



## آلودگی آبهای زیرزمینی دشت اوان به نیترات و بررسی پتانسیل و منشا آلاینده‌گی آن

سعیده سامانی<sup>۱\*</sup>، نصرالله کلانتری<sup>۲</sup>، محمد حسین رحیمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی دانشگاه تبریز، نویسنده مسئول مکاتبات: samani\_1386s@yahoo.com

<sup>۲</sup> دکترای هیدروژئولوژی، استاد گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۲۰

### چکیده

به علت رشد روزافزون فعالیت‌های کشاورزی در دشت اوان و مصرف بیش از حد کودهای کشاورزی در این منطقه، بررسی وضعیت نیترات و ارزیابی پتانسیل آلودگی آن در آبهای زیرزمینی منطقه از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این پژوهش، از ۱۶ حلقه چاه در حال استفاده و آب های سطحی منطقه نمونه برداری و غلظت نیترات آن‌ها تعیین شد. بررسی مکانی یون نیترات نشان داد که بیشترین غلظت نیترات بین ۳۱ تا ۳۷ میلی گرم در لیتر بوده و مربوط به محدوده شمال دشت اوان است و به طور کلی، غلظت نیترات در آبهای زیرزمینی دشت اوان کمتر از ۳۷ میلی گرم در لیتر است. با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، در حال حاضر منابع آب زیرزمینی دشت اوان مخصوصاً در نواحی شمالی نسبت به نیترات آلوده هستند ولی همچنان از حد مجاز استاندارد سازمان محیط زیست جهانی برای مصرف شرب، پایین تر می‌باشند. برای بررسی منابع نیترات آب از نمودارهای نیترات در مقابل غلظت‌های کلر و پتاسیم استفاده شد. بالا بودن غلظت نیترات و پایین بودن میزان کلر در نمونه‌های واقع در بخش شمالی دشت، تأیید کننده منشأ آلودگی آب‌ها توسط فروشست کودهای شیمیایی و دامی از سطح خاک می باشد. توزیع مکانی یون نیترات در دشت اوان نتایج حاصل از دو مدل GOD و AVI را که نمایانگر وجود بیشترین پتانسیل آلودگی در بخش های شمالی دشت می‌باشد، تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آلودگی؛ فروشست کودهای شیمیایی؛ مدل GOD؛ مدل AVI

### مقدمه

است. نیترات عمده ترین و شایع ترین آلاینده آبهای زیرزمینی می باشد. میزان غلظت نیترات در آبهای زیرزمینی معمولاً بین ۰/۱ تا ۱۰ میلی گرم در لیتر متغیر است. ولی مقدار آن از حدود ۰/۱ تا ۰/۳ در آب باران تا بیش از ۶۰۰ میلی گرم در لیتر در آب زیرزمینی که تحت تأثیر کودهای نیترا ته قرار گرفته اند متغیر است. حداکثر غلظت نیترات و نیتريت آب برای مصرف شرب به ترتیب ۴۵ میلی گرم در لیتر (۱۰ میلی گرم در لیتر بر حسب نیتروژن) و ۳/۳ میلی گرم در لیتر (۱ میلی گرم در لیتر بر حسب نیتروژن) توصیه گردیده است (USEPA, 1995).

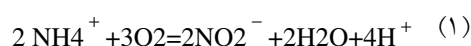
آبهای زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند ایران به خصوص در مناطق جنوبی کشور که متوسط بارندگی آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی سایر نقاط کره زمین است اهمیت زیادی دارد و نقش قابل توجهی را بعنوان مخزنی برای آب شیرین ایفا می کند. آلوده شدن منابع آب زیرزمینی تهدیدی جدی در این مناطق بوده و کاربری اراضی بایستی متناسب با پتانسیل و خطر آلوده شدن آبخوانها تعریف گردد. در بعضی از موارد فرآیندهای طبیعی به طور جدی سبب آلودگی می شوند اما بیشتر نگرانی های بشر در مورد آلودگی های آبهای زیرزمینی در اثر فعالیت انسانی

