تغییرات شیمیایی به خاک تبدیل می‌شود. مهم‌ترین فرایندهای خاک‌ساز عبارتند از هوازگی، اکسیداسیون/احیا، شستشو/ته‌نشینی، گياخاک‌سازی و تولید خاک نارس^۲. نیمرخ خاک شامل افق‌های مختلفی است که هر کدام از طریق بافت، ساخت، رنگ، تداوم، سنگلاخی‌بودن، مقدار مواد زیستی و درجه گسترش ریشه قابل تشخیص هستند. بهترین حالت آن است که نیمرخ‌های خاک در واحدهای سنگ‌شناسی ثبت‌شده و ویژگی آن‌ها بر حسب pH روخاک^۳ و زیرخاک^۴، وضعیت مواد زیستی، ظرفیت کشاورزی، مقدار سنگ و CaCO_3 ذکر شود. این اطلاعات می‌تواند از نقشه‌های خاک استخراج شود اما متأسفانه این‌گونه نقشه‌ها به‌ندرت تهیه شده‌اند.

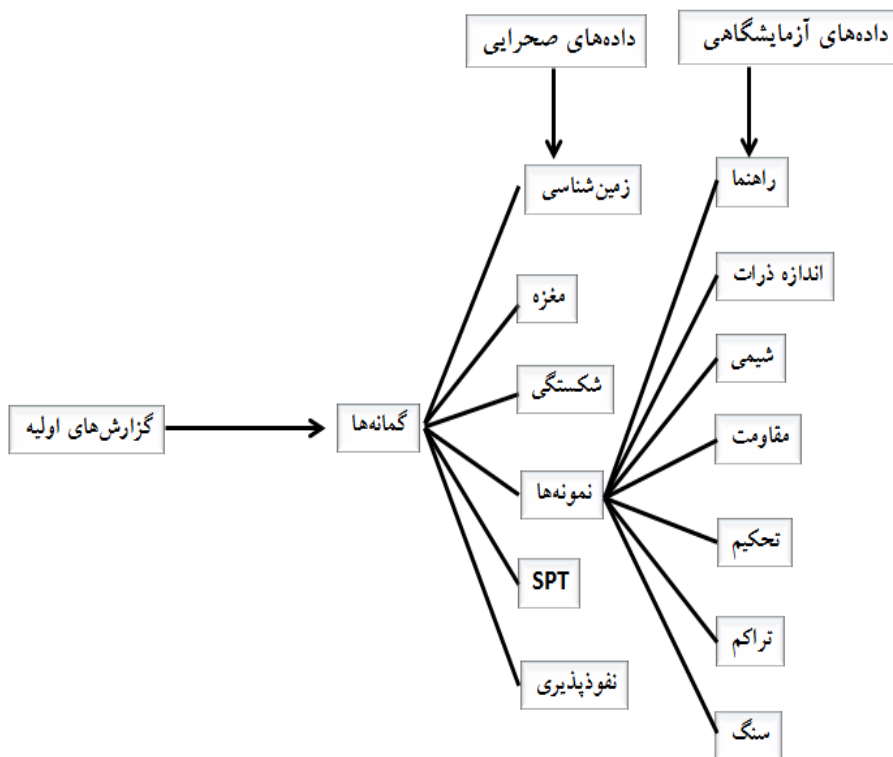
۳-۸-۷ پایگاه داده‌های ژئوتکنیکی

یکی از اهداف یک پروژه زمین‌شناسی شهری باید تعیین ویژگی ژئوتکنیکی واحدهای سنگی اصلی و همچنین ویژگی‌های مهندسی آن‌ها باشد. شکل ۳-۴ به‌صورت شماتیک ساده ساختار پایگاه ملی داده‌های ژئوتکنیکی بریتانیا را نمایش می‌دهد که می‌تواند برای ایجاد پایگاه داده‌های نمونه‌های حفاری شده از سایت‌های شاخص مورد استفاده قرار

1. Logging
2. Peat
3. Topsoil
4. Subsoil

گیرد. همچنین می‌توان از آرشیو نمونه‌های شرکت‌های فعال در این زمینه (به‌عنوان مثال شرکت مترو) استفاده کرد. اشکال این روش متفاوت بودن کیفیت داده‌های آزمایش‌های مهندسی است.

یکی از فواید احتمالی داده‌هایی که از چاه‌نگاری گمانه‌های جدیدتر به‌دست می‌آید، اطلاعات توصیفی و پارامترهای ژئوتکنیکی رقومی است. به‌عنوان مثال، توصیفات سنگ‌شناسی و ناپیوستگی (درزه، شکست و فضای بین لایه‌ای) باید در یک قالب استاندارد ارائه شوند (مثلاً ضعیف، قوی، بسیار قوی و غیره) تا مفهوم پیدا کنند. به‌منظور تکمیل داده‌های حاصل از بررسی سایت نمونه‌برداری، اطلاعات ویژگی‌های مهندسی علاوه بر گمانه‌ها، از برونزدها نیز گردآوری می‌شوند. محاسبات چگالی، تراکم و مقاومت صحرایی با استفاده از نفوذسنج جیبی انجام می‌شود.



شکل ۳-۴. ساختار بسیار ساده از پایگاه ملی داده‌های ژئوتکنیکی بریتانیا.

۳-۸-۸ خروجی موضوعی

سه موضوع مهم مهندسی ساخت و توسعه عبارتند از پایداری زمین به منظور حفاظت از بناها، سهولت حفر زمین و مناسب بودن مصالح زمین برای کاربردهای ساختمانی. اطلاعات موردنیاز در زمینه موضوعات یاد شده را می‌توان از پایگاه داده‌های خواص ژئوتکنیکی و مشاهدات صحرایی به دست آورد. یکی از جامع‌ترین اطلاعات موردنیاز در نقشه موضوعی ارائه شده توسط واترز و همکاران (۱۹۹۶) مطرح شده است. به منظور منظم‌سازی اطلاعات به دست آمده، واحدهای اصلی سنگ‌بستر به دسته‌های اصلی مهندسی تقسیم می‌شوند، به عنوان مثال گل‌سنگ‌ها یا ماسه‌سنگ‌های سخت. اطلاعات هر دسته در ارتباط با نمونه‌های شاخصی است که از بررسی‌های سایت‌ها، گسل‌های زمین‌شناسی، هوازدگی، نفوذپذیری، استحکام و تراکم‌پذیری به دست می‌آیند. خاک‌های مهندسی (عمدتاً رسوبات سطحی) به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

- خاک‌های نرم - سخت (رس)
 - خاک‌های نرم - سست (آبرفت)
 - خاک‌های ناپیوسته (رسوبات تراس رودخانه‌ای)
 - خاک‌های زیستی (خاک تورب‌دار)
 - رسوبات بسیار متنوع مصنوعی.
- اطلاعات مربوط به داده‌های مهندسی برای هر سه موضوع یاد شده در جدول ۳-۳ ارائه شده است.

۳-۸-۹ کاربری قدیمی زمین

زمین‌های مناطق شهری را براساس کاربری قدیمی می‌توان به دسته‌های گوناگونی طبقه‌بندی کرد. نمونه‌ای از این دسته‌بندی‌ها در جدول ۳-۴ نشان داده شده است. هر دسته دارای کد مخصوص به خود خواهد بود و محدوده آن‌ها به صورت پلی‌گون در محیط GIS رقومی می‌شوند، سپس تمام اطلاعات مربوط به محدوده‌های یاد شده در جدولی که به پلی‌گون لینک است، وارد شده تا در مراحل بعدی از آن‌ها استفاده شود.

۳-۸-۱۰ کاربری فعلی زمین

کاربری فعلی زمین‌ها در مناطق شهری نیز مانند کاربری قدیمی باید دسته‌بندی شوند. برای نمونه در یکی از پروژه‌های سازمان زمین‌شناسی بریتانیا که برای شهر منچستر اجرا شده است، ۱۳ نوع کاربری زمین که براساس نقشه پایه ۱: ۱۰۰۰۰ و همچنین عکس‌های هوایی تعریف شده که در جدول ۳-۵ قابل مشاهده هستند.

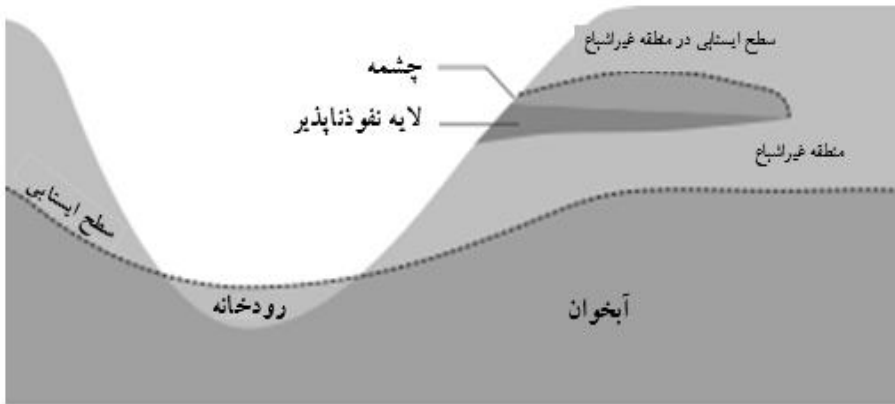
- **پایگاه داده‌های سطوح آب‌های زیرزمینی و جهات اصلی آن‌ها:** پایگاه داده‌های سطوح آب‌های زیرزمینی شامل اطلاعاتی در مورد عمق آب است که از طریق حفر چاه‌ها در مناطق شهری، اطلاعات مربوط به مطالعات سایت‌ها، اطلاعات مربوط به چاهک‌های جاذب آب و چشمه‌ها به دست می‌آید.

داده‌ها در شش جدول زیر خلاصه می‌شوند:

- اطلاعات ثبت چاه‌ها
- جزئیات جهت حرکت آب
- سطوح آب‌ها
- آزمایش‌های چاهک مکش
- اطلاعات مربوط به لوله‌گذاری
- آنالیز آب.

این جداول با مشخصات مهندسی که پیش از این ذکر شد، مطابقت دارند. بررسی اولیه‌ای از واحدهای زمین‌شناسی با احتمال وجود آب براساس مدل سه بعدی زمین‌شناسی باید صورت گیرد. پایگاه داده‌هایی که برای سطوح آب ایجاد شده به منظور مدل‌سازی عمق اولین سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مسئله می‌تواند به طور مثال تعریفی از عمق حفاری یا شرایط زمین را ارائه دهد. سطح اولین محل برخورد با آب مستقل از این است که آیا سطح ایستابی آب درون لایه سطحی یا لایه سخت، در منطقه غیراشباع قرار دارد و یا در آبخوان اصلی و فرعی (شکل ۳-۵). این مسئله را می‌توان از بررسی سه بعدی زمین‌شناسی به دست آورد.

همچنین نوسانات فصلی نیز نباید مبنا قرار گیرد. با استفاده از دسته داده‌هایی که به دوره‌های معینی مربوط هستند، مدل عمق آب را می‌توان بهینه ساخت.



شکل ۳-۵. موقعیت سطوح ایستابی در مناطق اشباع و غیر اشباع. همان‌گونه که در شکل مشخص است سطح ایستابی می‌تواند از نظر توپوگرافی در بالای منطقه اشباع نیز قرار داشته باشد (اقتباس از ویکی‌پدیا).

۳-۸-۱۲ داده‌های ژئوشیمیایی

تمرکز بسیاری از مواد در محیط‌های شهری به دلیل آلودگی‌های جوی و زمین بالا می‌رود. زمین در مناطق یاد شده اغلب دچار به هم ریختگی و دست‌خوردگی شده و از این رو ویژگی‌های ژئوشیمیایی با رسوبات سطحی مناطق مجاور متفاوت است. حتی در مناطق دست‌نخورده شهری نیز بسیاری از مواد مضر (مانند زباله و فاضلاب) نسبت به مناطق روستایی بیش‌تر است. بررسی اولیه ژئوشیمیایی می‌تواند مناطقی که غلظت آلاینده‌های آن بالا است را معین کرده و مقادیر پایه را به منظور مقایسه با مناطق غیر آلوده روستایی تعیین کند.

نمونه‌برداری اولیه ژئوشیمیایی در محیط شهری باید یکی از راهبردهای اصلی سازمان زمین‌شناسی و یا شهرداری‌ها باشد که براساس آن دیدگاه سیستماتیک نسبت به مناطق شهری به منظور برنامه‌ریزی‌های کلان توسعه‌ای حاصل شود. پیشنهاد می‌شود براساس مساحت شهر مورد مطالعه به صورت شبکه‌بندی شده (مثلاً هر ۵۰۰×۵۰۰ متر یک نمونه یا هر چهار نمونه در دو کیلومتر مربع) نمونه‌برداری صورت گیرد. در مناطق روستایی معمولاً تراکم نمونه‌برداری نصف این تعداد است. در سایت‌های شهری مورد مطالعه معمولاً دسترسی به خاک محدود بوده و فقط در باغ‌ها، پارک‌ها، حاشیه جاده‌ها، فضاها، باز، زمین‌های ورزشی و زمین‌های متروک است.

جدول ۳-۴. دسته‌بندی زمین‌های مناطق شهری که احتمال آلودگی دارند (براساس نمونه‌ای از پروژه‌های زمین‌شناسی شهری انجام شده در شهر منچستر انگلیس).

کد	دسته
C1	زمین کشاورزی
C2	کارخانجات استخراج و فرآوری مواد معدنی
C3a	معادن و کارخانجات استحصال گاز، زغال و کک
C3d/e	ایستگاه‌های نیرو (برق)
C4b	کارخانه تولید فلزات
C5b	کارخانه تولید آذیست
C6b	شیشه‌سازی
C7b	کارخانه‌های شیمیایی
C7a	تصفیه نفت
C8a	کارخانه‌های مهندسی
C9	کارخانه صنایع غذایی
C9b	کارخانه تولیدات محصولات دامی
C10a	کارخانه تولید خمیر کاغذ و کاغذ
C11a	کارخانه تولید چوب
C12b/d	کارخانه تولید پارچه
C14a	لنگرگاه، ایستگاه راه‌آهن و انبار
C14c	ایستگاه‌های انبار نفت
C14e	خطوط ریلی راه‌آهن
C14c	تعمیرگاه‌های وسایل نقلیه
C14d	فرودگاه‌ها
C15a	ایستگاه‌های تصفیه فاضلاب
C15c	سایت‌های تجمع و دفن زباله‌ها
C16	کارخانجات (عمومی)
C16d	لباسشویی‌ها
C16e	بیمارستان‌ها و گورستان‌ها

جدول ۳-۵. دسته‌ها و روش رقومی کردن مناطق شهری در شهر منچستر.

کد	توضیح	قوانین رقومی سازی
۱	کشاورزی	-
۲	جنگل یا درختستان	تعیین مناطق جنگلی (نه تنها درختان پارک) از طریق بررسی نقشه‌های توپوگرافی و شهری کمینه مساحت رقومی شده باید برابر با ۵۰ × ۵۰ متر باشد. اگر این مساحت بسیار کوچک بود، در صورت امکان باید با پلی‌گون‌های مناطق تفریحی ترکیب شوند.
۳	مناطق سبزه‌زار و یا بیابانی طبیعی	-

ادامه جدول ۳-۵. دسته‌ها و روش رقومی کردن مناطق شهری در شهر منچستر.

کد	توضیح	قوانین رقومی سازی
۴	مناطق آبدار و مرطوب	کانال‌ها و رودخانه‌های مشخص شده با دو خط مشخص شده‌اند رقومی شوند. از جریانات مشخص شده با یک خط صرف نظر شود.
۵	مناطق سنگی و ساحلی	-
۶	معادن و چاله‌های دفن زباله	از پلی‌گون‌های موجود سازمان‌های صنایع و معادن استفاده شود.
۷	مناطق تفریحی و سرگرمی	-
۸	حمل و نقل	جاده‌ها و مسیرهای عبور موتورهای رقومی شود. اگر کاربری زمین در دو طرف جاده فرعی متفاوت باشد، مرز پلی‌گون در امتداد مرکز جاده در نظر گرفته شود. پشته‌های مربوط به خطوط ریلی باید رقومی شوند.
۹	مسکونی	به صورت کلی رقومی شوند (در صورت امکان انواع ساختمان‌ها از نظر سال تأسیس و نوع مشخص شوند).
۱۰	ساختمان‌های عمومی	-
۱۱	مناطق صنعتی و تجاری	-
۱۲	مناطق و ساختمان‌های متروک	-
۱۳	ساختمان‌ها و مناطق نظامی	-

روش نمونه‌برداری ژئوشیمیایی استاندارد توسط فلایت و لیستر (۲۰۰۰) توضیح داده شده است. در هر سایت نمونه‌برداری، نمونه‌ها از عمق ۰/۱ تا ۰/۲ متر و ۰/۴ تا ۰/۵ متر حفرات حاصل از مته گرفته شده و اطلاعات لیتولوژی قطعات خاک شامل فراوانی نسبی، رنگ خاک و بافت به صورت فرم در پایگاه داده‌ها وارد می‌شوند (شکل ۳-۶).

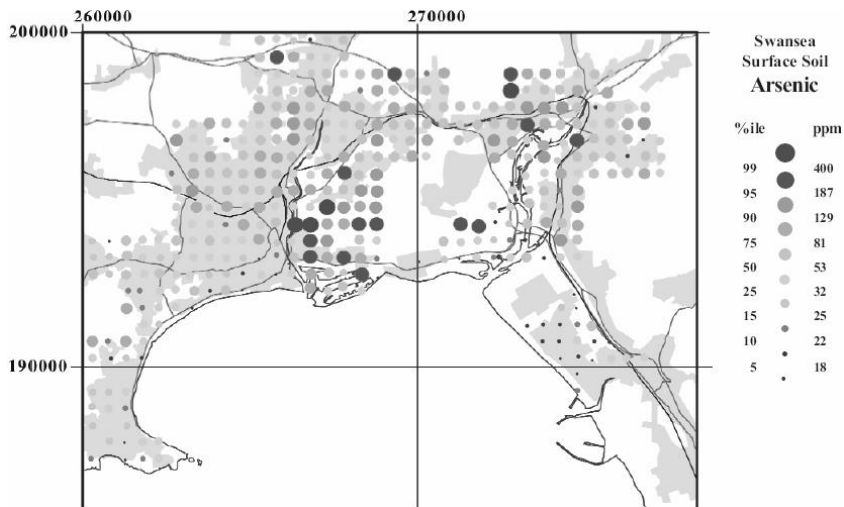
شکل ۳-۶. فرم ورود اطلاعات نمونه‌برداری ژئوشیمیایی صحرایی در برنامه G-BASE.

سری عناصر استاندارد آنالیز شده توسط روش XRF عبارتند از:

MgO, P₂O₅, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, V, Cr, Co, Ba, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pb, Bi, Th, U, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, La, Ce, W

امروزه آنالیز تا بیش از پنجاه عنصر نیز امکان‌پذیر است. علاوه بر آن، آنالیز pH و LOI نیز انجام می‌شود.

داده‌های مناطق شهری بر روی نقشه‌هایی با نشانه‌های متناسب ارائه می‌شود. این روش موجب جلوگیری از برون‌یابی نامناسب بین نقاط نمونه‌برداری و داده‌های موجود در فرم شده و باعث ارائه بهتر ارتباط مکانی نمونه‌های اخذ شده از مناطق شهری می‌شود (شکل ۳-۷). نقشه‌های پراکنش مس در مناطق شهری و روستایی برای مقایسه در شکل ۳-۸ ارائه شده‌اند. داده‌های موجود در برنامه G-BASE می‌تواند دیدگاه کلی در زمینه گسترش عناصر در محیط‌های شهری ارائه کند. به عنوان مثال، شکل ۳-۷ تمرکز بالای آرسنیک را در خاک‌های سطحی در سوانسی^۱ نشان می‌دهد که مرتبط با بارانداز تاو^۲ و دره‌های رودخانه نیث^۳ و محل فعالیت قبلی کارخانجات بزرگ است.



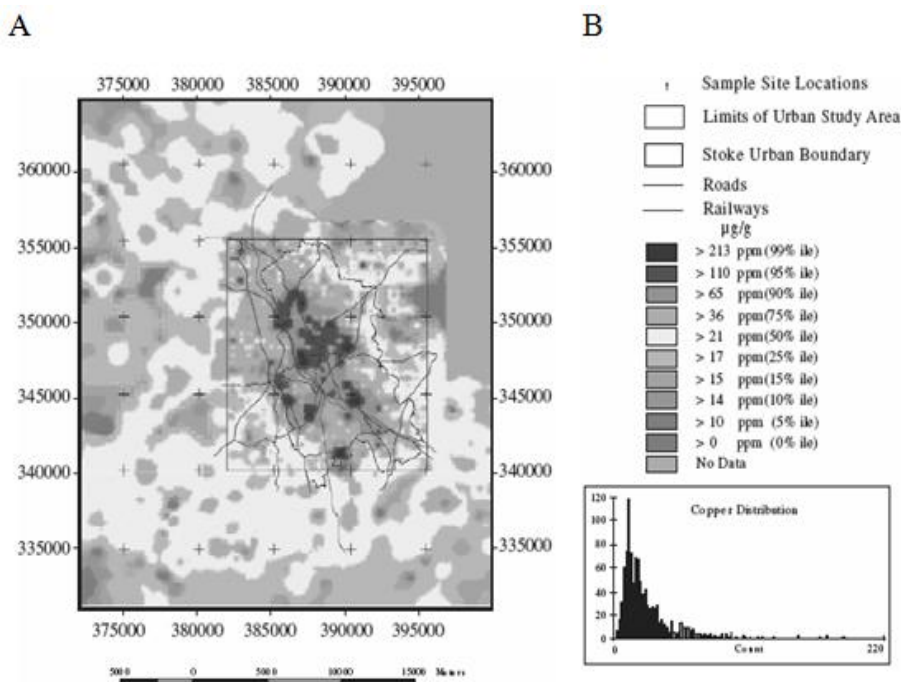
شکل ۳-۷. نمونه‌ای از نقشه دارای سمبل متناسب که تمرکز کلی آرسنیک را در خاک‌های سطحی منطقه سوانسی انگلیس نشان می‌دهد. حد آستانه برای باغ‌های خانگی و باغچه‌ها برای عنصر آرسنیک ۱۰ میلی‌گرم در گرم (۱۰ ppm) است.

1. Swansea
2. Tawe
3. Neath

این گونه توزیع عناصر با توجه به نوع کاربری زمین قابل پیش‌بینی است. نتایج حاصل از نرم‌افزار G-BASE داده‌های کمی مرتبط با مقادیر آلاینده‌ها و نوع توزیع عنصر را مهیا می‌کند و در مقایسه با سایر بخش‌های شهر نشان می‌دهد که این بخش‌های آلوده مستلزم بررسی‌ها و توجه بیشتری هستند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای G-BASE مقایسه بین غلظت عناصر در مناطق شهری و مناطق روستایی مجاور آن است. این مقایسه باعث می‌شود مدل توزیع آلودگی و احتمالاً منشأ آن معین شود. شکل ۳-۸ نمونه‌ای از مقایسه توزیع مس در خاک‌های مناطق شهری/روستایی منطقه استوک‌آن‌ترنت^۱ نشان می‌دهد که غلظت عناصر در محیط‌های شهری نسبت به مناطق روستایی بالاتر است.

تلفیق داده‌های حاصل از مطالعات میدانی و کدهای اختصاصی کاربری زمین برای هر سایت نمونه موجب می‌شود که پایگاه داده‌های نمونه‌برداری ژئوشیمیایی با سایر پایگاه داده‌های زمین‌شناسی شهری مرتبط شود. انجام پروژه‌های زمین‌شناسی شهری ممکن است مستلزم نمونه‌گیری ژئوشیمیایی بیش‌تر باشد تا بتوان حد آلودگی مناطق مختلف را تعیین کرد به‌عنوان مثال در هر سایت نمونه‌برداری، یک نمونه از عمق ۴۵ سانتی‌متری و در صورت برخورد با لایه زیرین (که غالباً سنگ مادر است) یک نمونه نیز از آن باید برداشت شود. این نمونه ممکن است از عمقی بیش از ۴۵ سانتی‌متر (پیشنهاد شده بیش از ۱۰۰ سانتی‌متر نشود) برداشت شده تا نمونه‌ای حاوی لایه مادرزیرین به‌دست آید. در صورتی که به لایه مادر برخورد نشود، برداشت فقط یک نمونه (از خاک یا زمین‌ساخته شده) کافی است. از طریق نمونه‌هایی که به این روش گردآوری می‌شوند می‌توان مستقیماً بین ویژگی‌های ژئوشیمیایی رسوبات سطحی و لایه مادر زیر مقایسه‌ای انجام داد.

سایت‌هایی که در مجاورت انسان‌ها (مثلاً باغچه‌ها، پارک‌ها و زمین‌های بازی) هستند از نظر داده‌های ژئوشیمیایی برای برخی از کاربران دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. در اغلب این مکان‌ها در خلال برنامه متداول نمونه‌برداری ژئوشیمیایی مناطق شهری نمونه‌برداری صورت می‌گیرد. هر کدام که خارج از شبکه استاندارد G-BASE باشند باید مجدداً بازرسی و نمونه‌برداری صورت گیرد. نتایج نباید در آنالیزهای آماری ژئوشیمیایی وارد شوند، بلکه باید به‌صورت یک دسته داده برای آنالیز تمرکز عناصر در یک زمین با کاربری مخصوص متمرکز شوند.



شکل ۳-۸. (A) نقشه ژئوشیمیایی تمرکز مس در نیمرخ‌های خاکی مناطق شهری و روستایی استوک‌آن‌ترنت انگلیس که نوع پراکنش این عنصر را در مناطق شهری نشان می‌دهد. (B) مجموع داده‌های مرتبط با غلظت مس در خاک برای مناطق روستایی و شهری در عمق متوسط ۴۵ سانتی‌متری.

۳-۸-۱۳ اطلاعات مربوط به خسارت ساختمان‌ها

خسارت ساختمانی ناشی از افت که می‌تواند حاصل انقباض و انبساط رس‌ها، معدن‌کاری زیرزمینی یا زمین‌لغزش باشد، باید به‌عنوان یکی از اهداف مطالعه هر پروژه زمین‌شناسی شهری در نظر گرفته شود. روش ایده‌آل برای گردآوری داده‌ها عبارتست از بررسی میدانی، داده‌های به‌دست‌آمده توسط شرکت‌های مهندسی عمران در طی بازسازی سازه‌های خسارت‌دیده، داده‌های معدنی و سایر داده‌های قبلی موجود. مشاهدات در پایگاه داده‌های لینک شده به یک نقشه توپوگرافی وارد شده تا مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. روش استاندارد برای ثبت شدت خسارت‌ها در جدول ۳-۶ ارائه شده است. دسته‌بندی‌ها عمدتاً براساس فری‌من و همکاران (۱۹۹۴) تنظیم شده است.

جدول ۳-۶ طرح رتبه‌بندی خسارت ساختمان در اثر افت ناشی از معدن‌کاری، انبساط و انقباض و زمین‌لغزش.

نوع خسارت	توصیف نوع خسارت به ساختمان	توصیف خسارت‌های همزمان به راه‌ها و خیابان‌ها
بسیار اندک	ترک‌های ریز، عمدتاً محدود به رنگ دیوارها: ترک‌ها به‌ندرت در آجرنما قابل مشاهده است. عموماً پهنای ترک‌ها حداکثر یک میلی‌متر است و معمولاً از بیرون قابل مشاهده نیست.	غیرقابل مشاهده
اندک	ترک‌ها لزوماً رخنمون ندارند، درها و پنجره‌ها ممکن است کمی به‌سختی باز و بسته شوند، عموماً پهنای ترک‌ها حداکثر پنج میلی‌متر است و ثبت آن‌ها از بیرون دشوار است.	معمولاً خسارات چندان قابل‌ذکر نیستند.
متوسط	ترک‌ها توسط بنا قابل تعمیر است. ترک‌ها در آجرها مشاهده‌شده و ممکن است نیاز به تعویض برخی از آجرها احساس شود. درها و پنجره‌ها به‌سختی باز و بسته می‌شوند و کمی به‌سمت دیوارها خم می‌شوند. لوله‌های گاز یا آب ممکن است ترک بردارند. عموماً پهنای ترک‌ها حداکثر ۵-۱۵ میلی‌متر بوده و از بیرون قابل مشاهده هستند.	فرورفتگی اندک زمین یا بزرگراه که برای رانندگان قابل حس است اما ممکن است برای عموم واضح نباشد. معمولاً با انجام تعمیرات سطحی قابل اصلاح است اما ممکن است به‌صورت محلی نیاز به بازسازی داشته باشد.
شدید (۱)	خسارت گسترده که مستلزم تخریب و بازسازی دیواره‌ها است، به‌ویژه در اطراف درها و پنجره‌ها. چارچوب پنجره‌ها و درها کج شده و کف زمین به‌طور قابل‌توجهی شیب برمی‌دارد. دیوارها کج شده و یا شکم می‌دهند و برخی تراز خود را از دست داده و موجب فروریزش ساختمان می‌شوند. لوله‌های انشعابات تخریب می‌شوند. پهنای ترک‌ها حداکثر ۲۵-۱۵ میلی‌متر بوده و از بیرون کاملاً قابل مشاهده هستند.	افت زمین محسوس است که اغلب با ترک‌خوردگی در بزرگراه‌ها همراه است. برای افراد عادی نیز خسارت محسوس است. سوراخ‌های کوچکی ممکن است ایجاد شود. بازسازی بزرگراه ممکن است مستلزم کنده‌کاری و بازسازی سنگ‌فرش باشد.
شدید (۲)	تخریب ساختمان‌ها به شکلی که نیازمند بازسازی عمده است که شامل بخشی یا کل ساختمان می‌شود. دیوارها کج شده و باید با شمع‌کاری اصلاح شوند و پنجره‌ها خرد می‌شوند. خطر ناپایداری وجود دارد. پهنای ترک‌ها بیش از ۲۵ میلی‌متر بوده که از بیرون کاملاً قابل مشاهده هستند.	افت محسوس زمین به همراه ترک‌خوردگی در بزرگراه‌ها و فضاهای باز. سوراخ‌های کوچکی ممکن است ایجاد شود. معمولاً خطوط لوله در بزرگراه‌ها از بین رفته و نیازمند بازسازی عمده هستند.
فروریختگی بخشی	فروریختگی بخشی	فروریختگی زمین یا بزرگراه، ایجاد حفره‌های بزرگ در زمین، تخریب خطوط انتقال
فروریختگی کلی	فروریختگی کلی	تشکیل حفره‌های بزرگ یا شکاف در زمین

۳-۸-۱۴ منابع معدنی

پروژه‌های زمین‌شناسی شهری در مکان‌های دارای منابع معدنی مهم صورت نگرفته است. نقشه‌های موجود زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ در ایران نمی‌توانند گسترش و پتانسیل معدنی شهرها را نشان دهند و فقط به صورت محدود نقاط معدنکاری قدیمی (معدن شدادی) نشان داده می‌شوند. پروژه‌های زمین‌شناسی شهری باید این نقیصه را برطرف کرده و اطلاعات دقیق‌تری از مقدار و گسترش مواد معدنی و همچنین ارتباط آن‌ها با کاربری قبلی و فعلی زمین‌ها در مناطق شهری و همچنین آب‌های زیرزمینی ارائه کنند. این اطلاعات باعث خواهد شد تا از هدررفت و بدون استفاده ماندن منابع معدنی در مناطق یاد شده جلوگیری شود.

۳-۸-۱۵ مخاطرات زمین‌شناسی

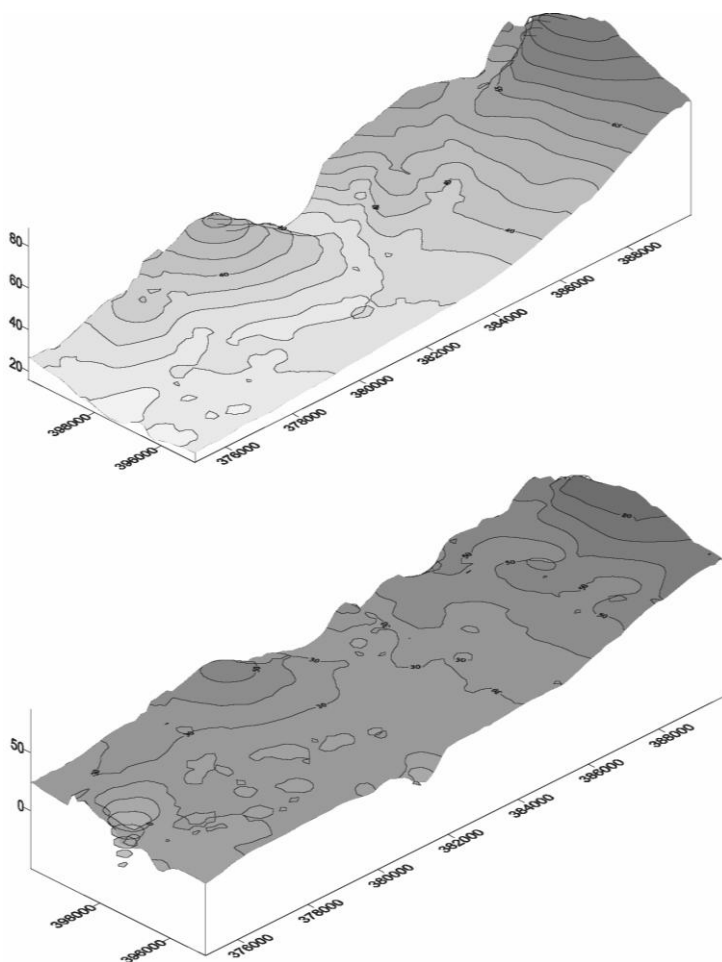
مخاطرات زمین‌شناسی بخش مهم و الزامی همه پروژه‌های زمین‌شناسی شهری است. مهم‌ترین مخاطرات در مناطق یاد شده عبارتند از: زلزله، زمین‌لغزش، انبساط و انقباض خاک در اثر جذب آب و از دست دادن آن، تراکم شدید در اثر بار رویی (لایه تراکم‌پذیر) و انحلال (در مناطق کارستی). پروژه‌های زمین‌شناسی شهری از داده‌های واحدهای زمین‌شناسی سخت و سطحی، ویژگی‌های ژئوتکنیکی آن‌ها، مقدار شیب و در برخی موارد ویژگی‌های زمین‌آب‌شناسی استفاده می‌کند تا میزان خطرپذیری یک لایه زمین‌شناسی را تعیین کند.

۳-۸-۱۶ بقایای معدنکاری

داده‌های اصلی حاصل از معدنکاری در مناطق شهری عمدتاً عبارتند از نقشه‌ها و برنامه‌های معدنی و محل چاه‌های معدنی. مواردی که توسط پروژه‌های زمین‌شناسی شهری در مناطق معدنی قبلی مورد بررسی قرار می‌گیرند شامل بالآمدگی آب معدن و اثرات مرتبط با آن از قبیل انتشار گاز و فعالیت مجدد گسل‌ها است. هدف پروژه، بررسی‌های داده‌های سه‌بعدی GIS در مورد زمین‌شناسی سطحی و سخت، دسته داده‌های اصلی مرتبط با معدنکاری، داده‌های مرتبط با گسلش و اطلاعات زمین‌آب‌شناسی است.

۹-۳ مدل‌سازی و نمایش

در مدل‌های زمین‌شناسی، ترازهای ساختارهای سطوح زمین‌شناسی عمدتاً با مقیاس متر نشان داده می‌شوند. این فواصل در واقع مکان‌های سه‌بعدی سطوحی مانند لایه زغال، واحد آهکی و یا یک ناپیوستگی هستند. ویژگی‌های بین این سطوح زمین‌شناسی (مانند نفوذپذیری) و سطح آب^۱ نیز در مناطق شهری مدل‌سازی می‌شوند (شکل ۹-۳).



شکل ۹-۳. مثالی از نمایش سطوح مدل‌سازی شده در شهر لندن. تصویر بالا DTM بوده و تصویر پایین سطوح آب را در یک منطقه مشخص نشان می‌دهند.

۱. اعماقی در چاه است که در آن اعماق به آب برخورد می‌شود.

۳-۹-۱ مدل‌سازی زمین‌های مصنوعی

مدل‌سازی زمین‌های مصنوعی یا کارکرده مشکل است، به این دلیل که دارای ابعاد کوچک و گوشه‌های تندی هستند (مثلاً خاکریزهای راه‌آهن و کانال‌ها). اگر تعداد بسیاری داده‌های حاصل از گمانه در دسترس باشد، امکان مدل‌سازی برای این عوارض وجود دارد اما با این حال برای مواردی از قبیل خاکریزهای راه‌آهن مدل‌ها دارای استاندارد قابل قبول نخواهند بود.

۳-۹-۲ مدل‌سازی سطح سنگ^۱

مدل‌سازی سطوح سنگ و ضخامت رسوبات از طریق دسته داده‌های عمومی (مانند بررسی‌های گمانه‌ها، ایستگاه‌ها و گسترش سطحی) انجام می‌شود. با تفریق سطح سنگ از مدل DTM ضخامت رسوبات به دست می‌آید و همچنین با تفریق ضخامت رسوبات از DTM نیز سطح سنگ تعیین می‌شود. برخی کاربران (مهندسین عمران) مدل‌سازی سطوح سنگ را ترجیح می‌دهند و برای برخی دیگر نیز (کارخانجات شن و ماسه) ضخامت رسوبات مهم است. یک روش برای ایجاد مدل سطح سنگ این است که نقاط هم‌ضخامت رسوبات در نرم‌افزار فری‌هند^۲ ترسیم شده و سپس مدل سطح سنگ از محل تقاطع‌های ضخامت رسوبات و ترازهای توپوگرافی محاسبه شود. این روش وقتی که رسوبات سطحی عوارض ساختاری را ایجاد کرده باشند، بسیار مؤثر است. روش دیگر، ترسیم ترازهای سطح سنگ مستقیماً از سطوح گمانه‌ها و بروزردها نسبت به سطح دریا است. در بسیاری اوقات حتی در مناطق شهری، تراکم داده‌ها بسیار متغیر است و سطح سنگ ممکن است بسیار پیچیده باشد. بنابراین، روش مورد استفاده در بسیاری از پروژه‌ها عبارتست از:

- ترسیم تمام نقاط داده‌های گمانه‌ها و مقادیر آن‌ها.
- افزودن ترازهای رقومی ایجاد شده در مناطقی با تراکم بالای داده‌ها.
- تعیین ارتفاع نقاط کف بروزردها نسبت به سطح دریا.

۱. سطح سنگ بستر در زیر پوشش خاکی و به عبارت دیگر مرز رسوبات سطحی و سنگ سخت زیرین است که توسط حفاری، مغزه‌گیری یا روش‌های ژئوفیزیکی تعیین می‌شود و بخش مهم اغلب پروژه‌های زمین‌شناسی مهندسی است.

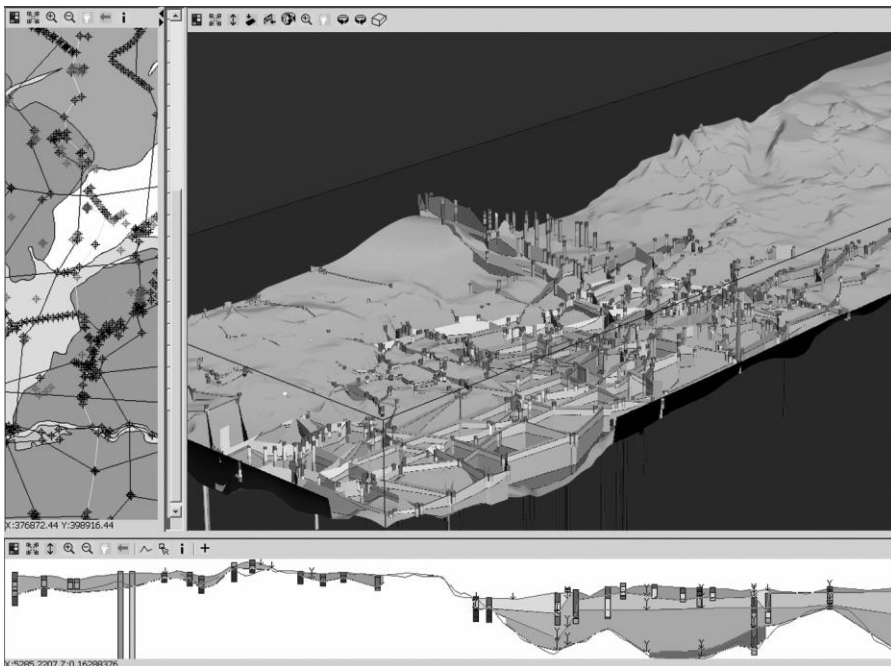
- ترسیم دستی ترازهای سطح سنگ با استفاده از داده‌های بالا، اطلاعات عمومی از منطقه و یا نرم‌افزار شبکه‌بندی^۱.
- اطمینان از این‌که ترازهای ایجاد شده رقومی دارای اعتبار و صحت زمین‌شناسی بوده و قابل تنظیم هستند.

۳-۹-۳ مدل‌سازی رسوبات سطحی

در مناطق شهری مدل‌های رسوبات سطحی دارای اهمیت بالایی هستند. در بسیاری از موارد مدل رقومی سطح زمین (DTM)، به صورت متداول نمایش داده می‌شود. با توجه به نیازمندی‌های کاربر، رسوبات سطحی می‌توانند بر پایه لیتولوژی و نیمرخ رسوبات سطحی مدل‌سازی شوند. مدل‌سازی بر پایه لیتولوژی را می‌توان از طریق داده‌های حاصل از گمانه‌ها بنا کرد (شکل ۳-۱۰). در نرم‌افزارهای مربوطه (GIS) داده‌های DTM، نقشه زمین‌شناسی رقومی، مدل فواصل سطح سنگ و بانک داده‌های گمانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. لاگ‌های سنگ‌شناسی گرافیکی گمانه‌های کددار برای تطابق لایه‌ها با یکدیگر استفاده می‌شوند. در این روش، محل‌های تقاطع مقاطع عرضی تطابق پیدا می‌کنند. هر خط اتصالی تطابق بین واحدهای اصلی سنگ‌شناسی به صورت خودکار در مدل سه‌بعدی دارای موقعیت است. این مسئله کمک می‌کند که سطوح پایین و بالای لایه‌ها (ماسه و گراول) به صورت سه‌بعدی از طریق نقاط شناخته شده در گمانه‌ها مشخص شده و نقاط مزبور در خطوط اتصالی تطابق برون‌یابی شوند. سطوح سنگ‌های مختلف زیر رسوبات سطحی به صورت مکرر به سمت اعماق ایجاد می‌شوند. در این صورت زیرشاخه‌های واحدهای ناپیوسته سنگ‌شناسی قابل شناسایی هستند.

۳-۹-۴ شاخص‌های اطمینان

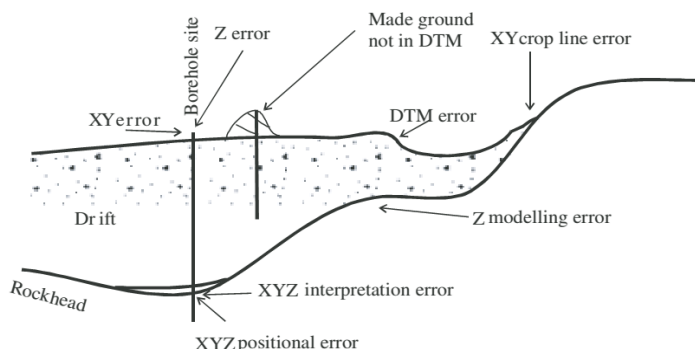
فاصله مناسب بین ترازها جهت مدل‌سازی سطح سنگ در بسیاری از مناطق پنج متر و در مناطقی با داده‌های زیاد و کیفیت بالا دو متر است. به طور کلی، عدم دقت لاگ‌های حفاری و خطاهای مرتبط با ارتفاع شروع گمانه‌ها به این منظور است که دقت ± 2 متر در بسیاری از مدل‌ها قابل قبول است.



شکل ۳-۱۰. نمونه‌ای از تطابق گمانه‌ها و مدل‌سازی رسوبات سطحی در شهر منچستر انگلیس. شکل بالا سمت چپ نحوه توزیع گمانه‌ها را نشان می‌دهد و شکل بالا سمت راست نمایش سه‌بعدی شامل DTM (رنگ‌های روشن)، سطح سنگ (رنگ تیره) و گمانه‌ها است. شکل زیرین مقطع عرضی گمانه‌ها و واحدهای اصلی سنگ‌شناسی و همچنین خطوط انطباقی واحدها را به نمایش گذاشته است.

کاربران مدل‌های سه‌بعدی نیازمند برخی شاخصه‌های اطمینان در بخش‌های مختلف مدل هستند. خطا یا عدم‌دقت یک مدل سه‌بعدی (شکل ۳-۱۱) و بنابراین اطمینان به آن مدل به بسیاری از عوامل وابسته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- خطاها و تفاسیر نادرست موجود در داده‌های اولیه (به‌عنوان مثال ارتفاع شروع گمانه) محاسبه آن دشوار بوده و بنابراین خطاها انباشته خواهند شد.
- خطاهایی که به‌دلیل تعمیم داده‌ها در خلال مدل‌سازی یا شبکه‌بندی ایجاد شده‌اند و با درون‌یابی نقاط داده قابل محاسبه هستند.
- عدم‌قطعیت حاصل از توزیع ناپیوسته داده‌ها که از طریق ترسیم نقاط داده بر روی مدل قابل نمایش است.



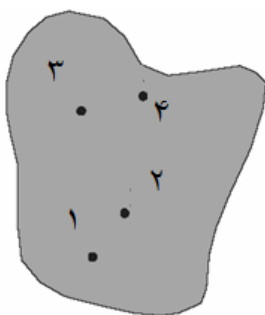
شکل ۱۱-۳. نمایش هندسی یک مقطع عرضی رسوبات سطحی که مکان برخی خطاهای دخیل در مدل‌سازی را نشان می‌دهد (XYZ معرف ابعاد سه‌گانه طول، عرض و ارتفاع یا ضخامت است).

- عدم قطعیت ترازهای ترسیم شده به صورت دستی. نمونه‌ای از این ترازها برای نشان دادن کانال‌های زهکش زیر توده‌یخ مورد استفاده قرار می‌گیرد. تمام خطاها و عدم قطعیت‌ها در یک مدل را می‌توان به سادگی نشان داد اما پژوهش‌های آینده بر روی پیش‌بینی شاخصه‌های اطمینان داده‌های اصلی یا حاصل از داده‌های اصلی استفاده شده در مدل، معطوف خواهند بود.

۱۰-۳ روش‌های تخصیص، توسعه و ارائه داده‌های توصیفی^۱ زمین‌شناسی بسیار متنوع

داده‌های توصیفی معمولاً از طریق نقشه‌های جست‌وجو شده و جداول درون یک سیستم GIS قابل مشاهده هستند. جست‌وجوها اطلاعات موجود در دسته داده‌های مختلف مانند لیتولوژی، آنالیزهای ژئوشیمیایی و ویژگی‌های ژئوتکنیکی را قادر می‌سازد که به صورت مکانی مورد تحلیل قرار گیرند و سپس براساس آن دسته داده‌ها و طبقه‌بندی‌های جدیدی ایجاد شوند. اغلب اوقات برای آنالیز و تحلیل نیازمند تبدیل و یا انتقال داده‌های نقطه‌ای (داده‌های گمانه‌ها) به پلی‌گون داده توصیفی (خطرات زمین‌شناسی مهندسی یا نوع سنگ) بوده که این عمل را اصطلاحاً افزایش مقیاس^۲ (یا به عبارتی دیگر افزایش دقت) می‌گویند.

1. Attribute
2. Upscaling



مقاومت برشی	لیتولوژی	
۱۵	رس و سیلت	نقطه ۱
۱	رس ماسه‌ای	نقطه ۲
۱۱	رس ماسه‌ای	نقطه ۳
۱۰	گراول رسی	نقطه ۴

شکل ۳-۱۲. آنالیز عدد به پلی‌گون.

با استفاده از مثال شکل ۳-۱۲ نمونه‌های چهار سایت مورد بررسی با لیتولوژی و پارامترهای مهندسی، جست‌وجو^۱ معمولی که می‌توان از داده‌های غیرعددی گرفت عبارتند از:

- انتخاب یک نقطه به صورت تصادفی برای ارائه پلی‌گون (گراول رسی)
- ایجاد لیستی از تمام مقادیر ممکن متعلق به هر نقطه (رس و سیلت، رس ماسه‌ای، گراول رسی)
- انتخاب متداول‌ترین داده از هر نقطه (رس ماسه‌ای)
- تعریف اصطلاحات (برای مثال دیامیکت^۲)
- طبقه‌بندی مجدد یک سیستم با مقیاس دلخواه با فرمت عددی و یا هر کاراکتر دیگر (مثلاً ریزدانه به درشت‌دانه یا از ۱ تا ۱۰).

جست‌وجو معمولی در مورد اطلاعات نقطه‌ای (مقاومت برشی) شامل موارد زیر است:

- میانگین داده‌ها (میان^۳ = ۱۱/۷۵، مد^۴ = ۱۱، میانگین^۵ = ۱۱)

۱. Query: عمل تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی توسط پرسش و پاسخ یا به اصطلاح گرفتن

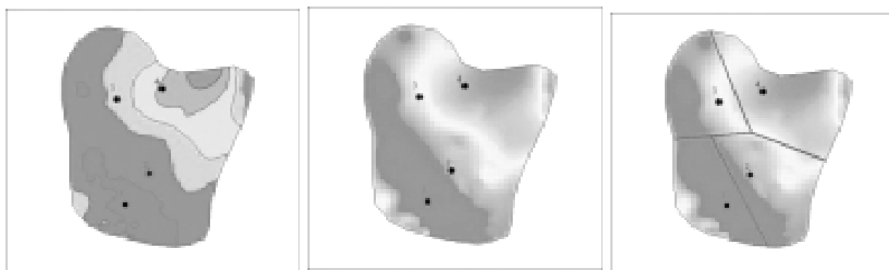
۲. Diamict: به رسوبات حاوی انواع سست و به هم پیوسته گفته می‌شود

3. Mean

4. Mode

5. Median

- دامنه داده‌های مورد استفاده به صورت ۱۵-۱۰ بوده که به صورت یک محدوده تکی غیر عددی و یا به صورت دو محدوده‌ای در نظر گرفته می‌شوند.
 - کمینه و بیشینه به ترتیب ۱۰ و ۱۵ است.
 - داده‌های معین باهم جمع می‌شوند (تمام نمونه‌ها با نمونه‌های ریگ^۱ تجمیع شوند).
 - داده‌های معین باهم شمارش شوند (نتایج بررسی‌های چهار ایستگاه در منطقه با هم شمارش شوند).
 - انحراف معیار استاندارد مورد استفاده قرار گیرد (این مسئله برای داده‌های زیاد مناسب است).
 - شکست طبیعی^۲ مورد استفاده قرار گیرد (این روش نیز برای داده‌های زیاد مناسب است)
 - روش‌های آماری در صدگیری^۳ و ربع‌گیری^۴ (این روش نیز برای داده‌های زیاد مناسب است)
- داده‌های نقطه‌ای را می‌توان به صورت فضایی به روش‌های مختلف در پلی‌گون به صورتی که در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده، مورد توجه قرار داد. همان‌طور که در شکل ۳-۱۴ نیز نشان داده شده، افزایش مقیاس (افزایش دقت) از یک پلی‌گون به پلی‌گون دیگر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.



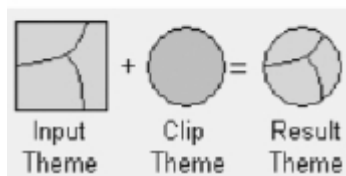
شکل ۳-۱۳. انواع نمایش داده‌های نقطه‌ای در یک پلی‌گون.

1. Pebble

۲. Natural break: روش طبقه‌بندی شکست طبیعی، نوعی دسته‌بندی داده‌هاست که در آن بهترین آرایش مقادیر در گروه‌های مختلف صورت می‌گیرد.

۳. Percentiles: صدک = نشان دادن وضعیت نسبی یک نمره در داخل یک توزیع. مثلاً صدک ۳۵، نقطه‌ای است که ۳۵ درصد همه نمرات در زیر آن قرار می‌گیرند.

۴. Quartiles: چارک یا فاصله بین ربع‌های مختلف گروه اعداد آماری.



شکل ۳-۱۴. ابزار اتصال لایه‌های متعدد داده‌ها در ویرایش نرم‌افزار قدیمی Arcview. اصول نرم‌افزار جدیدتر (ArcGis) نیز مانند ویرایش قدیمی Arcview است (آموزش این نرم‌افزارها خارج از حوصله این کتاب است و در دروس دیگر دانشگاهی مقاطع کارشناسی و کارشناسی‌ارشد به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرند). هدف از ارائه این اشکال آشنایی با کاربرد نرم‌افزارهای متنوع GIS و دورسنجی در مطالعات زمین‌شناسی مناطق شهری است.

۳-۱۰-۱ مقیاس‌گذاری مجدد

یک روش برای افزایش دقت اطلاعات نقطه‌ای، خطی و پلی‌گون به یک نقشه موضوعی استفاده از سیستم ارجاع فضایی یکنواخت^۱ براساس شبکه‌بندی هندسی،

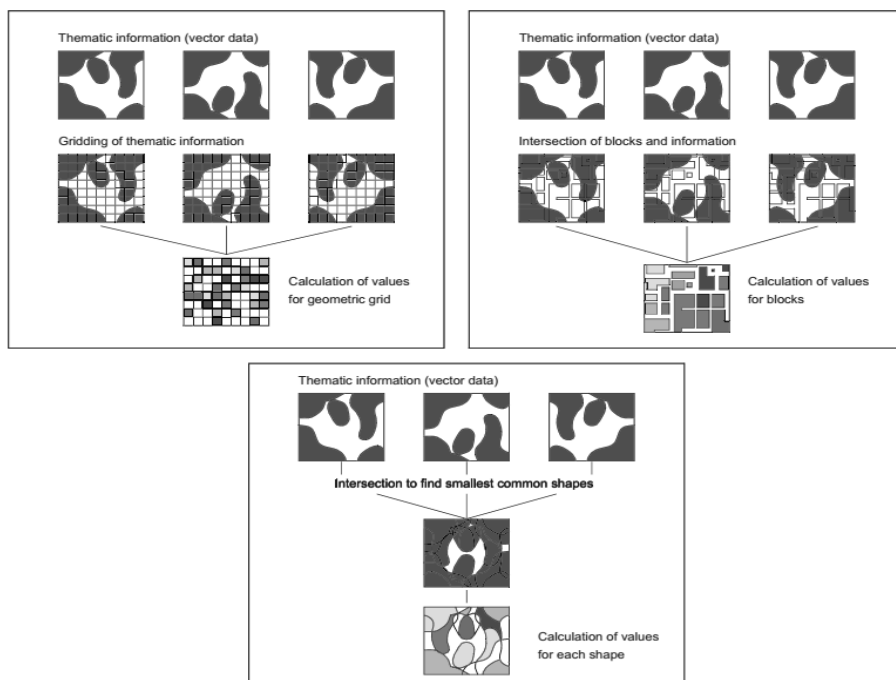
1. Uniform spatial referencing system

شبکه‌بندی آماری یا موارد هندسی تصادفی است (شکل ۳-۱۵). مورد آخر در واقع یک روش سنتی است که برای ارائه اطلاعات زمین‌شناسی به کار می‌رود.

در مناطق شهری غالباً بهترین نمایش اطلاعات محیط زمین‌شناسی به صورت یک شبکه آماری است. شبکه از تقسیم مناطق شهری به پارسل‌ها (یک قطعه زمین) با کاربری متداول و یا ساختمانی است (شکل ۳-۱۶).

اعمال شبکه‌بندی پیوسته برای نقاط. این روش در حالت افزایش مقیاس داده‌ها مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

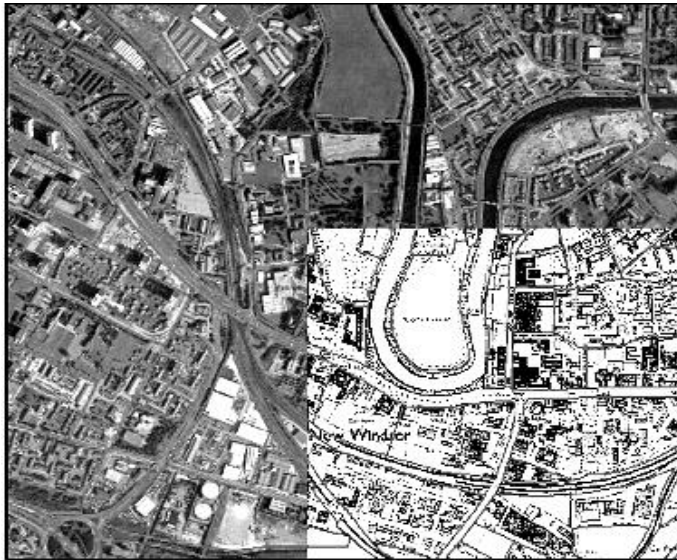
داده نقطه‌ای به مناطق ورونی^۱ افزایش مقیاس پیدا کرده و گوشه‌های آن، فاصله بین هر زوج نقاط را به دو نیم تقسیم کرده است. این روش مستلزم آن است که پلی‌گون اولیه به چند بخش تقسیم شود که برای داده‌های نقشه‌ای غیر عددی نیز قابل استفاده است.



شکل ۳-۱۵. روش‌های مقیاس‌گذاری مجدد اطلاعات

(براساس: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, 1990)

۱. Voroni-type: سلول ورونی هر ایستگاه مجموعه‌ای از همه نقاطی است که به آن ایستگاه (نسبت به ایستگاه‌های دیگر) نزدیک‌تر هستند.



شکل ۳-۱۶. نمونه‌ای از یک شبکه آماری در شهر منچستر و سالفورد انگلیس که توسط قطعاتی از زمین با ویژگی‌های همسان تهیه شده‌است.

حل شدن^۱: این ابزار برای ترکیب گروه‌های داده‌های مرتبط مناسب است، به عنوان مثال یکپارچه‌سازی همه پلی‌گون‌های ماسه، شن و ماسه ریگی در واحدی به نام «نهشته‌های درشت».

برش^۲: این ابزار برای استخراج داده‌های مرتبط با هم مناسب است، مانند ایجاد پلی‌گون‌های زمین‌شناسی برای رسوبات رسی که در نقشه به صورت مناطق شیب‌دار ترسیم شده‌اند.

تقاطع^۳: این ابزار برای تقسیم دسته‌داده‌ها توسط داده دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طور مثال تکه کردن پلی‌گون توده رسوبی توسط یک نوع خاص از سنگ سختی که در زیر آن رسوبات قرار گرفته است.

الحاق^۴: این ابزار برای ترکیب دسته‌داده‌ها به منظور تهیه یک لایه از همه آن‌ها مناسب است به طور نمونه تفکیک نقشه کاربری زمین برای نمایش ویژگی‌های ساختار کاربری قبلی زمین.

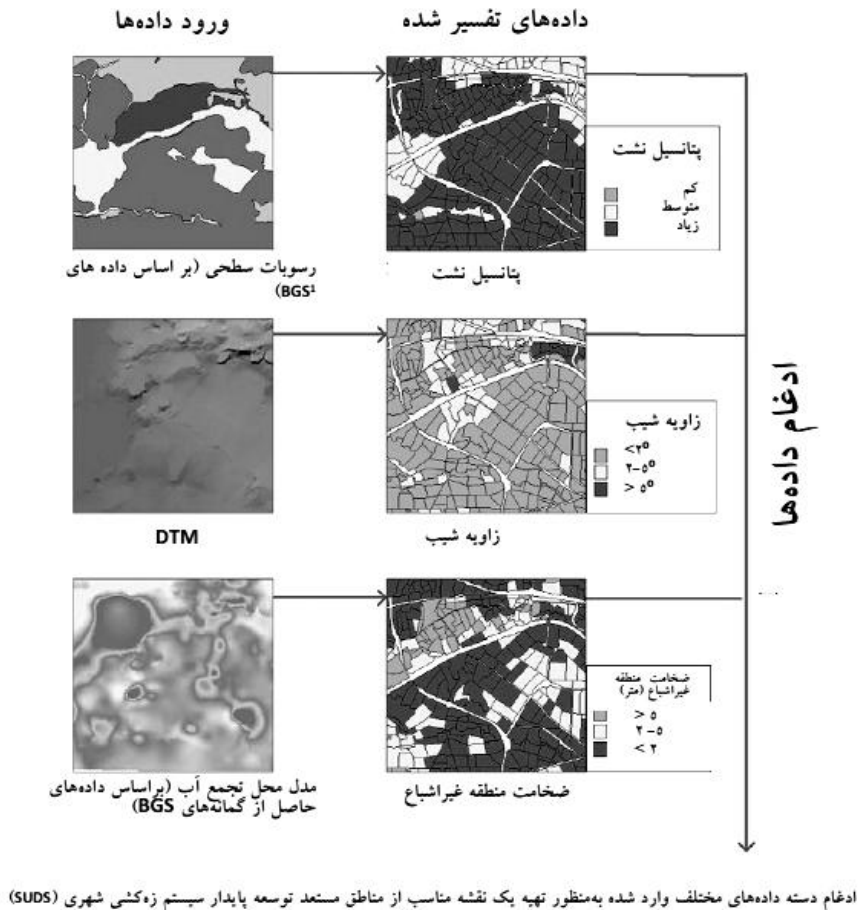
1. Dissolve
2. Clip
3. Intersect
4. Union

کاربری قبلی و فعلی و عکس‌های هوایی معمولاً برای تعیین گستره این پارسل‌ها یا قطعات زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندازه آن‌ها وابسته به مقیاس پیمایش کاربری زمین و نیاز کاربر است. شرکت‌های بیمه ممکن است مناطق دارای کدپستی (مناطق ویژه) را ترجیح دهند. مناطق مجاور ممکن است برای شهر و برنامه‌ریزی منطقه‌ای مناسب‌تر باشند و بنابراین اطلاعات پارسل‌ها می‌توانند برای مالکین و بنگاه‌داران حائز اهمیت باشد.

۳-۱۰-۲ استفاده از اطلاعات داده‌های توصیفی

پروژه‌های زمین‌شناسی جدید، برخی روش‌های آنالیز ارائه شده در بخش‌های قبلی این فصل را مورد استفاده قرار می‌دهند تا اطلاعات استخراج شده از دسته‌داده‌های مختلف و GIS را به نمایش گذارند. برای مثال، با استفاده از لیتولوژی گمانه‌ها که در زمان آخرین بازنگری نقشه زمین‌شناسی حفاری شده‌اند، می‌توان دقت زمین‌شناسی سنگ‌ها یا رسوبات سست نشان داده شده در نقشه را بررسی کرد. در محیط‌های رقومی این مسئله مستلزم مقایسه داده‌های توصیفی یک پلی‌گون معین سنگ و یا رسوبات سطحی با اولین لیتولوژی‌های بانک‌داده‌های گمانه‌ها در آن پلی‌گون است. ترازبندی^۱ روش متداولی برای آنالیز داده‌های نقطه‌ای درون یک پلی‌گون مشخص یا دسته‌ای از پلی‌گون‌ها است. متداول‌ترین نمونه مورد استفاده در این زمینه، ترازهای سطوح سنگی و ترسیم تغییرات خطوط هم‌ضخامت^۲ آن‌ها براساس داده‌های نقطه‌ای گمانه‌ها است.

در صورت افزایش مقیاس (دقت)، عمل برش جهت ایجاد نقشه شیب مرتبط با پلی‌گون‌های معین (واحدهای سنگی) مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در پروژه زمین‌شناسی شهر منچستر شبکه آماری (شکل ۳-۱۶) پایه و اساس سیستم یکپارچه مرجع است. این شبکه برای اهداف توسعه‌ای مانند تهیه نقشه اولیه‌ای که مناطق مستعد توسعه پایدار سیستم زهکشی شهری را نشان می‌دهد، مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۳-۱۷). نقشه یاد شده از طریق تجمیع اطلاعات حاصل از نهشته‌های سطحی، DTM و یک نقشه تراز از عمق سطح ایستابی آب قابل تهیه است.



شکل ۳-۱۷. نمایش چگونگی استفاده از داده‌های خام برای تولید داده‌ها در یک شبکه آماری. این مثال روش منطبق با یک نقشه توسعه شهری است که مناطق مستعد توسعه پایدار سیستم زهکشی شهری (SUDS) را با استفاده از داده‌های سازمان زمین‌شناسی بریتانیا^۱ در شهر منچستر و سالفورد نشان می‌دهد.

خلاصه

با توجه به مطالب گفته شده می‌توان چارچوبی برای پیش‌بینی اطلاعات و موارد موردنیاز درباره تمام جوانب زمین‌مورد استفاده در مناطق شهری تهیه کرد. روش‌های مختلفی به‌منظور انجام پروژه‌های زمین‌شناسی شهری باید به‌کار گرفته شوند. به این منظور گستره وسیعی از داده‌های مرتبط با زمین مشتمل بر زمین‌شناسی، آب‌زمین‌شناسی، زمین‌شیمی، خاک‌ها و توپوگرافی با استفاده از تکنیک GIS قابل جمع و استفاده است. تفاسیر و نتایج این داده‌ها و ارائه آن‌ها در یک بستر منطقه‌ای یا محلی بیش‌تر قابل استفاده است تا در یک ایستگاه خاص و جزئی. امروزه درخواست‌های کاربران در زمینه استفاده از داده‌های زمین‌شناسی موجب شده است تا فرمت رقومی خروجی داده‌های یاد شده (مانند بررسی‌های آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی شهری) روزبه‌روز گسترش یافته و اطلاعات مرتبط با قطعات زمین با کاربری‌های مشخص در گذشته و حال به نمایش درآیند. بنابراین به‌منظور استفاده بهینه و درست از داده‌های زمین‌شناسی، باید داده‌های زمین‌شناسی از قبیل واحدهای زمین‌شناسی، گمانه‌ها، نقشه‌ها و نام‌گذاری‌های مرتبط استانداردسازی شده و به‌صورت یکپارچه مورد استفاده قرار گیرند. ثابت شده است که دسته داده‌ای از اطلاعات مرتبط با محل برخورد با آب برای گستره‌ای از کاربردها از قبیل بررسی خطرات آلودگی، آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، خطر پروژه‌های مهندسی در اعماق کم و زهکشی پایدار شهری حائز اهمیت است. از این‌رو توصیه می‌شود که باتوجه به مقدار بودجه در دسترس، این داده‌ها نیز گردآوری و دسته‌بندی شوند. به این صورت، مدل‌سازی تغییرات لیتولوژیکی در رسوبات سطحی نیز در بسیاری از مناطق شهری مهم است.

