INSO
20151

1st.Edition

2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۰۱۵۱
چاپ اول
۱۳۹۴

کیفیت آب – انتخاب روش‌هایی برای ارزیابی آبخوان – آیین کار

Water quality-Selection of methods for assessing groundwater or aquifer sensitivity and vulnerability-Guideline

ICS:13.060.10

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج ، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸- ۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.org

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: http://www.isiri.org

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد، به تصویب رسیده باشند.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به‌عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/ یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه-بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمونگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را براساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« کیفیت آب – انتخاب روش‌هایی برای ارزیابی آبخوان – آیین کار»

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
شریعتی، فاطمه (دکتری آلودگی دریا)	عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی لاهیجان
دبیر:	
صادقی‌پور شیجانی، معصومه (فوق لیسانس محیط زیست)	رئیس اداره هماهنگی و تدوین استاندارد- اداره کل استاندارد گیلان
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
آبادیان، محمدرضا (لیسانس شیمی)	مدیر عامل- شرکت پویندگان بهبود کیفیت
ابراهیمی، سیده مریم (فوق لیسانس صنایع غذایی)	مسئول کنترل کیفیت - شرکت کامپوره خزر
اسلامی، محمد صادق (فوق لیسانس مهندسی محیط زیست)	کارشناس مسئول- معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی گیلان
باقرزاده، آسان (دکتری محیط زیست و توسعه پایدار)	مدیر دفتر محیط زیست و کیفیت منابع آب - شرکت آب منطقه استان گیلان
پورحسن گیسمی، ریحانه (فوق لیسانس شیمی آلی)	کارشناس- شرکت نگین آسای معتمد
زلفی نژاد،کامران (فوق لیسانس شیلات)	کارشناس - مرکز ملی تحقیقات آبزیان استان گیلان
طاهری، مینو (فوق لیسانس مهندسی شیمی- گرایش محیط زیست)	مسئول کنترل کیفیت- کارخانه داروسازی کاوش فرایند شیمی

اعضاء : (به ترتیب حروف الفبائی)	**سمت و/ یا محل اشتغال:**
فرحناک شهرستانی، لحیا (فوق لیسانس شیمی آلی)	کارشناس تدوین- اداره کل استاندارد گیلان
فلاح اسکندرپور، افشین (فوق لیسانس بیولوژی دریا)	کارشناس- مدیریت پسماند شهرداری رشت
قماش‌پسند، مریم (دانشجوی دکتری شیمی)	مدرس- دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان
موقر حسنی، فرحناز (لیسانس مهندسی مکانیک)	کارشناس - شرکت آب و فاضلاب شهری استان گیلان
میر روشندل، اعظم السادات (فوق لیسانس شیمی تجزیه)	رئیس اداره امور آزمایشگاه‌ها- اداره کل حفاظت محیط زیست استان گیلان
نجدی، یاسمن (فوق لیسانس شیمی آلی)	مسئول کنترل کیفیت- شرکت کارتن پلاست نفیس

ویراستار:	**سمت و/ یا محل اشتغال:**
سیروسی، آریادات (لیسانس متالورژی)	کارشناس مسئول صنایع فلزی- اداره کل استاندارد گیلان

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
پیش گفتار	ز
مقدمه	ح
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۲
۳ اصطلاحات و تعاریف	۲
۴ تشریح روش‌ها	۳
۴-۱ مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی و روش‌های نمره‌دهی	۳
۴-۱-۲ مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی بدون نمره‌دهی یا رتبه‌بندی	۴
۴-۱-۳ مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی با نمره‌دهی و/ یا رتبه‌بندی	۴
۴-۱-۴ نمره‌دهی بدون در نظر گرفتن مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی	۵
۴-۲ مدل‌های شبیه‌سازی برپایهٔ پردازش	۵
۴-۲-۲ مدل‌های منطقهٔ ریشه	۶
۴-۲-۳ مدل‌های منطقهٔ غیراشباع	۷
۴-۲-۴ مدل‌های منطقه- اشباع	۸
۴-۲-۵ محدودیت‌ها	۸
۴-۳ روش‌های آماری	۹
۴-۳-۱ آنالیز تفکیکی(تحلیل مبین)	۹
۴-۳-۲ تجزیه و تحلیل رگرسیون	۹
۴-۳-۳ زمین آمار(ژئواستاتیک)	۱۰
۵ روش کار	۱۰
۵-۴ تعیین قابلیت دسترسی و کیفیت داده‌های موردنیاز برای ارزیابی منطقه	۱۱
کتابنامه	۱۷

پیش گفتار

استاندارد " کیفیت آب – انتخاب روش‌هایی برای ارزیابی آبخوان – آئین‌کار " که پیش‌نویس آن درکمیسیون های مربوط تهیه و تدوین شده است، در یکصدوچهارمین اجلاس کمیتهٔ ملی استاندارد ملی محیط زیست مورخ ۹۴/۱۲/۴ تصویب شد، این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود

استانداردهای ملی ایران براساس استاندارد شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ASTM D6030:2015, Standard Guide for Selection of Methods for Assessing Groundwater or Aquifer Sensitivity and Vulnerability

مقدمه

مطلوبیت و اعتبار روش‌های شرح داده شده در این استاندارد به موارد زیر بستگی دارد:

- در دسترس بودن، ماهیت و کیفیت داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی؛

- مهارت، دانش و درایت افرادی که روش را انتخاب می‌کنند؛

- اندازهٔ مکان یا ناحیهٔ تحت بررسی؛

- مقیاس مورد نظر خروجی نقشهٔ حاصله.

از آنجا که این روش‌ها به‌طور مستمر در حال توسعه و اصلاح هستند، بهتراست نتایج با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد.این تکنیک‌ها در هر دوحالت ارائه مقدار عددی یاعدم ارائهٔ مقدار عددی، مبین رتبه‌بندی نسبی و ارزیابی حساسیت یا آسیب‌پذیری هستند. با این حال، آسیب پذیری یا حساسیت نسبی پایین برای یک منطقه، مانع احتمال آلودگی نمی‌شود و هم‌چنین میزان حساسیت یا آسیب پذیری بالا لزوماً نشان‌گر آلودگی آب زیرزمینی یا یک آبخوان نمی‌باشد.

دربسیاری از روش‌های ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، نیاز به اطلاعات در موردخاک وجود دارد و برای برخی انواع از آلاینده‌های بالقوهٔ آب زیرزمینی، خاک مهم‌ترین عامل مؤثر بر حرکت و کاهش آلاینده‌ها از سطح زمین به آب زیرزمینی است. مساحت به‌طور نسبی بزرگ از ذرات رس در اکثر خاک‌ها و مواد آلی خاک‌ها، محل‌هایی را برای کندی حرکت و تجزیهٔآلاینده‌ها فراهم می‌کند. در این استاندارد، خاک‌هایی مورد نظر هستند که مواد آلی در آن متراکم نشده‌اند و ذرات معدنی جامد آنها ناشی از عوامل جوی است و از طریق فعالیت بیولوژیکی مشخص می‌شوند. به‌طور معمول این موارد شامل مواد متراکم نشده است که در عمق ۲m تا ۳m یا بیشتر تشکیل می‌شوند.

در بسیاری از مناطق، ممکن است ضخامت‌های قابل توجهی از مواد متراکم نشده در زیر خاک تشکیل شود. در این لایه‌ها به‌طور معمول کندی حرکت، تخریب و سایر فرآیندهایی که غلظت مواد شیمیایی را کم می‌کنند کمتر از افق‌های بالاتر خاک است. این مواد زیرین ممکن است نتیجهٔ فرآیندهای رسوبی باشد یا می‌تواند از طریق فرآیندهای ناشی از عوامل جوی فقط در اثر فعالیت بیولوژیکی محدودشده، در محل تشکیل شوند. بنابراین، هنگام گردآوری داده‌های لازم برای ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی، تشخیص بین ناحیهٔ خاکی و رسوبات زیرین و شناخت تفاوت قابل توجه هیدرولیکی و خواص تضعیف کننده بین دو ناحیه مهم است.

کیفیت آب – انتخاب روش‌هایی برای ارزیابی آبخوان – آئین‌کار

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

۱-۱ هدف ازتدوین این استاندارد، ارائهٔ اطلاعات مورد نیاز به منظور انتخاب یک یا چند روش برای ارزیابی حساسیت آب‌های زیرزمینی یا آبخوان‌ها و آسیب‌پذیری آنها نسبت به آلاینده‌های خاص که منجر به افت کیفیت آنها می‌شود، است.

۱-۲ استاندارد درموارد زیر کاربرد دارد:

۱-۲-۱ ارائهٔ روش‌های ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری برای اهداف مدیریت کاربری زمین، مدیریت کاربری آب، حفاظت از آب‌های‌زیرزمینی، قوانین دولتی و آموزش؛

۱-۲-۲ در این استاندارد، روش‌های استفاده شده برای تعیین چگونگی جمع‌آوری، ثبت و محاسبهٔ داده‌ها، به عنوان استاندارد صنعتی در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، آنها نمایان‌گر ارقام مهمی هستند که به‌طورکلی بهتراست، حفظ شوند.

