

هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی در دشت گرگان: راهکاری برای حساسیت‌سنجی آلودگی آب‌های زیرزمینی

* غلامحسین شمعانیان^۱، مصطفی رقیمی^۱ و ابراهیم یخکشی^۲

^۱ اعضای هیات علمی گروه زمین‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آکارسناس ارشد سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان

تاریخ دریافت: ۸۴/۶/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۸۴/۱۱/۳۰

چکیده

دشت گرگان با وسعت بیش از ۵۰۰۰ کیلومتر مربع در جنوب شرق دریاچه خزر قرار دارد. از آنجا که آب‌های زیرزمینی منبع اصلی آب برای استفاده‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی در این ناحیه است، تضمین کیفیت آب از طریق محافظت آن در برابر منابع آلاینده ضرورت دارد. در این مطالعه، داده‌های هیدروژئوشیمیایی ۹۶ چاه آبیاری برای ارزیابی کیفیت آب و تعیین فرآیندهای کنترل‌کننده شیمی آب مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌ها براساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی و به کمک تحلیل خوشه‌ای به پنج گروه آماری مجزا (I، II، III، IV و V) تقسیم شد. نتایج نشان می‌دهد که کیفیت آب‌های زیرزمینی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های گروه‌بندی شده با زمین‌شناسی و هیدروگرافی ناحیه همخوانی دارد. نمونه‌های جمع‌آوری شده از نزدیکی محل تغذیه آبخوان که پوشیده از گراول و ماسه است به‌عنوان گروه I طبقه‌بندی شد. با دور شدن از محل تغذیه و وجود پوششی از خاک‌های سیلتی مقدار پارامترهای pH و TDS و همچنین غلظت HCO_3^- و SO_4 افزایش می‌یابد (گروه‌های II و III). بیشترین غلظت کلرید و سولفات به بخش‌های شمالی ناحیه که به‌طور عمده پوشیده از رسوبات دانه ریزی است تعلق دارد (گروه‌های IV و V). توزیع مکانی گروه‌های آماری نشان‌دهنده فرارگیری نمونه‌های متعلق به یک گروه در نزدیکی یکدیگر است که پیشنهادکننده فرآیندها و یا جهت جریان یکسان می‌باشد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که گروه‌بندی آب‌های زیرزمینی براساس شیمی آب را می‌توان در حساسیت‌سنجی آلودگی آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف بکاربرد.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی، گروه‌بندی آماری، هیدروژئوشیمی، دشت گرگان

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و بالا رفتن استانداردهای زندگی در بسیاری از کشورها موجب نیاز روزافزون به آب برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و خانگی

شده است. آب‌های زیرزمینی به‌عنوان یکی از مهمترین منابع تأمین‌کننده آب با چالش‌های متفاوتی مانند افت سطح آب زیرزمینی، کاهش نرخ بارندگی و آلاینده‌های طبیعی و غیرطبیعی روبرو است. افت سطح آب

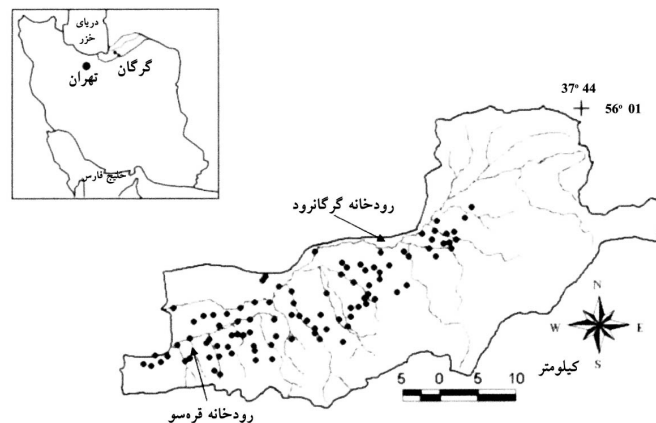
زیرزمینی، تبخیر و تعرق آب و نفوذ پس آب‌های کشاورزی به زمین از مهمترین مشکلات موجود در نواحی کشاورزی است که با زوال کیفیت آب و تأثیر بر کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی می‌تواند باعث متروکه شدن مزارع گردد. در گذشته در کشورهایی مانند ایالات متحده آمریکا و استرالیا (هیلل، ۱۹۸۰)، عدم توجه به مشکلات یاد شده و مدیریت ضعیف منابع آب زیرزمینی باعث کیفیت نامناسب آب و خاک در برخی از مناطق و عدم امکان استفاده از آنها برای کشاورزی شده است.

دشت گرگان با وسعت بیش از ۵۰۰۰ کیلومترمربع در حوضه آبریز گرگانرود - قره سو در بخش جنوب شرقی دریاچه خزر قرار دارد. این دشت از بزرگترین دشت‌های کشور محسوب می‌گردد که از مصب رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو در بخش غربی حوضه شروع و با گسترش طولی حدود ۱۵۰ کیلومتر به طرف شرق کشیده می‌شود. آب‌های زیرزمینی در این دشت برای تأمین بخشی از آب مورد نیاز بویژه آبیاری زمین‌های کشاورزی و مصارف خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد و کیفیت شیمیایی آن تحت کنترل آلاینده‌های طبیعی مانند لیتولوژی آبخوان و آلاینده‌های غیرطبیعی مانند پس آب‌های خانگی و صنعتی، مواد زائد جامد و بویژه ترکیبات شیمیایی کشاورزی قرار دارد. از آنجا که شناسایی یا پیش‌بینی الگوی آلودگی نیازمند انجام عملیات پایش و کنترل مداوم با صرف وقت و هزینه زیاد است، عملیات پایش و کنترل باید در مناطقی که بیشترین احتمال رخداد آلودگی و یا آسیب‌پذیری نسبت به منابع آلاینده وجود دارد به انجام رسد. این مطالعه با هدف ارزیابی کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی، تعیین فرآیندهای کنترل‌کننده شیمی آب و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در دشت گرگان به اجراء درآمد.

