

ارائه روشی به منظور ارزیابی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی نسبت به مصرف سموم و آفت کش ها^(۱)

مسعود تجریشی، (استادیار)، احمد ابریشمچی (دانشیار)
سیدرضا موسوی (مربی)، محسن تفضلی (استادیار)، علی اصغر اعلم الهدی (دکتری)
میترا توفیق (کارشناس ارشد محیط زیست)، فریا پورکاشانی (کارشناسی)

چکیده

آب زیرزمینی یکی از منابع با ارزش آب کره زمین است و در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک، تنها منبع مطمئن آب به شمار می رود. یکی از مزایای منابع آب زیرزمینی در مقایسه با منابع آب سطحی این است که کمتر در معرض آلودگی قرار دارد. لکن فعالیتهای انسان در بخشهای کشاورزی، شهری و صنعتی، عامل تهدید کننده این منابع از ابعاد کمیت و کیفیت است.

توسعه کشاورزی و عدم مدیریت صحیح آن می تواند موجب آلودگی منابع آب زیرزمینی ناشی از مصرف انواع کودها و سموم کشاورزی شود. آلودگی آب زیرزمینی به نترات در مناطق کشاورزی، از دیرباز موجب توجه و نگرانی محققان و کارشناسان منابع آب بوده و تحقیقات زیادی در این زمینه صورت گرفته است. آلودگی آبهای زیرزمینی به سموم کشاورزی (آفت کشها و علف کشها)، به ویژه آفت کشها، موضوعی است که بیشتر در سه دهه اخیر در جهان به خصوص در آمریکا مورد توجه قرار گرفته است.

آلودگی آبهای زیرزمینی به آفت کشها به ویژه در مناطقی که از سفره های آب زیرزمینی برای مصارف شهری (شرب و ...) استفاده می شود، می تواند برای سلامت انسان مخاطره آمیز باشد. استفاده صحیح و مناسب از آفت کشها در کشاورزی به طوری که موجب آلودگی آب زیرزمینی نشود، مستلزم شناخت چگونگی انتقال این آلاینده ها به آب زیرزمینی و نیز ارزیابی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی به آلودگی آفت کشها است. در این مقاله ضمن معرفی یک روش ساده که با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای یکی از دشتهای کشاورزی کشور مورد استفاده قرار گرفت، می توان مناطق مختلف کشور را از لحاظ حساسیت به آلودگی سموم طبقه بندی و پهنه بندی نمود. با اینگونه مدل سازی ها می توان پیشنهادات مدیریتی را ارائه داده و اثرات آنها بر تغییر حساسیت دشت به آلودگی سم را مورد بررسی و ارزیابی دوباره قرار داد.

کلمات کلیدی: مدل سازی حرکت سم، ارزیابی حساسیت آسیب پذیری، آلودگی آبهای زیرزمینی

مقدمه

مصرف سموم و آفت کش ها خطری مسلم برای منابع آبهای زیرزمینی در کشور و نیز خطری بزرگ برای بهداشت و سلامت جامعه تلقی می شوند. با توجه به منابع موجود ثبت شده، بیش از ۱۵۰ قلم از سموم دفع آفات گیاهی و موجودات موذی خانگی به عنوان سموم مجاز در کشور به ثبت رسیده اند. متوسط میزان مصرف در دهه ۶۰ و ۷۰ در کشور حدود ۴۸ و ۲۸ هزار تن در سال گزارش

۱- این مقاله حاصل تحقیقات نگارندگان در چارچوب پروژه "ارائه روشی به منظور ارزیابی حساسیت پذیری دشتهای کشاورزی به مصرف سموم و آلودگی آبهای زیرزمینی در کشور" می باشد.



شده که در حال حاضر سالانه بیش از ۳۰۰ میلیون دلار ارزش صرف وارد کردن این سموم ساخته شده و یا ماده مؤثر اولیه آن می‌گردد. این میزان مصرف بی‌رویه سم و آفت‌کش‌ها توسط بخش کشاورزی در کشور و نیز آلوده شدن خاک و آبهای زیرزمینی ناشی از این مصرف، و با در نظر گرفتن آنکه هنوز بیش از ۷۰ درصد آب شرب کشور توسط آبهای زیرزمینی تأمین می‌گردد، ارائه روشی به منظور ارزیابی حساسیت دشت‌های کشاورزی به مصرف سموم و آلودگی آبهای زیرزمینی کشور بسیار مهم بوده و نتیجه اینگونه ارزیابی‌ها کمک زیادی به مسئولین وزارت نیرو، وزارت کشاورزی، سازمان حفاظت محیط‌زیست و وزارت بهداشت و درمان برای حذف بعضی از سموم و یا ارائه روشهای مدیریتی برای کاهش اینگونه آلودگی‌ها خواهد نمود.

مصرف سرانه سموم ضد آفات نباتی در کشور حدوداً نیم کیلوگرم در سال می‌باشد. این میزان مصرف می‌تواند باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، بروز معلولیت‌های مادرزادی، سرطان و موتاسیون ژن‌ها شوند. در مازندران که بیش از یک سوم سم مصرفی کشور در آنجا مورد مصرف کشاورزان قرار می‌گیرد، بیشترین میزان سرطان‌های گوارشی و تنفسی ثبت گردیده است [1]. در بندر کیشهر در استان گیلان که یکی از بنادر مهم شیلاتی کشور محسوب می‌گردد، باقیمانده بعضی از آفت‌کش‌ها در آب در بعضی موارد تا بیش از ۳۰۰ برابر حد مجاز گزارش گردیده است [2]. مصرف اینگونه آبها برای شرب و مصرف آبریان توسط اهالی، هشدارری به سلامتی انسانها و محیط‌زیست می‌باشد.