در اکثر موارد رخداد نیترات در آبهای زیرزمینی به صورت یک آلاینده انتشاری از کشاورزی ناشی شده و غلظت های نیترات حداقل تا حدودی با میزان کوددهی نیتروژنه و تاریخچه کوددهی در منابع کشاورزی در ارتباط است (Alley, 1993). نیترات قابلیت انحلال و تحرک زیادی دارد. این امر جذب نیترات در گیاهان را آسان نموده و فروشویی را از زون خاک توسط آبهای نفوذی مستعد می سازد. جذب مقدار زیاد نیترات در گیاهان برای آنان زیان آور نمی باشد ولی در دامهایی که از این گیاهان تغذیه می کنند موجب سقط جنین و کاهش تولید شیر می شود در بدن انسان نیز غلظت های نیترات بیش از ۴۵ میلی گرم در لیتر باعث ایجاد بیماری متاهموگلوبینمیا در کودکان (عموماً بچه های کمتر از ۴ ماه)، و در نتیجه مرگ آنها می گردد. نیترات موجود در آب شرب می تواند در دستگاه گوارشی انسان به نیتريت تبدیل شده و در نتیجه، نیتروزامینس (Nitrosamines) را ایجاد نماید. بعضی از نیتروزامینس ها سرطانزا تشخیص داده شده اند (Datta et al, 1997).

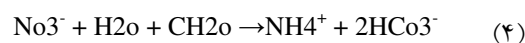
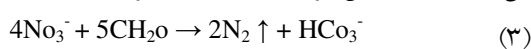
تخمین های مختلف نشان داده است که نیتروژن برگشتی کود حیوانی به خاک معادل ۱۰ تا ۲۰ درصد نیتروژن کودهای شیمیایی مصرف شده در ایالات متحده می باشد (Guler et al, 2002). اراضی وسیع و فعالیت های شدید کشاورزی و استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی و حیوانی از عواملی هستند که می توانند سبب آلوده شدن آبخوان واقع در دشت اووان گردند و از آنجا که از آبهای زیرزمینی موجود در منطقه بعنوان آب شرب استفاده می شود، در مورد یون نیترات در آبهای زیرزمینی منطقه بطور خاص تأکید شده است. به همین دلیل در این تحقیق وضعیت نیترات آب زیرزمینی دشت اووان مورد بررسی قرار می گیرد.

فرایندهای شیمیایی و بیولوژیک که سبب جابجایی نیتروژن در لیتوسفر، اتمسفر، هیدروسفر و بیوسفر می شوند، چرخه نیتروژن را تشکیل می دهند. به علت پیچیدگی این چرخه، شناسایی منابع نیتروژن در آب زیرزمینی معمولاً مشکل است. نیتروژن عنصری است که می تواند در هر دو فرم اکسیده و احیایی در طبیعت رخ دهد. اشکال معمول نیتروژن غیرآلی شامل نیترات، نیتريت، گاز نیتروژن، آمونیوم، و سیانید می باشند. نیترات عمده ترین و شایع ترین آلاینده آب زیرزمینی می باشد (Fetter, 1999).

اکسیداسیون میکروبی آمونیوم به نیتريت و سپس به نیترات به نام نیتريفیکیشن شناخته می گردد. به استثناء بعضی از واکنش های جوی، نیتريفیکیشن تنها منشأ طبیعی نیترات در زیست کره می باشد. واکنش های نیتريفیکیشن، یون آمونیوم غیر متحرک را به نیترات، که در آب بسیار متحرک بوده و به آسانی فروشویی شده و متحمل دنیتريفیکیشن می شود، تبدیل می نمایند. در منطقه غیر اشباع، اکسیداسیون آمونیوم به وسیله معادلات واکنشی احیایی زیر صورت می گیرد:



از طرف دیگر اصلی ترین و مهم ترین فرایندی که سبب می شود نیتروژن از ترکیبات نیتروژن دار به صورت نیتروژن گازی (N<sub>2</sub> یا N<sub>2</sub>O) به اتمسفر برگردد، فرایند دنیتريفیکاسیون زیستی است و از این رو مهم ترین عامل ناکارایی کودهای نیتروژنه در کشاورزی می باشد. دنیتريفیکیشن عموماً به فرایند تنفس میکروبی گفته می شود که در طی آن اکسیدهای نیتروژن به عنوان پایانه پذیرنده الکترون به خدمت گرفته می شوند. معادله این فرایند به صورت زیر است:



این منطقه سازند بختیاری استحکام چندانی نداشته و به مرور زمان در اثر فرسایش‌های آبی، سیمان کربناته خود را از دست داده و به صورت آبرفت، ناودیس‌های ملایمی را پر کرده است. لیتولوژی بخش لهبری نیز شامل مارن، سیلتستون و گل‌سنگ است. ناودیس دشت اوان که بخشی از ناودیس بزرگ دشت دزفول می‌باشد، توسط آبرفت‌های حاصل از فرسایش سازندهای اطراف پر شده است.

