



حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

راهنمایی برای مصرف‌کنندگان آب، مسئولان شهری و سازمان‌های زیست محیطی

مؤلفان:

Stephen Foster- Ricardo Hirata-Daniel Gomes- Monica D'Elia- Marta Paris

مترجمان:

صغری فرهادی – مجید فردی

علیرضا حاجی میری – منصور گرانمایه

نیکان کتاب

تابستان ۹۴

عنوان و نام‌پدیدآور	: حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی
مشخصات نشر	: زنجان: نیکان کتاب: ۱۳۹۴
مشخصات ظاهری	: ۱۶۰ ص.: مصور، جدول.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۱۹۶-۳۱۱-۰
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپای مختصر
یادداشت	: فهرست‌نویسی کامل این اثر در نشانی: http://opac.nlai.ir
	قابل دسترسی است
یادداشت	: عنوان اصلی: Groundwater Quality Protection.
یادداشت	: Stephen Foster, Richrdo Hirata, Daniel Gomes, Monica D' Elia, Martaparis.
یادداشت	: مترجمان صغری فرهادی، مجید فردی، علیرضا حاجی میری، منصور گرانمایه.
یادداشت	: کتابنامه: ص. [۱۳۲]۱۴۳-؛ همچنین به صورت زیرنویس.
شناسه افزوده	: Foster, Stephen استفن
شناسه افزوده	: فرهادی، صغری، ۱۳۶۴-
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۸۴۹۷۹۲



حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی / Stephen Foster- Ricardo Hirata-Daniel Gomes-
Monica D'Elia- Marta Paris

مترجمان: صغری فرهادی، مجید فردی، علیرضا حاجی میری، منصور گرانمایه

امور فنی: نیکان کتاب

طراحی جلد: آتلیه سگال (رجبی - کرمی)

چاپ و لیتوگرافی: ولیعصر

چاپ اول: تابستان ۹۴

تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ریال

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۹۶-۳۱۱-۰

دفتر نشر:

زنجان، چهارراه سعدی، روبروی بانک پاسارگاد، کوچه باقری، ساختمان سپهر، واحد ۴

تلفکس: ۰۲۴-۳۳۳۳۵۵۴۱-۲ Email: Nikanketab@yahoo.com

تقديم

به دخترم

الهه ناز

که وجودش همانند آب پاک و زلال است....

فهرست

صفحه	عنوان
------	-------

بخش اول: مقدمه

مروری بر اجرا

- | | |
|---------|---|
| ۲..... | ۱- دلیل اصلی و منطقی حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی..... |
| ۳..... | ۲- دلیل اصلی و منطقی برای حفاظت از آب زیرزمینی..... |
| ۳..... | ۳- چرا منابع آب زیرزمینی نیازمند حفاظت می‌باشد؟..... |
| ۴..... | ۴- دلایل کلی نامطلوب شدن کیفیت آب زیرزمینی کدام موارد است؟..... |
| ۶..... | ۵- آبخوان‌ها چگونه آلوده می‌شوند؟..... |
| ۸..... | ۶- چگونه می‌توان خطر آلودگی آب زیرزمینی را ارزیابی کرد؟..... |
| ۱۰..... | ۷- حفاظت آب زیرزمینی در مقابل آلودگی شامل چه مواردی است؟..... |
| ۱۲..... | ۸- چرا بین حفاظت منابع آب زیرزمینی و حفاظت منبع آبرسانی تفاوت وجود دارد؟..... |
| ۱۴..... | ۹- چه کسانی باید حفاظت آب زیرزمینی در مقابل آلودگی را ترویج دهند؟..... |
| ۱۵..... | ۱۰- منابع مالی و انسانی چه چیزهایی می‌باشد؟..... |

بخش دوم- راهنمای فنی

مقدمه: روش شناسی برای حفاظت آب زیرزمینی

- | | |
|---------|---------------------------------------|
| ۱۸..... | ۱- تهیه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان..... |
|---------|---------------------------------------|

۱-۱- اصول اساسی روش تعیین آسیب‌پذیری.....	۱۸
۱-۲- توسعه مفهوم آسیب‌پذیری.....	۱۹
۱-۳- نیاز به یک شاخص آسیب‌پذیری تکمیلی مطلق.....	۲۰
۱-۴- کاربرد شاخص آسیب‌پذیری GOD.....	۲۳
۱-۵- مقایسه با روش‌های دیگر.....	۲۹
- شرایط هیدروژئولوژیکی.....	۲۹
- مدل‌های آنالوگ (مقایسه‌ای).....	۳۰
- سیستم‌های پارامتری.....	۳۰
۱-۶- محدودیت‌های تهیه نقشه آسیب‌پذیری.....	۳۲
۱-۷- مباحثی در رابطه با تهیه نقشه آسیب‌پذیری.....	۳۵
الف) آبخوان‌های لایه‌ای.....	۳۵
ب) سطح ساده‌سازی مورد لزوم.....	۳۶

فصل دوم:

راهنمای فنی روش‌شناسی حفاظت آب‌های زیرزمینی

روش‌های عملی حفاظت آب زیرزمینی.....	۳۸
پهنه‌بندی مناطق حفاظتی منبع آب زیرزمینی.....	۳۸
۱-۲- اصولی برای تعیین مناطق (پهنه‌بندی).....	۳۸
الف) منطقه تسخیر کلی منبع.....	۴۱
ب) منطقه حفاظت میکروبیولوژیکی.....	۴۲
ج) منطقه موثر سرچاهی فوری.....	۴۵
د) زیر تقسیم‌بندی بیشتر.....	۴۵
۲-۲- فاکتورهای کنترل‌کننده شکل مناطق.....	۴۷
۲-۳- محدودیت‌های مفهوم مناطق حفاظت منبع.....	۵۰
الف) مسائل معمول در راه حل‌های پیشنهادی.....	۵۱

۵۴	(ب) اکیفرهای آهکی کارستی
۵۶	(ج) چشمه‌ها و گالری‌ها
۵۷	(د) اجرا در شرایط شهری
۵۷	۲-۴- روش‌های تعیین (پهنه‌بندی) مناطق حفاظتی
۵۹	۲-۵- مدل‌های تحلیلی در مقابل مدل‌های عددی
۶۰	۲-۶- نمایش دو بعدی در مقابل سه بعدی اکیفر
۶۲	۲-۷- مراحل انجام
۶۲	۲-۸- عدم قطعیت علمی
۶۵	۲-۹- تنظیم محیط مناطق و تهیه نقشه

فصل سوم:

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی

۶۸	۳-۱- دلایل معمول آلودگی آب زیرزمینی
۷۱	۳-۲- روش‌های جمع‌آوری داده‌های اصلی و پایه
۷۱	الف) تهیه فهرست مواد آلاینده
۷۲	- طراحی فهرست
۷۲	- انجام فهرست‌بندی
۷۲	- ارزیابی روش
۷۴	ب) خصوصیات آلاینده‌های زیر سطحی
۷۴	ج) بررسی‌های عملی
۷۷	۳-۳- طبقه‌بندی و تخمین آلاینده‌های زیر سطحی
۷۷	۳-۳-۱- رخداد مکانی و زمانی
۸۰	۳-۳-۲- روش POSH برای تشریح بار آلاینده
۸۱	۳-۴- تخمین میزان آلاینده زیرسطحی
۸۱	۳-۴-۱- منابع آلاینده پخش (DIFFUSE)

۸۱	مناطق مسکونی شهری بدون شبکه فاضلاب اصلی
۸۴	خاک کشاورزی
۸۸	۳-۴-۲- منابع آلودگی نقطه‌ای
۸۸	فعالیت‌های صنعتی
۹۱	تالاب‌های فاضلاب
۹۲	دفع زباله جامد
۹۳	ایستگاه‌های پمپ بنزین
۹۴	فعالیت‌های معدنی و استخراج هیدروکربن
۹۶	زمین آلوده شده
۹۶	- آبراهه‌های سطحی آلوده
۹۷	- مسیرهای حمل و نقل
۹۸	- قبرستان‌ها
۹۸	۳-۵- نتایج

فصل چهارم:

ارزیابی و کنترل خطرات آلودگی آب زیرزمینی

۱۰۲	۴-۱- ارزیابی خطر آلودگی اکيفر
۱۰۲	الف) روش پیشنهادی
۱۰۳	ب) تفاوت بین خطر و ريسک (HAZARD & RISK)
۱۰۴	۴-۲- ارزیابی خطر آلودگی منبع آب زیر زمینی
۱۰۴	الف) روشی برای تلفیق مناطق تسخير منبع
۱۰۴	ب) مطالعات بهداشت سرچاهی تکمیلی
۱۰۶	۴-۳- استراتژی‌های کنترل آلودگی آب زیرزمینی
۱۰۷	الف) جلوگیری از آلودگی در آینده
۱۱۱	ب) منابع آلودگی موجود

- ج) روشی برای مناطقی که قبلاً آلوده شده‌اند..... ۱۱۴
- د) انتخاب منابع جدید آب زیرزمینی..... ۱۱۵
- ۴-۴- نقش و روش پایش کیفیت آب زیرزمینی ۱۱۸
- الف) محدودیت‌های نمونه برداری از چاه پمپاژ..... ۱۱۹
- ب) پایش سیستماتیک برای کنترل آلودگی آب زیرزمینی..... ۱۲۰
- ج) انتخاب پارامترهای تحلیلی..... ۱۲۱
- ۴-۵- برنامه‌های حفاظت کیفیت آب زیرزمینی..... ۱۲۳
- الف) مسئولیت‌ها و تجهیزات بنیادی..... ۱۲۳
- ب) عدم قطعیت‌های اصلی و چالش‌ها..... ۱۲۴
- ج) ایجاد یک توافق برای عملیات..... ۱۲۶
- منابع..... ۱۳۱

مقدمه مؤلف

این کتاب از این جهت که راهنمایی‌هایی بسیار روشن و واضحی را برای طراحان و تصمیم‌گیرندگان که در زمینه منابع آب فعالیت می‌کنند، فراهم می‌کند و از این جهت که این افراد چگونه با ابعاد کیفی مدیریت منابع آب زیرزمینی سر و کار داشته باشند از نشرهایی است که بسیار مورد استقبال قرار گرفته است.

از آنجایی که شواهدی موجود است که تهدیدات آلودگی آب‌های زیرزمینی در حال رشد بوده و برخی از موارد مستند وجود دارد که آسیب‌های جبران‌ناپذیر و غیرقابل برگشتی به آبخوان‌های مهم وارد نموده است و این اتفاق به علت غفلت چندین ساله در این زمینه رخ داده است. این اثر بسیار به جا می‌باشد. ایده نگارش این کتاب از کارل بارتون Carl Bartone و Abel meiyia ... از بانک جهانی نشأت گرفته است که تلاش اولیه برای جلب توجه به نیاز جهت حفاظت از آب زیر زمینی در منطقه کارائیب آمریکایی لاتین توسط مرکز WHO-PAHo مهندسی بهداشت علوم زیست داشته‌اند به طوری که به همراه اداره ناحیه‌ای یونیسکو برای ناحیه کارئیب امریکای لاتین از این فعالیت جدید حمایت کرده‌اند. نشر این کتاب برای هدف کلی مجوز فعالیت گروه مدیریت آب زیرزمینی بانک جهانی (Gw-MATE) صورت گرفته که در ارتباط با شرکت آب جهانی (Global water partnership) و تحت نظر دکتر Stephen foster می‌باشد.

به طور کلی این کتاب براساس مرور تجارت دهه اخیر در حوزه حفاظت آب زیرزمینی در امریکای لاتین و مدارک موجود در اروپا و امریکای شمالی نگارشی شده است. روش‌های ذکر شده در جهت حفاظت از آب زیرزمینی در سطح سیاسی و در جامعه شهری کمک خواهد کرد (John Briscoe ,

World Bank Senior Water Adviser

این کتاب به طور خلاصه نشان می‌دهد که ارزیابی خطرات آلودگی آب زیرزمینی باید یک قسمت اساسی در جهت بهترین عمل محیطی برای منابع آب شرب باشد. چنین ارزیابی‌هایی باید منجر به افزایش ارزش واضح‌تری در جهت فعالیتهای اولویت‌بندی موردنیاز برای مسئولان شهری و محیطی جهت حفاظت از آب زیرزمینی در جهت اجتناب از آلودگی در آینده و کم کردن تهدیدات موجود شود. در اکثر موارد هزینه این اقدامات در مقایسه با توسعه و ایجاد منابع تأمین آب شرب جدید و اتصال آنها به شبکه توزیع موجود کمتر می‌باشد و وضعیت در برخی کشورهای امریکای لاتین بحرانی می‌باشد، به دلیل اینکه اکثر آبخوان‌های تأمین کننده آب شرب شهری با آلودگی جدی و یا رو به افزایش مواجه می‌باشند.

در میان شهرهای ناحیه‌ای که وابستگی بیشتری به منابع آب زیرزمینی دارند، شهرهای Reaif در برزیل Lima در پرو، شهرهای مکزیک و اغلب ایالت‌های امریکای مرکزی را می‌توان نام برد. بنابراین این کتاب به ویژه برای ناحیه کارائیب امریکای لاتین مناسب می‌باشد، جایی که اکثر کشورها با تغییرات اساسی در جهت مدرنیته شدن صنایع آنها و چارچوب‌های قانونی مدیریت منابع آب دیرگیر هستند، اما ممکن است آب زیرزمینی به دلیل فقدان آگاهی و دانش در مورد مسائل آب‌های زیرزمینی در همان سطح دیدگاه در مورد آب‌های سطحی در نظر گرفته می‌شوند. فرایند انجام شده در این کتاب و پیشنهادات ارائه شده باید بر روی تکنیک‌های هر مؤلفه ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی متمرکز شوند.

(Abel Mejia-Betancourt, Sector Manager, Water Cluster; Finance, Private Sector, and Infrastructure, Latin America and Caribbean Region)

مقدمه مترجم

ایران سرزمینی خشک و نیمه خشک است که میانگین بارندگی سالانه آن کم‌تر از یک سوم متوسط بارندگی سالانه کره زمین می‌باشد و از سوی دیگر توزیع بارندگی در ایران از نظر مکانی و زمانی یکنواخت نمی‌باشد و با توجه به این عوامل بخش اعظم موردنیاز در ایران از منابع آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود. با توجه به افزایش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی همراه با رشد جمعیت، بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی افزایش روز افزونی داشته است. از سوی دیگر استفاده بیش از حد منابع آب‌های زیرزمینی و گسترش فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و تولید انبوه پسماندها و ضایعات منابع آب‌های زیرزمینی را مورد تهدید جدی قرار داده و موجب آلودگی‌های زیادی گردیده است.

فرایند احیاء آبخوان در مقیاس منطقه‌ای در یک قالب زمانی معقول امکان‌پذیر نمی‌باشد بنابراین اگر آلوده شوند ممکن است سال‌های زیادی طول بکشد تا آب آلوده از آبخوان خارج شود. لذا با توجه به موارد فوق و اهمیت موضوع و لمس این مشکل و از سوی دیگر کمبود منابع فارسی در این زمینه برخورد لازم دانستیم تا در این زمینه نقش اندکی ایفا کرده و در جهت افزایش آگاهی عمومی کتاب حاضر را ترجمه نمائیم. تمام همت و تلاش خود را بکار گرفته‌ایم تا امانتدار خوبی باشیم و مطالب را بدرستی و بدون کم و کاستی عیناً ترجمه نمائیم.

امید است این کتاب مورد استفاده دانشجویان و دانش‌پژوهان و مسئولان محترم قرار گیرد و این عزیزان اغلاط چاپی و علمی کتاب را بر ما بخشیده و با تذکر خویش ما را در جهت رفع آنها یاری نمایند بر همه روشن است که یافتن معادل فارسی و واژه‌گزینی اصطلاحات علمی انگلیسی یکی از مشکلات عمده‌ای است که مترجمین با آن روبرو هستند در بسیاری از موارد مترجم ناچار است که از واژه‌های اصلی استفاده نماید که کتاب حاضر از این امر مستثنی نمی‌باشد گرچه سعی بسیاری شده است تا حد

ممکن این اثر عاری از استثناء باشد لکن قطعاً اشتباهات در آن وجود خواهد داشت که از خوانندگان نکته
سنج استدعا می‌شود که موارد مشاهده شده را منعکس نمایند تا در چاپ‌های بعدی رفع گردد.
در نهایت برخورد لازم می‌دانیم از زحمات استاد ارجمند آقای دکتر حمیدرضا ناصر تشکر نمائیم. از
مدیرعامل محترم شرکت آب منطقه‌ای زنجان، آقای مهندس حمیدنیا، معاونت محترم حفاظت و
بهره‌برداری آقای مهندس قزلباش، معاونت محترم برنامه‌ریزی و بهبود مدیریت آقای مهندس مهدی‌نژاد،
مدیر محترم مطالعات پایه شرکت آقای مهندس افشاری، آقای مهندس نقدی و اسماعیلی کارشناس
مطالعات، مهندس جواد محمدی و حمداله بهرام خانی کارشناس منابع آب خداینده و کلیه همکاران در
شرکت آب منطقه‌ای و همچنین خانم اکرم السادات استادحسینی و کلیه عزیزانی که در ترجمه این اثر
یاری کرده‌اند، تشکر می‌نمائیم. همچنین از سرکار خانم رومی مدیر محترم انشترات نیکان کتاب قدردانی
می‌نمائیم.

با آرزوی توفیق برای کلیه خادمین علم

بهار ۹۴

بخش اول: مقدمه

مروری بر اجرا

۱- دلیل اصلی و منطقی حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

یک مسئولیت اجرایی برای پرسنل ارشد شرکت‌های خدماتی آب، مسئولان شهری و سازمان‌های محیطی، پاسخ به سؤالاتی در مورد تهدیدهای آلودگی آب زیرزمینی و لزوم حفاظت و فراهم‌سازی زمینه اساسی و روش‌های استاندارد برای انجام وظیفه حفاظت و حراست کیفیت آب برای آبرسانی عمومی می‌باشد.

- ۱- چرا این راهنما نگارش شده است؟
- ۲- چرا آب زیرزمینی نیازمند حفاظت است؟
- ۳- دلایل عمده بد شدن کیفیت آب زیرزمینی کدام موارد است؟
- ۴- آبخوان‌ها چگونه آلوده می‌شوند؟
- ۵- خطر آلودگی آب زیرزمینی چگونه مشخص می‌شود؟
- ۶- حفاظت آب زیرزمینی در برابر آلودگی شامل چه مواردی است؟
- ۷- چرا باید بین حفاظت منابع آب زیرزمینی و حفاظت تجهیزات آبرسانی تمایز قائل بود؟
- ۸- چه کسی باید حفاظت از آلودگی آب زیرزمینی را ترویج کند؟
- ۹- چه منابع مالی و انسانی مورد نیاز می‌باشد؟

۲- دلیل اصلی و منطقی برای حفاظت از آب زیرزمینی

۱- چرا این راهنما نوشته شده است؟

- در مقیاس وسیع، استراتژی‌های حفاظت آب زیرزمینی (و پیش نیاز آن: ارزیابی خطر آلودگی) باید توسط تنظیم کننده قوانین آب یا محیط (یا نماینده آنها، سازمان، یا دفتر دولت ملی، ناحیه‌ای یا محلی موظف به انجام این کار) ارتقا داده شوند. به هر حال توجه به مقیاس و سطح جزئیات ارزیابی و حفاظت منابع آبرسانی ویژه اهمیت دارد.

- در گذشته منابع آب زیرزمینی به صورت تصادفی استخراج می‌شدند. اغلب افرادی که برای آب آشامیدنی به چنین منابعی وابسته بودند، فعالیت مهمی برای اطمینان از کیفیت آب تصفیه نشده انجام نمی‌دادند و کارهای مناسبی برای ارزیابی خطر پتانسیل آلودگی آب انجام نمی‌دادند.

- ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی برای فراهم کردن یک درک واضحی از فعالیت‌های مورد نیاز حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی در برابر بدتر شدن کیفیت آن مورد نیاز می‌باشد. اگر شرکت‌های آبرسانی متعهد شوند که هم فعالیت‌های پیشگیری از آلودگی‌های بیشتر و هم فعالیت‌های اصلاح‌کننده (بازیابی) برای کنترل خطر آلودگی ایجاد شده توسط فعالیت‌های گذشته و حال حاضر انجام دهند، جای امیدواری است که از سوی مقامات شهری و تنظیم‌کنندگان محیطی در اولویت قرار داده شده و به طور مؤثر ارتقا خواهد یافت (تکمیل خواهد شد).

۳- چرا منابع آب زیرزمینی نیازمند حفاظت می‌باشد؟

- آب زیرزمینی یک منبع حیاتی طبیعی برای تهیه آب آشامیدنی اقتصادی و ایمن در محیط‌های شهری و روستایی می‌باشد و نقش اساسی در بهبود اکوسیستم‌های انسانی و آبزیان دارد (اما گاهی اوقات کمتر به آن بها داده می‌شود).

- در سراسر جهان، آبخوان‌ها (سازندهای زمین‌شناسی دارای منابع آب زیرزمینی قابل استفاده)، توسط آلودگی‌های شهری، توسعه صنعتی، فعالیت‌های کشاورزی و معدنی، تهدید می‌شوند.

۴ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

- بنابراین فعالیت‌های عملی برای حفاظت کیفیت طبیعی (معمولاً خیلی عالی) آب زیرزمینی در بسیاری مناطق لازم است و می‌تواند هم در مقیاس وسیع‌تر و هم در مقیاس‌های محدودتر با معیارهای اقتصادی انجام گیرد.

- در زمینه اقتصادی، هم‌چنین مهم است که شرکت‌های آب، ارزش استراتژیکی منابع آب زیرزمینی‌شان را ارزیابی کنند. این عمل باید براساس ارزیابی مبتنی بر هزینه جایگزینی آنها شامل هزینه توسعه منابع جدید و هم‌چنین هزینه بهره‌برداری و اتصال منابع دورتر (اغلب زیاد) به شبکه‌های موجود صورت گیرد.

- اندازه‌گیری‌های حفاظتی ویژه (در واقع) برای همه گمانه‌ها، چاه‌ها و چشمه‌ها (هم عمومی و هم شخصی) برای فراهم‌سازی استانداردهای آب آشامیدنی یا استانداردهای معادل مورد نیاز می‌باشد. بنابراین در برگیرنده منابع مورد استفاده در آب معدنی و صنایع غذایی و نوشیدنی می‌باشد.

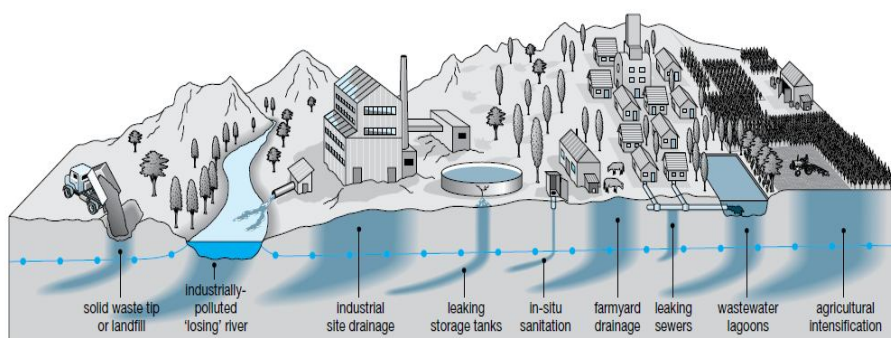
- برای تهیه آب آشامیدنی عمده (آبرسانی اصلی)، کیفیت طبیعی پایدار و خوب آب مورد نیاز می‌باشد و یکی از بهترین راهکارها، منابع آب زیرزمینی حفاظت شده است. فرایندهای در جهت دسترسی به این هدف (قبل از گندزدایی پیشگیرانه) باید از نظر پیچیدگی تکنیکی و هزینه و مسئولیت، به عنوان آخرین اقدام بررسی شود.

۴- دلایل کلی نامطلوب شدن کیفیت آب زیرزمینی کدام موارد است؟

- علل پتانسیل مختلفی برای بد شدن (نامطلوب شدن) کیفیت آب زیرزمینی در آبخوان و یا در منبع آبرسانی آب زیرزمینی وجود دارد. این موارد بر اساس منشأ و جزئیات بیشتر در جدول A.1. طبقه بندی شده‌اند. ما در این کتاب با حفاظت آبخوان در مقابل آلودگی سر و کار داریم اما آگاهی از سایر فرایندها نیز مفید می‌باشد.

جدول A-1 - طبقه‌بندی مسائل مرتبط با کیفیت آب زیرزمینی

نوع مسأله	عامل اصلی ایجاد	آلاینده‌های ایجاد شده
آلودگی آبخوان	حفاظت نامناسب آبخوان‌های آسیب پذیر در مقابل زباله‌ها و شیرابه‌های ناشی از فعالیت صنعتی/ شهری و فعالیت‌های کشاورزی شدید	عوامل بیماری‌زا (پاتوژن‌ها)، نیترات یا آمونیوم، کلرید، سولفات، بور، آرسنیک، عناصر سنگین، کربن آلی، هیدروکربن‌های معطر و halogenated آفت کش‌های خاص
آلودگی سرچاهی	ورود مستقیم آب سطحی و یا آب زیرزمینی کم عمق آلوده شده ناشی از ساخت/ تجهیز نامناسب چاه	غالباً آفت کش‌ها
نفوذ آب شور	نفوذ آب زیرزمینی شور (گاهاً آلوده) به سمت آب شیرین در نتیجه برداشت زیاد	غالباً کلرید سدیم، هم‌چنین می‌تواند شامل آلاینده‌های انسانی نیز باشد.
آلودگی طبیعی	وابسته به تکامل شیمیایی آب زیرزمینی و انحلال کانی‌ها (می‌تواند توسط آلودگی انسانی و یا برداشت زیاد تشدید شود)	غالباً آهن و فلوراید حل شده، گاهی اوقات سولفات منیزیم حل شده، آرسنیک، منگنز، سلنیوم و برخی مواد غیرآلی



شکل A-1 - فرایندهای معمول آلودگی آب زیرزمینی

۵- آبخوان‌ها چگونه آلوده می‌شوند؟

- بخش اعظم آب زیرزمینی از نفوذ بارش (مستقیم یا غیرمستقیم) در سطح زمین نشأت می‌گیرند. در نتیجه، فعالیت‌ها در سطح زمین می‌تواند کیفیت آب زیرزمینی را تهدید کند. آلودگی آبخوان‌ها (اکيفرها) جایی رخ می‌دهد که منابع آلوده کننده زیرسطحی تولید شده توسط انسان و نشت فاضلاب‌ها (شهری، صنعتی، کشاورزی و معدنی) کنترل مناسبی نشده‌اند و مؤلفه‌های (ترکیبات) ویژه از حداکثر مقدار ظرفیت رقیق شدن طبیعی حین عبور از میان خاک و لایه‌های فوقانی، بیشتر شده باشد (شکل A.1).

- پروفیل‌های زیرخاکی طبیعی، بسیاری از آلاینده‌های آب را رقیق می‌کنند و برای دفع ایمن مدفوع انسانی و فاضلاب خانگی به صورت مؤثری مورد توجه قرار گرفته‌اند. حذف اتوماتیک^۱ آلاینده‌ها در حین انتقال از منطقه غیراشباع (وادوز) ناشی از تجزیه بیوشیمیایی و واکنش شیمیایی است، اما فرایندهای تأخیر آلاینده ناشی از پدیده جذب نیز مهم می‌باشد. از این رو آنها زمان مورد نیاز فرایندهای حذف آلاینده را افزایش می‌دهند.

- به هر حال همه پروفیل‌های خاک‌های زیرسطحی و لایه‌های زیرین تأثیر یکسانی در رقیق‌سازی آلاینده ندارند و اکيفرها در مقابل آلاینده آسیب‌پذیرند، به ویژه در مناطقی که برای مثال سنگ‌های حاوی شکاف‌های فراوان وجود دارد. همچنین درجه رقیق‌سازی با توجه به نوع آلاینده و فرایند آلوده‌کننده در هر محیطی تغییر می‌کند.

- نگرانی در مورد آلودگی آب زیرزمینی در سفره‌های نامحبوس یا آزاد بیشتر است، به ویژه جایی که منطقه غیراشباع نازک و سطح ایستابی کم عمق است، اما حتی در آبخوان‌های نیمه محبوس اگر اکی تردهای محبوس‌کننده نسبتاً نازک و نفوذپذیر باشند نیز خطر آلودگی مهم وجود دارد.

- عوامل معمول‌تر آلوده‌کننده آب زیرزمینی و ترکیب آلاینده‌هایی که مکرراً رخ می‌دهند در جدول A-2 آورده شده است. تشخیص اینکه این موارد به طور گسترده از فعالیت‌ها و ترکیب‌هایی که عموماً مجموعه آب‌های سطحی را آلوده می‌کنند ناشی شده است یا نه، اهمیت دارد، چرا که کنترل‌های مختلف حاکم بر تحرک و پایداری آلاینده‌ها در سیستم‌های آبی را تعیین می‌کند.

1. auto- elimination

جدول A-2- آلاینده‌های معمول آب زیرزمینی و منابع آلودگی همراه آنها

منابع آلاینده	نوع آلودگی
فعالیت کشاورزی	نیتрат، آمونیوم، آفت کش، ارگانیسیم‌های مدفوعی
فاضلاب درجا	نیترات، هیدروکربن‌های halogenated، میکروارگانیسیم‌ها
پمپ بنزین و گاراژ	هیدروکربن معطر، بنزن، فنول، هیدروکربن‌های halogenated
دفع زباله جامد	آمونیم، شوری، هیدروکربن halogenated، عناصر سنگین
صنایع فلزی	تری کلرو اتیلن، تتراکلرواتیلن، هیدروکربن‌های halogenated، فنول، عناصر سنگین، سیانید.
کارهای رنگرزی و میناکاری	آلکیل بنزن، هیروکربن‌های halogenated، عناصر، هیدروکربن‌های معطر و تتراکلرواتیلن
صنایع چوب	پاتوکلروفنول، هیدروکربن‌های معطر، هیدروکربن‌های halogenated
خشکشویی	تری کلرواتیلن، تتراکلرواتیلن
تولید آفت کش	هیدروکربن halogenated، فنول، آرسنیک
دفع فاضلاب آلوده	نیترات، هیدروکربن‌های halogenated، سرب و روی
کارگاه تولید چرم	کروم، هیدروکربن‌های halogenated، فنول
استخراج نفت و گاز	شور، (کلرید سدیم)، هیدروکربن‌های معطر
معادن زغال و فلزات	اسیدی، عناصر سنگین مختلف، آهن و سولفات

- همچنین تأکید بر این نکته اهمیت دارد که فعالیت‌های ویژه (و فرایندهای خاص یا عملیات توسعه یافته همراه با چنین فعالیت‌هایی) اغلب کیفیت آب زیرزمینی را به شدت تهدید می‌کند. بنابراین اندازه‌گیری‌های کنترل آلودگی متمرکز شده و موفق می‌تواند مزایای زیادی در جهت ایجاد هزینه‌های نسبتاً پایین داشته باشد.

- فعالیت‌های انسانی در سطح زمین، مکانیسیم‌های تغذیه اکیفر را تغییر می‌دهد و فعالیت‌های جدید، نرخ، تناوب و کیفیت تغذیه آب زیرزمینی را تغییر می‌دهند. این مسأله به ویژه در مناطق دارای آب و هوای خشک می‌باشد اما در مناطق مرطوب نیز مؤثر می‌باشد. درک این مکانیسیم‌ها و تشخیص چنین تغییراتی در ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی مهم می‌باشد.

۸ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

- حرکت آب و انتقال آلاینده از سطح زمین به اکیفرها در بسیاری موارد یک فرایند آهسته می‌باشد. ممکن است چند سال یا چند دهه طول بکشد تا تأثیر یک دوره آلودگی ایجاد شده توسط یک آلاینده به صورت کامل در آب زیرزمینی مشاهده شود به ویژه در آب‌هایی که از چاه‌های عمیق‌تر استخراج می‌شوند. این عامل می‌تواند به صورت همزمان به عنوان یک مزیت مفید و از طرف دیگر نگرانی جدی تلقی شود زیرا:

- زمان کافی می‌دهد تا آلاینده‌های قابل رقیق شدن تجزیه شوند.
- ممکن است که احتمالاً آلاینده‌های پایدار و مقاوم نفوذ کند.
- همچنین تأثیر دیگری که دارد این است که بار اول که آب زیرزمینی به وضوح آلوده شد، معمولاً حجم زیادی از اکیفر را دربر می‌گیرد. بنابراین اقدامات پاکسازی تقریباً همیشه از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و از لحاظ فنی نیز اغلب مشکل‌آفرین است.

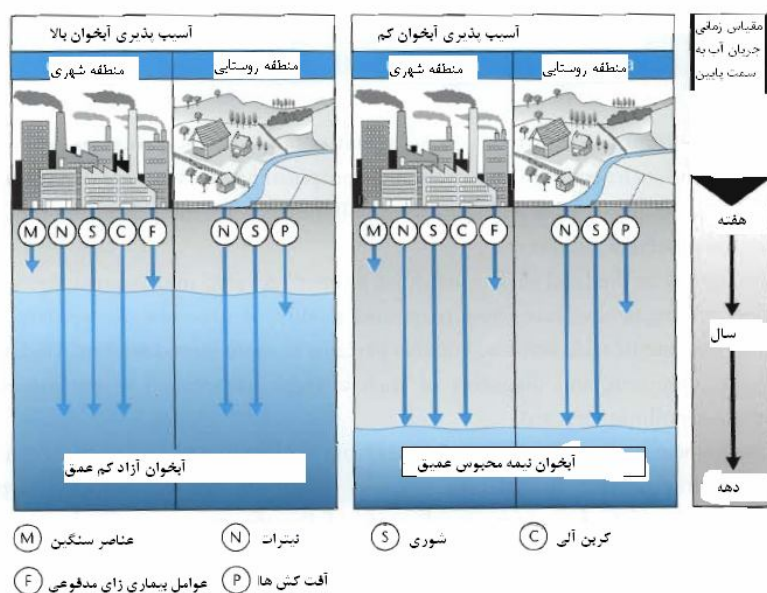
۶- چگونه می‌توان خطر آلودگی آب زیرزمینی را ارزیابی کرد؟

منطقی‌ترین روش برای ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی توجه به فعل و انفعالات بین موارد زیر است:

- آسیب‌پذیری آبخوان در برابر آلودگی، تابعی از خصوصیات طبیعی لایه‌های جدا کننده آبخوان از سطح زمین (منطقه غیراشباع)

- بار آلاینده که به عنوان نتیجه فعالیت انسانی در محیط زیر سطح زمین ایجاد می‌شود. با پذیرش چنین طرحی، به دلیل عدم وجود آلاینده زیرسطحی قابل توجه ولی آسیب‌پذیری بالای آبخوان، هیچ خطر آلودگی وجود ندارد و برعکس. هر دو در عمل تأثیر ثابتی دارند. علاوه بر این، آلاینده می‌تواند کنترل یا تصحیح شود اما آسیب‌پذیری ایجاد شده توسط شرایط طبیعی هیدروژئولوژیکی اساساً ثابت می‌باشد.

- اصطلاح آسیب‌پذیری آبخوان به بیان حساسیت یک اکیفر در برابر آلاینده تحمیل شده اشاره دارد (شکل A-2). در حقیقت، آن عکس « ظرفیت یک مجموعه دریافت کننده آب برای جذب آلاینده » در مباحث مدیریت کیفیت آب رودخانه می‌باشد.



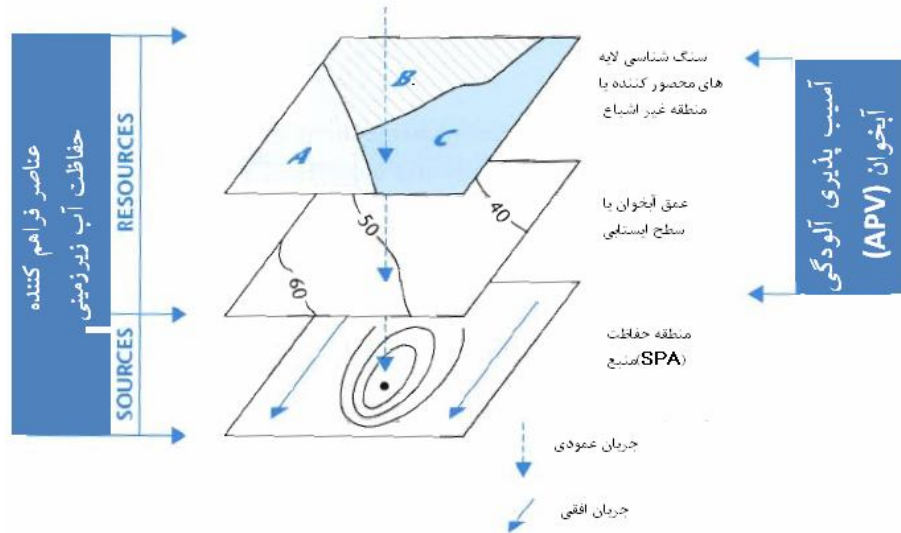
شکل: A-2 مفهوم شدت آسیب پذیری آبخوان در مقابل آلودگی

- نقشه آسیب پذیری اکیفر به سهولت می تواند تهیه شود. در چنین نقشه هایی نتایج بررسی های آلاینده زیرسطحی پتانسیل، برای سهولت ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی، می تواند اضافه شود. اصطلاح خطر آلودگی منبع آب زیرزمینی به این بستگی دارد که احتمالاً آب زیرزمینی در یک آبخوان تا غلظت های بالاتر از استاندارد WHO (سازمان بهداشت جهانی) برای آب آشامیدنی آلوده خواهد شد.

- این خطر تهدید کیفیت آب زیرزمینی در یک منبع آبرسانی عمومی اولاً به موقعیت آن منبع نسبت به منطقه تسخیر آب زیرزمینی و ثانیاً به تحرک و انتشار آلاینده ها در رژیم محلی جریان آب زیرزمینی بستگی دارد. ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی می تواند با استفاده از اضافه کردن محیط های حفاظتی به آسیب پذیری اکیفر مورد توجه قرار گیرد (شکل A-3) و پس از آن ارتباط دادن مناطق برای خلاصه کردن نقشه های حاصل از بررسی آلاینده زیرسطحی پتانسیل تعریف می شود. باید به این نکته توجه شود که ارزیابی خطراتی که آلودگی حاصل شده برای کاربران آب ایجاد می کند یا از لحاظ افزایش هزینه های بازایی آب از حوصله این کتاب فراتر می باشد.

۱۰ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

- مقیاس‌های بررسی و نقشه برداری مؤلفه‌های مختلف که برای ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی مورد نیاز می‌باشند، به صورت قابل توجهی بسته به هدف این کار - حفاظت منبع آبرسانی یا حفاظت اکifer - تغییر می‌کند (شکل A-4) و در ادامه بحث می‌شود.



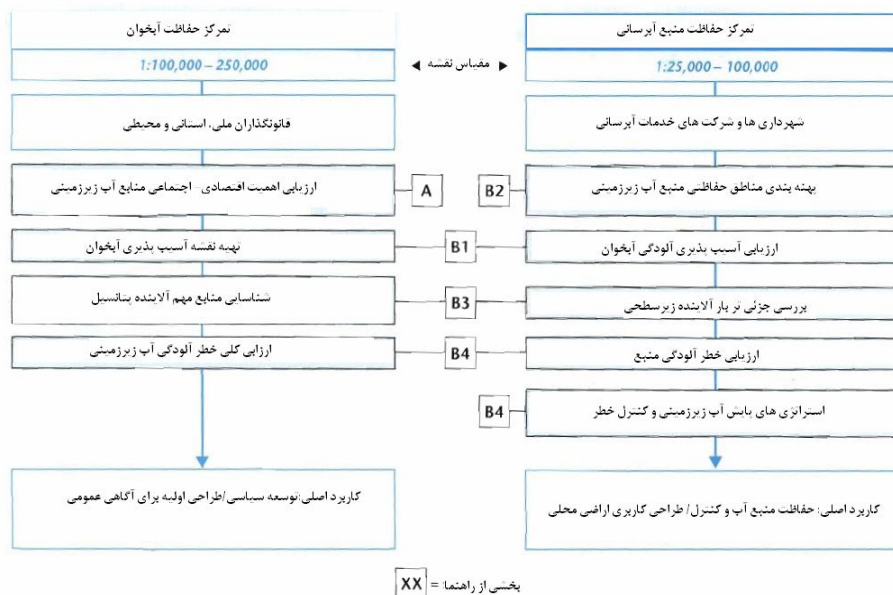
شکل: ۱-۳ مؤلفه‌های ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی

مورد استفاده در منطقه‌بندی سطح زمین جهت حفاظت آب زیرزمینی

۷- حفاظت آب زیرزمینی در مقابل آلودگی شامل چه مواردی است؟

- برای حفاظت اکifer در مقابل آلودگی محدود کردن - در حال حاضر و آینده - کاربری اراضی، تخلیه فاضلاب و دفع زباله لازم می‌باشد. مدیریت کل زمین برای جمع آوری (گردآوری) آب زیرزمینی امکانپذیر است و تعداد کمی شرکت‌های آبرسانی اروپایی وجود دارد که در آنها کل مناطق تغذیه برای جلوگیری از آلودگی میکروبیولوژیکی (پاتوژنیک) عایق‌بندی شده است. به هر حال این مورد در همه مناطق از نظر اقتصادی - اجتماعی امکانپذیر نیست و تعریف استراتژی‌های حفاظت آب زیرزمینی به طوری که مابین عوامل اجرایی توافق باشد، لازم است.

مروری بر اجرا ✓ ۱۱



شکل ۱-۴- تمرکز و کاربرد سطوح مختلف ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی

- به جای به کار بردن کنترل های جهانی کاربری اراضی و تخلیه فاضلاب، استفاده از ویژگی رقیق سازی طبیعی آلاینده توسط لایه های فوقانی اکیفر زمانی که سطح کنترل لازم برای حفاظت کیفیت آب زیرزمینی تعیین شده باشد، به صرفه تر می باشد (و ضرر و زیان کمتری بر روی توسعه اقتصادی دارد). مناطق مسطح (براساس آسیب پذیری آلودگی آبخوان و محیط های حفاظتی منبع) نیاز به تثبیت کردن با ماتریس هایی دارند که مشخص می کند چه فعالیت هایی امکان پذیر است و در کجا خطر قابل قبولی برای آب زیرزمینی وجود دارد.

- برخی اعتقاد دارند که شرایط هیدروژئولوژیکی به قدری پیچیده هستند که هیچ روشی نمی تواند آنها را دسته بندی نماید. به هر حال یک انگیزه مهم و برجسته برای منطقه بندی کاربری اراضی به عنوان یک چارچوب عمومی در توسعه و تکمیل سیاست حفاظت آب زیرزمینی وجود دارد زیرا:

- تصمیم گیری ها در هر شرایطی به آب زیرزمینی تأثیر می گذارند و اگر طراحان هیچ منطقه بندی نداشته باشند، بدین مفهوم می باشد که مشاوره و نظرسنجی کمتری با مراجع مرتبط با منابع آب وجود داشته است.

