

ارزیابی ویژگیهای هیدروژئوشیمیایی و روند تکاملی آب های زیرزمینی دشت جاجرم، شمال شرق ایران

محمد جوانبخت، وحید اسدی و رحیم دبیری

دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۲۱۸ - ۲۰۶

Vol. 6(3), Autumn 2020, 206 – 218

DOI: 10.22034/jewe.2020.232598.1366

**Evaluation of Hydrogeochemical Characteristics
and Evolutionary Process of Groundwater in
Jajarm Plain, Northeastern Iran**

Javanbakht M., Asadi V. and Dabiri R.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

جوانبخت م.، اسدی و. و دبیری ر. (۱۳۹۹). ارزیابی ویژگیهای هیدروژئوشیمیایی و روند تکاملی آب های زیرزمینی دشت جاجرم، شمال شرق ایران. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۳، صفحات: ۲۱۸-۲۰۶.

Citing this paper: Javanbakht M., Asadi V. and Dabiri R. (2020). Evaluation of hydrogeochemical characteristics and evolutionary process of groundwater in Jajarm Plain, northeastern Iran. Environ. Water Eng., 6(3), 206–218. DOI: 10.22034/jewe.2020.232598.1366.

ارزیابی ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و روند تکاملی آب‌های زیرزمینی دشت جاجرم، شمال شرق ایران

محمد جوانبخت^{۱*}، وحید اسدی^۲ و رحیم دبیری^۳

استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
 دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
 دانشیار، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

*نویسنده مسئول: mo_ja58@yahoo.com

مقاله اصلی

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۵/۲۰]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۵/۱۶]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۳/۰۴]

چکیده

دشت جاجرم در استان خراسان شمالی و به لحاظ منطقه‌بندی ساختاری در شمال حوضه کویر مرکزی و در جنوب سلسله جبال البرز واقع شده است. هدف از این مطالعه بررسی عوامل مؤثر در روند تکاملی و ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی منابع آبی دشت جاجرم بود. جهت دستیابی به این هدف، ۲۰ نمونه آب از چاه‌های دشت برداشت و پارامترهای فیزیکی از قبیل pH، T.D.S، EC و شوری در محل نمونه‌برداری در منطقه توسط مولتی متر اندازه‌گیری شد. علاوه بر این ویژگی‌های شیمیایی آب‌های سطحی ورودی دشت نیز ارزیابی شد. آنالیز هیدروژئوشیمیایی داده‌ها در آزمایشگاه به روش پلاسما القایی صورت گرفت و تجزیه و تحلیل‌های آماری و مدل‌سازی در محیط نرم‌افزارهای Chemistry و AqQA انجام شد. بر اساس نمودار پایپر تیپ اغلب آب‌های زیرزمینی در این دشت جزو رخساره سدیک و تیپ کلروره بوده و در برخی نمونه‌ها نیز رخساره سدیک و تیپ سولفات می‌باشد. بررسی آنالیزهای شیمیایی آب‌های وارده به آبخوان دشت جاجرم نشان داد که منابع تأمین‌کننده یون‌های وارده به دشت جاجرم متأثر از لیتولوژی سنگ‌ها و رسوباتی بود که در معرض هوازدگی به مدت طولانی قرار داشتند. آب‌های دشت، به دلیل عبور از سازندهای تبخیری آواری دوران سوم (تشکیلات مارنی، گچی نمکی و آهک مارنی)، آن‌ها را حل نموده و باعث افزایش نسبت $Cl+SO_4 > HCO_3$ شده است. یافته‌ها نشان داد، وجود سنگ‌ها و کانی‌های کربناته (کلسیت)، سولفات (ژپس) و سیلیکاته (توف و سنگ آذر آواری) در مسیر عبور آب باعث شده است تا نسبت‌های $Ca > CO_3$ و $Ca+Mg > CO_3$ به وجود آید. بر اساس محاسبات انجام شده، مشخص شد که روند تکاملی نمونه‌های آبی در این دشت در صورت عدم مدیریت صحیح به سمت ایجاد نسبت $SO_4 > Mg$ پیش خواهند رفت که احتمالاً باعث تشکیل کربنات‌های سدیم‌دار و هالیت در آینده خواهد شد و همچنین در انتها باعث بالا رفتن EC و به وجود آمدن شورزار در دشت جاجرم خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: دشت؛ زمین‌شناسی؛ منابع آب؛ هیدروژئوشیمی.