خودآزمایی چهارگزینه‌ای

۱. زمین‌شناسی شهری با کدام یک از موضوعات زیر سروکار دارد؟

الف) کیفیت هوا

ب) محیط ساخت‌وساز زیرزمینی

ج) رفتار سازمانی و نوآوری

د) محیط ساخت‌وساز روزمینی و فضاهای باز

۲. بهترین ابزار برای بیان و ارائه ساختارهای زمین‌شناسی در یک منطقه نقشه

زمین‌شناسی کدام است؟

(ب) تصویر ماهواره‌ای

(الف) عکس هوایی

(د) نقشه زمین‌شناسی

(ج) DEM

خودآزمایی تشریحی

۱. موضوعات مورد توجه در توسعه پایدار شهری را نام ببرید (حداقل شش مورد)؟
۲. خروجی‌های اصلی هر برنامه شهری شامل چه مواردی است؟
۳. حداقل ۱۰ مورد از دسته داده‌های اصلی زمین‌شناسی موردنیاز برای یک پروژه
۴. شهری را نام‌برده و داده‌های اولیه و ثانویه را مشخص کنید.
۵. اهداف عکس‌برداری هوایی را ذکر کنید.
۶. مدل رقومی زمین (DTM) را تعریف و تفاوت آن را با مدل رقومی ارتفاعی (DEM) مشخص کنید.
۷. افق مهندسی در مناطق شهری به چه منظوری استفاده می‌شود؟
۸. موضوعات مهم در زمینه مهندسی ساخت و توسعه ساختمان‌های مناطق شهری را نام ببرید؟

فصل چهارم

مخاطرات زمین‌شناسی در محیط‌های شهری

هدف کلی

از ویژگی‌های مناطق شهری، جمعیت بالا، رشد و تغییرات سریع بافت شهری، وجود تأسیسات زیربنایی و خطوط مهم انتقال نیرو است. همین ویژگی‌ها کافی است تا موضوع مخاطرات احتمالی طبیعی (زمین‌شناسی) از قبیل سیل، زلزله، آتشفشان، زمین‌لغزش، فرونشست زمین و غیره بسیار حیاتی باشد. بنابراین این فصل به بررسی این موضوعات پرداخته و راهکارهای مدیریتی مناسب جهت مقابله با آسیب‌ها و تلفات احتمالی این رخدادهای طبیعی در مناطق شهری مورد بحث قرار خواهد گرفت.

هدف‌های یادگیری

با توجه به هدف‌های کلی یاد شده می‌توان با مطالعه این فصل از کتاب با موارد ذیل آشنا شد:

۱. انواع مخاطرات زمین‌شناسی.
۲. نقش مطالعه مخاطرات طبیعی در توسعه پایدار شهری.
۳. روش‌های برآورد مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری.
۴. نحوه مدیریت علمی مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری.

مقدمه

گسترش سریع شهرها در ۵۰ سال گذشته خطرپذیری جوامع را در برابر مخاطرات زمین‌شناسی مانند زلزله، زمین‌لغزش، فرونشست، سنگ‌ریزش، بهمن، یخبندان، سیل،

طوفان، سونامی و غیره افزایش داده است. در سال‌های اخیر مخاطرات طبیعی که اغلب آن‌ها منشأ زمین‌شناسی دارند به‌عنوان موضوعی بسیار مهم برای عموم مردم درآمده است. دلایل متعددی برای این موضوع وجود دارد که می‌توان به برخی از آن‌ها اشاره کرد:

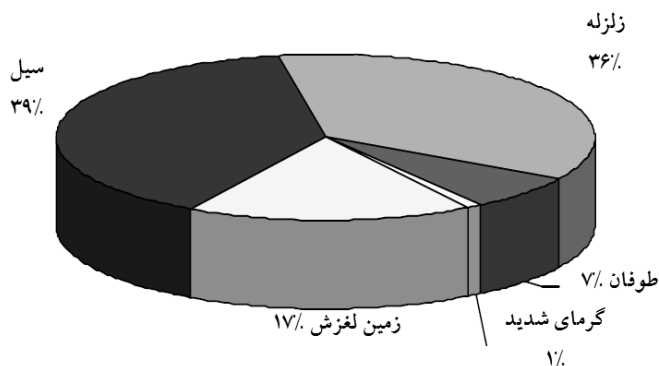
- سرعت انتشار اخبار و پوشش وسیع توسط رسانه‌ها
 - جمعیت بالای متمرکز شده در مناطق پرخطر
 - عدم سرمایه‌گذاری در مناطقی که مخاطرات طبیعی آن‌جا را تهدید می‌کند
 - عدم ثبات در مدیریت و کاربری زمین
- براساس مطالعاتی که سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۱ بر روی ۴۵۰ منطقه شهری با جمعیت بیش از یک میلیون نفر (جمعاً ۱/۴ میلیارد نفر) انجام داد مشخص شد که بیش از ۶۰ درصد یا حدود ۸۹۰ میلیون نفر در مناطقی زندگی می‌کنند که احتمال وقوع حداقل یکی از بلایای طبیعی اصلی (سیل، زلزله، طوفان، طوفان دریایی و سونامی) در آن مناطق وجود دارد. گزارشی که اخیراً مؤسسه Swiss Re Group^۱ به چاپ رسانده ۱۰ شهر مختلف دنیا را براساس ریسک رخداد بلایای طبیعی طبقه‌بندی کرده است که براساس آن شهر تهران در رتبه دهم شهرهای پرخطر قرار گرفته است. براساس این طبقه‌بندی خطر اصلی طبیعی در تهران زلزله بوده و در اثر وقوع زلزله در شهر حدود ۱۵/۶ میلیون نفر تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. شهرهای دیگر به ترتیب افزایش خطر بلایای طبیعی و نوع آن عبارتند از: رتبه نهم لس‌آنجلس آمریکا (زلزله)، رتبه هشتم شانگهای چین (سیل)، رتبه هفتم کلکته هند (طوفان، زلزله، طوفان دریایی و سونامی)، رتبه ششم ناگویای ژاپن (سیل، طوفان، طوفان دریایی، سونامی و به‌ویژه زلزله)، رتبه پنجم جاکارتا اندونزی (سیل رودخانه‌ای و زلزله)، رتبه چهارم اوزاکا-کوبه ژاپن (زلزله)، رتبه سوم دلتای رودخانه پرل^۲ چین (طوفان دریایی، سیل و زلزله)، رتبه دوم مانیل فیلیپین (سیل) و بالاترین رتبه (رتبه اول) توکیو ژاپن (زلزله، طوفان دریایی، باد، سیل، سونامی).

مخاطرات یاد شده می‌توانند نتایج مخربی برای هر شهر داشته و به زیرساخت‌ها به‌شدت آسیب رسانند. امروزه با پیشرفت علوم و تکنولوژی، توقع جوامع این است که مخاطرات زمین‌شناسی مورد شناسایی قرار گرفته و آثار و نتایج منفی آن‌ها تا چایی که

1. <http://www.swissre.com>

2. Pearl River Delta

ممکن است مورد کنترل قرار گیرد و یا به حداقل رسانده شود. مطالعات اخیر نشان داده است که در قرن بیستم بسیاری از خسارات و تلفات گزارش شده پس از وقوع طوفان، سیل‌های بزرگ و زلزله‌ها در واقع حاصل زمین‌لغزش‌های رخ داده پس از مخاطرات یاد شده است (سولهایم و همکاران، ۲۰۰۵؛ شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱. مقایسه تلفات ناشی از مخاطرات مختلف طبیعی در قرن بیستم (منبع: پایگاه داده‌های بین‌المللی مخاطرات طبیعی).

مخاطرات زمین‌شناسی مسئله پیچیده مهندسی ژئوتکنیک است که مشتمل بر شرایط سطحی، زیرسطحی و مجموع برهم‌کنش آن‌ها و همچنین عوامل محرک و تشدیدکننده رخداد‌های طبیعی یاد شده است (رناود، ۲۰۰۰). مطالعه حوادث مخرب طبیعی برای بسیاری از جوامع چالش برانگیز است به این دلیل که راهبرد معینی در این زمینه وجود ندارد. بررسی‌ها و مطالعات در این زمینه مستلزم فهم عمیق ویژگی‌های محل و فرایندهای پیچیده فیزیکی آن در یک بازه مکانی و زمانی معین است. از این‌رو ثبت دقیق ویژگی‌های عوارض تعیین شده در محل که می‌تواند اطلاعات مهمی مانند پیچیدگی‌های سطحی، زمین‌شناسی و فشار نامنظم منفذی آب را ارائه کند، بسیار مهم است. این اطلاعات موجب می‌شود منطقه‌بندی مخاطرات در محیط شهری، ارتباط مخاطرات با یکدیگر و تأثیر آن‌ها بر زیرساخت‌ها به سهولت انجام شده و مناطقی که نیاز به بازسازی و یا کاهش ریسک دارند مورد شناسایی دقیق قرار گیرند.

مخاطرات طبیعی مانند منابع طبیعی بخشی از سیستم طبیعی محیط زندگی بشر هستند که می‌توانند به‌عنوان منابعی مضر محسوب شوند. بنابراین، این مخاطرات به‌عنوان جزئی از

مسائل طبیعی هستند که بسیار مورد توجه عموم قرار دارند. اثرات مخرب این رخدادهای طبیعی را می‌توان با انجام برخی فعالیت‌های پیشگیرانه به مقدار قابل‌توجهی کاهش داد. کشورهای صنعتی در زمینه کاهش اثرات تخریبی طوفان‌ها، سیل‌ها، زمین‌لرزه‌ها، فوران‌های آتش‌فشانی و زمین‌لغزش‌ها پیشرفت‌های خوبی داشته‌اند.

بلاایای حاصل از مخاطرات طبیعی موجب شده است که سرمایه بسیاری برای بازسازی مناطق آسیب‌دیده و تخریب‌شده صرف شود. بنابراین هرگونه برنامه توسعه‌ای در مناطق شهری باید این مسئله را در نظر بگیرد چرا که این‌گونه مخاطرات با توجه به شناخت بشر از طبیعت پیرامون تا حد زیادی قابل مدیریت بوده و از آن‌جا که نوع و چگونگی رخداد طبیعی به آسانی قابل تشخیص بوده و روش‌های کاهش اثرات مخرب آن محاسبه شده است، در نتیجه مدیریت صحیح آن‌ها می‌تواند از بروز مشکلات عدیده بعدی جلوگیری کند. براساس مطالعاتی که اخیراً صورت گرفته (چانگ و همکاران، ۲۰۱۲) مشخص شده است که با این‌که با افزایش جمعیت امکان افزایش خسارات و تلفات ناشی از حوادث طبیعی نظیر زلزله وجود دارد اما در صورتی که فاکتورهایی مانند رعایت قوانین ساخت‌وساز و توسعه زیرساخت‌ها انجام شود همزمان با رشد و توسعه شهرها می‌توان آثار مخرب این‌گونه حوادث را نیز کاهش داد. به‌عنوان مثال با این‌که در شهری مثل تهران همواره رشد و افزایش جمعیت مشاهده می‌شود اما با بهسازی شبکه‌های ارتباطی، نوسازی بافت‌های فرسوده، بهینه‌سازی زیرساخت‌هایی مانند بزرگراه‌ها و بیمارستان‌ها، تشکیل ستاد بحران و غیره می‌توان گفت که این شهر نسبت به دهه‌های گذشته خطرپذیری کم‌تری نسبت به حوادث طبیعی مانند سیل، طوفان و به‌ویژه زلزله دارد.

بلاایای طبیعی یا مخاطرات زمین‌شناسی خطر مهمی برای انسان‌ها و شغل آن‌ها محسوب می‌شوند. بنا به تعریف بلاایای طبیعی عناصری از محیط فیزیکی است که برای انسان مضر بوده و از طریق نیروهای خارج از توان او اعمال می‌شود (بورتون و همکاران، ۱۹۷۸). به عبارت دقیق‌تر تمامی پدیده‌های اتمسفری، هیدرولوژی، زمین‌شناسی (به‌ویژه زلزله و آتش‌فشان) و همچنین آتش‌سوزی طبیعی که به علت مکان، شدت و فراوانی توان آن را دارد که بر زندگی انسان‌ها، ساختمان‌ها و فعالیت‌های آن‌ها اثر منفی گذارد. توصیف طبیعی بدین معنی است که پدیده‌هایی مانند آتش، آلاینش و آلودگی شیمیایی که توسط انسان به وجود می‌آید، جزو این

مخاطرات محسوب نمی‌شود. همان‌گونه که گفته شد مخاطرات ممکن است حاصل وقایع طبیعی باشند اما انسان نیز در برخی موارد در پیدایش و تشدید مخاطرات طبیعی نقش به‌سزایی دارد.

در این بخش، ابتدا مهم‌ترین وقایع طبیعی مخرب به‌طور کلی تعریف شده و در ادامه روش‌های مطالعه و کاهش اثرات وقایع مخرب یاد شده در مناطق شهری به‌طور تفصیلی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۴-۱ انواع مخاطرات زمین‌شناسی

۴-۱-۱ مخاطرات ناشی از گسیختگی شیب^۱

مانند زمین‌لغزش یا بهمن که می‌توانند تقریباً در هر سرزمین تپه‌ای یا کوهستانی (شکل ۴-۲) با فراوانی رخداد زیاد به وقوع پیوند و گاهی بسیار مخرب بوده و می‌توانند فاجعه‌آمیز باشد. پتانسیل گسیختگی قابل تشخیص است و از این‌رو اخطار قبلی امکان‌پذیر است اما زمان قطعی رخداد قابل پیش‌بینی نیست. اغلب شیب‌ها را می‌توان به‌صورت پایدار درآورد با این‌حال در این‌صورت برخی شرایط مقابله با گسیختگی غیرقابل انجام است.

۴-۱-۲ مخاطرات ناشی فرونشست^۲، ریزش^۳ و آماس^۴ زمین

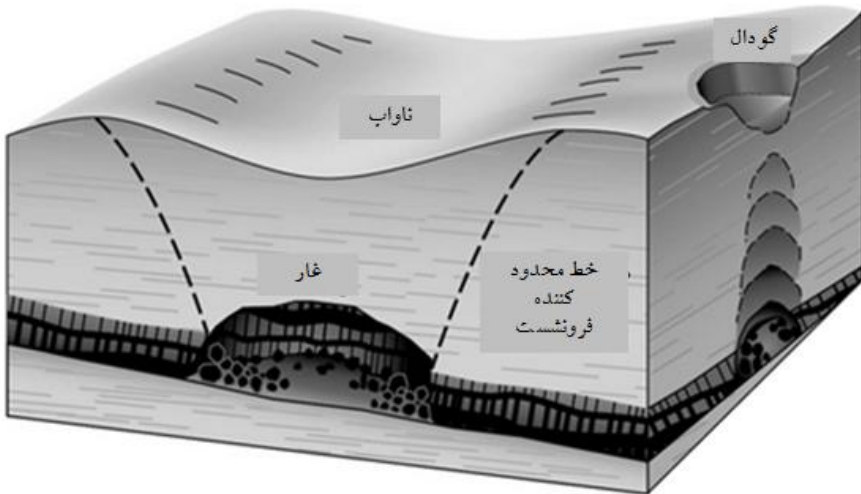
فرونشست، ریزش و آماس زمین معمولاً حاصل فعالیت‌های انسانی بوده و دامنه مخاطرات ناشی از آن‌ها می‌تواند جزئی تا بسیار خطرناک باشد البته خطر جانی در این موارد بسیار نادر است. توانایی رخداد این مخاطرات براساس شرایط زمین‌شناسی در بسیاری از موارد قابل تشخیص بوده و از این‌رو می‌توان پیش‌بینی‌های لازم را جهت مقابله و کاستن آثار مخرب آن‌ها به‌کار برد.

عوامل فرونشست عمدتاً عبارتند از: انحلال، آب‌شدگی یخ‌ها و تراکم نهشته‌ها، حرکت آرام زمین و خروج گدازه و یا فعالیت‌های انسانی نظیر معدن‌کاری و به‌ویژه برداشت آب‌زیرزمینی و نفت (شکل ۴-۳).

1. Slope failure
2. Subsidence
3. Collapse
4. Expansion



شکل ۴-۲. گسیختگی شیب و ریزش دامنه در یک منطقه مسکونی



شکل ۴-۳. فرونشست و افت زمین در اثر افزایش حفرات زیرزمینی حاصل از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی.

۴-۱-۳ مخاطرات ناشی از زلزله

برحسب قدرت تخریب و تهدید جان انسان‌ها، زلزله بزرگ‌ترین خطر زمین‌شناس محسوب می‌شود. این پدیده همچنین سخت‌ترین شرایط را برای برآورد امکان و شدت

رویداد فراهم می‌کند. کمربند بزرگ زلزله که از مدیترانه تا خاورمیانه و آسیای میانه کشیده شده است حاصل برخورد فزاینده بین صفحات اورازیا و آفریقا و همچنین صفحات عربی و هندی در جنوب است. بسیاری از ساکنین این مناطق در دامنه‌های رشته‌کوه‌های گسله (مانند شهر تبریز) جای گرفته‌اند و در سمت دیگر نیز بیابان‌هایی با طبیعت خشن و یا فلات‌های مرتفع قرار دارند. بنابراین این سکونت‌گاه‌ها که عمدتاً دارای ساکنین بسیاری بوده و در مقابل زلزله بسیار آسیب‌پذیر هستند. بسیاری از جوامع روستایی قدیمی در این مناطق اکنون تبدیل به شهرها (مانند طبس) و کلان‌شهرها (مانند تهران) شده‌اند درحالی‌که خطر زلزله همچنان وجود دارد و ساختمان‌های ایجاد شده در آن‌ها عمدتاً دارای استاندارد پایینی هستند. زلزله‌هایی که امروزه در این نقاط رخ می‌دهد خسارات بسیار بیش‌تری را نسبت به گذشته وارد می‌کند. به‌عنوان نمونه زلزله بم باعث مرگ هزاران نفر شد، عمدتاً به این دلیل بود که تراکم جمعیت شهر نسبت به گذشته چندین برابر شده اما نوع و کیفیت ساختمان‌های آن چندان فرقی با گذشته نکرده است. در این شرایط انتظار این است که با وقوع زلزله در کلان‌شهرها فاجعه عظیم انسانی رخ داده باشد و اگر تاکنون این گونه نشده است، دلیل اصلی آن ایجاد کلان‌شهرها عمدتاً در کم‌تر از ۵۰ سال اخیر بوده است (جکسون، ۲۰۰۶).

۴-۱-۴ مخاطرات ناشی از آتش‌فشان

آتش‌فشان‌ها منافذی در پوسته زمین هستند که از طریق آن‌ها سنگ مذاب (ماگما) و گازها از اعماق بالا آمده و در سطح زمین آزاد شده. مخاطرات زمین‌شناسی ناشی از این فعالیت به دو نوع تقسیم می‌شوند:

- فوران‌های انفجاری^۱ که در اثر آزاد شدن گاز از ماگما و در نتیجه انبساط ناشی از آن در نزدیکی سطح زمین رخ می‌دهد. مخاطرات حاصل از این فعالیت شامل پرتاب و پخش شدن بلوک‌های سنگی، قطعات و گدازه بسیار داغ و سوزان و همچنین گازهای سمی موجود در آن‌ها در فواصل گوناگون از مخروط آتش‌فشانی است.
- فوران‌های آتش‌فشانی پرحرارت^۲ که در آن مواد آتش‌فشانی به‌جای پرتاب به فواصل دور جریان پیدا می‌کنند. مقدار و نوع مواد جریان یافته متفاوت است و می‌تواند گل،

خاکستر آتش‌فشانی و یا گدازه باشد که از نقاط مختلف سرچشمه می‌گیرند. جریان‌ات از طریق چگالی، توپوگرافی بستر و گرانروی مواد جاری کنترل می‌شوند. مخاطرات مرتبط با فوران‌های آتش‌فشانی شامل جریان‌های گدازه، خاکسترها و پرتابه‌های آتش‌فشانی (بمب، لاپیلی و غیره)، جریان گل و گازه‌های سمی است. فعالیت‌های آتش‌فشانی همچنین می‌توانند باعث بروز حوادث طبیعی دیگری از قبیل سونامی محلی، تغییر منظره، سیل (درحالتی که دریاچه‌ها و یا سدهای ایجاد شده در جلوی رودخانه‌ها از طریق آتش‌فشان شکافته شوند) و زمین‌لغزش ناشی از تکان‌های شدید آتش‌فشانی شوند.

۴-۱-۵ مخاطرات ناشی از سیل

برای مناطق شهری دو نوع سیل را می‌توان معین کرد: ۱) سیل زمینی یا رودخانه‌ای که به دلیل بارش بسیار و طغیان رودخانه رخ می‌دهد و وقتی مقدار آب وارد شده از نزولات جوی و آب‌های جاری از ظرفیت کانال‌های جریان آب بیش‌تر شود؛ رودخانه‌ها از محل کناره‌های خود طغیان می‌کنند؛ ۲) سیل دریایی یا ساحلی که حاصل امواج طوفانی دریا است و غالباً توسط آب‌های سرریز شده از حوضه آبخیز بالایی تشدید می‌شوند. سونامی^۱ نوع خاصی از این نوع سیل است.

امواج طوفانی خیزش غیرعادی سطح آب است که با طوفان‌ها و سایر طغیان‌های دریایی همراه است. این طغیان‌ها از امواج شدید ساحلی و یا تشدید سلول‌های فشار پایین و طغیان‌های اقیانوسی منشأ می‌گیرند. سطح آب از طریق باد، فشار اتمسفری، جزرومد، توپوگرافی محلی و عمق آب دریا یا اقیانوس و در نهایت موانع ایجاد شده در مقابل امواج در ساحل تحت کنترل قرار دارد.

غالباً آثار مخرب امواج طوفانی به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

- برخورد امواج و ضربه فیزیکی بر روی اشیاء و ساختمان‌های قرارگرفته در مقابل آن‌ها.
- نیروهای هیدروستاتیک/ دینامیک و آثار بالآمدگی آب و مواد همراه آن. مهم‌ترین خسارت عموماً ناشی از برخورد مستقیم امواج به ساختمان‌های ثابت است.
- خسارت غیرمستقیم شامل سیل و شستگی و آب‌گرفتگی زیربناهایی نظیر بزرگراه‌ها و خطوط راه‌آهن است.

۴-۱-۶ سونامی

سونامی‌ها امواج بلندی هستند که از طریق اغتشاشاتی نظیر زلزله، فعالیت‌های آتشفشانی و زمین‌لغزش‌های زیردریایی ایجاد می‌شوند. این امواج می‌تواند تا ارتفاع ۲۵ متری در مناطق کم‌عمق برسند. ویژگی‌های منحصر به فرد سونامی‌ها (طول بسیار بلند که به بیش از ۱۰۰ کیلومتر هم می‌رسد، سرعت تا بیش از ۷۰۰ کیلومتر در ساعت در اعماق اقیانوس و ارتفاع کم در آب‌های عمیق) موجب شده است که پایش آن به‌سختی انجام شود. سیل ساحلی ایجاد شده توسط سونامی دارای همان ویژگی‌های ذکر شده در بخش قبلی است (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۴. جاری‌شدن سیل در شهر ساحلی میاکو ژاپن در اثر سونامی مارچ ۲۰۱۱ (مانزا و همکاران، ۲۰۱۳).

۴-۱-۷ طوفان دریایی^۱

طوفان‌های دریایی به تندبادهای گرمسیری گفته می‌شوند که تبدیل به طوفان شدید شده و ویژگی بارز آن‌ها این است که بادهای به‌صورت مدور به‌سمت مرکز طوفان در حال چرخش هستند. این نوع طوفان‌ها بر روی آب‌های گرم اقیانوسی مناطق با عرض

جغرافیایی کم تشکیل شده و به علت پتانسیل بالای تخریب، پوشش منطقه وسیع، تشکیل خودبه‌خود و حرکت تصادفی و نامنظم بسیار خطرناک هستند. پدیدهایی که با طوفان‌های دریایی همراه هستند عبارتند از:

- بادهایی با سرعت بیش از ۶۴ نات (۷۴ مایل در ساعت و یا ۱۱۹ کیلومتر در ساعت) که بر پایه آن توان طوفان‌ها تعیین می‌شود. در این حالت، خسارات ناشی از برخورد مستقیم باد با ساختمان است.
- بارش شدید باران که معمولاً پیش یا پس از طوفان رخ داده و چندین روز متوالی ادامه دارد. مقدار بارش وابسته به مقدار رطوبت هوا، سرعت حرکت طوفان و اندازه آن است. بر روی زمین، بارش می‌تواند خاک‌ها را اشباع کرده و موجب به راه افتادن سیل شود. این فرایند همچنین می‌تواند به دلیل افزودن بار و لغزندگی بر سطح جسم زمین لغزش را به وجود آورد و با تضعیف ریشه، به محصولات کشاورزی نیز خسارت وارد کند.
- امواج طوفانی به‌ویژه وقتی که با مدهای بلند همراه شوند به راحتی می‌توانند مناطق پست و فاقد محافظ را در آب فرو برند.

۴-۱-۸ مخاطرات ناشی از به خطر افتادن سلامت انسان‌ها در اثر عناصر طبیعی

این مخاطرات می‌توانند از شرایط و مواد زمین‌شناسی خاصی شامل آبست، سیلیس، رادون و همچنین کانی‌های متعدد موجود در آب‌های زیرزمینی (مانند آرسنیک و جیوه) به وجود آیند.

۴-۱-۹ مخاطرات طبیعی در مناطق شهری واقع در نقاط خشک و نیمه‌خشک

- **بیابان‌زایی:** بیابان‌زایی (گسترش کویر) یا همان کاهش منابع در مناطق خشک که موجب ایجاد یا گسترش بیابان می‌شود، حاصل مجموعه عوامل مرتبط به هم و یا مستقل بوده که معمولاً در نتیجه خشکسالی و فشار ناشی از بهره‌برداری بیش از حد منابع موجود است. خشکسالی باعث می‌شود که دوره خشک در چرخه طبیعی بیش از حد معمول باشد. چرخه‌های خشکسالی و ترسالی باعث بروز مشکلات جدی برای دامپروران و کشاورزان می‌شوند. در خلال فصول پرباران (ترسالی) تعداد گله زیاد شده و کشت و زرع نیز به درون مناطق خشک توسعه می‌یابد. پس از آن، خشکسالی به تمام فعالیت‌های کشاورزان که در فصول پرباران خارج از توان طبیعی منطقه توسعه یافته است، آسیب می‌رساند.

چرای بیش از حد در مناطق خشک متداول است و یکی از اصلی‌ترین عوامل گسترش بیابان محسوب می‌شود (مانند شهرستان بشرویه در خراسان جنوبی). کشت و زرع در مناطق خشک معمولاً دیم است و آب باران نقش اساسی دارد که غله و حبوبات متداول‌ترین محصولات کشاورزی دیم هستند. طبیعت مناطق خشک باعث می‌شود که کشاورزی در آن عملی پرزحمت و ریسک‌پذیر باشد.

فرسایش و رسوب‌گذاری: فرسایش خاک و رسوب‌گذاری حاصل از آن باعث بروز خطر طبیعی عمده می‌شود که خسارات اجتماعی و اقتصادی از نتایج عمده آن است. فرسایش در تمام شرایط آب‌وهوایی رخ می‌دهد اما عمدتاً به‌عنوان یک آسیب طبیعی در مناطق خشک در نظر گرفته می‌شود؛ به این دلیل که این فرایند به همراه شوره‌زار شدن از نتایج اصلی بیابان‌زایی است. فرسایش آبی یا بادی در هر سطح شیب‌داری فارغ از نوع بهره‌وری آن رخ می‌دهد. نوع استفاده از زمین که باعث افزایش خطرپذیری فرسایش خاک می‌شود شامل چرای بیش از حد احشام، آتش‌سوزی یا بهره‌برداری از جنگل، برخی فعالیت‌های کشاورزی، راه‌سازی، جاده‌سازی و گسترش شهرها است. فرسایش خاک دارای سه اثر مهم است:

- کاهش پشتیبانی و موادغذایی موردنیاز برای رشد گیاه
- پرشدگی پایین دست آبراهه‌ها از رسوب در اثر فرسایش خاک
- کاهش ظرفیت ذخیره آب به‌دلیل از دست‌رفتن خاک و رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها و مخازن که موجب کاهش جریان طبیعی آب می‌شود.

رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها و مخازن معمولاً ریشه اصلی مشکلات مرتبط با مدیریت آب است. حرکت رسوبات و رسوب‌گذاری بعدی آن در مخازن و لایه‌های رودخانه باعث عوامل زیر می‌شوند:

- عمر مفید مخازن آب را کاهش می‌دهد.
- باعث افزایش قدرت تخریب جریان سیلابی می‌شود.
- ناوبری درون رودخانه را مختل می‌کند.
- کیفیت آب را کاهش می‌دهد.
- به محصولات کشاورزی و زیرساخت‌ها آسیب می‌رساند.
- موجب افزایش فرسودگی توربین‌ها و پمپ‌ها می‌شود.

• **شورش‌دگی:** آب شور در مناطق خشک متداول است و خاک‌های حاصل از رسوبات هوازده دریایی (شیل) معمولاً شور هستند. با این حال، معمولاً خاک‌های شور نمک خود را از آب انتقال یافته از سایر نقاط دریافت می‌کنند. شورش‌دگی در اغلب اوقات در زمین‌های آبیاری شده رخ می‌دهد که تحت کنترل ضعیفی قرار داشته و در آن‌ها نمک سطح خاک‌ها و آب‌زیرزمینی را متأثر می‌سازند. در اثر سیل در مناطق پست، تبخیر در گودی‌های فاقد روزنه و بالاآمدگی آب‌زیرزمینی نزدیک سطح خاک، انباشت نمک به وقوع می‌پیوندد. شورش‌دگی موجب کاهش باروری خاک و حتی از بین رفتن کامل زمین کشاورزی می‌شود. در برخی مناطق مجموع فرسایش آبی و خاکی باعث بیابان‌زایی می‌شوند.

آب ارزان معمولاً باعث استفاده بیش از حد از آن می‌شود. در مناطق خشک، آب حاوی نمک منبع اصلی آب به‌شمار می‌آید. این قیمت ارزان برای آبیاری مناطق کشاورزی می‌تواند تقاضا را افزایش داده و موجب استفاده نامناسب از آن شده و در نتیجه با انباشت بیش از حد آب‌شور در خاک شور‌زار تشکیل شود.

۴-۱-۱۰ مخاطرات زمین‌شناسی و توسعه پایدار شهری

یک مطالعه جامع در مورد شرایط محیطی شهری، روستایی و یا زیست‌بوم‌های بکر شامل موارد زیر خواهد بود:

- مقدار خسارات به منابع.
- عوامل ایجاد این خسارات اعم از طبیعی یا انسانی.
- گستره امکان مداخله اقتصادی، اجتماعی، سازمانی، قانونی و مالی در زمینه جلوگیری یا کاهش خسارات به منابع طبیعی.

از این‌رو مخاطرات طبیعی نیز باید به‌عنوان یک وجه غیرقابل کتمان در زمینه برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای شهری در نظر گرفته شوند. بین پروژه‌های محیطی و پروژه‌های توسعه‌ای تفاوت وجود دارد. به‌این منظور پروژه‌های محیطی شامل مواردی چون سیستم زه‌کشی فاضلاب، احیای جنگل و کنترل سیلاب است در صورتی‌که پروژه‌های توسعه‌ای ممکن است بر تأمین آب آشامیدنی، جنگلداری و آبیاری متمرکز باشند. بنابراین رویکرد همه پروژه‌ها ارتقای سطح اجتماعی - اقتصادی جامعه است. اگر پروژه‌های توسعه‌ای به‌صورت پایدار اجرا شوند، لازم است با مدیریت بحران

به صورت یکپارچه عمل کنند. به این منظور که چنین پروژه‌هایی باید بتوانند کیفیت زندگی را افزایش داده و همچنین بتوانند کیفیت محیط‌زیست را نیز حفظ کنند و در نهایت افزایش کیفیت زندگی موجب تخریب محیط‌زیست نشود. همچنین در انجام چنین پروژه‌هایی باید مطمئن بود که منابع طبیعی دچار آسیب نشده و بلایای طبیعی مانند سیل و زلزله تشدید نشوند. به طور خلاصه، مدیریت درست بلایای طبیعی در واقع همان مدیریت مناسب پروژه توسعه‌ای است.

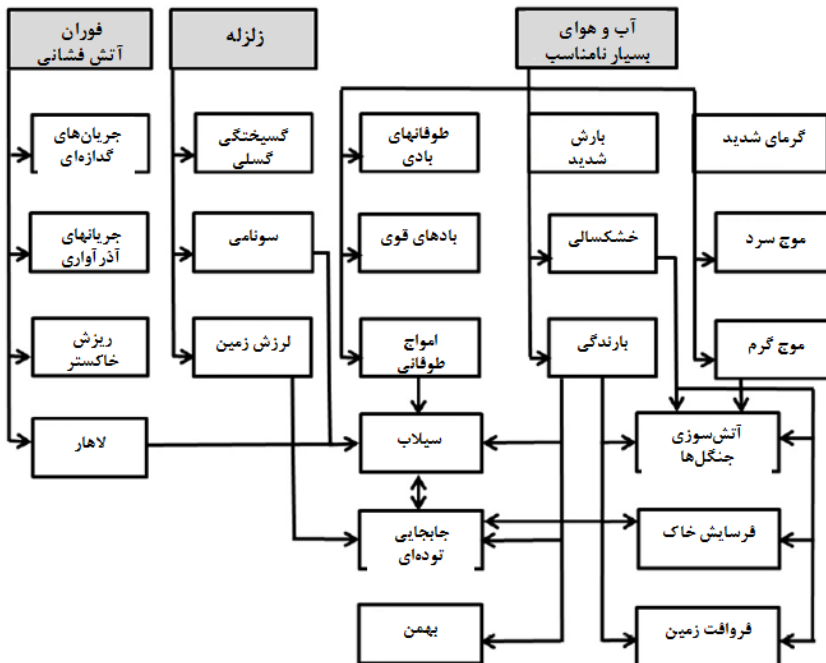
به منظور مدیریت درست بلایای طبیعی، فعالیت‌های زیر باید با مراحل گوناگون برنامه توسعه‌ای همراه باشند:

- بررسی وجود و امکان تأثیر وقایع طبیعی بر روی وسایل و تأسیسات مرتبط با منابع طبیعی (به عنوان مثال خطوط انتقال گاز طبیعی) در منطقه موردنظر.
 - برآورد تأثیر احتمالی وقایع طبیعی بر فعالیت‌های توسعه‌ای.
 - انجام محاسباتی در زمینه کاهش خطرپذیری فعالیت‌های توسعه‌ای پیشنهاد شده.
- در این چارچوب، شبکه‌های حیاتی باید تعیین شوند که عمدتاً عبارتند از:
- اجزا و یا قطعات اصلی وسایل تولید.
 - زیرساخت‌ها.
 - سیستم‌های پشتیبانی برای سکونت‌گاه‌های بشری که در صورت امکان باید آسیب‌ناپذیر بوده و به عنوان عناصر اصلی نوسازی و یا بازسازی خسارات ناشی از یک بلای طبیعی در نظر گرفته شوند.

۴-۲ روش‌های برآورد مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری

یک مخاطره به عنوان رخدادی طبیعی است که می‌تواند بالقوه باعث بروز خسارات و تلفات شود. این رخداد امکان وقوع در یک دوره زمانی خاص در یک منطقه خاص و با شدت معین را دارد (UN-ISDR، ۲۰۰۴). بسیاری از این مخاطرات مرتبط با ژئومورفولوژی است. ژئومورفولوژی دانش ریخت‌شناسی زمین و فرایندهایی است که موجب تغییر این ریخت‌ها می‌شود. این فرایندها که شکل زمین را تعیین می‌کنند اگر در مناطقی رخ دهند که جمعیت زیادی در خود جای داده است، می‌توانند بالقوه خطرناک باشند و اگر شدت رخداد آن‌ها بیش از حد متداول باشد، باعث خسارات بسیاری بر

جوامع خواهند شد. هدف از بررسی مخاطرات منطقه‌بندی بخشی از سطح زمین بر مبنای انواع، شدت و تناوب فرایندهای خطرناک یاد شده است. شکل ۴-۵ دید کلی شماتیک تعدادی از این مخاطرات و ارتباط بین آن‌ها ارائه می‌کند. فرایندهای خطرناک توسط محرک‌های مشخصی شروع به فعالیت کرده که این محرک‌ها می‌توانند درون‌زا (فوران‌های آتشفشانی یا زلزله‌ها) و برون‌زا (آب‌وهوای بسیار نامناسب که موجب بروز طوفان، سیل و غیره می‌شوند) باشند و گسترش یک مخاطره وابسته به دسته‌ای از عوامل محیطی (مانند ژئومورفولوژی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، نوع کاربری زمین، آب‌وهوا و غیره) دارد. محرک‌های یاد شده ممکن است اثرات مستقیم مانند لرزش زمین حاصل از زلزله (خیمنز و همکاران، ۲۰۰۰)، خشکسالی ناشی از کاهش بارندگی (کارنیلی و دال‌اوملو، ۲۰۰۳)، جریان‌ات آذراواری و خاکستر آتشفشانی پس از فوران آتشفشان (زوکارو و همکاران، ۲۰۰۸) یا بادهای شدید ناشی از طوفان‌های گرمسیری (امانوئل و همکاران، ۲۰۰۶) داشته باشند.



شکل ۴-۵. نمودار مخاطرات مختلف و برهم‌کنش آن‌ها به منظور مدیریت مخاطرات (CAPRA, ۲۰۰۹).

تأثیرات مستقیم ممکن است باعث تحریک تأثیرات غیرمستقیم مانند زمین‌لغزش‌های حاصل از لرزش زمین در مناطق کوهستانی (جیسون و همکاران، ۱۹۹۸)، زمین‌لغزش‌ها و سیلاب‌های رخ داده در مناطقی که به تازگی دچار آتش‌سوزی شده‌اند (کنون و همکاران، ۲۰۰۸) یا سونامی حاصل از جابه‌جایی سطوح دریایی در اثر زلزله (پرایست و همکاران، ۲۰۰۱، ایولال و همکاران، ۲۰۰۷) باشند. مخاطرات ثانویه‌ای که توسط مخاطرات دیگر به وجود می‌آیند، تحت عنوان مخاطرات به هم پیوسته^۱ و یا انباشت شده^۲ شناخته می‌شوند. شکل ۴-۵ ارتباط بین عوامل محرک، مخاطرات اولیه و ثانویه را به تصویر می‌کشد. این ارتباطات می‌توانند بسیار پیچیده باشند به عنوان مثال ممکن است به دلیل وقوع زلزله در سدهای ایجاد شده توسط رسوبات زمین‌لغزش^۳، شکستگی ایجاد شده و باعث سیلاب در مناطق و شهرهای پایین دست شود (کروپ، ۲۰۰۲).

ارگان‌ها و سازمان‌های متعددی در حال برنامه‌ریزی هستند تا بتوانند همزمان با برنامه‌های توسعه شهری، آثار و خسارات خطرات زمین‌شناسی را مدیریت کرده و آن‌ها را کاهش دهند. با این حال با این‌که داده‌های تخصصی و پایه به شکل نقشه، مدارک و آمار ممکن است وجود داشته باشند، اما معمولاً روش منظمی برای مدیریت خطرات مورد بحث وجود ندارد. مقدار اطلاعات مورد نیاز برای مدیریت مخاطرات طبیعی به ویژه در ارتباط با برنامه‌های توسعه‌ای بیش از ظرفیت روش‌های دستی بوده و لازم است از روش‌های انفورماتیک جهت استفاده از آن‌ها بهره برد. بنابراین روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی به منظور گردآوری، بازتولید و مدیریت داده‌های مرتبط با مخاطرات یاد شده مورد استفاده قرار می‌گیرند که در ادامه به طور اجمال به آن‌ها پرداخته می‌شود:

۴-۲-۱ سامانه اطلاعات جغرافیایی^۴ یا دانش اطلاعات مکانی^۵ (GIS)

در بررسی مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری باید اطلاعات کلیدی مکانی^۶ و زمانی^۷ مانند مجموعه داده‌های زمین‌شناسی، فشار بسیار نامنظم منفذی آب، داده‌های مونیورینگ (پایشی) و عوامل محیطی مدنظر قرار گیرند. بنابراین به منظور افزایش

1. Concatenated hazards

2. Cascading hazards

3. Landslide dam

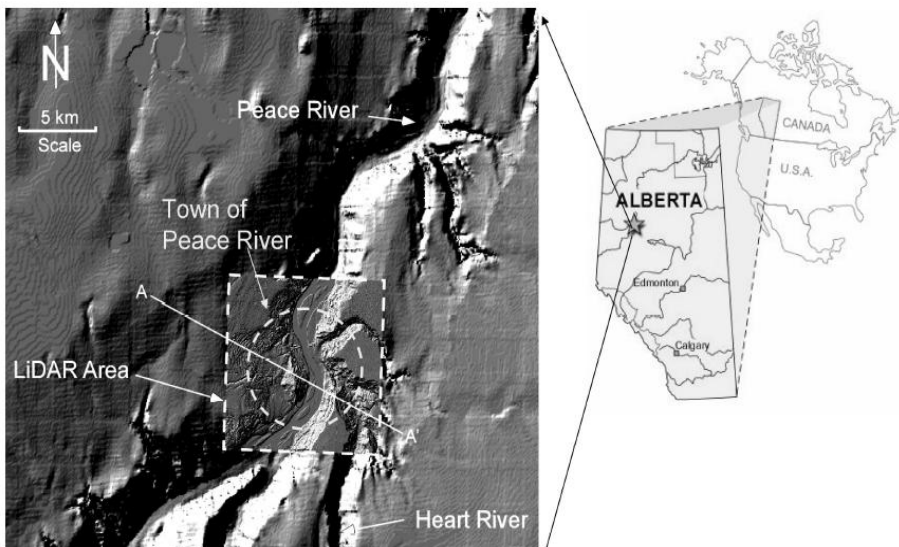
4. Geographic Information System

5. Geospatial Information Science

6. Spatial

7. Temporal

سطح درک فرایندهای مخاطرات در محیط‌های شهری باید تکنولوژی‌های جدید جهت تسهیل تولید داده‌های حاصل از مطالعات زمین‌شناسی در این زمینه مورد استفاده قرار گیرند. بررسی محلی مطالعات مخاطرات زمین‌شناسی شامل نقشه‌برداری سطحی و اطلاعات زمین‌شناسی به‌دست‌آمده از چاه گمانه^۱ است. تکنیک GIS می‌تواند نقش مهمی در این فرایند داشته و به‌عنوان ابزاری جهت گردآوری، سازمان‌دهی و آنالیز داده‌های موجود مورد استفاده قرار گیرد. در این جا هدف اصلی از کاربرد این تکنیک، مدیریت انواع داده‌های مرتبط با مخاطرات است. ابزارهای اختصاصی در محیط GIS توسعه‌یافته‌اند تا بتوان به سهولت آنالیزهای زمانی و مکانی اخذ شده از داده‌های زمین‌شناسی را انجام داد. دسته‌ای از نمودارها را می‌توان از این طریق توسط بردار جابه‌جایی، زمان جابه‌جایی و سایر آزمایش‌های ژئوتکنیکی تولید کرد. تصاویر ماهواره‌ای یا هوایی با کیفیت بالا و داده‌های LiDAR را نیز می‌توان به‌طور مؤثری مدیریت کرد.



شکل ۴-۶. مکان شهر پیس‌ریور آلبرتا. نقشه سمت چپ مدل DEM استخراج شده از دسته داده‌های SRTM^۲ و LiDAR^۳ را نشان می‌دهد.

1. Borehole
2. Shuttle Radar terrain Model
3. Light Detection And Ranging

به عنوان مثال مطالعه‌ای که توسط لان و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تکنیک GIS در شهر پیس‌ریور^۱ آلبرتای کانادا (شکل ۴-۶) انجام شده، مورد بررسی قرار می‌گیرد. این شهر از ابتدای تأسیس در ۱۰۰ سال قبل تحت تأثیر مخاطرات سیل و زمین‌لغزش قرار داشته است (روئل، ۱۹۸۸؛ کرودن و همکاران، ۱۹۹۰). برخلاف بسیاری از آبادی‌های اطراف منطقه پیس‌ریور، شهر پیس‌ریور یک دشت سیلابی وسیع است که در کرانه‌های ته دره رودخانه‌ای و نه در رأس آن قرار دارد. دره‌های مدفون (کرودن و همکاران، ۱۹۹۷) مانند شرایط خرده اقلیم موجب پیچیدگی بیش‌تر مخاطرات زمین‌شناسی احتمالی در این منطقه شده‌است. زمین‌لغزش‌های بزرگ در دره پیس‌ریور متداول بوده و از این‌رو زیرساخت‌هایی مانند راه‌آهن، راه‌ها، خطوط انتقال نیرو و غیره در این دره در معرض خطرات بالاتری قرار دارند. رشد زیاد شهر پیس‌ریور در خلال سال‌های اخیر باعث توسعه شهر در مناطقی شده‌است که در مقایسه با مناطق قدیمی شهر، مقابل مخاطرات زمین‌شناسی آسیب‌پذیرتر هستند.

به منظور مطالعه موردی در این منطقه از طریق تکنیک GIS، لن و مارتین (۲۰۰۷) چارچوبی را برای مسائل کلی مهندسی ژئوتکنیک بنا نهادند (شکل ۴-۷). این ساختار به‌طور خلاصه شامل سه مرحله زیر است:

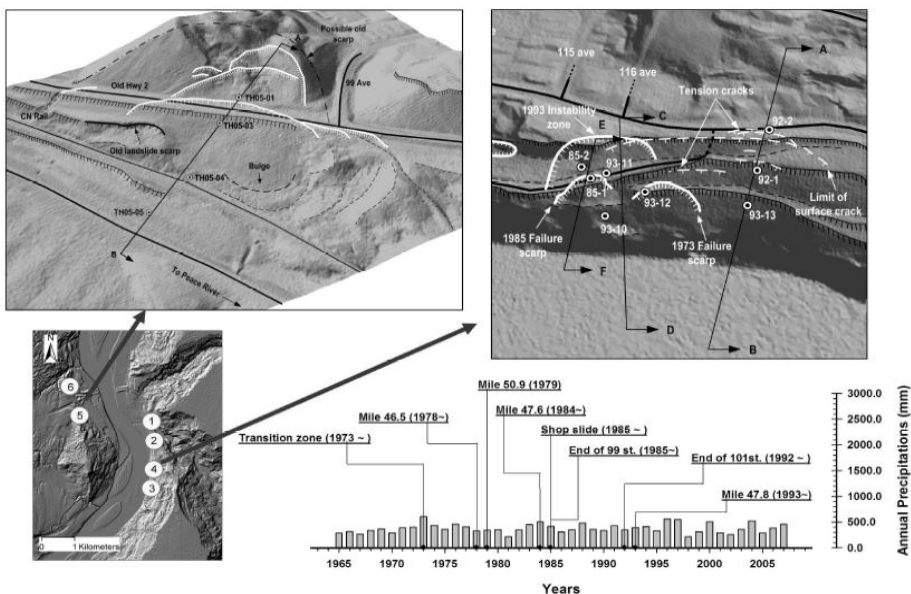
- گردآوری داده‌ها، مدیریت و تلفیق آن‌ها.
- توسعه یک مدل زمینی جامع مشتمل بر رفتار زمین.
- تحلیل‌های مهندسی.

ابزار GIS موردنیاز جهت انجام گام نخست طراحی شده‌است. داده‌های مورد بررسی در این مرحله می‌توانند داده‌های حاصل از مطالعات ایستگاه‌ها (مانند ژئومورفولوژی، شرایط زمین) و از سوی دیگر پارامترهای متغیر ژئوتکنیکی (مانند جابه‌جایی و فشار منفذی اندازه‌گیری شده توسط دستگاه‌های ژئوتکنیکی) باشند. کارهایی که در این مرحله باید انجام شود عبارتست از گردآوری داده‌ها، طراحی داده‌ها، تلفیق داده‌ها، ارائه داده‌ها، نمایش داده‌ها و ارتباط داده‌ها با سایر مراکز و بانک‌های اطلاعاتی.



شکل ۴-۷. ساختار سیستم یکپارچه برای حل مسائل ژئوتکنیکی در مناطق شهری از طریق GIS. این ساختار شامل سه گام مختلف است که مستلزم پیاده‌سازی کارهای معینی است (اقتباس از لن و مارتین، ۲۰۰۷).

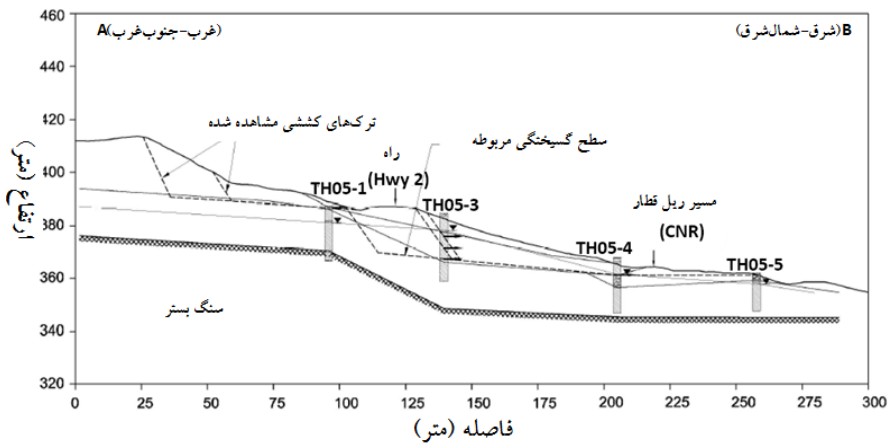
فناوری GIS ابزار مؤثری جهت بهره‌برداری، تلفیق و نمایش دسته داده‌های متفاوت مکانی فراهم می‌کند. به‌عنوان مثال در مطالعه موردی ذکر شده پس از انجام مراحل یاد شده می‌توان خروجی‌های بسیار مناسب و کاربردی از طریق این فناوری به‌دست آورد (شکل‌های ۴-۸ و ۴-۹).



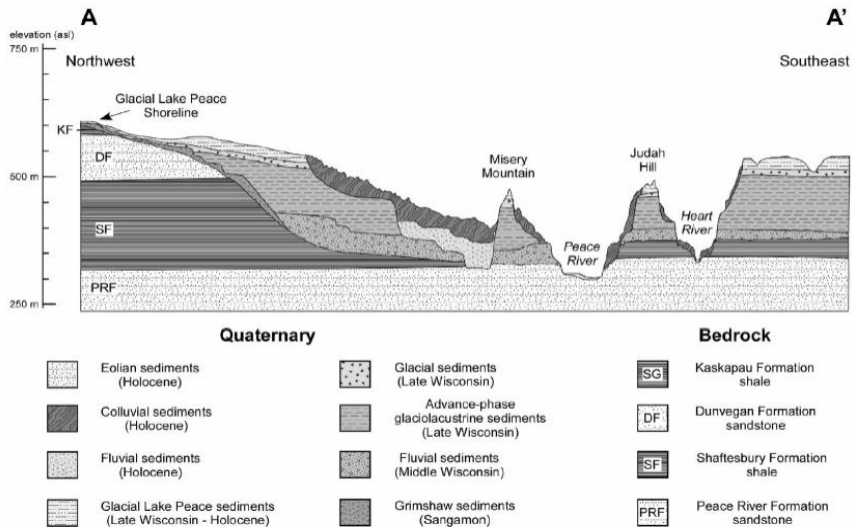
شکل ۴-۸ گسترش زمین‌لغزش‌ها در دره پیس‌ریور. نقشه‌های بالایی دید مورب لغزش‌های مشخص از منطقه و نقشه پایین سمت چپ گسترش زمانی رخدادهای زمین‌لغزش را نشان می‌دهند.

در هر کدام از این لغزش‌ها، صخره‌ها و بلوک‌های بزرگ جابه‌جا شده در امتداد سطوح گسیختگی به‌سادگی می‌توانند از طریق داده‌های DEM حاصل از LiDAR (دوبعدی و سه‌بعدی) تشخیص داده شوند.

یکی از مقاطع نشان داده شده در شکل ۴-۸ مقطع A-B است که در امتداد شیب بزرگراه قدیمی شماره ۲ دیواره دره پیس‌ریور قرار دارد. در این جاده خاک‌برداری و خاک‌ریزی صورت گرفته و دارای ارتفاع ۳۰ متری و نسبت طول به ارتفاع چهار به یک است. چینه‌شناسی عمومی زیرسطحی این لغزش شامل رسوبات رسی دریاچه‌ای، یخرفت و تشیکلات سنگ‌بستر است (شکل ۴-۹). رس‌های نهشته شده در رأس شیب احتمالاً با خاکریزهای ایجاد شده جهت راه‌سازی مخلوط شده‌اند. زیر خاکریز رسی، رسوبات رسی محیط پس از یخچالی توسط رسوبات رس یخرفتی بسیار سفت پوشیده شده است. سنگ‌بستر شیلی در پایین‌ترین بخش این لغزش قرار داشته که بخشی از سازند دریایی Shaftesbury با سن کرتاسه محسوب می‌شود. برخی رسوبات درشت شامل ماسه، سیلت و ریگ در مجاورت سطح صاف زمین زیر خط راه‌آهن CN یافت می‌شوند (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۹. مقطع عرضی لغزش (A-B). موقعیت این مقطع در شکل ۴-۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰. چینه‌شناسی عمومی دره پیس‌ریور (مورگان و همکاران، ۲۰۰۸). مقطع عمودی A-A' مانند شکل ۴-۶ است. فاصله افقی ۱۸ کیلومتر بوده و مقیاس عمودی ۱۸ برابر درشت‌نمایی شده است.

سطح گسیختگی تقریبی را می‌توان با مکان‌یابی جابه‌جایی زمین که از طریق گمانه‌های متعدد با استفاده از انحراف‌سنج‌ها، مورد محاسبه قرار داد. سطح گسیختگی در رسوبات رسی با عمق تقریبی ۱۷ متر زیر سطح زمین در مجاورت گمانه TH05-03

قرار دارد. براساس محاسبات شیب توسط انحراف‌سنج‌ها، سطح گسیختگی لغزش مورد بحث می‌تواند به دو بخش تقسیم شود. بخش اول، که در بالای شیب و بالای بزرگراه ۲ قرار دارد به نظر می‌رسد کم‌تر فعال باشد. بخش دوم، که در پایین شیب و بالا خط آهن CN قرار دارد فعال بوده و مستقیماً جاده را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

یکی از مهم‌ترین فواید استفاده از بررسی سیستمی عوارض زمین‌لغزش‌های مختلف از طریق ابزار GIS توانایی بررسی کینماتیک زمین‌لغزش و اثبات عوامل زمین‌شناسی کنترل‌کننده تشکیل سطح گسیختگی است. داده‌های گمانه‌های پایگاه داده‌های مرکزی به همراه نقشه‌برداری صحرایی مورد استفاده قرار گرفته است تا مدل زمین‌شناسی ناحیه‌ای زیرسطحی ایجاد و مکان زمین‌لغزش‌ها تعیین شود. شکل ۴-۱۰ مقطع شماتیک زمین‌شناسی شهر پیس‌ریور را نشان می‌دهد که در آن ستون چینه‌شناختی ارائه شده توسط مورگان و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داده شده است. در این چارچوب زمین‌شناسی، اطلاعات گمانه‌ها در هر زمین‌لغزش خاص به‌منظور تعیین محل وقوع آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین داده‌های انحراف‌سنج‌ها می‌توانند برای تائید محل سطح گسیختگی و در نتیجه نوع کینماتیک دگرشکلی مؤثر واقع شود.

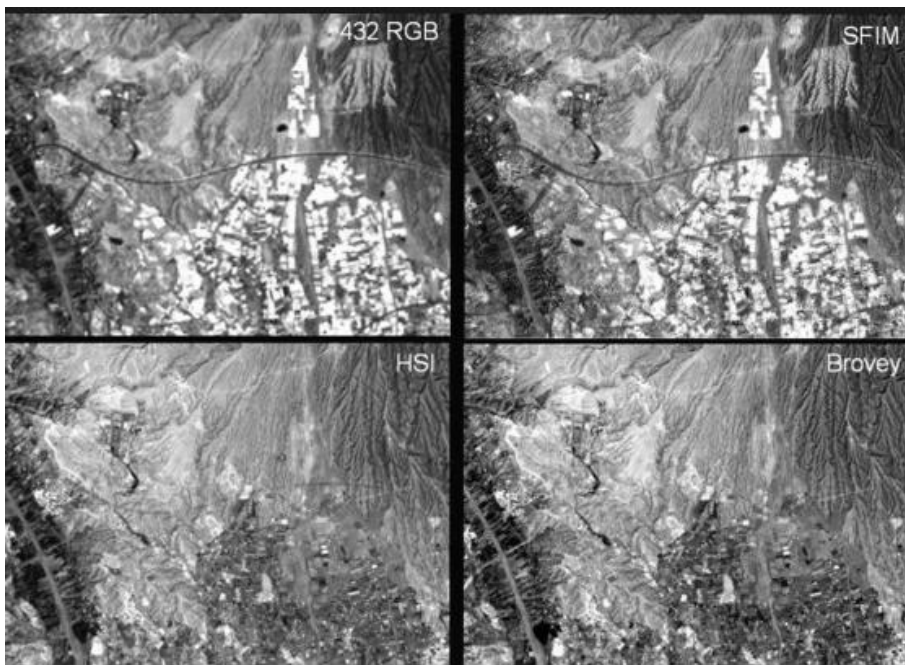
به‌طور کلی، مطالعه مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری باید بتواند مسائل پیچیده زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و آب‌شناسی را بررسی و حل کند. به‌منظور فهم بیش‌تر این فرایندهای پیچیده، دانش و فن جدیدی مورد نیاز است. گسترش و توسعه ابزارهای خاص در محیط GIS و ارتباط آن با داده‌های مکانی و زمانی جهت تحلیل‌های ژئوتکنیکی می‌تواند بسیاری از این مشکلات را حل کند.

۴-۲-۲ دورسنجی یا سنجش از دور^۱

استفاده از تکنیک سنجش از دور به‌طور فزاینده‌ای در مطالعات محیطی در حال افزایش است. در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ تصاویر ماهواره‌ای عمدتاً جهت تفسیر یا به‌عنوان یک نقشه زمینه مورد استفاده قرار می‌گرفت (ریب و لیانگ، ۱۹۷۸). بنابراین، در سال‌های اخیر مطالعات محیطی را نمی‌توان یافت که در آن پردازش پیشرفته تصویر ماهواره‌ای گنجانده نشده باشد. توسعه سریع فناوری اطلاعات به‌ویژه در بخش مشاهدات زمین این روند را تشدید کرده است. ماهواره‌ها و هواپیماهای دورسنجی که زمین را

تحت نظر دارند پایگاه‌هایی هستند که به‌طور مصنوعی طراحی شده‌اند تا با طول‌موج‌های متعدد طیف الکترومگنتیک، زمین را مورد کاوش قرار دهند. تکنولوژی مدرن دورسنجی فرصت بسیار خوبی جهت مشاهده فرایندهای ژئودینامیک در اختیار قرار می‌دهد. در مواردی که فرایندهای زمین‌شناسی دارای سرعت بالایی هستند کاوش مکرر یک منطقه توسط ماهواره‌ها می‌تواند اطلاعات بسیار خوبی جهت مونیتورینگ یک رخداد زمین‌شناسی فراهم کند.

سنجش از دور کاربردهای مناسبی برای تشخیص آتش‌سوزی در جنگل، مونیتورینگ سیلاب، مطالعات جنگل‌زدایی، جابه‌جایی‌های ناشی از زمین‌لرزه، پیگیری آلودگی‌های زیست‌محیطی، بررسی بیابان‌زایی و فرسایش و بسیاری از زمینه‌های دیگر دارد (شکل ۴-۱۱). یکی از مهم‌ترین کاربردهای تکنولوژی ماهواره‌ای مطالعه مخاطرات طبیعی است که در آن تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند مخاطراتی لازم را در زمینه وقوع یک حادثه طبیعی مشخص صادر کنند (کوهیاما و یامازاکی، ۲۰۰۵) تا



شکل ۴-۱۱. کاربرد InSAR در مطالعات مخاطرات طبیعی از قبیل فرسایش سریع، پیشروی شن و ماسه، فرونشست و زلزله (اقتباس از وو و همکاران، ۲۰۱۴).

کنترل‌های لازم انجام شده و یا برآورد سریعی از خسارات صورت پذیرد و فرایند تصمیم‌گیری جهت پشتیبانی و امداد به‌درستی انجام شود. تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی خود به تنهایی می‌توانند به‌منظور توسعه مدیریت منابع طبیعی به‌کار گرفته شوند. بنابراین، کاربرد نهایی و مناسب در ترکیب این داده‌ها توسط تکنیک GIS صورت می‌گیرد.

داده‌های کسب شده از ماهواره‌ها عمدتاً رقومی هستند. اسکنرهای چندطیفی^۱ با تعداد باندهای ۲۲۰-۳ که محدوده موج کوتاه طیف الکترومگنتیک را پوشش می‌دهند، متداول‌ترین اسکنر در ماهواره‌ها و هواپیماها هستند. دقت و تفکیک‌پذیری^۲ مکانی به‌طور پیوسته در حال بهبود بوده و به داده‌های فراوان تصویر افزوده می‌شود که وقتی با باندهای انتخاب شده اسکنرهای چندطیفی تلفیق شود منبع اطلاعات بسیار قوی را تولید خواهد کرد. ماهواره‌های رادار با همه ظرفیت‌های هوایی به طیفی از ماهواره‌ها افزوده شده‌اند. جهت کاوش زمین، داده‌های رادار به همراه ماهواره معین به مقادیر اندازه‌گیری شده اضافه خواهند شد. برای نخستین بار امکان این وجود دارد که مدل توپوگرافی دقیقی برای سطح زمین تولید شود. از این‌رو ارتفاعات می‌توانند قاره به قاره باهم مقایسه شوند. برنامه‌های آینده به شکلی خواهد بود که داده‌ها با تفکیک‌پذیری عمودی بالاتر دریافت شده و نقشه‌های کارتوگرافیک دقیق‌تر تهیه شوند.

در زمین‌شناسی دو نوع نیروی اصلی (نیروهای درونی و بیرونی) وجود دارند که سطح قاره ما را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هر دو نوع نیرو می‌توانند موجب بروز مخاطرات زمین‌شناسی شوند. نیروهای درونی، منشأ گرفته از درون زمین، می‌توانند موجب بالآمدگی^۳، زلزله و همچنین فعالیت آتش‌فشانی شوند. نیروهای برون‌زا مانند فرسایش، سیلاب، بیابانی‌شدن و تمامی مخاطرات مرتبط به آن‌ها می‌توانند جمعیت بیش‌تری را تحت تأثیر قرار دهند. همه فرایندهای یاد شده می‌توانند موجب بروز حوادث مصیبت‌بار شده و این در حالی است که مردم آمادگی لازم را ندارند. معمولاً تأثیر مخاطرات دست‌کم گرفته شده و یا در مورد آن‌ها اغراق می‌شود.

- **فرسایش**^۴: فرسایش و رسوب‌گذاری دو فرایندی هستند که معمولاً در کل سطح زمین یافت می‌شوند. باد و آب بالاترین بخش سطح زمین را کنده و در جای دیگری نهشته

1. Multispectral scanners (MSS)
2. Resolution
3. Uplift
4. Erosion

می‌کند. هر دو فرایند می‌توانند موجب بروز مخاطرات زمین‌شناسی شوند. سنسورهای چشمی فضایی یا هوایی، می‌توانند مناطقی که مکرر تحت‌تأثیر فرسایش هستند را نقشه‌برداری کنند. تأثیرات در امتداد سواحل نیز می‌تواند شدید باشد. این تغییرات حاصل از فرسایش و رسوب‌گذاری با مقیاس چندین کیلومتر از طریق تصاویر ماهواره‌ای در مجاورت سواحل جاکارتا (یکی از سواحل جزیره جاوا اندونزی) دیده شده است. فرسایش بادی در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک که به‌خوبی شناسایی شده‌اند می‌توانند با استفاده از ماهواره‌های کاوشگر زمین مورد نظارت قرار گیرند. مشخص شده است که در بخش‌های شمالی فرانسه، بلژیک، دانمارک و آلمان و همچنین در بخش‌های مرکزی غرب آمریکا، فرسایش بادی شدیدی رخ داده است. اخیراً توجه زیادی به زمین‌لغزش معطوف شده‌است. در این مورد نیز باید انواع زمین‌لغزش‌ها مشخص شوند. زمین‌لغزش‌های بزرگ تا متوسط مقیاس می‌توانند توسط تصاویر SPOT، IRS و LANDSAT-TM و در ترکیب با تصاویر RADAR و DTM تشخیص داده شوند. زمین‌لغزش‌های با مقیاس کوچک‌تر می‌توانند به‌سادگی توسط عکس‌های هوایی مشخص شوند. بررسی خطر خزش خاک که در خلال بارش سنگین تشدید می‌شود، بسیار سخت است. نقشه‌برداری با استفاده از تکنولوژی لیزراسکن^۱ همچنان گران بوده و مستلزم پرواز مکرر هوایی است. نمونه‌ای از تغییرات نامحسوس زمین در بخش شمالی آلمان که توسط کوهن و همکاران (۱۹۹۹) با استفاده از این تکنیک مورد مطالعه قرار گرفته، ارزش این روش را به نمایش گذاشته است. تداخل‌سنجی^۲ رادار حتی برای مدارهای ماهواره‌ای نیز می‌تواند نتایج بسیار عالی از جابه‌جایی در مقیاس سانتی‌متر را فراهم کند (ماسونت و همکاران، ۱۹۹۹). بنابراین، پوشش گیاهی که در آب‌وهوای معتدل و به‌ویژه مرطوب فراوان است مانع تشخیص تغییرات توپوگرافی اندک می‌شود.