در دشت اوان از سمت مناطق شمالی و شمال غربی دشت به سمت جنوب و جنوب شرق از اندازه ذرات کاسته می‌شود. اجزاء دانه درشت این رسوبات ناشی از متلاشی شدن سازند بختیاری و اجزاء ریزدانه آن از فرسایش بخش لهبری می‌باشد. عامل فرسایش آبراهه‌ها، رودخانه بزرگ کرخه و رودخانه روفائیه می‌باشند. این آبراهه‌ها با برجای نهادن رسوبات درشت دانه خود در بدو ورود به دشت و حمل رسوبات ریزدانه‌تر و انتقال آن به انتهای مسیر خود، باعث شده اند تا اندازه ذرات رسوبات دشت اوان، در شمال و شمال غرب دشت، درشت دانه بوده و به سمت جنوب و جنوب شرق ریزدانه گردند. در جهت عمودی نیز، اندازه ذرات در ابتدا ریز تا متوسط دانه بوده و سپس درشت‌تر می‌گردد و در نهایت مجدداً ریزدانه شده و به یک لایه رس فشرده ختم می‌شوند. آبخوان دشت اوان نیز در همین لایه درشت دانه‌تر میانی شکل گرفته است.

رودخانه کرخه تنها رودخانه دائمی است که از دشت اوان عبور می‌کند و نقش مهمی در تامین نیاز آبی منطقه دارد. کیفیت مناسب آب این رودخانه سبب شده تا در مصارف مختلف به میزان زیاد از آن استفاده شود. این رودخانه آب کشاورزی بخش وسیعی از دشت را فراهم می‌کنند. لازم به ذکر است که از سال ۱۳۷۹ به علت بهره برداری زیاد از رودخانه کرخه، برداشت از آبهای زیرزمینی از طریق پمپاژ از چاههای

یکی از روش‌های مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی ارزیابی پتانسیل آلودگی است که با توجه به آن می‌توان حریم کیفی منابع آب زیرزمینی را تعیین و مدیریت مناسبی جهت کاربری اراضی مرتبط با سفره آبدار اعمال کرد (کلانتری و همکاران، ۱۳۸۶). ارزیابی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی ابزار مهمی برای طرح‌های زیست محیطی و تصمیمات مدیریتی می‌باشد. در سالهای اخیر روش‌های گوناگونی جهت ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبهای زیرزمینی توسعه یافتند که انتخاب هر روش بستگی به وسعت منطقه مورد مطالعه، داده‌های موجود، شرایط اقتصادی و ... دارد (فاریابی، ۱۳۸۵). جهت تعیین حریم کیفی منابع آب زیرزمینی و اعمال مدیریت مناسب جهت کاربری اراضی مرتبط با آبخوان پتانسیل یابی آلودگی آب زیرزمینی دشت اوان به روش‌های *God* و *AVI* نیز صورت گرفته است، تا بتوان از آن به عنوان ابزاری جهت طرح‌های زیست محیطی و تصمیمات مدیریتی استفاده نمود.

### ویژگیهای منطقه مورد مطالعه

دشت اوان با مساحت ۱۹۵/۳ کیلومتر مربع در فاصله ۱۴۰ کیلومتری شهرستان اهواز در شمال غرب استان خوزستان و بین طول‌های جغرافیایی  $59^{\circ} 47'$  تا  $9^{\circ} 48'$  (شرقی) و عرض‌های جغرافیایی  $30^{\circ} 30'$  تا  $32^{\circ} 24'$  (شمالی) قرار گرفته است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه جزئی از حوضه رسوبی ساختاری زاگرس چین خورده است. از لحاظ چین‌شناسی مهمترین واحدهای رسوبی منطقه مربوط به سازندهای بختیاری و بخش لهبری می‌باشند. این سازندها مهمترین عوامل تاثیرگذار بر کمیت و کیفیت آب زیرزمینی منطقه می‌باشد. لیتولوژی سازند بختیاری عمدتاً شامل کنگلومرا با سیمان آهکی است اما گاهی سیمان ماسه‌ای و سیلتی نیز در آن مشاهده می‌شود. در

در ضمن در این تحقیق ارزیابی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی دشت اوان از طریق دو روش AVI و God جهت تعیین انطباق یا عدم انطباق نقاطی با پتانسیل آلودگی بالا، با مناطقی از آبخوان که میزان یون نترات بالایی دارد، صورت گرفت.