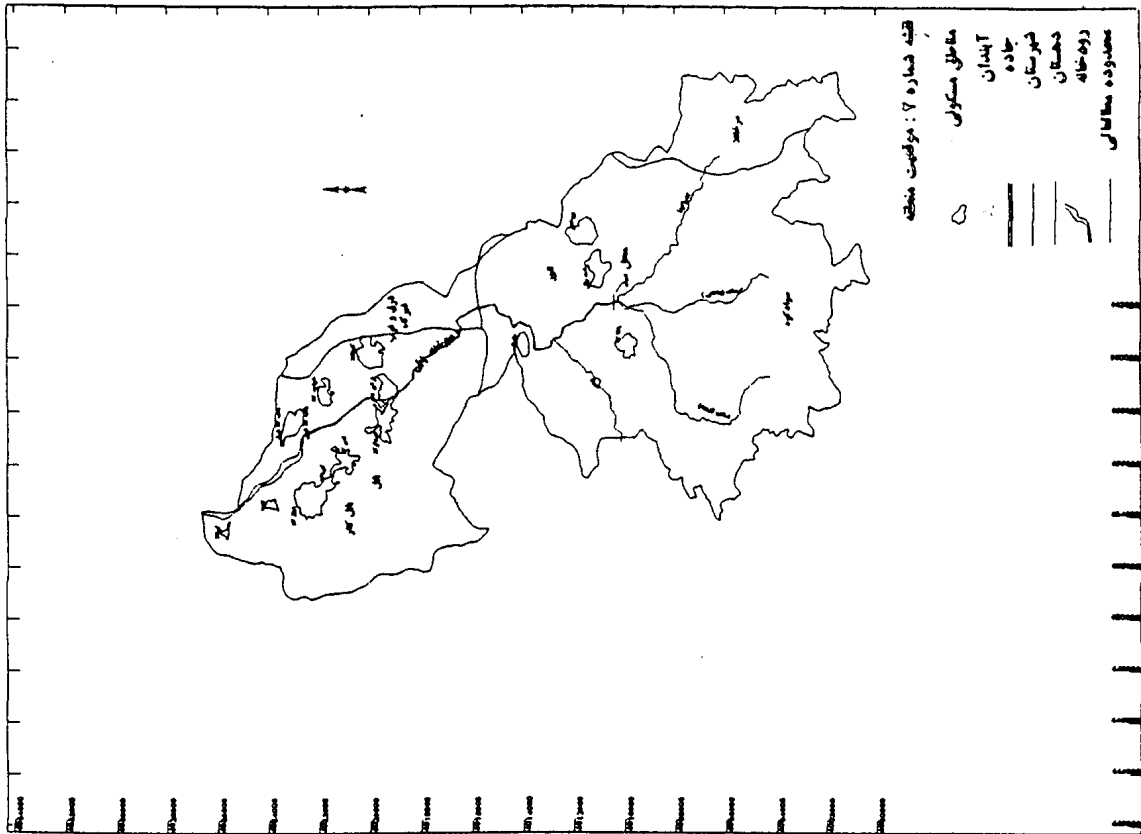
ارائه روشهای مناسب برای پهنه‌بندی پتانسیل آلودگی آبهای زیرزمینی ناشی از مصرف سموم و آفت‌کش‌ها در دشت‌های کشاورزی با استفاده از مدل‌های ذهنی، فیزیکی و تجربی، و با کمک نرم‌افزار سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) از اهداف اجرای این طرح پژوهشی می‌باشد. در ابتدا کلیه سمومی که در داخل کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد، شناسائی و خصوصیات هر سم شامل ضریب جذب کربن آلی (K_{oc})، ضریب توزیع سم در محیط (K_d)، حلالیت سم در محیط آبی، ثابت هنری، تراکم بخار اشباع سم، ضریب انتشار سم در محیط گازی، نیمه عمر، نیمه عمر هیدرولیز، نیمه عمر اکسیداسیون و نرخ تجزیه سم بر روی گیاهان با استفاده از بانک‌های اطلاعاتی، گزارشات فنی و مقالات علمی ثبت گردید [3]. سپس ضمن انتخاب یک دشت مهم کشاورزی که طرح‌های توسعه منابع آب نیز در آن دیده شده (احداث سد) و منابع آب زیرزمینی آن به مصرف شرب می‌رسد، و با استفاده از شاخص‌های مناسبی که برای سموم می‌توان بدست آورد و اطلاعات خاکشناسی موجود و به کمک نرم‌افزار (GIS) مناطق مختلف این دشت از لحاظ حساسیت به آلودگی سموم طبقه‌بندی و پهنه‌بندی گردیده است.

منطقه مطالعاتی

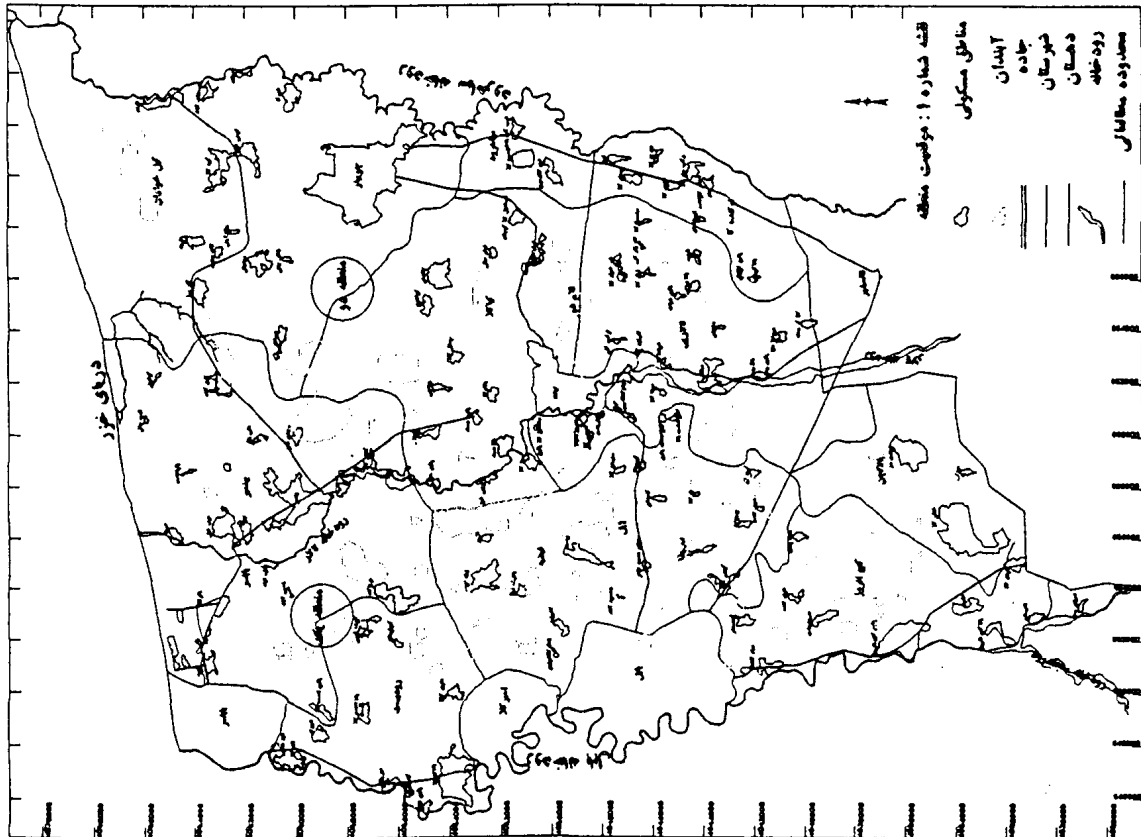
منطقه مطالعاتی در استان مازندران واقع و از شمال به دریای خزر، از جنوب به سلسله جبال البرز، از شرق به رودخانه سیاهرود و از غرب به رودخانه بابل محدود است (نقشه شماره ۱ و ۲). حداقل ارتفاع منهای ۲۵ متر از سطح دریاهای آزاد و در حاشیه دریاچه خزر و حداکثر آن ۷۰ متر است. شیب متوسط منطقه مطالعاتی کمتر از ۱ درصد و جهت آن از جنوب به شمال به سمت دریای خزر است. اقلیم این منطقه نیمه گرمسیری و مرطوب با تابستانهای گرم و مرطوب و زمستانهای ملایم می‌باشد. میزان بارندگی سالیانه تقریباً ۱۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد که بیشترین میزان این بارندگی در اواخر تابستان و پاییز بوقوع می‌پیوندد. حداکثر دما در تیرماه معادل ۲۹ و حداقل آن در دی‌ماه برابر ۱ درجه سانتیگراد ثبت شده است. منابع آبهای سطحی این منطقه شامل آب‌بندانها و رودخانه‌های بابل، تالار و سیاهرود می‌باشند. آب‌بندانها که تعداد آنها ۷۲ عدد و مساحت آنها ۳۲۴۰ هکتار می‌باشد، بمنظور ذخیره‌سازی آب و استفاده از آن در دوره کشت شالی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. تنها زراعت آبی منطقه به کشت شالی اختصاص یافته که از ۵۴۵۸۲ هکتار وسعت اراضی کشاورزی، ۶۷ درصد از اراضی کشاورزی را به خود اختصاص داده است. مابقی اراضی شامل اراضی دیم (۲۴ درصد) و باغات (۹ درصد) می‌باشد.