- **آتش‌فشان:** آتش‌فشان‌ها در امتداد مرزهای زمین‌ساخت صفحه‌ای تمام نقاط جهان پراکنده هستند. به مقدار محدودتر این پدیده‌های زمین‌شناسی درون صفحات زمین‌شناسی یا قاره‌ها و عمدتاً در ساختارهای گرابن عمیق و سیستم‌های گسلی نیز یافت می‌شوند. از دیدگاه مخاطرات زمین‌شناسی می‌توان آتش‌فشان‌ها را به سه نوع

1. Laser-scan

2. Interferometry

فعال، خوابیده و خاموش طبقه‌بندی کرد. البته مفهوم خاموش می‌تواند گمراه‌کننده باشد. به‌عنوان مثال آتش‌فشان پیناتوبو^۱ در فیلیپین به‌عنوان آتش‌فشان خاموش در نظر گرفته شده بود اما در ژوئن سال ۱۹۹۱ فوران کرد. آخرین فوران این آتش‌فشان مربوط به ۵۰۰ سال پیش بوده‌است که نسبت به عمر بیش از یک میلیون ساله آتش‌فشان زمان کوتاهی است. از این دیدگاه، خطر آتش‌فشان‌های خاموش را که مقدار بسیار کمی گاز منتشر می‌کنند و از نظر توپوگرافی بسیار ثابت هستند را نیز نمی‌توان نادیده گرفت. بنابراین شهرهای مجاور آتش‌فشان‌ها مدام در معرض خطر قرار دارند. در هنگام فعالیت آتش‌فشان‌ها، نه تنها محصولات آتش‌فشانی مانند جریان‌های آذرآواری، توف‌ها، جریان‌ات گدازه‌ای و لاهارها تهدیدی برای زندگی ساکنان این شهرها و همچنین زیرساخت‌ها محسوب می‌شوند بلکه زمین‌لرزه‌ها، سونامی‌ها و مرگ خاموش ناشی از انتشار CO_2 (مانند آتش‌فشان نایوس^۲ کامرون در سال ۱۹۸۶) نیز تهدیدات بالقوه‌ای به حساب می‌آیند. مقادیر عظیم گاز متان در کیوولیک^۳ مرز ژئیر-بروندی خطر دائم دیگری است که ساکنان ساحل آن را تهدید می‌کند (تیتزه، ۱۹۹۲). از عواقب دیگر فوران آتش‌فشانی نهشته‌شدن لاهار است که دارای ابعاد ویرانگری بوده و در دامنه‌های آتش‌فشان‌های پیناتوبو، حوضه آبریز ساکوبیا^۴ و یا کوهستان سنت‌هلنز^۵ قابل مشاهده است.

به‌طور سنتی، آتش‌فشان‌ها به بهترین شکل از طریق وسایل ژئوفیزیکی به‌نام زلزله‌سنج^۶ که لرزش‌های مرتبط با رخداد‌های آتش‌فشانی زیرسطحی را ثبت می‌کند، مورد کاوش قرار گرفته‌اند. روش‌های دورسنجی برای مشاهده فرایندهای سطحی فوران‌های آتش‌فشانی مناسب‌تر هستند. این مسئله همچنین فرایندهای پیش از فوران را نیز شامل می‌شود. این‌گونه فرایندها عبارتند از دورسنجی حرارتی دریاچه‌های آتش‌فشانی یا محدوده‌های فومرول^۷ و تغییرات توپوگرافی مانند برآمدگی و افت ساختار مخروط آتش‌فشانی که توسط حسگرهای چشمی و داده‌های رادار (داده‌های تداخل سنجی) قابل مشاهده است. انتشار گازها توسط ایستگاه‌های زمینی به‌منظور

1. Pinatubo

2. Nyos

3. Kivu-Lake

4. Sacobia

5. St. Helens

6. Seismometer

7. Fumarole. به درز و شکاف‌های اطراف آتش‌فشان گفته می‌شود که از آن‌ها گازهای آتش‌فشانی خارج می‌شوند.

تشخیص ترکیب گازها که می‌توانند نشانگر تغییر رفتار آتش‌فشان باشند صورت می‌پذیرد. ابزارهای جدید LANDSAT-7 و EO-1 می‌تواند سنسورهای چندطیفی حرارتی را فراهم کند. این ابزارها جهت نقشه‌برداری حرارتی مناسب‌تر از سنسورهای حرارتی فعلی در ماهواره NOAA و دیگر ماهواره‌های هواشناسی هستند. جهت بررسی تأثیرات محلی فوران آتش‌فشانی، سنسورهای رادار و چشمی به‌ویژه وقتی که با DEM ترکیب شوند، بسیار مقرون به‌صرفه هستند. پیش‌بینی خطر آتش‌فشان شامل کاربرد سنسورهای یاد شده و DEM به‌منظور تشخیص مراکز فوران احتمالی و انتشار محصولات آتش‌فشانی به‌سمت پایین دامنه است.

• **گسل‌های فعال و زلزله:** تصویرسازی بصری و ماهواره رادار به‌عنوان ابزارهای عالی جهت نقشه‌برداری گسل‌های فعال محسوب می‌شوند. این گسل‌ها به‌صورت ناحیه‌ای با طرح و شکل‌های مختلفی بروز پیدا می‌کنند و آشنایی با این طرح‌ها، بازسازی نوع جابه‌جایی در امتداد گسل و ارتباط آن‌ها با آتش‌فشان‌های فعال می‌تواند در بررسی مخاطرات زمین‌شناسی بسیار مؤثر واقع شوند. اگر اطلاعات مکانی مراکز درونی و بیرونی زلزله ترسیم شود شکل کلی زلزله با دقت بیشتری به‌دست خواهد آمد. مشاهدات تصاویر LANDSAT-TM در کوه‌های هیمالیای نپال و چین نشان داده است که بین گسل‌های فعال مرتبط با زلزله و زمین‌لغزش‌های بزرگ ارتباط نزدیکی وجود دارد. تأثیرات زلزله‌ای که در سال ۱۹۸۶ مکزیکوسیتی را ویران کرد از طریق نقشه‌برداری حوضه‌های بزرگ و آنالیز رسوبات زیرسطحی توسط روش‌های زمین‌شناسی متداول قابل پیش‌بینی بود. نوع رفتار گسل‌های فعال بسیار ضروری است. بسیاری از سدها در اقصی نقاط جهان بر روی این‌گونه گسل‌ها بنا شده‌اند و در نتیجه داشتن اطلاعاتی در خصوص گسل‌های یاد شده به‌ویژه وقتی که مرتبط با مراکز درونی و بیرونی زلزله هستند می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از ویرانی سد و زلزله مفید باشد.

۳-۴ تکنیک‌های نقشه‌برداری ویژه

استفاده از نقشه‌برداری جهت تولید داده از مخاطرات زمین‌شناسی و همچنین ترکیب آن‌ها با اطلاعات اقتصادی - اجتماعی یک شهر می‌تواند موجب تسهیل تحلیل‌های موردنظر شده و موجب تسهیل مشارکت انجمن‌ها و تشکلات دولتی و مردمی در

زمینه فرایند مدیریت بحران می‌شود. از نتایج دیگر استفاده از این نقشه‌ها ارتباط و درک بهتر بین برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران شهری است. دو تکنیک مهم عبارتند از نقشه‌برداری مخاطرات چندگانه و نقشه‌برداری از امکانات حیاتی در ادامه مشکلات تهیه این‌گونه نقشه‌ها، کاربرد آن‌ها و فواید ترکیب آن‌ها مورد بحث قرار خواهد گرفت.

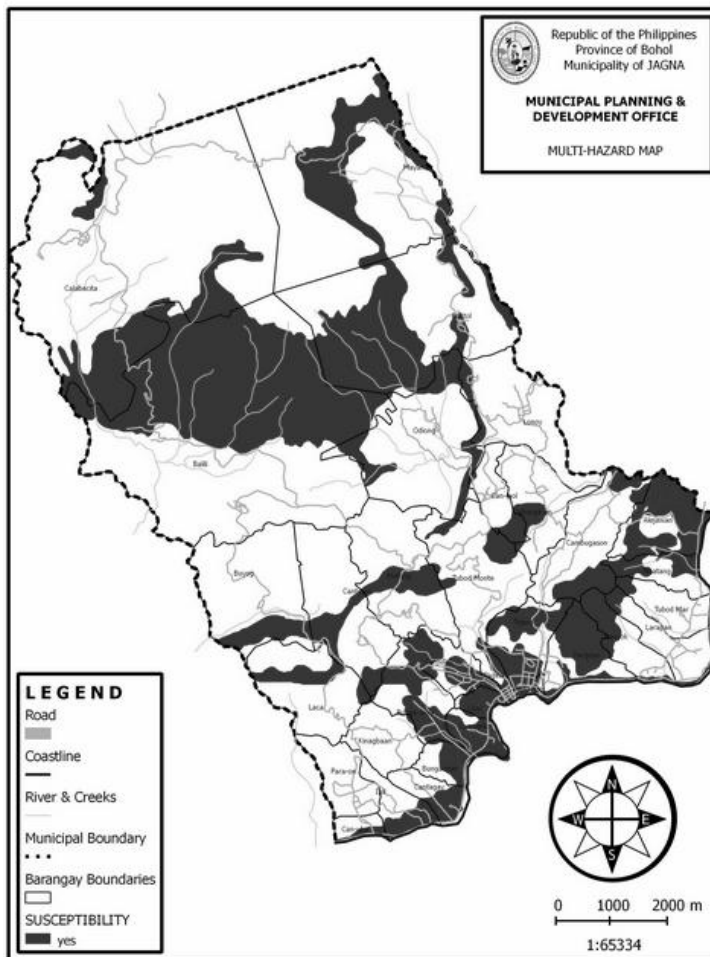
۳-۴-۱ نقشه‌برداری مخاطرات چندگانه^۱

اطلاعات ارزشمند در مورد مخاطرات طبیعی مختلف در یک منطقه مورد مطالعه را می‌توان با مقیاس‌ها، منطقه مورد پوشش و جزئیات مختلف پیاده کرد اما استفاده از این نقشه‌های ناهمسان در تحلیل خطر و یا اتخاذ تصمیم مناسب جهت کاهش خسارات مشکل خواهد بود. اطلاعات تعدادی از آن‌ها می‌تواند در یک نقشه تجمیع شود تا تصویری جامع از بزرگی، فراوانی و منطقه تحت‌تأثیر همه مخاطرات طبیعی به‌دست آید (شکل ۴-۱۲). نقشه مخاطرات چندگانه (نقشه پوششی^۲) ابزاری بسیار مناسبی برای آگاهی از ویژگی‌های مخاطرات و تحلیل خطرپذیری خواهد بود، به‌ویژه وقتی با نقشه تأسیسات زیربنایی ترکیب شود. مزایای این نقشه‌ها عبارتند از:

- ویژگی‌های مخاطرات طبیعی و خسارات احتمالی آن‌ها می‌تواند از منابع مختلف گردآوری شده و در یک نقشه متمرکز شوند.
- می‌توان هشدارهای لازم را در مورد حوادثی (مانند زلزله یا آتش‌فشان) که خود می‌توانند باعث بروز یا تشدید مخاطرات طبیعی دیگری شوند، به مراجع مربوطه اطلاع داد.
- با استفاده از این نقشه‌ها، دیدگاه بسیار بهتری نسبت به تأثیرات مخاطرات طبیعی در یک منطقه می‌توان به‌دست آورد. براین اساس برای مناطق درگیر با مخاطرات مشابه می‌توان روش‌های مشابهی را پیشنهاد داد.
- می‌توان برای مناطق کوچک‌تر اطلاعات، بررسی‌ها و یا روش‌های کاهش خطر بیش‌تری را از طریق این نقشه‌ها به‌دست آورد.
- تصمیم‌گیری در مورد نوع کاربری زمین را می‌توان با اشراف کامل نسبت به همه مخاطرات احتمالی انجام داد.

1. Multiple Hazard Mapping (MHM)

2. Overlay map



شکل ۴-۱۲. نقشه مخاطرات چندگانه شهر جانگای فیلیپین که در آن مناطق حساس و آسیب‌پذیر نسبت به مخاطراتی نظیر سیل، آتش‌سوزی و زمین‌لغزش به رنگ تیره نشان داده شده‌اند (<http://jagna.gov.ph/links/drrmcca-pilot-municipality>).

- استفاده از نقشه مخاطرات چندگانه کاربردهای متعددی در برنامه‌ریزی‌های فوری نیز دارد:
- این نقشه‌ها پایه‌ای برای تخصیص عادلانه امکانات جهت برنامه‌ریزی هستند.
- این نقشه‌ها باعث استفاده مؤثرتر در واکنش سریع و فرایندهای بازیابی پس از بروز حادثه می‌شوند.
- نقشه مخاطرات چندگانه با ارائه اطلاعات موردنیاز، موجب گسترش موافقت‌نامه‌ها بین ارگان‌ها و گروه‌های مختلف جهت همکاری در زمینه مقابله با خطرات طبیعی می‌شود.

نقشه پایه‌ای که در آن همه اطلاعات ضروری گنجانده شده باشد، بسیار مورد توجه است و در مأموریت‌های مقدماتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بهترین حالت آن است که قبل از برخورد با هرگونه مشکلی از نقشه‌ها یا عکس‌های هوایی استفاده کرده و در زمان صرفه‌جویی شود.

مقیاس مورد استفاده در نقشه‌های مخاطرات چندگانه وابسته به مقیاس نقشه پایه و همچنین نوع اطلاعاتی که باید در نقشه نشان داده شود. اگر در انتخاب مقیاس حق انتخاب وجود داشته باشد در آن صورت باید عوامل زیر در نظر گرفته شوند:

- تعداد مخاطراتی که در نقشه‌های مورد بحث نمایش داده خواهد شد.
- تعداد عناصر مخاطرات نمایش داده شده.
- منطقه تحت پوشش.
- کاربردهای موردنظر در نقشه‌های چندگانه.

غالباً اطلاعات مرتبط با مخاطرات معمولاً به صورت غیر از فرمت نقشه ارائه می‌شوند که برای افراد غیرمتخصص قابل استفاده نیستند. بنابراین این نوع اطلاعات باید برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران ترجمه شده و در نقشه گنجانده شوند. اطلاعات باید چگونگی تأثیرات مخرب مخاطرات بر زندگی، اقتصاد و فعالیت‌های اجتماعی مردم را توضیح دهد و از این رو باید شامل مکان، احتمال وقوع (دوره بازگشت) و شدت مخاطرات باشد. اگر برخی از این داده‌ها در نقشه وجود نداشته باشد، در آن صورت گروه برنامه‌ریزی باید تصمیم گیرد که چگونه امکان پرکردن خلاء یاد شده وجود دارد و باید در مورد عدم وجود این نوع داده‌ها در مواقع تصمیم‌گیری توسعه شهری و سرمایه‌گذاری اطلاع‌رسانی شود.

برخلاف اهمیت نقشه‌های مخاطرات چندگانه در فرایند برنامه‌های توسعه‌ای جامع، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران باید به خاطر داشته باشند که اعتبار، دقت و محتوای نقشه‌های مورد بحث بهتر از اطلاعات هر یک از مخاطرات به صورت جداگانه نخواهد بود. علاوه بر این، در صورتی که حتی نقشه مخاطرات چندگانه فاقد هرگونه اطلاعات جدید باشد با این حال در این صورت اطلاعات تجمیع شده قبلی را به صورت واضح‌تر و بهتری ارائه کند. لازم به ذکر است که واضح‌بودن و سادگی نقشه عامل اصلی در کاربردی‌بودن آن است.

۴-۳-۲ نقشه برداری تجهیزات حیاتی^۱

اصطلاح تجهیزات حیاتی به ساختارهای ساخت بشر (مانند سد) گفته می‌شود که به دلیل اندازه، نوع خدمات‌رسانی، وسعت پوشش و یا بی‌جایگزین بودن در صورت آسیب دیدن در اثر مخاطرات طبیعی موجب خسارات مادی و اجتماعی وسیعی می‌شوند.

هدف اولیه یک نقشه تجهیزات حیاتی این است که مکان، ظرفیت و منطقه تحت پوشش را به صورت شفاف و دقیق به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران نشان دهد. تعداد فراوانی از این تجهیزات را می‌توان در آن واحد در یک نقشه به نمایش گذاشت. اگر این نقشه با نقشه مخاطرات چندگانه ترکیب شود می‌تواند نشان دهد که کدام مناطق نیازمند اطلاعات بیش‌تری هستند تا براساس آن بتوان با استفاده از روش‌های مختلف خسارات ناشی از مخاطرات زمین‌شناسی را کاهش داد و در لحظه رخداد حوادث چه منطقه‌ای محتاج توجه فوری است. برخی از فواید نقشه تجهیزات حیاتی به شرح زیر است:

- فقدان ناشی از نبود خدمات تجهیزات حیاتی قابل بررسی و شناسایی است.
- تجهیزاتی که مستلزم ارتقاء و یا توسعه هستند مورد شناسایی قرار می‌گیرند.
- تأثیر توسعه احتمالی زیرساخت‌های موجود را می‌توان قبل از انجام یا تکمیل پروژه مورد بررسی قرار داد.
- هرگونه نیاز برای بررسی بیش‌تر و یا بهتر مخاطرات از طریق نقشه‌های مورد بحث آشکار می‌شود.

۴-۴ ترکیب نقشه‌های مخاطرات چندگانه و تجهیزات حیاتی

فواید بسیاری در تهیه یک نقشه تجهیزات حیاتی در مناطق شهری نسبت به نقشه مخاطرات چندگانه وجود دارد و تلفیق این دو می‌تواند بسیار کاربردی باشد. به عنوان نمونه اگر مشخص شود که یک ابزار حیاتی در منطقه پرخطر قرار دارد، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران به این حقیقت پی خواهند برد اگر در آینده حادثه‌ای رخ دهد، ممکن است صدمات جدی به آن وارد شود. بنابراین می‌توان شرایط را بررسی و پیش‌بینی‌های لازم را انجام داد.

اگر روش‌های مناسب کاهنده خسارات در هر مرحله از فرایند برنامه‌ریزی گنجانده شود در آن‌صورت از وقوع بلایای اجتماعی و اقتصادی ناشی از مخاطرات طبیعی پرهیز شده و یا حداقل از میزان خسارات آن به‌شدت کاسته خواهد شد. تجهیزات حیاتی جدید را می‌توان با ایجاد در مناطق کم‌خطر، طراحی مقاوم و یا استفاده در مناطق تحت پوشش و محافظت مورد استفاده قرار داد. استراتژی برای تجهیزات حیاتی موجود شامل برنامه‌های جابه‌جایی، تقویت، به‌روزرسانی، بازنگری کاربری و سازمان‌دهی فوری، واکنش و بازیابی است. منافع حاصله از ترکیب نقشه‌های تجهیزات حیاتی و مخاطرات چندگانه به شرح زیر است:

- برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران نسبت به تأثیر مخاطرات طبیعی بر تجهیزات موجود و جدید، قبل از انجام و تکمیل پروژه آگاه خواهند شد.
- محاسبات دقیق‌تری از نسبت‌های سود-زیان برای توسعه شهری جدید امکان‌پذیر خواهد بود.
- مناطق کوچک‌تر و حاشیه شهری که مستلزم توجه و بررسی متفاوت‌تری نسبت به مناطق توسعه‌یافته‌تر شهری هستند مشخص شده و آمادگی‌های ضروری، امداد سریع و یا روش‌های موردنیاز جهت کاهش خسارات در این مناطق قابل بررسی خواهند بود.

ترکیب نقشه‌های تجهیزات حیاتی و مخاطرات چندگانه همچنین می‌تواند توسط آژانس‌هایی که در مورد کاربری زمین، آمادگی و واکنش در مقابل مخاطرات، سرویس خدمات همگانی مانند آب و برق، حمل‌ونقل، ارتباطات، امنیت ملی و ایمنی شهری فعال هستند، مورد استفاده قرار گیرد. سرمایه‌گذاران ملی و بین‌المللی نیز می‌توانند از این نقشه‌ها استفاده کنند. برخی موارد کاربرد نقشه‌های مخاطرات چندگانه در ادامه اجمالاً مورد بحث قرار می‌گیرند.

- **سازمان‌دهی کاربری زمین:** برنامه‌ریزی جهت نوع استفاده درست از زمین یکی از مؤثرترین راه‌های پرهیز یا کاهش گسترش توسعه بی‌رویه در مناطق حادثه‌خیز شهری است. در یکی از مناطق کالیفرنیا که از نظر زلزله مورد بررسی قرار گرفته است، مخاطرات احتمالی ناشی از زلزله، روان‌پذیری خاک، جابه‌جایی زمین، زمین‌لغزش و سیل ناشی از شکسته‌شدن سیل‌بند در نقشه مخاطرات چندگانه

گردآوری شده و سه منطقه مشخص شده تا مورد بررسی دقیق‌تر قرار گیرند. سپس براساس نتایج این بررسی اسکان شهری، حمل‌ونقل، خدمات عمومی و امکانات ضروری مورد آمایش قرار می‌گیرند. این نمایش تصویری می‌تواند شهروندان را مانند برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران به پتانسیل مخاطرات احتمالی و خسارات ناشی از آن در مناطق مختلف آگاه کند. علاوه بر این، نقشه‌های بزرگ مقیاس می‌تواند مخاطرات احتمالی در شرایط مرزی و ناپایدار را نشان دهد.

- **مقررات توسعه:** گاهی تجهیزات حیاتی و اطلاعات مخاطرات نشان داده شده در نقشه برای منظور خاصی انتخاب می‌شوند. به‌عنوان مثال در سال ۱۹۷۲ در کالیفرنای آمریکا قوانین خاصی برای امنیت عمومی وضع شد که براساس آن توسعه سطحی در مناطق گسلی محدود شد.

- **آشکارسازی نوع واگذاری‌های زمین:** معمولاً نقشه‌های تجهیزات حیاتی-مخاطرات چندگانه به‌منظور بررسی روند فروش زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقامات محلی می‌توانند برای مالکین یا فروشندگان مشخصات واقعی زمین را تعیین کنند تا وام‌گیرندگان یا خریداران از کیفیت مخاطرات طبیعی احتمالی در منطقه آگاه باشند. برای تسهیل این امر، شوراها محلی می‌توانند نقشه‌هایی را تهیه کنند که براساس نام خیابان‌ها و مناطق دارای پتانسیل مخاطره طبیعی بنا شده‌است.

- **آگاهی عمومی:** غالباً پیش‌نیاز کسب پشتیبانی جهت توسعه همزمان شهری و کاهش مخاطرات داشتن آگاهی اجتماعی بالا در شهروندان در مورد مخاطرات طبیعی و همچنین در مورد تجهیزات حیاتی است. به‌عنوان مثال بیش از ۱۷۵۰ کیلومتر از سواحل کالیفرنیا در اقیانوس آرام براساس مجموعه‌ای از فرسایش ساحلی، امواج بلند، افت زمین، فرسایش پرتگاه‌ها، زمین‌لغزش، خزش، سنگ‌افت و امواج طوفانی به سه منطقه پرخطر در نقشه پهنه‌بندی شده‌است (گریگز و همکاران، ۱۹۸۵). هدف از چنین مطالعاتی کمک به برنامه‌ریزان، سرمایه‌گذاران و تصمیم‌گیران جهت اتخاذ تصمیم درست در مورد ساخت‌وساز، خرید و فروش و زندگی در مناطق خطرناک است.

- **برنامه‌ریزی جهت آمادگی در مواقع بحران:** نقشه‌ها می‌توانند برای نشان دادن تجهیزات حیاتی، بزرگراه‌ها، فرودگاه‌ها، خطوط ریلی، لنگرگاه‌ها، خطوط ارتباطی،

خطوط انتقال آب آشامیدنی و سیستم‌های دفع زباله، خطوط انتقال برق، گاز طبیعی و نفت تهیه نشوند که مستلزم رسیدگی سریع در مواقع وقوع مخاطرات طبیعی هستند. نقشه ارتباطات از راه دور مانند تلفن نیز می‌تواند در این نقشه‌ها گنجانده شود. در نتیجه، نقشه‌های تجهیزات انتقال آب و دفع فاضلاب نیز می‌توانند محل آسیب‌دیدگی احتمالی آن‌ها را نشان داده و برآوردی از خسارات را ارائه کنند. اغلب خطوط حیاتی در مقابل خسارت حساس هستند و از این‌رو واکنش سریع در بازسازی آن‌ها می‌تواند با استفاده از نقشه‌های مورد بحث صورت پذیرد.

- **انتخاب محل^۱:** معمولاً موقعیت، احتمال و شدت وقوع مخاطرات طبیعی به‌عنوان معیاری مهم جهت انتخاب یک محل به‌منظور ایجاد بنا یا استقرار تجهیزات حیاتی در نظر گرفته می‌شود. به‌عنوان مثال در بررسی صورت‌گرفته در مناطقی که به‌عنوان محل دفع زباله‌های خطرناک (مانند زباله‌های رادیواکتیو یا بیمارستانی) در نظر گرفته می‌شوند باید توجه داشت که این مکان‌ها و تجهیزات آن‌ها باید در فاصله‌ای از شهر قرار گیرند که موجب به خطر افتادن سلامت و امنیت شهروندان، کیفیت هوا و آب، حیات وحش، منابع طبیعی حیاتی و مناطق مسکونی نشود (پرکینز، ۱۹۷۸). محل‌های قرارگرفته در معرض سیلاب، فرسایش، گسل‌خوردگی، روان‌شدگی^۲ و زمین‌لغزش غیرقابل قبول هستند. به این دلیل، محل و نوع مخاطرات طبیعی از عوامل اصلی در انتخاب محل برای ساختمان‌های ساحلی، ایستگاه‌های تولید نیرو، سدهای برق‌آبی، خطوط آب، پایانه‌های گاز مایع طبیعی، مدارس و سایر تجهیزات حیاتی هستند.

۴-۵ مقیاس بررسی مخاطرات زمین‌شناسی

بررسی مخاطرات زمین‌شناسی در محیط‌های شهری با استفاده از GIS می‌تواند از طریق از مقیاس‌های نقشه‌برداری مختلفی صورت پذیرد. اگرچه امکان نمایش و تحلیل داده‌های GIS در بسیاری از مقیاس‌ها وجود دارد اما در عمل، مقیاس داده ورودی تعیین‌کننده مقیاس (کیفیت) تحلیل خواهد بود. عواملی وجود دارند که در تعیین مقیاس بررسی مخاطرات مورد بحث نقش ایفا می‌کنند (فل و همکاران، ۲۰۰۸؛ وستن و همکاران،

۲۰۰۸). از جمله این عوامل می‌توان به هدف از بررسی، نوع مخاطره، اندازه و مشخصات منطقه مورد مطالعه، داده‌ها و منابع در دسترس و دقت مورد نیاز اشاره کرد. جدول ۴-۱ در مورد مقیاس‌ها و روش‌های مختلف بررسی مخاطره دیدگاه کلی ارائه می‌دهد.

بررسی مخاطره در مقیاس جهانی عمدتاً درصدد ایجاد حلقه ارتباطی بین کشورهای درگیر است تا از این طریق اولویت پشتیبانی توسط ارگان‌های بین‌المللی مانند بانک جهانی،^۱ ADB،^۲ WHO،^۳ UNDP،^۴ و FAO و غیره قرار گیرد (کاردونا، ۲۰۰۵؛ پدوتزی و همکاران، ۲۰۰۹). داده‌های ورودی دارای مقیاسی کم‌تر از یک ده میلیون و تفکیک‌پذیری مکانی بین یک تا پنج کیلومتر است. برای قاره‌ها یا مناطق مختلف که مشتمل بر کشورهای بسیاری است، بررسی مخاطرات بر روی تحلیل مکانیسم‌های محرک متمرکز شده که مناطق زیادی به وسعت میلیون‌ها کیلومتر مربع (مانند طوفان‌های گرمسیری، زلزله و خشکسالی) را تخریب می‌کند. این مسئله همچنین به مخاطرات عبور کرده از مرزهای کشورها (مانند سیلاب در راین یا گنگ) و یا وابسته به کاهش خطرات طبیعی در سطح بین‌المللی (مانند اتحادیه اروپا)، می‌پردازد.

نقشه‌های مخاطرات با استفاده از روش‌های استاندارد و به‌منظور بررسی خطرات، هشدار به موقع (دی رو و همکاران، ۲۰۰۷) و خسارات پس از تخریب تهیه شده‌اند. مناطقی که در یک پروژه مورد بررسی قرار می‌گیرند می‌توانند دارای ابعاد مختلفی بوده به‌طوری‌که از وسعت برخی کشورها مانند چین، هند و یا آمریکا تا ابعاد قاره‌ای مانند اروپا را شامل می‌شود. با توجه به نوع کاربرد، مقیاس نقشه‌های مورد استفاده بین ۱:۱۰۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰۰ و تفکیک‌پذیری از ۹۰ متر تا یک کیلومتر است. مخاطرات متداول با مقیاس جهانی و یا بین‌المللی، با داده‌هایی با تفکیک‌پذیری مختلف سروکار داشته و دقت آن‌ها وابسته به موضوع مورد بررسی خواهد بود.

بررسی مخاطرات در مقیاس ملی براساس وسعت یک کشور مناطقی با محدوده ده‌ها تا چندصد هزار کیلومتر مربع را دربرمی‌گیرد. بررسی مخاطرات در مقیاس ملی به‌منظور برنامه‌ریزی مکانی، پیاده‌سازی برنامه‌های کاهش خسارات بلایای طبیعی و همچنین ساماندهی و آمادگی و خدمات در حین وقوع مخاطرات صورت می‌گیرد.

-
1. Asian Development Bank's organizational
 2. World Health Organization
 3. United Nations Development Programme
 4. The Food and Agriculture Organization of the United Nations

هنگامی که با مقیاس بزرگ‌تر مانند استان انجام شود، کاربردهای برنامه‌ریزی مکانی بسیار واقعی‌تر خواهند بود. به‌عنوان مثال بررسی مخاطرات مؤلفه‌ای جدایی‌ناپذیر در برنامه‌های توسعه‌ای ناحیه‌ای و گسترش زیرساخت‌ها است. در مقیاس شهرداری‌ها، این مطالعات اساس طبقه‌بندی کاربری زمین و طراحی کاهش خسارات مخاطرات هستند. در مقیاس یک جامعه انسانی مانند یک شهر، این نوع مطالعات و بررسی‌ها با مشارکت انجمن‌ها و مقامات محلی به‌منظور کاهش خسارات انجام می‌شود.

۴-۶ مدیریت مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری

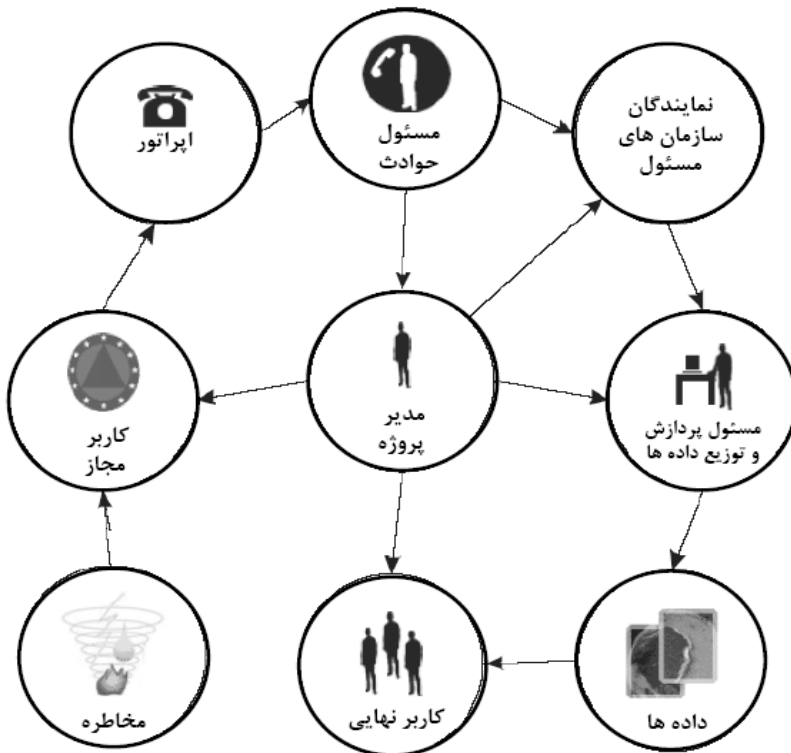
منشور مدیریت مخاطرات زمین‌شناسی با توجه به کنفرانس UNISPACE III برگزار شده در سال ۱۹۹۹ در وین اتریش توسط آژانس فضایی اروپا (ESA^۱) و مرکز ملی مطالعات فضایی فرانسه (CNES^۲)، طراحی شده است. هدف این منشور تهیه سیستم یکپارچه‌ای از دریافت اطلاعات و در اختیار قرار دادن آن‌ها به کسانی است که تحت‌تأثیر مخاطرات زمین‌شناسی قرار دارند تا همکاری بین سازمان‌های مرتبط و کاربران تسریع شده و به مسئولین مرتبط این اجازه داده شود تا کمک‌های فوری را سامان‌دهی کرده و اقدامات پس از وقوع حوادث را سازمان‌دهی کنند. منشور یاد شده به‌طور رسمی در یک ژوئن سال ۲۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت و پس از آن سازمان‌های دیگری از قبیل آژانس فضایی کانادا (CSA^۳) در اکتبر سال ۲۰۰۰، اداره ملی اقیانوس و فضای آمریکا (NOAA^۴) و سازمان تحقیقات فضایی هند (ISRO^۵) در سال ۲۰۰۱، کمیسیون ملی فعالیت‌های فضایی آرژانتین (CONAE^۶) در سال ۲۰۰۳، آژانس اکتشافات هوافضای ژاپن (JAXA^۷) و سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS^۸) در سال ۲۰۰۵ به آن پیوستند.

این منشور برای آژانس‌ها، کاربران سیستم‌های فضایی و اعضای داوطلب در مواقع بلایای بزرگ طبیعی یا انسانی به‌صورت رایگان باز است. این فعالان تلاش دارند تا منابع ماهواره‌ای خود را در دسترس قرار دهند تا در طی بحران، سازمان‌های مربوطه

-
1. European Space Agency
 2. Centre National d'Etudes Spatiales
 3. Canadian Space Agency
 4. National Oceanic and Atmospheric Administration
 5. Indian Space Research Organisation
 6. Argentina's Comisión Nacional de Actividades Espaciales
 7. Japan Aerospace Exploration Agency
 8. United States Geological Survey

بتوانند به سیستم‌های فضایی دسترسی داشته و از منابع منشور مدیریت مخاطرات زمین‌شناسی استفاده کنند (بسیس، ۲۰۰۴).

منشور می‌تواند از طریق یکی از کاربران مجاز توسط تلفن محرمانه به اپراتور کشیک و درخواست فعال‌سازی منابع فضایی و همچنین منابع مرتبط زمینی اعضا جهت دریافت داده‌های مربوط به بالای طبیعی رخ داده فعال شود (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۲. چرخه عملیات مدیریت مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری (تغییر یافته از www.disasterscharter.org).

این اپراتور مشخصات تلفن‌کننده را کنترل کرده و تأیید می‌کند که وی فرد صلاحیت‌دار و شناخته شده‌ای است. سپس اطلاعات دریافتی از وی را در طی حداکثر یک ساعت به مسئول دفتر مخاطرات گزارش می‌کند. این مسئول مهندسی است که از طریق یکی از اعضای منشور معرفی شده و وظایف آن به نوبت و هفته به هفته تحویل نفر دیگر شده و مرحله بعدی برای مسئول دفتر مخاطرات، تحلیل درخواست و نوع

مخاطره طبیعی گزارش شده توسط کاربر است تا براساس آن نوع منابع مناسب و در دسترس ماهواره‌ای را تعیین کرده و متقاضی را در مورد چگونگی استفاده از این داده‌ها راهنمایی کند و با این درخواست استفاده از ماهواره و بازیابی آرشیو داده‌های آن بلافاصله برای همکار اپراتور جهت اقدام سریع ارسال می‌شود. از این پس فرایند فعال‌سازی در حال کار بوده و مسئول حوادث و وظایف خود را به مدیر پروژه معرفی شده توسط مشترکین، تحویل می‌دهد. وی فرایند را تا رسیدن به نتیجه نهایی مدیریت کرده و گزارش را به صورت تصویر، نقشه کاربری زمین، تعیین خسارات و غیره به کاربر نهایی ارائه می‌کند (بسیس، ۲۰۰۴؛ Disasterscharter، ۲۰۰۶).

خودآزمایی چهارگزینه‌ای

۱. بیش‌ترین تلفات ناشی از مخاطرات مختلف طبیعی در قرن بیستم مربوط کدام مورد بوده است؟
(الف) زلزله
(ب) سیل
(ج) زمین لغزش
(د) طوفان
۲. براساس گزارش مؤسسه Swiss Re Group تهران از نظر ریسک رخداد بلایای طبیعی در کدام رتبه جهانی قرار دارد؟
(الف) اول
(ب) چهارم
(ج) ششم
(د) دهم
۳. سونامی حاصل کدام مورد از مخاطرات زمین‌شناسی است؟
(الف) آتشفشان - زلزله - زمین لغزش دریایی
(ب) زمین لغزش دریایی - زلزله - فرونشست
(ج) آتشفشان - زمین لغزش دریایی - فرونشست
(د) آتشفشان - زلزله - سیل
۴. کدام مورد از اثرات مستقیم فرسایش خاک محسوب نمی‌شود؟
(الف) خشکسالی
(ب) کاهش پشتیبانی و مواد غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه
(ج) پرشدگی پایین دست آبراهه‌ها از رسوب
(د) کاهش ظرفیت ذخیره آب

۵. مخاطرات حاصل از مخاطرات دیگر چه نامیده می‌شوند؟
 - الف) مخاطرات ثانویه
 - ب) مخاطرات اولیه
 - ج) مخاطرات به‌هم پیوسته
 - د) مخاطرات چندگانه
۶. در مطالعات زمین‌شناسی شهری ابزار GIS بیش‌تر در کدام قسمت مورد استفاده قرار می‌گیرد؟
 - الف) گردآوری داده‌ها، مدیریت و تلفیق آن‌ها
 - ب) توسعه یک مدل زمینی جامع مشتمل بر رفتار زمین
 - ج) تحلیل‌های مهندسی
 - د) بررسی‌های ژئوتکنیکی

خودآزمایی تشریحی

۱. به چه دلایلی مخاطرات طبیعی (زمین‌شناسی) مورد توجه عموم قرار گرفته است؟
۲. شش مورد از مخاطرات زمین‌شناسی را نام برده و یک مورد را توضیح دهید.
۳. منشور مدیریت مخاطرات زمین‌شناسی را توضیح دهید.
۴. مدیریت درست بلایای طبیعی شامل چه مراحل‌ی است؟
۵. نقشه مخاطرات چندگانه را توضیح دهید.
۶. نقشه تجهیزات حیاتی چیست؟

فصل پنجم

ژئوشیمی مناطق شهری

هدف کلی

با افزایش جمعیت جهان، فهم تأثیرات متقابل بین فعالیت‌های انسانی و محیط شهری روزبه‌روز اهمیت بیش‌تری می‌یابد. از این دیدگاه امروزه توسعه ژئوشیمی زیست‌محیطی مناطق شهری مانند گسترش، پراکندگی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر کمیاب بالقوه سمی یکی از مباحث به روز و کاربردی زمین‌شناسی شهری است. اهمیت این موضوع باعث شد که در یک فصل این کتاب اختصاصاً به این مهم پرداخته شود.

هدف‌های یادگیری

با توجه به هدف‌های کلی یاد شده می‌توان که با مطالعه این فصل از کتاب با موارد ذیل آشنا شد:

۱. بررسی محیط مناطق شهری با دیدگاه ژئوشیمیایی.
۲. اهداف مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری.
۳. روش‌های مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری.
۴. انواع آلاینده‌های ارگانیک و غیرارگانیک.
۵. کاربردهای مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری.

مقدمه

با توجه به این‌که تا آینده نزدیک بیش‌تر مردم دنیا در شهرها سکونت خواهند گزید بنابراین این تمرکز جمعیت و اقتصاد در مناطق شهری، محیط‌زیست این مناطق با

تهدیدات جدیدی مواجه خواهد شد. با تغییرات مراکز شهرها، زیرساخت‌ها نیز پیوسته تغییر یافته و اغلب تغییر کاربری می‌دهند. تخریب آثار به جامانده از زیرساخت‌های متروک و چرخه بیوزئوشیمیایی باعث به خطر افتادن سلامت اکوسیستم و انسان می‌شود. با این‌که این تأثیرات مخرب کاملاً مورد پذیرش قرار گرفته اما در این صورت چگونگی تغییرات یاد شده و تأثیر آن‌ها بر سلامت اکوسیستم و انسان هنوز به‌خوبی شناخته نشده است. از این‌رو اخیراً شاخه‌ای از علم ژئوشیمی به نام ژئوشیمی مناطق شهری مورد توجه قرار گرفته است تا به این موضوع بپردازد.

ژئوشیمی مناطق شهری تقریباً قلمروی جدیدی از مطالعات ژئوشیمیایی است که شامل مجموعه‌ای از علوم مانند شیمی محیط، سم‌شناسی، علوم غذایی، جامعه‌شناسی، تاریخ و مهندسی است. مطالعات مختلف شرایط محیطی خاک‌ها و رسوبات در مناطق مربوط به تمدن بشری در تمام دنیا صورت گرفته و موجب افزایش درک انسان در زمینه نوع ارتباطات با خاک می‌شود.

اغلب اوقات در خیابان‌های شهرهای بزرگ دیده می‌شود که کامیونی با حدود ۱۰ الی ۱۵ مترمکعب از نخاله‌های ساختمان در حال تخریب و نوسازی از محل عبور می‌کند. درون محدوده این ساختمان در حال تخریب نخاله‌های و ذرات ساختمانی خرد شده فراوان است. سیمان، چوب رنگ شده، آجر، لوله‌ها، ماسه، خاک و غیره که احتمالاً به‌زودی با یک پارکینگ زیرزمینی و مجتمع تجاری روی آن جایگزین خواهد شد. راننده کامیون به پشت سر خود نگاه هم نمی‌کند! همه این نخاله‌ها باید دور ریخته شوند. زمان بسیار حیاتی است و هزینه ساخت‌وساز باید پایین نگه‌داشته شود. کامیون سنگین است. پس از ده دقیقه اولین کامیون محل را ترک می‌کند و دیگری با همان ظرفیت از راه می‌رسد. نمای خیابان عوض شده و اکنون ساختمان مدرنی ساخته شده است اما ما به‌سادگی تغییرات فراوان اطراف شهر را به فراموشی سپرده می‌شوند.

این کامیون‌ها به کجا رفته‌اند؟ بر سر این همه نخاله ساختمانی چه آمده است؟ آلودگی شیمیایی این زباله‌ها چقدر است؟ در بخش دیگر شهر، مرکز جدید مراقبت نوزادان در حال ساخت است. طراحان و معماران چشم‌اندازها توصیه می‌کنند که نمای بیرونی تغییر کند و به تعداد زیادی از کامیون‌ها دستور می‌دهند مقدار زیادی شن و ماسه جهت ساخت تپه‌های مصنوعی برای کودکان در محل تخلیه کنند. کامیون‌ها با مصالح تازه جهت ساخت نمای جدید از راه می‌رسند. دوباره می‌توان پرسید که آثار

شیمیایی این مواد جدید چیست؟ آیا ممکن است مقادیر مواد شیمیایی موجود در خاک تخلیه شده سلامت کودکان کوچک و در حال رشد را تحت تأثیر قرار دهد؟



شکل ۵-۱. مهم‌ترین عامل پخش خاک‌های شهر و به‌ویژه آلاینده‌های شیمیایی آن، کامیون‌ها هستند.

متأسفانه افراد کمی وجود دارند که این مسائل برای آن‌ها مهم باشد. هر روزه مصالح حفر شده با احتمال بالای آلودگی با دامنه وسیعی از مواد، به‌صورت عادی از یک محل به محل دیگر در یک شهر جابه‌جا می‌شوند (شکل ۵-۱). آمارها نشان می‌دهند که می‌توان تنها چند درصد از حجم خاک‌ها در محیط شهری را تحت بررسی قرار داد. در شهر اسلو پایتخت نروژ با ۵۵۰ هزار نفر جمعیت، ۱/۶ میلیون تن خاک در سال حفاری می‌شود. از طریق داده‌های به ثبت رسیده مشخص شده است که تنها حدود پنج درصد از این خاک به محل مناسبی جهت دپو و تخلیه نخاله و یا کارخانجات بازیابی ارسال شده است. همچنین نقشه‌های ژئوشیمیایی دقیق در شهرها نشان می‌دهند که بخش‌های قدیمی مرکز هر شهر با فلزات سنگین و آلاینده‌های حیوانی آلوده شده است. بقیه خاک‌ها به کجا رفته‌اند؟ به درون مرکز مراقبت از نوزادان و کودکان (شکل ۵-۲)؟ به محل ساخت‌وساز دیگر؟ این مسائل از جمله مواردی هستند که در قلمروی مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری قرار می‌گیرند. اما مهم‌ترین مسئله این است که انسان‌ها در محیط شهری زندگی کرده و نفس می‌کشند.



شکل ۵-۲. خاک‌های حفر شده شهری که از محل‌های مختلف ساخت‌وساز به‌دست آمده عمدتاً به مکان‌های نامناسبی از جمله محل بازی کودکان در مرکز مراقبت حمل می‌شوند (یارتون و اوتسن، ۲۰۱۱).

۵-۱ محیط شهری

از سال ۲۰۰۸ بیش از نیمی از جمعیت جهان در مناطق شهری (شهرها و شهرک‌ها) زندگی می‌کنند (UNFPA, ۲۰۰۷). شهرنشینی در اروپا و آمریکا شامل حدود دو سوم مردم این مناطق می‌شود. در آفریقا و آسیا مقدار ساکنین شهرها به‌سرعت در حال افزایش است، به‌گونه‌ای که در عرض چند سال به بیش از ۵۰ درصد رسیده است. شهرها عمدتاً شکلی از تمدن و نوآوری هستند اما مسئولین محلی با چالش‌های پیچیده‌ای مانند گسترش زاغه‌نشینی، بیکاری و آلودگی‌های صوتی دست به‌گیریان هستند. پیشرفت پایدار در تأمین آب و غذا، مدیریت زباله‌ها و سیستم‌های فاضلاب در هر شهر در حال توسعه از ملزومات اولیه است. علاوه بر این چالش‌های مهمی در مورد آلودگی‌های هوا، آب، خاک و مسائل بهداشتی مرتبط با آن‌ها وجود دارد (گنسک، ۲۰۰۳؛ استارک، ۲۰۰۷). خاک‌های شهری در این مناطق محل مناسبی جهت تجمع آلاینده‌ها در طی قرن‌های متمادی بوده است. این خاک‌ها نوعاً به دفعات حفر شده و به چرخه استفاده بازگشته‌اند. با این وجود در اعماق می‌تواند آثار شیمیایی هر نسل از خاک‌ها را یافت. تمرکز بسیاری از آلاینده‌ها اغلب به حدود خطرناک از نظر سلامتی

انسان می‌رسد. در سال ۱۹۸۰، گزارشی توسط پترسون^۱ در آکادمی ملی علوم آمریکا تهیه شده بود، مطلبی عنوان شد که نیاز به توجه فوری داشت: وی گفت که در آینده نزدیک ممکن است بخش‌های قدیمی شهرهای ایالات متحده به دلیل تخلیه میلیون‌ها تن مواد صنعتی سمی در قرن گذشته، کم‌وبیش غیرقابل سکونت شود (پترسون، ۱۹۸۰ صفحه ۲۷۱؛ میلکه، ۲۰۰۵).

برآوردهای تجربی نشان داده‌اند که ارتباط محکمی بین مقدار سرب خاک و مقدار سرب موجود در خون کودکان وجود دارد که می‌تواند سلامت آن‌ها را به صورت جدی تهدید کند (میلک و همکاران، ۲۰۰۷؛ میراندا و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعات متعدد زمین‌شناسی در مورد ژئوشیمی مناطق شهری در کل اروپا صورت گرفته است (به عنوان مثال بیرک و راوچ، ۲۰۰۰؛ اوتسن و همکاران، ۲۰۰۸). در نروژ، نقشه‌برداری سیستماتیک ژئوشیمیایی براساس نمونه‌برداری و آنالیز خاک‌های سطحی (عمق ۲-۰ سانتی‌متر) در شهرهای مختلف در طی سال‌های اخیر انجام شده است. عمده نتایج نشان‌دهنده آن است که قدیمی‌ترین بخش‌های شهرها علاوه بر هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی^۲ (PAH) آلوده به فلزات سنگین به ویژه سرب نیز هستند (به شکل ۳-۵ نگاه‌ی رجوع شود). خاک‌های سطحی در بخش‌های حاشیه‌ای شهرها به ویژه در دوره زمانی ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ معمولاً دارای تمرکز کم‌تری از فلزات سنگین و PAH هستند. بنابراین پلی‌کلرینیتد بی‌فنیل‌ها^۳ (PCBs) غالباً در این مناطق بیش‌تر است. در مورد منابع و منشأ آلودگی‌های مختلف در یک محیط شهری مطالعات زیادی در سراسر دنیا انجام گرفته است. این مطالعات در نروژ نشان داده که این آلودگی‌ها عمدتاً دارای سرچشمه محلی است که مهم‌ترین آن‌ها مصالح ساختمانی آلوده، حریق‌های شهری و ترافیک است (اوتسن و لانگ‌دال، ۲۰۰۱؛ اندرسون و همکاران، ۲۰۰۴؛ یارتون و همکاران، ۲۰۰۹).

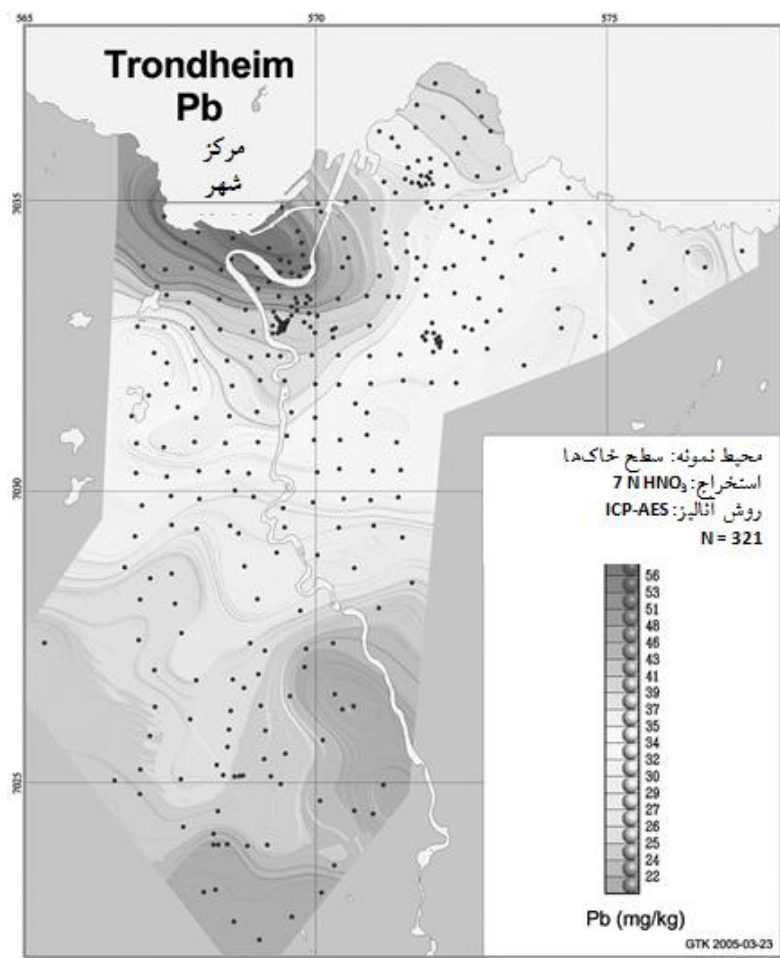
آلاینده‌های محلی شهری عمدتاً به جای حمل در فواصل طولانی، آلاینده‌های محیطی را در خاک‌های سطحی، رسوبات دریایی و رسوبات روان‌آب‌های شهری ته‌نشین می‌کنند. محیط شهری (شکل ۴-۵) تحت تأثیر گستره وسیعی از فعالیت‌های محلی انسانی قرار داشته و آلاینش حاصل از آن فرایندی پیوسته و قابل انتشار است.

1. Clair C. Patterson

2. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

3. Polychlorinated Biphenyls (PCBs)

شبکه راه‌های ارتباطی، فعالیت‌های ساختمانی و صنعتی موجب افزایش فلزات سنگین و آلاینده‌های زیستی در خاک‌های مناطق شهری می‌شوند (کلی و همکاران، ۱۹۹۶؛ میلکه و همکاران، ۱۹۹۹؛ اوتسن و لنگ‌دال، ۲۰۰۱؛ مادرید و همکاران، ۲۰۰۲؛ میلکه و همکاران، ۲۰۰۴؛ مولر و همکاران، ۲۰۰۵).



شکل ۵-۳. نقشه ژئوشیمی تروندهایم^۱، سومین شهر بزرگ نروژ که تمرکز سرب (Pb) در خاک‌های سطحی شهر را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار در بخش‌های مرکزی و قدیمی شهر دیده شده است. این الگو در اغلب شهرهای جهان دیده می‌شود.



شکل ۴-۵. محیط شهری زندگی انسان، مکانی است که محصولات مختلف به آن آورده می‌شوند اما آن را ترک نمی‌کنند بنابراین بسیاری از فعالیت‌های انسان بر خاک سطحی شهر تأثیر مستقیم می‌گذارند (عکس از <https://carlwillis.wordpress.com>).

انواع مختلفی از خاک‌ها در محیط‌های شهری یافت می‌شوند که از خاک‌های نسبتاً دست نخورده اطراف شهر (بریجز، ۱۹۹۱؛ هوللیس، ۱۹۹۱) خاک‌های کاملاً ساخته شده توسط انسان (بوکهایم، ۱۹۷۴؛ اوتسن و لنگ‌دال، ۲۰۰۱) را شامل می‌شود. یکی از قدیمی‌ترین تعاریف برای خاک‌های شهری در سال ۱۹۷۴ توسط بوکهایم ارائه شده است: خاکی است که غیرقابل کشاورزی بوده، دارای لایه سطحی بیش از ۵۰ سانتی‌متر که توسط انسان ایجاد شده و از طریق مخلوط‌کردن، پرکردن و یا آلودگی سطح زمین در مناطق شهری و حاشیه آن‌ها ایجاد می‌شود.

ضخامت متوسط آن چیزی که به‌عنوان "لایه خاک شهری" در نظر گرفته می‌شود در نقاط مختلف ممکن است متفاوت باشد. این ضخامت در نروژ دو متر است (اوتسن و همکاران، ۲۰۰۰؛ یارتون و همکاران، ۲۰۰۳). این لایه همچنین به‌عنوان خاکی در نظر گرفته می‌شود که طول تاریخ شهر، تمدن بشری در آن بنا شده و آثار همچنان پابرجا است، به همین دلیل به آن لایه خاک فرهنگی^۱ نیز گفته می‌شود. بشر آثار نوع زندگی خود را در طی دهه‌ها و قرن‌ها در این لایه بر جای گذاشته است. قطعات کوچک آجر و سیمان بناهای قدیمی، زباله‌های خانگی و فاضلاب با هم در یک خاک با مقدار مختلفی از خاک‌رس طبیعی، خاک و سنگ‌ها مخلوط می‌شود. در حقیقت زندگی شهرنشینی بر روی زمین‌هایی است که در طی تاریخ توسط بشر پر شده و آماده زندگی شده‌است. از سوی دیگر به‌کاربردن کلمه تاریخی شاید درست نباشد به این دلیل که لایه خاک شهری محیطی بسیار متغیر و پویا است.

مهم‌ترین اثر شهرنشینی بر خاک از دست‌رفتن و یا حداقل تدفین آن در اثر فعالیت‌های ساخت‌وساز است. با فرض این‌که بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد مناطق یک شهر زیر ساختمان‌سازی قرار گیرند در آن‌صورت مقدار قابل‌توجهی از خاک دفن یا جابه‌جا می‌شود و تغییر مهمی در جریان آب سطحی در شهر به‌وجود می‌آید. مناطق تأثیرناپذیر شهری مانند خانه‌ها، راه‌های آسفalte و بتن فقط به مقدار کمی از آب جاری اجازه نفوذ، تبخیر و توقف و یا ذخیره توسط گیاهان محیط شهری را می‌دهند (مایس، ۲۰۰۱). این مسئله موجب خواهد شد که حجم زیادی از روان‌آب حاصل از بارندگی وارد سیستم فاضلاب قدیمی شده و به‌دلیل عدم پاسخگویی این سیستم به این حجم آب، آب‌های جاری زیادی سرریز شده و به مناطقی مانند رودخانه‌های محلی یا دریا سرازیر شوند. در حدود ۶۰ الی ۱۰۰ درصد محیط‌های شهری مناطق نفوذناپذیر هستند (لیندهولم، ۲۰۰۴؛ لو و ونگ، ۲۰۰۶) و این بدان معناست که مطالعه ژئوشیمی مناطق شهری منحصر به خاک نبوده و شامل سیلاب‌ها، رسوبات همراه روان‌آب‌ها و در نتیجه تشخیص منابع آلودگی نیز است.

در مقیاس منطقه اروپا، روش‌های نمونه‌برداری و آنالیز بسیار متنوع بوده‌است و از این‌رو مقایسه نتایج آن‌ها نیز بسیار مشکل است اما در این صورت تمامی این نتایج

نشانگر آلودگی شدید خاک در بخش‌های از شهرهای مطالعه شده است. گروه «ژئوشیمی مناطق شهری» که در انجمن بین‌المللی ژئوشیمی^۱ (IAGC) جدیداً ایجاد شده شدیداً از ژئوشیمیست‌ها درخواست کرده است که روش نمونه‌برداری و آنالیز یکنواختی را به کار گیرند تا بتوان براساس نتایج آن مقادیر آلاینش خاک‌ها در مناطق شهری قاره اروپا قابل مقایسه با یکدیگر باشد. پروژه مشترکی نیز برای شهرهای مشخصی از اروپا در سال ۲۰۰۹ آغاز شده است. این برنامه علمی جهانی خواهد توانست مقادیر قابل مقایسه‌ای از آلاینده‌ها در خاک‌های مناطق شهری بخش‌های مختلف اروپا را در اختیار زمین‌شناسان قرار دهد.

۵-۲ اهداف مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری

امروزه در جهان علاقه به گرایش ژئوشیمی مناطق شهری رو به گسترش است. پروژه‌های متعددی توسط سازمان‌های مختلف (سازمان‌های زمین‌شناسی، دانشگاه‌ها و مدیران شهری) در این زمینه به انجام رسیده است. از این‌رو نیاز به داشتن قلمروی مشترک در زمینه انتقال تجربیات علمی و ارائه نتایج تجربی داده‌های ژئوشیمیایی جهت استفاده در پروژه‌های سلامت عمومی در مناطق شهری بیش از پیش احساس می‌شود. وقتی IAGC گروه کاری ژئوشیمی مناطق شهری را در سال ۲۰۰۸ بنا نهاد، قدمی مهم جهت فهم عمیق‌تر چالش‌های مرتبط با خاک‌های آلوده شهری برداشته شد. برخی از فواید نقشه‌برداری ژئوشیمیایی شهری به شرح زیر هستند:

- باعث افزایش آگاهی عمومی می‌شود که آلاینش خاک فارغ از تاریخچه صنعت در شهرها، اغلب در مراکز شهرها رخ می‌دهد. بنابراین، وضع قوانین خاصی از قبیل کنترل گسترش بی‌رویه در آن مناطق ضروری به نظر می‌رسد.
- می‌تواند به عنوان راهنمایی جهت تعیین نوع کاربری زمین در مناطق شهری عمل کند.
- دانش ما را در زمینه چگونگی توزیع آلاینش در مناطق مختلف شهری افزایش داده و در زمینه مدیریت مناسب آن از طریق پالایش و تصفیه یا انتقال خاک‌های آلوده به مناطق معین کمک مهمی به شمار می‌آید.
- فقط نتایجی که در مقیاس قاره‌ای و جهانی مستقیماً قابل مقایسه با یکدیگر باشند باعث می‌شوند که شرایط آلودگی در کشورهای مختلف با یکدیگر مقایسه شوند

(به‌عنوان مثال: منابع مختلف آلاینده و عادات مختلف استفاده از مواد شیمیایی در محیط شهری).

مطالعه ژئوشیمی مناطق شهری باید ضمن ارتباط تنگاتنگ بین مسئولین شهری و کشوری، سیاستمداران و دانشمندان در زمینه یک یا چند موضوع اصلی این علم صورت پذیرد. مهم‌ترین بخش این مطالعات در واقع همان بحث آلاینش خاک‌های سطحی است. به‌عنوان نمونه، در نروژ سیاستمداران و مسئولین محلی نسبت به مخاطرات محیطی به‌ویژه سلامت کودکان آگاه هستند که ممکن است از طریق خاک شهری به شهروندان منتقل شود. در نتیجه، از سال ۲۰۰۸ مطالعات دقیقی برای تمام مراکز بهداشت و مراقبت عمومی در ۱۰ شهر بزرگ و پنج منطقه صنعتی مهم این کشور صورت گرفته است. این‌ها نمونه‌هایی از مطالعاتی است که توسط دولت نروژ جهت مراقبت از بهداشت کودکان و نوزادان پشتیبانی شده است (اوتسن و همکاران، ۲۰۰۸).

در سال ۲۰۰۹، سازمان زمین‌شناسی نروژ به همراه سازمان زمین‌شناسی اروپا^۱ پروژه‌ای در اروپا در مورد نقشه‌برداری ژئوشیمیایی شهری با استفاده از پروتکل متداول نمونه‌برداری و روش‌های آنالیز هماهنگ به‌منظور بررسی آلودگی خاک ده شهر انتخاب شده اروپا تعریف شد. اهمیت این پروژه آن بود که جزئیات نمونه‌برداری مناسب را در زمینه مطالعات نقشه‌برداری ژئوشیمیایی شهری تهیه و منتشر کرد. روش‌های مختلف و متفاوت مطالعات می‌تواند اخلاقی جدی در مقایسه داده‌ها به‌وجود آورد. علاوه‌براین، برای تهیه یک راهکار مناسب جهت نمونه‌برداری، طراحی و انتشار کتاب راهنما جهت نمونه‌برداری و آنالیز مواد ارگانیک و غیرارگانیک شهری ضروری به‌نظر می‌رسد.

۳-۵ روش‌های مطالعات ژئوشیمیایی مناطق شهری

۳-۵-۱ نمونه‌برداری

اصطلاح ژئوشیمی مناطق شهری بدین مفهوم است که مواد زمین‌شناسی از قبیل خاک (روخاک، افق C) یا سنگ‌بستر باید موضوع اصلی مورد مطالعه باشد. بنابراین در مطالعات محیطی باید در نظر داشت که سایر نمونه‌ها نیز می‌توانند دارای نقش مهمی باشند. گردآوری نمونه‌های هوا در مورد احتمال وجود آلاینده‌های مختلف (علاوه بر

آلاینده‌های محلی) که تبخیر شده و نسبت به مکان‌های دیگر در هوای شهر تجمع پیدا کرده‌اند، اطلاعاتی ارائه خواهد کرد. نمونه‌برداری از گردوغبار جاده‌ای نیز می‌تواند مورد مناسبی برای نمونه‌برداری است که مبین آلاینده‌های حاصل از آسفالت، استهلاک ماشین (سائیدگی لاستیک) و شن‌پاشی جاده‌های یخ‌زده است. نمونه‌برداری از آب باران، آب‌های زیرزمینی و سیلاب‌ها نیز اطلاعات بسیار جامعی از توانایی آلاینده‌های مختلف منتشر شده در آب و یا متصل شده به ذرات معلق در آن ارائه می‌دهد.

سایر محیط‌های نمونه‌برداری بیش‌تر به محل حضور گیاهان، انسان‌ها یا سایر حیوانات از قبیل گردوغبار در منازل مسکونی، شن، ماسه و غبار متصل به ریشه، ساقه، برگ و پوسته درختان، یا نمونه‌های بیولوژیکی (گیاهان، خون، کبد و ادرار) مرتبط است. مطالعات محیطی در بسیاری از حالات ممکن است متمرکز به توصیف دقیق موقعیت فعلی مقدار آلاینده بوده و توضیحی در مورد این‌که چگونه این موقعیت (آلودگی) بدین شکل (توضیح منشأ آلاینده) درآمده است را ارائه نکند. همچنین گاهی این نوع مطالعات دربردارنده چگونگی عملکرد در زمینه مدیریت مناسب محیطی جهت بهبود وضعیت در آینده نیست. مورد کلیدی در این بحث همان کاربردی بودن مطالعات است. ژئوشیمی کاربردی مناطق شهری قلمرویی مرکب از علوم مختلف است و همان‌گونه که ذکر شد، بارگذاری آلودگی‌های محیطی در یک منطقه شهری می‌تواند شامل شبکه‌ای نامشخص از منابع آلاینده، مواد، تراوش و فعالیت‌های اجتناب‌ناپذیر بشری مانند انتشار خاک توسط کامیون‌ها (به‌جای انتشار توسط آب) است (شکل ۵-۱). تمامی این موارد به هم پیوسته هستند. چگونه باید این چالش‌ها را مدیریت کرد؟ هدف نهایی چیست؟

۵-۳-۲ نمونه‌برداری از خاک

اگر بر روی نمونه‌برداری از خاک‌ها متمرکز شده و پذیرفته شود که آن‌ها نیز شاخص درستی از محیط شهری هستند باز هم راه‌های بسیاری برای این نمونه‌برداری وجود دارد. در نروژ و نیواورلئان آمریکا، تعداد زیادی از نمونه‌های روخاک (عمق ۲-۰ سانتی‌متری) با استفاده از ابزار ساده مثل بیلچه باغبانی جمع‌آوری شد (میلکه و همکاران، ۱۹۹۹؛ اوتسن و فولدین، ۱۹۹۹؛ اوتسن و لانگ‌دال، ۲۰۰۱). مطالعات دیگر مقطع روخاک را تا عمق ۱۰ یا ۲۰ سانتی‌متری نیز در نظر گرفتند (بیرک و راوچ،

۲۰۰۰؛ مادرید و همکاران، ۲۰۰۲؛ مولر و همکاران، ۲۰۰۵). برخی مطالعات دیگر نیز نمونه‌های خاک را علاوه بر لایه روخاک از بخش‌های عمیق‌تر نیز انتخاب کردند (اوتسن و همکاران، ۲۰۰۰؛ انگلون و همکاران، ۲۰۰۲). برخی مناطق انتخاب عمق نمونه‌برداری وابسته به این است که هدف پژوهشگر از انجام این مطالعات چیست؟ براساس معیار سلامت و بهداشت و خطر برونزد آلاینده‌ها در خاک، لایه روخاک شهر محل مناسبی جهت نمونه‌برداری است. غالباً، خاک شهری از پارک‌ها، حیاط خلوت‌ها، چاله‌ها و یا سایر مکان‌های بازی که کودکان ممکن است در آن‌جا به بازی مشغول شوند، جمع‌آوری می‌شود (شکل‌های ۵-۵ و ۵-۶).



