

Evaluating Groundwater Pollution Potential to Select the Optimal Landfill Site in Karun County

Masoud Safaeepour¹, Ali Akbar Babaei², Mahmud Abiyat^{3*}, Mohammad abiyat⁴

1. Professor of Geography and Urban Planning, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. Associate Professor of Environmental Health Engineering, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran
3. MSc Holder in Geography and Rural Planning, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. MSc Holder in Natural Resources Engineering- Environment (Land Use Planning and Assessment), Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran (Khuzestan), Ahvaz, Iran

(Received: August 4, 2020; Accepted: October 12, 2020)

Abstract

The increasing population growth along with human activities has led to the booming of waste production. The selection of inappropriate landfill sites contributes to the increased potential of underground pollutions. The purpose of this study was to zone the underground water vulnerabilities of Karun County in Khuzestan Province to select the optimal landfill site, so that a site with the least vulnerability of aquifer would be selected for waste disposal. Two models were used to zone the aquifer pollution potential, namely GODS and SINTACS. After preparing the vulnerability maps of the two models in GIS software, the appropriateness levels of the sites for waste disposal were prioritized. The results of SINTACS model demonstrated the following vulnerability statistics: 455.22 hectares have no vulnerability potential, 780.84 hectares very low vulnerability, 3281.31 hectares low vulnerability, 12582.4 hectares low to medium vulnerability, 11169.9 hectares medium to high vulnerability, 9449.6 hectares high vulnerability, 5844.15 hectares very high vulnerability, and 495.72 hectares totally at vulnerability risk. Moreover, in GODS model, nearly 215.576 hectares have negligible vulnerability, 560.544 hectares low vulnerability, 5169.08 hectares medium vulnerability, 37471.9 hectares high vulnerability, and 641.9 hectares very high vulnerability. In both models, the least vulnerable zones comprise a small part of the area (1.03 percent in SINTACS and 0.49 percent in GODS model). This level can be selected as the optimal landfill site (rank 1), while other zones are ranked lower due to their higher aquifer vulnerability levels.

Keywords

Aquifer vulnerability, SINTACS, GODS, Landfill location, Karun County.

* Corresponding Author, Email: mahmud.abiyat@gmail.com

ارزیابی امکان آلودگی آب‌های زیرزمینی جهت انتخاب مکان بهینه دفن پسماند در شهرستان کارون

مسعود صفایی‌پور^۱، علی‌اکبر بابایی^۲، محمود عبیاتی^{۳*}، محمد عبیاتی^۴

۱. استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲. دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی جندی‌شاپور اهواز، اهواز، ایران
۳. کارشناس ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴. کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران (خوزستان)، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۴ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱)

چکیده

رشد فزاینده جمعیت در کنار فعالیت‌های انسانی باعث افزایش تولید پسماند شده است. انتخاب مکان‌های نامناسب دفن پسماند امکان آلودگی آب‌های زیرزمینی را افزایش می‌دهد. هدف از این مطالعه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در شهرستان کارون در استان خوزستان جهت انتخاب مکان بهینه دفن پسماند بود؛ طوری که مکانی با کمترین آسیب‌پذیری آبخوان جهت دفن پسماند انتخاب شود. جهت پهنه‌بندی امکان آلودگی آبخوان از دو مدل سینتکس^۱ و گادس^۲ استفاده شد. پس از تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری دو مدل در نرم‌افزار GIS، میزان تناسب اراضی جهت دفن پسماند اولویت‌بندی شد. نتایج نشان داد در مدل سینتکس حدود ۴۵۵/۲۲ هکتار از منطقه در محدوده آسیب‌پذیری بدون خطر آلودگی، ۷۸۰/۸۴ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم، ۳۲۸۱/۳۱ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۱۲۵۸۲/۴ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری کم تا متوسط، ۱۱۱۶۹/۹ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد، ۹۴۴۹/۴۶ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری زیاد، ۵۸۴۴/۱۵ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد، و ۴۹۵/۷۲ هکتار در محدوده کاملاً مستعد برای آلودگی قرار دارد. همچنین در مدل گادس حدود ۲۱۵/۵۷۶ هکتار از منطقه در محدوده آسیب‌پذیری قابل اغماض، ۵۶۰/۵۴۴ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۵۱۶۹/۰۸ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری متوسط، ۳۷۴۷۱/۹ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری زیاد، و ۶۴۱/۹ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد. در هر دو مدل کمترین آسیب‌پذیری سطح کوچکی از منطقه را پوشش داده (۱/۰۳ درصد در مدل سینتکس و ۰/۴۹ درصد در مدل گادس) و این سطح به منزله مکان بهینه دفن پسماند (اولویت ۱) انتخاب می‌شود. سایر نواحی، به دلیل آسیب‌پذیری بیشتر آبخوان، در انتخاب مکان دفن پسماند در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

کلیدواژه‌گان

آسیب‌پذیری آبخوان، سینتکس، شهرستان کارون، مکان‌یابی دفن، گادس.

* رایانامه نویسنده مسئول: mahmud.abiyat@gmail.com

مقدمه

رشد فزاینده جمعیت در کنار فعالیت‌های انسانی باعث افزایش میزان تولید پسماند شده است. به‌رغم فشارهای زیاد برای استفاده از روش‌های کاهش مواد زائد جامد، مثل بازیافت و استفاده مجدد از پسماندها، هنوز دفن در زمین گزینه نهایی دفع پسماند در کشورهای در حال توسعه است (یزدانی و همکاران ۱۳۹۳: ۳۲).

دفن پسماندها، به دلیل هزینه پایین در مقایسه با دیگر راهکارهای مدیریتی و همچنین قبول طیف وسیعی از انواع پسماندها، در سطح دنیا یکی از روش‌های متداول است. جهت اجرای صحیح این راهکار نیاز به یافتن محلی مناسب است که کمترین آثار سوء را برای محیط زیست و منابع طبیعی اطراف محل دفن داشته باشد. نیز از نظر اقتصادی کمترین هزینه و از دیدگاه مهندسی بهترین ویژگی را داشته باشد (برومندی و همکاران ۱۳۹۳: ۹۸). نکته‌ای که در این میان می‌توان به آن اشاره کرد این است که آسیب‌پذیری آبخوان‌ها در محل دفن پسماند است (طرح جامع پسماند ۱۳۸۸: ۲۴).

مفهوم آسیب‌پذیری آب زیرزمینی اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ در فرانسه جهت هشدار درباره آلودگی آب ارائه شد (وربا و زاپوروزس^۱، ۱۹۹۴). آسیب‌پذیری منابع آب به معنای امکان نفوذ و انتشار آلاینده‌ها در آب زیرزمینی است (رنگزن^۲ و همکاران، ۲۰۰۸) و معرف استعداد یک سیستم در تأثیرپذیری از عوامل آلوده‌کننده طبیعی و مصنوعی (لی^۳، ۲۰۰۳). آسیب‌پذیری خصوصیتی نسبی، بدون بعد، و غیر قابل اندازه‌گیری است که به شاخصه‌های آبخوان، خصوصیات زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی و هیدرولوژی محیط، افق خاک، تغذیه، توپوگرافی، و غیره بستگی دارد. روش‌های مختلفی تاکنون برای ارزیابی آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی ارائه شده که می‌توان آن‌ها را به سه دسته کلی تقسیم کرد: رتبه‌دهی توصیفی، آماری و تحلیلی، ترکیبی (نیکنام و همکاران ۱۳۸۶). روش رتبه‌دهی توصیفی آسیب‌پذیری ذاتی سفره را بر اساس درجه‌بندی بالا و متوسط و پایین طبقه‌بندی می‌کند و نتایج جهت تصمیمات مدیریتی استفاده

-
1. Vrba & Zaporozec
 2. Rangzan
 3. Lee

می‌شود. از روش‌های مهم رتبه‌دهی می‌توان به گاد^۱ (فوستر^۲، ۱۹۸۷)، ای وی آی^۳ (وان استمپروت^۴ و همکاران، ۱۹۹۳)، دراستیک^۵ (آلر^۶ و همکاران، ۱۹۸۷)، سینتکس (سیویتا^۷، ۱۹۹۴)، ایریش^۸ (دالی و دریو^۹، ۱۹۹۹)، اس آی^{۱۰} (ریبریو^{۱۱}، ۲۰۰۰) اشاره کرد.