ارزیابی منطقه‌ای آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی

آسیب‌پذیری آب زیرزمینی به آلودگی را می‌توان به عنوان کشش یا احتمال رسیدن آلاینده‌ها به محل مشخصی (محل مرجع) در سیستم آب زیرزمینی پس از اعمال و کاربرد آلاینده در نقاطی در بالای سفره تعریف کرد. روشهای ارزیابی آسیب‌پذیری خیلی متنوع بوده که ساده‌ترین آنها روشهای تجربی و پیچیده‌ترین آنها، مدل‌های شبیه‌سازی است.



نقشه شماره ۲: موقعیت منطقه



نقشه شماره ۱: موقعیت منطقه



روشهایی که امروزه برای ارزیابی آسیب پذیری استفاده می شوند را در سه گروه زیر می توان طبقه بندی کرد [3]:

- (۱) روشهای همپوشانی و شاخص،
- (۲) روشهای مبتنی بر مدل های شبیه سازی و
- (۳) روشهای آماری.

این روشها در وسعتهای متفاوتی از چند هکتار تا کل یک کشور استفاده شده اند و به میزان متفاوتی متکی بر دانش و شناخت فرآیندها و عوامل مؤثر بر رفتار و سرانجام آفت کشتها در محیط هوازی می باشند.

معمولاً، روشهای همپوشانی و شاخص و نیز روشهای آماری در مقیاس های نقشه کوچکتر از ۱:۵۰۰۰۰ (یعنی مناطق بزرگ مطالعاتی) استفاده می شوند، در حالی که روشهای مبتنی بر مدل های شبیه سازی در مقیاس های نقشه خیلی بزرگتر (یعنی مناطق کوچکتر مطالعاتی) استفاده می شوند. اولین حرکتها در ارزیابی آسیب پذیری از طریق همپوشانی نقشه های کاغذی به طور دستی صورت گرفته است؛ لکن در دو دهه اخیر، معرفی سیستم اطلاعات جغرافیایی، (GIS) موجب تسهیل و رواج کاربرد کامپیوتر و نقشه های رقومی و پایگاه داده ها شده است. با استفاده از متصل GIS همچنین می توان مدل های شبیه سازی را به پایگاه داده های منطقه ای متصل کرد و نیز نتایج و ستاده های مدل را به صورت ترسیمی نمایش داد.

روشهای همپوشانی و شاخص

روشهای همپوشانی و شاخص از خصوصیات و ویژگیهای مکانی متفاوتی از یک منطقه (مانند عمق سطح ایستابی، نوع خاک، زمین شناختی و تغذیه خالص) استفاده می کند. برای بهبود نتایج روش همپوشانی، روشهای جدید همپوشانی توسعه یافته است. در این روشها برای منظور کردن اهمیت هر ویژگی، وزنه های عددی و نمره به هر کدام داده می شود.

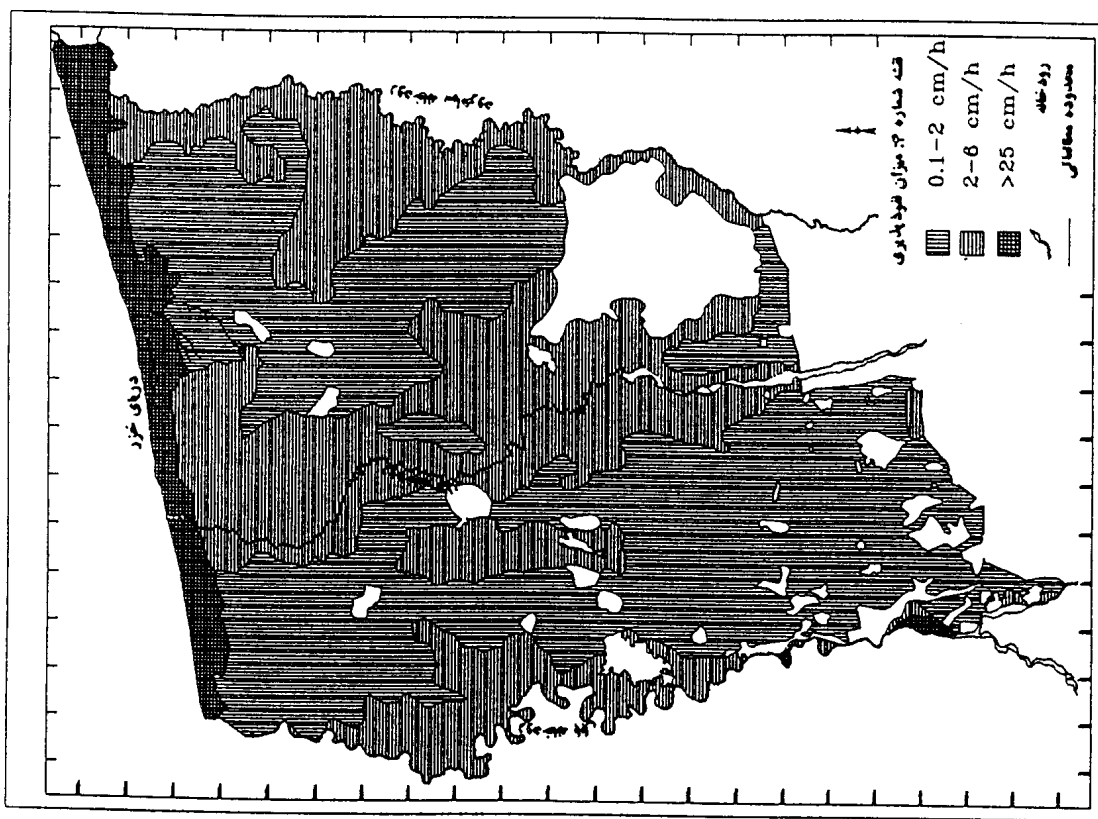
مدل DRASTIC که توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در اواخر دهه ۸۰ میلادی عرضه شد، با ارائه ارزش عددی و امتیازدهی به هر خصوصیت در شناخت اهمیت نسبی حساسیت اظهار نظر می گردد (فاصله تا سطح سفره آب زیرزمینی، آهنگ تغذیه، نوع محیط آبدار، بافت خاک، توپوگرافی، اثر نوع بافت خاک در ناحیه غیر اشباع و سرعت نفوذ آب در محیط متخلخل) [4]. بیشترین مقدار شاخص DRASTIC نشاندهنده حساسترین منطقه می باشد. این شاخص را می توان به چهار دسته تقسیم نمود: کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد. مناطق با آسیب پذیری زیاد و خیلی زیاد دارای حساسیت بالا نسبت به آلودگی هستند و بایستی مدیریت دقیق تری نسبت به منطقه اعمال شود.

