زمین‌شناسی شهری

دکتر وحید احدنژاد

فهرست

عنوان	صفحه
پیشگفتار مولف	
فصل اول: کلیات	۱
مقدمه	۲
۱-۱ تاریخچه مطالعات زمین‌شناسی شهری	٤
۱-۱-۱ آمریکا	۵
۱-۱-۲ اروپا	۵
۱-۱-۳ آسیا	٦
۱-۱-٤ پروژه اسکاپ	۷
۱-۱-۵ آسیای مرکزی	۸
۱-۱-٦ آسیای جنوب‌شرقی	۹
۱-۱-۷ جنوب آسیا	۹
۱-۱-۸ شرق آسیا	۱۰
۱-۱-۹ ایران	۱۰
۱-۲ نقشه‌های زمین‌شناسی در مناطق شهری و مسائل پیش رو	۱۲
۱-۲-۱ مسائل بهداشتی	۱۲
۱-۲-۲ مسائل مهندسی	۱۳
۱-۲-۳ مسائل مرتبط با نقشه‌برداری	**۱۳**
۱-۳ آینده داده‌های زمین‌شناسی شهری	۱٤
۱-٤ بررسی‌های آینده در زمین‌شناسی شهری	۱٦
۱-۵ خلاصه فصل	۱۸
۱-٦ خودآزمایی فصل اول	۱۹

فصل دوم: ملزومات زیست‌محیطی و مدیریتی زمین‌شناسی مناطق شهری ۲۰

مقدمه ۲۲

۲-۱ توسعه زیرساخت‌ها در مناطق زیرسطحی شهری ۲۵

۲-۲ منازعات مرتبط با کاربری مناطق شهری ۲۷

۲-۳ تاریخچه وضع قوانین ۲۸

۲-٤ آلایش آب‌های زیرزمینی ۲۹

۲-۵ برآورد و محافظت از منابع آب زیرزمینی ۳۰

۲-٦ آلایش آب‌های سطحی ۳۰

۲-۷ شهرهای ساحلی ۳۰

۲-۷-۱ عوامل زمین‌شناسی ۳۲

۲-۷-۲ عوامل انسانی ۳۵

۲-۸ مدیریت پسماندهای شهری ۳۸

۲-۸-۱ اصول زمین‌شناسی دفن زباله در مناطق شهری ۳۹

۲-۸-۲ عوامل هیدرولوژیکی ٤٤

۲-۸-۳ انتخاب محل دفن زباله بهداشتی ٤٦

۲-۸-٤ محدودیت‌های زمین‌شناسی ٤٦

۲-۸-۵ بهره‌برداری از سایت دفن زباله ٤۷

۲-۸-٦ پایش آلودگی‌های ناشی از محل دفن زباله‌ها ٤۷

۲-۸-۷ بازرسی بهره‌برداری از محل دفن زباله‌ها ٤۸

۲-۹ آلایش خاک‌های سطحی و زیرسطحی ٤۹

۲-۱۰ مخاطرات زمین‌شناسی ٤۹

۲-۱۱ روش‌های مطالعه و بازیابی داده‌های زمین‌شناسی مرتبط با زیرسطح ساختمان‌های شهری ٤۹

۲-۱۲ انواع داده‌های زمین‌شناسی مورد نیاز مناطق شهری ۵۰

۲-۱۳ مدیریت داده‌های زمین‌شناسی مناطق شهری ٥٤

۲-۱۳-۱ سازمان‌های زمین‌شناسی ٥٥

۲-۱۳-۲ مسئولین شهری ٥٦

۲-۱۳-۳ شرکت‌های خصوصی ٥٧

۲-۱٤ ارتباط بین داده‌های زمین‌شناسی و برنامه‌ریزی در مناطق شهری ٥٨

۲-۱٤-۱ سیستم‌های برنامه‌ریزی ٥٩

۲-۱٤-۲ اطلاعات ٥٩

۲-۱٤-۳ ارتباط و انتشار اطلاعات ٦٢

۲-۱٤-٤ اقدامات بعدی ٦٣

۲-۱٥ نتیجه‌گیری ٦٣

۲-۱٦ خودآزمائی فصل دوم ٦٤

فصل سوم: اصول استفاده پایدار از منابع شهری ٦٦

مقدمه ٦٧

۳-۱ موضوعات مرتبط با زمین‌شناسی در محیط شهری ٦٩

۳-۲ گسترش فضاهای زیرسطحی در مناطق شهری ۷۰

۳-۳ اطلاعات مورد نیاز زمین‌شناسی شهری ۷۲

۳-٤ نقشه‌برداری کاربردی ۷۳

۳-٥ اهداف برنامه‌ریزی شهری ۷٦

۳-٦ خروجی برنامه‌ریزی شهری ۷٦

۳-۷ استانداردهای ثبت مشاهدات ۷۷

۳-۸ دسته داده‌های زمین‌شناسی شهری ۷۷

۳-۸-۱ نقشه‌ها ۷۹

۳-۸-۲ عکس‌های هوایی عمودی ۸۰
۳-۸-۳ مدل رقومی زمین و مدل رقومی ارتفاعی ۸۲
۳-۸-٤ پایگاه داده گمانه‌ها ۸۳
۳-۸-۵ منحنی تراز راس سنگ ۸٤
۳-۸-٦ اطلاعات مربوط به خاک‌های مناطق شهری ۸٤
۳-۸-۷ پایگاه داده‌های ژئوتکنیکی ۸۵
۳-۸-۸ خروجی موضوعی ۸٦
۳-۸-۹ کاربری قدیمی زمین ۸۷
۳-۸-۱۰ کاربری فعلی زمین ۸۷
۳-۸-۱۱ پایگاه داده‌های سطوح آب‌های زیرزمینی و جهات اصلی آن‌ها ۸۸
۳-۸-۱۲ داده‌های ژئوشیمیایی ۸۹
۳-۸-۱۳ اطلاعات مربوط به خسارت ساختمان‌ها ۹٦
۳-۸-۱٤ منابع معدنی ۹۷
۳-۸-۱۵ مخاطرات زمین‌شناسی ۹۸
۳-۸-۱٦ بقایای معدنکاری ۹۸
۳-۹ مدل‌سازی و نمایش ۹۹
۳-۹-۱ مدل‌سازی زمین‌های مصنوعی ۱۰۰
۳-۹-۲ مدل‌سازی سطح سنگ ۱۰۰
۳-۹-۳ مدل‌سازی رسوبات سطحی ۱۰۱
۳-۹-٤ شاخص‌های اطمینان ۱۰۲
۳-۱۰ روش‌های تخصیص، توسعه و ارائه داده‌های توصیفی زمین‌شناسی بسیار متنوع ۱۰٤
۳-۱۰-۱ مقیاس‌گذاری دوباره ۱۰٦
۳-۱۰-۲ استفاده از اطلاعات داده‌های توصیفی ۱۰۹
۳-۱۱ نتیجه‌گیری ۱۱۲

۳-۱۲ خودآزمائی فصل سوم ۱۱۳

فصل چهارم: مخاطرات (بلایای) زمین‌شناسی در محیط‌های شهری و نحوه مدیریت آن‌ها ۱۱٤

مقدمه ۱۱۵

٤-۱ انواع مخاطرات زمین‌شناسی ۱۱۸

٤-۱-۱ مخاطرات ناشی از گسیختگی شیب ۱۱۸

٤-۱-۲ مخاطرات ناشی از فرونشست، آوار و آماس زمین ۱۱۸

٤-۱-۳ مخاطرات ناشی از زلزله ۱۲۱

٤-۱-٤ مخاطرات ناشی از آتش‌فشان ۱۲۱

٤-۱-۵ مخاطرات ناشی از سیل ۱۲۲

٤-۱-٦ سونامی ۱۲۳

٤-۱-۷ طوفان دریایی ۱۲۳

٤-۱-۸ مخاطرات ناشی از به خطر افتادن سلامت انسان‌ها در اثر عناصر طبیعی ۱۲۵

٤-۱-۹ مخاطرات طبیعی در مناطق شهری واقع در نقاط خشک و نیمه‌خشک ۱۲۵

٤-۱-۹-۱ بیابان‌زایی ۱۲۵

٤-۱-۹-۲ فرسایش و رسوب‌گذاری ۱۲۵

٤-۱-۹-۳ شورشدگی ۱۲۷

٤-۱-۱۰ مخاطرات زمین‌شناسی و توسعه پایدار شهری ۱۲۷

٤-۲ روش‌های برآورد مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری ۱۲۹

٤-۲-۱ سامانه اطلاعات جغرافیایی یا دانش اطلاعات مکانی (GIS) ۱۳۱

٤-۲-۲ دورسنجی یا سنجش از دور ۱۳۸

٤-۲-۲- ۱ فرسایش ۱٤۰

٤-۲-۲-۲ آتش‌فشان ۱٤۱

٤-٢-٢-٣ گسل‌های فعال و زلزله ١٤٣
٤-٣ تکنیک‌های نقشه‌برداری ویژه ١٤٣
٤-٣-١ نقشه‌بردای مخاطرات چندگانه ١٤٤
٤-٣-٢ نقشه‌بردای تجهیزات حیاتی ١٤٧
٤-٤ ترکیب نقشه‌های مخاطرات چندگانه و تجهیزات حیاتی ١٤٨
٤-٥ مقیاس بررسی مخاطرات زمین‌شناسی ١٥١
٤-٦ مدیریت مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری ١٥٣
٤-٦ خودآزمایی فصل چهارم ١٥٥
فصل پنجم: ژئوشیمی مناطق شهری **١٥٧**
مقدمه ١٥٨
٥-١ محیط شهری ١٦٠
٥-٢ اهداف مطالعات ژئوشیمی ١٦٥
٥-٣ روش‌های مطالعات ژئوشیمیایی ١٦٦
٥-٣-١ نمونه‌برداری ١٦٦
٥-٣-٢ نمونه‌برداری از خاک ١٦٨
٥-٣-٣ مسائل مربوط به روش‌های آنالیز ١٧٣
٥-٣-٤ آلایندگی یا حضور طبیعی مواد ١٧٦
٥-٣-٤-١ تغییرات طبیعی ١٧٦
٥-٣-٤-٢ نظرات مختلف در مورد سم‌شناسی ١٧٧
٥-٣-٤-٣ ترکیبات ارگانیک ١٧٨
٥-٣-٤-٤ POPها و PCBها ١٧٩
٥-٤ چشم‌انداز نتایج مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری ١٨١
٥-٤-١ کاربردهای بهداشتی ١٨١

۵-٤-۲ نقشه‌های اگاهی بخش (جلوگیری از انتشار بیشتر آلاینده‌ها) ۱۸۲
۵-٤-۳ تشخیص منابع آلودگی ۱۸۲
۵-٤ خودآزمایی فصل پنجم ۱۸۳
فصل ششم: تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در محیط‌های شهری ۱۸۵
مقدمه ۱۸٦
٦-۱ تهیه نقشه زمین‌شناسی در یک منطقه شهری ۱۸۹
٦-۱-۱ اطلاعات و چالش‌های پیش رو در تهیه نقشه ۱۸۹
٦-۱-۲ منابع اطلاعات، یکپارچه‌سازی و برآورد قابلیت استفاده از آن‌ها ۱۹۲
٦-۱-۳ ایجاد مدل زمین‌شناسی مفهومی ۱۹۸
٦-۱-٤ مطالعات صحرایی ۲۰۰
٦-۱-۵ آنالیز رخساره‌ها ۲۰۹
٦-۱-٦ ایجاد و توسعه مقاطع عرضی ۲۱۳
٦-۱-۷ تهیه نقشه مبنا ۲۱٦
٦-۱-۸ آماده‌سازی طرح نهایی نقشه ۲۱۹
٦-۱-۸-۱ توالی نقشه‌ها ۲۲۱
٦-۱-۸-۲ نقشه‌های سه‌بُعدی ۲۲٦
٦-۲-۲-۳ تهیه نقشه با استفاده از GIS ۲۳۱
٦-۲-۳ خلاصه و نتیجه‌گیری ۲۳۵
٦-۳ خودآزمایی فصل ششم ۲٤۰
فصل هفتم: نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی مناطق شهری ۲٤۲
مقدمه ۲٤۳
۷-۱ آسیب‌پذیری زیرسطحی و توسعه نقشه آسیب‌پذیری ۲٤۵
۷-۲ روش‌ها ۲٤۷

۷-۳ مثال تهیه نقشه ۲۵۶
۷-٤ نمایش اهمیت تهیه نقشه آسیب‌پذیری ۲۶۳
۷-٤-۱ سایت با آسیب‌پذیری کم ۲۶٤
۷-٤-۲ سایت با آسیب‌پذیری باالا ۲۷۰
۷-٤-۳ مقایسه سایت‌ها ۲۷۸
۷-۵ خلاصه و نتیجه‌گیری ۲۷۹
۷-٦ خودآزمایی فصل هفتم ۲۸۱
کتابنامه ۲۸۳
References ۲۸۳
کلید سوالات تستی ۳۰۳

پیشگفتار

علوم مدرن زمین‌شناسی می‌تواند راه‌حل‌های بسیار مناسبی برای استفاده پایدار از منابع زیرزمینی در محیط‌های شهری ارائه کند. منابع زیرزمینی شهری و به ویژه آب‌های زیزمینی 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 به‌طور کلی 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. تا کنون خسارات بر منابع یاد شده عمدتاً به صورت 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 به جای در نظر گرفتن سایر مسائل مرتبط با استفاده پایدار از این منابع به عنوان بخشی از زیست‌بوم بشری اشاره کرد. علاوه بر این، بسیاری از پروژه‌های شهری که مثلاً در ۳۰ سال پیش یا بیشتر مورد تائید قرار گرفته و در محیط‌های شهری اجرا شده‌اند امروزه با توجه به قوانین جدید امکان تائید 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 تاثیرات سطحی از قبیل آلودگی صوتی و آلودگی هوا را در برمی‌گیرد بلکه تاثیرات 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 برخود 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. به ویژه از خانم قطبی که در بخش تدوین به صورت 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- پائیز ۱۳۹٤

فصل اول

کلیات

اهداف کلی

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

اهدف رفتاری

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

۱. تعریف زمین‌شناسی شهری و تفاوت آن با شاخه‌های دیگر علم زمین‌شناسی از قبیل زمین‌شناسی محیط‌زیست، زمین‌شناسی مهندسی، ژئومورفولوژی و غیره.

۲. دامنه مطالعات زمین‌شناسی شهری.

۳. تاریخچه مطالعات زمین‌شناسی شهری در نقاط مختلف جهان از جمله در ایران.

٤. مسائل و مشکلات پیش روی زمین‌شناسان در مطالعات مرتبط با مناطق شهری از جمله تهیه نقشه زمین‌شناسی این مناطق.

۵. انواع داده‌های زمین‌شناسی شهری.

٦. آینده مطالعات زمین‌شناسی شهری و نقش آن در توسعه پایدار مناطق شهری.

۷. 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 روز به روز اهمیت بیشتری می‌یابد. در سال ۱۸۰۰ میلادی فقط 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 ٤٧ درصد افزایش یافت و پیش‌بینی می‌شود که ٦٠ درصد مردم جهان در سال ۲۰۳۰ در شهرها ساکن باشند (گزارش سازمان ملل متحد[1]).

به‌طور کلی شهرنشینی به معنی تمرکز مکانی مردم و فعالیت‌های اقتصادی است (رابرتز و کانالی، ۲۰۰٦) 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[2] گفته می‌شود. طبق تعریف "زمین‌شناسی شهری" عبارتست از مطالعه مواد زمین و منابع آب زیرزمینی 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 بدین صورت 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. بنابراینبنابراین این علم مستقیم یا غیرمستقیم با شهروندان سروکار داشته و یکی از شاخه‌های علوم زمین است که به سرعت در حال رشد است. از آنجا که بین مناطق شهری و بافت زمین‌شناسی زیر آن‌ها

[1] . UNHSP/BASICS1/02
[2] . Urban Geology

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[1]، ژئوفیزیک آب[2]، زمین‌شناسی مهندسی، زمین‌ریخت‌شناسی[3]، دیرین‌بوم‌شناسی[4]، بوم‌شناسی رودخانه[5] و غیره می‌باشد. در واقع این شاخه از علم 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 بسزائی در ارائه راه‌کارهای مناسب در زمینه استفاده پایدار از منابع مناطق شهری داشته باشد. دامنه مطالعات زمین‌شناسی شهری گسترده است و می‌تواند شامل منابع آب زیرزمینی 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 غیرهبلایای طبیعی، انتخاب محل مناسب جهت احداث بناهای شهری، انتخاب مصالح ساختمانی مناسب و غیره باشد.

منابع زیرزمینی شهری و به‌ویژه سفره‌های آب‌های زیرزمینی به‌شدت تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی آسیب‌پذیر هستند. بنابراین بنابراینمقابله 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، مهندسین فقط منافع کوتاه‌مدت اقتصادی خود را در نظر می‌گیرند و این مسئله اغلب موجب تأثیرات منفی کمّی و کیفی بر ذخایر زیرزمینی، تغییر رژیم جریانات آبی، تشدید بلایای طبیعی، ایجاد تنش ناشی از کمبود منابع زیرزمینی و غیره می‌شود.

---

[1] . Hydrogeology
[2] . Hydrogeophysics
[3] . Geomorphology
[4] . Paleoecology
[5] . River-ecology

گرچه اقدامات قانونی به‌منظور محافظت از منابع طبیعی در دهه‌های اخیر مدام تغییر کرده و بهبود یافته ولی 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 فنّاوری در زمینه مدیریت منابع است.

امروزه دانش ما در مورد فرآیندهای 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 آب زیرزمینی را نیز مورد بررسی قرار دهد.

۱-۱ تاریخچه مطالعات زمین‌شناسی شهری

واژه زمین‌شناسی شهری اولین بار توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)[1] مورد توجه قرار گرفته است (مک‌گیل، ۱۹٦٤) 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 ۱۹٦۰ و ۱۹۷۰ مربوط می‌شود (شلوکر و همکاران، ۱۹۵۸؛ تریمبل، ۱۹٦۳). در دهه ۱۹۹۰ نیز در انگلیس به‌صورت حرفه‌ای پایگاه داده‌ای و کامپیوتری به این منظور ایجاد شد (الیسون، ۲۰۰۱). در دهه‌های ۱۹٤۰ 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 یادشده به‌عنوان زمین‌شناسی شهری در نظر گرفته نشده است (هریس و هارلو، ۱۹٤۸؛ استون، ۱۹٦۱). مقالات بسیاری نیز در

[1] . United States Geological Survey

زمینه‌های زمین‌لغزش شهر کالیفرنیا در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹٦۰ (جانز، ۱۹۵۸؛ لایتون، ۱۹٦٦)، زلزله آن منطقه (لیدز، ۱۹٦٦) و مسائل مربوط به مهندسی سواحل آن ارائه شده است (اسلوسن، ۱۹٦٦). 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 ۱۹٦۰ در ماساچوست بوستون توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا انجام شد (کای، ۱۹٦۷؛ مک‌گیل، ۱۹٦٤؛ کارتر، ۱۹٦۷). در کانادا نیز در همین زمان نقشه‌های موضوعی در ارتباط با شهرهای آن کشور چاپ شد (لگت، ۱۹٦۲، ۱۹٦۸، ۱۹۷۳). حدوداً در همین زمان مطالعات وسیع زمین‌شناسی در آنکوراژ، والدز، آلاسکا (دوبوروونلی و شمول، ۱۹٦۸)، سن‌آنتونیو و هوستون تگزاس انجام شده است. موضوع مورد مطالعه اغلب این مثال‌ها در مورد مسائل مربوط به جابجایی 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 تأکیدتأکید داشته و سازمان زمین‌شناسی آمریکا نیز از میان بلایای طبیعی به زلزله، فرونشینی و فرسایش سواحل توجه بیشتری کرداست.

۱-۱-۲ اروپا

مطالعات در این منطقه در هلند به‌منظور برنامه‌ریزی برای مناطق ساحلی کواترنری صورت گرفته است (هاگمن، ۱۹٦۳، ۱۹۸۹). در این منطقه تمرکز اصلی بر روی زمین‌شناسی مسیرهای عبور انرژی، راه‌آهن و بزرگراه‌ها بوده است. در اوخر 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 محیط زیست در آمریکا و کانادا دو کشور هند و پاکستان زمین‌شناسی محیط زیست و شهری را در دهه ۱۹۷۰ در اولویت قرار دادند (سازمان زمین‌شناسی هند، ۱۹۸۰). یک مثال دقیق در این زمینه پروژه آنانتاپور[1] است که در آن مطالعه حرفه‌ای در مورد مناطق شهری جنوب هند صورت گرفته و نقشه‌های بسیار مناسبی تهیه شده است. 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).

به‌طور کلی، به نظر می‌رسد مطالعات انجام‌شده در هند توسط برنامه‌ریزان چندان مورد توجه قرار نگرفته و غالباً به صورت 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 کویته 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 شده بود.

[1] . Anantapur

۱-۱-٤ پروژه اسکاپ[1]

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 فعال شده و اطلاعات قابل توجهی در زمینه توسعه مناطق شهری از دیدگاه زمین‌شناسی تهیه کردند. اسکاپ در سال ۱۹۸۵ یکی از اولین برنامه‌های مشورتی 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 به مدت 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 شده است.

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 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 زمین‌شناسی از آن استفاده کنند.

رویکرد اسکاپ جهت پیشبرد اهداف و بکارگیری 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

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

برای برنامه‌ریزان قابل استفاده باشد و هدف سوم نیز برجسته کردن مشکلات و مسائل متنوعی است که از گذشته باقی مانده است (اسکاپ، ۱۹۹۹).

در سال ۱۹۹۳ اسکاپ شعبه‌ای را در زمینه زمین‌شناسی شهری (فوگاپ[1]) 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 جنوب‌شرق 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 توسعه یافته 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 جنوب‌شرق 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-اسکندرآباد 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

[1] . FUGAP - Forum on Urban Geology in Asia and the Pacific

شهری در سازمان‌های زمین‌شناسی خود ایجاد کرده‌اند. در سال ۲۰۰۱ مغولستان نیز برای تأسیس چنین واحدی از اسکاپ درخواست همکاری کرد.

۱-۱-٦ آسیای جنوب‌شرقی

ویتنام تعداد زیادی نقشه‌های موضوعی برای مناطق شهری سه شهر بزرگ خود یعنی هانوی، هوشی‌مینه و دانانگ تهیه کرده است که غالباً منتشر نشده‌اند. این اقدام در سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۸۸ آغاز شدشد. نشست هانوی موضوع بررسی‌های بسیاری در دهه گذشته بوده است که دلیل آن سیستم غیرمؤثر زهکشی بجا مانده از دوران استعمار فرانسه است که پاسخگوی باران سیل‌آسای منطقه نیست. به‌دلیل اینکه سیل‌بندها کم ارتفاع (۱۰ متری) بودند هر ساله آب سرریز رودخانه سرخ[1] این شهر را درمی‌نوردید. ویتنام خواستار کمک بین‌المللی برای انجام مطالعه در مورد شرایط آب‌شناسی که به‌علت صدمه‌زدن به توسعه منطقه‌ای و شهری در دلتای سفلی رود سرخ شد. این مطالعه به‌ویژه تمرکز خود را بر روی شرایط زیست‌محیطی منطقه توریستی و مکانی شناخته شده به‌عنوان میراث فرهنگی جهانی (ها لونگ بای) قرار داد. جمهوری دمکراتیک خلق لائوس 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 آلایش آرسنیک در دلتای بنگال تمرکز کرده‌اند و این موضوع مهمترین مسئله برای سازمان بهداشت جهانی (WHO)[2] نیز شده است. سازمان 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

[1] . Red River
[2] . World Health Organization

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[1] شناخته می‌شود به این دلیل که با کمک این دانش می‌توان محیط زیست 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 بود، شد. یکی از نتایج این مطالعات جابجایی 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، و سازمان‌های محیط‌زیست و زمین‌شناسی صورت گرفته است.

مواردی مانندمانند 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 خشک شدن روی ترک‌خوردگی لایه‌های نفوذناپذیر و تأثیر آن بر نفوذپذیری این لایه، پژوهش و ارزیابی زمین‌شناسی ساختگاهی، طبقه‌بندی نوع خاک با استفاده از روش

[1] . Social Geology

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 محیط زیست 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 زیست محیطی، 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 به وسیله سازمان زمین‌شناسی کشور و در گروه زمین‌شناسی مهندسی تهیه شد. همچنین می‌توان به نقشه زمین‌شناسی مهندسی و زیست محیطی 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 این‌گونه نقشه‌ها در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌های کلان توسعه شهرها، امروزه تمرکز سازمان زمین‌شناسی بیشتر بر روی تهیه نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ زمین‌شناسی مهندسی کاربردی گذارده شده است.

۱-۲ نقشه‌های زمین‌شناسی در مناطق شهری و مسائل پیش رو

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 شده است. 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 به درستی گردآوری شوند، می‌توانند به‌عنوان ابزاری بسیار مؤثر در کاهش خطرات تهدید کننده سلامتی مردم به حساب آیند.

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 که 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، گلِ 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 به سوی 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 ۱۹۹٦ از سوی سازمان ملل[1] 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.

[1] . Habitat II

۱-۳ آینده داده‌های زمین‌شناسی شهری

به‌طور کلی 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 اینرو بکارگیری پایگاه داده‌های کامپیوتری و نشان دادن این داده‌ها از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[1] 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)[2] کرده است و نگارنده نیز به‌عنوان یکی از مؤسسین این پایگاه افتخار همکاری داشته است. در پایگاه داده‌های یاد شده انواع داده‌های زمین‌شناسی گردآوری شده و پس از تلفیق به صورت گزارش‌های مختلف در اختیار تصمیم‌گیران کشور در سطوح مختلف قرار می‌گیرد. بنابراین در این زمینه ایران یکی از پیشروترین کشورها است و برخی از کشورها نیز (مانند ونزوئلا و تاجیکستان) با استفاده از الگوی ایران و تحت‌نظر کارشناسان آن دست به ایجاد پایگاه داده‌های مشابهی زده‌اند.

کاربران این پایگاه داده‌ها مشتمل بر دو گروه عمده هستند:

۱) زمین‌شناسان

۲) غیرزمین‌شناسان.

زمین‌شناسانی که با این داده‌ها سروکار دارند عمدتاً در شاخه‌های زمین‌شناسی مهندسی، زمین‌شناسان محیط زیست، 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

[1] . Geographic Information System
[2] . National Geoscience Database of Iran

سازمان‌های مرتبط با حمل و نقل شهری، برنامه‌ریزان، باستان‌شناسان، طرفداران محیط زیست 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[1] 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:

۱) فراوانی داده‌ها برای بسیاری از شهرها که جستجو، گردآوری و رقومی کردن آن‌ها را دچار مشکل می‌کند.

۲) 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 به گونه‌ای 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 به گونه‌ای گردآوری شوند که برای اغلب آن‌ها اطلاعات قابل استفاده‌ای را فراهم کند.– داده‌های پایگاه باید

[1] . Database

ارتباط منطقی بین داده‌های محیطی و زمین‌شناسی برقرار کند.- گردآوری و تلفیق داده‌های زمین‌شناسی و شهری بسیار پرهزینه است بنابراین باید به گونه‌ای 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 مورد استفاده 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. پیتر فلاون (۱۹۹٦) 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 راه حل 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.

۱-٤ 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 سطح‌الارضی 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 ۱۰۰-۵۰ ساله اخیر و پایگاه داده‌های ۲۵ ساله لندست[1] باشد.

- ایجاد پایگاه داده‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) که دربردارنده تاریخچه زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و آب‌شناسی شهرهای متوسط و بزرگ باشد. نقشه‌ها باید به موارد زیر اشاره کرد:

۱) نقشه‌برداری گسترش فضایی لایه‌های تراوا و مناطق شکستگی و تأثیرات مهاجرت آب‌های سطحی و زیرزمینی و زبانه‌های آلاینده در این آب‌ها،

۲) نقشه‌برداری، بررسی‌های ژئوفیزیکی و آب‌شناسی مرتبط با بلایای طبیعی مانند خاک‌های منبسط شونده، سیل، فرونشینی حاصل از افت آب زیرزمینی، زمین‌لغزش و گسلش

۳) تهیه پایگاه داده‌ها براساس سیستم GIS که بتوان از آن برای برنامه‌ریزی، پهنه‌بندی، ارتباطات و تراکم جمعیت استفاده کرد

[1] . Landsat

٤) 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 آلایش‌های حاوی جیوه که 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 آن‌هاست به این دلیل که این مواد و فرآیندهای 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).

۱-۵ خلاصه فصل

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 فرآیندهای بزرگ‌مقیاس زمین‌شناسی می‌پردازند اما در محیط‌های شهری به‌دلیل دستکاری توسط انسان و همچنین نبود رخنمون‌های مناسب دارای این امکان وجود نداشته و پیچیدگی‌های زمین‌شناسی بسیار بیشتری دارد. با این وجود این‌گونه مطالعات به‌دلیل 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 غیرهغیره 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 تأسیستأسیسات شهری، سیستم‌های پایدار زهکشی و بررسی‌های باستان‌شناسی از حوزه‌های جدید مطالعات زمین‌شناسی شهری است.

۱-٦ خودآزمایی فصل ۱

۱. در سال ۲۰۳۰ چند درصد مردم جهان شهرنشین خواهند بود؟

الف) ٤٧ ب) ۱۵ ج) ۲ د) ٦۰

۲. اولین مطالعات زمین‌شناسی شهری در کدام کشور صورت گرفت؟

الف) امریکا ب) هلند ج) هند د) آلمان

۳. پروژه اسکاپ در چه سالی شروع شد و چند سال ادامه داشت؟

الف) ۱۹۵۸- ١٦ سال ب) ۱۹۸۵- ۱۷ سال

ج) ۱۹۷۵- ١٦ سال د) ۱۹۸٦- ۱۷ سال

٤. اولین نقشه زمین‌شناسی مهندسی تهیه‌شده در ایران متعلق به کدام شهر است؟

الف) شیراز ب) تهران ج) تبریز د) اهواز

۵. زمین‌شناسی شهری عمدتاً از کدام شاخه‌های زمین‌شناسی تشکیل شده است؟ (حداقل چهار مورد).

٦. واژه زمین‌شناسی شهری اولین بار توسط چه شخص یا سازمانی مطرح شد و در کدام شهر بیشترین مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته است؟

۷. پروژه اسکاپ چیست و رویکردهای اسکاپ جهت پیشبرد اهداف و بکارگیری زمین‌شناسی کدام است؟ (سه مورد).
۸. تاریخچه مطالعات زمین‌شناسی شهری در ایران را توضیح دهید.
۹. انواع داده‌های پایگاه داده‌های زمین‌شناسی شهری کدام هستند؟ (حداقل شش مورد).

فصل دوم

مدیریت زمین‌شناسی مناطق شهری

اهداف 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، آلایش منابع زیرزمینی و خاک، مدیریت پسماند شهری، مخاطرات زمین‌شناسی و مدیریت داده‌های زمین‌شناسی پرداخته خواهد شد.

اهداف رفتاری

با توجه به هدف‌های کلی یادشده 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.

٤. انواع داده‌های زمین‌شناسی مورد نیاز مناطق شهری و منابع کسب این داده‌ها.

٥. عوامل موفقیت زمین‌شناسانی که حوزه مطالعات آنان محیط‌های شهری است.

٦. 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 می‌شده 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 عدم توجه 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 ٤٠ 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، آب زیرزمینی و سایر منابع مهم در مناطق شهری یکی از قواعد اساسی کشورهای پیشرفته مانند کشورهای اروپایی است (پروکوپ، ۲۰۰۳).

درحالی‌که 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 قابل توجهی محیط زندگی جوامع بشری را تهدید می‌کند. نمونه‌ای از این خطرات فرونشینی مشاهده‌شده در منطقه راین بالایی[1] سوئیس است. مثال دیگر بالاآمدگی زمین در اثر ایجاد چاه ژئوترمال در عمق کم (استاوفن، جنوب‌شرق 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 عدم‌توجه 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 امکان سنجی مقدماتی علت وقوع این پدیده اقدام کند. پس از بررسی مشخص شد که ترکیب عواملی چون ۱) برداشت بیش از حد مجاز از منابع آب زیرزمینی، ۲) ضخامت لایه رسوبی و ۳) ویژگی‌های مهندسی رسوبات عامل اصلی ایجاد این فرونشست است. در

[1] . Upper Rhine

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[1]، 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 این که محدوده مورد بررسی در همین پهنه قرار دارد. این ویژگی می‌تواند عامل مهمی در شکل‌گیری فرونشست مورد نظر 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).

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)، آلایش 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 به صورت جزء به جزء مشخص شود. بنابراین چالش اصلی عمدتاً بر سر تجمیع عقاید در زمینه ارائه برنامه‌های مؤثر و جامع جهت مدیریت منابع است.

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.

[1] . Standard Penetration Test

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

۲-۱ 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 تحت تأثیر قرار دهند. سازه‌های زیرزمینی به ناچار فشار را بر روی منابع آب زیرزمینی 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 تعییرات کاربری زمین مرتبط با آن به‌عنوان منافع کوتاه مدت 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 آلایش محیط شود. علاوه بر این، پایدارسازی می‌تواند تأثیرات نامناسبی بر روی رژیم‌های جریان آب زیرزمینی و کیفیت و کمیت این منابع داشته باشد. گاهی دگرگونی‌ها در جریان آب زیرزمینی 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 آب گرفتگی آن شد (شکل ۲-۲).

شکل ۲-۲) شکستگی دیواره‌های مسیل و نفوذ آب به درون ایستگاه ارم در خط ٤ (عکس از خبرگزاری مهر).

به این دلیل، سازه‌های درون آب زیرزمینی باید ایزوله شوند تا از آسیب رسیدن به چنین سازه‌هایی جلوگیری شود. رویهم رفته، ساخت سازه‌های زیرزمینی (مانند مترو، سیستم‌های زمین‌گرمایی، محلول‌های معدنکاری حاصل از تولید نمک، خطوط نیرو و غیره) باید تحت شرایط کنترل شده و پایش پیوسته هیدرولیکی قرار داشته و شرایط فیزیکی و شیمیایی (دما، ظرفیت الکتریکی، pH، آشفتگی 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:

۱- استخراج آب آشامیدنی و فرآیندهای مرتبط با آن.

۲- استفاده از منابع گرمابی که شامل استخراج آب زیرزمینی و تزریق آن برای سرد و گرم کردن است.

۳- پروژه‌های مهندسی آب از قبیل کنترل سیلاب، ساخت زهکشی، ساخت تأسیساتی در زمینه مدیریت آبخوان‌ها و غیره .

٤- استفاده روزافزون از آب برای معماری شهری مانند فواره‌ها، رودهای کوچک، دریاچه‌ها و غیره.

ممکن است استفاده بیش از حد موارد یاد شده موجب تنازعات بیشتری در آینده بین مردم، مؤسسات خصوصی و یا دولتی از قبیل شهرداری و محیط زیست شود. این‌گونه تغییر کاربری‌ها در منابع آب زیرزمینی 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 واردشدن 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:

۱- در حین توسعه تأسیسات زیربنایی بیشتر توجه معطوف به مسائل فنی و ساختمانی منابع زیرزمینی بوده و استفاده پایدار از آن‌ها و احتمال آلایش 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 آب زیرزمینی را استخراج کند درحالیکه به ندرت پیش می‌آید که مسائل زمین‌شناسی و زیست‌محیطی زیرسطحی آن منطقه مورد مطالعه قرار گیرد و احتمال آلایش منابع آب زیرزمینی آن منطقه در نظر گرفته شود. این مسئله در زمینه ساخت تأسیساتی مانند بیمارستان که فاضلاب آن به شدت موجب آلایش آب زیرزمینی می‌شود نیز صادق است.

۲- 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.

۳- فعالیت‌های مرتبط با نگهداری منابع زیرزمینی در مناطق شهری همچنان عمدتاً بر روی مستندسازی تغییرات کیفیت آب و رژیم جریانی آن (از قبیل محافظت از ظرفیت جریان محلی و ممانعت از پایین‌رفتن سطح ایستابی) متمرکز است.

٤- غالباً تأثیرات منفی استفاده‌کنندگان مختلف منابع آب زیرزمینی 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 به‌طوری که (۱) هرگونه ساخت‌وساز نباید باعث تغییر کیفیت و یا کمیت رژیم جریانی آب زیرزمینی شود؛ (۲) این ساخت‌وسازها نباید ظرفیت نگهداری و عبور جریان در آبخوان را تحت تأثیر قرار دهد. این محدودیت‌ها، شامل کاهش جریان تا حداکثر ٪۱۰ نمی‌شود.

۲-٤ آلایش آب‌های زیرزمینی

آلایش 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 روبرو هستند. امروزه منابع اصلی آلاینده آب آشامیدنی در مناطق شهری مشخص شده‌اند.

۲-۵ برآورد و محافظت از منابع آب زیرزمینی

برطرف کردن منابع آلایش 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 پلئیستوسن 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 آلایش منابع زیرزمینی از طریق محدودکردن تغییر کاربری در مناطق مجاور شهر و چاه‌های آب (مراقبت از سرچشمه‌ها) بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد.

۲-٦ آلایش 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 آلایش 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 به شمار 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 آلایش 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 گریت لیک[1] دارای بیش از ٤٠ نقطه است که تحت تأثیر آلودگی قرار گرفته‌اند (آیلس، ۱۹۹٦). براساس بررسی مغناطیسی رسوبات آلوده و تهیه نقشه آلودگی، مشخص شده است که در مناطق یاد شده، آلایش آهن و سرب وجود دارد. براساس کارهای مشابهی که انجام شده است می‌توان گفت که آگاهی به فرآیندهای زمین‌شناسی جهت اصلاح و مدیریت اسکله‌ها و بنادر بسیار ضروری است.

[1] . Great Lake

بالاآمدن 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 به شمار 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 به‌دلیل 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 قرارگرفتن مناطق ساحلی شده است. این تهدیدات در آینده بیشتر نیز خواهند شد به‌دلیل این که جمعیت مناطق ساحلی به‌طور پیوسته در حال افزایش است. از این رو لازم است شهرهای ساحلی معیارهای توسعه پایدار را مد نظر 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 آتمسفر، ژئوسفر، هیدروسفر و بیوسفر همگی محیط‌های ساحلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. فرورانش 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.

بنابراین رخدادهای قدیمی زمین‌شناسی توده‌های رسوبی و سنگی را ایجاد و دچار تغییر کرده و سواحل کنونی را به‌وجود آورده‌اند. در طی زمان، فرآیندهای مختلف فیزیکی بر روی این عوارض زمین‌شناسی تأثیر گذاشته و باعث فرسایش، شکل‌دهی و تغییر چشم‌اندازهای آن می‌شوند. این فرآیندها می‌توانند به دو نوع بزرگ تقسیم شوند: نیروهای فعال مانند امواج و جزر و مد 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 جزر و مدی 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

۲-۷-۱-۱ زمین‌شناسی زیرسطحی و زمین‌ریخت شناسی

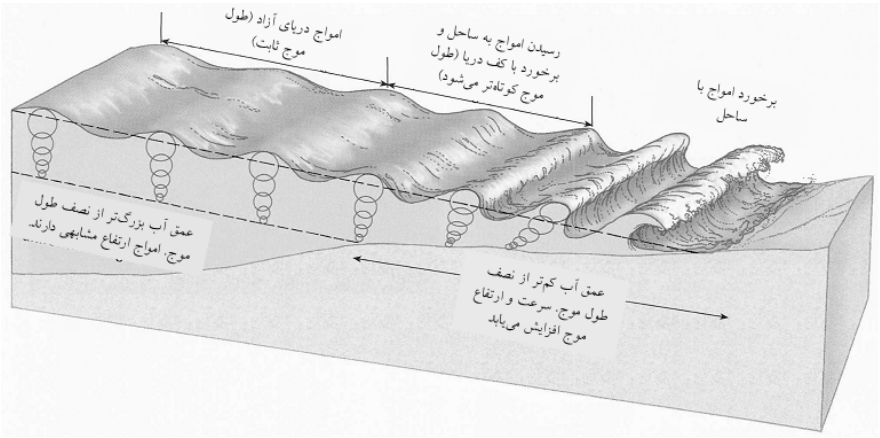
جایگاه زمین‌شناسی سواحل زمین‌ریخت‌شناسی سطحی، نوع رسوبات، قابلیت دسترسی و شیب کلی آن‌ها را تحت کنترل دارد. همان‌گونه که ذکر شد زمین‌شناسی، خود توسط فرآیندهای فیزیکی (مانند امواج و آب‌وهوا)، زیست‌شناسی و فعالیت‌های بشری دچار تغییر می‌شود اما نمای کلی سواحل تابعی از زمین‌شناسی ناحیه‌ای و زمین‌ساخت خواهد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

۲-۷-۱-۲ هوازدگی و فرسایش سواحل

غالباً امواج سواحل را به‌طور پیوسته مورد تاخت و تاز قرار می‌دهند. در امتداد سواحل مشاهده می‌شود که آب‌های خروشان ذرات ماسه و یا حتی قطعات بزرگ شن را با خود جابجا 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 به سمت جلو تحلیل شوند و یا خرد شوند (شکل ۲-

۳). در نهایت امواج نامنظم و متلاطم در امتداد سواحل به صورت خیزآب[1] به اتمام می‌رسند.

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 ٦ متری ساحل را با نیرویی ٤٠ برابر بیشتر از یک موج ۱/۵ متری مورد هدف قرار می‌دهد (شکل ۲-٤). آب دریا سواحل را از طریق نیروی هیدرولیکی، سایش، انحلال و املاح دچار هوازدگی و فرسایش می‌کند.



شکل ۲-۳) هنگامی که یک موج به ساحل می‌رسد، حرکت چرخشی کف آن تسطیح شده و تبدیل به حرکت بیضوی می‌شود 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 خیزآب را تولید کنند.

[1] . Surf

شکل ۲-٤) خانه‌های گرانبهای ساحلی معمولاً از طریق فرسایش ساحلی که در اثر طوفان‌های شدید تهدید می‌شوند (جرج‌تاون در جزیره گراند کایمن).

۲-۷-۱-۳ افزایش سطح دریاها

امروزه دانش ما در مورد تأثیرات مخرب تغییرات آب و هوایی بر روی محیط‌های ساحلی افزایش یافته است. زمین شناسان دره‌های رودخانه‌ای و فسیل‌های جانوران خشکی را در فلات قاره‌ای زیر دریا یافته‌اند. آن‌ها همچنین سنگ‌های رسوبی حاوی فسیل ماهی و سایر ارگانیسم‌های دریایی را در درون خشکی پیدا کرده‌اند. این بدان معنی است که سطح آب دریاها در طول زمان زمین‌شناسی گاهی به شدت تغییر پیدا کرده است. نرخ فعلیه تغییرات سطح دریا از ۲ تا ۹ میلی‌متر در سال محاسبه شده که ۲ تا ٤ برابر نرخ آن در ۱۰۰ سال گذشته است. مطالعات انجام‌شده براساس تصاویر ماهواره‌ای افزایش سطح متوسط آب‌های دریا را از سال ۱۹۹۲ به میزان سه میلی‌متر تعیین کرده است (نِرِم و همکاران، ۲۰۱۰). افزایش سطح دریاها به همراه طوفان‌های بزرگ، سیل‌ها و امواج ساحلی موجب تسریع نرخ فرسایش سواحل شده است.

تأثیرات مخرب بالا آمدن سطح دریا در شهرهای ساحلی را می‌توان به‌صورت زیر برشمرد (میدگلی و همکاران، ۲۰۰۵):

۱) افزایش رخدادهای شدید مانند طوفان (در تعداد و یا شدت).
۲) افزایش ورود شورابه و بالا آمدن سطوح آب‌های زیرزمینی.
۳) تأثیرات بیشتر جزر و مد.
٤) افزایش سیل (تعداد یا گستردگی).
٥) 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 تحت تأثیر 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 محافظت‌شده 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 سخت‌تر 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.

۲-۷-۲-۱ 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 جابجایی رسوب به سیستم ساحلی می‌شوند. این تأسیسات همچنین جریان‌های شدید را محدود و باعث کاهش جابجایی 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[1] از سال ۱۹۰۹ تا کنون 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 تحت تأثیر نبود رسوبات آبرفتی قرار گرفته‌اند (بودن و اینمن، ۱۹٦٦).

۲-۷-۲-۲ 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:

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

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

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

۲-۷-۲-۳ تغییر در محافظت طبیعی سواحل

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

ب) 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.

---

[1] . Rosetta

۲-۷-۲-٤ 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 به‌نظر می‌رسد اما در عمل، طراحی، انجام و پایداری پروژه‌های بازیابی ساحلی برنامه زمین‌شناسی مهندسی بسیار پیچیده‌ای است.

۲-۷-۲-۵ 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.

۲-۷-۲-٦ انحراف جریان

انحراف جریان به‌صورت طبیعی و مصنوعی موجب اخلال در تأمین رسوبات برای مناطق دریافت کننده مواد آبرفتی می‌شود. با انحراف جریان آب برای کشاورزی و یا مصارف شهری، تأثیرات مخرب مشابه با ایجاد سد به وجود 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 جابجا کند و معبر قبلی را از بین ببرد.

۲-۷-۲-۷ فعالیت‌های کشاورزی

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

۲-۷-۲-۸ جنگل‌زدایی

جنگل‌زدایی مشکلی اساسی در بسیاری از جوامع در حال توسعه است که در آن مناطق کوهستانی از درختان محافظت کننده تهی شده و به سرعت 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:

۱- 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.

۲- پایش فرآیندهای فیزیکی و انرژی وارد شده که قادر به تغییر سیستم سواحل هستند (مانند امواج، طوفان، سطح آب و غیره).

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

شش متغیر زمین‌ریخت‌شناسی، فرسایش خط ساحلی و سرعت آن با واحد متر در سال، شیب ساحلی (درصد)،نرخ بالاآمدگی سطح دریا (میلی‌متر در سال)، میزان متوسط جزر و مد (متر) و ارتفاع متوسط موج (متر) برای آسیب‌پذیری سواحل معرفی شده‌اند (تیلر و هامر-کلوس، 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 آلایش حاصل از شیرابه‌های زباله‌ها مصون نگه دارند 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 مهندسین 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، مهندسین ژئوتکنیک زیست‌محیطی نه تنها باید به دانش سنتی در زمینه زمین‌شناسی و مهندسی عمران مسلط باشند بلکه باید از علومی نظیر آب‌زمین‌شناسی، شیمی و فرآیندهای زیستی نیز آگاهی داشته باشند. علاوه بر این، مهندسین ژئوتکنیک باید کاملاً از قوانین معمولاً پیچیده محلی و ملی نیز اطلاع کافی داشته باشند.

۲-۸-۱-۱ 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 آلایش آب‌های زیرزمینی می‌توان مطمئن بود که مسائل زیست‌محیطی رعایت شده است. در این گفتار در مورد زباله‌های جامد و روش‌های تدفین آن‌ها که در حال استفاده است بحث شده و مهمترین مسئله زیست‌محیطی مرتبط با آن که 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 محصوب خواهد شد:

۱- زباله‌ای که خود در زمره پسماندهای خطرناک لیست شده باشد به این منظور که این زباله خطرناک است.

۲- زباله ترکیبی بوده که در آن پسماند خطرناک نیز وجود داشته باشد (به عبارت دیگر زباله‌ای که با یک زباله خطرناک ترکیب شده باشد خود نیز جزو زباله‌های خطرناک به حساب خواهد آمد).
۳- زباله‌ای که از نگهداری یا دفن زباله خطرناک به‌دست آید نیز خطرناک خواهد بود یعنی یک زباله خطرناک همیشه خطرناک باقی خواهد ماند.
٤- زباله‌ای که یکی از چهار ویژگی زیر را داشته باشد نیز جزو پسماندهای خطرناک خواهد بود:

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

ب) قابلیت خورندگی داشته باشد ($pH\leq۲$ یا $pH\leq۱۲/۵$).