۱۲ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

- توقع حفاظت انحصاری همه آب‌های زیرزمینی غیرواقعی می‌باشد، استراتژی منطقه بندی برای اطمینان از اینکه بین توسعه اقتصادی و حفاظت آب زیرزمینی تعادل ایجاد شده است، اهمیت دارد.

- همچنین منطقه‌بندی حفاظت آب زیرزمینی یک نقش کلیدی در اولویت‌بندی برای پایش کیفیت آب زیرزمینی، بررسی محیطی مراکز صنعتی مجاز، کنترل آلودگی با سیستم مشاوره‌ای کشاورزی و آموزش همگانی دارد. همه این فعالیت‌ها، مؤلفه‌های اساسی یک استراتژی جامع برای حفاظت کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد.

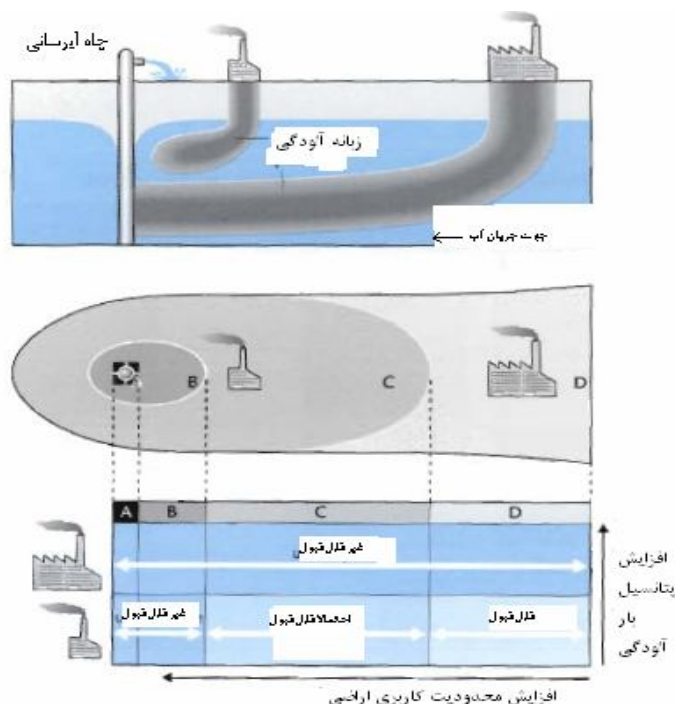
۸- چرا بین حفاظت منابع آب زیرزمینی و حفاظت منبع آبرسانی تفاوت وجود دارد؟

- یک تعادل محسوس به تمایز و تشخیص بین حفاظت منابع RESOURCE آب زیرزمینی (به طور کلی اکیفرها) و منابع SOURCE ویژه (گمانه‌ها، چاه‌ها و چشمه‌ها) نیاز دارد. در حالی که هر دو روش برای کنترل آلودگی آب زیرزمینی مکمل هم هستند، تأکید بر یکی به شرایط وضعیت توسعه منبع و شرایط هیدروژئولوژیکی غالب بستگی دارد.

- اگر فقط یک بخش کوچکی از کل منابع آب زیرزمینی برای شرب می‌باشد، حفاظت از همه بخش‌های یک اکیفر به صورت مساوی و برابر مقرون به صرفه نمی‌باشد. استراتژی‌های متمرکز بر منبع^۱ مناسب می‌باشد و شامل فعالیت در مقیاس ۱۰۰۰۰۰ - ۱:۲۵۰۰۰، که با ترسیم منطقه تسخیر آب زیرزمینی شروع شده (شکل A-5) و سپس ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان و بار آلودگی زیرسطحی در مناطق به صورتی که تعریف شده، می‌باشد.

1. SOURCE-oriented-

مروری بر اجرا ✓ ۱۳



شکل A-5: مفهوم مناطق حفاظت آب زیرزمینی با محدودیت‌های کاربری اراضی

- این روش برای اکیفرهای تحکیم نیافته و یکنواخت تر که تنها توسط تعداد نسبتاً کوچک و ثابتی گمانه تأمین آب شهری با رژیم‌های پمپاژ ثابت و آبدهی بالا مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، مناسب‌تر است. در مناطق با آلودگی کمتر که رقیق شدن آن می‌تواند بدون استفاده از روش‌های دیگر صورت گیرد، مناسب‌ترین روش می‌باشد. جایی که تعداد بسیار زیاد و با رشد سریع چاه‌های پمپاژ مجزا وجود دارد، نمی‌تواند به کار رود. در این حالت توجه به منابع مجزا و تأسیس مناطق ثابت و اتخاذ یک روش گسترده تر مورد نیاز می‌باشد.

- عموماً استراتژی‌های متمرکز بر اکیفر^۱ قابل استفاده‌تر می‌باشند، زیرا آنها برای رسیدن به یک درجه از حفاظت برای کل منبع آب زیرزمینی و همه کاربران آب زیرزمینی تلاش می‌کنند. آنها با نقشه برداری آسیب‌پذیری اکیفر در مناطق وسیع تری (شامل یک یا چند اکیفر مهم) در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ یا

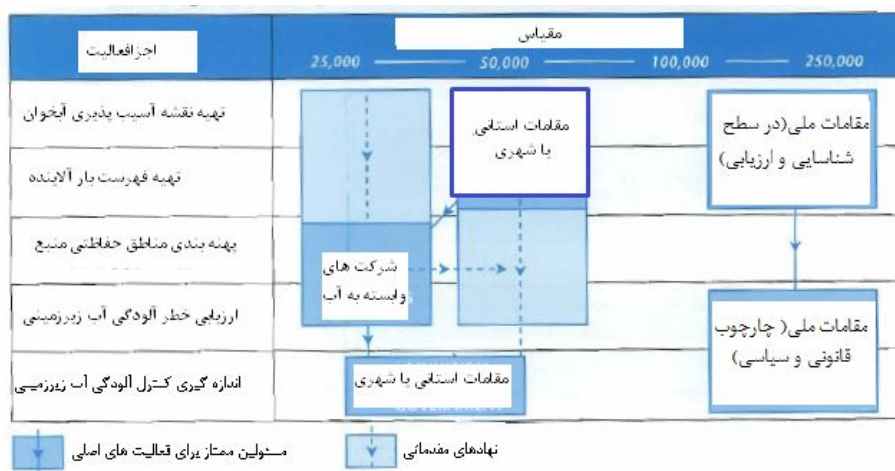
1. AQUIFER-oriented

۱۴ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

بیشتر آغاز می‌کند، اگر اطلاعات عمومی‌تر لازم باشد و هدف طراحی باشد، مقیاس بزرگتر اتخاذ می‌شود. چنین نقشه‌هایی با استفاده از یک فهرستی از بار آلاینده زیرسطحی در مقیاس کوچک‌تر برای مناطق با آسیب‌پذیری بیشتر پیگیری می‌شوند.

۹- چه کسانی باید حفاظت آب زیرزمینی در مقابل آلودگی را ترویج دهند؟

بخش‌های بنیادی برای ترویج حفاظت آب زیرزمینی در شکل A-6- به صورت خلاصه آمده است. مسئولیت شرکت‌های خدماتی برای تطبیق با کدها و نمرات فعالیت مهندسی منطقی‌تری است که یک التزام برای فعالیت یا ترویج ارزیابی‌های خطر آلودگی برای همه منابع آب زیرزمینی وجود دارد. این کار یک پایه مناسب برای نمایش ایجاد محیط محلی و تنظیم‌کننده منابع آبی برای انجام اندازه‌گیری‌های حفاظتی در جایی که مورد نیاز باشد فراهم می‌کند.



شکل ۱-۶: آرایش نهادی برای کنترل و ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی

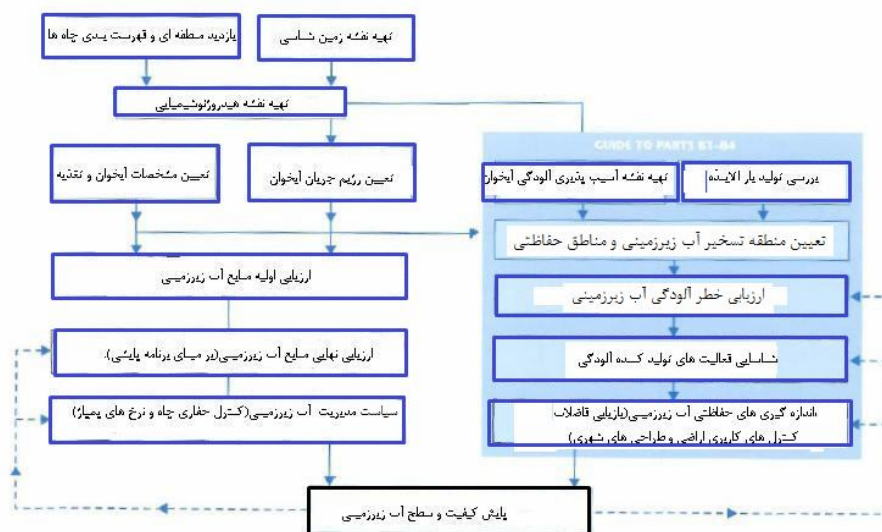
حتی جایی که هیچ قانون یا عاملی برای کنترل کافی آلودگی وجود ندارد، برای دولت‌های محلی یا شهرداری‌ها مقدور می‌باشد که فعالیت‌هایی در مناطق محلی انجام دهند. روش‌های ارائه ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی هم‌چنین یک ابزار مؤثری برای شروع سهامداری مناسب می‌باشد (شامل استفاده‌کنندگان علاقه‌مند از آب و آلوده‌کنندگان بالقوه آب زیرزمینی).

۱۰- منابع مالی و انسانی چه چیزهایی می‌باشد؟

روش ارزیابی پیشنهادی به مشارکت حداقل دو شخص ماهر - یک متخصص آب زیرزمینی / هیدروژئولوژیست (به عنوان رهبر تیم) و یک مهندس / دانشمند محیط‌زیست - نیاز دارد که با تعدادی از کارمندان دفتر محلی و وسایل نقلیه صحرایی مورد حمایت قرار می‌گیرد.

اگرچه روش‌شناسی ارائه شده در اینجا نسبتاً ساده است، لازم است که کارمندان آگاهی جامعی از آلودگی آب زیرزمینی داشته باشند. مهارت‌های (در شغل و از طریق مشاوره) نرخ‌بندی مؤلفه‌های جامع‌تر آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان و ارزیابی بار آلودگی زیرسطحی نیاز به توسعه دارند.

شکل A-7: نمای کلی مدیریت منابع آب زیرزمینی در این کتاب



شکل ۷-۱: راهنمای کلی حفاظت منابع آب زیرزمینی

۱۶ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

مرزهای یک منطقه ارزیابی باید با یک پایه فیزیکی تعریف شوند تا دربر گیرنده کل آبخوان یا زیر حوضه‌ای از آب زیرزمینی در یک آبخوان باشند به طوری که همیشه حاوی منطقه تغذیه احتمالی سیستم مورد نظر باشد.

روش ارزیابی نسبت به سایر تحقیق‌ها و فعالیت‌های مدیریت آب زیرزمینی کامل‌تر است (شکل A-7). آن نسبتاً سریع طراحی می‌شود و داده‌هایی را به کار می‌برد که از بررسی‌های دیگر جمع‌آوری شده است و یا اینکه می‌تواند به سرعت در صحرا جمع‌آوری شود. در روش ارائه شده، باید برای یک تیم کامل کردن ارزیابی خطر آلودگی منبع آب زیرزمینی و آبرسانی در طول ۲ تا ۱۲ ماه با توجه به اندازه و پیچیدگی منطقه مورد مطالعه امکان‌پذیر باشد.

بخش دوم - راهنمای فنی

فصل اول

مقدمه: روش شناسی برای حفاظت آب زیرزمینی

راهنمای فنی، یک راهنمای عملی برای متخصصان آب زیرزمینی، مهندسان و دانشمندان محیطزیست که برای توسعه استراتژی‌های حفاظت کیفیت آب زیرزمینی در شرکت‌های خدمات آبی و آژانس‌های منابع آب یا افرادی که طراحی کاربری اراضی، برداشت از منابع آب و کنترل دفع زباله در ادارات محیطزیست و شهرداری انجام می‌دهند، می‌باشد. مباحثی که در این بخش مطرح شده‌اند عبارتند از:

- تهیه نقشه آسیب‌پذیری آلودگی اکیفر
- تعیین مناطق حفاظت آب زیرزمینی
- فهرست‌بندی بار آلاینده زیر سطحی
- ارزیابی و کنترل خطرات آلودگی آب زیرزمینی

۱- تهیه آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان

تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان، زمانی که مقیاس استانی یا شهری مدنظر باشد، اولین مرحله ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی و حفاظت کیفیت آن خواهد بود. این فصل توسعه مفهوم آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان را بعد از پیشنهاد یک پایه اصولی برای ارزیابی آسیب‌پذیری اکیفر را بحث و بررسی می‌کند که می‌تواند برای نقشه برداری در همان مقیاس استفاده شود. این مفهوم همچنین برای ارزیابی آسیب‌پذیری در سطوح محلی با مناطق تأمین آب زیرزمینی انفرادی مفید می‌باشد.

۱-۱- اصول اساسی روش تعیین آسیب‌پذیری

مکانیسم‌های تغذیه آب زیرزمینی و ظرفیت رقیق سازی طبیعی پروفیل خاک‌ها با شرایط زمین شناختی نزدیک سطح تغییر می‌کند. بنابراین به جای کاربرد کنترل‌های جهانی بر روی کاربری‌های اراضی آلوده بالقوه و برداشت‌های زیاد، تغییر دادن نوع و سطح کنترل منطبق با این ظرفیت رقیق‌سازی،

راهنمای فنی ✓ ۱۹

از نظر هزینه مقرون به صرفه است (و زیان کمتری به توسعه اقتصادی دارد). این فرضیه اساسی مفهوم کنترل آسیب‌پذیری آلودگی و نیاز به نقشه برداری آسیب‌پذیری می‌باشد.

از نظر پیچیدگی فاکتورهای حاکم بر انتقال آلودگی به اکيفرها در هر موقعیتی، در نگاه اول به نظر می‌رسد که:

- شرایط هیدرولوژیکی به قدری پیچیده هستند که نمی‌توان آنها را در نقشه مناطق آسیب‌پذیری محدود کرد.

- رفتار هر کدام از فعالیت‌های آلوده‌کننده به صورت مجزا و ارزیابی خطر آلودگی که آن ایجاد می‌کند به صورت مستقل منطقی‌تر می‌باشد.
به هر حال این روش:

- برای رسیدن به سطح پوشش جهانی و اجتناب از تصمیمات متناقض غیرمحمول و بعید است.

- منابع انسانی بیشتر و سرمایه مالی زیادی برای بررسی‌های میدانی (صحرایی) نیاز دارد.

- در جایی که مسئولیت ارگانی و نهادی وجود ندارد، مشکلات اداری می‌تواند ایجاد شود.

۱-۲- توسعه مفهوم آسیب‌پذیری

در هیدروژئولوژی اصطلاح «آسیب‌پذیری» برای اولین بار در دهه ۱۹۷۰ در فرانسه مورد استفاده قرار گرفت (Albinet, Margat 1970) و در دهه ۱۹۸۰ به صورت وسیع تری استفاده شد. (Haertle, 1988; Foster & Hitara, 1987; Aller et al., 1983). در حالی که مفهوم آسیب‌پذیری استعداد نسبی اکيفرها برای آلودگی می‌باشد، این اصطلاح در ابتدا بدون در نظر گرفتن تعریف اصلی آن مورد استفاده قرار می‌گرفت.

این اصطلاح معانی متفاوتی برای افراد مختلف به خود اختصاص داد. یک تعریف مفید و منطقی در مورد آسیب‌پذیری آلودگی اکيفر به عنوان خصوصیت ذاتی لایه‌های فوقانی آبخوان اشباع تا سطح زمین است که حساسیت آن را در مقابل یک آلاینده سطحی نشان می‌دهد (Foster, 1987).

آسیب‌پذیری تابعی است از:

- نزدیکی به آبخوان اشباع، جنبه هیدرولیکی برای نفوذ آلاینده‌ها.

۲۰ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

- ظرفیت رقیق سازی لایه های فوقانی منطقه اشباع در نتیجه نگهداشت فیزیکی - شیمیایی یا واکنش با آلاینده ها.

به همان روال، خطر آلودگی آب زیرزمینی به عنوان احتمالی است که آب زیرزمینی در بالاترین قسمت (در ابتدای) یک اکیفر تا یک سطحی غیر قابل قبول توسط فعالیت هایی در سطح زمین آلوده می شود (Foster & Hitara, 1988; Adams & Foster, 1992).

سپس دو گروه حرفه ای مهم مسئله را بازبینی کرده و برای کاربرد مفهوم آسیب پذیری و نشان دادن فایده و اهمیت آن اظهار نظر می کنند (NRC, 1993; IAH/Vrba & Zaporozec, 1994). برای آنها اظهارات واضح تر درخصوص استفاده از این اصطلاح مطلوب می باشد، برای مثال آن به وضوح با خصوصیات ذاتی لایه های (منطقه غیر اشباع یا لایه های محصور کننده) جدا کننده آبخوان اشباع از سطح زمین مرتبط می باشد (Foster & Skinner, 1995). آن به صورت مستقیم با تأثیر بالقوه کاربری اراضی در مکانی که بلافاصله بالای آب زیرزمینی قرار دارد مرتبط می باشد (با اهمیت زیاد).

توجه شود که فاکتور نشان دهنده تحرک و وجود آلاینده ها در منطقه اشباع در آسیب پذیری تأثیر دارد. به هر حال این فاکتور بدون مشاهده نقشه آسیب پذیری به عنوان مفیدترین چشم انداز، یعنی فراهم سازی یک چهارچوب برای طراحی و کنترل فعالیت ها در سطح زمین، نمایان نمی شود.

۱-۳- نیاز به یک شاخص آسیب پذیری تکمیلی مطلق

دو سؤال اساسی که در ارتباط با آسیب پذیری اکیفر در برابر آلودگی مطرح می شود این است که آیا موارد زیر امکان پذیر است:

- فراهم کردن یک شاخص آسیب پذیری تکمیلی یا الزام کار کردن با آسیب پذیری ویژه برای آلاینده های منفرد و سناریوهای آلودگی.

- فراهم سازی یک شاخص مطلق آسیب پذیری تکمیلی یا محدود شدن به شاخص های آسیب پذیری نسبی که از اهمیت کمتری برخوردارند.

جریان آب زیرسطحی و انتقال آلاینده فرایندهای پیچیده ای هستند. در واقع، فعل و انفعالات بین مؤلفه های آسیب پذیری اکیفر و بار آلاینده زیرسطحی که خطر آلودگی آب زیرزمینی را مشخص می کنند، می تواند بسیار پیچیده باشد (شکل ۱-۱). به ویژه، درجه رقیق سازی آلاینده می تواند با نوع آلاینده و

راهنمای فنی ✓ ۲۱

فرایند آلوده سازی در هر شرایطی متفاوت باشد. بنابراین «آسیب‌پذیری کلی (تکمیلی) نسبت به یک آلاینده جهانی در یک سناریوی آلودگی معمولی» در دوره‌های با آلودگی شدید اعتبار دقیقی ندارد (Foster & Hitara, 1988).

از نظر علمی، ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به آلودگی توسط هر آلاینده‌ای یا تصور کردن آن توسط هر گروه آلودگی (پاتوژن‌ها، میکرو ارگانیسم‌ها، عناصر سنگین و غیره) به صورت مجزا، یا هر گروه از فعالیت‌های آلوده‌کننده (فاضلاب‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، زباله‌های صنعتی و غیره) به صورت جداگانه منطقی‌تر می‌باشد. به همین دلیل پیشنهاد شده است (Andersen & Gosk, 1987) که تهیه نقشه آسیب‌پذیری برای هر گروه آلاینده در سناریوهای آلودگی مخصوص انجام گیرد. به هر حال اطلس نقشه‌ها برای هر منطقه تهیه می‌شود که در بسیاری از کاربردها به استثنای ارزیابی و کنترل انتشار آلودگی کشاورزی مشکل است (Carter et al., 1987; Sokol et al., 1993; Loague, 1994).

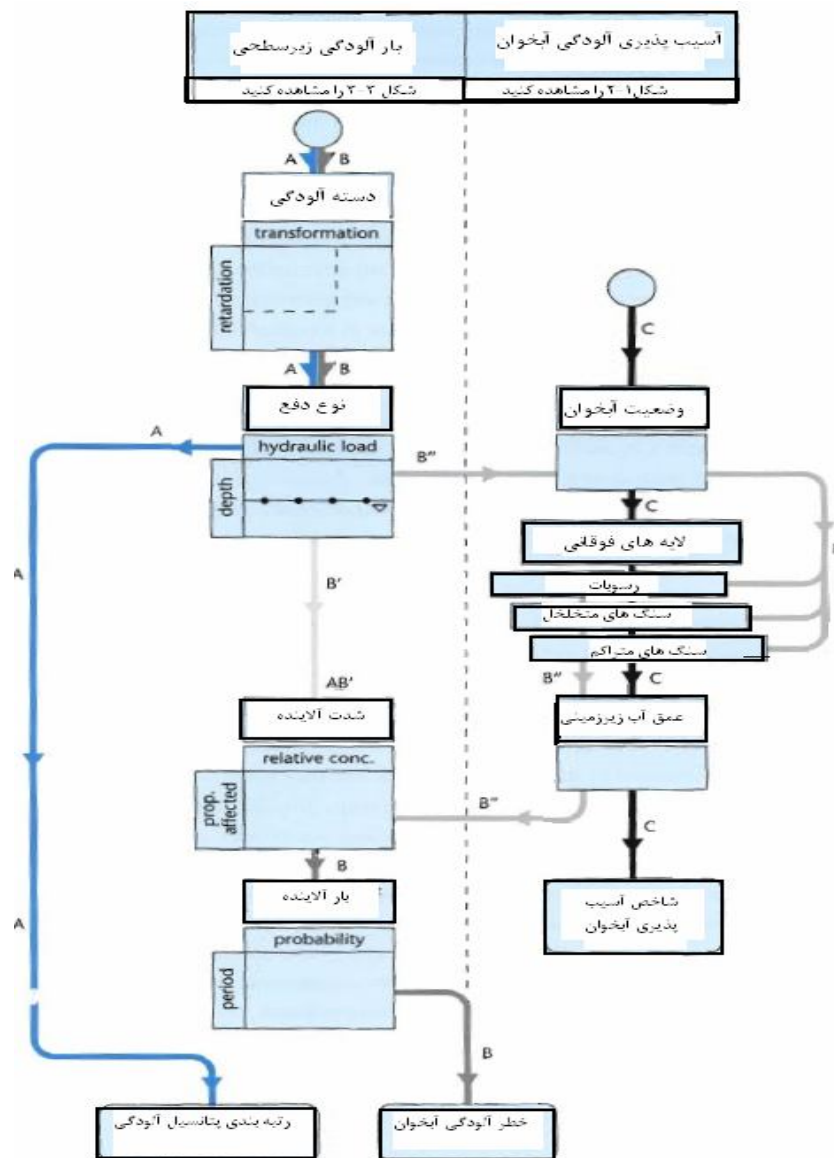
علاوه بر این، داده‌های فنی کافی و یا منابع انسانی مناسب و کافی برای رسیدن به این هدف وجود ندارد. در نتیجه، یک سیستم کلی‌تر و عمومی‌تری برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری اکيفر مورد نیاز می‌باشد. روشی برای اهداف اختصاصی‌تر، تهیه یک نقشه ترکیبی (تکمیلی) آسیب‌پذیری می‌باشد به طوری که محدودیت‌ها و مزایای آن به وضوح تعیین شده باشد (Foster & Hitara, 1988). چنین هشدارهای بهداشتی در گزارش U.S. بیان شده است (NRC, 1993) که شامل سه قانون آسیب‌پذیری آب زیرزمینی می‌باشد:

- همه آب‌های زیرزمینی در مقابل آلودگی تا حدی آسیب‌پذیرند.
- در همه روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری عدم قطعیت به صورت ذاتی وجود دارد.
- در اغلب سیستم‌های پیچیده ارزیابی آسیب‌پذیری، خطری که وجود دارد این است که مشاهدات ممکن است مبهم بوده و دقت کم باشد.

یک شاخص مطلق آسیب‌پذیری اکيفر برای همه کاربردهای عملی در طراحی‌های کاربری اراضی و کنترل تخلیه فاضلاب مفیدتر (از شاخص‌های نسبی) می‌باشد. یک شاخص ترکیبی (تکمیلی) مطلق می‌تواند هر گروه آسیب‌پذیری را به صورت واضح تعریف و مشخص کند (جدول ۱،۱). در این روش

۲۲ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

استفاده از یک شاخص آسیب‌پذیری مطلق در اغلب کارهای معمول به عنوان چهارچوبی برای ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی و تنظیم سیاست حفاظت امکان‌پذیر می‌باشد.



شکل ۱-۲ فعل و افعالات بین مؤلفه‌های بار آلاینده زیر سطحی و آسیب‌پذیری آبخوان تعیین‌کننده خطر آلودگی اکيفر

جدول ۱,۲- تعریف دسته‌های مختلف آسیب‌پذیری آبخوان

تعریف مربوطه	دسته آسیب‌پذیری
نسبت به بسیاری از آلاینده‌های آب آسیب‌پذیر و با تأثیر سریع در بسیاری از سناریوهای آلودگی	خیلی زیاد
در بسیاری از سناریوهای آلودگی، نسبت به اغلب آلاینده‌ها (آسیب‌پذیرند) به جز مواردی که سریعاً جذب یا منتقل شده‌اند	زیاد
فقط زمانی که برخی آلودگی‌ها به صورت مداوم تخلیه یا نشست می‌کنند، آسیب‌پذیرند	متوسط
فقط در مقابل آلاینده‌هایی که به وسعت زیادی و در طول زمان طولانی مداوم ایجاد می‌شوند، آسیب‌پذیرند	کم
لایه‌های محصورکننده به همراه نبود جریان عمودی آب زیرزمینی (نشست) مانع آلودگی می‌شوند	خیلی کم (قابل چشم‌پوشی)

۱-۴- کاربرد شاخص آسیب‌پذیری GOD

روش GOD در ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در دهه ۱۹۹۰ در امریکای لاتین و Caribbean به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱-۲) و به دلیل سادگی مفهوم و کاربرد آن در این کتاب به آن پرداخته شده است. دو فاکتور اساسی برای تعیین آسیب‌پذیری آبخوان مورد توجه می‌باشد:

- سطح عدم دسترسی هیدرولیکی زون اشباع اکیفر

- ظرفیت رقیق‌سازی لایه‌های فوقانی اکیفر اشباع.

به هر حال این مشخصه‌ها مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیستند و به ترکیبی از پارامترهای دیگر بستگی دارند (جدول ۱-۳). از آنجایی که داده‌های مرتبط با بسیاری از این پارامترها قابل دسترس نیستند، اگر یک طرح عملی برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری اکیفر توسعه داده شود، ساده‌سازی لیست اجتناب‌ناپذیر است.

۲۴ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

با توجه به این موارد، شاخص آسیب‌پذیری GOD (Foster, 1987; Foster & Hitara, 1988) آسیب‌پذیری آبخوان را بر اساس پارامترهای زیر مشخص می‌کند (عموماً در دسترس می‌باشند یا به سرعت تعیین می‌شوند):

- مشخصه هیدرولیکی آب زیرزمینی در اکیفر مورد نظر (G)
- لایه‌های فوقانی (منطقه وادوز یا لایه‌های محصورکننده) از نظر سنگ‌شناسی و درجه استحکام که ظرفیت رقیق‌سازی آلاینده را مشخص می‌کنند (O).
- عمق سطح ایستابی یا رسیدن به آب زیرزمینی در اکیفرهای محبوس (D)

Table 1.2 Some applications of aquifer pollution vulnerability mapping and groundwater pollution hazard assessment in the Latin America-Caribbean Region*

Area of Study	Authors	Date	Working Map Scale	Vulnerability Method Adopted	Contaminant Inventory	Source Capture Zones Defined	GIS Used
Barbados	Chilton and others	1990	1:100,000	GOD	✓	✓	
São Paulo, Brazil	Hirata and others	1990	1:500,000	GOD	✓		✓
Río Cuarto, Argentina	Blarasín and others	1993, 1999	1:50,000	GOD	✓		
Managua, Nicaragua	Scharp and others	1994, 1997	1:100,000	DRASTIC/GOD	✓	✓	✓
Leon, Mexico	Stuart and Milne	1997	1:50,000	GOD	✓	✓	
Caçapava, Brazil	Martin and others	1998	1:100,000	GOD	✓	✓	✓
Esperanza, Argentina	Paris and others	1998, 1999	1:50,000	GOD	✓	✓	
Cauca Valley, Colombia	Paez and others	1999	1:200,000	GOD(S)			✓

*These are the sources of information for all the text boxes.

باکس ۱-۱

آسیب‌پذیری آبخوان نیمه تحت فشار - مطالعه موردی Leon در Mexico

توجه به این نکته مهم است که آسیب‌پذیری کم یک آبخوان نیمه تحت فشار می‌تواند هنگام وجود طولانی مدت آلاینده‌ها (همانند کلرید، نیترات، ترکیبات آلی شمیایی) به صورت جدی تحت تأثیر قرار گیرد، اگر به صورت مداوم در سطح زمین تخلیه شوند. این وضعیت باید هنگام ارزیابی خطر آلودگی چاه‌های آبی که از این آبخوان‌ها پمپاژ می‌کنند در نظر گرفته شود.

Leon (Guanajuato) یکی از شهرهای به سرعت توسعه یافته مکزیک و یکی از مهم‌ترین مراکز سازنده چرم و کفش در امریکای لاتین می‌باشد. این شهر در یک منطقه خشک و روی دره پرشده از نهشته‌های آبرفتی، ولکانیکی و دریاچه‌ای واقع شده است که یک سیستم چند اکيفری کم ضخامت پیچیده ایجاد کرده است.

نسبت قابل توجهی از آب شهری از شبکه چاه‌ها تأمین می‌شود که به اکيفر نیمه محصور در اعماق زیر ۱۰۰ متر نفوذ کرده اند. یکی از شبکه چاه‌ها در جایی واقع شده است که فاضلاب شهری از چند دهه قبل در کشاورزی استفاده می‌شود. آبیاری کم بازده و نامناسب از فاضلاب‌ها منجر به تغذیه اساسی (و مداوم) سیستم محلی آب زیرزمینی می‌شود. بنابراین سطوح آب زیرزمینی در عمق ۱۰ متری باقی می‌مانند، علیرغم این که سطح آب در مناطق مجاور آنها با سرعت ۱-۳ متر در سال (m/a) به صورت مداوم پایین می‌رود.

فاضلاب‌ها شامل ترکیباتی از مواد صنعتی با قدرت حلالیت خیلی بالا شامل کروم، کربن آلی و شوری می‌باشد. بررسی‌های صحرایی انجام شده در اواسط دهه ۱۹۹۰ توسط Comision Nacional del Servicio de Agua Potable de Leon و Agua-Gerencia de Aguas Subterraneas اثبات کرده‌اند که اغلب عناصر آلاینده (شامل میکروب‌های پاتوژنیک و عناصر سنگین) در پروفیل خاک زیر سطحی به سرعت رقیق می‌شوند (شکل A). مقدار خیلی ناچیزی به اکيفر نیمه تحت فشار می‌رسد (Stuart & Milne, 1997) به طوری که در آسیب‌پذیری به روش GOD در طبقه پایین قرار می‌گیرد. به هر حال آلاینده‌های موجود- شوری به صورت قابل توجه به عنوان نشان‌دهنده غلظت کلر (شکل B) - به داخل اکيفر نیمه محصور نفوذ می‌کنند و کیفیت و ایمنی آب شهری را در این منطقه تهدید می‌کند (Stuart & Maline, 1997).

جدول ۱-۳ عوامل هیدروژئولوژیکی کنترل کننده آسیب پذیری آبخوان

Table 1.3 Hydrogeological factors controlling aquifer pollution vulnerability			
داده های موجود	داده های مورد نیاز	مؤلف های آسیب پذیری	ضعف هیدرولیکی
نوع آبخوان (محصور یا آزاد) عمق سطح ایستایی یا سطح پیزومتریک	درجه محصور بودن آبخوان عمق سطح ایستایی یا درجه امتداد آب زیرزمینی میزان رطوبت منطقه غیر اشباع هدایت هیدرولیکی عمودی لایه های محصور کده یا منطقه غیر اشباع	ظرفیت رقیق سازی	ضعف هیدرولیکی
درجه درزو شکاف یا تراکم و استحکام این لایه ها خصوصیات سنگ شناسی این لایه ها	توزیع دانه بندی یا اندازه شکاف ها در لایه های منطقه غیر اشباع یا محصور کده کثافتی شناسی لایه های منطقه غیر اشباع یا لایه های محصور کده		

علاوه بر این مشاهدات نشان داده است که اگر فقط یک وضعیت کیفیت مورد نظر باشد، این پارامترها اکثریت لیست اصلی را شامل می شوند (جدول ۱-۳).

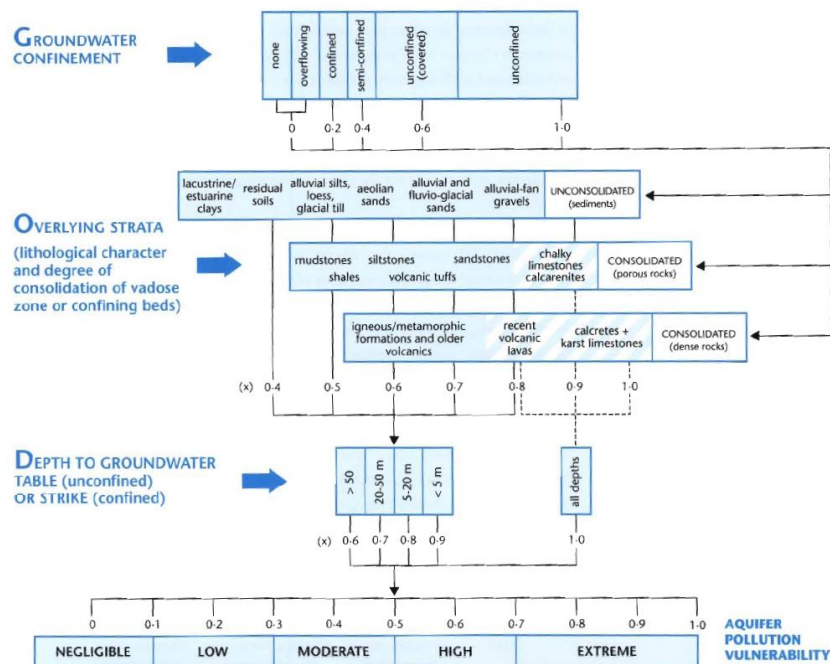
روش تجربی پیشنهاد شده برای تخمین آسیب پذیری اکیفر در مقابل آلودگی (Foster & Hitara, 1988) شامل تعدادی مراحل جداگانه می باشد:

- اول، تعیین نوع آبخوان، درجه بندی این پارامتر ۰ تا ۱ می باشد.
- دوم، تعیین لایه های فوقانی اکیفر اشباع از نظر
- الف) درجه استحکام (و سپس وجود یا عدم وجود نودپذیری شکافی و
- ب) نوع سنگ شناسی (و سپس تخلخل دینامیک (مؤثر)، وجود نفوذپذیری ماتریس و محتوای رطوبت منطقه غیر اشباع یا نگهداشت ویژه). این پارامتر از ۰,۴ تا ۱ درجه بندی می شود.
- سوم، تخمین عمق سطح ایستابی (در اکیفر آزاد) یا عمق اولین امتداد آب زیرزمینی مهم (برای اکیفرهای محصور) با درجه بندی ۰,۶ تا ۱.

شاخص نهایی آسیب پذیری حاصل ضرب اعداد این پارامترها می باشد (شکل ۱-۲). باید توجه شود که این روش نسبت به وضعیت اولیه خود از نظر کاربردهای آن در دهه ۱۹۹۰ کمی تغییر داده شده است (Foster & Hitara, 1988). این اصلاحات شامل موارد زیر است:

- وزن دهی فاکتور عمق آب زیرزمینی قدری کاهش یافته است.
- ساده سازی خصوصیات زمین شناسی در مورد «سنگ های درز و شکاف دار نشان دهنده آسیب پذیری ذاتی»
- وضوح فاکتور «وضعیت محصور بودن آبخوان» در مورد آبخوان نیمه تحت فشار.

شکل ۱-۲- سیستم GOD برای ارزیابی آسیب پذیری آبخوان



باید به این نکته توجه شود در صورتی که سکانس متغیری از نهشته ها وجود دارد، لیتولوژی غالب یا محدودکننده باید برای فاکتور لایه های فوقانی انتخاب شود.

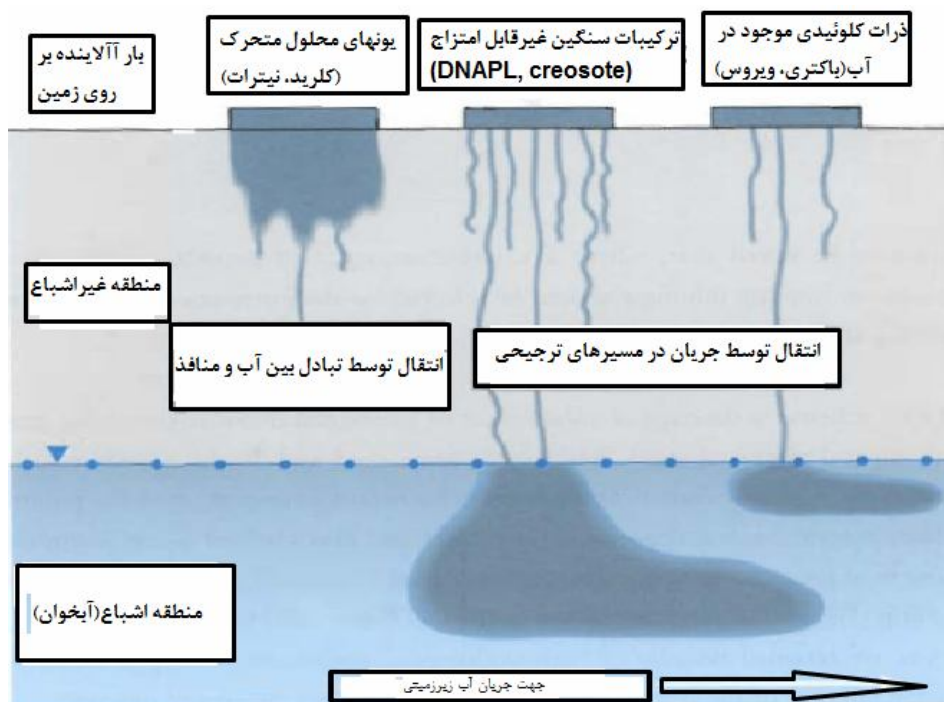
در طرح GOD یک زیر تقسیم بندی توصیفی نهشته های زمین شناختی (شامل خصوصیات اندازه دانه ها و کانی شناسی) استفاده می شود و کاربرد آن آسان تر به نظر می رسد. به هر حال، یک تقسیم بندی ژنزی (منشأ) فاکتورهای مهم در زمینه آسیب پذیری را بهتر منعکس می کند (همانند ساختار نهشته ای) و سپس یک سیستم هیبریدی (سازگار با موارد استفاده شده در بسیاری از نقشه های زمین شناختی) پذیرفته می شود. اغلب همه رسوبات در طبقه بندی (شکل ۱-۲) در گروه نهشته های زمین شناختی قرار داده

می‌شوند. به هر حال دو نوع دیگر از نهشته‌ها به دلیل توزیع وسیع آنها - خاک‌های عمیق رسوبی (مانند لاتریت‌های کمر بند گرمسیری) و کالکریت‌های متروکه (مانند نهشته‌های درجا) - باقی می‌مانند.

در زمینه تقسیم‌بندی لایه‌های فوقانی مسأله‌ای که وجود دارد این است که به صورت سهوی توجه خیلی زیادی به تخلخل دینامیک می‌شود (و سپس صرفاً به تاخیر زمانی تغذیه به جای رقیق‌سازی آلاینده). سپس آسیب‌پذیری (به صورت نادرست) بیشتر از حالتی نشان داده می‌شود که آلاینده‌ها به آبخوان می‌رسند. بنابراین بیشترین تأکید بر احتمال وجود شکاف‌های توسعه یافته می‌باشد به این دلیل که این عامل موجب توسعه جریان در جهتی خاص، حتی در چینه‌های متخلخل مانند ماسه سنگ‌ها و سنگ آهک‌ها شود (شکل ۱-۳). وجود چنین جریانی به عنوان مهم‌ترین عامل افزایش‌دهنده آسیب‌پذیری و کاهش‌دهنده رقیق‌سازی آلاینده از نظر هیدرولیکی با بسیاری از سناریوهای آلودگی مرتبط می‌باشد.

شاخص آسیب‌پذیری اولیه GOD خاک را به عنوان یک عامل کشاورزی در نظر نمی‌گیرد. اغلب فرایندهایی که منجر به رقیق‌سازی آلاینده و/یا حذف آن در محیط زیرسطحی می‌شوند، در محیط خاکی که از نظر بیولوژیکی فعال می‌باشد، با سرعت‌های خیلی بالایی اتفاق می‌افتد که ناشی از مواد آلی زیاد آن، محتوای کانی‌های رسی زیاد و وجود باکتری‌های خیلی زیاد می‌باشد. تصحیح صورت گرفته برای این روش (GODS) شاخص قابلیت نشت خاک (طبقه‌بندی خاک براساس بافت خاک و محتوای مواد آلی) به عنوان مرحله چهارم کاهش‌دهنده درجه‌بندی کلی در برخی مناطق با آسیب‌پذیری هیدروژئولوژیکی بالا در نظر می‌گیرد. اغلب در مناطق شهری، خاک در هنگام ساخت برداشته می‌شود یا آلاینده زیر سطحی در زیر مناطق حفاری شده وارد می‌شود (مانند گودال‌ها، ترانشه‌ها یا مرداب‌ها)، بنابراین لایه خاک باید در نظر گرفته نشود و آسیب‌پذیری هیدروژئولوژیکی تصحیح نشده استفاده شود.

شکل ۱-۳: توسعه و اهمیت جریان در جهت ترجیحی در منطقه غیر اشباع



۱-۵- مقایسه با روش‌های دیگر

- برخی از روش‌های دیگر ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در اینجا آورده شده‌اند و براساس اصول استفاده شده به ۳ گروه اصلی طبقه‌بندی می‌شوند (Vrba & Zaporozec, 1995):
- شرایط هیدروژئولوژیکی: این نوع ارزیابی آسیب‌پذیری، خصوصیات کلی شرایط را با واژگان کیفی در نقشه‌های موضوعی^۱ نشان می‌دهد (مانند Albient & Margat, 1970).

۱- thematic maps) نقشه‌های موضوعی معمولاً نشان دادن نحوه پراکنش مکانی یک عنصر و یا یک صفت و یا یک مقدار مختلف و مقایسه متغیرهای متفاوت می‌باشد. این نقشه‌ها به دو صورت اصلی کمی و کیفی تهیه می‌شوند و براساس ویژگی‌های مختلف به چهار دسته قابل تقسیم هستند: مکانی، تصویری، الگو و دینامیک.

