بررسی کیفیت آب زیرزمینی آبخوان دشت اوان در استان خوزستان با تأکید بر غلظت نیترات

سید یحیی میرزایی[۱*]، زهرا چقازردی[۲]، منوچهر چیت‌سازان[۳]، فرشاد علیجانی[۴]

۱. دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲. دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳. استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴. استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲ تاریخ **پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۳/۰۸

چکیده

دشت اوان در استان خوزستان در جنوب غربی شهرستان اندیمشک قرارگرفته است. آب زیرزمینی ازجمله منابع آب موجود برای آبیاری، شرب و صنعت در این منطقه به شمار می‌رود. بدین منظور با توجه به اهمیت بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت اوان پارامترهای هیدروشیمیایی و هم‌چنین وضعیت آلایندگی نیترات مورد ارزیابی و بررسی قرارگرفته است. نیترات در سطح جهان از گسترده‌ترین آلاینده آب‌های زیرزمینی به‌حساب می‌آید. بااین‌حال، مطالعات اندکی بر روی این آلاینده در دشت اوان انجام‌شده است، در این راستا، برای بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی این منطقه با تأکید بر آلودگی نیتراتِ، در شهریورماه سال آبی(۱۴۰۱- ۱۴۰۰) از ۲۲ حلقه چاه در این دشت نمونه‌برداری و پارامترهای صحرایی(دما، pH, EC)، غلظت عناصر عمده(Na^+, K^+, Cl^-, So_4^{2-}, Hco_3^{2-} ,Co_3^{2-} ,Ca^{2+},Mg^{2+}) و نیترات موردانداره‌گیری قرار گرفت. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که به‌طورکلی سه عامل اول یعنی عناصر EC, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-, So_4^{2-} در عامل اول، pH, Hco_3^{2-} در عامل دوم و No_3^- در عامل سوم، با مجموع ۸۹/۷۲ درصد بیش‌ترین تغییرات را در آبخوان دشت اوان دارند. تیپ غالب دشت سولفات_کلسیک است. آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی تعداد سه خوشه برای منطقه بندی داده‌های نیترات را نشان می‌دهد و به‌طورکلی تغییرات غلظت یون نیترات در آب زیرزمینی آبخوان اوان متأثر از اندازه ذرات خاک موجود در منطقه، عمق آب زیرزمینی و استفاده از کودهای شیمیایی است.

کلیدواژه‌ها: آبخوان اوان، آلودگی نیترات، تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA).

* نویسنده مسئول: Yahyamirzaee@scu.ac.ir

DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.1.1019261

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

مقدمه

آب زیرزمینی یک منبع مهم آب شیرین می‌باشد که در صنعت، کشاورزی و مصارف خانگی از آن استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر افزایش جمعیت و استفاده روزافزون از مواد شیمیایی محلول و به دنبال آن تولید و گسترش فاضلاب‌های صنعتی و خانگی و درنهایت نشت آن‌ها به داخل منابع آبی، کیفیت آب زیرزمینی را به‌شدت کاهش داده است. نیترات به‌عنوان یکی از عوامل آلودگی آب‌های زیرزمینی که بیش‌تر توسط فعالیت‌های بشری صورت می‌گیرد، همواره موردتوجه محققان بوده است(Fetter, 2014). در بیش‌تر موارد رخداد آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی با پساب‌های کشاورزی و استفاده بیش‌ازحد کودهای نیتروژنِ و هم‌چنین فاضلاب‌های خانگی و فضولات حیوانی در ارتباط است. این یون در آب محلول است و توسط خاک‌های غنی از رس جذب نمی‌شود(Kenny, 2014). نیترات شکل اصلی نیتروژن موجود در آب‌های زیرزمینی است و هم‌چنین در آب‌های اکسیژن‌دار می‌تواند بدون هیچ‌گونه تغییر و تبدیلی حرکت کند(Freeze, 1979). درواقع این یون پس از ورود به آب‌های زیرزمینی به‌صورت یک هاله آلودگی به سمت اعماق بیش‌تر و در جهت جریان حرکت می‌کند، اما نفوذپذیری و دانه‌ریز بودن مواد متشکله آن می‌تواند درروند پخش آلودگی تأثیر داشته باشد(چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۹۷). به‌طورمعمول غلظت نیترات در بالای سطح ایستابی به دلیل نزدیکی به منابع انتشاری بیش‌تر است و با افزایش عمق و حرکت به سمت نواحی پایین‌دست جریان اختلاط و رقیق شدن با آب‌هایی که میزان نیترات کمی دارند، مقدار آن کاهش می‌یابد(Kehew et al., 2010). مطابق استانداردهای اروپایی، سازمان بهداشت جهانی و استاندارد آب شرب ایران، درصورتی‌که میزان غلظت نیترات در آب زیرزمینی به بیش از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یابد، آبخوان آلوده در نظر گرفته می‌شود (EPA, 2006, WHO, 2008). شناخت و بررسی کیفیت منابع آب در مدیریت و استفاده بهینه از آن از اهمیت فراوانی برخوردار است. ازاین‌رو بررسی ارتباط میان کاتیون‌ها و آنیون‌ها می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های آب را نشان داده و به کمک آن‌ها، سایر خصوصیات آب نیز تعیین گردد. ارزیابی ارتباط میان کاتیون‌ها و آنیون‌ها با روش‌های آزمایشگاهی هزینه‌های سنگینی را در بردارد. برای کاهش این هزینه‌ها می‌توان از روش‌های آماری چند متغیره همچون تحلیل مؤلفه اصلی(Principal Component Analysis) و تجزیه تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی(Hierarchical clustering analysis) استفاده نمود. PCA یکی از تکنیک‌های چند متغیره آماری است و هنگامی‌که حجم داده‌ها زیاد باشد، می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب برای کاهش تعداد ورودی از آن استفاده شود به‌گونه‌ای که این تعداد ورودی، قادر به توصیف خوبی از تغییرات جامعه آماری باشند (میرزایی و همکاران، ۱۴۰۰، کلانتری و همکاران، ۱۳۹۷، نادری و همکاران، ۱۳۹۷). محققان زیادی برای بررسی کیفیت منابع آبی از روش‌های آماری استفاده کرده‌اند(Kura et al., 2013; Isa et al., 2014; Suresh et al., 2017).

پژوهش‌های انجام‌گرفته در سراسر دنیا نمایانگر آن است که عوامل مختلف طبیعی و انسانی بر غلظت نیترات آب زیرزمینی مؤثر می‌باشند. مارتینز (Martınez, 2014)، توزیع و منشأ نیترات در آب‌های زیرزمینی در آبخوان شهری و حومه‌ای در ماردل پلاتا، آرژانتین را بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که آبخوان در مناطق شهری توسط فعالیت‌های کشاورزی در مناطق بالادست و نشت از شبکه‌های فاضلاب در مناطق شهری تحت تأثیر قرار می‌گیرد. چن و جانگ(Chen and Jang,

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

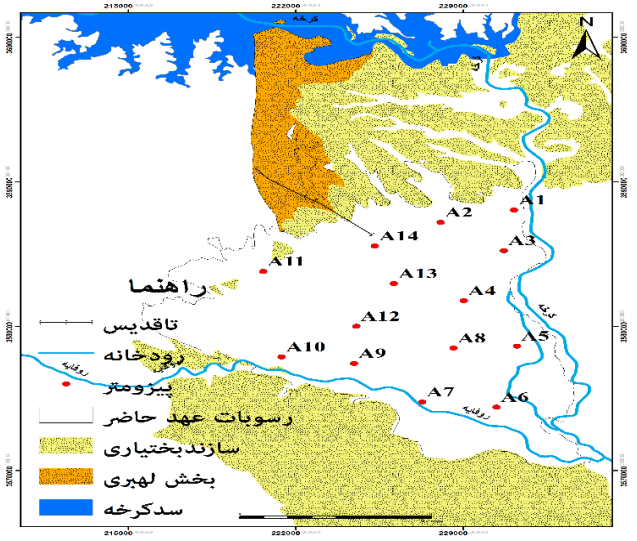
2015)، میزان آسیب‌پذیری منابع آبی را نسبت به شاخص آلودگی موردبررسی قراردادند. آن‌ها از روش کریجینگ به‌منظور تعیین آسیب‌پذیری منطقه موردمطالعه خود بهره بردند. هم‌چنین با استفاده از برآوردگر مذکور، از رگرسیون لجستیک برای بررسی عوامل تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری استفاده کردند(Chen and Jang, 2015). راماروسون (Ramaroson, 2020)، آلودگی نیترات آب زیرزمینی در منطقه‌ای در ماداگاسکار را با استفاده از روش‌های تجزیه‌وتحلیل چند متغیره بررسی کردند و دریافتند که فعالیت‌های انسانی(فاضلاب خانگی) عامل اصلی آلودگی نیترات است. شیرانی و همکاران(۱۳۹۲)، در ارزیابی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی در محیط شهری تهران، آلودگی نیترات را ناشی از عواملی مانند وجود بافت شنی-ماسه‌ای و شنی-رسی، عدم رعایت حریم چاه‌ها، عمق کم چاه‌های حفاری برای آبیاری فضای سبز و استفاده از چاه‌های جذبی جهت دفع فاضلاب‌های خانگی دانسته‌اند. مظفری و سجادی(۱۳۹۳)، در بررسی آلودگی شیمیایی آب زیرزمینی آبخوان برازجان دریافتند که، آلودگی شدید نیترات تا بیش از ۱۱۱ میلی‌گرم بر لیتر در بخش جنوبی آبخوان به‌وسیله فعالیت‌های کشاورزی و هم‌چنین چاه‌های جذبی و ورود آب آلوده از مرغداری‌ها رخ‌داده است و ۸۹ درصد از نمونه‌های آب زیرزمینی غلظت نیترات بیش‌تر از مقدار استاندارد دارند. درخور و شبان(۱۳۹۷)، در بررسی آلودگی میکروبی و نیترات در آبخوان شهر یاسوج، دریافتند که افزایش غلظت نیترات براثر بافت درشت‌دانه، فاضلاب خانگی و استفاده از کودهای کشاورزی بوده است. بوسلیک و جعفری(۱۳۹۹)، در شناسایی منشأ یون‌ها و فرآیندهای کنترل‌کننده کیفیت آب آبخوان شاهرود با استفاده از تکنیک‌های ژئوشیمیایی به این نتیجه رسیدند که فرآیندهای انحلال هالیت و ژیپس، رسوب‌گذاری کلسیت و دولومیت و تبادلات کاتیونی مستقیم و معکوس، از مهم‌ترین فرآیندهای کنترل‌کننده کیفیت آب آبخوان شاهرود هستند. در سال‌های اخیر، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و مناطق روستایی و به دنبال آن استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنِ و دفع فاضلاب خانگی به آب زیرزمینی آبخوان اوان افزایش‌یافته است. ازاین‌رو در این پژوهش به بررسی کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت اوان با تأکید بر یون نیترات، تعیین منشأ آلودگی نیترات و مناطق دارای بیش‌ترین پتانسیل آلودگی با استفاده از روش‌های گرافیکی و آماری پرداخته‌شده است.