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

د) سمّی باشد.

اجتماعات شهری انواع مختلفی از زباله‌های جامد را تولید می‌کنند. در جدول ۲-۱ 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.

۲-۸-۱-۲ 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:

۱- دفن رو باز
۲- حفر بهداشتی زباله‌ها در مکان‌های مناسب
۳- سوزاندن
٤- دفن در محل (در مکان تولید زباله)
۵- تغذیه حیوانات اهلی (گوسفند و به‌ویژه خوک و غیره)
٦- 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 رو مورد تنها این دو مورد بحث قرار می‌گیرند.

جدول ۲-۱) 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 ریخته‌شده در خیابان، زباله‌های حاصل از درختان و نماهای شهری، زباله‌های عمومی در پارک‌ها، سواحل و سایر مکان‌های تفریحی

۲-۸-۱-۲-۱ دفن روباز[1]

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 این‌گونه 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 اینکار از حجم آن کاسته می‌شود. به‌طور کلی تلاش‌های کمی جهت مقابله با خطرات بهداشتی ایجاد شده در این نوع دفع زباله صورت می‌پذیرد و از این رو امروزه این روش به‌تدریج با دفن بهداشتی زباله جایگزین شده است.

[1] . Open dump

۲-۸-۱-۲-۲ دفن بهداشتی[1]

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: ۱) حفرات بزرگی که اساساً مسطح هستند و ۲) حفرات گود که طبیعی بوده و یا به‌صورت مصنوعی به شکل دره، مجرا و یا گودال ساخته شده‌اند. عمق حفرات عمدتاً 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 مد نظر قرار دهد. بررسی‌های دقیق‌تر محل انتخاب شده 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 تحت تأثیر آلایش، بالقوه مفید است. افزایش آگاهی در زمینه نیاز برای کنترل آلایش 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 آلایش آب‌های زیرزمینی یا سطحی توسط شیرابه‌های حاصل از زباله‌ها، و بالاخره در دسترس‌بودن مواد پرکننده مناسب است. موارد دیگری نیز جزو ملزومات انتخاب محل دفن زباله‌ها به روش بهداشتی است که شامل مناسب‌بودن 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

[1] . Sanitary landfill

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 آلایش آب‌های زیرزمینی را می‌توان با مطالعه رژیم این آب‌ها که شامل حفاری و آزمایش آبخوان است مورد بررسی قرار داد.

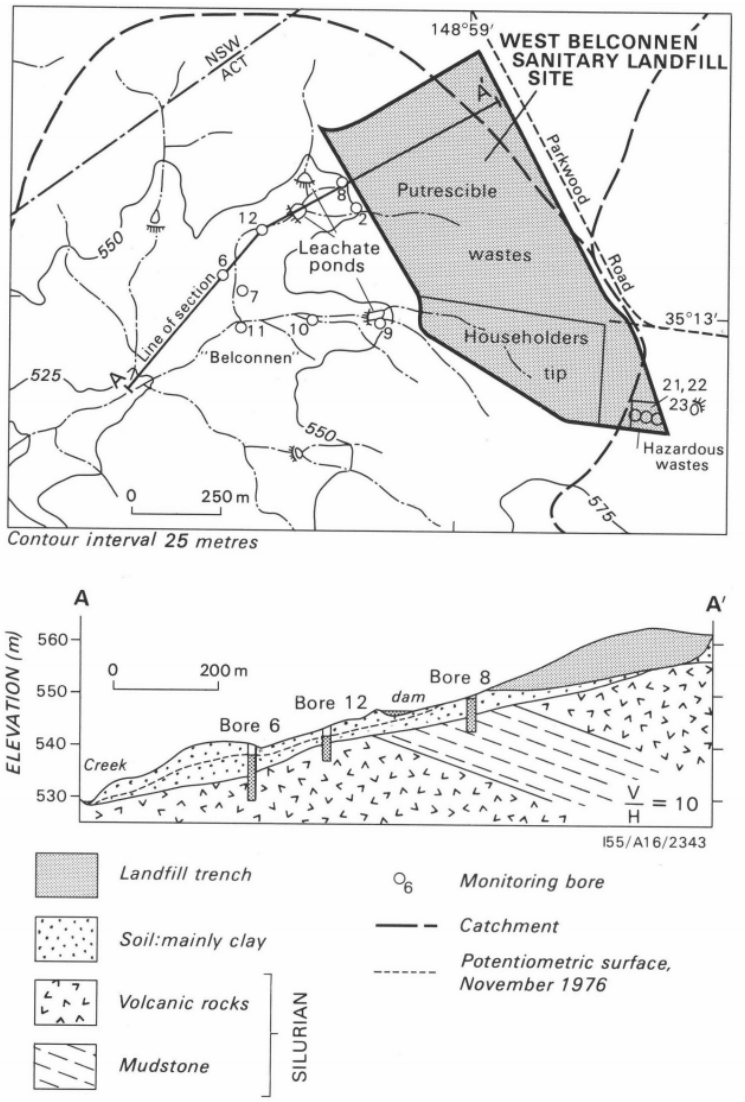
در شکل ۲-۵ محل دفن زباله در شهر کانبرای استرالیا را نشان می‌دهد. مطالعات لرزه‌ای و مغزه‌برداری در این محل نشان می‌دهد که بیش از چهار متر از خاک بر روی سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی سیلورین قرار دارد. آب‌های زیرزمینی در آبخوان سنگ دارای درز و شکاف قرار داشته و از طریق خاک بالایی محصور شده است.

در سایت مورد بحث آلایش آبخوان به‌عنوان یکی از خطرات زیست‌محیطی عمده در نظر گرفته شده است 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 به حداقل 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 نشات گرفته‌اند در استخرها ذخیره شده و برای تجزیه و اکسیداسیون در شرایط بی‌هوازی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نوع آلایش 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 به نوبه 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 یادشده، زمانی‌که تجزیه با واکنش‌های باکتریایی تکمیل شود، شیرابه دارای میزان اکسیژن بیوشیمیایی[1] (BOD) یا به عبارت دیگر مواد آلی بالا

[1] . Biochemical Oxygen Demand

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 کانبرای استرالیا (اقتباس از جاکوبسون و اوانز، ۱۹۸۱).

۲–۸–۲ عوامل هیدرولوژیکی

بارندگی در محل دفن زباله‌ها هم می‌تواند باعث تراوش زباله یا جاری‌شدن آب‌های زهکش (روان‌آب) آن‌ها در سطح شود. در محل دفن روباز، احتمال جاری شدن

روان‌آب کم است در صورتی که که زباله شدیداً فشرده شده باشد. در دفن بهداشتی، نرخ تراوش وابسته به توانایی نفوذپذیری و نفوذ خاک مورد استفاده به‌عنوان پوشش زباله است. غیر از آب واردشده، زباله به سمت پایین و خاک زیرین و در نهایت سطح آب زیرزمینی تراوش می‌کند. در خلال این تراوش، آب مواد ارگانیک و غیرارگانیک را از زباله شسته و جدا می‌کند. به هنگام رسیدن به سطح آب، شیرابه به‌عنوان بخشی از آب‌های زیرزمینی شروع به حرکت کرده و ممکن است به صورت عمودی جابجا شده و از محل چشمه‌ها به سطح زمین وارد شود و یا این‌که به‌عنوان یک زبانه آب آلوده درون آبخوان به آهستگی به حرکت درآید.

آلایش درازمدت به‌درستی از طریق زبانه‌های متعدد آب آلوده مورد پایش قرار گرفته اثبات شده‌اند. در برخی موارد زبانه‌های آلوده از محل‌های دفن روباز و بهداشتی بسته شده در سال‌های گذشته منشاء 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 حمل‌شده (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 استفاده کننده از آب‌های سطحی ، شود. به‌دلیل این که 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 آلایندگی 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:

۱) زهکشی سطحی برای اطمینان از این که حداکثر روان‌آب حاصل از دفن زباله‌ها هدایت شده و مانع فرسایش سطح مواد پوشاننده زباله‌ها شود.

۲) نفوذپذیری مواد پوشاننده حفره باید کمترین میزان باشد.
۳) 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.
٤) مطالعه آبخوان‌های زیرزمینی شامل نقاط و فواصل تخلیه آب، برای برآورد اثرات آلایش 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 که 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 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 باشد صورت گیرد ۲) دفن در سطح زمین انجام شود و توسط مواد مناسب به‌منظور جلوگیری از نفوذ آب پوشانده شود.

۲-۸-٤ محدودیت‌های زمین‌شناسی

محدودیت‌های زمین‌شناسی انتخاب محل دفن زباله معطوف به نفوذپذیری و سهولت حفاری زمین و سنگ، آب‌زمین شناسی، زمین‌ریخت شناسی 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 آلایش 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:

۱) پایش مداوم مناسب‌بودن خاک برای پوشاندن فعالیت‌های روزانه در زمینه جادهی و تراکم زباله‌ها.
۲) بررسی منظم مناسب بودن بستر جهت قراردادن زباله در محل جدیدی از سایت.
۳) نگهداری و مراقبت از سطوح به‌منظور جلوگیری از فرسایش و تراوش آب.
٤) حفر مغزه به منظور بررسی آب‌های زیرزمینی و محاسبه سطوح آب زیرزمینی.
۵) پایش منظم و نمونه‌برداری دوره‌ای آب در مغزه‌های برداشت‌شده، آنالیزهای شیمیایی و زیستی بر روی نمونه‌ها و تفسیر نتایج.

۲-۸-٦ 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 آلایش آب‌های زیرزمینی باشد. از این‌رو باید به‌طور پیوسته این آسیب‌های زیست‌محیطی مورد پایش قرار گیرند تا راهکارهای مناسب جهت کاهش آن‌ها در پیش گرفته 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 به صورت کارشناسانه‌ای مورد

بررسی و تفسیر قرار گیرند. انجام این مراحل امکان آن را فراهم خواهد ساخت که گستره و طبیعت هرگونه آلایش 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. بازرسی‌های باید از طریق مراجع ذیصلاح صورت پذیرد و این امر مستلزم وجود اطلاعات متناسب از سایت، جزئیات روش بهره‌برداری از محل و فرآیند پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی است.

در نهایت باید گفت که انتخاب محل دفن زباله‌های جامد و مدیریت آن‌ها و فرآیند پایش کیفیت آب‌های زیرزمینی به شدت مرتبط با زمین‌شناسی و آب‌زمین شناسی 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 قرارگرفته به‌عنوان منابع بالقوه آلاینده آب‌های زیرزمینی باقی می‌مانند که باید مورد پایش مداوم قرار گیرند و از این رو تأثیرات بلندمدت زیست‌محیطی نیز باید بررسی شوند.

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

امکان‌پذیری و تأثیر تکنیک‌های مورداستفاده 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 انکسار 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 آلایش 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 که برای مقاصد مسکونی و یا غیره مورد بازسازی قرار می‌گیرند، دیده شده است. از این‌رو برای جلوگیری از آلایش 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 کم‌عمق به‌وجود می‌آید. کلاگ (۱۹۹۷) مخاطره طبیعی (زمین‌لرزه 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 زمین‌لرزه در منطقه تورنتو افزایش یافته و بنابراین باید از این پس از نظر پایداری زمین‌شناسی مورد بررسی بیشتری قرار گیرد. ایجاد زمین‌لرزه درون‌قاره‌ای (درون‌صفحه‌ای) متأثر از فعال شدن 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 به‌شدت وابسته به روش‌های مورد استفاده در این موارد دارد. تعیین زمین‌شناسی زیرسطحی سایت‌ها یا

ایستگاه‌های شهری که معمولاً به مدّت طولانی دچار کاربری و تغییرات بوده‌اند به سادگی امکان‌پذیر نیست. روش سنتی حفاری بسیار هزینه‌بر بوده و اطلاعات کم و ناقصی را نشان می‌دهد و علاوه بر آن موجب افزایش و گسترش آلایندگی از طریق آشفتگی 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. بِک (۱۹۹٦) 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 مورد نیاز مناطق شهری

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

۱) داده‌های مکانی که معمولاً به صورت دوبعدی بر روی کاغذ چاپ می‌شود، اما اخیراً داده‌های رقومی در ابعاد بیشتر (سه و چهاربعدی[۱]) نیز تولید می‌شوند.

۲) پایگاه داده‌ها (غیررقومی) از اطلاعات نقطه‌ای که امروزه به‌صورت روزافزون با داده‌های مکانی ترکیب می‌شوند (کالشاو، ۲۰۰۵).

منابع اصلی این داده‌ها عبارتند از:

۱) مطالعه گمانه‌ها
۲) نقشه‌برداری سنگ بستر و دپوهای سطحی و مصنوعی
۳) ثبت فعالیت‌های معدنی
٤) ثبت کاربری‌های قبلی زمین
۵) ثبت اطلاعات چاه‌های آب و استخراج آب از آن‌ها
٦) بررسی جابجایی‌های 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 صورتی‌که داده‌های حاصل از بررسی یک نقطه می‌تواند کمک شایانی به برنامه‌ریزی شهری کند، با این‌حال 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[1]، PSInSAR[2] و توموگرافی الکتریکی[3] 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 یادشده را به تفصیل توضیح دهد و علاقمندان می‌توانند به مقالات و نوشتارهای موجود در این زمینه مراجعه کنند. به‌عنوان مثال مایسینا (۲۰۰۸) در مورد استفاده از روش PSInSAR در زمینه پایش یا مونیتورینگ جابجایی زمین در اثر پمپ آب‌های زیرزمینی به شهرهای شمال ایتالیا بحث‌هایی را انجام داده است در حالی‌که کالشاو (۲۰۰۹) چگونگی استفاده از روش یاد شده در زمینه مشاهده جابجایی زمین مرتبط با معدنکاری‌های متروک را بررسی کرده است. همچنین پارچاریدیس و همکاران (۲۰۰۹) از این روش برای بررسی گسل‌های فعال در پاتراس[4] و پیرگوس[5] یونان بهره گرفته است.

شولتز (۲۰۰٤) 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 (به‌عنوان مثال هوبس و همکاران، ۲۰۰۲).

روش‌های ژئوفیزیکی بسیاری وجود دارد که برای پایش مناطق شهری به‌کار برده می‌شوند. برای نمونه، اوگیلوی و همکاران (۲۰۰۹) در مورد چگونگی به‌کارگیری سیستم توموگرافی مقاومت الکتریکی کامپیوتری برای دیده‌بانی نفوذ شورابه به جنوب

---

1. Light Detection And Ranging
2. Permanent Scatterer Interferometry Single Aperture Radar
3. Electrical tomography
4. Patras
5. Pyrgos

اسپانیا توضیحاتی را ارائه کرده است. دیده‌بانی لرزه‌ای ده‌ها سال است که برای بررسی فعالیت لرزه‌ای طبیعی و ارتباط آن با معدنکاری به‌کار برده می‌شود.

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[1] متصل به تصاویر ماهواره‌ای به‌صورت روزافزون در دسترس قرار می‌گیرند. این داده‌ها منابع مهمی برای گردآوری اطلاعات زمین‌شناسی در مناطق شهری و ارائه آن‌ها است. زمین‌شناسان با این‌گونه ارتباط بین اطلاعات زمین‌شناسی و داده‌های توپوگرافی در دسترس در اینترنت آشنایی دارند (به‌عنوان 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:

۱- گردآوری و رقومی کردن داده‌های شهری به‌ویژه:
- داده‌های حاصل از حفر گمانه‌ها
- نقشه‌برداری نهشته‌های ساختگی (مثل تپه‌ها و دریاچه‌های ساختگی)
- بازمانده معدنکاری‌های گذشته
- کاربری‌های گذشته زمین‌های شهری
- آب‌های زیرزمینی
- جابجایی آب.

۲- ایجاد مدل‌های سه‌بعدی و چهاربعدی سطوح کم‌عمق زیرزمینی و ارتباط‌دادن[2] آن با داده‌های مناسب.

۳- توصیف مجهولات مرتبط با مدل‌های یاد شده (به‌عنوان مثال عدم مشخص بودن Ph آب) و توضیح دلایل آن.

٤- 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.

۵- تهیه تفاسیر مناسب در زمینه اطلاعات مکانی دقیقاً به صورتی که متقاضی درخواست کرده است و ذکر محدودیت‌های آن.

---

[1] . Ground-based
[2] . Link

٦- انجام مطالعاتی که صرفه اقتصادی داشته باشد تا از این طریق ارزش مطالعات زمین‌شناسی شهری نشان داده شود.
۷- تلفیق مدل‌های سه‌بعدی با فرآیندها و مدل‌های اقتصادی-اجتماعی به نحوی 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:

۱- فراگیری روش‌های ترسیم و توصیف چهاربعدی تغییرات و مجهولات در محیط‌های شهری.
۲- فهم فرآیندهایی که موجب ایجاد تغییرات محیط‌های شهری می‌شوند.
۳- پژوهش و گسترش فن‌آوری‌های نوین مانند LIDAR، PSInSAR و سامانه‌های ژئوفیزیکی برای مونیتورینگ محیط‌های شهری.

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

۱- انجام بررسی‌های بیشتر آزمایشگاهی به‌ویژه گسترش و کاربرد مدل‌های رقومی مکانی.
۲- تغییر روش‌های فعلی مورداستفاده در بررسی سایت‌ها که به طور کلی از طریق مؤسسات غیرتخصصی تبیین می‌شود و انتخاب روش‌های مبتنی بر مدل‌های زمین‌شناسی. بر این 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:

۱- فراگیری چگونگی کار با گستره وسیعی از کاربران اطلاعات زمین‌شناسی، که این خود مستلزم کسب تجارب حرفه‌ای در زمینه ارتباطات اجتماعی است.
۲- 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 این‌گونه 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 کیلومتر مربع در اطراف جنوب شرق لیدز و غرب یورک‌شایر (کاستل‌فیلد[1]) 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، این‌کار 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 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 (لیتواستراتیگرافی[2]) و در صورت امکان داده‌های ژئوتکنیکی است، رقومی شوند (رویز و همکاران، ۲۰۰۹). با این که مدت زمان گردآوری و تبدیل داده‌ها مسئله مهمی است اما مهمتر از آن نگهداری و مدیریت درازمدت داده‌ها است.

---

[1] . Castlefield
[2] . Lithostratigraphic

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:

۱- آیا باید داده‌هایی که از صدها و شاید هزاران نقطه اکتشافی، چاه‌های آب و معدن‌کاوی به‌دست آمده به یکدیگر متصل شده و یکپارچه شوند؟

۲- اگر پاسخ مسئله یک مثبت است آیا باید داده‌ها در دوره‌های زمانی خاصی به روز شوند و یا اینکه به صورت پیوسته این به روز رسانی انجام شود؟

۳- آیا داده‌ها باید به همان صورت اولیه دسته‌بندی شوند و یا اینکه رقومی شوند؟

٤- چه کسانی باید کار رقومی‌سازی را انجام دهند و هزینه آن از کجا تأمین می‌شود؟

۵- آیا اساساً فرآیند رقومی‌سازی مقرون به صرفه 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 سوالات پاسخ داده‌اند. تعدادی از مطالعات مقرون به‌صرفه در زمینه نقشه‌های زمین‌شناسی و ه 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. علاوه بر 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 به ذکر است که امروزه بسیاری از سازمان‌های زمین‌شناسی از جمله سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران تحت فشار مضاعف هستند از یک سو 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

زمانی‌که 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 عدم علاقه 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 به‌عنوان 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 به‌صورت 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 به‌دلیل عدم آگاهی از اهمیت داده‌های زمین‌شناسی) برای ساخت، نگهداری و گسترش بانک اطلاعات ژئوتکنیکی که زیربنای استفاده از دانش زمین‌شناسی در مناطق شهری است، می‌باشند.

۲-۱۳-۳ شرکت‌های خصوصی

شرکت‌های خصوصی به‌منظور گسترش و فروش خدمات خود به‌طور فزاینده اطلاعات عمومی را مورد استفاده قرار می‌دهند که این اطلاعات شامل داده‌های زمین‌شناسی نیز است. به‌عنوان 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 به‌ویژه شهر تهران به هیچ وجه مورد توجه واقع نشده است به نحوی که در حال حاضر

بیشترین تراکم ساخت‌وساز 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 گران قیمت‌ترین املاک نیز محسوب می‌شوند!

در کشورهای پیشرفته شرکت‌های درگیر در این مسئله اطلاعات زمین‌شناسی را اخذ و با سرمایه‌گذاری و به‌روزرسانی آن‌ها و دادن پروانه استاندارد به این داده‌ها هم خود 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 فرآیند 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 می‌توانند ابزار خوبی برای برقراری این‌گونه 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.

۲-۱٤-۱ 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 به‌روز رسانی شده و این سیاست‌ها باید همه مسائل مربوط به اجتماع، اقتصاد و محیط زیست را در نظر بگیرند (لارسون، ۲۰۰٦). 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.

۲-۱٤-۲ اطلاعات

سیاست‌های برنامه‌ریزی ممکن است اولویت را بر تعیین مناطقی با توسعه‌یافتگی ویژه و یا محافظت شده قرار دهد. در غیر این‌صورت، این سیاست‌ها احتمالاً معیارهایی در مورد شناسایی نوع کاربرد تعیین می‌کنند (لوگلین، ۱۹۹۰). برنامه‌ریزان معمولاً با نقشه‌های توسعه‌یافتگی فعلی، عوارض فیزیکی و زیست‌محیطی، مناطق محافظت شده طبیعی و همچنین داده‌های آماری، اجتماعی و اقتصادی سر و کار 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 دسته داده‌های گردآوری شده برای این محدوده‌ها و یا کدهای پستی این نقاط با واحدهای جغرافیایی طبیعی یا زمین‌شناسی به ندرت تطابق دارند. اطلاعات زمین‌شناسی باید با سایر اطلاعات هماهنگ باشد (مارکر، ۱۹۹۸). اطلاعات مورد نیاز 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 محافظت‌شده برای آب‌های سطحی و زیرزمینی، زمین‌های کشاورزی یا حاصلخیز یا مناطق مستعد در مقابل فرسایش خاک، مناسب‌بودن 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 موردنیاز 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 زیست‌محیطی هستند. مهمترین مسائل عبارتند از: آسیب‌پذیری توسعه و همچنین جامعه در مقابل خسارات، اهمیت اقتصادی منابع، حساسیت زمین و تغییرات منابع آن و مناسب‌بودن 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 به‌دست 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 می‌توانند مفید واقع شوند. باید در نظر داشت که مختصر و ساده کردن ارائه گزارش و اطلاعات به‌صورت 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 به نظر نمی‌رسد که تصور شود که همه افراد به گزارشی که در نقشه و محیط GIS نشان داده شده، توجه کنند. ساده‌سازی راهنمایی‌ها، خلاصه کردن 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 کرد. با تعیین این مناطق می‌توان بررسی‌های اولیه را در آن انجام داده و نوع مطالعات مورد نیاز و مشکلات احتمالی را تعیین کرد (تامپسون و همکاران، ۱۹۹۶). در غیر این‌صورت 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 در باره موضوعاتی که بین‌رشته‌ای بوده و هنوز ابهامات زیادی در مورد آن‌ها وجود دارد، باید با جانب احتیاط برخورد کرد.

۲-۱٤-۳ 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[1]، ۲۰۰٤). 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 مورداستفاده قرار خواهند گرفت. توزیع مناسب یافته‌ها حیاتی اما چالش‌برانگیز 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 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 عدم‌اطمینان 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[2] و احتمال خطر[3]

---

[1] . Environment Council
[2] . Hazard
[3] . Risk

به درستی 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 سوال ببرد (اسلوویک، ۲۰۰۰؛ دونلّی، 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 بین‌رفتن اعتماد متقابل بین دانشمندان و مدیران خواهد بود.
این موارد نیازمند توجه بیشتر است در غیر این‌صورت مشارکت و حافظه اجتماعی به سرعت 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).

۲-۱٤-٤ اقدامات بعدی

به‌دلیل 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 قابل دسترس 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 قابل استفاده و مابقی نیز به‌طور کلی فراموش شده‌اند (اسمیت و الیسون، ۱۹۹۹).

۲-۱۵ نتیجه‌گیری

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 اتخاذشده 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 مورد نیاز است تا با هماهنگ‌سازی این داده‌ها با داده‌های اجتماعی و اقتصادی بتوان برنامه‌ریزی مناسبی برای مناطق شهری ایجاد کرد.

۲-۱٦ خودآزمایی فصل ۲

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

۳- دلایل عدم‌توجه کافی در زمینه محافظت قانونی و تعیین رویه استفاده از منابع زیرزمینی را به‌طور خلاصه توضیح دهید.

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

۵- داده‌های زمین‌شناسی در مناطق شهری به چند صورت تهیه می‌شوند؟ یکمورد را توضیح دهید).

٦- کدام مورد از منابع اصلی داده‌های مکانی پایگاه داده‌های رقومی شهری محسوب می‌شود؟

الف) نقشه راه‌ها و بزرگراه‌های شهری

ب) نقشه‌برداری سنگ بستر و دپوهای سطحی و مصنوعی

ج) نوع کاربری زمین

د) عکس‌های هوایی

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

فصل سوم

اصول استفاده پایدار از منابع شهری

اهداف 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 عدم‌توجه به شناخت شرایط زمین‌شناسی در مناطق شهری و درنتیجه استفاده غیرعلمی از منابع محدود طبیعی از جمله منابع آب زیرزمینی است که گاهی غیرقابل بازیابی هستند. در این فصل تلاش شده اصول درست به‌کارگیری منابع طبیعی با استفاده از اصول زمین‌شناسی تبیین شود.

اهداف رفتاری

با توجه به هدف‌های کلی یادشده می‌توان با مطالعه این فصل از کتاب با موارد زیل 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.

٤. 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 شده است، 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 مورد نیاز 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 این‌حال، 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 این‌حال، 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 فرآیندهای 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 فرآیندها 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 اینکه بر فهم فرآیندهای 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 این‌رو برنامه‌ریزی توسعه شهری باید اغلب بر روی استفاده مؤثر از منابع زیرزمینی، محاسبه فرآیندهای وابسته به آن، محاسبه پارامترهای مرتبط با خطرات احتمالی طبیعی و آسیب‌رسان به محیط زیست به همراه برنامه درازمدت و کنترل بهره‌برداری از منابع متمرکز باشد. به‌منظور بهینه‌سازی مدیریت منطقه‌ای منابع زیرسطحی شهری لازم است که فرآیندهای 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

به‌طور کمیّ ویژگی‌های یک مکان جغرافیایی را بررسی کند. همچنین در برنامه‌ریزی مورد بحث باید تأثیرات انباشته‌شده پروژه‌های مختلف در مقیاس بزرگ مورد بررسی قرار گیرند.

این روش‌ها به‌عنوان مفاهیم مدیریت سازگار آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند (فتا و همکاران، ۲۰۰۲؛ آیسورث و همکاران، ۲۰۰۳؛ پال‌ووستل و همکاران، ۲۰۰۵؛ اپتینگ و همکاران، ۲۰۰۸). در این صورت استفاده موفقیت‌آمیز از مفاهیم یادشده در برنامه‌ریزی شهری به‌ندرت 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 به‌منظور استفاده درست از منابع زیرزمینی با توجه به سازه‌های موجود و در حال ساخت)؛ ۲) برنامه‌های کوتاه و بلند مدت 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؛ ٤) محیط ساخت‌وساز زیرزمینی، زیرساختارها و سرویس‌های همگانی مانند آب و برق در این مناطق؛ ٥) محیط ساخت‌وساز روزمینی و فضاهای باز؛ ٦) تعدد یا تمرکز مراکز تصمیم‌گیری شهری؛ ۷) رفتار سازمانی و نوآوری؛ ۸) نیازمندی‌های اجتماعی و سیاست‌های برنامه‌ریزی به‌منظور 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. به طور 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
- فرآیندهای 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.

۳-۲ گسترش فضاهای زیرسطحی در مناطق شهری

معمولاً فضاهای خالی در مناطق شهری بسیار کمیاب است. از این‌رو به‌منظور توسعه و گسترش شهر و برای سیستم حمل‌ونقل ریلی و برخی تأسیسات شهری، ناگزیر فضاهای زیرزمینی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این تأسیسات می‌توانند به صورت موقت و در حین ساخت‌وساز، سیستم‌های آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار دهند. متاسفانه 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 به‌منظور استفاده کوتاه مدت توسط مهندسین 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 یادشده به حداقل برسد. به‌ویژه طراحی تونل‌ها در سنگ‌های سست (مانند متروی 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 مد نظر قرار گیرد. احتمال بروز حادثه در حین عملیات ساختمانی زیرزمینی بسیار بالا است. فضاهای زیرزمینی مورد استفاده جهت تأسیس سازه، در اثر تزریق سیمان منشاء آلایش‌های زیرزمینی نیز می‌شوند. همچنین، تثبیت فضاهای یاد شده ممکن است موجب تأثیرات مضر در کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی و رژیم‌های جریانی آب‌های زیرزمینی شود.

در برخی موارد، تغییر جریان آب‌های زیرزمینی و راه‌های آبی تازه ایجاد شده می‌توانند تأثیرات منفی در تأسیسات مجاور نیز برجای گذارند. به این دلیل ایجاد تأسیسات در این‌گونه مکان‌ها که آب‌های زیرزمینی جریان بسیاری دارند حتی‌المقدور باید محدود شود. در صورتی که راه دیگری وجود نداشته باشد باید در مورد محدود کردن مضرات ایجاد این‌گونه 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) است، 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، نمونه‌بردای ژئوشیمیایی خاک‌ها و محاسبات ژئوتکنیکی است. ویژگی‌های سه‌بعدی نهشته‌های سطحی و زیرسطحی و سنگ بستر 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، فرآیندهای هوازدگی 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 مناسب 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	۱- راهنمای برنامه‌ریزی DETR[1] که از آدرس زیر قابل دریافت است: http://www.planning.detr.gov.uk/ppg/index.htm 2- 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=MPGS)
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 آلایش و زمین‌های آلوده	1- Framework for Contaminated Land, Department of the Environment and Welsh Office, November 1994. 2- 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/environ/fcd/default.htm همچنین آژانس محیط زیست 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

۳-٤ نقشه‌برداری زمین‌شناسی کاربردی[1]

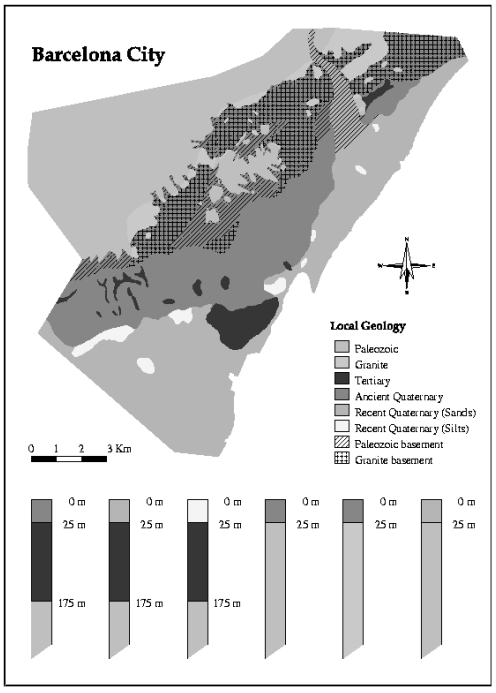
در مناطق شهری که دارای جمعیت انسانی بسیاری است، لایه‌های سطحی زمین معمولاً به‌شدت تحت تأثیر فعالیت‌های بشری قرار می‌گیرند. مناطق شهری و حومه آن‌ها به‌صورت مداوم در حال تغییر است که این مسئله مستقیماً وابسته به برهم‌کنش فعالیت‌های بشری و لایه‌های سطحی زمین‌شناسی است. همچنین، اغلب شهرها در دشت‌های آبرفتی 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 همین 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 به‌منظور 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 محیط زیست محسوب می‌شود (شوزتک، ۲۰۱٤).

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

[1] . Applied geological mapping

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 دو بعدی 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 به‌صورت تفصیلی و با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه می‌شوند که در آن می‌توان اطلاعات مفیدی در زمینه ساختمان‌ها، تأسیسات زیرزمینی و برنامه‌ریزی

شهری وارد کردکرد. 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 این‌رو مستلزم وجود اطلاعات حفاری و آزمایش‌های ژئوتکنیکی می‌باشند تا با تلفیق با داده‌های ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی سطحی بتوان اطلاعات جامعی از ساختارهای زمین‌شناسی در منطقه مورد مطالعه به‌دست آورد (شکل ۳-۱).

۳-۵ اهداف برنامه‌ریزی شهری

به‌طور 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 صورتغیرمحلی صورت پذیرد. بنابراین اهداف اصلی پروژه‌ها باید تهیه بازه وسیعی از اطلاعات پایه و کاربردی زمین‌شناسی باشد تا مشاورین یا مقامات محلی بتوانند از آن‌ها به‌عنوان پایه و اساس هرگونه اقدامات محلی بهره گیرند.

۳-٦ خروجی برنامه‌ریزی شهری

بانک داده‌ها، GIS و مدل‌های سه‌بعدی باید سه برون‌داد اصلی هر برنامه شهری باشد. لایه‌های استاندارد موردنیاز GIS توسط اسمیت و الیسون (۱۹۹۹) تشریح شده‌اند. بهترین مقیاس برای داده‌های زمین‌شناسی شهری ۱:۱۰۰۰۰ است. گزارش‌های چاپی باید به‌صورت مصور و با استفاده از لایه‌های GIS تهیه شوند اما گزارش اصلی بهتر است به‌صورت رقومی تهیه و به‌شکل CD یا فلش‌مموری و غیره ارائه شود.

پروژه‌های نقشه‌برداری زمین‌شناسی باید بر روی نقشه‌هایارائه کننده اطلاعات زمین‌شناسی متمرکز شوند. در یک محیط GIS این‌گونه 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. به‌عنوان 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.

۳-۷ 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 به‌ویژه لایه‌ها و ذخایر معدنی سطحی به درستی تعیین و گزارش شوند. استانداردسازی نام‌گذاری سنگ‌های این ذخایر معدنی به‌طور مداوم در حال بازنگری است (به‌عنوان مثال باون، ۱۹۹۹ و مک‌میلان و همکاران، ۱۹۹۹). سازمان زمین‌شناسی بریتانیا (BGS[1]) نیز استانداردهایی تهیه کرده است که به‌عنوان 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/bgsrcs/home.html

۳-۸ دسته داده‌های[2] 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 به‌طور ویژه برای پروژه رقومی‌سازی می‌شوند و در نهایت برخی از داده‌های غیررقومی مانند نقشه‌ها نیز اسکن شده و وارد محیط GIS می‌شوند.

---

1 . British Geological Survey
2 . Datasets

جدول ۳-۲) دسته‌داده‌های اولیه (P) و دسته‌داده‌های استخراج‌شده (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
٤	عکس‌های هوایی	P	- استفاده فعلی از مناطق مختلف شهری - نمایش مصور مناطق شهری
٥	مدل رقومی عوارض زمین	P	- نمایش مصور مناطق شهری - نمایش سه بعدی مناطق شهری
٦	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 معدکاری 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 سیل‌خیز	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
۱٤	بانک داده‌های ژئوتکنیکی	D	بررسی پایداری زمین
۱٥	کاربری فعلی زمین	D	طراحی فضاهای شهری
۱٦	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.

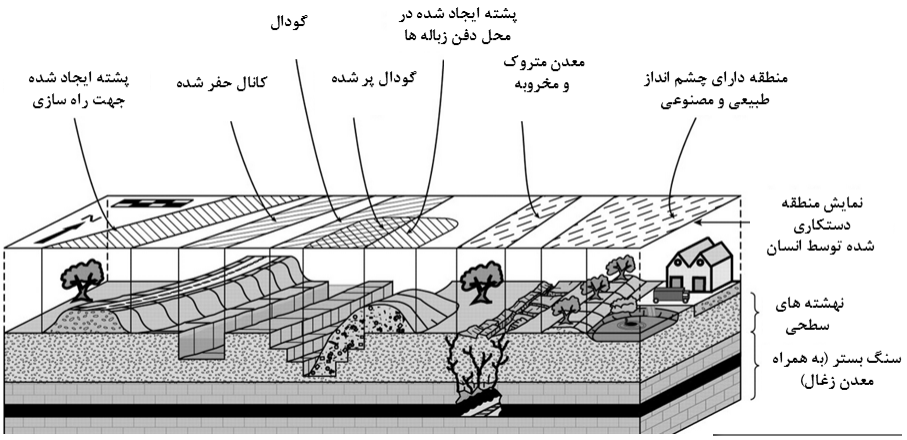
۳-۸-۱ نقشه‌ها

نقشه‌های زمین‌شناسی وارد محیط GIS می‌شوند تا دید کلی از یک منطقه شهری ارائه کنند. تصویر حاصل از نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی بزرگ مقیاس به‌این منظور مناسب نیستند، به‌ویژه 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 به‌روز رسانی هستند. این مسئله وابسته به مقدار حفاری‌ها و سایر داده‌هایی است که پس از تهیه نقشه به‌دست آمده است. به‌منظور تهیه نقشه‌های تجسمی سه‌بعدی، معمولاً ذخایر سطحی نیازمند بازنگری و اصلاحات هستند، به‌دلیل اینکه در اغلب مناطق شهری مدل زمین‌شناسی سنگ بستر از مطالعات زمین‌شناسی سطحی و داده‌های حفاری به دست آمده است که برای مقاصد مدل‌سازی سه‌بعدی 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 زمین‌ریخت شناسی 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.



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).

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

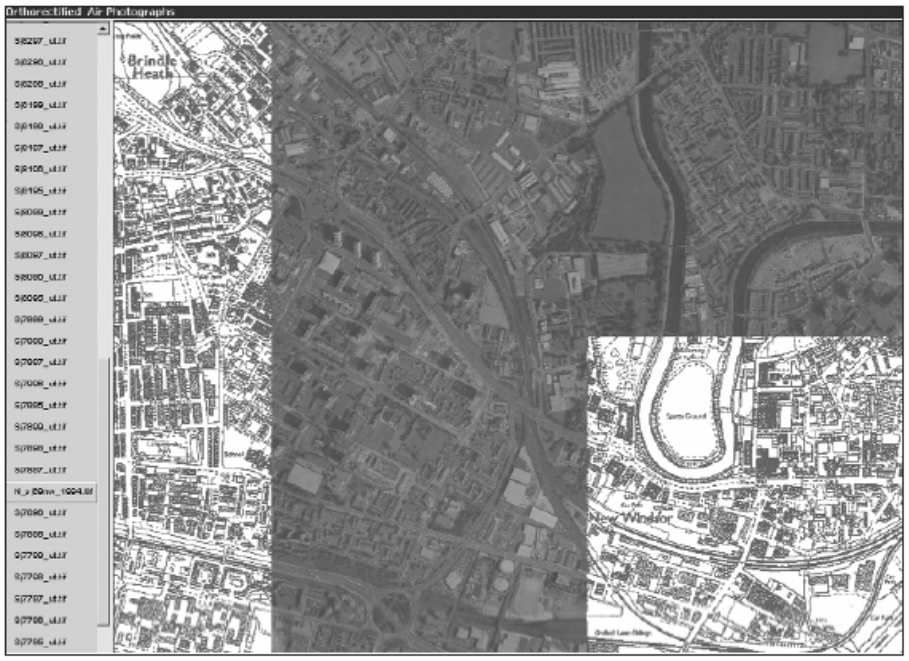
تمام نقشه‌های زمین‌شناسی باید به صورت رقومی درآیند. واحدهای سنگ‌شناسی و معدنی نیز باید براساس استاندارد مورد استفاده در نقشه‌های یاد شده وارد محیط GIS شوند. بدیهی است نقشه‌های رقومی زمین‌شناسی در محیط GIS به جدولی مرتبط است که داده‌های گوناگون مربوط به نقشه در آن قابل ویرایش و پردازش است.

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 سنتی استریوسکوپی و از طریق فتوگرامتری[1] رقومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دقت و

[1]. به فرآیند اندازه‌گیری تصاویر اجسام بر روی عکس‌های هوایی گفته می‌شود.

مقدار جزئیات زمین‌شناسی به‌دست آمده 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.



شکل ۳-۳) نمونه‌ای از نمایش عکس هوایی (بخش سایه‌دار) بر روی یک نقشه توپوگرافی بزرگ‌مقیاس. بخش سایه‌دار عکس واقعی هوایی است که از طریق روش زمین‌مرجع[1] کردن با نقشه توپوگرافی تلفیق شده است.

عکس‌برداری هوایی برای چهار هدف مهم زیر به کار برده می‌شود:

۱- ساختار عوارض زمین‌شناسی ناحیه‌ای که می‌توان از طریق بررسی مناطق شهری به‌آن دست یافت.

۲- نمایش عکس‌های هوایی بر روی نقشه‌های توپوگرافی رقومی (شکل ۳-۳)

۳- طبقه‌بندی محیط شهری براساس پوشش سطح زمین که می‌تواند به‌منظور بررسی رسوبات و آبخوان‌های سطحی مورد استفاده قرار گیرد.

[1] . Georeferencing

٤- نقشه زمین‌های ساخته‌شده.

۳-۸-۳ مدل رقومی زمین[1] و مدل رقومی ارتفاعی[2]

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، در صورتی‌که در DEM داده‌های مربوط به عوارض یادشده 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 به‌منظور نقشه‌برداری زمین‌های ساخته‌شده، 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[3] مورداستفاده 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 می دهد تا اطلاعات مربوط به هر قسمت از نقشه را به‌صورت 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

[1] . DTM = Digital Terrain Model
[2] . DEM = Digital Elevation Model
[3] . Delaunay Triangulation

دلیل کار با آن دشوارتر است. ERDAS Imagine نیز دارای کیفیت برتر نمایش سه‌بعدی، یکپارچه‌سازی داده‌ها و پویانمایی بوده و به‌منظور 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.

۳-۸-٤ پایگاه داده گمانه‌ها

پایگاه داده گمانه‌های حفاری شده به‌همراه DTM و نقشه‌های زمین‌شناسی می‌تواند ارتباط سه‌بعدی زمین‌شناسی و سایر دسته داده‌ها را برقرار ساخته و نمایش مناسبی از آن‌ها به‌منظور درک بهتر فراهم آورد.

حجم اطلاعات وارد شده به پایگاه داده گمانه‌ها در ابتدای هر پروژه‌ای تعیین می‌شود. این مسئله وابسته به اهداف پروژه، مقدار پیچیدگی زمین‌شناسی و منابع در دسترس است. مقدار اطلاعات دقیق نهشته‌های سطحی وارد شده در پایگاه داده متغیر است که از ابتدا براساس مدل مفهومی این نهشته‌ها تعیین می‌شود. به‌طور طبیعی راس و کف واحدها عمدتاً از رس، ماسه و شن (رسوبات تراس‌های رودخانه‌ای و یخرفت‌ها)، سیلت (رسوبات دریاچه یخچالی) و ماسه (رسوبات یخرفت) تشکیل می‌شوند. به این دلیل فرآیند انتخاب مستلزم ساده‌سازی جزئیات بسیاری از لاگ‌های گمانه‌ها است. کافی است به جای ثبت تغییرات جزئی سازندها در پایگاه داده‌ها، به وارد کردن افق‌های چینه‌شناسی مهم پرداخته شود. یکی از اصول در این زمینه تعیین مرزهای زمین‌شناسی شامل آب‌شناسی، ژئوتکنیکی و اقتصادی است. اصل دیگر در نظر گرفتن این مسئله است که به‌طور کلی لایه‌ای با ضخامت بیش از ۵۰ متر در زیر سطح زمین در مناطق شهری مشخصات نسبتاً کمی از وضعیت زمین را ارائه می‌کند به‌جز اینکه آن لایه به صورت آبخوان عمل کرده و یا در آن معدنکاری صورت گیرد.

- **استانداردها و روش‌ها**

داده‌های مربوط به گمانه‌ها باید به‌صورت جدولی تنظیم شوند. مهمترین ویژگی این جدول آن است که برای لیتولوژی‌های مختلف باید کد اختصاص یابد. این کد معمولاً نام سنگ‌ها است که می‌تواند با یا بدون توصیفات مربوط به آن سنگ باشد.

۳-۸-۵ منحنی تراز راس سنگ بستر[1]

موقعیت رأس سنگ بستر یکی از افق‌های مهم وارد شده به بانک داده‌ها است که در زمینه مدل‌سازی مهمترین فصل مشترک زمین‌شناسی نقش مهمی دارد. افق‌های این رئوس سنگ بستر تقریباً معادل با کف رسوبات کواترنری است و بنابراین با درجه‌ای از دقت می‌توان به مدل‌سازی آن پرداخت. تعریف و معیار تشخیص افق مهندسی[2] متفاوت است و تعیین آن از طریق لاگ‌های حاصل از گمانه‌ها به تنهایی 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 سنگ بستر است به‌ویژه هنگامی‌که مرز درون یک نیمرخ هوازده قرار گیرد.

علاوه بر داده‌های مربوط به گمانه‌ها، اطلاعات مربوط به افق مهندسی را نیز می‌توان با چاه‌نگاری[3] گمانه‌های حفرشده در مناطق هوازده به‌دست آورد (آنون، ۱۹۹۵). روش مدل‌سازی این افق و داده‌های دیگر در بخش‌های دیگر این فصل از کتاب ذکر خواهد شد.

۳-۸-٦ 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 فرآیندهای خاک‌ساز عبارتند از هوازدگی، اکسیداسیون/احیا، شستشو/ته‌نشینی، گیاخاک‌سازی و تولید خاک نارس[4]. نیمرخ خاک شامل افق‌های مختلفی است که هر کدام از طریق بافت، ساخت، رنگ، تداوم، سنگلاخی بودن، مقدار مواد زیستی و درجه گسترش ریشه قابل تشخیص هستند. بهترین حالت آن است که نیمرخ‌های خاک در واحدهای

---

[1] . Rockhead Contours

[۲]. سطحی است که در آن سطح، سنگ توانایی تحمل ایجاد ساختمان‌های بزرگ را دارد.

[3] . Logging

[4] . Peat

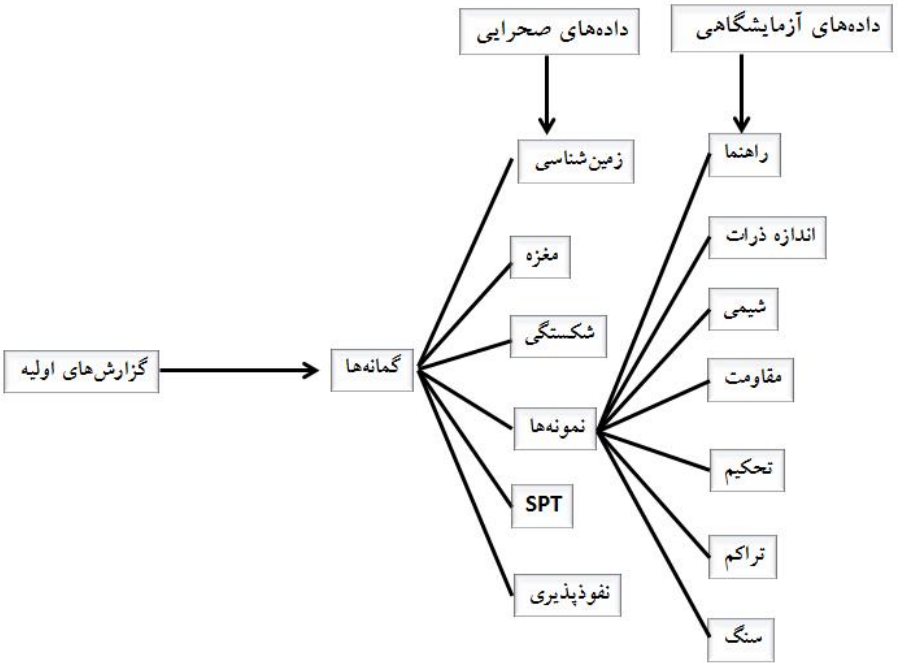
سنگ‌شناسی ثبت شده و ویژگی آن‌ها بر حسب pH روخاک[1] و زیرخاک[2]، وضعیت مواد زیستی، ظرفیت کشاورزی، مقدار سنگ و $CaCO_3$ ذکر شود. این اطلاعات می‌تواند از نقشه‌های خاک استخراج شود اما متأسفانه این‌گونه نقشه‌ها به ندرت تهیه شده‌اند.