در این روش فاصله تا سطح سفره آب زیرزمینی و محیط خاک دارای بیشترین امتیاز و سرعت حرکت آب در آبخوان دارای کمترین امتیاز از بعد استفاده از این مدل در مورد سموم می باشد. در این روش پارامترهای محیط بصورتی مورد استفاده قرار گرفته اند که در هر مکان با دقت و سهولت لازم قابل تعیین می باشند. لحاظ جنبه های زمین شناسی و جغرافیائی خاص منطقه از خصوصیات تست این روش است از محدودیت های این روش، در نظر نگرفتن خصوصیات فیزیکی و شیمیائی سم و آفت کش مورد مصرف می باشد.

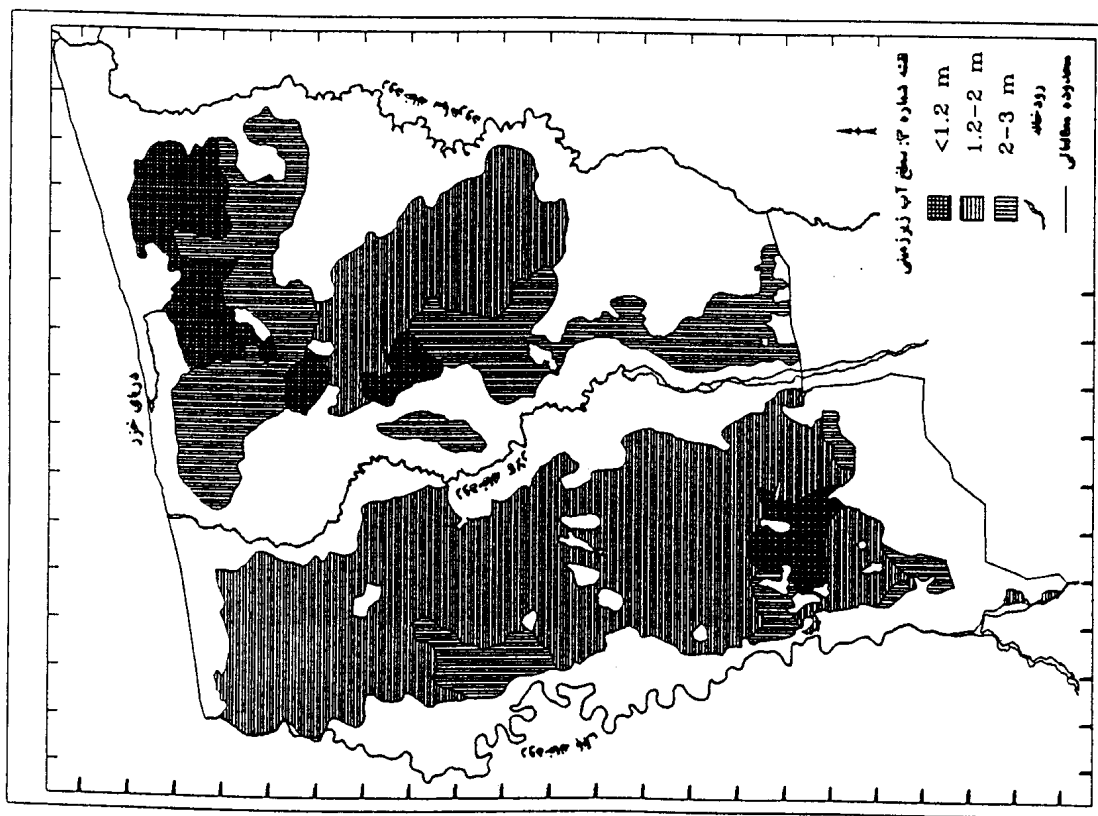
به طور کلی، آسیب پذیری آبهای زیرزمینی بستگی به نوع آلاینده نیز دارد. روشهای همپوشانی نوع مشخص آلاینده را در نظر نمی گیرند؛ از اینرو، محدودیت و ضعف بزرگی برای روشهای همپوشانی و شاخص در ارزیابی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی است. نقشه های شماره ۳ الی ۸، کاربرد این روش را در منطقه مطالعاتی سد پاشاکلا و محدوده رودخانه های بابلرود - تالار - سیاهرود نشان می دهد.