منطقه مورد مطالعه

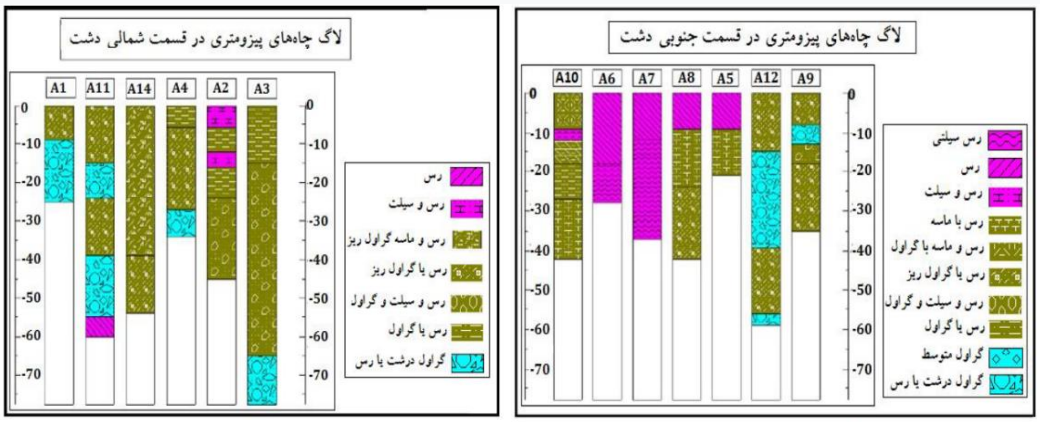
دشت اوان با مساحت ۱۹۵ کیلومترمربع در فاصله ۱۴۰ کیلومتری شهرستان اهواز در شمال غرب استان خوزستان در مسیر جاده اندیمشک به دهلران واقع‌شده است. این دشت به شکل مثلث بوده(شکل ۱) که ضلع شرقی آن به رود کرخه، ضلع جنوب غربی آن به دشت دوسلق، ضلع شمال غربی آن به سد کرخه و رأس غربی آن به خروجی سطحی دشت عباس محدود می‌شود(کلانتری و همکاران، ۱۳۹۱). منطقه موردمطالعه جزئی از حوضه رسوبی ساختاری زاگرس چین‌خورده است. ازلحاظ چینه‌شناسی مهم‌ترین واحدهای رسوبی منطقه مربوط به سازندهای بختیاری و بخش لهبری می‌باشند. این سازندها مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشند. لیتولوژی سازند بختیاری عمدتاً شامل کنگلومرا باسیمان آهکی است اما گاهی سیمان ماسه‌ای و سیلتی نیز در آن مشاهده می‌شود. در این منطقه سازند بختیاری استحکام چندانی نداشته و به‌مرورزمان در اثر فرسایش‌های آبی، سیمان کربناتِ خود را ازدست‌داده و به‌صورت آبرفت، ناودیس‌های ملایمی را پرکرده است. لیتولوژی بخش لهبری نیز شامل مارن، سیلتستون و گلسنگ است. ناودیس دشت اوان

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

که بخشی از ناودیس بزرگ دشت دزفول می‌باشد، توسط آبرفت‌های حاصل از فرسایش سازندهای اطراف پرشده است. در دشت اوان از سمت مناطق شمالی و شمال غربی دشت به سمت جنوب و جنوب شرق از اندازه ذرات کاسته می‌شود(شکل۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و محل چاه‌های مشاهداتی دشت اوان
Fig. 1. Geographical location and location of observation wells in Evan plain

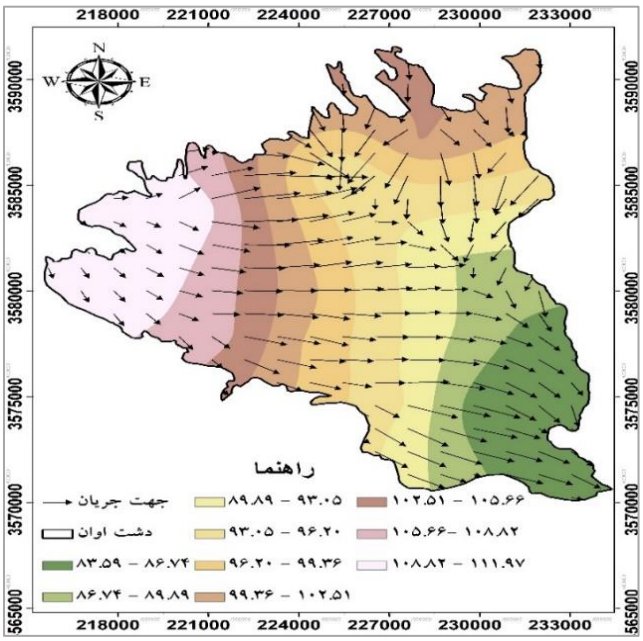


شکل۲. لاگ چاه‌های مشاهداتی دشت اوان
Fig.2. Log of observation wells in the Evan plain

اجزاء دانه‌درشت 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 رفائیه می‌باشند. این آبراهه‌ها با برجای نهادن رسوبات درشت‌دانه خود در بدو ورود به دشت و حمل رسوبات ریزدانه‌تر و انتقال آن به انتهای مسیر خود، باعث شده‌اند تا اندازه ذرات رسوبات دشت اوان، در شمال و شمال غرب دشت، درشت‌دانه بوده و به سمت جنوب و جنوب شرق ریزدانه گردند. در جهت عمودی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

نیز، اندازه ذرات در ابتدا ریز تا متوسط دانه بوده و سپس درشت‌تر می‌گردد و درنهایت مجدداً ریزدانه شده و به یک‌لایه رس فشرده ختم می‌شود. آبخوان دشت اوان نیز در همین لایه درشت دانه‌تر میانی شکل‌گرفته است. رودخانه کرخه تنها رودخانه دائمی است که از دشت اوان عبور می‌کند و نقش مهمی در تأمین 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. در این دشت تعداد ۱۴پیزومتر وجود دارد و میانگین سطح ایستابی این منطقه در سال آبی۱۴۰۱-۱۴۰۰ حدود ۱۰۲/۳۶ متر می‌باشد. لازم به ذکر است که از سال ۱۳۷۹ به علت بهره‌برداری زیاد از رودخانه کرخه، برداشت از آب‌های زیرزمینی از طریق پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری کم‌تر شده، به‌گونه‌ای که تراز سطح آبخوان از سال ۷۹ به بعد روندی نسبتاً یکنواخت و صعودی را طی می‌کند و این موضوع باعث شده است عمق برخورد سطح آب زیرزمینی با سطح زمین کم‌تر شود و در معرض آلاینده‌های موجود در سطح زمین قرار گیرد و بنابراین پتانسیل آلودگی آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد. جهت جریان آب زیرزمینی عمدتاً از شمال غرب به سمت جنوب شرق می‌باشد(شکل۳). تغذیه آبخوان از سازندهای مجاور در شمال و غرب دشت و توپوگرافی منطقه، دو عامل کنترل‌کننده جهت کلی جریان آب زیرزمینی دشت اوان می‌باشند.



شکل۳. نقشه هم‌پتانسیل و جهت جریان آب زیرزمینی در دشت اوان

Fig.3. The isopotential map and groundwater flow direction in the Evan plain

مواد و روش‌ها

جهت بررسی تغییرات مکانی و ارزیابی آلودگی یون نیترات آب زیرزمینی آبخوان اوان، در شهریورماه سال آبی(۱۴۰۱- ۱۴۰۰) نمونه‌برداری از تعداد ۲۲ حلقه چاه بهره‌برداری که دارای پراکنش نسبی در منطقه موردمطالعه هستند، مطابق شکل ۱ صورت گرفت. آنالیز شیمیایی آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی(Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} ,Cl^{-}, So_4^{2-}, Hco_3^{2-}, Co_3^{2-}) و یون نیترات در آزمایشگاه سازمان آب و برق استان خوزستان انجام گردید. در آزمایشگاه مذکور، یون‌های کلسیم، منیزیم، کلرید، کربنات و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