۳۰ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

- مدل‌های آنالوگ (مقایسه‌ای): در این روش اصطلاحات ریاضی برای پارامترهای اصلی (مانند میانگین زمان عبور از منطقه غیراشباع) به عنوان شاخص نشان‌دهنده آسیب‌پذیری استفاده می‌شود (روش EC/Fried در Monkhouse, 1983).

- سیستم‌های پارامتری: این روش‌ها پارامترهای انتخابی را به عنوان نشان‌دهنده آسیب‌پذیری استفاده می‌کنند و محدوده مقادیر و فعل و انفعالات آنها را جهت تعیین آسیب‌پذیری مطلق یا نسبی مشخص می‌کنند (نمونه‌هایی از این روش شامل Haertle, 1983 و DRASTIC, Aller et al., 1987 علاوه بر روش GOD در این کتاب توضیح داده شده است). روش دیگر مورد توجه در این گروه EPIC می‌باشد که فقط برای آبخوان‌های آهکی کارستی طراحی شده و توسط Doerflinger & zwahlen, 1998, Gogu & Dassargues, 2000, Daly et al., 2001 مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

در میان این روش‌ها، روش DRASTIC معروف‌ترین روش می‌باشد. در این روش آسیب‌پذیری نسبی با استفاده از جمع‌بندی شاخص‌های وزنی هفت پارامتر هیدروژئولوژیکی تعیین می‌شود (جدول ۱-۴). وزن هر متغیر در پراتنز آمده است اما اگر آسیب‌پذیری فقط در نتیجه فعالیت‌های کشاورزی بررسی شود، این وزن‌ها تغییر می‌کنند (به ویژه برای پارامترهای S و T).

این روش موضوع چندین ارزیابی بوده است. (Holden et al., 1992; Bates et al., 1993; Kalinski et al., 1994; rosen, 19944). همه این ارزیابی‌ها هم مزایای مختلف و هم کمبودهای زیاد این شیوه را نشان می‌دهند. در حالت تعادل، به نظر می‌رسد که این شیوه شاخص آسیب‌پذیری را تا حدودی مبهم نتیجه می‌دهد. این در نتیجه تعامل پارامترهای وزن دار زیادی است که برخی از آنها مستقل نبوده بلکه به شدت به همدیگر مرتبط هستند. حقیقت این است که شاخص‌های مشابه می‌توانند از ترکیب‌های مختلف نتایج به دست آیند که ممکن است منجر به خطا در تصمیم‌گیری شوند. هم‌چنین باید به موارد زیر توجه ویژه‌ای شود:

- روش تخمین آسیب‌پذیری آبخوان‌های شکافی (در مقایسه با آبخوان‌های تحکیم نیافته)
- در نظر گرفتن یک پارامتر منعکس‌کننده تحرک آلاینده در منطقه غیراشباع یک پیچیدگی غیرضروری است (به دلیل وضعیت اولیه).

جدول ۱-۴ فاکتورها و وزن‌ها در شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC

وزن DRASTIC	پارامتر
۵	عمق آب زیرزمینی
۴	تغذیه خالص
۳	محیط آبخوان
۲	محیط خاک
۱	توپوگرافی
۵	اثر ناحیه غیراشباع
۳	هدایت هیدرولیکی

-باکس ۱-۲-

- تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان به اضافه فاکتور پوشش خاک در (caucavallery واقع در colombia)

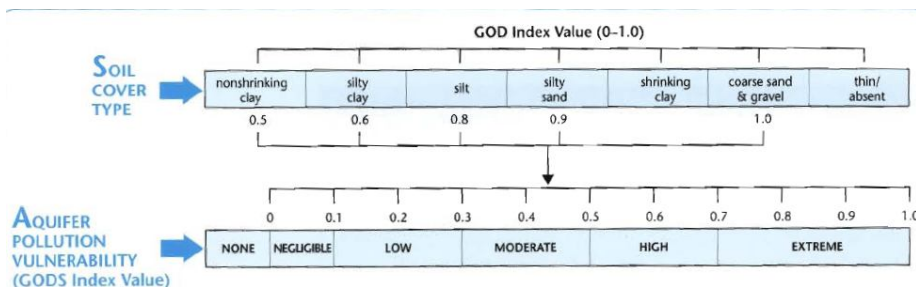
برخی کاربران آمریکای لاتین یک تصحیحی برای روش GOD در تخمین آسیب‌پذیری آبخوان پیشنهاد کرده‌اند که فاکتور ظرفیت رقیق‌سازی پوشش خاک براساس فقط بافت آن را اضافه می‌کند. عموماً آن برای در بر گرفتن «فاکتور خاک» مورد استفاده قرار می‌گیرد هر چند در مناطقی که خطر وجود دارد پروفیل خاک وجود ندارد یا به هم خورده و در مواردی بار آلاینده زیر خاک واقع می‌باشد این فاکتور در نظر گرفته نمی‌شود. علاوه بر این، اگر فاکتور خاک در نظر گرفته شود، ضخامت خاک به همراه خصوصیات آن که مستقیماً روی تجزیه نیترات و رقیق‌سازی آفت کش‌ها تاثیر می‌گذارد، ترجیح داده می‌شود (اصطلاحاً بافت خاک و محتوای مواد آلی).

Cauca vallery- بزرگترین منبع آب زیر زمینی کلمبیا را دارد و آبخوان‌های آن برداشت حدود $100m^3/s$ را تامین می‌کنند که اهمیت اساسی در توسعه اقتصادی دره داشته و آب مورد نیاز شهرهای مختلف Buga, Palmira و بخش‌هایی از Cali را تامین می‌کند. دره یک عارضه تکتونیکی مهم با ضخامت زیاد متشکل از نهشته‌های مخلوطی است که غالباً با مخروط‌های آبرفتی و نهشته‌های دریاچه‌ای پر شده است.

- با هدف تهیه یک ابزاری برای طراحی کاربری اراضی جهت حفاظت این منابع نقشه آسیب‌پذیری آبخوان‌ها توسط آژانس منابع آب محلی باروش GOD تهیه شده است. صحیح (به عنوان اولین پیشنهاد توسط Pontificia Universidad de Chile-Dpto de Ingenieria Hidraulica y Ambiental) شامل ترکیب کردن یک فاکتور S می‌باشد که در مورد ظرفیت رقیق‌سازی آلاینده پوشش خاک می‌باشد. روش تصحیح شده (به عنوان GODS) شامل مقادیری است که براساس خصوصیات بافتی خاک می‌باشد به طوری که محدوده خیلی ریز (غالبا رس) تا خیلی درشت (گراولی) را شامل می‌شود و در مناطقی استفاده می‌شود که ضخامت خاک بیشتر از ۰/۵ متر است.

- یک نقشه از مقادیر فاکتور پوشش خاک تهیه شده است که سپس برروی نقشه شاخص (GOD) همپوشانی شده است. در مناطقی که پوشش خاک خوب حفظ شده و ضخامت قابل توجهی دارد مقدار شاخص GOD کاهش یافته است.

- آژانس محیط‌زیست انگلستان و wales نیز فاکتور خاک را در نقشه آسیب‌پذیری آبخوان گنجانده است. این کار براساس مجموعه‌ای از خصوصیات تعیین‌کننده توانایی شستشوی خاک می‌باشد اما تاثیر آن به کاهش پتانسیل سطح آسیب‌پذیری در مناطق روستایی محدود می‌شود و در مناطق شهری جایی که به هم‌خوردگی پروفیل خاک در نتیجه ساخت و ساز زیاد و گسترده شده، قابل استفاده نمی‌باشد.



۶-۱- محدودیت‌های تهیه نقشه آسیب‌پذیری

برخی از شرایط هیدروژئولوژیکی مسائلی را در ارزیابی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان ایجاد می‌کنند:

- رخداد (دائمی یا متناوب) رودخانه‌های گمشده^۱ به دلیل ایجاد عدم قطعیت در ارزیابی شرایط هیدروژئولوژیکی در تعیین کیفیت آبراهه و در ارزیابی ظرفیت رقیق‌سازی بستر رودخانه (به هر حال تعیین بخش‌های تغذیه‌کننده در رودخانه‌های قطع‌کننده آبخوان‌های آزاد اساسی و مهم است).

- استخراج زیاد از آبخوان برای اهداف آبرسانی که می‌تواند عمق سطح ایستابی و حتی درجه محصور بودن آبخوان را تغییر دهد، اما در طرح ارائه شده برای شاخص‌گذاری چنین تاثیری فقط بعضی اوقات زیاد می‌باشد.

- در رس‌های بسیار استحکام یافته (و بنابر این به صورت پتانسیلی شکاف دار) که معمولاً عدم قطعیت‌های قابل توجهی در مورد بزرگی مو لفه جریان ترجیحی وجود دارد. نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان فقط برای ارزیابی خطر آلودگی آب زیر زمینی مرتبط با تخلیه آلاینده در سطح زمین و آلاینده به صورت آبدار مناسب می‌باشد. تاکید می‌شود که آنها (نقشه‌های آسیب‌پذیری) نباید برای ارزیابی خطر در موارد زیر به کار رود:

- آلاینده‌های تخلیه شده در مناطق عمیق تر زیر سطحی (مانند نشت از مخازن ذخیره بزرگ زیر زمینی، نشت شیرابه‌ها از زباله‌های جامد در لند فیل‌ها^۲، تخلیه فاضلاب در معادن و میله‌های معادن و غیره).

- آلاینده‌های آلی سنگین غیرقابل اختلاط (DNAPLها)

هر دو مورد ذکر شده موجب بالا بودن خطر آلودگی آب زیر زمینی بدون توجه به آسیب‌پذیری آبخوان می‌شوند. فقط توجه به چنین شرایطی موجب شدت و احتمالاً دوره بار آلودگی می‌شود. اگر انواع آلاینده با استفاده از روش پیشنهادی مشخص شوند، اعتبار و تایید تکنیکی شاخص و نقش آسیب‌پذیری آبخوان می‌تواند حفظ شود و اینکه چنین عملیاتی نیاز به کنترل ویژه صرف‌نظر از شرایط صحرایی دارند. شرایط دیگر که نیاز به یک روش ویژه دارند، وجود آب زیرزمینی با کیفیت پایین (معمولاً شور) در اعماق کم می‌باشد. اینها نیاز به تهیه نقشه ویژه دارند به دلیل اینکه چنین آبخوان‌هایی عموماً (نیاز به) استحقاق حفاظت ویژه ندارند، حتی در مواردی که آسیب‌پذیری ناشی از آلودگی انسانی بالایی وجود دارد.

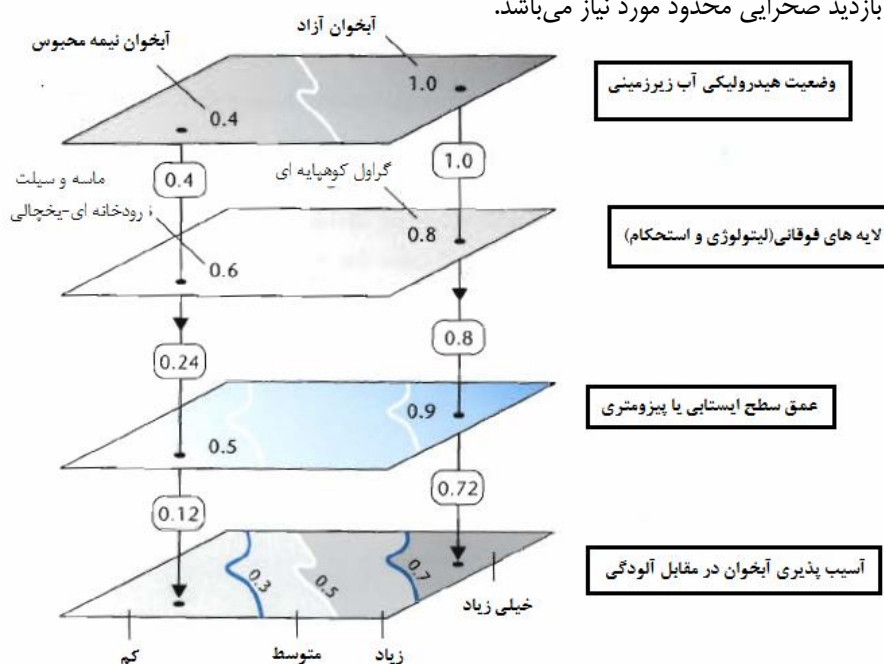
1. losing streams
2. landfill

شکل ۱-۴- تفسیر آسیب‌پذیری در آبخوان‌های نیمه محصور

	۱- مساله: استفاده از روش GOD، فاکتور O نشان‌دهنده لیتولوژی لایه‌های محصورکننده یا زون‌های غیراشباع اما برای اکیفرهای نیمه محصور که تعیین این فاکتور مشکل است. راه حل: نازک‌ترین بخش اکیفر را در نظر بگیرید و فاکتور O را به عنوان یک مقدار وزن‌دار مواد مختلف محاسبه کنید (منطقه وادوز، آبخوان کم عمق و اکی ترد).
	- مساله: استفاده از روش GOD، فاکتور D فاصله بین سطح زمینی و سطح ایستابی یا امتداد آب است اما برای یک آبخوان نیمه محصور چه مقداری صحیح است؟ راه حل: عمق اکیفر را استفاده کنید (A+B).
	- مساله: آبخوان کم عمق با کیفیت نامناسب پوشش‌دهنده اکیفر نیمه محصور است که نیاز به حفاظت دارد؟ راه حل: اکیفر کم عمق را به عنوان منبع آلاینده پتانسیل در نظر بگیرید و سپس خصوصیات اکی ترد را فقط برای فاکتورهای O و D استفاده کنید.
	- مساله: وارونگی هیدرولیکی ناشی از استخراج آب زیر زمینی از اکیفر عمیق راه حل: فاکتور G اختصاصی را برای شرایط هیدرولیکی جدید استفاده کنید و اکیفرهای عمیق را به عنوان یک آبخوان نیمه محصور و حتی پوشیده در نظر بگیرید.

۷-۱- مباحثی در رابطه با تهیه نقشه آسیب پذیری

در تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان به روش GOD، مراحل نشان داده شده در شکل ۵-۱ انجام می شود. چنین فرایندی برای یکسری نقاط و خطوط کنترل به صورت دستی انجام می گیرد اما با استفاده از تکنولوژی GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) به سرعت تهیه می شود. در اکثر موارد نقشه های هیدروژئولوژیکی و یا گزارش های منابع آب زیرزمینی در دسترس می باشند و عموماً حاوی داده های پایه ای کافی و مناسبی برای انجام روش ارزیابی پیشنهادی هستند. به هر حال اغلب تکمیل این اطلاعات با مطالعه مستقیم نقشه های زمین شناختی و حفاری چاه های موجود و گاهی اوقات بازدید صحرایی محدود مورد نیاز می باشد.



الف) آبخوان های لایه ای

یکی از مهمترین مشکلات در رابطه با تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان وجود چندین لایه با خصوصیات مختلف در قابلیت انتقال آب می باشد. لایه بندی خصوصیت اصلی سازندهای رسوبی و آتشفشانی است و چنین سازندهایی اغلب تشکیل دهنده همه اکیفرهای بزرگ و تعدادی اکیفر کوچک می باشد. مشکلات و مسائل زمانی حاصل می شود که لایه بندی:

۳۶ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

- بالای سطح ایستابی ناحیه‌ای باشد، موجب ایجاد اکیفرهای معلق یا اکیفرهای نامحصور پوشیده می‌شوند (جایی که میانگین وزنی یا مقادیر محدود خصوصیات مربوطه باید مورد توجه قرار گیرد).

- زیر سطح ایستابی ناحیه‌ای قرار گیرد، موجب ایجاد اکیفرهای نیمه محصور در عمق می‌شود (در مواردی نیاز به تصمیم‌گیری در شرایطی می‌باشد که نقشه آسیب‌پذیری آبخوان تهیه شده و ظرفیت رقیق‌سازی لایه‌های فوقانی ارزیابی شده است).

روش طبقه‌بندی ارائه شده در شکل ۴-۱ باید بعد از تخمین آسیب‌پذیری استفاده شود و جایی که یک آبخوان محلی (با آسیب‌پذیری زیاد) نیز وجود دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ب) سطح ساده‌سازی مورد لزوم

باید تاکید شود که نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان برای تهیه یک چهار چوب کلی براساس سیاست حفاظت آب زیرزمینی طراحی می‌شوند. هر چند، هم در مفهوم و هم در توابع مجزا می‌باشند. قبل از هر چیز باید نمایانگر ساده شده (اما واقعی) بهترین داده‌های علمی موجود برای محیط هیدروژئولوژیکی باشند نه بیشتر و نه کمتر. این چهار چوب کلی برای برطرف کردن ضرورت توجه به جزئیات طرح فعالیت آلاینده‌ها قبل از اتخاذ تصمیم‌های سیاسی می‌باشد.

نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان فقط در بیان کلی خطر آلودگی پتانسیل آب زیرزمینی برای قانون‌گذاران، طراحان و توسعه‌دهندگان جهت قضاوت‌های بهتر توسعه‌های جدید پیشنهاد شده و با اولویت‌هایی در کنترل آلودگی آب زیرزمینی و پایش کیفیت می‌باشد. آنها براساس بهترین اطلاعات موجود در زمان تولید می‌باشند و به روز کردن دوره‌ای مورد نیاز خواهد بود.

در مفهوم و در عمل آنها شامل ساده‌سازی زیاد تغییرات زمین‌شناختی پیچیده و فرایندهای هیدروژئولوژیکی می‌باشند. سئوالات در مورد مکانی ویژه (Site-specific) نیاز به پاسخ توسط بررسی‌های مکانی ویژه (Site-specific) دارند اما با همان روش عملی و فلسفی ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی امکان‌پذیر است.

داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان - و برای بارهای آلودگی زیرسطحی موجود باید (در جایی که امکان‌پذیر است) به صورت یک پایگاه اطلاعاتی GIS مناسب برای تسهیل فعل و انفعالات، بروز کردن و ارائه توسعه داده شود. رنگ‌های جداگانه می‌تواند برای اغلب تقسیم‌بندی‌های لیتولوژیکی لایه‌های فوقانی منطقه اشباع با چگالی‌های مختلف رنگ برای هر زیر تقسیم‌بندی آب زیرزمینی استفاده شود.

فصل دوم

راهنمای فنی روش شناسی حفاظت آب های زیرزمینی

روش‌های عملی حفاظت آب زیرزمینی

پهنه‌بندی مناطق حفاظتی منبع آب زیرزمینی

مناطق حفاظت منبع آب زیرزمینی (در ایالات متحده امریکا مناطق حفاظت سرچاهی فوری^۱ نامیده می‌شود) باید برای فراهم کردن مراقبت ویژه از منابع آبرسانی عمومی (اصلی) در مقابل آلاینده پهنه‌بندی شوند. همچنین منابع توسعه یافته برای سایر کاربردهای حساس و به ویژه در اطراف منابع آب معدنی طبیعی که هیچ‌گونه گندزدایی صورت نمی‌گیرد، باید مورد توجه قرار گیرد.

۱-۲- اصولی برای تعیین مناطق (پهنه بندی)

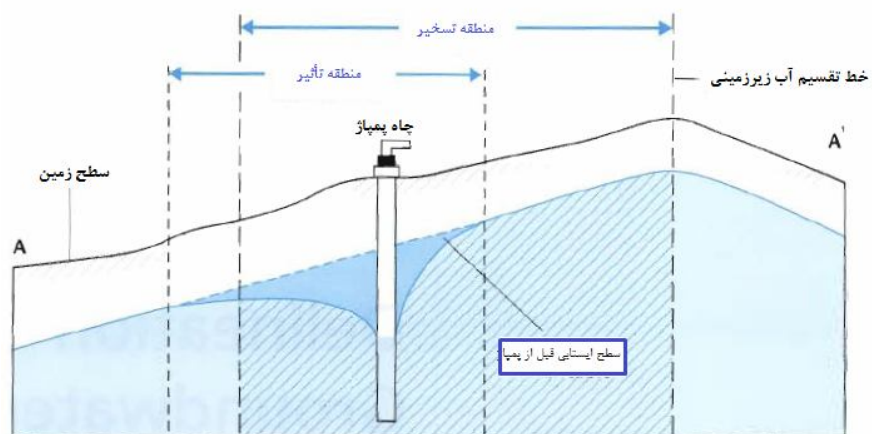
مفهوم حفاظت منبع آب زیرزمینی به مدت زیادی است که ارائه شده است، تعدادی از کدهای حقوقی در برخی کشورهای اروپایی برای چند دهه استفاده شده است. به هر حال، افزایش دانش هیدروژئولوژیکی و تغییرات در ماهیت تهدیدهای کیفیت آب زیرزمینی موجب شده است که این مفهوم توسعه و تقویت پیدا کند (Us-EPA, 1994; NRA, 1995; EA, 1998).

یک فاکتور کلیدی در مورد کاربری اراضی مؤثر بر روی منبع آب زیرزمینی (چاه، گمانه یا چشمه) میزان نزدیکی به آن می‌باشد. به صورت ویژه‌تر، میزان تهدید آلودگی وابسته به موارد زیر است:

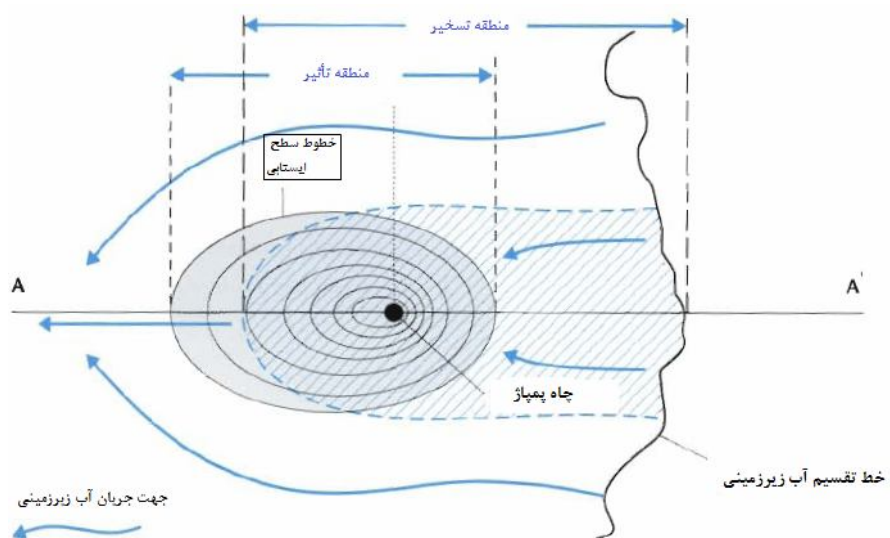
- آیا فعالیت در داخل منطقه تسخیر (زیرسطحی) آن منبع می‌باشد (شکل ۱-۲).

- مدت زمان جریان آب زیر زمینی افقی در آبخوان اشباع از مکان فعالیت تا نقطه‌ای که پمپاژ صورت می‌گیرد.

1. wellhead protection zone



برش عمودی



برش افقی

شکل ۱-۲ تفاوت بین منطقه تسخیر و منطقه تأثیر چاه پمپاژ

۴۰ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

مناطق حفاظت منبع^۱ (SPA) - تحت عنوان مناطق حفاظت (SPZ) نیز نامیده می‌شود - باید در برابر موارد زیر حفاظت شوند:

- آلاینده‌هایی که با گذشت زمان تجزیه می‌شوند، جایی که زمان ماندگاری زیر سطحی بهترین معیار حفاظت است.

- آلاینده‌های غیرقابل تجزیه، جایی که رقیق سازی وابسته به مسیر جریان باید فراهم شود.

هر دو مورد برای حفاظت کامل و جامع لازم می‌باشند. رقیق سازی آلاینده در نتیجه مکانیسم‌های همرفتی^۲ و پخش^۳ همراه با جریان آب زیر زمینی می‌باشد که معمولاً مهم‌ترین فرآیندهای میرایی و تضعیف هستند اما تجزیه (شکست) نیز برای برخی آلاینده‌ها صورت می‌گیرد (و فرآیندهای دیگر مانند جذب سطحی^۴ و رسوب).

برای حذف کامل خطر آلودگی غیرقابل قبول در یک منبع، همه فعالیت‌های بالقوه آلوده‌کننده در کل منطقه تغذیه باید ممنوع شوند (یا کاملاً کنترل شده باشند). هر چند این کار اغلب انجام شدنی نیست یا غیراقتصادی است، به دلیل اینکه فشاراقتصادی - سیاسی وجود دارد. بنابراین، تقسیم‌بندی منطقه تسخیر تغذیه^۵ مورد نیاز است، به طوری که دقیق‌ترین و سخت‌ترین محدودیت‌های کاربری اراضی فقط در مناطق نزدیک‌تر به منبع به کار رود.

این زیر تقسیم‌بندی براساس تغییر معیارهایی (شامل فاصله افقی، مدت زمان جریان افقی، نسبت منطقه تغذیه، رقیق سازی منطقه اشباع و/ یا ظرفیت رقیق سازی) می‌تواند صورت گیرد اما برای کاربردهای عمومی، ترکیب مدت زمان جریان (افقی) و فاصله جریان مناسب‌تر می‌باشند. حفاظت ویژه نسبتی از منطقه تغذیه (تحت شرایط مطمئن) به عنوان راه حل ترجیحی برای کم کردن آلودگی کشاورزی می‌باشد اما حتی در این جا سؤالی وجود دارد که کدام قسمت برای حفاظت بهتر است.

-
1. Supply protection areas
 2. advection
 3. dispersion
 4. adsorption
 5. recharge capture zone

راهنمای فنی روش‌شناسی حفاظت آب‌های زیرزمینی ✓ ۴۱

سری‌هایی از مناطق سطحی متحدالمرکز اطراف منبع آب زیرزمینی می‌تواند تعریف شود که از طریق دانش (و فرضیاتی در مورد) شرایط هیدروژئولوژیکی و خصوصیات خود منبع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد.

سه منطقه مهم‌تر در ادامه توضیح داده می‌شوند (شکل ۲-۲) (Foster & Skinner, 1995; Adams & Foster, 1992). در مورد حفاظت منبع، مناطق نیاز به افزایش سطح کنترل فعالیت‌های کاربری اراضی دارند که منجر به تغییر با شرایط و نیازهای محلی می‌شود.

الف) منطقه تسخیر کلی منبع

بیرونی‌ترین منطقه حفاظت که می‌تواند برای یک منبع منفرد تعریف شود، منطقه تسخیر تغذیه (یا آبریز) می‌باشد. محیطی است که در آن کل تغذیه آبخوان (ناشی از بارش یا آبراهه‌های سطحی) در منبع آب موردنظر گیر انداخته می‌شود. این منطقه نباید با منطقه تداخل هیدرولیکی ناشی از پمپاژ گمانه‌ها اشتباه گرفته شود، چراکه در این منطقه (دومی) شیب روبه پایین زیاد است (شکل ۲-۱). مناطق تسخیر تغذیه نه فقط برای حفاظت کیفیت بلکه از نظر مدیریت منابع نیز اهمیت دارند و در موقعیت‌های استخراج زیاد آب زیرزمینی، آنها به عنوان مناطق حفاظت منابع (یا ذخیره) برای منبع آب آشامیدنی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

منطقه تسخیر کلی با استفاده از بیلان آب تعیین می‌شود و شکل هندسی آن با استفاده از خطوط جریان آب زیر زمینی مشخص می‌شود. این منطقه بازدهی طولانی مدت حفاظت شده را فراهم می‌سازد بنابراین اگر سیستم جریان آب زیرزمینی (به عنوان معمولی‌ترین مورد) به صورت ماندگار (دائمی) فرض می‌شود، مساحت آن با استفاده از میانگین طولانی مدت نرخ تغذیه آب زیر زمینی تعیین خواهد شد.

به هر حال باید مشخص شود در خشکسالی طولانی مدت (زمانی که تغذیه آب زیرزمینی کمتر از میانگین است) منطقه تسخیر واقعی بزرگتر از منطقه‌ی حفاظت شده است. علاوه بر این، در مناطقی که آبخوان زیر لایه‌های نفوذناپذیر محصور شده است، منطقه‌ی تسخیر دور از محل پمپاژ آب زیرزمینی قرار خواهد گرفت (شکل ۲-۲-b).

بازدهی حفاظت شده معمولاً به عنوان برداشت مجاز سالیانه در نظر گرفته می‌شود اما ممکن است کمتر از این مقدار هم باشد به دلیل این که مقدار مجاز در عمل:

✓ ۴۲ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

- غیرقابل تعیین است به دلیل اینکه از ظرفیت هیدرولیکی گمانه بیشتر می‌شود.
 - ناپایدار است به دلیل اینکه از منبع آب زیرزمینی موجود بیشتر می‌شود.
 - غیرمعقول است به دلیل اینکه از مقدار واقعی خیلی بیشتر می‌شود.
- در چنین مواردی، بازدهی حفاظت شده براساس نرخ‌های پمپاژ اخیر است که همراه با هرگونه افزایش پیش‌بینی معقول می‌باشد.

ب) منطقه حفاظت میکروبیولوژیکی

ممانعت از ورود آب زیرزمینی آلوده شده با باکتری‌های بیماری‌زا، ویروس‌ها و انگل‌ها اهمیت بیشتری دارد. این عوامل بیماری‌زا از طریق برخی مخازن فاضلاب، توالت‌ها، زهکش یا آبراهه‌های سطحی آلوده و راه‌های مختلف دیگر به درون آبخوان‌های کم عمق وارد می‌شوند. چاه‌هایی که ناقص تجهیز شده‌اند مستعد این نوع آلودگی هستند. به هر حال در همه سازندهای آسیب‌پذیر، با استفاده از ظرفیت رقیق‌سازی طبیعی منطقه غیراشباع یا لایه‌های نیمه محصور، از آلودگی آبخوان ممانعت می‌شود. در داخلی‌ترین منطقه حفاظت، فاصله برابر با میانگین مدت زمان جریان افقی در آبخوان اشباع برای حفاظت در برابر فعالیت‌های تخلیه پتانسیل ویروس‌ها، باکتری‌ها و انگل‌های بیماری‌زا (Foster & Skinner, 1995) پذیرفته شده است، همانند (برای مثال) پخش فاضلاب و دوغاب‌ها در زمین کشاورزی. مدت زمان جریان واقعی انتخابی در کشورها و زمان‌های مختلف در گذشته تغییرات زیادی دارد (از ۱۰ تا ۴۰۰ روز).

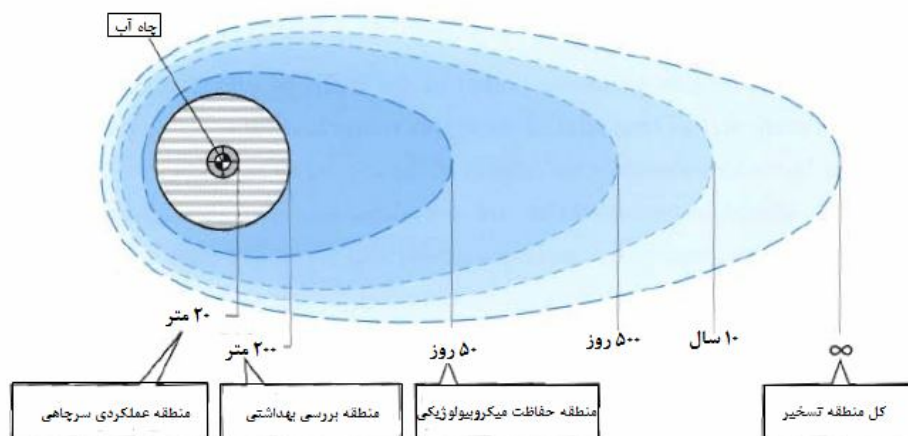
داده‌های منتشر شده (Lewis & others, 1982) نشان می‌دهد که فاصله پیمایش افقی عوامل بیماری‌زا در منطقه‌ی اشباع توسط سرعت جریان آب زیرزمینی کنترل می‌شود. در همه وقایع آلودگی گزارش شده ناشی از امراض حمل شده توسط آب، جداسازی افقی بین منبع آب و منبع ثابت آلودگی بیماری‌زا در (حداکثر) فاصله پیمایش توسط آب زیرزمینی ۲۰ روز و مطابق با رژیم جریان آب آبخوان بوده است. این نکته علی‌رغم واقعیتی است که عوامل بیماری‌زای شدید قابلیت شناسایی توسط مطالعه در زیر سطح برای ۴۰۰ روز یا بیشتر را دارند. بنابراین ایزوکرون (منحنی هم زمان) ۵۰ روز به عنوان یک پایه معقول برای تعریف و تعیین این منطقه تایید می‌شود (شکل ۲-۲) و این موضوع با فعالیت موجود در کشورهای زیادی مطابقت دارد. این محیط حفاظتی شاید مهم‌ترین اصطلاح در اهمیت بهداشت

راهنمای فنی روش‌شناسی حفاظت آب‌های زیرزمینی ✓ ۴۳

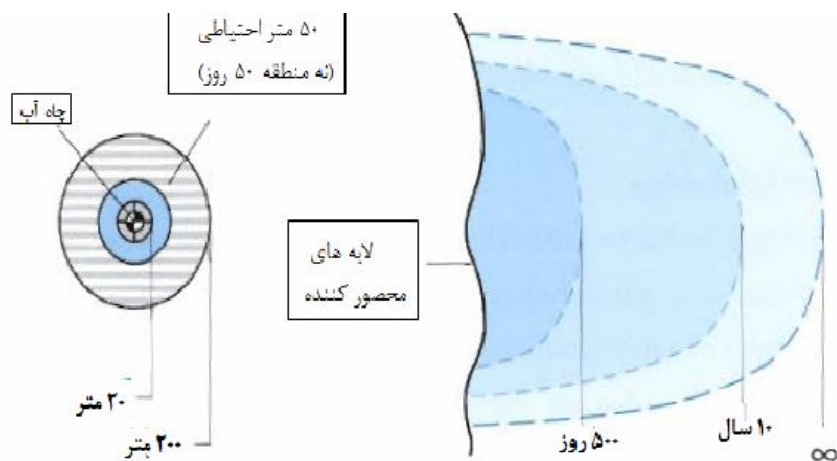
عمومی است و از آنجا که معمولاً اندازه آن کوچک است، اجرا و تعیین حدود آن به سرعت انجام می‌پذیرد.

تجربه نشان داده است که در آبخوان‌های دارای جریان شکافی^۱ (که اغلب خصوصیات هیدرولیکی هتروژن و ناهمگن‌تری دارند) بنا به احتیاط معیار محدودکننده با شعاع ۵۰ متر لازم است. در واقع این محیط از نظر فراهم‌سازی زمانی برای فعالیت بهبود کنترل سرعت آلاینده‌های موجود مهم‌تر می‌باشد، (حداقل در مواردی که الودگی بلافاصله شناسایی می‌شود) و بنابراین گاهی اوقات منطقه دفاعی داخلی منبع نامیده می‌شود.

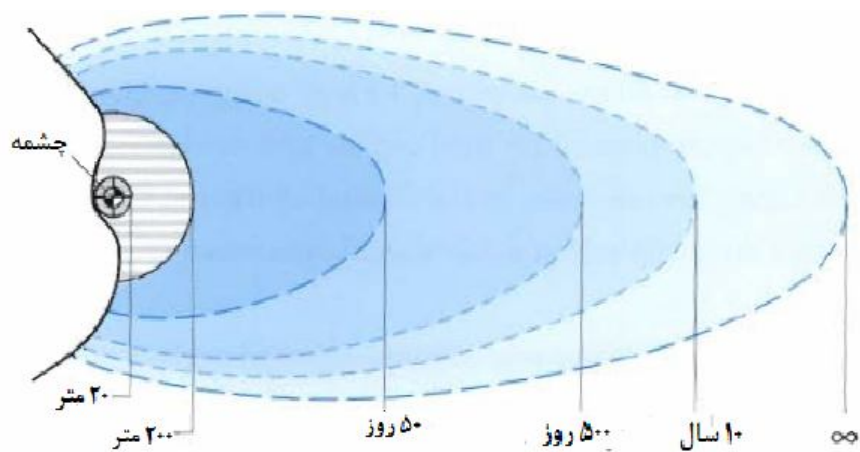
علاوه بر این، حتی اگر اکيفرها پوشیده شوند یا زیر لایه کم ضخامت با نفوذپذیری کم محصور شوند، یک منطقه با شعاع ۵۰ متری به عنوان یک اندازه احتیاطی پیشنهاد می‌شود (شکل ۲-۲-ب) در تعیین عدم قطعیت‌های جریان قائم و حفاظت در برابر ساخت و سازهای مهندسی زیر سطحی که می‌تواند به عنوان حفاظت منبع تلقی شود.



الف - آبخوان آزاد



ب- آبخوان محصور محلی



ج- چشمه آزاد

شکل ۲-۲- طرح ایده ال مناطق تسخیر آب زیرزمینی
و محیطهای انتقال زمانی اطراف چاه و چشمه

ج) منطقه موثر سرچاهی فوری

داخلی‌ترین منطقه حفاظت، منطقه حفاظت سرچاهی فوری^۱ است که شامل یک منطقه کوچکی در اطراف خود منبع می‌باشد. برای این منطقه، مالکیت و کنترل برداشت آب زیر زمینی خیلی ارجحیت دارد. در این قسمت هیچ فعالیت مرتبط با برداشت آب زیرزمینی نباید انجام گیرد و این فعالیت‌ها برای جلوگیری از رسیدن آلاینده‌های احتمالی به منبع به صورت مستقیم یا از زمین‌های اطراف نیاز به ارزیابی و کنترل دقیق دارند (شکل ۲-۳). همه قسمت‌های منطقه که برای حفاظت از چاه استفاده می‌شوند باید کف سیمانی برای جلوگیری از نفوذ نفت، روغن و مواد شیمیایی مورد استفاده در نگهداری پمپ داشته باشند. حصارکشی نیز یک عمل استاندارد برای جلوگیری از ورود حیوانات و خرابکاری است. تعیین ابعاد این منطقه به صورت دلخواه است و وابسته به ماهیت سازندهای زمین شناختی محلی است اما شعاع حداقل ۲۰ متر مطلوب‌تر است (شکل ۲-۲-الف). بررسی‌های دقیق‌تر از نظر بهداشت موجب هدایت به سوی یک منطقه بزرگتر با شعاع ۲۰۰ متر یا بیشتر می‌شود.

د) زیر تقسیم‌بندی بیشتر

ممکن است که زیر تقسیم‌بندی منطقه کلی جهت درجه بندی کنترل کاربری اراضی بیشتر از منطقه حفاظت میکروبیولوژیکی مفید باشد. این کار براساس ایزوکرون جریان افقی برای مثال ۵۰۰ روزه (شکل ۲-۲-الف) انجام گیرد که برای فراهم کردن رقیق‌سازی آرام آلاینده‌های قابل تجزیه صورت می‌گیرد. انتخاب زمان پیمایش تاحدی دلخواه است. در واقع این محیط از نظر فراهم‌سازی زمان برای بهبود و بازیابی جهت کنترل سرعت آلاینده‌های پایدار مهم‌تر می‌باشد (حداقل در مواردی که آلودگی بلافاصله شناسایی می‌شود) و بنابراین گاهی اوقات منطقه دفاعی داخلی^۲ منبع نامیده می‌شود. علاوه بر این، یک ایزوکرون جریان افقی ۱۰ ساله یا بیشتر (شکل ۲-۲-ب) گاهی اوقات جایگزینی برای محیط تسخیر کلی در سیستم‌های اکیفری با ذخیره بالا و شرایط پیچیده و یا رژیم‌های پمپاژی می‌باشد، به طوری که در اولی شکل با پیچیدگی کمتر و در دومی عدم قطعیت کمتری خواهد داشت.

1. wellhead

2. inner-defensive zone

✓ ۴۶ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

شکل ۳-۲ مثال‌های واقعی از حفاظت فوری در چاه‌های آبرسانی عمومی مهم



الف- طراحی خوب و حفاظت منطقه عملکرد سرچاهی فوریدر منطقه جنگلی روستایی



ب- اندازه کم منطقه مؤثر سرچاهی فوری که با آبیاری از فاضلاب شهری تهدید می‌شود.

۲-۲- فاکتورهای کنترل کننده شکل مناطق

در پهنه‌بندی منطقه حفاظت فرض بر این است که شرایط جریان آب زیرزمینی ماندگار (دائمی) وجود دارد بر این اساس فاکتورهای کنترل کننده شکل واقعی مناطق مختلف پهنه‌بندی در جدول ۱-۲ به صورت خلاصه آورده شده است.

مناطق حفاظت میکروبیولوژیکی هندسه ساده‌ای دارند، متمایل به بیضی یا استوانه‌ای شکل که منعکس کننده مخروط افت اطراف یک چاه پمپاژ است. برای آبخوان‌های شکافی وسعت این زون‌ها نسبت به مقادیر در نظر گرفته برای ضخامت مؤثر آبخوان و تخلخل دینامیک (شکل ۲-۴) خیلی حساس است، در حالی که شکل اینها به هدایت هیدرولیکی آبخوان حساس است.

فاکتورهای اصلی تعیین کننده هندسه منطقه تسخیر کلی منبع رژیم تغذیه و شرایط هندسی است (Adams and foster, 1992)؛ شکل اینها می‌تواند از خیلی ساده تا خیلی پیچیده تغییر کند. شکل‌های خیلی پیچیده ممکن است در نتیجه تعامل‌های متغیر رودخانه/ آب زیرزمینی، تداخل تاثیرات از منابع برداشت دیگر آب زیرزمینی و/ یا تغییرات جانبی در خصوصیات هیدرولیکی باشد. مناطق حفاظت خیلی باریک در جایی که منبع در فاصله زیاد از مرزهای آبخوان واقع شده و یا جایی که نرخ برداشت کم، گرادیان هیدرولیکی زیاد و قابلیت انتقال آبخوان بالا است ایجاد خواهد شد.

باکس ۱-۲

انجام سیاست منطقه حفاظت منبع آب زیرزمینی ساکن در Barbados

این مطالعه موردی مزایای مناطق حفاظت منبع آب زیرزمینی که در ابتدا انجام شده است، نشان می‌دهد حتی در شرایطی که ماهیت رژیم جریان اکیفر و خطرات آلودگی هنوز کاملاً شناخته نشده است. فعالیت‌های تکمیلی همیشه می‌تواند برای تقویت شرایط موجود متعاقباً انجام گیرند.

- جزیره Caribbean در Barbados برای تأمین آبرسانی عمومی به شدت به آب زیرزمینی وابسته است 115ML/d از ۱۷ چاه حفر شده در اکیفر آهکی کارستی با نفوذپذیری بالا و آسیب‌پذیری خیلی بالا برداشت می‌شود.

- تاثیر پتانسیل توسعه شهری و اهمیت استراتژیکی منابع آب زیرزمینی منجر به این شده است که حفاظت مکانی مناطق اطراف همه چاه‌های آبرسانی حدود ۳۰ سال قبل تثبیت شود. اندازه این مناطق براساس میانگین زمان پیمایش آب زیرزمینی تا چاه و محدودیت‌هایی است که به صورت خلاصه در جدول زیر آمده است. این‌ها برای حفاظت از کیفیت منبع آب نقش مهم ایفا می‌کنند.

- در زمان اتخاذ این سیاست، خطرات اصلی آب زیرزمینی با توجه به توسعه شهرنشینی با فاضلاب درجا اطراف پایتخت Bridgetown و نشت از تاسیسات تجاری، خانگی و ذخایر نفتی درک شده است.