#### ۱- مدل AVI (Aquifer vulnerability Index)

در این روش تنها با استفاده از دو پارامتر می‌توان شاخص آسیب پذیری آبخوان را تخمین زد. این دو پارامتر عبارتند از ضخامت هر واحد رسوبی بالای آبخوان ( $D$ ) و هدایت هیدرولیکی تخمینی هر لایه ( $K$ ). با این پارامترها میزان مقاومت هیدرولیکی آبخوان مطابق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{K_i} \quad (5)$$

که در این فرمول  $C$  مقاومت هیدرولیکی آبخوان،  $d$  ضخامت لایه‌های بالای آبخوان،  $n$  تعداد لایه‌ها (بدون بعد) و  $k$  هدایت هیدرولیکی تخمینی هر لایه ( $m/day$ ) است. پس از محاسبه میزان شاخص آسیب‌پذیری، از طریق مقایسه آن با جداولی نظیر جدول ۱، میزان پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی مشخص می‌شود. پارامتر  $C$  بیان‌کننده زمان حرکت آب زیرزمینی از لابه‌لای خلل و فرج سطح فوقانی بخش اشباع به سمت پائین می‌باشد. روش AVI به طور غیر مستقیم از پارامترهای مختلف مدل DRASTIC به جز توپوگرافی و نوع آبخوان استفاده می‌کند.

#### ۲- مدل GOD: در این مدل سه پارامتر پیدایش

آب زیرزمینی (نوع آبخوان)، سنگ‌شناسی لایه‌های بالایی و عمق آب زیرزمینی در سفره‌های محصور و غیرمحصور را در نظر گرفته می‌شود. در نهایت اندیس آسیب‌پذیری از فرمول زیر بدست می‌آید (پارامتر لیتولوژی فقط برای سفره‌های آزاد محاسبه می‌شود):  $I_p = G.O.D$  که در این فرمول  $I_p$  شاخص

بهره‌برداری کمتر شده به گونه‌ای که تراز سطح آب سفره آبدار از سال ۷۹ به بعد روندی نسبتاً یکنواخت و صعودی را طی می‌کند که این موضوع به نوبه خود پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد.

جهت جریان آب زیرزمینی عمدتاً از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد. تغذیه سفره آبدار از سازندهای مجاور در شمال و غرب دشت و توپوگرافی منطقه، کنترل‌کننده جهت کلی جریان آب زیرزمینی دشت اوان می‌باشند. در بخش‌های شرقی دشت و در مجاور رود کرخه با توجه به شیب توپوگرافی و اثر تغذیه‌کنندگی رودخانه کرخه بر آبخوان آبرفتی جهت جریان از شمال به سمت جنوب می‌باشد.

#### روش کار

جهت بررسی میزان غلظت نترات در آب زیرزمینی دشت اوان، در اردیبهشت ماه ۸۷ از ۱۶ حلقه چاه در حال بهره‌برداری و آب‌های سطحی (سه نمونه از مخزن سد، کانال آبیاری و رودخانه کرخه) منطقه نمونه برداری صورت گرفت. آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه با روش یون کروماتوگرافی صورت گرفت و غلظت نترات آبهای سطحی و زیرزمینی دشت اوان تعیین شد و چگونگی تغییرات غلظت نترات با استفاده از نرم افزار ArcGIS 9.2 رسم گردید و در نهایت غلظت نترات با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی منابع نترات آب از نمودارهای نترات در مقابل غلظت‌های کلر و پتاسیم می‌توان استفاده کرد (Datta et al, 1997). بدین منظور نمودارهای دو متغیره نترات در مقابل یون کلر و یون پتاسیم برای نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اوان تهیه شده است. به منظور مشاهده رابطه بین عمق سطح آب و غلظت نترات نمودار دو متغیره غلظت نترات در مقابل عمق سطح ایستابی ترسیم گردید.