بیکربنات به روش تیتراسیون، سدیم و پتاسیم به روش شعله سنجی و سولفات و نیترات به روش اسپکتروفتومتر(UV-Vis مدل Dr2800) موردانداز‌ه‌گیری قرارگرفته است. مقدارpH و هدایت الکتریکی در محل توسط دستگاه دیجیتالی هدایت سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد. در ابتدا غلظت کل آنیون‌ها و کاتیون‌های چاه‌های نمونه‌برداری شده برحسب میلی‌اکی والان بر لیتر سنجیده شد و میزان درصد خطا محاسبه گردیده است. میزان خطا ۱/۳درصد محاسبه و از حد مجاز ۵ درصد خطا کم‌تر بوده است که این میزان خطا قابل‌قبول می‌باشد. درروش آماری، برای استانداردسازی داده‌ها از روش کایزر(Kaiser) استفاده‌شده است که بر اساس آن، نرمال بودن توزیع داده‌ها مشخص می‌شود(چیت‌سازان و همکاران،۱۳۹۷). در مرحله بعدی مناسب بودن داده‌ها برای انجام تحلیل‌های آماری بررسی‌شده است که در این پژوهش، از شاخص کایزر- مایر- الکین(Kaiser-Mayer-Olkin) و آزمون بارتلت(Bartlett Test) استفاده‌شده است(جدول ۱). شاخص کایزر- مایر- الکین در بازه صفرتا یک قرار دارد. اگر مقدار شاخص KMO نزدیک به یک باشد، داده‌های موردنظر(اندازه نمونه) برای تحلیل آماری مناسب هستند(چیت‌سازان و همکاران،۱۳۹۷). در این پژوهش، تمام پارامترهای هیدروشیمیایی مقادیر KMO بیش‌تر از ۰/۵۸ را نشان دادند، بنابراین برای تحلیل آماری مناسب می‌باشند. هم‌چنین بر اساس آزمون بارتلت، در صورتی انجام تحلیل آماری قابل‌قبول است که P-value< alpha باشد. P-value مقدار احتمال خطا و alpha سطح خطا می‌باشد که معمولاً ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود. با توجه به جدول ۱ مقدار احتمال خطاP-value<۰/۰۰۰۱ و از ۰/۰۵ سطح خطا کم‌تر است و انجام تحلیل آماری امکان‌پذیر می‌باشد. برای بررسی آلودگی یون نیترات در آب زیرزمینی آبخوان اوان، از نقشه توزیع مکانی یون نیترات، نقشه‌های جهت جریان، عمق آب زیرزمینی، نسبت‌های یونی، نمودار پایپر و روش آماری تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی(HCA) استفاده‌شده است. جهت دست‌یابی به اهداف این تحقیق، از نرم‌افزارهای Excel، Aq.QA، Surfer، XLSTAT و Arc GIS10.5 مورداستفاده قرارگرفته است.

تحلیل عاملی

تشخیص مجموعه‌ای از فرایندهای هیدرو شیمیایی و شرایط هیدروژئولوژی که در یک آبخوان کیفیت آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، مشکل است. به همین جهت هیدروشیمیست‌ها جهت تشخیص سهم هریک از عوامل و شرایط مؤثر بر ترکیب آب زیرزمینی از روش‌های آماری مانند تحلیل عاملی(Factor Analysis) استفاده می‌کنند.(Jeong, 2001). تحلیل عاملی یک روش آماری چند متغیره است که هدف آن شناخت سازوکارهای مؤثر یا ساده کردن مجموعه‌های پیچیده و مختلفی است که بین متغیرهای مشاهده‌ای وجود دارد (Liu, 2003).

جدول ۱. نتایج آزمون بارتلت

Table 1. Bartlett test results

Bartlett's sphericity test:	
Chi-square (Observed value)	242.592
Chi-square (Critical value)	32.671
DF	21
p-value	< 0.0001
alpha	0.05

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

در مطالعه کیفیت آب زیرزمینی دشت اوان از روش تحلیل عاملی برای شناخت عوامل و میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر کیفیت آب‌های زیرزمینی استفاده‌شده است. متغیرهای هیدروشیمیایی که از آن‌ها در مطالعات هیدروژئوشیمی استفاده‌شده است، شامل نتایج آنالیزهای شیمیایی آب چاه‌های بهره‌برداری دشت اوان می‌باشد. تحلیل عاملی دارای سه مرحله‌ی تهیه ماتریکس همبستگی متغیرها، استخراج عامل‌ها و تفسیر نتایج می‌باشد(Guler, 2002). اساس ماتریکس همبستگی، ضریب همبستگی پیرسون می‌باشد(رابطه۱):

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})\,(y - \bar{y})}{(n-1)s_1 s_2} \qquad (1)$$

x و y مربوط به میزان هریک از متغیرها، $\bar{x}$ و $\bar{y}$ میانگین ریاضی این متغیرها، n تعداد داده‌ها و s_1 و s_2 انحراف معیار هریک از متغیرها می‌باشد. در مرحله بعد عوامل از میان پارامترها به دست می‌آید، از میان عوامل حاصله، اولین فاکتور بیش‌ترین میزان واریانس را شامل می‌شود و به ترتیب عوامل بعدی مقادیر کم‌تری از واریانس را نشان می‌دهند. ضرایب بالای(۱ تا ۱-) پارامترهای به‌دست‌آمده(مثبت یا منفی) که تشکیل‌دهنده‌ی هریک از عوامل هستند نشان‌دهنده تأثیر بالای آن متغیر(مثبت یا منفی) می‌باشد.

آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی(HCA)

تحلیل خوشه‌ای برای تعیین شباهت نسبی به‌کاررفته می‌رود که این شباهت، همگنی در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده پارامترها را نشان می‌دهد. این روش آماری، کاربرد زیادی در بررسی داده‌های چند متغیره ازجمله بررسی ارتباط بین متغیرها، سازمان‌دهی نمونه‌ها در قالب ساختارهای معنی‌دار و نمایش ترکیب کل آب زیرزمینی یک منطقه به تعداد محدودی از خوشه‌ها دارد. تحلیل خوشه‌ای مجموعه‌ای از متغیرها را در داخل خوشه‌های همگن جای می‌دهد خوشه‌های حاصل از این تحلیل، از همگنی درونی(درون خوشه) و بیرونی(بین خوشه‌ها) برخوردار هستند.(Kazma and Sheresta, 2007). روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی داده‌ها وجود دارد ولی خوشه‌بندی آماری یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که به‌طور گسترده‌ای در علوم زمین مورداستفاده قرار می‌گیرد(Mirzaee et al, 2022; Davis, 1986; Belkhiri et al, 2011). با استفاده از روش خوشه‌بندی آماری می‌توان نمونه‌ها را به گروه‌های متمایزی که ازلحاظ زمین‌شناسی و آماری، معنی‌دار باشند تقسیم‌بندی کرد(Willames and Steinhorst, 2007).

نتایج و بحث

تحلیل عاملی

مطابق توضیحاتی که در بخش روش تحقیق گفته‌شده است، جهت بررسی دقیق متغیرها، برای انتخاب عوامل مؤثر سیستم، مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی محاسبه گردید. و استخراج مقادیر ویژه حاصل از ماتریس داده‌های استانداردشده منجر به استخراج عامل‌های اصلی طبق جدول ۲، سه عامل مؤثر، که مقادیر ویژه بیش‌تر از یک دارند، به‌عنوان عوامل اصلی شناسایی شدند که ۸۹/۷۲ درصد از تغییرات واریانس کل را شامل می‌شوند و برای تفسیرهای بعدی به‌کاربرده می‌شوند. جدول ۲، مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی را نشان می‌دهد. درصد واریانس هر یک از متغیرها نشان از اهمیت

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

آن پارامتر در هیدروشیمی منطقه دارد. بنابراین از این میان ۳ عامل که بیش‌ترین واریانس رادارند انتخاب می‌شوند. نتایج حاصل از کاربرد تحلیل مؤلفه اصلی در جدول ۳ نشان داده‌شده است. جهت به دست آوردن عناصری که در هر مؤلفه جای می‌گیرند، باید در هر ستون عناصری که بار عاملی آن‌ها زیاد می‌باشد(معمولاً بیش‌تر از۰/۶)، انتخاب نموده و در یک گروه طبقه‌بندی نمود. مدل عاملی به‌کاررفته برای ۳ عامل و ۱۱ متغیر موردبررسی قرارگرفته است. نتایج حاصل از تحلیل عاملی نشان‌دهنده آن است که این عامل‌ها حدود ۸۹/۷۲ از کل میزان تغییرات را شامل می‌شوند. به‌طوری‌که از این مقدار ۶۷/۸۲ درصد توسط عامل اول، ۱۴/۴۷ درصد توسط عامل دوم و ۷/۴۱ درصد توسط عامل سوم تعیین می‌شود. در عامل اول همبستگی قوی پارامترهای EC, Na , K ,Mg ,Ca Cl, So_4 نشان‌دهنده تعامل زیاد آب و سنگ، تأثیر سازندهای زمین‌شناسی در منطقه موردمطالعه است. بررسی نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های اشباع هالیت، کلسیت، دولومیت، ژیپس و انیدریت در منطقه نشان داد آب‌های موجود عمدتاً نسبت به کانی های کلسیت و دولومیت به حالت فوق اشباع و نسبت به هالیت و ژیپس تحت اشباع می باشند(شکل۴).

جدول۲. نتایج تحلیل عاملی

Table 2. Factor analysis results

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Eigenvalue	7.261	1.593	1.030	0.172	0.027	0.017
Variability (%)	67.824	14.479	7.418	1.561	0.244	0.155
Cumulative (%)	67.824	82.303	89.721	91.282	91.526	91.681

جدول۳. ماتریس عوامل در تحلیل عاملی

Table 3. Matrix of factors in factor analysis

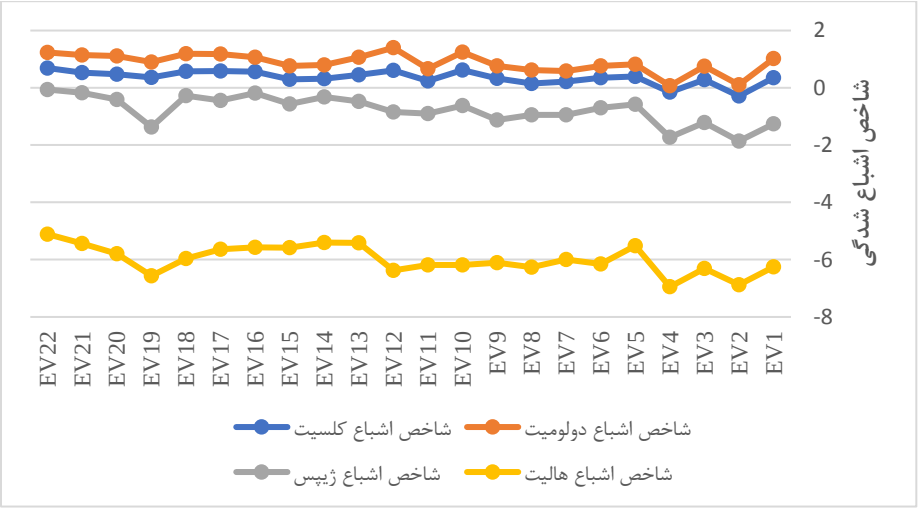
	F1	F2	F3
EC	**0.994**	0.084	**0.069**
TDS	**0.992**	0.110	**0.061**
pH	-0.321	**0.702**	**0.505**
Na	**0.923**	0.059	**0.190**
K	**0.887**	-0.293	**0.140**
Mg	**0.944**	0.149	**0.159**
Ca	**0.949**	0.056	**0.070**
Hco3	0.130	**-0.938**	**0.221**
Cl	**0.896**	-0.125	**0.087**
No3	0.469	0.158	**0.641**
So4	**0.949**	0.213	**0.012**