آب‌های زیرزمینی به شکل‌های مختلف در معرض آلودگی قرار دارند که تشخیص و کنترل آلودگی در آن‌ها نسبت به آب‌های سطحی مشکل‌تر و پرهزینه‌تر است (سلطانی و همکاران ۱۳۹۶: ۹۰). به علت اینکه حرکت آب‌های زیرزمینی بسیار کند است، بعد از شروع آلودگی باید سال‌ها بگذرد تا آب تحت تأثیر قرار گیرد و آلودگی در چاهی ظاهر شود (رضایی و همکاران ۱۳۸۹: ۸۹). مهم‌ترین آلاینده محل دفن شیرابه ناشی از پسماندهاست (منوری و همکاران ۱۳۸۶: ۱۳۷). شیرابه پسماند جامد در مکان دفن باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی می‌شود (سلیمی و همکاران ۱۳۹۳: ۳۹۵). محل‌های دفن، به‌خصوص محل‌های دفن مواد زائد خطرناک و مواد زائد جامد، باید در مکان‌هایی با آسیب‌پذیری کم آب‌های زیرزمینی قرار داشته باشند. ارزیابی آسیب‌پذیری فرایندی است که طی آن نواحی با آسیب‌پذیری زیادتر و نواحی با آسیب‌پذیری کمتر مشخص می‌شود (وثوق و همکاران ۱۳۸۸: ۱ و ۲).

در وضع موجود عدم مدیریت مناسب پسماندها در منطقه مورد مطالعه، اعم از مواد زائد انسانی و حیوانی و گیاهی، و انتشار آن‌ها در محیط موجب آلودگی آب و خاک و هوا می‌شود و محیط مناسبی را برای رشد و تکثیر انواع ناقلان بیماری‌ها، از جمله حشرات و جوندگان و حیوانات اهلی و وحشی، فراهم می‌آورد. این پسماندها نه تنها باعث تولید بیماری و تعفن و زشتی منظر می‌شوند، بلکه می‌توانند با آلوده کردن خاک و آب و هوا خسارات فراوانی را به وجود

1. GOD
2. Foster
3. AVI
4. Van Stemproot
5. DRASTIC
6. Aller
7. Civita
8. IRISH
9. Daly & Drew
10. SI
11. Ribeiro

آورند. بر اساس آمار به دست آمده از واحد شهر و روستای استانداری خوزستان در سال ۱۳۹۸ مقدار حجم پسماندهای تولیدی در منطقه مورد مطالعه ۵۸۳۹۲ تن بوده است. بازدیدهای میدانی نیز نشان داد ساکنان منطقه پسماندهای تولیدی را، که شامل انواع خانگی تر و خشک و حیوانی است، در محیط رها می کنند و مدیران به صورت ناقص بخشی از این پسماندها را جمع آوری و پس از دپو کردن در منطقه پشت روستای جنگیه و کنار جاده ارتباطی بین کوت سید صالح و جنگیه در حاشیه شرقی کانال بحر آنها را می سوزانند. این وضعیت، ضمن آلوده کردن آبهای سطحی منطقه، باعث نفوذ شیرابه و آلودگی های ناشی از پسماند در آبهای زیرزمینی منطقه می شود و محیط را برای فعالیتهای کشاورزی نامناسب می کند. همچنین، سوزاندن پسماندها منجر به ایجاد دودی غلیظ در منطقه و موجب افزایش آلاینده های جوی در روستاهای جنگیه و کوت سید صالح و شهر کوت عبدالله می شود.

هدف پژوهش

با توجه به آنچه آمد، هدف از این مطالعه ارزیابی امکان آلودگی آب های زیرزمینی در شهرستان کارون جهت تعیین مکان بهینه دفن پسماند بود تا دفن پسماند کمترین اثر را بر آلودگی آب زیرزمینی منطقه بگذارد. به منظور پهنه بندی آسیب پذیری آبخوان از دو مدل سینتکس و گادس، که هر یک از ترکیب پارامترهای هیدروژئولوژیک مؤثر در انتقال آلودگی به آب زیرزمینی تشکیل شده اند، استفاده می شود. با تهیه نقشه آسیب پذیری این دو مدل در محیط نرم افزار GIS، میزان تناسب اراضی جهت دفن پسماند اولویت بندی می شود.

پیشینه پژوهش

با توجه به طرح موضوع و ضرورت پرداختن به این مسئله، جهت بررسی نشت شیرابه تولیدی در دفنگاه پسماند و آلودگی آب های زیرزمینی، مطالعات متعددی صورت گرفته است که برخی از آنها به اختصار بیان می شود. هان^۱ و همکارانش (۲۰۱۶) به بررسی آلودگی آب های زیرزمینی در نزدیکی محل های دفن زباله جامد شهری در چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مکان های دفن زباله نقش

مهمی در افزایش مقدار آلودگی آب‌های زیرزمینی دارند. طبق تحقیق صورت گرفته ۹۶ نوع آلودگی در آب‌های زیرزمینی در نزدیکی محل‌های دفن زباله دیده شده است. حمزه^۱ و همکارانش (۲۰۰۷) در ناحیه متلین-راس در شمال تونس با استفاده از مدل‌های دراستیک و سیتکس و اس ای^۲ به بررسی نواحی با بیشترین امکان آلودگی آب زیرزمینی پرداختند و به نتایجی دست یافتند: این مدل در مقایسه با سایر مدل‌های یادشده در تعیین نقاط مستعد آلودگی کارایی بیشتری دارد و روش‌های سیتکس و دراستیک ماهیت آلاینده و کاربری زمین را به عنوان عامل مدیریتی آسیب‌پذیری ویژه در نظر نمی‌گیرند. سیمسک^۳ و همکارانش (۲۰۰۵) بر اساس نقشه‌برداری از آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به انتخاب محل دفع زباله جامد در منطقه تربالی^۴ در ترکیه پرداختند. آن‌ها، با معرفی یک ابزار جدید مبتنی بر GIS (داپیت^۵) و بر اساس ترکیبی از پارامترهای هیدروژئولوژیکی مختلف، سایت‌های موجود در منطقه را با توجه به خطر آلودگی برای منابع آب زیرزمینی رتبه‌بندی کردند. بر اساس نتایج، بهترین مکان دفع زباله جامد در قسمت‌های شمالی منطقه به واسطه عمق آب زیرزمینی بیشتر، نفوذپذیری پایین، و شیب کم تعیین شد. الناکي^۶ (۲۰۰۴) جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان در محل دفن زباله جامد روسیفا^۷ واقع در شمال شرقی کشور اردن از مدل دراستیک استفاده کرد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص دراستیک نشان‌دهنده امکان آلودگی متوسط برای منطقه مورد مطالعه بوده است. بابیکر^۸ و همکارانش (۲۰۰۴) برای تعیین نقاط مستعد در برابر آلودگی ناشی از منابع انسانی در آبخوان کاکامیگاهارا، در ژاپن مرکزی، از مدل دراستیک در محیط GIS استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که بخش غربی آبخوان کاکامیگاهارا در رده‌بندی آسیب‌پذیری بالا و بخش شرقی در رده‌بندی آسیب‌پذیری متوسط قرار می‌گیرند. نقشه آسیب‌پذیری نهایی آبخوان کاکامیگاهارا نشان می‌دهد خطر بالای آلودگی در بخش شرقی آبخوان در نتیجه امکان آلودگی بالای کشاورزی و زراعت به وجود آمده است. آن‌ها

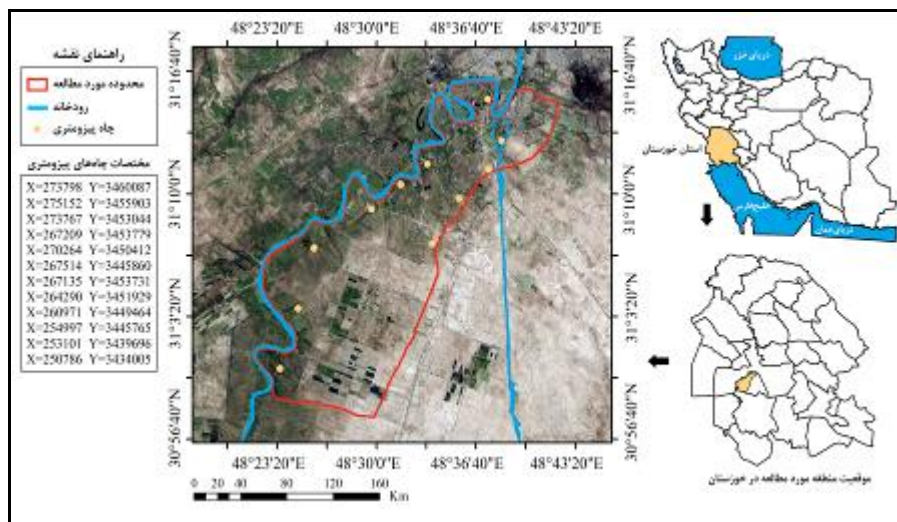
1. Hamza
2. SI
3. Simsek
4. Torbali
5. DUPIT
6. El Naqa
7. Russeifa
8. Babiker