است. با توجه به این نمودارها (شکل ۴)، سه منبع آب با نیترات متفاوت در دشت اوان مشخص شد. آب نوع A، آب تغذیه‌ای از رودخانه کرخه است که غلظت نیترات کمی دارد. نمونه‌های آب واقع در جنوب دشت در این دسته قرار می‌گیرند. آب نوع C آبی است که میزان کلر و پتاسیم بالایی دارد و میزان نیترات آن از نمونه‌های واقع در رأس B تا حدودی کمتر است که احتمالاً ناشی از وجود نهشته‌های تبخیری بخش لهری در میان آبرفت این بخش از دشت می‌باشد. این آب بیشتر در بخش میانی و شرقی دشت در امتداد رودخانه کرخه دیده می‌شود. نمونه‌های واقع در بخش شمالی و شمال غربی دشت در نزدیکی رأس B قرار گرفته‌اند که دارای بالاترین غلظت نیترات می‌باشند (کلانتری و همکاران ۱۳۸۷). لازم به ذکر است بالا بودن میزان نیترات و پایین بودن Cl در این نمونه‌ها تأییدی بر منشأ آلودگی آب‌ها توسط کودهای شیمیایی و دامی دارد.

در نمودار دو متغیره غلظت نیترات در مقابل عمق سطح ایستابی آبخوان آبرفتی دشت اوان (شکل ۵) تا حدودی می‌توان رابطه مستقیم بین عمق آب، عمق سطح ایستابی و غلظت نیترات را مشاهده نمود.

مطابق تحقیقات انجام گرفته توسط محققین از جمله Douglas نشان داده شده است که به همراه افزایش عمق، غلظت نیترات، کاهش می‌یابد (افزایش نیتروفیکاسیون) اما در منطقه مورد مطالعه این امر بالعکس می‌باشد که علت آن احتمالاً مربوط به انتقال مستقیم آلودگی از سطح زمین از طریق مسیرهای معین به درون آبخوان قبل از گذشتن کامل از منطقه غیر اشباع می‌باشد. برای مثال در منطقه مورد مطالعه، احداث نامناسب جدار چاه‌ها می‌تواند باعث انتقال آلودگی حاوی نیترات از سطح زمین و از طریق فاصله بین لوله جدار چاه و دیواره چاه‌ها به درون آبخوان گردد، افزایش فرایند دنیتروفیکاسیون در اعماق کم نیز می‌تواند از

آسیب‌پذیری، G امتیاز نوع آبخوان، O امتیاز لیتولوژی منطقه بالای آبخوان و D امتیاز عمق تا سطح ایستابی است (Fetter, 1999).

جهت ارزیابی پتانسیل آلودگی دشت اوان در ابتدا هر کدام از پارامترهای مدل GOD بصورت یک لایه در محیط GIS تهیه شد و سپس لایه نهایی از ترکیب این سه لایه بدست آمد. (شکل ۲).

### بحث

با توجه به نقشه تغییرات مکانی یون نیترات در آبخوان دشت اوان (شکل ۳) ملاحظه می‌شود، بیشترین میزان نیترات در محدوده شمال دشت اوان به میزان ۳۷ میلی گرم در لیتر دیده می‌شود، که علت آن میزان بیشتر فعالیت‌های کشاورزی در این بخش، به دلیل کیفیت مناسب آب از لحاظ کشاورزی می‌باشد. در ضمن کمترین میزان نیترات در بخش‌های جنوبی دشت به میزان ۷ میلی گرم در لیتر مشاهده می‌گردد. با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا، حداکثر غلظت نیترات آب برای مصرف شرب ۴۵ میلی گرم در لیتر توصیه گردیده است (U.S.EPA, 1995). با توجه به این که حداکثر غلظت نیترات در دشت اوان کمتر از ۳۷ میلی گرم در لیتر است بنابراین در حال حاضر خطری از لحاظ آلودگی نیترات متوجه آب زیرزمینی دشت اوان نمی‌باشد. با وجود فعالیت‌های گسترده کشاورزی در منطقه مطالعاتی میزان نیترات در منطقه کمتر از ۴۵ میلی گرم در لیتر است. علت این امر می‌تواند ناشی از اختلاط عمودی آرام در زون اشباع باشد که باعث می‌شود ورود غلظت‌های مختلف نیترات به سفره در طول مسیر جریان آب یکسان و رقیق شود.

