

بررسی میزان پتانسیل آسیب‌پذیری و ارزیابی خطر سلامت نیترات و نیتريت در آبخوان دشت ازنا- الیگودرز

علی سالاروند^۱ ID، جواد وروانی^۲ ID، امیرحسین بقایی^{۳*} ID، نوراله عبدی^۴ ID، رضا چمن‌پیرا^۵ ID

۱- دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۲- دانشیار، گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۳- استادیار، گروه خاکشناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۴- دانشیار، گروه منابع طبیعی و محیط زیست، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

۵- استادیار، گروه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

یافته / دوره ۲۳ / شماره ۳ / تابستان ۱۴۰۰ / مسلسل ۸۸

چکیده

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱/۱۲۱ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱/۱۲۱

مقدمه: با توجه به اینکه در دشت ازنا- الیگودرز، بخش عمده‌ای از مصارف شرب از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود، بررسی میزان غلظت نیترات و نیتريت و پتانسیل آسیب‌پذیری و ارزیابی خطر سلامت آب‌های زیرزمینی و شرب دشت ازنا- الیگودرز، به‌منظور شناخت عوامل آلاینده برای حفظ سلامت مصرف‌کنندگان ضروری است.

مواد و روش‌ها: پتانسیل آسیب‌پذیری دشت مورد مطالعه در مقابل عوامل آلاینده به روش درستیک بررسی شد. به‌منظور بررسی غلظت نیترات و نیتريت از ۲۵ چاه آب منطقه طی سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ نمونه‌برداری و به روش استاندارد آنالیز شدند. خطر سلامت انسان‌ها در استفاده شرب از آب‌های زیرزمینی دشت مورد مطالعه به روش شاخص USEPA (آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده) ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج روش درستیک نشان داد که ۴۵ درصد از منطقه دارای پتانسیل آسیب‌پذیری زیاد (قسمت جنوبی دشت) و ۶۵ درصد دارای پتانسیل آسیب‌پذیری متوسط (قسمت شمالی دشت) است. بر اساس نتایج آنالیز، نیترات در آب شرب روستاهای چقاظم و اشرف‌آباد به ترتیب با دارا بودن ۵۶ و ۶۵ میلی‌گرم در لیتر و نیتريت در آب‌های زیرزمینی روستاهای چم‌زمان، علی‌آباد و دره باغ به ترتیب با دارا بودن ۳/۵، ۳/۳ و ۳/۴ میلی‌گرم در لیتر، بیش‌ازحد استاندارد سازمان بهداشت جهانی است. بر اساس نتایج ارزیابی خطر سلامت انسان‌ها، ۸۳ درصد از کودکان و ۸ درصد از زنان و ۴ درصد از مردان به‌واسطه آلودگی نیترات آب‌های زیرزمینی دشت مورد مطالعه با تهدید سلامت مواجه هستند ($HQ > 1$)، صحت نتایج آسیب‌پذیری با واسنجی نتایج ارزیابی خطر سلامت و نتایج نقشه هم‌نیترات تأیید شد.

بحث و نتیجه‌گیری: استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی نیترا نه و دفع غیراصولی فاضلاب‌های انسانی (شهری و روستایی) عامل اصلی آلودگی نیترات و نیتريت در برخی نقاط است. بر اساس نتایج این پژوهش و برای حفظ سلامت مصرف‌کنندگان بخصوص کودکان، استفاده از چاه‌های شرب آلوده توصیه نمی‌شود و پایش مستمر چاه‌های شرب منطقه ضروری است.

واژه‌های کلیدی: نیترات، نیتريت، آلاینده‌های زیست‌محیطی، آب زیرزمینی، ارزیابی خطر سلامت.

*آدرس مکاتبه: اراک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، گروه خاکشناسی.

پست الکترونیک: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

مقدمه

امروزه به دلیل مصرف بی‌رویه آب در کره زمین، استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی رو به افزایش است. آب‌های زیرزمینی در مقابل آلاینده‌ها آسیب‌پذیر هستند (۱،۲،۱۴). کیفیت آب‌های زیرزمینی به‌طور فزاینده‌ای توسط فعالیت‌های انسانی تهدید می‌شود و منجر به آسیب لحظه‌ای یا پایدار می‌شود (۳). منابع ارزشمند آب‌های زیرزمینی از حساسیت زیادی در مقابل آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی برخوردار هستند (۱-۲). از میان آلاینده‌ها، نیترات به علت انحلال‌پذیری بالا، خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی را محتمل ساخته است (۶،۷). بر اساس رهنمودهای سازمان بهداشت جهانی برای کیفیت آب آشامیدنی حد مجاز نیترات ۵۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب NO_3 و نیتريت ۳ میلی‌گرم در لیتر برحسب NO_2 تعیین شده است (۵).

از میان جوامع انسانی متأثر از میزان بالای نیترات در آب شرب، نوزادان زیر ۶ ماه به علت اینکه معده اسیدی دارند و رشد باکتری‌هایی تبدیل‌کننده نیترات به نیتريت و اتصال آن به هموگلوبین در آن‌ها به مراتب بیشتر از سایر نوزادان است (۵). همچنین به دلیل اینکه نوزادان زیر ۶ ماه تقریباً با کمبود فعالیت آنزیم‌های احیاکننده یعنی مت هموگلوبین ردوکتاز (آنزیم دی‌افورز NADH (methemoglobin reductase) که عامل کاهش مت هموگلوبین است، مواجه هستند، حساس‌ترین گروه به مت هموگلوبینمی (Methaemoglobinaemia) محسوب می‌شوند (۵). از دیگر گروه‌های مستعد ابتلا به مت هموگلوبینمی جنین و افراد دارای کمبود ژنتیکی آنزیم‌های احیاکننده مت هموگلوبین ردوکتاز هستند (۵). از دیگر بیماری‌های متأثر از افزایش بیش از حد مجاز نیترات در آب شرب می‌توان به بیماری‌های سرطان مری و معده، دیابت و هیپرتروفی تیروئید، اشاره کرد (۷-۱۰). خاصیت سرطان‌زایی نیترات در آب‌های دارای غلظت

بالای نیترات، حاصل احیای نیترات توسط باکتری‌های دستگاه گوارش است که نیترات احیا شده با آمین‌های نوع دوم و سوم ترکیب می‌شود و تشکیل نیتروزآمین می‌دهد که ماده‌ای سرطان‌زا است (۴،۱۳).

یکی از راه‌های مناسب برای حفاظت و جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، شناسایی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان در مقابل آلودگی‌ها است. مفهوم آسیب‌پذیری آبخوان برای اولین بار توسط مارگت (Marget) مطرح شد. این مفهوم به حساسیت یک سفره آب زیرزمینی در اثر خرابی ناشی از یک عمل خارجی اشاره دارد و مبتنی بر این فرض است که محیط فیزیکی ممکن است در جاتی از حفاظت از آب‌های زیرزمینی را در برابر آلودگی‌هایی که وارد منطقه زیر سطح می‌شوند، فراهم کند. در نتیجه، برخی از مناطق خشکی نسبت به مناطق دیگر در معرض آلودگی آب‌های زیرزمینی هستند (۱۵-۱۷).

برای ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که در حال حاضر پرکاربردترین روش مدل DRASTIC است (۱۸) که توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده به‌عنوان روشی استاندارد برای ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی ناشی از آلاینده‌های انتشاری طراحی و ارائه شده است (۱۹). عبارت DRASTIC مخفف پارامترهایی است که در سیستم هیدروژئولوژیکی کنترل‌کننده آلودگی آب زیرزمینی می‌باشند. این پارامترها عبارت‌اند از عمق آب زیرزمینی (Depth to water table)، تغذیه خالص (Net Recharge)، مواد تشکیل‌دهنده آبخوان (Aquifer media)، نوع خاک (Soil media)، توپوگرافی (Topography (slope))، اثر منطقه غیراشباع (Impact of the vadose zone) و هدایت هیدرولیکی آبخوان (Aquifer hydraulic Conductivity) است.