۱-۲-۳ روش‌های ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری می‌تواند در مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی که آبخوان در آنها به‌طور خاص شناسایی شده و/یا نشده‌اند، به‌کار رود. با این حال برخی از روش‌ها بهترین راه حل برای ارزیابی آب‌زیرزمینی درون آبخوان است و برخی دیگر از روش‌ها آب زیرزمینی بالای آبخوان یا مناطقی که آبخوان شناسایی نشده را ارزیابی می‌کند.

۱-۲-۴ سیستم‌های محیطی بین دانه‌ای[1]، شامل رسوب‌های آبرفتی[2] و پلکانی[3]، درهٔ پراز آبخوان، آبرفت یخچالی[4]، ماسه سنگ[5] و رسوب‌های متراکم نشدهٔ دشت ساحلی[6] است که از طریق جریان بین دانه‌ای متما متما یز می‌شوند، بنابراین به‌طورکلی نشان می‌دهد آب‌های زیرزمینی در محیط‌های دارای شکستگی سرعت پایین‌تر و مسیرهای قابل پیش‌بینی‌تر دارند. این موقعیت‌ها پاسخ‌گوی ارزیابی از طریق روش‌های بیان شده در این استاندارد هستند.

۱-۳ این استاندارد در موارد زیر کاربرد ندارد:

۱-۳-۱ روش‌های مورد استفاده به تنوع مواد، هدف از تهیهٔ داده‌ها، مطالعات برای هدف تخصصی یا هر گونه ملاحظات برای اهداف کاربر را دربرنمی‌گیرد و متناسب با این ملاحظات، افزایش یا کاهش ارقام مهم داده‌های گزارش شده، امری عادی است؛

1- Intergranular
2- Alluvium
3- Terrace
4- Glacial outwash
5- Sandstones
6-Unconsolidated coastal plain

۱-۳-۲ نتایج به‌دست آمده از این استاندارد در روش‌های تحلیلی برای طراحی مهندسی.

یادآوری۱- این استاندارد تعاریفی از روش‌های عمومی و نمونه‌های منتخب در این روش‌ها را ترکیب می‌کند، اما از یک روش ویژه دفاع نمی کند.

یادآوری ۲- کلیهٔ مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده باید مطابق با استاندارد ASTM D6026 گرد شوند.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آنها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب میشوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ASTM D653 Terminology Relating to Soil, Rock, and ContainedFluids

2-2 ASTM D5447 Guide for Application of a Groundwater Flow Model to a Site-Specific Problem

2-3 ASTM D5490 Guide for Comparing Groundwater Flow Model to a Site-Specific

2-4 ASTM D5880 Guide for Subsurface Flow and Transport Modeling

2-5 ASTM D6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف به کار رفته در استاندارد ASTM D653 ، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار رفته است:

۱-۳

منطقهٔ آب زیرزمینی

groundwater region

منطقهٔ وسیع با زمین‌شناسی و هیدرولوژی به‌طورنسبی یکنواخت که حرکت آب زیرزمینی را کنترل می‌کند.

۲-۳

مجموعهٔ هیدروژئولوژیکی

hydrogeologic setting

توصیفی مرکب از ویژگی‌های عمدهٔ زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی که برحرکت آب زیرزمینی به داخل، سراسر و بیرون منطقه اثر گذاشته و آن را کنترل می کند(به منبع شمارهٔ [۴]کتابنامه مراجعه شود).

۳-۳

حساسیت

sensitivity

در آب‌های زیرزمینی، قابلیت آلوده‌شدن آب زیرزمینی یا یک آبخوان براساس ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی ذاتی است. حساسیت به روش‌های کاربری زمین یا ویژگی‌های آلاینده بستگی ندارد.حساسیت معادل با اصطلاح "آسیب‌پذیری ذاتی آب‌های زیرزمینی" است(به منبع شمارهٔ[۲]کتابنامه مراجعه شود).

ویژگی‌های هیدروژئولوژیک شامل خواص طبیعی خاک منطقه، منطقهٔ غیراشباع و منطقهٔ اشباع است.

۴-۳

آسیب‌پذیری

vulnerability

در آب‌های زیرزمینی، سهولت نسبی است که یک آلاینده بتواند به یک آبخوان یا آب زیرزمینی مورد نظر تحت مجموعه‌ای از روش‌های کاربری زمین، ویژگی آلاینده و وضعیت حساسیت منتقل شود. آسیب‌پذیری معادل با "آسیب پذیری خاص آب زیرزمینی " است.

۴ تشریح روش‌ها

۴-۱ مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی و روش‌های نمره‌دهی

این گروه از روش‌ها شامل نقشه‌برداری زمین‌شناسی، ارزشیابی و نمره‌دهی به ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی به‌منظور تهیهٔ یک نقشهٔ حساسیت مرکب و/یا نقشهٔ آسیب‌پذیری مرکب است. محدودهٔ روش‌ها از توصیف صرف مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی تا نمره‌دهی عددی است . آنها می‌توانند شامل اطلاعات توصیفی و/یا اطلاعات کمی باشند و نقشه‌ها می‌تواند به عنوان یک "پالایه" برای حذف واحدهای هیدروژئولوژیکی خاص از بررسی بیشتر به‌کارروند یا نواحی حساس را برای مطالعهٔ بیشتر انتخاب کنند.

۴-۱-۱ مفهوم ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به‌طورنسبی جدید و هنوز در حال توسعه است. بنابراین به سبب تفاوت در اهداف و گوناگونی به‌کارگیری پایگاه داده‌ها در مجموعه‌های مختلف هیدروژئولوژیکی توسط محققین مختلف، روش‌های ارائه شده متفاوت است. این روش‌ها به سه گروه تقسیم شده‌اند:

- ارزیابی‌های بدون نمره‌دهی یا رتبه‌بندی مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی؛

- ارزیابی‌هایی که درآن اطلاعات مجموعهٔ هیدروژئولوژیکی با رتبه‌بندی یا نمره‌دهی فاکتورهای هیدروژئولوژیکی ترکیب می‌شود؛

- ارزیابی‌هایی که با استفاده از روش‌های نمره‌دهی به‌کارگرفته شده بدون توجه به مجموعهٔ هیدروژئولوژیکی.

گروه‌های ارزیابی منحصربه فرد نیستند، اما اشتراک دارند. هیچ کدام از این روش‌ها نتایج مطلق ارائه نمی دهند. تجزیه‌وتحلیل حساسیت می‌تواند به عنوان پایه‌ای به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری از طریق افزودن اطلاعات بر امکان وجود منابع آلاینده نقطه‌ای وغیرنقطه‌ای استفاده شوند.

۴-۱-۲ مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی بدون نمره‌دهی یا رتبه‌بندی

نقشه‌برداری هیدروژئولوژیکی به‌منظور تهیهٔ اطلاعات حساسیت آبخوان‌ها در بسیاری موارد استفاده شده است. به‌طورکلی این زیرگروه از روش‌ها شامل اطلاعات ارائه شده به عنوان نقشه‌های هیدروژئولوژیکی مرکب است که برای اهداف متعدد می‌تواند استفاده شود. نقشه‌ها به‌طور جداگانه برای تصمیم‌گیری‌های مختلف در مورد کاربری زمین یا به عنوان پایهٔ ارزیابی‌های حساسیت آب‌های زیرزمینی و آبخوان‌ها می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. هرچند نقشه‌های اقتباسی از حساسیت آب‌های زیرزمینی و آبخوان‌ها می‌تواند تهیه شود، اما امکان استفاده از نقشهٔ زمین‌شناسی یا هیدروژئولوژیکی برای ارزیابی حساسیت وجود دارد. در مجموعه‌هایی که داده‌های کمی وجود ندارد، نقشه‌های هیدروژئولوژیکی می‌توانند نتایج یکسانی را با همان سطح از اطمینان، به عنوان روش‌های نمره‌دهی فراهم کند. جزئیات روش ارزیابی بدون نمره‌دهی یا رتبه‌بندی مجموعه‌های هیدروژئولوژیک در منبع شماره[۳] کتابنامه تشریح شده است.

۴-۱-۲-۱ ارزیابی‌های حساسیت مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی بدون نمره‌دهی یا رتبه‌بندی می‌تواند برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی یا آبخوان با همپوشانی اطلاعات منابع آلایندهٔ احتمالی نقطه‌ای یا غیرنقطه‌ای انجام شود. برای مثال، نقشهٔ حساسیت موجود در منبع شمارهٔ[۳] کتابنامه، ازطریق تلفیق مجموعه نقشه‌ها با عنوان "کاربری‌های سرزمین موثر بر مدیریت آب‌زیرزمینی" (به منبع شمارهٔ [۴] کتابنامه مراجعه شود) برای انجام ارزیابی‌های آسیب‌پذیری مکان‌های خاص استفاده شده است.

۴-۱-۳ مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی با نمره‌دهی و/ یا رتبه‌بندی

این گروه شامل روش‌هایی است که حساسیت آب‌های زیرزمینی یا آبخوان‌ها را درداخل یا درمیان مجموعه‌های مختلف هیدروژئولوژیکی که دارای پتانسیل مختلف نفوذ آلودگی به آب زیرزمینی یا آبخوان‌ها هستند را ازطریق به‌کارگیری معیارهای خاص رتبه‌بندی و نمره‌دهی مجموعه‌ها ارزیابی می‌کند. به‌طور معمول ارزیابی بر اساس دو یا چند معیار هیدرولوژیکی است. برای مثال، بافت مواد و عمق آبخوان پارامترهایی هستند که اغلب در تعیین معیار، استفاده‌می‌شوند(به منبع شماره [۵]تا[۱۰] کتابنامه مراجعه شود). معیار یک‌بار تعیین، سپس می‌تواند رتبه‌بندی و/ یا نمره‌دهی شود.