همچنین به این موضوع پی بردند که پارامتر تغذیه خالص بیشترین تأثیر آسیب‌پذیری آبخوان را داشته و محیط خاک، توپوگرافی، منطقه غیر اشباع آب‌های زیرزمینی، و هدایت هیدرولیکی از نظر تأثیرگذاری در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. احمدی (۱۳۹۶) جهت تعیین موقعیت بهینه دفن پسماند ابتدا مطالعات اولیه را جهت شناسایی معیارهای تأثیرگذار بر انتخاب محل بهینه انجام داد و سپس برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده از ترکیب GIS و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت ارزیابی و مکان‌یابی و پهنه‌بندی بهینه استفاده کرد. در پایان، مناطق اولویت‌بندی شده در نقشه نهایی بر اساس محل دفن زباله مشخص شد. بر این اساس اولویت ۵ در نقشه‌ها و به خصوص نقشه نهایی نشان‌دهنده مناسب‌ترین مکان و اولویت ۱ نشان‌دهنده نامناسب‌ترین مکان و اولویت صفر فاقد هر گونه ارزش مکانی برای دفن زباله‌ها بود. ریاحی بختیاری و کاکایی (۱۳۹۵) طی مطالعه‌ای به ارزیابی خطر ورود شیرابه حاوی فلزات سنگین ناشی از پسماندهای خطرناک به آب‌های زیرزمینی در محل دفن پسماند شهر همدان با استفاده از مدل آی و م^۱ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تعیین نوع پوشش به منظور جلوگیری از ورود شیرابه به آب زیرزمینی ضروری است. نخعی و همکارانش (۱۳۹۴) در تحقیقی جهت مدل‌سازی نحوه انتقال آلودگی ناشی از نشت شیرابه محل دفن پسماندهای شهر رشت با استفاده از نرم‌افزارهای هیدراس^۲ و ویژوال هلپ^۳ به این نتیجه رسیدند که در بازه زمانی پنجاه‌ساله، به دلیل ناپیچ بودن غلظت شیرابه نفوذی و تراکم بالای لایه در عمق ۴۰ متری، از انتقال آلودگی به آب زیرزمینی جلوگیری شده و انتقال آلودگی فقط در قسمت‌های رسوبی بالایی صورت گرفته است. سلیمی و همکارانش (۱۳۹۳) به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان واقع در مکان جدید دفن پسماند شهری اصفهان بر اساس مدل دراستیک پرداختند. آن‌ها از هفت پارامتر هیدروژئولوژیکی تشکیل‌دهنده مدل دراستیک شامل عمق آب، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، اثر ناحیه غیر اشباع، هدایت هیدرولیکی - استفاده کردند و نتایج نشان داد نمره به دست آمده از مدل دراستیک ۱۱۵ و ۱۲۴ و ۱۳۰ است و امکان آلودگی آبخوان به آلودگی‌های حاصل از شیرابه مکان دفن پسماند شهری متوسط است.

1. IWEM
2. HYDRUS
3. Visual HELLP

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، با طول ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و با عرض ۳۰ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی، در خوزستان و شهرستان کارون واقع شده و مساحتی حدود ۴۴۰۵۹ هکتار دارد (شکل ۱). به دلیل مسطح بودن اراضی از یک طرف و مجاورت مداوم این اراضی با جریان سطحی رودخانه در این منطقه ارتباط پیوسته‌ای بین سطح آب رودخانه و آب زیرزمینی در اراضی مجاور وجود دارد. به دلیل افزایش سطح ایستابی آب زیرزمینی، میزان تبخیر بالا، و ریزدانه بودن ساختار خاک میزان املاح آب زیرزمینی به تدریج افزایش یافته است. نفوذ باران و تغذیه آب زیرزمینی از خاک‌های با بافت سنگین موجب شوری و هدایت الکتریکی آب شده است. همچنین، بالا بودن سطح ایستابی احتمال آلودگی آب زیرزمینی در این منطقه را به واسطه نفوذ شیرابه پسماند افزایش می‌دهد.



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه (نگارندگان ۱۳۹۹)

روش و ابزار تحقیق

روش‌های مختلفی تاکنون برای ارزیابی آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی ارائه شده است که می‌توان آن‌ها را به سه دسته کلی تقسیم کرد: رتبه‌دهی توصیفی، آماری و تحلیلی، ترکیبی (معروفی

و همکاران (۱۳۹۱). از روش‌های مهم رتبه‌دهی می‌توان به گادس، ای وی آی^۱، دراستیک، سینتکس، ایریش^۲، و اس ای^۳ اشاره کرد. روش‌های رتبه‌دهی مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی‌اند. زیرا نسبتاً ارزان‌اند، به طور مستقیم به هدف می‌رسند، داده‌های مورد استفاده آن‌ها در دسترس یا قابل تخمین هستند، نتایج نهایی آن‌ها به آسانی قابل توصیف‌اند، و برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مناسب‌اند (رادمنش و همکاران ۱۳۹۶). در این پژوهش، از میان چندین روش موجود روش‌های سینتکس و گادس برای ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان در شهرستان کارون انتخاب و نتایج جهت تعیین مکان بهینه دفن پسماند در این شهرستان به کار گرفته شد. از نرم‌افزار GIS جهت تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری از طریق هم‌پوشانی لایه‌های هیدروژئولوژیکی استفاده شد.

• مدل سینتکس

این مدل با هفت پارامتر عمق سطح ایستابی، نفوذ مؤثر، شرایط اشباع‌نشده، محیط خاک، خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان، هدایت هیدرولیکی، و شیب توپوگرافی محاسبه می‌شود. به هر پارامتر بر اساس تأثیر و اهمیتی که در میزان آسیب‌پذیری دارد نمره‌ای بین ۰ تا ۱۰ داده می‌شود. سپس، نمره‌ها به واسطه وزن‌ها اصلاح می‌شوند. وزن‌ها مربوط به شرایط محیطی ویژه یا شرایط انسان‌منشأ یا هر دو هستند (الکایسی^۴ و همکاران، ۲۰۰۶). پس از تهیه لایه‌های شاخص سینتکس، این لایه‌ها در کلاس‌های مختلف طبقه‌بندی شدند. شاخص آسیب‌پذیری این روش به کمک رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$I_V = \sum_{(1,7)} (1,7) \times (1,7) \quad (1)$$

که در آن شاخص آسیب‌پذیری، $P_{(1,7)}$ رتبه پارامترها، $W_{(1,n)}$ وزن وابسته به تعداد آرایه‌های کلاس وزنی، و n تعداد آرایه‌های کلاس وزنی است (موسوی و همکاران ۱۳۹۳: ۸۹). مراحل آماده‌سازی و تلفیق و تصحیح لایه‌های معیار به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری آبخوان در مدل

1. AVI
2. IRISH
3. SI
4. Al kuisi

سینتکس در نرم افزار ArcGIS انجام شد. هر یک از لایه‌های معیار طبق جدول ۱ وزن‌دهی و در نهایت طبق رابطه ۱ هم‌پوشانی شدند. بعد از طبقه‌بندی بر اساس جدول ۴ نقشه آسیب‌پذیری به روش سینتکس حاصل شد.