شکل ۵-۵. نمونه‌برداری سطحی از خاک. در مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری اغلب از خاک‌های سطحی پارک‌ها، باغات، زمین‌های بازی و نهرآب‌ها نمونه‌برداری می‌شود. اگر هدف فقط نمونه‌برداری خاک باشد، معمولاً گیاهان مورد استفاده قرار نمی‌گیرند (عکس از سازمان زمین‌شناسی بریتانیا به آدرس اینترنتی <http://www.bgs.ac.uk/gbase/urban.html>).

در خلال بازی‌های متداول، یک کودک با لایه روخاک تماس مستقیم داشته و مقداری از خاک مربوطه به دست یا اسباب‌بازی وی خواهد چسبید و این خاک نیز به‌سادگی وارد مجرای تنفسی خواهد شد. علاوه بر این، همیشه کودکان کوچکی نیز وجود دارند که خاک و مواد مختلف درون آن را می‌خورند. در ادامه این موضوع را مورد بحث قرار خواهیم داد. اگر فرض شود با آگاهی از محیطی نمونه‌بردای در آن صورت روش نمونه‌برداری چگونه خواهد بود؟ چه تعداد نمونه لازم است تا نتایج قابل‌اعتماد و تکرارپذیر باشد؟

شیوه‌های متعددی در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته است که موجب شده مقایسه مستقیم داده‌های مطالعات مختلف دشوار باشد. از بین آن‌ها دو روش مختلف قابل بحث هستند. اولین روش نمونه‌برداری مرکب^۱ است که خود می‌تواند به دو دسته تقسیم می‌شود. اولین دسته شامل گردآوری زیرنمونه‌های^۲ متعدد است که در محل با یکدیگر ترکیب شده و یک ترکیب از مجموع آن‌ها به دست می‌آید (رن و همکاران، ۲۰۰۷). در برخی موارد این زیرنمونه‌ها با یکدیگر همگن شده و به عنوان نمونه شاخص آن محل در نظر گرفته می‌شود. دسته دوم مشتمل بر جمع‌آوری نمونه‌های مستقل است سپس در آزمایشگاه باهم ترکیب می‌شوند (چن و همکاران، ۲۰۰۵).

اگر تمرکز بالایی از آلاینده‌ها در نمونه‌برداری مرکب مشاهده شود، نمونه‌های مستقل به کمک خواهند آمد و با بررسی تک‌تک آن‌ها مشخص خواهد شد که در کدام مورد و شاید در همه آن‌ها غلظت آلاینده‌ها بالا است و بدین شکل وسعت آلاینده‌ها در منطقه مشخص خواهد شد.

روش دوم به صورت جمع‌آوری نمونه تا حد امکان است که کم‌وبیش مستقل از وسعت منطقه مورد مطالعه بوده و تمام نمونه‌ها به صورت مجزا آنالیز می‌شوند (اوتسن و لانگ‌دال، ۲۰۰۱؛ میلکه و همکاران، ۲۰۰۴؛ اوتسن و همکاران، ۲۰۰۸). یکی از مزایای این روش آن است که نمی‌توان غلظت بالای یک نمونه رقیق و یا پنهان کرد. نمونه‌برداری دوگانه به هر دو روش یاد شده در برخی شهرهای نروژ نشان داده است که غلظت برخی مواد ممکن است در فواصل کم نیز تغییر کند (یارتون و همکاران، ۲۰۰۲؛ اوتسن و همکاران، ۲۰۰۸).

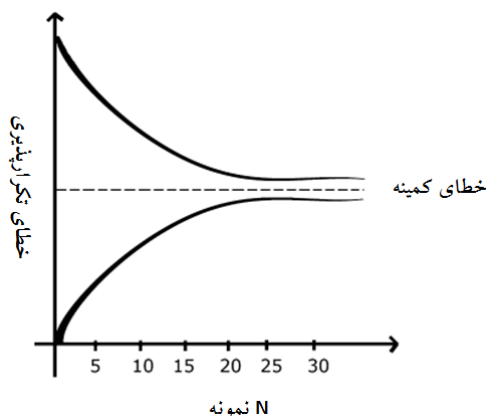


شکل ۵-۶. نمونه‌برداری از برخی محصولات که احتمالاً منشأ مهم آلودگی در محیط‌های شهری هستند. در این شکل، پوسته نازکی از رنگ نقاشی شده یک ساختمان در شهر اسلو نورژ به‌عنوان نمونه انتخاب شده‌است (یارتون و اوتسن، ۲۰۱۱).

با توجه به تعداد نمونه‌ها که باید در هر مطالعه برداشت شوند، راهبردها از یک مطالعه تا مطالعه دیگر و همچنین از یک کشور به کشور دیگر متفاوت خواهد بود. نمونه‌های اخذ شده در مطالعات شهری در شهرهای ایتالیا بین ۱۵ تا ۴۸ در هر شهر بوده‌است (انجلون و همکاران، ۲۰۰۲). در سی و سومین همایش بین‌المللی زمین‌شناسی در سال ۲۰۰۸ (IGC33)، که در آن گروه کاری ژئوشیمی مناطق شهری IAGC تشکیل شد، این ایده کلی پیشنهاد شد که برای هر یک کیلومتر مربع چهار نمونه مناسب است. این تراکم نمونه‌برداری برای هر شهری مقرون به صرف بوده و در عین حال قادر به توصیف تغییرات عناصر کمیاب حاصل از فعالیت‌های بشری در خاک نیز خواهد بود. بنابراین اگر نقاطی دارای آنومالی زیاد از مواد آلاینده باشد به نمونه‌های بیش‌تری نیاز خواهد بود.

در مطالعه آلودگی خاک در مراکز بهداشتی شهر اسلو، ۷۰۰۰ نمونه از مساحتی در حدود ۴۵۴ کیلومتر مربع یا ۱۵ نمونه به ازای هر کیلومتر مربع برداشت شد (اوتسن و همکاران، ۲۰۰۸). تکرارپذیری نتایج را شاید بتوان از طریق شکل ۵-۷ به‌خوبی توضیح داد. در این شکل، تعداد واقعی نمونه‌های خاک برداشت شده در محور x و مقدار خطای

نامشخص احتمالی در تکرارپذیری آزمایش‌ها در محور y قرار داده شده‌اند. شکل براساس دسته داده‌های زیاد تجربی از مطالعات مختلف صورت گرفته در زمینه آلاینش خاک در نروژ ترسیم شده است. بنابراین سؤال اساسی در این زمینه این است که چه تعداد نمونه مورد نیاز است تا نتایج حاصل از مطالعات در یک منطقه مشخص قابلیت تکرارپذیری داشته باشند و با آزمایش مکرر و یا نمونه برداری مجدد نتایج یکسانی به دست آید؟ تکرارپذیری را می‌توان به عنوان مثال بر حسب تمرکز میانه^۱ برای یک ماده یا عنصر مشخص درون نمونه‌های منطقه در نظر گرفت. برای این منظور، طرحی ارائه شده است که براساس آن عدد مشخصی از نتایج تصادفی یک یا چند دسته داده استخراج شود. اگر این روش به کار برده شود در آن صورت به زودی این تجربه کسب خواهد شد که حداقل به ۲۰ تا ۲۵ نمونه نیاز داشته تا به یک تکرارپذیری مناسب دست یافت. علاوه بر این، همین روش برای مطالعه این که چه تعداد نمونه مورد نیاز است تا بتوان نقشه ژئوشیمیایی را بازتولید کرد، استفاده شده و تعداد نمونه‌ها در این حالت به ۳۰۰ عدد می‌رسد (به مثال شکل ۵-۳ رجوع کنید). نتیجه مهم این بحث آن است که نمونه‌های فراوانی جمع‌آوری شود تا به قابل اعتمادترین نتیجه دست یافت.



شکل ۵-۷. این نمودار نشان‌دهنده تکرارپذیری در یک مطالعه آلاینش خاک است. هرچه تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده کم‌تر باشد، مقدار خطا نیز بزرگ خواهد بود. داده‌های تجربی نشان داده است که تعداد دقیق مورد نیاز، به مساحت منطقه مورد مطالعه وابسته نیست.

۵-۳-۳ مسائل مربوط به روش‌های آنالیز

به محض این‌که تعداد مناسبی نمونه از محل مناسب گردآوری شد، لازم خواهد بود که آن‌ها در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گیرند به این دلیل که هنوز راهنمای خاصی جهت مطالعات ژئوشیمیایی در مناطق شهری ارائه نشده است. آماده‌سازی کم و بیش استاندارد نمونه‌های خاک برای آنالیز فلزات سنگین مستلزم حرارت‌دهی آن‌ها در دمای $300-400^{\circ}\text{C}$ به مدت یک هفته است تا این‌که نمونه‌ها به‌طور کامل خشک شوند. علاوه بر این، ذرات بزرگ‌تر از دو میلی‌متر باید مورد استفاده قرار گیرند و بدین منظور باید از الک با صفحه نایلونی دو میلی‌متری استفاده شود (ژای و همکاران، ۲۰۰۳؛ میلکه و همکاران، ۲۰۰۴؛ اوتسن و همکاران، ۲۰۰۸). قدم بعدی آماده‌سازی نمونه‌ها قبل از آنالیز دستگاهی شاید مهم‌ترین بخش از این کار باشد و منبع بسیاری از اختلافات در نتایج مطالعات مختلف در کشورهای گوناگون نیز همین است. این مسئله چیزی نیست جز روش استخراج عناصر.

متأسفانه روش‌های بسیار متعددی جهت محاسبه (استخراج) عناصر موردنظر وجود دارند. پذیرش یک روش توسط همگان نیز مشکل به‌نظر می‌رسد. در نروژ، استاندارد نروژ (NS 4770) بیان می‌کند که استخراج مناسب فلزات سنگین با استفاده از جوشش محلول اسیدنیتریک (HNO_3) ۷ نرمال که می‌تواند به‌شدت ذرات خاک را مورد حمله قرار دهد، باید صورت گیرد (هاوگلند و همکاران، ۲۰۰۸؛ یارتون و همکاران، ۲۰۰۸؛ اوتسن و همکاران، ۲۰۰۸).

سایر مؤسسات نیز دارای روش‌های مختلفی در این زمینه هستند. به‌عنوان مثال، گروه خاک شهری هووارد میلکه^۱ در نیواورلئان، که به مدت چندین سال است این‌گونه مطالعات را در نیواورلئان و سایر شهرهای آمریکا انجام می‌دهند از اسید بسیار ضعیف‌تری برای این منظور استفاده می‌کنند. محلول اسیدنیتریک (HNO_3) ۱ نرمال در دمای اتاق که مشابه مقدار اسیدی‌بودن معده انسان است و در نتیجه می‌تواند مقدار افزایش فلزات سنگین را در معده و روده در اثر ورود ذرات خاک تشخیص دهد (میلکه و همکاران، ۱۹۹۹؛ میلکه و همکاران، ۲۰۰۰). بسیار جالب است که نتایج منتشر شده از مطالعات با استفاده هر دو روش یاد شده یکسان بوده است.

مطالعه دیگری از خاک‌های شهری زمین‌های بازی اسلو و نیواورلئان با استفاده از روش‌های استخراج مختلف در سال ۲۰۰۹ شروع شده است. حتی اسیدی قوی‌تر از محلول اسیدنیتریک (HNO_3) ۷ نرمال، تیزاب سلطانی^۱ مورد استفاده قرار گرفته است تا کل عناصر مستخرج شوند (مولر و همکاران، ۲۰۰۵). سایر مواد احتمالی مورد استفاده عبارتند از اسید هیدروفلوئوریک (HF)، اسید پرکلریک (HClO_4) و همچنین آنالیز کل توسط XRF (بیرک و راوچ، ۲۰۰۰؛ زای و همکاران، ۲۰۰۳). به‌طور سنتی، فلزات سنگین و سایر عناصر بیش‌ترین توجهات را در حوزه ژئوشیمی مناطق شهری به خود جلب کرده‌اند. با این وجود، در مطالعات جدید برخی مواد ارگانیک (مانند پلی‌کلرینتید بیفنیل‌ها (PCBs)، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقوی (PAHs)، دی‌اکسین‌ها^۲، بازدارنده‌های شعله‌برم^۳ (BFRs) مضر برای محیط‌زیست و انسان نیز مدنظر قرار گرفته‌اند.

روش‌هایی که بتواند این ترکیبات را از خاک وارد محلول کند در مورد مواد غیرارگانیک دارای پیچیدگی‌های بیش‌تری است. از بین حلال‌ها می‌توان هگزان^۴، استون^۵ و دی‌کلرومتان^۶ (DCM) را نام برد (رن و همکاران، ۲۰۰۷؛ یاتورن و همکاران، ۲۰۰۸). فرایند خلوص بعدی استخراج قبل از آنالیز می‌تواند مراحل مختلف شیمیایی را شامل شود که مجدداً می‌تواند همان مشکل تفاوت در اعمال این روش‌ها و در نهایت غیرقابل مقایسه‌بودن نتیجه آنالیزها را به وجود آورد. با این‌که استانداردها، نمونه‌های شاخص^۷ و نمونه تکراری به‌دقت آنالیز می‌شوند اما در این صورت به‌دست آوردن نتایج مشابه در آنالیز مجدد بسیار دشوار است. حاشیه خطا ممکن است در موارد متعدد بیش از ۱۰۰ درصد باشد. یکی از توصیفات ممکن برای این مسئله آن است که ممکن است فقط بخش کوچکی از خاک را برای آنالیز انتخاب شود (بین ۱۰-۴۰ گرم).

عناصر کمیاب و مواد ارگانیک اغلب در مقادیر بسیار کم و به‌صورت ng/g یا کم‌تر یافت می‌شوند. اگر به‌عنوان مثال یک نمونه شاخص از فلس‌های دیوار نقاشی شده برداشت شود تا خاک آن جهت استخراج مواد آلاینده مورد بررسی قرار گیرد، در آن‌صورت نتایج حاصله بسیار تحت‌تأثیر قرار خواهند گرفت. بنابراین توصیه می‌شود که

1. Aqua regia

2. Dioxins

3. Brominated flame retardants

4. Hexane

5. Acetone

6. Dichloromethane

7. Blanks

مقادیر خاک مورد استفاده جهت استخراج آلاینده‌ها باید به اندازه کافی بوده (حدود ۵۰ گرم یا بیشتر) و یا الک مورد استفاده دارای شبکه‌های ریزتر ($0/63\mu m$) باشند. این مسئله می‌تواند تغییرات زیاد در مقدار تمرکز به دست آمده از آنالیزهای مکرر از نمونه‌های مشابه را کاهش دهد. اما در این جا بحث پشتوانه مالی نیز جهت انجام این گونه پروژه‌ها مطرح است.

تعیین عناصر معمولاً از طریق روش (ICP)^۱ به همراه طیف‌سنج نشر الکترونی (AES)^۲ و یا طیف‌سنج جرمی (MS)^۳ و همین‌طور از طریق طیف‌سنج جذب اتمی (AAS)^۴ صورت می‌پذیرد. بنابراین، مقدار سرب غالباً از طریق روش دیگری به نام جذب بخار سرد اتمی (CVAAS)^۵ مورد آنالیز قرار می‌گیرد. مواد ارگانیک را نیز می‌توان با استفاده از کروماتوگراف گازی (GC)^۶ به همراه تشخیص‌دهنده^۷ الکترونی و یا یک طیف‌سنج جرمی (GC-ECD/MS) مورد آنالیز قرار داد.

۵-۳-۴ آلاینده‌گی یا حضور طبیعی مواد

• **تغییرات طبیعی:** تا این جا عنوان شد که خاک‌های مناطق شهری می‌توانند مواد مختلف را در خود داشته باشند. اما چه نوع موادی و چه مسئله‌ای باعث شده که این مواد برای ژئوشیمیست‌های محیطی یا شهری مهم باشد؟ البته این سؤالات می‌توانند پاسخ‌هایی به تعداد مطالعاتی که روی این مواد توسط دانشمندان صورت گرفته داشته باشند. به عبارت دیگر، هر پژوهشگری ممکن است از دیدگاه این مسئله را تعریف کند. یکی از ویژگی‌های بارز ژئوشیمیست‌ها شاید آن باشد که آن‌ها دارای انگیزه بالایی در زمینه یافتن منشأ مخاطرات احتمالی آلاینده‌ها در محیط زندگی مردم هستند.

امروزه در نروژ، کارشناسان متعددی در زمینه ژئوشیمی مناطق شهری مشغول به فعالیت بوده و بیش‌تر تجربیات خود را از جمع‌آوری رسوبات مسیل‌های آبی یا رسوبات دشت سیلابی که جهت بررسی تمرکز فلزات مختلف در طبیعت انجام شده،

-
1. Inductively Coupled Plasma analysis
 2. Atomic Absorption Spectrometry
 3. Mass Spectrometry
 4. Atomic Absorption Spectrometry
 5. Cold-Vapour Atomic Absorption
 6. Gas Chromatograph
 7. Detector

به دست آورده‌اند. سنگ‌بستر و خاک، فاقد ویژگی ذاتی یکسان در زمینه تمرکز عناصر شیمیایی هستند. در برخی مناطق دارای غلظت بالای طبیعی از یک یا چند عنصر هستند که احتمالاً به دلیل معدنکاری بوده است.

• **نظرات مختلف در مورد سم‌شناسی:** برخی از ژئوشیمیست‌های معدنیاب پس از کسب تجربه در زمینه جست‌وجوهای ژئوشیمیایی منابع معدنی روند مطالعات خود را به سمت خاک‌ها و رسوبات مناطق شهری تغییر داده‌اند. وقتی اولین پروژه تهیه نقشه ژئوشیمیایی در دهه ۱۹۹۰ در نروژ آغاز شد، تمرکز همچنان روی عناصر شیمیایی به‌ویژه آرسنیک و فلزات سنگین بود. فرایندهای آزمایشگاهی کم و بیش به همان شکل قبلی انجام می‌شد، اما توجه به این‌که چه عنصری باید مورد توجه بیش‌تری قرار گیرد به مرور دچار دگرگونی شد.

یکی از فلزاتی که در مطالعات این کشور مورد توجه بود مولیبدن نام داشت. بنابراین این عنصر در زمانی که بحث سلامتی کودکان و یا تأثیرات زیست‌محیطی رسوبات دریایی باشد، چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد. از این‌رو باید کمی در مورد تعریف آلاینده‌ها بیش‌تر بحث کرد. تمام عناصر، حداقل از دیدگاه ژئوشیمی، می‌توانند در طبیعت یافت شوند بنابراین چه چیزی باعث می‌شود که آن‌ها به‌عنوان آلاینده در نظر گرفته شوند؟

واکر و همکاران (۲۰۰۱) آلاینده‌های شیمیایی را به این شکل تعریف کردند: «اگر مقدار یک عنصر معین از مقدار نرمال و طبیعی موردانتظار در محیط معین بیش‌تر باشد آن محیط تحت آلودگی عنصر یاد شده قرار دارد». این تعریف سؤالات متعددی را در پی دارد. مانند این‌که چه مقداری نرمال و طبیعی است؟ چه مقداری حدزمینه^۱ است؟ فلزات سنگین به همراه مواد مختلف ارگانیک (مانند PAHs, PCBs، دی‌اکسین‌ها و متیل جیوه) که به‌عنوان آلاینده در نظر گرفته می‌شوند می‌توانند به‌صورت طبیعی نیز یافت شده و مدت‌ها قبل از خلقت انسان در طبیعت وجود داشته‌اند. از طریق فرایندهای زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی تغییرات غلظت عناصر در سطح زمین از نظر زمانی و مکانی متفاوت است و از این‌رو تعیین دامنه تغییرات برای هر عنصر بی‌معنی خواهد بود.

اصل عمومی سم‌شناسی این است که مسمومیت و در نتیجه آن آلاینده شدیداً وابسته به مقدار معین (دوز)^۱ آن است. پزشک و فیلسوف سوئیسی فیلیپ فون هوهنایم^۲ که بعدها (۱۵۴۱-۱۴۹۳)، به‌عنوان پدر سم‌شناسی جهان شناخته شد پیشنهاد کرد که همه اشیاء سمی هستند و هیچ چیز فاقد سم نیست و تنها مقدار آن در برخی زیاد است که باعث مسمومیت می‌شود. به عبارت دیگر هر ماده معمولی در صورتی که مقدار آن در شئی افزایش یابد می‌تواند آن را سمی کند. حتی مقدار زیاد نمک نیز می‌تواند واقعاً کشنده باشد (اسمیت و پالوسکی، ۱۹۹۰). ارتباط بین هر فرایند (مثلاً رشد، بقا) و غلظت یک ماده را می‌توان براساس مواد اصلی و غیراصلی خلاصه کرده و دسته‌بندی کرد. مواد اصلی مانند مس، آهن و روی از موادی هستند که کمبود و غلظت بالای آن‌ها می‌تواند مضر باشد. دوز آن‌ها تعیین می‌کند که آیا این عناصر می‌توانند سمی باشند یا خیر. مواد غیراصلی مانند سرب، کادمیوم و جیوه تا اندازه‌ای که از آن به بعد ماده سمی می‌شود، قابل تحمل است.

• **ترکیبات ارگانیک:** ترکیبات ارگانیک ساختارهای شیمیایی هستند که حاوی کربن بوده و ویژگی آن‌ها این است که می‌توانند گستره وسیعی از مواد پیچیده‌ای مانند هیدروکربن‌ها، پروتئین‌ها و اسیدنوکلئیک‌ها را به وجود آورند. ویژگی متداول دیگر آن‌ها این است که در آب قابلیت انحلال کمی دارند که باعث تجمع زیستی در زنجیره‌های غذایی می‌شوند و بنابراین غلظت آن‌ها در بالای زنجیره غذایی مانند خرس قطبی افزایش می‌یابد (لی و همکاران، ۲۰۰۳؛ AMAP، ۲۰۰۴). آلاینده‌های ارگانیک اغلب به‌عنوان محصولات فعالیت‌های بشری در نظر گرفته می‌شوند و این بدان معنی است که تظاهر آن‌ها در طی صنعتی‌شدن در قرون گذشته بوده است. بنابراین، این مسئله برای تمام ترکیبات صادق نیست. به‌عنوان نمونه نشان داده شده است که دی‌اکسین‌ها و فوران‌ها^۳ (PCDDs/Fs) به‌طور تصادفی به‌صورت محصولات جانبی درون انواع مختلف فرایندهای حرارتی (الکوک و جونز، ۱۹۹۶؛ لی و همکاران، ۲۰۰۷؛ تجیما و همکاران، ۲۰۰۷) ایجاد می‌شوند که موجب انتشار به درون هوا و در نتیجه تجمع در سطح خاک می‌شود. مطالعات همچنین نشان داده است که PCBs دارای ساختار

1. Dose

2. Philip von Hohenheim

3. Furans

شیمیایی بسیار مشابه با دی‌اکسین‌ها نیز می‌توانند از طریق فرایندهای ذکر شده ایجاد می‌شوند (شون‌بوم و همکاران، ۱۹۹۵؛ ایشیکاوا و همکاران، ۲۰۰۷).

- **POP ها و PCB ها:** عهدنامه استکهلم در مورد آلاینده‌های پایدار ارگانیک (POPs)، درخواست کرد که جهت تشخیص ویژگی‌های ترکیبات سمی و پایدار مانند PCBs، HCB، DDT، فوران‌ها و دی‌اکسین‌ها به‌منظور محافظت از سلامت و بهداشت انسان‌ها و همچنین محیط‌زیست جلساتی بین دست‌اندرکاران برگزار شود (UNEP، ۲۰۰۱). الزامات در مورد کاهش یا حذف انتشار POPs شامل محدودکردن و یا ممانعت از تولید بین‌المللی آن‌ها و وضع قوانین محدودکننده واردات و صادرات آن‌ها است. پلی‌کلرینتید بی‌فیل‌ها (PCBs) گروه مهمی از آلاینده‌های ارگانیک هستند که باعث ایجاد چالش‌های زیست‌محیطی در سطح جهانی می‌شوند. مطالعات بسیاری انجام شده است تا انتقال جوی بلندمدت از عرض‌های جغرافیایی متوسط به سمت قطب‌ها از طریق فرایند رقیق‌شدگی مورد بررسی قرار گیرد (وانیا و مک‌کی، ۱۹۹۵). بنابراین PCB های کل دنیا به‌طور وسیعی به محصولات متداول و کاربری‌ها از جمله روغن‌های هیدرولیک، مبدل‌های الکتریکی و خازن‌ها، پنجره‌های دوجداره، بتن‌های ساختمانی، بتونه‌ها و رنگ‌ها افزوده می‌شود (ساندال و همکاران، ۱۹۹۹؛ هلمن و پوهاکا، ۲۰۰۱؛ پولند و همکاران، ۲۰۰۱؛ اندرسون و همکاران، ۲۰۰۴؛ هرریک و همکاران، ۲۰۰۴؛ کوهلر و همکاران، ۲۰۰۵؛ شین و کیم، ۲۰۰۶). مطالعات در نروژ نشان داده است که مصالح ساختمانی می‌توانند مهم‌ترین منبع PCB ها در محیط‌های شهری باشند (شکل ۵-۸، اندرسون و همکاران، ۲۰۰۴؛ یارتون و همکاران، ۲۰۰۹). انتشار PCB ها در هوا از منابع اولیه مانند کارخانجات و استفاده‌های بین‌المللی از آن‌ها با ممنوع‌شدن تولید و استفاده از این مواد در بسیاری از محصولات در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی کاهش داشته است (برایویک و همکاران، b و ۲۰۰۲a). بنابراین، PCB ها از مواد ثانویه مانند ذرات خاک، گیاه، آب، هوا و همچنین محصولات حاوی این مواد نیز در اثر حرارت دیدن فرار بوده و در محیط پخش می‌شوند (هالسال و همکاران، ۱۹۹۵؛ وانیا و همکاران، ۱۹۹۸؛ هالسال و همکاران، ۱۹۹۹؛ برایویک و همکاران، ۲۰۰۴). تعدادی از مطالعات انجام شده بر روی PCB ها در محیط‌زیست با

مقیاس ناحیه‌ای یا جهانی صورت گرفته است (برایویک و همکاران، b و ۲۰۰۲a؛ AMAP، ۲۰۰۴) که با مطالعات بر روی غلظت آن‌ها در مواد و محیط‌های معین از قبیل خاک، رسوبات و آب همراه بوده است (مایر و همکاران، ۲۰۰۳؛ روسی و همکاران، ۲۰۰۴). پیوند ذره‌ای PCBها از منابع فعال ناشناخته به خاک و رسوبات روان‌آب‌ها منتقل شده اما در این صورت در مناطق شهری تبدیل به معضل زیست‌محیطی عمده شده است (یارتون و همکاران، ۲۰۰۸).

پروژه‌ای در نروژ که با عنوان ریسک مناطق شهری^۱ خوانده می‌شود به موضوع آلاینده‌های خاص مانند PCBها، PAHها و فلزات سنگین در محیط‌های شهری و اهمیت آن‌ها در حوضه‌های پایین دست و در نهایت رسوبات دریایی پرداخته است (یارتون، ۲۰۰۸). انتشار آلاینده‌ها از مناطق شهری توانسته موجب آلاینده‌های فعال رسوبات دریایی شود و در نتیجه فقط در نروژ توصیه‌های ویژه‌ای جهت عدم استفاده از غذاهای دریایی در بیش از ۳۰ بندرگاه صادر شده است (اوکلند، ۲۰۰۵). غلظت‌های بالای آلاینده‌ها در رسوبات معلق و کف آب باعث شده است که این آلاینده‌ها با ویژگی‌های خاص خود از قبیل چربی دوستی^۲ یا پایداری وارد زنجیره غذایی شوند (روس و همکاران، ۲۰۰۵).

حضور آلاینده‌هایی نظیر PCBها در هوا، آب و خاک یا رسوب به‌ویژه جهت تعیین مناطق اسیدی (مکان‌هایی که دارای غلظت آلاینده‌های زیستی بالا به دلیل عواملی مانند سطوح تغذیه‌ای متعدد و بالابودن عمومی چربی حیوانات) بسیار مهم است. از این‌رو همان‌طور که قبلاً ذکر شد، مقادیر آلاینده‌ها در مناطق قطبی موجب غلظت بالای آن‌ها در بالای هرم زنجیره غذایی (مثل خرس قطبی) شده است (اسکار و همکاران، ۲۰۰۰؛ هاو و همکاران، ۲۰۰۳). انتشار و تحرک آلاینده‌ها درون بخش‌های مختلف محیط زیست می‌تواند سلامت انسان و محیط را به خطر اندازد. اصلی‌ترین عامل ورود PCBها به بدن انسان استفاده از ماهی آلوده و سایر غذاهای دریایی است. علاوه بر این، عوامل شغلی نیز در این زمینه مهم هستند به‌عنوان مثال سروکار داشتن با مبدل‌های الکتریکی یا خازن‌ها و بازسازی ساختمان‌های آلوده می‌تواند انسان را در معرض این نوع آلودگی قرار دهد. کودکان حتی ممکن است پیش از تولد از طریق جنین مادر که

1. Urban Risk
2. Lipophilicity

این مواد را در بافت‌های چربی حفظ کرده است، آلوده شوند. این مواد در حین بارداری آزاد شده و از طریق جفت وارد جنین می‌شوند. تأثیر PCBها در سلامت انسان از طریق ورود آنها به جگر، تیروئید، پوست و چشم، هشدارهای ایمنی‌شناسی بدن، تغییرات عصبی، کاهش وزن تولد نوزاد، مسمومیت آلت تناسلی و سرطان صورت می‌گیرد (ATSDR، ۲۰۰۰).

۴-۵ چشم‌انداز نتایج مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری

۴-۵-۱ کاربردهای بهداشتی (زمین‌های بازی پاک برای کودکان)

برآوردهای تجربی در نیوارولثان نشان داده است که بین مقدار سرب کودکان و غلظت این عنصر در خاک ارتباط بسیار قوی وجود دارد. کودکان به‌ویژه در سنین اولیه رشد (۱۲ تا ۲۴ ماهگی) در مقابل مسمومیت‌های زیست‌محیطی آسیب‌پذیر بوده و نسبت به آثار مخرب بر اعصاب حاصل از فلزاتی مانند سرب بسیار حساس هستند (میلکه و همکاران، ۱۹۸۳؛ میلکه و همکاران، ۱۹۹۹؛ میلکه و همکاران، ۲۰۰۷).

مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری، مناطق پرجمعیت را پوشش داده و پایه و اساس این‌گونه مطالعات مرتبط با بهداشت و سلامت افراد جامعه را تشکیل می‌دهد. این شاخه از ژئوشیمی اطلاعات بنیادین از مقادیر آلاینده‌ها، انتشار جغرافیایی، سازوکارهای انتشار و پتانسیل تمرکز را فراهم می‌کنند. یکی از مهم‌ترین راهکارهای اقدام مناسب در زمین‌های بازی یا مناطقی که واقعاً آلوده هستند، جابه‌جایی خاک‌های آلوده و از بین بردن منابع آلودگی قبل از بروز مشکلات بهداشتی در کودکان است. بسیار مهم است که خاک‌های مناطق بازی فاقد هرگونه مواد غیرضروری مضر برای کودکان در حال رشد باشد.

۴-۵-۲ نقشه‌های آگاهی‌بخش (جلوگیری از انتشار بیش‌تر آلاینده‌ها)

یکی دیگر از ملزومات ژئوشیمی مناطق شهری ایجاد آگاهی در زمینه آلودگی خاک است که بدون در نظر گرفتن تاریخچه رشد صنعت، معمولاً در مناطق مرکزی شهر رخ می‌دهد. بنابراین، قواعد محدودکننده‌ای جهت پرهیز از انتقال مواد آلوده حفر شده از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر (که شاید آسیب‌پذیرتر از محل اولیه هم باشد) باید

اعمال شود. امروزه کم‌وبیش جریان آزاد خاک، ماسه و رسوبات برقرار است بدون این‌که کسی از محتوای خطرناک آلاینده‌های آن اطلاع داشته باشد. این چالش جابه‌جایی به همراه مناطق مناسب دفن یا تصفیه خاک باید در مدیریت زیست‌محیطی هر کلان‌شهری مورد توجه قرار گیرد. در نروژ در برخی شهرها قوانینی وضع شده است که هرگونه جابه‌جایی مصالح ساختمانی و خاک در مرکزی‌ترین نقطه شهر باید دارای مجوز بوده و از طریق آنالیز شیمیایی غیرآلاینده‌بودن مواد به اثبات برسد.

۵-۴-۳ تشخیص منابع آلودگی

با این‌که اثبات شده خاک‌های مناطق شهری محیط مناسبی جهت مخاطرات زیست‌محیطی هستند اما منشأ آلودگی در منطقه معین نامشخص باقی‌مانده است. اول از همه این‌که خاک یک محیط فعال است بدین مفهوم که بارها و بارها از تاریخ اسکان بشر در آن منطقه خاص مورد استفاده قرار گرفته است. حفر، جابه‌جایی و تدفین آن در طی دهه‌های متمادی خاک شهری را تبدیل به یک محیط ناهمگن و حاوی آثار فراوان انسانی کرده است. به همین دلیل این خاک می‌تواند محل مناسبی جهت مطالعه مقدار آلودگی روان شده به‌سوی محیط دریایی نیز باشد. براساس دانش به‌دست آمده از مطالعات متعدد در زمینه آلودگی خاک شهری، احتیاج به روش مناسب و عملی جهت مطالعه نقش منابع فعال آلودگی از قبیل محیط دریایی به وضوح احساس می‌شود. رسوبات روان‌آب‌های شهری در واحدهای کوچک سیلابی به دام می‌افتند که جهت استفاده به این منظور مناسب هستند. این روش به تفصیل توسط یارتون (۲۰۰۸) توضیح داده شده است. انگیزه اصلی از انتخاب رسوبات سیلاب‌ها به‌عنوان نمونه مناسب برای آلودگی پیوسته یک محیط شهری آن است که کم‌وبیش مرتباً هر سال از طریق شهرداری‌ها تمیز و از محل تجمع دور می‌شوند و در نتیجه این مواد جوان هستند. علاوه بر این، هر سیلاب گیرافتاده در یک منطقه دارای حوضه آبریز محدودی است که مواد خود را از آن دریافت می‌کند. اگر تمرکز بالایی از هر کدام از آلاینده‌ها در روان‌آب‌های سیلابی یافت شود، در آن صورت منبع آلودگی محدود به منطقه‌ای به وسعت ۲-۶۰۰ مترمربع در اطراف محل نمونه‌برداری خواهد بود.

خودآزمایی چهارگزینه‌ای

۱. خاک‌های سطحی مناطق شهری عمدتاً در عمق چند سانتی‌متری قرار دارند؟
(الف) ۱۰-۰ (ب) ۲-۰
(ج) ۲۰-۰ (د) ۱۰۰-۰
۲. به همراه کدام گزینه آلاینش سرب نیز وجود دارد؟
(الف) هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAH)
(ب) پلی‌کلرینتند بی‌فنیل‌ها (PCBs)
(ج) بازدارنده‌های شعله‌برم (BFRs)
(د) دی‌اکسین‌ها
۳. طبق تعریف بوکهایم (۱۹۷۴)، خاک شهری خاکی است که بوده، دارای لایه سطح بیش از که توسط انسان ایجاد شده است.
(الف) غیرقابل کشاورزی - ۵۰ سانتی‌متر (ب) غیرقابل کشاورزی - ۶۵ سانتی‌متر
(ج) قابل کشاورزی - ۶۵ سانتی‌متر (د) قابل کشاورزی - ۵۰ سانتی‌متر
۴. کدام گزینه در مورد نمونه‌برداری ژئوشیمیایی صحیح است؟
(الف) تعداد نمونه‌ها بیش‌تر خطای تکرارپذیری بیش‌تر
(ب) تعداد نمونه‌ها بیش‌تر خطای تکرارپذیری کم‌تر
(ج) تعداد نمونه‌ها کم‌تر خطای تکرارپذیری کم‌تر
(د) خطای تکرارپذیری مستقل از تعداد نمونه‌ها است
۵. مواد ارگانیک موجود در خاک مناطق شهری با چه روشی آنالیز می‌شود؟
(الف) XRF (ب) GC
(ج) CVAAS (د) AAS

خودآزمایی تشریحی

۱. فواید نقشه‌برداری ژئوشیمیایی شهری کدامند؟ توضیح دهید.
۲. مواد ارگانیک آلاینده را نام ببرید و یک مورد را توضیح دهید.
۳. نتایج مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری در چه مواردی کاربرد دارد؟

فصل ششم

تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در محیط‌های شهری

هدف کلی

معمولاً برای انجام هر نوع برنامه‌ریزی توسعه‌ای شهری که مستلزم تغییر کاربری زمین می‌باشد لازم به‌نظر می‌رسد که شناخت کافی از ویژگی‌های زمین وجود داشته باشد تا براساس برنامه‌ها و اهداف به‌درستی و با کم‌ترین آسیب به محیط‌زیست انجام شده و به‌صورت پایدار فرایند توسعه ادامه یابد. از این‌رو بهترین پایه اطلاعات مربوط به زمین، می‌تواند همان نقشه زمین‌شناسی مناطق شهری باشد که در آن تمام ویژگی‌های زمین‌شناسی با داده‌های دیگر از قبیل نقشه راه‌ها، تأسیسات شهری، توزیع آب‌های زیرزمینی و غیره تلفیق شده‌است. در این فصل فرایند تهیه این‌گونه نقشه‌ها توضیح داده خواهد شد.

هدف‌های یادگیری

با توجه به اهداف کلی یاد شده می‌توان که با مطالعه این فصل از کتاب با موارد ذیل آشنا شد:

۱. چالش‌های تهیه نقشه زمین‌شناسی یک منطقه شهری.
۲. انواع منابع شیمیایی آلاینده حاصل از فعالیت‌های انسانی موجود در آب.
۳. انواع منابع و مأخذ مورد استفاده در تهیه نقشه زمین‌شناسی یک منطقه شهری.
۴. آشنایی با مدل زمین‌شناسی مفهومی.
۵. اهداف آنالیز رخساره.
۶. مفهوم نقشه‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی و روش تهیه آن‌ها.

مقدمه

به‌طور کلی روش‌های ارائه شده در این فصل پایه‌ای برای فهم زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی زیر مناطق شهری را فراهم می‌کند. این نقشه‌ها تاریخچه زمین‌شناسی یک منطقه خاص را به گونه‌ای بیان می‌کند که قابل استفاده برای افراد حرفه‌ای زمین‌شناسی و همچنین عموم مردم باشد. نقشه‌های زمین‌شناسی شهری چالش‌های جدید بسیاری را پیش پای زمین‌شناسان قرار داده و تهیه آن‌ها را با مشکل مواجه کرده است. یکی از چالش‌های اصلی، ایجاد نقشه زمین‌شناسی قابل فهم و کاربردی برای اعضای غیرمتخصص شوراهای شهری است. البته این مسئله برای زمین‌شناسان موضوع عجیبی نیست و مدت‌ها است که تلاش دارند بتوانند نقشه‌هایی را تهیه کنند که برای افراد غیرمتخصص نیز قابل استفاده باشند.

ارائه مؤثر اطلاعات متنوع در زمان تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی مناطق شهری نیز چالش دیگری است. همان‌طور که بسیاری از زمین‌شناسان در حال مطالعه مناطق شهری در جریان هستند، دسترسی به مناظر طبیعی یکی از بزرگ‌ترین مسائل و مشکلات در حین تهیه نقشه یا مطالعه یک موضوع زیست‌محیطی زیرسطحی است. بنابراین زمین‌شناس باید باهوش، پرتلاش و فرصت طلب باشد چرا که نقشه پایه زمین‌شناسی بزرگی که مناطق شهری را نیز پوشش دهد وجود ندارد و خود باید آن را تهیه کند.

تنها این اواخر است که سازمان زمین‌شناسی آمریکا به تهیه نقشه زمین‌شناسی مناطق شهری علاقه نشان داده است (USGS, ۱۹۹۸, ۲۰۰۹؛ تهیه نقشه زمین‌شناسی گریٹ لیکز^۱، ۲۰۰۹). زمین‌شناسی مواد ناپیوسته نزدیک سطح مناطق شهری عمدتاً نادیده گرفته شده‌اند، به این دلیل که مناطق شهری غالباً پوشیده بوده (در اثر ساخت‌وساز) و در معرض دید قرار ندارند و علاوه بر این منابع طبیعی ارزشمند و همچنین مناطق خطرپذیر از نظر زلزله‌خیزی و آتشفشان‌ها در مناطق خارج از شهر قرار دارند. با وجود این عدم توجه، تعیین ویژگی‌ها، شناخت و بررسی زمین‌شناسی در مناطق شهری در ده‌ها هزار نقطه در سراسر آمریکا انجام شده و این تلاش‌ها در مجموع بانک اطلاعات بسیار خوبی از داده‌های زمین‌شناسی پایه را در اختیار علاقمندان قرار می‌دهد.

این پیچیدگی‌های مرتبط با نقشه‌های زمین‌شناسی مناطق شهری مستقیماً مرتبط با ویژگی‌های محیط‌های شهری است. همان‌طور که در جدول ۶-۱ نشان داده شده است، اکثر

مناطق شهری ایالات متحده بر روی نهشته‌های رسوبی سست قرار گرفته‌اند. اغلب این مناطق دارای سنی کم‌تر از دو میلیون سال هستند اما با این وجود دارای ویژگی‌های طبیعی و همچنین بشرزاد^۱ پیچیده‌ای هستند. این مناطق شهری همچنین حاوی مقادیر زیادی آب سطحی و زیرزمینی بوده و این آب‌ها نقش اساسی در حمل‌ونقل آلودگی‌ها بازی می‌کنند. این ترکیب نهشته‌های مختلف رسوبی و آب جاری نشان می‌دهند که چرا باید محیط زمین‌شناسی کم‌عمق زیر مناطق شهری بیش‌تر و یا حداقل مانند سایر مناطق به‌دقت شناخته شوند چون محل زندگی بوده و بیش‌ترین پیوند بین طبیعت و اجتماع را در خود جای داده است.

بنابراین، نقشه‌های زمین‌شناسی پایه‌ای برای مدیریت اکوسیستم ایجاد می‌کند (USGS, ۱۹۹۸). محیط‌زیست طبیعی و انسان‌ها ناگزیر در ساختاری با زمین‌شناسی معین قرار گرفته‌اند.

نقشه‌های زمین‌شناسی می‌تواند ویژگی‌های این ساختار را مشخص کند. این نقشه‌ها به‌ویژه مفاهیم پایه جهت بررسی منابع، مخاطرات طبیعی و داده‌های زیست‌محیطی را برای نیازها و فعالیت‌های بشری فراهم می‌کند (توماس، ۲۰۰۴). نظم، ضخامت و ترکیب لایه‌های رسوبی تأثیر عمیقی در محل قرارگیری شهرها، چگونگی ساخت بناهای شهری، محل ساخت راه‌ها و چگونگی تأثیر آلودگی‌ها بر انسان دارد.

تهیه نقشه زمین‌شناسی یک منطقه یا محل خاص بسیار حیاتی است و اولین قدم در بررسی توسعه مناطق مستعد شهری یا محل است (USGS, ۱۹۹۸؛ برگ و همکاران، ۱۹۹۹؛ برگ، ۲۰۰۲). بنابراین اغراق نخواهد بود که گفته شود محیط‌های شهری پایدار نمی‌توانند بدون وجود نقشه‌های زمین‌شناسی دقیق و کاربردی ایجاد شوند.

جدول ۶-۱. مراکز شهری مهم ایالات متحده آمریکا و محیط‌های رسوبی آن‌ها.

محیط‌های زمین‌شناسی

منطقه شهری	آبرفتی	ساحلی	بادرفتی	رودخانه‌ای	بخجالی	دریاچه‌ای	دریایی	آتشفشانی	سنگ بستر
آتلانتا ^۱	×			×		×			
بالتیمور ^۲	×			×			×		
بوستون ^۳	×			×	×				×
شیکاگو ^۴		×		×	×	×			

ادامهٔ جدول ۶-۱. مراکز شهری مهم ایالات متحده آمریکا و محیط‌های رسوبی آن‌ها.

محیط‌های زمین‌شناسی

منطقه شهری	آبرفتی	ساحلی	بادرفتی	رودخانه‌ای	یخچالی	دریاچه‌ای	دریایی	آتشفشانی	سنگ بستر
سین سیناتی ^۵	×			×	×				×
کلیولند ^۵		×		×	×	×			
دالاس ^۶	×		×	×		×			×
دیترویت ^{۸،۹}		×		×	×	×			
دنور ^{۱۰}	×		×	×	×				×
هوستون ^{۶،۷}	×			×			×		
ایندیاناپولیس ^{۳۰}				×	×	×			
کانزاس سیتی ^{۱۱،۱۲}	×			×	×				
لاس وگاس ^{۱۳}	×		×	×		×			×
لوس آنجلس ^{۱۴}	×	×	×	×		×	×		×
میامی ^{۱۵}	×			×			×		
مینیاپولیس ^{۱۶}	×			×	×	×			×
نیوآرلئان ^{۱۷}		×		×		×	×		
نیویورک ^{۱۸}	×	×		×	×	×	×		×
فیالادلفیا ^{۱۹،۲۰}		×		×		×	×		×
فونیکس ^{۲۱،۲۲}	×		×	×		×			×
پیتزبورگ ^{۱۹}	×			×	×	×			×
پورتلند ^{۲۳}	×			×	×	×	×		×
سن آنتونیو ^{۲۳،۲۷}	×		×	×		×			×
سنت لویی ^{۲۴}	×	×		×	×				×
سالت لیک سیتی ^{۲۵}	×	×		×	×	×			×
سانفرانسیسکو ^{۲۶}	×	×		×			×		×
سیاتل ^{۲۸}	×	×		×	×	×	×	×	×
تامپا ^{۲۷}	×	×		×		×	×		×
واشنگتن ^{۲۹}	×			×		×			×

منابع: ۱- آبرامز (۱۹۸۴)؛ ۲- USGS (۲۰۰۹a)؛ ۳- کایه (۱۹۷۶)؛ ۴- آلدرد (۱۹۰۲)؛ ۵- کاگون (۱۹۹۶)؛ ۶- USGS (۲۰۰۹b)؛ ۷- اسپرینگ (۱۹۹۱)؛ ۸- راجرز (۱۹۹۶)؛ ۹- راجرز (۱۹۹۷)؛ ۱۰- هالکا (۱۹۸۰)؛ ۱۱- آیر (۱۹۸۴)؛ ۱۲- جتبل (۱۹۸۴)؛ ۱۳- پیچ و همکاران (۲۰۰۵)؛ ۱۴- بیلود و همکاران (۲۰۰۷)؛ ۱۵- سازمان زمین‌شناسی ایالت فلوریدا (۱۹۹۴)؛ ۱۶- اوجاکنگاس و میچ (۱۹۸۲)؛ ۱۷- استودن (۱۹۸۰)؛ ۱۸- USGS (۲۰۰۳)؛ ۱۹- بارنز و سوون (۱۹۹۶)؛ ۲۰- گوودوین (۱۹۶۴)؛ ۲۱- آلن (۲۰۰۳)؛ ۲۲- هالکا (۱۹۸۳)؛ ۲۳- تریمبل (۱۹۶۳)؛ ۲۴- دپارتمان منابع طبیعی ایالت میسوری، بخش زمین‌شناسی؛ ۲۵- استوکس (۱۹۸۹)؛ ۲۶- استوفر و گوردون (۲۰۰۱)؛ ۲۷- USGS (۲۰۰۵)؛ استوارت (۱۹۹۲)؛ USGS (۲۰۰۷)؛ ۳۰- سازمان زمین‌شناسی ایالت فلوریدا.

۱-۶ تهیه نقشه زمین‌شناسی در یک منطقه شهری

تهیه نقشه زمین‌شناسی در مناطق شهری موجب افزایش دانش در زمینه فرایندهای اساسی طبیعی در آن مناطق شده و انواع و مکان‌های تأثیر فعالیت‌های بشری تعیین می‌کند تا به‌منظور توسعه پایدار هسته‌های شهری و مناطق اطراف مورد استفاده و توجه قرار گیرد. استانداردهایی در تهیه این‌گونه نقشه‌ها موجود است (USGS, 2010a) و تکمیل نقشه در یک منطقه خاص همواره مستلزم مطالعات صحرایی وسیع است (مالی، 2005). در این صورت، بسیاری از مکان‌های شهری قابل دسترس نیستند و بنابراین به ناچار باید از داده‌های قدیمی قابل اعتماد و اطلاعات منابع مختلف استفاده کرد. در ادامه نه مرحله گردآوری اطلاعات مناسب و تهیه نقشه نهایی زمین‌شناسی مناطق شهری مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۱-۱-۶ اطلاعات و چالش‌های پیش‌رو در تهیه نقشه

تهیه نقشه زمین‌شناسی یک منطقه شهری چالش‌های بسیاری را فراروی زمین‌شناسی قرار می‌دهد و می‌تواند دشواری بسیاری نسبت به نقشه‌های زمین‌شناسی متعارف داشته باشد (USGS, 1998). برخی از این چالش‌ها عبارتند از:

- ایمنی: انجام فعالیت‌ها در مناطق شهری سؤالات بسیاری در زمینه ایمنی ایجاد می‌کند. از جمله مخاطرات فیزیکی ناشی از تجهیزات، ماشین‌آلات، خودروها و سایر وسایل مکانیکی. همچنین ممکن است سایر مخاطرات نظیر گرم‌زدگی و پوشیدن تجهیزات ایمنی خاص برای جلوگیری از آلودگی‌ها نیز به آن‌ها افزوده شود.
- عدم دسترسی به دلیل مسائل قانونی و املاک خصوصی شخصی: بسیاری از مکان‌های مورد نظر عمومی نبوده و تنها با داشتن مجوز از مالکین قابل دسترسی هستند.
- مناطقی که توسط ساختمان‌ها و سایر فعالیت‌های بشری پوشیده شده‌اند ویژگی‌های اولیه آن مناطق را پنهان کرده و امکان بررسی مستقیم را از زمین‌شناس سلب می‌کند.
- مناطقی مانند پارک‌ها، محل دفن زباله‌ها و سایر مناظر ممکن است ویژگی‌های رسوبات اولیه را پوشانده، تخریب کرده و یا از بین برده باشند.

- مطالعات صحرایی، مانند حفر چاله‌های آزمایشی در پارک‌های قدیمی، ممکن است منطقه را به‌طور جدی تخریب کند و این امر مستلزم پرداخت هزینه‌های بسیار جهت بازسازی در حد مناسب اولیه است.
- تغییر در تعادل طبیعی زیست‌محیطی از طریق پروژه‌های ساختمانی بزرگ می‌تواند محیط زیرسطحی را تحت تأثیر قرار دهد. به‌عنوان نمونه، ساخت یک سد ممکن است سطوح آب‌های زیرزمینی ناحیه‌ای را افزایش داده و یا برخی مناطق را قبل از مطالعات زمین‌شناسی از آب بپوشاند.
- پوشش گیاهی مناطق شهری سطح زیادی از شهر به‌ویژه در مناطق مرطوب را می‌پوشاند. این پوشش وسیع گیاهی موجب دشوار شدن بررسی نهشته‌های طبیعی شده و احتمال برهم‌خوردگی ویژگی‌های طبیعی، شیمیایی یا فیزیک آن رسوبات را افزایش می‌دهد.
- منابع شیمیایی و بشرزاد موجود در آب می‌تواند ویژگی‌های رسوبی اولیه را تخریب، تغییر و یا این‌که این رسوبات را در خود حل کند. منابع این عوامل خارجی تغییرات عبارتند از:
 - روان‌آب‌های سیلاب‌ها
 - نشست فاضلاب
 - شیرابه‌های حاصل دفن زباله
 - زباله‌های قدیمی مدفون
 - مخازن زیرزمینی
 - تجهیزات زیرزمینی
 - لوله‌های انتقال آب و انرژی
 - سیستم‌های گندزدایی
 - تخلیه فاضلاب صنعتی
 - مکان‌های صنعتی
 - استفاده از کود
 - استفاده از حشره‌کش‌ها و علف‌کش‌ها
 - دود ناشی از آگروز خودروها
 - گورستان‌های قدیمی

- پیست‌های گلف
- عملیات آتش‌نشانی
- نشت از تانکرها
- ساختمان‌های متروک
- ذرات و آب تخلیه شده از نیروگاه‌های برق
- باران اسیدی

۶-۱-۲ منابع اطلاعات، یکپارچه‌سازی و برآورد قابلیت استفاده از آن‌ها

جهت مقابله با چالش‌های پیش‌رو در فرایند تهیه نقشه مناطق زمین‌شناسی، زمین‌شناسان ناگزیرند که در ادامه کار جهت کسب اطلاعات موردنیاز و کافی جهت درک زمین‌شناسی محیط زیرسطحی شهری خلاق و سخت‌کوش باشند.

منابع اطلاعات متعددی از مناطق شهری در دسترس است که می‌تواند برای مقاصد زمین‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد و گاهی این اطلاعات بسیار وسیع‌تر از مناطق غیرتوسعه‌یافته در خارج شهرها است. غالباً جهت گردآوری موفقی اطلاعات زمین‌شناسی شهری، زمین‌شناس باید پرتلاش باشد به این دلیل که رسوبات سست نزدیک سطح در بسیاری از مناطق شهری تغییرات زیادی را متحمل شده‌اند. پرتلاش بودن زمین‌شناس بدین معنی است که وی باید بررسی کند که چه اطلاعاتی قابل اعتماد و معتبر هستند و آیا می‌توان از آن‌ها در تهیه نقشه زمین‌شناسی نهایی استفاده کرد یا خیر؟ (مانند یک حقوق‌دان که مدارک یک پرونده را بررسی و در مورد صحت و سقم آن نظر می‌دهد. بنابراین از این منظر این نوع فعالیت‌های زمین‌شناسی را نیز می‌توان زمین‌شناسی قانونی نام نهاد).

تهیه نقشه زمین‌شناسی یک ناحیه شهری از طریق تهیه لیستی از داده‌ها و انتشارات با استفاده از منابع زیر به عنوان راهنما است:

• نقشه‌های موجود و نقشه‌های قدیمی:

- نقشه‌های زمین‌شناسی
- نقشه‌های برنامه‌ریزی
- نقشه‌های بزرگراه‌ها
- نقشه‌های محافظت در مقابل آتش
- نقشه‌های توپوگرافی

- نقشه‌های مسیرهای اسکی
 - نقشه‌های پارک‌ها و مناطق تفریحی
- نقشه‌هایی که برای اهداف برنامه‌ریزی شهری تهیه شده‌اند؛ این نقشه‌ها اغلب حاوی مکان‌های دقیق زیرساخت‌های زیرزمینی و ساختارهای مدیریت آب‌های سطحی و زیرزمینی مانند حوضه‌های محبوس آب زیرزمینی هستند.

• سایر نقشه‌ها

- گزارش‌ها و مطالعات سازمان زمین‌شناسی
 - محل چاه‌های حفر شده توسط سازمان‌های آب منطقه‌ای
 - گزارش‌های مهندسی مراجع نظامی
 - گزارش‌ها، مطالعات و سوابق مربوط به نفت و گاز
 - گزارش‌های سازمان‌های راه و شهرسازی
 - گزارش‌های فنی و مجوزهای ساختمان‌سازی
 - گزارش‌ها و مطالعات ژئوتکنیکی
 - گزارش‌های ملی و محلی مربوط به بررسی‌های زیست‌محیطی در محل‌های آلوده
 - مطالعات، انتشارات و عکس‌های مرتبط با جوامع محلی و ملی
 - منابع مرتبط موجود در دانشگاه‌های ملی و محلی
 - منابع عکس‌های هوایی قدیمی
 - منابع منتشر شده علمی قبلی
- ممکن است تصور شود که نقشه بزرگراه‌های قدیمی اطلاعات چندانی جهت فهم زمین‌شناسی منطقه خاصی از ناحیه مورد مطالعه فراهم نخواهد کرد، اما چنین نیست. نقشه بزرگراه‌های قدیمی و حتی جدید اطلاعات ارزشمندی در زمینه تهیه نقشه زمین‌شناسی در مناطق شهری فراهم می‌کند (بنیسون، ۱۹۷۴).

برخی از مثال‌ها در این زمینه عبارتند از:

- نام بزرگراه‌ها و خیابان‌ها. این نام‌ها گاهی می‌تواند نوعی دید در مورد زمین‌شناسی منطقه به زمین‌شناس بدهد. به‌عنوان نمونه، بزرگرایی با نام ریج روود^۱ ارتباط احتمالی بین توپوگرافی و زمین‌شناسی را بیان می‌کند (ریج: پشته یا تپه‌های دامنه

۱. Ridge Road: راه کوه‌پایه‌ای

کوه). سایر نام‌هایی از این دست عبارتند از مادی روود^۱، سندی فلتس^۲، راکی روود^۳، سندی هیل روود^۴، واش روود^۵، ویندینگ روود^۶، کوستال های‌وی^۷، بیچ های‌وی^۸، مارش کریک روود^۹، پیت بوگ روود^{۱۰} و غیره.

- **مکان گورستان‌ها:** گورستان‌ها اطلاعاتی را در مورد زمین‌شناسی یک منطقه فراهم می‌کنند به این دلیل که این مناطق معمولاً در نواحی از شهر مانند ماسه و شن انتخاب می‌شوند که قابلیت حفر آسانی داشته باشند.
- مکان پارک‌ها و زمین‌های تفریحی. این مکان‌ها معمولاً در مناطقی یافت می‌شوند که دارای چشم‌اندازهای مناسب زمین‌شناسی هستند.
- علائم و مکان‌های تاریخی. این مکان‌ها اغلب در محل مخاطرات طبیعی، میدان‌های جنگ و مسیرهای اسکی و یا نزدیک آن‌ها واقع شده‌اند.
- مکان سکونتگاه‌ها و ساختمان‌های تاریخی. قبل از تمدن، بسیاری از سکونتگاه‌های تاریخی از مصالح ساختمانی قدیمی بنا شده‌اند که از سنگ‌های محلی مجاور خود تهیه شده‌بودند.

این منابع اطلاعات باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد که آیا در تکمیل نقشه مؤثر هستند یا خیر؟ ممکن است اطلاعات نوعاً برای اهداف زمین‌شناسی و یا توسط حرفه‌ای تهیه نشده باشند. متأسفانه بسیاری از نقشه‌های مناطق شهری به‌صورت دوبعدی تهیه شده و زمین‌شناسی زیرسطح را در اعماقی بیش از چند متر مورد بررسی قرار نداده‌اند. اعتماد به این گونه نقشه‌های دوبعدی مسئله‌ساز است، به این دلیل که نقشه‌های مفید و کاربردی زمین‌شناسی تهیه شده برای اهداف زیست‌محیطی باید همه ابعاد سه‌گانه را پوشش دهند. این ملزومات مکانی بدین معنی است که نقشه‌ها بسیار

-
1. Muddy Road: راه گلی
 2. Sandy Flats: راه تخت ماسه‌ای
 3. Rocky Road: راه سنگی
 4. Sandy Hill Road: راه تپه ماسه‌ای
 5. Wash Road: راه پرآب
 6. Winding Road: راه پرباد
 7. Coastal Highway: بزرگراه ساحلی
 8. Beach Highway: بزرگراه نزدیک دریا
 9. Marsh Creek Road: راه نهر مُردابی
 10. Peat Bog Road: راه لجنزار زغالی

پیچیده‌تر بوده و شدیداً مستلزم اطلاعات بیش‌تری هستند (بارنز، ۱۹۹۳). برخی از روش‌های توصیف شده در این فصل از کتاب می‌تواند جهت بررسی، تعیین دقت و در نهایت کاربردی‌بودن اطلاعات مورد استفاده قرار گیرد.

درست وقتی که کار شروع می‌شود، برخی کاستی‌ها در نوع اطلاعات زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی کسب شده از بررسی‌های محیطی مشاهده می‌شود. این فعالیت‌ها می‌توانند بسیاری از اطلاعات پایه را در مورد مناسب‌بودن یا نبودن اطلاعات زمین‌شناسی فراهم کرده و اطلاعات کاملی جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی سه‌بعدی در اختیار قرار دهد. در بسیاری از مناطق شهری، بررسی‌های زیست‌محیطی در هزاران نقطه صورت گرفته است. درصد بالایی از این بررسی‌های زیست‌محیطی دارای اطلاعات دقیق زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی گردآوری شده توسط افراد حرفه‌ای است. این اطلاعات به‌سادگی از طریق گزارش‌ها و مقالات قابل دسترسی است.

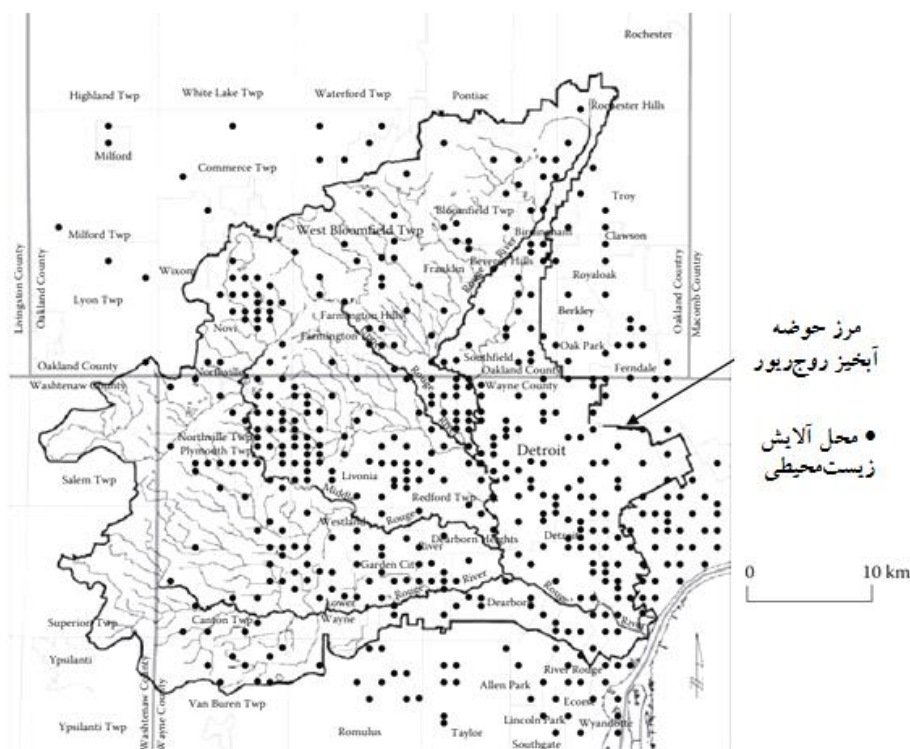
به‌عنوان نمونه، بیش از ۳۰۰۰ گزارش در مورد بررسی‌های زمین‌شناسی زیرسطحی در آبریز روج‌ریور^۱ میشیگان آمریکا در دسترس است (MDEQ، ۲۰۰۸). بنابراین به‌سادگی امکان دسترسی به بهترین منابع زمین‌شناسی وجود دارد.

شکل ۱-۶ مکان حدود ۵۰۰ نقطه که در آن‌ها بررسی‌های دقیق و بزرگ‌مقیاس زیست‌محیطی در حوضه آبریز روج‌ریور انجام شده را نشان می‌دهد (راجرز، ۱۹۹۶). بر حسب اطلاعات گردآوری شده زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی، هر نقطه حداقل دارای ۲۰ و گاهی تا ۳۰۰ نمونه حفر شده مجزا است و بیش از ۸۰ چاه مونیتورینگ نیز نصب شده‌است.

اعماق بررسی شده تا عمق ۳۰ الی ۴۵ متری زیر سطح زمین می‌رسد. بررسی‌های زیست‌محیطی در مناطق شهری معمولاً عمق بیش از ۱۵ متر از سطح زمین را دربر نمی‌گیرد. بنابراین، رسوبات سست در بسیاری از شهرها از قبیل سالت لیک سیتی^۲، لس‌آنجلس، فونیکس^۳ و لاس‌وگاس^۴ عمدتاً تا عمقی بیش‌تر از این عمق و گاهی تا عمق ۳۰۵ متری گسترش دارند (هالکا، ۱۹۸۳؛ استوکس، ۱۹۸۹؛ آلن، ۲۰۰۳؛ پیچ و همکاران، ۲۰۰۵؛ بیلود و همکاران، ۲۰۰۷). داده‌های این مطالعات می‌تواند از طریق اطلاعات فراهم شده توسط حفاری و چاه‌نگاری‌های چاه مورد پشتیبانی و شاید تأیید قرار گیرند.

1. Rouge River
2. Salt Lake City
3. Phoenix
4. Las Vegas

چاه‌های تهیه و اکتشاف آب به صورت متداول تا اعماقی بیش از ۳۰ متر زیر سطح زمین حفر می‌شوند و حتی عمق برخی از آن‌ها تا ۴۵ متر نیز می‌رسد. حفاران نصب‌کننده چاه‌های تغذیه آب معمولاً نیاز به ثبت چاه از طریق استانداردهای محلی، استانی و یا ملی داشته و از این رو باید چاه‌نگاری خوبی را تهیه کنند. این چاه‌نگاری‌ها عمدتاً حاوی منابع ارزشمند فراوانی از اطلاعات زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی است. در این صورت، در مورد استفاده از این گونه داده‌ها یا داده‌های مشابه باید از صحت آن‌ها مطمئن شد به این دلیل که این داده‌ها ممکن است از طریق افراد غیرمتخصص تهیه شده باشد. از این رو، برخی قواعد باید رعایت شود. تقابل اطلاعات زمین‌شناسی به دست آمده از مطالعات زیست‌محیطی و چاه‌های آبی که در منطقه‌ای بسیار نزدیک به مطالعات یاد شده حفر شده‌اند، می‌تواند صحت اطلاعات را بررسی قرار داد.