۴-۱-۳-۱ ارزیابی آسیب‌پذیری ازطریق امکان آلودگی به‌وسیلهٔ منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای آلودگی

آسیب‌پذیری ازطریق امکان آلودگی ناشی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای آلودگی (برای مثال، نشت مخازن، تولیدکنندگان پسماند، محل‌های دفن زباله و محل‌های رهاشدهٔ پسماندهای خطرناک) از طریق نقشه‌برداری موقعیت آنها روی نقشهٔ حساسیت ارزیابی می‌شود (برای مثال، محل‌های متعدد تولید پسماند در مناطق با حساسیت پایین، اگر همهٔ عوامل دیگر یکسان باشند، منجر به رتبهٔ آسیب‌پذیری پایین خواهد شد). به‌ویژه این روش نقشه‌برداری برای ارزیابی آسیب‌پذیری یک ناحیهٔ بزرگ مناسب است. با این حال، می‌تواند برای مناطق هدف کوچک‌تر که ممکن است به سبب نگرانی‌های خاص به تحقیقات بیشتری نیاز داشته باشد، مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال، شفر[1](به منبع شمارهٔ[۱۱] کتابنامه مراجعه شود) نقشهٔ آسیب‌پذیری آبخوان منطقه‌ای را براساس تجزیه و تحلیل حساسیت، تهیه کرد. بگوات[2] و برگ[3] (به منبع شمارهٔ[۱۲] کتابنامه مراجعه شود)حساسیت آبخوان را با توجه به عمق آن و ویژگی‌های مواد زمین‌شناسی تعریف کردند. نقشهٔ حساسیت با اطلاعاتی برای نشان دادن توزیع محل‌های منبع پسماند در مناطق تعیین شده برحسب کیلومترمربع است، ترکیب شد. آبخوان‌هایی درون یا نزدیک سطح مناطق بسیار آسیب‌پذیر وجود دارد و دارای منابع بزرگ احتمالی آلودگی نقطه‌ای از نوع آلاینده‌های متحرک می‌باشند. مناطق با آسیب‌پذیری پایین، آب زیرزمینی عمیق قراردارد یا فاقد آبخوان هستند و دارای منابع معدود آلودگی با آلاینده‌های به طور نسبی ساکن هستند. این اطلاعات آسیب‌پذیری، به‌منظور برنامه‌ریزی حفاظت از آب‌زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت.

۴-۱-۴ نمره‌دهی بدون در نظر گرفتن مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی

این دسته شامل روش‌هایی است که از رتبه‌بندی کیفی یا نمره‌دهی کمی به‌وسیلهٔ اطلاعات هیدروژئولوژیکی، بدون تقسیم‌بندی جزئی مناطق برمبنای مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی، استفاده می‌کند. روش‌ها صرفنظر از موقعیت، می‌تواند منجر به نتایج یکسان شود. این روش‌ها برای کاربردهایی که نیاز به یک رویکرد سازگار با مناطق بسیاربزرگ دارد، مفید است. با این حال، این روش‌ها می‌تواند پیچیده و ممکن است نیازمند آماده‌سازی داده‌های زیاد غیرضروری باشد. علاوه بر این، از آنجایی که انتخاب معیار و رتبه‌بندی نظری است، نمره‌دهی نهایی می‌تواند گمراه کننده باشد.

۴-۱-۴-۱ این روش‌ها یک محل یا منطقه را براساس یک رتبه‌بندی یا نمرهٔ عددی حاصل از اطلاعات هیدروژئولوژیکی طبقه‌بندی می‌کند، بدون توجه به مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی مختلف که ممکن است در منطقهٔ نقشه‌برداری شده وجود داشته باشد. نمرات از معادله‌ای براساس معیارهای فرض شده مربوط به مناطق مختلف جغرافیایی و شرایط مختلف هیدروژئولوژیکی محاسبه می‌شوند(به منابع [۱]،[۱۳] و [۱۴] مراجعه شود). برای مثال، در یک منطقه (به منبع شماره [۱۵]مراجعه شود)، عملیات حفاری و نقشه‌های ارزیابی خاک، برای آماده‌سازی نقشه‌ها براساس هدایت هیدرولیکی که از درصد و ضخامت سطح مواد آلی

1- Shafer
2- Bhagwat
3- Berg

گرفته شده، استفاده شد. نقشهٔ پتانسیل‌های تضعیف خاک انتخاب شده در مناطق دیگر(به منبع شماره[۱۶] کتابنامه مراجعه شود) براساس عمق خاک، نفوذپذیری، کلاس زهکشی، حجم ماده آلی، pH و بافت تهیه شد.

۴-۲ مدل‌های شبیه‌سازی برپایهٔ پردازش

این روش‌ها از انواع مدل‌ها برای ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری آب زیرزمینی استفاده می‌کنند، هریک از این‌ها، ترکیبی از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی را شبیه‌سازی می‌کنند که حرکت آب و مواد شیمیایی را از سطح زمین ازسرتاسر منطقهٔ اشباع نشده به منطقهٔ اشباع شده کنترل می‌کنند. این فرآیندها برحسب معادلاتی که بطور تئوری یا تجربی استخراج شده‌اند، فرموله می‌شوند. تکنیک‌های تحلیلی یا عددی برای حل معادلات، اغلب در یک برنامهٔ کامپیوتری مورد استفاده قرار می‌گیرد. جواب‌ها، شکل سرعت‌های پیش‌بینی‌شده از حرکت آب یا مواد شیمیایی را به صورت تابعی از مکان و زمان ارائه می‌دهد. مدل‌ها تا حد زیادی در درجهٔ پیچیدگی ارتباط فرآیندهای واقعی، میزان داده‌های مورد نیاز، مقیاس موردنظر کاربردی و دامنهٔ شبیه‌سازی شده تفاوت دارند. معیار بعدی که به‌دلخواه انتخاب می‌شود، طبقه‌بندی مدل‌های مختلف شبیه‌سازی است.

سه نوع طبقه‌بندی به شرح زیر وجود دارد:

- مدل‌های منطقهٔ ریشه[1] که حرکت آب ومواد شیمیایی از بخشی از منطقهٔ غیراشباع تحت تاثیر پوشش گیاهی، شبیه‌سازی می‌شود؛

- مدل‌های منطقهٔ غیراشباع[2]، که انتقال را از طریق ضخامت کل منطقهٔ غیراشباع شبیه‌سازی می‌کند؛

- مدل‌های منطقهٔ اشباع[3] که با فرآیندهای اتفاق افتاده در سطح زیرین آب زیرزمینی سروکار دارد.

در هر یک از طبقه‌بندی‌ها، طیف گسترده‌ای از پیچیدگی مدل می‌تواند با مدل‌های طبقه‌بندی های مختلف هم‌پوشانی داشته‌باشد. مدل‌های منطقهٔ غیراشباع و منطقهٔ ریشه در منابع شمارهٔ[۱۷]، [۱۸]و [۱۹] فهرست شده‌است.

۴-۲-۱ پیچیدگی مدل، نیازمندی‌های داده‌ها و مقیاس کاربرد بسیاربه هم وابسته هستند و بهتراست با هم، به صورت پیوسته درنظر گرفته شوند. هنگامی‌که پیچیدگی مدل‌ها افزایش یابند، انتظار می رود که صحت نتایج پیش‌بینی شده آنها بهبود یابد. با این حال، افزایش متناسب درمقدار داده‌های موردنیاز از طریق مدل‌ها نیز وجود خواهد داشت. اغلب فقدان داده‌های لازم ممکن است مقیاسی که در مدل‌های پیچیده به‌کاررود را محدود کند و بسیاری از رویه‌های مدل مزرعه مقیاس[4]، محدود می‌شوند.

1-Root-Zone Models
2-Unsaturated Zone Models
3-Saturated Zone Models
4-Field-scale

یادآوری - اصطلاح " مزرعه مقیاس "همان‌گونه‌که در این بند به‌کاررفته، بـه انـدازهٔ معمـولی مزرعـهٔ کشـاورزی اشـاره دارد. به‌طورکلی، این مساحت ۶۵ هکتار یا کمتر و تک محصولی است. " مقیاس محلی [۱]"به اندازهٔ منطقه‌ای بـا مقیـاس ۰۰۰ ۱:۲۴ چهارگوش یا مساحتی از یک بخش محلی اشاره می‌کند، درحالی‌که " مقیاس منطقه‌ای[۲] " بـه منطقـه‌ای از چنـدین بخـش در یک یا چند استان اشاره می‌کند.