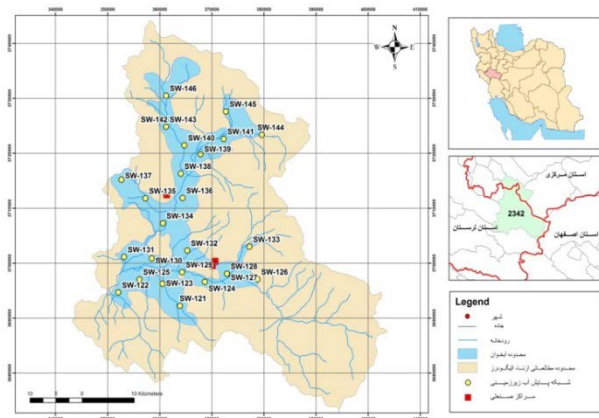
تاکنون مطالعات متعددی بر روی ارزیابی خطر سلامت نیترات و نیتريت در آب‌های زیرزمینی انجام شده است که

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی ازنا- الیگودرز یکی از محدوده‌های شرقی استان لرستان است. این محدوده به لحاظ وجود ارتفاعات آهکی و شیستی، بارش باران نسبتاً مناسب و آبرفت مناسب دارای منابع آب زیرزمینی قابل توجه و رودخانه‌های دائمی است که از سرشاخه‌های رودخانه کارون محسوب می‌شوند.

ارزیابی کیفیت آب چاه‌های منطقه طی سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و با نمونه‌برداری از ۲۵ منبع آب زیرزمینی که موقعیت و مشخصات آن‌ها در شکل (۱) مشخص شده است، انجام شده است. مدل جریان منابع آب زیرزمینی دشت مورد مطالعه در نرم‌افزار GMS و با استفاده از روش مدل مفهومی (Conceptual Model Approach) ترسیم شده است و از ابزارهای GIS و ماژول Map استفاده شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و منابع آب اندازه‌گیری شده بر اساس کد نمونه‌برداری

آماده‌سازی ظروف، نمونه‌برداری و آنالیز

کلیه ظروف قبل از شروع نمونه‌برداری، ابتدا با اسیدکلریدریک ۱۰ درصد و سپس با آب مقطر شستشو داده شد و پس از نمونه‌برداری، برچسب‌گذاری روی نمونه‌ها انجام شد. آنالیز نیتريت و نیترات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR-۵۰۰۰ انجام شد.

از جمله می‌توان به تحقیق رضایی و همکاران در سال ۲۰۱۸ بر روی ارزیابی خطر سلامت نیترات، نیتريت و فلئوئور در آب‌های شرب سنندج انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که هر سه گروه مورد مطالعه (مردان، زنان و کودکان) در معرض خطرات تماس با نیترات هستند ($HQ > 1$) و باید کنترل و اقدامات لازم انجام شود (۲۰). در تحقیقی دیگر که توسط نیک‌بخت و همکاران در سال ۱۳۹۷ بر روی ارزیابی خطر فلئوئور و نیترات در آبخوان لار انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که میزان غلظت اندازه-گیری شده برای عناصر نیترات و فلوراید در برخی نمونه‌ها بیش از حد مجاز تعیین شده (نیترات ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب NO_3 و فلوراید بین ۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر) است (۲۱). تاکنون در روش DRASTIC به جز ارزیابی پارامترهای هیدروژئولوژیکی، مباحث بهداشتی و سلامت انسان‌ها مورد توجه جدی قرار نگرفته است. در این تحقیق برای اولین بار، ارزیابی خطر سلامت انسان‌ها (در معرض نیترات) بررسی شد و برای واسنجی و تأیید صحت نتایج روش DRASTIC استفاده شد.

اهداف این مطالعه عبارت‌اند از: (۱) ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دشت مورد مطالعه در مقابل عوامل آلاینده با استفاده از روش DRASTIC، (۲) تجزیه و تحلیل وضعیت فعلی توزیع بار آلاینده‌گی نیترات و نیتريت در آب‌های زیرزمینی دشت مورد مطالعه، (۳) ارزیابی خطر سلامت (بر اساس نتایج حاصل از میزان یون نیترات) به منظور واسنجی نتایج مدل DRASTIC و تعیین خطر سلامت تماس با میزان بیش از حد مجاز نیترات در سه گروه مردان، زنان و کودکان و (۴) ارائه راهکار برای جلوگیری از پیامدهای بهداشتی و زیست‌محیطی منفی در سطح منطقه مورد مطالعه است. امیداست این مطالعه مسئولین ذی‌ربط را در محافظت از کیفیت آب‌های زیرزمینی و رفع و کاهش خطرات بهداشتی و زیست‌محیطی در منطقه مورد مطالعه یاری کند.

ارزیابی آسیب‌پذیری به روش DRASTIC

از مدل DRASTIC برای ارزیابی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. در این مدل به اهمیت هر یک از پارامتر هفتگانه در آسیب‌پذیری، وزنی برابر با ۱ تا ۵ داده می‌شود (۲۲، ۲۳). به مهم‌ترین آن‌ها وزن ۵ و به کم‌اهمیت‌ترین آن‌ها وزن ۱ داده شده است (۲۴-۲۵). (جدول ۱).

چون در مدل DRASTIC باید نقشه‌های رقومی هر یک از پارامترها محاسبه شود از نسخه ۱۰/۳ نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. برای هر یک از پارامترها، بانک اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار EXCEL با توجه به اطلاعات مورد نیاز شاخص و پارامتر مورد نظر تهیه شده و سپس بانک اطلاعاتی به فرمت قابل استفاده در محیط ArcGIS تبدیل شدند. پس از آن که اطلاعات به محیط ArcMap وارد شدند، با استفاده از برنامه Spatial Analyst عوارض نقطه‌ای به نقشه‌های رستری تبدیل شدند. پس از تهیه نقشه‌های پایه و استفاده از قابلیت‌های نرم‌افزار در خصوص انجام عملیات رستری، نقشه‌ها بر اساس استانداردهای روش DRASTIC که در جدول (۱) مشخص است کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری (ارزشی بین ۱ تا ۱۰) شدند. در نهایت پارامترها طبق رابطه (۱) در وزن مربوطه ضرب و باهم جمع شده و در مجموع نقشه آسیب‌پذیری آبخوان ازنا - لیگودرز حاصل شد.

شاخص آسیب‌پذیری برای مدل DRASTIC به صورت زیر محاسبه می‌گردد (۲۶):

(رابطه ۱)

$$DI = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w$$

معمولاً بالاتر بودن رقم شاخص درستیک (DI)، آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به آلودگی آب زیرزمینی را نشان می‌دهد (۲۷). لازم به ذکر است که برای تسهیل در ارائه نتایج شاخص آسیب‌پذیری و توصیف بهتر این نتایج با استفاده از روش Aller و همکارانش (۱۹۸۷) شاخص

آسیب‌پذیری در ۵ گروه از آسیب‌پذیری ناچیز تا خیلی زیاد تقسیم‌بندی و ارائه شد (۲۸-۲۹).

آماده‌سازی لایه‌های مورد نیاز مدل DRASTIC**الف- لایه عمق آب زیرزمینی**

برای تهیه نقشه هم عمق تا سطح ایستابی دشت از داده‌های پیژومتریک منطقه استفاده شد و با توجه به معیارهای جداول (۱) کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری شدند.

ب- لایه تغذیه خالص

برای تهیه لایه تغذیه از روش Piscopo- 2001 استفاده شد (۳۰). در روش Piscopo با استفاده از شیب، میزان بارندگی و میزان نفوذپذیری خاک منطقه پتانسیل تغذیه آن منطقه به دست می‌آید. برای محاسبه میزان تغذیه یک مدل رقومی ارتفاعی DEM از منطقه تهیه شد. سپس شیب منطقه مورد مطالعه با استفاده از DEM تهیه شده استخراج شده و با توجه به معیارهای جدول (۲) رده‌بندی شدند. نقشه خاک منطقه نیز با توجه به معیارهای جدول (۲) تهیه و رده‌بندی شدند. پس از تهیه تمام نقشه‌های مذکور برای به دست آوردن لایه تغذیه، نقشه‌های شیب و خاک به همراه رتبه بارندگی منطقه که در منطقه مورد مطالعه برابر با ۱ و ۲ است همپوشانی شدند. معادله Piscopo برای محاسبه پتانسیل تغذیه یک منطقه به صورت زیر است:

(رابطه ۲) مقدار تغذیه = درصد شیب + میزان

بارندگی + نفوذپذیری خاک

لایه به دست آمده از روش Piscopo با توجه به

معیارهای جداول (۱) طبقه‌بندی شده است.