به هر حال، تهدیدات اضافی متعاقبا ایجاد شده‌اند، همانند: - جایگزینی کاشت نیشکر با محصولات باغبانی که نیاز به مصرف مقادیر زیادی کودهای شیمیایی و آفت کش‌ها دارند.

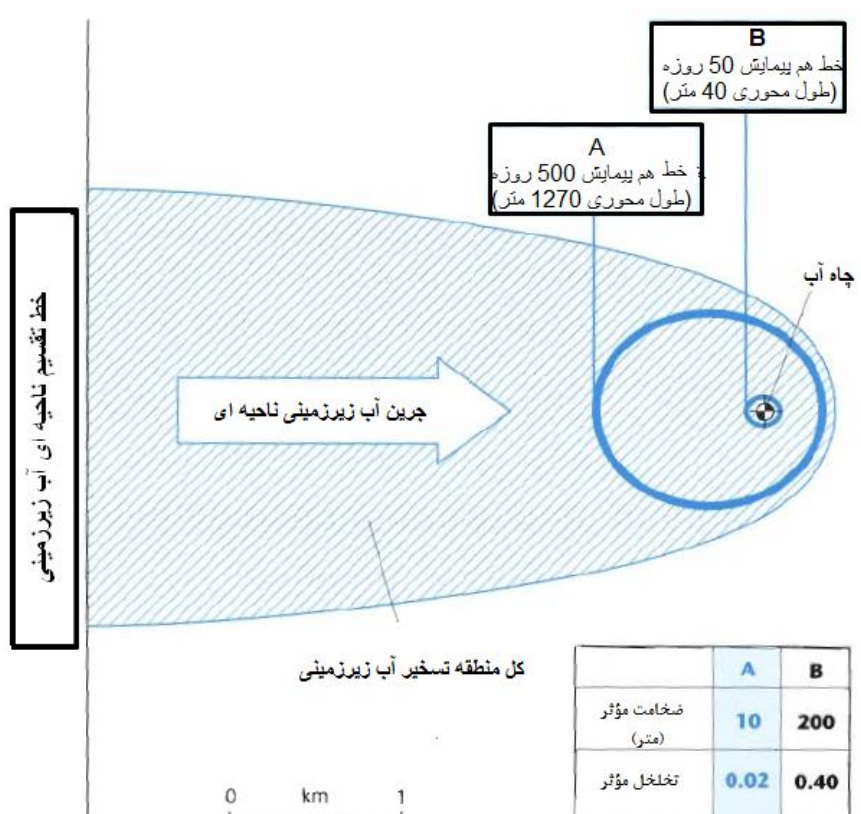
- دفع غیر قانونی زباله‌های جامد صنعتی در معادن سنگ آهک متروکه کوچک و دفع زباله‌ها در چاه‌های فاقد استفاده اندازه‌گیری‌ها برای کنترل و پایش چنین فعالیت‌هایی مطرح شده‌اند.

اصول توسعه مناطق کنترل				
منطقه	تعیین مرز بیرونی	حداکثر عمق چاه‌های فاضلاب	کنترل‌های خانگی	کنترل‌های صنعتی
۱	زمان پیمایش ۳۰۰ روز	مجاز نیست	بدون خانه‌سازی جدید بدون تغییر در دفع فاضلاب‌های موجود	بدون توسعه صنعتی جدید
۲	زمان پیمایش ۴۰۰ روز	۶.۵ متر	برای فاضلاب توالت و سایر فاضلاب‌های خانگی، بدون جریان سطحی شدید فاضلاب، بدون مخازن سوخت جدید	همه فاضلاب‌های صنعتی مایع جهت دفع از مرجع آب تبعیت می‌کنند و حداکثر عمق چاه مطابق با فاضلاب‌های خانگی است.
۳	زمان پیمایش ۵-۶ سال	۱۳ متر	همانند مورد قبلی، مخازن سوخت تصویب شده بدون نشت طراحی شوند	
۴	مناطق دیگر	بدون محدودیت	هیچ محدودیتی برای دفع فاضلاب وجود ندارد، مخازن سوخت تصویب شده بدون نشت طراحی	

جدول ۱-۲- فاکتورهای تعیین کننده شکل و وسعت مناطق حفاظت منبع آب

زیرزمینی*	
منطقه مورد حفاظت	فاکتورهای کنترل کننده
کل منطقه	تغذیه آبخوان و رژیم جریان (منطقه تغذیه/ مرزها، منطقه تخلیه طبیعی، شرایط هیدرولیکی رودخانه‌ها، مرزهای آبخوان، وضعیت آبخوان (آزاد یا محصور)، شیب هیدرولیکی آبخوان) وجود چاه‌های پمپاژ***
منطقه تسخیر	نرخ مجاز برداشت سالانه نرخ تغذیه سالانه آب زیرزمینی***
محیط مناطق جریان خطی داخلی براساس زمان (خطوط هم پیمایش زمانی ۵۰ و ۵۰۰ روزه)	توزیع قابلیت انتقال آبخوان ضخامت بخش جریان دینامیک آبخوان*** تخلخل مؤثر آبخوان***
• شامل تغییرات انسانی بر روی رژیم جریان آب زیرزمینی در ساخت و ساز شهری و فعالیت معدنی *** این فاکتورها به طور طبیعی در طول زمان متغیر هستند و موجب تغییر کوتاه مدت در شکل منطقه تسخیر و مناطق هم پیمایش زمانی خواهند شد اما مقادیر میانگین (و در برخی موارد کمترین میزان) در فرمول‌های شرایط پایدار قرار می‌گیرد. *** اصطلاح دینامیک به این اشاره دارد که در آبخوان‌های هتروژن (به ویژه شکافی) فقط یک بخش از ضخامت کل یا تخلخل (در برخی موارد کمترین بخش) در رژیم جریان منابع آبرسانی درگیر می‌باشد.	

۵۰ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی



شکل ۲-۴- حساسیت منطقه پیمایش ۵۰ روزه به تفسیر خصوصیات آبخوان شکافی

۲-۳- محدودیت‌های مفهوم مناطق حفاظت منبع

مفهوم منطقه حفاظت (SPA) ساده و قوی است به طوری که به سرعت توسط طراحان کاربری اراضی و افراد دیگری که نیاز به تصمیم‌گیری عمومی در رابطه با سیاست‌های حفاظت آب زیرزمینی دارند، درک می‌شود. به هر حال، چالش‌های تکنیکی زیادی توسط افرادی که تقاضای حفاظت بیشتر یا محدودیت کمتر دارند، مطرح می‌شود و تست هر مفهوم به این صورت است که آیا آن با انتقادهای رقابتی در شرایطی که مکان‌یابی می‌شود به صورت منصفانه برخورد می‌کند؟

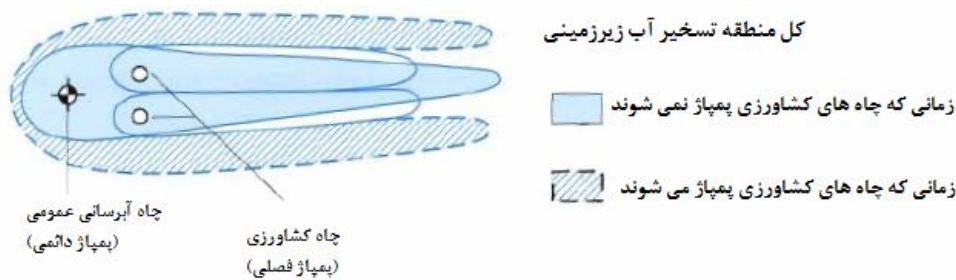
Spaها به آسانی تعیین می‌شوند و برای چاه‌ها و مجموعه چاه‌های (wellfield) شهری مهم در اکيفرهای نسبتاً یکنواخت که برداشت زیادی ندارند اجرا می‌شوند اما آن برای تلاش جهت تعیین شرایط محلی مفید و آموزنده است.

الف) مسائل معمول در راه حل‌های پیشنهادی

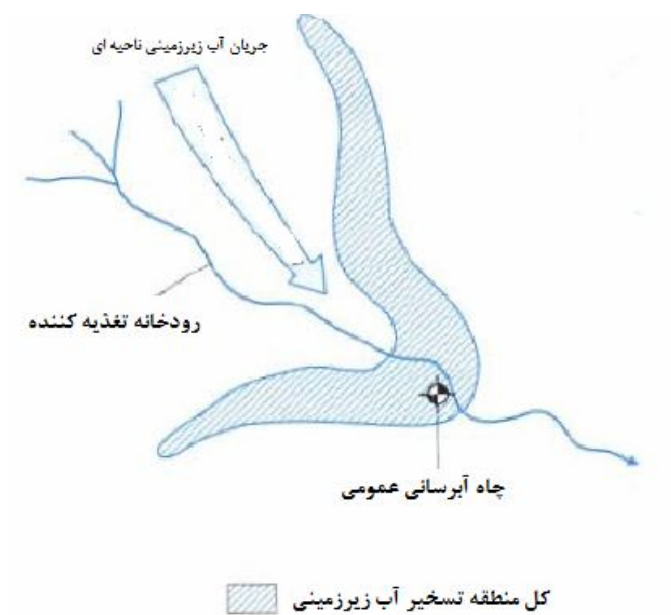
- برخی شرایط هیدرولوژیکی وجود دارد که این مفهوم را با پیچیدگی‌هایی مواجه می‌سازد:
- محدودیت‌های جدی زمانی که اکيفرها تحت تاثیر پمپاژهای متغیر فصلی زیاد برای آبیاری کشاورزی یا خنک کردن در صنعت صورت می‌گیرد، زیاد می‌شود، به دلیل تداخل بین چاه‌های پمپاژ که منجر به ایجاد زون‌های حفاظت پیچیده و ناپایدار می‌شود (شکل ۲-۵-a)؛ تنها روش امکان‌پذیر، حفاظت منبع کلی با استفاده از معیار آسیب‌پذیری آبخوان می‌باشد.
 - برای اکيفرهایی که برداشت طولانی مدت آنها به صورت قابل توجهی از تغذیه طولانی مدت شان بیشتر است، یک شرایط افت مداوم سطوح آب زیرزمینی و بالا رفتن ذاتی spaهای ناپایدار وجود دارد.
 - وجود آبراهه‌های سطحی گیرنده (رود زاینده) که متناوباً یا به صورت نامنظم از آبخوان تخلیه می‌کنند می‌تواند پیچیدگی‌های مشابهی را ایجاد کند (شکل ۲-۵-b).
 - جایی که آبراهه‌های سطحی تغذیه‌کننده در منطقه تسخیر منبع وجود دارند، هرگونه فعالیت آلوده‌کننده پتانسیل در حوضه آبریز بالا دست منطقه تغذیه می‌تواند کیفیت آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار دهد (شکل ۲-۵-c)، اگر چه معمولاً در برگرفتن این حوضه آبریز در منطقه حفاظت منبع غیرعملی خواهد بود.
 - مسائل ویژه‌ای که به خصوص در تعریف منطقه تسخیر تغذیه در موقعیت‌هایی که خط تقسیم آب زیرزمینی در فاصله زیاد قرار دارد و/یا شیب هیدرولیکی منطقه‌ای خیلی پایین به وجود می‌آید و اغلب در نظر گرفتن یک ایزوکرون قطع جریان لازم می‌باشد (۱۰ ساله).
 - وجود اکيفرهای چندلایه‌ای، درجایی که گرادیان هیدرولیکی عمودی ناشی از نشت عمودی بین واحدهای اکيفر توسعه می‌یابد، هر اکيفر چند لایه‌ای نیاز به آزمایشی براساس محل به محل و برخی فرضیات ساده‌سازی رفتار هیدرولیکی دارد.

۵۲ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

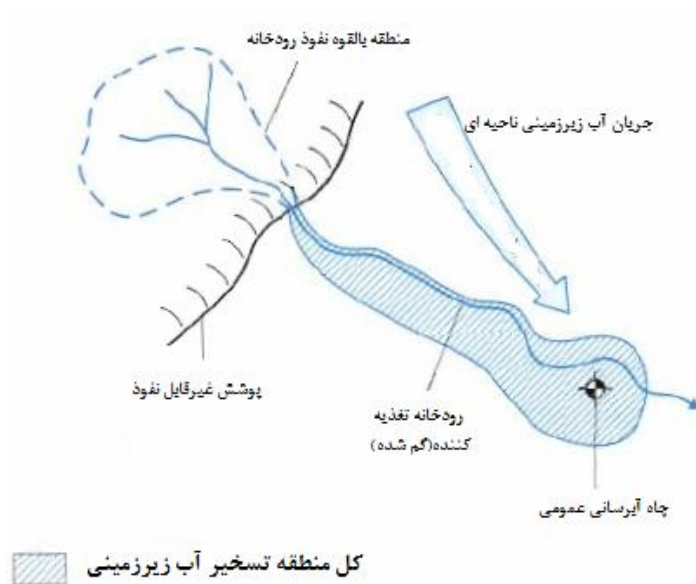
- جایی که تغییرات سالیانه منطقه تسخیر منبع خیلی زیاد است (به عنوان اکیفرهای با ذخیره کم) ماکزیمم (به جای میانگین) منطقه مناسب تر می باشد و بنابراین تصحیحات محلی مورد نیاز می باشد.
- منابع آب زیرزمینی کوچک (با آبدهی کمتر از $0/5 \text{ML/b}$) به دلیل اینکه در برخی شرایط، مناطق تسخیر آنها شکل هندسی خیلی باریک و ناپایداری خواهند داشت.
- برخی زمان پیمایش ۵۰ روزه را در نظر می گیرند، به دلیل اینکه آن دوره های خلا زمانی (تاخیر) در طی نفوذ عمقی در منطقه غیراشباع را در نظر نمی گیرد اما در واقعیت نیاز به ایجاد تعادل با فاکتورهای زیر دارد:
- امکان وجود جریان ترجیحی سریع از طریق شکاف ها که می تواند به صورت قابل توجهی تاخیر عادی همراه با انتقال از منطقه غیراشباع را کاهش دهد.
- ایزوکرون با استفاده از مفهوم سرعت های جریان اشباع محاسبه می شود که از میانگین خصوصیات اکیفر محلی و گرادیان های هیدرولیکی استخراج می شود و در اکیفرهای دارای جریان شکافی نسبت آبی که منتقل می شود بیشتر از میانگین می باشد.
- برخی آلاینده ها که در زمین با بار هیدرولیکی قابل توجه (از طریق زهکش ها) و سایر موارد (مانند حلال های آلی غیر قابل اختلاط) وارد می شوند، ممکن است خصوصیات فیزیکی داشته باشند که سریع تر از آب به داخل زمین نفوذ کنند.
- مدرک علمی مهمی وجود دارد که نشان می دهد برخی از عوامل بیماری زای خطرناک محیطی مانند (Cryptosporidium oocyst) می توانند بسیار بیشتر از ۵۰ روز در زیر سطح زمین زنده بمانند.



الف- تأثیر برداشت متناوب و غیردائمی



ب- تاثیر رودخانه تغذیه کننده

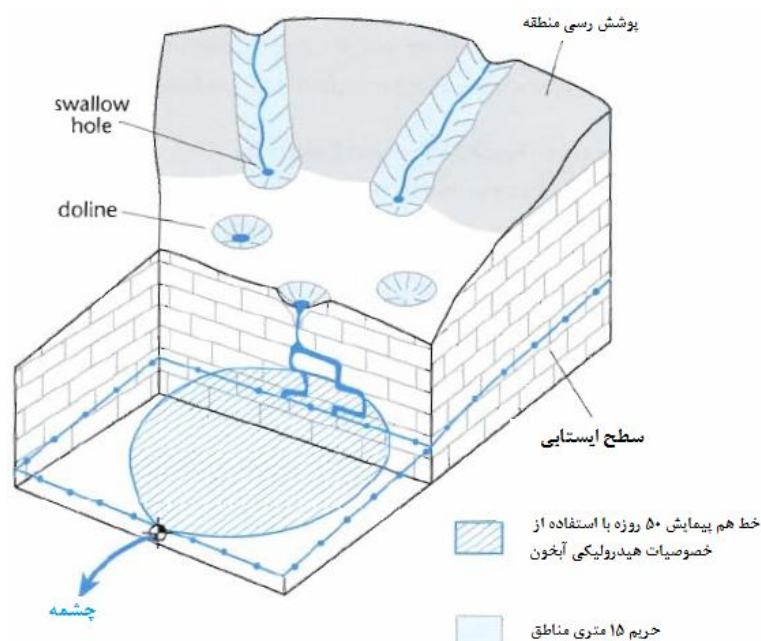


ج- تاثیر رودخانه تغذیه شونده

ب) اکیفرهای آهکی کارستی

الگوهای جریان در اکیفرهای آهکی کارستی به دلیل وجود شکاف‌های انحلالی (مانند غارها، کانال‌ها و گودال‌ها) بسیار نامنظم است که حوضه کوتاه خطوط جریان پخش شده در میان محیط شکافی به عنوان یک قانون کلی است. آلاینده‌های حرکت کننده از میان چنین سیستمی می‌تواند با سرعت‌های بالاتری نسبت به میانگین خصوصیات هیدرولیکی اکیفر در یک «محیط متخلخل معادل» حرکت کند. این ساده‌سازی می‌تواند معتبر باشد اگر مقیاس آنالیز و (مدل‌سازی) ناحیه‌ای است و اگر غارهای انحلالی بزرگ همراه با گسل‌ها یا سایر عوارض شناخته شده وجود داشته باشند، اما در موارد دیگر این فرض می‌تواند موجب خطا شود.

جایی که عوارض کارستی وجود دارند، می‌توانند به صورت سیستماتیک از طریق بازدید مقدماتی، تفسیر تصاویر هوایی و (در صورت امکان) نقشه‌برداری ژئوفیزیکی حداقل در اطراف چشمه‌ها یا چاه‌هایی که حفاظت می‌شوند شناسایی شوند. دانش به دست آمده از بررسی‌های هیدروژئولوژیکی محلی (بویژه با استفاده از آزمایش‌های ردیابی مصنوعی و یا ایزوتوپ‌های (محیطی)) و بررسی‌های غارشناسی نیز می‌تواند براساس محیط به محیط برای پهنه‌بندی منطقه حفاظتی به جای استفاده از میانگین خصوصیات اکیفر و و گرادیان‌های هیدرولیکی استفاده شود و اینکه عوارض انحلال سطحی در فواصل زیاد نسبت به منبع و آبهای سطحی که به آنها زهکشی می‌شوند نیز حفاظت ویژه‌ای را تضمین می‌کنند (شکل ۲-۶).



باکس ۲-۲

پهنه‌بندی مناطق حفاظت آب زیرزمینی برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی در Esperanza آرژانتین

پهنه‌بندی مناطق مدت زمان جریان (flow -time) و تسخیر (capture) آب زیرزمینی با همدیگر به همراه تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان یک مؤلفه اساسی حفاظت منبع آب و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در سطح شهر می‌باشد.

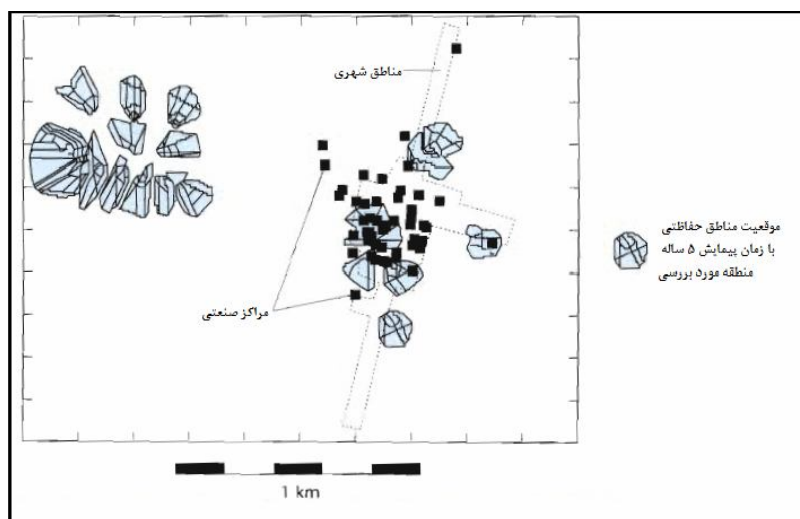
شهر Esperanza (santé fe province) کل آب مورد نیاز خود را از آب زیرزمینی تامین می‌کند. به صورت محلی برای این منظور نه تنها آبخوان نیمه تحت فشار (نیمه محصور) به شدت مورد بهره برداری قرار می‌گیرد بلکه برای کشاورزی و برای مرکز صنعتی مجاور نیز استفاده می‌شود.

منابع آب زیرزمینی شهر شامل موارد زیر است:

مجموعه چاه‌ها در شرایط روستایی جایی که هیچ گونه قانون گذاری کاربری اراضی یا محدودیتی وجود ندارد. -
یک تعداد چاه‌های شخصی در مناطق شهری که زیربنای بهداشتی ناقص و خدمات صنعتی مختلفی دارد. -
این وضعیت با یک آسیب پذیری نرخ بندی شده با روش GOD به عنوان تعدیل کننده، منطقه بندی شده است. وجود خطر آلودگی قابل توجه آب زیرزمینی مشخص شده است و اندازه گیری‌های حفاظتی دربرگیرنده طراحی‌های کاربری اراضی مورد نیاز می‌باشد.

برای این منظور یک محدوده ای (بازه ای) از مناطق حفاظتی برای ۲۰ چاه شهری پهنه بندی شده است که با روش نیمه تحلیلی WHPA با استفاده از مدت زمان پیمایش آب زیرزمینی تا ۵ سال به عنوان یک پایه ای برای اندازه‌های تدریجی پیشنهاد شده، کنترل آلودگی آبخوان و محدودیت کاربری اراضی تعیین شده است (Paris & others 1999)

به هر حال اجرای مناطق حفاظت آب زیرزمینی کار ساده و آسانی نیست و ممکن است صاحبان صنایع در مقابل این هدف و یا تغییر مکان کلی که به آنها پیشنهاد می‌شود مقاومت نشان دهند (به عنوان یک نتیجه ای از their charcter). چنین فعالیت‌هایی از نظر انعکاس‌های - اجتماعی - اقتصادی تا رسیدن به هدف نهایی مشکل است. به دلیل این توجهات و باهدف سهولت بخشیدن سطوح اصلاح حفاظت منبع آب زیرزمینی استراتژی دیگر انتقال محل برداشت آب زیرزمینی به جای دیگر خارج از محدوده شهری پیشنهاد شده است. سپس مناطق حفاظتی برای مجموعه چاه‌های پیشنهادی با قوانین حقوقی و فنی برای ضمانت اجرای آنها پهنه بندی می‌شوند. یک شبکه پایش (monitoring) آب زیرزمینی نیز برای آشکار سازی اولیه و بهبود هرگونه مسائل پتانسیلی (بالقوه) تاسیس می‌شود.



ج) چشمه‌ها و گالری‌ها

در برخی موارد برداشت آب زیرزمینی از چشمه‌ها (نقاطی که به صورت طبیعی آب زیرزمینی در سطح زمین تخلیه می‌شود) صورت می‌گیرد. در چشمه‌ها که خروج آب زیرزمینی به صورت طبیعی توسط نیروی ثقل صورت می‌گیرد، مسائل خاصی برای پهنه‌بندی مناطق حفاظتی دارند. اندازه منطقه تسخیر تغذیه به جریان کلی به سمت چشمه، به جای نسبت جریانی که در عمل برداشت می‌شود، بستگی دارد. جریان آب چشمه‌ها ممکن است به صورت دورهای باشد، در فصل خشک با پائین آمدن سطح ایستابی شدیداً کاهش یافته یا حتی خشک می‌شود. چشمه‌ها اغلب در محل ناپیوستگی‌های زمین شناختی مانند تغییرات سنگ‌شناختی، گسل‌ها یا سدها ایجاد می‌شوند که در بهترین حالت فقط بخشی از ماهیت و وسعت آن درک می‌شود.

علاوه بر این، وجود گالری‌های نفوذ و سیستم‌های لوله‌ای نیز، ممکن است عدم قطعیت قابل توجهی در مورد محل واقعی چشمه‌ها را ایجاد کند. ناچاراً برای همه این موارد تقریب زدن نسبی، اساساً تجربی و تاحدی فرضیات محافظه کارانه در پهنه‌بندی مناطق حفاظتی اطراف چاه‌ها می‌تواند به کار رود.

پهنه‌بندی مناطق حفاظتی اطراف چاه بدلیل وجود گالری‌ها پیچیده می‌شود به طوری که جریان طبیعی را توسط مسیرهای ترجیحی منحرف می‌کند، معمولاً روش تجربی برای حل این مسائل به کار می‌رود هر چند مدلسازی عددی نیز در جایی که داده‌های کافی وجود دارد ممکن است استفاده شود.

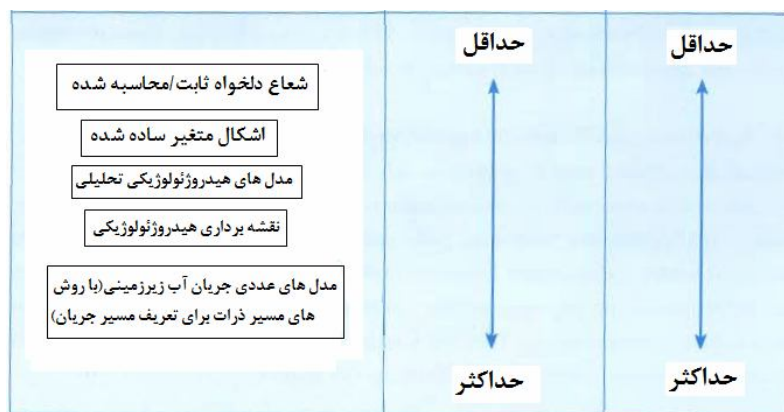
د) اجرا در شرایط شهری

مفهوم مناطق جریان و مناطق تغذیه منبع آب زیرزمینی در همه محیط‌ها معتبر هستند اما اغلب مسائل و مشکلات مهمی در پهنه‌بندی هر دو مورد از طریق آنالیز هیدروژئولوژیکی و اجرای آنها به عنوان مناطق حفاظتی در محیط شهری وجود دارد. این نتایج از پیچیدگی فرآیند تغذیه آبخوان در مناطق شهری، مقادیر زیاد برداشت از چاه‌ها برای استفاده‌های مختلف و واقعیتهای که اغلب spa‌های تعیین شده با توسعه صنعتی و یا مسکونی اشغال می‌شود، ناشی می‌گردد.

با وجود این، مناطق پهنه‌بندی شده برای اولویت بندی پایش کیفیت آب زیرزمینی، بررسی مناطق صنعتی و اندازه‌گیری کاهش (رقیق شدگی) آلودگی آب زیرزمینی به کار خواهند رفت (مانند تغییرات در بررسی فاضلاب‌های صنعتی یا ذخایر شیمیایی و احداث شبکه فاضلاب اصلی در مناطق با آسیب پذیری بالا).

۲-۴- روش‌های تعیین (پهنه‌بندی) مناطق حفاظتی

پهنه‌بندی مناطق حفاظت منبع می‌تواند با روش‌های مختلفی انجام گیرد (جدول ۲-۲) که از خیلی ساده تا خیلی دقیق متغیر می‌باشند. در قدیم منطقه استوانه‌ای با شعاع ثابت دلخواه و اشکال بیضوی خیلی ساده استفاده می‌شد، هر چند به دلیل نبود یک پایه علمی دقیق، اغلب اجرای آن در زمین مشکل بوده است، چرا که اعتبار مشکوک و عدم دفاع‌پذیری در این روش وجود دارد.



شکل ۲-۲- ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی مناطق حفاظتی منبع

۵۸ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

در اینجا به دو روش اشاره خواهد شد:

- ساده اما علمی: فرمول‌های تحلیلی، ابزارها و مدل‌ها

- مدل‌سازی عددی سیستماتیک‌تر آبخوان

اما انتخاب بین این دو به وجود داده‌های هیدروژئولوژیکی معتبر بیشتر از شرایط دیگر بستگی دارد. در هر دو مورد، تطبیق دادن مناطق تعریف شده با شرایط هیدروژئولوژیکی محلی که به صورت نقشه‌های هیدروژئولوژیکی ارائه شده‌اند، اساسی و مهم است. فرایند پهنه‌بندی به شدت به اعتبار مدل مفهومی ارائه شده برای توصیف سیستم آبخوان و میزان داده‌های موجود و دقت آنها بستگی دارد. اگر چه هندسه منطقه حفاظت تعریف شده نیز توسط روش استفاده شده برای پهنه‌بندی آن تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. باید یادآوری شود که پهنه بندی مناطق حفاظت همانند رژیم آب زیرزمینی که در آن وجود دارد، یک سیستم دینامیک می‌باشد. هیچ منطقه‌ای ثابت و پابرجا نیست زیرا شرایط آب زیرزمینی به صورت فیزیکی تغییر می‌کند یا ممکن است داده‌های هیدروژئولوژیکی جدید شرایط آبخوان را با دقت بیشتری نشان دهد. همچنین با پذیرفتن اینکه بسیاری از سیستم‌های جریان آب زیرزمینی در جزئیات رفتار پیچیده‌تری نشان می‌دهند (بویژه مناطق نزدیک چاه‌ها) چنین پیچیدگی‌های محلی در مقیاس پهنه‌بندی منطقه حفاظتی مهم هستند و در اغلب این شرایط تکنیک‌های شبیه‌سازی به کار رفته برای مدل‌سازی مفهومی دقیق آبخوان نتایج قابل قبولی فراهم می‌کنند.

به صورت کلی اعتبار مناطق حفاظت منبع با افزایش زمان پیمایش آب زیرزمینی در آبخوان کاهش می‌یابد. برای مثال منطقه با مدت زمان جریان ۵۰ روزه معمولاً تغییرات اندکی در روش‌های مختلف پهنه‌بندی نشان می‌دهد اما منطقه با زمان جریان ۱۰ ساله می‌تواند از چندین هکتار یا حتی کیلومتر مربع با شکل‌های متفاوت تغییر کند.

توسعه‌های اخیر، مدل‌های آب زیرزمینی را در دسترس، کاربری آسان^۱ و با خروجی‌های بهبود یافته ارائه داده است. چندین کد عمومی مانند مدل تحلیلی WHPA اکنون می‌تواند از وب سایت‌ها دانلود شود و مدل‌های با کاربری آسان مانند FLOWPATH یا Visual MODFLOW برای بسیاری از مدل‌های عددی جریان مورد آزمایش قرار گرفته، مانند modflow و با ترکیب تکنیک‌های مسیر ذره در دسترس

1 - user - friendly

هستند، مانند MODPATH (Livingstone et al., 1985). در نتیجه، هیدروژئولوژیست‌های کل جهان به آسانی به تکنیک‌های مدل‌سازی پیشرفته و آسان دسترسی دارند (جدول ۲-۳).

جدول ۲-۳- آدرس وب سایت‌های مهم مدل‌سازی عددی آب زیرزمینی برای حفاظت منبع

سازمان	آدرس وب سایت
انجمن بین‌المللی هیدروژئولوژیست‌ها	http://www.iah.org/weblinks.htm#softw
مرکز بین‌المللی مدل‌سازی آب زیرزمینی	http://www.mines.edu/igwmc/
انجمن ملی آب زیرزمینی	http://www.ngwa.org/
مرکز EPA برای حمایت از مدل‌سازی زیرسطحی	http://www.epa.gov/ada/csmos.html
نرم افزارهای کاربردی منابع آب USGS	http://water.usgs.gov/software/

۲-۵- مدل‌های تحلیلی^۱ در مقابل مدل‌های عددی^۲

مدل‌ها و ابزارهای تحلیلی، فرمول‌های تحلیلی نسبتاً ساده‌ای را برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی معمولاً در دو بعد به کار می‌برند. مدل‌هایی مانند WHPA آسان هستند، اطلاعات کمی نیاز دارند و کدهای زیادی در وب سایت‌ها به صورت رایگان در دسترس می‌باشد. هرچند مدل‌های تحلیلی با فرضیات مختلفی محدود شده‌اند که مانع از استفاده آنها در شرایط صحرایی پیچیده‌تر می‌شود (مانند خصوصیات همگنی اکيفر، ضخامت اکيفر، نامحدود بودن اکيفر و غیره). به هر حال گزینه‌های خوبی برای مناطقی با داده‌های هیدروژئولوژیکی محدود و سیستم‌های اکيفری نسبتاً یکنواخت وجود دارد. مدل‌های عددی به دلیل اینکه تغییرات پیچیده در هندسه اکيفر، خصوصیات و الگوهای تغذیه را در نظر می‌گیرد از نظر فنی بهتر هستند، بنابراین نتایج ارائه شده به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشد. هر چند به

-
1. Analytical models
 2. Numerical models

✓ ۶۰ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

داده‌ها و زمان بیشتری نیاز دارند. مدل‌سازی عددی اکيفر برای مناطقی که داده‌های هیدروژئولوژیکی قابل قبولی در دسترس می‌باشد و شرایط هیدروژئولوژیکی که نمی‌تواند به صورت یک نقطه مورد نیاز برای کاربرد کدهای مدل‌سازی تحلیلی ساده شود، پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این، مدل‌های عددی می‌تواند برای ارزیابی تأثیرات عدم قطعیت شکل و اندازه مناطق حفاظت و به عنوان ابزار پیش بینی کننده جهت ارزیابی سناریوهای برداشت در آینده و تأثیرات سیستم هیدروژئولوژیکی استفاده شود.

چنین مدل‌هایی براساس تفاضل محدود^۱ یا عناصر محدود^۲ هستند. روش‌های تفاضل محدود شبکه‌های مربعی برای تفکیک کردن سیستم استفاده می‌کند و درک آنها آسان است، از نظر محاسباتی پایدار هستند و کاربرد وسیعی دارند اما ممکن است مشکلاتی در شرایط مرزهای زمین شناختی پیچیده به وجود آید. کدهای عنصر محدود عناصر هرمی یا مثلثی استفاده می‌کنند که برای شرایط زمین شناختی نامنظم بهتر می‌باشند اما مسائلی در توازن جرم ممکن است رخ دهد.

جایی که مدل‌های عددی اکيفر به کار می‌روند، استفاده از روال مسیر ذره ترجیح داده می‌شود. در این شرایط حرکت رو به جلوی آب زیرزمینی در یک منبع در طول پمپاژ به صورت عددی در گام‌های زمانی کوچک می‌تواند دنبال شود. مسیر ذره خطوط جریانی در جهت‌های مختلف ایجاد می‌کند و منطقه تغذیه کلی تحت شرایط جریان پایدار با استفاده از خطوط جریان در زمان نامحدود تعیین می‌شود و باید تا یک نقطه که سرعت جریان صفر است یا حاشیه منطقه مورد مطالعه ادامه یابد. روش‌های مسیر ذره پایه‌ای برای پهنه‌بندی منطقه حفاظت می‌باشند، به دلیل اینکه اغلب کدهای مسیر ذره قادر به انجام محاسبات سرعت در منطقه جریان و تعریف ایزوکرون مجاز می‌باشند. باید ذکر شود که فقط جریان همگرا^۳ با استفاده از مسیر ذره شبیه‌سازی می‌شود.

۲-۶- نمایش دو بعدی در مقابل سه بعدی اکيفر

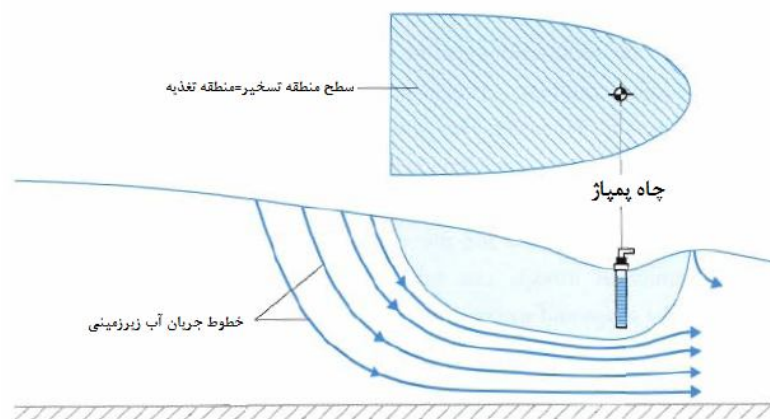
برای کاربرد مدل‌های عددی جهت نشان دادن سیستم‌های اکيفر واقعی چندین ساده سازی صورت گرفته است. یکی از معمول‌ترین آنها، تبدیل یک سیستم سه بعدی پیچیده به مدل دو بعدی ساده می‌باشد، به دلیل اینکه در اغلب موارد داده‌های هیدروژئولوژیکی کافی (از جمله برای نفوذپذیری عمودی

-
1. Finite difference
 2. Finite element
 3. Advective(nondispersive) flow

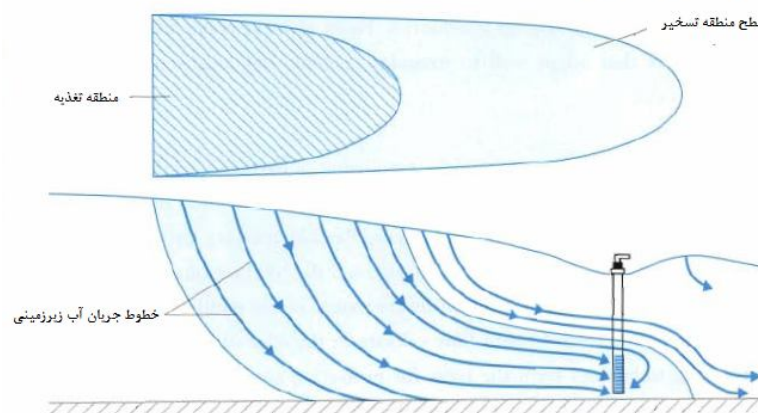
راهنمای فنی روش‌شناسی حفاظت آب‌های زیرزمینی ✓ ۶۱

و تغییرات بار هیدرولیکی) برای مشخص کردن و کالیبره (واسنجی) کردن مؤلفه‌های جریان عمودی آب زیرزمینی وجود ندارد. واقعیت این است که اغلب اکیفرها در مقایسه با وسعتشان نازک و کم ضخامت هستند مدل‌های دو بعدی معمولاً مناسب بوده و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر چند در مواردی که جریان‌های عمودی قابل توجه و مهم هستند، مدل‌سازی دو بعدی ابعاد زون‌های تسخیر را بیشتر تخمین می‌زند و بنابراین مناطق حفاظتی بزرگتر ایجاد می‌شود (شکل ۲-۷). پس اگر داده‌های کافی وجود داشته باشد، مدل‌های سه بعدی برای سیستم‌های اکیفری پیچیده بیشتر استفاده می‌شوند.

الف- چاه کم عمق در آبخوان آزاد



ب- چاه عمیق در آبخوان آزاد



شکل ۲-۷- مقایسه بین منطقه تسخیر کلی چاه‌های با نفوذ کم عمق و عمیق در آبخوان آزاد و تاثیر تئوریک جریان عمودی

۷-۲- مراحل انجام

تعدادی مراحل مجزا در فرایند پهنه‌بندی مناطق حفاظتی وجود دارد. مهمترین مرحله در کل فرایند، احتمالاً به دست آوردن اطلاعات (داده‌ها) می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز نه تنها خصوصیات اکيفر بلکه ساختار چاه، رژیم عملکردی منبع، سطوح آب زیرزمینی، فرایندهای تغذیه و نرخ‌ها و تعامل اکيفر با آب‌های سطحی می‌باشد. هیچ منطقه حفاظتی نمی‌تواند به صورت ایزوله (کاملاً مجزا) باشد و همه آنها به در نظر گرفتن آب زیرزمینی در واحدهایی به شعاع حداقل ۵ کیلومتر (صفحه ۴۹) و معمولاً تا بیشتر از ۱۰ کیلومتر نیاز دارند.

زمانی که داده‌های پایه‌ای گردآوری شدند، همه اطلاعات موجود باید برای تهیه یک مدل مفهومی با هدف فراهم‌سازی یک بیان واضح شرایط آب زیرزمینی ترکیب شوند. سپس می‌تواند به عنوان پایه‌ای برای تعیین منطقه تحلیلی یا راهنمای مدلسازی عددی در تنظیم شبیه‌سازی شرایط واقعی آب زیرزمینی استفاده شود. انتخاب روش پهنه‌بندی تابعی است از:

- میزان درک شرایط آب زیرزمینی موجود

- عملکرد مهم منبع آب زیرزمینی

- منابع مالی و انسانی موجود

ترکیب GIS و پایگاه داده‌ها یک ابزار مفیدی برای سازماندهی داده‌ها در یک سیستم فراهم می‌سازد و قدرت تجسم برای کنترل تناقض‌ها و مدلسازی داده‌هایی که از نظر جغرافیایی پخش شده اند فراهم می‌سازد .

۸-۲- عدم قطعیت علمی

یک مدل عددی اکيفر فقط در صورت وجود داده‌های ورودی و درک مفهومی رژیم جریان آب زیرزمینی تهیه می‌شود. اندازه، شکل و موقعیت مناطق حفاظت منبع به شدت توسط پارامترهای هیدروژئولوژیکی کنترل می‌شوند که اغلب مقادیرشان نامعلوم است. توجه شود که دقت مناطق پیش‌بینی شده توسط عدم قطعیت در پارامترهای موجود محدود خواهند شد. مدل‌ها توسط مقایسه خروجی‌های مدل با شرایط بار هیدرولیکی مشاهده شده اکيفر کالیبره می‌شوند (واسنجی). یک آنالیز حساسیت باید در

راهنمای فنی روش‌شناسی حفاظت آب‌های زیرزمینی ✓ ۶۳

پارامترهای ورودی اصلی که به صورت سیستماتیک در بازه‌های معقولی تغییر می‌کنند، صورت گرفته و تاثیرات چنین تغییراتی بر روی منطقه تسخیر و مناطق زمان پیمایش جریان بررسی شوند.

دقیق‌ترین روش برای آنالیز حساسیت، استفاده از روش montecarlo (روش آماری) برای تعریف ماکزیمم محیط حفاظتی است که همه مناطق معتبر را شامل می‌شود. استفاده از این روش جایی که حفاظت آب زیرزمینی اهمیت بیشتری دارد، احتمالاً روش قابل قبولی در سیاست عمومی است. به هر حال، در اغلب شرایط تعادلی وجود دارد که یک روش با ریسک صفر را قبول نمی‌کند. مسأله عدم قطعیت نباید فراموش شود، چرا که درک شرایطی (شروطی) که براساس آن مناطق حفاظتی تعریف شده‌اند، مهم است.