۴-۲-۲ مدل‌های منطقهٔ ریشه

به‌طورکلی مدل‌ها در این طبقه‌بندی به‌منظور ارزیابی و مقایسهٔ اثرات بهترین شیوه‌های مدیریت[۳] زراعی برای مدیریت، حفاظت و افزایش کیفیت شیمیایی منابع آب سطحی – زیرزمینی در صنعت کشاورزی توسعه داده شده‌اند. این مدل‌های شبیه‌سازی پیش‌بینی نسبی از سرانجام و انتقال رسوبات، نمک‌ها، آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیایی و پسماندهای آلی به‌کاررفته را در سیستم‌های تولید محصول فراهم می‌کند. به‌دلیل اختصاصی‌بودن این مدل‌ها، به طورکلی آنها را در مقیاس مزرعهٔ کشاورزی واحد[۴] به‌کـار مـی‌برنـد، اگرچـه مـی‌تواننـد بـرای مدیریت واقعی به صورت تلفیقی با نقشه‌های حساسیت منطقه‌ای استفاده شوند.

۴-۲-۲-۱ اجزای مدل شامل هیدرولوژی محل(آب و هوا، رواناب سطحی ، جریان برگشتی، نفوذ، تبخیر و تعرق، جریان زیرسطحی جانبی و ذوب برف)، فرسایش (آب و باد)، چرخهٔ نیتروژن و فسفر (ریزش در رواناب، شستشو، انتقال رسوبات، معدنی کردن، عدم تحرک و افزایش محصول از طریـق دنیتریفیکاسـیون و تثبیـت نیتروژن)، انتقال و سرانجام حشره‌کش، عوامل مدیریت محصـول (رشـد، رانـدمان، چـرخش، کشـت و زرع، زهکشی،آبیاری، کود دادن، ایجاد نهر، چسبناک‌کردن و مدیریت پسماندها) و موضـوعات اقتصـادی هسـتند. برخی از مدل‌ها شامل مقادیر پیش فرضی است که اجازهٔ به‌کارگیری در برنامه‌ریزی عمومی را مـی‌دهنـد، بـا این حال، کاربر ممکن است مقادیر خاص مکان را برای بهبود کاربرد نتیجه در محل مورد نظـر فـراهم کنـد. اغلب این مدل‌های منطقهٔ ریشه، مقدار هر آلایندهٔ نگران‌کننده‌ای را که از انتهای منطقـهٔ ریشـه یـا منطقـهٔ غیراشباع آزاد می‌شود، محاسبه می کند، اما برای واکنش‌های در منطقهٔ اشباع به‌کار نمی‌رود.

۴-۲-۲-۲ نمونه‌هایی از مدل‌ها در این طبقه‌بندی، در منابع شمارهٔ [۲۰]،[۲۱]،[۲۲]،[۲۳]،[۲۴] تشریح شده است.

۴-۲-۳ مدل‌های منطقهٔ غیراشباع

در این طبقه‌بندی مدل‌ها قادر به شبیه‌سازی فرآیندها در سراسر منطقهٔ غیراشباع هستند. برخی از مدل‌ها به‌طورخاص برای کاربردهای کشاورزی، بقیه به‌منظورمسائل عمومی انتقال آب و آلاینده‌ها توسـعه یافتـه‌انـد. به‌طورکلی، این مدل‌ها عملیات کامل‌تری از فرآیند فیزیکی حرکت آب نسبت بـه مـدل‌هـای منطقـهٔ ریشـه،

5- Local scale
1- Regional scale
2- Best management practices(BMPs)
3- Single farm field

۴- معادلهٔ ریچارد روشی است برای بررسی نفوذ آب در خاک با استفاده از مقیاس‌سازی

پیشنهاد می‌دهد. اغلب، حرکت آب از منطقهٔ غیراشباع از طریق معادلهٔ ریچارد[1] و معادلهٔ پراکندگی حرکت افقی توده‌ای از هوا در اثر تغییردما[2] برای شرح انتقال املاح بکار گرفته شده، توصیف می‌شود. معادلات در یک یا دو بعد با ملاحظات اولیه مفروض برای حرکت عمودی آب حل می‌شوند. برخی مدل‌ها قادر به حل مسائل سه بعدی هستند و بقیه می‌توانند برای حرکت اشباع و غیراشباع آب و موادشیمیایی محاسبه شود. اطلاعات اضافی برای حل معادلهٔ پیچیده‌تر موردنیاز است. برای مثال، اطلاعات ارتباطات بین آب و خاک (به عبارتی، ماند -رطوبت و داده‌های نفوذپذیری نسبی) ممکن است مورد نیاز باشد.

۴-۲-۳-۱ ممکن است دو مشکل مقیاسی به‌کارگیری این مدل‌ها را محدودکند:

- فقدان داده‌های لازم بیان شده در معادلهٔ ریچارد؛

- مشکل بودن حل دقیق معادلهٔریچارد برای نواحی بزرگ.

به طور معمول، کاربرد این معادلات به مناطق کوچک‌تر یا معادل اندازهٔ یک پهنهٔ واحد محدود می‌شود. این مدل‌ها ممکن است نیازمند تخصص خاص برای اجراء و تفسیر نتایج باشد. نمونه‌هایی از این مدل‌ها در منابع شمارهٔ [۲۵]، [۲۶]، [۲۷]،[۲۸]،[۲۹] کتابنامه تشریح شده است. اغلب این مدل‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری استفاده می‌شود، اگرچه آنها می‌توانند برای تجزیه و تحلیل حساسیت نیز مورد استفاده قرار گیرند. خلاصه‌ای از مدل‌های متداول مورد استفاده در منطقهٔ غیراشباع و داده‌های مورد نیازشان در منبع شمارهٔ [۳۰] تشریح شده‌است.

۴-۲-۴ مدل‌های منطقه- اشباع

این طبقه‌بندی از مدل‌ها، به فرآیندهایی در منطقهٔ اشباع محدود می‌شود. اثرات فرآیندهای منطقهٔ غیراشباع مانند تغذیه و تبخیر و تعرق اغلب در روش تک کاربرد[3] گنجانده می‌شود. اغلب برای مطالعات حساسیت آب زرزمینی، یک الگوی جریان آب زیرزمینی مانند روش موجود در منبع شمارهٔ[۳۱]به‌کارگرفته می‌شود. میزان آبدهی، وضعیت سیستم جریانی، فعل و انفعالات آب سطحی و زیرزمینی و سرعت تغذیه می‌تواند از طریق تجزیه و تحلیل مدل شناسایی شود. برای مثال، نواحی شبیه‌سازی شده با سرعت تغذیهٔ بالا می‌تواند، به شدت به آلودگی آب زیرزمینی حساس باشد. به طورکلی نیازهای داده‌ها نسبت به طبقه‌بندی قبلی از دقت کمتری برخورداراست، زیرا در معادلهٔ ریچارد کاربرد ندارد و انتقال مواد شیمیایی را اغلب نشان نمی‌دهد.

۴-۲-۴-۱ توصیه می‌شود مدل‌سازی آب زیرزمینی برای ارزیابی حساسیت در یک محل خاص مطابق با روش‌های شرح داده شده در استانداردهای ASTM D5447 و ASTM D5490 باشد. به‌طور معمول، اولویت به‌کارگیری این مدل‌ها برای شبیه‌سازی دو یا سه بعدی جریان آب زیرزمینی افقی است. این مدل‌ها مزایای قابلیت اجرا در مقیاس‌های بزرگ (تجزیه و تحلیل منطقه‌ای)را دارند. تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری

4- Richard’s Equation

5-Advection dispersion

1- Ad hoc fashion

می‌تواند با استفاده از یک مدل انتقال مواد محلول مانند موارد تشریح شده در منابع شمارهٔ [۳۲]، [۳۳]و [۳۴] به همراه استاندارد ASTM D5880 انجام شود.

۴-۲-۵ محدودیت‌ها

مدل‌های شبیه‌سازی برپایهٔ فرآیند، ابزار قدرتمند و مفیدی هستند، اما ممکن است کاربردشان پیچیده باشد. عدم قطعیت در نتایج شبیه‌سازی، می‌تواند ناشی از دو علت عمده باشد:

- خطاهای مربوط به مدل؛

- خطاهای مربوط به داده‌ها.

خطاهای مدل‌سازی می‌تواند ناشی از درک نامناسب از مشکل یا کاربرد نادرست یک مدل دربخشی از مدل‌سازی باشد. هم‌چنین نگرانی از ضعف مدل انتخاب شده به‌منظور ارائه دقیق و کامل فرآیندهای سیستم وجوددارد. این موضوع اغلب، یک سوال از مقیاس است، درحالی‌که برخی از فرآیندهای بسیاردقیق می‌تواند در مقیاس برپایهٔ تجربهٔ آزمایشگاهی نشان داده شود، اما تلفیق جزییات برای مدل در مقیاس منطقه‌ای عملی نخواهد بود. نمونهٔ چنین فرآیندی، جریان آب ترجیحی از طریق خاک، مانند جریان از طریق ریشه یا کرم چاله‌ها، ترک‌های خشکی و محل اتصال شاخه و ساقه است. اهمیت این فرآیند بطورگسترده شناخته شده است، اما به دلیل نیاز به مقادیر زیادی از داده‌های دقیق برای درک این مطلب، به‌طور قطعی به‌منظور محاسبه برای مدل‌های در مقیاس بزرگ عملی نیست. در آبخوان‌های کارست[۱] یا سنگ شکسته، سرعت، آشفتگی، شرایط مرزی، مسیرهای جریان و انتقال آلاینده نمی‌تواند با استفاده از رویه رایج دردسترس (به منبع شمارهٔ [۳۵] کتابنامه مراجعه شود)، به‌طور مناسب شبیه‌سازی شود.