ج- لایه محیط آبخوان

برای تهیه لایه محیط آبخوان از لاگ پیژومترها و چاه‌های بهره‌برداری در منطقه استفاده و با استفاده از ابزار 3D Analyst در Arc Map درون‌یابی انجام شد و به فایل رستر تبدیل شد و لایه عمق تا سطح ایستابی با توجه به معیارهای جداول (۱) کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

د- لایه خاک

مطالعه، پس از تعیین دوز دریافتی روزانه برای هر شخص و مقدار RFD، مقدار خطر غیر سرطان‌زایی برای نیترات و بر اساس رابطه (۳) محاسبه شد.

$$HQ = \frac{CDI}{RFD} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه (۳)، HQ خطر مواد غیر سرطان‌زا، CDI میانگین دوز روزانه (mg/kg-d) و RFD دوز مرجع (mg/kg-d) است. میزان دوز مرجع برای نیترات ۱،۶ (USEPA, ۲۰۱۳) است (۳۱).

میانگین دوز روزانه از رابطه زیر محاسبه شد:

(رابطه ۴)

$$CDI = C_{Ww} \times WI \times F \times D / (BW \times T)$$

در رابطه (۴)، C_{Ww} متوسط غلظت نیترات در آب شرب مصرفی در طول زمان مواجهه که برای تعیین مقدار مواد شیمیایی درون آب آشامیدنی مصرف‌شده بهداشتی استفاده شد (WI) مقدار آب آشامیدنی مصرف‌شده توسط فرد پذیرنده که مستقیماً به درجه مواجهه فرد با موارد آلوده‌کننده مرتبط است و به دلیل اینکه در این مطالعه از اطلاعات EPA برای آب آشامیدنی استفاده شد که برای کودکان ۱ لیتر و برای بزرگسالان (مردان و زنان) ۲ لیتر در روز است. (F) تناوب قرار گرفتن فرد پذیرنده در معرض مواد آلاینده است که در این مطالعه به دلیل ورود نیترات از طریق آب آشامیدنی 365d/a در نظر گرفته شد. (D) مدت مواجهه، مدت‌زمانی است که فرد در معرض مواد آلاینده قرار می‌گیرد که EPA میزان آن را برای بزرگسالان (مردان و زنان) 40 a/life time و برای کودکان 6 a/life time پیشنهاد نموده است (۳۱). (BW) میانگین وزن برای مردان، زنان و کودکان است که به ترتیب ۷۸/۶۵ و ۱۴/۵ کیلوگرم انتخاب شد (۳۱). (T) زمان متوسط است که EPA مقدار آن را برای مواد غیر سرطان‌زا، (365D/a × مدت‌زمان مواجهه) پیشنهاد کرده است (۳۱). با توجه به اطلاعات ذکر شده میزان HQ که خطر سلامت برای مواد غیر سرطان‌زا است تعیین می‌شود. اگر $HQ < 1$ باشد بیانگر این است که استفاده از

نقشه خاک منطقه از گزارش مطالعه خاک‌شناسی محدوده ازنا - الیگودرز به دست آمد پس از شناسایی تیپ‌های مختلف خاک در منطقه موردنظر لایه خاک منطقه استخراج و با توجه به معیارهای جداول (۱) طبقه‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

ه- لایه توپوگرافی

برای تهیه لایه توپوگرافی از نقشه‌های DGN منطقه با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ استفاده و مدل رقومی ارتفاعی منطقه DEM تهیه شد. سپس نقشه شیب از این مدل رقومی استخراج شد و با استفاده از ابزار Reclassify در Arcmap مجدداً کلاس‌بندی و با توجه به معیارهای جداول (۱) طبقه‌بندی شد.

و- لایه محیط غیراشباع

برای تهیه لایه محیط غیراشباع از لاگ پیرومترها و گمانه‌های اکتشافی استفاده شد. پس از بررسی وضعیت لیتولوژیکی پیرومترها و همچنین ضخامت بخش غیراشباع به هریک از پیرومترها با توجه به وضعیت لیتولوژیکی، ضخامت رسوبات، جنس رسوب و تأثیر آن در انتقال آلودگی به آبخوان، نهایتاً با توجه به معیارهای جداول (۱) کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

خ- لایه هدایت هیدرولیکی

با توجه به آنکه در آزمایش‌های پمپاژ، مقدار پارامتر ضریب قابلیت انتقال اندازه‌گیری می‌شود، با استفاده از ضخامت اشباع آبخوان، مقدار هدایت هیدرولیکی از تقسیم نقشه ضریب قابلیت انتقال آبخوان بر ضخامت اشباع آبخوان و به کمک قابلیت نرم‌افزار ArcMap تهیه شد و نهایتاً با توجه به معیارهای جداول (۱) کلاس‌بندی و ارزش‌گذاری شد.

ارزیابی خطر سلامت به روش شاخص USEPA

ارزیابی خطر سلامت برای مواد غیر سرطان‌زا بر اساس روش شاخص USEPA برای نیترات، محاسبه شد. در این

آب دارای اثر سوء بر مصرف‌کننده است و اگر $HQ > 1$ بیانگر شرایط امن و بدون اثر سوء بر مصرف‌کننده است (۳۲). از نرم‌افزار Excel برای آنالیز داده‌ها استفاده شد.

روش واسنجی و تأیید صحت نتایج پتانسیل آسیب‌پذیری

برای تأیید صحت نتایج پتانسیل آسیب‌پذیری دشت مورد مطالعه با استفاده از نتایج غلظت یون نیترات، ارزیابی خطر سلامت انجام می‌شود. در صورت انطباق مناطق دارای آلودگی بالاتر با مناطق دارای آسیب‌پذیری و خطر سلامت بالاتر ($HQ < 1$) و انطباق منابع آبی دارای آلودگی پایین‌تر با مناطق با خطر سلامت پایین‌تر ($HQ > 1$) روش مورد استفاده در تعیین پتانسیل آسیب‌پذیری (در این تحقیق روش DRASTIC) تأیید می‌شوند. در غیر این

صورت و در صورت نبود دلایل قانع‌کننده، نمی‌توان به نتایج روش مورد استفاده در تعیین پتانسیل آسیب‌پذیری استناد نمود. علاوه بر این در این تحقیق از نقشه هم‌نیترات که بر اساس درون‌یابی غلظت نیترات در محیط GIS تهیه می‌شود، به عنوان یکی از روش‌های مرسوم واسنجی برای ارزیابی و تأیید صحت نتایج روش DRASTIC و ارزیابی خطر سلامت استفاده شد در این روش در صورت قرار گرفتن مناطق با غلظت نیترات بیشتر در محدوده‌های تعیین‌شده با آسیب‌پذیری بالاتر و بالعکس نتایج روش آسیب‌پذیری مورد تأیید خواهد بود. در این روش هم در صورت عدم انطباق و نبودن دلیل قانع‌کننده نمی‌توان به نتایج روش مورد استفاده در تعیین آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه استناد کرد.