توصیف منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز گرگانرود - قره سو با مساحت ۱۳۱۷۰ کیلومترمربع بین مختصات جغرافیایی ۰۲' ۵۴° - ۱۶' ۵۶°، طول شرقی و ۳۶' ۳۶° - ۴۷' ۳۷° عرض شمالی در استان گلستان قرار دارد (شکل ۱). این حوضه از شمال و شرق به حوضه رودخانه اترک، از جنوب به حوضه‌های آبریز شاهرود و دامغان و از جنوب غربی به حوضه رودخانه نکا محدود می‌شود و توسط دو رودخانه اصلی به نام‌های گرگانرود در بخش شرقی و میانی و قره‌سو در بخش جنوب غربی زهکش می‌گردد. حوضه آبریز گرگانرود - قره‌سو دارای پهنه‌های آبرفتی با وسعت ۵۳۳۲ کیلومترمربع شامل دشت گرگان در بخش میانی و شمالی حوضه و دشت‌های کوچک کوهستانی در منطقه رباط قره بیل واقع در انتهای شرقی حوضه است. دشت گرگان با وسعت بیش از ۵۰۰۰ کیلومترمربع از مصب رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو در بخش غربی حوضه شروع و با گسترش طولی حدود ۱۵۰ کیلومتر به طرف شرق کشیده می‌شود. مهمترین کاربری اراضی در حوضه گرگانرود - قره‌سو استفاده کشاورزی به صورت مزارع و کشتزار است که به طور عمده در سطح دشت گرگان گسترش دارد.

دشت گرگان با وسعت بیش از ۵۰۰۰ کیلومترمربع در حوضه آبریز گرگانرود - قره سو در بخش جنوب شرقی دریاچه خزر قرار دارد. این دشت از بزرگترین دشت‌های کشور محسوب می‌گردد که از مصب رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو در بخش غربی حوضه شروع و با گسترش طولی حدود ۱۵۰ کیلومتر به طرف شرق کشیده می‌شود. آب‌های زیرزمینی در این دشت برای تأمین بخشی از آب مورد نیاز بویژه آبیاری زمین‌های کشاورزی و مصارف خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد و کیفیت شیمیایی آن تحت کنترل آلاینده‌های طبیعی مانند لیتولوژی آبخوان و آلاینده‌های غیرطبیعی مانند پس آب‌های خانگی و صنعتی، مواد زائد جامد و بویژه ترکیبات شیمیایی کشاورزی قرار دارد. از آنجا که شناسایی یا پیش‌بینی الگوی آلودگی نیازمند انجام عملیات پایش و کنترل مداوم با صرف وقت و هزینه زیاد است، عملیات پایش و کنترل باید در مناطقی که بیشترین احتمال رخداد آلودگی و یا

دشت گرگان با وسعت بیش از ۵۰۰۰ کیلومترمربع در حوضه آبریز گرگانرود - قره سو در بخش جنوب شرقی دریاچه خزر قرار دارد. این دشت از بزرگترین دشت‌های کشور محسوب می‌گردد که از مصب رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو در بخش غربی حوضه شروع و با گسترش طولی حدود ۱۵۰ کیلومتر به طرف شرق کشیده می‌شود. آب‌های زیرزمینی در این دشت برای تأمین بخشی از آب مورد نیاز بویژه آبیاری زمین‌های کشاورزی و مصارف خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد و کیفیت شیمیایی آن تحت کنترل آلاینده‌های طبیعی مانند لیتولوژی آبخوان و آلاینده‌های غیرطبیعی مانند پس آب‌های خانگی و صنعتی، مواد زائد جامد و بویژه ترکیبات شیمیایی کشاورزی قرار دارد. از آنجا که شناسایی یا پیش‌بینی الگوی آلودگی نیازمند انجام عملیات پایش و کنترل مداوم با صرف وقت و هزینه زیاد است، عملیات پایش و کنترل باید در مناطقی که بیشترین احتمال رخداد آلودگی و یا



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز گرگانرود - قره‌سو در شمال ایران. دواير توپر موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری را که به طور عمده در سطح دشت گرگان پراکنده‌اند، نشان می‌دهد.

از نظر زمین‌شناسی، حوضه آبریز گرگانرود - قره‌سو به‌طور عمده در زون ساختاری البرز قرار دارد. واحدهای سنگ چینه‌ای پالئوزوئیک از قدیمی‌ترین واحدهای سنگی برونزد یافته در این گستره است (صالحی‌راد و همکاران، ۱۳۶۹). سنگ آهک‌های متعلق به سازندهای لار و مزدوران با سن ژوراسیک بالایی از مهمترین واحدهای سنگ چینه‌ای و نهشته‌های لسی از گسترده‌ترین رسوبات دوران چهارم در این ناحیه است. دشت گرگان از مجموعه‌ای از رسوبات سخت نشده پوشیده شده که از جنوب به شمال شامل گراول، ماسه و رسوبات ریز دانه سیلتی و رسی است.