جدول ۱. رتبه‌های مربوط به پارامترهای مدل سینتکس (الکایسی و همکاران، ۲۰۰۶)

رتبه	پارامتر شیب (S)	رتبه	پارامتر عمق تا سطح ایستابی (S) بر حسب متر
۱۰	۰-۳	۹	۰-۳
۹	۳-۵	۸	۳-۵
۸	۵-۷	۷	۵-۷
۷	۷-۱۰/۵	۶	۷-۱۰
۶	۱۰/۵-۱۳/۵	۵	۱۰-۱۳
۵	۱۳/۵-۱۶/۵	۴	۱۳-۲۰
۴	۱۶/۵-۱۹/۵	۳	۲۰-۳۰
۳	۱۹/۵-۲۳	۲	۳۰-۳۶
۲	۲۳-۲۷/۵		تغذیه خالص (I) بر حسب میلی‌متر در سال
۱	>۲۷/۵	۱	۰-۵۰
	محیط غیر اشیاع (N)	۳	۵۰-۱۰۰
۹	رسوبات آبرفتی درشت‌دانه (ماسه و گراول)	۵	۱۰۰-۱۷۵
۷	ماسه	۸	۱۷۵-۲۵۰
۵	رسوبات آبرفتی ریزدانه (سیلت و رس با ماسه ریزدانه)		محیط آبخوان (A)
۲	رس و سیلت	۹	رسوبات درشت‌دانه (گراول همراه با ماسه)
	هدایت هیدرولیکی (C) بر حسب متر بر روز	۷	ماسه
۳	۰/۱-۰/۰۷	۶	رسوبات ریزدانه (رس و سیلت همراه با ماسه دانه‌ریز)
۴	۰/۸۶۴-۰/۱	۳	رس و سیلت
۵	۴/۳۲-۰/۸۶۴		محیط خاک (T)
۶	۸/۶۴-۴/۳۲	۱۰	گراول
۷	۴۳/۲-۸/۶۴	۹	ماسه
۸	۸۶/۴-۴۳/۲	۷	ماسه رس دار
۹	۳۶۶/۳۹-۸۶/۴	۶	لوم ماسه‌ای
		۵	لوم
		۳	سیلت و رس
		۲	رسی

جدول ۲. محدوده شاخص آسیب‌پذیری مدل سینتکس (الکایسی و همکاران، ۲۰۰۶)

پتانسیل آلودگی	شاخص SINTACS
بدون خطر آلودگی	<۶۳
خیلی کم	۶۴-۷۷
کم	۷۸-۹۹
متوسط	۱۰۰-۱۱۹
متوسط تا زیاد	۱۲۰-۱۳۹
زیاد	۱۴۰-۱۵۹
خیلی زیاد	۱۶۰-۱۷۹
کاملاً مستعد آلودگی	>۱۸۰

• مدل گادس^۱

در روش گادس از چهار پارامتر نوع آبخوان، ویژگی‌های لیتولوژیکی منطقه غیر اشباع (فقط در مورد آبخوان‌های آزاد)، عمق آب زیرزمینی، و نوع خاک استفاده می‌شود (کزاکیس و اودوریس^۲، ۲۰۱۱). از مزایای این روش می‌توان اندک بودن نسبی داده‌های لازم، سهولت حصول داده‌ها، دقت آماری، هزینه کم، و استفاده در مناطق وسیع را نام برد (آلر و همکاران، ۱۹۸۷ و راسن^۳، ۱۹۹۴). شاخص آسیب‌پذیری در این روش با استفاده از رابطه ۲ به دست می‌آید که در آن ارزش کلاس‌های پارامترها از ۰ تا ۱ متغیر است و به همه پارامترها وزن یکسانی اختصاص داده می‌شود (فاستر^۴، ۱۹۸۷).

$$I_v = G.O.D.S \quad (2)$$

که در آن I_v شاخص آسیب‌پذیری، G امتیاز نوع آبخوان، O امتیاز لیتولوژیکی منطقه غیر اشباع، D امتیاز عمق آب زیرزمینی، و S امتیاز نوع خاک است (نخستین‌روچی و همکاران ۱۳۹۷: ۵۷) و با کلاسه‌بندی آن در پنج گروه قابل اغماض (۰ - ۰/۱)، آسیب‌پذیری کم (۰/۱ - ۰/۳)، متوسط (۰/۳ - ۰/۳)

1. GODS
2. Kazakis and Oudouris
3. Rosen
4. Foster

ارزیابی امکان آلودگی آبهای زیرزمینی جهت انتخاب مکان بهینه دفن پسماند در شهرستان کارون □ ۵۳۱

- ۰/۵)، زیاد (۰/۵ - ۰/۷)، و خیلی زیاد (۰/۷ - ۱) نقشه آسیب‌پذیری آبخوان تهیه می‌شود (خدایی و همکاران ۱۳۸۵: ۸۱). جدول ۳ رتبه و وزن پارامترهای مدل گادس را نشان می‌دهد.

جدول ۳. رتبه و وزن پارامترهای مدل گادس (پایز، ۱۹۹۰)

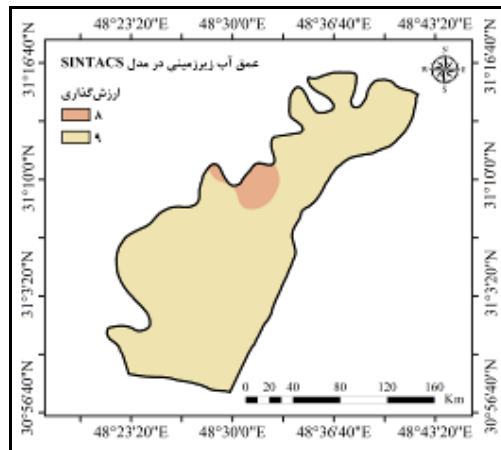
شرایط آبخوان						
آزاد	آزاد با پوشش	نیمه‌محبوس	محبوس	آرتزین	فاقد آبخوان	
۱	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰	
خصوصیات لیتولوژیکی منطقه غیر اشباع						
مواد سخت‌نشده (رسوبات)	گراول	ماسه آبرفتی	ماسه بادی	سیلت آبرفتی	خاک‌های برجا	
مواد سخت‌شده (سنگ‌های متخلخل)	سنگ آهک گچ‌دار	ماسه سنگ	سیلتستون	گل سنگ		
مواد سخت‌شده (سنگ‌های متراکم)	سنگ آهک	گدازه‌های عهد حاضر	سنگ‌های آذرین و دگرگونی			
۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴
عمق سطح آب زیرزمینی (متر)						
< ۲	۲ - ۵	۵ - ۱۰	۱۰ - ۲۰	۲۰ - ۵۰	۵۰ - ۱۰۰	> ۱۰۰
۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴
نوع پوشش خاک						
نیود خاک	گراول و ماسه درشت‌دانه	ماسه	ماسه سیلتی	سیلت	سیلت رسی	رس
۱	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۶	۰/۵	۰/۵

یافته‌های پژوهش

تهیه و تلفیق لایه‌های معیار بر اساس مدل سینتکس

• **لایه عمق آب زیرزمینی**

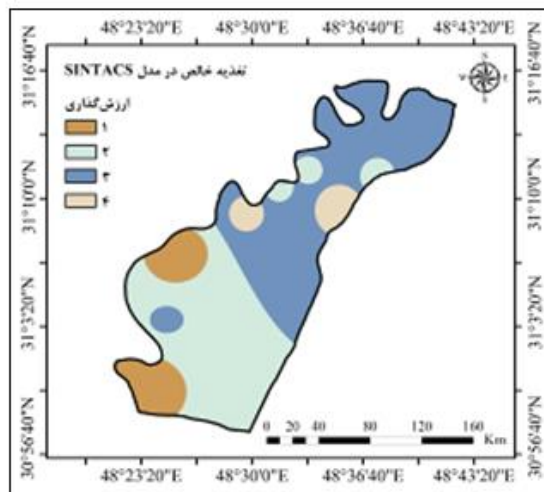
برای تهیه این نقشه از میانگین سالیانه عمق سطح ایستابی دوازده چاه پیژومتری در سال آبی ۱۳۹۷ - ۱۳۹۸ استفاده شد و نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی تهیه شد. ارزش عمق سطح ایستابی آبخوان طبق شاخص سینتکس در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. نقشه ارزش گذاری عمق سطح ایستابی آبخوان بر اساس مدل سینتکس

• تغذیه خالص

جهت بررسی تغییرات حجم آب زیرزمینی نقشه تغییرات سطح آب زیرزمینی با نقشه توزیع قابلیت ذخیره هم پوشانی شد. تغییرات سطح آب زیرزمینی از تفریق نقشه هم تراز شهریور ۱۳۹۸ از اسفند ۱۳۹۸ استخراج و در نقشه توزیع قابلیت ذخیره (داده‌های حاصل از مدل جریان آب زیرزمینی) ضرب شد. نقشه پهنه‌بندی تغذیه آبخوان بر اساس مدل سینتکس در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. نقشه ارزش گذاری شبکه تغذیه بر اساس مدل سینتکس

- محیط آبخوان

پس از جمع‌آوری اطلاعات چاه‌ها، داده‌ها به فرمت قابل قبول تبدیل شدند. بر اساس نتایج تحقیق، محیط آبخوان با بافت ریزدانه و سیلتی رسی است. نقشه حاصله از یک نوع خاک تشکیل شده و لایه خروجی سیلتکس با ضریب ۳ است.