جدول ۱. محدوده‌ها و رتبه‌بندی پارامترهای هفتگانه مدل DRASTIC در منطقه مورد مطالعه

رتبه‌بندی	محدوده پارامتر	رتبه‌بندی	محدوده پارامتر
	توپوگرافی (درصد شیب) با وزن ۱		عمق آب زیرزمینی (متر) با وزن ۵
۱۰	۲-۰	۱۰	۱-۰/۵
۹	۶-۲	۹	۱/۴-۵/۶
۵	۱۲-۶	۷	۴/۹-۶/۱
۳	۱۸-۱۲	۵	۹/۱۵-۱/۲
۱	>۱۸	۳	۱۵/۲۲-۲/۸
	اثر منطقه غیراشباع با وزن ۵	۲	۲۲/۳۰-۸/۴
۱	لایه محبوس شده	۱	>۳۰/۴
۳	سیلت/رس		تغذیه خالص (میلی‌متر در سال) با وزن ۴
۳	شیل	۱	۵۰-۰/۸
۶	سنگ‌آهک	۳	۵۰/۱۰۱-۸/۶
۶	ماسه‌سنگ	۶	۱۰۱/۱۷۷-۶/۸
۶	ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک و شیل‌های لایه‌لایه	۸	۱۷۷/۲۵۴-۸
۶	شن و ماسه با مقدار زیادی رس و سیلت	۹	>۲۵۴
۷	آذرین/دگرگونی		محیط آبخوان با وزن ۳
۸	شن و ماسه	۲	شیل توده‌ای
۹	بازارت	۳	آذری/دگرگونی
۱۰	سنگ‌آهک کارستی	۴	آذرین/دگرگونی هوازده
	هدایت هیدرولیکی (متر بر روز) با وزن ۴	۵	یخرفت‌ها
۱	۰/۴-۰/۴/۱	۶	ماسه‌سنگ لایه‌لایه، سنگ‌آهک و توالی شیل‌ها
۲	۴/۱۲-۱/۳	۶	ماسه‌سنگ توده‌ای
۴	۱۲/۲۸-۳/۷	۸	سنگ‌آهک توده‌ای
۶	۲۸/۴۱-۷	۸	شن و ماسه
۸	۸۲-۴۱	۹	بازالت
۱۰	>۸۲	۱۰	سنگ‌آهک کارستی
			محیط خاک با وزن ۲

۱۰	نازک یا نبود لایه خاک
۱۰	شن
۹	ماسه
۸	کود گیاهی (peat)
۷	رس فشرده/یا متراکم
۶	لوم ماسه‌ای
۵	لوم
۴	لوم سیلتی
۳	لوم رس‌دار
۲	کود (muck)
۱	رس غیر متراکم

جدول ۲. رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر در تغذیه به روش piscopo (۳۰)

تغذیه میزان		خاک نفوذ پذیری		بارندگی		شیب
نمره	محدوده	فاکتور	محدود	فاکتور	بارش (mm)	شیب %
۱۰	۱۳-۱۱	۵	زیاد	۴	>۸۵۰	<۲
۸	۱۱-۹	۴	متوسط تا زیاد	۳	۸۵۰-۷۰۰	۱۰-۲
۵	۹-۷	۳	متوسط	۲	۷۰۰-۵۰۰	۳۳-۱۰
۳	۷-۵	۲	کم	۱	<۵۰۰	>۳۳
۱	۵-۳	۱	خیلی کم			

یافته‌ها

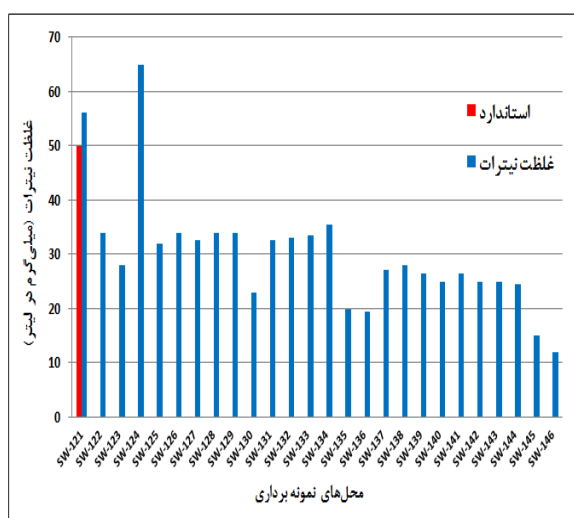
(به‌واسطه غلظت بالای نیتريت به ترتیب ۳/۵، ۳/۳ و ۳/۴ میکروگرم بر لیتر) در منطقه مورد مطالعه بالاتر از ۱ است. لذا چاه‌های این روستاها آلوده می‌باشند.

یافته‌های حاصل از آنالیز نیترات و نیتريت

همان‌گونه که در شکل‌های (۲ و ۳) غلظت نیترات و نیتريت در برخی چاه‌ها بالاتر از حد استاندارد است. طبق توصیه سازمان جهانی بهداشت، برای قضاوت در خصوص میزان غلظت نیترات و نیتريت اندازه‌گیری شده از نمونه‌ها به غلظت توصیه‌شده سازمان جهانی بهداشت طبق رابطه (۵) باید کمتر یا مساوی یک باشد.

$$\frac{NO_3}{50} + \frac{NO_2}{3} \leq 1 \quad (\text{رابطه } ۵)$$

وضعیت آلودگی نیتريت و نیترات در آب‌های زیرزمینی دشت مورد مطالعه بر اساس رابطه (۵) محاسبه شد. بر این اساس آب شرب روستاهای چقاطرم و اشرف‌آباد (به‌واسطه غلظت بالای نیترات به ترتیب ۵۶ و ۶۵ میکروگرم بر لیتر) و آب‌های زیرزمینی روستاهای چم‌زمان، علی‌آباد و دره باغ



شکل ۲. میزان نیترات (NO₃) در شبکه پایش کیفی

مربوط به خاک با بافت لومی است که در مرکز دشت و خروجی آبخوان بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است و به سمت دامنه ارتفاعات میزان نفوذپذیری خاک‌ها و رتبه آن‌ها افزایش پیدا می‌کند.

و- توپوگرافی

توپوگرافی برحسب شیب سطح زمین حائز اهمیت است چراکه هر چه شیب کمتر باشد فرصت آلودگی برای نفوذ افزایش خواهد یافت. با توجه به نتایج شکل (۴) قسمت کمتر دشت دارای شیب کمتر از ۲ در صد (نمره ۱۰) و به صورت پراکنده است و قسمت‌های بیشتر از دشت داری شیب بین ۲ تا ۶ درصد با نمره ۹ است.

ه- محیط غیراشباع

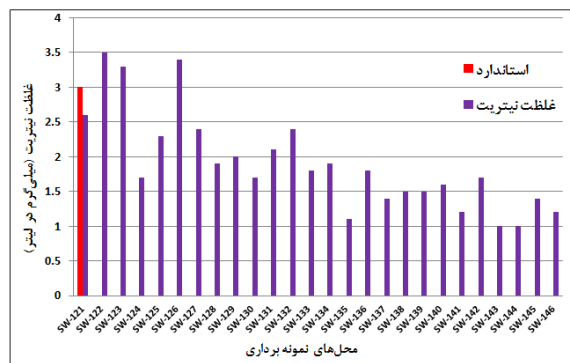
محیط غیراشباع به ناحیه حذفاصل بین سطح ایستابی تا زون خاک اطلاق می‌شود که با غیراشباع است و یا به‌طور ناپیوسته اشباع است. جذب در محیط غیراشباع یکی از سازوکارهای عمده بازدارندگی مهاجرت آلاینده خواهد بود. همان‌گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، اثر محدوده غیراشباع در دشت بین ۲ تا ۸ متغیر بوده و از ورودی‌های دشت به سمت مرکز دشت و خروجی آبخوان کاهش می‌یابد به‌طوری‌که به سمت خروجی که رسوبات رس دار بیشتر می‌شوند، کمترین نمره در انتقال آلودگی را دارد.

خ- هدایت هیدرولیکی

هدایت هیدرولیکی اثری مشابه محیط آبخوان دارد به عبارتی هر چه هدایت هیدرولیکی آبخوان بیشتر باشد میزان زوال آلودگی کاهش می‌یابد. همان‌طوری که در شکل (۴) مشاهده می‌شود بیشترین قسمت منطقه دارای هدایت هیدرولیکی کمتر از ۲۸/۷ متر بر روز است که با نمره ۴ مشخص می‌شود و به طور کلی میزان هدایت هیدرولیکی از اطراف به سمت مرکز دشت افزایش و به سمت خروجی آبخوان کاهش می‌یابد.

نتایج ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری DRASTIC

بر اساس روش Aller و همکاران



شکل ۳. میزان نیتریت (NO₂) در شبکه پایش کیفی یافته‌های حاصل از پارامترهای مدل DRASTIC

الف- عمق آب زیرزمینی

هر چه عمق آب زیرزمینی بیشتر باشد، زمان حرکت و ماندگاری آلودگی فروشویی شونده از سطح بیشتر می‌شود. در نتیجه احتمال از بین رفتن آلودگی با افزایش عمق سطح ایستابی افزایش می‌یابد. همان‌طوری که شکل (۴) نشان می‌دهد کمترین عمق آب زیرزمینی در جنوب و خروجی دشت (نمره ۷ و ۹) و در قسمت عمده دشت عمق سطح آب بین ۹/۱ تا ۱۵/۲ متر قرار دارد که دارای نمره ۵ است.