آبخوان‌های حوضه آبریز گرگانرود - قره‌سو به آبخوان‌های سازندهای سخت و آبخوان‌های آبرفتی تقسیم می‌گردد (مهندسین مشاور جاماب، ۱۳۷۸). آبخوان‌های سازندهای سخت در بخش جنوبی و شرقی حوضه و به‌طور عمده در سنگ آهک‌های سازند مزدوران و لار وجود دارد. آبخوان‌های آبرفتی دشت گرگان به‌صورت پیوسته از دریاچه خزر در غرب تا کلاله در شرق به طول ۱۳۰ کیلومتر و از دامنه ارتفاعات جنوبی تا دیوار اسکندر در شمال به عرض ۳۵ کیلومتر گسترش دارد. براساس منحنی‌های هم‌عمق، بیشترین عمق سطح آب زیرزمینی (۳۰ متر) در بخش جنوبی و کمترین مقدار آن (۵ متر) در بخش مرکزی و شمالی دشت دیده می‌شود. نوسانات سطح ایستابی آبخوان با استفاده از تغییرات عمق آب در دوره زمانی ۸۲-۱۳۷۵ و به کمک نقشه هم‌تیسن پیرومتری و هیدروگراف واحد نشانگر وجود یک شاخه صعودی و نزولی به ترتیب متعلق به ماه‌های اردیبهشت و آبان هر سال است.

روش مطالعه

نمونه‌برداری و تجزیه شیمیایی: نمونه‌های آب زیرزمینی از ۹۶ چاه بهره‌برداری از آبخوان‌های آبرفتی عمیق دشت گرگان در ماه‌های آبان و اردیبهشت سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۷۹ که به ترتیب منطبق با بیشترین و کمترین عمق سطح

آب زیرزمینی است، جمع‌آوری گردیده است. محل‌های نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی در سطح دشت پراکنده است و محل‌هایی مانند زمین‌های کشاورزی، مناطق مسکونی، کارخانه‌ها و کارگاه‌ها را در بر می‌گیرد (شکل ۱). نمونه‌های برداشت شده توسط کاغذ صافی سلولزی با اندازه ۰/۴۵ میکرون صاف و تا قبل از تجزیه شیمیایی در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب شامل اندازه‌گیری pH، هدایت الکتریکی (EC)، میزان نسبت جذب سدیم (SAR)، سختی کل (TH) و تعیین غلظت کاتیون‌ها (Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، K^{+} ، Na^{+})، آنیون‌ها (HCO_3^{-} ، CO_3^{2-} ، Cl^{-} ، SO_4^{2-}) و کل مواد جامد محلول (TDS) بوده است. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و pH در محل نمونه‌برداری انجام گرفت. کاتیون‌های سدیم و پتاسیم به روش نورسنج شعله‌ای و سایر کاتیون‌ها و آنیون‌ها به روش حجم سنجی تعیین گردیده است.

پردازش آماری و تحلیل مکانی داده‌ها: پردازش آماری داده‌ها با هدف گروه‌بندی ژئوشیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه و پارامترهای شیمیایی مؤثر بر شیمی آب، به کمک روش‌های پیشنهادی دیویس (۱۹۸۶) و با استفاده از نرم افزارهای آماری SPSS 11.5 و S-Plus انجام گرفت. برای انجام این پردازش‌ها از متغیرهای pH، EC، SAR و غلظت‌های کل مواد جامد محلول (TDS)، Na، K، Ca، Mg، Cl، HCO_3 ، CO_3 و SO_4 استفاده شد. تحلیل خوشه‌ای هیرارچیکال بمنظور بهینه نمودن حداقل واریانس بین گروه‌ها از روش وارد و بررسی شباهت میان گروه‌ها از روش مربعات فاصله اوکلیدین انجام گرفت (دیویس، ۱۹۸۶). برای طبقه‌بندی آب‌های زیرزمینی از نظر مصرف کشاورزی و شرب به ترتیب از نمودارهای ویلکوکس و شولر و برای تعیین رخساره‌های هیدروشیمی از نمودارهای پایپر استفاده شد. برای انجام تحلیل‌های مکانی و حساسیت سنجی آب‌های زیرزمینی، نتایج تجزیه شیمیایی آب‌های زیرزمینی و داده‌های مکانی مورد نیاز مانند توپوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، موقعیت و

عمق چاه‌های نمونه‌برداری به سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) وارد گردید. این سامانه در ارزیابی و پیش‌بینی مناطق آسیب‌پذیر نقش بسیار مهمی بر عهده داشته است (برای مثال، نیکارینن و کانیسکانگاس، ۱۹۹۶؛ هوانگ و همکاران، ۱۹۹۷؛ تاپینتا و هوداک، ۲۰۰۳؛ آلمائو و چائوکا، ۲۰۰۴). برای انجام تحلیل‌های مکانی از نرم‌افزارهای GIS و از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای TM با هفت باند به‌عنوان نقشه‌های پایه استفاده شد.

نتایج و بحث

کیفیت آب: نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی از ۹۶ چاه بهره‌برداری در دشت گرگان (شکل ۱)، برای دو فصل خشک و مرطوب سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۷۹ در جدول ۱ خلاصه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که اغلب پارامترهای مورد اندازه‌گیری در فصل خشک (آبان) که منطبق با بیشترین عمق سطح آب