- لایه خاک

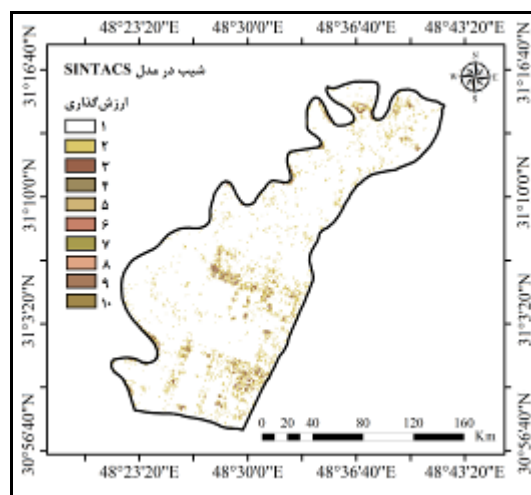
بر اساس اطلاعات به دست آمده، خاک منطقه مورد مطالعه غالباً از نوع رسی است. در نتیجه، نقشه خروجی خاک بر اساس مدل سیلتکس دارای ضریب ۲ است.

- اثر محیط غیر اشباع

برای تهیه این نقشه از اطلاعات چاه‌های پیزومترتری موجود در منطقه استفاده شد و روشی مشابه با پارامتر محیط آبخوان به کار برده شد.

- توپوگرافی

برای تهیه این نقشه از مدل رقومی ارتفاع، که سازمان نقشه‌برداری آن را تهیه کرده، استفاده شد. شکل ۴ پهنه‌بندی شیب مدل سیلتکس را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نقشه رتبه‌بندی شیب بر اساس مدل سیلتکس

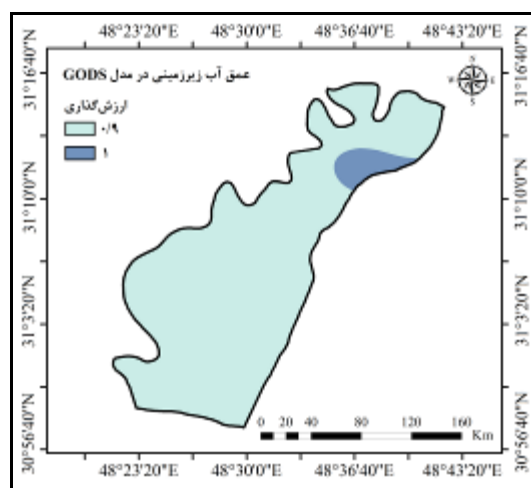
• هدایت هیدرولیکی

برای تهیه این لایه مقادیر ضریب آب‌گذری چاه‌های پیزومتری محاسبه شد. سپس با در نظر گرفتن بخش اشباع آبخوان مقادیر هدایت هیدرولیکی همه چاه‌ها محاسبه شد. با توجه به اینکه جنس آبخوان در لوگ چاه‌ها غالباً از نوع سیلت و رس است، نقشه خروجی مدل سیستکس نقشه‌ای یک‌دست و دارای ارزش ۴ است.

تهیه و تلفیق لایه‌های معیار بر اساس مدل گادس

• لایه عمق آب زیرزمینی

به منظور آگاهی از عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی از داده‌های شبکه پیزومتری استفاده و نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی تهیه شد. ارزش‌گذاری عمق سطح ایستابی آبخوان مطابق شاخص گادس در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. نقشه رتبه‌بندی عمق آب زیرزمینی بر اساس مدل گادس

• محیط آبخوان

این لایه بر اساس لوگ حفاری چاه‌های مشاهده‌ای، بهره‌برداری، و اکتشافی و گزارش‌های سازمان آب و برق خوزستان مشخص شد. بر اساس لوگ حفاری چاه‌ها آبخوان منطقه آزاد است. نقشه به‌دست‌آمده نیز یک‌دست و دارای ارزش ۱ است.

• لایه خاک

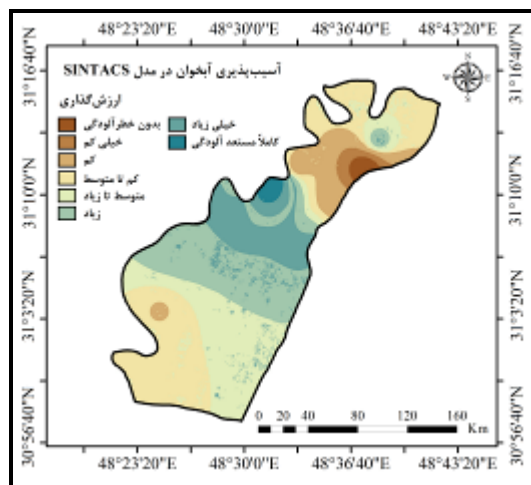
با توجه به اینکه خاک منطقه بیشتر از نوع رسی است، نقشه خاک در این مدل نیز به صورت یک دست و دارای ضریب یکسان ۰/۵ است.

• لایه محیط غیر اشباع

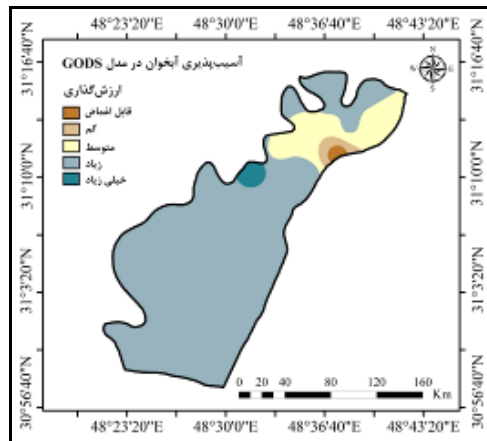
خصوصیات این لایه از طریق اطلاعات چاههای اکتشافی در منطقه به دست آمد. برای تهیه این لایه از راهنمای لوگ چاههای منطقه استفاده شد. بر حسب نسبت جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان در هر چاه، رتبه‌هایی به هر نقطه اختصاص داده شد و سپس نقشه رستری محیط غیر اشباع تهیه شد. نقشه یادشده یک دست و دارای ضریب ۰/۴ است.

محاسبه شاخص‌های آسیب‌پذیری آبخوان

پس از رتبه‌بندی پارامترها، لایه‌ها تلفیق شده و نقشه‌های آسیب‌پذیری دو مدل سینتکس و گادس در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شد. هر یک از لایه‌های رستری دارای وزن خاصی بودند. بنابراین، برای ترکیب و تلفیق آن‌ها از تابع هم‌پوشانی وزنی استفاده شد. شکل‌های ۶ و ۷ نقشه‌های آسیب‌پذیری آبخوان دو مدل یادشده را نشان می‌دهند.



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان بر اساس مدل سینتکس



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان بر اساس مدل گاداس

تحلیل تناسب اراضی جهت دفن پسماند

در مدل‌های سینتکس و گاداس پارامترهای قابل اندازه‌گیری متعددی برای سیستم هیدروژئولوژیکی برآورد می‌شود. این عوامل در انتخاب مکان بهینه دفن پسماند تأثیرگذارند. عمق سطح آب زیرزمینی رابطه‌ای معکوس با آلودگی آب زیرزمینی دارد. هر چه عمق آب زیرزمینی کمتر باشد، زمان لازم جهت رسیدن شیرابه پسماند از محل دفن به سطح ایستابی کاهش می‌یابد و امکان آلودگی آبخوان بالا می‌رود. بر اساس مطالعات انجام‌شده، سطح ایستابی در منطقه بسیار بالاست و مقدار آن در اکثر نقاط بین $3/4$ تا $4/7$ متر در نوسان است. به همین دلیل در محاسبه شاخص آسیب‌پذیری آبخوان عمق‌های پایین نسبت به عمق‌های بالا رتبه بزرگ‌تری دریافت کرده‌اند. یکی از عوامل انتقال مواد آلاینده به درون زمین حرکت عمودی آب است.