ب- لایه تغذیه خالص

هر چه تغذیه زیادتر باشد احتمال انتقال آلودگی و آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی بیشتر می‌شود. لایه به‌دست‌آمده از روش Piscopo با توجه به معیارهای جدول (۲) طبقه‌بندی شده است. همان‌طوری که در شکل مشاهده می‌شود میزان تغذیه در دشت بین نمره ۳ تا ۸ متغیر است (شکل ۴).

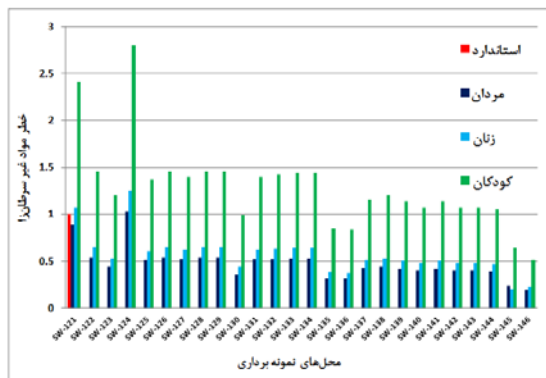
ج- محیط آبخوان

محیط آبخوان و مواد تشکیل‌دهنده آن چگونگی روند جریان حاکم بر سیستم آب زیرزمینی در آبخوان را مشخص می‌کند. همان‌گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌شود اثر محیط آبخوان بین ۳ تا ۸ متغیر است.

د- محیط خاک

محیط خاک تأثیر مهمی بر چگونگی تغذیه و حرکت آلودگی به آب زیرزمینی دارد. با توجه به شکل (۴) محیط خاک بین ۳ تا ۱۰ متغیر است. کمترین میزان نفوذپذیری

مطابق یافته‌های به‌دست‌آمده از جدول (۴) که در شکل (۵) مشخص گردیده است، ۸۳ درصد از کودکان و ۸ درصد از زنان و ۴ درصد از مردان در منطقه مورد مطالعه به دلیل قرار گرفتن HQ در بالاتر از ۱ در معرض خطر نیترات قرار دارند.



شکل ۵. ارزیابی خطر سلامت نیترات در آب‌های زیر زمینی دشت ازنا- الیگودرز

نتایج شاخص DRASTIC در این مطالعه بین ۲۳ تا ۲۳۰ قرار می‌گیرد و همان‌طور که در جدول ۳ و شکل ۴ مشخص شده است، تمامی منطقه مورد مطالعه آسیب‌پذیری متوسط و زیاد دارند.

جدول ۳. گروه‌بندی شاخص درستیک

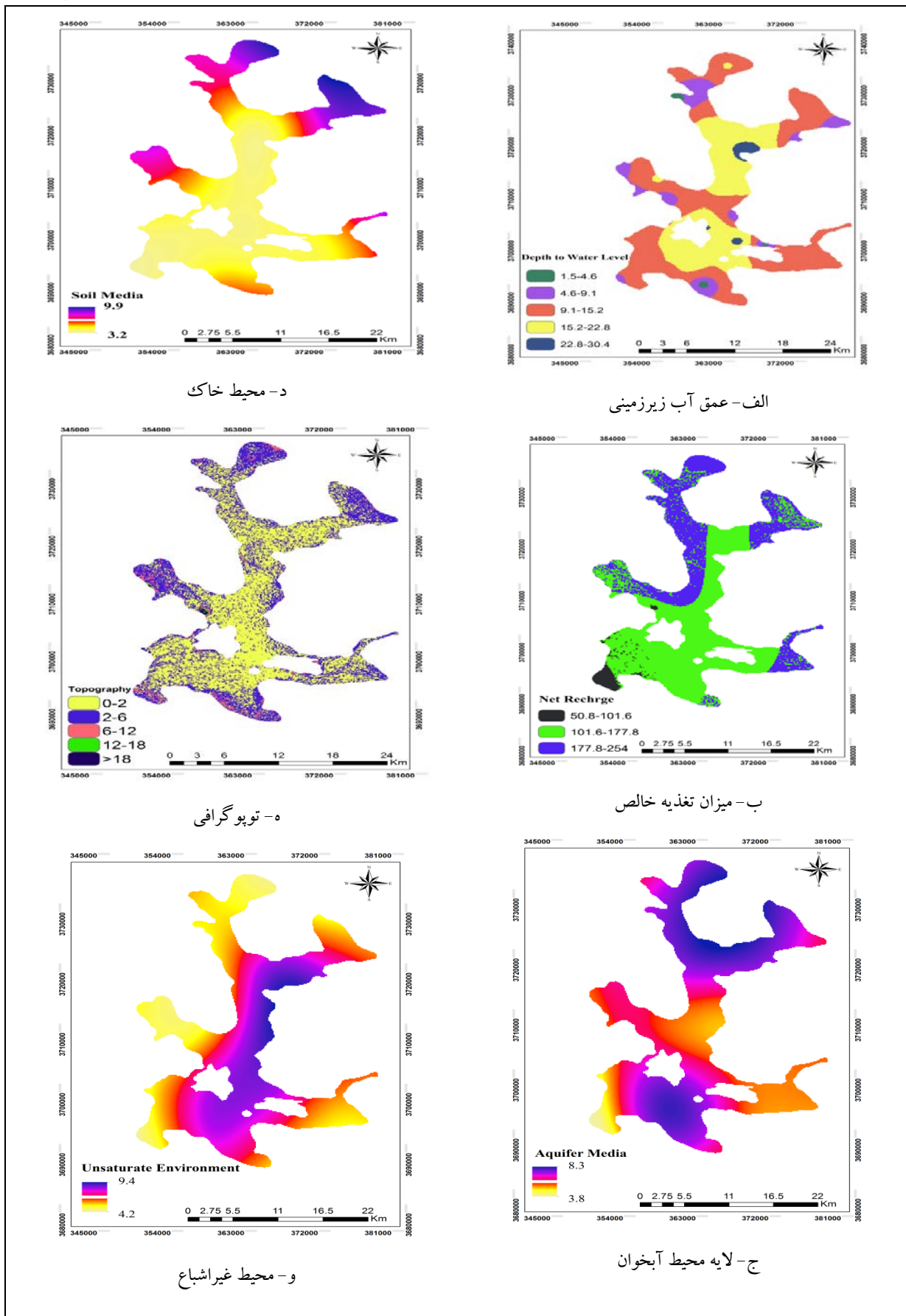
شاخص DRASTIC	محدوده DRASTIC	مساحت (h)	درصد مساحت
آسیب‌پذیری ناچیز و قابل صرف‌نظر	۲۳-۴۶	-	-
آسیب‌پذیری کم	۴۶-۹۲	-	-
آسیب‌پذیری متوسط	۹۲-۱۳۶	۲۴۶۳۲	٪۶۵
آسیب‌پذیری زیاد	۱۳۶-۱۸۴	۲۰۲۲۵	٪۴۵
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	۱۸۴-۲۳۰	-	-
جمع کل		۴۴۸۵۷	٪۱۰۰