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 ۳-٤ به صورت 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 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 به دست 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.

[1] . Topsoil
[2] . Subsoil



شکل ۳-٤) 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 به‌منظور حفاظت از بناها، سهولت حفر زمین و مناسب بودن مصالح زمین برای کاربردهای ساختمانی. اطلاعات مورد نیاز در زمینه موضوعات یاد شده را می‌توان از پایگاه داده‌های خواص ژئوتکنیکی و مشاهدات صحرایی به دست آورد. یکی از جامع‌ترین اطلاعات مورد نیاز در نقشه موضوعی ارائه شده توسط واترز و همکاران (۱۹۹٦) مطرح شده است. به‌منظور منظم‌سازی اطلاعات به‌دست آمده، واحدهای اصلی سنگ‌بستر به دسته‌های اصلی مهندسی تقسیم می شوند، به‌عنوان 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:

۱) خاک‌های نرم–سخت (رس)

۲) خاک‌های نرم–سست (آبرفت)

۳) خاک‌های ناپیوسته (رسوبات تراس رودخانه‌ای)

٤) خاک‌های زیستی (خاک تورب‌دار)

۵) 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 ۳–٤ 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 می‌شود 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.

۳-۸-۱۱ 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 به‌دست می‌آید.

داده‌ها در شش جدول زیر خلاصه می‌شوند:

۱) اطلاعات ثبت چاه‌ها

۲) جزئیات جهت حرکت آب

۳) سطوح آب‌ها

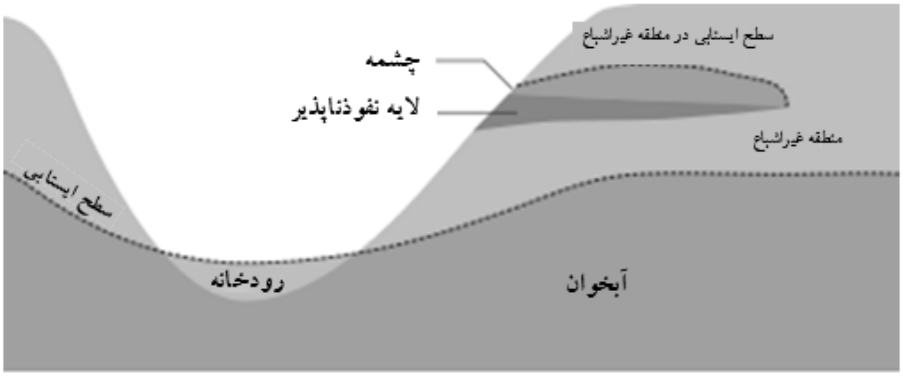
٤) آزمایش‌های چاهک مکش

۵) اطلاعات مربوط به لوله‌گذاری

٦) آنالیز آب.

این جداول با مشخصات مهندسی که پیش از این ذکر شد، مطابقت دارند. بررسی اولیه‌ای از واحدهای زمین‌شناسی که احتمال وجود آب در آن‌ها وجود دارد براساس مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی باید صورت گیرد. پایگاه داده‌هایی که برای سطوح آب ایجاد شده به‌منظور 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 آبِ 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 سه‌بعدی زمین‌شناسی به‌دست 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 غیراشباع. 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 به‌دلیل آلودگی‌های جوی و زمین بالا می‌رود. زمین در مناطق یادشده اغلب دچار به‌هم ریختگی و دست‌خوردگی شده و از این رو ویژگی‌های ژئوشیمیایی با رسوبات سطحی مناطق مجاور متفاوت است.

جدول ۳-۳) نمونه‌ای از یک جدول مهندسی مکمل نقشه زمین‌شناسی رقومی (اقتباس از واترز و همکاران، ۱۹۹۶)

واحد زمین‌شناسی مهندسی		واحد زمین‌شناسی	توصیف ویژگی‌ها	موضوعات مهندسی			
				پی ساختمان‌ها	گودبرداری	پرکردن مهندسی	بررسی سایت نمونه‌برداری
سنگ بستر							
ماسه سنگ مستحکم		تمام ماسه‌سنگ‌های حاصل از خرد‌ایش و طبقات ذخال‌دار	ماسه‌سنگ‌های متوسط تا شدیداً ترک‌دار با لایه‌بندی نازک تا ضخیم به همراه میان لایه‌هایی از گلسنگ و سیلتستون. در صورت تازه بودن و یا کم بودن هوازدگی مقاوم بوده و یا مقاومت متوسط دارند.	معمولاً دارای شرایط مناسبی جهت پی ساختمان‌هاست. ضخامت لایه و عمق منطقه هوازده در فرآیند طراحی ساختمانی حائز اهمیت بوده و باید مد نظر باشد	وابسته به فاصله درزه‌هاست. از طریق مته بادی یا انفجار قابل گودبرداری است.	برای خاکریزهای بزرگ مناسب هستند. اگر جدایش میان‌لایه‌های گلسنگ به صرفه نباشد برای پرکردن کلی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.	برای تعیین عمق و شرایط سنگ‌شناسی مناطق هوازده متغیر مهم هستند. آزمایش‌های بارگذاری برجا به منظور بررسی مقاومت در سایت‌های منتخب توصیه می‌شود.
گلسنگ		بقایای گلسنگ‌ها و شیل‌ها و سیلتستون‌ها حاصل از خرد‌ایش و طبقات ذخال‌دار	شیل‌ها، گلسنگ‌ها و سیلتستون‌های ترک خورده و ضعیف تا مقداری مستحکم که در اثر هوازدگی به رس سیلتی تبدیل می‌شوند. برونزه این رسوبات در اثر جذب رطوبت رو به زوال و سستی می‌روند.	معمولاً دارای شرایط مناسبی جهت پی ساختمان‌هاست. بسته به طبیعت و ضخامت منطقه هوازده، شرایط متفاوت است. سطوح بنا در حفاری باز باید مورد محافظت قرار گیرد.	گلسنگ‌های هوازده قابل حفاری هستند. برای گودبرداری عمیق، ترکاندن یا مته بادی مورد نیاز خواهد بود.	برای پرکردن تحت شرایط تراکم کنترل شده مناسب هستند.	برای تعیین عمق و شرایط سنگ‌شناسی مناطق هوازده متغیر مهم هستند. آزمایش‌های بارگذاری برجا به منظور بررسی مقاومت در سایت‌های منتخب توصیه می‌شود.
خاک‌ها							
مخلوطی از خاک‌های پیوسته ناپیوسته	سفت/چگال	رخرفت (تخته‌سنگ و رس)	رس سخت تا بسیار سخت، سنگ شده و ماسه‌ای، با نوارهایی از رس‌ها و میان‌لایه‌ها و عدسی‌های ماسه و شن.	معمولاً دارای شرایط مناسبی جهت پی ساختمان‌هاست اما حضور لایه‌های ماسه و سیلت آب‌دار شرایط متفاوت است.	قابل حفاری هستند. پرشدگی توسط آب می‌تواند موجب بروز مشکلاتی در حین کار گردد. گودبرداری در رس‌ها معمولاً در زمان کوتاه پایدار است، در زیر سطح ایستابی آب، ممکن است رانش ایجاد شود.	اگر در انتخاب و استخراج نفت شود می‌توانند برای مقاصد پر کردن مناسب باشند. رس‌های لایه‌ای و رس‌های مجاور ماسه‌ها/شن‌های آب‌دار مناسب نیستند.	برای تعیین ضخامت یخرفت و ژئوتوژی به ویژه حضور رس‌های لایه‌ای و ماسه‌ها/سیلت‌های آب‌دار مهم هستند.
	نرم/سفت	خاک رسی پوشاننده	رس سیلتی ماسه‌ای نرم تا سفت به همراه سنگ، دارای خاصیت پلاستیسیته و تراکم کم تا متوسط، به صورت محلی به صورت ماسه سیلتی یا شن. رس‌ها ممکن است بقایای سطوح برشی با مقاومت برشی کم باشند.	به طور کلی برای پی ساختمان‌ها مناسب نیستند. به دلیل ضخامت کم معمولاً به صرفه‌تر است که از منطقه جابجا شود تا اینکه به عنوان پی ساختمان مورد استفاده قرار گیرد.	قابل حفاری هستند.	برای پرکردن کلی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. مرطوب‌تر از آن هستند که به شرایط مناسب برسند.	برای تعیین ضخامت/گسترش خاک‌های رسی و حضور هرگونه بقایای سطوح برشی که بتواند تاثیر معکوسی بر پایداری تطعات در شیب‌های پوشیده شده توسط خاک‌های یاد شده، حائز اهمیت هستند.
	نرم/سست	آبرفت رسوبات یخرفت دریاچه‌ای	رس‌های بسیار نرم تا سفت که گاهی لایه‌ای، ماسه‌ای و سیلتی است. سیلت‌هایی با نوارهای سست و ماسه‌های سست تا سفت و شن‌هایی با عدسی‌های رسی.	برای پی ساختمان ضعیف است. مناطق نرم و با قابلیت تراکم زیاد که برای پی سازی خطرناک است. معمولاً در این حالات نیازمند پله یا ستونهایی از جنس شن هستند.	قابل حفاری هستند. جهت استحکام نیاز به حفر چاله است. دو مصالح دانه‌ای ممکن است رانش ایجاد شود. به دلیل بالا بودن سطوح آب انسداد یا خالی کردن آب مورد نیاز است.	معمولاً مناسب نیستند.	برای تعیین حضور، عمق و گسترش مناطق نرم تراکم‌پذیر و عمق لایه پایدار مهم هستند. حفر گمانه‌های نزدیک به هم توصیه می‌شود.
خاک‌های ناپیوسته	متوسط/فشرده		ماسه‌های محکم، متوسط تا درشت‌دانه و شن‌های نسبتاً سخت تا سخت که گاهی در بین آن‌ها سنگ‌های درشت نیز دیده می‌شود. رس‌ها و سیلت‌های ماسه‌ای به صورت محلی دیده می‌شوند.	معمولاً دارای شرایط مناسبی جهت پی ساختمان‌هاست. رسوبات ضخیم در کانال‌های مدفون رودخانه‌ای می‌توانند برای طراحی پی مهم باشد	قابل حفاری هستند. جاله‌های پشتیبان مورد نیاز است. ممکن است آب‌دار باشند.	ماسه‌ها و شن‌ها به عنوان پرکننده‌های دانه‌ای مناسب هستند.	برای تعیین حضور و ابعاد کانال‌های مدفون و ویژگی‌های رسوبات مابین آن‌ها مهم هستند

جدول ۳-٤) 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 موادمعدنی
C3a	معادن و کارخانجات استحصال گاز، زغال و کک
C3d/e	ایستگاه‌های نیرو (برق)
C4b	کارخانه تولید فلزات
C5b	کارخانه تولید آزبست
C6b	شیشه‌سازی
C7b	کارخانه‌های شیمیایی
C7a	تصفیه نفت
C8a	کارخانه‌های مهندسی
C9	کارخانه صنایع‌غذایی
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 تجمیع و دفن زباله‌ها
C16	کارخانجات (عمومی)
C16d	لباسشویی‌ها
C16e	بیمارستان‌ها و گورستان‌ها

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 به‌منظور مقایسه با مناطق غیرآلوده 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

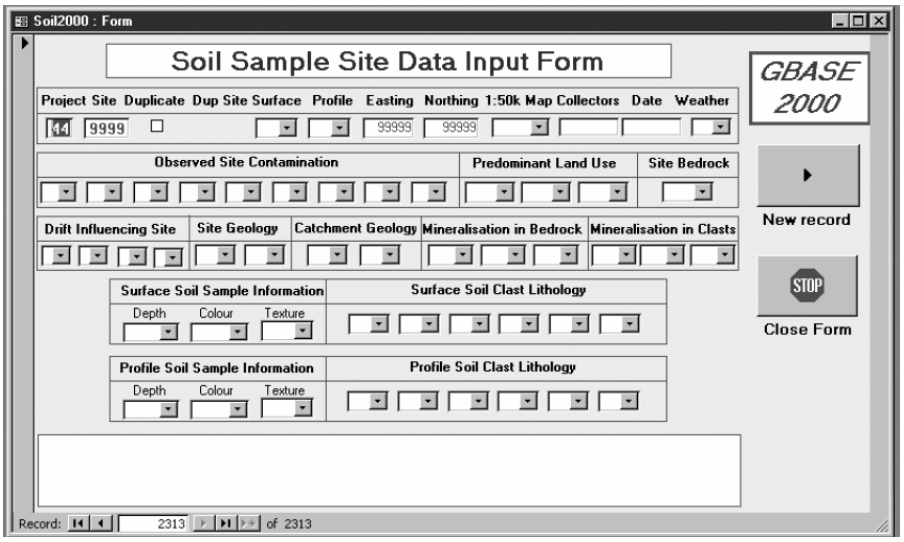
شهری به‌منظور برنامه‌ریزی‌های کلان توسعه‌ای حاصل شود. پیشنهاد می‌شود براساس مساحت شهر مورد مطالعه به صورت شبکه‌بندی شده (مثلاً هر ۵۰۰×۵۰۰ متر یک نمونه یا هر چهار نمونه در دو کیلومترمربع) نمونه‌برداری صورت گیرد. در مناطق روستایی معمولاً تراکم نمونه‌بردای نصف این تعداد است. در سایت‌های شهری مورد مطالعه معمولاً دسترسی به خاک محدود بوده و فقط در باغ‌ها، پارک‌ها، حاشیه جاده‌ها، فضاهای باز، زمین‌های ورزشی و زمین‌های متروک است.

جدول ۳-۵) دسته‌ها و روش رقومی‌کردن مناطق شهری در شهر منچستر.

کد	توضیح	قوانین رقومی‌سازی
۱	کشاورزی	-
۲	جنگل یا درختستان	- تعیین مناطق جنگلی (نه تنها درختان پارک) از طریق بررسی نقشه‌های توپوگرافی و شهری - کمینه مساحت رقومی‌شده 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	-
٤	مناطق آب‌دار و مرطوب	کانال‌ها و رودخانه‌هامشخص شده با دو خط رقومی شوند. از جریاناتی که با یک خط مشخص شده‌اند صرف‌نظر شود.
٥	مناطق سنگی و ساحلی	-
٦	معادن و چاله‌های دفن زباله	از پلی‌گون‌های موجود سازمان‌های صنایع و معادن استفاده شود.
۷	مناطق تفریحی و سرگرمی	-
۸	حمل‌ونقل	- جاده‌ها و مسیرهای عبور موتورها 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	به‌صورت 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 ۰/٤ 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 ۳-٦).



شکل ۳-٦) فرم ورود اطلاعات نمونه‌برداری ژئوشیمیایی صحرایی در برنامه G-BASE.

سری عناصر استاندارد آنالیزشده توسط روش XRF عبارتند از:

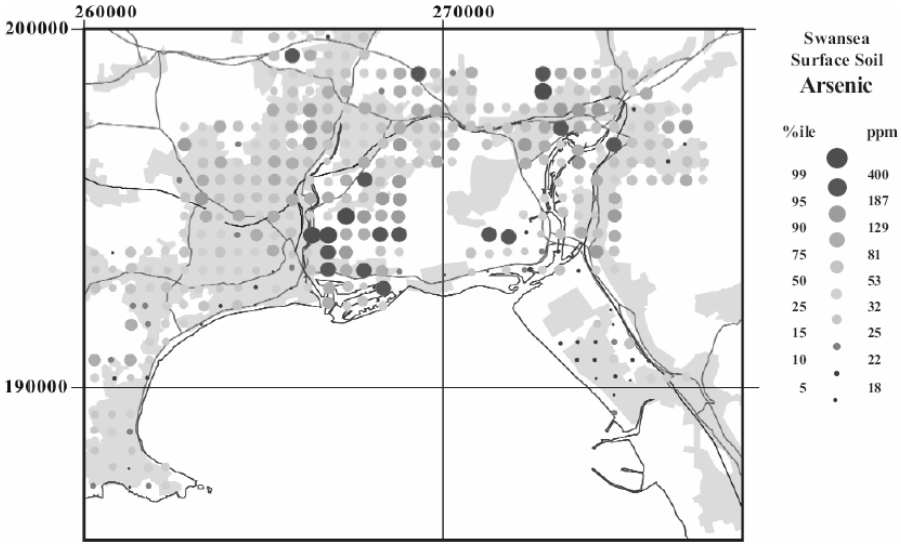
MgO, P_2O_5, K_2O, CaO, TiO_2, MnO, Fe_2O_3, V, Cr, Co, Ba, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pb, Bi, Th, U, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, La, Ce, W

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 برون یابی نامناسب بین نقاط نمونه‌برداری و داده‌های موجود در فرم شده و باعث ارائه بهتر ارتباط مکانی نمونه‌های اخذشده 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 یک دیدگاه کلی در زمینه گسترش عناصر در محیط‌های شهری ارائه کند. به‌عنوان نمونه، شکل ۳-۷ تمرکز بالای آرسنیک را در

خاک‌های سطحی در سوانسی[1] نشان می‌دهد که مرتبط با بارانداز تاو[2] و دره‌های رودخانه نیث[3] و محل فعالیت قبلی کارخانجات بزرگ می‌باشد.



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 (ppm ۱۰) است.

این گونه توزیع عناصر با توجه به نوع کاربری زمین قابل پیش‌بینی است. نتایج حاصل از نرم‌افزار G-BASE داده‌های کمی مرتبط با مقادیر آلایش 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

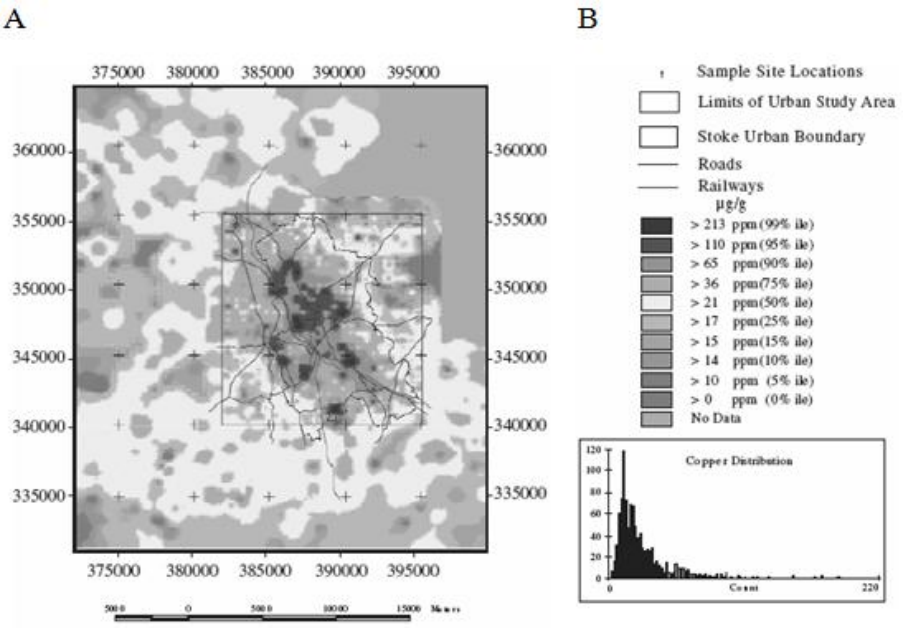
[1] . Swansea
[2] . Tawe
[3] . Neath

استوک‌آن‌ترنت[1] 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 ٤٥ 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 ٤٥ سانتی‌متر (که پیشنهاد شده بیش از ١٠٠ سانتی‌متر نشود) برداشت شود تا نمونه‌ای حاوی لایه مادر زیرین به دست آید. در صورتی که به لایه مادر برخورد نشود برداشت فقط یک نمونه (از خاک یا زمین ساخته 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 نمونه‌بردای صورت گیرد. نتایج نباید در آنالیزهای آماری ژئوشیمیایی وارد شوند بلکه باید به صورت یک دسته داده برای آنالیز تمرکز عناصر در یک زمین با کاربری مخصوص متمرکز شوند.

[1] . Stoke-on-Trent



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 ٤٥ 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 به دست آمده توسط شرکت‌های مهندسی عمران در طی بازسازی سازه‌های خسارت دیده، داده‌های معدنی و سایر داده‌های قبلی موجود. مشاهدات در پایگاه لینک شده به یک نقشه توپوگرافی وارد شده تا مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. روش استاندارد برای ثبت شدت خسارت‌ها در جدول ۳-٦ ارائه شده است. دسته‌بندی‌ها عمدتاً براساس فری‌من و همکاران (۱۹۹٤) تنظیم شده است.

جدول ۳-٦) 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 آجر نما 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 به سختی باز و بسته شوند، عموماً پهنای ترک‌ها حداکثر ۵ میلیمتر است. ثبت آن‌ها از بیرون دشوار است.	معمولاً خسارات چندان قابل ذکر نیستند.
متوسط	ترک‌ها توسط بنّا قابل تعمیر است. ترک‌ها در آجرها مشاهده شده و ممکن است نیاز به تعویض برخی از آجرها احساس شود. درها و پنجره‌ها به سختی باز و بسته می‌شوند و کمی به سمت دیوارها خم می‌شوند. لوله‌های گاز یا آب ممکن است ترک بردارند. عموماً پهنای ترک‌ها حداکثر ۱۵-۵ میلی‌متر است. از بیرون قابل مشاهده است.	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 قابل توجهی 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 است. از بیرون کاملاً قابل مشاهده هستند.	افت زمین محسوس است که اعلب با ترک خوردگی 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. پنجره‌ها خرد می‌شوند. خطر ناپایداری وجود دارد. پهنای ترک‌ها بیش از ۲۵ میلی‌متربوده 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 بزگراه‌ها 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

۳-۸-۱٤ منابع معدنی

پروژه‌های زمین‌شناسی شهری در مکان‌هایدارای 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 به‌صورت محدود نقاط معدنکاری قدیمی (معادن شدادی) نشان داده می‌شوند. پروژه‌های زمین‌شناسی شهری موظفند 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 هدررفتن و بدون استفاده ماندن منابع معدنی در مناطق یادشده جلوگیری شود.

۳-۸-۱۵ مخاطرات زمین‌شناسی

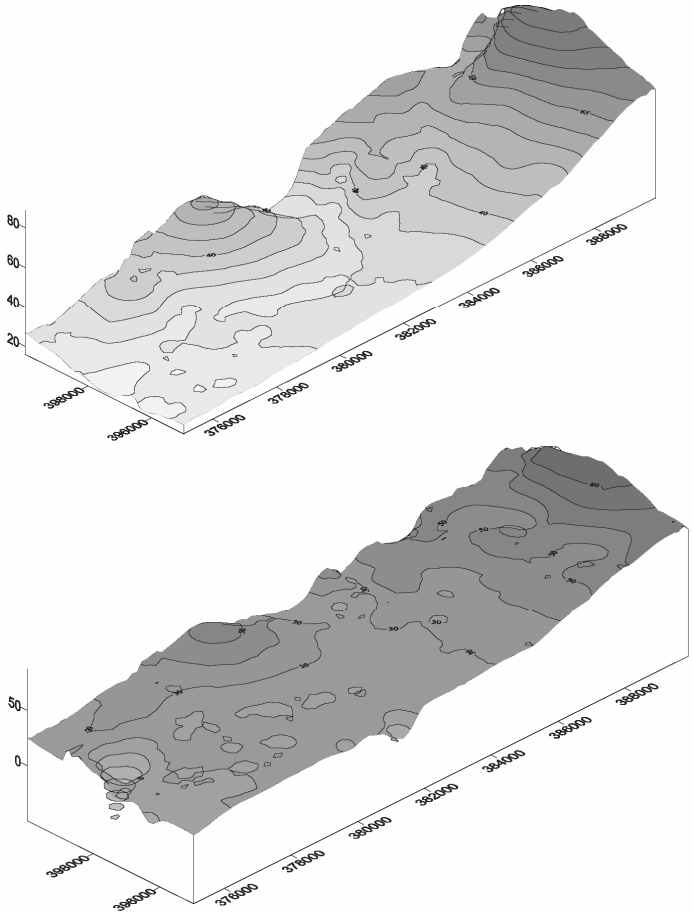
مخاطرات زمین‌شناسی بخش مهم و الزامی همه پروژه‌های زمین‌شناسی شهری است. مهمترین مخاطرات در مناطق یادشده عبارتند از زلزله، زمین‌لغزش، انبساط و انقباض خاک در اثر جذب آب و از دست‌دادن آن، تراکم شدید در اثر بار رویی (لایه تراکم‌پذیر) و انحلال (در مناطق کارستی). پروژه‌های زمین‌شناسی شهری از داده‌های واحدهای 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 بالاآمدگی 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.

۳-۹ 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[1] نیز در مناطق شهری مدل‌سازی می‌شوند (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹) 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 سطح‌سنگ از مدل DTM ضخامت رسوبات به‌دست می‌آید و همچنین با تفریق ضخامت رسوبات از DTM نیز سطح‌سنگ تعیین می‌شود. برخی کاربران (مهندسین عمران) مدل‌سازی سطوح‌سنگ را ترجیح می‌دهند و برای برخی دیگر نیز (کارخانجات شن و ماسه) ضخامت رسوبات مهم است. یک روش برای ایجاد مدل سطح‌سنگ این است که نقاط هم‌ضخامت رسوبات در نرم‌افزار فری‌هند[۲] ترسیم شده و سپس مدل سطح‌سنگ 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 برونزدها نسبت به سطح دریا است. در بسیاری اوقات حتی در مناطق شهری، تراکم داده‌ها بسیار متغیر است و سطح‌سنگ 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 ایجادشده در مناطقی با تراکم بالای داده‌ها.

---

[۱]. سطح‌سنگ 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.

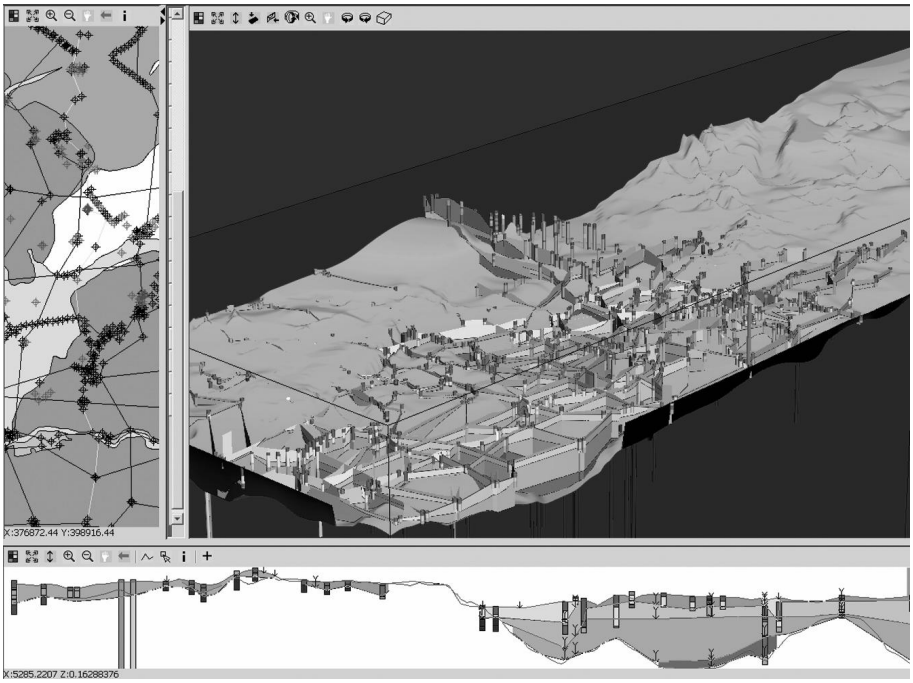
[2]. Freehand

- تعیین ارتفاع نقاط کف برونزدها نسبت به سطح دریا.
- ترسیم دستی ترازهای سطح سنگ با استفاده از داده‌های بالا، اطلاعات عمومی از منطقه و یا نرم‌افزار شبکه‌بندی[1].
- اطمینان از اینکه ترازهای ایجاد شده رقومی دارای اعتبار و صحّت 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)، به‌صورت 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 به‌صورت خودکار در مدل سه‌بعدی دارای موقعیت هستند. 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 به‌صورت مکرر به سمت اعماق ایجاد می‌شوند. در این صورت زیرشاخه‌های واحدهای ناپیوسته سنگ‌شناسی قابل شناسایی هستند.

[1] . Gridding software



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)، سطح‌سنگ (رنگ تیره) و گمانه‌ها است. شکل زیرین مقطع عرضی گمانه‌ها و واحدهای اصلی سنگ‌شناسی و همچنین خطوط انطباقی واحدها را به نمایش گذاشته است.

۳-۹-٤ شاخص‌های اطمینان

فاصله مناسب بین ترازها جهت مدل‌سازی سطح‌سنگ در بسیاری از مناطق پنج متر و در مناطقی با داده‌های زیاد و کیفیت بالا باشد دو متر است. به‌طور کلی، عدم دقت لاگ‌های حفاری و خطاهای مرتبط با ارتفاع شروع گمانه‌ها بدین معناست که دقت ۲± متر در بسیاری از مدل‌ها قابل قبول است.

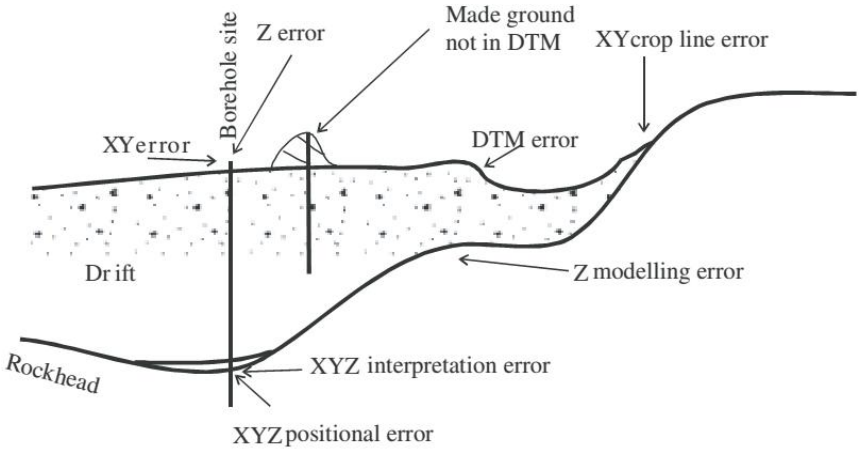
کاربران مدل‌های سه‌بعدی نیازمند برخی شاخصه‌های اطمینان در بخش‌های مختلف مدل هستند. خطا یا عدم‌دقت یک مدل سه‌بعدی (شکل ۳-۱۱) و بنابراین اطمینان به آن مدل به بسیاری از عوامل وابسته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- 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.

- عدم‌قطعیت ترازهای ترسیم‌شده به‌صورت دستی. نمونه‌ای از این ترازها برای نشان دادن کانال‌های زهکش زیر توده‌یخ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

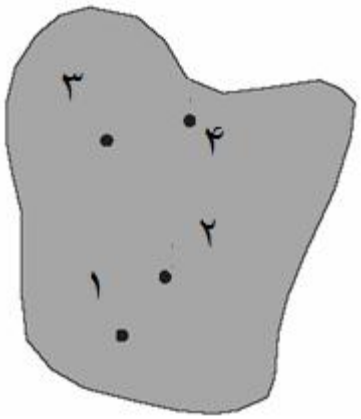


شکل ۳-۱۱) نمایش هندسی یک مقطع عرضی رسوبات سطحی که مکان برخی خطاهای دخیل در مدل‌سازی را نشان می‌دهد (XYZ معرف ابعاد سه‌گانه طول، عرض و ارتفاع یا ضخامت است).

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.

۳-۱۰ روش‌های تخصیص، توسعه و ارائه داده‌های توصیفی[1] زمین‌شناسی بسیار متنوع

داده‌های توصیفی معمولاً از طریق نقشه‌های جستجو شده و جداول درون یک سیستم GIS قابل مشاهده هستند. جستجوها 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 دسته‌داده‌ها 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)بود که این عمل را اصطلاحاً افزایش مقیاس[2] (یا به عبارتی دیگر افزایش دقت) می‌گویند.



	لیتولوژی	مقاومت بُرشی
نقطه ۱	رس و سیلت	۱۵
نقطه ۲	رس ماسه‌ای	۱۱
نقطه ۳	رس ماسه‌ای	۱۱
نقطه ٤	گراول رسی	۱۰

شکل ۳-۱۲) آنالیز عدد به پلی‌گون.

با استفاده از مثال شکل ۳-۱۲ نمونه‌های چهار سایت مورد بررسی با لیتولوژی و پارامترهای مهندسی، جستجو[3] معمولی که می‌توان از داده‌های غیرعددی گرفت عبارتند از:

- انتخاب یک نقطه به‌صورت تصادفی برای ارائه پلی‌گون (گراول رسی)

[1] . Attribute
[2] . Upscaling
[3] . Query= Query عمل تجزیه‌وتحلیل اطلاعات مکانی توسط پرسش و پاسخ یا به اصطلاح گرفتن

- 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[1])
- طبقه‌بندی مجدد یک سیستم با مقیاس دلخواه با فرمت عددی و یا هر کاراکتر دیگر (مثلاً ریزدانه..به.درشت‌دانه یا از ۱. تا. ۱۰).

جستجو معمولی در مورد اطلاعات نقطه‌ای (مثلاً مقاومت بُرشی) شامل موارد زیر است:

- میانگین داده‌ها (میانه[2] = ۱۱/۷۵، مد[3] = ۱۱، میانگین[4] = ۱۱)
- دامنه داده‌های مورد استفاده به‌صورت ۱۵–۱۰ بوده که به صورت یک محدوده تکی غیرعددی 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[5] 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)

---

[1] . Diamict = به رسوبات حاوی انواع سست و به هم پیوسته گفته می‌شود

[2] . Mean
[3] . Mode
[4] . Median
[5] . Pebble

- شکست طبیعی[1] مورد استفاده قرار گیرد (این روش نیز برای داده‌های زیاد مناسب است)
- روش‌های آماری درصدگیری[2] و ربع‌گیری[3] (این روش نیز برای داده‌های زیاد مناسب است)

داده‌های نقطه‌ای را می‌توان به‌صورت فضایی به روش‌های مختلف در پلی‌گون به‌صورتی که در شکل ۳-۱۳ نشان داده شده، مورد توجه قرار داد. همان‌طور که در شکل ۳-۱٤ نیز نشان داده شده، افزایش مقیاس (افزایش دقت) از یک پلی‌گون به پلی‌گون دیگر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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[4] براساس شبکه‌بندی هندسی، 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 به‌صورت یک شبکه آماری است. شبکه از تقسیم مناطق شهری به پارسل‌ها (یک قطعه زمین) با کاربری متداول و یا ساختمانی است (شکل ۳-۱٦).

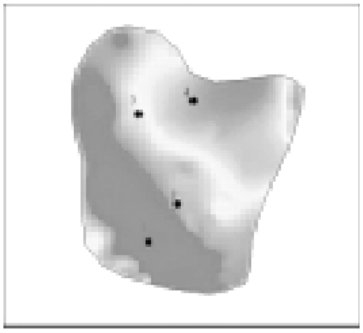
---

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

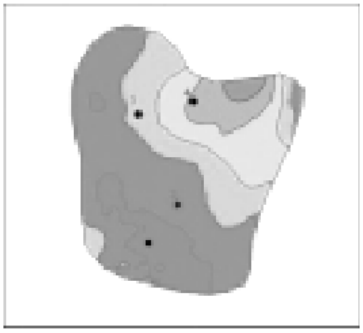
[2] . Percentiles:
صدک = نشان‌دادن وضعیت نسبی یک نمره در داخل یک توزیع. مثلاً صدک ۳۵، نقطه‌ای است که ۳۵ درصد همه نمرات در زیر آن قرار می‌گیرند.

[3] . Quartiles: چارک یا فاصله بین ربع‌های مختلف گروه اعداد آماری.

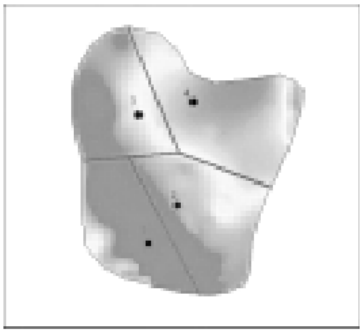
[4] . Uniform spatial referencing system



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



زیر تقسیم‌بندی پلی‌گون به مناطق مختلف به‌منظور تبدیل پلی‌گون به واحدهای مجزای زیاد. هر نقطه به یکی از واحدها افزایش مقیاس یافته است.

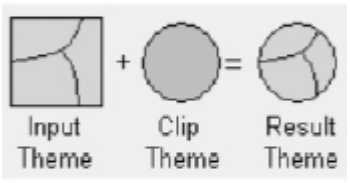


داده نقطه‌ای به مناطق ورونی[1] افزایش مقیاس پیدا کرده و گوشه‌های آن، فاصله بین هر زوج نقاط را به دو نیم تقسیم کرده است. این روش مستلزم آن است که پلی‌گون اولیه به چند بخش تقسیم شود که برای داده‌های نقشه‌ای غیر عددی نیز قابل استفاده است.

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

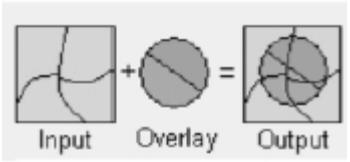
[1] . Voroni-type:
سلول ورونی هر ایستگاه مجموعه‌ای از همه نقاطی است که به آن ایستگاه (نسبت به ایستگاه‌های دیگر) نزدیک‌تر هستند.

حل‌شدن[1]: این ابزار برای به ترکیب گروه‌های داده‌های مرتبط مناسب است، به عنوان مثال یکپارچه سازی همه پلی‌گون‌های ماسه، شن و ماسه ریگی در واحدی به‌نام "نهشته‌های درشت".



بُرش[2]: این ابزار برای استخراج داده‌های مرتبط با هم مناسب است، مانن ایجاد پلی‌گون‌های زمین‌شناسی برای رسوبات رسی که در نقشه به‌صورت مناطق شیب‌دار ترسیم شده‌اند.

تقاطع[3]: این ابزار برای تقسیم دسته‌داده‌ها توسط داده دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد به طور مثال تکه‌کردن پلی‌گون توده رسوبی توسط یک نوع خاص از سنگ سختی که در زیر آن رسوبات قرار گرفته است.

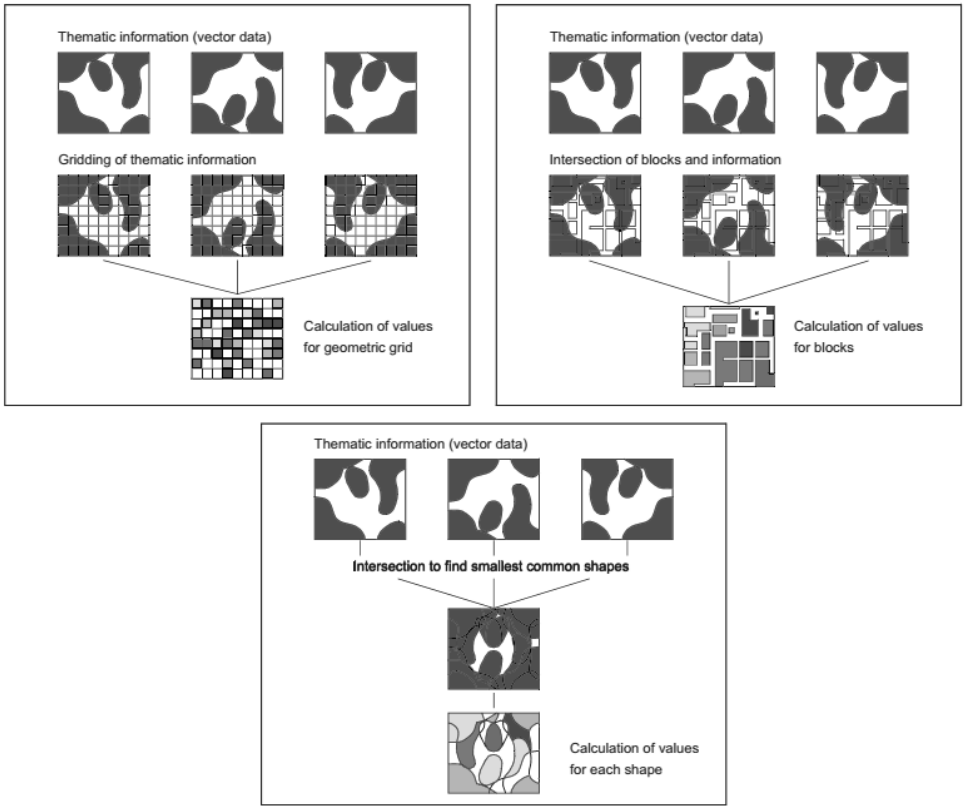


الحاق[4]: این ابزار برای ترکیب دسته‌داده‌ها به‌منظور تهیه یک لایه از همه آن‌ها مناسب است به عنوان نمونه تفکیک نقشه کاربری زمین برای نمایش ویژگی‌های ساختار کاربری قبلی زمین.

شکل ۳-۱٤) ابزار اتصال لایه‌های متعدد داده‌ها در ویرایش نرم‌افزار قدیمی Arcview. اصول نرم‌افزار جدیدتر (ArcGis) نیز مانند ویرایش قدیمی Arcview است (به هر حال آموزش این نرم‌افزارها به دلیل گستردگی 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.

[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.



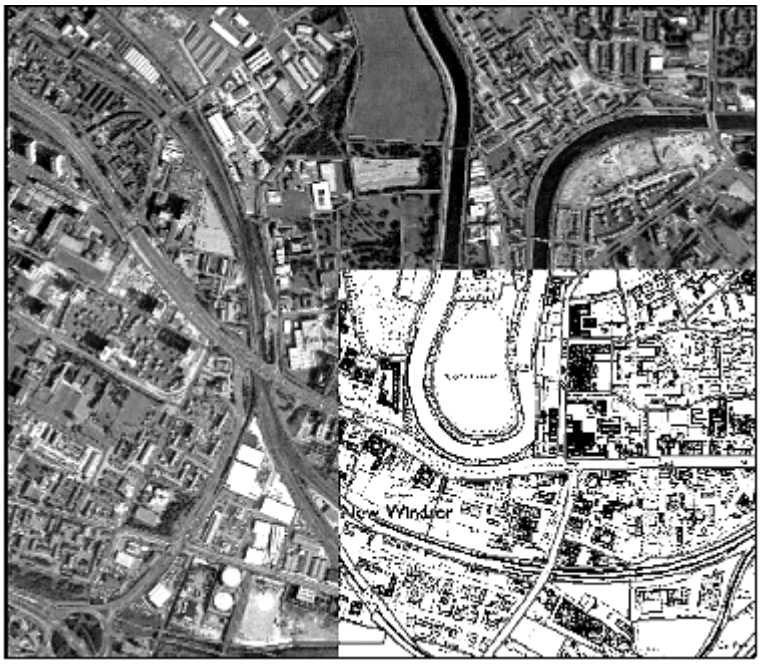
شکل ۳-۱۵) روش‌های مقیاس‌گذاری مجدد اطلاعات

(براساس: Senatsvervaltung fur Stadtentwicklung und Umweltschutz, 1990)

۳-۱۰-۲ استفاده از اطلاعات داده‌های توصیفی

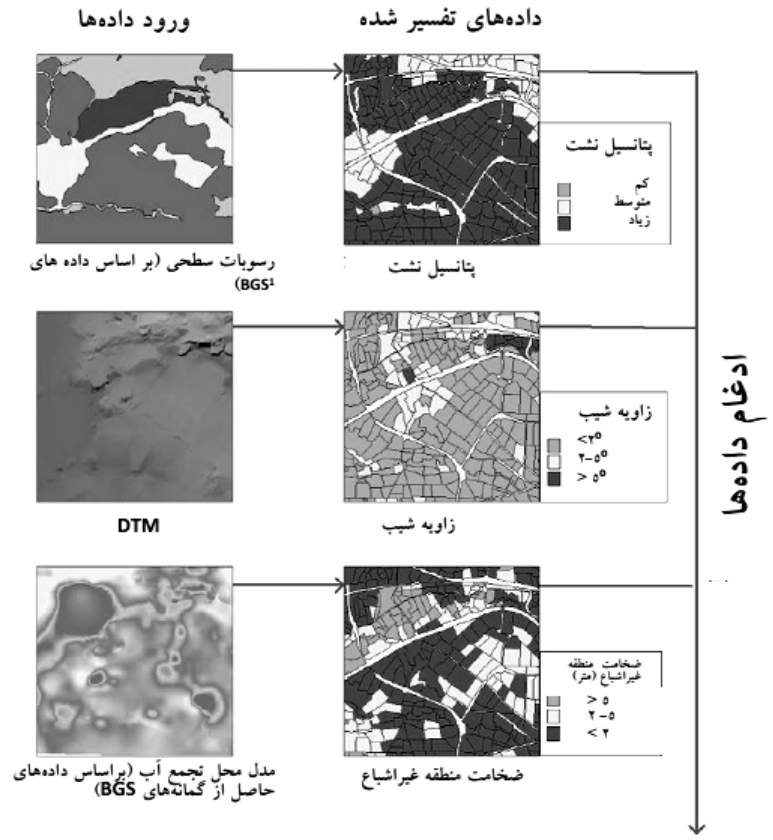
پروژه‌های زمین‌شناسی جدید، برخی روش‌های آنالیز ارائه شده در بخش‌های قبلی این فصل را مورد استفاده قرار می‌دهند تا اطلاعات استخراج‌شده از دسته‌داده‌های مختلف و GIS را به نمایش گذارند. برای مثال، با استفاده از لیتولوژی گمانه‌ها که در زمان

آخرین بازنگری نقشه زمین‌شناسی حفاری شده‌اند، می‌توان دقت زمین‌شناسی سنگ‌ها یا رسوبات سست نشان داده‌شده 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[1] 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[2] آن‌ها براساس داده‌های نقطه‌ای گمانه‌ها است.



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

[1] . Contouring
[2] . Isopachytes



ادغام دسته داده‌های مختلف وارد شده به‌منظور تهیه یک نقشه مناسب از مناطق مستعد توسعه پایدار سیستم زه‌کشی شهری (SUDS)

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[1] در شهر منچستر و سالفورد نشان می‌دهد.

[1] . British Geological Survey (BGS)

در صورت افزایش مقیاس (دقت)، عمل بُرش 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 یادشده از طریق تجمیع اطلاعات حاصل از نهشته‌های سطحی، DTM و یک نقشه تراز از عمق سطح ایستابی آب قابل تهیه است.

۳-۱۱ نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب گفته شده می‌توان چارچوبی برای پیش‌بینی اطلاعات و موارد مورد نیاز دربارهتمام جوانب زمین مورد استفاده در مناطق شهری تهیه کرد. روش‌های مختلفی به‌منظور انجام پروژه‌های زمین‌شناسی شهری باید به کار 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 تجمیع 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 به صورت 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 آلایش، آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی، خطر پروژه‌های مهندسی در اعماق کم و زهکشی پایدار شهری حائز اهمیت است. از این‌رو توصیه می‌شود که با توجه به مقدار بودجه در دسترس، این داده‌ها نیز گردآوری و دسته‌بندی شوند. به همین صورت،

مدل‌سازی تغییرات لیتولوژیکی در رسوبات سطحی نیز در بسیاری از مناطق شهری مهم است.

۳-۱۲ خودآزمایی فصل ۳

۱- موضوعات مورد توجه در توسعه پایدار شهری را نام ببرید (حداقل شش مورد)؟ خروجی‌های اصلی هر برنامه شهری شامل چه مواردی است؟

۲- حداقل ۱۰ مورد از دسته داده‌های اصلی زمین‌شناسی موردنیاز برای یک پروژه شهری را نام برده و داده‌های اولیه و ثانویه را مشخص کنید.