بخش‌های شمالی منطقه غالباً دارای تغذیه خالص بالاتری نسبت به بخش‌های جنوبی بوده‌اند که علت آن پایین بودن شیب در این نواحی است. تغذیه خالص بالا بیانگر افزایش مواد آلاینده و شیرابه ورودی به آب‌های زیرزمینی و نیز امکان آلودگی بالا در آبخوان است. بنابراین، بالاترین رتبه به طبقه با بیشترین تغذیه خالص تعلق یافته و با کاهش میزان تغذیه رتبه طبقات نیز کاهش یافته است.

محیط آبخوان بر مقدار سطح مؤثر موادی که با آلوده‌کننده در تماس اند مؤثر است. در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های متعلق به سازند آغا‌جاری از گسترش زیادی برخوردار است و محیط

آبخوان متشکل از رسوبات ماسه‌ای دانه‌ریز و سیلت و رس است. وجود ذرات ریزدانه رس و نبود درز و شکاف‌های بزرگ باعث کاهش نفوذپذیری خاک و امکان آسیب‌پذیری آبخوان از شیرابه ناشی از محل دفن می‌شود. از نظر توپوگرافی، شیب زمین در قسمت شمالی منطقه کمتر از قسمت جنوبی است. شیب کم با افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب و فرسایش همراه است که باعث افزایش استعداد آسیب‌پذیری آبخوان به آلاینده‌های ناشی از محل دفن می‌شود.

منطقه غیر اشباع سهم قابل توجهی در کاهش آلودگی آبخوان دارد. هر چه آب زیرزمینی بیشتر در معرض آلودگی باشد رتبه و وزنی که به این منطقه داده می‌شود بیشتر است. هدایت هیدرولیکی بالا توزیع سریع شیرابه پسماندها و امکان آلودگی بالا در آبخوان را نشان می‌دهد. در نتیجه، مناطق با هدایت هیدرولیکی زیاد رتبه‌های بالاتری نسبت به نواحی با هدایت هیدرولیکی پایین دریافت می‌کنند. به طور کلی، آسیب‌پذیری آبخوان در هر قسمت از منطقه تابعی از وضعیت پارامترهای هیدروژئولوژیک در آن قسمت است و میزان تناسب اراضی جهت دفن پسماند را مشخص می‌کند. هر چه درجه آسیب‌پذیری آبخوان در یک نقطه کمتر باشد تناسب آن نقطه برای دفن پسماند بیشتر است.

در این تحقیق، مدل‌های سیتکس و گادس درجه آسیب‌پذیری آبخوان منطقه را به ترتیب در ۸ و ۹ طبقه نشان دادند. در هر دو مدل، طبقه اول دارای بالاترین اولویت و طبقه آخر دارای پایین‌ترین اولویت برای دفن پسماندند. جدول‌های ۴ و ۵ درجه آسیب‌پذیری آبخوان و اولویت مناطق جهت دفن پسماند در دو مدل سیتکس و گادس را نشان می‌دهند.

جدول ۴. درجات آسیب‌پذیری آبخوان و اولویت مناطق جهت دفن پسماند بر اساس مدل سیتکس

اولویت دفن پسماند	مساحت (درصد)	مساحت (هکتار)	درجه آسیب‌پذیری
۱	۱/۰۳	۴۵۵/۲۲	بدون خطر آلودگی
۲	۱/۷۷	۷۸۰/۸۴	خیلی کم
۳	۷/۴۵	۳۲۸۱/۳۱	کم
۴	۲۸/۵۶	۱۲۵۸۲/۴	کم تا متوسط
۵	۲۵/۳۵	۱۱۱۶۹/۹	متوسط تا زیاد
۶	۲۱/۴۵	۹۴۴۹/۴۶	زیاد
۷	۱۳/۲۶	۵۸۴۴/۱۵	خیلی زیاد
۸	۱/۱۳	۴۹۵/۷۲	کاملاً مستعد آلودگی

جدول ۵. درجات آسیب‌پذیری آبخوان و اولویت مناطق جهت دفن پسماند بر اساس مدل گادس

اولویت دفن پسماند	مساحت (درصد)	مساحت (هکتار)	درجه آسیب‌پذیری
۱	۰/۴۹	۲۱۵/۵۷۶	قابل اغماض
۲	۱/۲۷	۵۶۰/۵۴۴	کم
۳	۱۱/۷۳	۵۱۶۹/۰۸	متوسط
۴	۸۵/۰۵	۳۷۴۷۱/۹	زیاد
۵	۱/۴۶	۶۴۱/۹	خیلی زیاد

نتیجه

انتخاب مکان نامناسب جهت دفن پسماند خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی را افزایش می‌دهد. ازین‌رو، مکان‌گزینی بهینه جهت دفن پسماند با هدف کاهش مخاطرات آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه ضروری است. در این پژوهش، از نتایج ارزیابی امکان آلودگی آب زیرزمینی جهت تعیین مکان بهینه برای دفن پسماند استفاده شد. مکان انتخاب‌شده جهت دفن پسماند باید کمترین اثر را در آلودگی آب زیرزمینی به واسطه نفوذ شیرابه پسماند داشته باشد. ابتدا با شناسایی و هم‌پوشانی پارامترهای هیدروژئولوژیکی تأثیرگذار در آسیب‌پذیری آبخوان نقشه شاخص‌های آسیب‌پذیری سینتکس و گادس در محیط GIS تهیه و طبقه‌بندی شد. بر اساس درجه آسیب‌پذیری آبخوان در هر طبقه میزان تناسب اراضی جهت استقرار مکان‌های دفن پسماند در منطقه اولویت‌بندی شد. طبقات با آسیب‌پذیری کمتر دارای بالاترین اولویت و طبقات با آسیب‌پذیری بیشتر دارای پایین‌ترین اولویت برای دفن پسماند انتخاب شدند. در مدل سینتکس حدود ۴۵۵/۲۲ هکتار از منطقه در محدوده آسیب‌پذیری بدون خطر آلودگی، ۷۸۰/۸۴ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری خیلی کم، ۳۲۸۱/۳۱ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۱۲۵۸۲/۴ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری کم تا متوسط، ۱۱۱۶۹/۹ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری متوسط تا زیاد، ۹۴۴۹/۴۶ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری زیاد، ۵۸۴۴/۱۵ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد، و ۴۹۵/۷۲ هکتار در محدوده کاملاً مستعد آلودگی قرار دارد. در مدل گادس حدود ۲۱۵/۵۷۶ هکتار از منطقه در محدوده آسیب‌پذیری قابل اغماض، ۵۶۰/۵۴۴ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری کم، ۵۱۶۹/۰۸ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری متوسط، ۳۷۴۷۱/۹ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری

زیاد، و ۶۴۱/۹ هکتار در محدوده آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار دارد. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه بر اساس شرایط هیدروژئولوژیکی هفت عامل در مدل سینتکس و چهار عامل در مدل گادس صورت گرفت که بدین شرح است: مناطق معرف کمترین آسیب‌پذیری دارای بیشترین عمق سطح ایستابی هستند و مدت زمان رسیدن شیرابه از محل دفن پسماند به سمت آبخوان در این مناطق بیشتر است. با کاهش میزان تغذیه خالص در این نواحی، مواد آلاینده محل دفن تأثیر کمتری بر آبخوان می‌گذارند. محیط آبخوان و خاک منطقه در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری رتبه یکسان و به دلیل رسوبات ریزدانه و بافت رسی در همه نواحی منطقه اثر بسزایی در کاهش آلودگی آبخوان دارند. در پهنه‌های با آسیب‌پذیری کمتر لیتولوژیکی منطقه غیر اشباع از جنس رسوبات سخت‌نشده است که در کاهش آلودگی آبخوان در این نواحی نقش دارد. توپوگرافی و هدایت هیدرولیکی دو شاخصی است که مدل سینتکس در پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان از آن‌ها استفاده کرده است. توپوگرافی محل و درجه شیب در پهنه‌های با آسیب‌پذیری کمتر آبخوان نفوذپذیری خاک را کاهش داده و محیط را برای دفن پسماند مناسب کرده است. هدایت هیدرولیکی نیز یکی از عواملی است که در سراسر سطح منطقه تقریباً وضعیت یکسانی دارد و به دلیل مقاومت در برابر انتشار شیرابه پسماند جهت انتخاب مکان مناسب دفن وضعیت قابل قبولی را نشان می‌دهد. بر این اساس، در هر دو مدل کمترین درجه آسیب‌پذیری سطح بسیار کوچکی از منطقه را پوشش داده (۱/۰۳ درصد در مدل سینتکس و ۰/۴۹ درصد در مدل گادس) و این سطح به منزله مکان بهینه دفن پسماند (اولویت ۱) انتخاب شد. سایر نواحی به دلیل آسیب‌پذیری بیشتر آبخوان در آن‌ها و احتمال نفوذ شیرابه پسماند و آلودگی‌های دیگر به آب‌های زیرزمینی در انتخاب مکان پسماند در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