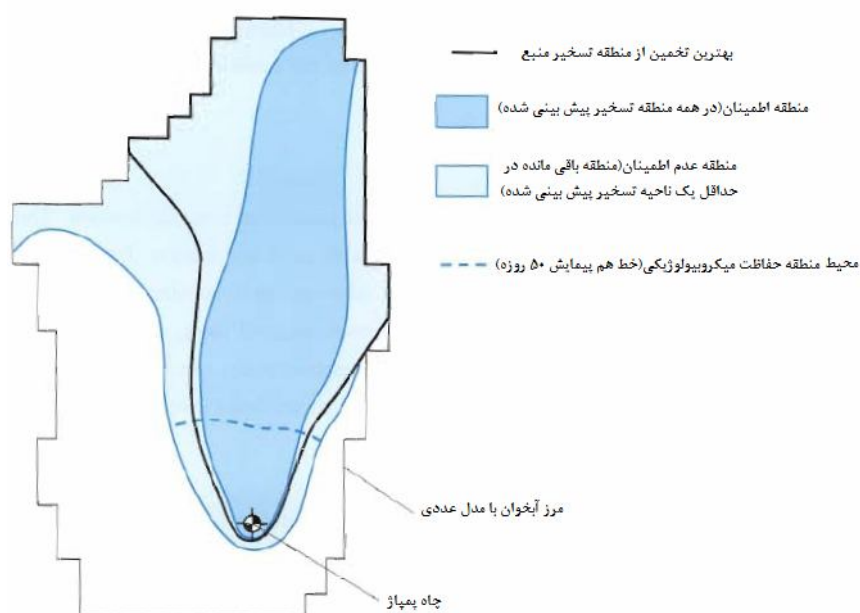
استفاده از مدل عددی آب زیرزمینی براساس بهترین تخمین مقادیر پارامترها خواهد بود و بهترین مناطق حفاظت تعریف شده فقط آنهایی هستند که معیار تعادل آب زیرزمینی مناسبی دارند. به هر حال هر مدل باید عدم قطعیت را در نظر بگیرد به دلیل اینکه تعیین همه پارامترهای واقعی صحرائی با استفاده از شبیه‌سازی از نظر فیزیکی امکانپذیر نیست. مهم‌ترین متغیرهای موثر بر هندسه منطقه حفاظت، نرخ تغذیه اکیفر، هدایت هیدرولیکی و تخلخل مؤثر است (جدول ۲-۱). بهترین مقادیر تخمینی و معتبر برای هر پارامتر می‌تواند از روی داده‌های موجود تعیین شود و همه ترکیباتی که به توزیع بار هیدرولیکی قابل قبول می‌انجامد، برای توسعه هر منطقه حفاظتی استفاده می‌شوند. در این رابطه محدوده‌های زیر می‌تواند تعریف شود (شکل ۲-۸)

– منطقه معتبر^۱ (اطمینان): با استفاده از اشتراک (انطباق) همه ترکیبات محتمل تعریف می‌شود.

– منطقه عدم قطعیت^۲ (عدم اطمینان): محدوده بیرونی تعریف شده با استفاده از مرزهای همه ترکیبات محتمل.

1. Zone of Confidence

2. Zone of Uncertainty



شکل ۲-۸- روشی برای تطابق عدم قطعیت هیدروژئولوژیکی با مناطق حفاظتی منبع

معمولاً پارامترهای مورد نیاز برای ساخت دو منطقه تغذیه اکيفر و هدایت هیدرولیکی تغییر می‌کنند. بازه‌های قابل قبول این دو پارامتر با استفاده از تغییر سیستماتیک آنها اطراف بهترین مقدار تخمین، نتیجه مدل و توجه به مرزهایی که کالیبراسیون (واسنجی) در آن محدوده قابل قبول می‌باشد، تعیین می‌شود. آنالیز حساسیت متناوباً با استفاده از مقادیر پارامتر در محدوده قابل قبول، برای بدست آوردن مناطق ذکر شده انجام می‌گیرد. در یک مدل خوب کالیبره شده معمول، هدایت هیدرولیکی و تغذیه برای بهترین تخمین به $1/2 - 1/8$ و $5 - 5/5$ (به ترتیب) ضرب می‌شوند. برای تنظیم بیشتر مدل، تخلخل مؤثر در $5/5 - 1/5$ ضرب می‌شود؛ مناطق زمان پیمایش حاصل، عدم قطعیت یکنواخت بیشتری نسبت به منطقه تسخیر دارند که بدلیل تاثیر این عدم قطعیت پارامترها می‌باشد.

برنامه‌های اتوماتیک تخمین پارامتر جدید (مانند PEST یا MODFLOW-P) یک بخش انتگرالی ارائه‌کننده آنالیز عدم قطعیت سیستماتیک پارامتر هستند. این روش مدل معکوس الگوریتم‌های پیچیده‌ای را برای تخمین بهترین ورودی بارها و جریان‌های مشاهده شده استفاده می‌کند. قضاوت ماهرانه در استفاده چنین کدهایی مهم است چرا که هیچ تفسیر هیدروژئولوژیکی توسط آنها انجام نمی‌پذیرد.

راهنمای فنی روش‌شناسی حفاظت آب‌های زیرزمینی ✓ ۶۵

هنگام پهنه‌بندی منطقه تسخیر آب زیرزمینی و تعیین این منطقه که به صورت قطعی (یا در صورت امکان) برای یک منبع مورد نظر مشارکت دارند، توجه ویژه به عدم قطعیت پارامتر یک ابزار مهم در تعیین استراتژی‌های حفاظت آب زیرزمینی است. به هر حال باید توجه شود که روش توصیف شده در بالا خطاهای ناشی از کاربرد مدل مفهومی نامناسب و یا مدل‌های عددی نامناسب اکیفر را در نظر نمی‌گیرد و قضاوت کارشناسی در این زمینه یک مولفه اصلی در مدل‌سازی کل منطقه و ارزیابی عدم قطعیت مهم باقی می‌ماند.

۹-۲- تنظیم محیط مناطق و تهیه نقشه

در ابتدا که مناطق حفاظت منبع آب زیرزمینی پهنه بندی شدند، نتایج باید برای ارزیابی اینکه آیا تنظیماتی مورد نیاز است یا نه، بررسی شوند. اغلب تنظیمات تجربی برای تهیه مناطق حفاظتی معتبر و قوی مورد نیاز می‌باشد.

خروجی فرایند پهنه‌بندی به نقشه‌های نهایی مناطق حفاظت تبدیل می‌شود که می‌تواند بر روی نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان به منظور ارزیابی خطر آلودگی منبع آب زیرزمینی اضافه شود. این مرحله شامل یک توالی از اصلاحات بر روی خروجی‌های محاسبه شده می‌باشد. تجربه نشان داده است که بهترین کار استفاده از نرم افزار CAD می‌باشد. روند کلی انجام این کار به صورت زیر می‌باشد:

- کنترل‌های نهایی این که مناطق حداقل ملاک و معیار در تعریف‌ها را داشته باشد.

- تنظیم مرزها برای بررسی مسائل مقیاس و در صورت امکان تطبیق مرزهای مدل با شرایط مرزی

واقعی صحرائی

- تهیه نقشه و تنظیم مجدد در مقیاس‌های ۲۵۰۰۰ : ۱ تا ۱۰۰۰۰۰ : ۱

زمان ترسیم مرزهای منطقه حفاظت، عوارض هیدروژئولوژیکی واقعی باید هر جا که امکان پذیر باشد به جای مرزهای مدل استفاده شود. یک قرارداد کلی مناسب، کشیدن و بر چسب گذاشتن مرزهای واقعی در جایی است که مشخص و شناخته شده هستند تا مرزهای مدل با برچسب گذاری مناسب برای کاربر نقشه نشان داده شوند.

قضاوت با درجه بیشتر اغلب هنگام سروکار داشتن با لایه‌های محصور کننده مورد نیاز است، جایی که یک لایه محصورکننده ثابت و محکم اطراف یک منبع وجود دارد، منطقه حفاظت میکروبیولوژیکی تا

✓ ۶۶ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

شعاع ۵۰ متری می‌باشد. به هر حال، جایی که اینها شناخته شده‌اند یا ساخت‌های زیر سطحی ایجاد شده توسط انسانها (مانند تونل‌های جاده‌ای یا میله‌های معدن) وجود دارد، منطقه ۵۰ روزه باید نشان داده شود. جایی که یک لایه محصور کننده با نفوذپذیری کم یا پوشاننده اطراف منبع وجود دارد، محدوده آن بر روی نقشه‌های مناطق حفاظتی به صورت هاشورخورده برای مشخص کردن برخی عدم قطعیت‌ها مشخص می‌شود، بویژه اگر آن به عنوان یک منطقه حاوی تغذیه صفر از بارش در مدلسازی عددی در نظر گرفته شده است.

مناطق حفاظتی با دنباله‌های نازک طولانی به دلیل تداخل پمپاژ با گمانه‌های دیگر و / یا غیردقیق بودن پهنه‌بندی منطقه با مدلسازی کامپیوتری می‌باشد. هر جا که چنین عوارضی دیده می‌شود، آنها باید در حداقل شعاع ۵۰ متری بریده شوند. این کار به دلخواه است اما برای ممانعت از ایجاد نقشه‌های با دقت جعلی اندازه مناسبی است.

فصل سوم

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی

در هر برنامه حفاظت کیفیت آب زیرزمینی، اطلاعاتی در مورد منابع پتانسیل آلاینده مهم است، بدلیل اینکه آلاینده‌ها در داخل محیط زیر سطحی منتشر می‌شوند. در این فصل یک روش سیستماتیک برای بررسی بار آلاینده ارائه می‌شود.

۳-۱- دلایل معمول آلودگی آب زیرزمینی

بازنگری کلی عوامل شناخته شده آلودگی آب زیرزمینی منجر به مشاهدات مهم زیر می‌شود که با این واقعیت مرتبط هستند که اغلب کارهای منتشر شده اشاره به کشورهای صنعتی دارند و ممکن است نمایانگر کامل کشورهای در مراحل اولیه توسعه اقتصادی نباشد:

- تعداد زیادی از فعالیت‌های انسانی قابلیت تولید آلاینده‌های مهم دارند و هرچند فقط تعداد اندکی از فعالیت‌ها مسئول عمده موارد جدی آلودگی آب زیرزمینی هستند (جدول ۳-۱).

- شدت آلودگی اکيفر معمولاً مستقیماً تابع اندازه فعالیت آلوده کننده در سطح زمین نمی‌باشد در اغلب مواردی فعالیت‌های صنعتی کوچکتر (مانند کارگاه‌های مکانیکی) می‌تواند تاثیر مهمی بر روی کیفیت آب زیرزمینی داشته باشد. این آلودگی‌ها به صورت گسترده توزیع می‌شوند، اغلب مقادیر زیادی مواد سمی استفاده می‌کنند، گاهی اوقات از موادی غیر از مواد تجاری قراردادی استفاده می‌کنند، یا مخفی و غیرقانونی هستند و بنابراین در کنترل‌های بهداشت عمومی و محیط‌زیست عادی در نظر گرفته نمی‌شوند.

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۶۹

- صنایع بزرگ مقیاس و ماهرتر معمولاً کنترل و پایش بیشتری بر روی استفاده و دفع مواد شیمیایی و فاضلاب‌ها برای جلوگیری از مسائل دور از محل^۱ ناشی از دفع نامناسب فاضلاب یا نشت تصادفی (اتفاقی) مواد شیمیایی ذخیره شده اعمال می‌کنند.
- به دلیل شرایط اقتصادی ناپایدار، باز و بسته بودن دوره‌های کوتاه مدت برای صنایع کوچک که نسبتاً آسان و پیش پا افتاده است، تعیین و کنترل فعالیت‌های آلاینده را پیچیده و مشکل می‌کند و ممکن است که یک زمین آلوده را بر جا بگذارند.
- مقدار مواد آلاینده مورد استفاده در صنعت رابطه مستقیم با رخداد آنها به عنوان آلاینده‌های آب زیرزمینی ندارد و تحرک زیر سطحی و وجود گونه‌های آلاینده فاکتور اصلی است (جدول ۳-۲).
- مقادیر نسبتاً کم ترکیبات سمی تر و پایدارتر، توانایی تولید زبانه‌های^۲ بزرگ آلاینده آب زیرزمینی به ویژه در سیستم‌های اکیفری با سرعت‌های بالاتر جریان آب زیرزمینی را دارد.
- ماهیت فعالیت آلاینده (به ویژه از نظر نوع و شدت آلاینده) می‌تواند در برخی موارد به عنوان یک عامل مؤثر مهم بر روی کیفیت آب زیرزمینی در بحث آسیب‌پذیری آبخوان به کار رود.
- بنابر این نتیجه‌گیری می‌شود که انواع معینی از فعالیت‌های انسانی که منجر به آلودگی‌های خاصی می‌شود، بزرگترین تهدید برای اکیفرها می‌باشد. از این رو فهرست‌بندی و طبقه بندی سیستماتیک منابع آلاینده پتانسیل یک گام اصلی در برنامه‌های ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی و حفاظت کیفیت آن می‌باشد.

1. off-site

2. plum

جدول ۳-۱ - خلاصه فعالیت‌های تولیدکننده آلاینده زیر سطحی

Table 3.1 Summary of activities potentially generating a subsurface contaminant load				
نوع فعالیت	نوع توزیع	انواع اصلی آلاینده ها	خصوصیات بار آلاینده hydraulic surcharge	عبور از خاک (= بیانگر اهمیت زیاد است)
توسعه شهری				
مجاری غیرپره‌داشتهی فاضلاب	u/r P-D	n f o t	+	+
نشت از فاضلاب (a)	u P-L	o f n t	+	
تالاب های فاضلاب (a)	u/r P	o f n t	++	+
تخلیه فاضلاب به زمین (a)	u/r P-D	n s o f t	+	
تخلیه فاضلاب به رودخانه گم شده (a)	u/r P-L	n o f t	++	++
نشت از لندفیل ها/چاله ها (a)	u/r P	o s h t		+
مخازن ذخیره سوخت	u/r P-D	t		
زهکشی از بزرگراه ها	u/r P-D	s t	+	++
تولید صنعتی				
نشت از مخازن/خطوط لوله (b)	u P-D	t h		
منافذ تصادفی	u P-D	t h	+	
تالاب های فرایندهای تبدیل آب/فاضلاب	u P	t o h s	++	+
تخلیه فاضلاب به زمین	u P-D	t o h s	+	
تخلیه فاضلاب ها یا رودخانه های گم شده	u P-L	t o h s	++	++
نشت از چال های پسماند	u/r P	o h s t		
زهکشی تراوشی	u/r P	t h	++	++
ذرات رادیواکتیو هوایی	u/r D	s t		
تولید کشاورزی (C)				
الف) آبیاری محصولات	r D	n t		
- با مواد شیمیایی	r D	n t s	+	
- با آبیاری	r D	n t s o		
- با لجن/دوغاب	r D	n t o s f	+	
- با پساب کشاورزی				
ب) کاشت محصولات و علوفه حیوانات	r P	f o n t	++	+
- تخلیه به تالاب ها	r P-D	n s o f t		
- تخلیه به زمین ها	r P-L	o n f t	++	++
- تخلیه به رودخانه گم شده				
فعالیت معدنی				
آشفته‌گی هیدرولیکی	r/u P-D	s h		
زهکشی و تخلیه آب	r/u P-D	h s	++	++
تالاب های تبدیل آب/لجن	r/u P	h s	+	+
نشت از چاله های پسماند	r/u P	s h		
(a) می تواند شامل مولفه های (اجزاء) صنعتی باشد	n	مولفه های معدنی	t	میکروارگانیسم های سمی
(b) می تواند در مناطق غیر صنعتی نیز رخ دهد	f	پاتوژن های مدفونی	+	اهمیت زیاد
(c) وجود ریسک زیاد آلودگی مهم	o	کل بار ارگانیکی		
u/r روستایی / شهری	s	شوری		
P/L/D نقطه ای / خطی / پخش	h	فلزات سنگین		

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۷۱

جدول ۳-۲- انواع معمول آلاینده زیر سطحی یافت شده در طول بررسی مناطق صنعتی

Table 3.2 Most common types of groundwater contaminant found during intensive surveys in industrial nations		
الف) هلند: ۵۰۰ مکان مهم آلوده (Duijvenboden, 1981)		
منبع آلودگی	نوع آلاینده	درصد وقوع
فعالیت‌های مرتبط با زغالسنگ و گاز	هیدروکربن‌های معطر (گروه BTEX) ، فنول ها، سیانید	28
گودال‌های زباله و لندفیل‌های شور	متغیر، اغلب آمونیوم، هیدروکربن‌های کلردار، فلزات سنگین، آلکیل بنزن، آفت کش‌های صنعتی/خانگی و غیره	21
صنایع فلزی	هیدروکربن‌های کلردار، فلزات سنگین	12
استعمال و ذخیره هیدروکربن	هیدروکربن‌های معطر (گروه BTEX) ، سرب	8
کارگاه‌های شیمیایی	محدوده وسیعی از هیدروکربن‌های معطر و نمک دار، فنول ها، آلکیل بنزن و غیره	7
کارخانه رنگ	هیدروکربن‌های معطر (گروه BTEX) هیدروکربن‌های کلردار	5
ب) ایالات متحده آمریکا: ۴۵۶ مکان در آبخوان‌های دارای اولویت (Ref. ASTM, 1995)		
نوع آلاینده	درصد وقوع	
تری کلرواتیلن	6	
سرب	5	
toluene	5	
بنزن	5	
polychlorinated biphenyls	4	
کلروفرم	4	
تتراکلرواتیلن	3	
فنول ها	3	
آرسنیک	3	
کروم	3	

۳-۲- روش‌های جمع‌آوری داده‌های اصلی و پایه

الف) تهیه فهرست مواد آلاینده

تنظیم یک فهرست منابع پتانسیل آلاینده شامل شناسایی، تعیین محل و خصوصیات چنین منابعی همراه با به دست آوردن اطلاعاتی در مورد مسیر تکاملی آنها در صورت امکان، می‌باشد. چنین اطلاعاتی به عنوان یک پایه‌ای برای ارزیابی فعالیت‌هایی می‌باشد که احتمال بیشتری برای تولید مواد آلاینده زیرسطحی خطرناک دارند. یک پایه معمول برای همه مطالعات این چنین می‌باشد اما شرایط اقتصادی -

۷۲ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

اجتماعی محل نیز تاثیر مهمی بر روی روشی که می‌تواند انجام گیرد و می‌بایستی پذیرفته شود، خواهند داشت.

تهیه فهرست فعالیت‌های آلاینده بالقوه (شکل ۳-۱) می‌تواند به سه مرحله تقسیم شود (Zaporozec, 2001):

- طراحی فهرست که شامل تعیین منابع اطلاعات، بودجه مالی موجود، سطح پرسنل فنی مورد نیاز و روش بررسی پایه‌ای می‌باشد.

- انجام فهرست‌بندی که شامل سازماندهی روش، آمادگی مقدماتی برای انجام و فرایند جمع‌آوری داده‌ها می‌باشد.

- ارزیابی روش که شامل آنالیز داده‌های تولید شده از قبیل بازیابی سازگاری و اعتبار آن، طبقه‌بندی فعالیت‌های آلاینده و ایجاد پایگاه اطلاعاتی که می‌تواند اطلاعات خروجی را به صورت نقشه یا به صورت GIS ارائه دهد.



شکل ۳-۱- تهیه فهرست منابع آلاینده پتانسیل

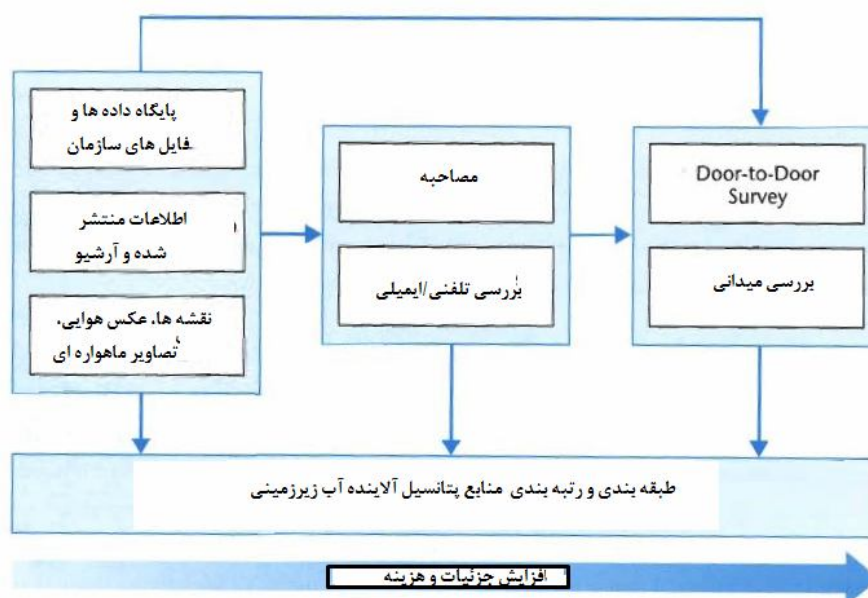
تعیین و شناسایی منابع اطلاعاتی مخصوصاً برای کار مهم است. در بسیاری از موارد، اغلب داده‌های مرتبط توسط سازمان‌های دولتی استانی/شهری و توسط بخش خصوصی به کار می‌رود. مطالعات قبلی برای اهداف دیگر می‌تواند منابع معتبر اطلاعات باشد، همانند دفترچه راهنمای تلفن (صفحات زرد) و لیست صنایع مرتبط.

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۷۳

عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای یک پایه معتبری برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی در بردارنده تغییرات قبلی می‌باشد. مهم است که روش شناسایی منابع آلاینده پتانسیل محافظه کارانه باشد زیرا کم ارزش دانستن یا دست کشیدن از فعالیت‌هایی به دلیل اینکه اطلاعات موجود آنها نا کافی بوده، اشتباه می‌باشد.

یک بازه‌ای از فهرست روش‌ها در شکل ۳-۲ ارائه شده است (US-EPA, 1991):

- از ارزیابی انحصارا دفتری منابع داده‌های ثانویه.
- تا شناسایی صحرایی در مناطق انتخابی برای مشخص کردن وجود منابع آلاینده پتانسیل



شکل ۳-۲- روش‌های جمع‌آوری داده‌ها برای بررسی منابع آلاینده پتانسیل آب زیرزمینی

نوع فهرست و سطح جزئیات مورد نیاز تابعی از هدف نهایی برنامه، وسعت منطقه مورد مطالعه، بازه فعالیت‌های صنعتی موجود، در دسترس بودن داده‌ها، بودجه مالی و پرسنل فنی موجود می‌باشد. فرایند فهرست‌بندی بایستی به عنوان پایه کاملاً تعریف شده، قابل اندازه‌گیری و معیار تجدیدپذیری در نظر گرفته شود به طوری که توانایی تولید مجموعه داده‌های همگن معقول را داشته باشد. برای این

۷۴ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

منظور طراحی بررسی مقدماتی و سیستم‌های داده در یک لیست پرسش و پاسخ‌های استاندارد شده ترجیح داده می‌شود. در صورت امکان، کنترل سازگاری اطلاعات باید صورت گیرد.

ب) خصوصیات آلاینده‌های زیر سطحی

از نقطه نظر تئوریک، آلاینده زیر سطحی ایجاد شده توسط فعالیت انسانی (شکل ۳-۳) چهار خصوصیات اساسی و نیمه مستقل دارد (Foster & Hitara, 1988):

- طبقه آلاینده موجود، تعریف شده توسط وجود احتمالی در محیط زیر سطحی و ضریب تجزیه آن نسبت به جریان آب زیرزمینی.

- شدت آلاینده، تعیین شده توسط غلظت آلاینده در فاضلاب یا leachate، نسبت به مقدار راهنمایی WHO برای آب آشامیدن (شرب) و نسبت تغذیه آبخوان مورد نظر در فرایند آلوده‌سازی.

- نوع تخلیه آلاینده به زیر سطح، تعیین شده توسط بار هیدرولیکی (surcharge) همراه با تخلیه آلاینده و عمقی که در آن فاضلاب آلاینده تخلیه یا تولید می‌شود.

- دوره/استفاده آلاینده، تعیین شده توسط احتمال تخلیه آلاینده به زیر سطح (به صورت عمده، تصادفی یا احتمالی) و دوره‌ای که آلاینده استفاده خواهد شد.

ج) بررسی‌های عملی

به صورت ایده‌آل، اطلاعات در مورد هر کدام از خصوصیات بالا برای همه فعالیت‌های آلاینده مهم مورد نیاز می‌باشد. اگر امکان تخمین غلظت‌های واقعی و حجم تخلیه آلاینده‌ها به زیرزمین وجود داشته باشد بهتر است. به هر حال به دلیل پیچیدگی زیاد، چگالی بالا و تنوع قابل توجه منابع آلاینده پتانسیل این کار در عمل انجام‌پذیر نمی‌باشد.

در هر صورت نیاز به داده‌های ایده‌آل (شکل ۳-۳) نباید نادیده گرفته شود. به دلیل اینکه آنها پایه‌ای نسبی برای یک مطالعه مفصل آلاینده زیرسطحی می‌باشد که شامل بررسی فاضلاب و نمونه‌برداری و پایش نشت شیرابه‌ها در جایی که بررسی‌های دقیق‌تر مورد نیاز می‌باشد، است (Foster & Hitara, 1988). به صورت کلی تر همه تکنیک‌های فهرست بندی و طبقه بندی آلاینده، برای هدف مشخص کردن نواقص و محدودیت‌های مهم می‌باشد. به دلیل امکان پذیر نبودن کنترل همه

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۷۵

فعالیت‌های آلاینده، پیدا کردن روشی که بتواند منابع آلاینده با احتمال بیشتر را شناسایی کند به صورتی که اولویت بندی‌هایی برای کنترل ایجاد نماید، مهم می‌باشد.

به دلیل وجود پیچیدگی زیاد در کاربری زمین و فعالیت‌های آلاینده مرتبط، مجموعه داده‌های کاملاً تعریف شده مورد نیاز می‌باشد و باید توجه ویژه‌ای به موارد زیر صورت گیرد:

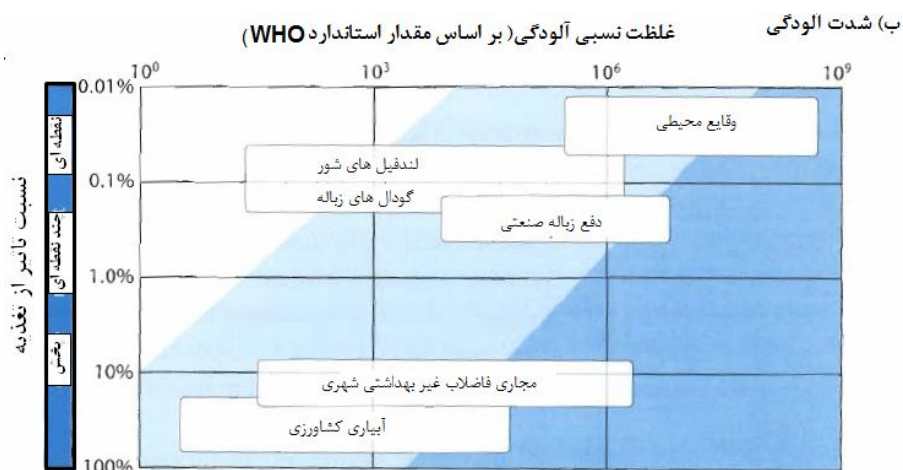
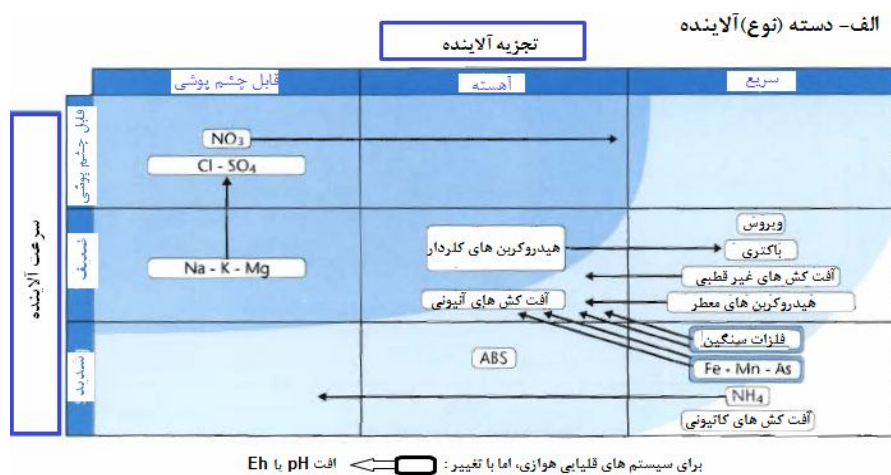
- تنظیم مقیاس نمایش داده‌ها براساس زمان و بودجه موجود، باید توجه شود که شناسایی خطر آلودگی آب زیرزمینی به مطالعه و بررسی در مقیاس حدود ۱:۱۰۰۰۰۰ نیاز دارد تا به نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان اضافه شود در حقیقت مقیاس‌های خیلی دقیق‌تر ۱:۱۰۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰ برای ارزیابی و کنترل خطر آلودگی چاه‌ها و چشمه‌ها مورد نیاز خواهد بود.

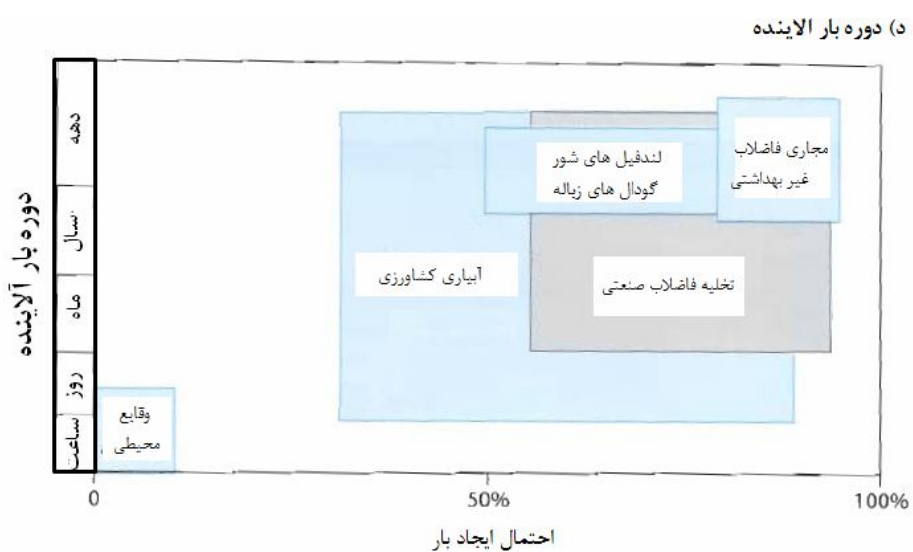
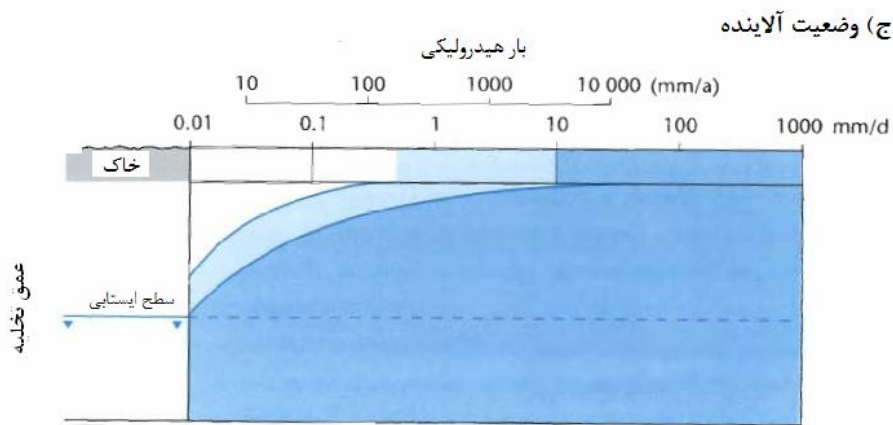
- اطمینان از این که خروجی‌های کار مطالعه و بررسی با توجه به منشأهای مختلف آلاینده پتانسیل، با هدف سهولت یک آنالیز کلی منطقه مورد مطالعه، در سطح قابل قبولی هستند.

- اجتناب از تبعیض در اختلاط اطلاعات به دلیل اینکه می‌تواند منجر به خطاهای جدی در تفسیر شود و زمانی که این کار امکان‌پذیر نباشد، ثبت واضح محدودیت‌های موجود داده‌ها در این رابطه صورت گیرد.

- داشتن یک روش مرحله به مرحله برای توسعه ثبت نام منابع آلاینده، حذف این‌ها با احتمال پایین تولید آلاینده قابل توجه در زیر سطح زمین، قبل از انجام کارهای مفصل‌تر.

۷۶ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی





۳-۳- طبقه‌بندی و تخمین آلاینده‌های زیر سطحی

۳-۳-۱- رخداد مکانی و زمانی

روش‌های مختلفی برای ارزیابی احتمال آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی وجود دارد، هر چند تعداد اندکی از آنها برای نرخ‌بندی پتانسیل تولید یک آلاینده زیرسطحی استفاده شده است، تاکید بیشتر بر

روی خطر آلودگی رودخانه یا هوا می‌باشد. (Foster & Hitara, 1988; Johansson & Hitara, 2001)

طبقه‌بندی فعالیت‌های آلوده‌کننده پتانسیل با استفاده از توزیع مکانی آنها درک مستقیم و دیداری از نوع آلودگی آب زیرزمینی که آنها را تهدید می‌کند و روش اندازه‌گیری‌های کنترلی مورد نیاز را ارائه می‌کند:

- منابع آلاینده پخش^۱: زبانه‌های آلودگی مشخص تولید نمی‌کند اما بر روی منطقه بزرگتر (و بنابر این حجم بیشتری) از آبخوان تاثیر می‌گذارند.

- منابع آلاینده نقطه‌ای^۲: زبانه‌های مشخص تری و متمرکز تری ایجاد می‌کنند که شناسایی (و در برخی موارد کنترل) آنها آسان‌تر است، هر چند زمانی که فعالیت‌های آلوده‌کننده نقطه‌ای کوچک و چند تایی هستند، در انتها برای شناسایی و کنترل به صورت منابع پخش در نظر گرفته می‌شوند.

بررسی مهم دیگر این است که آیا تولید یک آلاینده زیر سطحی حتمی (اجتناب‌ناپذیر است) یا بخشی از طراحی یک فعالیت انسانی می‌باشد (برای مثال در مورد مخازن اجسام گندیده و عفونی) یا آیا آلاینده به صورت تصادفی تولید می‌شود یا احتمالی (Foster et al., 1993). روش مفید دیگر، طبقه‌بندی فعالیت‌های آلاینده بر اساس تاریخچه آنها می‌باشد که تاثیر مهمی در روش کنترل آنها نیز دارد:

- منابع آلاینده گذشته (یا جانشین شده)، جایی که فرایند آلوده‌کننده یا کل فرایند برای چند سال قبل از زمان بررسی متوقف شده (یا حتی از بین رفته است)، اما هنوز خطر تولید آلاینده زیرسطحی توسط نشت از آلاینده وجود دارد.

- منابع آلاینده موجود که به فعالیت در منطقه مورد مطالعه ادامه می‌دهند.

- منابع پتانسیل آلاینده که مربوط به فعالیت‌های در مرحله طراحی می‌باشد.

1. diffuse

2. point

باکس ۱-۳

ارزیابی آلاینده زیرسطحی تولید شده توسط فعالیت‌های کشاورزی

در ایالت Sao Paulo برزیل

منابع آلاینده پخش برای پایش مستقیم به چند دلیل عملی مشکل می‌باشند. تخمین‌های معقول از میزان نفوذ پتانسیل می‌تواند به صورت غیر مستقیم داده‌های معتبری از کاربرد مواد شیمیایی کشاورزی، رژیم آبیاری و انواع خاک ارائه دهد.

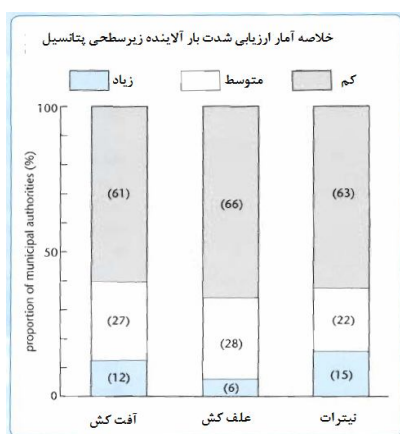
- ایالت SAO PAULO در برزیل با مساحتی حدود ۲۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع و جمعیت ۳۳ میلیون نفری به ۵۶۰ بخش شهری تقسیم می‌شود. منابع آب زیرزمینی نقش مهمی در فراهم‌سازی آب مورد نیاز شهری، صنعتی و کشاورزی ایفا می‌کنند. فعالیت کشاورزی ۸۳ درصد زمین با کشت نیشکر، قهوه، مرکبات و ذرت را در بر می‌گیرد.

- در سال ۱۹۹۰ این فعالیت کشاورزی حدود ۲/۵۹ میلیون تن کود شیمیایی بویژه با فسفات بالا حدود ۰/۰۷ میلیون تن آفت‌کش (با اجزای فعال) آن را به یک منطقه فعال کشاورزی در برزیل تبدیل کرده است. در مجموع بخش اعظم خاک‌ها اسیدی هستند و حدود ۱/۱۰ میلیون تن اهنک در یک سال برای مناسب‌سازی خاک و کاهش نفوذ آفت‌کش‌ها استفاده می‌شود.

- برای هدف اندازه‌گیری خطر آلودگی آب زیرزمینی استفاده از مواد شیمیایی و کشاورزی برای تولید محصولات از نظر پتانسیل آن برای تولید آلاینده زیر سطحی از طریق شستشوی خاک ارزیابی شد. این کار توسط یک گروه از EMBRAPA, DAEE, GETESB, IGSP انجام گرفت. داده‌هایی که در دسترس بودند و گردآوری شدند، عبارتند از: نوع کشت و زراعت، میزان مواد شیمیایی - کشاورزی به کار رفته، خصوصیات این مواد استفاده شده، خصوصیات خاک از نظر بافت و محتوای مواد آلی و رژیم بارشی آبیاری به کار رفته از نظر زمان / حجم نفوذ.

- با استفاده از این داده‌ها، پتانسیل نفوذ نیترات براساس تداوم پوشش محصولات و تولید و کاربرد نیترات خاک در مقایسه با نیاز گیاه تخمین زده شد. خطر نفوذ آفت‌کش براساس انواع ترکیبات استفاده شده، پتانسیل جذب براساس ضریب تفکیک و میزان کربن آلی خاک تخمین زده شد (Hitara et al., 1995) با استفاده از داده‌های مفصل‌تر و جزئی‌تر یک ارزیابی با قدرت تفکیک بیشتر امکان‌پذیر خواهد بود.

۸۰ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی



نوع ماده شیمیایی کشاورزی	نوع اصلی	نوع	محصولات اصلی تحت تاثیر مساحت (هکتار)
آفت کش	metamidophos	پنبه	325,300
	monocrophos	سویا	459,300
	vamidozon	لوبیا	452,630
	acephate		
علف کش	dalapon	سویا	459,300
	simazine	نبه شکر	1,752,700
	atrazine		
	bentazon		
	2,4-D		
نیترات	کودهای نیترا	نبه شکر	1,752,700
		مرکبات	769,000
		علوفه حیوانات	n/a

۳-۲-۳- روش POSH برای تشریح بار آلاینده

برای توصیف بار آلاینده، در نظر گرفتن انواع مختلف طبقه‌بندی در طول بررسی منابع پتانسیل آلاینده زیرسطحی ضروری می‌باشد. برای روش فهرست‌بندی ارائه شده در این کتاب، توصیف منابع آلاینده زیرسطحی براساس دو خصوصیت زیر مناسب می‌باشد:

- احتمال وجود آلاینده‌هایی که شناسایی شده یا انتظار می‌رود با این ویژگی که مقاوم باشد و در زیر سطح زمین حرکت کند.

- وجود یک بار^۱ با قابلیت تولید آلاینده‌های پایدار به داخل سیستم‌های اکیفری. چنین اطلاعاتی همیشه در دسترس نیستند و عموماً نیاز به در نظر گرفتن فرضیات زیر می‌باشد:

- احتمال وجود مواد آلاینده آب زیرزمینی با نوعی از فعالیت انسانی (جدول ۳-۱ و ۳-۲).

- تخمین بار احتمالی براساس استفاده آب در فعالیت مربوطه.

بنابراین روش ارزیابی فعالیت‌های آلوده‌کننده پتانسیل در این کتاب، اصطلاحاً روش POSH می‌باشد که براساس دو خصوصیت تخمین زده می‌شود: منشأ آلاینده و بار هیدرولیکی آن. روش POSH سه

1. surcharge

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۸۱

سطح کیفی (پتانسیل تولید یک آلاینده زیرسطحی) ارائه می‌کند که عبارت اند از: کم، متوسط و بالا (جدول ۳-۳ و ۳-۴).

جدول ۳-۳- طبقه‌بندی و رتبه‌بندی منابع آلاینده با سیستم POSH

منبع آلودگی	فعالیت کشاورزی	سیستم فاضلاب	باز آلودگی زیرسطحی پتانسیل
زیاد	intensive cash crops and most monocultures on well-drained soils in humid climates or with low-efficiency irrigation, intensive grazing on heavily fertilized meadows	مجاری فاضلاب اصلی کمتر از ۲۵ درصد را پوشش می‌دهند و تراکم جمعیت در هر هکتار بالای ۱۰۰ نفر است	باز آلودگی زیرسطحی پتانسیل زیاد
متوسط		حد وسط بالا و پایین است	باز آلودگی زیرسطحی پتانسیل متوسط
کم	traditional crop rotations, extensive pasture land, eco-farming systems, high-efficiency irrigated cropping in arid areas	مجاری فاضلاب اصلی بالای ۷۵ درصد از منطقه را پوشش می‌دهد و تراکم جمعیت در هر هکتار کمتر از ۵۰ نفر است.	باز آلودگی زیرسطحی پتانسیل کم

۳-۴- تخمین میزان آلاینده زیرسطحی

۳-۴-۱- منابع آلاینده پخش (DIFFUSE)

مناطق مسکونی شهری بدون شبکه فاضلاب اصلی

در اغلب شهرهای بزرگ و کوچک توسعه یافته جهان، رشد سریع جمعیت منجر به ایجاد سیستم‌های درجا in-situ (مانند توالت‌ها، مخازن عفونی و چاه‌های فاضلاب) برای تخلیه فاضلاب می‌شود (Lewis et al., 1982). چنین سیستم‌هایی تابع نفوذ عمقی مایع به داخل زمین می‌باشد و در خاک‌های نفوذپذیر در تغذیه اکifer تاثیر دارد. همانند قسمت جامد باید به صورت دوره جا به جا شود به جای دیگر منتقل شود. اما در برخی موارد در زمین باقی می‌ماند و توسط نفوذ بارش و سایر سیالات به داخل زمین نفوذ می‌کند.