۳- اهداف عکس‌برداری هوایی را ذکر کنید.

٤- مدل رقومی زمین (DTM) را تعریف و تفاوت آن را با مدل رقومی ارتفاعی (DEM) مشخص کنید.

۵- افق مهندسی در مناطق شهری به چه منظوری استفاده می‌شود؟

٦- موضوعات مهم در زمینه مهندسی ساخت و توسعه ساختمان‌های مناطق شهری را نام ببرید؟

۷- زمین‌شناسی شهری با کدام‌یک از موضوعات زیر سروکار دارد؟

الف) کیفیت هوا

ب) محیط ساخت‌وساز زیرزمینی

ج) رفتار سازمانی و نوآوری

د) محیط ساخت‌وساز روزمینی و فضاهای باز

۸- بهترین ابزار برای بیان و ارائه ساختارهای زمین‌شناسی در یک منطقه نقشه زمین‌شناسی کدام است؟

الف) عکس هوایی

ب) تصویر ماهواره‌ای

ج) DEM

د) نقشه زمین‌شناسی

فصل چهارم

مخاطرات زمین‌شناسی در محیط‌های شهری

اهداف 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، زمین لغزش، 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.

اهداف رفتاری

با توجه به هدف‌های کلی یادشده می‌توان با مطالعه این فصل از کتاب با موارد ذیلآشنا شد:

۱. انواع مخاطرات زمین‌شناسی.

۲. نقش مطالعه مخاطرات طبیعی در توسعه پایدار شهری.

۳. روش‌های برآورد مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری.

٤. 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 منشاء 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:

۱- سرعت انتشار اخبار و پوشش وسیع توسط رسانه‌ها

۲- جمعیت بالای متمرکزشده در مناطق پرخطر

۳- عدم سرمایه‌گذاری در مناطقی که مخاطرات طبیعی آنجا را تهدید می‌کند

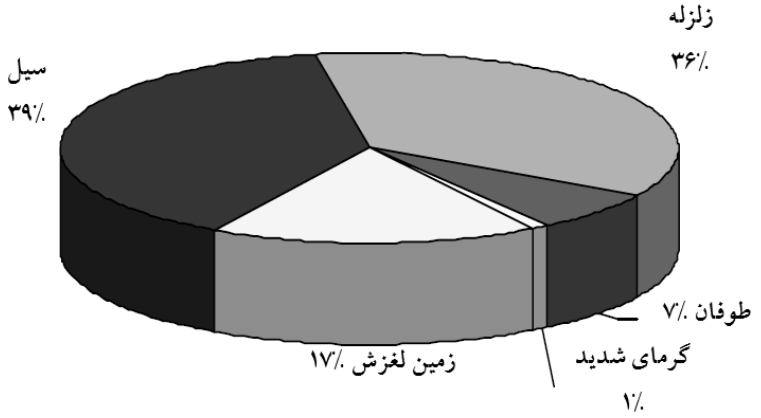
٤- عدم ثبات در مدیریت و کاربری زمین

براساس مطالعاتی که سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۱ بر روی ٤۵۰ منطقه شهری با جمعیت بیش از یک میلیون نفر (جمعاً ۱/٤ میلیارد نفر) انجام داد مشخص شد که بیش از ٦۰ 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[1] 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 ۱۵/٦ میلیون نفر تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. شهرهای دیگر به ترتیب افزایش خطر

[1] . http://www.swissre.com

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 پِرل[1] 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 یادشده می‌توانند نتایج مخربی برای هر شهر داشته و به زیرساخت‌ها به شدت 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 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 رخ‌داده پس از مخاطرات یادشده است (سولهایم و همکاران، ۲۰۰۵؛ شکل ٤-۱).



شکل ٤-۱) مقایسه تلفات ناشی از مخاطرات مختلف طبیعی در قرن بیستم (منبع: پایگاه داده‌های بین‌المللی مخاطرات طبیعی).

[1] . Pearl River Delta

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 فرآیندهای پیچیده فیزیکی آن در یک بازه مکانی و زمانی معین است. از این‌رو ثبت دقیق ویژگی‌های عوارض تعیین‌شده 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 مضرّ 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 قابل توجهی کاهش داد. کشورهای صنعتی در زمینه کاهش اثرات تخریبی طوفان‌ها، سیل‌ها، زمین‌لرزه‌ها، فوران‌های آتش‌فشانی و زمین‌لغزش‌ها پیشرفت‌های خوبی داشته‌اند.

بلایای حاصل از مخاطرات طبیعی موجب شده است که سرمایه بسیاری برای بازسازی مناطق آسیب دیده و تخریب شده 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 نماید. براساس مطالعاتی که اخیراً صورت گرفته (مثال 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 صورتی‌که

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.

بلایای طبیعی یا مخاطرات زمین‌شناسی خطر مهمی برای انسان‌ها و شغل آن‌ها محسوب می‌شوند. بنا به تعریف بلایای 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). به‌عبارت دقیق‌تر تمامی پدیده‌های آتمسفری، 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، آلایش 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 به سزایی دارد.

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

٤-١ انواع مخاطرات زمین‌شناسی

٤-١-١ مخاطرات ناشی از گسیختگی شیب[1]

مانند زمین‌لغزش یا بهمن که می‌توانند تقریباً در هر سرزمین تپه‌ای یا کوهستانی (شکل ٤-٢) با فراوانی رخداد زیاد به وقوع پیوندد و گاهی بسیار مخرب بوده و می‌تواند فاجعه‌آمیز باشد. پتانسیل گسیختگی قابل تشخیص است و از این رو اخطار قبلی امکان‌پذیر است اما زمان قطعی رخداد قابل پیش بینی نیست. اغلب شیب‌ها را می‌توان به‌صورت پایدار درآورد با این‌حال تحت برخی شرایط مقابله با گسیختگی غیرقابل انجام است.

٤-١-٢ مخاطرات ناشی فرونشست[2]، ریزش[3] و آماس[4] زمین

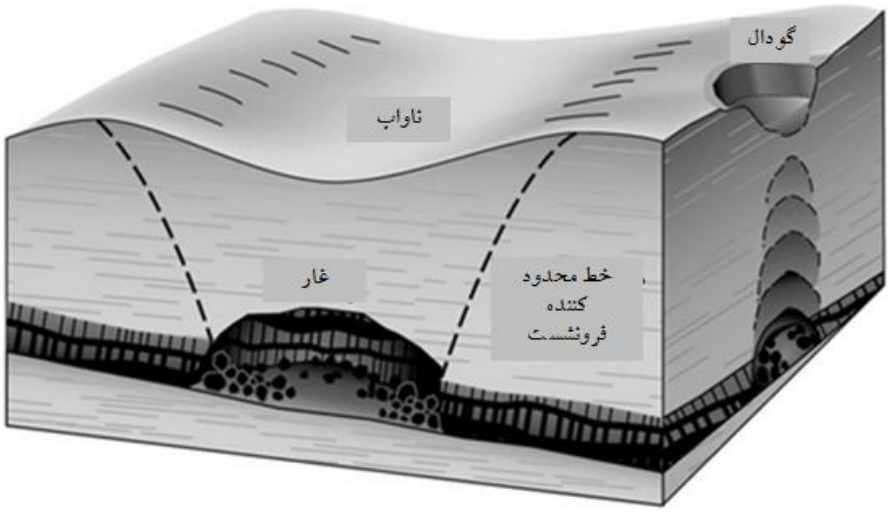
فرونشست، ریزش و آماس زمین معمولاً حاصل فعالیت‌های انسانی بوده و دامنه مخاطرات ناشی از آن‌ها می‌تواند جزئی تا بسیار خطرناک باشد البته خطر جانی در این موارد بسیار نادر است. توانایی رخداد این مخاطرات براساس شرایط زمین‌شناسی در بسیاری از موارد قابل تشخیص بوده و از این‌رو می‌توان پیش‌بینی‌های لازم را جهت مقابله و کاستن آثار مخرب آن‌ها به کار 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 آب زیرزمینی و نفت (شکل ٤-٣).

---

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

شکل ٤-٢) گسیختگی شیب و ریزش دامنه در یک منطقه مسکونی



شکل ٤-٣) فرونشست و افت زمین در اثر افزایش حفرات زیرزمینی حاصل از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی.

٤-١-٣ مخاطرات ناشی از زلزله

برحسب قدرت تخریب و تهدید جان انسان‌ها، زلزله بزرگ‌ترین خطر زمین‌شناسی 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 رشته کوه‌های 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 در حالی‌که 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 که باعث مرگ هزاران نفر شد، عمدتاً به این دلیل بود که تراکم جمعیت شهر نسبت به گذشته چندین برابر شده ولی نوع و کیفیت ساختمان‌های آن چندان فرقی با گذشته نکرده بود. در این شرایط انتظار این است که با وقوع زلزله در کلان‌شهرها فاجعه عظیم انسانی رخ داده باشد و اگر تاکنون این‌گونه نشده است دلیل اصلی‌اش آن ایجاد کلان‌شهرها عمدتاً در کمتر از ۵۰ سال اخیر بوده است (جکسون، ۲۰۰٦).

٤-١-٤ 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 می‌شوند. مخاطرات زمین‌شناسی ناشی از این فعالیت به دو نوع تقسیم می‌شوند:

- فوران‌های انفجاری[1] که در اثر آزادشدن گاز از ماگما و در نتیجه انبساط ناشی از آن در نزدیکی سطح زمین رخ می‌دهد. مخاطرات حاصل از این فعالیت

[1] . Explosive

شامل پرتاب و پخش‌شدن 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[1] که در آن مواد آتش‌فشانی به جای 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 گازهای سمی است. فعالیت‌های آتش‌فشانی همچنین می‌توانند باعث بروز حوادث طبیعی دیگری از قبیل سونامی محلی، تغییر منظره، سیل (درحالتی‌که دریاچه‌ها و یا سدهای ایجاد شده در جلوی رودخانه‌ها از طریق آتش‌فشان شکافته شوند) و زمین‌لغزش ناشی از تکان‌های شدید آتش‌فشانی شوند.

٤-١-٥ مخاطرات ناشی از سیل

برای مناطق شهری دو نوع سیل را می‌توان معین کرد: ۱) سیل زمینی یا رودخانه‌ای که به‌دلیل 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[2] 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

[1] . Effusive
[2] . Tsunami

پایین و طغیان‌های اقیانوسی منشأ می‌گیرند. سطح آب از طریق باد، فشار آتمسفری، 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 به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شود:

- برخورد امواج و ضربه فیزیکی بر روی اشیاء و ساختمان‌های قرار گرفته در مقابل آن‌ها.
- نیروهای هیدروستاتیک/دینامیک و آثار بالاآمدگی 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.

٤-١-٦ 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 به سختی انجام شود. سیل ساحلی ایجاد شده توسط سونامی دارای همان ویژگی‌های ذکرشده در بخش قبلی است (شکل ٤-٤).

٤-١-٧ طوفان دریایی[1]

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

[1] . Hurricane

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 ٦٤ نات (٧٤ مایل در ساعت و یا ١١٩ 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 فرآیند همچنین می‌تواند به‌دلیل افزودن بار و لغزندگی بر سطح جسم زمین‌لغزش را به‌وجود آورد و با تضعیف ریشه، به محصولات کشاورزی نیز خسارت وارد کند.

- امواج طوفانی به‌ویژه وقتی که با مدهای بلند همراه شوند به‌راحتی می‌توانند مناطق پست و فاقد محافظ را در آب فرو برند.

شکل ٤-٤) جاری شدن سیل در شهر ساحلی میاکو ژاپن در اثر سونامی مارچ ٢٠١١ (مانزا و همکاران، ٢٠١٣).

٤-١-٨ مخاطرات ناشی از به خطر افتادن سلامت انسان‌ها در اثر عناصر طبیعی

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

٤-١-٩ مخاطرات طبیعی در مناطق شهری واقع در نقاط خشک و نیمه‌خشک

٤-١-٩-١ 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 تَرسالی باعث بروز مشکلات جدی برای دامپروران و کشاورزان می‌شوند. در خلال فصول پرباران (تَرسالی) 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 غلّه و حبوبات متداول‌ترین محصولات کشاورزی دیم هستند. طبیعت مناطق خشک باعث می‌شود که کشاورزی در آن عملی پرزحمت و ریسک‌پذیر باشد.

٤-١-٩-٢ 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 فرآیند به همراه شوره‌زارشدن 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:

۱- کاهش پشتیبانی و مواد غذایی مورد نیاز برای رشد گیاه

۲- پرشدگی پایین دست آبراهه‌ها از رسوب در اثر فرسایش خاک

۳- 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:

۱- عمر مفید مخازن آب را کاهش می‌دهد.

۲- باعث افزایش قدرت تخریب جریان سیلابی می‌شود.

۳- ناوبری درون رودخانه را مختل می‌کند.

٤- کیفیت آب را کاهش می‌دهد.

٥- به محصولات کشاورزی و زیرساخت‌ها آسیب می‌رساند.

٦- موجب افزایش فرسودگی توربین‌ها و پمپ‌ها می‌شود.

٤-١-٩-٣ شورشدگی

آب شور در مناطق خشک متداول است و خاک‌های حاصل از رسوبات هوازده دریایی (شیل) معمولاً شور هستند. با این‌حال، 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 آب زیرزمینی را متأثر می‌سازند. در اثر سیل در مناطق پست، تبخیر در گودی‌های فاقد روزنه و بالاآمدگی آب زیرزمینی نزدیک سطح خاک، انباشت نمک به وقوع می‌پیوندد. شورشدگی موجب کاهش باروری خاک و حتی از بین‌رفتن 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 به شمار 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 شوره‌زار تشکیل شود.

٤-١-١٠ مخاطرات زمین‌شناسی و توسعه پایدار شهری

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

١- مقدار خسارات به منابع.

٢- عوامل ایجاد این خسارات اعم از طبیعی یا انسانی.

٣- گستره امکان مداخله اقتصادی، اجتماعی، سازمانی، قانونی و مالی در زمینه جلوگیری یا کاهش خسارات به منابع طبیعی.

از این رو 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 صورتی که پروژه‌های توسعه‌ای ممکن است بر تأمین آب آشامیدنی، جنگلداری و آبیاری متمرکز باشند. در هر حال رویکرد همه پروژه‌ها ارتقای سطح اجتماعی–اقتصادی جامعه است. اگر پروژه‌های توسعه‌ای بخواهند به صورت پایدار اجرا شوند لازم است با مدیریت بحران به صورت یکپارچه عمل کنند. به این منظور چنین پروژه‌هایی باید بتوانند کیفیت زندگی را افزایش داده و همچنین بتوانند کیفیت محیط زیست را نیز حفظ کنند و در نهایت افزایش کیفیت زندگی موجب تخریب محیط زیست نشود. همچنین در انجام چنین پروژه‌هایی باید مطمئن بود که منابع طبیعی دچار آسیب نشده و بلایای طبیعی مانند سیل و زلزله تشدید نشوند. به‌طور خلاصه، مدیریت درست بلایای طبیعی در واقع همان مدیریت مناسب پروژه توسعه‌ای است.

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

۱- بررسی وجود و امکان تأثیر وقایع طبیعی بر روی وسایل و تأسیسات مرتبط با منابع‌طبیعی (به عنوان مثال خطوط انتقال گاز طبیعی) در منطقه موردنظر.

۲- برآورد تأثیر احتمالی وقایع طبیعی بر فعالیت‌های توسعه‌ای.

۳- انجام محاسباتی در زمینه کاهش خطرپذیری فعالیت‌های توسعه‌ای پیشنهادشده.

در این چارچوب، شبکه‌های حیاتی باید تعیین شوند که عمدتاً عبارتند از:

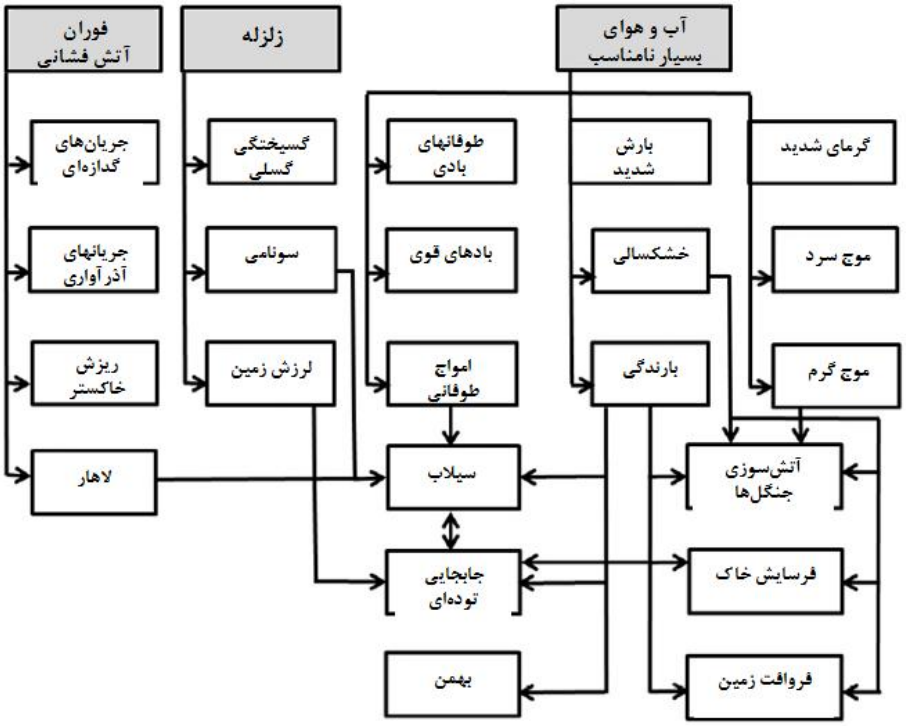
۱) اجزا و یا قطعات اصلی وسایل تولید.

۲) زیرساخت‌ها.

۳) سیستم‌های پشتیبانی برای سکونت‌گاه‌های بشری که حتی‌المقدور باید آسیب‌ناپذیر بوده و به‌عنوان عناصر اصلی نوسازی و یا بازسازی خسارات ناشی از یک بلای طبیعی در نظر گرفته شوند.

٤-۲ روش‌های برآورد مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری

یک مخاطره به‌عنوان 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، ۲۰۰٤). بسیاری از این مخاطرات مرتبط با ژئومورفولوژی است. ژئومورفولوژی دانش ریخت‌شناسی زمین و فرآیندهایی است که موجب تغییر این ریخت‌ها می‌شود. این فرآیندها 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 فرآیندهای خطرناک یاد شده است. شکل ٤-۵ دید کلی شماتیک تعدادی از این مخاطرات و ارتباط بین آن‌ها ارائه می‌کند. فرآیندهای 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 یادشده ممکن است اثرات مستقیم مانند لرزش زمین حاصل از زلزله (خیمنز و همکاران، ۲۰۰۰)، خشکسالی ناشی از کاهش بارندگی (کارنیلی و دال‌اوملو، ۲۰۰۳)، جریانات آذرآواری و خاکستر آتش‌فشانی پس از فوران آتش‌فشان (زوکارو و همکاران، ۲۰۰۸) یا بادهای شدید ناشی از طوفان‌های گرمسیری (امانوئل و همکاران، ۲۰۰٦) داشته باشند.



شکل ٤-٥) نمودار مخاطرات مختلف و برهم‌کنش آن‌ها به‌منظور مدیریت مخاطرات (CAPRA، ۲۰۰۹).

تأثیرات مستقیم ممکن است باعث تحریک تأثیرات غیرمستقیم مانند زمین‌لغزش‌های حاصل از لرزش زمین در مناطق کوهستانی (جیبسون و همکاران، ۱۹۹۸)، زمین‌لغزش‌ها و سیلاب‌های رخ‌داده در مناطقی که به تازگی دچار آتش‌سوزی شده‌اند (کنون و همکاران، ۲۰۰۸) یا سونامی حاصل از جابجایی سطوح دریایی در اثر زلزله (پرایست و همکاران، ۲۰۰۱، ایولالن و همکاران، ۲۰۰۷) باشند. مخاطرات ثانویه‌ای که توسط مخاطرات دیگر به‌وجود می‌آیند، تحت عنوان مخاطرات به‌هم پیوسته[1] و یا انباشت شده[2] شناخته می‌شوند. شکل ٤-٥ ارتباط بین عوامل محرک، مخاطرات اولیه و ثانویه را به تصویر می‌کشد. این ارتباطات می‌توانند بسیار پیچیده باشند به‌عنوان مثال

[1] . Concatenated hazards
[2] . Cascading hazards

ممکن است به‌دلیل وقوع زلزله در سدهای ایجاد شده توسط رسوبات زمین‌لغزش[1] شکستگی ایجاد شده و باعث سیلاب در مناطق و شهرهای پایین‌دست 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 این‌حال 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 موردنیاز برای مدیریت مخاطرات طبیعی به‌ویژه 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 به‌منظور گردآوری، بازتولید و مدیریت داده‌های مرتبط با مخاطرات یاد شده مورد استفاده قرار می‌گیرند که در ادامه به‌طور اجمال به آن‌ها پرداخته می‌شود:

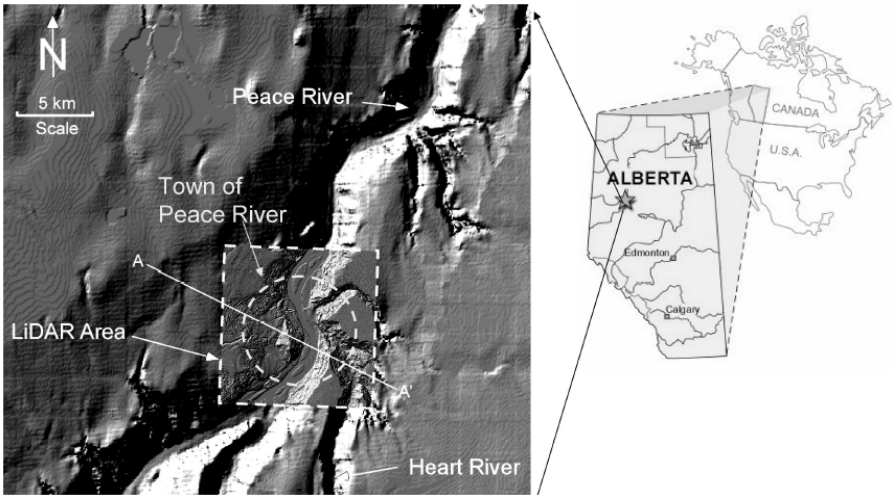
٤-۲-۱ سامانه اطلاعات جغرافیایی[2] یا دانش اطلاعات مکانی[3] (GIS)

در بررسی مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری باید اطلاعات کلیدی مکانی[4] و زمانی[5] مانند مجموعه داده‌های زمین‌شناسی، فشار بسیار نامنظم منفذی آب، داده‌های مونیتورینگ (پایشی) و عوامل محیطی مدنظر قرار گیرند. بنابراین به‌منظور افزایش سطح درک فرآیندهای مخاطرات در محیط‌های شهری باید تکنولوژی‌های جدید به‌منظور 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 به دست آمده از چاه گمانه[6] است. تکنیک GIS می‌تواند نقش مهمی در این فرآیند داشته و به‌عنوان ابزاری جهت گردآوری، سازماندهی و آنالیز داده‌های موجود مورد استفاده قرار گیرد. در اینجا هدف اصلی از

---

1. Landslide dam
2. Geographic Information System
3. Geospatial Information Science
4. Spatial
5. Temporal
6. Borehole

کاربرد این تکنیک، مدیریت انواع داده‌های مرتبط با مخاطرات است. ابزارهای اختصاصی در محیط GIS توسعه یافته‌اند تا بتوان به سهولت آنالیزهای زمانی و مکانی اخذشده از داده‌های زمین‌شناسی را انجام داد. دسته‌ای از نمودارها را می‌توان از این طریق توسط بردار جابجایی، زمان جابجایی و سایر آزمایش‌های ژئوتکنیکی تولید کرد. تصاویر ماهواره‌ای یا هوایی با کیفیت بالا و داده‌های LiDAR را نیز می‌توان به‌طور مؤثری مدیریت کرد.



شکل ٤-٦) مکان شهر پیس‌ریور آلبرتا. نقشه سمت چپ مدل DEM استخراج‌شده از دسته داده‌های SRTM[1] و LiDAR[2] را نشان می‌دهد.

به‌عنوان مثال مطالعه‌ای که توسط لان و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تکنیک GIS در شهر پیس‌ریور[3] آلبرتای کانادا (شکل ٤-٦) 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 راس آن قرار دارد. دره‌های مدفون (کرودن و همکاران،

[1] . Shuttle Radar terrain Model
[2] . Light Detection And Ranging
[3] . Peace River

۱۹۹۷) مانند شرایط خرده اقلیم موجب پیچیدگی بیشتر مخاطرات زمین‌شناسی احتمالی در این منطقه شده است. زمین‌لغزش‌های بزرگ در دره پیس‌ریور متداول بوده و از این رو زیرساخت‌هایی مانند راه‌آهن، راه‌ها، خطوط انتقال نیرو و غیره در این دره در معرض خطرات بالاتری قرار دارند. رشد زیاد شهر پیس ریور در خلال سال‌های اخیر باعث توسعه شهر در مناطقی شده است که در مقایسه با مناطق قدیمی شهر، مقابل مخاطرات زمین‌شناسی آسیب‌پذیرتر هستند.

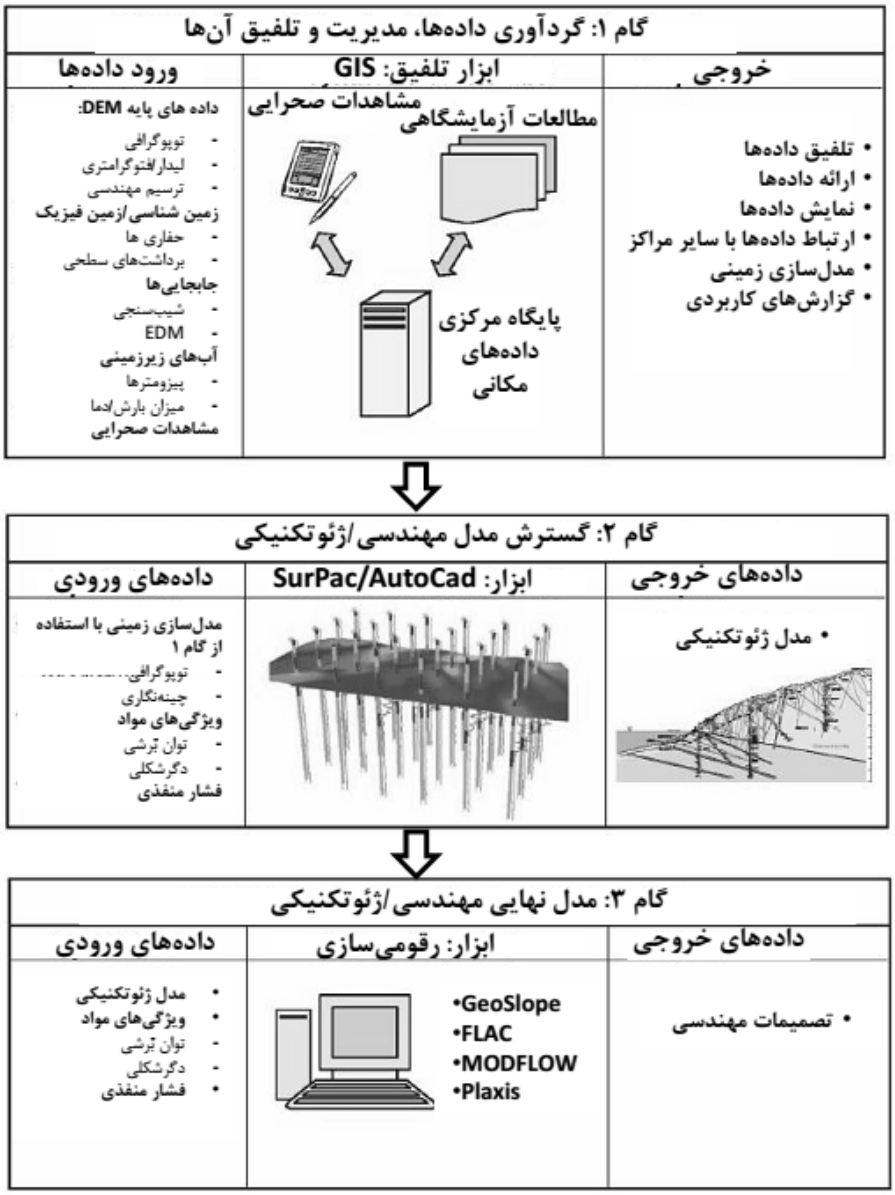
به‌منظور مطالعه موردی در این منطقه از طریق تکنیک GIS، لن و مارتین (۲۰۰۷) چارچوبی را برای مسائل کلی مهندسی ژئوتکنیک بنا نهادند (شکل ٤-۷). این ساختار به‌طور خلاصه شامل سه مرحله زیر است:

۱- گردآوری داده‌ها، مدیریت و تلفیق آن‌ها.

۲- توسعه یک مدل زمینی جامع مشتمل بر رفتار زمین.

۳- تحلیل‌های مهندسی.

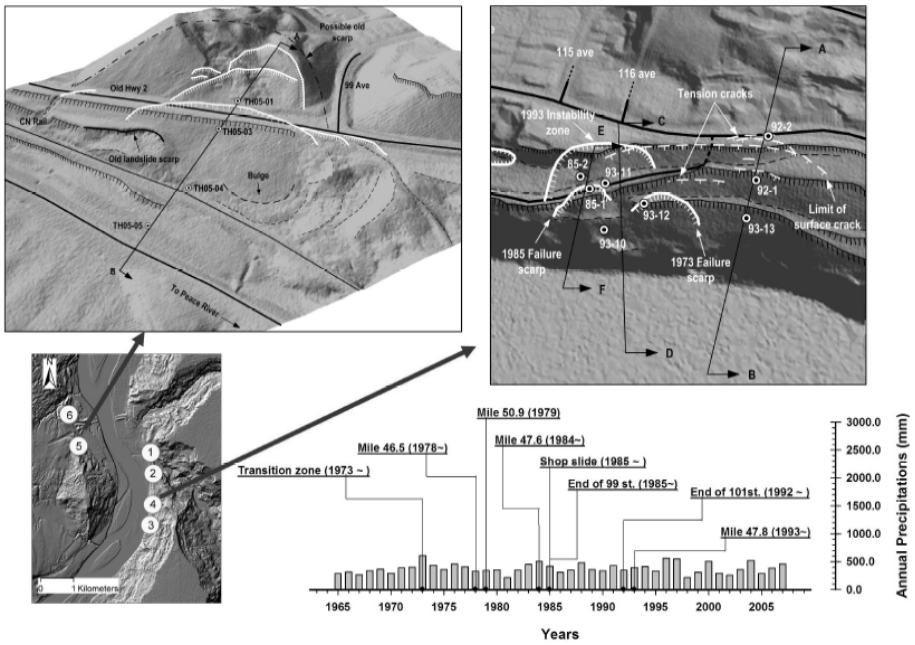
ابزار GIS مورد نیاز جهت انجام گام نخست طراحی شده است. داده‌های مورد بررسی در این مرحله می‌توانند داده‌های حاصل از مطالعات ایستگاه‌ها (مانند ژئومورفولوژی، شرایط زمین) و از سوی دیگر پارامترهای متغیر ژئوتکنیکی (مانند جابجایی و فشار منفذی اندازه‌گیری شده توسط دستگاه‌های ژئوتکنیکی) باشند. کارهایی که در این 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 ٤-٧) 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).

فنّاوری 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 فنّاوری به دست آورد (شکل‌های ٤–٨ و ٤–٩).

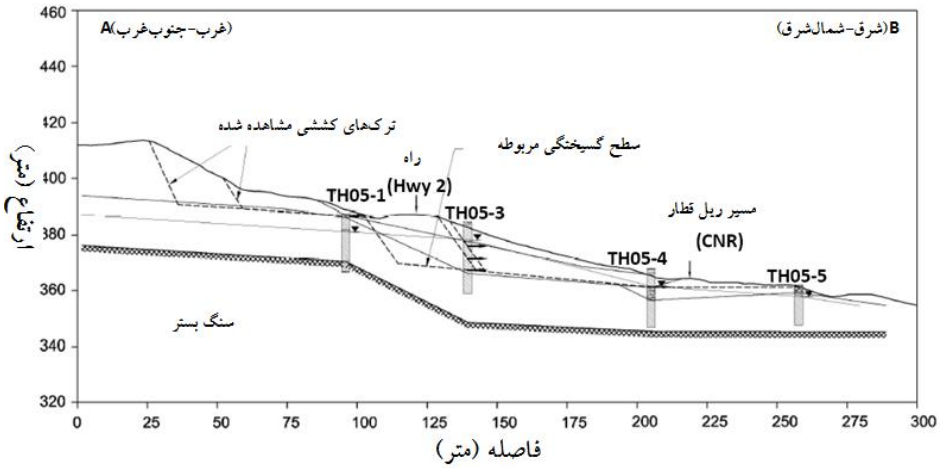


شکل ٤–٨) گسترش زمین‌لغزش‌ها در دره پیس‌ریور. نقشه‌های بالایی دید مورّب لغزش‌های مشخص از منطقه و نقشه پایین سمت چپ گسترش زمانی رخدادهای زمین‌لغزش را نشان می‌دهند.

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

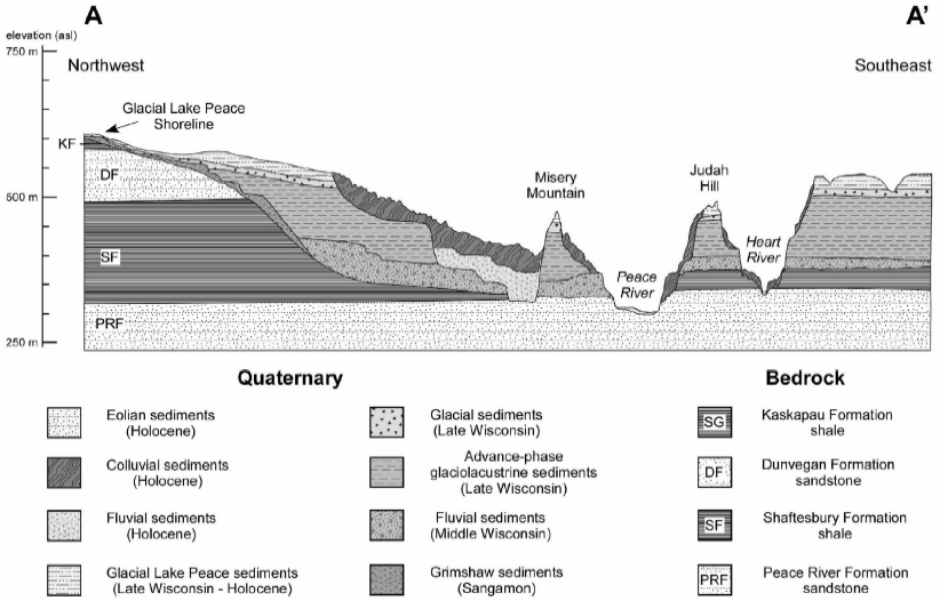
یکی از مقاطع نشان داده شده در شکل ٤–٨ مقطع A-B است که در امتداد شیب بزرگراه قدیمی شماره ۲ دیواره دره پیس‌ریور قرار دارد. در این جاده خاک‌برداری و خاک‌ریزی صورت گرفته و دارای ارتفاع ۳۰ متری و نسبت طول به ارتفاع چهار به یک است. چینه‌شناسی عمومی زیرسطحی این لغزش شامل رسوبات رسی دریاچه‌ای، یخرفت و تشکیلات سنگ بستر است (شکل ٤–٩). رس‌های نهشته‌شده در رأس شیب احتمالاً با خاکریزهای ایجاد شده جهت راه‌سازی مخلوط شده‌اند. زیر خاکریز رسی،

رسوبات رسی محیط پس از یخچالی توسط رسوبات رس یخرُفتی بسیار سفت پوشیده شده است. سنگ بستر 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 ٤-١٠).



شکل ٤-٩) مقطع عرضی لغزش (A–B). موقعیت این مقطع در شکل ٤-٨ نشان داده شده است.

سطح گسیختگی تقریبی را می‌توان با مکان‌یابی جابجایی زمین که از طریق گمانه‌های متعدد با استفاده از انحراف‌سنج‌ها، مورد محاسبه قرار داد. سطح گسیختگی در رسوبات رسی با عمق تقریبی ١٧ 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 ٢ قرار دارد به نظر می‌رسد کمتر فعال باشد. بخش دوم، که در پایین شیب و بالا خط‌آهن CN قرار دارد فعال بوده و مستقیماً جاده را تحت تأثیر قرار می‌دهد.



شکل ٤-١٠) چینه‌شناسی عمومی دره پیس‌ریور (مورگان و همکاران، ۲۰۰۸). مقطع عمودی A-A' مانند شکل ٤-٦ است. فاصله افقی ۱۸ کیلومتر بوده و مقیاس عمودی ۱۸ برابر درشت‌نمایی شده است.

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 ٤-١٠ 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 می‌تواند 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 فرآیندهای پیچیده، دانش و فن جدیدی موردنیاز 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.

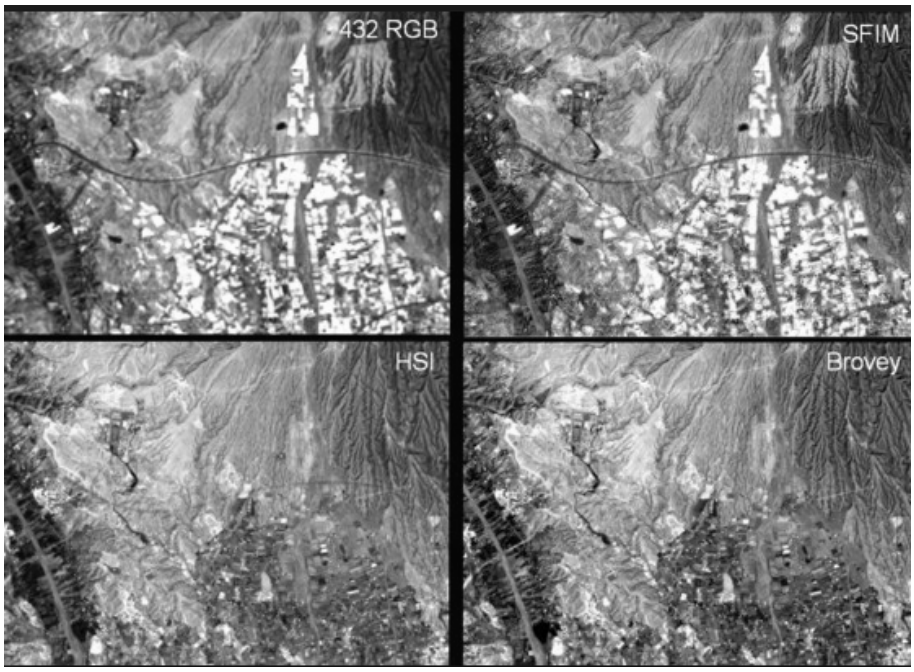
٤-٢-٢ دورسنجی یا سنجش از دور[1]

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 فرآیندهای ژئودینامیک در اختیار قرار می‌دهد. در مواردی که فرآیندهای 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، جابجایی‌های ناشی از زمین‌لرزه، پیگیری آلودگی‌های زیست‌محیطی، بررسی بیابان‌زایی و فرسایش و بسیاری از زمینه‌های دیگر دارد (شکل ٤-١١). یکی از مهمترین کاربردهای تکنولوژی ماهواره‌ای مطالعه مخاطرات طبیعی است که در آن تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند اخطارهای لازم را در زمینه وقوع یک حادثه طبیعی مشخص صادر کنند (کوهیاما و یامازاکی، ۲۰۰۵) تا کنترل‌های لازم انجام شده و یا برآورد سریعی از خسارات صورت پذیرد و فرآیند تصمیم‌گیری جهت پشتیبانی و امداد به‌درستی انجام شود. تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی خود به

[1] . Remote sensing

تنهایی می‌توانند به‌منظور توسعه مدیریت منابع طبیعی به کار گرفته شوند. بنابراین، کاربرد نهایی و مناسب در ترکیب این داده‌ها توسط تکنیک GIS صورت می‌گیرد.



شکل ٤-١١) کاربرد InSAR در مطالعات مخاطرات طبیعی از قبیل فرسایش سریع، پیشروی شن و ماسه، فرونشست و زلزله (اقتباس از وو و همکاران، ٢٠١٤).

داده‌های کسبشده از ماهواره‌ها عمدتاً رقومی هستند. اسکنرهای چندطیفی[1] با تعداد باندهای ٢٢٠-٣ که محدوده موج کوتاه طیف الکترومگنتیک را پوشش می‌دهند، متداول‌ترین اسکنر در ماهواره‌ها و هواپیماها هستند. دقت و تفکیک‌پذیری[2] 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

[1] . Multispectral scanners (MSS)
[2] . Resolution

توپوگرافی دقیقی برای سطح زمین تولید شود. از این رو 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 بالاآمدگی[1]، 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 فرآیندهای یادشده 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.

٤-٢-٢-١ فرسایش[2]

فرسایش و رسوب‌گذاری دو فرآیندی هستند که معمولاً کل سطح زمین یافت می‌شوند. باد و آب بالاترین بخش سطح زمین را کنده و در جای دیگری نهشته می‌کند. هر دو فرآیند می‌توانند موجب بروز مخاطرات زمین‌شناسی شوند. سنسورهای چشمی فضایی یا هوایی، می‌توانند مناطقی که مکرر تحت تأثیر 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 نیمه خشک که به خوبی 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 شده است. در این مورد نیز باید انواع زمین‌لغزش‌ها مشخص شوند.

---

[1] . Uplift
[2] . Erosion

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[1] 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[2] رادار حتی برای مدارهای ماهواره‌ای نیز می‌تواند نتایج بسیار عالی از جابجایی در مقیاس سانتی‌متر را فراهم کند (ماسونت و همکاران، ۱۹۹۹). بنابراین، پوشش گیاهی که در آب و هوای معتدل و به‌ویژه مرطوب فراوان است مانع تشخیص تغییرات توپوگرافی اندک می‌شود.

٤-۲-۲-۲ 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 نیر یافت می‌شوند. از دیدگاه مخاطرات زمین‌شناسی می‌توان آتش‌فشان‌ها را به سه نوع فعال، خوابیده و خاموش طبقه‌بندی کرد. البته مفهوم خاموش می‌تواند گمراه‌کننده باشد. به‌عنوان مثال آتش‌فشان پیناتوبو[3] در فیلیپین به‌عنوان آتش‌فشان خاموش در نظر گرفته شده بود اما در ژوئن سال ۱۹۹۱ فوران کردکرد. آخرین فوران این اتش‌فشان مربوط به ۵۰۰ سال پیش بوده است 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

---

[1] . Laser-scan
[2] . Interferometry
[3] . Pinatubo

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[1] کامرون در سال ۱۹۸٦) نیز تهدیدات بالقوه‌ای به حساب می‌آیند. مقادیر عظیم گاز متان در کیوولیک[2] مرز زئیر–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[3] و یا کوهستان سنت‌هلنز[4] قابل مشاهده است.

به‌طور سنتی، آتش‌فشان‌ها به بهترین شکل از طریق وسایل ژئوفیزیکی به‌نام زلزله‌سنج[5] که لرزش‌های مرتبط با رخدادهای آتش‌فشانی زیرسطحی را ثبت می‌کند، مورد کاوش قرار گرفته‌اند. روش‌های دورسنجی برای مشاهده فرآیندهای سطحی فوران‌های آتش‌فشانی مناسب‌تر هساند. این مسئله همچنین فرآیندهای پیش از فوران را نیز شامل می‌شود. این‌گونه فرآیندها عبارتند از دورسنجی حرارتی دریاچه‌های آتش‌فشانی یا محدوده‌های فومرول[6] و تغییرات توپوگرافی مانند برآمدگی و افت ساختار مخروط آتش‌فشانی که توسط حسگرهای چشمی و داده‌های رادار (داده‌های تداخل‌سنجی) قابل مشاهده است. انتشار گازها توسط ایستگاه‌های زمینی به‌منظور 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 به سمت پایین دامنه است.

---

1. Nyos
2. Kivu-Lake
3. Sacobia
4. St. Helens
5. Seismometer
6. Fumarole= به درز و شکاف‌های اطراف آتش‌فشان گفته می‌شود که از آن‌ها گازهای آتش‌فشانی خارج می‌شوند.

٤-٢-٢-٣ گسل‌های فعّال و زلزله

تصویرسازی بصری و ماهواره رادار به‌عنوان ابزارهای عالی جهت نقشه‌برداری گسل‌های فعال محسوب می‌شوند. این گسل‌ها به صورت ناحیه‌ای با طرح و شکل‌های مختلفی بروز پیدا می‌کنند و آشنایی با این طرح‌ها، بازسازی نوع جابجایی در امتداد گسل و ارتباط آن‌ها با آتش‌فشان‌های فعال می‌توانند 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 ۱۹۸٦ 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 بنابراین داشتن اطلاعاتی در خصوص گسل‌های یادشده به‌ویژه وقتی که مرتبط با مراکز درونی و بیرونی زلزله هستند می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از ویرانی سد و زلزله مفید باشد.

٤-٣ 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 تشکل‌های دولتی و مردمی در زمینه فرآیند 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.

٤-٣-١ نقشه‌برداری مخاطرات چندگانه[1]

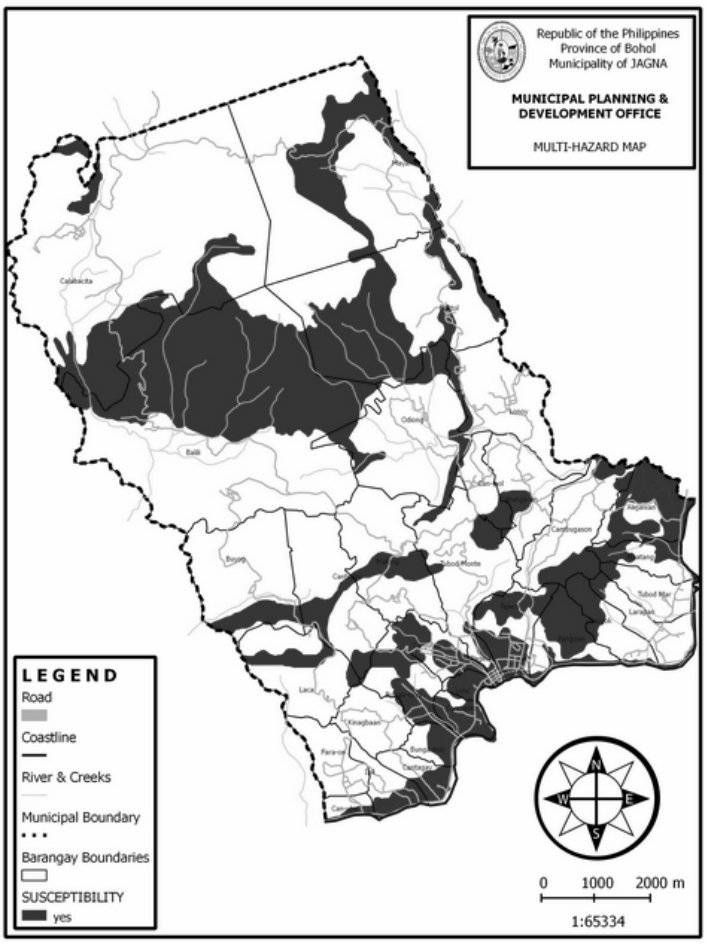
اطلاعات ارزشمند در مورد مخاطرات طبیعی مختلف در یک منطقه موردمطالعه را می‌توان با مقیاس‌ها، منطقه مورد پوشش و جزئیات مختلف پیاده کرد اما استفاده از این نقشه‌های ناهمسان در تحلیل خطر و یا اتخاذ تصمیم مناسب جهت کاهش خسارات مشکل خواهد بود. اطلاعات تعدادی از آن‌ها می‌تواند در یک نقشه تجمیع شود تا تصویری جامع از بزرگی، فراوانی و منطقه تحت تأثیر همه مخاطرات طبیعی به دست آید (شکل ٤-١٢). نقشه مخاطرات چندگانه (نقشه پوششی[2]) ابزاری بسیار مناسب 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 ٤-١٢) 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 فرآیندهای 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 ماموریت‌های 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 آن‌صورت باید عوامل زیر در نظر گرفته شوند:

۱- تعداد مخاطراتی که در نقشه‌های مورد بحث نمایش داده خواهد شد.