۴-۲-۵-۱ داده‌ها به‌منظور تعیین مقادیر پارامتر و ارزیابی درستی نتایج مدل، به‌کارمی‌روند. قابلیت دسترسی به داده‌های نمایان‌گر، یک محدودیت بزرگ در کاربرد مدل محسوب می‌شود. داده‌های نمایان‌گر مبین کیفیت (همهٔ روش‌های جمع‌آوری داده‌ها تا اندازه‌ای خطا دارند) و کمیت داده‌های موردنیاز برای ارائه مناسب در منطقه مدل‌سازی شده هستند. رویکردهای مختلف برای مطالعهٔ آثار عدم قطعیت مقادیر پارامتر نتایج شبیه‌سازی شده وجود دارد. یک روش، استفاده از تکنیک‌های تشریح شده در منبع شمارهٔ[۳۷] کتابنامه و تعداد زیادی از مدل‌های شبیه‌سازی برای ارزیابی پارامترها است. کارسل[۲] وهمکاران (به منبع شمارهٔ[۳۷] کتابنامه مراجعه شود) از طریق یک غربالگری ساده، برای ارزیابی پتانسیل آبشویی با استفاده از PRZM[۳] در رابطه با پراکندگی‌های احتمالی خواص خاک، از این رویکرد استفاده کردند.

۴-۳ روش‌های آماری

۱- به پدیدهٔ خوردگی و انحلال توده سنگ‌های کربناته(آهک و دولومیت) کارست گفته می‌شود.

1-karst

2- Carsel

۲- روشی است برای ارزیابی تهدیدهای ناشی از آبشویی حشره‌کش‌ها برای آب زیرزمینی

3- Pesticide Root Zone Model(PRZM)

روش‌های آماری، ارتباط احتمال آلودگی با عوامل خاک، هیدرولوژئولوژیک یا فرهنگی را برای پراکندگی‌های آلاینده که محاسبه یا شناخته شده، تخمین می‌زند. روش‌های آماری شامل آنالیز تفکیکی، تجزیه تحلیل رگرسیون و ارزیابی مکانی هستند. این تکنیک‌ها برای هر مجموعهٔ هیدرولوژئولوژیکی که توسعه داده شده‌اند، خاص است. کاربرد موفق این روش‌ها در سایر محل‌ها اثبات نشده است.

۴-۳-۱ آنالیز تفکیکی(تحلیل مبین)[1]

نمونه‌ای از کاربرد آنالیز تفکیکی برای آلاینده‌های آب زیرزمینی از آفت‌کش‌ها در منبع شمارهٔ [۳۸] کتابنامه تشریح شده است.

۴-۳-۲ تجزیه و تحلیل رگرسیون

اگر داده‌های کافی در دسترس باشد، فراوانی وقوع آلاینده خاص بیش از حد مشخص شده می‌تواند بااستفاده از تکنیک‌های ضرب-رگرسیون تخمین زده شود. برای مثال، بررسی غلظت‌های علف‌کش تریبازین[2] و نیترات که در منابع شمارهٔ [۳۹]و[۴۰] تشریح شده‌است. در این مطالعه، متغیرهای مستقل توصیف خاک، هیدرولیک و خواص چاه به‌منظور پیش‌بینی غلظت علف‌کش تریبازین و نیترات در چاه‌ها استفاده شد. به‌طورمشابه، غلظت‌های نیترات(غلظت‌های آفت‌کش) مربوط به سن چاه، کاربری سرزمین و فاصله تا نزدیک‌ترین منبع احتمالی آفت‌کش‌ها در منبع شمارهٔ [۴۱] تشریح شده‌است.

۴-۳-۳ زمین آمار(ژئواستاتیک)[3]

آلاینده‌هایی با تغییرات نامنظم مکانی می‌توانند با استفاده از تخمین مکانی، استفاده از حداقل-مربعات تخمین‌گر (به منبع شمارهٔ[۴۲]و[۴۳] مراجعه شود)، تجزیه و تحلیل شوند. اگر اطلاعات در مورد تغییرات مقادیر در یک نقطهٔ نمونه‌برداری شده در دسترس باشد، روش‌های شبیه‌سازی ژئواستاتیکی می‌تواند استفاده شود(به منبع شمارهٔ [۴۴] مراجعه شود). مواردی از کاربرد نرم‌افزارها در منبع شمارهٔ [۴۵] تشریح شده است.

۵ روش کار

۵-۱ روش کار انتخاب روش‌ها، برای تعیین حساسیت و آسیب‌پذیری، براساس تعیین نوع مناسب ازروش کاربرد موردنظراست. برای این منظور، شناخت مقیاس مسئله و خروجی نقشهٔ حاصله، نوع مجموعه‌های زمین‌شناسی، توزیع، خصوصیات خاک، هیدرولوژی و هندسهٔ آبخوان‌ها ضروری است. برای روش‌های آسیب‌پذیری، داده‌های قابل نقشه‌برداری آلاینده‌های مورد نظر و نیز کاربری سرزمین ضروری است. روش‌های خاص با توجه به الزامات خاص داده‌ها در بسیاری ازموارد متفاوت است.

۵-۲ تعیین هدف ارزیابی

4- Triazine

1- Geostatistics

اهداف ارزیابی می‌تواند یکی از سه گزینه‌های زیر باشد(همان‌گونه که در بند ۱-۲-۲ آورده شده است):
۱-کمک به خط مشی تجزیه و تحلیل، طرح‌ریزی، توسعه و مدیریت برنامه؛
۲- تصمیم‌گیری آگاهانه برای کاربری سرزمین؛
۳- ارتقاء آموزش عمومی.

۵-۳ تعیین منطقه برای ارزیابی

توصیه می‌شود، نقشه‌ها در مقیاسی متناسب با تراکم داده‌ها آماده شود. سه نوع طبقه‌بندی کلی برای مقیاس‌ها به شرح زیر مناسب است:

- منطقه‌ای؛

- محلی؛

- مزرعه‌ای (به یادآوری بند ۴-۲-۱ مراجعه شود).

مطالعات منطقه‌ای باید در مقیاس‌های مساوی یا کوچک‌تر از ۱:۱۰۰ ۰۰۰ ارائه شود. مطالعات محلی در مقیاس‌های بزرگ‌تر، به طورمعمول در حدود ۱:۲۴ ۰۰۰، انجام می‌شود. مطالعات مزرعه مقیاس، در مقیاس مناسب برای موضوع مربوط، مانند ۱:۶۰۰۰ یا کمتر ارائه می‌شود. مقیاس نقشه‌ها یا سایر محصولات گرافیکی کاربریهای بالقوه از نقشه‌ها را تعیین می‌کنند.

۵-۳-۱ اعتبار ارزیابی‌های حساسیت و آسیب‌پذیری منطقه‌ای به‌طور ویژه تحت تاثیر تراکم داده‌ها است و اطلاعات محدودی را برای ارزیابی آلودگی احتمالی در یک زمینهٔخاص، فراهم می کند. بنابراین، بهتراست داده‌های مطالعات منطقه‌ای یا محلی فقط در سطح مزرعه برای نشان دادن آن‌چه که مورد انتظار است، استفاده شود. به‌طورمشابه، توصیه‌نمی‌شود ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری یک مقیاس مزرعه با منطقهٔ بزرگ‌تر مقایسه شود، مگرآن‌که دارای مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی یکسان باشد و تغییرات منطقه‌ای شرایط فیزیکی مشابه آن‌چه در مزرعه اندازه‌گیری شده، باشد. اگر شرایط مزرعه مقیاس ارزیابی می‌شود، آنگاه داده‌های مقیاس مزرعه مورد نیاز است.

۵-۳-۲ برای مثال، گزارش‌های تحقیقات خاک در سطح ملی یا محلی، منابع مفیدی از اطلاعات برای ارزیابی منطقه‌ای و محلی هستند. خصوصیات هیدرولیکی و طبقه‌بندی مواد آلی برای هر مجموعهٔ خاک و برای افق‌های خاک خاص در هر مجموعه ارائه می‌شود. برای اطلاعات بیشتر در مورد ارزیابی‌های منطقه‌ای در مقیاس کوچک‌تر، به روش تشریح شده منبع شمارهٔ [۴۶] کتابنامه مراجعه شود. وجود بندگاه‌ها در خاک می‌تواند حرکت آلاینده‌ها را درخاک منطقه تسهیل کند. بندگاه در مقیاس محلی بهترین مورد برای ارزیابی است، هرجند، با یک‌بار اجرا، می‌توان اثرات را به مناطق بزرگ‌تر با مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی مشابه، تعمیم داد.

۵-۴ تعیین قابلیت دسترسی و کیفیت داده‌های موردنیاز برای ارزیابی منطقه

روش‌های مورد استفاده برای آماده‌سازی نقشه‌های حساسیت و آسیب‌پذیری به قابلیت دسترسی و کیفیت منبع داده‌ها، وابسته است. برای مثال، ارزیابی‌های کوچک مقیاس با استفاده ازهمپوشانی نقشه‌ها، نیاز به اطلاعات با دقت کمتری دارد، در حالی که روش‌های شبیه‌سازی به اطلاعات دقیق خصوصیات هیدرولیکی، زمین‌شناسی و خاک‌ها نیازمند است. جدول ۱، داده‌های موردنیاز برای روش‌های آورده شده در این استاندارد را بیان می‌کند. این جدول می‌تواند به‌منظور محدود کردن روش‌ها مورد استفاده قرار گیرد، با این حال، بهتر است جزییات مستندات و نمونه‌های روش‌ها قبل از انتخاب نهایی، باجزئیات بررسی شوند.