زیرزمینی است در مقایسه با فصل مرطوب (اردیبهشت)، دارای مقدار بیشتر و دامنه تغییرات وسیع‌تر است. به منظور کنترل اختلاف معنی‌دار بین نتایج تجزیه شیمیایی در دو فصل نمونه‌برداری، آزمون آماری T تعمیم یافته انجام گرفت. براساس این آزمون، بین نتایج تجزیه شیمیایی در دو فصل خشک و مرطوب اختلاف معنی‌دار وجود دارد و پارامترهای HCO_3 و CO_3 باعث معنی‌دار بودن این اختلاف شده‌اند. آب‌های زیرزمینی این دشت از نظر مصرف کشاورزی به رده‌های $\text{C}_2\text{-S}_1$ و $\text{C}_3\text{-S}_2$ و از نظر مصرف شرب به‌طور عمده در محدوده‌های قابل قبول تا خوب قرار دارد. براساس نمودار پایپر، آب‌های زیرزمینی این دشت شامل دو رخساره هیدروشمیمی $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ و $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ است. نمودار استیف وجود بیکربنات و کلسیم را به‌ترتیب به‌عنوان غالب‌ترین آنیون و کاتیون نشان می‌دهد که در تعدادی از چاه‌ها بویژه در بخش شمالی و شمال شرقی دشت، یون‌های کلرید و سولفات غالب می‌گردد.

جدول ۱- آمار توصیفی نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی از ۹۶ مورد چاه بهره‌برداری در دشت گرگان. نمونه‌ها در ماه‌های آبان و اردیبهشت سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۷۹ که به‌ترتیب منطبق با بیشترین و کمترین عمق سطح آب زیرزمینی است، برداشت شده است.

پارامترها	آبان ۱۳۷۹					اردیبهشت ۱۳۸۰				
	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف معیار
pH	۷/۳۰	۸/۳۰	۷/۸۷	۷/۹۰	۰/۱۹	۶/۸۰	۷/۹۰	۷/۳۱	۷/۲۰	۲۸
EC	۳۳۸	۵۳۴۹	۸۸۱/۱۸	۷۶۳/۵۰	۶۰۵/۸۵	۲۷۸	۵۱۶۸	۸۳۲/۴۷	۷۳۲/۵۰	۶۲۲/۵۵
TH	۱۴۰	۷۲۵	۲۶۴/۶۴	۲۵۰	۷۴/۰۶	۱۲۰	۶۸۰	۲۲۷/۲۹	۲۱۵	۷۷/۴۲
%Na	۱۰/۹۷	۸۲/۹۶	۳۹/۱۴	۳۹/۳۹	۱۷/۹۷	۹/۲۸	۸۰/۲۹	۴۳/۷۲	۴۶/۸۷	۲۰/۴۱
SAR	۰/۳۷	۱۷/۸۲	۲/۶۸	۲/۰۹	۲/۶۲	۰/۳	۱۶/۶۹	۳/۰۹	۲/۵۷	۲/۷۶
Ca^{+2}	۴۸	۲۴۰	۹۷/۶۷	۹۲	۳۲/۱۱	۳۲	۱۹۲	۷۴/۵۰	۶۸	۲۹/۱۷
Mg^{+2}	۲۶/۵۰	۵۰۴	۷۲/۲۵	۶۴/۸۰	۴۹/۳۶	۲۸/۷۰	۹۳۶	۷۲/۶۱	۶۰	۹۲/۰۵
Na^+	۱۱/۹۶	۹۷۹/۸۰	۱۰۰/۱۹	۷۶/۵۹	۱۲۵/۱۴	۹/۶۶	۹۲۰	۱۰۵/۵۷	۸۷/۵۲	۱۲۵/۸۲
K^+	۰/۷۸	۱۱/۷۰	۲/۶۹	۱/۹۵	۲/۰۹	۰/۷۸	۱۲/۸۷	۲/۷۱	۱/۹۵	۲/۱۰
CO_3^{2-}	۰	۷۲	۱/۳۵	۰	۹/۴۲	۰	۰	۰	۰	۰
HCO_3^{-}	۶۵	۵۰۰/۲۰	۳۰۳/۹۲	۲۹۲/۸۰	۷۰/۷۹	۱۰۳/۷۰	۴۹۴/۱۰	۲۷۲/۶۶	۲۵۳/۱۵	۷۵/۹۶
Cl^-	۱۰/۵۰	۱۰۶۷/۵۰	۸۴/۵۷	۵۲/۵۰	۱۱۹/۴۵	۱۴	۱۳۸۶	۹۶/۹۵	۵۶	۱۷۸/۸۱
SO_4^{2-}	۲۴/۴۸	۱۲۰۹/۶۰	۱۶۹/۹۷	۱۲۴/۸	۱۵۶/۷۴	۴۳/۲۰	۹۸۸/۸۰	۱۸۳/۶۸	۱۴۴	۱۵۵/۳۴

- همه مقادیر بجز pH و EC برحسب میلی‌گرم بر لیتر. واحد EC برحسب میلی‌موهس بر سانتی‌متر است.

- همه مقادیر برحسب mg/l. بجز pH و EC. واحد EC برحسب میلی‌موهس بر سانتی‌متر است.

گروه‌بندی چاه‌های نمونه‌برداری: تحلیل خوشه‌ای داده‌های تجزیه شیمیایی با هدف گروه‌بندی چاه‌های نمونه‌برداری که از نظر آماری دارای ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی مشترک و قابل تمایز باشد، انجام گرفت. در این روش ابتدا پارامترهای متعددی از نمونه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه و سپس نمونه‌ها براساس تشابه خود به گروه‌های مختلف تقسیم‌بندی گردید. این روش در مطالعات مختلف برای طبقه‌بندی نمونه‌های آب بکار رفته است (برای مثال فانهام و همکاران، ۲۰۰۱؛ چا، ۲۰۰۴؛ گولر، ۲۰۰۴). چاه‌های نمونه‌برداری شده در اردیبهشت ماه بدلیل تغذیه سفره آب زیرزمینی و پدیده رقیق شدگی عناصر در یک گروه قرار گرفت و اختلاف معنی‌داری جهت تشکیل گروه‌های مختلف وجود نداشت. در حالی‌که براساس نتایج تجزیه شیمیایی در آبان، همین چاه‌ها در پنج گروه آماری (I, II, III, IV و V) قرار گرفت (جدول ۲). گروه‌های I و II بیشترین نمونه‌های برداشت شده (به‌ترتیب $n=41$ و $n=48$) را بخود اختصاص می‌دهد.