۲- تعداد عناصر مخاطرات نمایش داده شده.

۳- منطقه تحت پوشش.

٤- کاربردهای موردنظر در نقشه‌های چندگانه.

غالباً اطلاعات مرتبط با مخاطرات معمولاً به‌صورت 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 این‌رو باید شامل مکان، احتمال وقوع (دوره بازگشت) و شدت مخاطرات باشد. اگر برخی از این داده‌ها در نقشه وجود نداشته باشد، در آن‌صورت گروه برنامه‌ریزی باید تصمیم گیرد که چگونه امکان پر کردن 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 فرآیند 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 این‌حال در این صورت اطلاعات تجمیع‌شده قبلی را به صورت واضح‌تر و بهتری ارائه کند. لازم به ذکر است که واضح‌بودن و سادگی نقشه عامل اصلی در کاربردی‌بودن آن است.

٤-٣-٢ نقشه‌برداری تجهیزات حیاتی[1]

اصطلاح تجهیزات حیاتی به ساختارهای ساخت بشر (مانند سد) گفته می‌شود که به‌دلیل اندازه، نوع خدمات‌رسانی، وسعت پوشش و یا بی‌جایگزین بودن در صورت آسیب‌دیدن 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 به‌صورت 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:

١- فقدان ناشی از نبود خدمات تجهیزات حیاتی قابل بررسی و شناسایی است.

٢- تجهیزاتی که مستلزم ارتقاء و یا توسعه هستند مورد شناسایی قرار می‌گیرند.

[1] . Critical Facilities Mapping (CFM)

۳- تأثیر توسعه احتمالی زیرساخت‌های موجود را می‌توان قبل از انجام یا تکمیل پروژه مورد بررسی قرار داد.

٤- هرگونه نیاز برای بررسی بیشتر و یا بهتر مخاطرات از طریق نقشه‌های مورد بحث آشکار می‌شود.

٤-٤ 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. به‌عنوان 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 فرآیند 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 جابجایی، 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:

۱- برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران نسبت به تأثیر مخاطرات طبیعی بر تجهیزات موجود و جدید، قبل از انجام و تکمیل پروژه آگاه خواهند شد.

۲- محاسبات دقیق‌تری از نسبت‌های سود-زیان برای توسعه شهری جدید امکان‌پذیر خواهد بود.

۳- 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، جابجایی 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، حمل و نقل، خدمات عمومی و امکانات ضروری مورد آمایش قرار گیرند. 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 کالیفرنیای 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، شوراهای محلی می‌توانند نقشه‌هایی را تهیه کنند که براساس نام خیابان‌ها و مناطق دارای پتانسیل مخاطره طبیعی بنا شده است.

- **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، سنگ‌اُفت، و امواج طوفانی به سه منطقه پرخطر در نقشه پهنه‌بندی شده است (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 نشان‌دادن 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**[1]: 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 صورت گرفته 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 قرار گرفته در معرض سیلاب، فرسایش، گسل‌خوردگی، روان شدگی[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.

٤-٥ 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 موردنیاز اشاره کرد. جدول ٤-١ 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

[1] . Site Selection
[2] . Liquefaction

جهانی، ADB[1]، WHO[2]، UNDP[3]، FAO[4] و غیره قرار گیرد (کاردونا، ۲۰۰۵؛ پدوتزی و همکاران، ۲۰۰۹). داده‌های ورودی دارای مقیاسی کمتر از یک ده میلیونیم 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 که مناطق زیادی به وسعت میلیون‌ها کیلومتر مربع (مانند طوفان‌های گرمسیری، زلزله و خشکسالی) را تخریب می‌کند، متمرکز می‌شود. 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 به‌طوری که 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 ۱:۱۰۰۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰۰۰ 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. هنگامی‌که با مقیاس بزرگ‌تر مانند استان انجام شود، کاربردهای برنامه‌ریزی مکانی بسیار واقعی‌تر خواهند بود. به‌عنوان مثال بررسی مخاطرات مولفه‌ای جدائی‌ناپذیر در برنامه‌های توسعه‌ای ناحیه‌ای و گسترش زیرساخت‌هاست. در مقیاس شهرداری‌ها، این مطالعات

[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

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.

٤-٦ 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[1]) و مرکز ملی مطالعات فضایی فرانسه (CNES[2]) ، طراحی شده است. هدف این منشور تهیه سیستم یکپارچه‌ای از دریافت اطلاعات و در اختیار قرار دادن آن‌ها به کسانی است که تحت تأثیر 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[3]) در اکتبر سال ۲۰۰۰، اداره ملی اقیانوس و فضای آمریکا (NOAA[4]) و سازمان تحقیقات فضایی هند (ISRO[5]) در سال ۲۰۰۱، کمیسیون ملی فعالیت‌های فضایی آرزانتین (CONAE[6]) در سال ۲۰۰۳، آژانس اکتشافات هوافضای ژاپن (JAXA[7]) و سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS[8]) در سال ۲۰۰۵ به آن پیوستند.

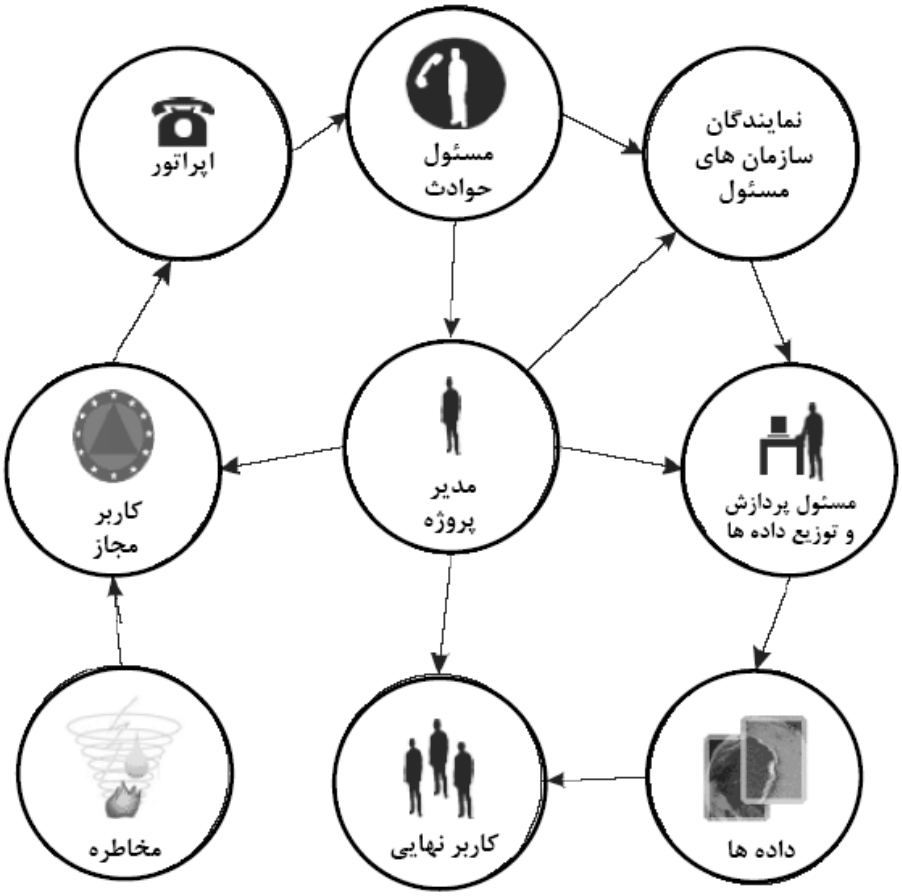
این منشور برای آژانس‌ها، کاربران سیستم‌های فضایی و اعضای داوطلب در مواقع بلایای بزرگ طبیعی یا انسانی به صورت رایگان باز است. این فعالان تلاش دارند تا منابع ماهواره‌ای خود را در دسترس قرار دهند تا در طی بحران، سازمان‌های مربوطه

---

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، ۲۰۰٤).

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 بلای طبیعی رخ داده فعال شود (شکل ٤-۱۲).



شکل ٤-۱۲) چرخه عملیات مدیریت مخاطرات زمین‌شناسی در مناطق شهری (تغییریافته از www.disasterscharter.org).

این اپراتور مشخصات تلفن کننده 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 فرآیند فعال‌سازی در حال کار بوده و مسئول حوادث وظایف خود را به مدیر پروژه معرفی‌شده توسط مشترکین ، تحویل می‌دهد. وی فرآیند 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، ۲۰۰٤؛ Disasterscharter ،۲۰۰٦).

٤-۷ خودآزمایی فصل ٤

۱- به چه دلایلی مخاطرات طبیعی (زمین‌شناسی) مورد توجه عموم قرار گرفته است؟

۲- شش مورد از مخاطرات زمین شناسی را نام برده و یک مورد را توضیح دهید.

۳- منشور مدیریت مخاطرات زمین‌شناسی را توضیح دهید.

٤- مدیریت درست بلایای طبیعی شامل چه مراحلی است؟

۵- نقشه مخاطرات چندگانه را توضیح دهید.

٦- نقشه تجهیزات حیاتی چیست؟

۷- بیشترین تلفات ناشی از مخاطرات مختلف طبیعی در قرن بیستم مربوط کدام مورد بوده است؟

الف) زلزله ب) سیل ج) زمین لغزش د) طوفان

۸- براساس گزارش مؤسسه Swiss Re Group تهران از نظر ریسک رخداد بلایای طبیعی کدام رتبه جهانی را دارد؟

الف) اول ب) چهارم ج) ششم د) دهم

۹- سونامی حاصل کدام مورد از مخاطرات زمین‌شناسی است؟

الف) آتشفشان- زلزله- زمین‌لغزش دریایی

ب) زمین‌لغزش دریایی - زلزله- فرونشست

ج) آتشفشان- زمین‌لغزش دریایی- فرونشست

د) آتشفشان- زلزله- سیل

۱۰- کدام مورد از اثرات مستقیم فرسایش خاک محسوب نمی‌شود:

الف) خشکسالی

ب) کاهش پشتیبانی و موادغذایی موردنیاز برای رشد گیاه

ج) پرشدگی پایین دست آبراهه‌ها از رسوب

د) کاهش ظرفیت ذخیره آب

۱۱- مخاطرات حاصل از مخاطرات دیگر چه نامیده می‌شوند؟

الف) مخاطرات ثانویه

ب) مخاطرات اولیه

ج) مخاطرات به‌هم پیوسته

د) مخاطرات چندگانه

۱۲- 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

فصل پنجم

ژئوشیمی مناطق شهری

اهداف کلی

با افزایش جمعیت جهان، فهم تأثیرات متقابل بین فعالیت‌های انسانی و محیط شهری روز به روز اهمیت بیشتری می‌یابد. از این دیدگاه امروزه توسعه ژئوشیمی زیست محیطی 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.

اهداف رفتاری

با توجه به هدف‌های کلی می‌توان با مطالعه این فصل از کتاب با موارد زیل آشنا شد:

۱. بررسی محیط مناطق شهری با دیدگاه ژئوشیمیایی.

۲. اهداف مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری.

۳. روش‌های مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری.

٤. 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، محیط زیست 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 جا مانده از زیرساخت‌های متروک و چرخه بیوژئوشیمیایی باعث به خطر افتادن سلامت اکوسیستم و انسان می‌شود. با این که 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 به خوبی 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 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 متر مکعب از نخاله‌های ساختمان در حال تخریب و نوسازی از محل عبور می‌کند. درون محدوده این ساختمان در حال تخریب نخاله‌های و ذرات ساختمانی خردشده فراوان است. سیمان، چوب رنگ شده، آجر، لوله‌ها، ماسه، خاک و غیره که احتمالاً به زودی 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 نگه داشته 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 به سادگی 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 بالتبع آلاینده‌های شیمیایی آن، کامیون‌ها هستند.

متأسفانه افراد کمی وجود دارند که این مسائل برای آن‌ها مهم باشد. هر روزه مصالح حفرشده با احتمال بالای آلایش با دامنه وسیعی از مواد، به‌صورت عادی از یک محل به محل دیگر در یک شهر جابجا 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، ۱/٦ 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 شده‌اند. 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 به دست 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 می‌باشند اما مسئولین محلی با چالش‌های پیچیده‌ای مانند گسترش زاغه‌نشینی، بیکاری و آلودگی‌های صوتی دست به گریبان 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[1] 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 به‌دلیل تخلیه میلیون‌ها تن مواد صنعتی سمی در قرن گذشته، کم و بیش 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 به‌صورت 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 (به‌عنوان 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[2] (PAH) آلوده به فلزات سنگین به‌ویژه سرب نیز هستند (به شکل ۵-۳ نگاهی رجوع شود). خاک‌های سطحی در بخش‌های حاشیه‌ای شهرها به‌ویژه در دوره زمانی ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ معمولاً دارای تمرکز کمتری از فلزات سنگین و PAH هستند. بنابراین پلی‌کلرینیتد بی‌فنیل‌ها[3] (PCBs) غالباً در این مناطق بیشتر است. در مورد منابع و منشاء آلودگی‌های مختلف در یک محیط شهری مطالعات زیادی در سراسر دنیا انجام گرفته است. این مطالعات در نروژ نشان داده که این آلودگی‌ها عمدتاً

[1] . Clair C. Patterson
[2] . Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)
[3] . Polychlorinated Biphenyls (PCBs)

دارای سرچشمه محلی است که مهمترین آن‌ها مصالح ساختمانی آلوده، حریق‌های شهری و ترافیک است (اوتسن و لانگ‌دال، ۲۰۰۱؛ اندرسون و همکاران، ۲۰۰٤؛ یارتون و همکاران، ۲۰۰۹).

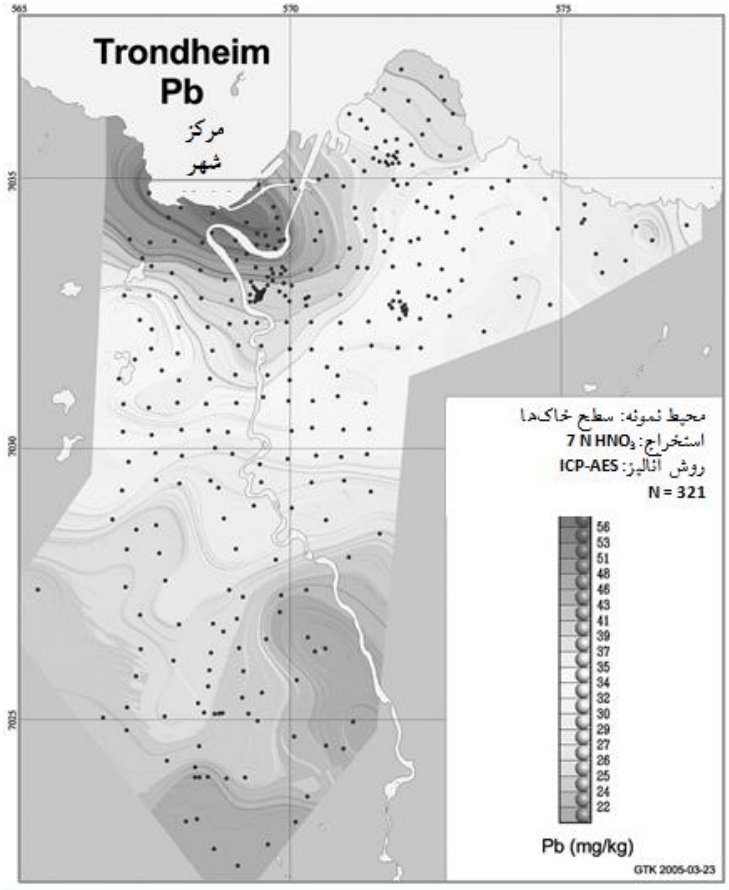
آلاینده‌های محلی شهری عمدتاً به جای حمل در فواصل طولانی، آلاینده‌های محیطی را در خاک‌های سطحی، رسوبات دریایی و رسوبات روان‌آب‌های شهری ته‌نشین می‌کنند. محیط شهری (شکل ٥-٤) تحت تأثیر گستره وسیعی از فعالیت‌های محلی انسانی قرار داشته و آلایش حاصل از آن فرآیندی پیوسته و قابل انتشار است. شبکه راه‌های ارتباطی، فعالیت‌های ساختمانی و صنعتی موجب افزایش فلزات سنگین و آلاینده‌های زیستی در خاک‌های مناطق شهری می‌شوند (کلی و همکاران، ۱۹۹٦؛ میلکه و همکاران، ۱۹۹۹؛ اوتسن و لنگ‌دال، ۲۰۰۱؛ مادرید و همکاران، ۲۰۰۲؛ میلکه و همکاران، ۲۰۰٤؛ مولر و همکاران، ۲۰۰٥).

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، ۱۹۷٤؛ اوتسن و لنگ‌دال، ۲۰۰۱) را شامل می‌شود. یکی از قدیمی‌ترین تعاریف برای خاک‌های شهری در سال ۱۹۷٤ توسط بوکهایم ارائه شده است: خاکی است که غیرقابل کشاورزی بوده، دارای لایه سطحی بیش از ٥۰ سانتی‌متر که توسط انسان ایجاد شده و از طریق مخلوط‌کردن، پرکردن و یا آلایش 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 گفته می‌شود که طول تاریخ شهر، تمدن بشری در آن بنا شده و آثار همچنان پابرجا است به همین دلیل به آن لایه خاک فرهنگی[1] 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

[1] . Cultural soil layer

مختلفی از خاک رس 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 شده است. از سوی دیگر به کار بردن کلمه تاریخی شاید درست نباشد به این دلیل که لایه خاک شهری محیطی بسیار متغیر و پویا است.



شکل ۵-۳) نقشه ژئوشیمی ترونداهایم[1]، 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.

[1] . Trondheim

شکل ۵-٤) محیط شهری 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).

مهمترین اثر شهرنشینی بر خاک از دست‌رفتن و یا حداقل تدفین آن در اثر فعالیت‌های ساخت‌وساز است. با فرض این که بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد مناطق یک شهر زیر ساختمان سازی قرار گیرند در آن‌صورت مقدار قابل توجهی از خاک دفن یا جابجا می‌شود و تغییر مهمی در جریان آب سطحی در شهر به وجود می‌آید. مناطق تأثیر ناپذیر شهری مانند خانه‌ها، راه‌های آسفالته 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 در حدود ٦٠ الی ١٠٠ درصد محیط‌های شهری مناطق نفوذناپذیر هستند (لیندهولم، ٢٠٠٤؛ لو و ونگ، ٢٠٠٦) و این بدان معناست که مطالعه ژئوشیمی مناطق شهری منحصر به خاک نبوده و شامل سیلاب‌ها، رسوبات همراه روان‌آب‌ها و بنابراین تشخیص منابع آلودگی نیز است.

در مقیاس منطقه اروپا، روش‌های نمونه‌برداری و آنالیز بسیار متنوع بوده است 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[1] (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 آلایش 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.

[1] . International Association of Geochemistry (IAGC)

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 آلایش 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 به‌عنوان راهنمایی جهت تعیین نوع کاربری زمین در مناطق شهری عمل کند.

- دانش ما را در زمینه چگونگی توزیع آلایش 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 آلایش 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[1] پروژه‌ای در اروپا در مورد نقشه‌برداری ژئوشیمیایی شهری با استفاده از پروتکل متداول نمونه‌برداری و روش‌های آنالیز هماهنگ به‌منظور بررسی آلودگی خاک ۱۰ شهر انتخاب‌شده 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 اخلالی جدی در مقایسه داده‌ها به‌وجود آورد. علاوه بر این، برای تهیه یک راهکار مناسب جهت نمونه‌برداری، طراحی و انتشار کتاب راهنما جهت نمونه‌برداری و آنالیز مواد ارگانیک و غیرارگانیک شهری ضروری به نظر می‌رسد.

۵-۳ روش‌های مطالعات ژئوشیمیایی مناطق شهری

۵-۳-۱ نمونه‌برداری

اصطلاح ژئوشیمی مناطق شهری بدین مفهوم است که مواد زمین‌شناسی از قبیل خاک (روخاک، افق C) یا سنگ بستر 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 گرد و غبار جاده‌ای نیز می‌تواند مورد مناسبی برای نمونه‌برداری است که مبین آلایش 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.

[1] . EuroGeoSurveys

مطالعات محیطی در بسیاری از حالات ممکن است متمرکز به توصیف دقیق موقعیت فعلی مقدار آلایش بوده و توضیحی در مورد اینکه چگونه این موقعیت (آلودگی) بدین شکل (توضیح منشاء آلایش) 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[1] 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 (به جای 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،

[1] . Applied

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 به سادگی 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. با فرض آگاهی از محیطی نمونه‌بردای، 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[1] است که خود می‌تواند به دو دسته تقسیم می‌شود. اولین دسته شامل گردآوری زیرنمونه‌های[2] متعدد است که در محل با یکدیگر ترکیب شده و یک ترکیب از مجموع آن‌ها به‌دست می‌آید (رِن و همکاران، ۲۰۰۷). در برخی موارد این زیرنمونه‌ها با همدیگر همگن شده و به‌عنوان 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 آلایش در نمونه‌برداری مرکب مشاهده شود، نمونه‌های مستقل به کمک خواهند آمد و با بررسی تک تک آن‌ها مشخص خواهد شد که در کدام موردو شاید در همه آن‌ها غلظت آلاینده‌ها بالا است و بدین شکل وسعت آلایش در منطقه مشخص خواهد شد.

روش دوم به‌صورت 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، ۲۰۰٤؛ اوتسن و همکاران، ۲۰۰۸). یکی از مزایای این روش آن است که نمی‌توان غلظت بالای یک نمونه را 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).

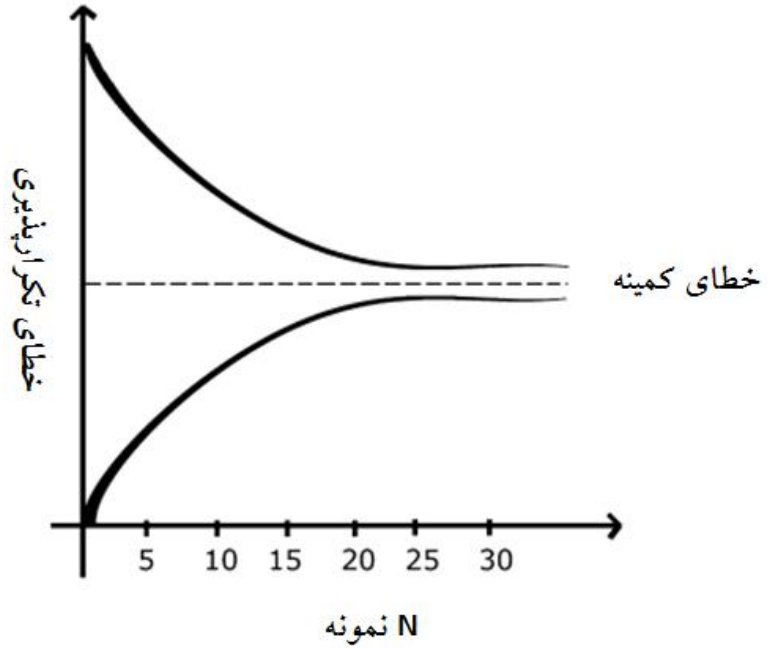
[1] . Composite sampling
[2] . Subsamples

شکل ۵-٦) نمونه‌برداری از برخی محصولات که احتمالاً منشأ مهم آلایندگی در محیط‌های شهری هستند. در این شکل، پوسته نازکی از رنگ نقاشی شده یک ساختمان در شهر اسلو نروژ به‌عنوان نمونه انتخاب شده است (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 اخذشده در مطالعات شهری در شهرهای ایتالیا بین ۱۵ تا ٤۸ در هر شهر بوده است (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 آلایش خاک در مراکز بهداشتی شهر اسلو، ۷۰۰۰ نمونه از مساحتی در حدود ٤٥٤ 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 به خوبی 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 آلایش خاک در نروژ ترسیم شده است. بنابراین سوال اساسی در این زمینه این است که چه تعداد نمونه مورد نیاز است تا نتایج حاصل از مطالعات ما در یک منطقه مشخص قابلیت تکرارپذیری داشته باشند و با آزمایش مکرر و یا نمونه‌برداری مجدد نتایج یکسانی به دست آید؟ تکرارپذیری را می‌توان به‌عنوان مثال بر حسب تمرکز میانه[1] 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 اینکه 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 بتوان به قابل اعتمادترین نتیجه دست یافت.

[1] . Median



شکل ۵-۷) این نمودار نشان‌دهنده تکرارپذیری در یک مطالعه آلایش خاک است. هرچه تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده کمتر باشد، مقدار خطا نیز بزرگ خواهد بود. داده‌های تجربی نشان داده است که تعداد دقیق موردنیاز، 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 ۳۰-۴۰° C به‌مدت 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، ۲۰۰٤؛ 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 به نظر 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[1] 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 بنابراین 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 منتشرشده از مطالعات با استفاده هر دو روش یادشده 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[2] مورد استفاده قرار گرفته است تا کل عناصر مستخرج شوند (مولر و همکاران، ۲۰۰۵). سایر مواد احتمالی مورداستفاده عبارتند از اسید هیدروفلوئوریک (HF)، اسید پرکلریک ($HClO_4$) و همچنین آنالیز کل توسط XRF (بیرک و راوچ، ۲۰۰۰؛ ژای 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 پلی‌کلرینیتد

[1] . Howard Mielke
[2] . Aqua regia

بیفنیل‌ها (PCBs)، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقوی (PAHs)، دی‌اکسین‌ها[1]، بازدارنده‌های شعله برم[2] (BFRs) مضر برای محیط زیست و انسان نیز مد نظر 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[3]، استون[4] و دی‌کلرومتان[5] (DCM) را نام برد (رِن و همکاران، ۲۰۰۷؛ یاتورن و همکاران، ۲۰۰۸). فرآیند خلوص بعدی استخراج قبل از آنالیز می‌تواند مراحل مختلف شیمیایی را شامل شود که مجددا می‌تواند همان مشکل تفاوت در اعمال این روش‌ها و در نهایت غیرقابل مقایسه بودن نتیجه آنالیزها را به‌وجود آورد. با اینکه استانداردها، نمونه‌های شاخص[6] و نمونه تکراری به دقت آنالیز می‌شوند اما در این صورت به دست 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 ۱۰-۰/٤ 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 تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. بنابراین توصیه می‌شود که 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 (۰/٦۳μm) باشند. این مسئله می‌تواند تغییرات زیاد در مقدار تمرکز به‌دست آمده از آنالیزهای مکرر از نمونه‌های مشابه را کاهش دهد. اما در اینجا بحث پشتوانه مالی نیز جهت انجام این گونه پروژه‌ها مطرح است.

---

1. Dioxins
2. Brominated flame retardants
3. Hexane
4. Acetone
5. Dichloromethane
6. Blanks

تعیین عناصر معمولاً از طریق روش (ICP)[1] به همراه طیف‌سنج نشر الکترونی (AES)[2] و یا طیف‌سنج جرمی (MS)[3] و همینطور از طریق طیف‌سنج جذب اتمی (AAS)[4] صورت می‌پذیرد. با اینحال، مقدار سرب غالباً از طریق روش دیگری به نام جذب بخار سرد اتمی (CVAAS)[5] مورد آنالیز قرار می‌گیرد. مواد ارگانیک را نیز می‌توان با استفاده از کروماتوگراف گازی (GC)[6] به همراه تشخیص‌دهنده[7] الکترونی و یا یک طیف سنج جرمی (GC-ECD/MS) مورد آنالیز قرار داد.

۵-۳-٤ آلایندگی یا حضور طبیعی مواد

۵-۳-٤-۱ تغییرات طبیعی

تا اینجا عنوان شد که خاک‌های مناطق شهری می‌توانند مواد مختلف را در خود داشته باشند. اما چه نوع موادی چه مسئله‌ای باعث شده که این مواد برای ژئوشیمیست‌های محیطی یا شهری مهم باشد؟ البته این سوالات می‌توانند پاسخ‌هایی به تعداد مطالعاتی که روی این مواد توسط دانشمندان صورت گرفته داشته باشند. به عبارت دیگر هر پژوهشگری ممکن است از دیدگاه خود 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 خود 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، به‌دست آورده‌اند. سنگ بستر 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 به‌دلیل معدنکاری بوده است.

---

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

۵-۳-٤-۲ نظرات مختلف در مورد سم‌شناسی

برخی از ژئوشیمیست‌های معدن‌یاب پس از کسب تجربه در زمینه جستجوهای 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. فرآیندهای 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 قرار داشت مولیبدن نام داشت. با اینحال 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 کردکرد. تمام عناصر، حداقل از دیدگاه ژئوشیمی، می‌توانند در طبیعت یافت شوند بنابراین چه چیزی باعث می‌شود که ما آن‌ها را به‌عنوان آلاینده در نظر بگیریم؟

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 آلایش عنصر یادشده قرار دارد". این تعریف سوالات متعددی را در پی دارد. مانند این که چه مقداری نرمال و طبیعی است؟ چه مقداری حدزمینه[1] است؟ فلزات سنگین به همراه مواد مختلف ارگانیک (مانند PAHs، PCBs، دی‌اکسین‌ها و متیل جیوه) که به‌عنوان آلاینده در نظر گرفته می‌شوند، می‌توانند به صورت طبیعی نیز یافت شده و مدت‌ها قبل از خلقت انسان در طبیعت وجود داشته‌اند. از طریق فرآیندهای 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 بی معنی خواهد بود.

[1] . Background

اصل عمومی سم‌شناسی این است که مسمومیت و در نتیجه آن آلاینده شدیداً وابسته به مقدار معین (دوز)[1] آن است. پزشک و فیلسوف سوئیسی فیلیپ فون هوهنایم[2] که بعدها (۱۵٤۱–۱٤۹۳)، به‌عنوان پدر سم‌شناسی جهان شناخته شد پیشنهاد کرد که همه اشیا 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 شیئی افزایش یابد می‌تواند آن را سمی کند. حتی مقدار زیاد نمک نیز می‌توان واقعاً کشنده باشد (اسمیت و پالوسکی، ۱۹۹۰). ارتباط بین هر فرآیند (مثلاً رشد، بقا) و غلظت یک ماده را می‌توان براساس مواد اصلی و غیراصلی خلاصه کرده و دسته‌بندی کردکرد. 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.

۵–۳–٤–۳ 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 به‌وجود 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، ۲۰۰٤). آلاینده‌های ارگانیک اغلب به‌عنوان محصولات فعالیت‌های بشری در نظر گرفته می‌شوند و این بدان معنی است که تظاهر آن‌ها در طی صنعتی شدن در قرون گذشته بوده است. بنابراین، این مسئله برای تمام ترکیبات صادق نیست. به‌عنوان نمونه نشان داده شده است که دی‌اکسین‌ها و فوران‌ها[3] (PCDDs/Fs) به طور تصادفی به صورت محصولات جانبی درون انواع مختلف فرآیندهای حرارتی (الکوک و جونز، ۱۹۹٦؛ لی و همکاران، ۲۰۰۷؛ تجیما و همکاران، ۲۰۰۷) ایجاد

[1] . Dose
[2] . Philip von Hohenheim
[3] . Furans

می‌شوند که موجب انتشار به درون هوا و در نتیجه تجمع در سطح خاک می‌شود. مطالعات همچنین نشان داده است که PCBs دارای ساختار شیمیایی بسیار مشابه با دی‌اکسین‌ها نیز می‌توانند از طریق فرآیندهای ذکرشده ایجاد می‌شوند (شونن‌بوم و همکاران، ۱۹۹۵؛ ایشیکاوا و همکاران، ۲۰۰۷).

۵-۳-٤-٤ POPها و PCBها

عهدنامه استکهلم در مورد آلاینده‌های پایدار ارگانیک (POPs)[1] ، درخواست کرد که جهت تشخیص ویژگی‌های ترکیبات سمی و پایدار مانند PCBs، DDT، HCB، فوران‌ها و دی‌اکسین‌ها به‌منظور محافظت از سلامت و بهداشت انسان‌ها و همچنین محیط زیست 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. پلی‌کلرینیتد بی‌فنیل‌ها (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 فرآیند رقیق‌شدگی مورد بررسی قرار گیرد (وانیا و مک‌کی، ۱۹۹۵). بنابراین PCBهای 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، ۲۰۰٤؛ هرریک و همکاران، ۲۰۰٤؛ کوهلر و همکاران، ۲۰۰۵؛ شین و کیم، ۲۰۰٦). مطالعات در نروژ نشان داده است که مصالح ساختمانی می‌توانند مهمترین منبع PCBها در محیط‌های شهری باشند (شکل ۵-۸، اندرسون و همکاران، ۲۰۰٤؛ یارتون و همکاران، ۲۰۰۹). انتشار PCBها در هوا از منابع اولیه مانند کارخانجات و استفاده‌های بین‌المللی از آن‌ها با ممنوع شدن 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، PCBها از مواد ثانویه مانند ذرات

[1] . Persistent Organic Pollutants

خاک، گیاه، آب، هوا و همچنین محصولات حاوی این مواد نیز در اثر حرارت دیدن فرّار بوده و در محیط پخش می‌شوند (هالسال و همکاران، ۱۹۹۵؛ وانیا و همکاران، ۱۹۹۸؛ هالسال و همکاران، ۱۹۹۹؛ برایویک و همکاران، ۲۰۰٤). تعدادی از مطالعات انجام شده بر روی PCBها در محیط زیست با مقیاس ناحیه‌ای یا جهانی صورت گرفته است (برایویک و همکاران، b و a۲۰۰۲؛ AMAP، ۲۰۰٤) 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، ۲۰۰٤). پیوند ذره‌ای PCBها از منابع فعال ناشناخته به خاک و رسوبات روان‌آب‌ها منتقل شده اما در این صورت در مناطق شهری تبدیل به معضل زیست محیطی عمده شده است (یارتون و همکاران، ۲۰۰۸).

پروژه‌ای در نروژ که با عنوان ریسک مناطق شهری[1] خوانده می‌شود به موضوع آلایش‌های خاص مانند PCBها، PAHها و فلزات سنگین در محیط‌های شهری و اهمیت آن‌ها در حوضه‌های پایین‌دست و در نهایت رسوبات دریایی پرداخته است (یارتون، ۲۰۰۸). انتشار آلاینده‌ها از مناطق شهری توانسته موجب آلایش 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[2] یا پایداری وارد زنجیره غذایی شوند (روس و همکاران، ۲۰۰۵).

حضور آلایندهایی نظیر PCBها در هوا، آب‌وخاک یا رسوب به‌ویژه جهت تعیین مناطق اسیدی (مکان‌هایی که دارای غلظت آلاینده‌های زیستی بالا به‌دلیل عواملی مانند سطوح تغذیه‌ای متعدد و بالابودن عمومی چربی حیوانات بالا است) 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؛ هآو و همکاران، ۲۰۰۳). انتشار و تحرک آلاینده‌ها درون بخش‌های مختلف محیط

[1] . Urban Risk
[2] . Lipophilicity

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 می‌توانند انسان را در معرض این نوع آلودگی قرار دهد. کودکان حتی ممکن است پیش از تولد از طریق جنین مادر که 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).

٥-٤ چشم‌انداز نتایج مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری

٥-٤-١ کاربردهای بهداشتی (زمین‌های بازی پاک برای کودکان)

برآوردهای تجربی در نیوارولئان 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 ٢٤ 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، جابجایی 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.

۵-٤-۲ نقشه‌های آگاهی‌بخش (جلوگیری از انتشار بیشتر آلاینده‌ها)

یکی دیگر از ملزومات ژئوشیمی مناطق شهری ایجاد آگاهی در زمینه آلایش خاک است که بدون در نظرگرفتن تاریخچه رشد صنعت، معمولاً در مناطق مرکزی شهر رخ می‌دهد. بنابراین، قواعد محدود کننده‌ای 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 جابجایی به همراه مناطق مناسب دفن یا تصفیه خاک باید در مدیریت زیست‌محیطی هر کلان شهری مورد توجه قرار گیرد. در نروژ در برخی شهرها قوانینی وضع شده است که هرگونه جابجایی مصالح ساختمانی و خاک در مرکزی‌ترین نقطه شهر باید دارای مجوز بوده و از طریق آنالیز شیمیایی غیرآلاینده‌بودن مواد به اثبات برسد.

۵-٤-۳ تشخیص منابع آلودگی

با اینکه اثبات شده خاک‌های مناطق شهری محیط مناسبی جهت مخاطرات زیست محیطی هستند اما منشأ آلایش 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 مورداستفاده قرار گرفته است. حفر، جابجایی 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 آلایش روان‌شده به سوی محیط دریایی نیز باشد. براساس دانش به‌دست آمده از مطالعات متعدد در زمینه آلایش خاک شهری، احتیاج به روش مناسب و عملی جهت مطالعه نقش منابع فعال آلایش از قبیل محیط دریایی به وضوح احساس می‌شود. رسوبات روان‌آب‌های شهری در واحدهای کوچک سیلابی به دام می‌افتند که جهت استفاده به این منظور بسیار مناسب هستند. این روش به تفصیل توسط یارتون (۲۰۰۸) توضیح داده شده است. انگیزه اصلی از انتخاب رسوبات سیلاب‌ها به‌عنوان نمونه مناسب برای آلایش 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 ۶۰۰-۲ متر مربع در اطراف محل نمونه‌برداری خواهد بود.

۵-۵ خودآزمایی فصل ۵

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 آلایش سرب نیز وجود دارد؟

الف) هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی (PAH)

ب) پلی‌کلرینتد بی‌فنیل‌ها (PCBs)

ج) بازدارنده‌های شعله برم (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

٤- 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 نمونه‌هاست

۵- مواد ارگانیک موجود در خاک مناطق شهری با چه روشی آنالیز می‌شود؟

الف) XRF ب) GC ج) CVAAS د) AAS

٦- فواید نقشه‌برداری ژئوشیمیایی شهری کدامند؟ توضیح دهید.

۷- مواد ارگانیک آلاینده را نام ببرید و یک مورد را توضیح دهید.

۸- نتایج مطالعات ژئوشیمی مناطق شهری در چه مواردی کاربرد دارد؟

فصل ششم

تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در محیط‌های شهری

اهداف کلی

معمولاً برای انجام هر نوع برنامه‌ریزی توسعه‌ای شهری که مستلزم تغییر کاربری زمین می‌باشد لازم به نظر می‌رسد که شناخت کافی از ویژگی‌های زمین وجود داشته باشد تا براساس برنامه‌ها و اهداف به درستی و با کمترین آسیب به محیط زیست انجام شده و به صورت پایدار فرآیند 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 شده است. در این فصل فرآیند تهیه اینگونه نقشه‌ها توضیح داده خواهد شد.

اهداف رفتاری

با توجه به اهداف کلی یادشده می‌توان با مطالعه این فصل از کتاب با موارد زیل 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.

٤. آشنایی با مدل زمین‌شناسی مفهومی.

٥. اهداف آنالیز رخساره.

٦. 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 فرصت‌طلب 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 گریت

لِیکز[1]، 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 ٦-١ نشان داده شده است، اکثر مناطق شهری ایالات متحده بر روی نهشته‌های رسوبی سست قرار گرفته‌اند. اغلب این مناطق دارای سنی کمتر از ۲ میلیون سال هستند اما با این وجود دارای ویژگی‌های طبیعی و همچنین بشرزاد[2] پیچیده‌ای هستند. این مناطق شهری همچنین حاوی مقادیر زیادی آب سطحی و زیرزمینی بوده و این آب‌ها نقش اساسی در حمل‌و نقل 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). محیط زیست طبیعی و انسان‌ها ناگزیر در ساختاری با زمین‌شناسی معین قرار گرفته‌اند.

[1] . Great Lakes
[2] . Anthropogenic

جدول ٦-١) مراکز شهری مهم ایالات متحده آمریکا و محیط‌های رسوبی آن‌ها.

	محیط‌های زمین‌شناسی								
منطقه شهری	آبرفتی	ساحلی	بادرفتی	رودخانه‌ای	یخچالی	دریاچه‌ای	دریایی	آتشفشانی	سنگ بستر
آتالانتا[1]	×			×		×			
بالتیمور[2]	×			×			×		
بوستون[3]	×			×	×				×
شیکاگو[4]		×		×	×	×			
سین‌سیناتی[5]	×			×	×				×
کلیولند[5]		×		×	×	×			
دالاس[1و5]	×		×	×		×			×
دیترویت[6و8]		×		×	×	×			
دنور[10]	×		×	×	×				×
هوستون[7و9]	×			×			×		
ایندیاناپولیس[20]				×	×	×			
کانزاس‌سیتی[11و11]	×			×	×				
لاس‌وگاس[12]	×		×	×		×			×
لوس‌آنجلس[14]	×	×	×	×		×	×		×
میامی[15]	×			×			×		
مینئاپولیس[11]	×			×	×	×			×
نیواورلئان[12]		×		×		×	×		
نیویورک[18]	×	×		×	×	×	×		×
فیلادلفیا[10و16]		×		×		×	×		×
فونیکس[22و21]	×		×	×		×			×
پیتزبورگ[16]	×			×	×	×			×
پورتلند[23]	×			×	×	×	×		×
سن‌آنتونیو[7و9]	×		×	×		×			×
سنت‌لوئیس[24]	×	×		×	×				×
سالت‌لیک‌سیتی[25]	×	×		×	×	×			×
سانفرانسیسکو[21]	×	×		×			×		×
سیاتل[28]	×	×		×	×	×	×	×	×
تامپا[27]	×	×		×		×	×		×
واشنگتن[26]	×			×		×			×

منابع: ۱- آبرامز (۱۹۸٤)؛ ۲- USGS (۲۰۰۹a)؛ ۳- کایه (۱۹۷٦)؛ ٤- آلدر (۱۹۰۲)؛ ٥- کاگون (۱۹۹٦)؛ ٦- USGS (۲۰۰۹b)؛ ۷- اسپرینگ (۱۹۹۱)؛ ۸- راجرز (۱۹۹٦)؛ ۹- راجرز (۱۹۹۷)؛ ۱۰- هالکا (۱۹۸۰)؛ ۱۱- آبر (۱۹۸٤)؛ ۱۲- جنتل (۱۹۸٤)؛ ۱۳- پیج و همکاران (۲۰۰٥)؛ ۱٤- بیلود و همکاران (۲۰۰۷)؛ ۱٥- سازمان زمین‌شناسی ایالت فلوریدا (۱۹۹٤)؛ ۱٦- اوجاکانگاس و مَچ (۱۹۸۲)؛ ۱۷- اسنودن (۱۹۸۰)؛ ۱۸- USGS (۲۰۰۳)؛ ۱۹- بارنز و سوون (۱۹۹٦)؛ ۲۰- گوودوین (۱۹٦٤)؛۲۱- آلن (۲۰۰۳)؛ ۲۲- هالکا (۱۹۸۳)؛ ۲۳- تریمبل (۱۹٦۳)؛ ۲٤- دپارتمان منابع طبیعی ایالت میسوری، بخش زمین‌شناسی؛ ۲٥- استوکس (۱۹۸۹)؛ ۲٦-استوفر و گوردون (۲۰۰۱)؛ ۲۷- USGS (۲۰۰٥)؛ استوارت (۱۹۹۲)؛ USGS (۲۰۰۷)؛ ۳۰- سازمان زمین‌شناسی ایالت فلوریدا.

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، ۲۰۰٤). 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.

٦-۱ تهیه نقشه زمین‌شناسی در یک منطقه شهری

تهیه نقشه زمین‌شناسی در مناطق شهری موجب افزایش دانش در زمینه فرآیندهای 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، ۲۰۱۰a) و تکمیل نقشه در یک منطقه خاص همواره مستلزم مطالعات صحرایی وسیع است (مالِی، ۲۰۰۵). در این‌صورت، بسیاری از مکان‌های شهری قابل دسترس نیستند و بنابراین به ناچار باید از داده‌های قدیمی قابل اعتماد و اطلاعات منابع مختلف ااستفاده کرد. در ادامه نه مرحله گردآوری اطلاعات مناسب و تهیه نقشه نهایی زمین‌شناسی مناطق شهری مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

٦-۱-۱ 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، ۱۹۹۸). برخی از این چالش‌ها عبارتند از:

- ایمنی: انجام فعالیت‌ها در مناطق شهری سوالات 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 گرمازدگی و پوشیدن تجهیزات ایمنی خاص برای جلوگیری از آلودگی‌ها نیز به آن‌ها افزوده شود.

- عدم دسترسی به‌دلیل 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 بسیارجهت 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 دشوارشدن 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
  - نشت 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 اگزوز خودروها
  - گورستان‌های قدیمی
  - پیست‌های گلف
  - عملیات آتش‌نشانی

- نشت از تانکرها
- ساختمان‌های متروک
- ذرات و آب تخلیه‌شده از نیروگاه‌های برق
- باران اسیدی

٦-١-٢ منابع اطلاعات، یکپارچه‌سازی و برآورد قابلیت استفاده از آن‌ها

جهت مقابله با چالش‌های پیش‌رو در فرآیند 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 موفق 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 به‌عنوان 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 منتشرشده علمی قبلی

ممکن است تصور شود که نقشه بزرگراه‌های قدیمی اطلاعات چندانی جهت فهم زمین‌شناسی منطقه خاصی از ناحیه موردمطالعه 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، ۱۹۷٤).

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، بزرگراهی با نام ریج رووד[۱] ارتباط احتمالی بین توپوگرافی و زمین‌شناسی را بیان می‌کند (ریج = پشته یا تپه‌های دامنه کوه). سایر نام‌هایی از این دست عبارتند از مادی رووד[۲]، سندی فلتس[۳]، راکی رووד[٤]، سندی هیل رووד[٥]، واش رووד[٦]، ویندینگ رووד[۷]، کوستال های‌وی[۸]، بیچ های‌وی[۹]، مارش کریک رووד[۱]، پیت بوگ رووד[۲] و غیره.

---

[1] . Ridge Road : راه کوه‌پایه‌ای

[2] . Muddy Road : راه گلی

[3] . Sandy Flats : راه تخت ماسه‌ای

[4] . Rocky Road : راه سنگی

[5] . Sandy Hill Road : راه تپه ماسه‌ای

[6] . Wash Road : راه پرآب

[7] . Winding Road : راه پرباد

[8] . Coastal Highway : بزرگراه ساحلی

[9] . Beach Highway : بزرگراه نزدیک دریا

- 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 شده بودند.

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. چه اتفاقی می‌افتاد اگر شما به‌عنوان مشاور تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی قدیمی بودید؟ متاسفانه بسیاری از نقشه‌های مناطق شهری به‌صورت دوبُعدی تهیه شده و زمین‌شناسی زیرسطح را در اعماقی بیش از چند متر مورد بررسی قرار نداده‌اند. اعتماد به این‌گونه نقشه‌های دوبُعدی مسئله‌ساز است، به این دلیل که نقشه‌های مفید و کاربردی زمین‌شناسی تهیه‌شده برای اهداف زیست‌محیطی باید همه ابعاد سه‌گانه را پوشش دهند. این ملزومات مکانی بدین معنی است که نقشه‌ها بسیار پیچیده‌تر بوده و شدیداً مستلزم اطلاعات بیشتری هستند (بارنز، ۱۹۹۳). برخی از روش‌های توصیف‌شده در این فصل از کتاب می‌تواند جهت بررسی، تعیین دقت و در نهایت کاربردی‌بودن اطلاعات مورد استفاده قرار گیرد.