نتایج ارزیابی خطر سلامت آبخوان دشت ازنا-

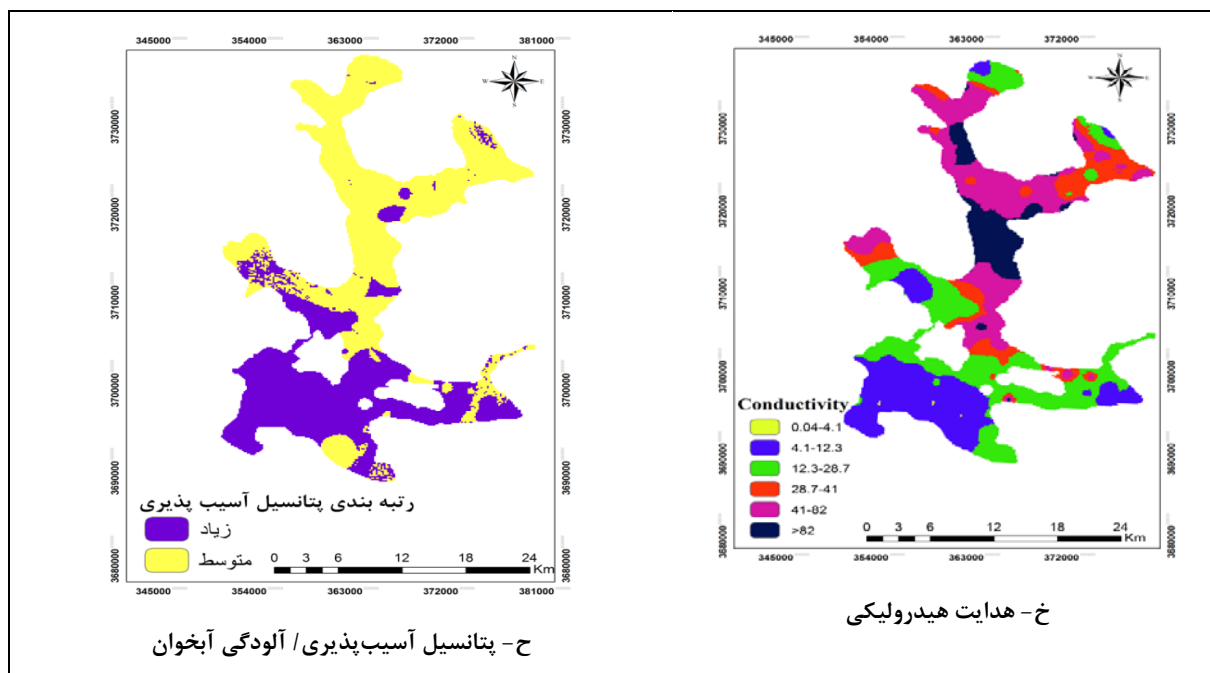
الیگودرز به روش USEPA

جدول ۴. ارزیابی خطر سلامت نیترات در منطقه مورد مطالعه

کد محل نمونه برداری	غلظت نیترات (میلی گرم در لیتر)	RFD	HQ		CDI	
			مردان	زنان	مردان	زنان
SW-121	۵۶	۱/۶	۱/۴۳	۱/۷۲	۳/۸۶	۰/۸۹
SW-122	۳۴	۱/۶	۰/۸۷	۱/۰۴	۲/۳۴	۰/۶۵
SW-123	۲۸	۱/۶	۰/۷۱	۰/۸۶	۱/۹۳	۰/۵۳
SW-124	۶۵	۱/۶	۱/۶۶	۲	۴/۴۸	۱/۰۳
SW-125	۳۲	۱/۶	۰/۸۲	۰/۹۸	۲/۲۰	۰/۶۱
SW-126	۳۴	۱/۶	۰/۸۷	۱/۰۴	۲/۳۴	۰/۶۵
SW-127	۳۲/۵	۱/۶	۰/۸۳	۱	۲/۲۴	۰/۶۲
SW-128	۳۳/۹	۱/۶	۰/۸۶	۱/۰۴	۲/۳۳	۰/۶۵
SW-129	۳۴	۱/۶	۰/۸۷	۱/۰۴	۲/۳۴	۰/۶۵
SW-130	۲۳	۱/۶	۰/۵۸	۰/۷۰	۱/۵۸	۰/۴۴
SW-131	۳۲/۵	۱/۶	۰/۸۳	۱	۲/۲۴	۰/۶۲
SW-132	۳۳	۱/۶	۰/۸۵	۱/۰۱	۲/۲۷	۰/۶۳
SW-133	۳۳/۵	۱/۶	۰/۸۵	۱/۰۳	۲/۳۱	۰/۶۴
SW-134	۳۵/۵	۱/۶	۰/۸۵	۱/۰۳	۱/۳۱	۰/۶۴
SW-135	۱۹/۷۶	۱/۶	۰/۵۰	۰/۶۰	۱/۳۶	۰/۳۸
SW-136	۱۹/۵	۱/۶	۰/۵	۰/۶	۱/۳۴	۰/۳۷
SW-137	۲۷	۱/۶	۰/۶۹	۰/۸۳	۱/۸۶	۰/۴۳
SW-138	۲۸	۱/۶	۰/۷۱	۰/۸۶	۱/۹۳	۰/۵۳
SW-139	۲۶/۵	۱/۶	۰/۶۷	۰/۸۱	۱/۸۲	۰/۵۰
SW-140	۲۵	۱/۶	۰/۶۴	۰/۷۶	۱/۷۲	۰/۴۸
SW-141	۲۶/۵	۱/۶	۰/۶۷	۰/۸۱	۱/۸۲	۰/۵۰
SW-142	۲۵	۱/۶	۰/۶۴	۰/۷۶	۱/۷۲	۰/۴۸
SW-143	۲۵	۱/۶	۰/۶۴	۰/۷۶	۱/۷۲	۰/۴۸
SW-144	۲۴/۵	۱/۶	۰/۶۲	۰/۷۵	۱/۶۸	۰/۳۹
SW-145	۱۵	۱/۶	۰/۳۸	۰/۴۶	۱/۰۳	۰/۲۴
SW-146	۱۲	۱/۶	۰/۳۰	۰/۳۶	۰/۵۱	۰/۱۹



شکل ۴. لایه‌های رتبه‌بندی پارامترهای مدل DRASTIC و نقشه آسیب‌پذیری دشت ازنا-الیگودرز



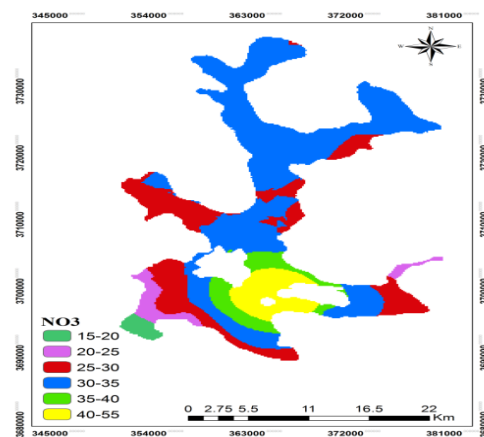
ادامه شکل ۴

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات مشابهی در سطح ایران و جهان برای تعیین غلظت نیتريت و نیترات در منابع آبی انجام شده است. در اکثر این مطالعات میزان غلظت نیتريت و نیترات در منابع آبی در حال افزایش است (۱۵-۹، ۳۲، ۲۰). مطالعات نشان می‌دهند که ترکیبات از دو طریق، مواد غذایی و آب آشامیدنی وارد بدن انسان می‌شوند و از آنجایی که کنترل آن‌ها از طریق مواد غذایی به‌طور کلی عملی نیست بنابراین کنترل غلظت نیترات آب آشامیدنی بهترین روش جهت پیشگیری از بیماری و عوارض آن‌ها است (۸) لذا در صورت بی‌توجهی در این زمینه در آینده نه‌چندان دور شاهد بالا رفتن نیترات و نیتريت از حدود مجاز خواهیم بود. حد مجاز تعیین‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی برای نیترات ۵۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب یون NO_3 (معادل ۱۱ میلی‌گرم در لیتر برحسب نیتروژن- نیترات) و این میزان برای نیتريت ۳ میلی‌گرم در لیتر برحسب یون NO_2 (معادل ۰/۹ میلی‌گرم در لیتر برحسب نیتروژن- نیترات) تعیین شده است (۵،۶). مطالعه حاضر نشان داده است که مقادیر غلظت نیترات در آب شرب روستاهای

نتایج واسنجی روش DRASTIC

با توجه به‌قرار گرفتن مناطق دارای پتانسیل آلودگی بالاتر در جنوب منطقه مورد مطالعه (ارائه‌شده در شکل ۴) و مطابقت آن با نتایج ارزیابی خطر سلامت انسان‌ها که مناطق دارای HQ بالاتر از ۱ ($\text{HQ} < 1$) در همین محدوده (ارائه‌شده در جدول ۴ و شکل ۵) قرار دارند و همچنین با توجه به‌قرار گرفتن مناطق با مقادیر بالاتر نیترات در محدوده با پتانسیل آسیب‌پذیری بالاتر در جنوب دشت مورد مطالعه (ارائه‌شده در شکل ۶)، نتایج روش DRASTIC (با استفاده از نتایج ارزیابی خطر سلامت و نتایج نقشه هم نیترات) واسنجی و تأیید شد.