شکل ۶-۱. مناطق مطالعات گسترده زیست‌محیطی زیرسطحی در یک منطقه آبریز شهری (دیترویت آمریکا، کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

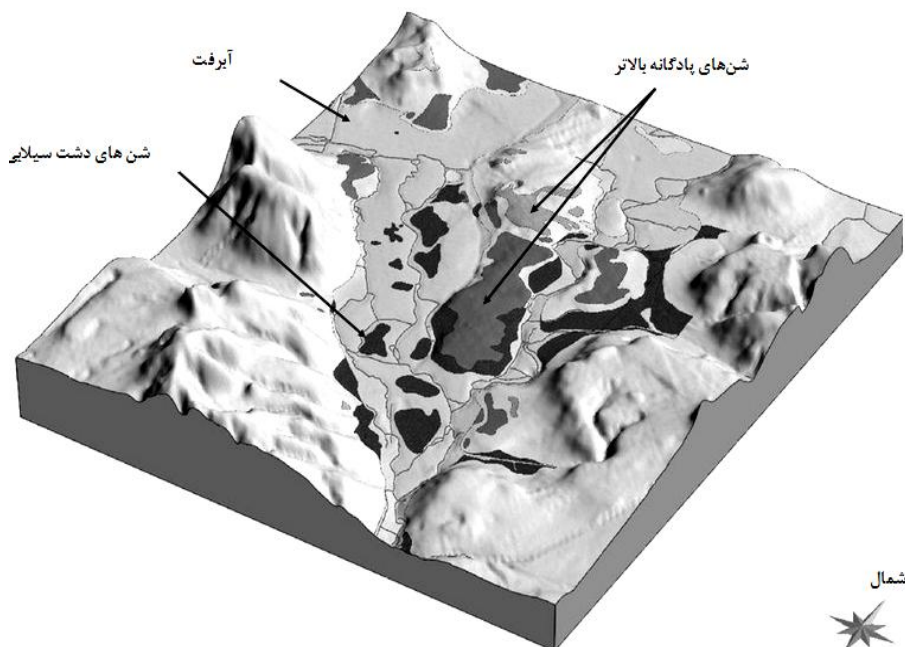
به‌عنوان نمونه، فرض شود که چاه تغذیه آب نصب‌شده در عمق ۱۰۰ متری دارای ویژگی مشابهی با یک مطالعه مستقل دیگر زیرسطحی در عمق ۱۵ متری است. اگر چاه‌نگاری چاه آب به‌درستی زمین‌شناسی عمق کم‌تر از ۱۵ متر را تفسیر کرده باشد در آن صورت می‌توان به نتایج چاه‌نگاری در عمق بیش از ۱۵ متر نیز اعتماد کرد. نکته دیگری در مورد نصب چاه‌های تغذیه آب نیز وجود دارد که ارزش بحث در این بخش را دارد. از نظر تاریخی، برای یک زمین‌شناس حرفه‌ای جمع‌آوری حفرکننده‌ها در خلال حفاری چاه‌های تغذیه آب امری متداول است به این دلیل که تنها منبعی است که بدون پرداخت هزینه می‌توان اطلاعات زمین‌شناسی را به‌دست آورد. به‌این‌علت در بسیاری اوقات، نام زمین‌شناس بر روی چاه‌نگاری چاه‌های تغذیه آب دیده می‌شود (شرزر، ۱۹۱۳؛ موزولا، ۱۹۵۴، ۱۹۶۹).

مشاوره با زمین‌شناسانی که آشنایی با نقطه مورد مطالعه دارند، می‌تواند بسیار مفید باشد. این امر برای برآورد و تقابل اطلاعات در بازنگری داده‌های چاه‌نگاری چاه‌های آب مفید است. انواع اطلاعات ژئوفیزیکی قابلیت فراهم کردن اطلاعات زمین‌شناسی ارزشمند جهت کمک به فرایند تهیه نقشه زمین‌شناسی در بعد افقی و بعد عمودی (عمق) را دارد. اطلاعات ژئوفیزیکی در بسیاری از مناطق شهری بدون ایجاد هرگونه تغییر و آشفتگی در بناهای شهری قابل دسترس بوده و در تفسیر اطلاعات بین گمانه‌ها در صورت مشخص بودن زمین‌شناسی آن‌ها بسیار مفید خواهد بود. این اطلاعات زمانی بسیار مفید و مؤثر خواهند بود که مناطق موردنظر از طریق سایر روش‌های زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی غیرقابل دسترس بوده و یا دارای زمین‌شناسی پیچیده‌ای باشند.

۶-۱-۳ ایجاد مدل زمین‌شناسی مفهومی^۱

در پی بررسی اطلاعات موجود، مدل زمین‌شناسی مفهومی می‌تواند ایجاد شود. مدل مفهومی نوعی پیش‌نویس نقشه زمین‌شناسی منطقه موردنظر است که مناطق آن از طریق فرایندهای زمین‌شناسی اساسی تعیین می‌شوند. به‌عنوان مثال، اغلب مناطق زمین‌شناسی متشکل از رسوبات سستی بوده که حاصل بیش از یک نوع فرایند زمین‌شناسی (مثلاً

رودخانه‌ای، یخرفت، آبرفتی و دریایی) است. مدل مفهومی به‌سادگی فرایندهای زمین‌شناسی عامل تشکیل رسوبات، مکان عمومی و مرزهای افقی و عمودی (عمق) آن‌ها را تعیین می‌کند (شکل ۶-۲).



شکل ۶-۲. تصویر سه‌بعدی نشانگر چگونگی گسترش رسوبات سطحی در منطقه آکسفورد انگلیس است (تصویر از سازمان زمین‌شناسی بریتانیا). آکسفورد درون دره‌ای باریک قرار گرفته است که در زیر آن رسوبات آبرفتی رودخانه تایمز^۱ قرار دارد. در این شهر سیل به‌وفور رخ می‌دهد. براساس مدل مفهومی زمین‌شناسی نتیجه گرفته شده است که به‌دلیل نوع رسوبات، سیلاب شهری در این منطقه می‌تواند به تنهایی در اثر نفوذ مستقیم آب باران به وقوع بپیوندد.

در بسیاری از شرایط، اطلاعات کافی جهت تعیین فرایندهای زمین‌شناسی و انواع واحدها یا تشکیلات وجود دارد. در خلال این مرحله است که کاستی‌های احتمالی اطلاعات و دشواری‌های تفسیر زمین‌شناسی خود را نشان می‌دهند. این کاستی‌ها پایه مطالعات صحرایی خواهد بود که در بخش بعدی به آن پرداخته خواهد شد. در برخورد

با هرگونه کاستی اطلاعات، بی‌نظمی یا عدم دسترسی به منطقه مورد نظر، توصیه می‌شود که با دقت کافی نسبت به رفع این مشکلات اقدام شود. هنگامی که موارد برطرف شد، در آن صورت باید به تفسیر و اصلاح مجدد مدل زمین‌شناسی مفهومی پرداخت تا هرگونه تغییر لازم در آن اعمال شود.

تصمیم مهم دیگر در حین ایجاد مدل زمین‌شناسی مفهومی آن است که بررسی شود آیا فعالیت‌های بشری مانند بهره‌برداری از منابع طبیعی یا مواد پرکننده مانند روخاک یا زغال نیز باید در فرایند تهیه نقشه وارد شوند یا خیر؟ معمولاً در تهیه نقشه فقط به مواد پرکننده اشاره می‌شود اما در آن وارد نشده مگر این‌که گسترش زیادی داشته باشند. روخاک ممکن است در مکان‌های خاصی ذکر شوند اما معمولاً آن نیز در نقشه زمین‌شناسی وارد نمی‌شود مگر آن‌که:

- دارای گسترش فضایی و عمق زیادی باشند.
- خاک زغالی و گیاخاک یا مواد مشابه دیگری باشند که در اثر رسوب‌گذاری در محیط‌هایی نظیر باتلاق، مرداب یا تالاب تشکیل شده‌اند.

کارشناس تهیه نقشه زمین‌شناسی باید در خلال مرحله جمع‌آوری اطلاعات به این نهشته‌ها توجه داشته باشد چون در آن صورت خواهد توانست مشخص کند که آیا این رسوبات به اندازه کافی بزرگ مقیاس هستند که در نقشه وارد شوند یا خیر؟ و آیا رسوبات یاد شده در تاریخچه و فهم منطقه مورد مطالعه می‌توانند مؤثر باشند یا خیر؟

۶-۱-۴ مطالعات صحرایی

اطلاعات جمع‌آوری و بررسی شده بخش ۶-۲-۲ خواهد توانست قبل از شروع مطالعات صحرایی به زمین‌شناس دید مناسب از منطقه بدهد تا بتواند از آن‌ها برای برنامه‌ریزی مطالعات صحرایی بهره گیرد. زمین‌شناس باید در مورد فرایندهای رسوبی و تعیین تفاوت یک رسوب طبیعی و بشرزاد کارآزموده باشد. البته اگر زمین‌شناس به زمین‌شناسی منطقه نیز آشنا باشد، گاهی این امر دشوار خواهد بود. یک نمونه از این مورد رسوبات بشرزاد حاصل از لایروبی است که می‌تواند به دلیل لایه‌بندی ظاهری کاملاً طبیعی داشته باشد. پیچیدگی‌هایی مانند این در محیط‌های شهری سبب شده که مطالعات صحرایی و بررسی مطالعات قبلی در چند مرحله انجام شود.

براین اساس، برای تهیه مدل زمین‌شناسی مفهومی، مطالعات صحرایی معمولاً باید متمرکز به مناطق شهری زیر باشند:

- مناطق دارای اطلاعات محدود یا فاقد اطلاعات.
- مناطقی با زمین‌شناسی نامنظم یا پیچیده.
- مناطقی که تحت تأثیرات بشرزاد گسترده قرار گرفته‌اند.
- مناطقی که دارای اهمیت زمین‌شناسی بسیاری است مانند کتاکت‌ها یا ناپیوستگی‌ها.
- مناطقی که فرایندهای زمین‌شناسی آن‌ها مشترک بوده و یا در مجاورت هم قرار دارند.
- مناطقی که لازم است تفاسیر و نظرات قبلی در مورد آن‌ها مورد بازنگری مجدد قرار گیرند.
- مناطقی که به‌سادگی قابل دسترس نیستند.
- مناطقی با احتمال بالای تمرکز آلودگی‌ها.

تهیه نقشه زمین‌شناسی در یک منطقه شهری غالباً مستلزم آن است که زمین‌شناس پروفایل‌های مناسبی از خاک‌های دست‌خورده را حفر کند تا به رسوبات طبیعی دست یابد. این مسئله باید با دقت انجام شود به این دلیل که ممکن است در زیر خاک قطعات شیشه‌خرده، فلز یا سایر زباله‌ها، لوله‌های زیرزمینی و یا آلودگی‌های خطرناک وجود داشته باشند. علاوه براین ممکن است خطرات دیگری از قبیل ترافیک سنگین خودروها در محل حفاری نیز مشاهده شود. بنابراین، زمین‌شناس باید با احتیاط کامل و با برنامه عمل‌کرده و قبل از انجام مطالعات صحرایی اعمال زیر را انجام دهد:

- بازدید مقدماتی از مناطق موردنظر داشته باشد
- فهرستی از مواردی را که در هر نقطه قرار است انجام دهد تهیه کند:
- هدف و منظور از کار در یک نقطه
- فعالیت‌هایی که قرار است در آن انجام شود
- لیست وسایل.
- روش‌های بررسی.
- شیوه نمونه‌برداری.
- مراحل نگهداری نمونه (در صورت لزوم).
- مستندسازی از طریق تهیه عکس.
- کسب مجوز برای مناطقی که حریم خصوصی هستند.
- کسب مجوز از شهرداری محل یا ادارات دولتی مربوطه برای مکان‌های عمومی.

- تماس با ادارات آب، برق، گاز و غیره به منظور اطمینان از درست بودن مکان شبکه‌های این تسهیلات عمومی در نقشه

- تهیه یک طرح کتبی در زمینه ایمنی و سلامت قبل از شروع عملیات صحرایی. مطالعات صحرایی می‌تواند شامل حفر یک چاه آزمایشی با بیلچه و یا حفر یک گمانه دستی در خاک با استفاده از مته باشد. در برخی حالات، چاه‌ها ممکن است با استفاده از بیل مکانیکی یا سایر وسایل مکانیکی حفر شوند. اگر زمین‌شناس خوش‌شانس باشد می‌تواند بدون زحمت زیاد موقعیت‌های زیادی در فعالیت‌های صحرایی به دست آورد. مناطق در حال ساخت فرصت بسیار مناسبی برای وی است تا مطالعات خود را در آن‌جا انجام دهد به این دلیل که موقعیت زمین‌شناسی زیرسطحی منطقه از طریق کنده‌کاری‌هایی که برای اهداف دیگر صورت گرفته، رخنمون یافته است (شکل ۶-۳). برخی از این مکان‌ها عبارتند از:

- مناطق راه‌سازی

- مناطقی که به منظور تعبیه تجهیزات خدمات برق، گاز، آب، تلفن و غیره حفر شده‌اند

- مناطقی که برای ایجاد فونداسیون ساختمان‌های جدید و یا بازسازی ساختمان‌های موجود کنده شده‌اند

- مناطق تحت تعبیه فاضلاب

- فعالیت‌های ساخت‌وسازی که جهت کنترل سیلاب‌ها صورت می‌گیرد

انجام بررسی‌های صحرایی در مناطق تحت ساخت‌وساز به زمین‌شناس فرصت‌های زیادی می‌دهد تا داده‌های زیادی را با هزینه کم‌تر، تلاش کم‌تر و زمان کوتاه‌تر به دست آورد. تماس با شهرداری محل جهت کمک به برنامه‌ریزی مطالعات صحرایی و کسب مجوزهای لازم قبل از شروع فعالیت ضروری است. بررسی مجوزهای ساخت‌وساز پیش از آغاز عملیات ساختمان‌سازی نیز می‌تواند اطلاعات مناسبی از وضعیت ژئوتکنیکی سایت محل ساخت در اختیار زمین‌شناس قرار دهد. همچنین کسب مجوزهای ایمنی و پیش‌بینی اقدامات ایمنی و سلامت لازم قبل از هرگونه اقدام بسیار مهم خواهد بود.

شکل‌های ۶-۳، ۶-۴ و ۶-۵ برونزد شرایط زمین‌شناسی نزدیک سطح زمین در یک منطقه شهری را نشان می‌دهند که می‌تواند اطلاعات مناسبی در اختیار زمین‌شناس قرار دهد. هر کدام از این مثال‌ها فرصت خوبی جهت جمع‌آوری اطلاعات فراوان

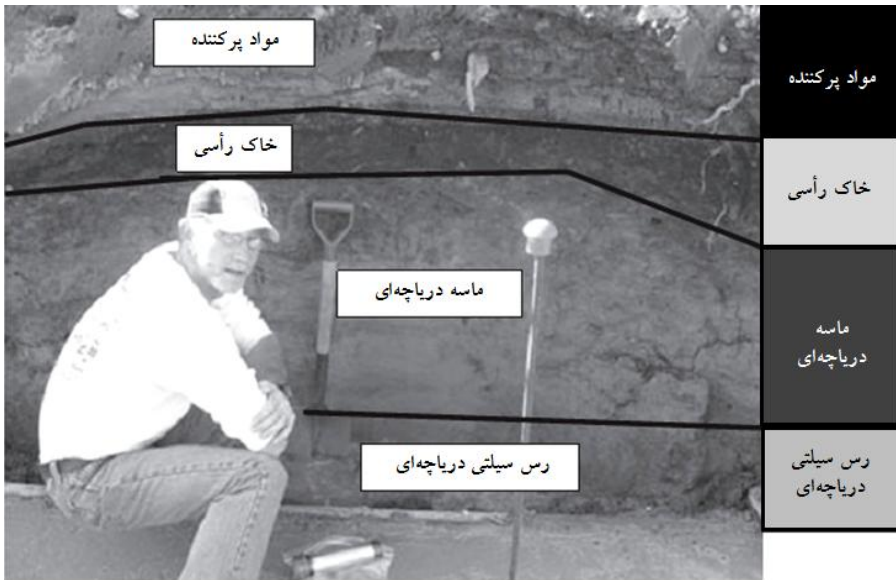
زمین‌شناسی در زمان کوتاه و بدون هزینه فراهم می‌کند. در کنار هر شکل یک ستون چینه‌شناسی قرار دارد تا به‌منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی و بررسی تاریخچه اخیر زمین‌شناسی منطقه مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۶-۳. برونزد لایه‌های زمین‌شناسی در یک سایت ساختمان‌سازی (عکس از راجرز. دیترویت آمریکا، کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

پس از بررسی لایه‌های رسوبی حفراتی مانند حفره‌ای که در شکل ۶-۵ نشان داده شده است، برآورد و ثبت امتداد و شیب واحدهای رسوبی به‌منظور تهیه نقشه سه‌بعدی لازم به‌نظر می‌رسد (لاهی، ۱۹۶۱). امتداد مربوط به وضعیت یا روند یک رسوب مشخص است. به‌عنوان نمونه، اگر یک زمین‌شناس رسوب ساحل شنی یک دریاچه قدیمی را نقشه‌برداری کرده و روند رسوب در مکان‌های مختلف را ثبت کند می‌تواند اندازه و ابعاد دریاچه را محاسبه کند.

امتداد یک رسوب، برونزد، یا سایر عوارض صفحه‌ای در نقشه زمین‌شناسی به‌صورت یک خط راست کوتاه که به موازات امتداد کمپاس قرار می‌گیرند، ارائه شده‌اند. شیب به‌عنوان زاویه‌ای که در آن زاویه نهشته زمین‌شناسی، عارضه یا ساختار نسبت به صفحه افق کج شده است، در نظر گرفته می‌شود. شیب ارائه شده در نقشه نیز بخشی از خط عمود بر امتداد است.

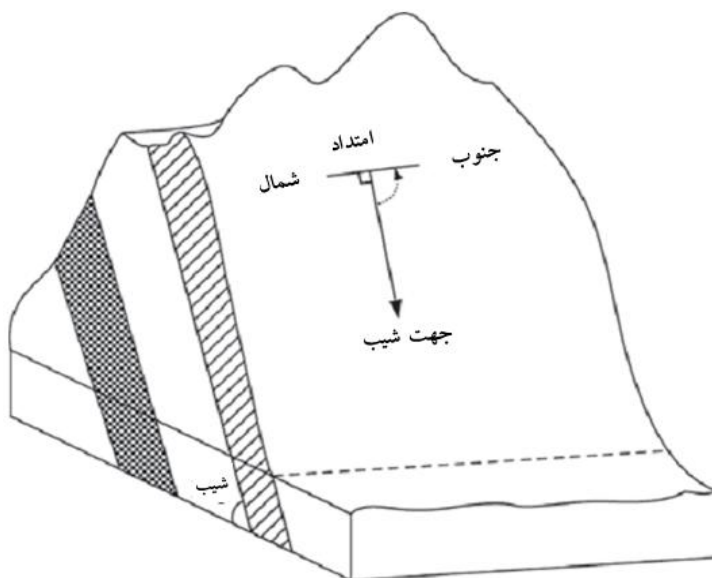


شکل ۴-۶. سایت ساختمان‌سازی با برونزد لایه‌های زمین‌شناسی (عکس از راجرز. دیترویت آمریکا، کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

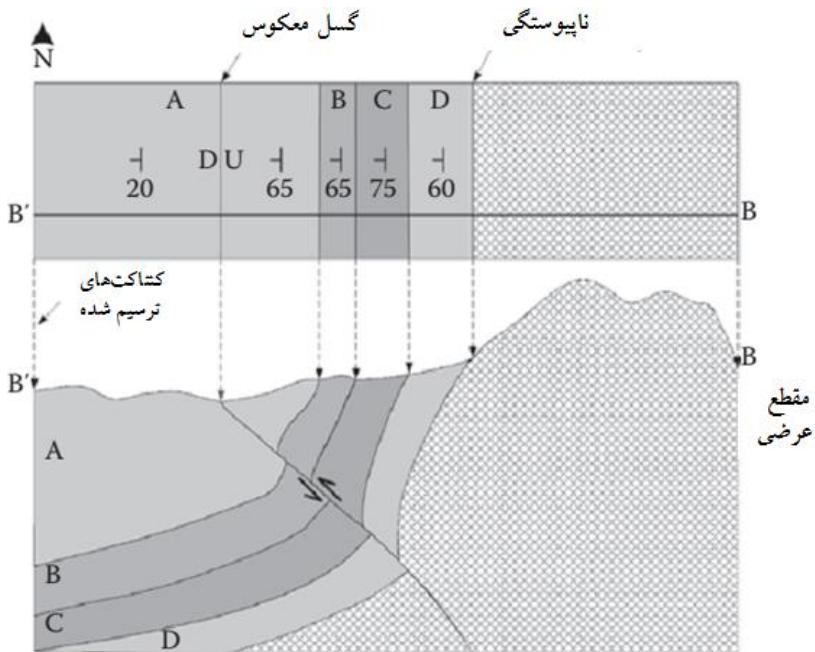


شکل ۵-۶. حفاری در یک سایت ساختمان‌سازی موجب برونزد لایه‌های زمین‌شناسی شده‌است (عکس از راجرز. دیترویت آمریکا، کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

برای رسوبات سست، محاسبه امتداد و شیب بسیار دشوار است، به این دلیل که رسوبات ممکن است آن‌قدر سست باشند که امکان محاسبات را فراهم نکنند. در نتیجه این محاسبه بسیار مهم بوده و باید انجام شود. نتایج این اندازه‌گیری‌ها اطلاعات بسیار ارزشمندی از منشأ تشکیل و دگرشکلی‌های احتمالی بعدی پس از تشکیل را در اختیار زمین‌شناس قرار می‌دهد. برآورد رسوب ساحلی دریاچه قدیمی یخچالی نمونه‌ای از دگرشکلی طبیعی است. بسیاری از رسوبات ساحلی دریاچه‌های قدیمی یخچالی افقی نیستند به این دلیل که امتداد بسیاری از رسوبات دارای شیب ملایمی نسبت به پیشانی دریاچه یخچالی قبلی است. این شیب نشانه‌ای از مقدار واکنش ایزوستازیک^۱ است که از زمان عقب‌نشینی یخچال رخ داده است و این مسئله پایه‌ای برای محاسبه ضخامت یخچال فراهم می‌کند. محاسبه زاویه ملایم حاصل از این فرایند مستلزم دقت و صحت بالا در اندازه‌گیری‌ها است به این دلیل که بسیاری از این رسوبات دارای شیبی فقط در حدود $0/3-0/6$ متر به ازای هر $1/6$ کیلومتر هستند. علاوه براین، محاسبه امتداد و شیب رسوبات سست را می‌توان برای برآورد این‌که چگونه یک واحد متحمل



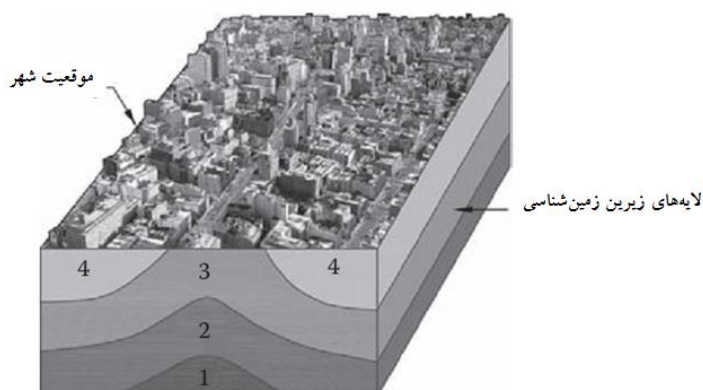
شکل ۶-۶. مفهوم امتداد و شیب.



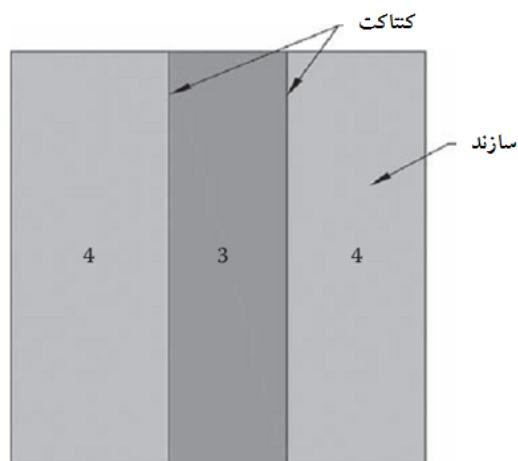
شکل ۶-۷. مفهوم امتداد و شیب به صورت ترسیم شده در یک نقشه زمین‌شناسی.

فعالیت‌های بشری شده است، نیز به کار برد. شکل ۶-۶ امتداد و شیب برخی از رسوبات لایه‌ای را نشان می‌دهد. دقت شود که جهت شیب عمود بر جهت امتداد لایه است. شکل ۶-۷ امتداد و شیب واحدهای مختلف زمین‌شناسی و اطلاعات مربوطه را در یک سایت نشان می‌دهد. مقادیر عددی زاویه واحدها با سطح افق را نشان می‌دهند.

ایجاد نقشه‌های زمین‌شناسی یک سایت معین مرحله‌ای بسیار مهم در فرایند تهیه نقشه سه بعدی کل منطقه و حوضه آبریز است. شکل ۶-۸ نقشه پایه زمین‌شناسی زیرمنطقه‌ای است که در آن هر عدد نشانگر یک رسوب معین است. شکل ۶-۹ نمای صفحه‌ای لایه‌های مختلف در همان منطقه است و شکل ۶-۱۰ نیز یک نقشه مرکب از زمین‌شناسی زیرسطحی نشان داده شده در شکل ۶-۸ و لایه‌های مختلف تصویر شده در شکل ۶-۹ است. با ترکیب اطلاعات زمین‌شناسی گردآوری شده از نقاط مختلف با استفاده از آنالیز رخساره‌ها گام بعدی در ایجاد نقشه سه بعدی منطقه است.



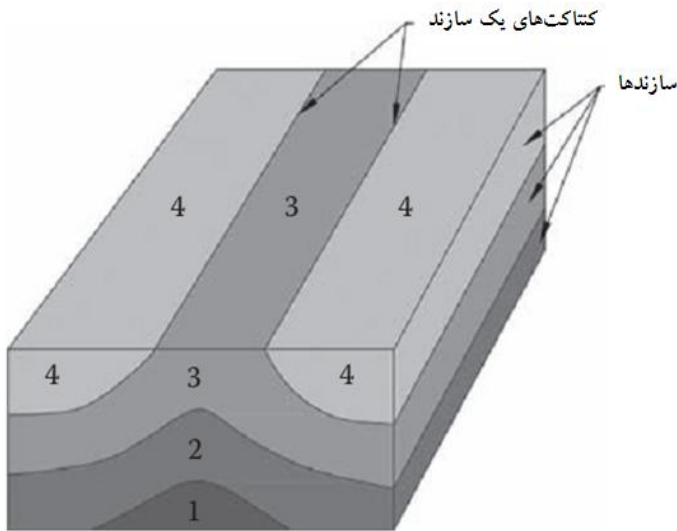
شکل ۶-۸. بلوک نشان‌دهنده جایگاه شهر و واحدهای زمین‌شناسی زیرسطحی در یک منطقه معین (میشیگان آمریکا، کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ۶-۹. نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان داده شده در شکل ۶-۸.

۶-۱-۵ آنالیز رخساره‌ها

رخساره‌ها ویژگی یک توده سنگ رسوبی است که منعکس‌کننده محیط رسوب‌گذاری آن است. آنالیز رخساره روشی است که از طریق آن ویژگی‌های محیط‌های رسوبی تعیین و فرایندهای عامل ایجاد رسوبات آن‌ها مشخص می‌شوند (اندرسون، ۱۹۸۵). وقتی دو یا چند ستون چینه‌شناسی از نقاط مختلف یک منطقه در دسترس باشد، آنالیز رخساره می‌تواند به‌خوبی انجام شود. آنالیز رخساره برای اهداف زیر صورت می‌گیرد:



شکل ۶-۱۰. نقشه بلوکی مرکب برای شکل‌های ۶-۸ و ۶-۹.

- بررسی کامل نهشته‌های رسوبی در هر نقطه
- تعیین نبوده‌های^۱ احتمالی رسوب‌گذاری
- بازسازی تاریخچه زمین‌شناسی یک ناحیه (ناحیه مساحت بزرگ‌تری را نسبت به منطقه دربر می‌گیرد)
- تعیین یا تأیید وجود فرایندهای زمین‌شناسی در یک ناحیه معین
- بازسازی توالی رخداد‌های زمین‌شناسی
- ایجاد توالی عمودی (عمقی) رسوبات
- نوع آنالیز رخساره که معمولاً برای بازسازی تاریخچه زمین‌شناسی یک منطقه مشخص به کار برده می‌شود اصطلاحاً سن‌سنجی نسبی^۲ نام دارد. این روش از چهار اصل چینه‌شناسی بهره می‌گیرد:
- اصل چینه‌بندی افقی اولیه
- اصل بر روی هم قرارگیری رسوبات
- اصل ارتباط زمانی رخداد‌های زمین‌شناسی^۳

1. Gap

2. Relative dating

3. Cross-cutting relations

- اصل توالی مجموعه گیاهی^۱ و حیوانی^۲.

اعتقاد بر این است که با استفاده از این چهار اصل، آنالیز رخساره می‌تواند سن رخدادهای رسوب‌گذاری درون منطقه مورد مطالعه را برآورد و تأیید کند. به عنوان مثال، در خلال مرحله بازبینی نوشته‌های مطالعات قبلی و انجام مطالعات صحرایی، معمولاً مشخص می‌شود که تعداد محدودی از نقاط دارای مقطع عمودی تقریباً دست نخورده زمین‌شناسی هستند. ستون‌های حاصل از این نقاط اساساً می‌تواند تاریخچه رسوب‌گذاری منطقه را تعیین کرده و شرایط مطالعات دقیق‌تر را در آن نقاط فراهم کند. به این مقاطع اصطلاحاً مقاطع تیپ^۳ گفته می‌شود. وقتی که زمان رسوب‌گذاری تعیین شد در آن صورت مقطع چینه‌شناسی کل منطقه مورد مطالعه را می‌توان بازسازی کرد (USGS, ۲۰۰۷).

همان‌طور که در جدول ۶-۱ نشان داده شده است، بسیاری از فرایندهای زمین‌شناسی در ایجاد تاریخچه زمین‌شناسی مناطق شهری ایالات متحده آمریکا سهیم بوده‌اند. فرایند آنالیز رخساره با استفاده از ستون چینه‌شناسی شکل‌های ۳-۶، ۴-۶ و ۵-۶ نشان داده می‌شود چون که آن‌ها به خوبی تاریخچه رسوب‌گذاری را در حوضه آبریز روج‌ریور در خود ثبت کرده‌اند. ستون‌های چینه‌شناسی هر نقطه در شکل ۶-۱۱ نشان داده شده‌اند.

فواصل سه سائیتی که ستون چینه‌شناسی آن‌ها در شکل ۶-۱۱ نشان داده شده حدود ۱/۵ کیلومتر است. هر سایت به صورت عمود (شمال به جنوب) نسبت به امتداد واحدهای زمین‌شناسی هر نقطه (شرق به غرب) قرار گرفته است. خطوط ترسیم شده بین هر ستون چینه‌شناسی واحدهای زمین‌شناسی را که در ستون دیگر نیز وجود دارد، به یکدیگر متصل می‌کنند (مانند رسوب دریاچه‌ای ساحلی ماسه‌ای^۴ و رسوب دریاچه‌ای رس سلیتی^۵). واحدهای مواد پرکننده^۶ و رسوب تپه شنی ساحلی^۷ به صورت خطوط به هم نزدیک‌شونده نشان داده شده‌اند، به این دلیل که در ستون‌های چینه‌شناسی دیگر در منطقه مورد مطالعه وجود ندارند.

1. Floral

2. Faunal

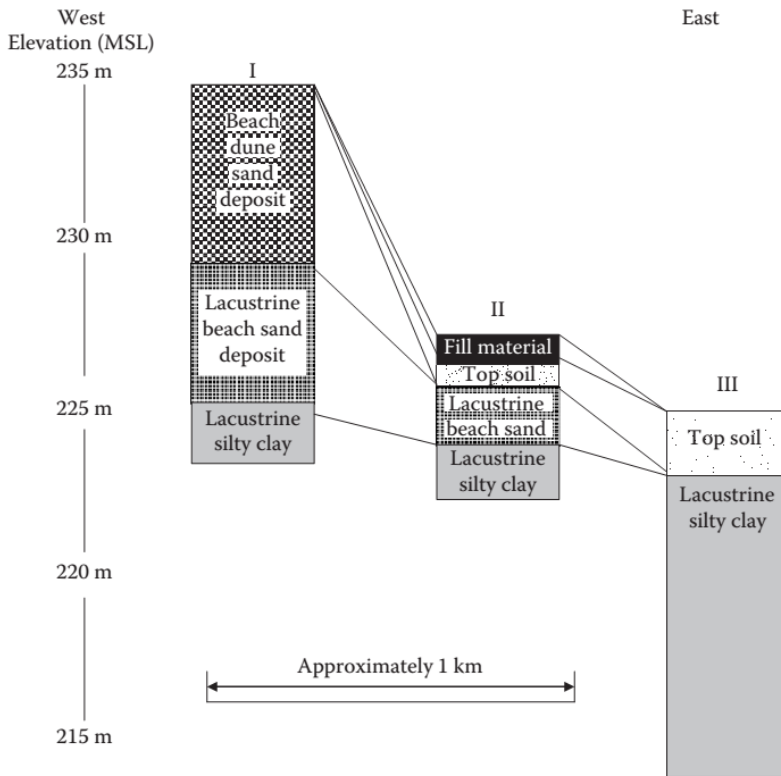
3. Type sections

4. Lacustrine Beach Sand Deposit

5. Lacustrine Silty Clay Deposit

6. Fill Material

7. Beach Dune Sand Deposit



شکل ۶-۱۱. نمونه‌ای از آنالیز رخساره با استفاده از ستون‌های چینه‌شناسی نشان داده شده در شکل ۶-۲، ۶-۳ و ۶-۴.

آنالیز ساده رخساره ارائه شده توسط هر واحد زمین‌شناسی شکل ۶-۱۱ بیانگر آن است که هر سایت زمانی بخشی از یک دریاچه قدیمی بوده که دارای ساحلی با تپه‌های شنی قرار گرفته به سمت غرب و آب‌های عمیق‌تر بوده است. مقدار کم شیب بین ستون‌های I و II (حدود ۱۰ متر در هر کیلومتر) نیز مشخصه این یخچال‌های دریاچه‌ای است. حضور یک دریاچه بین ستون‌های I و II همچنین از طریق فقدان ماسه و رسوبات تپه‌های شنی در ستون III در سمت شرق و ادامه حضور رسوبات دریاچه‌ای رس سیلتی مورد تأیید قرار می‌گیرد.

باید یادآوری کرد که حضور نهشته‌های رسوبی شیب‌دار در این مثال بیانگر شیب یا برجستگی سطح زمین اولیه بوده و نشان‌دهنده عوامل ساختاری مانند گسل‌خوردگی نیست. بنابراین، برخی بازیابی‌های ایزوستازیک نیز از زمان نهشته‌شدن رسوبات رخ داده و افزایش

ارتفاع ساحل به اندازه تقریبی یک متر به ازای دو کیلومتر در شمال‌شرق نیز مؤید این مسئله است. این افزایش ارتفاع احتمالاً حاصل عقب‌نشینی قدیمی یخچال از منطقه بوده است. آنالیز دقیق‌تر رخساره نیز نشانگر آن است که دریاچه زمانی بزرگ‌تر بوده است، به این دلیل که رسوب دریاچه‌ای رس سiltی در زیر رسوب ماسه ساحلی در ستون چینه‌شناسی I حضور دارد. این امر بیانگر آن است که دریاچه کوچک‌تر شده و قبل از ناپدیدشدن یک مرحله پس‌رونده را تجربه کرده‌است. نبود روخاک (خاک رأسی) در ستون چینه‌شناسی I و حضور مواد پُرکننده در ستون چینه‌شناسی II نیز مؤید دستکاری شدن منطقه توسط انسان است.

باید در نظر داشت که آنالیز رخساره همیشه به این سادگی نیست. مرزهای تدریجی یا ترکیبی بین واحدهای زمین‌شناسی مستلزم جدایش و تفسیر دقیق است. مرزهای تدریجی در سطح و در عمق می‌تواند رخ دهد و تقریباً در نهشته‌های رسوبی متداول است. مرزهای تدریجی باید در راهنمای نقشه معین‌شده و توضیح داده شوند و به همراه آن متن حاوی راهنماهای زیر باید وارد شود:

- طبیعت مرزهای تدریجی
- عامل ایجاد مرزهای تدریجی
- گسترش مرزهای تدریجی

آنالیز کافی و مناسب رخساره حاوی ستون‌های متعدد چینه‌شناسی با پوشش کافی فضایی است که بتوان براساس آن تاریخچه رسوب‌گذاری ناحیه‌ای را درک کرد. این اطلاعات امکان بازسازی مقاطع عرضی^۱ را فراهم می‌کند. مقاطع عرضی نهشته‌های زمین‌شناسی را بدون هرگونه نبود رسوب‌گذاری بین مقاطع چینه‌شناسی نمایش داده و ایجاد نقشه زمین‌شناسی سه‌بعدی را تسهیل می‌کند (USGS, ۲۰۰۲). برای تهیه مقاطع عرضی نیز باید بررسی‌های لازم صورت گیرد که در بخش‌های بعدی این فصل به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

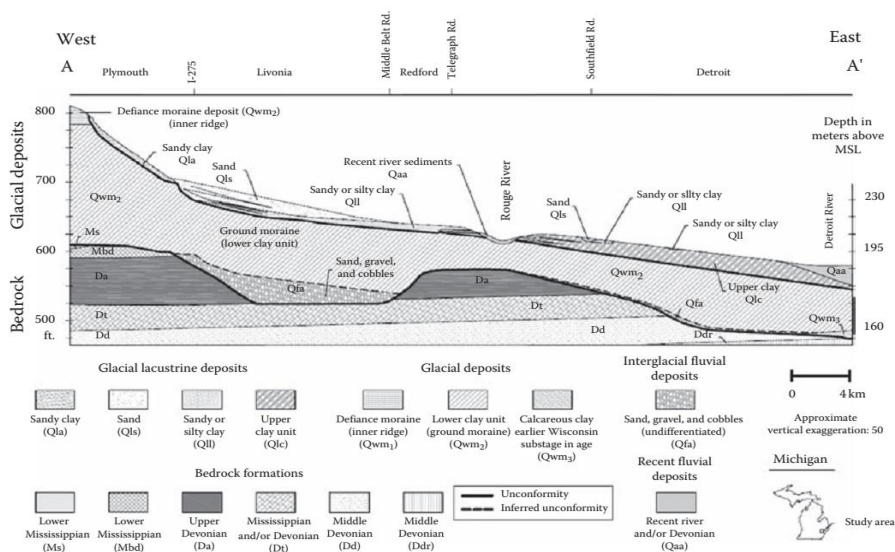
۶-۱-۶ ایجاد و توسعه مقاطع عرضی

یک مقطع عرضی مشابه آنالیز رخساره است با این تفاوت که مقاطع عرضی دارای

پیچیدگی‌ها و اطلاعات بیش‌تری است. مقطع عرضی نمایی از زمین‌شناسی زیرسطحی است که جدا شده و از نیم‌رخ مشاهده می‌شود. مقاطع عرضی زمین‌شناسی نظم، ارتباط، ترکیب ساختاری و تاریخچه رسوب‌گذاری واحدهای زمین‌شناسی موجود در مقاطع را نشان می‌دهد. راهنمای کلی برای ایجاد مقاطع عرضی زمین‌شناسی به صورت زیر است:

- انتخاب مقیاس‌های مناسب افقی و عمودی.
 - انتخاب نقاط کنترلی مناسب یا نقاطی در امتداد مقطع که در آن توالی چینه‌شناسی شناخته شده باشد.
 - اطمینان از این‌که راهنمای مقطع شامل ترکیب و ویژگی‌های هر واحد زمین‌شناسی است.
 - استفاده از نشانه‌های مناسب جهت تشخیص هر واحد زمین‌شناسی.
 - انتخاب جهات مناسب و عوارض شاخص.
 - قراردادن مقیاس‌های افقی (سطحی) و عمودی (عمقی).
 - ذکر بزرگنمایی در مقیاس عمودی.
- در حین ایجاد یک مقطع عرضی، مقدار شرح زمین‌شناسی بین مقاطع چینه‌شناسی بستگی به موارد زیر دارد:
- تعداد مقاطع عرضی.
 - گسترش مقاطع عرضی.
 - تعداد نبودهایی که نیاز به تفسیر و توضیح دارند.
 - پیچیدگی هر مقطع چینه‌شناسی.

انتخاب جهت خط یا بُرش شاید مهم‌ترین کار در حین تولید یک مقطع عرضی باشد. معمولاً مقاطع عرضی متعددی ایجاد می‌شود تا تصویری کامل‌تر از بعد عمودی و توالی چینه‌شناسی ارائه شود. به‌طورکلی، مقطع عرضی حاوی مهم‌ترین اطلاعات مقطعی است که عمود بر برش امتداد و یا روند واحدهای زمین‌شناسی تحت بررسی تهیه می‌شود. این نوع مقاطع عرضی بسیار کاربردی هستند زیرا اغلب واحدهای زمین‌شناسی را شامل شده و ارتباط، ساختار و تاریخچه رسوب‌گذاری ساده‌تر مشخص می‌شود و قابل‌درک خواهد بود. این امر به‌ویژه برای بازسازی حوضه آبریز مناطق شهری مناسب است، به این دلیل که اغلب رسوبات زیر مناطق شهری دارای طبیعت رسوبی هستند.



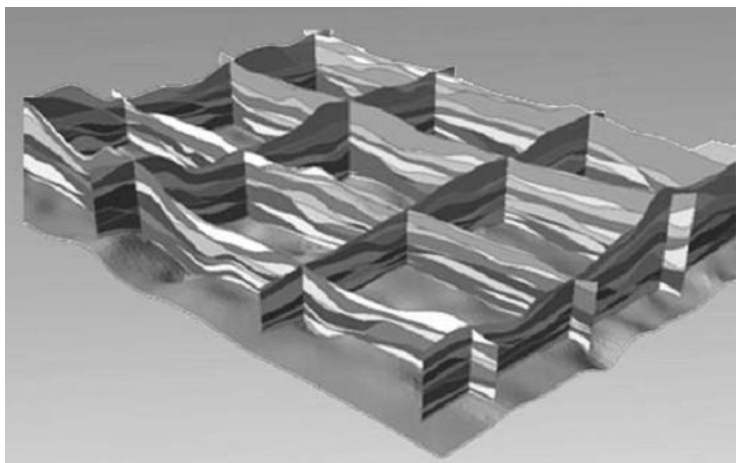
شکل ۶-۱۲. مقطع عرضی دقیق حوضه آبریز روج‌ریور در جنوب‌شرق میشیگان.

نمونه‌ای از مقطع عرضی تهیه شده به صورت عمود بر امتداد برای حوضه آبریز روج‌ریور در جنوب‌شرق میشیگان در شکل ۶-۱۲ نشان داده شده است (راجرز، ۱۹۹۶؛ ۱۹۹۷؛ کاوفمن و همکاران، ۲۰۰۵). این مقطع عرضی شامل انواع متعددی از نهشته‌های رسوبی یخچالی، دریاچه‌ای و رودخانه‌ای است که معمولاً در بیش‌تر مناطق شهری ایالات متحده یافت می‌شود. شکل ۶-۱۳ نمایی سه‌بعدی از مقاطع عرضی متقاطع است (گروه تهیه نقشه گریت لیکز، ۲۰۰۹). این نوع مقاطع عرضی به تفسیر تاریخچه رسوب‌گذاری منطقه موردنظر جهت نقشه‌برداری زمین‌شناسی کمک می‌کند.

۶-۱-۷ تهیه نقشه مبنا^۱

حال پس از بازنگری داده‌های موجود، انجام مطالعات صحرایی، آنالیز رخساره و تهیه مقاطع عرضی می‌توان به تهیه نقشه مبنا یا پایه پرداخت. مراحل موردنیاز برای آماده‌کردن این نقشه به صورت زیر است:

- استفاده از نام‌گذاری مناسب.
- به‌کارگیری نشانه‌های مناسب.



شکل ۶-۱۳. چندین مقطع عرضی به هم پیوسته (اقتباس از USGS، برنامه ملی تهیه نقشه زمین‌شناسی، ۲۰۰۹، <http://ncgmp.usgs.gov>).

- به‌کارگیری مقیاس مناسب برای نقشه.
 - تعیین این‌که چه نوع نقشه‌ای برای منطقه مناسب‌تر است.
- استفاده از نام‌گذاری و نشانه‌های معین و قابل‌پذیرش باعث تهیه نقشه مناسب شده و ابهامات را به حداقل می‌رساند. استاندارد نام‌گذاری نقشه‌های زمین‌شناسی در آمریکای شمالی با نام نظام‌نامه^۱ چینه‌شناسی آمریکای شمالی خوانده می‌شود (انجمن زمین‌شناسی نفت آمریکا^۲، ۲۰۰۵). این نظام‌نامه برای نام‌گذاری، توصیف، بنا نهادن، تعریف مجدد و چشم‌پوشی از برخی واحدهای زمین‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مورد نشانه‌های نقشه زمین‌شناسی، استاندارد همان استاندارد کمیته داده‌های رقومی نقشه‌برداری فدرال^۳ است (USGS، ۲۰۰۶). مواردی از قبیل نشانه‌های خطی، نشانه‌های نقطه‌ای، رنگ‌ها و طرح‌های مورد استفاده جهت ترسیم ویژگی‌های مختلف در نقشه زمین‌شناسی نیز مشمول این استاندارد هستند.
- اولین گام در آماده‌سازی یک نقشه زمین‌شناسی شروع کار از یک منطقه کوچک و پس از آن به مرور افزودن مناطق مجاور آن است تا به تدریج نقشه کامل شود. یک راه برای انجام این فرایند آن است که کار با یک واحد زمین‌شناسی که تشخیص آن در صحرا نسبتاً

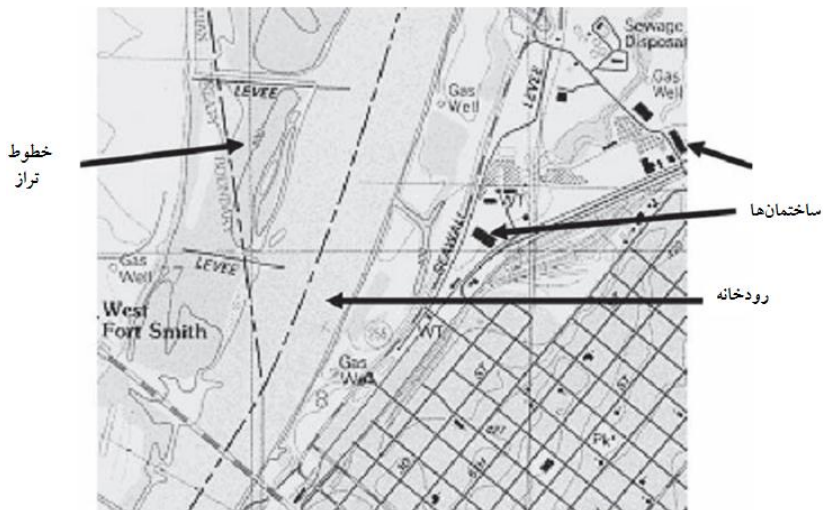
1. Code

2. American Association of Petroleum Geologists

3. Federal Geographic Data Committee Digital Cartographic Standard

ساده است شروع شود و سپس واحدهای مجاور آن در سطح و در عمق در سراسر لایه‌های سست به آن افزوده شوند تا این‌که به سنگ‌بستر برخورد شود. برای نمونه سری نقشه‌هایی با مقیاس ۱: ۲۴۰۰۰ که برای منطقه‌ای با وسعت ۷/۵ دقیقه (هر یک درجه برابر با ۶۰ دقیقه است) توسط USGS تهیه شده و مقیاسی مناسب برای بسیاری از مطالعات زیست‌محیطی است و می‌تواند پایه و الگوی مناسبی برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی شهری باشد. این نقشه‌ها همچنین دارای اطلاعات ارزشمندی است که می‌تواند در تهیه نقشه منطقه موردنظر مفید باشد. این اطلاعات شامل موارد زیر است:

- هر نقشه بسیار دقیق و قابل‌اعتماد است.
 - اغلب مناطق شهری در ایالات متحده دارای این نوع نقشه‌ها بوده که به راحتی قابل دسترس هستند.
 - خطوط تراز ارتفاعی نیز به همراه واحدهای زمین‌شناسی ارائه شده است که می‌تواند برای تعیین مرز سازندها مفید باشد.
 - بسیاری از عوارض زمین موردنظر زمین‌شناسان در این نقشه‌ها مشخص شده‌اند.
 - عوارض حاصل از فعالیت‌های بشری (بشرزاد) مانند مناطق شهری توسعه یافته، راه‌ها و پارک‌ها مشخص شده‌اند.
 - عوارض طبیعی مانند دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، نهرها، مناطق جنگلی و مناطق مهم در نقشه مشخص شده‌اند.
 - هر نقشه به خوبی طبقه‌بندی شده است.
 - مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) در هر نقشه ارائه شده است.
 - انحراف مغناطیسی در هر نقشه ارائه شده است.
 - محل چشمه‌ها و چاه‌ها در بسیاری از نقشه‌ها تعیین شده است.
 - اطلاعات به سادگی می‌تواند به محیط‌های دیگر تهیه نقشه مانند GIS و نقشه‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی منتقل شود.
- شکل ۶-۱۴ بخشی از یک نقشه ۷/۵ دقیقه مورد بحث که توسط USGS تهیه شده را نشان می‌دهد.
- بسیاری از نقشه‌ها به صورت الکترونیکی در دسترس بوده و از این‌رو مناطقی با زمین‌شناسی پیچیده و یا مناطقی که نیازمند بزرگنمایی بیش‌تری هستند را می‌توان با مقیاس‌های بزرگ‌تری نقشه‌برداری کرد.



شکل ۶-۱۴. بخشی از یک نقشه با وسعت ۷/۵ دقیقه مربوط به منطقه فورت اسمیت^۱ آرکانزاس آمریکا (اقتباس از USGS به آدرس http://egsc.usgs.gov/ish/pubs/gis_poster, 2010b).

۶-۱-۸ آماده‌سازی طرح نهایی نقشه

تفهم اطلاعات زمین‌شناسی با ساده‌ترین کلمات دشوار و چالش‌برانگیز است زیرا اطلاعات عموماً پیچیده هستند. اما روش‌های فراوانی برای ارائه مؤثر اطلاعات به افراد غیرمتخصص وجود دارد. انتخاب یک روش یا مجموعه‌ای از روش‌های مناسب وابسته به موارد زیر است:

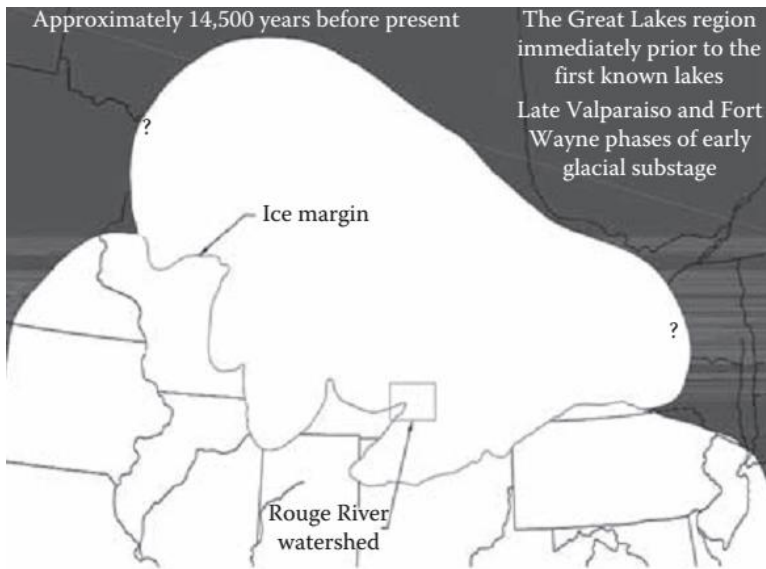
- مقدار پیچیدگی، جزئیات، مقیاس اطلاعات و منطقه مورد نقشه‌برداری.
- افرادی که باید اطلاعات برای آن‌ها ارائه شود مانند افراد دانشگاهی، برنامه‌ریزان زمین‌شهری یا عموم مردم.
- بودجه در نظر گرفته شده.

برخی از روش‌های مورد استفاده برای آماده‌سازی نقشه عبارتند از:

- آماده‌سازی برخی از نقشه‌های نشانگر توسعه و تحول مناظر در یک منطقه معین. این نقشه‌ها بسیاری از جزئیات را حذف می‌کنند، به این دلیل که مقیاس جغرافیایی معمولاً بسیار بزرگ است. هدف از تهیه این نقشه‌ها انتقال مفاهیم اصلی اهمیت ناحیه مورد مطالعه است.
- آماده‌سازی برخی از نقشه‌ها که با پایین‌ترین یا قدیمی‌ترین رسوبات شروع شده و سپس با فواصل یکسان زمانی یا رخدادهای مهم رسوب‌گذاری ادامه پیدا می‌کند.

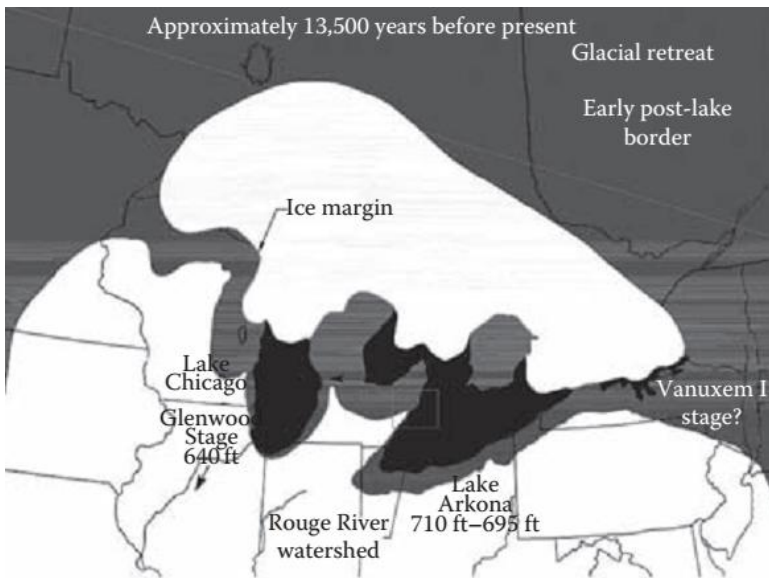
- این نقشه‌ها دارای فواید زیادی هستند به این دلیل که دارای جزئیات بسیاری بوده و بر حوادث زمین‌شناسی مهم متمرکز می‌شوند.
- افزودن فرایندهای زمین‌شناسی عامل ایجاد نهشته‌های رسوبی مانند توالی رودخانه‌ای، ارتقای تراز رودخانه، یا پیشرفت و پسرفت یخچال. این نوع از نقشه‌های زمین‌شناسی توزیع فضایی نهشته‌های زمین‌شناسی را با روش‌های تشکیل آن‌ها ترکیب می‌کند. گرچه این نقشه‌ها در فهم فرایندهای زمین‌شناسی رسوب‌گذاری بسیار مفید هستند اما بسته به مقیاس، جزئیات زیادی را در خود جای نمی‌دهند.
 - ایجاد نقشه‌های سه‌بعدی. تولید نقشه‌هایی با سه بعد معمولاً مستلزم زمان و تلاش مضاعف است اما می‌تواند آنالیز بهتری از کمبودها ارائه و به دلیل سه بعدی بودن مناظر (مانند پرتگاه‌ها) را نیز در نقشه زمین‌شناسی جای دهد.
 - با استفاده از GIS می‌توان نقشه‌های زمین‌شناسی را با سایر لایه‌های رقومی مانند راه‌ها، ساختمان‌ها، پارک‌ها، تجهیزات زیربنایی (آب، برق، گاز، تلفن و غیره)، الگوی شبکه‌های فاضلاب، توسعه مورد نظر شهری و جمعیت ترکیب کرد. یک نقشه مرکب می‌تواند تمام یا برخی از این لایه‌ها را بر روی هم قرارداده و اطلاعات جدیدی از منطقه مورد مطالعه در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار دهد.
- متداول‌ترین روش‌ها، روش‌های شماره ۳، ۴ و ۵ یا ترکیب آن‌ها است.

• **توالی نقشه‌ها:** توالی نقشه‌ها یکی از روش‌هایی است که به منظور کاهش زمان فهم فرایندهای زمین‌شناسی عامل توزیع نهشته‌های رسوبی در مناطق شهری به کار می‌رود. این تکنیک فرایندهای پیچیده زمین‌شناسی را که ممکن است به صورت موضعی در یکی از نقشه‌ها تعیین شده باشد، به صورت کامل در توالی نقشه‌ها ارائه شده و فهم آن فرایندها را بسیار تسهیل می‌کند. این نوع نقشه‌ها همچنین می‌توانند نقشه‌های سه‌بعدی را با GIS تلفیق کرده و اطلاعات را به صورت ترکیبی از هر دو ارائه کنند. نمونه‌ای از توالی نقشه‌ها در ناحیه گریت لیکز در نقشه ۶-۱۵ ارائه شده است (تغییر داده شده از هیوگ، ۱۹۵۸، ۱۹۶۳). این نقشه متوالی توسعه و تحول چشم‌اندازها و مناظر یک منطقه خاص از ناحیه گریت لیکز را در زمان معینی (در خلال عقب‌نشینی آخرین یخشروی یخچال در پلیستوسن)^۱ نشان می‌دهد. این نقشه‌ها عمومی هستند و بسیاری از جزئیات در آن‌ها به دلیل مقیاس بسیار بزرگ در نظر گرفته نمی‌شوند.



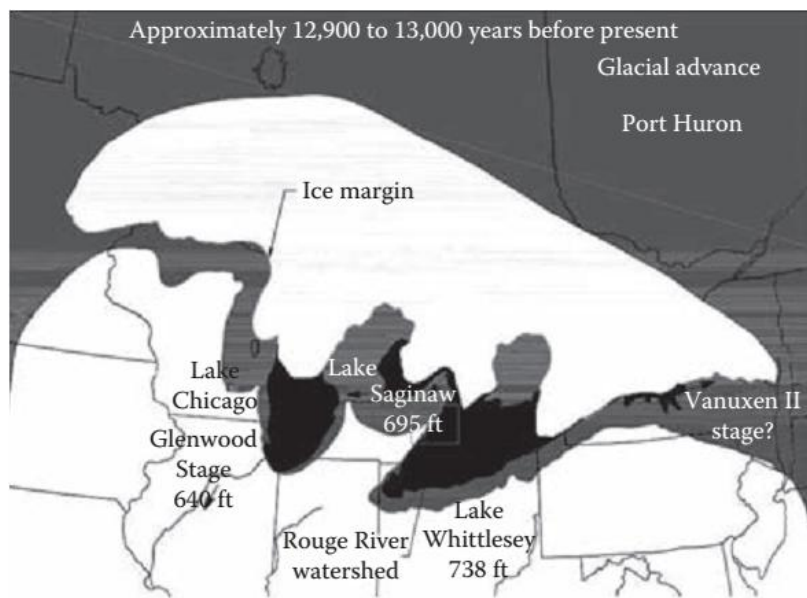
(a)

شکل ۶-۱۵. A. ناحیه گریٹ لیکز در زمان تقریباً ۱۴۵۰۰ سال پیش.



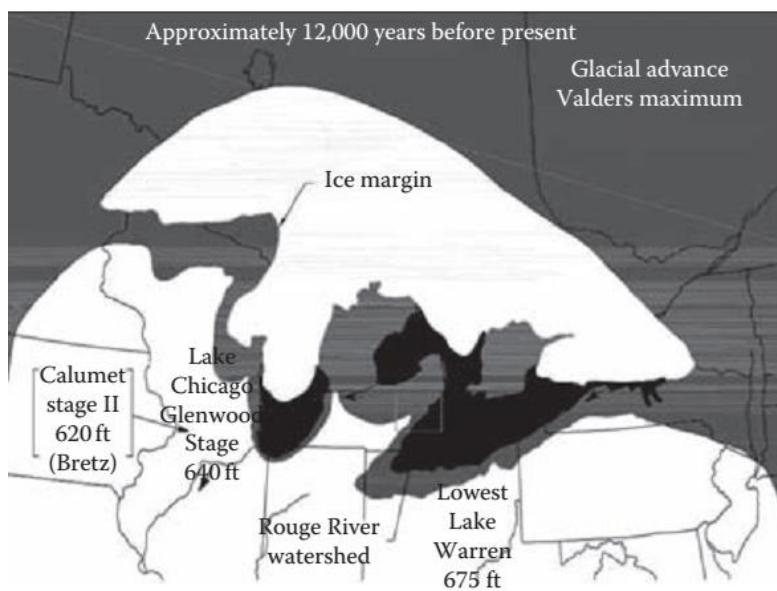
(b)

شکل ۶-۱۵. B. حدود ۱۳۵۰۰ سال پیش.



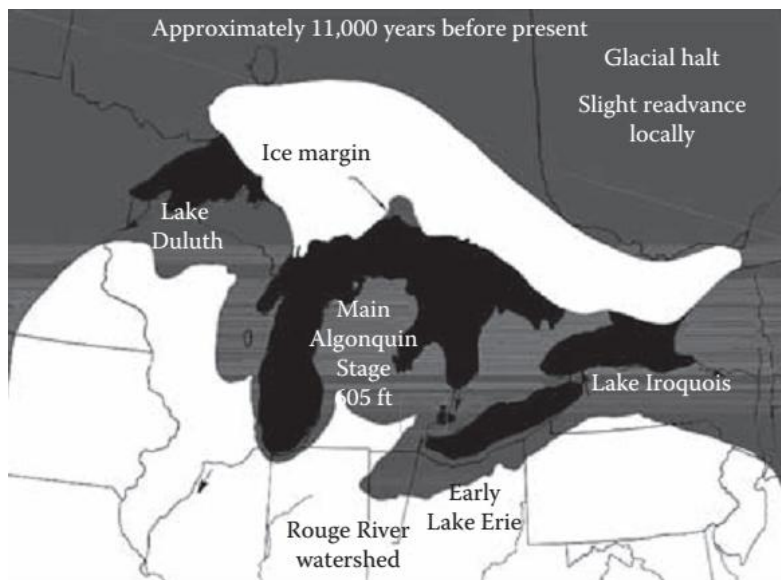
(c)

شکل ۶-۱۵. حدود ۱۲۹۰۰ تا ۱۳۰۰۰ سال پیش.



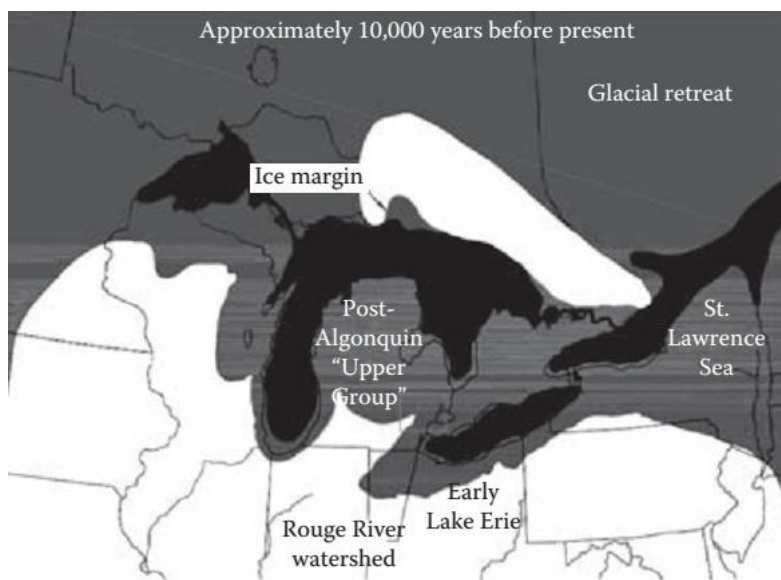
(d)

شکل ۶-۱۵. حدود ۱۲۰۰۰ سال پیش.