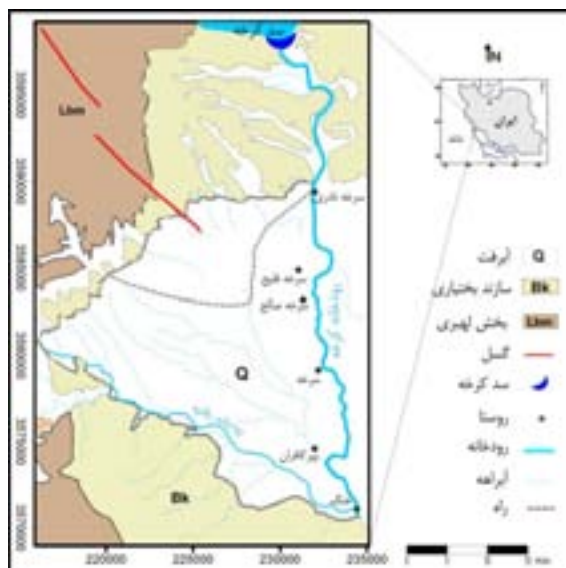
جهت بررسی نیترات منابع آب دشت اوان نمودارهای لگاریتم کلر در مقابل لگاریتم نیترات و لگاریتم پتاسیم در مقابل لگاریتم نیترات تهیه شده

نقشه پتانسیل آلودگی مدل GOD دشت اوان در نهایت از همپوشانی لایه‌های تهیه شده در مراحل قبل بدست آمد (شکل ۷). با توجه به شکل، قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل آلودگی بالایی است، در حالی که پتانسیل آلودگی در بخش‌های جنوبی و غربی دشت کم می‌باشد، مهمترین عاملی که باعث بوجود آمدن این حالت شده، لایه‌های رسی و رس سیلتی کم تراوا در بخش غیراشباع مناطق جنوبی، و عمق زیاد آب زیرزمینی در بخش غربی دشت است.

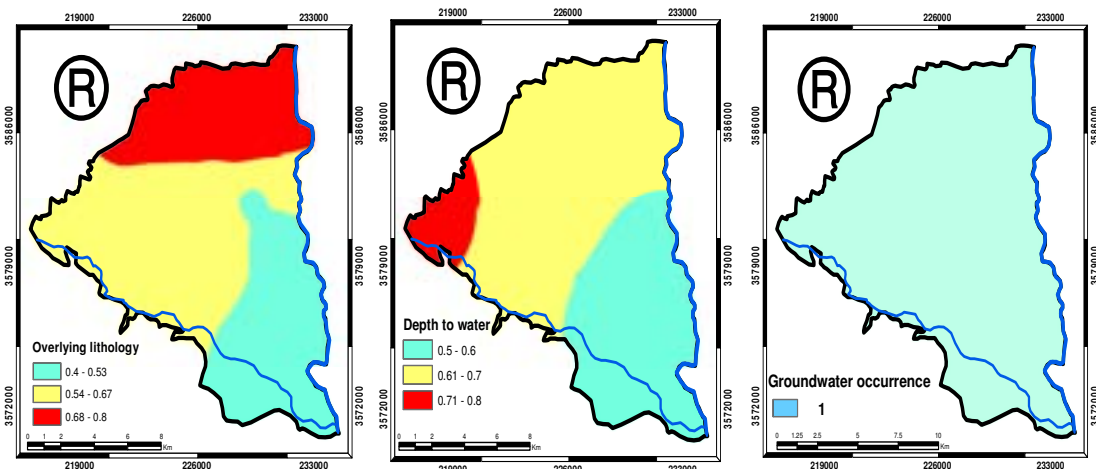
عوامل کاهش غلظت نیترات در اعماق کم نسبت به اعماق بیشتر باشد. برای تعیین پتانسیل آلودگی آبخوان، به روش AVI، ابتدا مقدار پارامتر C برای هرکدام از چاه‌ها محاسبه و سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، نقشه هم مقدار مقاومت هیدرولیکی آبخوان رسم شد و در نهایت با استفاده از جداول استاندارد میزان پتانسیل آلودگی دشت مشخص گردید. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد، بخش شمالی دشت دارای بالاترین پتانسیل آلودگی و بخش‌های جنوبی دشت دارای کمترین پتانسیل آلودگی می‌باشند.