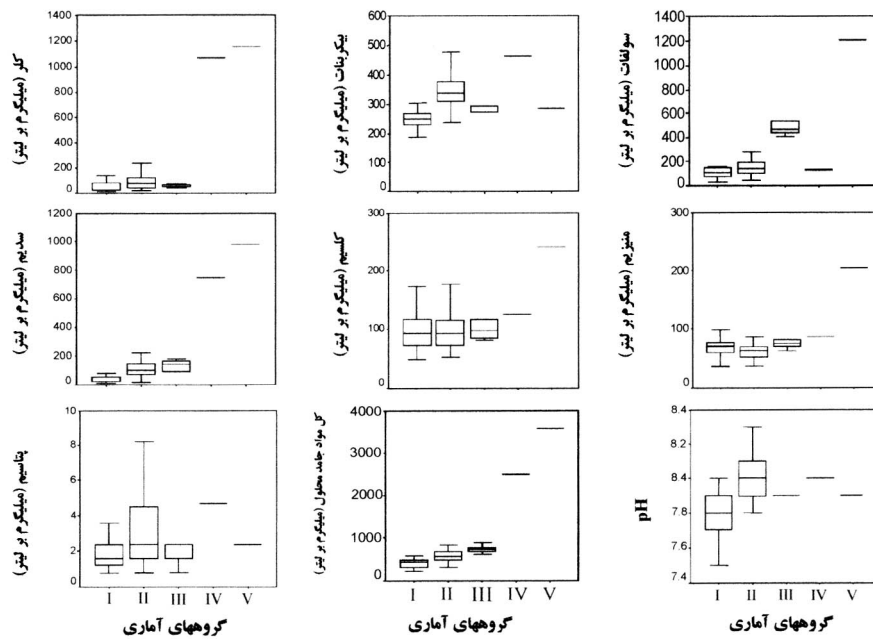
بررسی نتایج تجزیه شیمیایی نشان می‌دهد که مقدار پارامترهای مورد اندازه‌گیری در گروه I نسبت به سایر گروه‌ها پایین‌تر (جدول ۲، شکل ۲) و نمایانگر هیدروشیمی عمومی آب‌های زیرزمینی در منطقه است. گروه II با مقادیر بالای HCO_3 ، pH و K نسبت به سایر گروه‌ها مشخص می‌شود (جدول ۲، شکل ۲). در گروه III، مقدار SO_4 نسبت به سایر گروه‌ها (بجز گروه V)

به‌طور مشخص بیشتر است. در این گروه مقدار Na و TDS نسبت به گروه‌های I و II بیشتر و نسبت به گروه‌های IV و V کمتر است. به‌طورکلی، گروه III دارای ترکیب شیمیایی حد واسط بین I و II می‌باشد. کمترین نمونه‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه ($n=1$) به گروه‌های IV و V تعلق دارد. پارامترهای مورد اندازه‌گیری در این دو گروه نسبت به سایر گروه‌ها از مقادیر بیشتری برخوردار است (شکل ۲). اختلاف اساسی این دو گروه با یکدیگر، بالا بودن مقدار SO_4 و Mg در گروه V نسبت به گروه IV است.

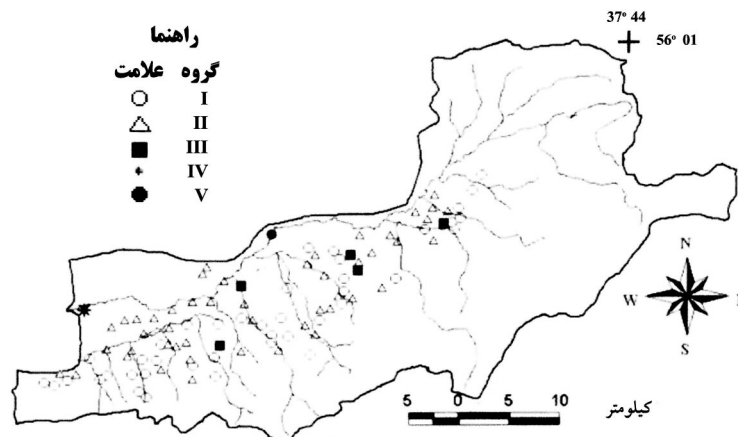
اگرچه تحلیل آماری داده‌ها در بسیاری از موارد مفید است، اما برای دستیابی به نتایج بهتر باید فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی بخوبی شناخته شود و ارتباط آنها با تحلیل‌های آماری مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه، ارتباط مکانی میان داده‌های مختلف و گروه‌های آماری به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳). با توجه به تعداد نمونه‌های گروه‌بندی شده در هر گروه، گروه‌های I و II دارای بیشترین پراکندگی در سطح منطقه است. سایر گروه‌ها مناطق کوچک‌تری را در بخش میانی (گروه III)، شمال غربی (گروه IV) و شمالی (گروه V) اشغال می‌کند. به‌طورکلی، نمونه‌های متعلق به یک گروه دارای توزیع مکانی نزدیک یکدیگر است که پیشنهاد کننده وجود شرایط و فرآیندهای یکسان برای این نمونه‌ها است.