تفاوت در تعداد و نوع پارامترهای مورد استفاده در دو مدل سینتکس و گادس علت اختلاف در نتیجه حاصل از آن دوست. روش سینتکس با وجود دشواری جمع‌آوری داده و هزینه‌بر بودن بر روش گادس ترجیح داده می‌شود. چون تعداد بیشتری از پارامترهای مؤثر در آسیب‌پذیری آبخوان در این مدل به کار گرفته شده است. همچنین، این مدل می‌تواند عدم قطعیت برخی پارامترها را خنثی کند. در این تحقیق، تجزیه و تحلیل و نقشه‌سازی شاخص‌های آسیب‌پذیری در

محیط GIS انجام گرفت. استفاده از قابلیت‌های GIS موجب افزایش دقت ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی می‌شود و هزینه و زمان مکان‌یابی دفن پسماند را کاهش می‌دهد. با توجه به نتایج تحقیق و خطرات آلودگی منابع آب زیرزمینی، باید در انتخاب محل‌های دفن پسماند در منطقه دقت بیشتری به عمل آید و همچنین مکان‌های فعلی ایزوله یا جابه‌جا شود. بر اساس مطالعه جهانی و همکارانش (۱۳۹۵) از نتایج این تحقیق می‌توان به منزله یک سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری زیست‌محیطی در زمینه حفاظت از محیط زیست استفاده کرد که به مدیران و ذی‌نفعان کمک می‌کند با استفاده صحیح از این سیستم و فناوری‌های مرتبط با آن به انتخاب گزینه‌ها و فعالیت‌های مرتبط با مدیریت پسماند بپردازند و در این راه از دانش موجود در حوزه تصمیم استفاده کنند تا به پیشنهادها برای هر گزینه برسند.

منابع

- احمدی، منیژه (۱۳۹۶). «تعیین موقعیت بهینه دفن پسماندها در استان زنجان»، *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، د ۴، ش ۲، صص ۵۱ - ۶۸.
- برومندی، مهدی؛ ماشالله خامه‌چیان؛ محمدرضا نیکودل (۱۳۹۳). «مکان‌یابی محل دفن پسماندهای خطرناک استان زنجان با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی»، *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، د ۱۶، ش ۴، صص ۹۷ - ۱۰۹.
- حسن‌زاده نفوتی، محمد؛ زهره ابراهیمی خوسفی؛ علی‌اکبر جمالی (۱۳۹۶). «مقایسه کارایی برخی مدل‌های ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی به آلودگی در مناطق خشک (مطالعه موردی: دشت ابرکوه)»، *مهندسی اکوسیستم بیابان*، د ۶، ش ۱۴، صص ۵۹ - ۶۸.
- خدایی، کمال؛ علی‌اکبر شهسواری؛ بهروز اعتباری (۱۳۸۵). «ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جوبین به روش‌های GODS و DRASTIC»، *زمین‌شناسی ایران*، د ۲، ش ۴، صص ۷۳ - ۸۷.
- رادمنش، فریدون؛ سمیرا صدری؛ علی شهبازی (۱۳۹۶). «ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت جارمه توسط روش‌های دراستیک و سینتکس»، *آب و توسعه پایدار*، س ۴، ش ۲، صص ۱۱ - ۱۲۰.
- رضایی، رضا؛ افشین ملکی؛ مهدی صفری؛ عبدالله قوامی (۱۳۸۹). «ارزیابی آلودگی شیمیایی منابع آب زیرزمینی مناطق پایین‌دست محل دفن زباله شهر سنندج»، *مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان*، د ۱۵، ش ۳، صص ۸۹ - ۹۸.
- سلطانی، شهلا؛ اصغر اصغری‌مقدم؛ رحیم برزگر (۱۳۹۶). «ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی آبخوان دشت کردکندی - دوزدوزان با استفاده از مدل دراستیک و اسنجی شده»، *تحقیقات منابع آب ایران*، د ۱۳، ش ۴، صص ۸۹ - ۹۹.
- سلیمی، مریم؛ افشین ابراهیمی؛ افسانه سلیمی (۱۳۹۳). «ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان واقع در مکان جدید دفن پسماند شهری اصفهان بر اساس مدل دراستیک»، *تحقیقات نظام سلامت*، د ۱۰، ش ۲، صص ۳۹۵ - ۴۰۵.
- عباس نوین‌پور، اسفندیار؛ سحر یعقوبی گردویشه؛ اصغر اصغری‌مقدم (۱۳۹۷). «تعیین آسیب‌پذیری آبخوان باراندوزچای دشت ارومیه با استفاده از ترکیب شاخص‌های SINTACS, SI, DRASTIC»، *تحقیقات منابع آب ایران*، د ۱۴، ش ۴، صص ۲۰۶ - ۲۱۸.

- معاونت تحقیقات و فناوری (۱۳۸۸). «طرح جامع مطالعاتی مدیریت پسماندهای شهری منطقه ۲ خوزستان»، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز.
- معروفی، صفر؛ سامره سلیمانی؛ محمدحسین قبادی؛ قاسم رحیمی؛ حسین معروفی (۱۳۹۱). «ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان دشت ملایر با استفاده از مدل‌های SI و DRASTIC و SINTACS»، *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، د ۱۹، ش ۳، صص ۱۴۱ - ۱۶۶.
- منوری، سید مسعود؛ قاسم‌علی عمرانی؛ فاطمه قنبری (۱۳۹۶). «بررسی آلودگی ناشی از شیرابه در محل دفن پسماندهای شهر رشت»، *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، د ۱۸، ش ۴، صص ۱۳۷ - ۱۴۴.
- موسوی، سیده فاطمه؛ سید مسعود یعقوبی؛ منوچهر چیت‌سازان (۱۳۹۳). «ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان خوین با به‌کارگیری مدل دراستیک و سینتکس به منظور مدیریت کاربری اراضی»، *آب و فاضلاب*، د ۲۷، ش ۳، صص ۸۸ - ۹۲.
- نخستین‌روحي، مهسا؛ محمدحسین رضایی مقدم؛ توحید رحیم‌پور (۱۳۹۷). «ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت عجب‌شیر به منظور پیشگیری از خطرات آلودگی و اعمال مدیریت بهینه»، *مخاطرات محیط طبیعی*، د ۸، ش ۲۰، صص ۵۳ - ۶۶.
- نیک‌نام، رامین؛ کورش محمدی؛ وحید جوهری‌مجد (۱۳۸۶). «ارزیابی آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی تهران- کرج با روش DRASTIC و منطق فازی»، *تحقیقات منابع آب ایران*، د ۳، ش ۲، صص ۳۹ - ۴۷.
- وثوق، علی؛ اکبر باغوند؛ عبدالرضا کرباسی؛ سید مهران ابطحی (۱۳۸۸). «پهنه‌بندی پتانسیل آلودگی آبخوان‌ها به منظور تعیین مکان‌های دفن مواد زائد جامد شهری و ارزیابی مکان‌های فعلی (مطالعه موردی: آبخوان دشت مشهد)»، *همایش ملی انسان، محیط زیست و توسعه پایدار*، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان.
- یزدانی، محدثه؛ سید مسعود منوری؛ قاسم‌علی عمرانی؛ محمود شریعت؛ سید محسن حسینی (۱۳۹۳). «ارزیابی تناسب محل‌های دفن پسماند شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: غرب استان مازندران)»، *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، د ۶، ش ۱، صص ۳۱ - ۴۶.