بررسی سازند های موجود در اطراف و سنگ کف آبخوان نشان می دهد که انحلال آهک و دولومیت موجود در سازند گنکلومرای بختیاری که دارای سیمان آهکی است باعث افزایش مقادیر این املاح در آب‌های منطقه شده است و هم‌چنین وجود سازند آغاجاری با کانی‌های تبخیری مانند هالیت و ژیپس موجود در میان لایه‌های بخش لهبری امکان انحلال بیشتر این املاح را در آب‌های منطقه فراهم نموده است. عامل دوم، نشان‌دهنده تغذیه ناشی از آب‌های سطحی(رودخانه کرخه) و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

بارندگی در دشت می‌باشد و درنهایت در عامل سوم یون نیترات بیش‌ترین تأثیرگذاری را در کیفیت آب زیرزمینی دشت اوان دارد. ازآنجایی‌که اصلی‌ترین عامل افزایش یون نیترات، فعالیت‌های انسانی و کشاورزی است، می‌توان استنباط کرد که عامل سوم منشأ انسانی دارد، بااین‌وجود به بررسی دقیق‌تر منشأ آلودگی نیترات در منطقه موردمطالعه پرداخته‌شده است.



شکل۴. شاخص‌های اشباع کلسیت، دولومیت، ژیپس و هالیت نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اوان

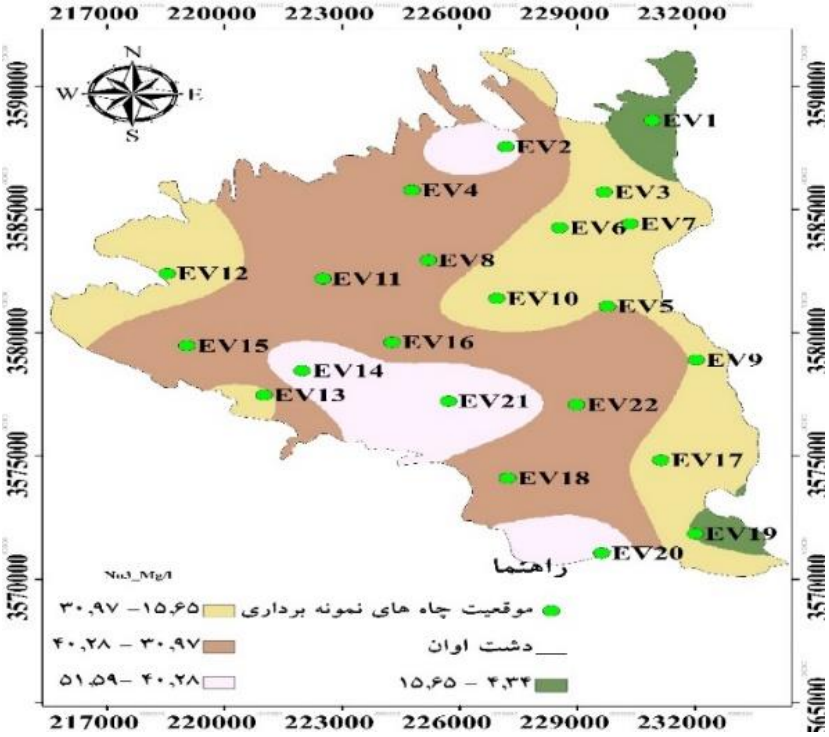
Fig. 4. Saturation indices of calcite, dolomite, gypsum and halite in the groundwater samples of the Evan plain

توزیع مکانی غلظت نیترات نمونه‌های آب‌های زیرزمینی

جهت ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی آبخوان آبرفتی اوان، نقشه توزیع مکانی یون نیترات تهیه‌شده است(شکل۵). نیترات در آب‌های زیرزمینی برای محصولات کشاورزی بسیار سودمند می‌باشد و غذای بسیار خوبی برای گیاه محسوب می‌شود. از طرفی اگر مقدار آن در گیاهان خیلی زیاد شود، مصرف این گیاهان باعث بیماری‌هایی مانند متهموگلوبینمیا در بدن انسان می‌گردد. طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی افزایش غلظت نیترات به بیش از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر در آب آشامیدنی آلودگی محسوب می‌شود(WHO, 2008).درنتیجه در این پژوهش، مناطق با پتانسیل آلودگی یون نیترات ازنقطه‌نظر استفاده برای شرب موردبررسی قرارگرفته است. در منطقه موردمطالعه، دامنه تغییرات غلظت یون نیترات بین ۳/۸۴ تا ۵۱/۶۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب مربوط به نمونه‌های Ev1 در قسمت شمالی آبخوان و Ev14 واقع در جنوب غربی آبخوان می‌باشد. غلظت نیترات نمونه‌های Ev14, Ev20, Ev21 به ترتیب۵۰/۵۱، ۵۱/۲۷ و ۵۱/۶۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده است که بیش‌تر از مقدار استاندارد سازمان بهداشت جهانی می‌باشند(WHO,2008). نمونه Ev2 دارای غلظت ۴۲/۴۵ میلی‌گرم بر لیتر و به میزان حد مجاز یون نیترات در آب آشامیدنی نزدیک می‌باشد. نمونه‌های Ev2 و Ev14 در رسوبات آبرفتی دانه‌درشت حاصل از هوازدگی سازند کنگلومرای بختیاری موجود در محدوده موردمطالعه، قرارگرفته‌اند. بافت دانه‌درشت و ماسه‌ای خاک باعث افزایش آبشویی نیترات می‌شود(Abdesselam et al., 2013; Heumesser et al., 2012). به‌عبارت‌دیگر بافت درشت‌دانه و ماسه‌ای خاک باعث افزایش نفوذپذیری رسوبات و به دنبال آن کاهش زمان ماندگاری نیترات در بخش غیراشباع

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

آبخوان شده است. نیترات خاک موجود در محدوده این نمونه‌ها بدون این‌که فرصت استفاده توسط گیاهان و نیترات‌زدایی توسط باکتری‌ها پیدا کند توسط جریانات عمودی خاک آبشویی شده و به آب زیرزمینی منتقل می‌شود. از طرف دیگر نمونه‌هایی با غلظت زیاد نیترات در قسمت با تمرکز کشت گسترده محصولات کشاورزی واقع‌شده‌اند و به نظر می‌رسد ورود نیترات ناشی از کودهای شیمیایی به آب زیرزمینی، یکی دیگر از منابع افزایش غلظت نیترات در آب زیرزمینی اوان باشد. لازم به توضیح است که نمونه‌های Ev20, Ev21 با غلظت‌های ۵۰/۵۱، ۵۱/۲۷ میلی‌گرم بر لیتر علاوه بر قرارگیری در مناطق با کشت زیاد محصولات کشاورزی، در بخش‌هایی با میزان عمق آب کم‌تر از ۱۵متر قرارگرفته‌اند(شکل ۶). ازاین‌رو تمرکز کشت زیاد به همراه عمق کم آب زیرزمینی، منجر به آبشویی سریع یون نیترات و افزایش غلظت آن در آب این نمونه‌ها شده است.

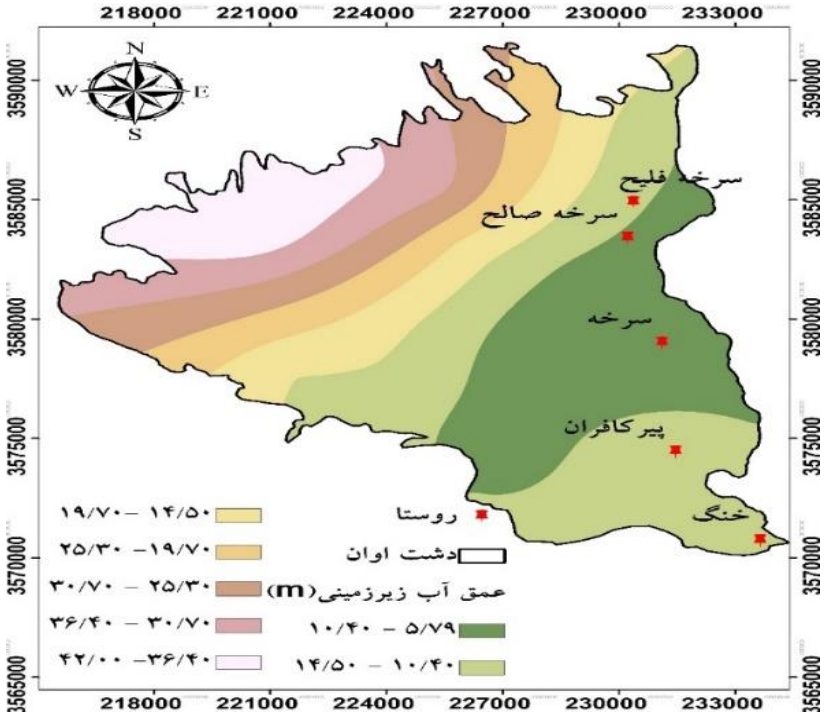


شکل۵. نقشه توزیع مکانی یون نیترات در آب زیرزمینی آبخوان اوان

Fig.4. Spatial distribution map of nitrate ions in the groundwater of Evan aquifer

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]



شکل۶. نقشه هم عمق آبخوان اوان
Fig5. Iso-depth contour map of Evan aquifer

منشأ یابی آلودگی نیترات در آب زیرزمینی

نسبت‌های یونی شاخص‌های مناسبی در ارزیابی شیمی منابع آب هستند و استفاده از آن‌ها در تعیین منشأ هریک از پارامترهای هیدروشیمیایی، کمک فراوانی خواهد نمود. یکی از راه‌های تعیین منشأ یون نیترات در آب زیرزمینی استفاده از نسبت‌های یونی So_4^{2-}/Cl^-، K^+/Cl^-، NO_3^-/Cl^- (درخور و شبان، ۱۳۹۷) می‌باشد. به همین منظور مقادیر این نسبت‌ها برای آب زیرزمینی آبخوان اوان محاسبه گردید(جدول۵). منشأ کلرید و پتاسیم در آب زیرزمینی می‌تواند ناشی از فعالیت‌های انسانی(فاضلاب خانگی و کود شیمیایی) باشد. افزایش غلظت کلرید به همراه کاهش غلظت نیترات بیان‌کننده این مطلب است که منشأ کلرید به‌غیراز کود شیمیایی می‌باشد(Shaikh and Pawar ,1995). با توجه به جدول ۵ ملاحظه می‌شود که نسبت‌های NO_3^-/Cl^- و K^+/Cl^- کم‌تر از یک بوده و افزایش غلظت کلرید، می‌تواند دلیلی به‌غیراز فعالیت‌های انسانی داشته باشد.