جدول ۱ – خلاصهٔ داده‌های مورد نیاز در روش‌هایی که برای ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری کاربرد دارد

روش‌ها	داده‌های مورد نیاز			
	طبقه	زمین‌شناسی	هیدرولوژی	شیمیایی[A]
مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی بدون نمره‌دهی یا رتبه‌بندی	A[B]	M[C]	S[D]	M
مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی با نمره‌دهی یا رتبه‌بندی	A	M	M	M
نمره‌دهی بدون در نظر گرفتن مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی	M	M	A	M
مدل‌های ناحیهٔ ریشه[E]	S	A	M	M
مدل‌های ناحیهٔ اشباع نشده	M	A	A	A
مدل‌های ناحیهٔ اشباع شده	M	S	A	A

[A] اطلاعات در بارهٔ آلاینده‌های شیمیایی برای ارزیابی‌های حساسیت ضروری نیست، اما برای ارزیابی‌های آسیب‌پدیری لازم است.

[B] A – فراوان – داده‌ها با جزییات مورد نیاز است.

[C] M - مقادیر مناسب داده‌ها با جزییات کمتر مورد نیاز است.

[D] S– ارزیابی می‌تواند با داده‌های پراکنده انجام شود.

[E] مدل‌های ناحیه- ریشه برای ارزیابی‌های حساسیت کاربرد ندارد.

۵-۴-۱ اطلاعات گزارش‌ها و نقشه‌های زمین‌شناسی مشاهدات میدانی، مستندات بهره‌برداری آب چاه و نمونه‌ها، سوابق حفاری، سوابق مهندسی، مستندات و نمونه‌های مغزه‌گیری و داده‌های حفاری می‌تواند برای تعیین وضع و ساختمان طبقات زمین، سطح مقطع و شناسایی پیوستگی واحدهای زیرسطحی، به‌ویژه آبخوان‌ها و لایه‌های نفوذ ناپذیر زمین [1] استفاده شود.

1- Confining layers

نقشهٔ واحد - پشته[1] می‌تواند براساس توالی مواد زمین‌شناسی به ترتیب وقـو ع در منـاطق مشـخص و عمـق مشخص، تهیه شود. مهم است نشان دهیم که چگونه مواد شیمیایی در زمین به‌صورت افقی و عمودی توزیع می‌شود.

۵-۴-۲ مکان مواد آبخوان‌ها را توصیف کنید(برای مثـال، شـن‌هـا و سـنگ‌ریـزهٔ ناپیوسته(سـخت شـده) کربنات‌ها و ماسه سنگ‌های نفوذپذیر و سنگ‌های متصـل بـه‌هـم یـا شکسـته) و مـوادی کـه جـزء آبخـوان نیستند(دیامیکتون‌ها[2]، سیلت‌ها، صدف و سایرسنگ‌ها با نفوذپذیری ضـعیف) در لایـهٔ افقـی توصـیف کنیـد. ردیف‌های متوالی می‌توانند با توجه به نزدیکی مواد آبخوان‌ها به سطح و ضخامت لایه‌های نفوذناپذیر زمـین، برآوردشوند. احتمال آلودگی برای آبخوان‌های نزدیک‌تر به سطح و لایه‌های نازک‌تر نفوذناپذیر زمین ، بیشـتر است.

۵-۴-۳ طبقات سنگی یخچالی[3]، مرکب از سنگ‌های متخلل و مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی مشابه، می توانند با استفاده از تکنیک‌های تشریح شده در منـابع شـمارهٔ [۱۰]، [۴۹]، [۵]، [۶]و [۴۶] کتابنامـه بـرای کاربری‌های خاص زمین ، طبقه‌بندی شود. برای ارزیابی‌های منطقه‌ای، خاک طبقات سنگی یخچالی، باتوجه به منشا مواد تشکیل دهنده‌شان طبقه‌بندی می‌شوند و یک نقشهٔ زمین‌شناسی- خاک یا نقشهٔ زمین شناسی سطحی می‌تواند تهیه شود. این نقشهٔ زمین شناسی سطحی، توالی مواد موجود در عمق حدود ۲ تا ۳ متـر را نشان خواهد داد.

۵-۵ تعیین کنید، ارزیابی حساسیت و/ یا آسیب‌پذیری انجام شودیا خیر

تصمیم در مورد انجام تجزیه و تحلیل حساسیت یا آسیب‌پذیری به هـدف پـروژه و اطلاعـات وابسـته اسـت. ارزیابی حساسیت، یک چارچوب کلی برای بررسی آلاینـده‌هـا فـراهم خواهـد کـرد. ارزیـابی آسـیب‌پـذیری، اطلاعاتی مربوط به یک آلایندهٔ خاص یا گروهی از آلاینده‌ها را تهیـه مـی‌کنـد. ارزیـابی‌هـای حساسـیت آب زیرزمینی و آبخوان، به‌طورمنطقه‌ای یا بر پایهٔ مکان خاص احتمال آلودگی یا امکان آسیب به آب زیرزمینی و آبخوان‌ها را در مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی مختلف ارزیـابی مـی‌کنـد. ایـن مـوارد مـی‌توانـد در شناسـایی مناطقی که نیازبه ارزیابی‌های دقیق‌تری دارند، کمک کند. مناطق یا محل‌هـای خاصـی کـه حسـاس تعیـین شده‌اند و محل‌هایی که درمعرض خطر قرار دارند یا ممکن است درمعرض باشند می‌تواند با اسـتفاده از یـک مدل آسیب‌پذیری، ارزیابی شـوند. بنـابراین ارزیـابی‌هـای حساسـیت بـه طـور معمـول بـرای ارزیـابی‌هـای آسیب‌پذیری آب زیرزمینی و آبخوان ضروری است.

۵-۵-۱ به منظور هدایت یک ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه‌ای، ماهیت و توزیـع منـابع آلاینـدهٔ موجـود و بالقوه، مشخصات آلاینده، اطلاعات بارگذاری و شیوه‌های کاربری زمـین، همـراه بـا انـدازه‌گیـری حساسـیت

2-Stack-unit map

۲ - دیامیکتون یا دیامیکت، نوعی رسوب خاکی است که دارای بافت نامنظم بوده وحاوی ذرات ریز در اندازهٔ رس یا کلوخهٔ رس است.

3-Diamicton

1-Glacial terranes

آبخوان‌ها، باید در نظر گرفته شود(به منبع شمارهٔ [۲]مراجعه شود). اطلاعات تغذیه، سطوح پیزومتریک، رژیم جریان آب زیرزمینی، نرخ‌های بارگذاری آلاینده‌ها، هم‌چنین واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی که ممکن است سبب تغییر یک آلاینده شود، باید برای ارزیابی‌های در مزرعه مقیاس در نظر گرفته شود.

۵-۶ روش مناسب را انتخاب کنید

روشی را براساس این‌که آیا آلاینده به سطح زمین (مانند مواد شیمیایی کشاورزی، لجن حاصل از تصفیهٔ فاضلاب یا سپتیک تانک یا نشت‌های تصادفی) یا در زیر سطح زمین (مانند شکستگی در خطوط لوله، محل‌های دفن زباله، نشت مخازن زیرزمینی و سپتیک تانک‌ها) وارد شده، انتخاب کنید. اگر هدف ارزیابی حساسیت، سنجش امکان آلودگی درنقطهٔ سطحی یا منابع غیرنقطه‌ای باشد، اطلاعاتی مانند مقدار مواد آلی ، هدایت هیدرولیکی خاک، اطلاعات خاک و عوامل موجود در قشر زمین(عوامل خاکابی) [1] باید در مقیاس مناسب و جزئیات دردسترس باشد(به منبع شمارهٔ [۴۶]کتابنامه مراجعه شود). ارزیابی‌های حساسیت و آسیب‌پذیری با تمرکز بر امکان آلودگی از منابع زیرسطحی به‌طورمعمول نیازی به اطلاعات خاک ندارد. هم‌چنین، اگر ورود آلاینده زیر سطح آب‌زیرزمینی باشد، به طورکلی انتخاب روشی مرتبط با اطلاعات منطقهٔ خاکابی ضروری نیست.

۵-۶-۱ در جدول ۲ و ۳، تناسب روش‌هایی که می‌تواند به‌منظور تجزیه و تحلیل حساسیت در مقیاس‌های مختلف استفاده شود، خلاصه شده‌است. روش‌های آماری بسیار متنوع و تخصصی و جدول‌بندی شده ارائه شده است. بهتراست این جداول فقط به عنوان راهنمای کلی درنظر گرفته شود، توصیه می‌شود سایر ملاحظات مانند هدف یا قابلیت دسترسی داده‌ها نیز در انتخاب روش در نظر گرفته شود. بهتراست قبل از انتخاب روش مراجع و نمونه‌های روش‌های گوناگون بررسی شود.