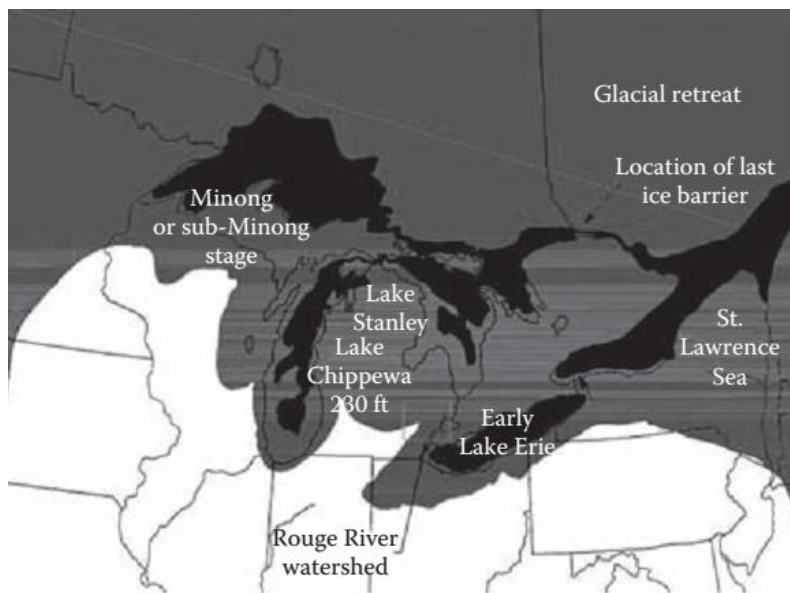
(e)

شکل ۶-۱۵. حدود ۱۱۰۰۰ سال پیش



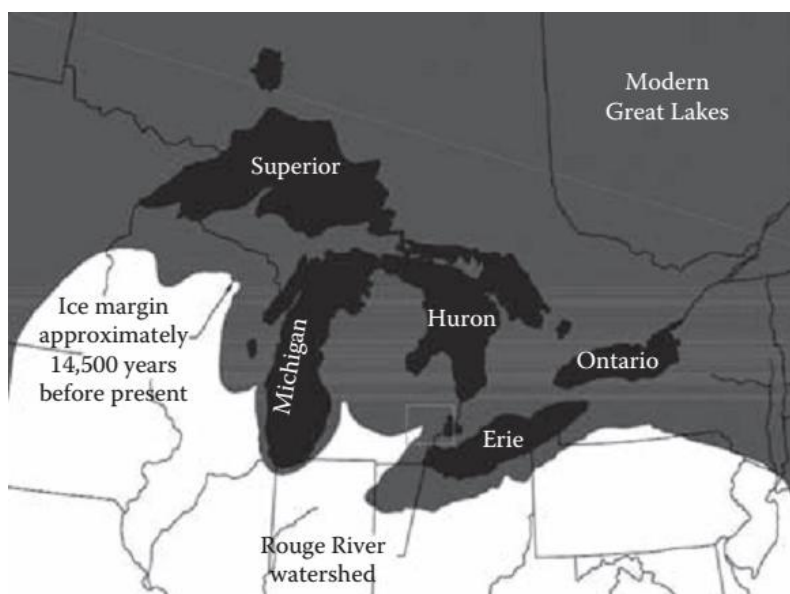
(f)

شکل ۶-۱۵. F. حدود ۱۰۰۰۰ سال پیش.



(g)

شکل ۱۵-۶. G. حدود ۹۰۰۰ سال پیش.



(h)

شکل ۱۵-۶. H. عصر حاضر (کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

هدف از تهیه این نقشه‌ها عبارتست از:

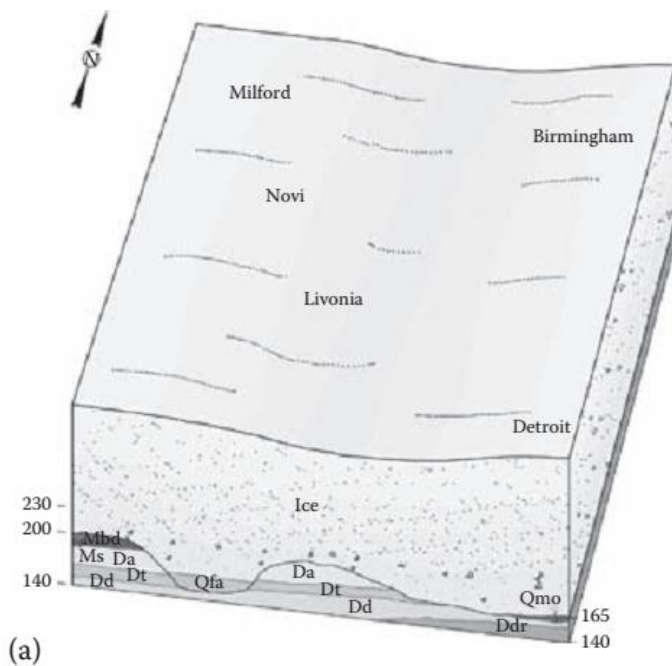
- انتقال مفهوم اهمیت زمین‌شناسی ناحیه‌ای مثلاً منشأ یخچالی رسوبات سست
- فراهم کردن نقطه مرجع برای بخش‌های دیگر نقشه‌های دقیق‌تر که در شکل ۶-۱۶ نشان داده شده است.

با شروع کار از مقیاس عمومی ناحیه‌ای و ادامه آن به مقیاس دقیق‌تر در حوضه آبریز، اطلاعات بیش‌تری از یک عارضه خاص را می‌توان به نقشه افزود. این تسلسل می‌تواند توانایی آموزشی و گویابودن این روش را به تصویر کشد.

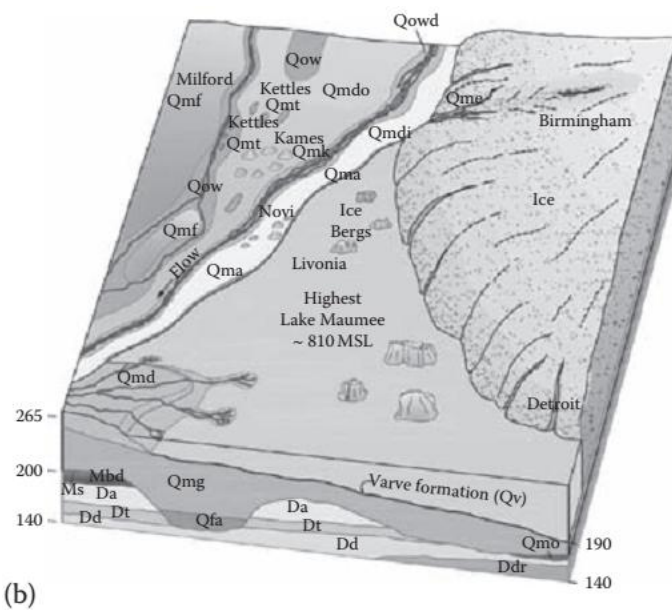
نقشه‌های متوالی نشان داده شده در شکل ۶-۱۶ نمونه‌ای از چگونگی استفاده از بررسی تدریجی پیچیدگی‌های زمین‌شناسی در مقیاس کوچک‌تر در یک حوضه آبریز منطقه شهری را به نمایش گذاشته و می‌تواند فرایندهای زمین‌شناسی تشکیل‌دهنده نهشته‌های رسوبی را به تصویر کشد. به‌عنوان مثال، این توالی پسرفت یخچال و نهشته‌های مرتبط با آن را به‌صورت سه‌بعدی نشان می‌دهد. شکل ۶-۱۷ وضعیت زمین‌شناسی فعلی حوضه آبریز را به شکل بزرگ‌شده به همراه راهنما توصیف‌کننده ستون چینه‌شناسی، ارائه می‌کند.

- **نقشه‌های سه‌بعدی:** علاوه بر نقشه‌های متوالی که به‌تدریج اطلاعات بیش‌تری در آن‌ها ارائه می‌شود، روش‌های رقومی سه‌بعدی نیز جهت تولید نقشه‌های زمین‌شناسی در دسترس است (USGS، ۲۰۰۵). نمونه‌هایی از نقشه‌های سه‌بعدی در شکل‌های ۶-۱۸ و ۶-۱۹ نشان داده شده است (گروه تهیه نقشه گریت لیکز، ۲۰۰۹). شکل ۶-۱۸ منطقه تحت نقشه‌برداری زمین‌شناسی سه‌بعدی با داده‌های حاصل از چاه‌های حفر شده در سایت را نشان می‌دهد. استفاده از این روش به فرایند تهیه نقشه کمک زیادی کرده و آنالیز نبود داده را در مرحله نهایی تهیه نقشه تسهیل می‌کند. شکل ۶-۱۹ پیش‌نویس کامل یک نقشه سه‌بعدی را نشان می‌دهد.

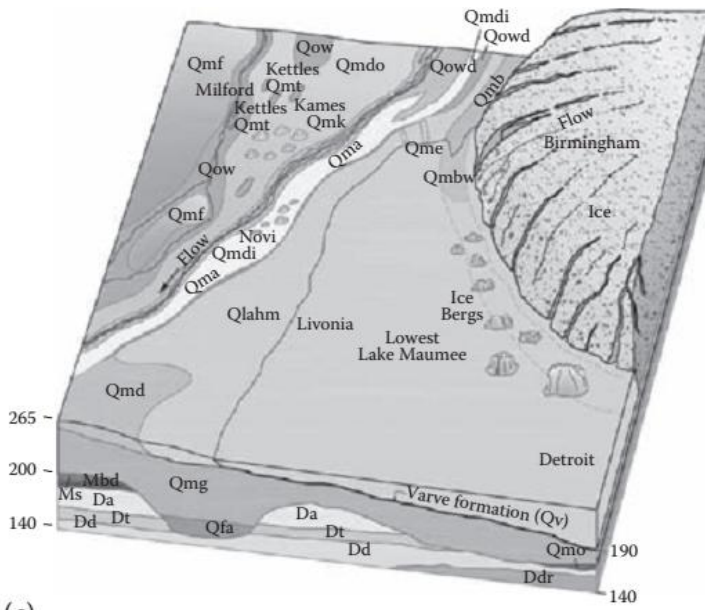
- **تهیه نقشه با استفاده از GIS:** GIS برای تلفیق و نمایش بسیاری از اطلاعات از قبیل نقشه‌های زمین‌شناسی مناطق شهری بسیار مفید است (چانگ، ۲۰۰۷). یکی از فواید استفاده از GIS عمومیت داشتن این تکنیک در موارد مختلف مناطق شهری است و سازمان‌ها و افراد شاغل غالباً به این تکنیک آشنا بوده و توانمندی و امکانات لازم آن را دارا هستند. از آن‌جا که این سیستم‌ها از گذشته موجود بوده بنابراین تلفیق داده‌های زمین‌شناسی با سایر لایه داده‌های رقومی به‌سادگی امکان‌پذیر بوده و موجب صرفه‌جویی فراوانی در هزینه و زمان می‌شود.



شکل ۶-۱۶. A. حوضه آبریز روج در حدود ۱۴۵۰۰ سال پیش.

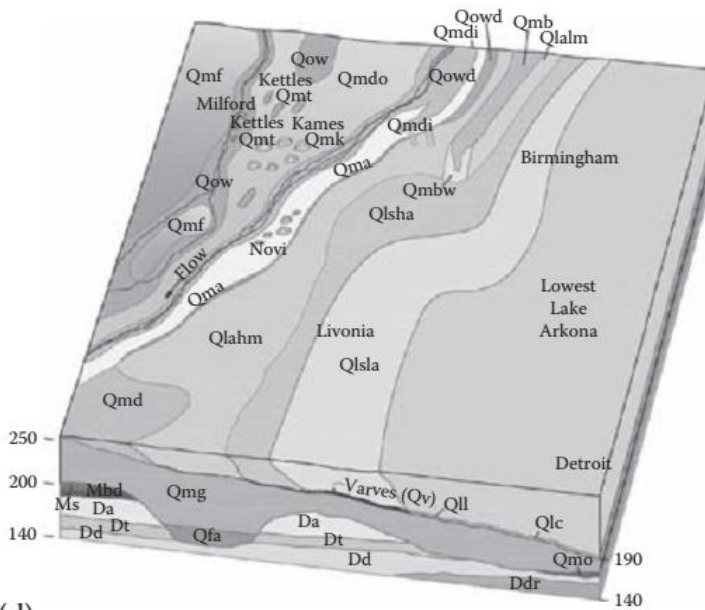


شکل ۶-۱۶. B. حدود ۱۴۰۰۰ سال پیش.



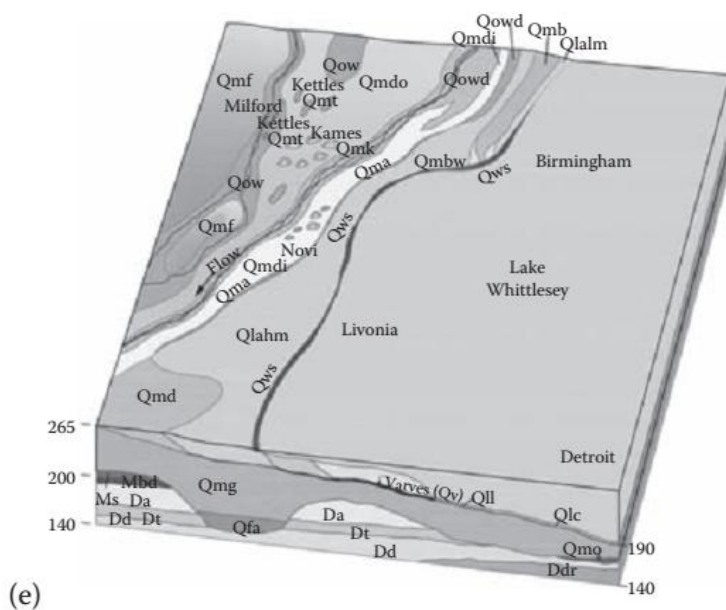
(c)

شکل ۶-۱۶. حدود ۱۳۷۵۰ سال پیش.

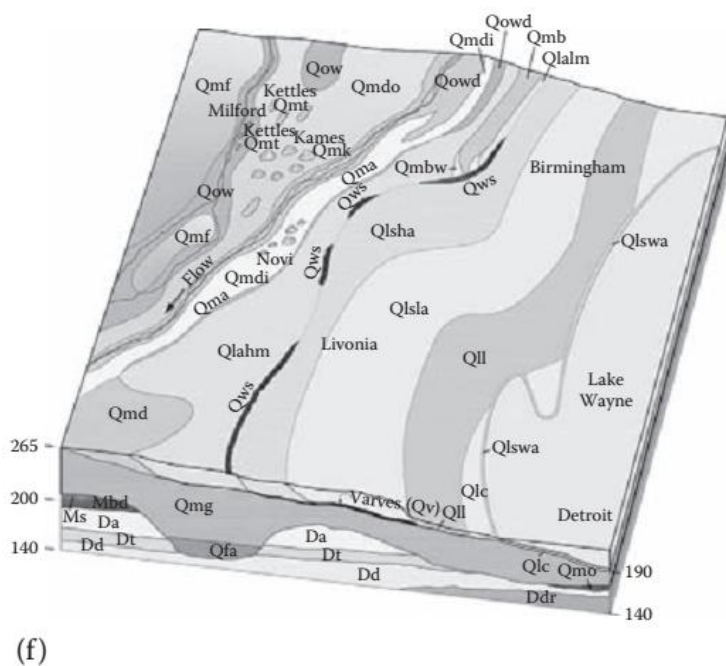


(d)

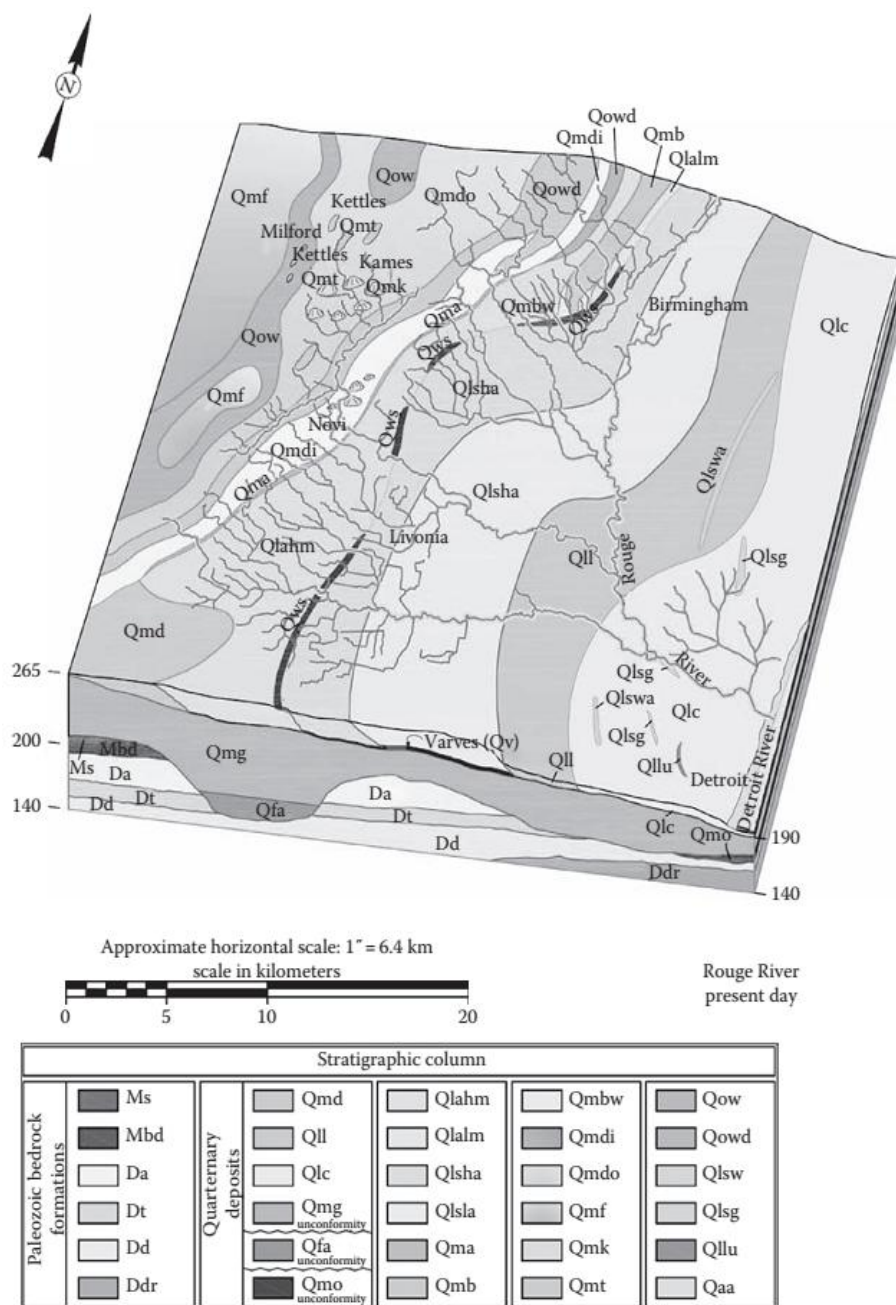
شکل ۶-۱۶. حدود ۱۳۰۰۰ سال پیش.



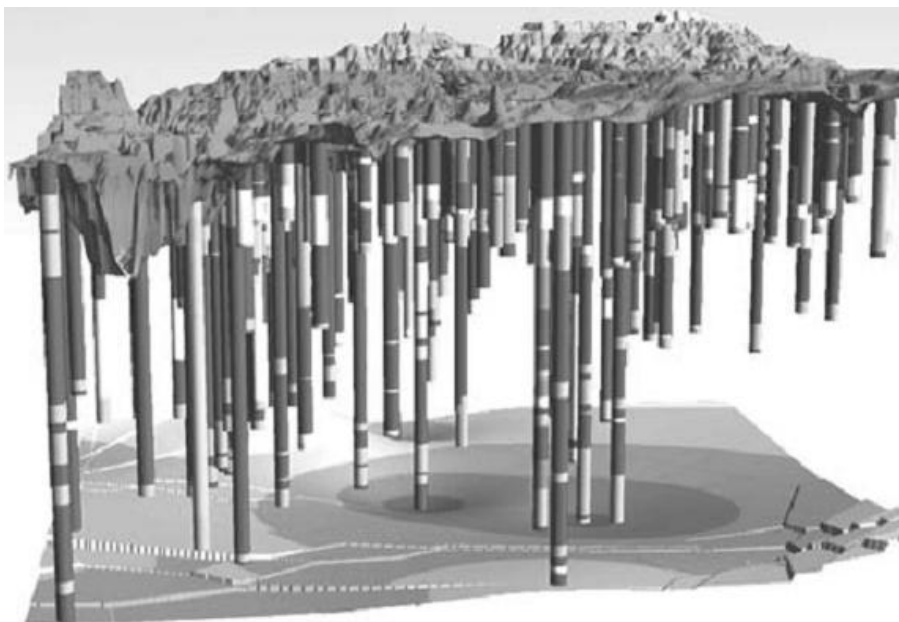
شکل ۶-۱۶. E. حدود ۱۲۹۰۰ سال پیش.



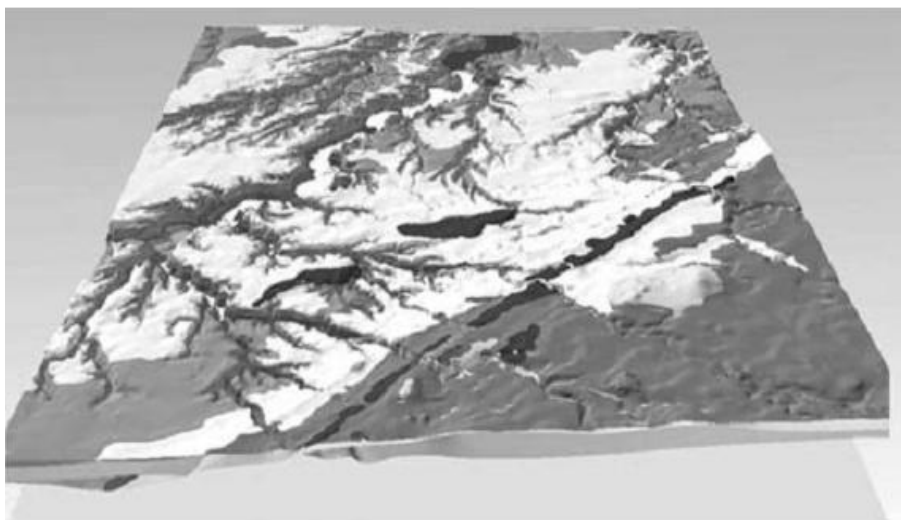
شکل ۶-۱۶. F. حدود ۱۲۵۰۰ سال پیش.



شکل ۶-۱۷. نقشه زمین‌شناسی عصر حاضر حوضه آبریز روج ریور در جنوب شرق میشیگان (راجرز و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۶-۱۸. نقشه زمین‌شناسی سه‌بعدی با استفاده از چاه‌های حفر شده (اقتباس از گروه تهیه نقشه زمین‌شناسی گریت لیکز، ۲۰۰۹؛ <http://igs.indiana.edu/GreatLakesGeology/introduction.html>)



شکل ۶-۱۹. نقشه زمین‌شناسی سه‌بعدی (اقتباس از گروه تهیه نقشه زمین‌شناسی گریت لیکز، ۲۰۰۹؛ <http://igs.indiana.edu/GreatLakesGeology/introduction.html>)

عملکرد متداول GIS ترکیب داده‌های رقومی یک محدوده جغرافیایی است تا براساس آن‌ها نقشه‌های جدید حاوی لایه‌های مکانی و جدول داده‌های توصیفی مربوطه، تولید شوند. شکل ۶-۲۰ نمونه‌ای از این فرایند تلفیق لایه‌های رقومی است. درحین تولید نقشه پایه با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، استفاده از لایه‌های متعدد توصیه می‌شود. به‌عنوان مثال، می‌توان لایه‌ای برای هر کدام از رسوبات یخچالی، رسوبات رودخانه‌ای، رسوبات دریاچه‌ای و رسوبات دریایی به‌کار برد. تقسیم جزئی‌تر داده‌های ورودی به لایه‌های بیش‌تر نیز می‌تواند با استفاده از فرایند ویرایش به ایجاد نقشه‌های مختلف کمک کند.

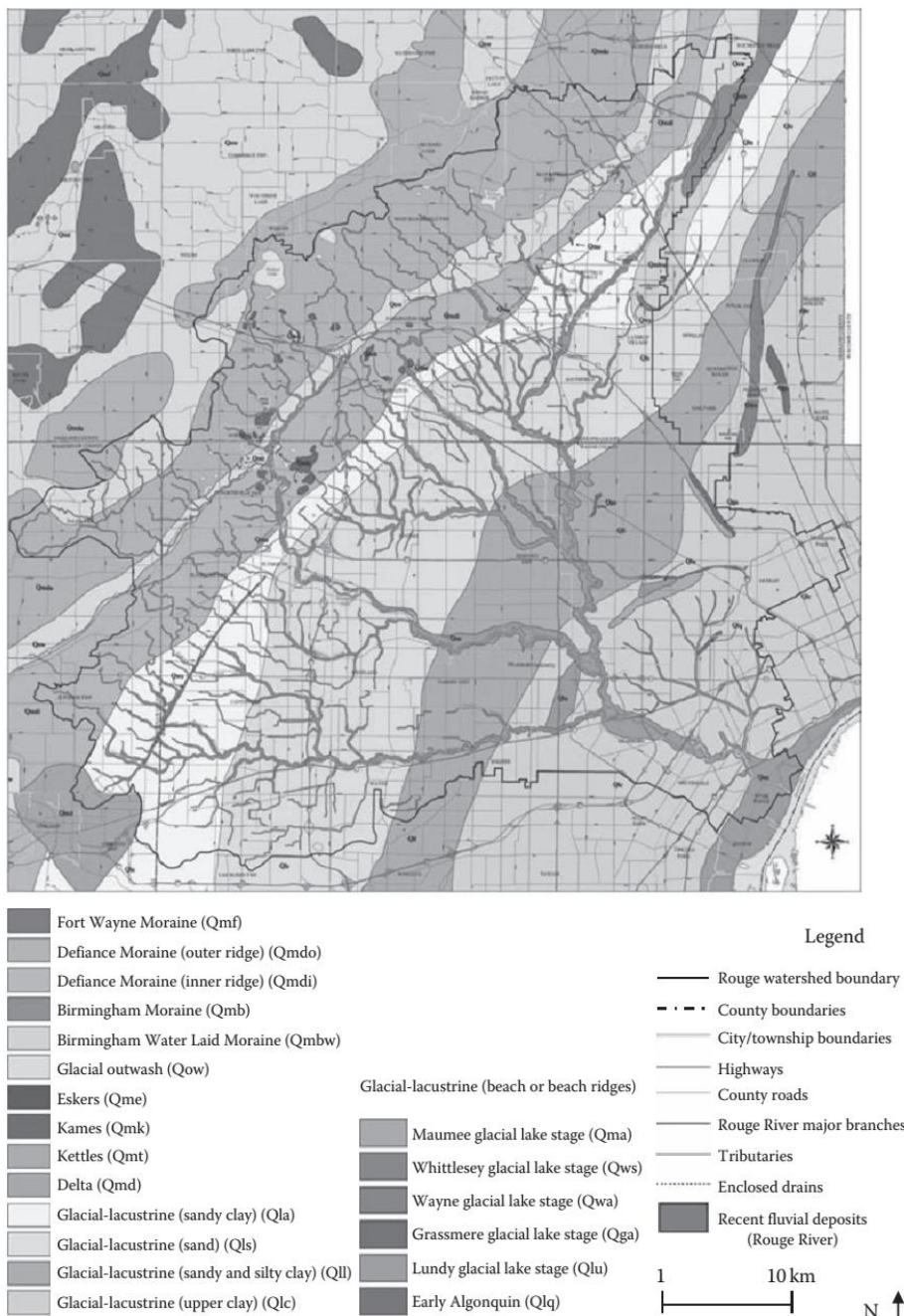
نمونه‌ای از یک نقشه دوبعدی زمین‌شناسی که توسط GIS تولید شده، نقشه حوضه آبریز روج‌ریور است که در شکل ۶-۲۱ نشان داده شده است (راجرز، ۱۹۹۷). شکل ۶-۲۲ ستون چینه‌شناسی آبریز روج را نشان می‌دهد. ستون‌های چینه‌شناسی تمام سازندهای زمین‌شناسی تصویر شده در نقشه را به ترتیب سن طبقه‌بندی می‌کند. ستون‌های چینه‌شناسی به‌دلیل این‌که همه رسوبات را لیست می‌کنند جزو لازم یک نقشه زمین‌شناسی هستند.

بسیاری از اصول آب‌زمین‌شناسی نشان داده شده در فرایند تهیه نقشه آبریز روج در جنوب‌شرق میشیگان قابل‌استفاده برای بسیاری از مناطق دیگر ایالات‌متحده و سایر نقاط جهان است. برخی از این اصول عبارتند از:

- رسوبات متشکل از مواد زمین‌شناسی هستند که از طریق عوامل متعدد رسوبی شامل رودخانه‌ای، دریاچه‌ای و یخچالی منشأ گرفته‌اند. این امر برای بسیاری از حوضه‌های آبریز ایالات‌متحده صادق است.
- الگوی زهکش درون حوضه آبریز منعکس‌کننده زمین‌شناسی تصویر شده در شکل ۶-۱۶ است. به‌ویژه وقتی به ماسه برخورد می‌شود الگوی تراکم زهکش تغییر می‌کند.
- الگوی زهکشی درختی^۱ حوضه آبریز منطقه روج مشابه اغلب حوضه‌های آبریز شهری است که بر روی سنگ‌های رسوبی در سراسر جهان پراکنده هستند (حتی مناطقی که یخچالی نبوده‌اند)؛ مناطق ساحلی ممکن است به‌دلیل تأثیر زمین‌ساخت ناحیه‌ای متفاوت باشند.



شکل ۶-۲۰. نمونه‌ای از توانایی لایه‌بندی تکنیک GIS جهت تهیه نقشه (اقتباس از نقشه توپوگرافی USGS) آدرس اینترنتی <http://egsc.usgs.gov/ish/pubs/booklets/topo/topo.html>, 2010c



شکل ۶-۲۱. نقشه زمین‌شناسی تهیه‌شده حوضه آبریز روجریور توسط تکنیک GIS (راجرز و همکاران، ۱۹۹۷).

Era	Period	Epoch	Stage	Age (approximate years before present)	Symbol	Unit name
Cenozoic	Quaternary	Holocene	Wisconsinan	Fluvial	<10,000	Qaa — Recent Rouge River fluvial deposits
				Glacial lacustrine	<14,500	Qllu — Glacial lacustrine beach deposit Lake Lundy
						Qlsg — Glacial lacustrine beach deposit Lake Grassmere
						Qlswa — Glacial lacustrine beach deposit Lake Wayne
						Qlc — Glacial lacustrine clay
						Qll — Glacial lacustrine silty clay
						Qws — Glacial lacustrine beach ridge Lake Whittlesey
						Qlsla — Glacial lacustrine sand, lowest Lake Arkona
						Qlsha — Glacial lacustrine sand, highest Lake Arkona
						Qv — Varves
						Qlahm — Glacial lacustrine sandy clay Maumee Lake deposit
						Qma — Glacial lacustrine beach highest Lake Maumee
				Moraine	<14,500	Qmbw — Birmingham waterlaid moraine
						Qmb — Birmingham Moraine
				Delta	<14,500	Qmd — Delta
				Outwash	<14,500	Qmd — Outwash defiance
				Esker	<14,500	Qme — Esker
				Moraine	<14,500	Qmdi — Inner Defiance Moraine
						Qmdo — Outer Defiance Moraine
				Glacial outwash	<14,500	Qow — Outwash Fort Wayne
				Kame	<14,500	Qmk — Kame
				Kettle	<14,500	Qmt — Kettle
				Moraine	<14,500	Qmf — Fort Wayne Moraine
						Qmg — Ground moraine / lodgement till
Paleozoic	Mississippian	Lower	Kinderhookian	Sunbury shale	345,000,000	Ms — Sunbury shale
				Bedford shale	345,000,000	Mbd — Bedford shale
	Devonian	Upper	Senecan	Antrim shale	350,000,000	Da — Antrim shale
			Erian	Traverse group	355,000,000	Dt — Traverse group
		Middle	Erian	Dundee limestone	360,000,000	Dd — Dundee limestone
			Ultsterian	Detroit River olomite	370,000,000	Ddr — Detroit River formation
	Permian	Lower	Wichitanian	Wichita shale	260,000,000	W — Wichita shale
				Wichita sandstone	260,000,000	W — Wichita sandstone

شکل ۶-۲۲. ستون چینه‌شناسی حوضه آبریز روج‌ریور در جنوب‌شرق میشیگان (اقتباس از راجرز، ۱۹۹۷).

- روند یا امتداد رسوبات یخچالی و دریاچه‌ای معمولاً از جنوب غرب به سمت شمال شرق از روند پسروی یخ در حین ذوب یخچال پیروی می‌کنند.
- انواع رسوبات در فواصل کوتاه تغییر می‌کنند (گاهی این تغییر زیاد است). این مسئله در نقشه مشخص است که در آن رسوبات از یخچالی به دریاچه‌ای و از آن به رودخانه‌ای تغییر می‌کنند.
- فواید نقشه سه‌بعدی نسبت به انواع دوبعدی با مقایسه شکل ۶-۱۷ (که نقشه سه‌بعدی ساده‌شده از حوضه آبریز روج ریور است) با شکل ۶-۲۱ (که نقشه دوبعدی زمین‌شناسی همان منطقه است) به خوبی نمایان است. این فواید شامل موارد زیر هستند:
- ضخامت لایه‌های رسوبی نشان داده شده است.
- سازندها نشان داده شده است (مانند سازند واحد رس زیرین^۱ که حتی در نقشه دوبعدی اشاره‌ای به آن نشده است).
- شیب (در صورت وجود) واحدهای زمین‌شناسی ارائه شده است.

خلاصه

در این فصل برای اولین بار مفهوم زمین‌شناسی قانونی^۲ (مانند پزشکی قانونی) که همان مطالعات زمین‌شناسی مناطق شهری با کمک مؤسسات، سازمان‌های محلی و ملی و بررسی صحت و دقت اسناد و مدارک آن‌ها است، معرفی شد. همچنین بسیاری از شرایط محیطی منحصر به فرد که می‌تواند فرصت‌های ارزشمندی به زمین‌شناس جهت مشاهده و گردآوری اطلاعات زمین‌شناسی در محیط‌های شهری بدهد، مورد بحث قرار گرفت. این اطلاعات می‌تواند تکمیل‌کننده و تأییدکننده یافته‌های زمین‌شناسی در سایت، و مطالعات صحرایی و همچنین سازمان‌های قانونی محلی یا ملی (مثلاً ادارات آب و فاضلاب شهری) مرتبط باشد.

این داده‌ها می‌تواند جهت توسعه مطالعات شهری در زمان کوتاه و با هزینه کم به کار رود. با ترکیب مطالعات صحرایی و سایر منابع اطلاعات زمین‌شناسی، نقشه زمین‌شناسی دقیق هر حوضه آبریز شهری را می‌توان تولید کرد.

1. Lower Clay Unit

2. Forensic geology

تهیه نقشه زمین‌شناسی در مناطق شهری مستلزم داشتن مهارت و تخصص است که شامل موارد زیر است:

- دانش عمیق از محیط‌های رسوبی نزدیک سطح زمین.
- توانایی تشخیص تفاوت بین رسوبات طبیعی و بشرزاد.
- داشتن اطلاعات از مناظر طبیعی.
- آگاهی و تجربه لازم در زمینه روش‌های مورد استفاده برای دسترسی به سایت‌های (مکان‌های) مورد نظر و منابع اطلاعات.
- امکان استفاده از یک سیستم ساده و گویا جهت ارائه و انتقال مفاهیم و فرایندها به افراد غیرمتخصص.

از بین این تخصص‌ها، مهم‌ترین و حساس‌ترین مورد که اتفاقاً خارج از مبحث زمین‌شناسی نیز بوده، توانایی ارائه داده‌ها است. حتی دقیق‌ترین اطلاعات نیز در صورت عدم انتقال و تفهیم مناسب آن‌ها به افرادی که تخصص لازم را در زمین‌شناسی نداشته اما افراد تصمیم‌گیر و برنامه‌ریز مناطق شهری هستند، بی‌فایده خواهد بود. استفاده از نقشه‌های چندگانه جهت افزودن اطلاعات زمین‌شناسی و پیچیدگی‌های آن در طی زمان، به تنهایی یا با استفاده از GIS و روش‌های تهیه نقشه سه‌بعدی نیز می‌تواند در ارائه و انتقال اطلاعات پیچیده زمین‌شناسی مؤثر باشد. علاوه بر این، این ابزار می‌تواند اطلاعات زمین‌شناسی را با سایر اطلاعات مفید تلفیق کرده و در اختیار افراد مرتبط قرار دهد.

پس از کسب دانش دقیق از زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی مناطق شهری، گام بعدی می‌تواند برآورد پایداری حوضه آبریز باشد. این مرحله شامل سازمان‌دهی اطلاعات زمین‌شناسی، آب‌زمین‌شناسی و بررسی سایر منابع مهم به‌منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی است که در فصل بعد به آن پرداخته خواهد شد.

خودآزمایی چهارگزینه‌ای

۱. کدام محیط زمین‌شناسی کم‌ترین مشارکت را در محل استقرار شهرهای آمریکا دارد؟

(ب) دریاچه‌ای

(الف) آبرفتی

(د) آتشفشانی

(ج) بادرفتی

۲. در تهیه نقشه زمین‌شناسی یک ناحیه شهری کدام منبع دارای اهمیت بیش‌تری است؟

الف) نقشه‌های زمین‌شناسی قبلی ب) نقشه‌های برنامه‌ریزی

ج) نقشه‌های بزرگراه‌ها د) نقشه‌های توپوگرافی

۳. چاه‌های تهیه و اکتشاف آب معمولاً تا چه عمقی (متر) زیر سطح زمین حفر می‌شوند؟

الف) ۲۰ ب) ۳۰

ج) ۴۰ د) ۵۰

خودآزمایی تشریحی

۱. چالش‌های پیش‌روی تهیه نقشه زمین‌شناسی مناطق شهری عمدتاً کدام هستند؟
۲. حداقل هشت مورد از منابع اطلاعات موجود جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی مناطق شهری را نام ببرید.
۳. مدل زمین‌شناسی مفهومی چیست؟
۴. آنالیز رخساره برای چه اهدافی انجام می‌شود؟
۵. در بهره‌گیری از روش سن‌سنجی نسبی کدام اصول چینه‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند؟
۶. مقطع عرضی چگونه باید تهیه شود تا کامل‌ترین اطلاعات زمین‌شناسی را در اختیار قرار دهد؟
۷. فواید نقشه زمین‌شناسی سه بعدی نسبت به انواع دوبعدی آن کدام است؟

فصل هفتم

نقشه آسیب پذیری زمین شناسی^۱ مناطق شهری

هدف کلی

با استفاده از روش ها و داده های زمین شناسی شهری که تا این فصل عنوان شد در این فصل نقشه آسیب پذیری زمین شناسی برای مناطق شهری و مسائل مرتبط با آن بررسی خواهد شد تا نقش ویژگی های زمین شناسی در افزایش یا کاهش آسیب پذیری در مقابل مخاطرات زمین شناسی به ویژه آلودگی ها مشخص شود.

هدف های یادگیری

با توجه به هدف های کلی یاد شده می توان که با مطالعه این فصل از کتاب با موارد ذیل آشنا شد:

۱. عوامل کنترل کننده شدت آلودگی آب در یک منطقه شهری.
۲. انواع روش های بررسی آسیب پذیری زمین شناسی در یک حوضه آبریز شهری.
۳. بررسی روند تهیه نقشه آسیب پذیری زمین شناسی با استفاده از یک مطالعه موردی.
۴. اهمیت تهیه نقشه آسیب پذیری.

مقدمه

نوع و چگونگی استفاده از مواد شیمیایی را می توان کنترل کرد اما در مورد محیط زمین شناسی این مسئله صادق نیست. بنابراین، باید در مورد این محیط های زمین شناسی

که شهرها بر روی آن‌ها بنا شده است، دانش خود را افزایش داده تا براساس آن برنامه‌های توسعه‌ای به‌گونه‌ای بنانهاده شوند که آثار مخرب آلودگی‌های حاصل از این برنامه‌ها بر روی سلامت انسان و طبیعت از بین رفته و یا به کم‌ترین میزان کاهش یابد. اولین گام منطقی برای این مورد فهم زمین‌شناسی مناطق شهری است که به همراه آن برآوردی نیز از مقدار تأثیر زمین‌شناسی در یک منطقه معین شهری بر جابه‌جایی آلودگی‌ها صورت گرفته باشد. از آن‌جا که آب نقشی اساسی در آسیب‌پذیری یک منطقه در مقابل آلاش دارد، بنابراین آنالیز انجام شده در خلال مرحله مطالعات مستلزم فهم آب موجود در سطح زمین و زیر سطح زمین است.

همان‌طور که در فصل ششم عنوان شد، مناطق شهری در ایالات متحده و سراسر دنیا دارای محیط زمین‌شناسی هستند که عمدتاً از نهشته‌های رسوبی تشکیل شده است. بسیاری از این نهشته‌ها از آب اشباع هستند و این آب به‌عنوان منابع آب آشامیدنی و یا مرتبط با آب‌های سطحی و اکوسیستم حساس عمل می‌کنند. براساس این ارتباطات، به‌کارگیری روش حوضه آبریز در خلال فرایند بررسی، منطقی و علمی به‌نظر می‌رسد، به این دلیل که زمین‌شناسی یک منطقه شدیداً الگوی زهکشی سطح زمین را تعیین می‌کند و اغلب به‌طور تأثیرگذاری در جریان پایه^۱ آب سطحی مشارکت می‌کند. علاوه بر این، آب به‌عنوان یک حلال جامع در نظر گرفته می‌شود بنابراین هر نوع آلاشی که از طریق منابع انسانی یا طبیعی در محیط رها شود بالقوه این توان را دارد که وارد آب‌های سطحی یا زیرزمینی شده و آن‌ها را آلوده کند.

عوامل کنترل‌کننده شدت این آسیب عبارتند از (راجرز، ۱۹۹۶؛ مورای و راجرز، ۱۹۹۹a؛ کاوفمن و همکاران، ۲۰۰۵):

- محیط آب‌زمین‌شناسی.
- شیمی فیزیک آلودگی‌ها و مقدار آن‌ها.
- مکانیسم رهاسازی آلودگی در آب.

روش‌های متعددی در زمینه مطالعات و مدیریت پیچیدگی آلاش آب شهری وجود دارد. به‌عنوان نمونه، مقادیر زیادی از اطلاعات زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی برای بسیاری از مناطق شهری وجود دارد که هم اکنون جهت بهره‌گیری از آن‌ها به‌منظور مطالعات زیست‌محیطی در دسترس هستند. علاوه بر این، روش‌های مختلفی

نیز وجود دارند که براساس آن‌ها می‌توان به مکان‌های آلوده دسترسی پیدا کرده و مطالعات صحرایی را در آن‌ها انجام داد تا داده‌های متناسب بدون دستکاری شرایط طبیعی سطح زمین جمع‌آوری شوند.

با وجود در دسترس بودن روش‌ها و شیوه‌های معین، مطالعات زیست‌محیطی بسیاری از مناطق شهری می‌تواند کار دشواری باشد. این مسئله دلایلی دارد که می‌توان آن‌ها را به صورت زیر برشمرد:

- رسوبات نزدیک سطح زمین در این مناطق بسیار کم مورد بررسی قرار گرفته‌اند.
 - مطالعه آن‌ها سخت است.
 - پیچیده هستند.
 - از طریق فعالیت‌های انسانی دچار تغییر شده‌اند.
 - در مسافت‌های کوتاه تغییرات زیادی از خود نشان می‌دهند.
- بنابراین، برای رسیدن به هر سطحی از موفقیت در زمینه کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، لازم است وضعیت زهکش منطقه بررسی و وضعیت آلاینده‌ها در شرایط معین زمین‌شناسی شناخته شود.
- تمرکز این فصل تعیین مناطق آسیب‌پذیر شهری در مقابل آلودگی‌ها و مناطقی است که احتمال گسترش آلاینده‌ها در آن‌ها کم‌تر محتمل است. بدین منظور، یک لایه دیگر که شامل آنالیز آسیب‌پذیری فراگیر است به نقشه زمین‌شناسی نزدیک سطحی مناطق شهری (فصل ششم) افزوده خواهد شد. در این فصل همچنین در مورد شرایط زمین‌شناسی خاصی که ممکن است نسبت به آلودگی‌های معینی حساس باشند بحث خواهد شد.

۷-۱ آسیب‌پذیری زیرسطحی و توسعه نقشه آسیب‌پذیری

مفهوم آسیب‌پذیری زیرسطحی در مقابل آلودگی اولین بار در فرانسه در خلال دهه ۱۹۶۰ مطرح و در دهه ۱۹۷۰ توسط آلبرت و ماگات (۱۹۷۰) به جامعه علمی معرفی شد. از آن تاریخ به بعد، مفهوم آسیب‌پذیری زیرسطحی متحول شده و شامل تفکیک و ترکیب بین آسیب‌پذیری و مخاطره شده‌است. آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی امروزه به عنوان تابعی از:

- ویژگی طبیعی خاک یا رسوبات منطقه غیراشباع.

- ویژگی آبخوان^۱ یا سفره آب زیرزمینی (مانند تخلخل مؤثر و منطقه تغذیه)
- مواد آبخوان در نظر گرفته می‌شود (فوستر و هیراتا، ۱۹۸۸؛ روبینز و همکاران، ۱۹۹۴؛ راجرز و همکاران، ۲۰۰۷).

نقشه‌برداری مناطق آسیب‌پذیر از نظر زمین‌شناسی را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد:

- روش‌های درجه‌بندی موضوعی.
 - روش‌های فرایند محور^۲ و آماری (فوکاتزیو و همکاران، ۲۰۰۱).
- روش‌های درجه‌بندی از طریق مقیاس‌های عددی نشان‌دهنده میزان آسیب‌پذیری کم یا زیاد، بیان می‌شوند. معمولاً نتایج برای سیاست‌گذاری و مدیریت مناطق وسیعی به‌کار برده می‌شوند. در مقابل، روش‌های آماری فرایند محور مقادیر معینی (مانند مناطق دارای مقادیر ویژه کیفیت بالای آب) را تولید می‌کند. با استفاده از این روش‌ها، نتایج معمولاً به‌دلیل نبود داده‌ها و زمین‌شناسی متغیر، برای مناطق وسیعی به‌کار می‌رود. علاوه بر این، نتایج معمولاً در مطالعات دقیق‌تر مناطق معین کسب شده و برای اهداف کاملاً علمی به‌کار برده می‌شود (فوکاتزیو و همکاران، ۲۰۰۱). در واقع، روش درجه‌بندی موضوعی برای مطالعات آسیب‌پذیری در مقیاس حوضه آبریز ترجیح داده می‌شود (مورای و راجرز، ۱۹۹۹a).

مفهوم آسیب‌پذیری زمین‌شناسی براساس مطالعات و ارائه عوامل مختلف آب‌زمین‌شناسی مانند منطقه هواده^۳ و مقدار تغذیه بنا شده‌است (زاپوروچک و ایتون، ۱۹۹۶؛ ایتون و زاپوروچک، ۱۹۹۷). کاربرد این مفهوم زمانی مهم است که داده‌های زمین‌شناسی به‌وسیله مفاهیم زیست‌محیطی، اقتصادی و سیاسی حاصل شده در خلال تلاش‌های قبلی جهت پالایش محیط‌زیست، تکمیل شود (فوستر و همکاران، ۱۹۹۳؛ لوگ و همکاران، ۱۹۹۸). نمونه خاص از این داده‌ها در انتهای این فصل ارائه خواهد شد.

توسعه موفق نقشه‌های آسیب‌پذیری زمین‌شناسی می‌تواند در مناطقی که رشد سریعی را تجربه کرده‌اند دشوار باشد. شهرنشینی و زیرساخت‌های مصنوعی (مانند فاضلاب‌ها و مخازن نگهداری آن‌ها) می‌تواند تأثیر عمیقی بر آب‌زمین‌شناسی ناحیه‌ای داشته باشند (وونو و هالن‌بک، ۱۹۹۵؛ زاپوروچک و ایتون، ۱۹۹۶؛ کیبل، ۱۹۹۸). فرایندهای

1. Aquifer

2. Process-based

۳. Vadose zone: ناحیه‌ای است درون زمین بین سطح ایستابی که در آن حفرات توسط آب پر شده است.

پایه‌ای که آب‌های سطحی و زیرزمینی را تحت تأثیر خود دارند مانند الگوی سرعت زه‌کش، نرخ تبخیر، نفوذ آب و تغذیه آب، دچار تغییر شده‌اند (برون و همکاران، ۲۰۰۷؛ گارسیا-فرسکا، ۲۰۰۷؛ هووارد و همکاران، ۲۰۰۷؛ موهرلوک و همکاران، ۲۰۰۷). علاوه بر این دشواری‌های انجام نقشه‌برداری آسیب‌پذیری زمین‌شناسی همچنین با مقادیر و انواع متفاوت اطلاعات زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی در دسترس در مناطق شهری و روستایی تشدید می‌شود. به این دلایل، پیروی از یک روند بررسی یکسان داده‌ها در حین مطالعات آسیب‌پذیری در مناطق شهری مشکل است.

نقشه‌برداری آسیب‌پذیری زمین‌شناسی پایه‌ای برای پیش‌بینی مخاطرات زیست‌محیطی در نقطه‌ای معین فراهم می‌کند و علاوه بر آن می‌تواند مناطقی را که نیاز به اطلاعات بیش‌تر دارند را برجسته کند. به جای اطلاعات یک سایت مشخص، این نوع بررسی مخاطرات می‌تواند در صورت نیاز برای برآورد و کاهش هزینه‌های آتی پالایش محیط مفیدتر باشد. علاوه بر این، این روش را می‌توان برای سایر افراد و سرمایه‌گذاران مکان‌های بازیافت زباله‌های صنعتی به‌منظور برآورد مناسب بودن سایت‌ها به‌کار برد (استیر و همکاران، ۱۹۹۵؛ مورای و راجرز، ۱۹۹۹b). با توجه به منابع آب، به‌دلیل برهم‌کنش آب‌های سطحی و زیرزمینی، نقشه‌برداری آب‌های زیرزمینی نیز می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با توزیع نسبی آن‌ها ارائه کند (راجرز و مورایف ۱۹۹۷؛ پیپرس و همکاران، ۲۰۰۷).

غالباً پالایش مؤثر آب‌های زیرزمینی غیرممکن بوده و یا هزینه‌های گزاف مانع از انجام آن می‌شود. به‌دلیل این واقعیت است که بهترین راه برای اطمینان از کیفیت آب زیرزمینی، نقشه‌برداری آلودگی واقعی این آب‌ها و پتانسیل آسیب‌پذیری در مقابل آلودگی است تا براساس آن نوع کاربری زمین تعیین و مدیریت اراضی شهری به‌خوبی انجام شود (زاپوروچک و ایتون، ۱۹۹۶). پس از آن اطلاعات جمع‌آوری شده در خلال فرایند بررسی آسیب‌پذیری زمین‌شناسی می‌تواند به تصمیم‌گیران این امکان را دهد که مخاطرات زیست‌محیطی فعلی و آتی مرتبط با مکان‌های خاص را در زمان تهیه نقشه مورد بررسی قرار دهند.

۷-۲ روش‌ها

بررسی آسیب‌پذیری زمین‌شناسی در یک حوضه آبریز شهری با استفاده از روش درجه‌بندی موضوعی مستلزم تلفیق داده‌های زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی، تعیین

مناطق مستعد در مقابل آسیب‌پذیری و اطلاعات اقتصادی و سیاسی است. اولین و حیاتی‌ترین گام نقشه‌برداری، زمین‌شناسی نزدیک سطح زمین است. به محض تولید نقشه زمین‌شناسی، فرایند مطالعات تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی می‌تواند آغاز شود. برخی از محققین (مورای و راجرز، ۱۹۹۹a؛ کاوفمن و همکاران، ۲۰۰۳؛ ۲۰۰۵) روشی را برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی با استفاده از مدل تغییر یافته DRASTIC طراحی کرده‌اند (آلر و همکاران، ۱۹۸۷). این روش دربردارنده نوعی سیستم درجه‌بندی عددی است و ضرایب وزنی مختلفی را برای عوامل موردنظر زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی به‌کار می‌برد. همچنین این مدل داده‌های سیاسی و استعداد مناطق را مورد توجه قرار می‌دهد. داده‌های زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی که به‌منظور پیشبرد مدل مفهومی آسیب‌پذیری زمین‌شناسی به‌کار می‌رود به‌همراه داده‌های سیاسی، اکولوژیکی و زیست‌محیطی در ادامه ذکر شده‌اند:

- نوع خاک یا رسوب، ترکیب، رنگ، بافت، ضخامت، و رطوبت نسبی آن.
- چینه‌شناسی و واحدهای زمین‌شناسی.
- گسترش سطحی و عمقی واحدهای زمین‌شناسی.
- تغییرات درون واحدهای زمین‌شناسی (ناهمگنی^۱ و ناهمسان‌گردی^۲).
- نوع عوارض اولیه و ثانویه زمین‌شناسی.
- حضور، گسترش و ساختار ناپیوستگی‌ها.
- حضور آب‌های زیرزمینی.
- عمق آب‌های زیرزمینی.
- فراوانی نسبی آب‌های زیرزمینی.
- جهت جریان آب‌های زیرزمینی.
- مناطق تغذیه آب‌های زیرزمینی.
- مناطق تخلیه آب‌های زیرزمینی.
- عوارض برهم‌کنش آب‌های سطحی-زیرزمینی.
- عوارض حاصل از فعالیت‌های انسانی شامل:
 - تعبیه مجاری فاضلاب و بالاآمدگی آب‌های زیرزمینی.

- کانال‌های تأسیسات شهری.
- پایه ساختمان‌ها و سایر فضاهاى زیرسطحی.
- مکان‌های پرشدگی زباله.
- حوضه‌های تغذیه آب مصنوعی.
- مکان‌های ذخیره آب‌های سطحی.
- سدها.
- حوضه‌های نگهداری و تصفیه سیلاب‌ها.
- مناطق بزرگ آسفالت یا سنگ‌فرش شده.
- تغییر مصنوعی زهکش سطحی آب.
- راه‌ها و میانبرها.
- مناطق یا نقاط مستعد حضور در سطح زمین شامل:
- چاه‌های منابع آب.
- چاه‌های آبیاری.
- توده‌های آب‌های سطحی مانند دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، نهرها، مرداب‌ها، باتلاق‌ها، چشمه‌ها، و غیره.
- ساختمان‌ها و پایه آن‌ها.
- پارک‌ها، مدارس، زمین‌های بازی، بیمارستان‌ها و غیره.
- منابع احتمالی آلودگی شامل:
- ابزارآلات خطرناک دور ریخته شده (مانند قطعات الکترونیکی).
- محل‌های متروک دفن زباله.
- مکان‌های متروک آلوده^۱.
- مکان‌های قدیمی کارخانجات صنعتی.
- تأسیسات تولید برق.
- ایستگاه‌های پمپ بنزین و گازوئیل.
- تأسیسات خشک‌شویی.
- پالایشگاه‌ها.
- سایر منابع ناشناخته و یا شناخته شده.

در مجموع، این عوامل چارچوبی برای برآورد آسیب‌پذیری زمین‌شناسی در هر منطقه شهری را به وجود می‌آورند. این چارچوب در خلال بررسی زمینه آسیب‌پذیری و سیستم‌های درجه‌بندی مانند آن‌چه در جدول ۷-۱ نشان داده شده، توسعه می‌یابد (مورای. راجرز، ۱۹۹۹a؛ راجرز و مورای، ۲۰۰۲).

توضیح عوامل زمینه آسیب‌پذیری ارائه شده در جدول ۷-۱ به ترتیب زیر است:

- **عمق آب زیرزمینی:** هرچقدر سطح آب‌زیرزمینی بالاتر و به سطح زمین نزدیک‌تر باشد آسیب‌پذیری آن بیش‌تر است به این دلیل که آلودگی‌ها فاصله کم‌تری برای رسیدن به منطقه اشباع را خواهد داشت.
- **عمق آب‌زیرزمینی بسته به شرایط زمین‌شناسی، آب‌وهوا و تأثیرات انسانی شدیداً متغیر است.** با توجه به تأثیر فعالیت‌های انسانی مناظر طبیعی در مناطق شهری به‌شدت دچار دگرگونی می‌شوند. آب‌شناسی طبیعی نیز از طریق سطوح غیرقابل نفوذ، ایجاد حوضچه‌های نگهداری سیلاب‌ها و استفاده از مناطق نفوذپذیرتر برای تغذیه مصنوعی یا محافظت از آب‌های زیرزمینی دستخوش تغییر می‌شوند. علاوه بر این، تراوش از فاضلاب‌های سرویس‌های بهداشتی، خطوط انتقال آب و آبیاری سطحی (به‌ویژه زمین‌های گلف) ممکن است عمق آب‌های زیرزمینی و جهت جریان را به‌صورت محلی یا ناحیه‌ای به‌شدت تحت تأثیر قرار دهند.
- **ترکیب، گسترش فضایی و ضخامت واحدهای خاک در منطقه غیراشباع:** ترکیب خاک یا رسوب بالای سطح ایستابی برای مطالعات مهم است به این دلیل که می‌تواند جهت تعیین این‌که آیا خاک یا رسوبات بالای سطح ایستابی مانع مهاجرت عمودی (عمقی) آلودگی‌ها درون خود خواهد شد یا نه، مؤثر باشد. به‌عنوان نمونه، خاک‌های رسی ریزدانه بوده و معمولاً مانع مهاجرت شده و یا سرعت آن را کند می‌کند صورتی که رسوبات ماسه و شن به‌سادگی اجازه جابه‌جایی آلودگی‌ها را از میان خود می‌دهند. واحدهای میان لایه‌ای نیز می‌توانند در این زمینه تأثیرگذار باشند.
- **سایر عوامل مهم عبارتند از:** حضور ناپیوستگی‌ها، تخلخل اولیه و ثانویه و پتانسیل خاک‌های غیراشباع واقع در بالای آبخوان‌هایی که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند. مثلاً لایه رسی با ضخامت شش متر می‌تواند مانع مهمی در برابر انتقال آلودگی‌ها به عمق شود. بنابراین، اگر بخشی از آن حفر شود و یا وضعیت

طبیعی آن از طریق عوارض عمقی، قطعات ریشه درختان یا فعالیت‌های انسانی تغییر کند موجب افزایش احتمال نفوذ آلودگی‌ها از میان لایه رسی به درون آب‌های زیرزمینی خواهد شد (مورای و همکاران، ۱۹۹۷).

- بنابراین درجه‌بندی این مقدار وابسته به عوامل مختلف است. در سیستم درجه‌بندی ۱-۱۰ امتیاز، ماسه‌ها و شن‌ها معمولاً امتیاز ۱۰ را به خود اختصاص می‌دهند. رسوبات رسی دست‌نخورده و طبیعی با ضخامت (معمولاً بین ۳-۶ متر) و دارای گسترش فضایی مناسب امتیاز ۳ یا کم‌تر را دریافت می‌کنند.

• **ترکیب، گسترش فضایی و ضخامت واحدهای خاک در منطقه اشباع:** ترکیب، گسترش فضایی و ضخامت مواد آبخوان عوامل مهمی هستند به این دلیل که آن‌ها جهت و نرخ جریان آب‌های زیرزمینی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. اگر ضخامت منطقه اشباع ۲۳ متر بوده و مواد از ماسه تشکیل شده باشند، مقدار مخاطره آن بیش از ضخامت یک متری سیلت است. گسترش فضایی و ضخامت آبخوان باید برای برآورد این‌که آیا آبخوان‌های متعددی وجود دارند و یا خیر و این‌که آیا این آبخوان‌ها از نظر هیدرولیکی به هم متصل هستند یا خیر نیز باید مورد توجه قرار گیرند. به‌عنوان مثال، با استفاده از مثال بالا اگر لایه یک متری اشباع از جنس سیلت به لایه ۲۳ متری ماسه اشباع متصل باشد می‌تواند برآوردهای مرتبط با ریسک را تغییر دهد.

- در یک محیط شهری، مناطق اشباع نزدیک سطح غالباً حاصل فعالیت‌های انسانی هستند. فعالیت‌های ساختمانی مانند راه‌سازی، فونداسیون ساختمان‌ها و تونل‌های مربوط به تأسیسات شهری از طریق مواد حفره‌دار پر می‌شوند و از این‌رو دارای خلل و فرج بیش‌تر از خاک‌ها و رسوبات طبیعی شده و در طی زمان، این مواد حفره‌دار از آب اشباع می‌کنند. بنابراین، فعالیت‌های مطالعاتی باید به دقت جزئیات مربوط به طبیعت مواد را بررسی کنند تا تأثیر فعالیت‌های بشری در آب‌شناسی منطقه تحت نقشه‌برداری آسیب‌پذیری زمین‌شناسی مشخص شود.

• **درجه‌بندی:** این عامل مشابه درجه‌بندی ترکیب منطقه اشباع است (عامل شماره ۲). بنابراین در عمل، عوامل تعیین‌کننده امتیاز عبارتند از گسترش فضایی منطقه اشباع و این‌که آیا آبخوان از نظر هیدرولیکی با آبخوان دیگر یا آبخوان بزرگ‌تر در ارتباط است یا خیر. اگر منطقه اشباع بالا بوده و یا ناپیوسته و در نتیجه ایزوله باشد، امتیاز درجه‌بندی

یک خواهد بود. در این صورت، اگر ضخامت این منطقه ۲۳ متر بوده و درون سازند زمین‌شناسی قابل نقشه‌برداری قرار داشته باشد، این امتیاز می‌تواند ۱۰ باشد.

جدول ۷-۱. زمینه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی و سیستم درجه‌بندی (اقتباس از کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

Parameter Identification Number	Parameter Description	Rating Strength
1	<i>Depth to groundwater</i>	
	<3 m (10 ft) below the ground surface	10
	3–10 m (10–30 ft)	5
	>10 m	1
2	<i>Composition, areal extent, and thickness of soil units in the unsaturated zone</i>	
	Thick and extensive sequence of sand and gravel	10
	Interbedded sands and clay deposits	5
	Thick and extensive sequence of clay	1
3	<i>Composition, areal extent, and thickness of saturated zone</i>	
	Thick and extensive sequence of sand and gravel	10
	Interbedded sands and clay deposits	5
	Thick and extensive sequence of clay	1
4	<i>Occurrence and relative abundance of groundwater</i>	
	25% or less likelihood before encountering an confining layer	10
	25%–74% likelihood	5
	>75% likelihood	1
5	<i>Area of groundwater recharge</i>	
	Significant area of recharge	10
	Moderate area of recharge	5
	Not a significant area of recharge	1
6	<i>Areas of groundwater discharge</i>	
	Significant area of recharge	10
	Moderate area of recharge	5
	Not a significant area of recharge	1
7	<i>Travel time and distance to point of potential exposure</i>	
	<10 years	10
	10–25 years	5
	>25 years	1
8	<i>Source of potable water</i>	
	Current source of potable water	10
	Potential source of potable water	5
	Not a potential source of potable water	1

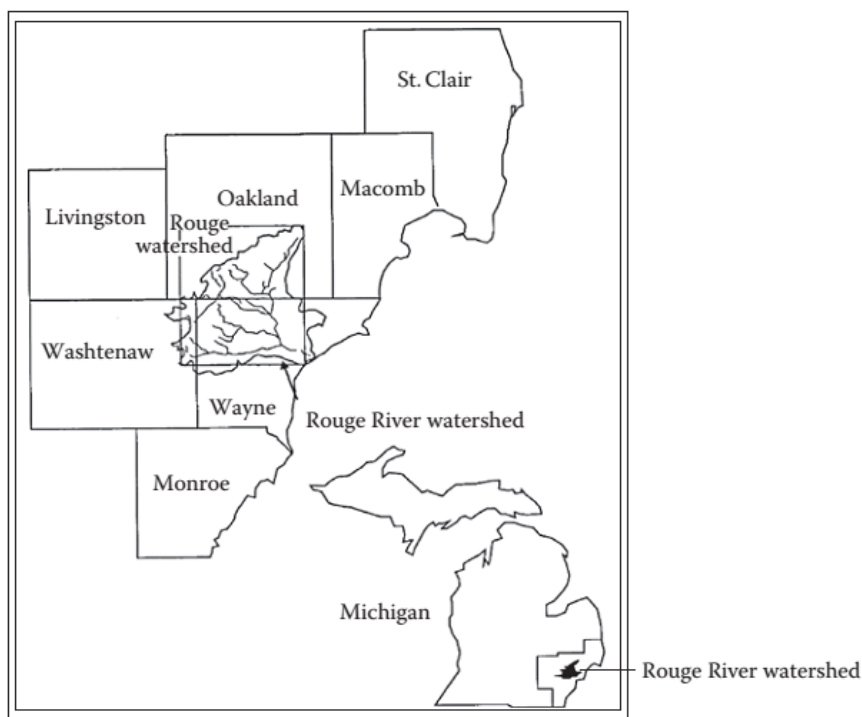
- **حضور و فراوانی نسبی آب‌های زیرزمینی:** این عامل مشابه عمق آب‌های زیرزمینی (عامل شماره ۱) است اما بر این مسئله متمرکز است که آیا آب‌های زیرزمینی در اعماق نسبتاً کم وجود دارند یا خیر و همچنین به مقدار کافی برای استفاده وجود دارند یا خیر. جنبه مهم این محاسبه آن است که می‌توان مشخص کرد که آیا قبل از رسیدن به لایه محدودکننده به آب‌های زیرزمینی برخورد کرده یا خیر. فراوانی آب‌های زیرزمینی وابسته به قدرت انتقال سازند است.
- در ارتباط با این عامل، بسته به نوع موادرسوبی درجه‌بندی بسیار متغیری وجود دارد. رسوبات گسترده شن و ماسه اشباع را در نظر گرفته شوند و این رسوبات می‌توانند قابلیت انتقال بسیار بالاتری داشته و بنابراین درجه آسیب‌پذیری آن‌ها هشت یا بیشتر است. در مقام مقایسه، به رسوبات گسترده رس سiltی اشباع (با قابلیت انتقال نسبتاً پایین) می‌توان درجه آسیب‌پذیری برابر با پنج یا کم‌تر را اختصاص داد.
- **منطقه تغذیه آب‌های زیرزمینی:** این عامل بر منبع آب‌های زیرزمینی متمرکز است. اگر منطقه مورد بررسی منبعی برای تغذیه آب‌های زیرزمینی باشد، آسیب‌پذیری آن بالاتر از منطقه‌ای است که به‌عنوان منبع مهم تغذیه محسوب نمی‌شوند.
- برای بررسی منابع انسانی تغذیه آب‌های زیرزمینی باید دقت ویژه‌ای کاربرد تأثیرات مهم انسانی شامل تصفیه سیلاب‌ها، نشت فاضلاب انسانی و نشت منابع آب شهری هستند. از تأثیرات انسانی دیگر می‌توان به حوضچه‌های تصفیه و تغییر مناطق تالابی اشاره کرد.
- **مناطق تخلیه آب‌های زیرزمینی:** این عامل مستلزم شناخت جریان آب‌های زیرزمینی در مقیاس‌های مختلف زمین‌شناسی شامل مناطق معین، مناطق متفرقه وسیع و کل تالاب‌ها است.
- مهاجرت و مناطق تخلیه نهایی آب‌های زیرزمینی شامل فهم ارتباط بین آب‌های زیرزمینی و سطحی و انجام برآورد احتمال اتصال بین سیستم‌های آبخوان مختلف و تخلیه به آبخوان‌های عمیق‌تر است. همچنین فهم زمین‌شناسی یک ناحیه و تأثیر احتمالی ناپوستگی‌های مرتبط با واحدهای رسوبی درون حوضه آبریز نیز حیاتی هستند.