جدول ۲- میانگین داده‌های تجزیه شیمیایی برای چاه‌های قرار گرفته در هر یک از گروه‌های آماری (I, II, III, IV و V).

SO ₄	HCO ₃	Cl	Mg	Ca	K	Na	EC	TH	TDS	pH	
۱۳۱/۷۷	۲۴۷/۵۳	۵۰/۳۶	۷۹/۷۱	۹۷/۲۷	۱/۸۸	۴۰/۹۵	۶۳۱/۷۰	۲۶۴/۷۵	۴۰۲/۸۰	۷/۷۷	گروه I (n=41)
۱۴۸/۵۹	۳۴۶/۴۲	۹۶/۶۹	۶۲/۲۷	۹۴/۹۲	۳/۳۴	۱۱۵/۶۹	۹۲۰/۸۱	۲۵۱/۶۶	۵۹۰/۶۰	۷/۹	گروه II (n=48)
۵۲۳/۲	۳۰۳/۷۶	۵۸/۸۲	۸۵/۹۲	۱۰۸	۱/۷۱	۱۳۳/۹۵	۱۱۲۵/۲	۳۱۴	۷۲۶/۶۰	۷/۹۲	گروه III (n= 5)
۱۲۹/۶	۴۶۳/۶۰	۱۰۶۷/۵	۸۶/۴	۱۲۴	۴/۶۸	۷۴۷/۵	۳۸۵۰	۳۳۵	۲۴۹۸	۸	گروه IV (n=1)
۱۲۰۹/۶۰	۲۸۶/۷۰	۱۱۵۶	۲۰۴	۲۴۰	۲/۳۴	۹۷۹/۸۰	۵۳۴۹	۷۲۵	۲۴۹۸	۸	گروه V (n=1)



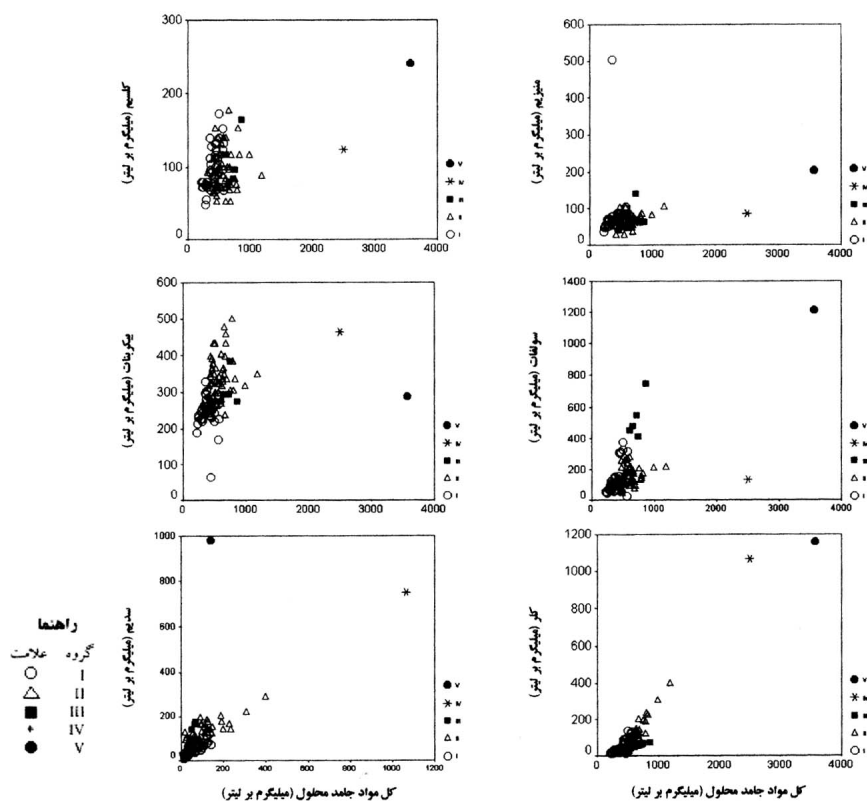
شکل ۲- مقایسه ویژگی‌های شیمیایی گروه‌های آماری (I, II, III, IV و V) با استفاده از نمودارهای جعبه‌ای (متن را ببینید)



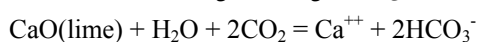
شکل ۳- توزیع منطقه‌ای گروه‌های آماری (I, II, III, IV و V) در دشت گرگان

جریان آب‌های زیرزمینی، به نظر می‌رسد تغییرات شیمیایی انجام شده از گروه I به III نتیجه تغییر در شرایط هیدروژئولوژیکی حوزه آبریز است. شیمی آب در گروه‌های IV و V روندهای متفاوتی را نسبت به سایر گروه‌ها نشان می‌دهد (شکل ۴). این تفاوت می‌تواند بیانگر اختلاف هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمیایی گروه‌های IV و V نسبت به سایر گروه‌ها باشد.

برای بررسی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی در هر یک از گروه‌ها، تغییرات پارامترهای مختلف شیمیایی در مقابل غلظت کل مواد جامد محلول (TDS) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). بررسی نمودارها نشان می‌دهد که در گروه‌های I تا III تغییرات Ca ، Mg ، Na ، Cl ، HCO_3 و SO_4 دارای روند خطی است و به‌طور تدریجی از گروه I به III تغییر می‌یابد. با در نظر گرفتن موقعیت مکانی این گروه‌ها در منطقه مورد مطالعه (شکل ۳) و جهت



شکل ۴- تغییرات پارامترهای هیدروژئوشیمیایی در مقابل غلظت کل مواد جامد محلول (TDS) برای هر یک از گروه‌های آماری.