مدلهای شبیه سازی

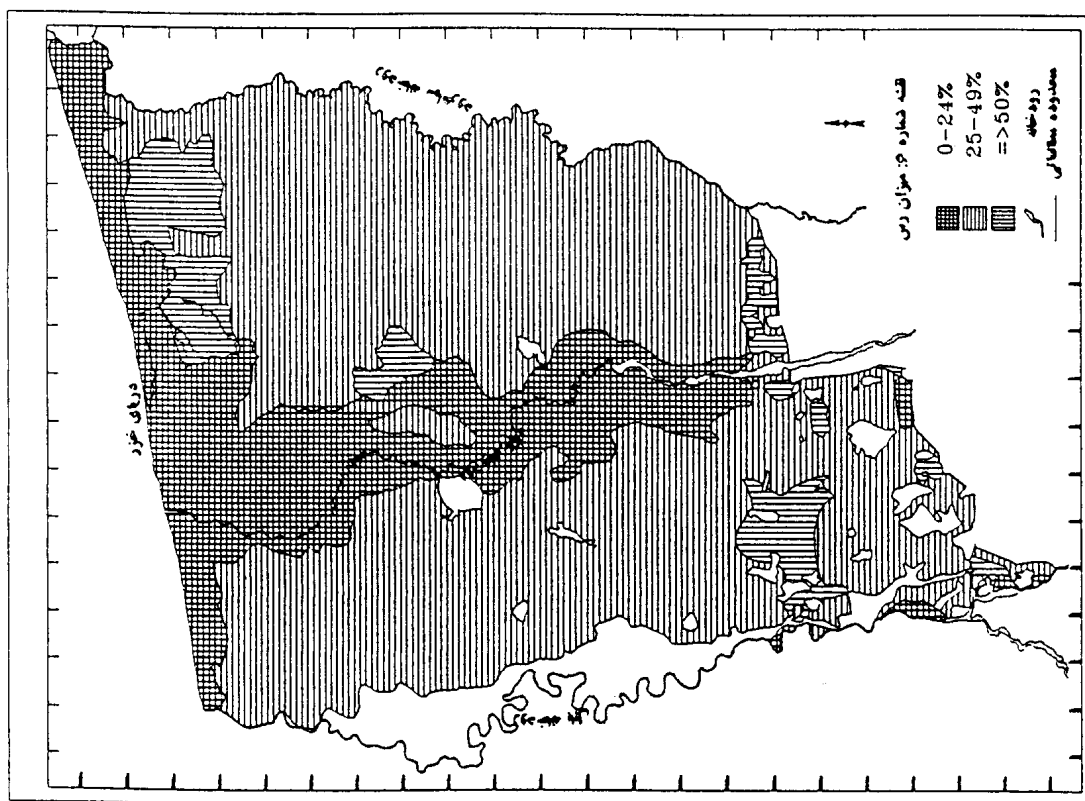
مدلهای شبیه سازی با پیچیدگی مفهومی متفاوتی برای ارزیابی آسیب پذیری منابع آب زیرزمینی به کار می رود. انتخاب مدل مناسب بستگی به داده های موجود، وسعت منطقه و استفاده های مورد نظر از ارزیابی آسیب پذیری دارد. پارامترهای نهاده مورد نیاز مدل را می توان از نقشه های موجود (مانند نقشه های خاکشناسی) و پایگاه داده های موجود، مثل خصوصیات خاک و زمین شناسی که در اختیار سازمانهایی مثل اداره خاکشناسی، سازمان زمین شناسی و داده های آب و هوایی که توسط سازمان هواشناسی منتشر می شود، به دست آورد.