- **زمان مسافرت و فاصله تا منطقه برونزد آب:** به‌طور کلی، هر چه زمان و مسافت برای وقوع آلودگی‌ها بیش‌تر باشد احتمال آسیب‌پذیری کم‌تر است. این مسئله در مورد اغلب آلاینده‌هایی که طبیعت آن‌ها را تصفیه کرده و مقدار آن‌ها را کاهش می‌دهد، صادق است.
- برآورد تأثیر انسان در این عامل نیز مهم است. به‌طور مثال، اگر آب‌های زیرزمینی به‌عنوان منبع آب آشامیدنی به‌کار رفته و از طریق چاه‌ها پمپاژ شوند، مقدار زمان حضور آلاینده‌ها در آبخوان می‌تواند بسیار کاهش یابد.
- **منبع آب آشامیدنی:** اگر آبخوان در زیر منطقه‌ای خاص به‌عنوان منبع آب آشامیدنی مورد استفاده قرار گیرد و یا به یک منبع دیگر آب آشامیدنی متصل باشد، میزان آسیب‌پذیری بیش‌تر می‌شود. برآورد این عامل باید مشتمل بر سایر استفاده‌های احتمالی در کنار آب آشامیدنی باشد.

۷-۳ مطالعه موردی تهیه نقشه منطقه حوضه آبریز روج‌ریور

- به‌دلیل تنوع خوب، منطقه حوضه آبریز روج‌ریور در جنوب‌شرق میشیگان می‌تواند برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی مناسب باشد (شکل ۷-۱). عوارض متعددی که این منطقه را برای مطالعه مناسب کرده‌است عبارتند از:
- این منطقه یک حوضه آبریز شهری است.
 - دارای زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی متغیر است.
 - الگوها و تراکم آبراهه‌ای متفاوتی دارد.
 - دارای تراکم جمعیتی بالایی است (حدود ۱/۵ میلیون نفر).
 - حوضه آبریز مذکور به‌طور گسترده مطالعه شده است.
 - داده‌های زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی آن فراوان است.
 - زباله‌های صنعتی آن دارای قدمت زیادی است.
 - تأثیرات زیست‌محیطی آن زیاد است.
 - دارای زمین‌شناسی مشابه با اکثر شهرهای آمریکا است.
- حوضه آبریز روج‌ریور دارای بیش از ۲۰۰ کیلومتر آبراهه، زیرشاخه، دریاچه و تالاب بوده و منطقه‌ای به وسعت ۱۲۰۰ کیلومتر مربع را دربرمی‌گیرد (مورای و راجرز،

(۱۹۹۹a). حوضه آبریز مخروط افکنه‌ای شامل تمام یا بخشی از مناطق ۴۷ گانه شهرداری در سه شهر منطقه است. بیش از ۶۶ درصد آبریز توسعه‌یافته است و در سال ۲۰۰۰ حدود ۹۹ درصد جمعیت این حوضه درون مناطق شهری زندگی می‌کردند و به این دلیل پرجمعیت‌ترین حوضه آبریز در شرق ایالات متحده به حساب می‌آید (کاوومن و همکاران، ۲۰۰۳).



شکل ۷-۱. حوضه آبریز روج‌ریور.

زمین‌شناسی نزدیک سطح زمین حوضه عمدتاً شامل رسوبات یخچالی، رسوبات دریاچه یخچالی و رسوبات رودخانه‌ای روج‌ریور است. رسوبات یخچالی عموماً بیش‌تر از ۶۱ متر ضخامت، رسوبات دریاچه یخچالی به‌ندرت تا بیش از نه متر ضخامت و رسوبات رودخانه‌ای معمولاً کم‌تر از سه متر ضخامت دارند (فرند، ۱۹۸۲؛ ۱۹۸۸؛ راجرز، ۱۹۹۶؛ ۱۹۹۷c). واحدهای زمین‌شناسی مشخص و نقشه‌برداری شده حوضه آبریز روج‌ریور عبارتند از:

- چهار واحد متفاوت یخرفتی^۱ شامل یخرفت فورت وین، یخرفت دفاینس درونی، یخرفت دفاینس بیرونی و یخرفت بیرمنگام.
 - رسوبات بیرون شسته یخچالی.
 - رسوبات متعدد ساحلی مرکب از ماسه دریاچه قدیمی.
 - رسوبات سیلت و رس از دریاچه قدیمی یخچالی.
 - رسوبات رودخانه‌ای جدید از رودخانه روج‌ریور.
 - یخرفت خاکی یا یخرفت پایه مرکب از رس زیر کل آبریز و زیر واحدهای ذکر شده در بالا.
 - رسوب ماسه و شن در زیر یخرفت خاکی در بخش مرکزی آبریز. این عارضه نشانگر رسوب رودخانه‌ای یک رودخانه بزرگ است که قبل از آخرین پیشروی یخچال در حدود ۲۲۰۰۰ سال پیش وجود داشته است.
 - سنگ بستر مرکب از شیل، سنگ آهک و ماسه‌سنگ با سن پالئوزوئیک که در زیر واحدهای سست قرار دارد.
- نقشه زمین‌شناسی و ستون چینه‌شناسی آبریز به‌ترتیب در شکل‌های ۶-۲۰ و ۶-۲۱ نشان داده شده است. نقشه زمین‌شناسی آبریز روج‌ریور حاوی اطلاعاتی بیش از ۳۰۰۰ مطالعه زیست‌محیطی است که درون حوضه و یا در مجاورت آن صورت گرفته است. تهیه این نقشه همچنین بر پایه اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع متعدد قدیمی صورت گرفته است.
- تأثیرات انسانی در حوضه آبریز روج‌ریور متعدد و مهم بوده و آب‌های زیرزمینی و سطحی درون آبریز به‌شدت تحلیل رفته‌اند. در بررسی‌های اخیر، حوضه مورد بحث جزو یکی از آلوده‌ترین مکان‌های میشیگان برآورد شده است (دپارتمان مطالعات کیفیت محیط‌زیست میشیگان^۲، ۲۰۰۸). حوضه آبریز همچنین تحت مطالعات شدید علمی و بازایی قرار دارد. این منطقه به‌عنوان منطقه تحت‌نظر شناخته شده (هارتینگ و زارول، ۱۹۹۱) و به‌عنوان منبع مهم آلودگی گریت لیک سفلی ذکر شده است (مورای و بونا، ۱۹۹۳). رسوبات روج‌ریور حضور مقدار زیادی فلزات سنگین و بی‌فیل‌های پلی‌کلروئیدی (PCBs) را در خود نشان داده است (دپارتمان منابع طبیعی میشیگان^۳، ۱۹۸۸؛ مورای، ۱۹۹۶؛ مورای و همکاران، ۱۹۹۹).

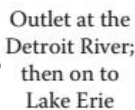
1. Moraine

2. Michigan Department of Environmental Quality

3. Michigan Department of Natural Resources

آب‌های زیرزمینی کم‌عمق راجع به صورت آب‌های سطحی تخلیه شده و عامل بسیاری از جریان‌ها هستند (راجرز و مورای، ۱۹۹۷). مقادیر متوسط بارش سالیانه و زمین‌شناسی آبریز، این الگوی جریان پایه را ایجاد کرده است. از نظر آب و هوا، آبریز روج در منطقه مرطوب غرب میانه ایالات متحده قرار گرفته است و این بدان معنی است که راجع به راجع به آب‌های زیرزمینی وارد شده به صورت جریان پایه را تغذیه می‌کند. با توجه به زمین‌شناسی این منطقه، واحد رس‌زیرین (یخرفت خاکی) که به طور کامل در زیر آبریز قرار دارد، بسیار ضخیم است (از ۵۵-۹ متر)، فاقد نشانه‌هایی از ناپیوستگی‌ها یا عوارضی که نشانگر تخلخل ثانویه مهم باشد (مانند شکستگی‌های عمودی) و دارای قابلیت انتقال هیدرولیکی بسیار پایین (کم‌تر از 1×10^{-8} cm/s) است. بنابراین واحد رس‌زیرین، لایه محدودکننده بسیار مؤثری است و این نوع سازندها متداول نیستند. اغلب مناطق دیگر آمریکای شمالی در خلال پلیستوسن یخچالی بوده و دارای یخرفت‌های خاکی و قابلیت هدایت کمی است (کلر و همکاران، ۱۹۸۹). این مسئله یافته مهمی است به این دلیل که هر آلودگی که تحلیل نرفته و به آب‌های زیرزمینی وارد شود در نهایت به آب‌های سطحی روج ریور خواهد رسید. به این دلیل آلودگی‌ها در نهایت به گریت لیک پایینی خواهند ریخت (راجرز و مورای، ۱۹۹۷؛ راجرز، ۱۹۹۷a). شکل ۷-۲ این روند تخلیه را براساس الگوهای جریان آبریز آب‌های سطحی و زیرزمینی نشان می‌دهد.

با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی، آب‌زمین‌شناسی و تأثیرات انسانی، زمینه آسیب‌پذیری مورد بررسی قرار گرفته و در جدول ۷-۲ ارائه شده است (تغییر یافته از مورای و راجرز، ۱۹۹۹b؛ راجرز و مورای، ۲۰۰۲). واحدهای زمین‌شناسی دارای بالاترین آسیب‌پذیری (در ستون امتیاز کل مشخص هستند) واحدهایی شسته شده، رسوبات رودخانه‌ای جدید مرتبط با خود رودخانه راجع به راجع به واحد ماسه‌ای ساحل دریاچه یخچالی هستند (جدول ۷-۲). واحدهای زمین‌شناسی دارای کم‌ترین خطر نیز واحد رس ماسه‌ای، واحد رس سیلتی و یک واحد رس بالایی است که همگی مرتبط با رسوبات دریاچه یخچالی هستند.



(مورای و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۷-۲. درجه بندی آسیب پذیری روجریور (اقتباس از کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

[illegible]

واحدهای شسته شده، رودخانه‌ای جدید و ماسه‌ای به‌عنوان پرمخاطره‌ترین و آسیب‌پذیرترین واحدهای زمین‌شناسی در حوضه آبریز شناخته شده‌اند به این دلیل که عموماً دارای رسوبات درشت‌دانه در ترکیب خود بوده و حاوی مقادیر زیادی آب است و همچنین عامل اصلی جریان پایه آب‌های سطحی در روج‌ریور هستند. چهار واحد یخرفتی آسیب‌پذیری متوسط دارند زیرا حاوی رسوبات ریزتری بوده و مقادیر آب‌های زیرزمینی در آن‌ها کم‌تر است. همچنین این واحدها در تغذیه آب‌های زیرزمینی یا تخلیه آب‌های سطحی به‌شدت واحدهای شسته شده، رودخانه‌ای جدید و ماسه‌ای نقش ندارند.

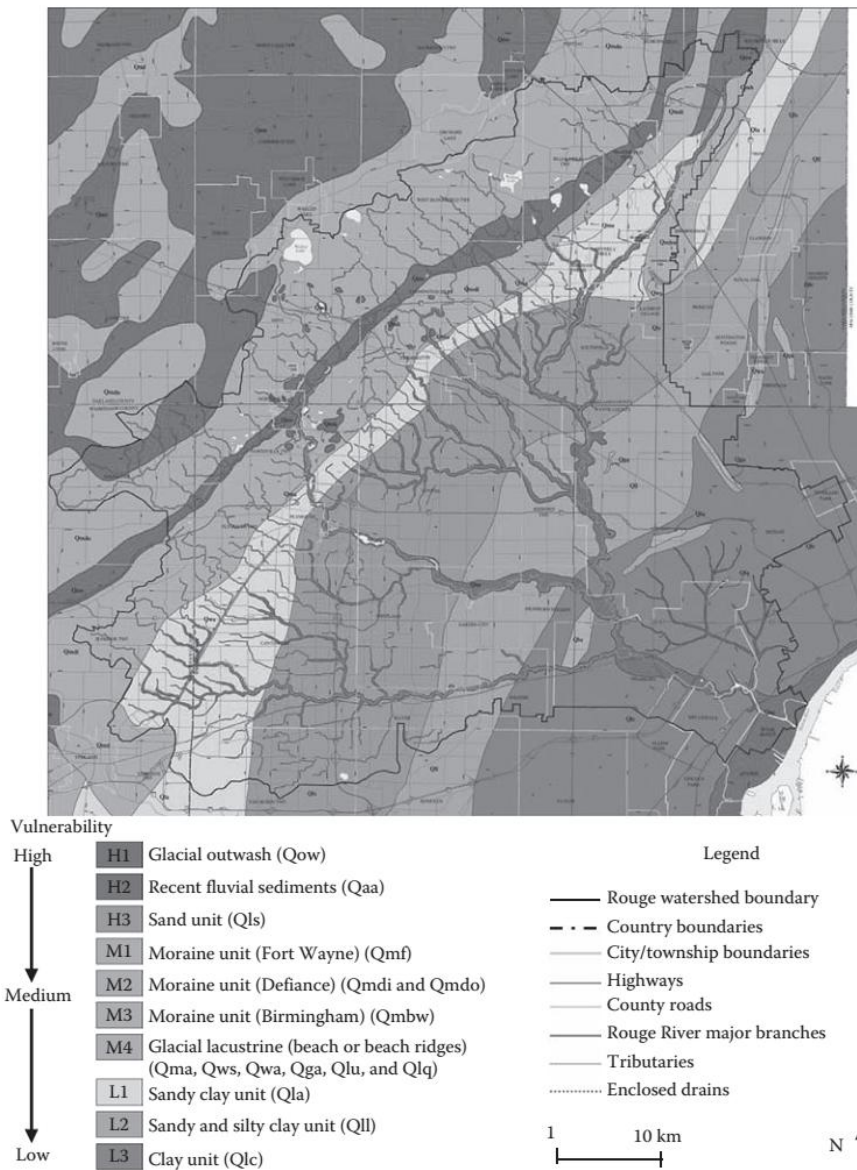
و درنهایت واحدهایی با آسیب‌پذیری کم عبارتند از واحد رس ماسه‌ای، واحد رس ماسه‌ای و سیلتی، واحد رس بالایی و واحد رس پایینی. این واحدهای زمین‌شناسی معمولاً فاقد آب‌زیرزمینی فراوان بوده و بسیار ریزدانه هستند که معمولاً مانع مهاجرت آب‌های جاری از درون خود می‌شوند.

با استفاده از نقشه زمین‌شناسی سطحی حوضه آبریز روج‌ریور (راجرز و همکاران، ۱۹۹۷b) به‌عنوان نقشه پایه و همچنین اطلاعات مرتبط با جدول ۷-۲، می‌توان شکل ۷-۳ را به‌عنوان نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی برای حوضه یاد شده می‌توان تهیه کرد (راجرز، ۱۹۹۷c).

۷-۴ نمایش اهمیت تهیه نقشه آسیب‌پذیری

همان‌طور که فوستر و همکاران (۱۹۹۳) و لوج و همکاران (۱۹۹۸) ذکر کرده‌اند اهمیت آسیب‌پذیری زمین‌شناسی تا وقتی که از دیدگاه زیست‌محیطی، اقتصادی یا سیاسی به پالایش آلودگی‌های محیط شهری نگریسته نشود، مشخص نخواهد شد. بنابراین، برای برآورد اهمیت واحدهای زمین‌شناسی در زمینه آسیب‌پذیری در مقابل آلودگی، مقایسه‌ای بین مکان‌های مختلفی که در مناطق پرخطر و کم‌خطر زمین‌شناسی قرار دارند، باید صورت گیرد. اگر نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی معتبر و درست باشد باید مؤید این مسئله باشد که مکان‌های قرارگرفته در مناطق پرخطر احتمال آلودگی بیش‌تری نسبت به مناطقی دارند که در نقاط کم‌خطرتر زمین‌شناسی قرار گرفته‌اند.

برای این آنالیز، یک منطقه دارای آسیب‌پذیری زمین‌شناسی پایین که در محیط زمین‌شناسی عمدتاً رسی قرار دارد (سایت یک) و منطقه‌ای که در محیط زمین‌شناسی ماسه‌ای که دارای آسیب‌پذیری زمین‌شناسی بالایی است (سایت دو) با یکدیگر مقایسه



شکل ۷-۳. نقشه آسیب‌پذیری حوضه آبریز روج‌ریور (راجرز، ۱۹۹۶).

شده‌اند. هر دو نقطه در آبریز روج‌ریور قرار داشته و فقط ۱۱ کیلومتر از هم فاصله دارند. بنابراین سایت یک:

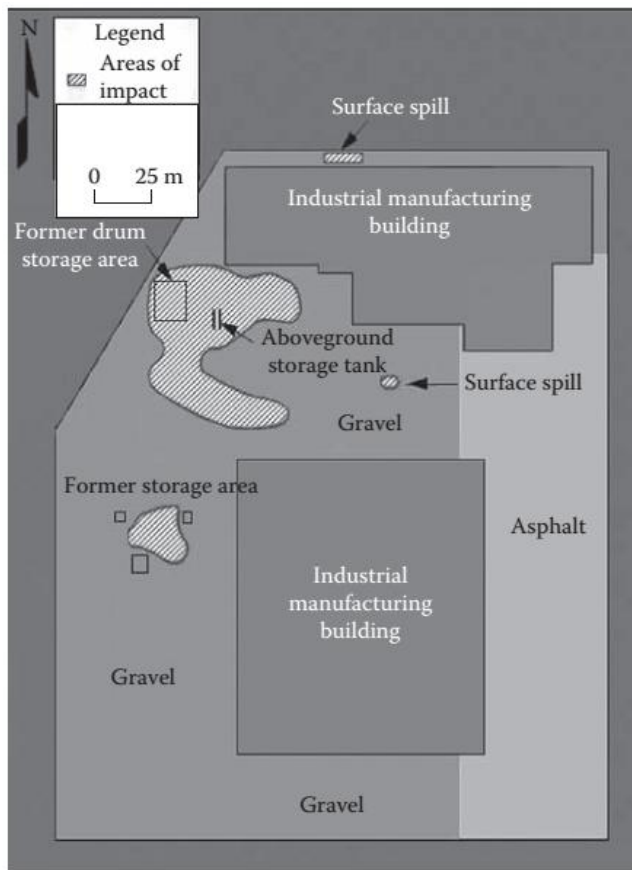
- بسیار بزرگ‌تر از سایت دو است (تقریباً دو برابر).

- دارای تاریخچه فعالیت‌های صنعتی سنگین است.
 - دارای آلودگی و انواع آلاینده‌ها است (۱۰ برابر از نظر وزن و سه برابر از نظر نوع) که در محیط رها شده‌اند.
- بدون توجه به زمین‌شناسی هر سایت، منطقی است که فرض شود مخاطرات محیطی در سایت یک بالاتر بوده و هزینه‌های پالایش آن با توجه با قدمت آلودگی باید بالاتر باشد. نقشه‌های آسیب‌پذیری می‌تواند این هزینه‌ها را برآورد کند.

۷-۴-۱ سایت با آسیب‌پذیری کم

- سایت یک که دارای کارخانجات سنگین قدیمی بوده‌است در منطقه‌ای تقریباً ۱۶ هکتاری قرار داشته و حدود ۷۰ سال محل این کارخانجات بوده است. فاز یک بررسی‌های زیست‌محیطی از طریق مؤسسات علمی صورت گرفته است. این مرحله از مطالعات شش نوع از شرایط زیست‌محیطی را مشخص کرده است.
- در خلال مرحله بعدی مطالعات (فاز دو)، مطالعات زیرسطحی متعددی در منطقه انجام شده و مشخص شده که چهار منبع اصلی آلاینده نیازمند تصفیه و پالایش هستند. این منابع که به صورت مناطق آسیب‌دیده در شکل ۷-۴ نشان داده شده‌اند عبارتند از:
- زباله‌های سطحی.
 - یک مخزن هوایی
 - نشت و ریزش مایعات خطرناک که در مناطق غربی منطقه نگهداری می‌شوند.
 - سایر منابع آلاینده در خلال مرحله برآورد منطقه شناسایی شده‌اند اما مقدار آلاینده‌گی آن‌ها زیاد نبوده و نیاز به اقدامات بعدی نداشته‌اند.
- شش نوع شرایط زیست‌محیطی شناخته شده در مطالعات فاز یک عبارتند از:
- انبارهای شیمیایی قدیمی: شواهد لکه‌های سطح زمین بیانگر آن است که برخی نشت‌های مایعات در زمین‌های بایر مجاور دو انبار قدیمی وجود داشته است و هیچ لکه‌ای در نزدیکی انبارهای فعلی مشاهده نشده است.
 - انبارهای فعلی: این انبارها درون ساختمان‌های اصلی کارخانجات (ساختمان شمالی) قرار دارند. کف‌سازی سیمانی به شدت ترک برداشته و مسیر مناسبی برای نشت آلاینده‌ها به زمین زیر ساختمان فراهم کرده است.

- مخزن هوایی قدیمی گازوئیل: مقدار کمی لکه در مناطق عمومی اطراف مخزن مشاهده شده است.
- لکه‌های خاک سطحی و فضای سبز تحت فشار: این شرایط در نزدیکی درب عقب کارخانه و مجاور منطقه‌ای درون ساختمان که در آن فعالیت‌های مرتبط با مایعات حلال غیرآبی چگال^۱ صورت گرفته مشاهده شده است.
- خاک لکه‌دار و فضای سبز تحت فشار و مشکل‌دار در زمین بایری که کالای کارخانه در آن‌جا تحویل داده و مواد اولیه شامل مایعات تخلیه شده مشاهده می‌شود.



شکل ۷-۴. نقشه عمومی سایت یک که در منطقه کم‌خطر قرار دارد.

مراحل اولیه مطالعاتی فاز دو شامل حفر ۱۵ چاهک در مناطقی با بیش‌ترین آلايش بوده است. در نتیجه این فرایند موارد زیر انجام گرفته است:

- تعیین ویژگی‌های زمین‌شناسی زیرسطحی منطقه.
- تشخیص آلاینده‌هایی که مظنون به رهاسدن در محیط بوده‌اند.
- تعیین مقدار بزرگی آلايش موجود از طریق جمع‌آوری و آنالیز بدترین نمونه‌ها از هر نقطه مظنون به آلودگی.

نتایج حضور آلايش در پنج نقطه از شش شرایط زیست‌محیطی تعیین شده در فاز یک مطالعات زیست‌محیطی، تأیید شده‌است. این ترکیبات مشخص شده دارای غلظت بالا بوده و بنابراین نیازمند بررسی بیش‌تر هستند. منطقه‌ای که انبار فعلی در آن قرار دارد از لیست مناطق مورد توجه حذف شد، به این دلیل که آلايش نتوانست از طریق حفر سه چاهک در خاک مناطقی که آلودگی‌ها در آن‌ها بسیار مشاهده شده‌بود و همچنین آنالیز شش نمونه خاک، تعیین و تأیید شود.

سه فاز مطالعاتی دیگر نیز جهت تعیین طبیعت و گسترش آلايش صورت گرفت. در خلال فازهای اخیر، ۴۰ چاهک دیگر از خاک‌ها حفر و شش چاه پایشی^۱ جهت برآورد وجود مقدار آب‌های زیرزمینی و تعیین جهت جریان آن‌ها تعبیه شد. در بسیاری از چاهک‌های حفر شده در خاک بیش از دو نمونه آنالیز شد تا مقدار گسترش عمقی نیز بررسی شود. بیش‌ترین عمق حفر شده ۴/۶ متر زیر سطح منطقه آلوده بوده‌است در صورتی که گسترش آلودگی بیش‌تر از عمق ۱/۵ متر نیست. چاه‌های پایشی بیانگر آن است که رطوبت خاک‌های مرطوب در مکان‌هایی درون لایه‌های بسیار نازک سیلت وجود دارند. این لایه‌های سیلتی فقط چند میلی‌متر ضخامت داشته و در نمونه‌های خاک‌های جمع‌آوری شده از برخی چاهک‌های حفر شده در خلال فعالیت‌های مطالعاتی نیز دیده شده‌اند. پس از آن‌که چاه‌های پایشی قادر به تشخیص رسوخ آب‌های زیرزمینی نشوند در آن صورت ابزارآلات از درون آن‌ها خارج و چاهک توسط دوغاب رس‌بنتونیتی پر می‌شود.

تعیین ویژگی‌های زمین‌شناسی سایت از طریق حفر چاهک در عمق ۱۲ متری در یک منطقه غیرآلوده صورت گرفته است. به‌طور کلی، در زیر سایت رسوب رسی دریاچه یخچالی به سن پلیستوسن قرار دارد که منطقه را در بیش از ۱۲۰۰۰ سال پیش

درب‌گرفته است. اسناد قدیمی زمین‌شناسی منطقه بیانگر رسوب یخ‌رفتگی وسیعی است که تا عمق تقریبی ۵۵ متری زیر سطح زمین سایت مورد مطالعه گسترش دارد. سایر اطلاعات فنی و زمین‌شناسی مرتبط با سایت عبارتند از:

- مجرای فاضلاب که در فواصل بسیار نزدیک قرار دارند با هیچ نوع آلودگی در تماس نبوده‌اند.
- زهکشی آب‌های سطحی از طریق مجاری فاضلاب کنترل می‌شود.
- هیچ تأسیسات زیرزمینی در مناطق آلوده قرار ندارد.
- آب قابل حمل از طریق شهرداری تأمین و منابع آب بیش از ۱۶ کیلومتر از سایت فاصله دارد.
- آلاینده‌ها به فراتر از منطقه گسترش نیافته است.

انواع آلاینده‌های تشخیص داده شده در کارخانه عبارتند از:

- ترکیبات آلی فرار^۱ شامل:
 - مایعات حلال غیرآبی سنگین یا چگال (DNAPLs) که معمولاً به حلال‌های کلرینیته جهت پاک‌کردن گریس و سطوح فلزی، نسبت داده می‌شوند.
 - مایعات حلال غیرآبی سبک^۲ (LNAPLs) که به‌عنوان حلال، تینرهای نقاشی و محصولات پاک‌کننده استفاده شده و متشکله متداول سوخت‌هایی مانند گازوئیل هستند.
- هیدروکربنات‌های حلقوی چند هسته‌ای^۳ که عمدتاً به‌عنوان نرم‌کننده و روان‌کننده، روغن موتور و سیالات برشی استفاده می‌شوند.
- PCBs که در ابزارآلات الکتریکی کاربرد دارد.
- فلزات سنگین (آرسنیک، کروم و سرب) که در رنگ‌ها و رنگدانه‌ها، باتری‌ها و آبکاری فلزات به‌کار می‌روند.

لیستی از ترکیبات خاص شیمیایی، بیش‌ترین غلظت تعیین شده آن‌ها و مقدار محاسبه شده قابل بازیافت آلاینده‌ها در جدول ۷-۳ ارائه شده است.

حفر خاک و دفن خاک‌های آلوده در یک مکان مورد تأیید روش بازیابی است که برای آلودگی در این سایت انتخاب شده است. دلیل انتخاب این روش آن است که

1. Volatile Organic Compounds (VOCs)

2. Light Nonaqueous Phase Liquids (LNAPLs)

3. Polynuclear aromatic hydrocarbons (PNAs or PAHs)

مناطق آلوده دارای عمقی کم‌تر از ۱/۵ متر بوده و در زیر ساختمان‌ها قرار ندارند؛ این روش به سرعت می‌تواند انجام شود بدون این‌که در کار روزمره کارخانه خللی ایجاد شود و هزینه انجام این روش مناسب است.

تقریباً ۵۴۰۰ مترمکعب (معادل ۱۰۰۰۰ تن) خاک حفر و به مکان‌های دفن حمل شد. کل هزینه بررسی و بازیابی حدود ۴۰۰ هزار دلار آمریکا شد. به عبارت دیگر به ازای هر کیلوگرم آلودگی مبلغ ۳۶۲ دلار جهت بازیابی آن هزینه شد.

جدول ۷-۳. انواع آلاینده‌ها، غلظت و مقدار بازیابی شده برای سایت یک (اقتباس از کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

Contaminant	Maximum Concentration (µg/kg) ^a	Estimated Contaminant Mass Remediated kg/(lb)
VOCs		91/(200)
DNAPL compounds		
Tetrachloroethene	60,100	
Trichloroethene	45,000	
Cis-1,2-dichloroethene	20,000	
Trans-1,2-dichloroethene	3,000	
Methylene chloride	800	
LNAPL compounds		
Ethyl benzene	10,000	
Xylenes	10,000	
Acetone	280	
Carbon disulfide	200	
PNAs		113/(250)
Naphthalene	339,000	
Acenaphthalene	18,000	
Fluorene	22,000	
Phenanthrene	280,000	
Fluoranthene	156,000	
Pyrene	13,000	
Benzo[a]anthracene	4,800	
Benzo[a]pyrene	3,200	
Dibenzo[a,h]anthracene	1,800	
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	1,400	
Chrysene	11,000	
PCBs	16,000	2.2/(5)
Heavy metals		23/(50)
Arsenic	23,000	
Chromium	530,000	
Lead	930,000	

^a µg/kg = micrograms per kilogram.

پس از بازیابی مورد تأیید مراجع مربوطه پایان کار اعلام شده و جمله «نیازی به اقدام دیگری نیست»^۱ برای این سایت در نظر گرفته شد، بنابراین این سایت برای کاربری سکونت آماده است. ۱۸ ماه طول کشید تا فاز یک مطالعات به پایان برسد.

۷-۴-۲ سایت با آسیب‌پذیری بالا

سایت دو به مدت ۳۰ سال محل کارخانه‌های سنگین با وسعت حدود هشت هکتار است. شکل ۷-۵ نقشه این سایت را نشان می‌دهد. فاز یک مطالعات زیست‌محیطی چهار شرایط زیست‌محیطی را در این سایت مشخص کرده است:

- **دو انبار قدیمی نگهداری مواد شیمیایی:** شواهد لکه‌های سطحی بیانگر برخی نشت‌های مایعات در یکی از انبارهای واقع در زمین بایر مجاور انبار رنگ‌های باطله است. انبار نگهداری مواد باطله دیگری نیز در سنگفرش آسفالتی لکه‌دار که به شدت ترک خورده و شکسته شده است، قرار دارد.

- **مخزن قدیمی زیرزمینی:** این مخزن زیرزمینی زمانی گازوئیل را نگهداری می‌کرد و به عنوان یک منطقه با شرایط زیست‌محیطی خاص مشخص شده است به این دلیل که در خلال جابه‌جایی:

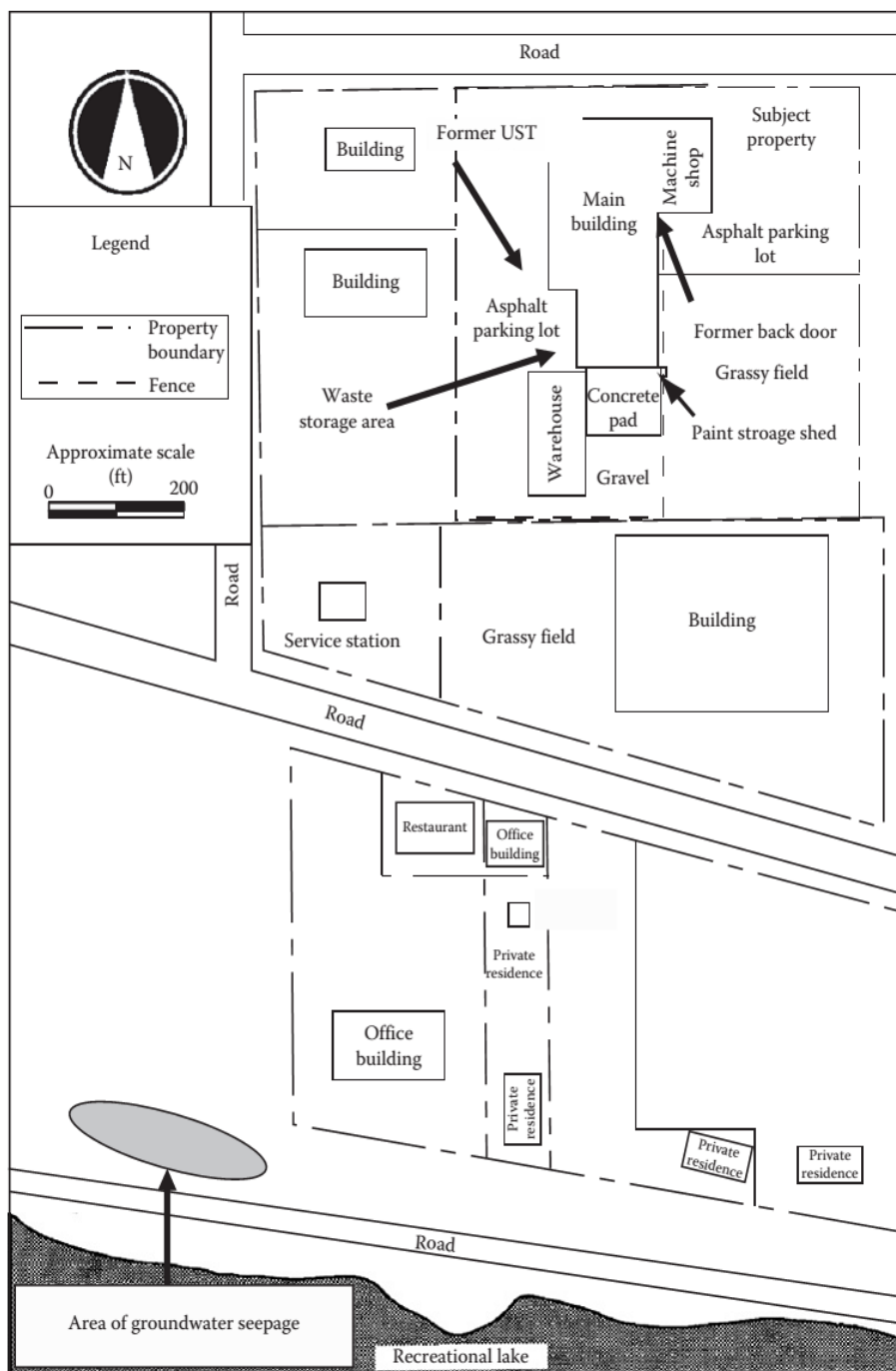
- توسط فردی حرفه‌ای مورد بررسی قرار نگرفته است.
- نمونه خاک‌های تکمیلی از منطقه برداشت و آنالیز نشده است تا عدم نشت مخزن را تأیید کند.

- **سطوح لکه‌دار:** سطوح لکه‌دار و فضای سبز تحت فشار در مجاورت محل قبلی در عقبی نزدیک مکان استفاده شده در حلال‌های درون ساختمان کارخانه، مشاهده شده و این نقطه با نام ساختمان اصلی^۲ در نقشه مشخص شده است.

مطالعات متعدد زیرسطحی فاز دو در کارخانه چهار منبع اصلی آلودگی حاصل از نشت آلاینده‌ها را مشخص کرده که نیازمند تصفیه و بازیابی هستند. این منابع آلاینده‌گی شامل چهار منطقه‌ای است که آثار زباله‌های آن‌ها ثبت شده است. سایر منابع در خلال بررسی سایت معین شده‌اند اما شدت آن‌ها به حدی نبوده است که نیازمند مطالعات بیش‌تر باشد.

1. No Further Action Required

2. Main Building



شکل ۵-۷. نقشه سایت دو در منطقه با آسیب پذیری بالا (راجرز، ۱۹۹۲).

مطالعات زیرسطحی اولیه شامل حفر ۱۲ چاهک در خاک مناطقی با بالاترین درجه آلودگی احتمالی است. این عملیات با همان اهداف مشابه سایت یک صورت گرفت، یعنی تعیین ویژگی‌های زمین‌شناسی، تعیین آلاینده‌ها و آنالیز نامناسب‌ترین نمونه‌ها. نتایج مؤید وجود آلاینده‌ها در سه منطقه از چهار منطقه زیست‌محیطی است که در مطالعات فاز یک تعیین شده است. غلظت آلاینده‌ها در خاک نزدیک سطح به اندازه‌ای بود که نیازمند توجه بیش‌تر باشد. یکی از نقاطی که جهت مطالعات بیش‌تر مورد توجه قرار نگرفته بود در مجاورت مخزن زیرزمینی قرار داشت. چهار چاهک خاک در محل این مخزن حفر شد و آنالیز نمونه‌های خاک آن‌ها که از زیر مخزن گرفته شده بود وجود آلودگی را تأیید نکرد.

آب‌های زیرزمینی در خلال مطالعات در عمق ۳-۳/۷ متری زیر سطح زمین مشاهده شد. چاه‌های موقتی پایش در نقاط منتخب نصب شد تا حضور احتمالی آلودگی‌ها در آب‌های زیرزمینی برآورد شده و جهت جریان آن‌ها محاسبه شود. نتایج آنالیز نشانگر آن است که حضور آلودگی در آب‌های زیرزمینی احتمالاً حاصل منابع درون سایت است. این امر از طریق وجود آلودگی‌های متعدد بالا تأیید می‌شود. آلودگی‌های مشابه در خاک‌های غیراشباع یا آب‌های زیرزمینی نزدیک سطح در مناطق دارای شرایط زیست‌محیطی خاص، مشاهده نشد.

شش فاز دیگر مطالعاتی جهت تعیین طبیعت و گسترش آلودگی‌ها صورت گرفت. در خلال این فازها، مجموعاً ۱۳۲ چاهک اضافی در خاک حفر شده و در هر چاهک نمونه‌های متعددی آنالیز شد تا در تعیین گسترش عمقی آلودگی‌ها به‌کار گرفته شوند. در حدود ۸۰ چاه پایشی نیز به‌منظور تعیین طبیعت و گسترش تأثیرات بر روی آب‌های زیرزمینی تعبیه شد.

زمین‌شناسی عمومی سایت بلافاصله زیر سطح شامل رسوب ماسه‌ای است که حاصل دریاچه یخچالی پلیستوسن که ۱۲۰۰۰ سال پیش در منطقه حاکم بوده است. زمین‌شناسی ویژه زیر سایت مورد نظر شامل ماسه از سطح تا عمق ۷/۹-۹/۸ متری است. در زیر این رسوب ماسه‌ای سواحل دریاچه یخچالی یک یخرفت خاکی که تا عمق حداقل ۲۷ متر دارد، دیده می‌شود. نوشته‌های قدیمی زمین‌شناسی منطقه بیانگر آن است که رسوب یخرفت خاکی تا عمق ۶۰ متری زیر سطح زمین منطقه گسترش دارد. در خلال مطالعات، چاه‌های متعدد پایشی در همان منطقه اما در اعماق مختلف منطقه اشباع نصب شد تا گسترش عمقی آلاینده‌ها در آبخوان مورد بررسی قرار گیرد. نمونه‌های

مختلف رسوب یخرفت زیر آبخوان نیز به‌منظور بررسی حضور آلاینده‌ها و برخی پارامترهای هیدرولیکی (مانند قابلیت رسانایی هیدرولیکی و اندازه دانه‌ها) صورت گرفت تا چگونگی تأثیر رسوب یخرفتی خاکی به‌عنوان لایه نگهدارنده برآوردشده و نقش آن در جلوگیری از نفوذ آلاینده‌ها به آبخوان‌های عمیق‌تر مشخص شود. علاوه بر این، سه چاهک عمیق در عمق ۲۳ متری در خاک منطقه‌ای از سایت که متأثر از آلودگی‌ها نبوده‌است، حفر شد تا گسترش افقی و ضخامت رسوب یخرفتی خاکی مورد بازبینی قرار گیرد.

سایر اطلاعات زمین‌شناسی و فنی مرتبط با آنالیز سایت به شرح زیر است:

- مجرای فاضلاب که در فواصل بسیار نزدیک قرار دارند با هیچ نوع آلودگی در تماس نبوده‌اند.

- زهکشی آب‌های سطحی از طریق مجاری فاضلاب کنترل می‌شود.

- تأسیسات زیرزمینی در مناطق آلوده قرار ندارد.

- آب قابل حمل از طریق شهرداری تأمین و منابع آب بیش از ۲۴ کیلومتر از سایت فاصله دارند. با این وجود، برخی ساکنین از آب‌های زیرزمینی درون استفاده شده به‌منظور آبیاری فضای سبز، استفاده می‌کنند.

- آلاینده‌ها به فراتر از منطقه و در حدود ۳۶۵ متر گسترش یافته‌است.

الگوی جریان آب‌های زیرزمینی در سایت پیچیده است. این سایت در منطقه‌ای بر روی آب‌های زیرزمینی قرار دارد که این آب‌ها در آن منطقه تقسیم شده و به‌سمت شرق و کمی به‌سمت شمال محدوده جریان پیدا می‌کنند اما در بخش جنوبی محدوده این جریان به‌سمت جنوب‌شرق است.

شکل ۶-۷ الگوی جریان آب‌های زیرزمینی درون سایت را نشان می‌دهد. انواع آلاینده‌های تعیین شده عبارتند از:

- VOCs که شامل:

- DNAPLs که معمولاً به‌عنوان حلال‌های کلرینیتری مورد استفاده در گریس‌زدایی و پاک‌کردن سطوح به‌کار برده می‌شوند.

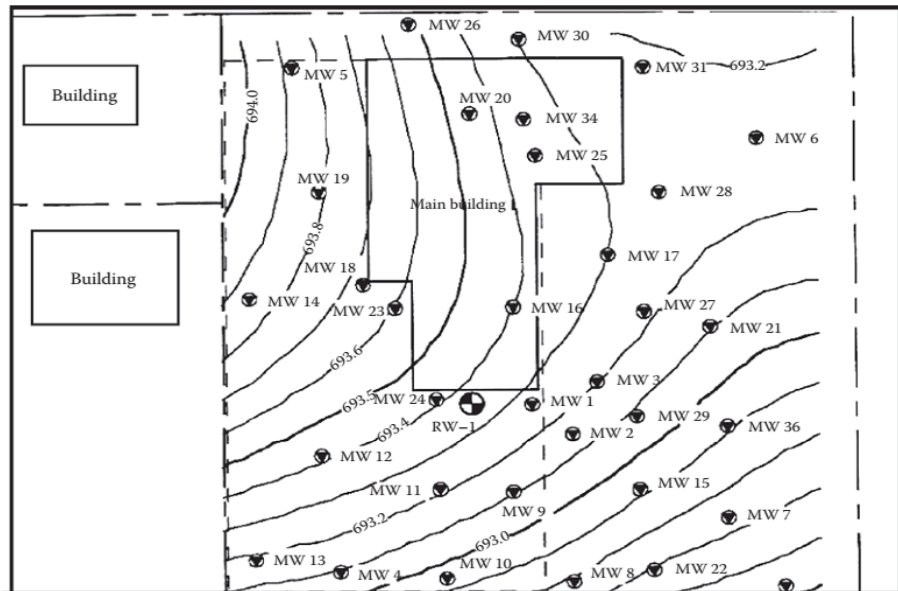
- LNAPLs که به‌عنوان حلال، تینرهای نقاشی و محصولات پاک‌کننده استفاده شده و متشکله متداول سوخت‌هایی مانند گازوئیل هستند.

- PCBs که در ابزارآلات الکتریکی کاربرد دارد.

- ترکیبات خاص شیمیایی، بیش‌ترین غلظت تعیین شده آن‌ها و مقدار محاسبه شده قابل بازیافت در جدول ۷-۴ ارائه شده است. خاک‌های بسیار نفوذپذیر و عمق کم‌آب‌های زیرزمینی (آسیب‌پذیری زمین‌شناسی) موجب شده تا VOCs به‌سرعت تراوش کرده و به درون این آب‌ها نفوذ کند.

علاوه براین، سرعت بالای تراوش آب‌های زیرزمینی موجب گسترش یک زبانه از VOC به وسعت یک سوم مایل به‌سمت چشمه پایین دست شده و در نهایت به درون دریاچه تفریحی و روج‌ریور تخلیه می‌شود. نقشه شکل ۷-۷ گسترش VOCs را در آب‌های زیرزمینی و مکان چشمه پایین‌دست نشان می‌دهد.

PCBs در آب‌های زیرزمینی یافت نشد. بنابراین، حفر و دفن خاک‌های آلوده به این آلاینده‌ها در محل مورد تأیید به‌عنوان روش مناسب جهت دفع آلودگی و بازیافت محیط انتخاب شد به این دلیل که عمق آرایش این خاک‌ها کم‌تر از یک متر بوده‌است و این خاک‌ها در زیر هیچ ساختمانی قرار نداشته و بنابراین اجازه می‌دهد به‌سرعت کار انجام شود بدون این‌که خللی در فعالیت‌های روزمره کارخانه ایجاد کند و در ضمن این روش کم‌ترین هزینه را نیز تحمیل می‌کند.



شکل ۷-۶. الگوی جریان آب در سایت دو.

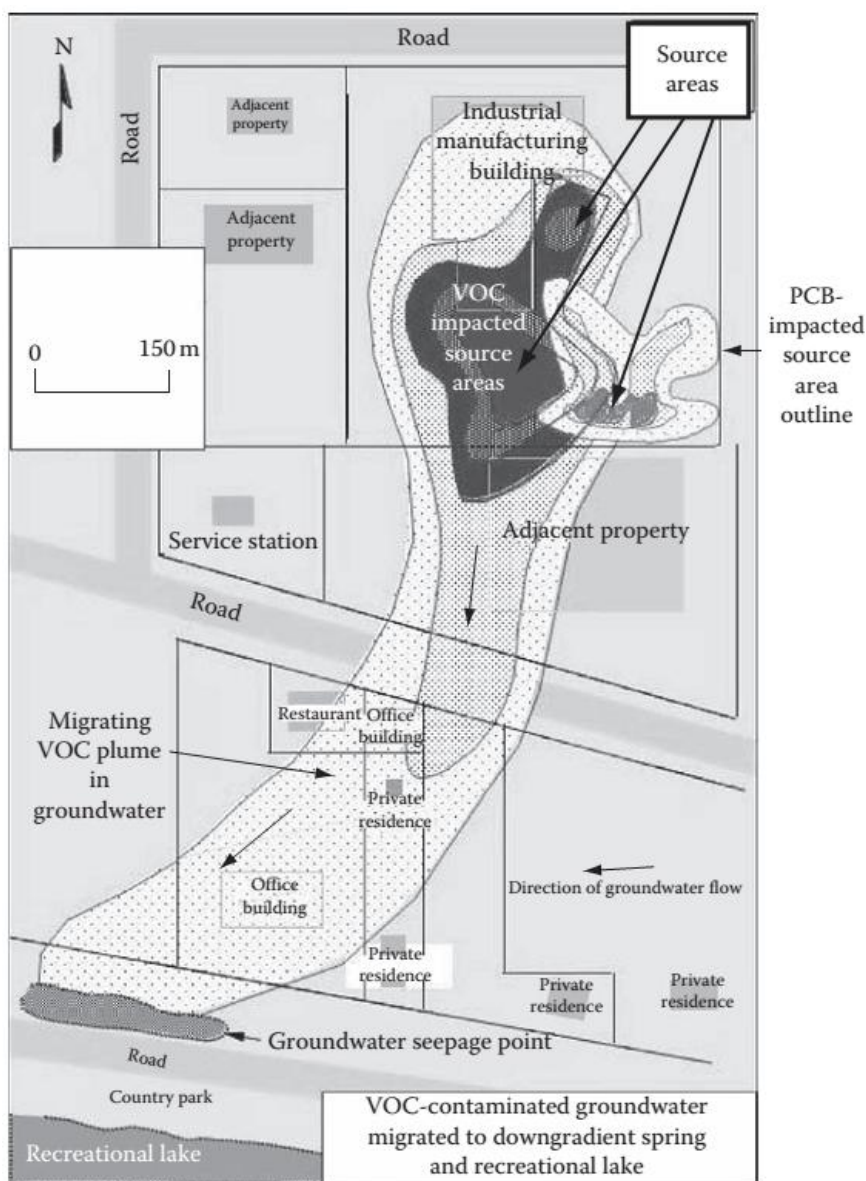
جدول ۷-۴. انواع آلاینده‌ها، غلظت آن‌ها، جرم بازیافتی در سایت با آسیب‌پذیری بالا.

Contaminant	Maximum Concentration in Soil (µg/kg)	Maximum Concentration in Groundwater (µg/L) ^a	Estimated Contaminant Mass Remediated kg/(lb)
VOCs			45/(100)
DNAPL compounds			
Tetrachloroethene	22,000	3,250	
Trichloroethene	8,000	2,200	
Cis-1,2-dichloroethene	5,000	1,800	
Trans-1,2-dichloroethene	480	280	
1,1-Dichloroethene	640	220	
1,1,1-Trichloroethane	2,800	2,100	
Vinyl chloride	1,100		
LNAPL compounds			
Ethyl benzene	32,000	240	
Xylenes	28,000	130	
PCBs	7,000,000	Not detected	13.6/30

^a µg/L = microgram per liter.

حفاری همچنین روش مناسبی برای بازیافت خاک‌های آلوده به VOCs نیز محسوب می‌شود. این روش به این دلیل انتخاب شد که مقادیر قابل‌توجهی از خاک‌های متأثر از آلاینده‌های VOCs یافت نشد چرا که خاک‌های ماسه‌ای سایت دارای ظرفیت کمی در نگهداری این نوع آلاینده‌ها هستند. در نتیجه، VOCs تمایل به مهاجرت به اعماق از طریق ستون خاک و آلوده‌کردن آب‌های زیرزمینی بدون جذب‌شدن در ذرات خاک دارند.

روش بازیابی انتخاب شده برای آب‌های زیرزمینی تزریق هوا و استخراج بخارات خاک از سفره آب‌زیرزمینی است، به این دلیل که آلاینده‌های این آب‌ها ترکیبات VOC بوده و از میانه‌های منطقه اشباع بیش‌تر گسترش ندارند. تزریق هوا شامل ورود هوا به زیر آب‌های زیرزمینی آلوده و خروج طبیعی آن از طریق منطقه اشباع است. هوا در حین جابه‌جایی به سمت بالا در منطقه اشباع، آلاینده‌ها را تبخیر کرده و بخارات VOCs از طریق استخراج بخارات خاک منطقه هواده حذف می‌شوند. این بخارهای استخراج شده از طریق عبور از درون کربن اکتیو دانه‌ای مخزن کاملاً از هوا نیز خارج می‌شوند.



شکل ۷-۷. نقشه مهاجرت آلودگی در سایت دو.

آلاینده‌های VOCs آب‌های زیرزمینی در این سایت ترکیبات DNAPL بوده که دارای وزن مخصوصی کمی بیش از آب هستند. بنابراین، وقتی به غلظت کافی برسند می‌توانند به درون آب ته‌نشست کرده و بخش‌های زیرین آبخوان را نیز آلوده کنند. این نوع

ته‌نشست در این سایت رخ نداده است به این دلیل که نوع زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی خاص آن مانع از مهاجرت VOCs به سمت اعماق آبخوان شده‌است به گونه‌ای که ترکیب آبخوان به تدریج به سمت عمق ریزدانه‌تر شده و قابلیت رسانایی هیدرولیکی به تناسب آن کاهش پیدا می‌کند. علاوه بر این، کم‌بودن آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی به دلیل محدودبودن آلودگی در بخش بالایی آبخوان نیز مانع از آلودگی آبخوان شده‌است. با توجه به دلیل اخیر، تزریق هوا عملی‌ترین روش بازیافت در منطقه است.

زمان بین مطالعات فاز یک و اتمام آن حدود ۱۴/۵ سال طول کشیده است. هزینه بازیافت به‌طور کلی به این صورت بود که برای خاک آلوده به PCB (شامل مطالعات آن) ۱/۲ میلیون دلار و برای خاک آلوده به VOC (شامل مطالعات آن) ۶/۶ میلیون دلار بوده است. بنابراین هزینه کل مطالعات و بازیافت این سایت ۷/۸ میلیون دلار بود. به عبارت دیگر به ازای هر کیلوگرم آلودگی مبلغ ۲۷۱۸۰ دلار جهت بازیابی آن هزینه شد.

فرایند بازیافت از طریق مراجع مربوطه با آنالیز نمونه‌های خاک مناطق بازیافت شده مورد تأیید قرار گرفته است. علاوه بر این، چهار نمونه تکراری آب‌زیرزمینی در طی دوره یک‌ساله از منطقه اخذ شد تا روند تدریجی پالایش مورد بررسی قرار گیرد. اتمام کار در این سایت نیز با نصب جمله "نیازی به اقدام دیگری نیست" اعلام شد. بررسی آسیب‌پذیری برای سایت نیز انجام شد و تصمیم گرفته شد که اگر آلودگی باقی‌مانده در سایت مخاطرات غیرقابل قبولی برای سلامت انسان‌ها و طبیعت به‌وجود آورد، این فرایند ادامه یابد. مکان‌هایی که در این بررسی مورد نظر بوده‌اند در مناطقی که درون سایت قرار داشته و آلودگی خاک در آن‌ها ثابت است و همچنین مناطق درون و بیرون سایت با آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی همراه بوده است.

نتایج این مطالعات آسیب‌پذیری بیانگر آن است که باید قلمروی سایت محدود شده و بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی برای هر منظوری ممنوع شود. همچنین پوششی مشتمل بر کف‌پوش آسفالتی برای بخش‌هایی از این سایت که برخی آلودگی‌های خاک در آن‌جا باقی می‌ماند لازم بوده و اگر بخشی از خاک دستکاری و یا حفر شده باید بررسی دیگری به منظور محدودکردن فعالیت‌های صنعتی صورت گیرد.

۷-۴-۳ مقایسه سایت‌ها

تفاوت‌های عمیقی بین این دو نمونه در زمینه هزینه بازیابی به ازای هر یک کیلوگرم

دیده می‌شود. برخلاف وسعت کم‌تر سایت دو، مدت زمان کوتاه‌تر فعالیت‌های صنعتی و جرم کم‌تر آلودگی‌های رها شده در محیط، هزینه بازیابی به ازای هر یک کیلوگرم از آلاینده در این سایت که دارای آسیب‌پذیری بالایی است حدود ۷۵ برابر بیش‌تر از این مقدار برای سایت کم‌تر آسیب‌پذیر (سایت یک) است. این تفاوت هزینه کاملاً مرتبط با نوع زمین‌شناسی در هر سایت است.

سایت دارای آسیب‌پذیری بالا در منطقه زمین‌شناسی (ماسه) قرار دارد که از نظر زیست‌محیطی در مقابل آلاینده آسیب‌پذیر است به این دلیل که:

- دارای نفوذپذیری بالای خاک است که به آلاینده‌ها اجازه تراوش و نفوذ به درون آب‌های زیرزمینی را می‌دهد.
- زبانه‌های آلاینده در ماسه که دارای سرعت بالای زهکش آبخوان است جابه‌جا شده و به مناطقی بالقوه حساس شامل چاه‌های آب و آب‌های سطحی منتقل می‌شوند. هزینه سایت آسیب‌پذیرتر می‌تواند بسیار بالاتر نیز باشد، اگر آلاینده‌ها در امتداد کف آبخوان جابه‌جا شوند. این مسئله گاهی مرتبط با آن است که نوع آلاینده موجود چیست، مثلاً DNAPLs سنگین‌تر از آب بوده و به کف آبخوان افت می‌کنند. بنابراین، کاهش قابلیت رسانایی هیدرولیکی در بخش زیرین آبخوان مانع این اتفاق شده است. همچنین، هزینه‌ها می‌توانست در صورت وجود معبر انسانی و استفاده آنان از آب‌های زیرزمینی آلوده بسیار بیش‌تر شود. جدول ۷-۵ تفاوت‌های عمده بین دو سایت مورد مطالعه را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد. در نظر گرفته شود که درجه‌بندی نقشه آسیب‌پذیری به دقت این هزینه‌های بازیافت را پیش‌بینی کرده است.
- هزینه‌های پالایش شامل مجموع هزینه‌های مطالعات و بازیابی است.

خلاصه

آسیب‌پذیری و مخاطرات طبیعی دو مفهوم متفاوت هستند. مخاطرات طبیعی بالقوه قادر به ایجاد تأثیرات منفی شدید بر جامعه، اقتصاد و محیط‌زیست است. برآورد یک مخاطره نیز در واقع محاسبه احتمال رخداد یا درجه خطر آن مخاطره و مقدار تخریب آن است. از سوی دیگر آسیب‌پذیری در مقابل یک مخاطره زمین‌شناسی بدین مفهوم است که چگونه یک منطقه معین مستعد تحت تأثیر قرار گرفتن توسط مخاطره است. به عبارت دیگر، توانایی

جدول ۷-۵. مقایسه سایت‌های یک و دو.

Parameter	Site 1—Low Vulnerability	Site 2—High Vulnerability
Predominant geology	Clay	Sand
Presence of shallow groundwater	No	Yes
Size of site	6.5 ha (16 ac)	3.2 ha (8 ac)
Length of operation	70 years	30 years
Land use	Heavy industry	Heavy industry
Types of contaminants	VOCs, PNAs, PCBs, and heavy metals	VOCs and PCBs
Number of contaminants remediated	27	9
Contaminant mass remediated	227 kg	59 kg
Cleanup criteria	Same as Site 2 for overlapping compounds	Same as Site 1 for overlapping compounds
Cleanup cost ^a	\$400,000	\$7,800,000
Remedial methods (soil)	Excavation	Excavation
Remedial methods (groundwater)	Remediation not required	Air sparging and soil vapor Extraction
Other remedial control measures	None, unrestricted closure	Restricted closure included: • Deed restriction • Institutional controls • Industrial land use only
Timeframe	18 months	14.5 years
Cost per kilogram of contaminant	\$362	\$27,180
Vulnerability ranking using Table 6.2	13	65

آن منطقه در مقابله با مخاطرات زمین‌شناسی میزان آسیب‌پذیری آن منطقه را نشان می‌دهد. نوع و میزان آسیب‌پذیری وابسته به شرایط زمین‌شناسی و محیطی است. پایداری و مقاومت در مقابل مخاطرات زمین‌شناسی با شدت معین، از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است. معمولاً منطقه‌ای که دارای استاندارد اقتصادی بالاتر، به هم‌ریختگی زیست‌محیطی کم‌تر، تجهیزات زیربنایی بهتر و مردم متمدن‌تری است توان بیش‌تری در مقابل مخاطرات از خود نشان داده و آسیب‌پذیری کم‌تری دارند.

به‌عنوان مثال در زلزله بم که بزرگی آن در مقیاس ریشتر ۶/۶ و زمان لرزش حدود ۱۲ واحد درج شود، حدود ۳۴ هزار نفر از هم‌وطنان جان خود را از دست داده، ۱۹ هزار نفر مجروح شدند و قریب به ۲ هزار و ۱۰۰ میلیارد تومان آسیب وارد شد (سازمان مدیریت بحران، ۱۳۹۳). براساس اظهارات رئیس سازمان مدیریت بحران تقریباً همه خانه‌های مسکونی و اداری خراب شد، به غیر از «مسجد جامع شهر بم» که استوار ماند و این نیز به دلیل آن بود که این مسجد درست بنا شده بود و در آن رعایت ایمنی و آیین‌نامه اجرایی ساختمان به اجرا درآمده بود، اما علی‌رغم آن شاهد بودیم

ساختمان‌های اداری و مسکونی که یکی دو سال قبل از زلزله ساخته شده بودند همه تخریب شدند و متأسفانه تعداد زیادی از هم‌وطنان جان خود را در این حادثه از دست دادند. در مقابل، طبق آمارها، میزان تلفات جانی و خسارات مالی زمین‌لرزه‌ها در ژاپن به نسبت با تعداد و شدت بالای زلزله‌های سالانه در این کشور بسیار اندک است. بنابراین بار اصلی آسیب‌های ناشی از مخاطرات بر عهده خود انسان است، هرچند شرایط زمین‌شناسی نیز نقش بسیار مهمی در این زمینه بر عهده دارد.

بنابراین به‌طور خلاصه تبدیل یک مخاطره زمین‌شناسی به یک فاجعه طبیعی وابسته به مقدار آسیب‌پذیری یک منطقه و شدت طبیعی رخداد آن مخاطره است. طبیعت سیستم بسیار پیچیده‌ای بوده که در آن مخاطرات طبیعی به‌وفور رخ می‌دهند و شرایط ویژه‌ای باید حاکم باشد تا این مخاطرات تبدیل به یک فاجعه طبیعی شوند. از سویی دیگر، آسیب‌پذیری یک منطقه در مقابل مخاطرات زمین‌شناسی را می‌توان با مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب کاهش داد. آسیب‌پذیری یک منطقه بیانگر آن است که وقتی یک فاجعه رخ می‌دهد، اقتصاد و جامعه چه مقدار تخریب را متحمل خواهند شد. در این صورت توسعه‌یافتگی مناطق شهری نقش بسیار مهمی در کاهش آسیب‌پذیری خواهد داشت.

همان‌طور که با مقایسه مطالعه موردی دو سایت نشان داده شد، هزینه پالایش طبیعت بسیار بالا است به‌ویژه اگر آب‌های زیرزمینی نیز آلوده شوند. علاوه بر این، ممکن است حتی اگر پیشرفته‌ترین تکنولوژی‌ها نیز به‌کار گرفته شوند، بازیابی و پالایش کامل در برخی مکان‌ها غیرممکن باشد. بنابراین، کاهش زباله‌ها و ممانعت از آلودگی بهترین راه برای کاهش هزینه‌ها و در نهایت محافظت از محیط‌زیست ما است. دو مکانی که به‌عنوان مثال در این فصل به آن‌ها پرداخته شد در هر جایی از این کره زمین می‌توانند به‌وفور یافت شوند. ده‌ها هزار مکان صنعتی و حتی تجاری و مسکونی هستند که دارای خاک و آب‌های زیرزمینی آلوده بوده و نیازمند پرداخت هزینه‌های گزاف برای پالایش هستند.

فهم این مطلب که مکان‌ها یا مناطق معینی در نواحی شهری به‌ویژه در مقابل آلودگی آسیب‌پذیر هستند موجب می‌شود که جهت حل مسائل زیست‌محیطی اهتمام بیش‌تری صورت گیرد. آنالیز آسیب‌پذیری نواحی شهری اطلاعات اساسی در زمینه برآورد زیست‌محیطی و مخاطرات مرتبط با توسعه و بازسازی تولید می‌کند. عوارض مشخص زمین‌شناسی می‌توانند در صورت انتخاب مناسب با کاهش تأثیرات آلودگی، نقش محوری در توسعه شهری ایفا کنند.

از آنجایی که شرایط زمین‌شناسی به تنهایی مسئول ایجاد مخاطرات زیست‌محیطی و هزینه‌های بازایی و پالایش محیط نیست. شیمی فیزیک آلاینده‌ها خود عاملی اساسی است.

خودآزمایی چهارگزینه‌ای

۱. کدام یک جزو عوامل کنترل‌کننده شدت آلودگی آب‌های زیرزمینی به‌شمار نمی‌آیند؟
 - الف) محیط آب‌زمین‌شناسی
 - ب) شیمی فیزیک آلودگی‌ها و مقدار آن‌ها
 - ج) عمق آب‌های زیرزمینی
 - د) مکانیسم رهاسازی آلودگی در آب
۲. آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی تابعی از ...، ... و ... است.
 - الف) ویژگی طبیعی خاک، ویژگی آبخوان و مواد آبخوان
 - ب) ویژگی طبیعی خاک، ویژگی آبخوان و شیب زمین
 - ج) شیب زمین، ویژگی آبخوان و مواد آبخوان
 - د) شیب زمین، ویژگی طبیعی خاک و مواد آبخوان
۳. کدام مورد باعث افزایش مقدار آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی می‌شود؟
 - الف) افزایش عمق آب زیرزمینی
 - ب) کاهش اندازه ذرات رسوب
 - ج) آلاینش در منطقه‌ای که منبع تغذیه آب‌های زیرزمینی است
 - د) زمان زیاد مسافت و فاصله طولانی تا منطقه برونزد آب

خودآزمایی تشریحی

۱. نقشه‌برداری مناطق آسیب‌پذیر زمین‌شناسی به چند گروه تقسیم می‌شود و یک مورد را به‌دلخواه توضیح دهید.
۲. عمق آب‌های زیرزمینی چه نقشی در آسیب‌پذیری یک منطقه دارد؟
۳. زمان مسافت آب و فاصله تا منطقه برونزد چه نقشی در آسیب‌پذیری یک منطقه دارد؟
۴. به چه دلایلی سایتی که در منطقه‌ای با زمین‌شناسی ماسه قرار دارد نسبت به منطقه‌ای که دارای زمین‌شناسی رس است، آسیب‌پذیرتر است؟

پاسخنامه خودآزمایی چهارگزینه‌ای

فصل اول

۱. د ۲. الف ۳. ب ۴. ج

فصل دوم

۱. ج ۲. ب

فصل سوم

۱. ب ۲. د

فصل چهارم

۱. ب ۲. د ۳. الف ۴. الف ۵. ج ۶. الف

فصل پنجم

۱. ب ۲. الف ۳. الف ۴. ب ۵. ب

فصل ششم

۱. د ۲. د ۳. ۴. الف ۵. ب

فصل هفتم

۱. ج ۲. الف ۳. ج

منابع فارسی

جعفر غیومیان، محمود فاطمی عقدا، ام البنین عطائی. ۱۳۸۱. کاربرد DSS در ارائه روش بهینه تثبیت زمین لغزش‌ها. ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت معلم تهران.