جدول ۲- روش‌های انجام ارزیابی‌های حساسیت وابسته به مقیاس ارزیابی

روش‌های حساسیت	منطقه ای	محلی	مزرعه
مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی بدون نمره‌دهی یا رتبه‌بندی	۴ [A]	۳	۲
مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی با نمره‌دهی یا رتبه‌بندی	۵	۵	۴
نمره‌دهی بدون در نظر گرفتن مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی	۱	۳	۴
مدل‌های ناحیهٔ ریشه	N[B]	N	N
مدل‌های ناحیهٔ اشباع نشده	N	N	۴
مدل‌های ناحیهٔ اشباع شده	۳	۴	۴

[A] ۵-۱ بیانگرتناسب نسبی رتبه‌بندی است که ۵ مناسب‌ترین برای مقیاس تعیین شده است.
[B] N مناسب نیست.

جدول ۳ - **روش‌های انجام ارزیابی‌های آسیب‌پذیری وابسته به مقیاس ارزیابی**

2- Vadose zone

روش‌های حساسیت	منطقه ای	محلی	مزرعه
مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی بدون نمره‌دهی یا رتبه‌بندی	۳[A]	۲	۱
مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی با نمره‌دهی یا رتبه‌بندی	۴	۵	۴
نمره‌دهی بدون در نظر گرفتن مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی	۱	۳	۴
مدل‌های ناحیهٔ ریشه	N[B]	N	3
مدل‌های ناحیهٔ اشباع نشده	N	N	۴
مدل‌های ناحیهٔ اشباع شده	۱	۳	۳

[A] ۱-۵ بیانگرتناسب نسبی رتبه‌بندی است که ۵ مناسب‌ترین برای مقیاس تعیین شده است.
[B] N مناسب نیست.

۵-۷ تعیین کنید آیا شرایط ویژه وجود دارد

ممکن است شرایط ویژه وجود داشته باشد که مانع از به‌کارگیری برخی یا بسیاری روش‌های ارزیابی حساسیت و آسیب‌پذیری آبخوان شده یا نیاز به اصلاح آنها باشد. در چنین شرایطی هستند که ممکن است آب طی فعل و انفعال ضعیف با خاک، رسوبات یا سنگ‌ها از سطح به آبخوان نفوذ کند ، مانند مجموعه‌های کارست یا سنگ‌های شکسته و شرایطی که جریان آب زیرزمینی از طریق فعل و انفعال با رودخانه‌ها یا دریاچه‌ها دچار تغییر می‌شود. ممکن است آب زیرزمینی ازطریق چاه های متروک نشست‌کننده یا چاه‌های نامناسب ایجاد شده، متأثر شوند. این عوامل و سایر شرایط ویژه ایجاب می‌کند که مسیرهای امکان جریان آلاینده‌ها با جزئیات بیشتری برای ارزیابی تهیه شود.

۵-۷-۱ به‌طورکلی امکان آلودگی درمجموعه‌های کارست، سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های دارای شکستگی بسیار بالااست. بازالت[1] و سایر سنگ‌های خروجی آتشفشانی از طریق شکاف‌ها، برش‌های جریان زیرسطحی و مجاری گدازه مشخص می‌شوند. سیستم‌های کارست توسعه‌یافته در سنگ‌های قابل حل دارای کانال‌های بزرگی است که فرصتی محدود برای فعل وانفعال بین آب آلوده و خاک یا سنگ‌های مجاور فراهم می‌کند. اغلب در این سیستم‌ها، جریان آب زیرزمینی و کاهش جزیی آلاینده‌ها، سریع است. هم‌چنین، دربسیاری موارد، آلاینده‌ها مسیرهای جریان آشکار منطقه‌ای را دنبال نمی‌کنند و در مکان‌ها و زمان‌های غیرمترقبه تخلیه می‌شوند. این‌که آیا یک تکنیک می‌تواند در یک کارست یا مجموعه‌های سنگ شکسته به‌کار رود به آب و هوا در مقیاس مورد نظر بستگی دارد، به‌طوری‌که مجموعه‌ها بتوانند به‌عنوان یک محیط متخلل هم ارز به‌کارگرفته شود (برای اطلاعات بیشتر به منابع شمارهٔ [۵۰]مراجعه شود). برای اطلاعات بیشتر در مورد اعمال اصلاحات به‌کارگیری روش‌های نمره‌دهی در موقعیت‌های ایجاد شدهٔ کارست به منبع شمارهٔ [۵۱] مراجعه شود.

---

۱ - بازالت نوعی سنگ چخماق یا آتشفشانی سیاه است

1- Basalt

۵-۷-۲ در بسیاری موقعیت‌های هیدروژئولوژیکی، آبخوان‌ها، آب را با منابع آب سطحی تبادل می‌کنند. عبور رودخانه‌ها ازطریق رسوبات ته‌نشین‌شده یا رسوبات ناشی از یخبندان رودخانه‌ای پرکنندهٔ شکاف، اغلب یک ارتباط هیدرولیکی مهم با این نشست‌ها دارند. این گونه رودخانه‌ها ممکن است از منابع سطحی یا از آبخوان‌های آلوده، آب با کیفیت پایین دریافت کند. آنگاه ممکن است آب رودخانه، به آبخوان مکان دیگر در مسیر رودخانه یا زیر گرادیان طبیعی آب‌های زیرزمینی زیرین یا گرادیان ایجاد شده، از طریق پمپاژ تخلیه شود. در این مجموعه‌های هیدروژئولوژیک، اغلب محل تلاقی رودخانه و آبخوان یک منطقهٔ فعال شیمیایی است. به این دلیل، منطقه می‌تواند بر کیفیت حرکت آب به درون آبخوان‌ها و نیز افزایش یا کاهش سطح آلاینده‌ها اثر بگذارد. ممکن است به‌کارگیری روش‌های آورده شده در این استاندارد، میزان حساسیت آبخوان را بیشتر یا کمتر از میزان واقعی نشان دهد. بهتراست کاربراین استاندارد، هنگامی که نتایج ارزیابی برای مجموعه‌های هیدروژئولوژیکی دارای رودخانه‌ها رابه کار می‌برد، به برهم کنش‌ها توجه کند.

۵-۷-۳ چاه‌های متروکی که *به‌طور* صحیح بسته نمی‌شوند و به‌طور نامناسبی ساخته شده یا چاه‌های تزریقی، می‌توانند معبری برای حرکت سریع آلاینده‌ها بین سطح و یک آبخوان یا بین آبخوان‌ها فراهم کنند. برخی چاه‌ها برای زهکشی رواناب سطحی یا برای تخلیهٔ آب از زهکش‌های آجری مزرعه‌ای ساخته شده‌اند. زمانی‌که این چاه‌ها و چاه‌های مشابه وجود دارند، باید نقش آنها در حرکت آلاینده‌ها به‌منظور اجرای صحیح ارزیابی در نظر گرفته شود.

کتابنامه

[1] Aller, L. T., Bennet, T., Lehr, J. H., and Petty, R. J., *DRASTIC: AStandardized System for Evaluating Ground Water Pollution PotentialUsing Hydrogeologic Settings*, U.S. EPA Robert S. Kerr EnvironmentalResearch Laboratory, EPA/600/287/035, Ada, OK, 1987.

[2] U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), *Ground WaterResource Assessment*, U.S. EPA Office of GroundWater and DrinkingWater, EPA 813-R-93-003, 1993 .

[3] Hearne, G. A., Wireman, M., Campbell, A., Turner, S., and Ingersoll,G. P.,“ Vulnerability of the Uppermost Ground Water to Contaminationin the Greater Denver Area, Colorado,”*U.S. Geological SurveyWater Resources Investigations Report* 92-4143, 1995.

[4] Wireman, M., Campbell, A., and Marr, P., *Land Uses Which AffectGround-WaterManagement*, USEPA and Colorado Department ofHealth, 1994.

[5] Berg, R. C., Kempton, J. P., and Cartwright, K.,“ Potential forContamination ofShallowAquifers in Illinois,” *Illinois State GeologicalSurvey Circular 532*, 1984a.

[6] Berg, R. C., Kempton, J. P., and Stecyk, A. N., “Geology for Planningin BooneandWinnebago Counties,” *Illinois State Geological Survey Circular 531*, 1984

[7]Keefer, D. A., and Berg, R. C., with contributions by Day, W. S.,*Potential for Aquifer Recharge in Illinois (Appropriate RechargeAreas)*, Illinois State Geol. Survey, 1 map sheet, 1990.

[8] Pettyjohn, W. A., Savoca, M., and Self, D., *Regional Assessment ofAquifer Vulnerability and Sensitivity in the Conterminous UnitedStates*, U.S. EPA Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory,EPA/600/2-91/043, 1991.

[9] Lusch, P. P., Rader, C. P., Barrett, L. R., and Barrett, K., *AquiferVulnerability to Surface Contamination in Michigan*, Michigan StateUniversity, Center for Remote Sensing and Department of Geography,East Lansing, MI, 1:1,500 000-scale map, 1992.

[10] Soller, D. R., and Berg, R. C., “A Model for the Assessment ofAquifer Contamination Potential Based on Regional GeologicFramework,” *Environmental Geology and the Water Sciences*, Vol19, 1992, pp. 205–213.