می‌باید که با افزایش غلظت برخی از پارامترها به‌ویژه HCO_3^- ، pH، SO_4 و TDS در چاه‌های گروه II و III مشخص می‌شود (شکل ۲). بالا بودن مقدار HCO_3^- و pH در چاه‌های گروه II (شکل ۲) می‌تواند نتیجه انحلال آهکی باشد که مانع از اسیدی شدن خاک و آب می‌گردد (چا و همکاران، ۲۰۰۴).

بالا بودن مقدار SO_4 در چاه‌های گروه III می‌تواند نشانگر ناکافی بودن انحلال آهکی و ممانعت از اسیدی شدن خاک و آب (فریز و چری، ۱۹۷۹) در این مناطق باشد که به سبب آن مقدار SO_4 در آب زیرزمینی افزایش یافته است.

گروه‌های IV و V: بالا بودن مقدار پارامترهای مورد اندازه‌گیری بویژه SO_4 ، Mg، Cl و Na در چاه‌های گروه IV و V نشان‌دهنده آسیب‌پذیر بودن آب زیرزمینی در این مناطق است. بررسی نقشه‌های هم‌قابلیت الکتریکی، هم‌کلر و هم‌سولفات در دشت گرگان

گروه‌های I، II و III: اگرچه گروه‌های I، II و III نسبت به برخی از پارامترهای هیدروژئوشیمیایی دارای اختلاف اساسی می‌باشند، اما اختلاف قابل ملاحظه‌ای در غلظت Ca، Cl، Mg و Na نشان نمی‌دهند (شکل ۲، جدول ۲). با توجه به لیتولوژی غالب چاه‌های گروه I که به‌طور عمده شامل گراول، ماسه و به مقدار کمتر خاک‌های سیلتی است، نرخ تغذیه آبخوان در این بخش از منطقه بالا است. تحت این شرایط پارامترهای مورد اندازه‌گیری در آب‌های زیرزمینی پایین خواهد بود و باعث تمایز چاه‌های گروه I نسبت به سایر گروه‌ها می‌شود (شکل ۲). موقعیت مکانی چاه‌های این گروه و پراکنش آن بصورت باریکه ای طویل در بخش جنوبی دشت گرگان این نظریه را تأیید می‌نماید. با تغییر لیتولوژی چاه‌ها در بخش میانی و شمالی دشت که بطور عمده توسط خاکهای سیلتی پوشیده شده است و کاهش نزولات جوی، نرخ تغذیه آبخوان در این مناطق کاهش

نشان‌دهنده افزایش مقدار این پارامترها از بخش جنوبی و میانی به طرف شمال است. افزایش پارامترهای مورد بحث می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی مانند شرایط زمین‌شناسی و هیدروگرافی دشت و یا عوامل غیرطبیعی باشد.

براساس مشخصات توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدروگرافی در دشت گرگان، بخش‌های جنوبی و میانی این دشت بخوبی توسط بستر رودخانه‌های قره سو و گرگانرود و نزولات جوی بویژه در ارتفاعات جنوبی تغذیه می‌گردد. بنابراین آب زیرزمینی در این مناطق از کیفیت مطلوبی برخوردار است. این در حالیست که نرخ تغذیه آبخوان به طرف بخش‌های شمالی دشت که به‌طور عمده پوشیده از رسوبات دانه ریز رسی و غنی از املاح تبخیری است، با کاهش نرخ بارش و نبود منابع تغذیه‌ای مناسب کاهش می‌یابد. از طرفی با تغییر شیب توپوگرافی و کاهش عمق سطح آب زیرزمینی در این مناطق، تبخیر آب از آبخوان اهمیت می‌یابد و باعث تشکیل محلول‌های شور و غلیظ و در نتیجه ایجاد شیب غلظت افقی و عمودی بین این محلول‌ها و آب‌های زیرزمینی می‌گردد. در این شرایط با اختلاط آب‌های شور و شیرین غلظت یون‌های کلرید و سولفات و میزان قابلیت هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد. این پدیده که با جهت جریان آب زیرزمینی (شمال-شمال غرب) همخوانی دارد، اهمیت ویژگی‌های زمین‌شناسی و هیدروگرافی آبخوان را در تغییر کیفیت آب زیرزمینی نشان می‌دهد.

یون‌های کلرید و سولفات به‌طور محلی و به‌ویژه در اطراف کانون‌های شهری افزایش نسبی نشان می‌دهد. از آنجا که منشاء اصلی یون کلرید در آب زیرزمینی می‌تواند ناشی از سنگ‌های تبخیری، آب دریا، آب فسیل و

پس آب‌های شهری و صنعتی باشد و با توجه به اینکه براساس مطالعات ژئوالکتریک شواهدی از وجود رسوبات تبخیری در دشت گرگان وجود ندارد (برگر، ۱۹۷۲)، به نظر می‌رسد افزایش ناگهانی این یون در برخی از چاه‌های مورد مطالعه ناشی از نفوذ پس آب‌های شهری و روستایی و نیز آب‌های فسیل باشد. افزایش ناگهانی یون سولفات نیز می‌تواند ناشی از نفوذ روان آب‌ها و فاضلاب‌های شهری و عدم رعایت حریم کیفی مناسب باشد. بخش‌های شمالی و شمال غربی دشت گرگان بدلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی از آسیب‌پذیری بیشتری در برابر منابع آلاینده غیرطبیعی مانند نفوذ پس آب‌های شهری و روستایی، چاه‌های جذبی و فعالیت‌های کشاورزی برخوردار است. از آنجا که فعالیت‌های کشاورزی به‌طور گسترده در این دشت صورت می‌گیرد، به نظر می‌رسد نترات ناشی از کودهای شیمیایی یکی از مهمترین عوامل مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی است. اگرچه در این مطالعه نتایج تجزیه شیمیایی نترات مورد ارزیابی قرار نگرفت، ولی بر نقش آن به‌عنوان یک عامل مؤثر بر کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت گرگان تأکید شده است (ناصری، ۱۳۸۰).