انواع آلاینده‌های معمول همراه با سیستم تخلیه فاضلاب در جا ترکیبات نیتروژن (در ابتدا به شکل آمونیوم است اما معمولاً با اکسیژن ترکیب شده و به نیترات تبدیل می‌شود) و ترکیبات میکروبیولوژیکی (باکتری‌های بیماری‌زا، ویروس‌ها و انگل‌های بیماری‌زا) و در برخی موارد مجموعه مواد آلی سنتزی

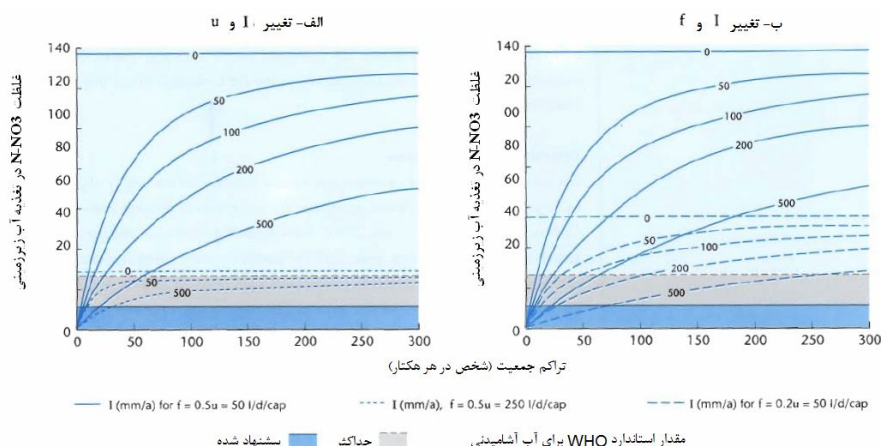
می‌باشد. در میان این آلاینده‌ها نیترات همیشه متحرک و اغلب پایدار هستند (بنابراین مقاومند)، یعنی در اغلب سیستم‌های آب زیرزمینی شرایط اکسیدی معمولاً غالب می‌شود.

وجود سیستم‌های فاضلاب درجا (معمولاً همراه با نرخ‌های بالای نفوذ آب) اغلب موجب بار هیدرولیکی سنگین و نرخ‌های بالای تغذیه آبخوان در مناطق شهری می‌شود. علی‌رغم این که تمایل عمومی برای غیرقابل نفوذ کردن زمین و کاهش نفوذ بارش وجود دارد (Foster, 1998)، نرخ کلی تغذیه شهری در مناطق توسعه یافته بالغ بر ۵۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. در مناطقی که پوشش فاضلاب اصلی محدود است یا وجود ندارد و جایی که جمعیت شهری بالغ بر ۱۰۰ نفر در هر هکتار می‌باشد، پتانسیل آلودگی زیرسطحی بالا می‌باشد (شکل ۳-۴)، بویژه در جایی که واحدهای فاضلابی به صورت نادرست مدیریت و نگهداری می‌شوند. در غالب مناطق مسکونی با پوشش وسیع شبکه فاضلاب‌های اصلی، این پتانسیل کم می‌باشد- علی‌رغم وجود احتمال نشت از سیستم‌های فاضلاب اصلی (که فقط کیفیت آب زیرزمینی محلی را تهدید می‌کنند).

در بسیاری از مناطق شهری و حومه شهری صنایع خدماتی و ساخت و ساز کوچک معمول می‌باشد (شامل کارگاه‌های موتور وسایل نقلیه، پمپ بنزین و غیره) که اغلب با مواد شیمیایی سمی سر و کار دارند (مانند حلال‌های حاوی کلر، هیدروکربن‌های معطر و غیره). در این موارد شناسایی مناطقی که چنین فعالیت‌هایی که به صورت مستقیم فاضلاب به زمین تخلیه می‌کنند (به غیر از وسایل دیگر دفع یا بازیافت) اهمیت دارد.

داده‌های تراکم جمعیت (جدول ۳-۳) همراه با نسبت منطقه شهری که شبکه فاضلاب اصلی دارد، عموماً از مراکز شهرداری قابل دسترسی می‌باشد. علاوه بر این در بسیاری موارد مراکز شهرداری یا ادارات آب اطلاعات معتبری در مورد صنایعی دارند که متصل به شبکه فاضلاب می‌باشد. هرچند در برخی موارد بررسی میدانی از طریق بازرسی مستقیم به صورت منطقه به منطقه^۱ ضروری و لازم می‌باشد.

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۸۳



شکل ۳-۴- تخمین غلظت نیتروژن در آب تغذیه‌ای مناطق حاوی سیستم فاضلاب

باکس ۳-۲ ارزیابی خطر آلودگی میکروبیولوژیکی در Rio Cuarto، آرژانتین

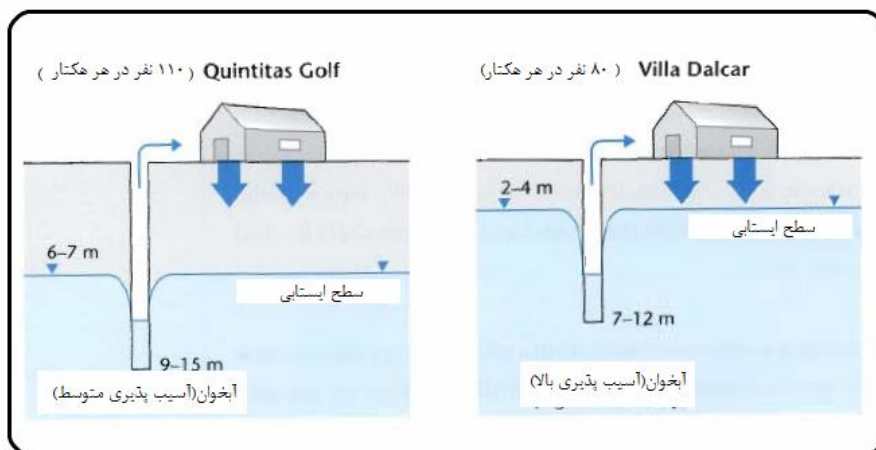
ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان یک چهارچوبی برای طراحی و انجام بررسی‌های آلودگی زیرسطحی و استفاده نتایج برای ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی، طراحی شبکه متمرکز نمونه‌برداری و در نتیجه، اولویت بندی فعالیت‌های بهبود و بازیابی فراهم می‌سازد.

- شهر Rio Cuarto در آرژانتین، جمعیتی حدود ۱۴۰۰۰۰ نفر دارد که برای تأمین آب مورد نیاز به آب زیرزمینی وابسته می‌باشد. حدود ۷۵ درصد این جمعیت به منبع چاه آب اصلی دسترسی دارند و سیستم‌های شبکه فاضلاب پوشش حدود ۵۰ درصدی دارد.

- شهر بر روی اکیفر نامحسوس بزرگ تشکیل شده در رسوبات هتروژن کواترنری قرار دارد و آب زیرزمینی آن برای مصارف انسانی کیفیت طبیعی خوب و مناسب دارد. روش GOD نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری اکیفر از متوسط تا زیاد تغییر می‌کند. با اضافه کردن نتایج یک بررسی سیستم تخلیه فاضلاب سیستماتیک پیش‌بینی شد که خطر آلودگی آبخوان از خیلی کم تا بسیار بالا تغییر می‌کند (Blasarin et al., 1993).

- با هدف ارزیابی خطر آلودگی آبخوان و ایجاد یک استراتژی برای مدیریت مسئله موجود، یک مطالعه مفصل کیفیت آب زیرزمینی در دو محدوده انجام گرفت که هیچکدام هنوز شبکه فاضلاب ندارند (Quintitas Golf) و (Villa Dalcázar). حدود ۶۰ درصد نمونه‌های آنالیز شده نشان می‌دهد که برای مصارف انسانی نامناسب می‌باشد که در نتیجه میزان بالای کلی فرم‌های مدفوعی می‌باشد و در برخی موارد نیترات و کلرید نسبت به مقدار اولیه بالا بوده است (Blasarin et al., 1993).

- وجود همزمان چاه‌های آب خانگی و شبکه‌های فاضلاب در جا در مناطق با آسیب‌پذیری بالا به عنوان یک خطر برای بهداشت و سلامت عمومی است و براین اساس اولویت بندی‌هایی برای توسعه شبکه تأمین آب و بهبود در طراحی در بسیاری از واحدهای فاضلاب شبکه در جا پیشنهاد شد.



خاک کشاورزی

کشاورزی در خاکها تأثیر مهمی بر کیفیت تغذیه آب زیرزمینی دارد، هم چنین آبیاری بر روی نرخ واقعی تغذیه تأثیر می‌گذارد (Foster & Chilton, 1998; Foster et al., 2000). برخی کشت و زرعها موجب پخش جدی آلاینده عمدتاً مواد مغذی (غالباً نیترات‌ها) و گاهی اوقات آفت‌کش‌های ویژه می‌گردد. این مسأله به ویژه در مناطق حاوی خاک‌های نسبتاً نازک و با نفوذ پذیری زیاد صادق می‌باشد (Foster et al., 1982; Vrba & Romjin, 1986; Foster et al., 1995; Barbash & Resek, 1996). مواد دیگر مغذی (پتاسیم، فسفات) تمایل به نگهداشت شدید در اغلب خاک‌ها دارند و به آب زیرزمینی نمی‌رسند.

در این ارتباط این نکته ذکر می‌شود که یک ارزیابی ملی مهم در ایالات متحده آمریکا از رخداد ترکیبات آفت‌کش در آب زیرزمینی (۲۰ حوضه آبریز مهم در طول ۹۶-۱۹۹۲) نشان داد که: - آفت‌کش در ۴۸ درصد از ۳۰۰۰ نمونه جمع‌آوری شده وجود دارد (Koplin et al., 2000) اما در اکثر این موارد غلظت پایین‌تر از مقدار موجود در استاندارد WHO می‌باشد.

- در آبخوان‌های آزاد از کشت ذرت و لوبیا سویا در ایالات میانه غربی، ۲۷ ترکیب آفت‌کش دیده شده که شش نوع به صورت وسیع و گسترده مشاهده شده و کمتر از ۵ مورد علف‌کش مشاهده شده است (با تجزیه جزئی).

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۸۵

- به ویژه وجود مشتقات ANACHLOR قابل توجه بود. آشکار نشدن ترکیبات اولیه، دلالت بر تجزیه در خاک و تولید مشتقات سیالتر و مقاومتر می‌باشد.

- آفت‌کش آلوده‌کننده بصورت گسترده در مناطق شهری مشاهده شد که ناشی از کاربرد وسیع آنها در باغ‌های شخصی، مکان‌های تفریحی، ورزشگاه‌ها و مناطق دیگر می‌باشد.

انواع فعالیت‌های کشاورزی که آلاینده‌های پخش خیلی جدی به آب زیرزمینی وارد می‌کنند مکان‌هایی هستند که به مناطق وسیعی منطقه تغذیه مرتبط می‌باشند. کشت چرخشی سنتی‌تر، زمین‌های پوشیده از مراتع و سیستم‌های کشاورزی اکولوژیکی معمولاً احتمال کمتری برای تولید آلاینده‌ها دارند. کشت محصولات دائمی نیز تأثیر کمتری نسبت به جاهایی دارد که محصولات به صورت فصلی کشت می‌شوند که این امر بدلیل توزیع کمتر و وجود هوا در خاک و نیز تداوم بیشتر گیاهانی که نیاز به مواد مغذی دارند، می‌باشد.

معمولاً بین مقدار کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌های به کار رفته و نرخ نفوذ آنها از خاک به درون آب زیرزمینی ارتباط وجود دارد. فقط یک نسبتی از مواد شیمیایی به کار رفته نفوذ می‌کند و از این رو نفوذ ناشی از تعامل پیچیده بین موارد زیر می‌باشد:

- نوع کشت

- خصوصیات خاک

- رژیم بارش و آبیاری

- مدیریت خاک و کاربرد مواد شیمیایی

تهیه روش‌های ساده برای تخمین نرخ نفوذ و نشت مشکل است.

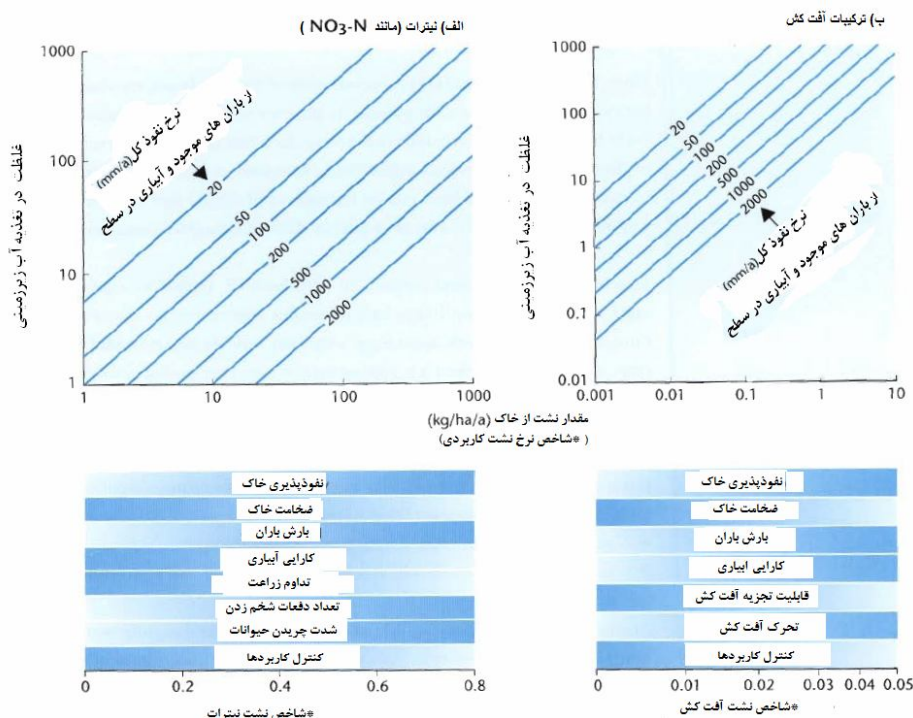
علاوه بر این معمولاً فقط یک نسبت اندکی از نیترات نفوذ کرده از خاکها مستقیماً از کاربرد کودهای شیمیایی در افزایش رشد فصلی ناشی می‌شود. هر چند سطوح کود دهی بر روی سطح نیتروژن آلی خاک تأثیر می‌گذارد، از این سطح نیترات به صورت نسبی توسط اکسیداسیون، بویژه در زمان‌های خاصی از سال و به دنبال شخم زدن یا آبیاری، آزاد می‌شود. مقادیر اتلاف نشت به دست آمده از مطالعات نشان می‌دهد که تا ۷۵ درصد کل N به کار رفته می‌تواند اکسید شود و به درون آب زیرزمینی نشت کند (اگر چه مقدار ۵۰ درصد معمول‌تر می‌باشد). در مورد آفت‌کش‌ها، نشت به ندرت به ۵ درصد کل ترکیب فعال به کار رفته می‌

رسد و معمولاً کمتر از ۱ درصد می‌باشد (Foster & Hitara, 1988). فاکتورهایی که نرخ نفوذ از خاک‌های کشت شده در این بازه را تعیین می‌کنند به صورت خلاصه در شکل ۳-۵ نشان داده شده است (Foster et al., 1991).

به دلیل وجود مشکلات در تخمین‌های دقیق نشت و نفوذ، طبقه‌بندی زمین کشاورزی از نظر پتانسیل آن برای تولید آلودگی زیرسطحی باید با استفاده از تهیه نقشه توزیع محصولات مهم‌تر، همراه با فهرست کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها شروع شود. با این داده‌ها، طبقه‌بندی سطح زمین براساس احتمال این که فعالیت کشاورزی آلاینده پتانسیل زیرسطحی کم، متوسط و بالا تولید می‌کند، امکان‌پذیر خواهد بود.

در برخی موارد میزان کلی مواد شیمیایی به کار رفته برای یک محصول مورد نظر با اطمینان قابل شناسایی نیستند. در این مورد تخمین‌های معقولی می‌تواند از طریق مشاوره با کارمندان بخش کشاورزی در مورد نرخ‌های پیشنهاد شده با فرض این که کشاورزان همان میزان را استفاده می‌کنند صورت می‌گیرد: اگر این روش استفاده شود، باید توجه شود که کشاورزان معمولاً برای تولیدات ویژه‌ای مطابق با در دسترس بودن فروشگاه‌های محلی و تبلیغات تجاری، روش خاصی را اتخاذ می‌کنند.

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۸۷



شکل ۳-۵- تخمین آلاینده پتانسیل در تغذیه آب زیرزمینی در مناطقی که کشاورزی صورت می‌گیرد

اگر به دست آوردن اطلاعات بالا امکان‌پذیر نباشد، ساده‌سازی براساس طبقه‌بندی موارد زیر می‌تواند صورت گیرد:

- سطوح احتمالی استفاده انواع کودهای شیمیایی و یا آفت‌کش‌ها
- بار هیدرولیکی خاک‌ها به عنوان نتیجه رژیم بارش و یا آبیاری
- مشکل دیگر فقدان وجود اطلاعات به روز در مورد توزیع انواع محصولات کشاورزی است، حتی جایی که کل منطقه کشت شده از یک نوع محصول در سطح شهری یا کشوری باشد. علاوه بر این در اقتصاد در حال توسعه اغلب تغییرات سریعی در کاربری زمین کشاورزی صورت می‌گیرد. اغلب نقشه‌های کاربری اراضی به روز نیستند و استفاده از عکس‌های هوایی جدیدتر در صورت وجود برای به دست آوردن چنین اطلاعاتی ضروری می‌باشد. تصاویر ماهواره‌ای نیز می‌توانند استفاده شوند، علی‌رغم این

واقعیت که عموماً قدرت تفکیک آنها اجازه تشخیص دقیق بین انواع محصولات را نمی‌دهند، اما مزیتی که دارد این است که بروز هستند و امکان مطالعه تغییرات کاربری وجود دارد.

نکته دیگری که باید توجه شود، بویژه در مناطق با آب و هوای خشک، آبیاری با فاضلاب‌ها می‌باشد. فاضلاب‌ها حاوی مواد مغذی یکنواخت و نمک‌ها در حد فراتر از نیاز محصولات می‌باشند و بنابراین به صورت قابل توجهی از خاک‌ها شسته شده و به زمین نفوذ می‌کنند. همچنین خطر نفوذ میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و ترکیبات آلی نادر در نتیجه آبیاری با فاضلاب‌ها وجود دارد.

در مجموع، باید به خاطر سپرد که خطر نفوذ آفت‌کش‌ها به درون آب زیرزمینی از فعالیت‌های کشاورزی محدود به استفاده آنها در سطح زمین کشاورزی نمی‌باشد، زیرا که ذخیره و استفاده در پرورش چهارپایان نیز منجر به آلودگی آب زیرزمینی می‌شود، بویژه در مکان‌هایی که چنین ترکیباتی ذخیره و یا استفاده می‌شوند.

۳-۴-۲- منابع آلودگی نقطه‌ای

فعالیت‌های صنعتی

فعالیت‌های صنعتی توانایی تولید آلودگی جدی خاک و آلاینده‌های قابل توجه در زیر سطح زمین را دارند که ناشی از حجم، غلظت و مواد شیمیایی تولید شده و پسماندهای موادی است که آنها به کار می‌برند. به صورت کلی، هر فعالیت صنعتی توانایی تولید آلاینده زیرسطحی ناشی از نشت فاضلاب‌های مایع، دفع نامناسب زباله‌های جامد (Pankow et al., 1984; Bernardes et al., 1991) و مواد نامطلوب همراه با نفوذ و تراوش مواد شیمیایی تولید شده خطرناک را دارند (Sax, 1984). ترکیباتی که مکرراً در زبانه‌های آلودگی آب زیرزمینی مرتبط با فعالیت‌های صنعتی آشکار می‌شوند معمولاً ارتباط نزدیکی با کاربرد آنها در فعالیت صنعتی نشان می‌دهند که در واقع آنها مرتبط با نوع صنعت می‌باشند (جدول ۳-۵).

استفاده و تخلیه فاضلاب‌های مایع یکی از ابعاد فعالیت صنعتی می‌باشد که نیاز به توجه دقیق در ارتباط با آلودگی آب زیرزمینی دارند. در صنایع واقع در مناطق نزدیک آبراهه‌های سطحی، اغلب فاضلاب‌های صنعتی مایع مستقیماً به آب تخلیه می‌شود و در مکان‌های دیگر دفع فاضلاب‌ها از طریق

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۸۹

نفوذ از خاک صورت می‌گیرد. به جز مواردی که صنایع دفع سیستماتیک فاضلاب‌ها را تعهد می‌کنند، چنین فعالیت‌هایی همیشه یک خطر مستقیم و غیرمستقیم در مورد کیفیت آب زیرزمینی ایجاد می‌کنند. علاوه بر این جایی که ذخیره و دفع فاضلاب در تالاب‌های غیرخطی صورت می‌گیرد نیز خطر آلودگی قابل توجه آب زیرزمینی وجود دارد.

پتانسیل تولید بار آلاینده زیرسطحی	منبع آلودگی	اکتشاف معدن و نفت	فعالیت های گوناگون شهری	تالاب های فاضلاب	مکان های صنعتی *	دفع زیاله جامد
زیاد	استخراج معادن فلزی و نفت	همه صنایع نوع ۲، همه تخلیه فاضلاب ها(به جز فاضلاب انسانی) اگر منطقه بیشتر از ۵ هکتار است	لیست نوع ۲، هرگونه فعالیت با بیشتر از ۱۰۰ kg/d ماده شیمیایی خطرناک	زیاله صنعتی نوع ۲، زیاله منابع نامشخص		
متوسط	برخی معادن/ مواد نخاله معدنی	پمپ بنزین ها، مسیرهای انتقال مواد شیمیایی پرخطر	فاضلاب های انسانی اگر منطقه بیشتر از ۵ هکتار باشد، Other cases not above or below	بارش بیشتر از ۵۰۰ mm/a با منطقه مسکونی/زیاله های صنعتی و صنعتی-کشاورزی نوع ۱ و موارد دیگر	لیست نوع ۲	
کم		گورستان ها	فاضلاب های انسانی، مختلف شهری، کشاورزی-صنعتی، معادن غیرفلزی اگر منطقه کمتر از ۱ هکتار مساحت دارد	بارش کمتر از ۵۰۰ mm/a با منطقه مسکونی/صنعت نوع ۱/ زیاله های صنعتی - کشاورزی	لیست نوع ۱	

* زمین آلوده شده از صنایع متروکه باید همان رتبه خود صنعت را داشته باشد،
 صنایع لیست ۱: کارخانه چوب بری، کارخانه غذا و نوشابه، کارخانه الکل و شکر، فرایندهای مواد غیر فلزی
 صنایع لیست ۲: کارخانه لاستیک، کاغذ، پارچه، کودهای شیمیایی، لوازم الکتریکی و مواد شوینده
 صنایع لیست ۳: کارگاه های مهندسی، تصفیه نفت/گاز، کارخانه های مواد شیمیایی، داروسازی، پلاستیک، آفت کش، جرم سازی، کارخانه لوازم الکتریکی، فلزی

۹۰ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

Table 3.5 Summary of chemical characteristics and hazard indices for common industrial activity

نوع صنعت	شاخص خطر Mazurek (1-9)	استفاده نسبی از آب	میزان سوری	میزان مواد معدنی	میزان مواد آلی	هیدروکربن ها	بازوزن های مدفوعی	فلزات سنگین	ترکیبات آلی مصنوعی	شاخص پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی (1-3)
آهن و فولاد	6	**	*	*	**	**	*	**	**	2
پردازش فلزات	8	*	*	*	*	*	*	***	***	3
مهندسی مکانیکی	5-8	*	*	*	*	***	*	***	**	3
فلزات غیر آهن	7	*	*	*	*	*	*	***	*	2
مواد معدنی غیر فلزی	3-4	**	***	*	*	*	*	*	*	1
تصفیه نفت و گاز	7-8	*	*	**	***	***	*	*	**	3
تولید پلاستیک	6-8	**	***	*	**	**	*	*	***	3
تولید لاستیک	4-6	*	**	*	**	*	*	*	**	2
مواد آلی شیمیایی	3-9	**	**	*	**	***	**	**	***	3
مواد غیر آلی شیمیایی	6-9	**	**	*	*	*	*	***	*	.
داروسازی	6-9	***	***	**	***	*	**	*	***	3
کارخانه چوب بری	2-4	*	**	*	**	*	*	*	**	1
کافه و خمیر کافه	6	***	*	**	**	*	*	*	**	2
شوینده های صابونی	4-6	**	**	*	**	**	**	*	*	2
کارخانه تولید پارچه	6	***	**	**	***	*	*	*	**	2
تولید چرم	3-8	**	***	**	**	*	*	**	***	3
غذا و نوشیدنی	2-4	**	**	***	***	*	***	*	*	1
افت کش	5-9	**	**	*	*	*	*	*	***	3
کودهای شیمیایی	7-8	*	***	***	*	**	*	*	**	2
شکر و الکل	2-4	**	***	***	***	**	*	*	*	2
نیروی برقی - حرارتی	-	***	*	*	*	***	*	***	**	2
الکترونیک و الکترونیک	5-8	*	*	*	*	***	*	**	***	3

* کم
 ** متوسط
 *** زیاد

احتمال میزان خطر در فرایند جریان و یا تخلیه

Source: Abstracted from BNA, 1975; DMAE, 1981; Hackman, 1978; Luin and Starkenburg, 1978; Nemerow, 1963 and 1971; Mazurek, 1979; US-EPA, 1977 and 1980, and WHO, 1982 and other minor unpublished reports.

طبقه‌بندی فعالیت‌های صنعتی به روش POSH در رابطه با پتانسیل آنها برای تولید بار آلاینده

زیرسطحی براساس موارد زیر است (جدول ۳-۴):

- نوع صنعت، زیرا این مورد احتمال آلودگی جدی آب زیرزمینی را کنترل می‌کند.

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۹۱

-نشت هیدرولیکی/احتمالی وابسته به فعالیت صنعتی که توسط حجم آب مورد استفاده تخمین زده می‌شود.

از نظر نوع صنعت، تاکید بیشتر نیاز به توجه در خصوص به کار بردن مقادیر قابل توجه (بیشتر از ۱۰۰ کیلوگرم در روز) مواد سمی یا خطرناک مانند هیدروکربن‌ها، حلال‌های آلی شیمیایی، عناصر سنگین و غیره دارد (Hitara et al., 1997). در چنین مواردی شاخص پتانسیل آلودگی زیر سطحی باید بالا باشد، از این رو فاکتورهایی مانند به کار بردن مواد شیمیایی و دفع فاضلاب نمی‌توانند به دلیل مشکلات کلی در به دست آوردن داده‌های معتبر مورد توجه قرار گیرد.

تالاب‌های فاضلاب

تالاب‌های فاضلاب به صورت گسترده در بخش‌های زیادی از جهان به منظور ذخیره، بازیافت، تبخیر، رسوب گذاری و اکسیداسیون فاضلاب‌های مایع صنعتی، شهری و معدنی استفاده می‌شوند. چنین تالاب‌هایی عموماً نسبتاً کم عمق هستند (عمق کمتر از ۵ متر دارند) اما زمان ماندگاری آنها می‌تواند بین ۱ تا ۱۰۰ روز متغیر باشد. بر اساس طبقه‌بندی POSH پتانسیل آلودگی زیر سطحی این مناطق به دو فاکتور زیر بستگی دارد:

-/احتمال آلودگی جدی آب زیرزمینی از طریق مواد موجود در فاضلاب که تابعی از منشأ صنعتی آنها است.

-نرخ نفوذ از تالاب به خاک زیرین که تابعی از ساختار نگه داشت تالاب می‌باشد (آیا بستر و دیواره‌های آنها کاملاً نفوذ ناپذیرند).

در یک فرایند ارزیابی سریع، به دست آوردن تخمین‌های معتبر از حجم کلی فاضلاب‌های ورودی و خروجی سیستم مشکل است اما مطالعات تالاب‌های غیر خطی (هنوز غالب‌ترین شکل در جهان در حال توسعه) نشان می‌دهد که نرخ‌های نفوذ اغلب ۱۰ تا ۲۰ میلی گرم در روز می‌باشد (Miller & Scalf, 1974; Geake et al., 1987). با این که ایجاد تعادل‌های هیدرولیکی کامل برای تالاب‌ها آسان نیست، تخمین این که آیا آنها تغذیه قابل توجهی به داخل اکیفرهای زیرین ایجاد می‌کنند یا نه، براساس وسعت و موقعیت هیدروژئولوژیکی‌شان، امکان‌پذیر می‌باشد.

✓ ۹۲ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

در اغلب موارد به دست آوردن داده‌هایی در مورد کیفیت فاضلاب‌های مایع امکان‌پذیر نیست، اما احتمال آلودگی‌های جدی آب زیرزمینی می‌تواند از روی نوع فعالیت صنعتی یا معدنی قضاوت شود (جدول ۳-۵). باید به خاطر سپرد که بسیاری از آلاینده‌های با تحرک کم در رسوبات تشکیل دهنده بستر تالاب باقی خواهند ماند، این نکته بویژه برای میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا و عناصر سنگین صادق می‌باشد. تالاب‌های دریافت کننده فاضلاب شهری مقادیر زیادی از مواد آلی و میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا همراه با غلظت‌های زیادی از مواد مغذی و گاهی اوقات نمک‌ها را دارند. اگر شبکه فاضلاب وابسته، مناطق دیگر را پوشش می‌دهد آن احتمالاً دارای فاضلاب‌های صنایع کوچک (مانند کارگاه‌های مکانیکی، خشک‌شویی‌ها، کارهای چاپگری و غیره) می‌باشد و در چنین مواردی فاضلاب‌ها می‌توانند حاوی حلال‌های آلی شیمیایی و ضد عفونی کننده باشند.

روش طبقه‌بندی POSH برای ارزیابی پتانسیل نسبی تالاب‌های فاضلاب برای تولید آلاینده‌های زیرسطحی که در جدول ۳-۴ آمده است، از داده‌های به دست آمده از موارد زیر استفاده می‌کنند:

- نوع فعالیت تولیدکننده فاضلاب موجود
- مساحت منطقه اشغال شده توسط تالاب(ها)

دفع زباله جامد

دفع نامناسب زباله جامد عامل موارد زیادی از آلودگی آب زیرزمینی است (US-EPA, 1980; Gillham & Cherry, 1989). این کار در مناطق با آب و هوای مرطوب بیشتر متداول است، جایی که مقادیر (حجم) قابل توجهی از شیرآبه‌ها (LEACHATE) از بسیاری از لندفیل‌های بهداشتی و چاله‌های زباله تولید می‌شوند، اما در مناطق با آب و هوایی خشک‌تر جاهایی که شیرآبه‌ها عموماً غلیظ‌تر هستند نیز رخ می‌دهد. آلاینده زیرسطحی تولید شده از چاله و یا لندفیل بهداشتی تابعی از دو فاکتور می‌باشند:

- احتمال وجود آلاینده آب زیرزمینی در زباله جامد
 - ایجاد بار هیدرولیکی کافی برای نفوذ این آلاینده‌ها
- نوع آلاینده‌های موجود اصولاً به منشأ زباله و واکنش‌های (بیو)شیمیایی که در خود زباله و در منطقه تهویه رخ می‌دهد، بستگی دارد (Nicholson et al., 1983). ارزیابی کیفیت واقعی شیرآبه‌ها به یک

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۹۳

برنامه پایش دقیق نیاز دارد اما به صورت کلی می‌تواند براساس منشأ زباله (شهری، صنعتی یا معدنی) و ساختار و سن مکان دفع نیز تخمین زده شود. محاسبات بار، حتی با قبول این واقعیت که مقادیری شیرابه از خود مواد زباله تولید خواهد شد، یک تعادل هیدرولیکی ماهیانه برای لندفیل همراه با دانشی از سطح نفوذناپذیری سطوح و بستر را ایجاد می‌کند. یک طبقه‌بندی از پتانسیل تولید آلاینده زیر سطحی می‌تواند توسط تعامل بین موارد زیر به دست آید (جدول ۳-۴):

- منشأ زباله که احتمال وجود آلاینده‌های زیر سطحی را نشان می‌دهد.

- بار هیدرولیکی احتمالی تخمین زده شده از روی بارش در مکان دفع زباله.

در برخی موارد منشأ زباله جامد نامعلوم است که در نتیجه عدم کنترل انواع زباله‌های دریافتی می‌باشد. در این مورد، یک روش احتیاطی پیش گیرانه برای طبقه‌بندی فعالیت دفع زباله جامد تولیدکننده آلاینده زیر سطحی بالا صرف نظر از رژیم بارش، وجود دارد. یک چنین روش احتیاطی پیشگیرانه به صورت وسیع مورد توجه نمی‌باشد به این دلیل که حجم‌های کوچکی از مواد سمی (مانند ترکیبات آلی شیمیایی) می‌تواند موجب نامطلوب شدن جدی کیفیت آب زیرزمینی شود (Mackey & Cherry, 1996).

ایستگاه‌های پمپ بنزین

پمپ بنزین‌ها دلیل موارد زیادی از آلودگی آب زیرزمینی می‌باشند (Fetter, 1988)، هرچند هر کدام به صورت انفرادی بزرگ نیستند. چنین تاسیساتی به صورت وسیع توزیع شده اند و حجم‌های زیادی از هیدروکربن‌های آلوده‌کننده ذخیره شده در مخازن زیرزمینی را استفاده می‌کنند که اجازه مشاهده نشت و تراوش را نمی‌دهند. منابع اصلی آلودگی خاک و آب زیرزمینی مخازن (تانک‌های پوشیده می‌باشد و یک تطابق قوی بین وقوع و اندازه نشت‌ها و سن مخازن نصب شده وجود دارد (Kostecki & Calabrese, 1989; Chermisinof, 1992). یک احتمال قوی وجود دارد که مخازن با سن بیشتر از بیست سال به صورت جدی پوسیده‌اند و موجب نشت‌های قابل توجه می‌شوند، مگر اینکه بصورت منظم تعمیر و نگهداری شوند. علاوه بر این لوله‌های بین مخازن و سیستم‌های بازگشت، در نتیجه ترافیک وسایل سنگین یا کیفیت ضعیف اولیه تجهیزات از هم گسیخته می‌شوند (می‌ترکند).

۹۴ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

در بسیاری از ایستگاه‌های پمپ بنزین سطوح سوخت هیدروکربن در شروع و پایان هر روز کاری معمولاً از طریق سیستم‌های اندازه‌گیری الکتریکی، اندازه‌گیری می‌کنند. این اعداد با مقادیر فروخته شده که توسط دستگاه‌های تخلیه ثبت شده‌اند، مورد مقایسه قرار می‌گیرند. به هر حال چنین اندازه‌گیری‌هایی لزوماً یک دید واضحی از نشت زیر سطحی از مخازن ارائه نمی‌دهد، به این دلیل که آنها خیلی حساس و دقیق نیستند و نشت‌های نسبتاً کم می‌تواند منجر به ایجاد آلودگی قابل توجه آب زیرزمینی بدلیل سمی بودن زیاد مواد موجود شود. تست‌های استاندارد منظم کامل یک روش اندازه‌گیری بهتر ائتلاف سوخت‌های هیدروکربنی می‌باشد. اگر طراحی، ساخت، عملکرد و پایش استانداردها بصورت بهتر به کار رود، ائتلاف در نتیجه پوسیدگی مخزن می‌تواند بصورت قابل توجهی کاهش یابد. بویژه استفاده از مخازن فولادی یا پلاستیکی تقویت شده با فیبرهای شیشه‌ای یا دیواره‌های دو جداره اطمینان بیشتری در مقابل تراوش می‌دهند و حفاظت کاتدیک پوسیدگی را تا مقادیر زیادی کاهش می‌دهند.

با در نظر گرفتن کوچک بودن مناطق تحت تاثیر قرار گرفته و تضعیف (میرایی) طبیعی ترکیبات هیدروکربنی وجود پمپ بنزین و مناطق ذخیره با مخازن زیرزمینی باید به عنوان منبع آلودگی زیرسطحی با شدت متوسط تفسیر شود، مگر اینکه استانداردهای طراحی بالا و تعمیرات منظم مشهود باشد. در جایی که پمپ بنزین با فروشگاه‌های تعمیر اتومبیل ترکیب می‌شوند، خطر زیادی وجود خواهد داشت که بدلیل استفاده مقادیر زیادی حلال‌های آلی شیمیایی و روغن‌های هیدروکربنی می‌باشد زیرا که این مواد بدون هیچ کنترلی به درون خاک‌ها تخلیه می‌شوند.

فعالیت‌های معدنی و استخراج هیدروکربن

فعالیت‌های معدنی و استخراج هیدروکربن‌ها می‌تواند تاثیرات مهمی بر روی کیفیت آب زیر زمینی بگذارد که ناشی از موارد زیر است:

- تبادل هیدرولیکی با سیستم‌های جریان آب زیرزمینی به صورت مستقیم و غیرمستقیم در نتیجه حفاری‌های رو باز و زیر سطحی

- افزایش آسیب‌پذیری آبخوان در نتیجه برداشت (حذف) فیزیکی بخش‌هایی از منطقه وادوز یا لایه‌های محصورکننده که موجب حفاظت طبیعی می‌باشند.

فهرست آلاینده‌های زیر سطحی ✓ ۹۵

- دفع آب‌های زهکشی شده از معادن یا سیالات مخازن هیدروکربنی شور به صورت پخش روی زمین، تخلیه به آبراهه‌های سطحی یا در تالاب‌های تبخیر به منظور کنترل نفوذ عمقی

- نفوذ شیرابه‌ها از ضایعات معادن

- دفع زباله‌های جامد و فاضلاب‌های مایع در حفره‌های معدنی متروکه

- عملیات در معادن زیرسطحی یا چاه‌های نفت زمانی که آنها بلافاصله زیر آبخوان‌های مهم واقع باشند.

- تحرک عناصر سنگین و دیگر ترکیبات در نتیجه تغییرات در رژیم جریان آب زیرزمینی مناطق معدنی و تغییرات در شرایط هیدروشیمیایی.

به دلیل پیچیدگی زیاد این فعالیت‌ها و تغییرات هیدرولیکی که آنها ایجاد می‌کنند، آنالیز و تحلیل آنها بصورت انفرادی برای ارزیابی تاثیر پتانسیل شان بر روی کیفیت آب زیرزمینی لازم و ضروری می‌باشد. بنابراین هیچ روش ارزیابی سریع نمی‌تواند پیشنهاد شود. در سطح ارزیابی مقدماتی، تفکیک سه گروه اصلی از صنایع استخراجی امکان‌پذیر است که هر کدام تجهیزات مختلفی برای ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی دارند:

- *انباشته کردن مواد*: همان‌گونه که برای ساختار مهندسی شهرسازی استفاده می‌شود، جایی که نگرانی اصلی ارزیابی تغییراتی است که فعالیت معدنی منجر به آسیب‌پذیری اکيفره‌های زیرین و سیستم جریان آب زیرزمینی آنها می‌شود.

- *معدن فلزات و دیگر نهشته‌های واکنشی*: جایی که توجه بیشتری برای توده‌های معدنی مورد نیاز باشد، در بسیاری از موارد می‌تواند حاوی آلاینده‌های پتاسیل آب زیرزمینی باشد (مانند آرسینک و فلزات سنگین) و دفع آب‌های زهکشی شده از معادن اگر به درستی صورت نگیرد، می‌تواند به شدت آلاینده باشد.

- *استخراج سوخت هیدروکربنی جایی که مقادیر زیادی آب سازندی شور و دیگر سیالات از طریق حفاری چاه استخراج می‌شوند و - بسته به استفاده و دفع آنها - می‌توانند بیانگر یک خطر جدی برای آبخوان‌های کم عمق در مناطق مربوطه باشد.*

زمین آلوده شده

همه شهرهای بزرگ و مناطق معدنی تغییرات تاریخی در کاربری اراضی دارند و اقدامات معدنی و صنعتی یک رخداد معمول به ویژه در اقتصادهای در حال توسعه می باشد. زمین هایی که چنین اقداماتی صورت می گیرد می توانند سطوح بالایی آلاینده ها داشته باشد و می توانند آلاینده های زیرسطحی قابل توجهی با افزایش بارش تولید کنند. وجود زمین آلوده نه تنها یک تهدیدی برای سیستم های آب زیرزمینی زیرین می باشد بلکه یک خطر بهداشتی و محیطی نیز برای استفاده کنونی آنها و زمین مربوطه نیز وجود دارد. به هر حال، این بحث خارج از حد این کتاب راهنما می باشد.

تغییرات زمین و/ یا کاربری می تواند در بدست آوردن اطلاعات دقیق در مورد فعالیت های اولیه و احتمالاً انواع/سطوح آلودگی مشکلاتی ایجاد کند. نقشه های قدیمی و عکس های هوایی یک منبع مهم اطلاعات در این زمینه می باشند و اطلاعاتی که آنها فراهم می سازند گاهی اوقات می تواند از روی اسناد بایگانی مقامات محلی بدست آید.

طبقه بندی و ارزیابی زمین آلوده شده از نظر احتمال آن برای تولید یک آلاینده زیرسطحی در اکیفرهای زیرین نیاز به این دارد که استفاده اولیه (تاریخچه استفاده آن) مشخص شود. از روی نوع فعالیت صنعتی یا معدنی پیش بینی رخداد احتمالی و نوع آلاینده موجود امکان پذیر می باشد. در برخی موارد کل ناحیه برای یک نوع فعالیت صنعتی خاص اختصاص داده می شود و در این حالت پرداختن به کل منطقه به جای اینکه نقطه به نقطه بررسی شود ساده تر و آسان تر می باشد.

موضوع جوابگویی برای خطر آلودگی باقی مانده در آب زیرزمینی نیز وجود خواهد داشت. حل این مسئله در جایی که آلودگی در هر لحظه در طول یک فاصله زمانی قبل از تصویب قانون برای کنترل تخلیه به خاک رخ داده مشکل می باشد.

- آبراهه های سطحی آلوده

یک وضعیت نسبتاً معمول وجود آبراهه های سطحی آلوده شده (دائمی یا متناوب) عبوری از منطقه مورد مطالعه ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی می باشد، چنین آبراهه هایی اغلب یک خطر آلودگی مهم برای آب زیرزمینی تلقی می شوند و آلاینده زیر سطحی قابل توجهی تولید می کنند.

دو فاکتور اصلی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی را تعیین خواهند کرد:

- آیا آبراهه سطحی رفتاردهنده (influent) یا گیرنده (effluent) نسبت به اکيفر زیرین دارد، خط‌اصلی در رابطه با شرایط اولی است اما باید توجه شود که پمپ‌آب زیرزمینی برای اهداف آبرسانی شرایط آبراهه را از effluent به influent تبدیل می‌کند.

- کیفیت آب نفوذی از بستر آبراهه می‌تواند در نتیجه رقیق‌سازی طبیعی آلاینده در طول این فرایند به شدت بهبود یابد، هر چند حذف آلاینده‌های مقاوم‌تر و متحرک‌تر بعید می‌باشد و ترکیبات مهم‌تری از آلاینده زیر سطحی تشکیل خواهند داد.

به دست آوردن نرخ و کیفیت معتبر و موثق آب نفوذی از آبراهه‌های سطحی بدون بررسی‌های مفصل و دقیق و نمونه‌برداری آسان نیست، اما از روی اطلاعات کلی انواع آلاینده‌های موجود و شرایط هیدروژئولوژیکی تخمینی از شدت نسبی آلاینده زیر سطحی امکان‌پذیر است.

- مسیرهای حمل و نقل

در هنگام انتقال مواد خطرناک تصادف‌های متناوبی رخ می‌دهد و دفع چنین موادی در پی تصادفات موجب آلودگی زیرسطحی و ته دید کیفیت آب زیرزمینی در برخی اکيفرها می‌شود. یک وضعیت مشابه در پایانه‌های حمل و نقل اصلی رخ می‌دهد، جایی که این مواد به صورت منظم استعمال می‌شود و گاهی اوقات به صورت اتفاقی تخلیه می‌شوند.