---

[1] . Marsh Creek Road : راه نهر مُردابی

[2] . Peat Bog Road : راه لجنزار زغالی

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 مناسب بودن یا نبودن اطلاعات زمین‌شناسی فراهم کرده و اطلاعات کاملی جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی سه‌بُعدی 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 به سادگی از طریق گزارش‌ها و مقالات قابل دسترسی است.

به‌عنوان نمونه، بیش از ۳۰۰۰ گزارش در مورد بررسی‌های زمین‌شناسی زیرسطحی در آبریز روج‌ریور[1] میشیگان آمریکا در دسترس است (MDEQ، ۲۰۰۸). بنابراین به‌سادگی امکان دسترسی به بهترین منابع زمین‌شناسی وجود دارد.

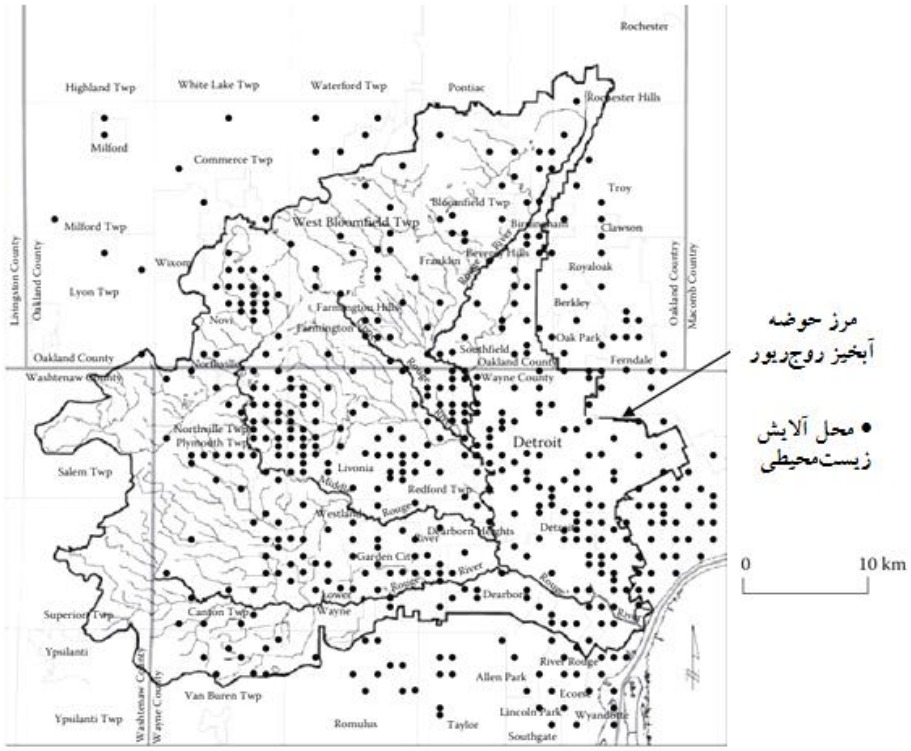
شکل ٦-١ مکان حدود ۵۰۰ نقطه که در آن‌ها بررسی‌های دقیق و بزرگ‌مقیاس زیست‌محیطی در حوضه آبریز روج‌ریور انجام شده را نشان می‌دهد (راجرز، ١٩٩٦). بر حسب اطلاعات گردآوری شده زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی، هر نقطه حداقل دارای ۲۰ و گاهی تا ۳۰۰ نمونه حفر شده مجزا است و بیش از ۸۰ چاه مونیتورینگ نیز نصب شده است.

اعماق بررسی شده تا عمق ۳۰ الی ٤٥ متری زیر سطح زمین می‌رسد. بررسی‌های زیست‌محیطی در مناطق شهری معمولاً عمق بیش از ۱۵ متر از سطح زمین را دربرنمی‌گیرد. بنابراین، رسوبات سست در بسیاری از شهرها از قبیل سالت لیک سیتی[2]، لس‌آنجلس، فونیکس[3] و لاس‌وگاس[4] عمدتاً تا عمقی بیشتر از این عمق و گاهی تا عمق ۳۰۵ متری گسترش دارند (هالکا، ۱۹۸۳؛ استوکس، ۱۹۸۹؛ آلن، ۲۰۰۳؛ پیج 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 ٤٥ متر نیز می‌رسد. حفاران نصب کننده چاه‌های تغذیه آب معمولاً نیاز به ثبت چاه از طریق استانداردهای محلی، استانی و یا ملی داشته و از این‌رو باید چاه‌نگاری خوبی را تهیه کنند. این چاه‌نگاری‌ها عمدتاً حاوی منابع ارزشمند فراوانی از اطلاعات زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی است. در این‌صورت، در مورد استفاده از این‌گونه 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 این‌رو، برخی قواعد باید رعایت شود. تقابل اطلاعات زمین‌شناسی به‌دست آمده از مطالعات زیست‌محیطی و چاه‌های آبی که در منطقه‌ای بسیار نزدیک به مطالعات یادشده حفر شده‌اند، می‌تواند صحت اطلاعات را بررسی قرار داد.



شکل ٦-١) مناطق مطالعات گسترده زیست‌محیطی زیرسطحی در یک منطقه آبریز شهری (دیترویت آمریکا، کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

به‌عنوان نمونه، فرض شود که چاه تغذیه آب نصب شده در عمق ۱۰۰ متری دارای ویژگی مشابهی با یک مطالعه مستقل دیگر زیرسطحی در عمق ۱۵ متری است. اگر چاه‌نگاری چاه آب به درستی 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 حفرکنده‌ها در خلال حفاری چاه‌های تغذیه آب امری متداول است به این دلیل که تنها منبعی است که بدون پرداخت هزینه می‌توان اطلاعات زمین‌شناسی را به دست آورد. به این علت در بسیاری اوقات، نام زمین‌شناس بر روی چاه‌نگاری چاه‌های تغذیه آب دیده می‌شود (شرزر، ۱۹۱۳؛ موزولا، ۱۹۵٤، ۱۹٦۹).

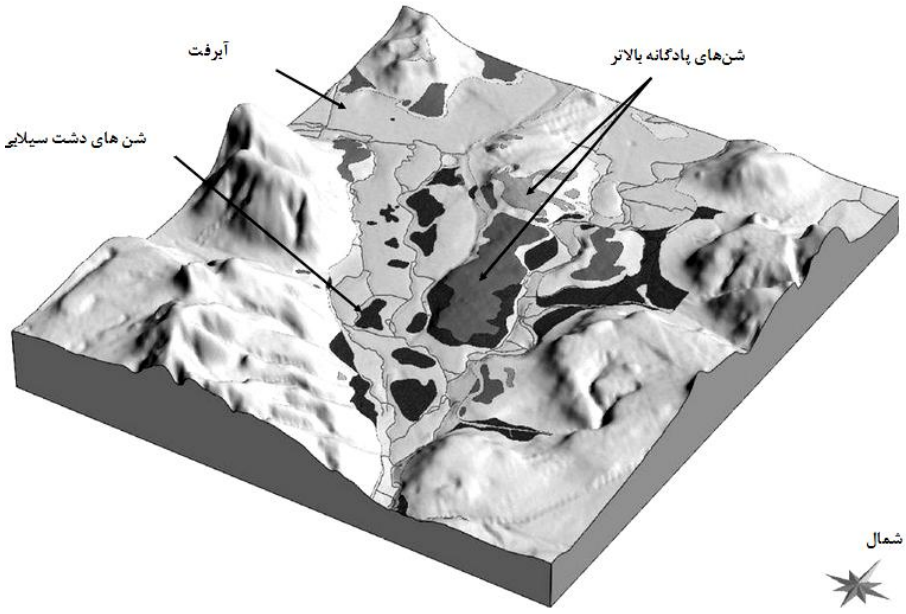
مشاوره با زمین‌شناسانی که آشنایی با منطقه دارند، می‌تواند بسیار مفید باشد. این امر برای برآورد و تقابل اطلاعات در بازنگری داده‌های چاه‌نگاری چاه‌های آب مفید است. انواع اطلاعات ژئوفیزیکی قابلیت فراهم کردن اطلاعات زمین‌شناسی ارزشمند جهت کمک به فرآیند تهیه نقشه زمین‌شناسی در بعد افقی و بعد عمودی (عمق) را 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 مشخص‌بودن 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.

٦-۱-۳ ایجاد مدل زمین‌شناسی مفهومی[1]

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 فرآیندهای زمین‌شناسی اساسی تعیین می‌شوند. به‌عنوان مثال، اغلب مناطق زمین‌شناسی متشکل از رسوبات سستی بوده که حاصل بیش از یک نوع فرآیند زمین‌شناسی (مثلاً

[1] . Conceptual Geologic Model

رودخانه‌ای، یخرُفت، آبرفتی، و دریایی) است. مدل مفهومی به سادگی فرآیندهای زمین‌شناسی عامل تشکیل رسوبات، مکان عمومی و مرزهای افقی و عمودی (عمق) آن‌ها را تعیین می‌کند (شکل ٦-٢).



شکل ٦-٢) 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[1] قرار دارد. در این شهر سیل به وفور 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 فرآیندهای 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. وقتی این موارد

[1] . Thames

برطرف شد، در آنصورت دوباره 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 فرآیند 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:

۱) دارای گسترش فضایی و عمق زیادی باشند.

۲) 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 آن‌صورت خواهد توانست مشخص کند که آیا این رسوبات به اندازه کافی بزرگ‌مقیاس هستند که در نقشه وارد شوند یا خیر؟ و آیا رسوبات یادشده در تاریخچه و فهم منطقه مورد مطالعه می‌توانند مؤثر باشند یا خیر؟

٦-١-٤ مطالعات صحرایی

اطلاعات جمع‌آوری و بررسی شده بخش ٦-٢-٢ 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 فرآیندهای رسوبی و تعیین تفاوت یک رسوب طبیعی و بشرزاد کارآزموده باشد. البته اگر 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 به‌دلیل 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 باشد:

- 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 کنتاکت‌ها یا ناپیوستگی‌ها.
- مناطقی که فرآیندهای 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 به سادگی 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 عمل کرده 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 به‌منظور 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 خوش شانس 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 ٦-٣). برخی از این مکان‌ها عبارتند از:

- مناطق راه‌سازی
- مناطقی که به‌منظور 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

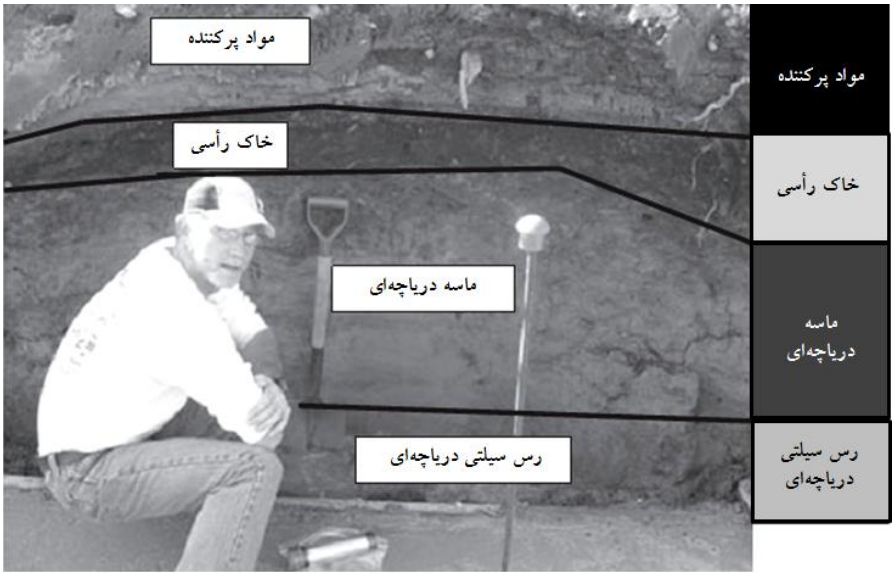
انجام بررسی‌های صحرایی در مناطق تحت ساخت‌وساز به زمین‌شناس فرصت‌های زیادی می‌دهد تا داده‌های زیادی را با هزینه کمتر، تلاش کمتر و زمان کوتاه‌تر به‌دست آورد. تماس با شهرداری محل جهت کمک به برنامه‌ریزی مطالعات صحرایی و کسب مجوزهای لازم قبل از شروع فعالیت ضروری است. بررسی مجوزهای ساخت‌وساز پیش از آغاز عملیات 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 ٦-٣، ٦-٤ و ٦-٥ 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 کنند. 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 ٦-٣) برونزد لایه‌های زمین‌شناسی در یک سایت ساختمان‌سازی (عکس از راجرز. دیترویت آمریکا، کاوفمن و همکاران، ٢٠١١).

پس از بررسی لایه‌های رسوبی حفراتی مانند حفره‌ای که در شکل ٦-٥ نشان داده شده است، برآورد و ثبت امتداد و شیب واحدهای رسوبی به‌منظور تهیه نقشه سه‌بُعدی لازم به نظر می‌رسد (لاهی، ١٩٦١). 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.

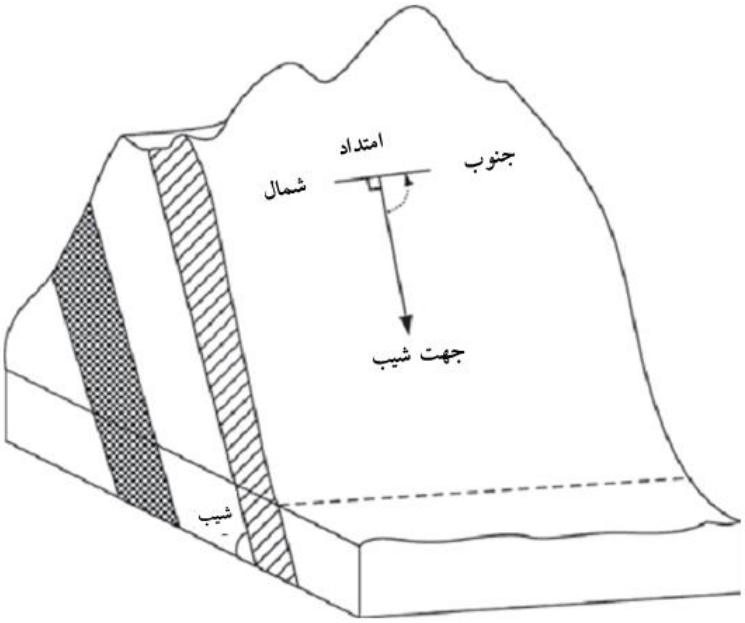


شکل ٦-٤) سایت ساختمان‌سازی با برونزد لایه‌های زمین‌شناسی (عکس از راجرز. دیترویت آمریکا، کاوفمن و همکاران، ٢٠١١).

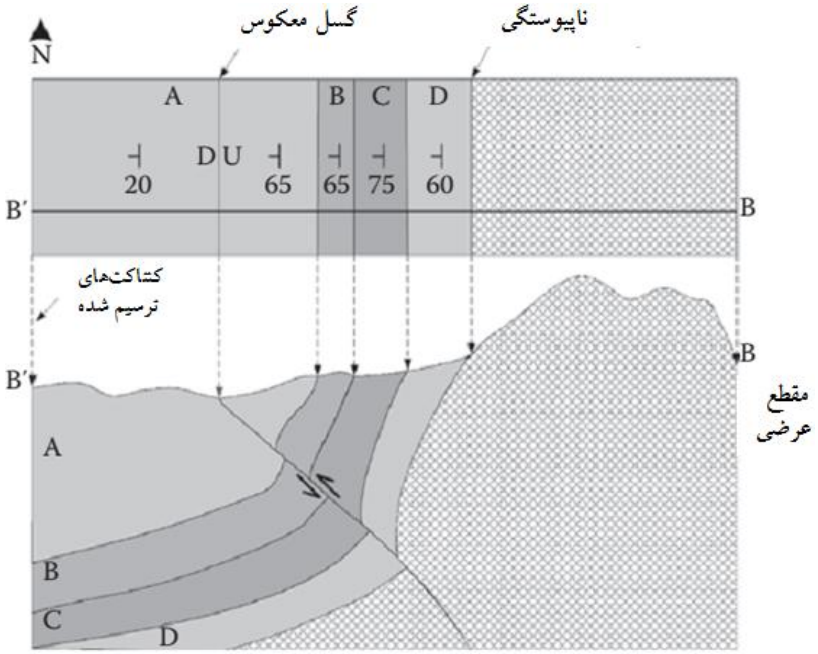
شکل ٦-٥) حفاری در یک سایت ساختمان‌سازی موجب برونزد لایه‌های زمین‌شناسی شده است (عکس از راجرز. دیترویت آمریکا، کاوفمن و همکاران، ٢٠١١).

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[1] 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 فرآیند مستلزم دقت و صحت بالا در اندازه‌گیری‌ها است به این دلیل که بسیاری از این رسوبات دارای شیبی فقط در حدود ۰/۶-۰/۳ متر به ازای هر ۱/۶ کیلومتر هستند. علاوه براین، محاسبه امتداد و شیب رسوبات سست را می‌توان برای برآورد اینکه چگونه یک واحد متحمل 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.

[1] . Isostatic rebound

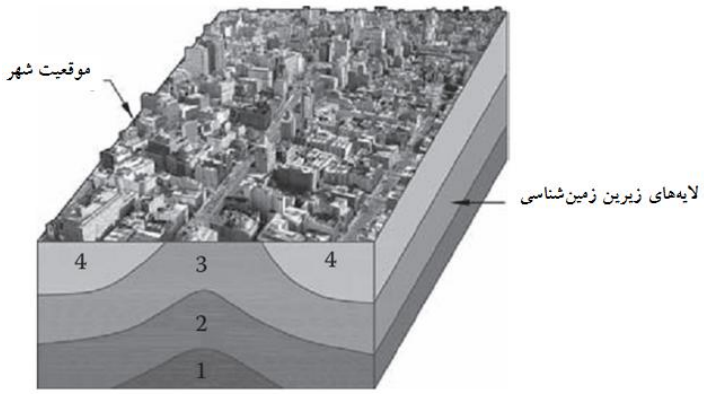


شکل ٦-٦) مفهوم امتداد و شیب.

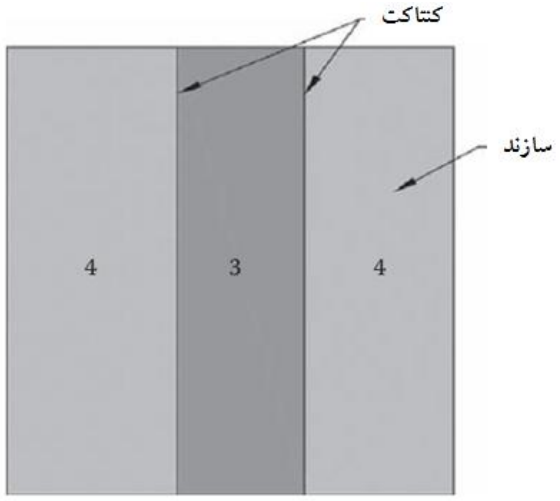


شکل ٦-٧) مفهوم امتداد و شیب به‌صورت ترسیم‌شده در یک نقشه زمین‌شناسی.

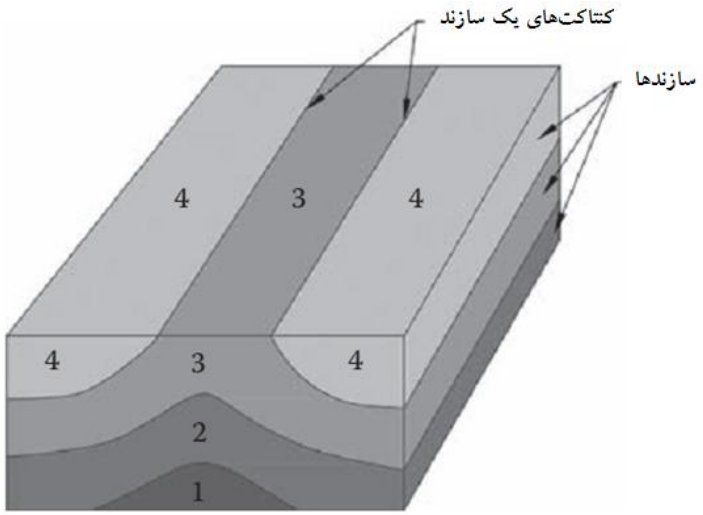
ایجاد نقشه‌های زمین‌شناسی یک سایت معین مرحله‌ای بسیار مهم در فرآیند تهیه نقشه سه‌بُعدی کل منطقه و حوضه آبریز است. شکل ٦-٨ نقشه پایه زمین‌شناسی زیرمنطقه‌ای است که در آن هر عدد نشانگر یک رسوب معین است. شکل ٦-٩ نمای صفحه‌ای لایه‌های مختلف در همان منطقه است و شکل ٦-١٠ نیز یک نقشه مرکب از زمین‌شناسی زیرسطحی نشان داده شده در شکل ٦-٨ و لایه‌های مختلف تصویرشده در شکل ٦-٩ است. با ترکیب اطلاعات زمین‌شناسی گردآوری شده از نقاط مختلف با استفاده از آنالیز رخساره‌ها گام بعدی در ایجاد نقشه سه‌بُعدی منطقه است.



شکل ٦-٨) بلوک نشان‌دهنده جایگاه شهر و واحدهای زمین‌شناسی زیرسطحی در یک منطقه معین (میشیگان آمریکا، کاوفمن و همکاران، ٢٠١١).



شکل ٦-٩) نقشه زمین‌شناسی منطقه نشان داده شده در شکل ٦-٨.



شکل ٦-١٠) نقشه بلوکی مرکب برای شکل‌های ٦-٨ و ٦-٩.

٦-١-٥ 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 فرآیندهای عامل ایجاد رسوبات آن‌ها مشخص می‌شوند (اندرسون، ١٩٨٥). وقتی دو و 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:

- بررسی کامل نهشته‌های رسوبی در هر نقطه
- تعیین نبودهای[1] احتمالی رسوب‌گذاری
- بازسازی تاریخچه زمین‌شناسی یک ناحیه (ناحیه مساحت بزرگ‌تری را نسبت به منطقه دربر می‌گیرد)
- تعیین یا تأیید وجود فرآیندهای زمین‌شناسی در یک ناحیه معین

[1] . Gap

- 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[1] نام دارد. این روش از چهار اصل چینه‌شناسی بهره می‌گیرد:

۱) اصل چینه‌بندی افقی اولیه

۲) اصل بر روی هم قرارگیری رسوبات

۳) اصل ارتباط زمانی رخدادهای زمین‌شناسی[2]

٤) اصل توالی مجموعه گیاهی[3] و حیوانی[4].

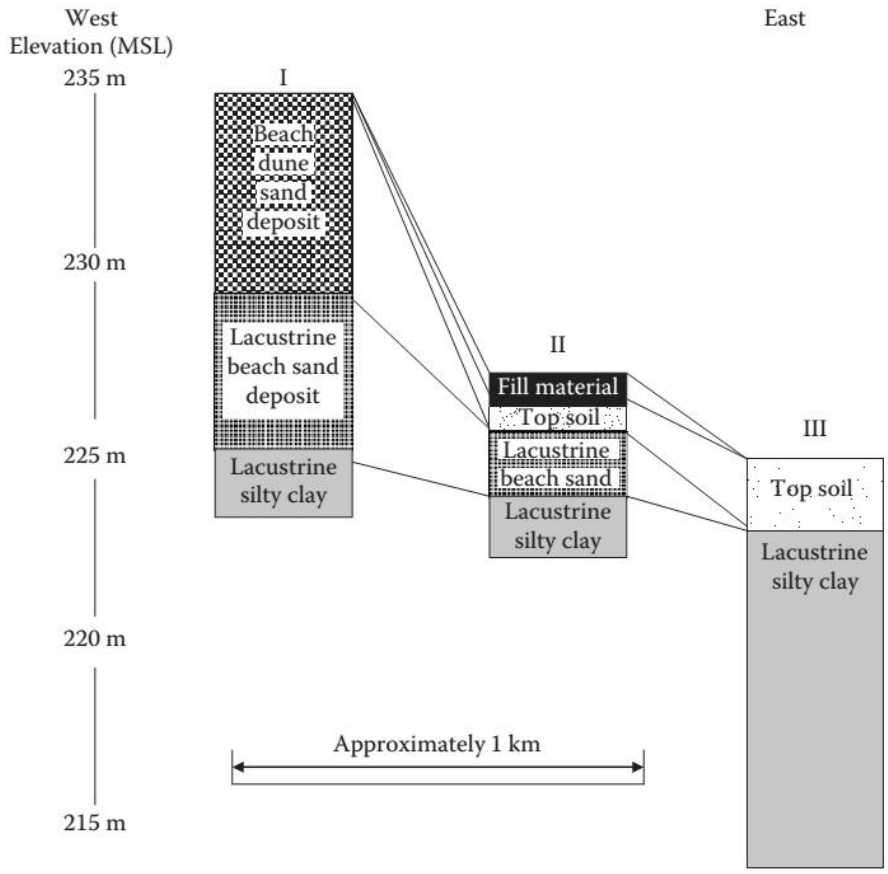
اعتقاد بر این است که با استفاده از این چهار اصل، آنالیز رخساره می‌تواند سنّ رخدادهای رسوب‌گذاری درون منطقه مورد مطالعه را برآورد و تأیید کند. به‌عنوان مثال، در خلال مرحله بازبینی نوشتجات مطالعات قبلی و انجام مطالعات صحرایی، معمولاً مشخص می‌شود که تعداد محدودی از نقاط دارای مقطع عمودی تقریباً دست نخورده 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[5] گفته می‌شود. وقتی که زمان رسوب‌گذاری تعیین شد در آن‌صورت مقطع چینه‌شناسی کل منطقه مورد مطالعه را می‌توان بازسازی کرد (USGS، ۲۰۰۷).

همان‌طور که در جدول ٦-۱ نشان داده شده است، بسیاری از فرآیندهای زمین‌شناسی در ایجاد تاریخچه زمین‌شناسی مناطق شهری ایالات متحده آمریکا سهیم بوده‌اند. فرآیند

---

[1] . Relative dating
[2] . Cross-cutting relations
[3] . Floral
[4] . Faunal
[5] . Type sections

آنالیز رخساره با استفاده از ستون چینه‌شناسی شکل‌های ٦-٣، ٦-٤ و ٦-٥ نشان داده می‌شود چون‌که آن‌ها به‌خوبی تاریخچه رسوب‌گذاری را در حوضه آبریز روج‌ریور در خود ثبت کرده‌اند. ستون‌های چینه‌شناسی هر نقطه در شکل ٦-١١ نشان داده شده‌اند.



شکل ٦-١١) نمونه‌ای از آنالیز رخساره با استفاده از ستون‌های چینه‌شناسی نشان داده شده در شکل ٦-٢، ٦-٣ و ٦-٤.

فواصل سه سایتی که ستون چینه‌شناسی آن‌ها در شکل ٦-١١ نشان داده شده حدود ١/٥ کیلومتر است. هر سایت به صورت عمود (شمال به جنوب) نسبت به امتداد واحدهای زمین‌شناسی هر نقطه (شرق به غرب) قرار گرفته است. خطوط ترسیم‌شده بین هر ستون چینه‌شناسی واحدهای زمین‌شناسی را که در ستون دیگر نیز وجود دارد،

به یکدیگر متصل می‌کنند (مانند رسوب دریاچه‌ای ساحلی ماسه‌ای[1] و رسوب دریاچه‌ای رس سیلتی[2]). واحدهای مواد پُرکننده[3] و رسوب تپه شنی ساحلی[4] به صورت خطوط به هم نزدیک‌شونده نشان داده شده‌اند، به این دلیل که در ستون‌های چینه‌شناسی دیگر در منطقه مورد مطالعه وجود ندارند.

آنالیز ساده رخساره ارائه شده توسط هر واحد زمین‌شناسی شکل ٦-١١ 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 ١٠ 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 نشان دهنده 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 موید 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 سیلتی 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 کرده است. نبود روخاک (خاک رأسی) در ستون چینه‌شناسی I و حضور مواد پُرکننده در ستون چینه‌شناسی II نیز موید دستکاری شدن منطقه توسط انسان است.

---

[1] . Lacustrine Beach Sand Deposit
[2] . Lacustrine Silty Clay Deposit
[3] . Fill Material
[4] . Beach Dune Sand Deposit

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 معین شده 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[1] را فراهم می‌کند. مقاطع عرضی نهشته‌های زمین‌شناسی را بدون هرگونه نبود رسوب‌گذاری بین مقاطع چینه‌شناسی نمایش داده و ایجاد نقشه زمین‌شناسی سه‌بُعدی 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.

٦-١-٦ 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:

[1] . Cross sections

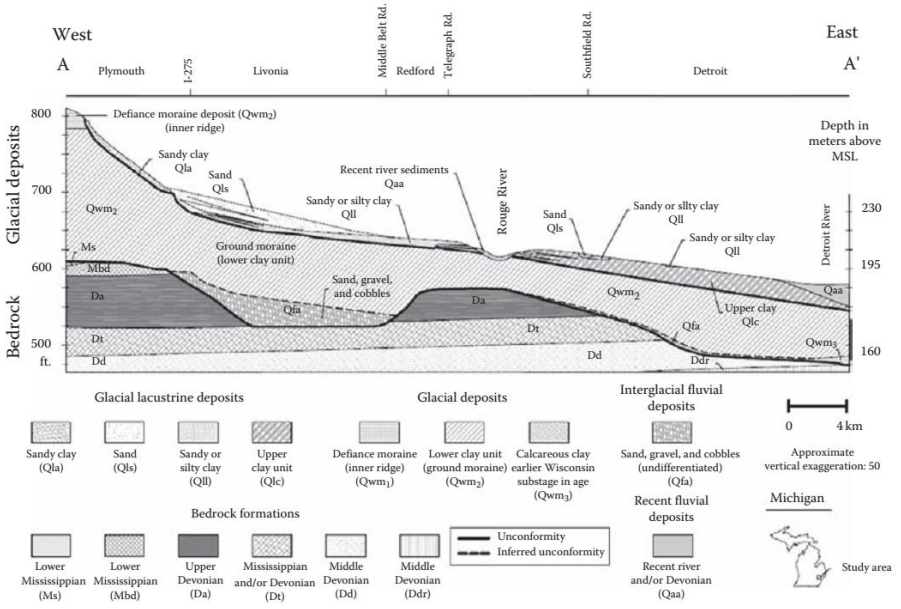
- انتخاب مقیاس‌های مناسب افقی و عمودی.
- انتخاب نقاط کنترلی مناسب یا نقاطی در امتداد مقطع که در آن توالی چینه‌شناسی شناخته شده باشد.
- اطمینان از اینکه راهنمای مقطع شامل ترکیب و ویژگی‌های هر واحد زمین‌شناسی است.
- استفاده از نشانه‌های مناسب جهت تشخیص هر واحد زمین‌شناسی.
- انتخاب جهات مناسب و عوارض شاخص.
- 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.

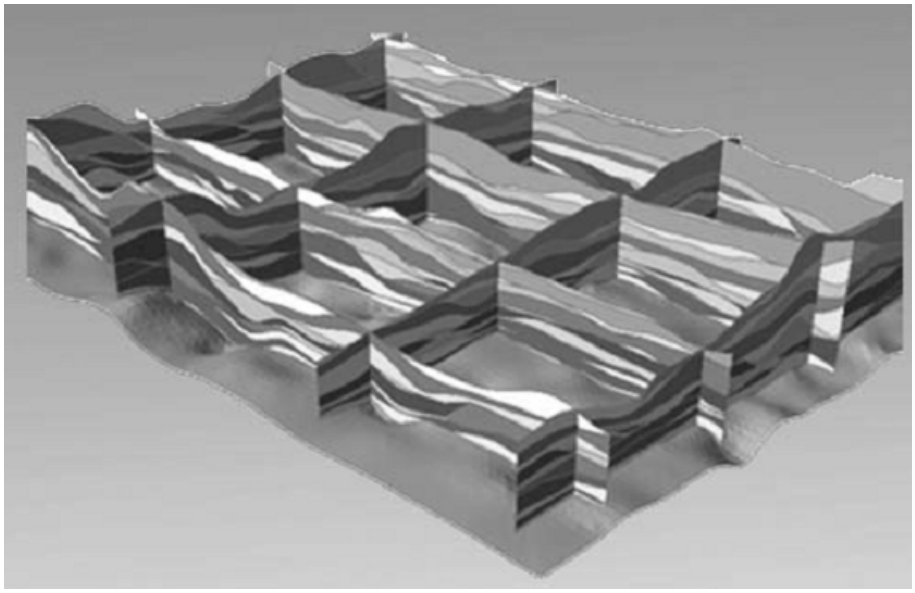
انتخاب جهت خط یا بُرش شاید مهمترین کار در حین تولید یک مقطع عرضی باشد. معمولاً مقاطع عرضی متعددی ایجاد می‌شود تا تصویری کامل‌تر از بعد عمودی و توالی چینه‌شناسی ارائه شود. به‌طور کلی، مقطع عرضی حاوی مهمترین اطلاعات مقطعی است که عمود بر بُرش امتداد و یا روند واحدهای زمین‌شناسی تحت بررسی تهیه می‌شود. این نوع مقاطع عرضی بسیار کاربردی هستند زیرا اغلب واحدهای زمین‌شناسی را شامل شده و ارتباط، ساختار و تاریخچه رسوب‌گذاری ساده‌تر مشخص

می‌شود و قابل درک 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 ٦-١٢) مقطع عرضی دقیق حوضه آبریز روج‌ریور در جنوب‌شرق میشیگان.

نمونه‌ای از مقطع عرضی تهیه‌شده به‌صورت عمود بر امتداد برای حوضه آبریز روج‌ریور در جنوب‌شرق میشیگان در شکل ٦-١٢ نشان داده شده است (راجرز، ١٩٩٦؛ ١٩٩٧؛ کاوفمن و همکاران، ٢٠٠٥). 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 ٦-١٣ نمایی سه‌بُعدی از مقاطع عرضی متقاطع است (گروه تهیه نقشه گریت لِیکز، ٢٠٠٩). این نوع مقاطع عرضی به تفسیر تاریخچه رسوب‌گذاری منطقه موردنظر جهت نقشه‌برداری زمین‌شناسی کمک می‌کند.



شکل ٦-١٣) چندین مقطع عرضی به هم پیوسته (اقتباس از USGS، برنامه ملی تهیه نقشه زمین‌شناسی، ٢٠٠٩، http://ncgmp.usgs.gov).

٦-١-٧ تهیه نقشه مبنا[1]

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:

١- استفاده از نام‌گذاری مناسب.

٢- به کارگیری نشانه‌های مناسب.

٣- به کارگیری مقیاس مناسب برای نقشه.

٤- تعیین این که چه نوع نقشه‌ای برای منطقه مناسب‌تر است.

[1] . Base Map

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[1] چینه‌شناسی آمریکای شمالی خوانده می‌شود (انجمن زمین‌شناسی نفت آمریکا[2]، 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[3] 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 به‌تدریج نقشه کامل شود. یک راه برای انجام این فرآیند آن است که کار با یک واحد زمین‌شناسی که تشخیص آن در صحرا نسبتاً 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 سنگ بستر 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:

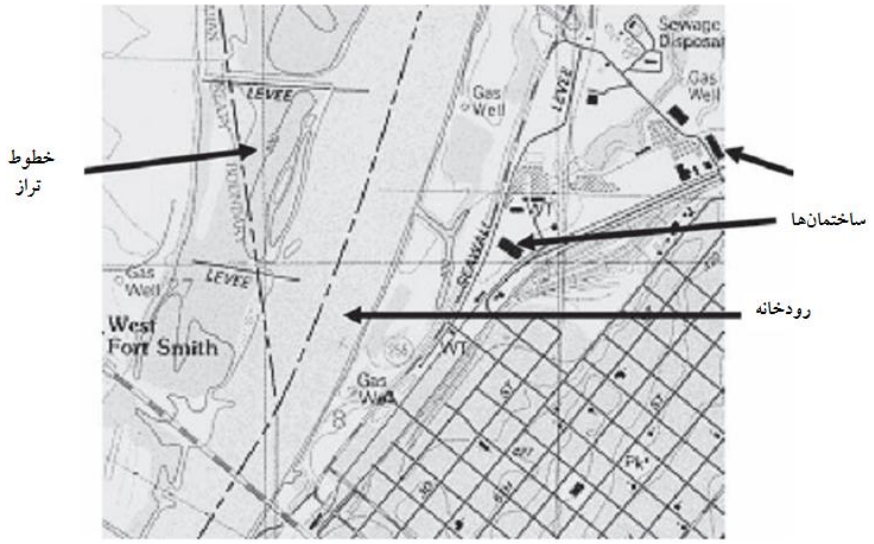
- هر نقشه بسیار دقیق و قابل‌اعتماد است.
- اغلب مناطق شهری در ایالات متحده دارای این نوع نقشه‌ها بوده که به‌راحتی قابل دسترس هستند.

---

[1] . Code
[2] . American Association of Petroleum Geologists
[3] . Federal Geographic Data Committee Digital Cartographic Standard

- 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 توسعه‌یافته، راه‌ها و پارک‌ها مشخص شده‌اند.
- عوارض طبیعی مانند دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، نهرها، مناطق جنگلی و مناطق مهم در نقشه مشخص شده‌اند.
- هر نقشه به‌خوبی 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 به‌سادگی می‌تواند به محیط‌های دیگر تهیه نقشه مانند GIS و نقشه‌های سه‌بُعدی زمین‌شناسی منتقل شود.

شکل ٦-١٤ بخشی از یک نقشه ۷/۵ دقیقه مورد بحث که توسط USGS تهیه شده را نشان می‌دهد.



شکل ٦-١٤) بخشی از یک نقشه با وسعت ۷/۵ دقیقه مربوط به منطقه فورت اسمیت[1] آرکانزاس آمریکا (اقتباس از USGS به آدرس http://egsc.usgs.gov/ish/pubs/gis_poster, 2010b).

- بسیاری از نقشه‌ها به‌صورت 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

٦-١-٨ آماده‌سازی طرح نهایی نقشه

تفهیم اطلاعات زمین‌شناسی با ساده‌ترین کلمات دشوار و چالش‌برانگیز است زیرا این 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:

۱) مقدار پیچیدگی، جزئیات، مقیاس اطلاعات و منطقه مورد نقشه‌برداری.

۲) افرادی که باید اطلاعات برای آن‌ها ارائه شود مانند افراد دانشگاهی، برنامه‌ریزان زمین‌شهری یا عموم مردم.

[1] . Fort Smith

۳) بودجه در نظر گرفته‌شده.

برخی از روش‌های مورد استفاده برای آماده‌سازی نقشه عبارتند از:

۱) 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

۲) 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.

۳) افزودن فرآیندهای 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 فرآیندهای زمین‌شناسی رسوب‌گذاری بسیار مفید هستند اما بسته به مقیاس، جزئیات زیادی را در خود جای نمی‌دهند.

٤) ایجاد نقشه‌های سه‌بُعدی. تولید نقشه‌هایی با سه بُعد معمولاً مستلزم زمان و تلاش مضاعف است اما می‌تواند آنالیز بهتری از کمبودها ارائه و به‌دلیل سه بُعدی بودن مناظر (مانند پرتگاه‌ها) را نیز در نقشه زمین‌شناسی جا دهد.

۵) 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 قرار

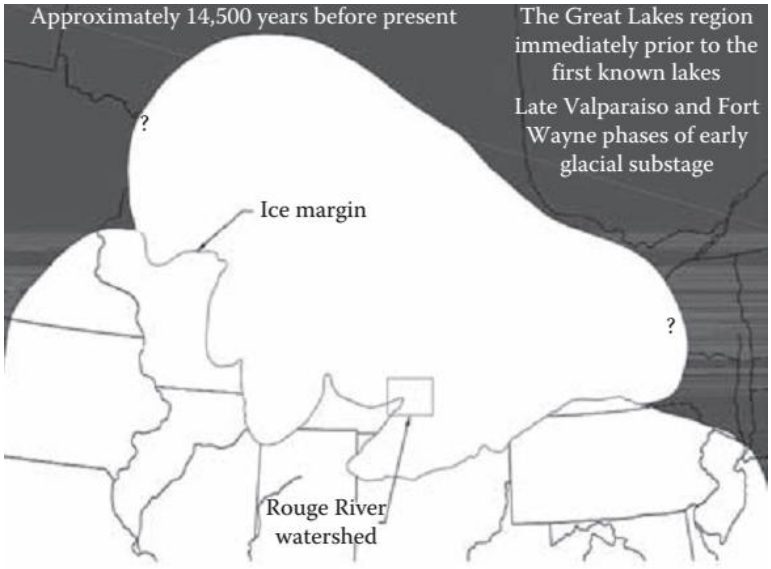
داده و اطلاعات جدیدی از منطقه مورد مطالعه در اختیار برنامه‌ریزان شهری قرار دهد.

متداول‌ترین روش‌ها، روش‌های شماره ۳، ٤ و ۵ یا ترکیب آن‌ها است.

٦-۱-۸-۱ توالی نقشه‌ها

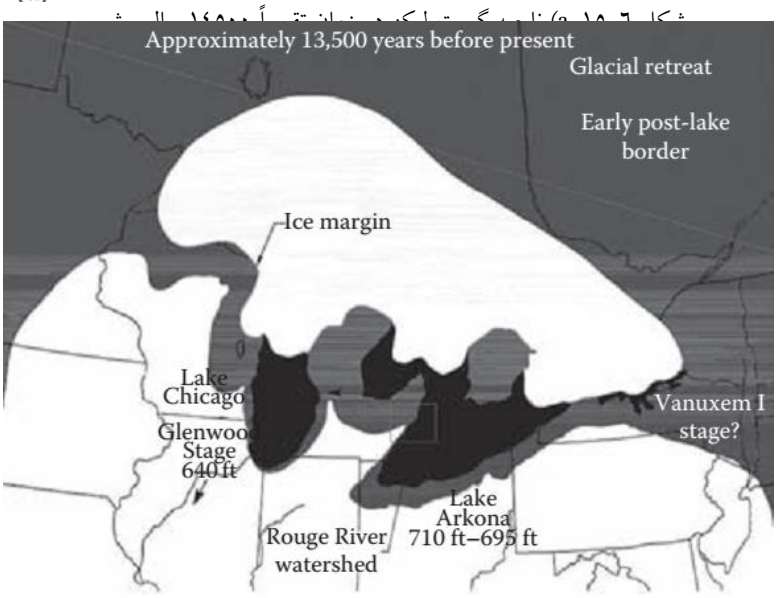
توالی نقشه‌ها یکی از روش‌هایی است که به‌منظور کاهش زمان فهم فرآیندهای زمین‌شناسی عامل توزیع نهشته‌های رسوبی در مناطق شهری به‌کار می‌رود. این تکنیک فرآیندهای پیچیده زمین‌شناسی را که ممکن است به صورت موضعی در یکی از نقشه‌ها تعیین شده باشد، به‌صورت کامل در توالی نقشه‌ها ارائه شده و فهم آن فرآیندها را بسیار تسهیل می‌کند. این نوع نقشه‌ها همچنین می‌توانند نقشه‌های سه‌بُعدی را با GIS تلفیق کرده و اطلاعات را به صورت ترکیبی از هر دو ارائه کنند. نمونه‌ای از توالی نقشه‌ها در ناحیه گریت لِیکز در نقشه ٦-۱۵ ارائه شده است (تغییر داده‌شده از هیوگ، ۱۹۵۸، ۱۹٦۳). این نقشه متوالی توسعه و تحول چشم‌اندازها و مناظر یک منطقه خاص از ناحیه گریت لِیکز را در زمان معینی (در خلال عقب‌نشینی آخرین پیشروی یخچال در پلئیستوسن[1]) نشان می‌دهد. این نقشه‌ها عمومی هستند و بسیاری از جزئیات در آن‌ها به‌دلیل مقیاس بسیار بزرگ در نظر گرفته نمی‌شوند.

[1] . Pleistocene



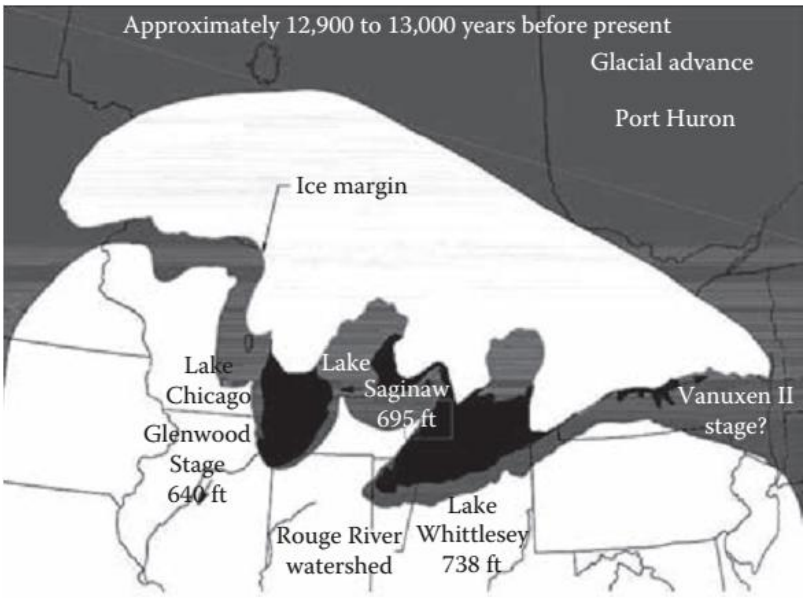
(a)

شکل ٦–١٥. a) نواحی یخچالی در حدود ۱۴۵۰۰ سال پیش

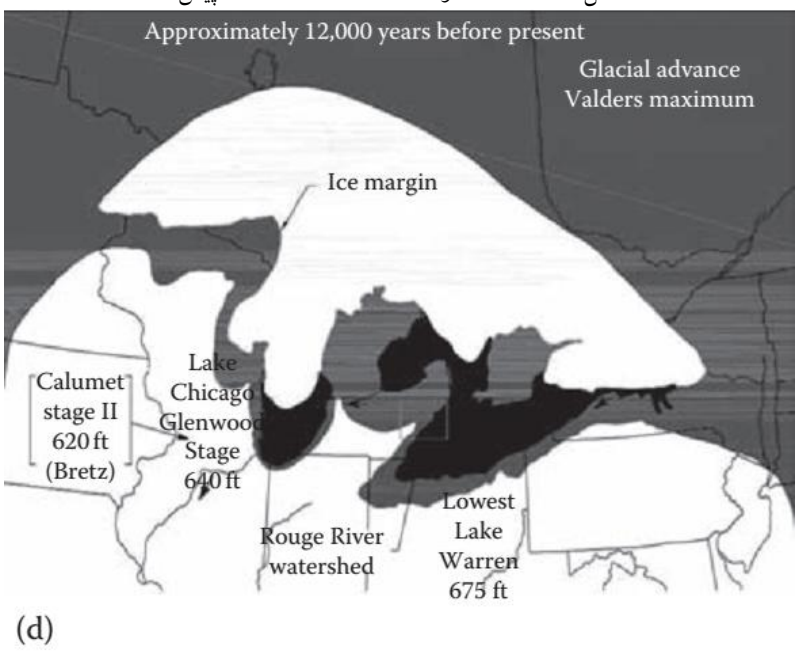


(b)

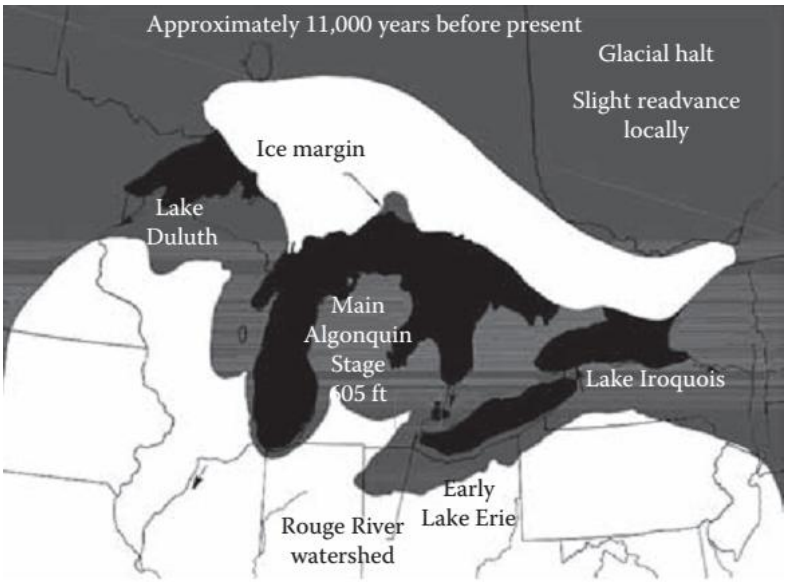
شکل ٦–١٥. b) حدود ۱۳۵۰۰ سال پیش.