شکل ۶. نقشه هم نیترات آبخوان ازنا- الیگودرز

نتایج شاخص درستیک در شکل (۲) نشان داده شده است حدود ۴۵ درصد منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ی آسیب‌پذیری زیاد (قسمت جنوبی دشت) و حدود ۶۵ درصد منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ی آسیب‌پذیری متوسط (قسمت شمالی دشت) قرار دارد. نتایج روش درستیک با نتایج ارزیابی خطر سلامت واسنجی شد، با توجه به فرار گرفتن محدوده‌های دارای خطر سلامت (برای ۸۳ درصد از کودکان و ۸ درصد از زنان و ۴ درصد از مردان) در قسمت جنوبی دشت مورد مطالعه که بر اساس روش درستیک این محدوده دارای آسیب‌پذیری زیاد است، صحت نتایج روش درستیک تأیید شد. لازم به توضیح است که در این تحقیق برای اولین بار از ارزیابی خطر سلامت (بر اساس نتایج حاصل از آنالیز نیترات) برای واسنجی نتایج ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری استفاده شده است در حالی که در سایر تحقیق‌های مشابه صرفاً به نتایج پارامترهای مختلف و بدون تعیین و ارزیابی خطر سلامت استفاده شده است. در این تحقیق به دلیل مشخص شدن خطر سلامت می‌تواند به‌عنوان روشی قابل استناد در سایر تحقیق‌های مشابه و جهت تعیین صحت نتایج اکثر روش‌های آسیب‌پذیری استفاده شود.

از دلایل بالا بودن نیتريت و نیترات نسبت به استاندارد، استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی نیتراته و همچنین تشدید این آلودگی با فاضلاب انسانی است که به‌طور گسترده در کل منطقه مورد مطالعه و بدون مدیریت رها شده است (شهر ازنا و کلیه روستاهای موجود در منطقه مورد مطالعه فاقد سیستم تصفیه فاضلاب هستند).

با توجه به اینکه خطر بالایی آب‌های زیرزمینی منطقه را تهدید می‌کند، در صورت تداوم روند فعلی و بی‌توجهی در مدیریت آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، بروز بیماری مرتبط با نیترات بخصوص در کودکان دور از انتظار نخواهد بود. لذا در حال حاضر و به‌عنوان اولین اقدام توقف فوری مصارف شرب برای چاه‌ها روستاهای چقاطرم و

چقاطرم و اشرف‌آباد و مقادیر غلظت نیتريت در آب‌های زیرزمینی روستاهای چم‌زمان، علی‌آباد و دره باغ بیش‌ازحد مجاز است (۲۰ درصد نمونه‌ها). در مطالعه مشابهی که توسط عمار لویی و همکاران که در سال ۱۳۸۹ بر روی آب‌های زیرزمینی شهرستان ایلام انجام شده است، غلظت یون‌های نیترات و نیتريت در ۹۸/۳۳ درصد نمونه‌ها پایین‌تر از مقدار استاندارد و در ۱/۶۷ درصد نمونه‌ها بالاتر از مقدار استاندارد بوده است که با نتایج این تحقیق انطباق دارد (۱۱). از جمله مطالعات مشابه دیگر، مطالعه فرشاد و همکاران است که در یک بررسی در مورد میزان نیترات و نیتريت در چاه‌های واحدهای صنعتی منطقه غرب تهران در سال ۱۳۸۱، مقادیر اندازه‌گیری شده نیتريت و نیتريت در چاه‌های مورد بررسی بیش از رهنمود سازمان جهانی بهداشت است (۱۴). بررسی نیک‌بخت و همکاران بر روی ارزیابی خطر سلامتی فلوراید و نیترات در منطقه لار در جنوب ایران در سال ۲۰۲۱ انجام شد، غلظت اندازه‌گیری شده برای عناصر نیترات و فلوراید در برخی از نمونه‌ها بیش‌ازحد تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی است (۲۱). در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۸ توسط رضایی و همکاران در ارزیابی خطر سلامتی مربوط به فلوراید، نیترات و نیتريت در آب آشامیدنی سنندج در استان کردستان هر سه گروه مورد مطالعه در معرض خطرات تماس با نیترات تشخیص داده شد ($HQ > 1$) (۲۰) که با نتایج ارزیابی خطر سلامت این تحقیق مطابقت دارند. در مطالعه‌ای دیگر که توسط هوانگ و همکاران بر روی آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی شان‌دونگ چین در سال ۲۰۱۱ انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که محدوده‌هایی که غلظت بیشتری از نیترات دارند، عمدتاً در مناطقی رخ داده است که بیش‌ازحد از کود ازت استفاده کرده اند که می‌تواند تأیید کننده‌ی یکی از علت‌های اصلی آلودگی، در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق باشد (۹).

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول مقاله می باشد که توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک تصویب شده است. همچنین از مدیریت و همکاران شرکت مهندسین مشاور طراحان پدیده ماداکتور و واحد آب‌های زیرزمینی شرکت آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب استان لرستان و همچنین از جناب آقای دکتر بهرام کمره‌ای و آقای دکتر احسان رحیمی که در انجام این تحقیق همکاری و مساعدت نمودند، تشکر و قدردانی می شود.

اشرف‌آباد (آلوده به نیترات) و چاه‌های روستاهای چم‌زمان، علی‌آباد و دره باغ (آلوده به نیتريت) ضرورت دارد و بر اساس نتایج حاصل ارزیابی خطر سلامت استفاده از چاه‌های آب شرب در روستاها چقاظم و اشرف‌آباد برای هیچ‌یک از مردان، زنان و کودکان جایز نیست. بنابراین برای کنترل و جلوگیری از افزایش آلودگی در سایر نقاط آبخوان پیشنهاد می شود: (۱) احداث شبکه و تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و روستایی در اولویت طرح‌های اجرایی قرار گیرد، (۲) میزان مصارف کودهای شیمیایی بخصوص میزان استفاده از آن‌ها از طرف کشاورزان غیربومی که به‌صورت مقطعی اراضی کشاورزی منطقه را به‌صورت استیجاری کشت می کنند، محدود شود، (۳) روش‌های آبیاری بهینه با روش‌های سنتی جایگزین شود و (۴) پایش مستمر منابع آب شرب منطقه در دستور کار قرار گیرد. امید است نتایج این مطالعه متولیان را برای اتخاذ تدابیر عاجل برای حفظ سلامت استفاده‌کنندگان یاری کند.

References

1. Schi A. Nitrate removal from groundwater. *Ecol. Eng.* 2000; 14: 269-78.
2. Swain A K, Sahoo A, Jena H M, Patra H. Industrial wastewater treatment by aerobic inverse fluidized bed biofilm reactors (AIFBBRs): a review a review. *J. Water Proc. engineering.* 2018;23:61-74.
3. maqsoom A, Aslam B, Khalil U, Ghorbanzadeh O, Ashraf A, Faisal Tufail R et al. A GIS-based DRASTIC Model and an Adjusted DRASTIC Model (DRASTICA) for Groundwater Susceptibility Assessment along the China–Pakistan Economic Corridor (CPEC) Route. *ISPRS Int. J. Geoinf.* 2020;9(5):332.
4. WHO-World Health Organization. Guidelines for drinking water quality, 3rd ed. Geneva. 2004; 1:188.
5. WHO. Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for drinking water quality. World Health Organization (WHO/SDE/FWC/16.52), Geneva. 2016.
6. WHO. Guidelines for drinking water quality: the fourth edition incorporating the first Addendum. 2017; 978-92-4-154995-0.
7. Adimalla N, Li P, Venkatayogi S. Hydrogeochemical evaluation of groundwater quality for drinking and irrigation purposes and integrated interpretation with water quality index studies. *Environ Process.* 2018a; 5(2): 363-83.
8. Adimalla N. Spatial distribution, exposure, and potential health risk assessment from nitrate in drinking water from semi-arid region of South India, *Hum. Ecol. Risk Assess.* 2020; 26(2): 310-34.
9. Huang J, Xub J, Liub X, Liuc J, Wang L. Spatial distribution pattern analysis of groundwater nitrate-nitrogen pollution in Shandong intensive farming regions of China using neural network method. *Math. Comput. Model.* 2011; 54: 995-1004.
10. Laftouhi N, Vanclooster M, and Jalal M. Groundwater nitrate pollution in the Essaouira Bassin (Morocco). *C. R. Geosci.* 2003;335(3):307-317.
11. Amarlooei A, Nazeri M, Nourmoradi H, Sayehmiri K, Khodarahmi F. Investigation on the Concentration of Nitrate and Nitrite in Ilam groundwaters. *j. ilam univ. med. sci.* 2014; 22: 34-41. (In Persian)
12. Mc lay A. Predicting groundwater nitrate concentrations in the region of mixed agricultural landuse. *Environ. pollut.* 2001;115(2):191-204.
13. Dianati R, Ghafouri A. [Survey of iron and nitrate levels in the groundwater of the city of Babol in 2003]. *J Sari School Pub Health* 2004; 41: 567-63. (In Persian)
14. Aymandl K A, Farshad AA, Myrbdallh L. [The trend of increasing nitrate concentrations in grow-underwater wells