[11] Shafer, J. M., “An Assessment of Ground Water Quality andHazardous Substances for a Statewide Monitoring Strategy,” *IllinoisState Water Survey Contract Report 367*, 1985.

[12] Bhagwat, S. B., and Berg, R. C., “Benefits and Costs of Geologic Mapping Programs in Illinois,” Case study of Boone and WinnebagoCounties and its statewide applicability: Illinois State Geological Survey Circular 549, 1991

[13] Moore, J. S., “SEEPPAGE: A System for Early Evaluation ofPollution Potential of Agricultural Ground Water Environments,”*Geology Technical Note 5 (Revision 1)*, U.S. Department ofAgriculture, Soil Conservation Service, 1988.

[14] Soller, D. R., “Applying the DRASTIC Model—A Review ofCounty-Scale Maps,” *U.S. Geological Survey Open-File Report*,92–297, 1992.

[15] Lemme, G., Carlson, C. G., Dean, R., and Khakural, B., “ContaminationVulnerability Indexes: AWater-Quality Planning Tool,” *Journalof Soil and Water Conservation 2*, 1990, pp. 349–351.

[16] Cates, K. J., and Madison, F. W., *Soil-Attenuation Potential Map ofPepin County, Wisconsin*, University of Wisconsin, Extension SoilMap 10, 1990.

[17] van der Heijde, P. K. M., *Identification and Compilation ofUnsaturated/Vadose ZoneModels*, Environmental ProtectionAgency EPA/600/R-94/028, 1994.

[18] van der Heijde, P. K. M., *Compilation of Saturated and UnsaturatedZone Modeling Software*; Update of EPA/600-/R-93/118, EPA/600/R-96/009, 1996.

[19] van der Heijde, P. K. M., and Elnawawy, O. A., *Compilation ofGround-Water Models*, EPA/600/R-93/118, 1993.

[20] Carsel, R. F., Smith, C. N., Mulkey, L. A., Dean, J. D., and Jowise,P., *User's Manual for the Pesticide Root-Zone Model (PRZM),*Athens, Georgia: U.S. Environmental Protection Agency, EnvironmentalResearch Laboratory, 1984.

[21] Leonard, R. A., Knisel, W. G., and Still, D. A., "GLEAMS:Groundwater Loading Effects of Agricultural ManagementSystems," *Transactions of the ASCE 30,* 1987, pp. 1403–1418.

[22] Nofziger, D. L., and Hornsby, A. G., *Chemical Movement in Soil,User's Guide*, University of Florida, Gainsville, 1985.

[23] A. N., Sharpley, and J. R., Williams, eds., "Epic-Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model Documentation," *USDATechnical Bulletin 1768,* 1990.

[24] Williams, J. R., "The Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC)Model: A Case History," *Phil. Trans. Royal Soc. London B. 329,*1990, pp. 421–428.

[25] Wagenet, R. J., and Hutson, J. L, *LEACHM: A Finite-DifferenceModel for Simulating Water, Salt, and Pesticide Movement in thePlant Root Zone, Continuum 2*, New York State Resources Institute,Cornell University, 1987.

[26] Healy, R. W., "Simulation of Solute Transport in Variably SaturatedPorous Media with Supplemental Information on Modifications tothe U.S. Geological Survey's Computer Program VS2D," *U.S.Geological Survey Water Resources Investigation Report 90-4025*,

1990.

[27] RZWQM Team, "Root Zone Water Quality Model, Version 1.0,User's Manual," *GPSR Technical Report No. 3*, USDA-ARS-GPSR,Fort Collins, CO, 1992.

[28] Ma, Q. L., Ahjua, L. R., Rojas, K.W., Ferreira, V. F., and DeCoursey,D. F., "Measures and RZWQM Predicted Atrazine Dissipation andMovement in a Field Soil," *Transactions of the American Society ofAgricultural Engineers 38,* 1995, pp. 471–479.

[29] Simunek, J., Huang, K., and van Genuchten, M. Th., "TheSWMS-3D Code for Simulating Water Flow and Solute Transport inThree-Dimensional Variably Saturated Media," *U.S. Salinity LaboratoryResearch Report 139,* Agricultural Research Service,

Riverside, CA, 1995.

[30] Kramer, J. H., and Cullen, S. J., "Review of Vadose Zone Flow andTransport Models," *Handbook of Vadose Zone Characterization andMonitoring*, L. G.Wilson, L. G. Everett, and S. J. Cullen, eds., Lewis Publishers, 1995, pp. 267–289.

[31] McDonald, J. M., and Harbaugh, A. W., "A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model," *Techniquesof Water Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, Book 6*, 1988.

[32] Konikow, L. F., Granato, G. E., and Hornberger, G. Z., "User'sGuide to Revised Method-of-Characteristics Solute-TransportModel," *U.S. Geological Survey Water Resources InvestigationsReport*, 94-4115, 1994.

[33]Konikow, L. F., and Bredehoeft, J. D.," Computer Model ofTwo-Dimensional Solute Transport and Dispersion in GroundWater," *Techniques of Water Resources Investigations of the U.S.Geological Survey, Book 7*, C2, 1978.

(34] Zheng, C., *MT3D, A Modular Three-Dimensional Transport Model*,S. S. Papadopulos and Assoc., Bethesda, MD, 1992.

[35] Quinlan, J. F., Davies, G. J., Jones, S. W., and Huntoon, P. W., *TheApplicability of Numerical Models to Characterize Ground-WaterFlow in Karstic and Other Triple-Porosity Aquifers, SubstanceFluid-Flow (Ground-Water) Modeling, ASTM STP 1288*, J. D.

Ritchey and J. O. Rumbough eds., ASTM, 1996.

[36] National Research Council, *Ground Water Vulnerability Assessment,Predicting Relative Contamination Potential under Conditions ofUncertainty*, National Academy Press, Washington DC, 1993.

[37] Carsel, R. F., Parrish, R. S., Jones, R. L., Hansen, J. L., and Lamb,R. L.," Characterizing the Uncertainty of Pesticide Leaching inAgricultural Soils," *Journal of Contaminant Hydrology 2*, 1988 , pp.111–124.

[38] Teso, R. R., Younglove, T., Peterson, M. R., Sheeks, D. L., III, andGallavan, R. E., "Soil Taxonomy and Surveys: Classification ofAreal Sensitivity to Pesticide Contamination of Groundwater,"*Journal of Soil and Water Conservation 43*, 1988, pp. 348–352.

[39] Chen, H., and Druliner, A. D., "Agricultural Chemical Contaminationof Ground Water in Six Areas of the High Plains Aquifer,Nebraska," *National Water Summary 1986—Hydrologic Events andGround-Water Quality: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper2325*, 1988.

[40] Druliner, A. D., "Overview of the Relations of Nonpoint SourceAgricultural Chemical Contamination to Local Hydrologic, Soil,Land-Use, and Hydrochemical Characteristics of the High PlainsAquifer of Nebraska," *U.S. Geological Survey Open-File Report88-4220*, 1989.

[41] Steichen, J., Koelliker, J., Grosh, D., Heiman, A., Yearout, R., andRobbins, V., "Contamination of Farmstead Wells by Pesticides,Volatile Organics, and Inorganic Chemicals in Kansas," *Ground-Water Monitoring Review 8*, 1988, pp. 153–160.

[42] Delhomme, J. P., "Kriging in the Hydrosciences," *Advances in WaterResources 1*, 1978, pp. 475–499.

[43] Hoeksema, R. J., and Kitanidis, P. K., "Analysis of the SpatialStructure of Properties of Selected Aquifers," *Water ResourcesResearch 21*, 1985, pp. 536–572.

[44]McBratney, A. B., Webster, R., and Burgess, T. M., "The Design ofOptimal Sampling Schemes for Local Estimation and Mapping ofRegionlized Variables—I & II," *Computer and Geosciences 7*, 1981,pp. 331–365.

[45] Englund, E. J., and Sparks, A. R., *Geo-EAS (Geostatistical EnvironmentalAssessment Software) User's Guide*, Environmental MonitoringSystems Lab, Las Vegas, NV EPA/600/4-88/033, 1988.

[46] Keefer, D. A., *Potential for Agricultural Chemical Contamination ofAquifers in Illinois: 1995 Revision*, Illinois State Geological Survey,Environmental Geology 148, 1995.

[47] U.S. Department of Agriculture (USDA), *State Soil GeographicData Base (STATSGO)*, U.S. Department of Agriculture, Soil ConservationService, Miscellaneous Publication 1492, 1991.

[48] Kirkaldie, L., "Potential Contaminant Movement Through SoilJoints," *Bull. Assoc. Eng. Geol. 25*, 1988, pp. 520–524.

[49] Berg, R. C., "Geologic Aspects of a Groundwater Protection NeedsAssessment for Woodstock, Illinois: A Case Study," *Illinois StateGeological Survey Environmental Geology 146*, 1994.

[50[Quinlan, J. F., *Special Problems of Ground-Water Monitoring inKarst Terranes, Ground Water and Vadose Zone Monitoring, ASTM STP 1053*, D. M

[51] Davis, A. D., Long, A. J., Nazir, M., and Tan, X., "Ground WaterVulnerability in the Rapid Creek Basin above Rapid City, SouthDakota," *South Dakota School of Mines and Technology Final Technical Report: U.S. EPA Contract X008788-01-0*, 1994.