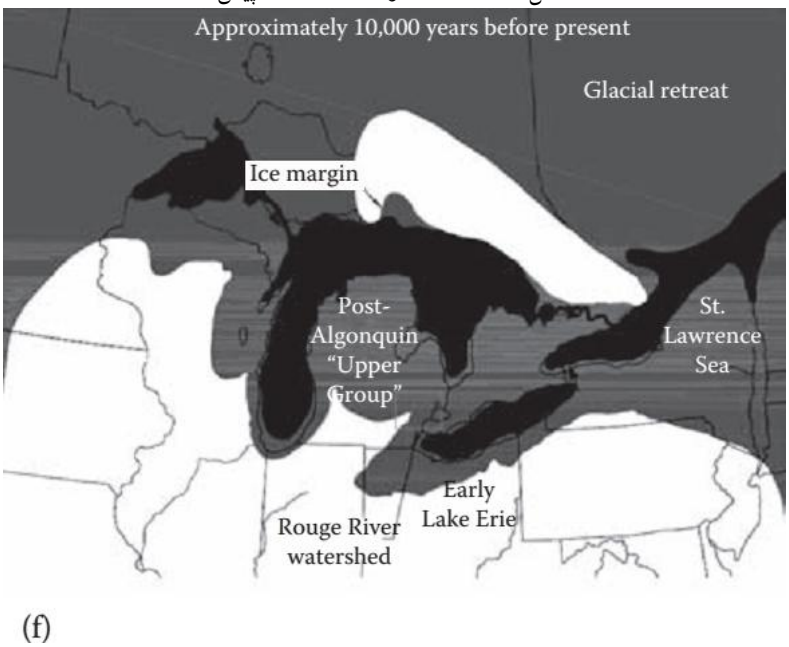
شکل ٦–١٥. c) حدود ١٢٩٠٠ تا ١٣٠٠٠ سال پیش.



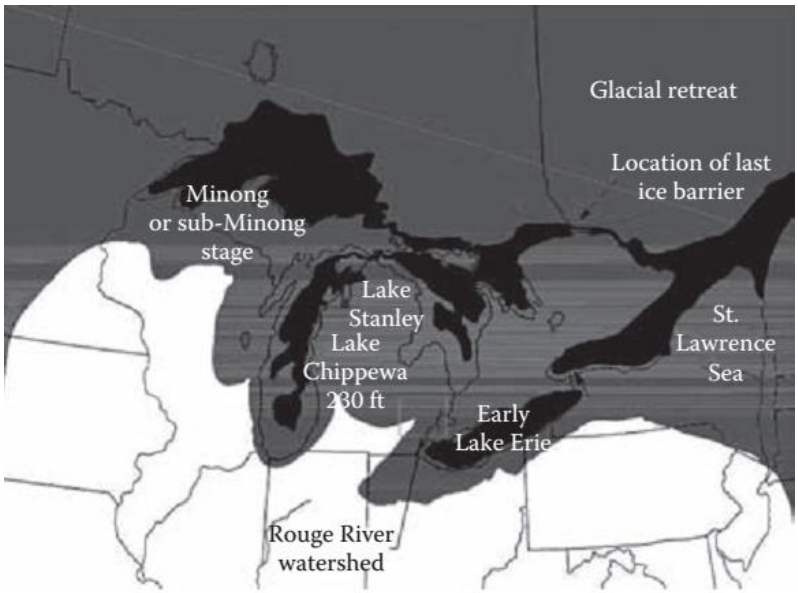
شکل ٦–١٥. d) حدود ١٢٠٠٠ سال پیش.



شکل ٦–١٥. e) حدود ١١٠٠٠ سال پیش

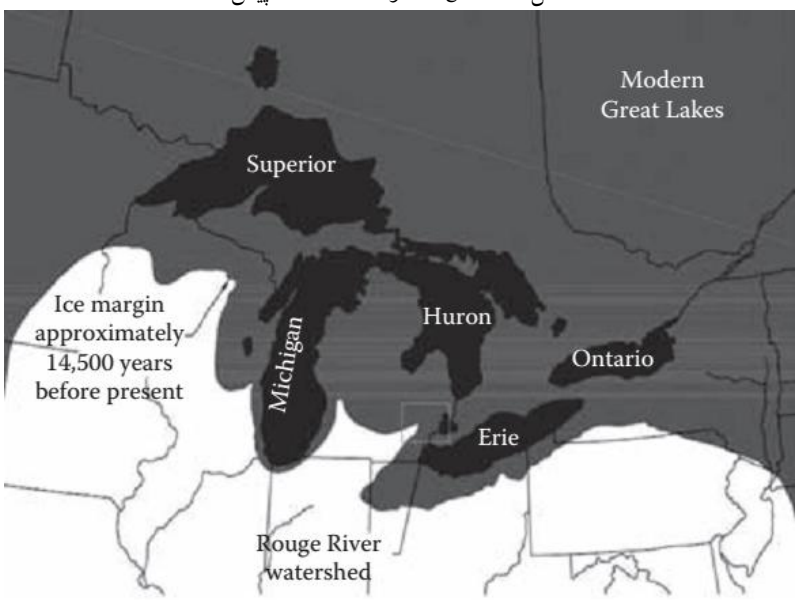


شکل ٦–١٥. f) حدود ١٠٠٠٠ سال پیش.



(g)

شکل ٦–١٥. g) حدود ٩٠٠٠ سال پیش.



(h)

شکل ٦–١٥.h) عصر حاضر (کاوفمن و همکاران، ٢٠١١).

هدف از تهیه این نقشه‌ها عبارتست از:

الف) انتقال مفهوم اهمیت زمین‌شناسی ناحیه‌ای مثلاً منشأ یخچالی رسوبات سست

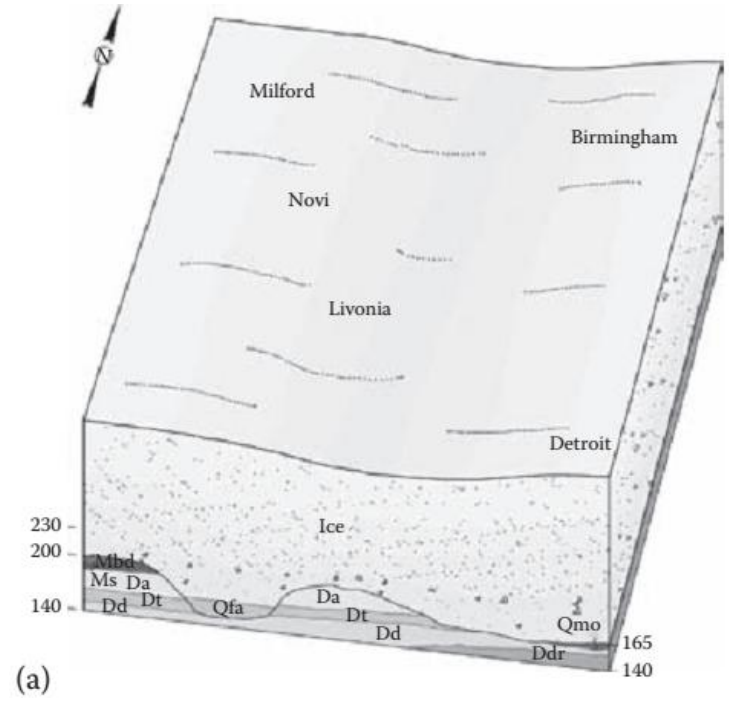
ب) فراهم کردن نقطه مرجع برای بخش‌های دیگر نقشه‌های دقیق‌تر که در شکل ٦-١٦ نشان داده شده است.

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 گویا بودن این روش را به تصویر کشد.

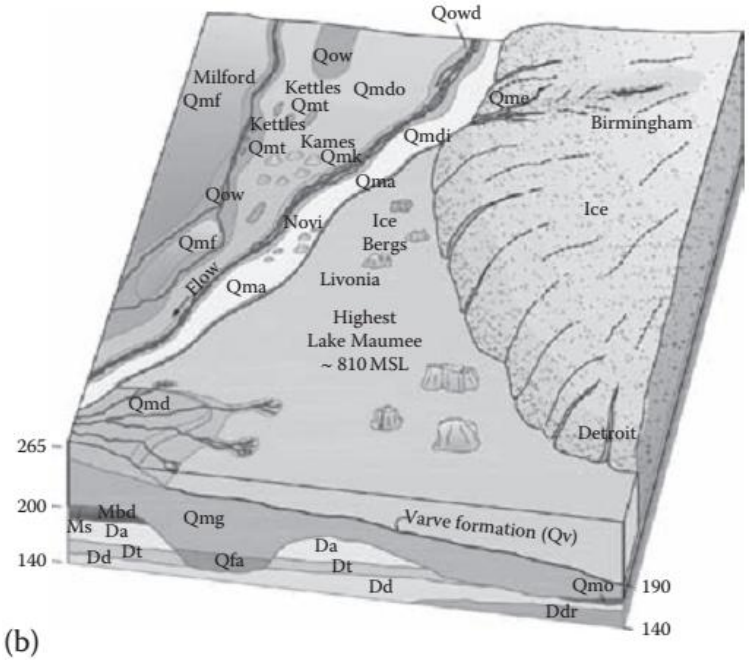
نقشه‌های متوالی نشان داده‌شده در شکل ٦-١٦ نمونه‌ای از چگونگی استفاده از بررسی تدریجی پیچیدگی‌های زمین‌شناسی در مقیاس کوچک‌تر در یک حوضه آبریز منطقه شهری را به نمایش گذاشته و می‌تواند فرآیندهای زمین‌شناسی تشکیل‌دهنده نهشته‌های رسوبی را به تصویر کشد. به‌عنوان مثال، این توالی پسرفت یخچال و نهشته‌های مرتبط با آن را به‌صورت سه‌بُعدی نشان می‌دهد. شکل ٦-١٧ وضعیت زمین‌شناسی فعلی حوضه آبریز را به شکل بزرگ شده به همراه راهنما توصیف کننده ستون چینه‌شناسی، ارائه می‌کند.

٦-١-٨-٢ نقشه‌های سه‌بُعدی

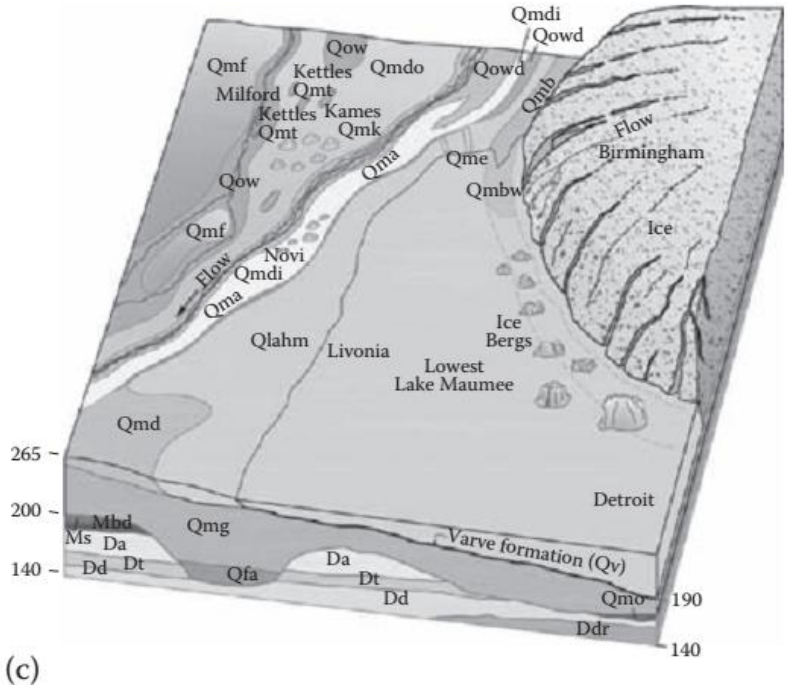
علاوه بر نقشه‌های متوالی که به‌تدریج اطلاعات بیشتری در آن‌ها ارائه می‌شود، روش‌های رقومی سه‌بُعدی نیز جهت تولید نقشه‌های زمین‌شناسی در دسترس است (USGS، ٢٠٠٥). نمونه‌هایی از نقشه‌های سه‌بُعدی در شکل‌های ٦-١٨ و ٦-١٩ نشان داده شده است (گروه تهیه نقشه گریت لِیکز، ٢٠٠٩). شکل ٦-١٨ منطقه تحت نقشه‌برداری زمین‌شناسی سه‌بُعدی با داده‌های حاصل از چاه‌های حفر شده در سایت را نشان می‌دهد. استفاده از این روش به فرآیند تهیه نقشه کمک زیادی کرده و آنالیز نبود داده را در مرحله نهایی تهیه نقشه تسهیل می‌کند. شکل ٦-١٩ پیش‌نویس کامل یک نقشه سه‌بُعدی را نشان می‌دهد.



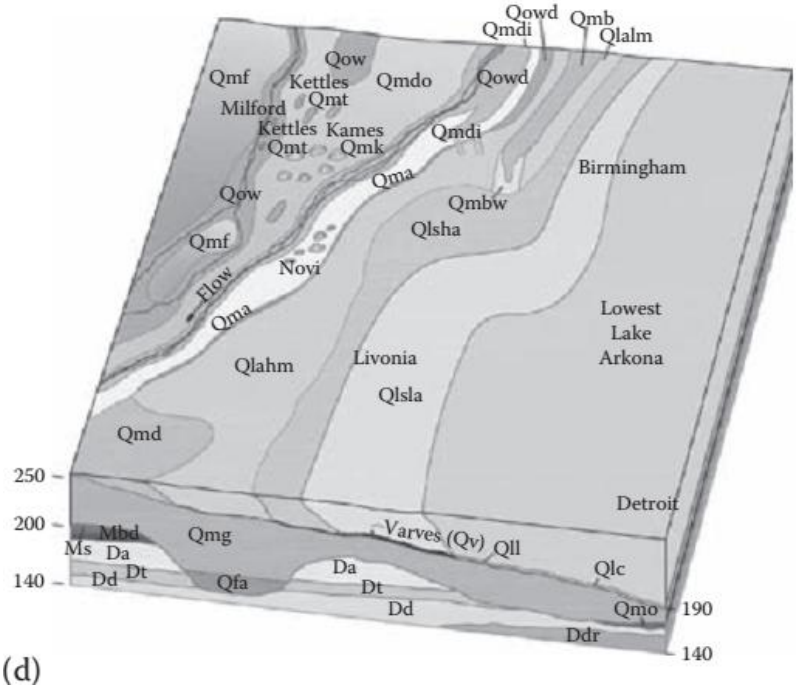
شکل ٦–١٦. a) حوضه آبریز روج در حدود ١٤٥٠٠ سال پیش.



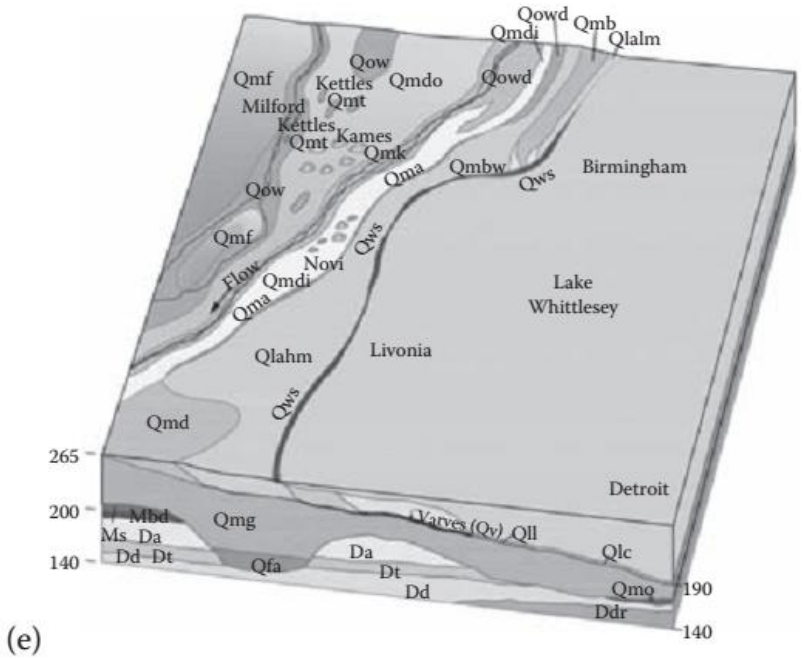
شکل ٦–١٦.b) حدود ١٤٠٠٠ سال پیش.



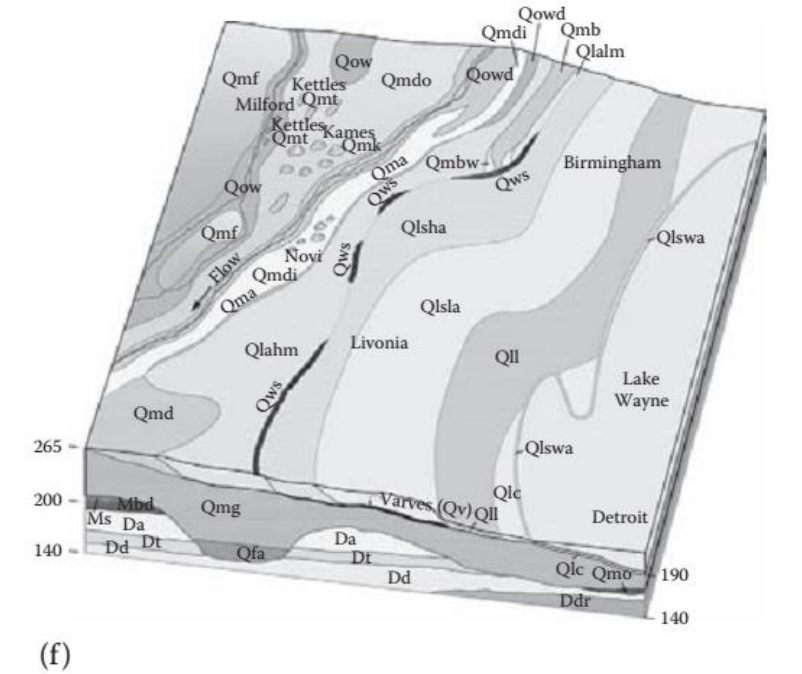
شکل ٦–١٦.c) حدود ١٣٧٥٠ سال پیش.



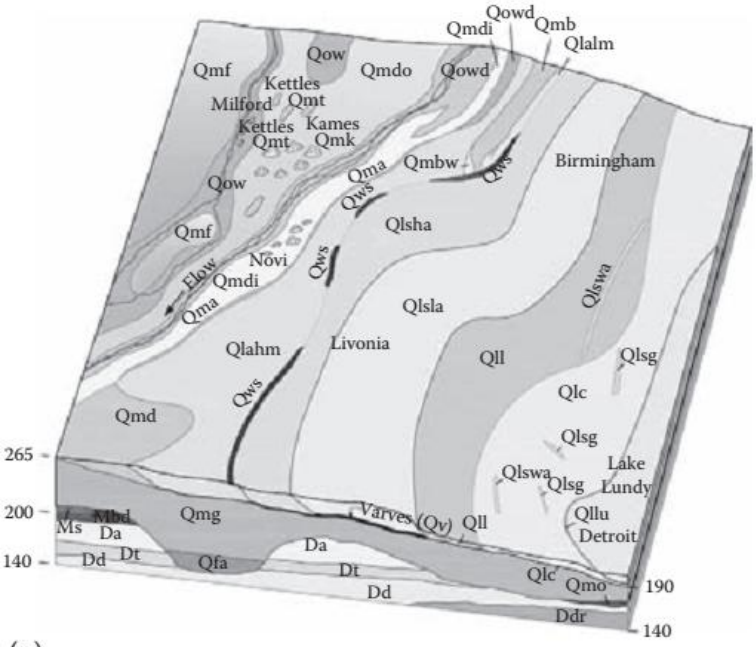
شکل ٦–١٦. d) حدود ١٣٠٠٠ سال پیش.



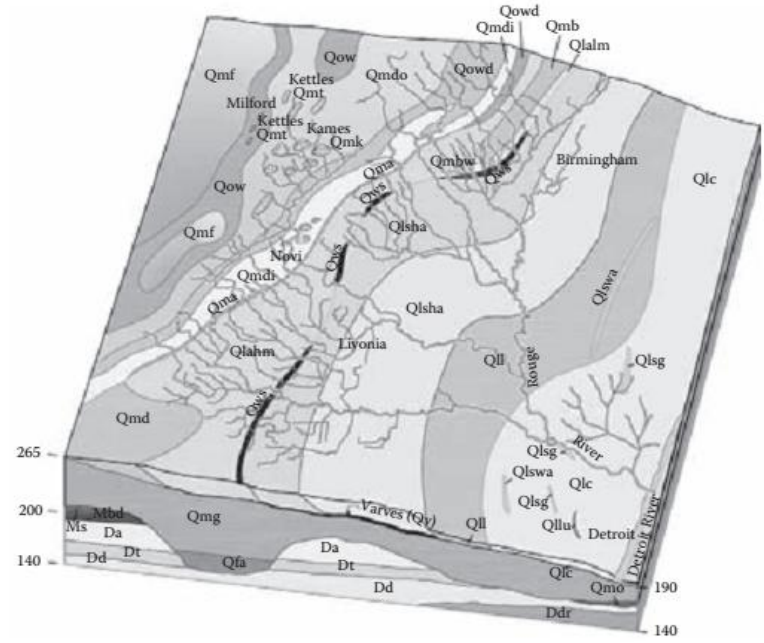
شکل ٦–١٦.e) حدود ١٢٩٠٠ سال پیش.



شکل ٦–١٦. f) حدود ١٢٥٠٠ سال پیش.



شکل ٦-١٦. g) حدود ١١٠٠٠ سال پیش.



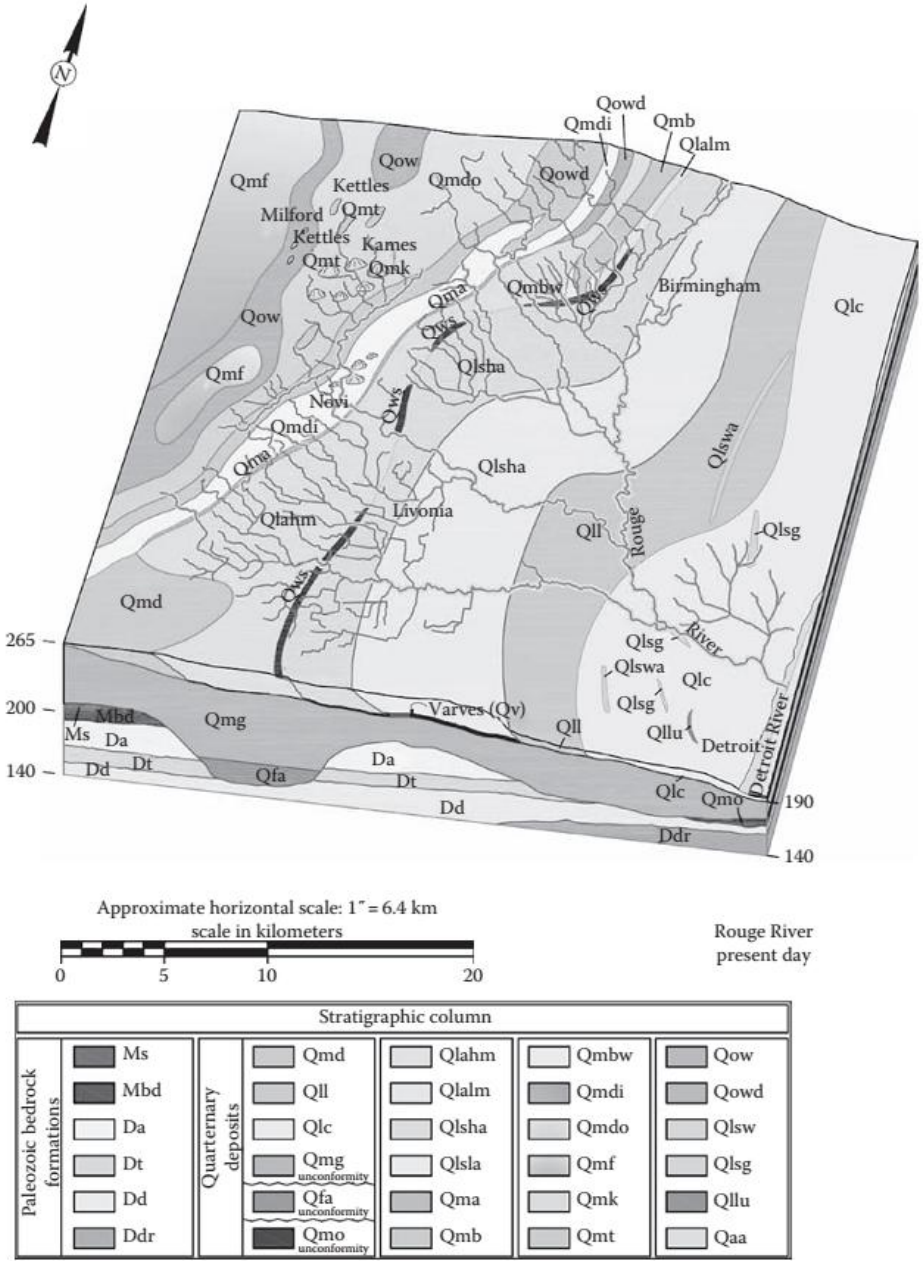
شکل ٦-١٦. h) نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز روج در عصر حاضر.

٦-١-٨-٣ تهیه نقشه با استفاده از GIS

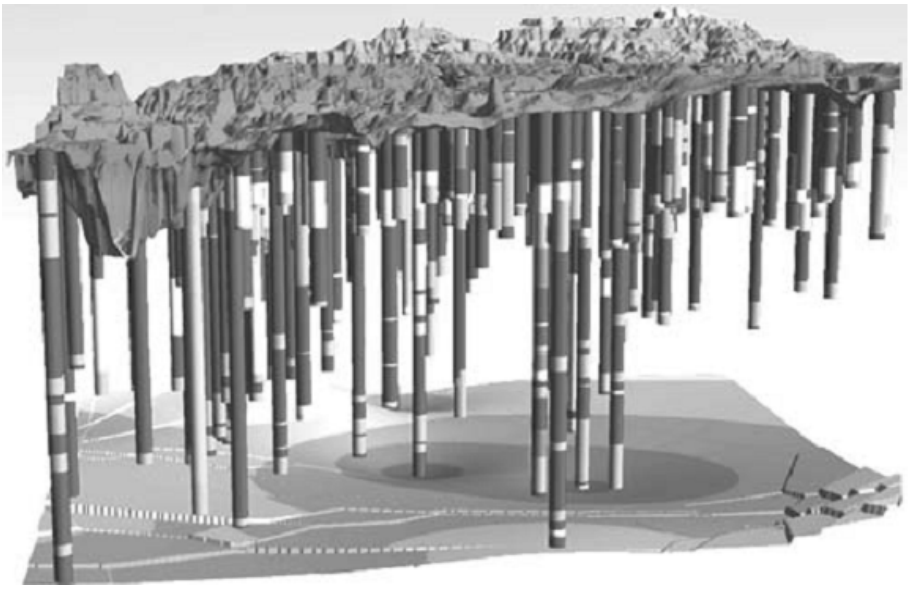
GIS برای تلفیق و نمایش بسیاری از اطلاعات از قبیل نقشه‌های زمین‌شناسی مناطق شهری بسیار مفید است (چانگ، ۲۰۰۷). یکی از فواید استفاده از GIS عمومیت داشتن این تکنیک در موارد مختلف مناطق شهری است و سازمان‌ها و افراد شاغل غالباً به این تکنیک آشنا بوده و توانمندی و امکانات لازم آن را دارا هستند. از آنجا که این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

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 ٦-٢٠ نمونه‌ای از این فرآیند 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 به کار برد. تقسیم جزئی‌تر داده‌های ورودی به لایه‌های بیشتر نیز می‌تواند با استفاده از فرآیند ویرایش به ایجاد نقشه‌های مختلف کمک کند.

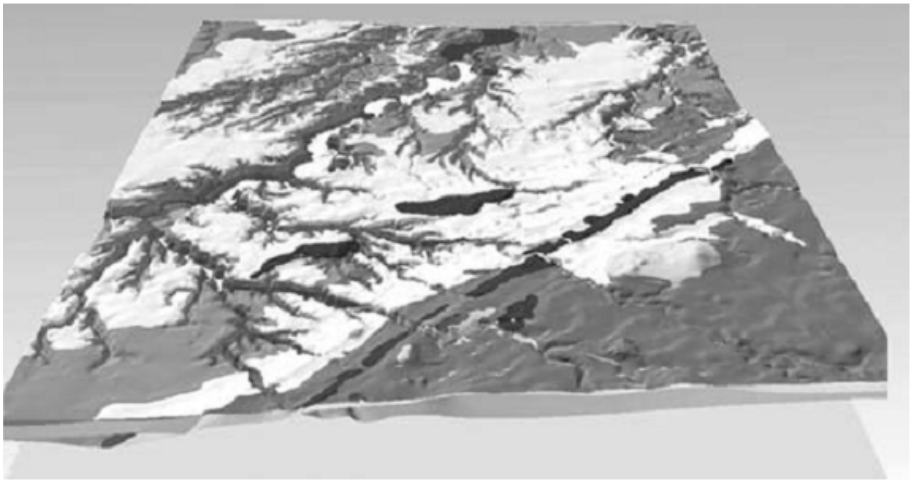
نمونه‌ای از یک نقشه دوبُعدی زمین‌شناسی که توسط GIS تولید شده، نقشه حوضه آبریز روج ریور است که در شکل ٦-٢١ نشان داده شده است (راجرز، ۱۹۹۷). شکل ٦-٢٢ ستون چینه‌شناسی آبریز روج را نشان می‌دهد. ستون‌های چینه‌شناسی تمام سازندهای زمین‌شناسی تصویر شده در نقشه را به ترتیب سن طبقه‌بندی می‌کند. ستون‌های چینه‌شناسی به‌دلیل اینکه همه رسوبات را لیست می‌کنند جزو لازم یک نقشه زمین‌شناسی هستند.



شکل ٦-١٧) نقشه زمین‌شناسی عصر حاضر حوضه آبریز روج ریور در جنوب‌شرق میشیگان (راجرز و همکاران، ٢٠٠٨).



شکل ٦–١٨) نقشه زمین‌شناسی سه‌بُعدی با استفاده از چاه‌های حفرشده (اقتباس از گروه تهیه نقشه زمین‌شناسی گریت لیکز، ٢٠٠٩؛ http://igs.indiana.edu/GreatLakesGeology/introduction.html.



شکل ٦–١٩) نقشه زمین‌شناسی سه‌بُعدی (اقتباس از گروه تهیه نقشه زمین‌شناسی گریت لیکز، ٢٠٠٩؛ http://igs.indiana.edu/GreatLakesGeology/introduction.html.

بسیاری از اصول آب‌زمین‌شناسی نشان داده شده در فرآیند تهیه نقشه آبریز روج در جنوب‌شرق میشیگان قابل استفاده برای بسیاری از مناطق دیگر ایالات متحده و سایر نقاط جهان است. برخی از این اصول عبارتند از:

۱) 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.

۲) الگوی زه‌کش درون حوضه آبریز منعکس‌کننده زمین‌شناسی تصویر شده در شکل ٦-١٦ است. به‌ویژه وقتی به ماسه برخورد می‌شود الگوی تراکم زهکش تغییر می‌کند.

۳) الگوی زهکشی درختی[1] 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.

٤) روند یا امتداد رسوبات یخچالی و دریاچه‌ای معمولاً از جنوب‌غرب به سمت شمال‌شرق از روند پسروی یخ در حین ذوب یخچال پیروی می‌کنند.

٥) 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 سه‌بُعدی نسبت به انواع دوبُعدی با مقایسه شکل ٦-١٧ (که نقشه سه‌بُعدی ساده شده از حوضه آبریز روج ریور است) با شکل ٦-٢١ (که نقشه دوبُعدی زمین‌شناسی همان منطقه است) به خوبی نمایان است. این فواید شامل موارد زیر هستند:

[1] . Dendritic drainage

۱) ضخامت لایه‌های رسوبی نشان داده شده است.

۲) سازندها نشان داده شده است (مانند سازند واحد رس زیرین[1] که حتی در نقشه دوبُعدی اشاره‌ای به آن نشده است.

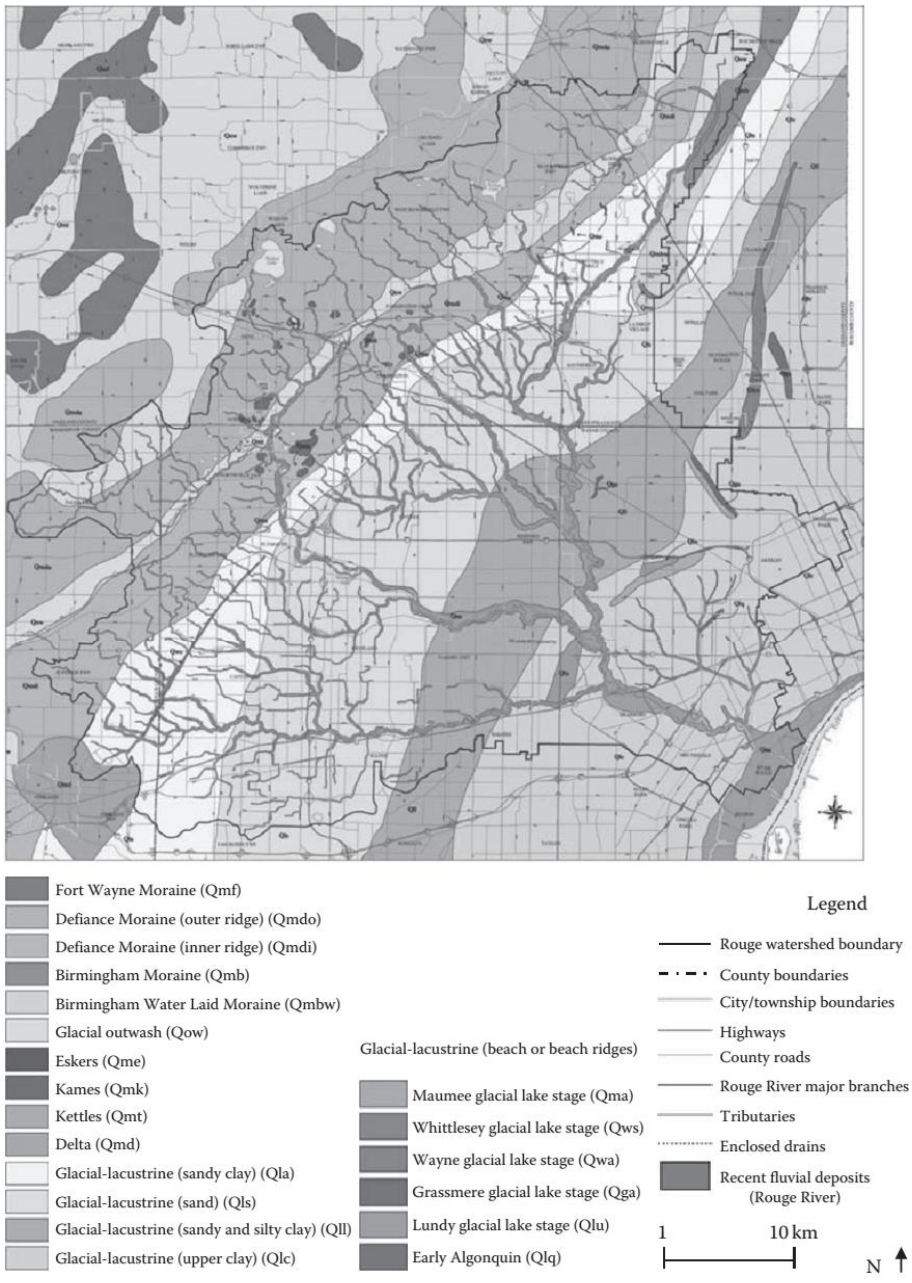
۳) شیب (در صورت وجود) واحدهای زمین‌شناسی ارائه شده است.

٦-۲ خلاصه و نتیجه‌گیری

در این فصل برای اولین بار مفهوم زمین‌شناسی قانونی[2] (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 تکمیل کننده و تأیید کننده یافته‌های زمین‌شناسی در سایت و مطالعات صحرایی و همچنین سازمان‌های قانونی محلی یا ملی (مثلاً ادارات آب و فاضلاب شهری) مرتبط باشد.

[1] . Lower Clay Unit
[2] . Forensic geology

شکل ٦-٢٠) 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 ٦-٢١) نقشه زمین‌شناسی تهیه‌شده حوضه آبریز روجریور توسط تکنیک GIS (راجرز و همکاران، ١٩٩٧).

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

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

۱) دانش عمیق از محیط‌های رسوبی نزدیک سطح زمین.

۲) توانایی تشخیص تفاوت بین رسوبات طبیعی و بشرزاد.

۳) داشتن اطلاعات از مناظر طبیعی.

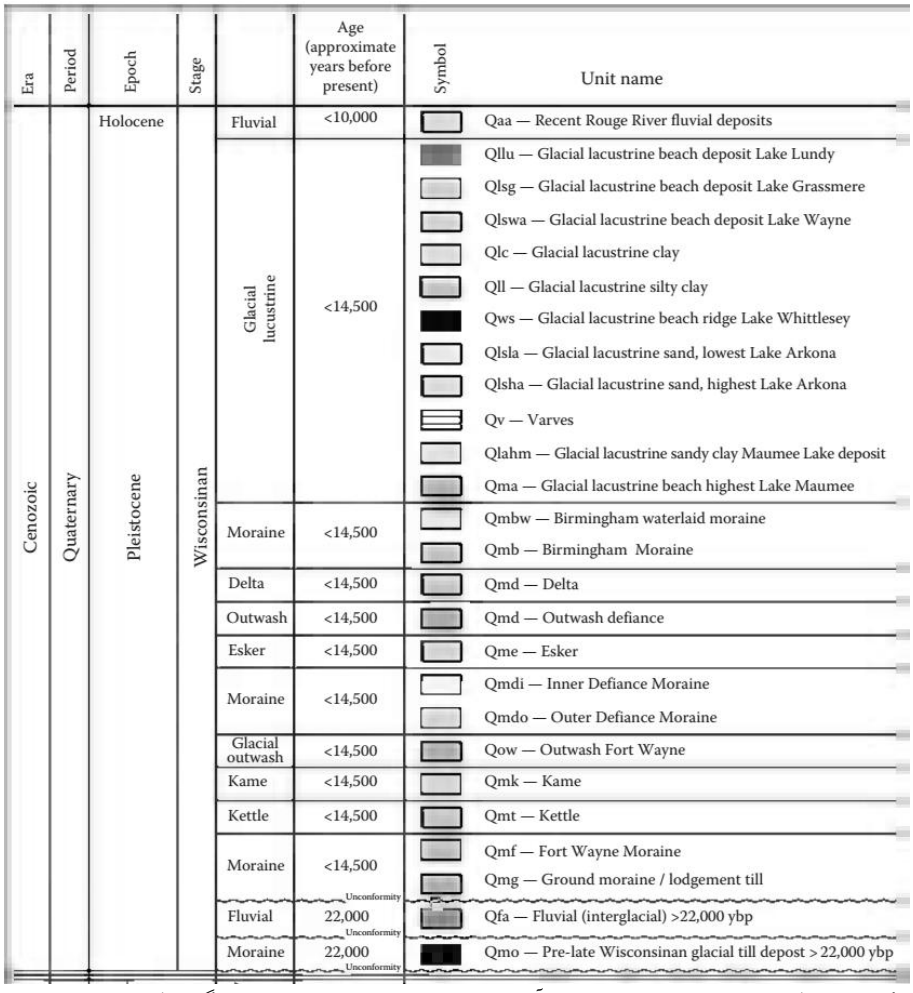
٤) آگاهی و تجربه لازم در زمینه روش‌های مورداستفاده برای دسترسی به سایت‌های (مکان‌های) موردنظر و منابع اطلاعات.

۵) امکان استفاده از یک سیستم ساده و گویا جهت ارائه و انتقال مفاهیم و فرآیندها به افراد غیر متخصص.

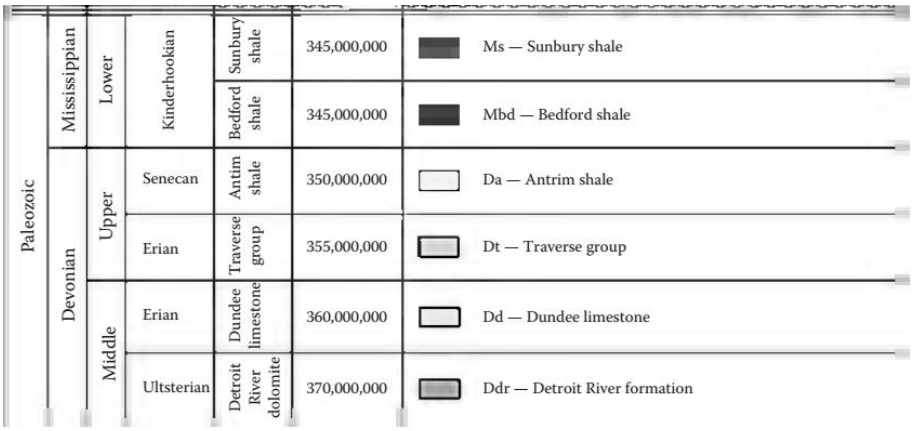
از بین این تخصص‌ها، مهمترین و حساس‌ترین مورد که اتفاقاً خارج از مبحث زمین‌شناسی نیز بوده، توانایی ارائه داده‌ها است. حتی دقیق‌ترین اطلاعات نیز در صورت عدمانتقال و تفهیم مناسب آن‌ها به افرادی که تخصص لازم را در زمین‌شناسی نداشته اما افراد تصمیم‌گیر و برنامه‌ریز مناطق شهری هستند، بی‌فایده خواهد بود. استفاده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



شکل ٦-٢٢) ستون چینه‌شناسی حوضه آبریز روجریور در جنوب‌شرق میشیگان (اقتباس از راجرز، ١٩٩٧).



شکل ٦-٢٢) (ادامه).

٦-٣ خودآزمایی فصل ٦

١- کدام محیط زمین‌شناسی کمترین مشارکت را در محل استقرار شهرهای آمریکا دارد؟

الف) آبرفتی

ب) دیاچه‌ای

ج) بادرفتی

د) آتشفشانی

٢- 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) ٤۰ د) ۵۰

٤- چالش‌های پیشروی تهیه نقشه زمین‌شناسی مناطق شهری عمدتاً کدام هستند؟

۵- حداقل هشت مورد از منابع اطلاعات موجود جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی مناطق شهری را نام ببرید.

٦- مدل زمین‌شناسی مفهومی چیست؟

۷- آنالیز رخساره برای چه اهدافی انجام می‌شود؟

۸- در بهره‌گیری از روش سن‌سنجی نسبی کدام اصول چینه‌شناسی مورداستفاده قرار میگیرند؟

۹- مقطع عرضی چگونه باید تهیه شود تا کامل‌ترین اطلاعات زمین‌شناسی را در اختیار قرار دهد؟

۱۰- فواید نقشه زمین‌شناسی سه بُعدی نسبت به انواع دوبُعدی آن کدام است؟

فصل هفتم

نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی[1] مناطق شهری

اهداف کلی

با استفاده از روش‌ها و داده‌های زمین‌شناسی شهری که تا این فصل عنوان شد در این فصل نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی برای مناطق شهری و مسائل مرتبط با آن بررسی خواهد شد تا نقش ویژگی‌های زمین‌شناسی در افزایش یا کاهش آسیب‌پذیری در مقابل مخاطرات زمین‌شناسی به‌ویژه آلودگی‌ها مشخص شود.

اهداف رفتاری

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

۱. عوامل کنترل‌کننده شدت آلودگی آب در یک منطقه شهری.

۲. انواع روش‌های بررسی آسیب‌پذیری زمین‌شناسی در یک حوضه آبریز شهری.

[1] . Geologic Vulnerability

۳. بررسی روند تهیه نقشه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی با استفاده از یک مطالعه موردی.

٤. اهمیت تهیه نقشه آسیب‌پذیری.

مقدمه

نوع و چگونگی استفاده از مواد شیمیایی را می‌توان کنترل کرد اما در مورد محیط زمین‌شناسی این مسئله صادق نیست. بنابراین، باید در مورد این محیط‌های زمین‌شناسی که شهرها بر روی آن‌ها بنا شده است، دانش خود را افزایش داده تا براساس آن برنامه‌های توسعه‌ای به گونه‌ای بنا نهاده شوند که آثار مخرّب 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 جابجایی آلودگی‌ها صورت گرفته باشد. از آنجا که آب نقشی اساسی در آسیب‌پذیری یک منطقه در مقابل آلایش دارد، بنابراین آنالیز انجام‌شده 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 ایالات‌متحده 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، به کارگیری روش حوضه آبریز در خلال فرآیند بررسی، منطقی و علمی به نظر می‌رسد، به این دلیل که زمین‌شناسی یک منطقه شدیداً الگوی زهکشی سطح زمین را تعیین می‌کند و اغلب به‌طور تأثیرگذاری در جریان پایه[1] آب سطحی مشارکت می‌کند. علاوه بر این، آب به‌عنوان یک حلال جامع در نظر گرفته می‌شود بنابراین هر نوع آلایشی 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.

[1] . Base flow

عوامل کنترل‌کننده شدت این آسیب عبارتند از (راجرز، ۱۹۹٦؛ مورای و راجرز، ۱۹۹۹a؛ کاوفمن و همکاران، ۲۰۰۵):

۱) محیط آب‌زمین‌شناسی.

۲) شیمی فیزیک آلودگی‌ها و مقدار آن‌ها.

۳) مکانیسم رهاسازی آلودگی در آب.

روش‌های متعددی در زمینه مطالعات و مدیریت پیچیدگی آلایش 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 دسترس‌بودن روش‌ها و شیوه‌های معین، مطالعات زیست‌محیطی بسیاری از مناطق شهری می‌تواند کاری بس دشوار باشد. این مسئله دلایلی دارد که می‌توان آن‌ها را به‌صورت زیر برشمرد:

۱) رسوبات نزدیک سطح زمین در این مناطق بسیار کم مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۲) مطالعه آن‌ها سخت است.

۳) پیچیده هستند.

٤) از طریق فعالیت‌های انسانی دچار تغییر شده‌اند.

۵) 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 آلایش در شرایط معین زمین‌شناسی شناخته شود.

تمرکز این فصل تعیین مناطق آسیب‌پذیر شهری در مقابل آلودگی‌ها و مناطقی است که احتمال گسترش آلایش در آن‌ها کمتر محتمل است. بدین‌منظور، 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 ۱۹٦۰ مطرح و در دهه ۱۹۷۰ توسط آلبِینت 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 شده است. آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی امروزه به‌عنوان تابعی از:

الف) ویژگی طبیعی خاک یا رسوبات منطقه غیراشباع.