جدول ۵. نسبت‌های یونی نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان اوان
Table 5. Ion ratios of groundwater samples of Evan aquifer

Well	NO_3^-/Cl^-	K^+/Cl^-	So_4^{2-}/Cl^-
EV1	0.009674	0.009373	1.06645
EV2	0.203081	0.014832	0.973442
EV3	0.06039	0.010236	1.005433

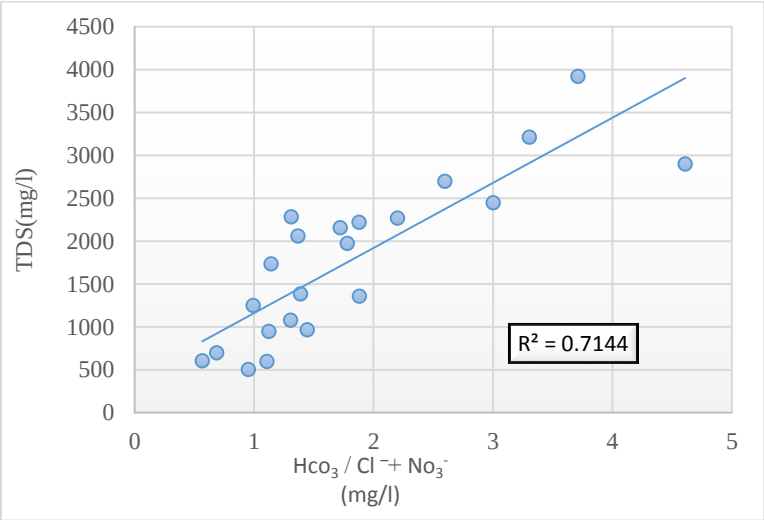
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

Well	NO_3^-/ Cl^-	K^+ / Cl^-	So_4^{2-} /Cl^-
EV4	0.222618	0.015808	1.180697
EV5	0.031896	0.01018	1.274145
EV6	0.064696	0.014447	4.200654
EV7	0.055236	0.014721	1.381008
EV8	0.105505	0.012241	3.105864
EV9	0.059453	0.011729	0.904748
EV10	0.050065	0.016375	5.087593
EV11	0.088784	0.011515	3.016704
EV12	0.253841	0.022228	4.387318
EV13	0.025038	0.008045	1.977403
EV14	0.055336	0.006203	2.279284
EV15	0.063151	0.009241	3.207533
EV16	0.042991	0.010382	3.113551
EV17	0.037834	0.008287	2.45164
EV18	0.07301	0.01308	5.379178
EV19	0.064527	0.01602	1.682397
EV20	0.100214	0.010174	3.555639
EV21	0.059239	0.010546	2.992144
EV22	0.032603	0.010097	2.695337

افزایش کلرید را می‌توان به انحلال کانی‌های تبخیری مانند هالیت و سیلویت موجود در بخش لهبری نسبت داد. افزایش هماهنگ غلظت نیترات و کلرید در آب زیرزمینی و افزایش آن‌ها نسبت به بیکربنات نیز، نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های انسانی در کیفیت منابع آب زیرزمینی می‌باشد(Liu et al, 2003). ازاین‌رو در شکل ۷ نمودار نسبت مجموع نیترات و کلرید به بیکربنات NO_3^-+ Cl^-/Hco_3^- در مقابل کل املاح جامد (TDS) برای نمونه‌های آب زیرزمینی اوان ترسیم‌شده است(جعفری و کلاتگی، ۱۳۹۵). با توجه به شکل ۷ دو پارامتر ذکرشده از همبستگی بسیار خوبی (۰/۷۱) برخوردار بوده، که نشان می‌دهد غلظت زیاد نیترات در منابع آب زیرزمینی منطقه موردمطالعه ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد. غلظت زیاد یون کلرید ناشی از انحلال کانی‌های تبخیری هالیت و سیلویت در سازندهای موجود در منطقه موردمطالعه می‌باشد. دلیل دیگر افزایش یون کلرید نیز فاضلاب خانگی و کودهای شیمیایی است. با توجه به جدول۳، زیاد بودن نسبت So_4^{2-}/Cl^- در اکثر نمونه‌ها را با استفاده از نمودار پایپر می‌توان توضیح داد. نمودار پایپر، یکی از روش‌های متداول جهت تعیین نوع آب‌ها، رخساره‌های هیدروشیمیایی و مسیرهای تکامل هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی می‌باشد(Fetter, 2018). بر اساس نمودار پایپر(شکل ۸)، آنیون و کاتیون غالب به ترتیب سولفات و کلسیم می‌باشند و تیپ اکثر نمونه‌ها سولفات-کلسیک تشخیص داده‌شده است.

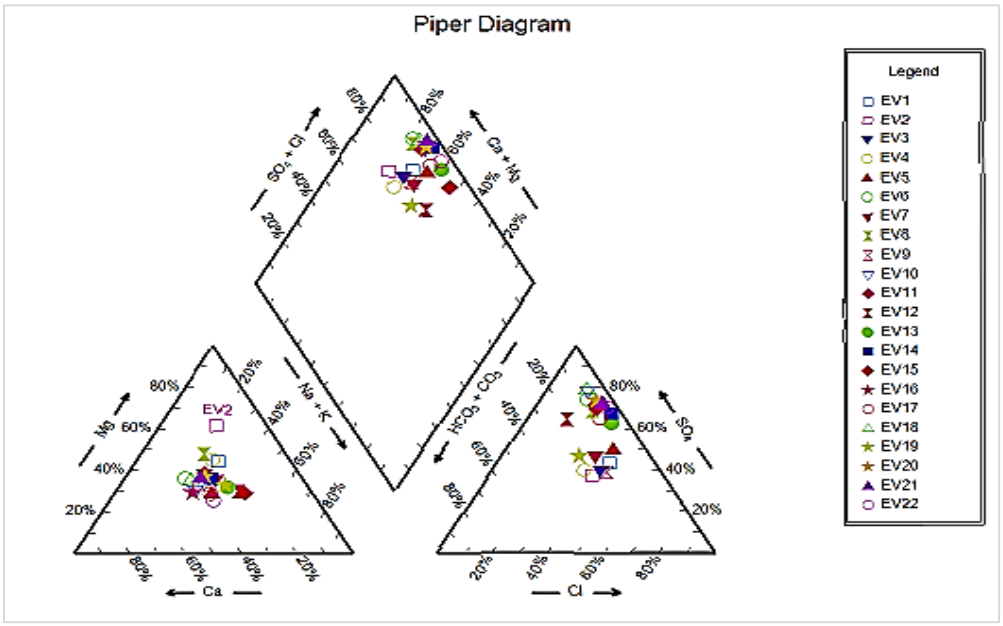
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

غلظت زیاد یون‌های کلسیم و سولفات در آب زیرزمینی اوان ناشی از وجود رسوبات آهکی و دولومیتی در سازندهای کنگلومرای بختیاری در محدوده آبخوان و تغذیه آب زیرزمینی توسط این سازندها بوده است. آبخوان اوان جزء مناطق خشک ایران می‌باشد و در نواحی خشک فروشویی سولفات از لایه‌های فوقانی خاک قابل‌توجه است و سبب می‌شود که سولفات آنیون اصلی آب‌های زیرزمینی واقع در زیر آن نواحی باشد(Fetter, 2018). عامل دیگر افزایش یون سولفات در آب زیرزمینی اوان نیز، ناشی از فاضلاب خانگی و کودهای شیمیایی استفاده‌شده در بخش کشاورزی است.