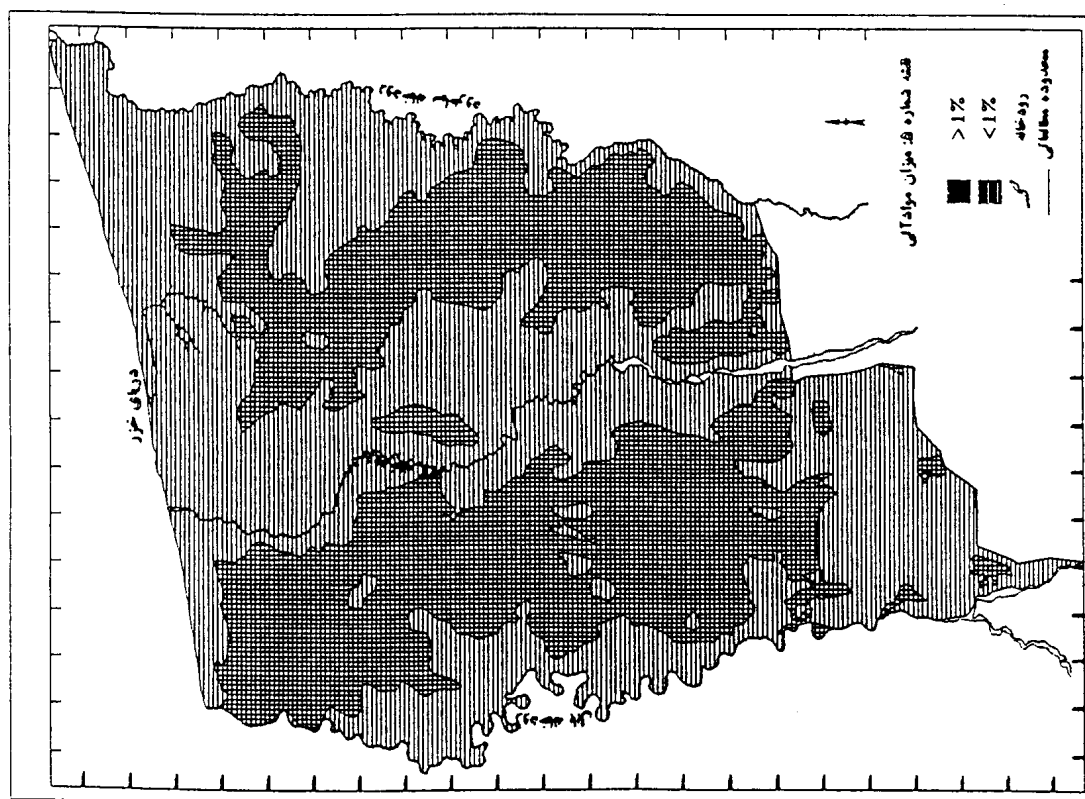
نقشه شماره ۴: میزان نفوذپذیری



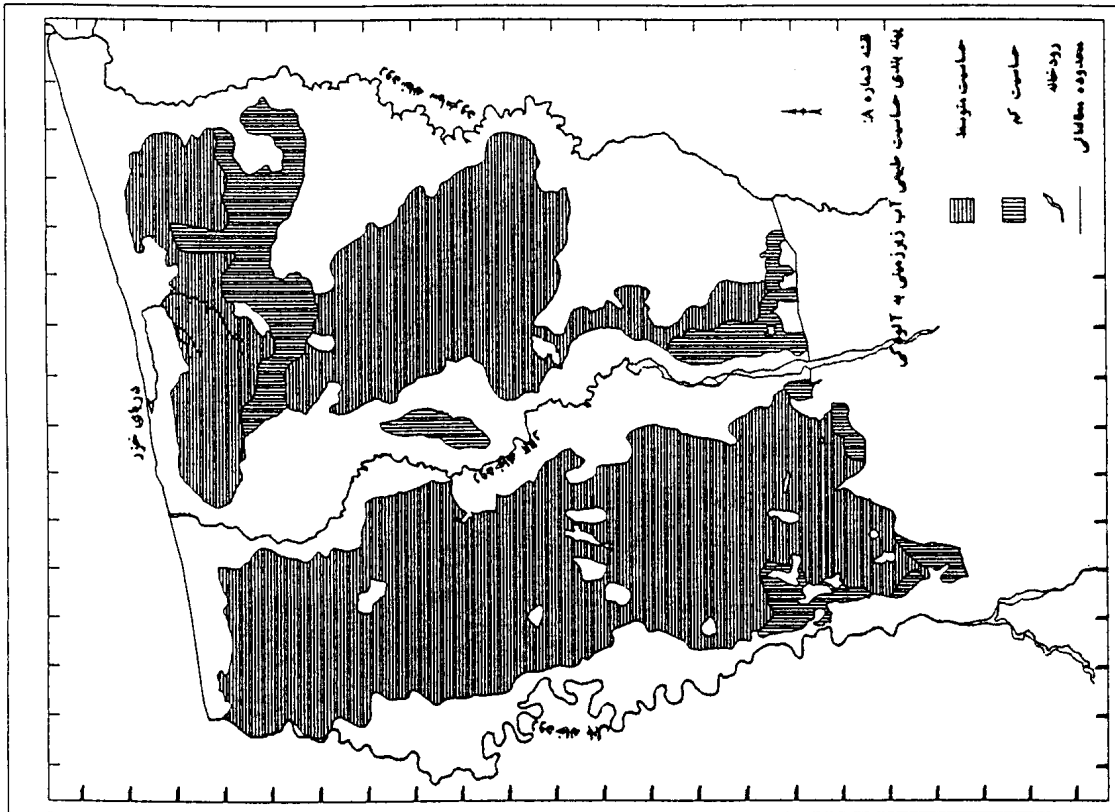
نقشه شماره ۳: سطح آب زیرزمینی



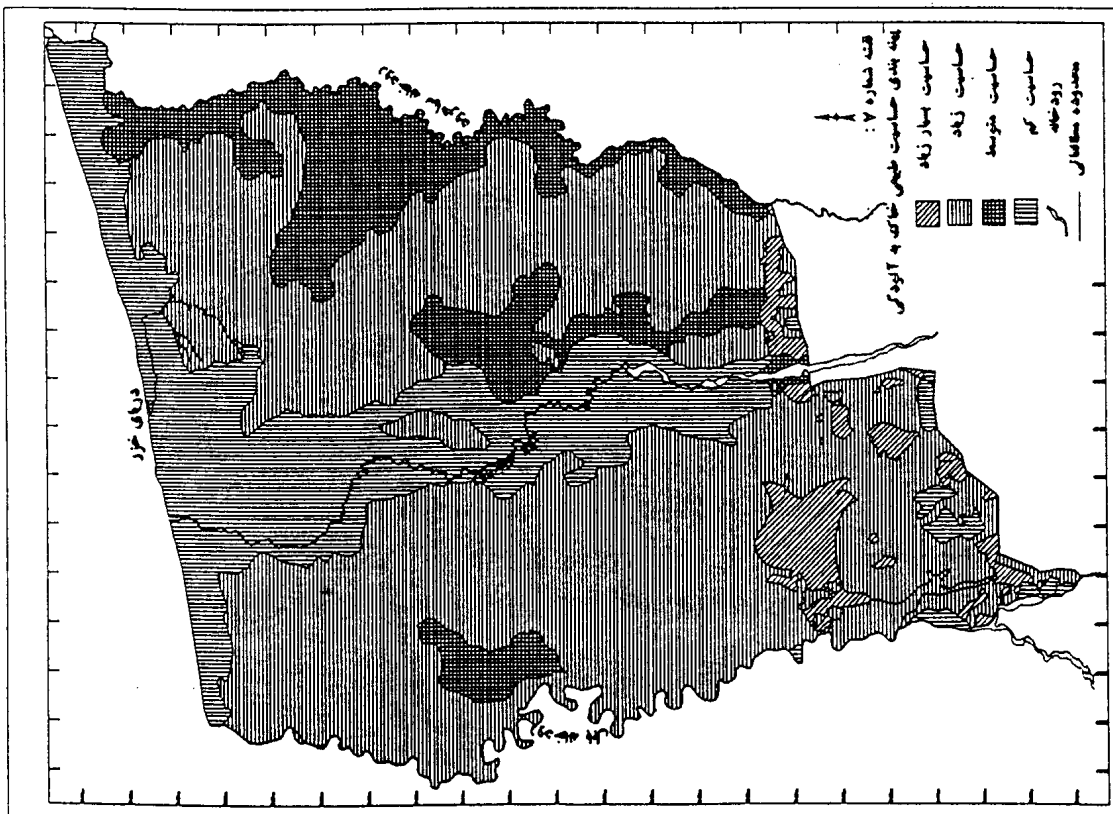
نقشه شماره ۱۶: میزان ریس



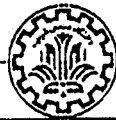
نقشه شماره ۱۵: میزان مواد آلی



نقشه شماره ۸: پهنه‌بندی حساسیت طبیعی آب زیرزمینی به آلودگی



نقشه شماره ۷: پهنه‌بندی حساسیت طبیعی خاک به آلودگی



Rao و Wagnet مرور جامعی بر شیوه‌های رایج و امروزی مدل‌سازی کرده‌اند [5]. Pennel و همکاران برآوردهای پنج مدل شیبه‌سازی را با مجموعه داده‌های مشابه مقایسه کرده‌اند، ایشان چنین نتیجه گرفته‌اند که هر پنج مدلی که آزمایش شده‌اند موقعیت مرکز جرم مواد محلول و میزان جرم باقیمانده در پروفیل خاک را در حدود ۵۰ درصد مقدار واقعی و توزیع غلظت مواد محلولی در پروفیل خاک را با دقت خیلی کمتر برآورد می‌کنند [6].

با توجه به گستردگی مناطق مورد ارزیابی و غیریکنواختی خصوصیات منطقه، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش مفیدی پیدا کرده و محققان با متصل کردن مدل‌های شیبه‌سازی به GIS، مطالعات ارزیابی آسیب‌پذیری را انجام می‌دهند. مثالهایی از اینگونه مدل‌سازی عبارتند از: (۱) مدل LEACH که برای ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه‌ای به وسعت ۷۰ کیلومتر مربع در نیویورک به کار رفته است [7] و (۲) مدل CMLS که برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری منطقه‌ای به وسعت ۱۰۷ کیلومتر مربع در فلوریدا استفاده شده است [8].