جدول ۱- تعیین میزان آسیب پذیری بر اساس مقدار C

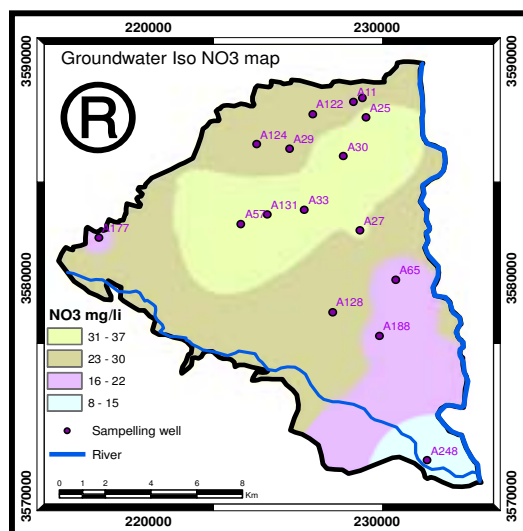
مقاومت هیدرولیکی (C)	Log C	پتانسیل آلودگی
۰-۱۰	<۱	خیلی زیاد
۱۰-۱۰۰	۱-۲	زیاد
۱۰۰-۱۰۰۰	۲-۳	متوسط
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	۳-۴	پایین
>۱۰۰۰۰	>۴	خیلی پایین



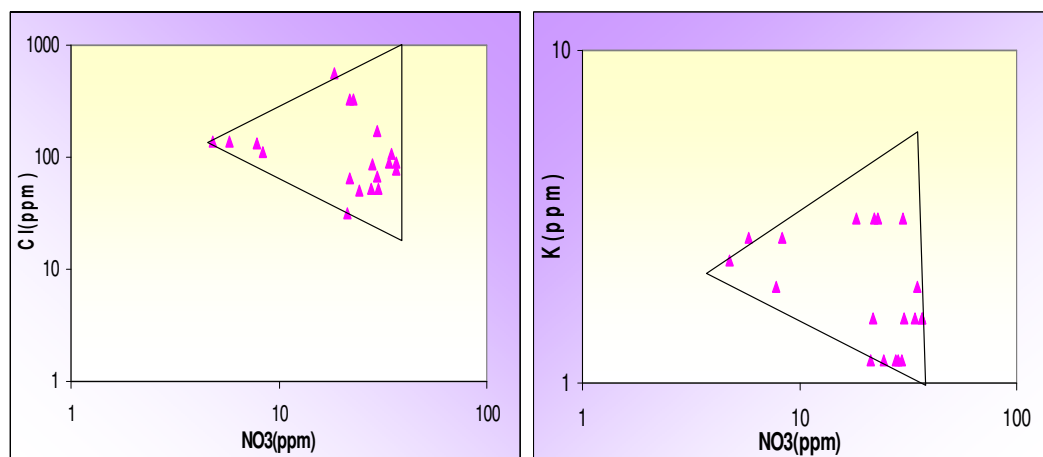
شکل ۱- نقشه ایران و نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه



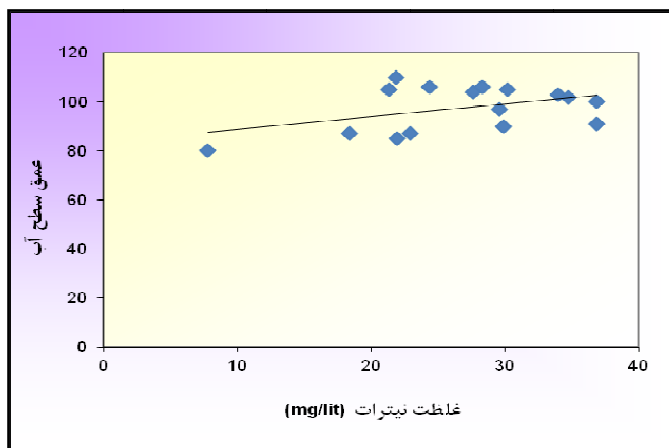
شکل ۲- لایه نوع آبخوان، لایه لیتولوژی مواد پوشاننده و لایه عمق تا سطح ایستابی آبخوان (مدل GOD)



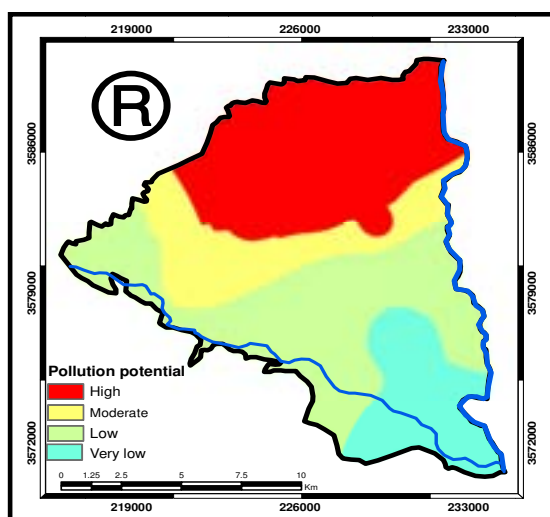
شکل ۳- نقشه هم مقدار نیترات آب زیرزمینی دشت اوان