شکل ۷. نمودار نسبت یونی($Hco_3^-/Cl^-+No_3^-$) در مقابل(TDS)

Fig. 6. Diagram of ion ratio ($Hco_3^-/Cl^-+No_3^-$) vs. (TDS)



شکل ۸. نمودار پایپر نمونه‌های آب زیرزمینی آبخوان اوان

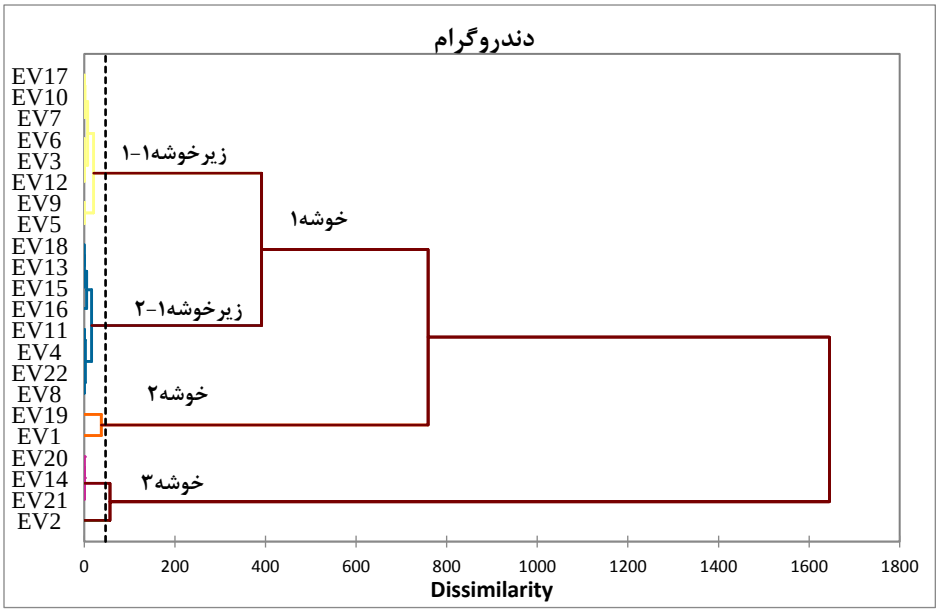
Fig. 7. Piper diagram of groundwater samples of Evan aquifer

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی(HCA)

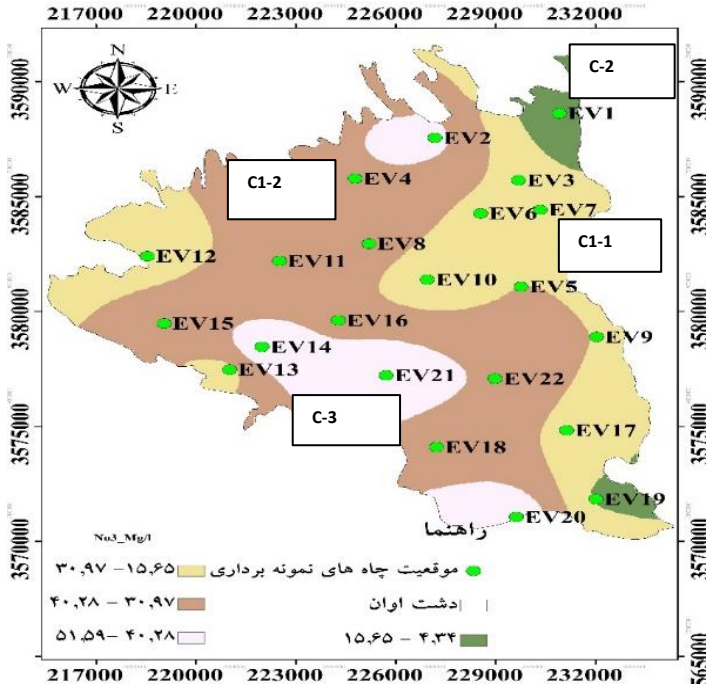
همانطورکه در بخش روش تحقیق گفته‌شده است، با استفاده از روش خوشه‌بندی آماری می‌توان نمونه‌ها را به گروه‌های متمایزی که ازلحاظ زمین‌شناسی و آماری، معنی‌دار باشند تقسیم‌بندی کرد(Willames and Steinhorst, 1985). متراکم سلسله مراتبی، رایج‌ترین روش تحلیل خوشه‌ای است که ارتباطات همسان ذاتی رابین هرکدام از نمونه‌ها و نیز بین همه داده‌ها فراهم می‌کند و معمولاً با یک نمودار درختی نشان داده می‌شود. نمودار درختی، خلاصه‌ای از فرآیند خوشه‌بندی، تصویر خوشه‌ها و مجاورت آن‌ها را به همراه کاهش قابل‌توجه ابعاد داده‌های اولیه نمایش می‌دهد. شباهت (به هم پیوستگی) بین خوشه‌ها و جداسازی خوشه‌های همگن برای مکان‌های نمونه‌برداری بر اساس فاصله اقلیدسی تعیین می‌شود. مکان‌های نمونه‌برداری با بیش‌ترین شباهت در گروه اول(خوشه اول) قرار می‌گیرند و سپس با استفاده از یک قانون به‌هم‌پیوستگی بین نمونه‌ها با انجام تکرار مراحل تا زمانی که همه نمونه‌ها خوشه‌بندی شوند ادامه می‌یابد. مطابق شکل ۹ همان‌طور که مشخص‌شده است آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی با توجه به خصوصیات پارامتر نیترات نمونه‌های آب زیرزمینی تعداد ۳ خوشه برای آن‌ها در نظر گرفته است به این معنا که دشت اوان به لحاظ آلایندگی نیترات سه محدوده را شامل می‌شود، خوشه اول شامل زیر خوشه‌های ۱-۱ و زیرپوشه۱-۲ که به ترتیب نمونه‌های EV17, EV10, EV7, EV6, EV3, EV12, EV9, EV5 و EV18, EV13, EV15, EV16, EV11, EV4, EV22, EV8 قرار دارند. در خوشه ۲ نمونه‌های EV1, EV19، درنهایت در خوشه شماره ۳ نمونه‌های EV20, EV21, EV14, EV2 قرارگرفته‌اند. در زیر خوشه ۱-۱ نمونه‌های EV17, EV10, EV7, EV6, EV3, EV12, EV9, EV5 با میانگین نیترات ۲۳/۶ میلی‌گرم در لیتر، به دلیل تغذیه عمده از رودخانه کرخه با میزان غلظت نیترات پایین و هم‌چنین عدم وجود مراکز دام‌پروری ازجمله مناطق کم‌خطر به لحاظ آلایندگی نیترات به‌حساب می‌آیند.



شکل ۹. دندروگرام نمونه‌های آب زیرزمینی دشت اوان
Fig. 8. Dendrogram of groundwater samples of Evan Plain

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

موقعیت نمونه‌های خوشه۱-۱ در نقشه پهنه‌بندی نیترات در شکل(۹) که بانام اختصاری C1-1 نشان داده‌شده است، نمایانگر این است که، اکثریت این نمونه‌ها به‌جز نمونه EV12 که در بخش شرقی دشت و بر روی سازند بختیاری واقع است، در مجاورت و یا تحت تأثیر رودخانه کرخه می‌باشند. زیر خوشه۱-۲ نمونه‌های EV18, EV13, EV15, EV16, EV11, EV4, EV22, EV8 با میانگین نیترات ۳۶/۷ میلی‌گرم در لیتر می‌باشند. موقعیت نمونه‌های این زیر خوشه در شکل(۱۰) بانام اختصاری C1-2، نشان می‌دهد که اغلب نمونه‌های این زیر خوشه در بخش میانی دشت اوان واقع‌اند و به دلیل تمرکز عمده کشت محصولات کشاورزی، قرارگیری مراکز دام‌پروری، دانه‌درشت بودن رسوبات در بعضی از قسمت‌ها، مقدار نیترات این زیر خوشه با داشتن مقادیر کم‌تر از حد مجاز استاندارد نیترات با توجه موارد ذکرشده، احتمال خطر آلوده‌شده برای این نواحی در آینده پیش‌بینی می‌گردد. در خوشه شماره۲ نمونه‌های EV1, EV19 با میانگین نیترات ۷/۳ میلی‌گرم در لیتر بی‌خطرترین نواحی در دشت اوان در نظر گرفته می‌شوند. موقعیت نمونه‌های این زیر خوشه در شکل(۱۰) با علامت C2، نشان می‌دهد که نمونه‌های این خوشه در مجاورت رودخانه کرخه قرار دارند و به علت اندرکنش آب‌های زیرزمینی و سطحی دارای کم‌ترین مقدار نیترات می‌باشند. درنهایت خوشه شماره ۳، نمونه‌های EV2, EV14, EV21, EV20 با مقادیر بیش‌تر از حد مجاز استاندارد از محدوده‌های آلوده‌شده به‌حساب می‌آیند. موقعیت نمونه‌های خوشه۳ در نقشه پهنه‌بندی نیترات در شکل(۱۰) بانام اختصاری C3، نشان می‌دهد که اکثریت این نمونه‌ها به‌جز نمونه EV2 که در شمال دشت و در محدوده یک مرکز دام‌پروری قرار دارد، در جنوب دشت اوان و در مناطق با عمق کم آب زیرزمینی(کم‌تر از۱۵ متر) قرار دارند و در این بخش آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به نیترات زیاد است. با توجه به موارد گفته‌شده ملاحظه می‌گردد که، نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA) با نقشه پهنه‌بندی نیترات مطابقت دارد.



شکل ۱۰. موقعیت خوشه‌بندی سلسله مراتبی بر روی نقشه پهنه‌بندی نیترات دشت اوان

Fig. 9. Hierarchical clustering position on the nitrate zonation map of Evan plain