براساس نتایج موجود به نظر می‌رسد ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی در این منطقه به‌طور عمده توسط لیتولوژی آبخوان و توپوگرافی منطقه کنترل می‌گردد. از طرفی، ارتباط نزدیک میان شرایط زمین‌شناسی و گروه‌های آماری نمونه‌ها نشان می‌دهد که گروه‌بندی آماری داده‌های هیدروژئوشیمیایی و تلفیق آن با داده‌های مکانی می‌تواند در حساسیت سنجی آب‌های زیرزمینی و پیش‌بینی مناطق آسیب‌پذیر مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

۱. شرکت مهندسين مشاور جاماب. ۱۳۷۸. طرح جامع آب کشور: حوزه آبريز گرگان و دشت، ۱۸۵ صفحه.
۲. صالحی‌راد، ا.، علوی، ب.م.، ژنی، ج.ژ.، استامپفلی، د.ژ.، شهرابی، ه.م. ۱۳۶۹. نقشه زمین شناسی گرگان (۱:۲۵۰۰۰۰)، سازمان زمین شناسی کشور.
۳. ناصری، ح. ۱۳۸۰. بررسی هیدروشیمیایی آبخوان حوزه قره سو در دشت گرگان، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۱۹ صفحه.
4. Alemaw, B.F., Shemang, E.M., and Chaoka, T.R. 2004. Assessment of groundwater pollution vulnerability and modeling of the Kanye Wellfield in SE Botswana – a GIS approach, *Physical and Chemistry of the Earth*, 29: 1125-1128.
5. Berger, L. 1972. Complimentary investigation of groundwater development in the Gorgan and Plain area, Gorgan Project, v. 1: Geology and geophysics, hydrology and water resources, Payab Consulting Engineers, 304 p.
6. Chae, G.T., Kim, K., Yun, S.T., Kim, K.H., Kim, S.O., Choi, B.Y., Kim, H.S., and Rhee, C.W. 2004. Hydrogeochemistry of alluvial groundwater in an agricultural area: an implication for groundwater contamination susceptibility, *Chemosphere*, 55: 369-378.
7. Davis, J.C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*, Wiley, New York, 233 p.
8. Farnham, I.M., Stetzenbach, K.J., Singh, A.K., and Johannesson, K.H. 2000. Deciphering groundwater flow systems in Oasis Valley, Nevada, Using trace element chemistry, multivariate statistics, and Geographical Information System, *Mathematical Geology*, 32: 943-968.
9. Freeze, R.A., and Cherry, J.A. 1979. *Ground Water*, Prentice Hall, Englewood, Cliffs, 691 p.
10. Guler, C., and Thyne, G.D. 2004. Hydrologic and geologic factors controlling surface and groundwater chemistry in Indian Wells-Owens Valley area, southeastern California, USA, *Journal of Hydrology*, 285: 177-198.
11. Hillel, D. 1980. *Fundamentals of Soil Physics*, Academic Press, New York, 413 p.
12. Hwang, S.I., Lee, S.H., and Lee, D.S. 1997. Development of preliminary hazard ranking system for underground storage tanks using GIS, *Journal of the Korean Society of Groundwater Environment*, 4: 122-129.
13. Nikkarinen, M., Kauniskangas, E., and Nenonen, K. 1996. Use of geological and geochemical data for the derivation of maps for environmental planning in Iisalmi, Finland, *Applied Geochemistry*, 11: 261-270.
14. Thapinta, A., and Hudak, P.F. 2003. Use of geographic information systems for assessing groundwater pollution by pesticides in Central Thailand, *Environmental International*, 29: 87-93.

Hydrogeochemistry of ground waters in Gorgan Plain:an implication for groundwater contamination susceptibility

G.H. Shamanian¹, M. Raghimi¹ and E. Yakhkeshi²

¹Faculty members Dept. of Geology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Senior staff of Golestan Regional Water Organization, Iran

Abstract

Gorgan Plain with an area more than 5000 km² is located in the southeast of Caspian Sea. Since groundwater is the major source of water for domestic, industrial and agricultural uses in the area, it is necessary to ensure groundwater quality by protecting them against pollution sources. In this study, hydro geochemical data from 96 irrigation wells were used to evaluate water quality and to determine processes that control water chemistry. The samples were classified into five groups (I, II, III, IV and V) according to their geochemical characteristics using cluster analysis. The results indicate that the groundwater quality and geochemical characteristics of clustered samples are consistent with the geology and hydrography of the area. Samples collected from the area close to the recharge points which had been covered with gravels and sands were clustered into group I. The amounts of parameters such as pH and TDS as well as the concentration of HCO₃ and SO₄ in area which had been covered by silty soils were higher as distance from the recharge points increased (groups II and III). The highest concentrations of chlorine and sulfate belong to the northern parts of the study area (groups IV and V), which is mainly covered by fine grain sediments of clay. Spatial distribution of the statistical groups showed that the samples from each group are in close proximity to one another suggesting the same processes and/or flow paths. Overall, the results showed that groundwater clustering based on water chemistry could be applied to the contamination susceptibility assessment for ground waters in different areas.

Keywords: Groundwater quality; Statistical clustering; Hydrogeochemistry; Gorgan Plain