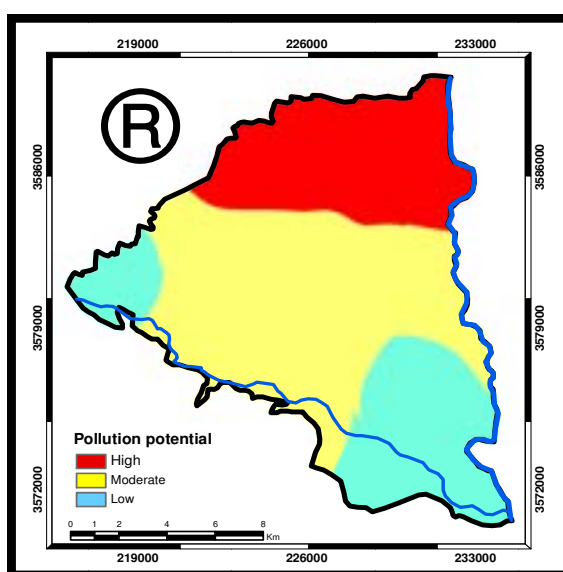
شکل ۴- نمودارهای لگاریتمی نشان‌دهنده انواع منشأهای آب زیرزمینی بر اساس توزیع نیترات



شکل ۵- نمودار دو متغیره غلظت نیترات در مقابل سطح ایستابی



شکل ۶- نقشه پتانسیل آلودگی دشت اوان (روش AVI)



شکل ۷- نقشه پتانسیل آلودگی دشت اوان (مدل GOD)



## نتیجه گیری

مهمترین منبع آلودگی احتمالی آب زیرزمینی در دشت اوان، کودهای مورد استفاده در کشاورزی می‌باشد، بنابراین نیترات مهمترین آلاینده آب زیرزمینی است. منابع آب زیرزمینی دشت اوان مخصوصاً در نواحی شمالی نسبت به نیترات آلوده هستند ولی همچنان از حد مجاز استاندارد سازمان محیط زیست جهانی پایین تر می‌باشند. با توجه به دو روش GOD و AVI، بخش های شمالی دشت به دلیل فعالیت کشاورزی بیشتر، دارای پتانسیل آلودگی بالایی هستند که علت آن، وجود رسوبات درشت دانه ناشی از فرسایش سازند بختیاری واقع در این بخش از دشت می‌باشد. بیشترین میزان نیترات موجود در آب زیرزمینی در بخش های شمالی دشت و بین ۳۱ تا ۳۷ میلی‌گرم در لیتر متغیر است این موضوع نتایج حاصل از دو مدل GOD و AVI را تأیید می‌کند. اگر در منطقه در رابطه با مصرف کودهای شیمیایی، مدیریت صحیح و کنترل علمی و عملی صورت پذیرد، از افزایش غلظت این یون در خاک و حرکت آن به طرف آبخوان، جلوگیری می‌شود.

## منابع مورد استفاده

(۱) آفانباتی، ع. ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

(۲) کلانتری، ن.، فاریابی، م. و رحیمی، م. ح. ۱۳۸۶. بررسی پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی دشت باغملک با استفاده از روش AVI و مدل‌های GOD و DRASTIC، مجله زمین شناسی مهندسی، ۲ (۲): ۴۵۰-۴۳۱.

(۴) فاریابی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت باغملک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۱۹ ص.

- 5) Alley, W. M. 1993. Regional Ground-Water Quality, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 367.
- 6) Datta, E., Kolenjee. C., and Smith, B. 1997. Effects of waste-water irrigation on aqueous geochemistry near Paris, Texas. Ground Water, 100(5): 709-719.
- 7) Fetter, C. W. 1999. Contaminant Hydrogeology. 2d ed., Prentice Hall Inc., NJ. Pp. 506.
- 8) Freeze, R. A., and Cherry, J. A. 1979. Ground Water. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. Pp. 135.
- 9) Goya, R & Dassargues, A., 2005. Current trend and future challenge in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. Journal of environmental geology, 39 (6): 549-559.
- 10) Guler, C., Thyne, G. D., McCray, J. E., and Turner, A. K. 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data", Hydrogeology journal, 10 (4): 455-474.
- 11) U.S. EPA, 1995, Drinking water standards. U.S. EPA. EPA-816-F-00-995. Pp. 4.