References

- Ahmadi, M. (2017). "Determining the Best Place-Spatial Points for Waste Burial in Zanjan Province", *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4(2), pp. 51-68. (in Persian)

- Al kuisi, M., El-Naqa, A., & Himmouri, N. (2006). "Vulnerability Mapping of Shallow Groundwater Aquifer Using SINTACS Model in the Jordan Valley Area", *Jordan Environmental Geology*, 50, pp. 651-667.
- Aller, L., Bennet, T., IEHER, J. H., Petty, R. J., & Hackett, G. (1987). "DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings", EPA, Report No. 600/2-87-035: p. 622.
- Asghari Moghaddam, A., Soltani, S., & Kazemian, N. (2018). "Vulnerability Assessment of Kordkandi- Duzdudan Plain Groundwater Using Calibrated DRASTIC Model", *Iran Water Resources Research*, 13(4), pp. 89-99. (in Persian)
- Babiker, I.S., Mohamed, A.A.A., Hiyama, T., & Kato, K. (2005). "A GIS-based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara heights", *Gifu prefecture, central Japan. J. Science of the Total Environment*, 345, pp. 127-140.
- Boroumandi, M., Khamchyan, M., & Nikoudel, M. R. (2015). "Hazardous Wastes Landfill Site Selection Using Analytical Hierarchy Process (AHP) in Zanjan Province", *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 16(4), pp. 97-109. (in Persian)
- Civita, M. (1994). *Le carte della vulnerabilit  degli acquiferi all'inquinamento. Teoria & practica (Aquifer vulnerability maps to pollution)* (in Italian). Pitagora Ed, Bologna, 325 p.
- Daly, D. & Drew, D. (1999). Irish Methodology for Karst aquifer protection. P 267-272, In: Beck, B.F., Pettit, A.J. and Herring, J.G. (eds.), *Hydrogeology and Engineering Geology of Sinkholes and Karst*, Rotterdam, Balkema.
- El Naqa, A. (2004). "Aquifer Vulnerability Assessment Using the DRASTIC Model at Russeifa Landfill, Northeast Jordan", *Environmental Geology*, 47(1), pp. 51-62.
- Foster, S. (1987). "Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy. In: Van Duijvenbooden, W. and Van Waegeningh, H. G., Eds., *Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants*", *Committee on Hydrological Research*, The Hague, pp. 69-86.
- Hamza, M.H., Added, A., Rodriguez, R., Abdeljaoued, S., & Ben Mammou, A. (2007). "GIS-based DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment inan aquifer of a semi-arid region (Metline-as Jebel-Raf Raf aquifer, Northern Tunisia)", *Journal of Environmental Management*, 339, pp. 493-505.
- Han, Z., Ma, H., Shi, G., He, L., Wei, L., & Shi, Q. (2016). "A Review of Groundwater Contamination near Municipal Solid Waste Landfill Sites in China", *Science of the Total Environment*, Vol. 569-570, pp. 1255-1264.
- Hassanzadeh Nafooti, M., Ebrahimi, Z., & Jamali, A. (2017). "Comparison of Methods of Evaluating Groundwater Vulnerability to Contamination in Arid Regions: A Case Study of Abarkooh Plain", *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 6(14), pp. 59-68.
- Kakaei, K. & Riyahi Bakhtiari, A. (2016). "Risk Assessment of Ground Waters Pollution by Heavy Metals of Hamadan Landfill Leachate and appropriate cover Recommendation", *Iranian Journal of Research in Environmental Health*, 2(3), pp. 221-227. (in Persian)
- Kazakis, N. & Oudouris, K. (2011). "Comparison of Three Applied Methods of Groundwater Vulnerability Mapping: A Case Study from the Florina Basin", *Northern Greece, Proceedings of 9th International Hydrogeological Congress, Kalavrita, Greece, Advances in the Research of Aquatic Environment, Springer*, pp. 359-367.

- Khodaei, K., Shahsavari, A. A., & Etebari, B. (2006). "Evaluation of Aquifer Vulnerability of Jovein Plain Using DRASTIC and GODS Methods", *Iranian Journal of Geology*, 2(4), pp. 73-81.
- Lee, S. (2003). "Evaluation of waste disposal site using the DRASTIC system in Southern Korea", *Environmental Geology*, 44, pp. 654-664.
- Monavari, M., Omrani, Gh., & Ghanbari, F. (2017). "Study of Landfill Leachate Pollution of Rasht City", *Journal of Environmental Science and Technology*, 18(4), pp. 137-144. (in Persian)
- Mousavi, F., Yaghoubi, M., & Chitsazan, M. (2016). "Land Use Management by Assessing Aquifer Vulnerability in Khovayes Plain Using the DRASTIC and SINTACS Models", *Journal of Water and Wastewater*, 3(103), pp. 88-92. (in Persian)
- Nakhaei, M., Amiri, V., Rezaei, K., & Moosaei, F. (2015). "An investigation of the potential environmental contamination from the leachate of Rasht waste disposal site in Iran", *Bulletin of engineering geology and the environment*, 74(1), pp. 233-246.
- Nakhostinrouhi, M., Rezaei Moghaddam, M. H., & Rahimpour, T. (2019). "Evaluating the Aquifer Vulnerability in Ajabshir Plain to Prevent Contamination Risks and Apply Optimal Management", *Journal of Natural environment hazards*, 8(20), pp. 53-66. (in Persian)
- Niknam, R., Mohammadi, K., & Johari Majd, V. (2007). "Groundwater Vulnerability Evaluation of Tehran-Karaj Aquifer Using DRASTIC Method and Fuzzy Logic", *Journal of Iran-Water Resources Research*, 3(2), pp. 39-47. (in Persian)
- Paez, G. (1990). "Evaluacion De La Vulnerabilidad A La Contaminacion De Las Agues Subterranas En El Valle Del Cauca", *Informe Ejecutivo, Corporeginal Del Valle Del Cauca, Cauca, Colombia*, 352(3), pp. 95-120.
- Rangzan, K., Firuzabadi, P., Mirzaee, L., & Alijani, F. (2008). "Interpolation varamin plain aquifer vulnerability by the DRASTIC models, experimental evaluation of unsaturated region in GIS environment", *Iranian Geology Journal*, 6, pp. 21-32. (in Persian)
- Rezaie, R., Maleki, A., Safari, M., & Ghavami, A. (2010). "Assessment of Chemical Pollution of Groundwater Resources in Downstream Regions of Sanandaj Landfill", *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*, 15(3), pp. 89-98. (in Persian)
- Ribeiro, L. (2000). Desenvolvimento de um índice para avaliar a susceptibilidade, ERSHA-CVRM, 8p.
- Rosen, R. (1994). "A Study of the DRASTIC Methodology with Emphasis on Swedish Condition", *Groundwater*, 32(2), pp. 278-285.
- Salimi, M., Ebrahimi, A., & Salimi, A. (2014). "Aquifer Vulnerability Assessment Using the DRASTIC Model at New Landfill Site in Isfahan", *Scientific Research Journal of Health System*, 10(2), pp. 395-405. (in Persian)
- Simsek, C., Kincal, C., & Gunduz, O. (2005). "A Solid Waste Disposal Site Selection procedure Based on Groundwater Vulnerability Mapping", *Environmental Geology*, 49(4), pp. 620-633.
- The Vice-Chancellor for Research and Technology (2009). Comprehensive Study Plan of Municipal Waste Management in Region 2 of Khuzestan, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz. (in Persian)

- Van Stemproot, D., Evert, L., & Wassenaar, L. (1993). "Aquifer vulnerability index: a GIS compatible method for groundwater vulnerability mapping", *Canadian Water Resources Journal*, 18, pp. 25-37.
- Vosough, A., Baghvand, A., Karbasi, A., & Abtahi, M. (2009). "Zoning of Aquifer Pollution Potential in Order to Determine Landfills for Municipal Solid Waste and Evaluate Current Locations, Case study: Mashhad Plain Aquifer", *National Conference on Human, Environment and Sustainable Development, Islamic Azad University of Hamedan, Hamedan*. (in Persian)
- Vrba, J. A. & Zaporozec, A. (1994). *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Contribution for Hydrogeology. Hannover, Germany*, 131 p.
- Yaghoubi gardvisheh, S., Asgharimoghadam, A., & Abbasnovinpour, E. (2019). "Determining the Vulnerability of Barandouzchi Aquifer Plain, Urmia, Using the Combination of DRASTIC, SI, and SINSTAC Indices", *Iran Water Resources Research*, 14(4), pp. 198-215. (in Persian)
- Yazdani, M., Monavari, M., Omrani, G. A., Shariat, M., & Hosseini, M. (2015). "Assessment of Municipal Solid Waste Landfill Sites Using GIS (Case Study: West of Mazandaran Province)", *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 1(18), pp. 31-46. (in Persian)