به طور کلی و به عنوان یک اصل می‌توان گفت که میزان و تنوع داده‌های مورد نیاز برای مدل‌های شیبه‌سازی با افزایش درجه پیچیدگی مفهومی مدل‌ها، افزایش یافته به طوری که خیلی سریع با کمبود داده‌ها در مقیاس منطقه‌ای مواجه می‌شویم. این حقیقت موجب شده است که استفاده از "شاخصها" مثل "عامل تضعیف" (Attenuation Factor) و "ضریب تأخیر" (Retardation Factor) برای تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری منطقه‌ای بیشتر رایج و توجیه‌پذیر شود. این شاخصها که توسط راو و همکارانش در اواخر دهه ۸۰ میلادی ارائه گردید براساس مدل‌های مبتنی بر فرآیندها به دست آمده‌اند، که می‌توان سموم و آفت‌کشها را براساس توان آلوده‌سازی آبهای زیرزمینی طبقه‌بندی کرد [9]. علیرغم سادگی آنها، این شاخصهای مبتنی بر فرآیندها می‌توانند ترکیب و وزن‌دهی مناسب‌تری از صفات و ویژگیها نسبت به شاخصهای تجربی مثل شاخص DRASTIC ارائه کنند. در این روش اضافه بر خصوصیات فیزیکی خاک و محیط ($d, \theta_{fc}, q, \rho_b, f_{oc}$) دو خصوصیت سم و آفت‌کش یعنی ($k_{oc}, t_{1/2}$) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$AF = \exp \left[\frac{-0.693 d RF \theta_{fc}}{q t_{1/2}} \right] \quad (1)$$

$$RF = \left[1 + \frac{\rho_b f_{oc} k_{oc}}{\theta_{fc}} \right] \quad (2)$$

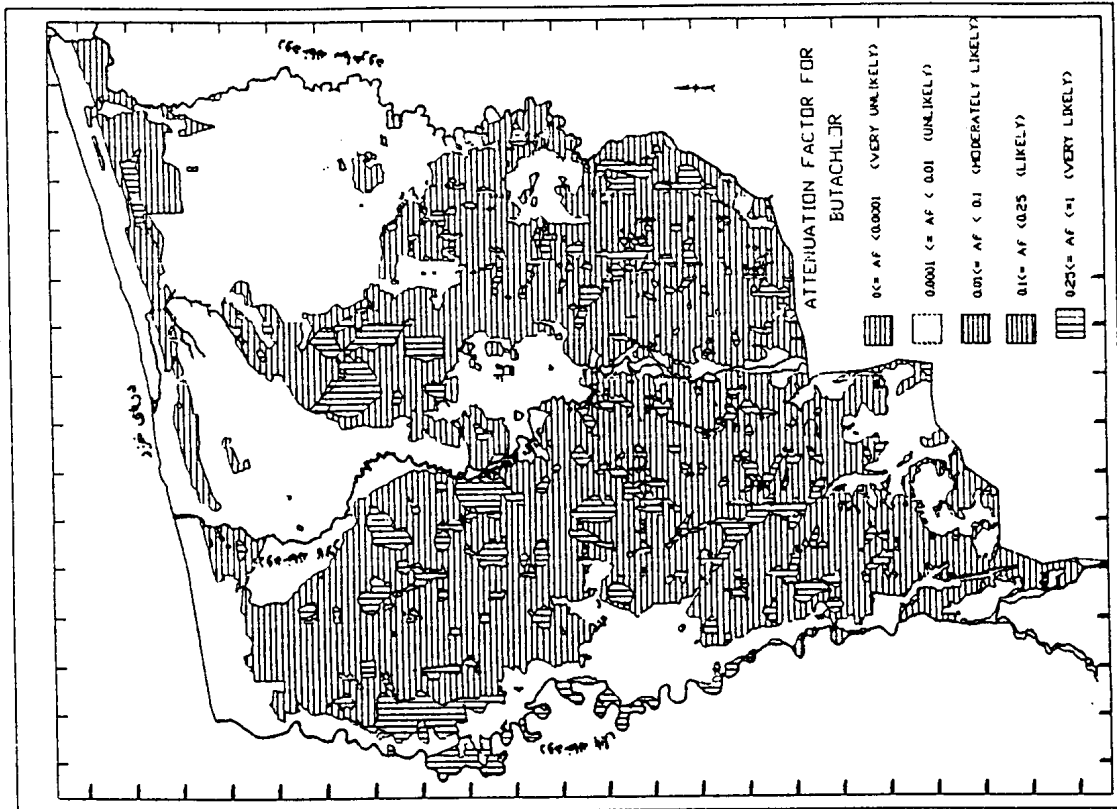
که در این معادلات:

d = فاصله تا آب زیرزمینی (m)، θ_{fc} = میزان رطوبت در ظرفیت زراعی خاک (حجمی)، q = میزان تغذیه آب زیرزمینی (cm/day)، $t_{1/2}$ = نیمه عمر سم (روز)، ρ_b = چگالی خاک (gm/cm^3)، f_{oc} = مواد آلی در خاک (درصد) و k_{oc} = ضریب جذب کربن آلی سم (mL/gm) می‌باشد.

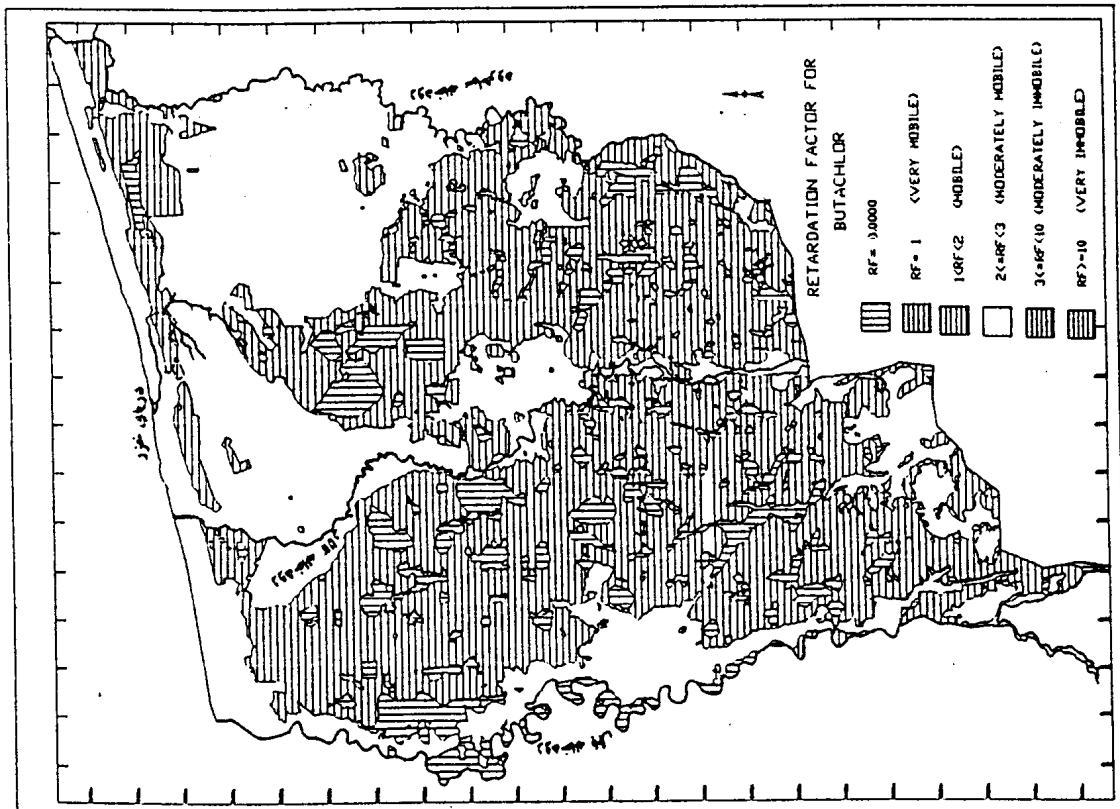
نقشه شماره ۹ و ۱۰، کاربرد این نگرش را در منطقه مطالعاتی سد پاشاکلا و محدوده رودخانه‌های بابلرود - تالار - سیاهرود نشان می‌دهد. در این نقشه با توجه به خصوصیات فیزیکی خاک و محیط ($d, \theta_{fc}, q, \rho_b, f_{oc}$) و با توجه به استفاده از سم بوتاکلره در این منطقه، نقشه GIS آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی این منطقه پهنه‌بندی گردیده است. لازم به ذکر است که این سم با توجه به اثرات بسیار بد آن بر انسان (سرطان‌زا بودن) دردناک منسوخ گردیده ولیکن توسط پتروشیمی‌اراک در سطح بسیار زیادی در حال تولید و فروش می‌باشد. Khan و Liang از شاخصهای AF و RF همراه با GIS برای تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری جزایر متعددی در هاوایی استفاده کرده‌اند [10]. در مطالعه دیگری، Meeks و Dean شاخصی از پتانسیل آبخویی (LPI) برای تهیه نقشه منطقه‌ای به وسعت ۱۰۰۰ کیلومتر مربع در دشت سن‌واکین در کالیفرنیا مرکزی استفاده کرده‌اند [11]. بنیان مفهومی LPI اساساً معادل بنیان مفهومی AF است.