References

- Aber, J. S. 1984. History of Kansas glacial geology. *Journal of Earth Science History*, 3, 134–142.
- Abingdon, U. K. Balkema, Bilodeau, W. C. , S. W. Bilodeau, E. M. Gath et al. 2007. Geology of Los Angeles. *Environmental and Engineering Geoscience Journal*, 13, 99–160.
- Abrams, C. F. 1984. Geology of Greater Atlanta. *Geological Survey Bulletin* 96. Atlanta, GA: USGS.
- Albinet, M. , Margat, J. 1970. Cartographie de la vulnerabilite a la pollution des nappes d'eau souterraines. *Bulletin BRGM (2nd Series)* 3: 13–22.
- Alcock, R. E. , Jones, K. C. 1996. Dioxins in the environment: A review of trend data. *Environmental Science and Technology*, 30, 3133–43.
- Alder, W. C. 1902. Geology of Chicago: The 1902 Chicago Folio. *Geologic Atlas of the United States Number 81*. Washington, DC: USGS.
- Allen, R. 2003. The rocks of the Valley of the Sun. Phoenix, AZ. [http://www. Gemland. com](http://www.Gemland.com) (accessed August 27, 2009).
- Allenbach, R. P. , Wetzel, A. 2006. Spatial patterns of Mesozoic facies relationships and the age of the Rhenish Lineament: a compilation. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 95, 803–813. doi: 10. 1007/s00531-006-071-0.
- Aller L. , Bennett, T. , Lehr, J. H. , et al. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. United States Environmental Protection Agency USEPA-600/2-87-35. Ada, OK: USEPA.
- AMAP. 2002. Arctic Pollution 2002. Persistent organic pollutants, heavy metals, radiactivity, human health, changing pathways. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway.
- AMAP. 2004. AMAP assessment 2002: Persistent organic pollutants in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway.
- American Association of Petroleum Geologists. 2005. The North American stratigraphic code. The North American Commission of Stratigraphic Nomenclature. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 89, 1547–1591.
- Andersson, M. , Ottesen, R. T. , Volden, T. 2004. Building materials as a source of PCB pollution in Bergen, Norway. *Science of the Total Environment*, 325, 139–44.
- Anderton, R. 1985. Clastic Facies Models and Facies Analysis, Vol. 18. London, U. K.: Geological Society of London, Special Publication.
- Angelone, M. , Armiento, G. , Cinti, D. , Somma, R. , Trocciola, A. 2002. Platinum and heavy metal concentration levels in urban soils of Naples (Italy). *Fresenius Environmental Bulletin*, 11, 432–6.
- Anon. 2003. The economic benefit of the BGS: executive summary. 8p. Roger Tym and Partners, London. Available at: [Http://www. bgs. ac. uk/about/economicbenefits. html](http://www.bgs.ac.uk/about/economicbenefits.html).
- Anon. 1995. Geological Society Engineering Group Working Party Report: The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 28, No. 3, 201–242.

- Archer, A. A. Lüttig, G. W. and Snezhku, I. I. 1985. Man's Dependence on the Earth, Stuttgart and Paris, Schweizerbart and UNESCO (1978).
- ATSDR. 2000. Toxicological profile for polychlorinated biphenyls (PCBs). U. S. Department of health and human services, Public health service, Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR), Atlanta, Georgia, US.
- Barclay, W. J. , Ellison, R. A. & Northmore, K. J. 1990. A geological basis for land-use planning: Garforth-Castleford-Pontefract. British Geological Survey Technical Report WA/90/3. British Geological Survey, Keyworth, Nottingham.
- Barnes, J. 1993. Basic Geologic Mapping, 2nd edn. Geological Society of London Handbook. London, U. K.: John Wiley and Sons.
- Bennison, A. P. 1974. Geological Highway Map of the Great Lakes Region. Tulsa, OK: The American Association of Petroleum Geologists and United States Geological Survey. 1 Sheet.
- Barnes, J. H. and W. D. Sevon. 1996. The Geological Story of Pennsylvania; Educational series book Number. 4. Harrisburg, PA: Pennsylvania Geological Survey.
- Beck, P. 1996. Soil and ground-water remediation techniques. Geoscience Canada, 23, 22-44.
- Bernknopf, R. L. , Brookshire, D. S. , Soller, D. R. , McKee, M. J. , Sutter, J. F. , Matti, J. C. , Campbell, R. H. 1993. Societal value of geologic maps. United States Geological Survey, Circular 1111, Denver, Colorado. 53 p.
- Berg, R. C. , N. K. Bleuer, B. E. Jones et al. 1999. Mapping the Glacial Geology of the Central Great Lakes Region in Three-Dimensions—A Model for State-Federal Cooperation. United States Geological Survey Open File Report 99-349. Washington, DC.
- Berg, R. C. 2002. Geoenvironmental mapping for groundwater protection in Illinois, USA. In Geoenvironmental Mapping; Methods, Theory, and Practice, ed. P. T. Bobrowsky, pp. 273–294.
- Bessis J. -L. , 2004. Use of the International Charter Space and Major Disasters for Damage Assessment, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), volume XXXV (Proceedings of the XXth ISPRS Congress in Istanbul, Turkey), part B7, paper 117, 5 pp.
- Bilodeau, W. C. , S. W. Bilodeau, E. M. Gath et al. 2007. Geology of Los Angeles. Environmental and Engineering Geoscience Journal, 13, 99–160.
- Birke, M. , Rauch, U. 2000. Urban Geochemistry: Investigations in the Berlin metropolitan area. Environmental Geochemistry and Health, 22, 233–48.
- Blais, R. A. , Smith, C. H. , Blanchard, J. E. , Cawley, J. T. , Derry, D. R. , Fortier, Y. O. , Henderson, G. G. L. , Mackay, J. R. , Scott, J. S. , Seigel, H. O. , Toombs, R. B. , Wilson, H. D. B. 1971. Earth sciences serving the nation. Science Council of Canada, Special Study 13.
- Bockheim, J. G. 1974. Nature and properties of highly disturbed urban soils, Philadelphia, Pennsylvania. Paper presented before Div. S-5, Soil Science Society of America, Chicago Illinois.
- Bowen, D. Q. (editor) 1999. A revised correlation of Quaternary deposits in the British Isles. Geological Society of London Special Report; No. 23. (London: Geological Society of London).
- Bowen, A. J. , Inman, D. L. 1966. "Budget of Littoral Sands in the Vicinity of Point Arguello, California," Technical Memorandum, Coastal Engineering Research Center, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Breivik, K. , Sweetman, A. , Pacyna, J. M. , Jones, K. C. 2002a. Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners— a mass balance approach. 1. Global production and consumption. Science of the Total Environment, 290, 181–98.
- Breivik, K. , Sweetman, A. , Pacyna, J. M. , Jones, K. C. 2002b. Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners— a mass balance approach. 2. Emissions. Science of the Total Environment, 290, 199–224.

- Breivik, K. , Alcock, R. , Li, Y. F. , Bailey, R. E. , Fiedler, H. , Pacyna, J. M. 2004. Primary sources of selected POPs: regional and global scale emission inventories. *Environmental Pollution*, 128, 3–16.
- Bridges, E. M. 1991. Waste materials in urban soils. In: P. Bullock and P. J. Gregory (eds.). *Soils in the urban environment*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 28–36.
- Burn, S. , Eiswirth, M. , Correll, R. , et al. 2007. Urban infrastructure and its impact on groundwater contamination. In *Urban Groundwater—Meeting the Challenge*, ed. K. W. F. Howard, pp. 29–40. London: Taylor and Francis.
- Burton, I. , Kates, R. W. , White, G. F. . *The Environment as Hazard* (New York: Oxford University Press, 1978).
- Cannon, S. H. , Gartner, J. E. , Wilson, R. C. , Bowers, J. C. , Laber, J. L. 2008. Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California. *Geomorphology*, 96(3-4), 250-269.
- CAPRA. 2009. Central American Probabilistic Risk Assessment (CAPRA). World Bank. www.ecapra.org.
- Cardona, O. D. 2005. Indicators for Disaster Risk and Risk Management. Program for Latin America and the Caribbean: Summary Report, Manizales, Columbia: Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Columbia.
- Chang, K. 2007. *Introduction to Geographic Information Systems*, 4th edn. New York: McGraw Hill.
- Chang, S. E. , Gregorian, M. , Pathman, K. , Yumagulova, L. , Tse, W. 2012. Urban growth and long-term changes in natural hazard risk. *Environment and Planning, A* 44(4) 989–1008.
- Chen, T. , Zheng, Y. , Lei, M. , Huang, Z. , Wu, H. , Chen, H. , Fan, K. , Yu, K. , Wu, X. , Tian, Q. 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. *Chemosphere*, 60, 542–51.
- Clary, B. B. 1985. The evolution and structure of natural hazard policies. *Public Adm Rev*, 45, 20–28.
- Comisión Nacional de Desarrollo Regional del Chaco y Secretaría General de la OEA. 1984. *Desarrollo Regional Integrado del Chaco Paraguayo*, Gobierno de la República del Paraguay (Washington, D. C.: Organización de los Estados Americanos, 1984).
- Coogan, A. H. 1996. *Ohio's Surface Rocks and Sediments*. Ohio Geological Survey Bulletin 70. Columbus, OH.
- Cruden, D. M. , Ruel, M. S. , Thomson, S. 1990. Landslides along the Peace River, Alberta, in: *Proceedings of the 43rd Canadian Geotechnical Conference*, 61–68.
- Culshaw, M. G. , Foster, A. , Cripps, J. C. , Bell, F. G. 1990. Applied geological maps for land-use planning in Great Britain. 85–93 in *Proceedings of the 6th International Congress of International Association of Engineering Geology*, Amsterdam, August 1990, 1. (Rotterdam: A. A. Balkema.).
- Culshaw, M. G. , Ellison, R. A. 2002. Geological Maps: their new importance in a user-driven digital age. 25–51 in Van Rooy, J. L. , Jermy, C. A. (editors). *Proceedings of the Ninth International Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment*, Durban, South Africa.
- Culshaw, M. G. 2005. From concept towards reality: developing the attributed 3D geological model of the shallow subsurface. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 38, 231-284.
- Culshaw, M. G. , Tragheim, D. G. , Bateson, L. , Donnelly, L. J. 2009. Measurement of ground movements in Stoke-on-Trent (UK) using radar interferometry. In: Culshaw, M. G. , Reeves, H. J. , Jefferson, I. & Spink, T. W. (eds), "Engineering Geology of Tomorrow's Cities." Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication 22, CD paper number 125.
- Culshaw, M. G. , Price, S. J. 2010. The contribution of urban geology to the development, regeneration and conservation of cities. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70, 333-376.

- Clague, J. J. 1997. Earthquake hazard in the Greater Vancouver area. In *Environmental Geology of Urban Areas*. Edited by N. Eyles. Geological Association of Canada, GEOText3, 423-437.
- Clark, S. 2001. Role of bedrock geology and mineral resources in ecosystems, in *The Role of Mineral Resources Assessments in Ecological Stewardship*, United States Geological Survey, Mineral Resources Programme. <http://minerals.usgs.gov/pubs/of96-63/role.htm>.
- Dearman, W. R. , Money, M. S. , Coffey, R. J. , Scott, P. , Wheeler, M. 1977. Engineering geological mapping of the Tyne and Wear conurbation, North-east England. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 10, 134-168.
- Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR). 2000. EIA: a guide to procedures. Thomas Telford, London
- Donnelly LJ (2008) Communication in geology: a personal perspective and lessons from volcanic, mining, exploration, geotechnical and police (forensic) investigations. In: Liverman D, Pereira C, Marker BR (eds) *Communicating environmental geoscience geological society*, vol 305, Special Publication, London, pp 107-121.
- De Mulder, E. F. J. 1988. Engineering geological maps: a cost-benefit analysis. In: Marinou, P. G. , Koukis, G. C. (eds), *Proceedings of a Symposium on "The engineering geology of ancient monuments, works and historical sites: preservation and protection," Athens*. A. A. Balkema, Rotterdam. 1347-1357. Republished in 1990 in *Environmental Geology*, 16, 23-28.
- De Roo, A. , Barredo, J. , Lavalle, C. , Bodis, K. , Bonk, R. 2007. Potential Flood Hazard and Risk Mapping at Pan-European Scale. *Digital Terrain Modelling. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 2007, 183-202.
- Disasterscharter, 2006. International Charter Space and Major Disasters - Home Page, www.disasterscharter.org.
- Dobrovolsky, E. , Schmoll, H. R. 1968. Geology as applied to urban planning: an example from the Greater Anchorage Area Borough, Alaska. In: *Proceedings XXIII International Geological Congress*, 12, 39-56.
- Eaton, T. T. , Zaporozec, A. 1997. Evaluation of groundwater vulnerability in an urbanizing area. In *Groundwater in the Urban Environment*, ed. J. Chilton et al. , pp. 577-582. Rotterdam, the Netherlands: Balkema.
- EEA. 1999. Environment in the European Union at the turn of the century. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
- Eiswirth, M. , Hötzel, H. , Cronin, A. , Morris, B. , Veselič, M. , Bufler, R. , Burn, S. , Dillon, P. 2003. Assessing and improving sustainability of urban water resources and systems. *RMZ Mater Geoenviron* 50, 117-120.
- Ellison, R. A. , Arrick, A. , Strange, P. J. , Hennessey, C. 1997. Earth science information in support of major development initiatives. Summary report for the Department of Transport, Environment and the Regions. British Geological Survey Technical Report, WA/97/84.
- Ellison, R. A. , Arrick, A. , Hennessey, C. , Booth, S. J. 2001. The use of earth science information in support of planning in England and Wales, in *Integrating Geology in Urban Planning*, Atlas of Urban Geology, Vol. 12, Economic Commission for Asia and the Pacific (ESCAP), Bangkok, pp. 1-10.
- Ellison, R. A. , Lawley, R. S. , Kessler, H. , Jordan, C. J. , Monaghan, A. A. , Laxton, J. L. , Adlam, K. A. M. 2001. Development of improved IT systems for Urban Geoscience. British Geological Survey Internal Report, IR/01/067.
- Ellison, R. A. , Mcmillan, A. A. , Lott, G. K. 2002. Ground characterisation of the urban environment: a guide to best practice. British Geological Survey Research Report, RR/02/05. 37 pp.
- Ellison, R. A. , Smith, A. 1997. A guide to sources of earth science information for planning and development. British Geological Survey Technical Report, WA/97/85.

- Environment Council. 2004. Good practice for stakeholder engagement in the aggregates sector. Environment Council, London.
- Epting, J. , Huggenberger, P. , Rauber, M. 2008. Integrated methods and scenario development in urban groundwater management, and protection during tunnel road construction; A case study. of urban hydrogeology in the city of Basel, Switzerland. *Hydrogeol J* 16: 575–591. doi: 10. 1007/s10040-007-0242-5
- ESCAP, 1985. *Geology for Urban Planning: Selected Papers on the Asian and Pacific Region*, pp. 1-41. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, United Nations, New York.
- ESCAP. 1999. *Urban Geology in Asia and the Pacific Region, Atlas of Urban Geology Vol. 10*, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, pp. 1-359, United Nations, New York.
- Eyles, N. 1996. Environmental geology of urban areas. *Geoscience Canada*, 21, 158-162.
- Farrand, W. R. 1982. Quaternary geology of southern (and northern) Michigan. Michigan Department of Natural Resources, Geological Survey Division, Lansing, MI.
- Farrand, W. R. 1998. The glacial lakes around Michigan. *Bulletin No. 4*. Michigan Department of Natural Resources, Lansing, MI.
- Fatta, D. , Naoum, D. , Loizidou, M. 2002. Integrated environmental monitoring and simulation system for use as a management decision support tool in urban areas. *J Environ Manage* 64: 333–343.
- Flawn, P. T. 1966. *Geology and Urban Development in Engineering Geology in Southern California*, R. Lung and R. Proctor (editors), Association of Engineering Geologists (AEG), Special Publication of the Los Angeles Section, pp. 209-13. AEG, Arcadia.
- Flight, D. M. A, Lister, T. R. 2000. *Procedures Manual. Version 2. G-BASE Field Procedures Manual*. Unpublished British Geological Survey Report.
- Florida Geological Survey. 1994. *Florida's Geological History and Geological Resources*. Tallahassee, FL: Florida Geological Survey.
- Focazio, M. J. , Reilly, T. E. , Rupert, M. G. , et al. 2001. Assessing ground-water vulnerability to contamination: Providing scientifically defensible information for decision makers. United States Geological Survey Circular 1224, Denver, CO.
- Ford J. R. , Kessler H. , Cooper A. H. , Price S. J. , Humpage A. J. 2010. British Geological Survey Internal Report (IR/04/038) An enhanced classification for artificial ground (British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK).
- Forster, A. , Freeborough, K. 2006. A guide to the communication of geohazards information to the public. British Geological Survey Urban Science and Geohazards Programme Internal Report, IR/06/ 009, Keyworth.
- Foster, S. S. D. , Hirata, R. 1988. *Groundwater Risk Assessment: A Methodology Using Available Data*. Lima, Peru: Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences, Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Foster, S. S. D. , Morris, B. L. , Lawrence, A. R. 1993. Effects of urbanization on groundwater recharge. In *Groundwater Problems in Urban Areas*, ed. W. B. Wilkinson, pp. 43–63. ICE Conference Proceedings, London, U. K.
- Forth, R. A. , Butcher, D. , Senior, R. 1999. Hazard mapping of karst along the coast of the Algarve. *Portugal Eng Geol* 52(1–2): 67–74 64 Communication of Geological Information 337.
- Freeman, T. J. , Littlejohn, G. S. , Driscoll, R. M. C. 1994. *Has your house got cracks: a guide to subsidence and heave of buildings on clay*. (Institution of Civil Engineers and Building Research Establishment.).
- Frihy, O. E. 1992. "Sea-Level Rise and Shoreline Retreat of the Nile Delta Promontories, Egypt," *Natural Hazards*, Vol 5, pp 65-81.
- Garcia-Fresca, B. 2007. Urban-enhanced groundwater recharge: Review and case study of Austin, Texas, USA. In *Urban Groundwater—Meeting the Challenge*, ed. K. W. F. Howard, pp. 3–18. London, U. K.: Taylor and Francis.

- Genske, D. D. 2003. Urban Land–degradation, investigation, remediation. Springer-Verlag Berlin, Germany.
- Gentile, R. J. 1984. Geology of the Circumferential Highway System at Kansas City, Missouri. National Association of Geology Teachers—Central Section Guidebook. Kansas City, MO.
- Geological Survey of India. 1980. A decade of environmental geoscientific studies, Special Publication Series, No. 9, pp. 1-119, GSI, New Delhi.
- Goodwin, B. K. 1964. Guidebook to the Geology of the Philadelphia Area. Philadelphia, PA: Philadelphia Geological Society.
- Great Lakes Geologic Mapping Coalition. 2009. Geologic mapping introduction. Indiana Geologic Survey. <http://igs.indiana.edu/GreatLakesGeology/introduction.html> (accessed September 8, 2009).
- Griggs, G. , L. Savoy (eds.). Living with the California Coast (Durham, North Carolina: Duke University Press, 1985).
- Haave, M. , Ropstad, E. , Derocher, A. E. , Lie, E. , Dahl, E. , Wiig, Ø. , Skaare, J. U. , Jenssen, B. M. 2003. Polychlorinated biphenyls and reproductive hormones in female polar bears at Svalbard. Environmental Health Perspectives, 111, 431–436.
- Halka, C. 1980. Roadside Geology of Colorado. Denver, CO: Mountain Press Publishing Company.
- Halke, C. 1983. Roadside Geology of Arizona. Denver, CO: Mountain Press.
- Hartig, J. H. , Zarull, M. A. 1991. Methods of restoring degraded areas in the Great Lakes. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 177: 127–154.
- Haugland, T. , Ottesen, R. T. , Volden, T. 2008. Lead and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface soil from day care centers in the city of Bergen, Norway. Environmental Pollution, 153, 266–72.
- Hageman, B. P. 1963. A new method of representation in mapping alluvial areas. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen. , Geol. Seor. , 21-2, Jubellie Convention pp. 211-219.
- Hageman, B. P. 1989. The application of Quaternary geology in coastal areas, in Applied Quaternary Research, Eduard F. J. De Mulder and Bob P. Hageman, editors, A. A. Balkema, pp. 43-63.
- Halka, C. 1980. Roadside Geology of Colorado. Denver, CO: Mountain Press Publishing Company.
- Halsall, C. J. , Lee, R. G. M. , Coleman, P. J. , Burnett, V. , Harding-Jones, P. , Jones, K. C. 1995. PCBs in UK urban air. Environmental Science and Technology, 29, 2368–2376.
- Halsall, C. J. , Gevao, B. , Howsam, M. , Lee, R. G. M. , Ockenden, W. A. , Jones, K. C. 1999. Temperature dependence of PCBs in the UK atmosphere. Atmospheric Environment, 33, 541–52.
- Hann H. P. , Sawatzki G. 2000. Neue Daten zur Tektonik des SÜdschwarzwaldes. Jber Mitt Oberrhein Geol. Ver. , 82, 363–376
- Harris, F. R. , Harlow, E. H. 1948. Subsidence of the Terminal Island-Long Beach area, California. Transactions, American Society of Civil Engineers, 133, 375-396.
- Hellman, S. J. , Puhakka, J. A. 2001. Polychlorinated biphenyl (PCB) contamination of apartment building and its surroundings by construction block sealants. Geological Survey of Finland, Special Paper 32, 123–7.
- Herrick, R. F. , McClean, M. D. , Meeker, J. D. , Baxter, L. K. , Weymouth, G. A. 2004. An unrecognized source of PCB contamination in schools and other buildings. Environmental Health Perspectives, 112, 1051–1053.
- Hollis, J. M. 1991. The classification of soils in urban areas. In: PBullock, PJGregory (eds.) Soils in the Urban Environment, Blackwell Scientific Publications, Chap. 2, 5–27.
- Hobbs, P. R. N. , Humphreys, B. , Rees, J. G. , Tragheim, D. G. , Jones, L. D. , Gibson, A. , Rowlands, K. Hunter, G. & Airey, R. 2002. Monitoring the role of landslides in soft cliff coastal recession. In: McInnes, R. G. and Jakeways, J. (eds), Proceedings of an 44

- International Conference on "Instability – planning and management," Ventnor, Isle of Wight, UK. Thomas Telford, London. 589-600.
- Holland, G. J. 1980. An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes, *Mon. Weather Rev.*, 108, 1212–1218.
- Hooker, P. J. , Ellison, R. A. , Marchant, A. P. , Shaw, R. P. , Leader, R. U. , Newsham, R. , Brown, M. J. 1999 Some guidance on the use of digital environmental data. British Geological Survey Technical Report, WE/99/14.
- Hough, J. L. 1958. *Geology of the Great Lakes*. Champaign, IL: University of Illinois Press.
- Hough. 1963. The prehistoric Great Lakes of North America. *American Scientist* 51: 84–109.
- Hounjet, M. W. A. , Ngan-Tillard, D. J. M. 2007. Urban planning combining soil data and urban structure characteristics in GIS. In: Culshaw MG, Reeves HJ, Jefferson I, Spink T (eds) *Engineering geology for tomorrow' s cities*. Geological society, Engineering Geology Special Publication, London, 22 (on CD ROM insert, Paper 239).
- Howard, A. S. , Akhurst, M. C. , Armstrong, R. W. , Dunkley, P. N. , Forster, A. , Hopson, P. M. , Laxton, J. L. , Marsh, S. H. , Rollin, K. E. 2001. Integrated geological mapping methods. Report of a scoping study for the Onshore Geological Surveys Programme Development Group. British Geological Survey Internal Report, IR/01/025.
- Howard, K. W. F. , S. Di Biase, J. Thompson et al. 2007. Stormwater infiltration technologies for augmenting groundwater recharge in urban areas. In *Urban Groundwater—Meeting the Challenge*, ed. K. W. F. Howard, pp. 175–188. London, U. K.: Taylor and Francis.
- Huggenberger, P. , Epting, J. (eds.). 2011. *Urban Geology: Process-Oriented Concepts for Adaptive and Integrated Resource Management*. pp. 216.
- Hunt, D. V. L. , Jefferson, I. , Rogers, C. D. F. 2010. Sustainable use of the underground space. In: Williams, A. L. , Pinches, G. M. , Chin, C. Y. , McMorran, T. J. & Massey, C. I. (eds), *Proceedings of the 11th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment on: "Geologically active,"* Auckland, New Zealand. CRC Press/Balkema, Leiden, The Netherlands. 4235-4244.
- Ioualalen, M. , Asavanant, J. , Kaewbanjak, N. , Grilli, S. T. , Kirby, J. T. , Watts, P. 2007. Modeling the 26 December 2004 Indian Ocean tsunami: Case study of impact in Thailand. *Journal of Geophysical Research*, 112, c07024, 21 pp.
- Ishikawa, Y. , Noma, Y. , Yamamoto, T. , Mori, Y. , Sakai, S. 2007. PCB decomposition and formation in thermal treatment plant equipment. *Chemosphere*, 67, 1383–1393.
- Jahns, R. H. 1968. Geologic jeopardy, *Texas Quarterly*. 11, 69-83.
- Jakson. J. 2006. Fatal attraction: living with earthquakes, the growth of villages into megacities, and earthquake vulnerability in the modern world. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, 364, 1911-1925.
- Jacobson, G. , Evans, W. R. 1981. Geological factors in the development of sanitary landfill sites in the Australian Capital Territory. *BMR Journal of Australian Geology and Geophysics*, 6, 31-34.
- Jartun, M. 2008. Active sources and dispersion mechanisms for pollutants, especially polychlorinated biphenyls (PCBs), in the urban environment. PhD thesis 2008, 229p, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Department of Chemistry, ISBN-978-82-471-1148-2.
- Jartun, M. , Ottesen, R. T. , Steinnes, E. 2003. Urban soil pollution and the playfi elds of small children. *Journal de Physique*, IV107, 671–674.
- Jartun, M. , Ottesen, R. T. , og Volden, T. 2002. *Jordforurensning i Tromsø*. Urban soil pollution in Tromsø. NGU-report 2002. 041, 44 pp. (in Norwegian).
- Jartun, M. , Ottesen, R. T. 2011. Urban Geochemistry. In: *Frontiers in Geochemistry: Contribution of Geochemistry to the Study of the Earth*. Eds: Harmon, R. S and Parker, A. Blackwell Publishing Ltd. ISBN: 978-1-405-19338-2.
- Jartun, M. , Ottesen, R. T. , Steinnes, E. , Volden, T. 2008. Runoff of particle bound pollutants from urban impervious surfaces studied by analysis of sediments from stormwater traps. *Science of the Total Environment*, 396, 147–63.

- Jartun, M. , Ottesen, R. T. , Steinnes, E. , Volden, T. 2009. Painted surfaces– important sources of polychlorinated biphenyls (PCBs) contamination to the urban and marine environment. *Environmental Pollution*, 157, 295–302.
- Jibson, R. W. , Harp, E. L. , Michael, J. A. 1998. A Method for Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps: An Example from the Los Angeles, California, Area, U. S. Geological Survey Open File Report 98-113, 16.
- Karnieli, A. , Dall’Olmo, G. 2003. Remote sensing monitoring of desertification, phenology, and droughts. *Management of Environmental Quality*, 14 (1), 22–38.
- Karrow, P. F. , White, O. L. 1998. A summary view of Canadian urban geology. In: Karrow, P. F. & White, O. L. (eds). 1998. *Urban geology of Canadian cities*. Special Paper 42. Geological Association of Canada Special Paper 42. St John's, Newfoundland. 11-20.
- Kaufman, M. M. , Rogers, D. T. , Murray, K. S. 2003. Surface and subsurface geologic risk factors to ground water affecting brownfield redevelopment potential. *Journal of Environmental Quality* 32: 490–499.
- Kaufman, M. M. , Rogers, D. T. , Murray, K. S. 2005. An empirical model for estimating remediation costs at contaminated sites. *Journal of Water, Air and Soil Pollution*, 167, 365–386.
- Kaufman, M. M. , Rogers, D. T. , Murray, K. S. 2011. *Urban Watersheds Geology, Contamination, and Sustainable Development*. CRC Press, Taylor & Francis Group. ISSN: 13: 978-1-4398-5282-8. 536p.
- Keller, K. C. , Van Der Kamp, G. , Cherry, J. A. 1989. A multiscale study of the permeability of a thick clay till. *Water Resources Research* 25: 2299–2317.
- Kibel, P. S. 1998. The urban nexus: Open space, brownfields, and justice. *Boston College Environmental Affairs Law Review* 25: 589–618.
- Kaye, C. A. 1967. The greater Boston urban geology project of the United States Geological Survey. In *Economic geology of Massachusetts*, D. C. Farquhar, editor, pp. 273-77. Amlherst: University of Massachusetts Graduate School.
- Kaye, C. A. 1976. *The Geology and Early History of the Boston Area of Massachusetts: A Bicentennial Approach*. USGS Special Report 1476. Washington, DC.
- Kaye, C. A. 1968. *Geology and our cities*. New York Academy of Sciences, translation series 2, 30, 1045-51.
- Kelly, J. , Thornton, I. , Simpson, P. R. 1996. Urban geochemistry: A study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content in soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain. *Applied Geochemistry*, 11, 363–70.
- Kessler, H. , Mathers, S. , Sobisch, H-G. 2009. The capture and dissemination of integrated 3D spatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. *Computers & Geosciences*, 35, 1311-1321.
- Khan, S. N. , Younas, M. , Kazim, M. A. Hussain, S. A. 1986. *Environmental geology, mineral, raw material and aggregate resources of Quetta Valley, Baluchistan, Pakistan*, Geological Survey of Pakistan Records, Vol. LXXVI, Quetta.
- King, P. B. and H. M. Beikman. 1974. *Geologic Map of the United States; Excluding Alaska and Hawaii*. United States Geological Survey, Washington, DC: Governmental Printing Office. 1: 2,500,000, 2 Sheets.
- Kind, F. 2002. *Development of microzonation methods: application to Basel, Switzerland*, Ph. D. thesis, ETH Zurich, Available in electronic form from <http://www.ethbib.ethz.ch>.
- Kohiyama M. , Yamazaki F. 2005. Image fluctuation model for damage detection using middle-resolution satellite imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 26, 24, 5603–5627.
- Kohler, M. , Tremp, J. , Zennegg, M. , Seiler, C. , Minder-Kohler, S. , Beck, M. , Lienemann, P. , Wegmann, L. , Schmid, P. 2005. Joint sealants: an overlooked diffuse source of polychlorinated biphenyls in buildings. *Environmental Science and Technology*, 39, 1967–73.

- Korup, O. 2002. Recent research on landslide dams-a literature review with special attention to New Zealand. *Progress in Physical Geography*, 26, 206-235.
- Kühn, F. , Trembich, G. , Hörig, B. 1999. Satellite and Airborne Remote Sensing to Detect Hazards Caused by Underground Mining. *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Applied Geologic Remote Sensing*, Vol. II, pp. 57-64, 1-3 March 1999, Vancouver, Canada.
- Lahee, F. H. 1961. *Manual of Field Geology*, 6th edn. New York: McGraw Hill.
- Lan, H. X. , Martin, C. D. 2007. A digital approach for integrating geotechnical data and stability analyses, in: *Rock Mechanics: Meeting Society's Challenges and Demands*, edited by: Eberhardt, E. , Stead, D. , and Morrison, T. , London, Taylor & Francis, 45-52.
- Lan, H. X. , Martin, C. D. , Froese, C. R. , Kim, T. H. , Morgan, A. J. , Chao, D. , Chowdhury, S. 2009. A web-based GIS for managing and assessing landslide data for the town of Peace River, Canada. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 1433-1443.
- Lansing, MI. Mozola, A. J. 1954. *A Survey of Groundwater Resources of Oakland County Michigan*. Michigan Geologic Survey. Publication Number 48. Lansing, MI.
- Larsson, G. 2006. *Spatial planning systems in Western Europe: an overview*. Delft University Press (Delft).
- Lee, S-J, Choi, S-D, Jin, G-Z, Oh, J-E, Chang, Y-S, Shin, S-K. 2007. Assessment of PCDD/F risk after implementation of emission reduction at a MSWI. *Chemosphere*, 68, 856-63.
- Leeds, D. F. 1966. Engineering seismology in southern California. in *Engineering geology in southern California*. Association of Engineering Geologists Special Publication, Los Angeles, pp. 35-53.
- Legget, R. F. 1962. *Geology and engineering*, 2nd ed. , McGraw-Hill, Inc. , New York, pp. 1-884.
- Legget, R. F. 1968, Consequences of man's alteration of natural systems, *Texas Quarterly*, Vol. XI, No. 2, pp. 24-35.
- Legget, R. F. 1973. *Cities and Geology*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Leighton, F. B. 1966. Landslides and hillside development, in *engineering geology in southern California*. Association of Engineering Geologists Special Publication, Los Angeles, pp. 149-193.
- Lie, E. , Bernhoft, A. , Riget, F. , Belikov, S. E. , Boltunov, A. N. , Derocher, A. E. , Garner, G. W. , Wiig, Ø. , Skaare, J. U. 2003. Geographical distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in polar bears (*Ursus maritimus*) in the Norwegian and Russian Arctic. *Science of the Total Environment*, 306, 159-70.
- Lindholm, O. 2004. Miljøgifter i overvann fra tette fl ater. (Pollutants in stormwater runoff from impervious surfaces). NIVA-report no. 4775-2004 (in Norwegian).
- Loague, K. , Corwin, D. L. , Ellsworth, T. R. 1998. The challenge of predicting nonpoint source pollution. *Environmental Science and Technology* 26: 127-154.
- Lott, G. K. 2001. 3-D rockmass characterisation in the urban environment British Geological Survey Internal Report, IR/01/069.
- Loughlin, P. J. 1990. *Land use planning and zoning* Equity Publishing Co. New Hampshire, Oxford.
- Lüttig, G. 1978. Geoscientific maps for land use planning, a certain approach how to communicate by new types of maps. *Int. Yearbook of Cartography*, XVIII.
- Lu, D. , Weng, Q. 2006. Use of impervious surface in urban land-use classification. *Remote Sensing of Environment*, 102, 146-60.
- Madrid, L. , Díaz-Barrientos, E. , Madrid, F. 2002. Distribution of heavy metal contents of urban soils in parks of Seville. *Chemosphere*, 49, 1301-1308.
- Maley, T. S. 2005. *Field Geology*. Ann Arbor, MI: Sheridan Books.
- Manza Ch. , Lucas, D. , Blenkinsop, L. 2013. In pictures: The aftermath, and the progress in Japan. <http://www.theglobeandmail.com/news/world/in-pictures-the-aftermath-and-the-progress-in-japan/article552895/>.

- Marker, B. R. 1998. Incorporating information on geohazards into the planning process. In: Maund JC, Eddleston M (eds) *Geohazards in engineering geology*. Geological society, vol 15. Engineering Geology Special Publication, London, pp 385–389.
- Marker, B. R. 2008. Communication of geoscience information in public administration: UK experiences In: Liverman D, Pereira C, Marker BR (eds) *Communicating environmental geoscience* geological society, vol 305. Special Publication, London, pp. 185–196.
- Massonet, D. , Feigl, K. , Rossi, M. , Adrangna, F. 1999. The displacement field of the Landers earthquake mapped by Radar Interferometry. *Nature*, Vol. 364, pp. 138-142.
- Mays, L. W. 2001. Introduction to Storm Drainage (Chapter 1). In: LWMays (ed.) *Stormwater collection systems design handbook*, McGraw-Hill, NY, USA. ISBN 0-07-135471-9.
- McGill, J. T. 1964. Growing importance of urban geology, United States Geological Survey Circular 487.
- McInnes, R. G. (undated) Advice to homeowners: managing ground instability on the Isle of Wight. Isle of Wight Centre for Coastal Management, Ventnor.
- McMillan, A. A. , Auton, C. A. , Brandon, A. , Davies, J. R. 1999. BGS Quaternary Mapping: methods and output. First report (April 1999) of the Quaternary Network Core Team. British Geological Survey Technical Report, WA/99/63.
- McMillan, A. A. , Ellison, R. A. , Fordyce, F. , Golledge, N. R. , Holmes, K. A. , Jordan, C. J. , Kessler, H. , Monaghan, A. A. , Northmore, K. J. , Robins, N. S. , Taylor, C. 2001. Superficial deposits characterisation in the urban environment; a best practice guide to mapping and research. British Geological Survey Internal Report, IR/01/068.
- Meijer, S. N. , Ockenden, W. A. , Sweetman, A. , Breivik, K. , Grimalt, J. O. , Jones, K. C. 2003. Global distribution and budget of PCBs and HCB in background surface soils: Implications for sources and environmental processes. *Environmental Science and Technology*, 37, 667–672.
- Meisina, C. 2008. PSInSAR (TM) technique for detecting and monitoring ground deformations in urban areas. In: *Proceedings of the 2nd European Regional Conference of the International Association of Engineering Geology and the Environment (EuroEnGeo 2008)*, Madrid, Spain. Asociación Española de Geología Aplicada a la Ingeniería, Madrid. CD-ROM Paper No. 032.
- Michigan Department of Environmental Quality. 2008. Michigan Sites of Environmental Contamination.
- Midgley, G. F. , Chapman, R. A. , Hewitson, B. , Johnston, P. , de Wit, M. , Ziervogel, G. , Mukheibir, P. , van Niekerk, L. , Tadross, M. , van Wilgen, B. W. , Kgope, B. , Morant, P. D. , Theron, A. , Scholes, R. J. and Forsyth, G. G. (2005). A status quo, vulnerability and adaptation assessment of the physical and socio-economic effects of climate change in the Western Cape. Report to the Provincial Government of the Western Cape: Department of Environmental Affairs and Development Planning. CSIR Report No. ENV-S-C 2005-073, Stellenbosch, South Africa, 156pp.
- Miranda, M. , Kim, D. , Galeano, A. O. , Paul, C. J. , Hull, A. P. , Morgan, P. 2007. The relationship between early childhood blood levels and performance on end-grade tests. *Environmental Health Perspectives*, 115, 1242–1247.
- Missouri Department of Natural Resources. 2004. Geologic Map of Missouri. Geological Survey Division. Rolla, MO.
- Mellon, P. , Frize, M. 2009. A digital geotechnical data system for the City of Glasgow. In: Culshaw, M. G. , Reeves, H. J. , Jefferson, I. & Spink, T. W. (eds), “Engineering Geology of Tomorrow’s Cities. ” Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication 22, CD paper number 346.
- Michigan Department of Environmental Quality. 2008. Michigan Sites of Environmental Contamination. Lansing, MI. Michigan Department of Natural Resources. 1988. List of Sites of Environmental Contamination. Lansing, MI.

- Mielke, H. W. 1999. Lead in the inner-cities. *American Scientist*, 87, 62 – 73.
- Mielke, H. W. 2005. Lead's toxic urban legacy and children's health. *Geotimes*, 50, 22–6.
- Mielke, H. W. , Anderson, J. C. , Berry, K. J. , Mielke, P. W. , Chaney, R. L. 1983. Lead concentrations in inner city soils as a factor in the child lead problem. *American Journal of Public Health*, 73, 1366–9.
- Mielke, H. W. , Smith, M. K. , Gonzales, C. R. , Mielke, Jr. P. W. 1999. The urban environment and children's health: Soils as an integrator of lead, zinc and cadmium in New Orleans, Louisiana, USA. *Environmental Research Section*, A81, 117–29.
- Mielke, H. W. , Gonzales, C. R. , Smith, M. K. , Mielke, P. W. 2000. Quantities and associations of Lead, Zinc, Cadmium, Manganese, Chromium, Nickel, Vanadium, and Copper in fresh Mississippi Delta alluvium and New Orleans alluvial soils. *Science of the Total Environment*, 246, 249–59.
- Mielke, H. W. , Wang, G. , Gonzales, C. R. , Powell, E. T. , Le, B. , Nancy Quach, V. 2004. PAHs and metals in the soils of inner-city and suburban New Orleans, Louisiana, USA. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 18, 243–7.
- Mielke, H. W. , Gonzales, C. R. , Powell, E. T. , Jartun, M, Mielke, P. W. 2007. Nonlinear association between soil lead and blood lead of children in metropolitan New Orleans, Louisiana: 2000–2005. *Science of the Total Environment*, 388, 43–53.
- Möller, A. , Müller, H. W. , Abdullah, A. , Abdelgawad, G. , Utermann, J. 2005. Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavy metals in the soils of the Damascus Ghouta. *Geoderma*, 124, 63–71.
- Morgan, A. J. , Roger, C. P. , Corey, R. F. 2008. Ancestral buried valleys of the Peace River: Effects on the Town of Peace River, in: *Conference Proceedings of the 61st Canadian Geotechnical Conference*, Edmonton, Alberta, September, 1219–1226.
- Mozola, A. J. 1969. *Geology for Land and Groundwater Development in Wayne County, Michigan*. Michigan Geologic Survey. Lansing, MI.
- Mohrlok, U. , C. Cata, and M. Bucker-Gittel. 2007. Impact on urban groundwater by wastewater infiltration into soils. In *Urban Groundwater-Meeting the Challenge*, ed. K. W. F. Howard, pp. 57–63. London, U. K.: Taylor & Francis.
- Murray, J. E. , Bona, J. M. 1993. *Rouge River National Wet Weather Demonstration Project (RRNWWDP)*, Detroit: RRNWWDP.
- Murray, K. S. 1996. Statistical comparison of heavy-metal concentrations in river sediments. *Journal of Environmental Geology* 27: 54–58.
- Murray, K. S. , Rogers, D. T. 1999a. Groundwater vulnerability, brownfield redevelopment and land use planning. *Journal of Environmental Planning and Management* 42: 801–810.
- Murray, K. S. , Rogers, D. T. 1999b. Evaluation of groundwater vulnerability in an urban watershed. *Proceedings of the 2nd International Congress on Water Resources and Environmental Research*, Brisbane, Australia, pp. 877–883.
- Murray, K. S, Bazzi, A. , Carter, C. , et al. 1997. Distribution and mobility of lead in soils at an outdoor shooting range. *Journal of Soil Contamination* 6: 79–93.
- Murray, K. S. , Lybeer, M. , Cauvet, D. , et al. 1999. Particle size and chemical control of heavy metals in bed sediment of the Rouge River, southeastern Michigan. *Journal of Environmental Science and Technology* 33: 987–992.
- Murray, K. , Rogers, D. T. , Kaufman, M. M. 2006. Dissolved heavy metals in shallow ground water in a southeastern Michigan urban watershed. *Journal of the American Water Resources Association* 42(3): 777–792.
- Nerem, R. S. , Chambers, D. P. , Choe, C. and Mitchum, G. T. , 2010. Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions. *Marine Geodesy*, [http://www.informaworld.com/smpp/title~db=all~content=t713657895~tab=issueslist~branches=33 - v3333\(\\$1\), 435–446](http://www.informaworld.com/smpp/title~db=all~content=t713657895~tab=issueslist~branches=33-v3333($1), 435–446).
- Nield, T. 2008. Altered priorities ahead: or how to develop fruitful relationships with the media In: Liverman D, Pereira C, Marker BR (eds) *Communicating environmental geoscience geological society*, vol 305. Special Publication, 5–10.

- Noack T, Fah D, Kruspan, P. 1999. Erdbebenmikrozonierung für den Kanton Basel-Stadt Geologischer Bericht Nr. 24, Landeshydrologie und -geologie, 83p.
- Ogilvy, R. D. , Meldrum, P. I. , Kuras, O. , Wilkinson, P. B. , Chambers, J. E. , Sen, M. , Pulido-Bosch, A. , Gisbert, J. , Jorreto, S. , Frances, I. , Tsourlos, P. 2009. Automated monitoring of coastal aquifers with electrical resistivity tomography. *Near Surface Geophysics*, 7, 5-6, 367-375.
- Office of the Deputy Prime Minister (ODPM). 2003. The strategic environmental assessment directive: guidance for planning authorities. Office of the Deputy Prime Minister, London.
- Ojakangas, R. W. and C. L. Matsch. 1982. Minnesota's Geology. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.
- Økland, Te. 2005. Kostholdsråd i norske havner og fjorder. (Dietary advice from Norwegian harbors and fjords). Report from Bergfald & Co as. in co-operation with Norwegian Food Safety Authority, Norwegian Scientific Committee for Food Safety and Norwegian Pollution Control Authority (in Norwegian).
- Ottesen, R. T. , Langedal, M. , Cramer, J. , Elvebakk, H. , Finne, T. E. , Haugland, T. , Jæger, Ø. , Longva, O. , Storstad, T. M. , Volden, T. 2000. Forurensset grunn og sedimenter i Trondheim kommune: Datarapport. Contaminated soils and sediments in the municipality of Trondheim: Data report. NGU-report 2000. 115, 119 pp. (in Norwegian).
- Ottesen, R. T. , Langedal, M. 2001. Urban geochemistry in Trondheim, Norway. *NGU Bulletin*, 438, 63-9.
- Ottesen, R. T. , Volden, T. 1999. Jordforurensning i Bergen. Urban soil pollution in Bergen. NGU-report, 99. 022, 27 pp (in Norwegian).
- Ottesen, R. T. , Alexander, J. , Langedal, M. , Haugland, T. , Høygaard, E. 2008. Soil Pollution in Day-Care Centers and Playgrounds in Norway– National Action Plan for Mapping and Remediation. *Geochemistry and Environmental Health*, 30, 623-37.
- Page, W. R. , S. C. Lundstrom, A. G. Harris et al. 2005. Geologic and Geophysical Map of the Las Vegas 30' x 60' Quadrangle, Clark and Nye Counties, Nevada, and Inyo County, California. United States Geological Survey Pamphlet to Accompany Scientific Investigations Map 2814. Washington DC.
- Pahl-Wostl, C. 2007. Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resour Manag* 21: 49-62
- Parcharidis, I. , Kokkalas, S. , Fountoulis, I. , Foumelis, M. 2009. Detection and monitoring of active faults in urban environments: time series interferometry on the cities of Patras and Pyrgos (Peloponnese, Greece). *Remote Sensing*, 1(4), 676-696.
- Patterson, C. C. 1980. An alternative perspective– lead pollution in the human environment: origin, extent, and significance. Lead in the human environment. National Research Council, National Academy of Sciences. National Academy Press, Washington, DC; pp. 265 – 349.
- Peduzzi, P. , Dao, H. , Herold, C. Mouton, F. 2009. Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* , 9, 1149-1159.
- Perkins, J. B. 1978. Identification of Possible Class I Site Areas, Solid Waste Management Plan. Technical Memorandum 7 (Berkeley, California: Association of Bay Area Governments).
- Pierce, S. A. , Sharp, J. M. , Garcia-Fresca, B. 2007. Evaluating groundwater allocation alternatives in an urban setting using a geographic information system data model and economic valuation technique. In *Urban Groundwater—Meeting the Challenge*, ed. K. W. F. Howard, pp. 197-211. London, U. K.: Taylor and Francis.
- Pitale, S. 2011. Urbanisation in India: An Overview. *Golden Research Thoughts*, 1(2) 1-4.
- Priest, G. , A. Baptista, E. Myers III, Kamphaus, R. 2001. Tsunami hazard assessment in Oregon. ITS 2001 Proceedings, NTHMP Review Session, R-3, 55-65

- Poland, J. S. , Mitchell, S. , Rutter, A. 2001. Remediation of former military bases in the Canadian Arctic. *Cold Regions Science and Technology*, 32, 93–105.
- Powell, J. W. 1888. *Methods of Geologic Cartography in Use by the United States Geological Survey* Washington, DC: USGS.
- Rogers, D. T. 1996. *Environmental Geology of Metropolitan Detroit*. Novi, MI: Clayton Environmental Consultants.
- Prokop, G. 2003. Sustainable management of soil and groundwater resources in urban areas. In: *Proceedings of the 2nd IMAGETRAIN cluster meeting*, Krakow, Poland, 2–4 Oct 2002.
- Raju, K. C. C. , Md. Karreemuddin, P. Brabhakara Rao. 1979. *Operation Anantapur*, Miscellaneous Publication No. 47, Geological Survey of India.
- Renaud, J. P. , Anderson, M. G. , Wilkinson, P. L. , Lloyd, D. M. , Wood, D. M. 2000. The importance of visualisation of results from slope stability analysis. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 156 (1), 27–33.
- Ren, N. , Que, M. , Li, Y. , Liu, Y. , Wan, X. , Xu, D. , Sverko, E. , Ma, J. 2007. Polychlorinated biphenyls in Chinese surface soils. *Environmental Science and Technology*, 41, 3871–3876.
- Rib, H. T. , Liang, T. 1978. Recognition and identification, in *Landslides – analyses and control*, edited by R. L. Schuster and R. J. Krizek, National Academy of Sciences, Washington DC, 34–69.
- Roberts B, Kanaley, T. B. 2006. *Urbanization and Sustainability in Asia: Case studies of good practices*, Asian Development Bank. <http://www.adb.org/publications/urbanization-and-sustainability-asia-good-practice-approaches-urban-region-development>.
- Robins, N. , B. Adams, and S. S. D. Foster. 1994. Groundwater vulnerability mapping: The British perspective. *Hydrogeologie* 3: 35–42.
- Rogers, D. T. 1992. The importance of site observation and followup environmental site assessment—A case study. In *Groundwater Management Book 12*, pp. 563–573. Dublin, OH: National Groundwater Association.
- Rogers, D. T. 1996. *Environmental Geology of Metropolitan Detroit*. Novi, MI: Clayton Environmental Consultants.
- Rogers, D. T. 1997a. The inflence of groundwater on surface water in Michigan's Rouge River watershed. *Proceedings of the American Water Resources Association, Conjunctive Use of Water Resources Aquifer Storage and Recovery*, Long Beach, CA, pp. 173–180.
- Rogers, D. T. 1997b. Surface geological map of the Rouge River watershed in southeastern Michigan. Wayne County, MI. 1: 62,500. 2 Sheets.
- Rogers, D. T. 1997c. Geologic sensitivity map of the Rouge River in southeastern Michigan. Wayne County, MI. 1: 62,500. 1 Sheet.
- Rogers, D. T. , Murray, K. S. 1997. Occurrence of groundwater in metropolitan Detroit. In *Groundwater in the Urban Environment*, ed. J. Chilton et al. , pp. 155–161. Rotterdam, the Netherlands: Balkema.
- Rogers, D. T. , Murray, K. S. 2002. The development and signifiance of a geologic sensitivity map of the Rouge River watershed in southeastern Michigan, USA. In *Geoenvironmental Mapping: Methods, Theory, and Practice*, ed. P. T. Bobrowsky, pp. 295–319. Rotterdam, the Netherlands: Balkema.
- Rogers, D. T. , Murray, K. S. , Kaufman, M. M. 2007. Assessment of groundwater contaminant vulnerability in an urban watershed in southeast Michigan, USA. In *Urban Groundwater—Meeting the Challenge*, ed. K. W. F. Howard, pp. 129–144. London, U. K.: Taylor & Francis.
- Rogers, D. T. , Kaufman, M. M. , Murray, K. S. 2008. Quaternary Geology of the Rouge River Watershed in Southeastern Michigan, USA. 33rd International Geological Congress. Abstracts with Programs. Oslo, Norway.
- Rossi, L. , de Alencastro, L. , Kupper, T. , Tarradellas, J. 2004. Urban stormwater contamination by polychlorinated biphenyls (PCBs) and its importance for urban water systems in Switzerland. *Science of the Total Environment*, 322, 179–89.

- Royse, K. R. , Rutter, H. K. & Entwisle, D. C. 2009. Property attribution of 3D geological models in the Thames Gateway, London: new ways of visualising geoscientific information. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68, 1-16.
- Ruel, M. A. 1988. An investigation and analysis of a landslide at mile 47. 6 Peace River railway subdivision, Unpublished Masters of Engineering Report. , University of Alberta, Edmonton AB, Canada.
- Ruus, A. , Schaanning, M. , Øxnevad, S. , Hylland, K. 2005. Experimental results on bioaccumulation of metals and organic contaminants from marine sediments. *Aquatic Toxicology*, 72, 273–292.
- Schoonenboom, M. H. , Tromp, P. C. , Olie, K. 1995. The formation of coplanar PCBs, PCDDs and PCDFs in a fly ash model system. *Chemosphere*, 30, 1341–1349.
- Schlocker, J. , Bonilla, M. G. , Radbruch, D. H. 1958. Geology of the San Francisco North Quadrangle, California. United States Geological Survey Miscellaneous Geologic Investigations, Map I-272.
- Schulz, W. H. 2004. Landslides mapped using LIDAR imagery, Seattle, Washington. United States Geological Survey, Open-file Report 2004–1396.
- Scott, J. S. 1998. Urban geology in Canada – a perspective. In: Karrow, P. F. , White, O. L. (eds). “Urban geology of Canadian cities. ” Special Paper 42. Geological Association of Canada Special Paper 42. St John's, Newfoundland. 1–9.
- SENATSVERTALTUNG fur STADTENTWICKLUNG und UMWELTSCHUTZ. 1990. Oekologisches Planungsinstrument Berlin Naturhaus-halt/Umwelt. (Berlin: Senatsverwaltung fur Stadtentwicklung und Umweltschutz.) [Berlin Environmental Atlas: in German].
- Sherzer, W. H. 1913. Geology of Wayne County. Geological Survey of Michigan. Lansing, MI.
- Shin, S. K. , Kim, T. S. 2006. Levels of polychlorinated biphenyls (PCBs) in transformer oils from Korea. *Journal of Hazardous Materials*, B137, 1514–1522.
- Schwartz, M. L. , ed. 1982. The Encyclopedia of Beaches and Coastal Environments, *Encyclopedia of Earth Sciences*, Volume XV, Hutchinson Ross Publishing Company, Stroudsburg, PA.
- Showstack, R. 2014. Scientists Call for a Renewed Emphasis on Urban Geology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, Vol. 95, No. 47, 431–432. Skaare, J. U. , Bernhoft, A. , Derocher, A. , Gabrielsen, G. W. , Goksoyr, A. , Henriksen, E. , Larsen, H. J. , Lie, E. , Wiig, Ø. 2000. Organochlorines in top predators at Svalbard– occurrence, levels and effects. *Toxicology Letters*, 112–113, 103–109.
- Slosson, J. E. 1966. Engineering geology in the marine environment, in *engineering geology in southern California*. Association of Engineering Geologists Special Publication, Los Angeles, pp. 305–318.
- Slovic, P. 2000. The perception of risk. risk, society and policy series. Earthscan Publications, London.
- Smith, A. , Ellison, R. A. 1999. Applied geological maps for planning and development: a review of examples from England and Wales. *Q J Eng Geol* 32(supplement): S1–S44.
- Smith, E. J. , Palevsky, S. 1990. Salt poisoning in a two-year old child. *The American Journal of Emergency Medicine*, 8, 571–572 (with references).
- Snowden, J. O. 1980. Geology of Greater New Orleans. New Orleans, LA: New Orleans Geological Society.
- Sundahl, M. , Sikander, E. , Ek-Olausson, B. , Hjorthage, A. , Rosell, L. , Tornevall, M. 1999. Determination of PCB within a project to develop cleanup methods for PCB-containing elastic sealant used in outdoor joints between concrete blocks in buildings. *Journal of Environmental Monitoring*, 1, 383–387.
- Smith, A, Ellison, R A. 1999. Applied geological maps for planning and development: a review of examples from England and Wales, 1983–96. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 32, 1–44.

- Solheim, A. , Bhasin, R. , De Blasio, F. V. , Blikra, L. H. , Boyle, S. , Braathen, A. , Dehls, J. , Elverhoi, A. , Etzelmuller, B. , Glimsdal, S. , Harbitz, C. B. , Heyerdahl, H. K. , Hoydal, O. A. , Iwe, H. , Karlsrud, K. , Lacasse, S. , Lecomte, I. , Lindholm, C. , Longva, O. , Lovholt, F. , Nadim, F. , Nordal, S. , Romstad, B. , Roed, J. K. , and Strout, J. M. 2005. International Centre for Geohazards (ICG): Assessment, prevention and mitigation of geohazards. *Norwegian Journal of Geology*, 85(1-2), 45–62.
- Spearing, D. 1991. *Roadside Geology of Texas*. Denver, CO: Mountain Press Publishing Company.
- Starke, L. (ed.). 2007. *State of the world 2007— Our urban future*. World watch Institute. W. W. Norton & Company, Inc, New York, USA.
- Stewart, M. 1992. *Karst Characteristics of the USF Geology Park*. Tampa, FL: Department of Geology, University of Southern Florida.
- Stiber, N. A. , Small, M. J. , Fischbeck, P. S. 1995. The relationship between historic industrial Site use and environmental contamination. *Journal of the Air and Waste Management Association* 48: 809–818.
- Stoffer, P. W. , Gordon, L. 2001. *Geology and Natural History of the San Francisco Bay Area—A Field Trip Guidebook*. USGS Bulletin 2188. Washington, DC.
- Stokes, W. L. 1989. *Geology of Utah*. Utah Museum of Natural History Occasional Paper No. 6. Salt Lake City, UT.
- Stone, R. 161. Geologic and engineering significance of changes in elevation revealed by precise leveling. Los Angeles area. pp. 57-58.
- Strachan, A. , Dearman, W. R. 1982. The Tyne and Wear databank, N. E. England. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 25, 45-51.
- Tejima, H. , Nishigaki, M. , Fujita, Y. , Matsumoto, A. , Takeda, N. , Takaoka, M. 2007. Characteristics of dioxin emissions at startup and shutdown of MSW incinerators. *Chemosphere*, 66, 1123–1130.
- Thieler, E. R. Hammar-Klose, E. S. , 1999. *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U. S. Atlantic Coast* U. S. Geological Survey Open-File Report 99-593 (<http://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-593/index.html>).
- Thomas, W. A. 2004. *Meeting the Challenges with Geologic Maps*. Alexandria, VA: American Geological Institute (AGI).
- Thompson, A. , Hine, P. D. , Greig, J. R. , Poole, J. S. 1998. *Environmental geology in land-use planning: Report to the Department of Transport, Environment and the Regions by Symonds Travers Morgan*. (East Grinstead).
- Tietze, K. 1992. Cyclic gas bursts: are they a "usual" feature of Lake Nyos and other gas-bearing lakes? - In Freeth, Ofoegbu, Onuoha (eds): *Natural hazards in West and Central Africa* - Vieweg, 1992
- Trimble, D. E. 1963. *Geology of Portland, Oregon, and adjacent areas*: United States Geological Survey Bulletin 1119, 1-119.
- UN-ISDR. 2004. *Terminology of disaster risk reduction*. United Nations, International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminologyveng20home.htm>
- UNFPA. 2007. *The state of world population 2007—Unleashing the potential of urban growth*. United Nations Population Fund, New York, USA, E/31,000/2007.
- UNEP. 2001. *United Nations Environmental Programme. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs). Convention text*. Stockholm, Sweden.
- United States Geological Survey. 1998. *United States Geological Survey Circular 1148. Forum on geologic mapping applications in the Washington-Baltimore urban area*. Washington, DC.
- United States Geological Survey. 2002. *3D Geologic Maps and Visualization: A New Approach to the Geology of the Santa Clara (Silicon Valley, California)*. United States Geological Survey Open-File Report 01-223.

- United States Geological Survey. 2003. Geology of the New York City region. <http://3dparks.wr.usgs.gov/nyc/index.html> (accessed August 27, 2009).
- United States Geological Survey. 2005. The new geologic map and geodatabase of Seattle. University of Washington. Seattle, Washington. http://geomapnw.ess.washington.edu/docs/Sea_Map_Fact_Sheet.pdf (accessed August 27, 2009).
- United States Geological Survey. 2005. 3D Modeling Techniques for Geological and Environmental Visualization and Analysis. United States Geological Survey Open-File Report 2005-1428. Washington, DC.
- United States Geological Survey. 2006. Federal Geographic Data Committee (FGDC) Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization. FGDC Document Number FGDC-STD-013-2006. Washington, DC.
- United States Geological Survey. 2007. Divisions of Geologic Time—Major Chronostratigraphic and Geochronologic Units. United States Geological Survey Fact Sheet 2007-3015. Washington, DC.
- United States Geological Survey. 2007. Geology of the National Capital Region—A Field Trip Guidebook. USGS Circular 1264. Washington, DC.
- United States Geological Survey. 2009. National cooperative geologic mapping program. <http://ncgmp.usgs.gov> (accessed September 8, 2009).
- United States Geological Survey. 2009. The Framework of a Coastal Hazards Model—A Tool for Predicting the Impact of Severe Storms By Patrick L. Barnard, Bill O'Reilly, Maarten van Ormondt, Edwin Elias, Peter Ruggiero, Li H. Erikson, Cheryl Hapke, Brian D. Collins, Robert T. Guza, Peter N. Adams and Julie Thomas. Open File Report 2009-1073, 25pp.
- United States Geological Survey. 2009a. Geology of the Mid-Atlantic Urban Corridor (GOMAC). USGS Circular 1148. Washington, DC.
- United States Geological Survey. 2009b. Geology of Texas. <http://mrdata.usgs.gov/sgmc/tx.html> (accessed August 27, 2009).
- United States Geological Survey. 2010a. Geologic mapping standards. USGS. National Cooperative Geologic Mapping Program. <http://ncgmp.usgs.gov> (accessed July 5, 2010).
- United States Geological Survey. 2010b. Geographic information systems. USGS. Washington, DC. http://egsc.usgs.gov/ish/pubs/gis_poster (accessed July 5, 2010).
- United States Geological Survey. 2010c. Topographic mapping. Online edition. <http://egsc.usgs.gov/ish/pubs/booklets/topo/topo.html> (accessed July 5, 2010).
- Vuono, M. , Hallenbeck, R. P. 1995. Redeveloping contaminated properties. *Journal of Risk Management* 42: 58–69.
- Walker, C. H. , Hopkin, S. P. , Sibly, R. M. , Peakall, D. B. 2001. *Principles of Ecotoxicology*. 2nd edition, Taylor and Francis.
- Wania, F. , Mackay, D. 1995. A global distribution model for persistent organic chemicals. *Science of the Total Environment*, 160/161, 211–232.
- Wania, F. , Haugen, J-E. , Lei, Y. D. , Mackay, D. 1998. Temperature dependence of atmospheric concentrations of semivolatile organic compounds. *Environmental Science and Technology*, 32, 1013–1021.
- Waters, C. N. , Northmore, K. J. , Highley, D. E. , Lawrence, D. J. D. , Prince, G. , Marker, B. R. , Bunton, S. , Butcher, A. , Snee, C. P. M. A. 1996. Geological background for planning and development in the City of Bradford Metropolitan district. British Geological Survey Technical Report, WA/96/1.
- World Health Organisation (WHO). 2013. Urban population growth WHO Global Laboratory. http://www.who.int/gho/urban_health/situation_trends/urban_population_growth/en/ (Accessed 30th Aug 2013).
- Wu M-C, Liu J, Cosgrove J, Mason PJ, Yan H, Chang W-Yclose, 2014, Modelling of Yingxiu-Seichuan fault zone based on refined DInSAR data of 2008 Wenchuan earthquake, *Tectonophysics*, 630, 193-207.

- Zaporozec, A. , Eaton, T. T. 1996. Ground-water resource inventory in urbanized areas. In Hydrology and Hydrogeology of Urban and Urbanizing Areas. American Institute of Hydrology (AIH) Annual Meeting Proceedings, St. Paul, MN.
- Zhai, M. , Kampunzu, H. A. B. , Modisi, M. P. , Totolo, O. 2003. Distribution of heavy metals in Gaborone urban soils (Botswana) and its relationship to soil pollution and bedrock composition. Environmental Geology, 45, 171–180.
- Zuccaro, G. , Cacace, F. , Spence, R. , Baxter, P. 2008. Impact of explosive eruption scenarios at Vesuvius. Journal of Volcanological and Geothermal Research, 178 (3), 416-453.

خواننده محترم

این پرسشنامه به منظور ارتقای کیفیت کتاب‌های درسی و رفع نواقص آن‌ها تهیه شده است. دقت شما در پاسخگویی به این پرسشنامه در پایان هر نیمسال ما را در تحقق این هدف یاری خواهد کرد.

نام کتاب نام مؤلف/مترجم سال انتشار
 پاسخگو: عضو علمی پیام‌نور □ عضو علمی سایر دانشگاه‌ها □ رشته تخصصی سابقه تدریس
 دانشجوی پیام‌نور □ دانشجوی سایر دانشگاه‌ها □ رشته تحصیلی ورودی سال

سوال	بله	خوابه	نه	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
۱. آیا از زمان تحویل و نحوه دسترسی به کتاب راضی بودید؟						
۲. آیا حجم کتاب با توجه به تعداد واحد مناسب بود؟						
۳. آیا راهنمایی‌های لازم برای مطالعه کتاب منظور شده بود؟						
۴. آیا در ترتیب مطالب کتاب سلسله مراتب شناختی (آسان به مشکل) رعایت شده بود؟						
۵. آیا تقسیم‌بندی مطالب در فصل‌ها یا بخش‌ها متناسب و بجا بود؟						
۶. آیا متن کتاب روان و ساده و جمله‌ها قابل فهم بود؟						
۷. آیا به‌روزر بودن مطالب و آمارها رعایت شده بود؟						
۸. آیا مطالب تکراری داشت؟						
۹. آیا پیوستگی مطالب با درس‌های پیش‌نیاز رعایت شده بود؟						
۱۰. آیا مثال‌ها، شکل‌ها، نمودارها، جدول‌ها و ... گویا بودند و در فهم مطلب تأثیر داشتند؟						
۱۱. مطالعه هدف‌های کلی، آموزشی/ رفتاری تا چه اندازه به درک بهتر شما کمک کرد؟						
۱۲. آیا خودآزمایی‌های کتاب به‌گونه‌ای بود که تمام مطالب درسی را شامل شود؟						
۱۳. آیا پاسخ خودآزمایی‌ها و تمرین‌ها کامل و گویا بود؟						
۱۴. چقدر با غلط‌های املائی و اشکال‌های چاپی مواجه شدید؟						
۱۵. آیا از کیفیت چاپ و صحافی کتاب راضی بودید؟						
۱۶. آیا طرح روی جلد کتاب با مطالب کتاب تناسب داشت؟						
۱۷. چنانچه دانشگاه وسایل کمک‌آموزشی از قبیل نوار، فیلم، لوح فشرده و ... در اختیار تان گذارده، آیا به درک بهتر شما کمک کرده‌اند؟						
۱۸. تا چه اندازه این کتاب شما را از حضور در کلاس بی‌نیاز کرد؟						

در مجموع کتاب را چگونه ارزیابی می‌کنید؟ عالی □ خوب □ متوسط □ ضعیف □ بسیار ضعیف □
 لطفاً چنانچه با اشکال‌های تایپی یا محتوایی و مطالب تکراری مواجه شده‌اید، فهرستی از آن‌ها را با ذکر شماره صفحه ضمیمه کنید. در صورت تمایل سایر پیشنهاد‌های خود را نیز بنویسید.
 این پرسشنامه را پس از تکمیل از کتاب جدا کنید و به قسمت آموزش مرکز تحویل دهید یا مستقیماً به نشانی تهران، صندوق پستی ۳۳۳-۱۴۳۳۵، دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی کتاب ارسال فرمایید. آدرس وبگاه ما www.pnu.ac.ir است. با ورود به وبگاه، مسیر زیر را طی نمایید: ساختار دانشگاه/ معاونت‌ها/ فناوری اطلاعات/ دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی.

با تشکر

دفتر تدوین و تولید کتب و محتوای آموزشی