تعیین محل پایانه‌های اصلی و مسیرهای مهم و توجه به احتمال اینکه آنها آلاینده زیرسطحی تولید می‌کنند، ضروری می‌باشد. این مسأله در همه جا صحت ندارد اما آمارهایی در مورد رخداد تصادفات و انتقال مواد خطرناک به داخل زمین همراه با انواع روش‌های اورژانسی به کار رفته وجود دارد. به طور کلی، این موقعیت‌ها باید به عنوان منابع پتانسیل آلاینده با شدت متوسط تلقی شوند، مگر اینکه آشکار باشد که شرایط ویژه ای در روال روش‌های قابل استفاده برای کاهش اتفاقات تراوش و جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی وجود دارد.

- قبرستان‌ها

تدفین اجساد انسانها (در برخی موارد جسد حیوانات) یک کار نسبتاً معمول در اغلب فرهنگ‌های جهان می‌باشد. سوالی که گاهی اوقات پرسیده می‌شود این است که آیا قبرستان‌ها منابع پتانسیل آلودگی قابل توجه آب زیرزمینی هستند؟ عموماً این نوع محل‌ها فقط یک آلودگی نسبتاً کم میکروبیولوژیکی در یک ناحیه محدود ایجاد می‌کنند و اگر عایق بندی قبرها انجام گیرد و یا تابوت‌های مقاوم در برابر پوسیدگی استفاده شود این آلودگی در آینده کاهش خواهد یافت. زمانی که تعداد زیادی اجساد حیوانات در نتیجه شیوع بیماری به سرعت دفع می‌شوند این قضیه صحت ندارد، به دلیل اینکه چاله‌ها بدون هیچ احتیاط یا ارزیابی ویژه‌ای به سرعت استفاده می‌شوند.

۳-۵- نتایج

روش POSH برای فهرست بندی آلاینده‌های زیر سطحی یک ارزیابی از منابع آلودگی پتانسیل در سه سطح ارائه می‌دهد: کم، متوسط و بالا. روش طبقه بندی آلاینده‌ها (و ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی) ارائه شده در اینجا برای اولویت‌بندی برنامه‌های پایش کیفیت آب زیرزمینی و بررسی تجهیزات صحرائی بسیار مفید است.

اطلاعات در مورد منابع نقطه‌ای پتانسیل آلودگی می‌تواند به سرعت بر روی نقشه‌های با مقیاس یکسان که برای آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان و پهنه‌بندی مناطق حفاظتی استفاده می‌شوند، نشان داده شوند. این کار موجب در نظر گرفتن تعامل بین ارائه داده‌ها و تسهیل ارزیابی آبخوان یا خطر آلودگی منبع آب می‌شود (رجوع کنید قسمت B4)، اما مهم این است که هر فعالیت توسط یک کد نیز مشخص می‌شود و در پایگاه داده‌ها ثبت می‌شوند. برای منابع پراکنده و غیرنقطه‌ای عموماً تعریف مناطق اشغال شده و سپس تولید یک نقشه آلاینده پتانسیل زیر سطحی با استفاده از اختلاف رنگ نشان‌دهنده شدت نسبی آلاینده‌ها، عملی‌تر می‌باشد.

فعالیت تولید کننده آلاینده	علامه در ترسیم نقشه		
	کم	متوسط	زیاد
منابع انتشاری			
مناطق مسکونی شهری			
کاربری اراضی کشاورزی		≡≡≡	≡≡≡
منابع نقطه ای			
فعالیت صنعتی	□	◻	◼
تالاب های تخلیه فاضلاب	◐	◑	◒
دفع زیاده جامد	◐	◑	◒
آبراهه های آلوده شده	—	△	▽
مسیرهای حمل و نقل	---	△	▽

شکل ۳-۶ راهنمای نقشه‌های بار آلاینده زیر سطحی

یک راهنمای مناسب برای چنین نقشه‌ها در شکل ۳-۶ نشان داده شده است (Foster & Hitara, 1988). تهیه نقشه‌های با مقیاس دقیق تر در مناطق شهری با تراکم جمعیت زیاد همراه با بازه‌ای از فعالیت‌های صنعتی و دیگر فعالیت‌ها مورد نیاز خواهد بود.

در مناطق در حال توسعه، کاربری اراضی با فعالیت‌های انسانی تغییرات نسبتاً سریع دارد و این مسأله تهیه نقشه‌های آلاینده زیر سطحی را پیچیده و مشکل می‌کند. به هر حال پیشرفت‌های زیاد در محاسبه و روش‌های اصلاح یافته برای چاپ رنگی، تهیه نقشه‌های آلاینده زیر سطحی به صورت به روز و چاپ شده امکان پذیر خواهد بود. سیستم‌های GIS برای این منظور خیلی مفید هستند، زیرا آنها تطابق الکترونیک و با مهارت در مورد داده‌های مکانی را همانند تولید تصاویر رنگی و نقشه‌های آنالوگ را امکان پذیر می‌کنند. مزیت مهم دیگر کار با اطلاعات دیجیتالی و نقشه‌هایی است که از طریق وب سایت‌ها در دسترس قرار می‌گیرند و توسط همه سهامداران آب و زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند.

این مقدمه برای روش POSH و طبقه‌بندی برای ارائه روند کلی برای کاربران می‌باشد، اما در نظر گرفتن امکانات محلی و احتیاجات برای یک پروژه ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی مورد نظر اهمیت دارد.

فصل چهارم

ارزیابی و کنترل خطرات آلودگی آب زیرزمینی

خطر آلودگی آب زیرزمینی می‌تواند به این صورت تعریف شود احتمالی که یک آبخوان تحت تاثیر سوء (منفی) یک فعالیت انسانی قرار می‌گیرد به طوری که کیفیت آب زیرزمینی آن برای مصارف انسانی مطابق با مقادیر استاندارد WHO جهت شرب نا مطلوب می‌شود. این فصل به ارزیابی و کنترل به صورت عملی و اولویت دار می‌پردازد.

۴-۱- ارزیابی خطر آلودگی اکيفر

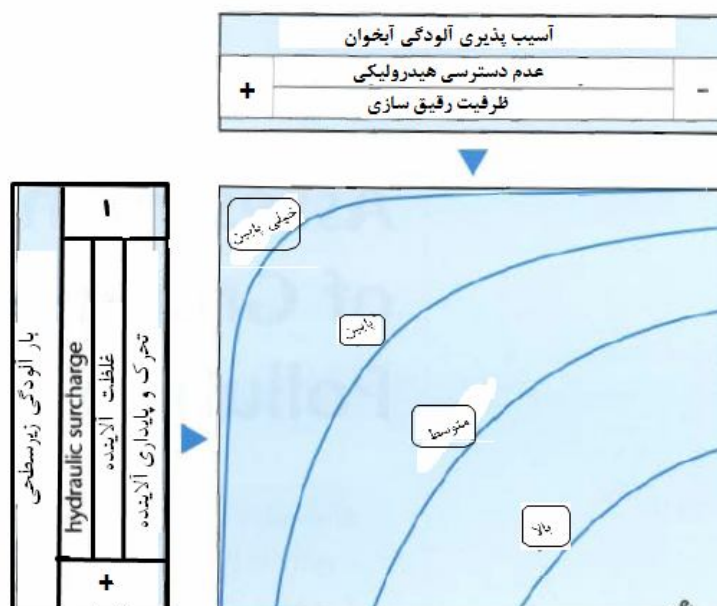
الف) روش پیشنهادی

خطر آلودگی آبخوان در هر موقعیت مورد نظر (شکل ۴-۱) می‌تواند با در نظر گرفتن تعامل بین موارد زیر تعیین شود:

- آلاینده زیرسطحی که در نتیجه فعالیت‌های انسانی در خاک زیرسطحی وجود دارد و یا ممکن است در نتیجه فعالیت‌های انسانی ایجاد شود.

- آسیب‌پذیری آبخوان که به خصوصیات لایه‌های واقع در بالای آن تا سطح زمین بستگی دارد و در دید عملی، ارزیابی خطر شامل توجهات به این تعامل (Foster, 1987) از طریق قرارگیری خروجی‌های فهرست‌بندی آلاینده زیرسطحی (فصل ۳) بر روی نقشه آسیب‌پذیری آبخوان (فصل ۱) می‌باشد. نگرانی جدی‌تر در جایی بالا خواهد رفت که فعالیت‌های تولید یک آلاینده زیاد انجام می‌گیرد و یا در یک منطقه با آسیب‌پذیری بالا یا بی‌نهایت انجام می‌شود.

ارزیابی خطرات آلودگی اکيفر یک پیش‌نیاز اساسی برای حفاظت منبع آب زیرزمینی است زیرا آن، فعالیت‌های انسانی که احتمال بالاتری برای تاثیرات منفی بر روی آبخوان دارند مشخص می‌کند و سپس اولویت‌هایی را برای کنترل لازم و نشان دادن کاهش آلودگی مشخص می‌کند.



شکل ۴-۱ طرح مفهومی ارزیابی خطر آلودگی منبع آب زیرزمینی

ب) تفاوت بین خطر و ریسک (HAZARD & RISK)

استفاده از اصطلاح «خطر آلودگی آب زیرزمینی» در این کتاب دقیقاً مفهوم اصطلاح «ریسک آلودگی آب زیرزمینی» در کتاب FOSTER & Hitara, 1988 دارد. تغییر در اصطلاحات برای مطابقت با موارد استفاده در مناطق دیگر که در ارزیابی ریسک برای بهداشت انسان، حیوان و اکوسیستم‌ها، ریسک تحت عنوان «مقیاس زمانی خطر تاثیر» می‌باشد، ضروری است. این کتاب (در این اصطلاح) محدود به ارزیابی خطرات آلودگی آب می‌باشد و اثرات پتانسیل بر روی جمعیت انسانی یا اکوسیستم‌های آبریان وابسته به اکيفر و ارزش اقتصادی اکيفرها را در نظر نمی‌گیرد.

۲-۴- ارزیابی خطر آلودگی منبع آب زیر زمینی

الف) روشی برای تلفیق مناطق تسخیر منبع

مفهوم خطر می‌تواند به فراتر از ارزیابی کیفیها به عنوان منبع ویژه گسترش داده شود که با استفاده از طرح‌ریزی زون‌های تسخیر آب زیرزمینی (به عنوان پهنه‌بندی در فصل ۲) بر روی نقشه‌های آسیب‌پذیری اکيفر (شکل ۴-۲) قبل از قرار دادن روی خروجی‌های فهرست بندی آلاینده‌های زیر سطحی صورت می‌گیرد. اگر فعالیت‌ها پتانسیل تولید یک آلاینده زیر سطحی بالا در یک منطقه با آسیب‌پذیری بالا واقع در درون منطقه تسخیر منبع آب زیرزمینی را دارند، یک خطر جدی برای آلودگی قابل توجه منبع آب وجود خواهد داشت.

برای رژیم‌های جریان آب زیرزمینی پیچیده یا ناپایدار، پهنه بندی منطقه تسخیر (محیط‌های حفاظتی) می‌تواند با مشکلاتی توأم باشد و تنها با روشهای محدود انجام گیرد. در چنین مواقعی تهیه نقشه آسیب‌پذیری اکيفر با فرض نقش اولیه برای منابع آب انفرادی در ارزیابی خطرات آلودگی آب زیرزمینی و با پذیرفتن عدم قطعیت ذاتی در تعیین وسعت دقیق مناطق تسخیر آنها خواهد بود.

ب) مطالعات بهداشت سرچاهی تکمیلی

به عنوان یک مکمل برای روش فوق، بررسی‌های بهداشت سرچاهی سیستماتیک نیز به شدت پیشنهاد می‌گردد. یک روش استاندارد برای چنین بررسی‌هایی مربوط به یک ارزیابی خطر آلودگی میکروبیولوژیکی برای منابع آب زیرزمینی توسعه داده شده است (Lloyd & Helmer, 1991). بررسی معمولاً برای ناحیه به شعاع ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر (شکل ۲-۲) محدود می‌باشد و شامل نمره دهی تعدادی فاکتور از طریق بررسی مستقیم و پایش منظم تعداد باکتری‌های کلی فرم مدفوعی در منبع آب زیرزمینی برای تایید می‌باشد (جدول ۴-۱). این روش همچنین می‌تواند در چاه‌های خانگی مجهز به پمپ‌های دستی یا چشمه‌های ثقلی که میزان برداشت خیلی کم دارند و پهنه‌بندی زون‌های تسخیر قابل اجرا نیست، مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۴-۱- سیستم رتبه‌بندی ارزیابی و تایید خطر آلودگی مدفوعی در منابع آب زیرزمینی

فاکتورهای بررسی بهداشت		نمره (وجود = ۱ و نبود = ۰)
خطرات محیطی (off-site)		
- غارهای محلی، گودال‌های کارستی یا چاه‌های متروکه مورد استفاده برای زهکشی - شکاف در لایه‌های فوقانی سازندهای آب دار - شبکه فاضلاب، چاه‌های فاضلاب، چاه مستراح یا مخازن عفونی - زباله‌های کشاورزی دفع شده		نمره تجمعی ۵-۶ نشان دهنده خطر آلودگی پتانسیل بالا (۷-۸ خیلی بالا)
خطرات ساختاری (on-site)		
- نشت از لوله جدار چاه یا عدم نفوذ چاه تا عمق مناسب - عدم وجود لوله جدار تا سطح زمین یا کف اتاق پمپ - نشت در سیستم دارای خلأ - پمپ سرچاه، لوله‌های مکش آب، یا شیرها در مقابل سیل آسیب پذیر باشند		
تعداد FC در آب خام (mpn or cfu/100ml)	خطر آلودگی تثبیت شده	
0	اصلاً	
1-10	کم	
11-50	متوسط تا بالا	
50-1000	بالا	
>1000	خیلی بالا	

Source: Modified from Lloyd and Helmer, 1991

۴-۳- استراتژی‌های کنترل آلودگی آب زیرزمینی

آسیب‌پذیری آلودگی آبخوان با بار آلاینده‌ای که در محیط زیر سطحی در نتیجه فعالیت انسانی به کار می‌رود (به کار خواهد رفت یا ممکن است به کار رود) به صورت فعل و انفعالی که موجب ایجاد یک خطر آلودگی آب زیرزمینی می‌شود، قابل تصور می‌باشد. از آنجایی که آلاینده می‌تواند کنترل شود، سیاست حفاظت آب زیرزمینی باید برای دستیابی به چنین کنترلی که در مورد آسیب‌پذیری اکيفر ضروری است متمرکز شود (یا به عبارت دیگر برای ظرفیت رقیق‌سازی طبیعی لایه‌های فوقانی).

الف) جلوگیری از آلودگی در آینده

جایی که طراحی کاربری اراضی به صورت معمول انجام می‌گیرد، برای مثال در ارتباط با توسعه یک منطقه شهری یا تغییر مکان یک منطقه صنعتی، نقشه‌های آسیب‌پذیری آلودگی اکیفر یک ابزار مفید برای کاهش ریسک ایجاد خطرات آلودگی آب زیرزمینی در آینده می‌باشد. آنها مناطق آسیب‌پذیرتر را مشخص می‌کنند به طوری که محل فعالیت‌های خطرناک می‌تواند ممنوع یا مورد اجتناب واقع شود. در مناطقی که همیشه نگرانی‌هایی در مورد منابع مهم آب زیرزمینی وجود دارد، برای این منابع باید طراحی مناطق حفاظت منبع (محیط‌ها) با نقشه آسیب‌پذیری اکیفر جهت استفاده به عنوان راهنمای سطوح کنترل فعالیت آلوده‌کننده پتانسیل به عنوان بخشی از فرایند گنجانده شود (جدول ۴-۲). چنین روشی بایستی به صورت انعطاف‌پذیر با هر مورد تحلیل به ویژه براساس نیاز آن، با احتساب سطوح احتمالی نیاز به آب اکیفر و هزینه منابع دیگر آب به کار رود.

جدول ۴-۲- مانریس پذیرفتن فعالیت های معمول دارای پتانسیل آلودگی
آلودگی مطابق با زون های سطح زمین برای حفاظت از آب زیرزمینی

فعالیت دارای پتانسیل آلودگی که نیاز به کنترل دارد	(A) با آسیب پذیری آبخوان		
	زیاد	متوسط	کم
مخازن عمیقی، چاه فاضلاب، چاه مستراح			
مشخصات انفرادی	A	A	A
مشخصات عمومی و همگانی	A	A	A
پمپ بنزین	PA	A	A
امکانات دفع زباله جامد			
زباله خانگی	PN	PA	A
ساخت و ساز (inert)	A	A	A
صنایع پرخطر	N	N	PA
صنایع (دسته اول)	PN	PA	A
صنایع (دسته دوم و سوم)	N	N	PA
گورستان	PA	A	A
کوره های سوزاندن زباله	N	PN	PA
استخراج نفت و معادن			
مواد ساختمانی (راکد) (inert)	PA	PA	A
موارد دیگر شامل نفت و گاز	N	PA	A
خطوط انتقال سوخت	N	PA	A
مجوزهای صنعتی			
نوع اول	PA	PA	A
نوع دوم و سوم	PN/N	PA/N	PA/PN
امکانات نظامی	PN	PA	PA
تالاب های نفوذ			
آب شهری/خنک سازی	A	A	A
تخلیه فاضلاب صنعتی	PN	PA	PA
Soakaway Drainage			
سقف ساختمان	A	A	A
جاده اصلی	PN	PA	A
جاده فرعی	PA	A	A
مناطق تفریحی	A	A	A
زمین پارکینگ	PA	A	A
مناطق صنعتی	PN*	PA	A
فرودگاه/ایستگاه قطار	PN	PA	A
تخلیه فاضلاب به زمین			
صنایع غذایی	PA	A	A
همه صنایع دیگر	PN	PA	A
تخلیه فاضلاب sewage effluent	PA	A	A
لجن فاضلاب	PA	A	A
دوغاب کشاورزی	A	A	A
Intensive Livestock Rearing			
چرای شدید احشام	PA	A	A
تالاب تخلیه فاضلاب	PA	A	A
مناطق کشاورزی			
با آفت کش	PN	A	A
با استفاده کنترل نشده از کودهای شیمیایی	PN	A	A
ذخیره آفت کش	PN	PA	A

Table 4.2 continued

فعالیت دارای پتانسیل آلودگی که نیاز به کنترل دارد	(B) با استفاده از مناطق حفاظتی منبع			
	I	II	III	IV
مخازن عفونی، چاه فاضلاب، چاه مستراح	N	N	A	A
مشخصات انفرادی	N	N	PA	A
مشخصات عمومی و همگانی	N	N	PN	PA
پمپ بنزین				
امکانات دفع زیاله جامد				
زیاله خانگی	N	N	N	PN
ساخت و ساز (inert)	N	N	PA	PA
صنایع پرخطر	N	N	N	N
صنایع (دسته اول)	N	N	N	PN
صنایع (دسته دوم و سوم)	N	N	N	N
گورستان	N	N	PN	A
کوره های سوزاندن زیاله	N	N	N	PN
استخراج نفت و معادن				
مواد ساختمانی (راکد) (inert)	N	N	PN	PA
موارد دیگر شامل نفت و گاز	N	N	N	N
خطوط انتقال، سوخت	N	N	N	PN
مجوزهای صنعتی				
نوع اول	N	N	PN	PA
نوع دوم و سوم	N	N	N	N
امکانات نظامی	N	N	N	N
تالاب های نفوذ				
آب شهری، بخش سازی	N	N	PA	A
تخلیه فاضلاب صنعتی	N	N	N	N
Soakaway Drainage				
سقف ساختمان	PA	A	A	A
چاهه اصلی	N	N	N	PN
چاهه فرعی	N	PN	PA	PA
مناطق تفریحی	N	PA	PA	A
زمین پارکینگ	N	N	PN	PA
مناطق صنعتی	N	N	N	PN
فرودگاه، ایستگاه قطار	N	N	N	PN

N = غیر قابل قبول، به استثنای مواردی که نیاز به بررسی مفصل و طرح ویژه دارد؛ PN = در همه موارد غیر قابل قبول؛
PA = با طراحی استاندارد قابل قبول؛ A = با بررسی ویژه قابل قبول

I = زون عملکردی؛ II = زون میکروبیولوژیکی؛ III = زون حدواسط؛ IV = کل منطقه تسخیر

Source: Modified from Foster and others, 1993; Hirata, 1993.

در مورد فعالیت‌های آلوده‌کننده پتانسیل جدید بزرگ مقیاس و تاثیر پتانسیل آنها، نیاز به یک ارزیابی تاثیر محیطی^۱ (EIA) به عنوان بخشی از فرایند یک روش فنی و/یا قانونی در بسیاری از کشورها پذیرفته شده است. تجربه نشان داده است که این مکانیسم توجه بهتر به تاثیرات محیطی (عواملی که بر روی کیفیت آب زیرزمینی مؤثرند) در مرحله طراحی، روش مؤثرتری برای حفاظت محیطی می‌باشد.

EIAها بر روی تعریف و آنالیز مسائل، تناقض‌ها و محدودیت‌های مرتبط با انجام پروژه شامل تاثیر بر روی فعالیت‌های مجاور، جمعیت محلی و محیط مجاور (UNEP, 1988) تمرکز می‌کند (شکل ۴-۳) و در موارد ویژه منجر به تغییر محل پروژه به مکان‌های قابل قبول تر می‌شود.

EIA یک بخش اساسی مطالعه برای پروژه مربوطه می‌باشد و برای توجهات آب زیرزمینی باید اهمیت ویژه ای داده شود، در جایی که انواع خاصی تولیدات صنعتی، لند فیل‌های مهم برای دفع زباله جامد، اقدامات معدنی، فعالیت کشاورزی بزرگ مقیاس و غیره وجود دارد.

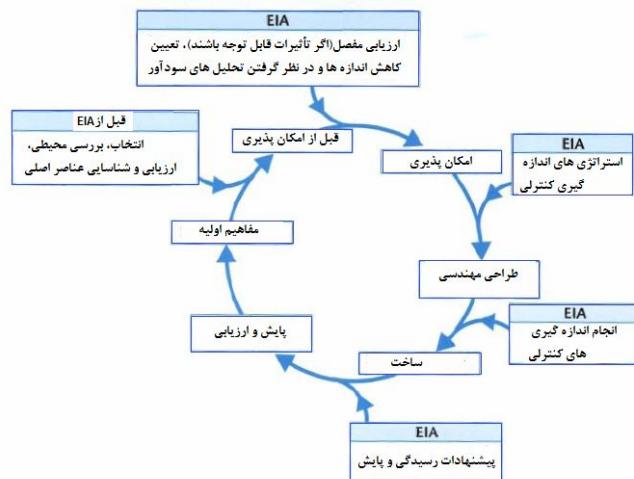
روش‌های مختلفی برای انجام EIA وجود دارد (Weitzenfeld, 1990) اما نیاز به تعیین ظرفیت زمین مجاور برای رقیق سازی آلاینده‌های پتانسیل و تعیین منابع آب زیرزمینی دارد که ممکن است به دلیل بسیاری فعالیت‌هایی (از طریق طراحی یا به صورت تصادفی) که فاضلاب به خاک تخلیه می‌کنند، بحرانی باشند. بنابراین نقشه آسیب‌پذیری اکيفر و پهنه‌بندی مناطق تسخیر و زمان پیمایش اطراف منبع آب هر دو ورودی‌های اصلی هستند و بر روی طرح کلاسیک ارزیابی (آلودگی پتانسیل) منبع - مسیر - دریافت کننده^۲ تطبیق داده می‌شوند (شکل ۴-۴).

تلاش برای تخمین احتمال تخلیه فاضلاب می‌تواند خیلی پرهزینه و گاهی اوقات غیرضروری باشد. بنابراین یکی از بهترین روش‌ها برای بدست آوردن سود اقتصادی و کاهش خطر آلودگی محیطی اطمینان داشتن از این نکته است که کاربری پیشنهادی از زمین کاملاً با ظرفیت آن برای رقیق سازی آلاینده‌های احتمالی سازگار است.

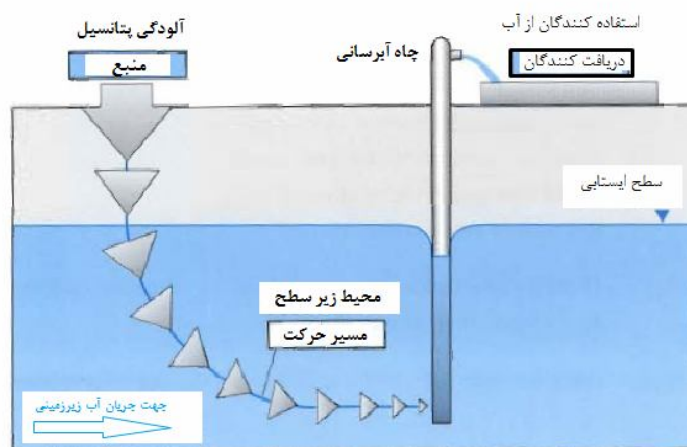
1. Environmental Impact Assessment

2. SOURCE-PATHWAY-RECEPTOR

ارزیابی و کنترل خطرات آلودگی آب زیرزمینی ✓ ۱۱۱



شکل ۳-۴ چرخه معمول انجام پروژه با در نظر گرفتن پیش بینی EIA



شکل ۴-۴ طرح ارزیابی EIA مفهومی (آلودگی پتانسیل) از منبع - مسیر - دریافت کننده

ب) منابع آلودگی موجود

اولویت داشتن کنترل آلودگی آب زیرزمینی در مناطقی که فعالیت های آلوده کننده پتانسیل همیشه وجود دارد، مکرراً مورد نیاز خواهد بود. هم در شرایط شهری و هم روستایی ابتدا تعیین اینکه از میان این فعالیت ها کدام مورد بیشترین خطر جدی را برای کیفیت آب زیرزمینی به همراه دارد، لازم می باشد.

۱۱۲ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

همان سه مؤلفه (نقشه آسیب پذیری اکيفر، پهنه بندی مناطق حفاظتی و فهرست بندی آلاینده های زیرسطحی) پایه اصلی برای چنین ارزیابی می باشد (شکل ۴-۵).

زون های آسیب پذیری آلودگی آبخوان*			مناطق حفاظت منبع آب زیرزمینی	
			۵۰+ روزه	۵۰- روزه
بار آلودگی پتانسیل	پایین	متوسط	۲	۱
	۳	۳	۱	۱
	۲	۱	۱	۱
سطح عملیات				
۱- بالا ۲- متوسط ۳- بالا				

* Numbers of zones/areas reduced to simplify presentation.

شکل ۴-۵- اولویت بندی سطح عملیات کنترل آلودگی آب زیرزمینی
براساس آلودگی آبخوان، مناطق حفاظت منبع و بار آلودگی پتانسیل

ارزیابی و کنترل خطرات آلودگی آب زیرزمینی ✓ ۱۱۳

جدول ۳-۴ باید در انتخاب فعالیت‌هایی که نیاز به توجه ویژه دارند، مطابق با محل آنها توسط طبقه آسیب‌پذیری آبخوان و موقعیت آنها نسبت به مناطق حفاظتی منبع، کمک کند.

جدول ۳-۴- مثال هایی از روش های کنترل منابع پتانسیل

آلاینده آب زیرزمینی

منبع آلاینده	محدودیت های امکانپذیر	پیشنهادهای دیگر
کودهای شیمیایی و آفت کش ها	مدیریت آفت کش و نیترا ت نسبت به نیاز محصول، کنترل نرخ و زمان کاربرد، ممنوعیت استفاده از آفت کش های خاص، دستورالعمل دفع ظروف استفاده شده	-----
فاضلاب های درجا (چاه های فاضلاب، چاه های مستراح و مخازن عفونی)	انتخاب مخازن عفونی، اگر مخازن عفونی بر اساس استاندارد طراحی شده باشند	شبکه فاضلاب اصلی
مخازن ذخیره زیرزمینی / خطوط لوله کشی	لوله کشی دوجداره	نصب و ایجاد جهت نشت در روی سطح زمین
دفع زیاله جامد		
خانگی		
خانگی و صنعتی	عایق بندی (نفوذ ناپذیر کردن) سطح و کف مجموعه و بازیابی/درمان	دفع در مکان دورتر
تالاب های تخلیه فاضلاب		
کشاورزی	عایق بندی کف	-----
شهری	عایق بندی کف	کارگاه بازیابی (درمان)
صنعتی	برخورد پایشی	دفع در مکان دورتر
گورستان ها	عایق بندی قبرها	کوره های سوزاندن اجساد
	زهکشی سطحی	
چاه های تزریق فاضلاب	بررسی و پایش به کار بردن دقیق استاندارد های طراحی	درمان (بازیابی)
		دفع در مکان دورتر
زهکشی معادن و گودال های زیاله	کنترل عملکردی	درمان (بازیابی)
	برخورد پایشی	(اصحیح pH)

Source: Modified from Foster and others, 1993; Zaporozec and Miller, 2000

در بسیاری موارد باید کاهش یا حذف آلاینده‌های زیر سطحی با روش طراحی اصلاح شده امکان‌پذیر باشد، برای مثال سیستم‌های تخلیه فاضلاب درجا ممکن است که توسط شبکه فاضلاب‌های اصلی جایگزین شود، تالاب‌های رسوب‌گذاری/تبخیر فاضلاب می‌تواند توسط فرآیندهای بازیابی فاضلاب؟ جایگزین شوند و حتی یک قبرستان سنتی ممکن است توسط کوره‌هایی در آن جادار

۱۱۴ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

می‌سوزانند تا جایگزین شود. به هر حال باید مشخص شود که کنترل بر روی فعالیت‌های آلوده‌کننده که منجر به کاهش آلودگی زیرسطحی در آینده می‌شوند، آلاینده‌ای را که برای همیشه در نتیجه فعالیت‌های گذشته در زیرسطح می‌مانند حذف نخواهد کرد. برای مثال تاسیس شبکه فاضلاب اصلی در یک حوضه شهری به صورت اساسی آلاینده حاصل از تخلیه فاضلاب در جا کاهش خواهد داد اما چندین تن آلاینده تهیه شده در طول دهه‌های گذشته هنوز توانایی تولید آلاینده‌های قابل توجه و ورود آن‌ها به داخل اکیفر زیرین را دارند.

در برخی موارد و در موقعیت‌های خاصی پذیرفتن یک فعالیت آلوده‌کننده بدون هیچگونه توجهی به طراحی آن و اجرای یک طرح پایش کیفیت آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. این کار نیاز به تاسیس یک شبکه‌ی پایشی با قابلیت آشکارسازی هرگونه آلودگی اولیه آب زیرزمینی و ارائه هشدار اولیه نیاز فعالیت‌های درمانی در محدود فعالیت‌های مربوطه دارد (بخش 4-4b).

ج) روشی برای مناطقی که قبلاً آلوده شده‌اند.

وسعت‌های قابل توجهی از مناطق شهری و مناطق روستایی دوره‌هایی اشغال توسط انواع فعالیت‌های صنعتی، معدنی یا نظامی را در تاریخچه خود دارد که اغلب آلودگی ایجاد می‌کنند حتی جایی که فعالیت‌ها چندین سال قبل خاتمه یافته است. این زمین آلوده شده می‌تواند آلودگی جدی برای آب زیرزمینی تحت شرایط ویژه‌ای ایجاد نماید. در چنین مواردی ارزیابی خطر از نظر احتمال تاثیر بر روی انسان‌ها، حیوانات و گیاهان در نتیجه تماس با و یا خوردن زمین آلوده و یا آب زیرزمینی لازم و ضروری می‌باشد.

جزئیات این نوع ارزیابی خطر که معمولاً برای راهنمایی و تصمیم‌گیری در مورد اولویت بندی برای بهبود درمان یا پاکسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در اینجا بحث نمی‌شود و برای مشاهده جزئیات بیشتر به ASTM (1995) مراجعه شود. چنین ارزیابی‌های ریسک اغلب معیارهای زیر را استفاده می‌کنند:

- جایی که در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ ، ۹۵ درصد احتمال تاثیر بر روی سلامتی را دارد، بنابراین بلافاصله کارهای بازایی اساسی است.

ارزیابی و کنترل خطرات آلودگی آب زیرزمینی ✓ ۱۱۵

- جایی که مقدار ذکر شده بین ۱:۱۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰ می باشد مطالعات اقتصادی جزئی تر و ارزیابی عدم قطعیت پیشنهاد می شود.

- پایین تر از مقدار آخری (۱:۱۰۰۰۰۰۰) معمولاً هیچ فعالیتی صورت نمی گیرد.

د) انتخاب منابع جدید آب زیرزمینی

انتخاب مناطقی برای منابع جدید شهری باید به همان روشی که در بالا برای ارزیابی خطر آلودگی برای منابع موجود پیشنهاد شده صورت گیرد. در مواقعی که چنین ارزیابی، فعالیت های انسانی مستعد تولید آلاینده زیرسطحی بالا را مشخص کند و یا در بخش اعظم منطقه تسخیر منبع آب زیرزمینی آسیب پذیری بالا باشد، این ارزیابی باید با استفاده از ارزیابی اقتصادی و فنی برای نشان دادن این که آیا موارد زیر وجود دارد انجام گیرد:

- آن برای کنترل مناسب همه ی منابع آلودگی پتانسیل مربوطه امکان پذیر خواهد بود.

- آن برای جستجوی مناطق دیگر برای منابع جدید آب زیرزمینی مقتضی خواهد بود.

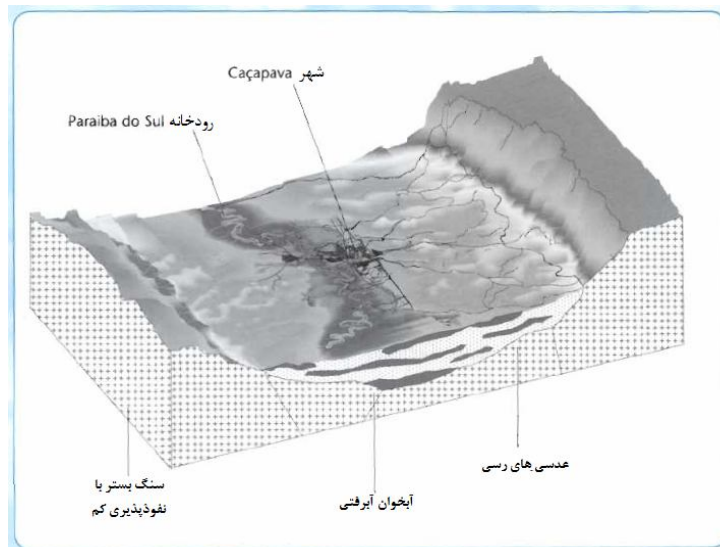
(باکس-۱)

استفاده از تکنیک های GIS

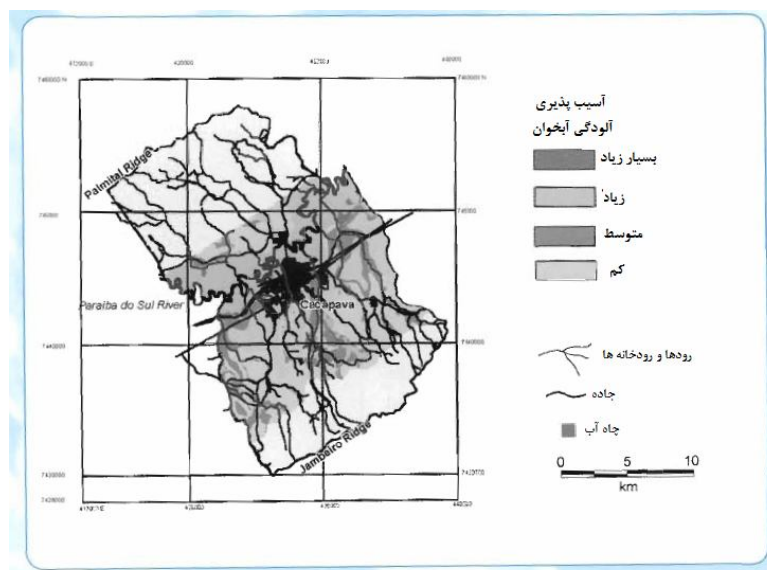
در ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی در منطقه Cacapava برزیل

کاربرد تکنیک های GIS (سیستم اطلاعات جغرافیایی) برای مدیریت داده به ویژه در کار ارزیابی و کنترل خطر آلودگی آب مناسب می باشد. آنها ذخیره داده ها، به روز رسانی، با مهارت کار کردن و جمع بندی داده ها را آسان می کنند. علاوه بر این، به ارائه نتایج انعطاف پذیر برای متخصصان بخش محیطی و نیز STAKEHOLDERS در یک تنوعی از فعل و انفعالات و خروجی کمک می کنند.

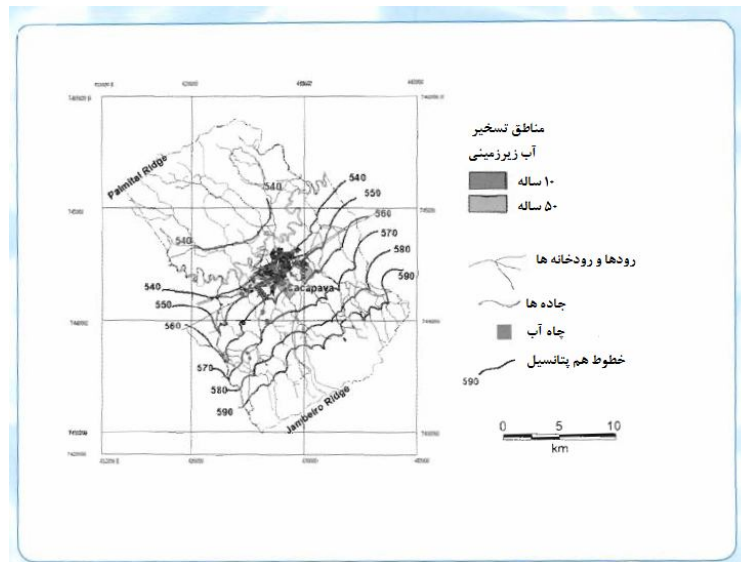
- شهر Cacapava (Sao Paulo) در برزیل به شدت به منابع آبهای زیرزمینی وابسته است. اکيفر آبرفتی مورد استخراج شامل نهشته های ماسه و گراول با میان لایه های افقی از رس و با ضخامت کل ۲۵۰-۲۰۰ متر می باشد. آب زیرزمینی آن نامحصور است، به جز مناطقی که توسط عدسی های رسی به صورت نیمه محصور در آمده است.



- در گذشته خسارات مالی زیادی در نتیجه مواردی از آلودگی آبخوان تحمیل شده است که نیاز به یک روش سیستماتیک برای ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی و یک استراتژی منطقی برای اولویت بندی کنترل آلودگی را آشکار می کند.

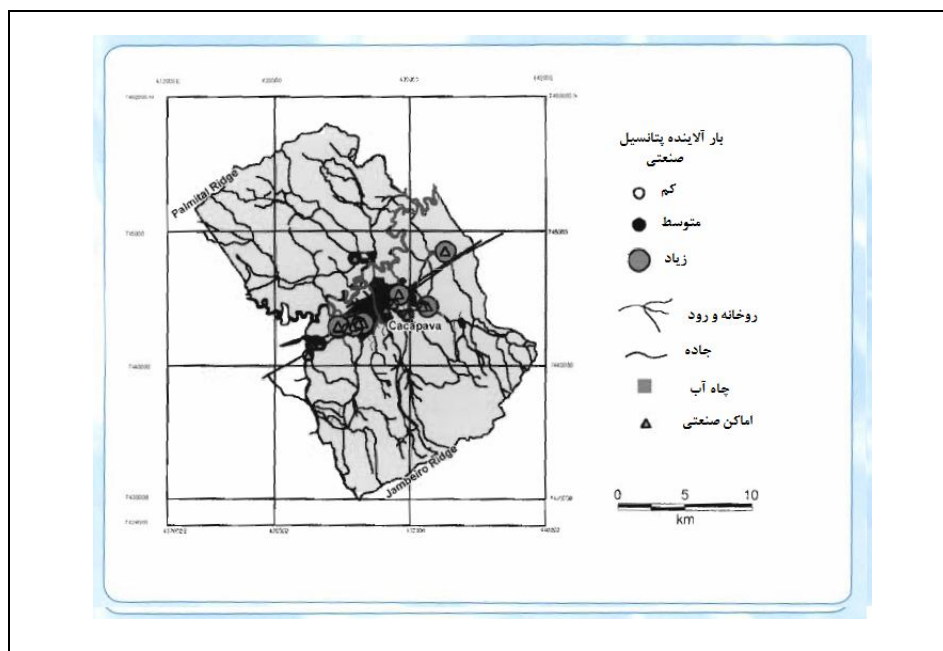


تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان با استفاده از روش GOD یکی از اولین گام‌ها در برنامه حفاظت آب زیرزمینی بوده است. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای ورود داده‌ها به یک پایگاه اطلاعاتی تغییرات مکانی فاکتورهای ورودی مدل GOD استفاده شد.



- گام بعدی پهنه‌بندی محیط حفاظتی (و سپس منطقه تسخیر) چاه‌های اصلی آب شهری براساس زمان پیمایش ۱۰ و ۵۰ ساله در منطقه اشباع بود. این کار با استفاده از تهیه مدل جریان آب زیرزمینی ۳/ سه بعدی قابل استفاده در GIS برای آسان کردن قرارگیری جغرافیایی آنها بر روی نقشه آسیب‌پذیری صورت گرفته است.

- پس از آن یک بررسی و تهیه فهرست منابع آلاینده پتانسیل (عمدتاً مناطق صنعتی و پمپ بنزین) انجام گرفت. کاربرد روش POSH برای ارزیابی منجر به ارائه نرخ‌بندی پتانسیل بالا، متوسط یا کم شده است. هم‌چنین این نتایج در GIS برای نشان دادن مناطق برای اولویت فعالیت یا مراقبت ویژه در حفاظت منابع موجود آب شرب تلفیق شدند.



۴-۴- نقش و روش پایش کیفیت آب زیرزمینی

یک مولفه اساسی و تکمیلی برنامه‌های حفاظت آب زیرزمینی، پایش کیفیت و سطح آب اکیفر است (شکل ۴-۲). این کار به موارد زیر نیاز دارد:

- درک کیفیت طبیعی اولیه سیستم آب زیرزمینی
 - جمع‌آوری داده‌های جدید در مورد سیستم اکیفر برای بهبود مدل‌سازی مفهومی و عددی آن
 - باز بینی ارزیابی‌های خطر آلودگی آب زیرزمینی
 - تایید موثر بودن ارزیابی‌های خطر آلودگی آب زیرزمینی
- این نیاز به پایش، از نیاز به بررسی‌های تحلیلی مستقیم کیفیت آب (از چاه‌ها و چشمه‌ها) که قبلاً برای آبرسانی عمومی تعیین شده‌اند، مجزا می‌باشد.
- نمایشگر بودن و قابل اطمینان بودن پایش کیفیت آب زیرزمینی اکیفر به شدت تابع نوع و تعداد منصوبات پایش در منطقه می‌باشد. هزینه حفاری چاه موجب محدودیت در تعداد تجهیزات پایش (به جز مواردی که سطح ایستابی کم عمق است) می‌شود و فشار زیادی برای استفاده از چاه بهره برداری برای پایش کیفیت اکیفر تحمیل می‌شود.