روشهای آماری

گروه سوم روشهای ارزیابی آسیب‌پذیری، مبتنی بر روابط آماری بین داده‌های کیفیت آب و متغیرهایی مثل عمق سطح ایستابی، خصوصیات خاک و میزان مصرف آفت‌کش است. به عنوان مثالهایی از روشهای آماری، می‌توان به دگرسیون چندمتغیره و تحلیل تشخیص اشاره کرد [12]. در این روشها، براساس اصول آمار، وزنهای عددی به ویژگیهای مختلف مکانی منطقه اختصاص داده می‌شود. لازمه توسعه چنین روشهایی، داده‌های پایش آبهای زیرزمینی است.



نقشه شماره ۹: پهنه‌بندی AF برای سم بوتاکلره در منطقه مطالعاتی



نقشه شماره ۱۰: پهنه‌بندی RF برای سم بوتاکلره در منطقه مطالعاتی



نتیجه گیری

در این مقاله بمنظور تعیین حساسیت پذیری دشتهای کشاورزی و پهنه بندی آلودگی خاک و آبهای زیرزمینی به علت مصرف سموم و آفت کشها، با توجه به پیشرفت علوم زمین شناختی و زیست محیطی، سه نگرش ارائه گردید. کاربرد این روشها در منطقه مطالعاتی سد پاشاکلا و محدوده رودخانه های بابلرود - تالار - سیاهرود با کمک نرم افزار اطلاعات جغرافیایی (GIS) جهت نقشه های آسیب پذیری دشت نشان داده شد. با این روشهای مدلسازی می توان ضمن ارائه پیشنهادات مدیریتی و بررسی اثرات آنها بر تعیین حساسیت دشت به آلودگی، دشت های مهم کشاورزی در کشور را که نسبت به انتقال سموم و آفت کشها به آبهای زیرزمینی از حساسیت بیشتری برخوردار هستند را شناسایی نموده تا توجه بیشتری به نوع و میزان سم و آفت کش مصرفی توسط کشاورزان و سازمانهای مسئول مبذول گردد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر بصورت خلاصه حاصل از طرح تحقیقاتی مصوب معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف است. برخورد لازم می دانیم تا از حمایت های معاونت محترم پژوهشی دانشگاه سپاسگذاری نماییم. همچنین از سرکار خانم خیرآبادی که تایپ این گزارش را به عهده داشته اند صمیمانه تشکر می شود.

مراجع

۱. غلامی، محمدعلی. ۱۳۷۱. بررسی علل افزایش ابتلا به بیماری سرطان معده و مری. مجله نامه دانشگاه علوم پزشکی ایران.
۲. یزدان شناس. ۱۳۷۶. بررسی باقیمانده سموم کشاورزی در آب. مجله آب و محیط زیست، شماره ۲۴.
۳. تجریشی، مسعود و همکاران. ۱۳۷۸. گزارش فنی ارائه روشی بمنظور بررسی ارزیابی آسیب پذیری آبهای زیرزمینی نسبت به مصرف سموم و آفت کشها در ایران. دفتر مطالعات آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
4. Aller, Linda, T. Bennett, J. H. Lehr, R. J. Petty, and G. Hackett. DRASTIC-A Standardized System for Evaluating Ground-Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings. Ada, OK. U.S. Environmental Protection Agency Report 600/2-87/035. 1987.
5. Wagenet, R.J., and P.S.C. Rao. Modeling pesticide fate in soils. In Pesticides in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modeling, ed. H.H. Cheng, Madison, WI. Soil Science Society of America. 1990. pp.351-99.
6. Pennell, K.D., A.G. Hornsby, R.E. Jessup, and P.S.C. Rao. Evaluation of five simulation models for predicting Aldicarb and Bromide behavior under field conditions. Water Resources Research No. 26(11): 1990. pp. 2679-93.
7. Petach, M.C., R.J. Wagenet, and S.D. DeGloria. Regional water flow and pesticide leaching using simulations with spatially distributed data. Geoderma. 1991. 48: pp. 245-69.
8. Rao, P.S.C., and A.G. Hornsby. Behavior of Pesticides in Soils and Water. Gainesville, FL. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida Soil Science Fact Sheet SL-40 (revised). 1989.
9. Rao, P.S.C., and A.G. Hornsby, and R.E. Jessup. Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater. Proceedings, Soil and Crop Science Society of Florida. 1985. 44: pp. 1-8.
10. Khan, M.A., and T. Liang. Mapping pesticide contamination potential. Environmental Management No. 13(2): 1989. pp. 233-42.
11. Meeks, Y.J., and J.D. Dean. Evaluating ground-water vulnerability to pesticides. Journal of Water Resources Planning and Management No. 116(5): 1990. pp. 693-707.
12. Teso, R.R., T. Younglove, M.R. Peterson, D.L. Sheeks III, and R.E. Gallavan. Soil taxonomy and surveys: Classification of areal sensitivity to pesticide contamination of groundwater. Journal of Soil and Water Conservation No. 43(4): 1988. pp. 348-52.