ب) ویژگی آبخوان[1] یا سفره آب زیرزمینی (مانند تخلل مؤثر و منطقه تغذیه)

ج) مواد آبخوان در نظر گرفته می‌شود (فوستر و هیراتا، ۱۹۸۸؛ روبینز و همکاران، ۱۹۹٤؛ راجرز و همکاران، ۲۰۰۷).

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

الف) روش‌های درجه‌بندی موضوعی.

[1] . Aquifer

ب) روش‌های فرآیند محور[1] و آماری (فوکاتزیو و همکاران، ۲۰۰۱).

روش‌های درجه‌بندی از طریق مقیاس‌های عددی نشان‌دهنده میزان آسیب‌پذیری کم یا زیاد است، بیان می‌شود. معمولاً نتایج برای سیاست‌گذاری و مدیریت مناطق وسیعی به‌کار برده می‌شوند. در مقابل، روش‌های آماری فرآیند محور مقادیر معینی (مانند مناطق دارای مقادیر ویژه کیفیت بالای آب) را تولید می‌کند. با استفاده از این روش‌ها، نتایج معمولاً به‌دلیل نبود داده ها 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[2] و مقدار تغذیه بنا شده است (زاپوروچک و ایتون، ۱۹۹٦؛ ایتون و زاپوروچک، ۱۹۹۷). کاربرد این مفهوم زمانی مهم است که داده‌های زمین‌شناسی به وسیله مفاهیم زیست‌محیطی، اقتصادی و سیاسی به‌دست آمده 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، ۱۹۹٦؛ کیبل، ۱۹۹۸). فرآیندهای 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).

---

[1] . Process-based

[2] . Vadose zone: ناحیه‌ای است درون زمین بین سطح ایستابی که در آن حفرات توسط آب پر نشده است.

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 (استیبر 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؛ پییرس 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 آلایش است تا براساس آن نوع کاربری زمین تعیین و مدیریت اراضی شهری به خوبی انجام شود (زاپوروچک و ایتون، ۱۹۹٦). پس از آن اطلاعات جمع‌آوری شده در خلال فرآیند 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، فرآیند 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 تغییریافته 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 به کار 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[1] و ناهمسان‌گردی[2]).
- نوع عوارض اولیه و ثانویه زمین‌شناسی.
- حضور، گسترش و ساختار ناپیوستگی‌ها.
- حضور آب‌های زیرزمینی.
- عمق آب‌های زیرزمینی.
- فراوانی نسبی آب‌های زیرزمینی.

[1] . Heterogeneity
[2] . Anisotropism

- 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 ابنیه 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[1].
  - مکان‌های قدیمی کارخانجات صنعتی.
  - تأسیسات تولید برق.
  - ایستگاه‌های پمپ بنزین و گازوئیل.
  - تأسیسات خشکشویی.
  - پالایشگاه‌ها.
  - سایر منابع ناشناخته و یا شناخته‌شده.

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).

[1] . Brownfild sites

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

- عمق آب زیرزمینی: هرچقدر سطح آب زیرزمینی 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 آب زیرزمینی بسته به شرایط زمین‌شناسی، آب و هوا و تأثیرات انسانی شدیداً متغیر است. با توجه به تأثیر فعالیت‌های انسانی مناظر طبیعی در مناطق شهری به شدت 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 می‌شود. 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 به صورت محلی یا ناحیه‌ای به شدت 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 جابجایی 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 ۱۰-۱ امتیاز، ماسه‌ها و شن‌ها معمولاً امتیاز ۱۰ را به خود اختصاص می‌دهند. رسوبات رسی دست‌نخورده و طبیعی با ضخامت (معمولاً بین ٦-۳ 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 تحت تأثیر 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 خلل‌وفرج بیشتر از خاک‌ها و رسوبات طبیعی شده و در طی زمان، این مواد حفره‌دار از آب اشباع می‌شوند. 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.

جدول ۷–۱) زمینه آسیب‌پذیری زمین‌شناسی و سیستم درجه‌بندی (اقتباس از کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

Parameter Identification Number	Parameter Description	Rating Strength
1	*Depth to groundwater*	
	<3 m (10 ft) below the ground surface	10
	3–10 m (10–30 ft)	5
	>10 m	1
2	*Composition, areal extent, and thickness of soil units in the unsaturated zone*	
	Thick and extensive sequence of sand and gravel	10
	Interbedded sands and clay deposits	5
	Thick and extensive sequence of clay	1
3	*Composition, areal extent, and thickness of saturated zone*	
	Thick and extensive sequence of sand and gravel	10
	Interbedded sands and clay deposits	5
	Thick and extensive sequence of clay	1
4	*Occurrence and relative abundance of groundwater*	
	25% or less likelihood before encountering an confining layer	10
	25%–74% likelihood	5
	>75% likelihood	1
5	*Area of groundwater recharge*	
	Significant area of recharge	10
	Moderate area of recharge	5
	Not a significant area of recharge	1
6	*Areas of groundwater discharge*	
	Significant area of recharge	10
	Moderate area of recharge	5
	Not a significant area of recharge	1
7	*Travel time and distance to point of potential exposure*	
	<10 years	10
	10–25 years	5
	>25 years	1
8	*Source of potable water*	
	Current source of potable water	10
	Potential source of potable water	5
	Not a potential source of potable water	1

- 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.

- 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 محدود کننده 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 سیلتی 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 به‌کار برد. 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 ناپیوستگی‌ها 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.

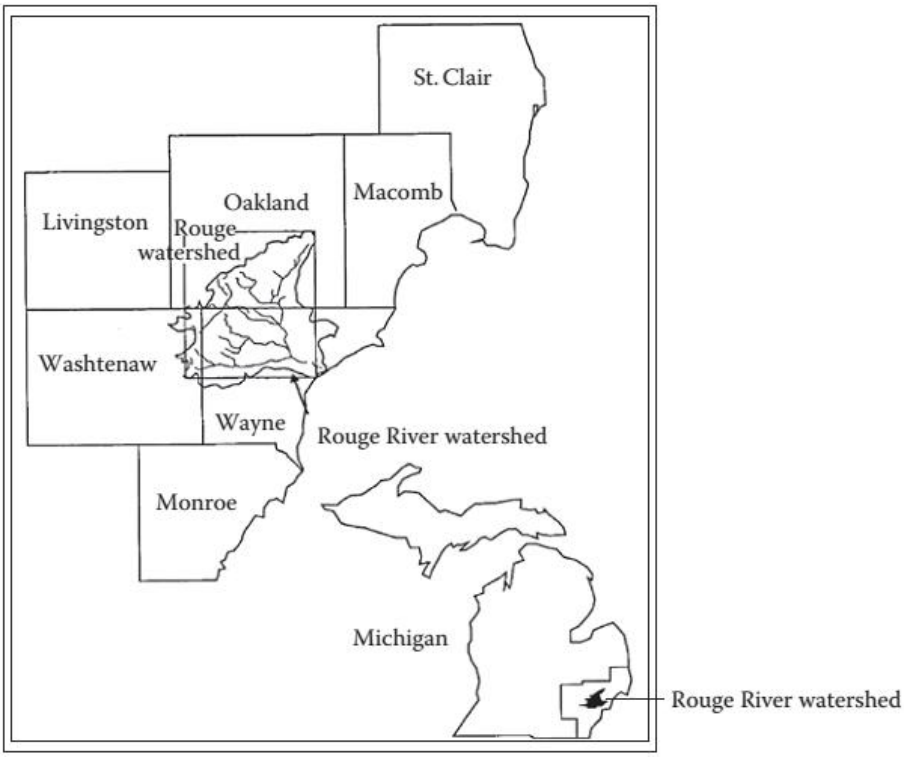
-برآورد تأثیر انسان در این عامل نیز مهم است. به‌عنوان مثال، اگر آب‌های زیرزمینی به‌عنوان منبع آب آشامیدنی به کار رفته و از طریق چاه‌ها پمپاژ شوند، مقدار زمان حضور آلاینده‌ها در آبخوان می‌تواند بسیار کاهش یابد.

- 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 کرده است 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 امریکا است.



شکل ۷–۱) حوضه آبریز روج‌ریور.

حوضه آبریز روج‌ریور دارای بیش از ۲۰۰ کیلومتر آبراهه، زیرشاخه، دریاچه و تالاب بوده و منطقه‌ای به وسعت ۱۲۰۰ کیلومترمربع را دربرمی‌گیرد (مورای و راجرز، ۱۹۹۹a). حوضه آبریز مخروط افکنه‌ای شامل تمام یا بخشی از مناطق ٤٧ گانه شهرداری در سه شهر منطقه است. بیش از ٦٦ درصد آبریز توسعه یافته 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 (کاوفمن و همکاران، ۲۰۰۳).

زمین‌شناسی نزدیک سطح زمین حوضه عمدتاً شامل رسوبات یخچالی، رسوبات دریاچه یخچالی و رسوبات رودخانه‌ای روج‌ریور است. رسوبات یخچالی عموماً بیشتر از ٦١ متر ضخامت، رسوبات دریاچه یخچالی به ندرت تا بیش از نه متر ضخامت و رسوبات رودخانه‌ای معمولاً کمتر از سه متر ضخامت دارند (فررند، ۱۹۸۲؛ ۱۹۸۸؛

راجرز، ۱۹۹٦؛ ۱۹۹۷c). واحدهای زمین‌شناسی مشخص و نقشه‌برداری‌شده حوضه آبریز روج‌ریور عبارتند از:

- چهار واحد متفاوت یخرُفتی[1] شامل یخرُفت فورت وین، یخرُفت دفاینس درونی، یخرُفت دفاینس بیرونی و یخرُفت 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 روج ریور.
- یخرُفت خاکی یا یخرُفت پایه مرکب از رس زیر کل آبریز و زیر واحدهای ذکرشده در بالا.
- رسوب ماسه و شن در زیر یخرُفت 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، سنگ‌آهک و ماسه‌سنگ با سن پالئوزوئیک که در زیر واحدهای سست قرار دارد.

نقشه زمین‌شناسی و ستون چینه‌شناسی آبریز به‌ترتیب در شکل‌های ٦-۲۰ و ٦-۲۱ 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.

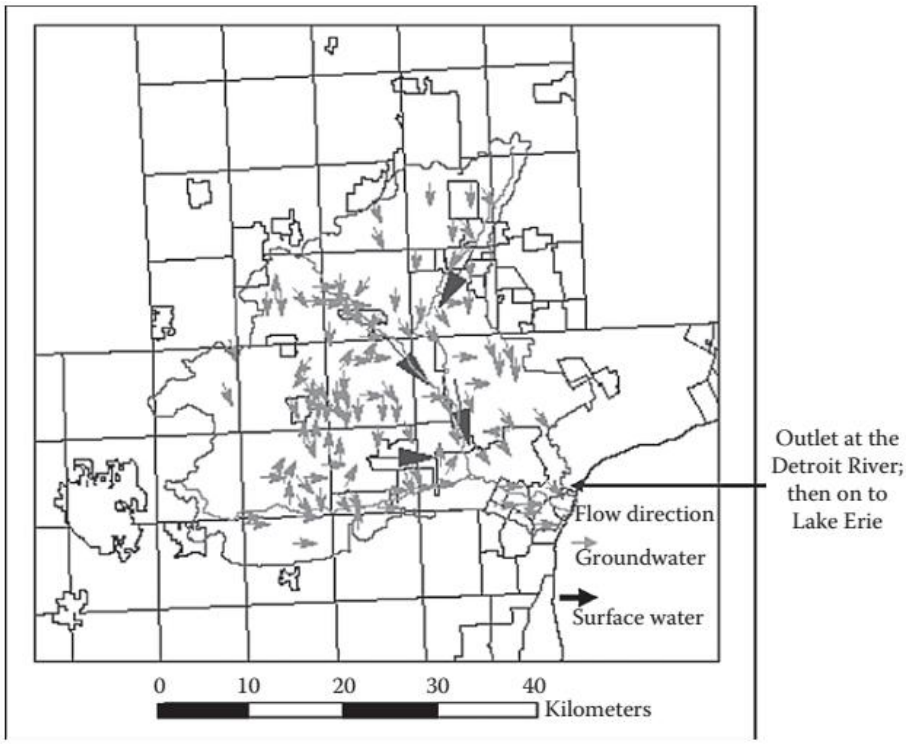
[1] . Moraine

تأثیرات انسانی در حوضه آبریز روج ریور 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 محیط زیست میشیگان[1]، ۲۰۰۸). حوضه آبریز همچنین تحت مطالعات شدید علمی و بازیابی قرار دارد. این منطقه به‌عنوان منطقه تحت‌نظر شناخته شده (هارتیگ و زارول، ۱۹۹۱) و به‌عنوان منبع مهم آلودگی گریت لیک سفلی ذکر شده است (مورای و بونا، ۱۹۹۳). رسوبات روج ریور حضور مقدار زیادی فلزات سنگین و بی‌فنیل‌های پلی‌کلرونیدی (PCBs) را در خود نشان داده است (دپارتمان منابع طبیعی میشیگان[2]، ۱۹۸۸؛ مورای، ۱۹۹٦؛ مورای و همکاران، ۱۹۹۹).

آب‌های زیرزمینی کم عمق روج‌ریور به‌صورت 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 روج‌ریور دارای شاخه‌های فرعی بوده و آب‌های زیرزمینی وارد شده به صورت جریان پایه را تغذیه می‌کند. با توجه به زمین‌شناسی این منطقه، واحد رس زیرین (یخرُفت خاکی) که به‌طور کامل در زیر آبریز قرار دارد، بسیار ضخیم است (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 رس زیرین، لایه محدودکننده بسیار مؤثری است و این نوع سازندها متداول نیستند. اغلب مناطق دیگر آمریکای شمالی در خلال پلئیستوسن یخچالی بوده و دارای یخرُفت‌های 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

[1] . Michigan Department of Environmental Quality
[2] . Michigan Department of Natural Resources

(راجرز و مورای، ۱۹۹۷؛ راجرز، ۱۹۹۷a). شکل ۷-۲ این روند تخلیه را براساس الگوهای جریان آبریز آب‌های سطحی و زیرزمینی نشان می‌دهد.



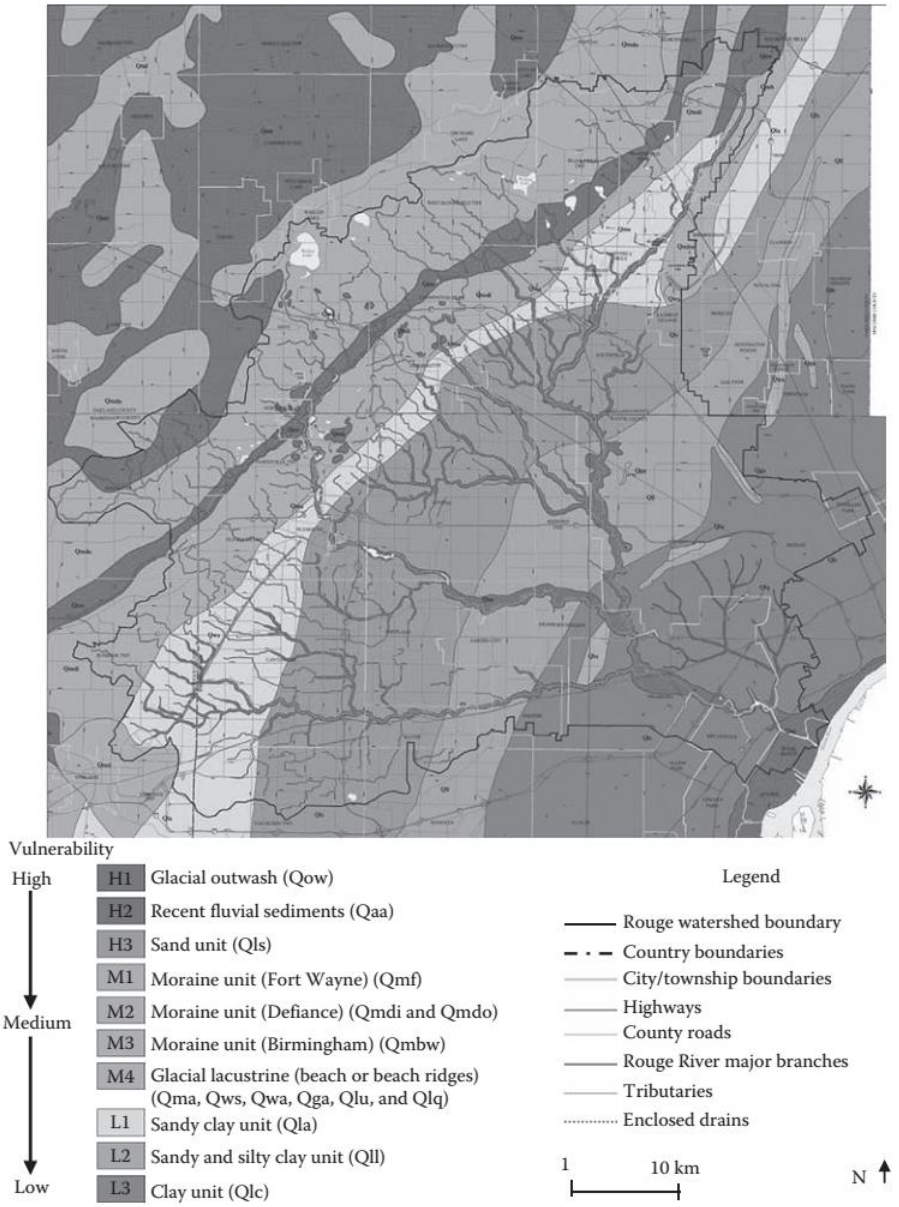
شکل ۷-۲) الگوهای جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی در حوضه آبریز روج‌ریور (مورای و همکاران، ۲۰۰۶).

با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی، آب‌زمین‌شناسی و تأثیرات انسانی، زمینه آسیب‌پذیری مورد بررسی قرار گرفته و در جدول ۷-۲ ارائه شده است (تغییریافته 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 روج‌ریور و در نهایت 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.

جدول ۷-۲) درجه‌بندی آسیب‌پذیری روج‌ریور (اقتباس از کاوفمن و همکاران، ۲۰۱۱).

	Parameters and Vulnerability Scoring									
Geologic Unit	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**Total Score**	**Rank**
Outwash unit	10	9	9	10	10	10	10	10	79	1
Recent fluvial	10	6	6	8	10	10	10	10	70	2
Main sand unit	10	9	9	10	10	10	6	1	65	3
Other sand units	10	8	8	10	10	10	6	1	63	4
Moraine unit 1	5	7	7	8	8	10	5	10	60	5
Moraine unit 2	5	6	6	7	7	10	5	10	56	6
Moraine unit 3	5	5	5	7	7	10	5	10	54	7
Moraine unit 4	5	4	4	6	6	10	5	10	50	8
Sandy clay unit	4	3	3	4	1	1	3	1	20	9
Sandy and silty clay unit	4	2	2	4	1	1	3	1	18	10
Upper clay unit	3	1	1	3	1	1	2	1	13	11
Lower clay unit (ground moraine unit)	1	1	1	1	1	1	1	1	8	12

واحدهای شسته‌شده، 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 یخرُفتی 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 شسته‌شده، رودخانه‌ای جدید و ماسه‌ای نقش ندارند.



شکل ۷-۳) نقشه آسیب‌پذیری حوضه آبریز روج‌ریور (راجرز، ۱۹۹۶c).

و در نهایت واحدها 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 یادشده می‌توان تهیه کرد (راجرز، ۱۹۹۷c).

۷-٤ 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 موید این مسئله باشد که مکان‌های قرار گرفته در مناطق پرخطر احتمال آلایش 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 شده‌اند. هر دو نقطه در آبریز روج ریور قرار داشته و فقط ۱۱ کیلومتر از هم فاصله دارند. بنابراین سایت یک:

۱) بسیار بزرگتر از سایت دو است (تقریباً دو برابر).

۲) دارای تاریخچه فعالیت‌های صنعتی سنگین است.

۳) 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.

۷-٤-۱ سایت با آسیب‌پذیری کم

سایت یک که دارای کارخانجات سنگین قدیمی بوده است در منطقه‌ای تقریباً ١٦ 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 زیست محیطی 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 به‌صورت مناطق آسیب دیده در شکل ۷-٤ نشان داده شده‌اند عبارتند از: ۱) زباله‌های سطحی.

۲) یک مخزن هوایی

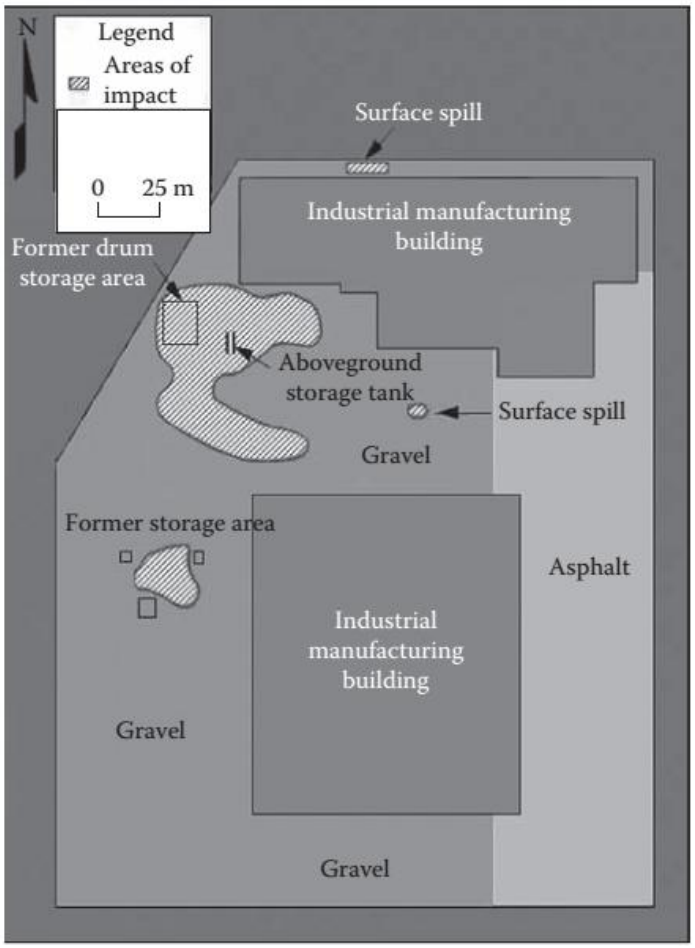
۳) نشت و ریزش مایعات خطرناک که در مناطق غربی منطقه نگهداری می‌شوند.

٤) سایر منابع آلایش در خلال مرحله برآورد منطقه شناسایی شده‌اند اما مقدار آلایندگی آن‌ها زیاد نبوده و نیاز به اقدامات بعدی نداشته‌اند.

شش نوع شرایط زیست محیطی 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[1] صورت گرفته مشاهده شده است.



شکل ۷-٤) نقشه عمومی سایت یک که در منطقه کم‌خطر قرار دارد.

[1] . Dense Nonaqueous Phase Liquids (DNAPLs)

- 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.

مراحل اولیه مطالعاتی فاز دو شامل حفر ۱۵ چاهک در مناطقی با بیشترین آلایش بوده است. در نتیجه این عمل موارد زیر انجام گرفته است:

۱) تعیین ویژگی‌های زمین‌شناسی زیرسطحی منطقه.

۲) تشخیص آلاینده‌هایی که مظنون به رها شدن در محیط بوده‌اند.

۳) تعیین مقدار بزرگی آلایش موجود از طریق جمع‌آوری و آنالیز بدترین نمونه‌ها از هر نقطه مظنون به آلودگی.

نتایج حضور آلایش در پنج نقطه از شش شرایط زیست‌محیطی تعیین شده در فاز یک مطالعات زیست محیطی تعیین شده بودند، تأیید شده است. 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 آلایش نتوانست از طریق حفر سه چاهک در خاک مناطقی که آلودگی‌ها در آن‌ها بسیار مشاهده شده بود و همچنین آنالیز شش نمونه خاک، تعیین و تأیید شود.

سه فاز مطالعاتی دیگر نیز جهت تعیین طبیعت و گسترش آلایش صورت گرفت. در خلال فازهای اخیر، ٤٠ چاهک دیگر از خاک‌ها حفر و شش چاه پایشی[1] جهت برآورد وجود مقدار آب‌های زیرزمینی و تعیین جهت جریان آن‌ها تعبیه شد. در بسیاری از چاهک‌های حفرشده در خاک بیش از دو نمونه آنالیز شد تا مقدار گسترش عمقی نیز بررسی شود. بیشترین عمق حفرشده ٤/٦ متر زیر سطح منطقه آلوده بوده است 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

[1] . Monitoring well

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 رس بنتونیتی 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 پلئیستوسن قرار دارد که منطقه را در بیش از ۱۲۰۰۰ سال پیش دربرگرفته است. اسناد قدیمی زمین‌شناسی منطقه بیانگر رسوب یخرُفتی 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 ١٦ کیلومتر از سایت فاصله دارد.
- آلایش به فراتر از منطقه گسترش نیافته است.

انواع آلاینده‌های تشخیص داده شده در کارخانه عبارتند از:

- ترکیبات آلی فرّار[1] شامل:
  - مایعات حلال غیرآبی سنگین یا چگال (DNAPLs) که معمولاً به حلال‌های کلرینیتی جهت پاک‌کردن گریس و سطوح فلزی ، نسبت داده می‌شوند.

[1] . Volatile Organic Compounds (VOCs)

- مایعات حلال غیرآبی سبک[1] (LNAPLs) که به‌عنوان حلّال، تینرهای نقاشی و محصولات پاک‌کننده استفاده شده و متشکله متداول سوخت‌هایی مانند گازوئیل هستند.
- هیدروکربنات‌های حلقوی چندهسته‌ای[2] که عمدتاً به‌عنوان نرم کننده و روان کننده، 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 به کار می‌روند.

لیستی از ترکیبات خاص شیمیایی، بیشترین غلظت تعیین شده آن‌ها و مقدار محاسبه‌شده قابل بازیافت آلایندگی 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 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 ۵٤۰۰ متر مکعب (معادل ۱۰۰۰۰ تن) خاک حفر و به مکان‌های دفن حمل شد. کل هرینه بررسی و بازیابی حدود ٤۰۰ هزار دلار آمریکا شد. به‌عبارت دیگر به ازای هر کیلوگرم آلودگی مبلغ ۳٦۲ دلار جهت بازیابی آن هزینه شد.

پس از بازیابی مورد تأیید مراجع مربوطه پایان کار اعلام شده و جمله "نیازی به اقدام دیگری نیست[3]" 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.

[1] . Light Nonaqueous Phase Liquids (LNAPLs)
[2] . Polynuclear aromatic hydrocarbons (PNAs or PAHs)
[3] . No Further Action Required

جدول ۷–۳) انواع آلاینده‌ها، غلظت و مقدار بازیابی‌شده 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-dichoroethene	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.

۷-٤-۲ 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:

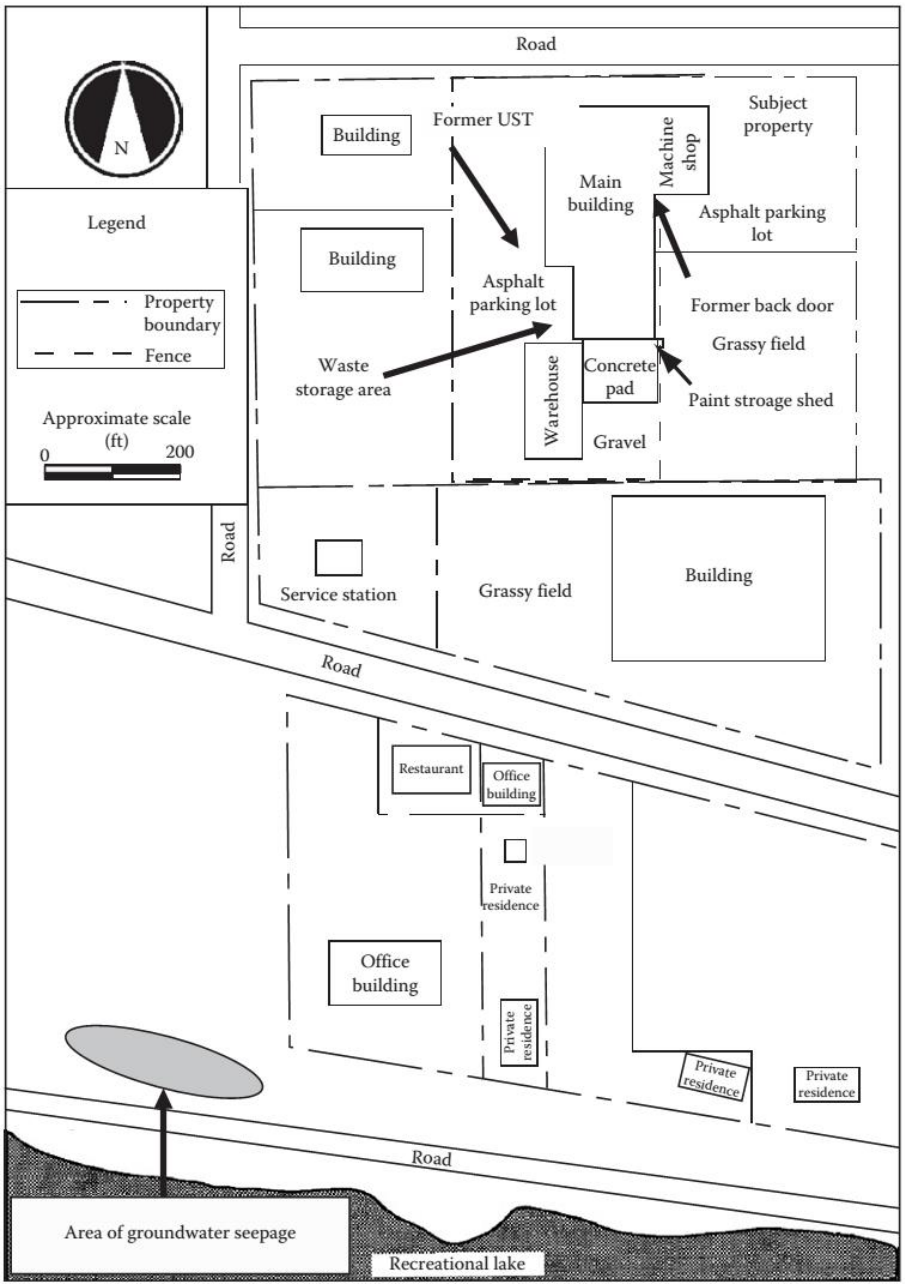
- دو انبار قدیمی نگهداری مواد شیمیایی: شواهد لکه‌های سطحی بیانگر برخی نشت‌های مایعات در یکی از انبارها که در زمین بایر مجاور انبار رنگ‌های باطله قرار دارد، می‌باشد. انبار نگهداری مواد باطله دیگری نیز در سنگفرش آسفالتی لکه‌دار که به شدت ترک خورده و شکسته شده است، قرار دارد.
- مخزن قدیمی زیرزمینی: این مخزن زیرزمینی زمانی گازوئیل را نگهداری می‌کرد و به‌عنوان یک منطقه با شرایط زیست محیطی خاص مشخص شده است به این دلیل که در خلال جابجایی:

۱) توسط فردی حرفه‌ای مورد بررسی قرار نگرفته است.
۲) 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[1] 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 آلایندگی 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] . Main Building



شکل ۷–۵) نقشه سایت دو در منطقه با آسیب‌پذیری بالا (راجرز، ۱۹۹۲).

مطالعات زیرسطحی اولیه شامل حفر ۱۲ چاهک در خاک مناطقی با بالاترین درجه آلایش احتمالی است. این عملیات با همان اهداف مشابه سایت یک صورت گرفت، یعنی تعیین ویژگی‌های زمین‌شناسی، تعیین آلاینده‌ها و آنالیز نامناسب‌ترین نمونه‌ها. نتایج موید 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 ۳/۷–۳ 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 آلایش 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 به کار 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 پلئیستوسن که ۱۲۰۰۰ سال پیش در منطقه حاکم بوده است. زمین‌شناسی ویژه زیر سایت مورد نظر شامل ماسه از سطح تا عمق ۹/۸–۷/۹ متری است. در زیر این رسوب ماسه‌ای سواحل دریاچه یخچالی یک یخرُفت خاکی که تا

عمق حداقل ۲۷ متر دارد، دیده می‌شود. نوشتجات قدیمی زمین‌شناسی منطقه بیانگر آن است که رسوب یخرُفت خاکی تا عمق ٦۰ 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 یخرُفت زیر آبخوان نیز به‌منظور بررسی حضور آلاینده‌ها و برخی پارامترهای هیدرولیکی (مانند قابلیت رسانایی هیدرولیکی و اندازه دانه‌ها) صورت گرفت تا چگونگی تأثیر رسوب یخرُفتی خاکی به‌عنوان لایه نگهدارنده برآورد شده 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 نبوده است، حفر شد تا گسترش افقی و ضخامت رسوب یخرُفتی خاکی مورد بازبینی قرار گیرد.

سایر اطلاعات زمین‌شناسی و فنی مرتبط با آنالیز سایت به شرح زیر است:

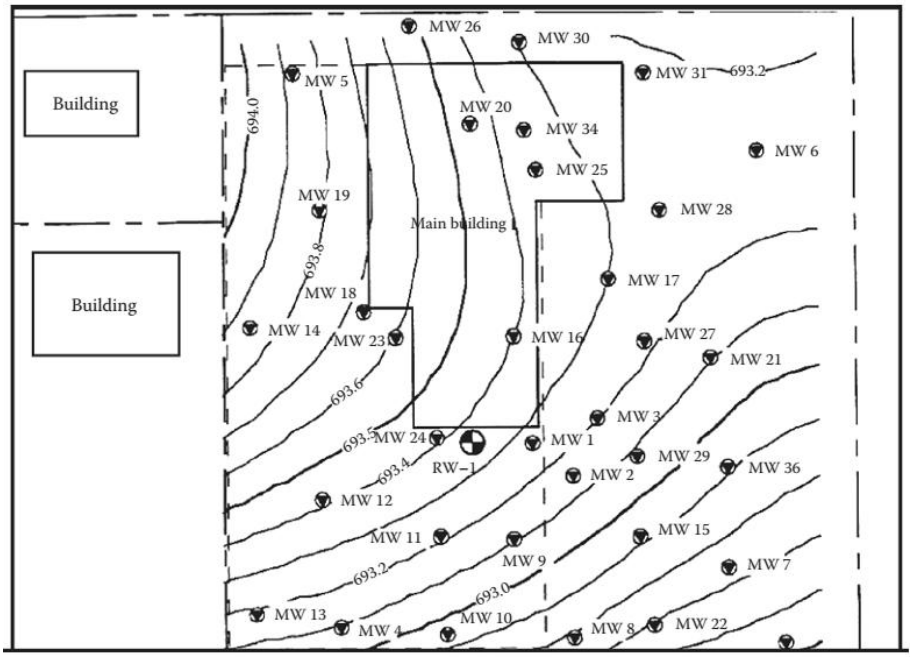
- مجرای فاضلاب که در فواصل بسیار نزدیک قرار دارند با هیچ نوع آلودگی در تماس نبوده‌اند.
- زهکشی آب‌های سطحی از طریق مجاری فاضلاب کنترل می‌شود.
- تأسیسات زیرزمینی در مناطق آلوده قرار ندارد.
- آب قابل حمل از طریق شهرداری تأمین و منابع آب بیش از ٢٤ کیلومتر از سایت فاصله دارند. با این وجود، برخی ساکنین از آب‌های زیرزمینی درون استفاده شده به منظور آبیاری فضای سبز، استفاده می‌کنند.
- آلایش به فراتر از منطقه و در حدود ٣٦٥ متر گسترش یافته است.

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 به سمت شرق و کمی به سمت شمال محدوده جریان پیدا می‌کنند اما در بخش جنوبی محدوده این جریان به سمت جنوب‌شرق است.

شکل ۷-٦ الگوی جریان آب‌های زیرزمینی درون سایت را نشان می‌دهد. انواع آلاینده‌های تعیین‌شده عبارتند از:

- VOCs که شامل:
- DNAPLs – که معمولاً به‌عنوان حلال‌های کلرینیتی مورداستفاده در گریس‌زدایی و پاک‌کردن سطوح به کار برده می‌شوند.
- LNAPLs – که به‌عنوان حلال، تینرهای نقاشی و محصولات پاک کننده استفاده شده و متشکله متداول سوخت‌هایی مانند گازوئیل هستند.
- PCBs که در ابزارآلات الکتریکی کاربرد دارد.

ترکیبات خاص شیمیایی، بیشترین غلظت تعیین‌شده آن‌ها و مقدار محاسبه‌شده قابل بازیافت در جدول ۷-٤ ارائه شده است. خاک‌های بسیار نفوذپذیر و عمق کم آب‌های زیرزمینی (آسیب‌پذیری زمین‌شناسی) موجب شده تا VOCs به‌سرعت تراوش کرده و به درون این آب‌ها نفوذ کند.



شکل ۷-٦) الگوی جریان آب در سایت دو.

جدول ۷-٤) 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-dichoroethene	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

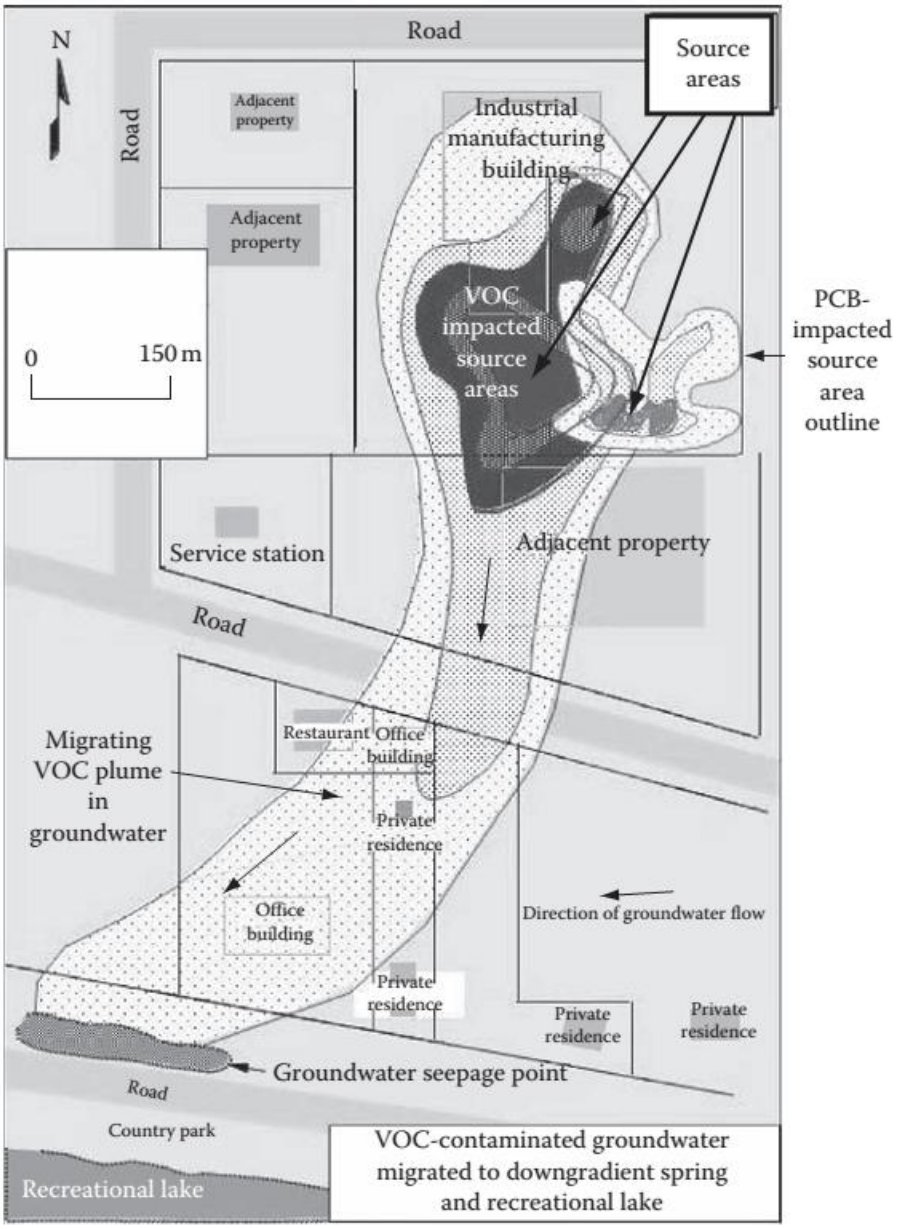
[a] µg/L = microgram per liter.

علاوه براین، سرعت بالای تراوش آب‌های زیرزمینی موجب گسترش یک زبانه از VOC به وسعت یک سوم مایل به سمت 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 تائید به‌عنوان روش مناسب جهت دفع آلودگی و بازیافت محیط انتخاب شد به این دلیل که عمق آلایش این خاک‌ها کمتر از یک متر بوده است و این خاک‌ها در زیر هیچ ساختمانی قرار نداشته و بنابراین اجازه می‌دهد به سرعت کار انجام شود بدون اینکه خللی در فعالیت‌های روزمره کارخانه ایجاد کند و در ضمن این روش کمترین هزینه را نیز تحمیل می‌کند.

حفاری همچنین روش مناسبی برای بازیافت خاک‌های آلوده به VOCs نیز محسوب می‌شود. این روش به این دلیل انتخاب شد که مقادیر قابل توجهی از خاک‌های متأثر از آلاینده‌های VOCs یافت نشد چرا که خاک‌های ماسه‌ای سایت دارای ظرفیت کمی در نگهداری این نوع آلایندها هستند. در نتیجه، VOCs تمایل به مهاجرت به اعماق از

طریق ستون خاک و آلوده‌کردن آب‌های زیرزمینی بدون جذب‌شدن در ذرات خاک دارند.



شکل ۷–۷) نقشه مهاجرت آلودگی در سایت دو.

روش بازیابی انتخاب‌شده برای آب‌های زیرزمینی تزریق هوا و استخراج بخارات خاک از سفره آب زیرزمینی 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 جابجایی 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.

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 ته نشست 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 شده است به گونه‌ای که ترکیب آبخوان به‌تدریج به سمت عمق ریزدانه‌تر شده و قابلیت رسانایی هیدرولیکی به تناسب آن کاهش پیدا می‌کند. علاوه بر این، کم بودن آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی به‌دلیل محدود بودن آلودگی در بخش بالایی آبخوان نیز مانع از آلودگی آبخوان شده است. با توجه به دلیل اخیر، تزریق هوا عملی‌ترین روش بازیافت در منطقه است.

زمان بین مطالعات فاز یک و اتمام آن حدود ۱٤/٥ 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) ٦/٦ 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.

فرآیند بازیافت از طریق مراجع مربوطه با آنالیز نمونه‌های خاک مناطق بازیافت‌شده مورد تأیید قرار گرفته است. علاوه بر این، چهار نمونه تکراری آب زیرزمینی 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 به وجود آورد، این فرآیند 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 کف پوش 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 به‌منظور محدودکردن فعالیت‌های صنعتی صورت گیرد.

۷-٤-۳ 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 آلایش 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 آلایش آسیب‌پذیر است به این دلیل که:

۱) دارای نفوذپذیری بالای خاک است که به آلاینده‌ها اجازه تراوش و نفوذ به درون آب‌های زیرزمینی را می‌دهد.

۲) زبانه‌های آلاینده در ماسه که دارای سرعت بالای زهکش آبخوان است جابجا 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

جابجا 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 موردمطالعه را به‌طور خلاصه نشان می‌دهد. در نظر گرفته شود که درجه‌بندی نقشه آسیب‌پذیری به دقت این هزینه‌های بازیافت را پیش‌بینی کرده است.

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

- هزینه‌های پالایش شامل مجموع هزینه‌های مطالعات و بازیابی است.

۷–۵ خلاصه و نتیجه‌گیری

آسیب‌پذیری و مخاطرات طبیعی دو مفهوم متفاوت هستند. مخاطرات طبیعی بالقوه قادر به ایجاد تأثیرات منفی شدید بر جامعه، اقتصاد و محیط زیست 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 قرارگرفتن توسط مخاطره است. به عبارت دیگر، توانایی 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، به‌هم‌ریختگی 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 ٦/٦ و زمان لرزش حدود ۱۲ ثانیه بود، حدود ۳٤ 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 تقریبا همه خانه‌های مسکونی و اداری خراب شد، به غیر از "مسجد جامع شهر بم "که استوار ماند و این نیز به‌دلیل 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 زمین لرزه‌ها 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.

بنابر این 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 به وفور 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 به کار 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 محیط زیست ما است. دو مکانی که به‌عنوان مثال در این فصل به آن‌ها پرداخته شد در هر جایی از این کره زمین می‌توانند به وفور 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 آلایش 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 آلایش، نقش محوری در توسعه شهری ایفا کنند.

از آنجایی که که شرایط زمین‌شناسی به تنهایی مسئول ایجاد مخاطرات زیست‌محیطی و هزینه‌های بازیابی و پالایش محیط نیست. شیمی فیزیک آلاینده‌ها خود عاملی اساسی است.

۷-٦ خودآزمایی فصل ۷

۱- کدامیک جزو عوامل کنترل‌کننده شدت آلودگی آب‌های زیرزمینی به شمار 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) آلایش در منطقه‌ای که منبع تغذیه آب‌های زیرزمینی است

د) زمان زیاد مسافرت و فاصله طولانی تا منطقه برونزد آب

٤- نقشه‌برداری مناطق آسیب‌پذیر زمین‌شناسی به چند گروه تقسیم می‌شود و یک مورد را به دلخواه توضیح دهید.

۵- عمق آب‌های زیرزمینی چه نقشی در آسیب‌پذیری یک منطقه دارد؟

٦- زمان مسافرت آب و فاصله تا منطقه برونزد چه نقشی در آسیب‌پذیری یک منطقه دارد؟

۷- به چه دلایلی سایتی که در منطقه‌ای با زمین‌شناسی ماسه قرار دارد نسبت به منطقه‌ای که دارای زمین‌شناسی رس است، آسیب‌پذیرتر است؟

منابع فارسی

جعفر غیومیان، محمود فاطمی عقدا، ام‌البنین 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”neau souterrians. 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 (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 Porgramme (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.

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 profi le 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: PBullock and PJGregory (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 geolgoical maps: a cost-benefit analysis. In: Marinos, 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.

Dobrovonly, 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., Hötzl, 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, Envoirnment 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 scientifially 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.Spreinger-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 S€udschwarzwaldes. 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 infitration 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 brownfild 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, brownfilds, 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 infl uence 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., Youonas, 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 Offie. 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 G eology. 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 mappedd 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 homeowne rs: managing ground instability on the Isle of Wight. Isle of Wight Centre for Coasta l 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 Geologia 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, Louisana: 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 infitration 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, brownfild 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 (S1), 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 f€ur 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. Offi ce 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 Scientifi c 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. Forurenset 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 Scientifi 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 signifi cance. Lead in the human environment. National Research Council, National Academy of Sciences.Nation 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.

SENATSVERVALTUNG fur STADTENTWICKLUNG und UMWELTSCHUTZ. 1990. Oekologisches Planungsinstrument Berlin Naturhaus-halt/Umwelt. (Berlin: Senatsvervaltung 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, Envoirnment 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 Nationas, International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminologyeng20home.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.

کلید سوالات تستی

فصل اول:

۱. د ۲. الف ۳. ب ٤. ج

فصل دوم:

۱. ج ۲. ب

فصل سوم:

۷. ب ۸. د

فصل چهارم:

۷.ب ۸. د ۹. الف ۱۰. الف ۱۱. ج ۱۲. الف

فصل پنجم:

۱. ب ۲. الف ۳. الف ٤. ب ۵. ب

فصل ششم:

۲. د ٤. الف ۵. ب

فصل هفتم:

۱. ج ۲. الف ۳. ج