- West of Tehran]. Iran. J. Public Health. 2000; 4: 196-102. (In Persian)
15. Baghapour M A, Fadaei Nobandegani A, Talebbeydokhti N, Bagherzadeh S, Nadiri A A, Gharekhani M et al. Optimization of the DRASTIC method by an artificial neural network, nitrate vulnerability index, and composite DRASTIC models to assess groundwater vulnerability for unconfined aquifer of Shiraz Plain, Iran. J. Environ. Health Sci. Eng. 2016; 14:13.
 16. Rahman A. A GIS-based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India. J Appl Geography. 2008; 28(1): 32-53.
 17. Manos B, Papathanasiou J, Bournaris T. A multicriteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. J Environ Manage. 2010; 91:1593–600.
 18. Jarray H, Zammouri M, Ouessar M, Zerrim A, Yahyaoui H. GIS-based DRASTIC model for groundwater vulnerability assessment: case study of the shallow Mio-polio-quatery aquifer (Southeastern Tunisia). Water Resour. 2017; 44: 595-603.
 19. Gorgani Sh, Bafkar A, Fatemi SE. Evaluating Potential Contamination of Groundwater by DRASTIC (Case Study: Plain Mahidasht Kermanshah). Iranian J. Health. Environ. 2017; 9(4): 527-536.
 20. Rezaei H, Jafari A, Kamarehie B, Fakhri Y, Ghaderpoury A, Karami M A et. Health-risk assessment related to the fluoride, nitrate, and nitrite in the drinking water in the Sanandaj, Kurdistan County, Iran. Hum. Ecol. Risk Assess. 2018.
 21. nikbakht M, Rezaei M, Shakeri A. Health risk assessment of fluoride and nitrate in Lar area, south Iran. J. Environ. Geol. 2017; 10: 37. (In Persian)
 22. Barbulescu A. Assessing Groundwater Vulnerability: DRASTIC and DRASTIC-Like Methods: A Review. Water J. 2020; 12: 1356.
 23. Yousefi H, Haghizadeh A, Yarahmadi Y, Hasanpour P, Noormohamadi P. Groundwater pollution potential evaluation in Khorramabad-Lorestan Plain, western Iran. Journal of Afr. Earth Sci. 2018; 147: 647-656.
 24. Al-Abadi A M, Al-Shamma'a A M, Aljabbari M H. A GIS-based DRASTIC model for assessing intrinsic groundwater vulnerability in northeastern Missan governorate, southern Iraq. Appl. Water Sci. 2017; 7: 89-101.
 25. Sakala E, Fourie F, Gomo M, Coetzee H. GIS-based groundwater vulnerability modeling: a case study of the Witbank, Ermelo and Highveld Coalfields in South Africa. Journal of Afr. Earth Sci. 2018;137: 46-60.
 26. Neshat A, Pradhan B. Evaluation of groundwater vulnerability to pollution using DRASTIC framework and GIS. Arab. Journal of Geosci. 2017; 10: 501.
 27. Nadiri A A, Gharekhani M, Khatibi, R, Moghaddam A A. Assessment of groundwater vulnerability using supervised committee to combine fuzzy

- logic models. Journal of Environ. Sci. Pollut. Res. 2017a; 24: 8562–8577.
28. Aller L, Bennett T, Lehr J H, Petty R J, Hackett G. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Potential Using Hydrogeologic Settings, EPA/600/2-85/018; US Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 1987.
29. Javadi S, Kavehkar N, Mousavizadeh M H, Mohammadi K. Modification of DRASTIC Model to Map Groundwater Vulnerability to Pollution Using Nitrate Measurements in Agricultural Areas. J. Agr. Sci. Tech. 2011; 13(2):239-249.
30. Piscopo G. Groundwater Vulnerability Map Explanatory Notes—Castlereagh Catchment. NSW Dep. L. Water Conserv. Aust. pp. 18 CNR 2001:017.
31. US EPA. A risk assessment- Multi way exposure Spreadsheet calculation tool. Washington, DC: united States Environmental Protection Agency. 2013.
32. Irina S, Muntean A, Chioran C. The human health risk assessment related to the nitrates and nitrites in the wells water in Farcașa Village, Maramureș County (Romania). ProEnvironment. 2014; 7:198-203.

Groundwater Vulnerability potential and Health-risk assessment related to nitrate and nitrite in drinking water in Azna-Aligudarz Plain

Salarvand A¹, Varvani J², Baghaie A.H^{3*}, Abdi N⁴, Chamanpira R⁵

1. PhD student, Department of the Environment, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

2. Associate Professor, Department of Natural Resources and Environment, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

3. Assistant Professor, Department of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran, a-baghaie@iau-arak.ac.ir

4. Associate Professor, Department of Natural Resources and Environment, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

5. Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khorramabad, Iran

Received: 11 April 2021 Accepted: 22 May 2021

Abstract

Background: In the Azna-Aligudarz plain, the drinking water is mainly supplied from groundwater. Therefore, it is necessary to estimate the concentration of nitrate and nitrite and determine the groundwater vulnerability potential and related risks in the plain to guarantee the health of consumers.

Materials and Methods: The vulnerability potential of the studied plain to pollutants was investigated by the drastic method. To estimate the concentration of nitrate and nitrite, 25 water wells in the study area were sampled within 2018-2019 and analyzed by standard method. Human health risk related to groundwater in the study area was assessed using the USEPA (the United States Environmental Protection Agency) index.

Results: The results of the DRASTIC method demonstrated that 45% and 65% of the region has a high (southern part of the plain) and a medium vulnerability potential (northern part of the plain), respectively. According to the obtained results, nitrate in Chaqataram and Ashrafabad villages with 56 and 65 mg/liter, respectively, and nitrite in groundwater of Chamzaman, Aliabad, and Darreh Bagh villages with 3.5, 3.3, and 3.4 mg/liter, was higher than the standard of World Health Organization. According to the health risk assessment results, 83%, 8%, and 4% of children, women, and men are prone to health threats due to nitrate concentration ($HQ > 1$). The accuracy of the vulnerability results was confirmed by calibrating the results of the health risk assessment and the results of the nitrate map.

Conclusion: As evidenced by the obtained results, improper use of nitrate chemical fertilizers and unsafe disposal of human wastewater (urban and rural) is the main cause of increased nitrate and nitrite concentrations in agricultural lands. Based on the results of the present study, the use of contaminated drinking wells is not recommended and continuous monitoring of drinking wells in the study area is essential to protect the health of consumers, especially children.

Keywords: Nitrate, Nitrite, Environmental pollutants, Groundwater, Health risk assessment.

***Citation:** Salarvand A, Varvani J, Baghaie AH, Abdi N, Chamanpira R. Groundwater Vulnerability potential and Health-risk assessment related to nitrate and nitrite, in the drinking water in the Azna-Aligudarz Plain. *Yafte*. 2021; 23(3):89-105.