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

نتیجه‌گیری

در این پژوهش عوامل مؤثر در کیفیت آب زیرزمینی و هم‌چنین منشأ آلودگی یون نیترات در آبخوان دشت اوان بررسی گردید. نتایج حاصل از تحلیل عاملی نشان می‌دهد که، سه عامل اول تعیین‌کننده کیفیت آب موجود در منطقه می‌باشند که این عامل‌ها حدود ۸۹/۷۲ از کل میزان تغییرات را شامل می‌شوند. به ترتیب افزایش تأثیرگذاری هریک از پارامترهای هیدرو شیمیایی در عامل اول (EC, Na, K, Mg Ca, Cl, So_4)، ناشی از تعامل زیاد آب و سنگ، تأثیر سازندهای زمین‌شناسی در منطقه موردمطالعه، در عامل دوم(Hco_3^-، pH) تغذیه ناشی از آب‌های سطحی(رودخانه کرخه) و بارندگی در دشت اوان و یون نیترات در عامل سوم تأثیرگذاراست. نقشه توزیع مکانی یون نیترات نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار غلظت نیترات در بخش‌های شمالی و جنوب غربی و به سمت شرق و جنوب‌شرق‌وز میزان این یون روند کاهشی دارد. افزایش میزان یون نیترات مربوط به بافت درشت‌دانه حاصل از هوازدگی سازند کنگلومرای بختیاری و عمق کم آب زیرزمینی می‌باشد که باعث تسریع آبشویی یون نیترات و انتقال آن به آب زیرزمینی شده است. کاهش میزان یون نیترات در قسمت‌هایی از آبخوان به دلیل افزایش بافت ریزدانه حاصل از هوازدگی بخش لهبری، عمق زیاد آب زیرزمینی(بیش‌ازحد۲۰متر)، عدم تمرکز کشت محصولات کشاورزی که منجر به کاهش آبشویی نیترات در این نواحی گردیده است. همبستگی بسیار خوب (۰/۷۱) نمودار نسبت مجموع نیترات و کلرید به بیکربنات $NO_3^-+ Cl^-/Hco_3^-$ در مقابل کل املاح جامد (TDS) نشان می‌دهد که، غلظت زیاد نیترات در منابع آب زیرزمینی منطقه موردمطالعه ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد. نمودار نسبت مجموع نیترات و کلرید به بیکربنات($No_3^-+ Cl^-/Hco_3^-$) در مقابل کل املاح جامد (TDS) و هم‌چنین کاهش نسبت یونی NO_3^-/ Cl^- و K^+ / Cl^- بیان می‌کند که غلظت زیاد یون کلرید علاوه بر منشأ طبیعی زمین زاد(انحلال کانی‌های تبخیری سرسرایت و سیلوات موجود در بخش لهبری)، منشأ دیگری حاصل از فعالیت‌های انسانی همانند فاضلاب‌های خانگی و کودهای شیمیایی دارد. آنالیز خوشه‌بندی سلسله مراتبی نمونه‌های آب زیرزمینی تعداد ۳ خوشه برای آن‌ها در نظر گرفته است. در خوشه اول در زیر خوشه ۱-۱ نمونه‌های EV17, EV10, EV7, EV6, EV3, EV12, EV9, EV5 با میانگین نیترات ۲۳/۶، به دلیل تغذیه عمده از رودخانه کرخه با میزان غلظت نیترات پایین و هم‌چنین عدم وجود مراکز دام‌پروری ازجمله مناطق کم‌خطر به لحاظ آلایندگی نیترات به‌حساب می‌آیند. در زیر خوشه۱-۲ نمونه‌های EV18, EV13, EV15, EV16, EV11, EV4, EV22, EV8 با میانگین نیترات ۳۶/۷، به دلیل تمرکز عمده کشت محصولات کشاورزی، قرارگیری مراکز دام‌پروری، دانه‌درشت بودن رسوبات در بعضی از قسمت‌ها، این زیر خوشه با داشتن مقادیر کم‌تر از حد مجاز استاندارد نیترات با توجه موارد ذکرشده، احتمال خطر آلوده‌شده برای این نواحی در آینده پیش‌بینی می‌گردد. در خوشه شماره۲ نمونه‌های EV1, EV19 با میانگین نیترات ۷/۳ بی‌خطرترین نواحی در دشت اوان در نظر گرفته می‌شوند. و درنهایت خوشه شماره ۳، نمونه‌های EV20, EV21, EV14, EV2 با مقادیر بیش‌تر از حد مجاز استاندارد از محدوده‌های آلوده‌شده به‌حساب می‌آیند چراکه در محدوده نمونه EV2 یک مرکز دام‌پروری قرار دارد و هم‌چنین رسوبات این ناحیه از نوع دانه‌درشت می‌باشند. نمونه‌های EV20, EV21, EV14 در مناطق با عمق کم آب زیرزمینی(کم‌تر از۱۵متر) قرارگرفته‌اند بدین معنا که در این نواحی سطح آب زیرزمینی بالاآمده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله لازم می‌دانند از سازمان آب و برق خوزستان جهت در اختیار قرار دادن داده‌های این تحقیق همچنین دانشگاه شهید چمران اهواز جهت در اختیار نهادن حمایت مالی در غالب پژوهانه شماره SCU.EG1401.77 تقدیر و تشکر نمایند.

منابع

بوسلیک، ز.، جعفری، ه.، ۱۳۹۹. استفاده از تکنیک‌های ژئوشیمیایی در شناسایی منشأ یون‌ها و فرآیندهای کنترل کننده کیفیت آب آبخوان شاهرود. پژوهش‌های دانش زمین، (۴)۱۱، ۱۹۶-۱۸۱.Doi: 10.52547/ESRJ.11.4.181

جعفری، ه.، کلاتگی، م.، ۱۳۹۵. آب‌زمین‌شیمی آبخوان شاهرود و بررسی عوامل کنترل‌کننده آلودگی نیترات. زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، (۱)۶، ۷۰-۶۳. Doi: 10.22055/AAG.2016.12145

چیت‌سازان، م.، ایل‌بیگی، م.، پورطبری، م.، ۱۳۹۷. ارزیابی آلودگی نیترات آب زیرزمینی براساس روش مؤلفه های اصلی و تحلیل عاملی (مطالعهٔ موردی: آبخوان دشت کرج). اکو هیدرولوژی، (۴) ۵، ۱۱۱۹-۱۱۳۳. Doi: 10.22059/IJE.2018.256758.870

درخور، م.، شبان، م.، ۱۳۹۷. بررسی آلودگی میکروبی و نیترات در سفره‌های آب زیرزمینی. مطالعات علوم محیط‌زیست، (۱)۳، ۶۰۷- ۶۱۸.

شیرانی، ز.، عباس‌پور، م.، جاوید، ا.، تقوی، ل.، ۱۳۹۲. ارزیابی منابع آلودگی آب‌های زیرزمینی در محیط شهری (مطالعه موردی: منطقه ۱۴ شهرداری تهران). انسان و محیط‌زیست، (۱)۱۱، ۱-۱۶.

کلانتری، ن.، رحیمی، م.، سامانی، س.، ۱۳۹۱. بررسی تأثیر کمی سد کرخه بر آبخوان دشت اوان دزفول استان خوزستان. تحقیقات منابع آب ایران، (۱)۸، ۹-۱.

کلانتری، ن.، عنبری، ا.، محمدی، ه.، ۱۳۹۷. بررسی هیدروشیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بستان با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره. تحقیقات منابع آب ایران، (۲)۱۴، ۲۳۶-۲۴۸.

مظفری‌زاده، ج.، سجادی، ز.، ۱۳۹۳. بررسی آلودگی شیمیایی آب زیرزمینی دشت برازجان. طب جنوب، (۵)۹۲۷-۹۳۷،۱۷.

میرزایی، س. ی.، مرزعه، س.، کریمی، ح.، ۱۴۰۰. بررسی تعاملات ژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی پلانژ تاقدیس کمردراز با استفاده از روش‌های آماری, جنوب غرب شهر ایذه. هیدروژئولوژی، (۲)۶، ۷۹-۹۴.

نادری، ک.، ندیری، ع.، اصغری مقدم، ا.، کرد، م.، ۱۳۹۷. ارزیابی وضعیت هیدروژئوشیمی آبخوان دشت سلماس با استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره. اکو هیدرولوژی، (۳)۵، ۷۹۱-۸۰۰. Doi: 10.22059/IJE.2018.242803.737

Abdesselam, S., Halitim, A., Jan, A., Trolard, F., & Bourrie, G., 2013. Anthropogenic contamination of groundwater with nitrate in arid region: Case study of Southern Hodna (Algeria). Environmental Earth Sciences. 70(5), 2129-2141. Doi: 10.1007/s12665-012-1834-5.

Belkhiri, L., Boudoukha, A., & Mouni, L., 2011. A multivariate statistical analysis of groundwater chemistry data. International Journal of Environmental Research. 5(2), 537-544. Doi:10.22059/ijer.2011.338.

Davis, J. C., & Sampson, R. J., 1986. Statistics and data analysis in geology. John Wiley & Sons Inc New York, Wiley.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

EPA. Hydrogeological assessment (groundwater quality) guideline., 2006. EPA Victoria, Publication 888, Australia.

Fetter, C. W., T. Boving and D. Kreamer., 2018. Contaminant Hydrogeology. Waveland Press, Inc.

Freeze, R.A, Cherry J.A.,1979. Ground Water. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Guler, C., Thyne, G. D., McCray, J. E., & Turner, K. A., 2002. Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeology Journal ,10(4), 455-74. dio:10.1007/s10040-002-0196-6.

Isa, N. M., Aris, A. Z., Lim, W. Y., Sulaiman, W. N. A. W., & Praveena, S. M., 2014. Evaluation of heavy metal contamination in groundwater samples from Kapas Island, Terengganu, Malaysia. Arabian Journal of Geosciences .7(3),1087-1100. Doi: 10.1007/s12517-012-0818-9.

Jang, C. S., & Chen, S. K., 2015. Integrating indicator based geostatistical estimation and aquifer vulnerability of nitrate-N for establishing groundwater protection zones. Journal of Hydrology. 523: 441-451. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.01.077.

Jeong, C. H., 2001. Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea, J. of Hydrology. 253, 194-210. doi:10.1016/s0022-1694(01)00481-4.

Kenney, D. R., 1989. Sources of Nitrate to ground water. Developments in Agricultural and Managed Forest Ecology. 21, 23-34. Doi: 10.1016/b978-0-444-87393-4.50008-3.

Kehew, A. E., Straw, W. T., Steinman, W. K., Barrese, P. G., Passarella, G., & Peng, W. S.,1996. Ground-water quality and flow in a shallow glaciofluvial aquifer impacted by agricultural contamination. Ground Water ,34(3),491–500. Doi: 10.1111/j.1745-6584.1996.tb02030.x.

Kura, N. U., Ramli, M. F., Sulaiman, W. N. A., Ibrahim, S., Aris, A. Z., & Mustapha, A., 2013. Evaluation of factors influencing the groundwater chemistry in a small tropical island of Malaysia. International Journal of Environmental Research and Public Health .10(5), 1861-1881. doi:10.3390/ijerph10051861.

Liu, C. W., Lin, K. H., & Kuo, Y. M.,2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot disease area in Taiwan, The Science of Total Environment. 313, 77-89. Doi: 10.1016/S0048-9697(02)00683-6.