الف) محدودیت‌های نمونه برداری از چاه پمپاژ^۱

اغلب چاه‌های پمپاژ ظرفیت آگیری بیشتر از محدوده عمق دارند، به طوری که افت حاصل از برداشت در آنها زیاد می‌باشد. بنابراین پمپاژ آنها منجر به تغییرات زیاد موارد زیر می‌شوند:

- منشا از نظر منطقه تغذیه و تاریخ (در اغلب موارد اختلاط آب زیرزمینی با زمان‌های ماندگاری بیش از چند دهه، قرن یا حتی میلیون‌ها سال).
- مسیر تکاملی هیدروژئوشیمیایی: از نظر تغییر از طریق تعامل آب-اکسید و رقیق‌سازی طبیعی آلاینده.

این عوامل می‌تواند موجب محدودیت‌های جدی اجتناب ناپذیری در تفسیر و پیش‌بینی (برون‌یابی) داده‌های پایش در انواع زیادی از سیستم آبخوان شود.

علاوه بر این نمونه‌برداری از چاه‌های پمپاژ معمولاً از طریق یک شیر آب در طول عملیات پمپاژ با ظرفیت بالا انجام می‌گیرد. بنابراین فاکتور دیگر تکمیل کننده تفسیر این نوع داده کیفیت آب زیرزمینی تغییر فیزیکی - شیمیایی احتمالی نمونه‌های آب زیرزمینی (در مقایسه با شرایط درجا) در نتیجه فرایندهای زیر می‌باشد:

- ورود هوا از پمپ‌های گمانه (یا دیگر وسایل نمونه برداری) که موجب اکسیداسیون و رسوب- انحلال یون‌های فلزی و دیگر مواد حساس به تغییرات Eh.
- تبخیر، موجب از دست رفتن ترکیبات ناپایدار مانند هیدروکربن‌های نفتی و حلال‌های آلی شیمیایی.

- تغییر فشار گاز موجب اتلاف گازهای حل شده مانند CO₂ و تغییر PH.

چنین محدودیت‌ها، هنگام تفسیر داده‌های فراهم شده از بررسی کیفیت آب در چاه‌های پمپاژ آب برای اهداف حفاظت و مدیریت منبع آب زیرزمینی در نظر گرفته نمی‌شوند.

جزئیات فنی کامل‌تر این محدودیت‌ها و روش‌های کاهش خطاهای نمونه‌برداری در Foster و Gomes ۱۹۸۹ ارائه شده است.

1. production well

ب) پایش سیستماتیک برای کنترل آلودگی آب زیرزمینی

گمانه‌های حفاری شده به منظور پایش و با ساختار دقیق (پاییزومترها) مناسب‌ترین روش بدست آوردن نمونه‌های آب زیرزمینی معرف شرایط درجا در یک سیستم اکیفر هستند. اینها به صورت گمانه‌های با قطر کم (۵۰ میلی متر و یا حتی کمتر) با طول اسکرین کوتاه (۲-۵ متر)، تجهیز شده با فلزات نسبتاً بی تاثیر (فولاد ضد زنگ، تفلون یا pvc) می‌باشند. روش‌های حفاری و تجهیز مناسب (شامل درزبند بتونیته برای ممانعت از آلودگی در گمانه‌های حلقوی) مورد نیاز می‌باشد اما این کار معمولاً در اکثر کشورها انجام می‌شود.

سه استراتژی مجزا می‌تواند در پایش سیستماتیک حفاظت کیفیت آب زیرزمینی در نظر گرفته شود (شکل ۴-۶):

- **پایش حمله‌ای (یورش)**^۱ منابع آلاینده پتانسیل: هدف آشکارسازی اولیه (زود هنگام) اولین آلودگی اکیفر توسط منابع شناخته شده آلودگی پتانسیل با پایش افت سریع (بلافاصله) گرادیان هیدرولیکی و پارامترهای تحلیلی انتخاب شده نسبت به منبع آلودگی است. این روش پرهزینه است و بنابراین باید منابع آلودگی خطرناک واقع در منطقه تسخیر منبع آب زیرزمینی در اکیفرهای با آسیب‌پذیری بالا انتخاب شوند.

- **پایش دفاعی**^۲ منابع آب زیرزمینی: هدف هشدار دادن وجود زبانه‌های آلودگی تهدید کننده چاه‌های آب شرب یا چاه‌های شخصی و چشمه‌ها از طریق تاسیس یک شبکه و پایش بالا رفتن گرادیان هیدرولیکی می‌باشد که قادر به آشکار سازی آب زیرزمینی آلوده شده برای بررسی‌های بعدی و انجام فعالیت‌های بازایی (درمانی) می‌باشد. یک درک کامل از سیستم جریان محلی آب زیرزمینی و مسیرهای انتقال آلودگی (به ویژه در ارتباط با انتخاب عمق‌های گمانه‌های پایش) برای جلوگیری از By-pass (فرار- میانبر) احتمالی شبکه پایش دفاعی لازم می‌باشد.

1. offensive monitoring

2. dense monitoring

ارزیابی و کنترل خطرات آلودگی آب زیرزمینی ✓ ۱۲۱

- پایش ارزیابی مکان‌های آلودگی مشخص اکيفر: یک روش مشابه روش پایش یورشی به صورت موارد زیر می‌باشد:

- تایید مؤثر بودن فرایندهای رقیق سازی طبیعی آلاینده اهمیت دارد که در جایی که مسائل اقتصادی مهم است یا تنها روش برای مدیریت آلودگی آبخوان می‌باشد.

- تایید مؤثر بودن بررسی‌های کارشناسی ارزیابی انجام گرفته برای پاکسازی یا جلوگیری از آلودگی اکيفر می‌باشد، جایی که از نظر فنی و اقتصادی پذیرفته شده‌اند.

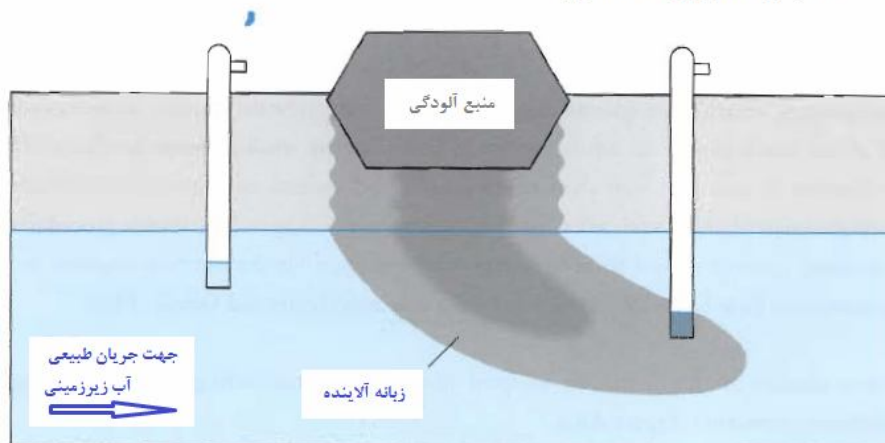
ج) انتخاب پارامترهای تحلیلی

همچنین نیاز مبرمی به بهبود انتخاب پارامترهای تحلیلی تعیین شده برای نمونه‌های آب زیرزمینی وجود دارد. روال پایش منابع آب زیرزمینی محدود به PH-EC، تعداد Fc (کلی فرم‌های مدفوعی) و CL آزاد (اگر برای ضد عفونی منبع استفاده می‌شود) می‌باشد. اگرچه این پارامترها یک تعریفی از میزان خلوص آب نشان می‌دهند، اطلاعات خیلی اندکی در ارتباط با وجود یا عدم وجود انواع آلاینده‌های آب زیرزمینی فراهم می‌کنند.

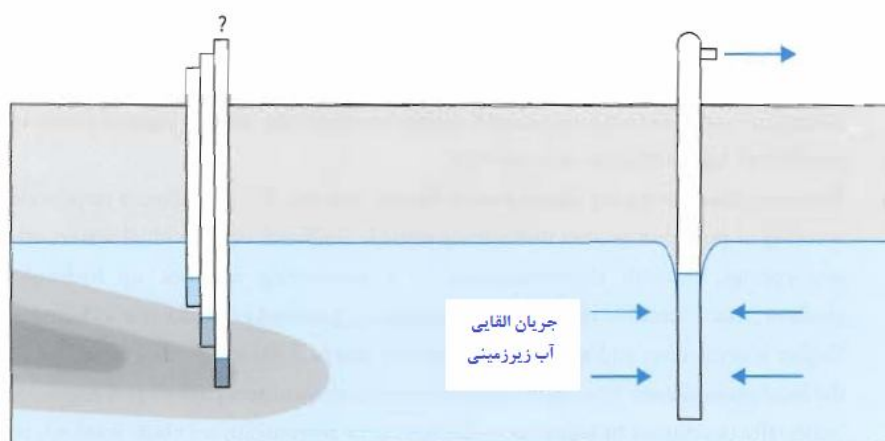
برای مثال، اگر چاه آب در مجاورت یک مکان صنعتی واقع باشد (شامل فعالیت فراوری فلز) پایش حلال‌های صنعتی آغشته به کلر و خود فلزات سنگین اساسی می‌باشد، به دلیل اینکه بعید است که روش پایش بالا وجود آنها را نشان دهد. انتخاب پارامترهای پایشی باید متضمن ارزیابی خطر آلودگی خفیف (اندک) آب زیرزمینی باشد. (جدول A-2)

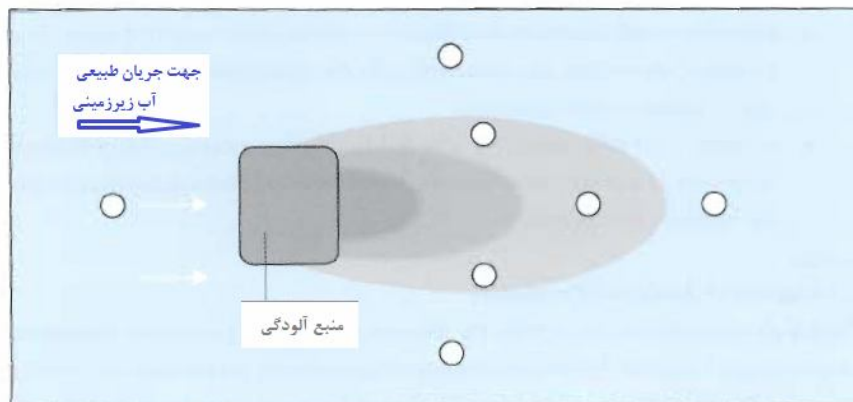
۱۲۲ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

الف- پایش حمله ای برای حفاظت آبخوان



ب- پایش دفاعی برای حفاظت منبع آبرسانی





شکل ۴-۶- خلاصه استراتژی‌های پایش کیفیت آب زیرزمینی

تناوب تکرار نمونه برداری در شبکه‌های پایش آب زیرزمینی نیز تعیین کننده می‌باشد، به جز اکيفرهای با آسیب پذیری بالا یا خیلی بالا معمولاً پایش کیفیت آب زیرزمینی در فواصل زمانی کمتر از ۳ ماهه لازم نخواهد بود.

۴-۵- برنامه‌های حفاظت کیفیت آب زیرزمینی

الف) مسئولیت‌ها و تجهیزات بنیادی

از نظر کلی، قانون‌گذار محیطی یا منبع آب (یا آژانس، سازمان یا اداره حکومت ملی، ناحیه‌ای یا محلی عهده‌دار انجام این کار) معمولاً برای حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی صاحب اختیار می‌باشد. بنابراین آنها برای انجام برنامه‌های حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی که شامل موارد زیر می‌باشد در بهترین جایگاه قرار می‌گیرند:

- تثبیت منطقه بندی سطح زمین براساس تقاضای حفاظت آب زیرزمینی

- انجام اندازه گیری‌های حفاظت مناسب آب زیرزمینی

اگرچه در عمل، آنها اغلب فاقد منابع بنیادی و کمیته سیاسی برای عملکرد جامع یا مؤثری هستند.

توجه متمرکز بر روی مقیاس و سطح جزئیات ضروری برای ارزیابی و حفاظت منابع آب ویژه مهم

می‌باشد.

۱۲۴ ✓ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

برای این منظور مهم است که شرکت‌های خدمات آب به صورت محرمانه کار کنند. علاوه بر این تعهد آنها برای مطابقت دادن با کدهای دقیق مهندسی یک وظیفه برای خود شرکت‌های خدمات آب به منظور ترویج یا انجام ارزیابی‌های خطر آلودگی منابع آب زیرزمینی آنها می‌باشد.

روش‌های موجود برای ارزیابی خطر آلودگی آب زیرزمینی برای یک برنامه اندازه‌گیری‌های حفاظتی کار منطقی می‌باشد. آنها یک پایه دقیق به قانونگذار محیطی و یا منابع آب محلی جهت اندازه‌گیری‌های حفاظت آب زیرزمینی در جاهایی که مورد نیاز است می‌باشد. حتی اگر هیچ آژانسی یا قانون‌گذاری برای کنترل مناسب آلودگی وجود نداشته باشد معمولاً اعمال فشار به حکومت محلی یا شهری برای انجام یک عملیات حفاظتی تحت فرمان در جوامع محلی امکان‌پذیر خواهد بود.

ب) عدم قطعیت‌های اصلی و چالش‌ها

عدم قطعیت‌های علمی قابل توجهی در بسیاری از ارزیابی‌های خطر آلودگی آب زیرزمینی وجود دارد که وابسته به عوامل زیر می‌باشند:

- ظرفیت رقیق‌سازی زیر سطحی برای آلاینده‌های آلی شیمیایی خاص
- احتمال و مقیاس جریان ترجیحی در منطقه وادوز در برخی لایه‌های زمین شناختی
- نرخ نشست و تراوش آب و انتقال آلاینده در برخی لایه‌های محصور کننده (اکی تردها)
- رژیم‌های جریان آب زیر زمینی در اطراف چاه‌های آب در آبخوان‌های هتروژن پیچیده که می‌تواند موجب ایجاد خطاهای بزرگ در تعیین ملزومات حفاظت شود. پیچیدگی‌های اشاره شده نیاز به شناسایی و مشخص شدن به طریق سیستماتیک و صریح دارد. در بسیاری موارد، بدست آوردن مدارک واقعی یا اولیه آلودگی آبخوان از طریق پایش آب زیر زمینی قبل از توجیه اقتصادی اندازه‌گیری‌های کنترلی آلودگی آب زیر زمینی ضروری خواهد بود.
- اگر خطر آلودگی آب زیر زمینی تأیید شد، ارزیابی خطراتی که آن به وجود می‌آورد و تعیین عملیات مناسب لازم خواهد بود. عموماً اصطلاحات تکنیکی و اجرائی چنین عملیاتی می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

ارزیابی و کنترل خطرات آلودگی آب زیرزمینی ✓ ۱۲۵

- مذاکره (و امکان کمک مالی) برای تصحیح طرح و فعالیت‌های آلوده کننده از طریق معرفی تکنولوژی بهبود یافته برای کاهش یا حذف بار آلاینده زیر سطحی یا پایش مناسب یا اصلاح آلاینده موجود آب زیر زمینی در منطقه.

- انتقال فعالیت آلوده کننده به مکان دیگر (با آسیب پذیری هیدرولوژیکی کمتر)، (در برخی موارد با پرداخت خسارت) با پایش مناسب یا اصلاح آلاینده موجود آب زیر زمینی در منطقه.

- تغییر مکان منابع آبرسانی عمومی به منطقه جدید با خطر آلودگی کمتر، همراه با معرفی کنترل‌های توسعه کاربری اراضی مناسب.

همچنین باید به خاطر داشت که برای برخی آبخوان‌ها یا بخشی از سیستم‌های آبخوانی، انجام حفاظت از آلودگی واقع بینانه نخواهد بود، به دلیل این که خصوصیات طبیعی آنها طوری است که آب زیر زمینی با کیفیت پائین در آنها وجود دارد. اغلب مشخص کردن چنین مناطقی برای احداث صنایع یا فعالیت‌هایی که احتمال بیشتری برای تولید آلاینده زیر سطحی زیاد دارند مناسب هستند.

اما در چنین مواردی ارزیابی دقیق موارد زیر اهمیت دارد:

- امکان دارد که آب زیر زمینی محلی گاهی اوقات برای تأمین آب شرب خانگی کوچک مقیاسی استفاده شود.

- نفوذ فاضلاب می‌تواند موجب تغییر در جهت جریان آب زیر زمینی شود که مناطق دارای کیفیت آب زیر زمینی با کیفیت خوب را تهدید کند.

- حفر و تجهیز چاه‌های جدید در مناطق مجاور جهت جریان آب زیر زمینی را تغییر می‌دهد به طوری که توسط آلاینده‌های مجاور تهدید می‌شود.

همچنین باید مشخص شود که آب زیر زمینی کم عمق در مناطق شهری اغلب به صورت قابل توجهی آلوده می‌شوند. هر چند، یک روش ترکیبی و تلفیقی شامل عملیات مختلف زیر در کمک به حفاظت از منابع آب شرب زیر زمینی مفید باشد:

- اولویت‌بندی توسعه شبکه فاضلاب اصلی برای مناطق با آسیب پذیری بالای آبخوان جایی که آبخوان‌ها در هر مقیاسی برای تأمین آب شرب استفاده می‌شوند.

✓ ۱۲۶ حفاظت از کیفیت آب زیرزمینی

- بهبود محل و کیفیت دفع فاضلاب از سیستم‌های فاضلاب اصلی، بعد از در نظر گرفتن تأثیرات پتانسیل بر روی چاه‌های اطراف شهر و پایاب رودخانه‌ها و کاربران دیگر آب زیر زمینی.
- محدود کردن تراکم توسعه سکونتگاهی جدید که از واحدهای فاضلاب سنتی استفاده می‌کنند.
- وادار کردن واحدهای صنعتی به دریافت مجوز، برای دفع فاضلاب به زمین تا برای چرخه مجدد، حداقل کردن و بازیابی فاضلاب تشویق شوند.
- تأکید به رسیدگی ویژه برای استفاده از موارد شیمیایی سمی با ماندگاری بالا و فاضلاب‌های صنعتی واقع در مناطق با آسیب‌پذیری آلودگی بالا.
- انتقال محل دفع زباله‌های جامد به مناطق با آسیب‌پذیری آلودگی پائین.
- همچنین برخی موانع مهم در انجام حفاظت آب زیر زمینی وجود دارد که شامل موارد زیر است:
 - کنترل عملیات کشاورزی پخش (diffuse) به ویژه جایی که تغییرات در محصول یا نوع کشاورزی مانع مدیریت عملیات کشت و کشاورزی-دامداری می‌شود.
 - برخورد تکنیکی و مالی با بازمانده‌های قدیمی و آلاینده آب به ویژه در مناطق صنعتی با استقامت زیاد.
 - نبود شفافیت در مسئولیت حقوقی آلاینده‌های جدی آب زیر زمینی (موجود یا قدیمی) مرتبط با سؤالاتی مانند زمان آلودگی یا دوره‌های آن در ارتباط با معرفی کدهای قانونی و آیا آلودگی عمدی بوده، حادثه حتمی بوده و یا از یک فعالیت به صورت اتفاقی رخ داده است.
 - مقاومت در برابر منطقه بندی سطح زمین برای حفاظت آب زیر زمینی به دلیل کاهش ارزش زمین ناشی از کاهش فرصت‌ها یا افزایش هزینه‌های توسعه صنعتی یا تولید کشاورزی.

ج) ایجاد یک توافق برای عملیات

- کنترل خطر آلودگی آب زیر زمینی نیاز به عملیات فنی برای دست یابی به کاهش بار آلاینده زیر سطحی به عنوان اولویت قبل از آنالیز دارد. این عملیات باید در یک چارچوب اجتماعی و اقتصادی منطقه مورد نظر ترویج داده شود بنابراین مشارکت کامل سهامداران در ارزیابی خطر آلودگی و اندازه‌گیری‌های کنترلی در موفقیت کار اساسی و مهم می‌باشد.

ارزیابی و کنترل خطرات آلودگی آب زیرزمینی ✓ ۱۲۷

هرگونه فعالیت برای ارزیابی خطر آلودگی آب زیر زمینی باید واضح و شفاف و در دسترس جامعه شهری باشد. یک ارزیابی اقتصادی- اجتماعی از موانع پتانسیل انجام اندازه گیری های حفاظتی آب زیرزمینی اغلب اطلاعات تاکتیکی اصلی با چارچوب و اولویت بندی طرح فعالیت فراهم خواهد ساخت. روش های ارزیابی خطر آلودگی ارائه شده در این کتاب یک ابزار مؤثر و مفیدی برای شروع درگیری سهامداران مربوطه می باشد (به ویژه استفاده کنندگان از آب و همچنین آلوده کنندگان پتانسیل آب زیرزمینی). به دلیل اینکه آنها ارتباطات را از طریق تلفیق و ساده سازی شرایط هیدرولوژیکی آسان می کنند در حالی که در اصل هنوز پایه علمی خود را حفظ می کنند به طور کلی منطقه بندی سطح زمین از طریق نقشه های ترکیب شده با طبقه های آسیب پذیری آلودگی آبخوان و مناطق تسخیر آب زیر زمینی (محیط های حفاظتی) می تواند برای جزئیات ماتریس های قابل قبول بودن انواع مختلف فعالیت آلاینده آماده شود.

آنها برای موارد زیر مفید هستند:

- بالا بردن آگاهی سهامداران از خطرات آلودگی آب زیر زمینی
- پیشنهاد یک راهکار معتبر و قابل دفاع برای روش های طراحی کاربری اراضی
- ترویج آگاهی عمومی از نیازهای حفاظت آب زیر زمینی

باکس ۴-۲

ارزیابی و مدیریت خطر آلودگی منبع آب زیر زمینی در Nicaragua, managua

ارزیابی سیستماتیک خطر منابع آب زیر زمینی شامل تهیه نقشه آسیب پذیری آبخوان و بار آلاینده زیر سطحی با یک سیاست شفاف برای همه سهامداران جهت حفاظت چاه‌های شهری اصلی انجام شده است.

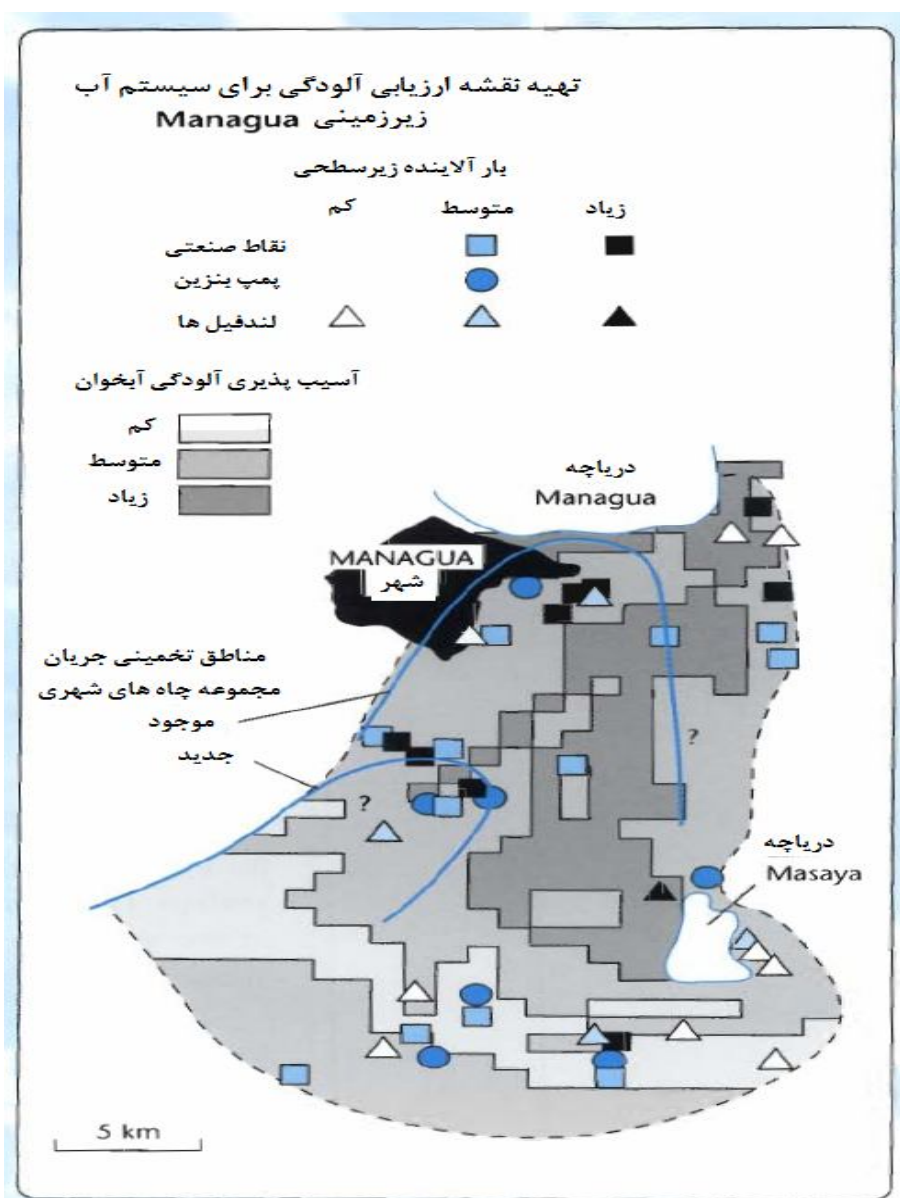
آب زیر زمینی بیشترین اهمیت را برای تأمین مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی را در این ناحیه دارد و از چاه‌های عمیق شهری و گمانه‌ها در آبخوان و لکانیکی مهم واقع در جنوب دریاچه Managua استخراج می‌شود. توسعه اندک خاک در جریان گدازه‌های عهد حاضر وجود دارد. و این ناحیه در دسته آسیب پذیری بالا قرار دارد، علی رقم اینکه سطح ایستایی عمق نسبتاً زیادی دارد (بیشتر از ۲۵ متر). مجموعه چاه‌های مهم موجود حدود 195 ML/d آب استخراج می‌کنند و در حاشیه شرقی شهر قرار دارند اما یک مجموعه چاه جدید با استخراج 70-ML/d در مناطق روستایی با فاصله حدود ۱۰ کیلومتری جنوب شهر تحت بررسی و توسعه می‌باشد.

منطقه تسخیر چاه‌های موجود با صنایع شامل چرم سازی، کارگاه‌های فلزی و کارخانه‌های نساجی واقع در منطقه صنعتی Zana Franca تهدید می‌شود، همانگونه که ذخایر سوختی و شیمیایی در فرودگاه بین‌المللی و فاضلاب تعدادی از شهرهای کوچک در حال توسعه نیز تهدیدی برای منطقه تسخیر چاه‌ها می‌باشد.

همچنین چندین مورد خاکبرداری کوچک در منطقه وجود دارد که در قدیم برای ذخیره، انبار کردن و سو پاشی زمین‌های کشاورزی مورد استفاده بوده اند. در ۳۰ سال گذشته پنبه همراه با استفاده زیاد از آفت کش‌های با ماندگاری بالا مانند toxaphene و DDT، به صورت وسیع کشت می‌شده است.

منطقه جریان در پیش‌بینی برای مجموعه چاه‌های جدید به عنوان منطقه با آسیب‌پذیری متوسط طبقه بندی شده اما مناطقی با آسیب پذیری بالا به دلیل نبود پوشش خاک که در نتیجه فرسایش از بین رفته است، وجود دارد. در حالی که یک تعداد منابع نقطه ای آلاینده پتانسیل از صنعت، پمپ بنزین و مناطق دفع زباله وجود دارد فقط یک نقطه صنعتی با مخازن ذخیره زیر سطحی به عنوان بار آلاینده پتانسیل بالا طبقه بنده شده است.

در منطقه تسخیر غالباً کشاورزی صورت می‌گیرد و استفاده مکرر از آفت کش‌های متحرک (مانند حشره کش‌های carbamate) خطر آلودگی مهمی ایجاد می‌کنند و کنترل فعالیت کشاورزی در تأمین آب شهری مورد نیاز می‌باشد.



منابع

Adams, B. and S. S. D. Foster. 1992. "Land-surface zoning for groundwater protection." *Journal of Institution of Water and Environmental Management* 6: 312-320.

Albinet, M. and J. Margat. 1970. "Cartographie de la vulnerabilite a la pollution des nappes d'eau souterraine." *Bulletin BRGM 2nd Series* 3(4): 13-22. Orleans, France.

Aller, L., T. Bennett, J. H. Lehr, R. J. Petty, and G. Hackett. 1987.

DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. Environmental Protection Agency Report 600/2-87-035. Washington, D.C.

Andersen, L. J. and J. Gosk. 1987. "Applicability of vulnerability maps." *TNO Committee for Hydrological Research: Proceedings and Information* 38: 321-332. Delft, The Netherlands.

ASTM (American Society for Testing and Material). 1995. Standard guide for risk-based corrective action applied to petroleum release site. ASTM Designation E1739-95. Washington, D.C.

Barbash, J. E. and E. A. Resek. 1996. *Pesticides in ground water: distribution, trends, and governing factors*. Chelsea, Michigan: Ann Arbor Press.

Bates, L. E., C. Barber, J. Ross, and J. Verhoeven. 1993. "Vulnerability of groundwater to pollution: evaluation of the DRASTIC system in the Peel river catchment, northern New South Wales, Australia." Proceedings of Australian National University Conference: Aquifers at Risk. Canberra, Australia.

Blarasin, bl., C. Eric. C. Frigerio, and 5. Bettera. 1993. "Detenninacirjn del riesgo de contamination del acuifero libre pot siste~nasd e silneamiento in situ: ciudad de Rio Cuarto." Dpro. Rio Cuarto, Cordoha, Argentina. Publicacion Espccirtl de la Asocirlcion Argentina de G'eolr>gia Aplicadrt rl Icr Ingenieria 1: 1 14-1 3 1.

Blarasin, M., A. Cabrera, M. Villegas. C. Frigerio, and 5. Bettera. 1999. Groundwarer contamination from septic tanks system in two neighborhooind Rs i o Cuarto City, Cordoba. Argentina. Intenradorrol Assucicrtion of Hydrogeologists-International Cnntributions to Hvdrogeology 21: 31-38.

Bernardes, Jr. C., R. Hirata, J. Mendes, and R. Cleary. 1991. "Remedial accion for an industrial open dump-proposed activities and prospectives." Water Science and Technology 24(11): 271-281.

BNA (U.S. Bureau of National Affairs). 1975. Water Pollution Control. BNA Policy and Practice Series. Washington D.C.

Burmaster, D. and J. Learh. 1991. "It's time to make risk assessment a science." Ground Water Monitoring and Remediation 1 1 (3):5-15.

Carter, A. D., R. C. Palmer, and R. A. Monkhouse. 1987.

"Mapping the vulnerability of groundwater to pollution from agricultural practice particularly with respect to nitrate." TNO Committee for Hydrological Research: Proceedings and Information 38: 382-390. Delft, The Netherlands.

Cherernisinoff, P. 1992. A guide to underground storage tanks evaluation, site assessment and remediation. New Jersey: Prentice-Hall.

Chilton P. J., A. A. Vlumman S. S. D. Foster. 1990. "A Groundwater pollution risk assessment for public water supply sources in Barbados." American Water Resources Association International conference on Tropical Hydrology and Caribbean Water Resources 279-289. San Juan de Puerto Rico.

Daly, D., A. Dassargues, D. Drew, S. Dunne, N. Goldschneider, N. Neale, I. C. Popescu, and F. Zwahlen. 2001. "Main concepts of the European approach for karst groundwater resource assessment and mapping." IAH Hydrogeology Journal 10: 340-345.

Daly, D. and W. P. Warren. 1998. "Mapping groundwater vulnerability: the Irish perspective." Geological Society Special Publication 130: 179-190.

DMAE (Departamento Municipal de Agua e Esgotos). 1981. "Equivalentes populacionais de residuos liquidos industriais da regio metropolitanos de Porto Alegre." Informe 27. Porto Alegre, Brazil.

Doerfliger, N., and F. Zwahlen. 1998. Practical guide to groundwater vulnerability mapping In karstic regions. Berne,

Switzerland: A Swiss Agency for Environment, Forest & Landscape Publication.

EA (Environment Agency). 1998. Policy and practice for the protection of groundwater. London: HMSO.

Fetter, C. 1988. Applied hydrogeology. New York: Macmillan Publishing Company.

Foster, S. S. D. 1985. Groundwater pollution protection in developing countries. IAH Intl. Contrl Hydrogeology. International Association of Hydrogeologists-International Contributions to Hydrogeology 6: 167-200.

_____. 1987. "Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy." Proceedings of International Conference: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants. Noordwijk, The Netherlands.

Foster, S. S. D., B. Adams, M. Morales, and S. Tenjo. 1993. "Groundwater protection strategies: a guide towards implementation." UK ODA, CPR, WHO/PAHO-HPE Technical Manual. Lima, Peru. 88pp.

Foster, S. S. D., P. J. Chilton, and M. E. Stuart. 1991. "Mechanisms of groundwater pollution by pesticides." Journal of Institution of Water and Environmental Management 5: 186-193.

Foster, S. S. D., A. C. Cripps, and A. K. Smith Carington. 1982. Nitrate leaching to groundwater. Philosophical Transactions of Royal Society of London 296: 477-489.

Foster, S. S. D. and D. C. Gomes. 1989. "Groundwater quality monitoring: an appraisal of practices and costs." WHO-PAHOI HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru.

Foster, S. S. D. and R. Hirata. 1988. "Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data." WHO-PAHOI HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru.

Foster, S. S. D., A. R. Lawrence, and B. L. Morris. 1998. "Groundwater in urban development: assessing management needs and formulating policy strategies." World Bank Technical Paper 390. Washington, D.C.

Foster, S. S. D. and A. C. Skinner. 1995. "Groundwater protection: the science and practice of land surface zoning." International Association of Hydrological Sciences 225: 471-482.

Gillham, R. and J. Cherry. 1989. Refuse disposal sites and their long-term behavior. Dusseldorf, Germany: ENVITEC.

Hackman, E. E. 1978. "Toxic organic chemicals: destruction and waste treatment." Pollution Technology Review 40.

Haertle, A. 1983. "Method of working and employment of EDP during the preparation of groundwater vulnerability maps." International Association of Hydrological Sciences 142: 1073-1085.

Hirata, R. 1993. "Os recursos hidricos subterraneos e as novas exigencias ambientais." Reursta do Instituto Geologico de Sdo Paolo 14(1): 39-62.

Hirata, R., C. Bastos, and G. Rocha. 1997. "Mapa de vulnerabilidade das Bguas subterrbeas no Estado de Sao Paulo." Instintto Geologico, Companhia de Saneamento Ambicntal, Departamento de Aguas e Energia Elkica. So Paulo, Brasil. 2 vol.

Hirata, R., C. Bastos, G. Rocha, D. Comes, and M. Iritani. 1991. "Groundwarer pollution risk and vulnerability map of the SHo Paulo State - Brasil." *Water Scienre and Technology* 24(2 1): 1.59-169.

Hirata, R. and A. Reboucas.1 999. "La proteccion de 10s recursos hidricos subterraneos: una vision integrada, basada en perimetros de prorecci6n de pozos y vulnerabilidad de acuíferos." *Boletin Geologico Minero de Espaiia* 110 (4): 423-436.

Hirata, R., G. S. Rodrigues, L. C. Paraiba, and C. C. Buschinelti. 1995. *Groudwater contamination risk from agriczdtrrral activity in Go Paulo State* (Braril). BGS (British Geological Survey) Technical Report WD/95/26: 93-101. Nottingham. U.K.

Holden, L.R., J. A. Graham, R. W. Whitmore, W. J. Alexander, R. W. Pratt, S. K. Liddle, and L. L. Piper. 1992. "Results of the national alachlor waterwell survey." *Environmental Science and Technology* 26: 935-943.

Johansson, P.O, and R. Hirata. 2001. Rating of groundwater contaminanon sources. In: Zaporozec, A., ed., *Groundwater contamimtion inventory: A methodological guideline*. Paris, France: UNESCO.

Kalinski, R. J., W. E. Kelly, I. Bogardi, R. L. Ehrman, and P. D. Yarnarnoto. 1994. "Correlation between DRASTIC vulnerabilities and incidents of VOC contamination of municipal wells in Nebraska." *Ground Water* 32(1): 31-34.

Kolpin, D. W., J. E. Barbash., and R. J. Gilliom. 2000. "Pesticides in ground water of the United States, 1992-1996." *Ground Water* 38(6): 858-865.

Kostecki, P. T. and E. Calabrese. 1989. *Petroleum contaminated soil: remediation techniques, environmental fate, and risk assessment*. Vol I. Mich.: Lewis Publishers.

KTH and MARENA. 2000. "Identificacion de barreras a la proteccion sostenible del agua subterranea. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Inforne. Managua, Nicaragua

Lewis, W. J., S. S. D. Foster, and B. Drasar. 1982. *The risk of groundwater pollution by on-site sanitation in developing countries*. WHO-PAHOMPE-CEPIS Technical manual. Lima, Peru.

Lloyd, B, and R. Helmet. 1991. *Surveillance of drinking water quality in rural areas*. WHO-UNEP Publication. Longman Scientific and Technical. London, U.K.

Loague, K. 1994. "Regional scale groundwater vulnerability estimates: impact of reducing data uncertainties for assessments in Hawaii." *Ground Water* 32: 605-616.

Luin, A. B. Van and W. Van Starckenburg. 1985. "Behaviour of contaminants in groundwater." Water Science and Technology 17:843-853.

Mackey, D. and J. Cherry. 1996. "Groundwater contamination: pump and treat remediation." Environmental Science and Technology 23: 630-636.

MARENA and KTH. 2000. "Estmacion del peligro potencial de contaminacion en el acuífero de Managua." Ministerio del Ambiente y Recursos Nartureles Informe. Manague, Nicaragua.

Martin. P. J.. D. C. gomes, M. Iritani, and N. Guigacr. 1998 "An Integrated Grounswater Management Using Modeling and GIS. Proceedings of the Groundwater in a Watershed context Symposium," Section 3: 137-145. Canada Cantre for Inland Waters, Burlington, Ontario.

Mazurek, J. 1979. "Summary of modified Le Grand method." National Center for Ground Water Research Report. Norman, Oklahoma.

Miller, D. and M. Scalf. 1974. "New priorities for groundwater quality protection." Ground Water 12: 335-347.

Monkhouse, R. A. 1983. "Vulnerability of aquifers and groundwater quality in the United Kingdom." Institute of Geological Sciences Report. Nottingham, U.K.

Morris, B. L. and S. S. D. Foster. 2000. "Cryptosporidium contamination hazard assessment and risk management for British groundwater sources." *Water Science and Technology* 41 (7): 67-77.

Nemerow, N. L. 1963. *Theories and practices of industrial waste treatment*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

_____ 1971. *Liquid waste of industry: theories and practices of industrial waste treatment*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.

Nicholson, R., J. Cherry, and E. Readon. 1983. "Migration of contaminants in groundwater at a landfill: A case study, 6. Hydrogeochemistry." *Journal of Hydrology* 63(1/2): 131-176.

NRA (National Rivers Authority). 1995. *Guide to groundwater protection zones in England and Wales*. London: HMSO.

NRC (National Research Council). 1993. *Groundwater vulnerability assessment: contamination potential under conditions of uncertainty*. Washington, D.C.: National Academy Press.

Paez G. 1999. *Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en el Valle del Cauca*. Informe Ejecutivo Corpo Regional del Valle del Cauca. Cauca. Colombia.

Pankow, J., R. Johnson, J. Houck, S. Brillante, and W. Bryan. 1984. "Migration of chlorophenolic compounds at the chemical waste disposal site at Alkali Lake, Oregon. 1, Site description and groundwater flow." *Ground Water* 22(5): 593-601.

Paris, M., O. Tujchneider., M. D'Elia, and M. Perez. 1999. "Hidrogeología Urbana: Protección de Pozos de Abastecimiento en la

Gestion de los Recursos Hidricos Subterraneos: Revista Serie Correlacion Geologica 13: 153-160.

Reichard, E., C. Cranor, R. Raucher, and G. Zapponi. 1990. "Groundwater contaminant risk assessment: A guide to understanding and managing uncertainties." International Association of Hydrological Sciences. Wallingford, U.K.

Rosen, L. 1994. "A study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions." Ground Water 32(2): 278-285.

Sax, N. 1984. Dangerous properties of industrial materials, sixth edition. New York: Van Nostrand Reinhold.

Scharp, C. 1994, "Groundwater Protection Plan for the Managua Aquifer development of Planning Tool." International Association of Hydrogeologists 222: 443-451.

Scharp, C., T. Alvereg, P. O. Johansson, and M. Caldere. 1997. "Assigning a groundwater protection value: methodology development" Proceedings of International Association of Hydrogeologists Congress: Problems, Processes and Management Nottingham b 659-664.

Sokol, G., C Leiburgit, K. P. Schulz, and W. Weinzierl. 1993. "Mapping procedures for assessing groundwater vulnerability to nitrates and pesticides in Application of Geographic Information System in Hydrology and Water Resources Management."

International Association of Hydrological Sciences 211: 80-92.

Stuart, M. and C. Milne. 1997. "Groundwater quality implications of wastewater irrigation in Lcban, Mexico." Proceedings of International Association of Hydrogeologists Congress: Problems, Processes and Management. Nortingham 1: 193-190.

Thomann, R., j. Lobos, H. Sallas, and j. Dos Santos. 1987. "Manual de evaluacido y manejo de sustancias toxicas en aguas superficiales (3). Evaluation preliminar del problems." WHO/ PAHO-CEPIS Technical Report. Lima, Peru.

UNEP (United Nations Environmental Programme). 1988. "Environmental impact assessment: basic proceedings for developing countries." Internal Guidebook. Geneva, Switzerland.

EPA (Environmental Protection Agency). 1977. Procedures manual for groundwater monitoring of solid waste disposal facilities. Report EPA-530-SW-61. Washington, D.C.

_____ 1980a. Treatability manual (2) industrial description. Report EPA-600-8-80-042B. Washington, D.C.

_____ 1980b. Procedures manual for groundwater monitoring at solid waste disposal facilities: Report SW-611. Washington, D.C.

_____ 1991. "Guide for conduction contaminant source inventories for public drinking water supplies: technical assistance document." Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.

_____ 1994. Handbook on groundwater and wellhead protection. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Vrba, J. and E. Rornijn. (eds.) 1986. "Impact of agricultural activities on groundwater." Internatzonal Association of Hydrogeologists-International Contribution to Hydrogeology 5.

Vrba, J. and A. Zaporozec. 1994. "Guidebook on mapping groundwater vulnerability." International Association of Hydrogeologists-international Contributions to Hydrogeology 16.

Weitzenfeld, H. 1990. "Manual brisico de evaluaci6n del impact0 en el ambiente y la salud de proyectos de desarrollo." ECO-OPSIOMS. Metepec, Mexico. 198 pp.

WHO (World Health Organization). 1982. "Rapid assessment of sources of air water and land pollution." World Health Organization Offset Publication 62. 113pp.

Zaporozec, A. and j. Miller. 2000. Groundwater polltrtion. Paris, France: UNESCO.

Zaporozec, A. 2001. Contaminant source Inventory. In: Zaporozec, A. (ed.) Groundcuater contamination inventory A methodological gzrideline. Paris, Prance: UNESCO.