Martínez, D., Moschione, E., Bocanegra, E., Glok Galli, M., & Aravena, R., 2014. Distribution and origin of nitrate in groundwater in an urban and suburban aquifer in Mar del Plata, Argentina. Environ Earth Sci, 72,1877–1886. Doi: 10.1007/s12665-014-3096-x.

Mirzaee, S. Y., Sheikhy, P., Chitsazan, M., 2022. The vulnerability evaluation of groundwater level rising and development of irrigation network in Mian-Ab aquifer through Analytical Hierarchical Process method and groundwater modeling, 269, 2022, 33–46. Doi: 10.5004/dwt.2022.28722.

Nathan, N. S., Saravanane, R., & Sundararajan, T., 2017. Spatial variability of ground water quality using HCA, PCA and MANOVA at Lawspet, Puducherry in India. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering. 6, 243-268. Doi: org/10.4236/cweee.2017.63017.

Pawar, N. A., & Shaikh, I. J., 1995.Nitrate pollution of groundwater from shallow basaltic aquifer. Deccan Trap Hydrologic Province India Geo.25, 197-204. Doi: 10.1007/s12665-014-3096-x.

Ramaroson, V., Randriantsivery, J. R., Rajaobelison, J., Fareze, L. P., Rakotomalala, C. U., Razafitsalama, F. A., & Rasolofonirina, M.,2020. Nitrate contamination of groundwater in Ambohidrapeto–narivo‑Madagascar using hydrochemistry and multivariate analysis. Applied Water Science. 10(7), 1-13. Doi.org/10.1007/s13201-020-01265-5.

Shrestha, S., & Kazama, F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. Journal of Environmental Modeling & Software. 22(4), 464-475. Doi:10.1016/j.envsoft.2006.02.001.

Steinhorst, R. K., & Williams, R. E., 1985. Discrimination of groundwater sources using cluster analysis, MANOVA, canonical analysis and discriminant analysis. Water Resources Research. 21(8),1149-1156. Doi.org/10.1029/WR021i008p01149.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

WHO., 2008 World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality. second addendum. Vol. 1, Recommendations. 3th edition. ISBN 978 92 4 154760.

WHO., 2011. Guidelines for drinking-water quality, 4th edn. World Health Organization, Geneva Switzerland. 398-403.

Wick, K., Heumesser, C., & Schmid, E., 2012. Groundwater nitrate contamination: Factors and indicators. Journal of Environmental Management .111(3),178-18. Doi: 10.1016/j.jenvman.2012.06.030

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

Investigating the groundwater quality of Evan Plain aquifer in Khuzestan province with emphasis on nitrate concentration

Seyed Yahya Mirzaee[1*], Zahra Chaghazardi [2], Manouchehr Chitsazan [3], Farshad Alijani [4]

1. Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2. PhD student, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 02 May 2023 Accepted: 29 May 2023

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

Abstract

The Evan plain is located in the Khuzestan province in the southwest of Andimshek city. Groundwater is one of the available water resources for irrigation, drinking, and industry in this region. Due to the importance of examining the ground water quality of the Evan plain, hydrochemical parameters and nitrate pollution have been evaluated. Nitrate is one of the most widespread pollutants of ground water in the world. However, few studies have been conducted on this pollutant in the Evan plain. Therefore, to assess the quality of ground water in this area with emphasis on nitrate pollution, sampling was carried out in September of the water year (1400-1401) from 22 wells in this plain. During the sampling, field parameters (temperature, pH, EC), concentrations of major elements (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{2-}, CO_3^{2-}), and nitrate were measured. The results of the factor analysis demonstrated three influencing factors, namely EC, Na^{+}, K^{+}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^{-}, SO_4^{2-} (as the first factor), pH and Hco32- (as the second factor), and NO_3^{-} (as the third factor), with a total of 89.72% having the most changes in the Evan plain aquifer. The dominant water type in the Evan plain is sulfate-calcite. Hierarchical clustering analysis shows the three clusters for the regionalization of nitrate data. In general, the changes in nitrate ion concentration in the groundwater of the Evan plain are affected by the size of the soil particles, the depth of the groundwater, and the utilization of chemical fertilizers in the area.

Keywords: Evan Aquifer, Nitrate Pollution, Factor Analysis, Hierarchical Clustering Analysis (HCA).

Introduction

Groundwater is an important source of water that is used in industry, agriculture, and domestic purposes. In recent years, there has been an increase in population and the use of soluble chemicals, resulting from industrial and domestic production and expansion, which have led to a reduction in the quality of groundwater. Nitrate, as one of the factors contributing to groundwater pollution that is mostly caused by human activities, has always been of interest to researchers (Fetter, 2014). In most

*Corresponding author: Yahyamirzaee@scu.ac.ir

DOI: http://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.1.1019261

cases, the occurrence of nitrate pollution in groundwater is related to agricultural effluent, excessive use of nitrogen fertilizers, as well as domestic sewage and animal waste. Understanding and monitoring the quality of water resources is very important for their management and optimal use. Therefore, examining the relationship between cations and anions can reveal many characteristics of water, and with their help, other water characteristics can also be determined. Evaluating the relationship between cations and anions using laboratory methods incurs significant costs. To reduce these costs, multivariate statistical methods such as Principal Component Analysis and Hierarchical Cluster Analysis can be used. In this regard, many analytical studies have been conducted by researchers (Kenny, 2014; Kehew et al., 2010; Kura et al., 2013; Isa et al., 2014; Suresh et al., 2017; Martínez, 2014; Chen and Jang, 2015; Ramaroson, 2020). In recent years, there has been an increase in agricultural activities and the use of nitrogen fertilizers in rural areas, resulting in the discharge of domestic sewage into the groundwater of the Evan aquifer. Therefore, this research focuses on investigating the quality of groundwater in the Evan plain, with a particular emphasis on the nitrate ion. The study aims to identify the source of nitrate pollution and determine the areas with the highest pollution potential using graphical and statistical methods.

Materials and Methods

The study conducted in this research was carried out in the Evan Plain. This plain, with an area of 195 square kilometers, is located at a distance of 140 kilometers from the city of Ahvaz in the northwest of Khuzestan province, on the road from Andimshek to Dehlran. There are 14 observation wells in this plain, and the average water level of this area in the water year 1400-1401 is about 102.36 meters. In order to investigate the spatial changes and evaluate the ionic pollution of the Evan aquifer, sampling was conducted in September of the water year (1400-1401) from 22 exploitation wells with an appropriate relative distribution. The chemical analysis of main anions and cations Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, So_4^{2-}, Hco_3^{2-}, Co_3^{2-}) and nitrate ion was carried out in the laboratory of the Khuzestan Water and Electricity Organization. The Kaiser-Mayer-Olkin index and the athlete's test were used for the statistical analysis of the data. These two methods showed that the data were suitable for statistical analysis. To investigate nitrate ion pollution in the groundwater of the Evan aquifer, a spatial distribution map of nitrate ion, flow direction map, groundwater depth, ion ratio, Piper diagram, and the statistical method of Hierarchical Clustering Analysis (HCA) were used.

Results and Discussion

In the factor analysis, eigenvalues, variance percentage, and cumulative variance were calculated to carefully examine the variables and select the effective factors of the system. According to the calculations, three factors with eigenvalues greater than one were identified as the main factors, explaining 89.72% of the total variance. Based on the spatial distribution map of nitrate ions, wells Ev2, Ev14, Ev20, and Ev21 are at risk of nitrate contamination due to their proximity to coarse-grained weathered alluvial sediments, the presence of a livestock center, shallow groundwater depth, and areas with intensive cultivation. To determine the origin of nitrate pollution, ionic ratios such as NO_3^{-}/Cl^{-}, K^{+}/Cl^{-}, and Cl^{-}/SO_4^{2-} were used. These ratios indicate that human activities are the main cause of nitrate pollution. Piper's chart was used to assess groundwater quality. The majority of samples exhibited a sulfate-calcic type. The increase in sulfate ions in Evan groundwater is attributed to domestic sewage and the use of chemical fertilizers in agriculture. Hierarchical clustering analysis

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]

revealed that samples EV17, EV10, EV7, EV6, EV3, EV12, EV9, and EV5 belong to the first cluster and sub-cluster 1-1, with an average nitrate concentration of 23.6. These wells are primarily recharged by the Karkheh River, with low nitrate concentrations, and are considered low-risk areas for nitrate pollution. In sub-cluster 1-2, samples EV18, EV13, EV15, EV16, EV11, EV4, EV22, and EV8 exhibit an average nitrate concentration of 36.7, indicating a potential risk of nitrate pollution in the future. This is attributed to the concentration of agricultural crops, the presence of livestock centers, and the coarse-grained sediments in some areas. Cluster number 2 includes samples EV1 and EV19, which have the lowest average nitrate concentration of 7.3, making them the safest areas in terms of pollution in the Evan Plain. Finally, cluster number 3 consists of samples EV20, EV21, EV14, and EV2, which exceed the standard limit and are considered contaminated areas. EV2 is located near a livestock center, and the sediments in this area are coarse-grained. EV20, EV21, and EV14 are located in areas with shallow groundwater depth (less than 15 meters), indicating a rise in the groundwater level in these areas.

Conclusions

In this research, the effective factors in the quality of underground water and also the source of nitrate ion pollution in the Evan Plain were investigated. The results of factor analysis show that the first three factors determine the quality of water in the region. These factors include about 89.72 % of the total amount of change. In order to increase the influence of each of the hydrochemical parameters in the first factor (EC, Na, K, Mg, Ca, Cl, SO_4), due to the high interaction of water and rock, the influence of geological formations in the study area is included. In the second factor (HCO_3, pH) recharge is caused by surface water and rainfall in the Evan plain. And nitrate ion is effective in the third factor. a very good correlation (0.71) of the graph of the ratio of total nitrate and chloride to bicarbonate HCO_3^-/ Cl^- + NO_3^- against the total solid solution (TDS) shows that the high concentration of nitrate in the groundwater resources of the study area is caused by human activities. According to Hierarchical Clustering Analysis (HCA), groundwater samples were placed in three clusters. The results of this analysis showed that the position of each cluster corresponds to the spatial distribution map of nitrate ion.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1019261]