۱- مقدمه

تاریخچه تحقیقات در زمینه مطالعه و بررسی روند تغییرات کیفیت منابع آب نه تنها در ایران بلکه در سایر نقاط جهان سابقه چندانی ندارد. با این حال تاکنون مطالعات زیادی بر روی این موضوع در دنیا انجام شده است. از آن جمله می‌توان به مطالعات اساسی که کمک زیادی به شناخت این روند نموده است، اشاره کرد. به عنوان مثال می‌توان به مطالعه منشأ تنشست‌های تبخیری (Hardie 1968)، تحول شورابه‌ها در حوضه‌های بسته (Hardie and Eugster 1970)، رسوب‌شناسی و ژئوشیمی منشأ هیدروشیمی شورابه‌ها (Spenser et al. 1990) و تحولات آب‌های زیرزمینی مهم در پلایاها (Rosen 1994, Erfanian et al. 2020) اشاره نمود.

برای پیش‌بینی تغییرات کیفی منابع آبی، بررسی آماری سایر پدیده‌های موجود در آن مکان نیز لازم است (Rabah et al. 2011). از طرفی علاوه بر موارد عنوان شده کیفیت منابع آب در یک منطقه به یون‌های موجود در آن نیز بستگی دارد که معمولاً به وسیله لیتولوژی منطقه و روند تکاملی آن‌ها کنترل می‌شوند (Jones and Decampo 2014). شیمی اولیه آب‌های وارد شده به حوضه‌های بسته، متأثر از لیتولوژی سنگ‌ها و رسوباتی است که در معرض هوازدگی قرار می‌گیرند و مدت‌زمان ماندگاری آب‌های زیرزمینی درون سنگ‌های حوضه می‌باشد (Hardie and Eugster 1970; Eugster 1980; Jones and Deocampo 2014) دانستن زمین‌شناسی حوضه‌های بسته، برای فهم شیمی آب‌ها در مرحله اول ضروری است. آب‌های سطحی و زیرزمینی، منابع تأمین‌کننده یون‌هایی است که در نهایت به صورت نمک‌ها در حوضه رسوب می‌کنند. آب‌های اسیدی سبب هوازدگی شیمیایی سنگ‌های سطحی حوضه آبریز می‌شوند. هوازدگی شیمیایی سنگ‌های مختلف با آب‌های طبیعی کاتیون‌ها و آنیون‌های متفاوتی را تولید می‌کند (Erfanian et al. 2020).

فرآیندهایی که در یک حوضه بسته باعث تکامل آب‌های ورودی به شورابه‌های تغلیظ یافته می‌شوند شامل: تداوم تبخیر، گردش مجدد هم‌زمان با رسوب‌گذاری کانی‌های از قبل ایجاد شده، واکنش‌های دیانژنتیک، تبادل با سیالات حفره‌ای، احیای سولفات و تبادل یونی می‌باشد (Drever and Smit 1978). رسوب‌گذاری اولیه کانی‌های نسبتاً

کیفیت منابع آب تحت تأثیر شرایط محیطی و انسانی متعددی قرار دارد. توزیع مکانی کیفیت آب تا حد زیادی با ساختار منطقه در ارتباط بوده و بررسی چگونگی توزیع مقادیر متغیرها در چند سال پی‌درپی، روند تغییرات را روشن می‌سازد (Koponen et al. 2002; Zhao et al. 2017). تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، رواناب، دامداری‌های بزرگ و مکان دفع فاضلاب به عنوان عواملی هستند که بر کیفیت آب زیرزمینی تأثیرات بسیار منفی می‌گذارند (Dorgham 2004; Lucassen 2004). مسیر حرکت رودخانه‌ها نیز، از جمله مواردی است که می‌تواند بر کیفیت منابع آبی تأثیر بگذارد (Qiao et al. 2018). نقش این تأثیر بر اثر واکنش متقابل واحدهای سنگی بر رودخانه و زمین‌های اطراف آن دو چندان می‌شود (Gipperth and Elmgren 2005). مکان‌هایی که کشاورزی در آن رونق زیادی دارد، استفاده غیراستاندارد از کودهای شیمیایی ممکن است باعث افزایش بعضی از عناصر در منابع آبی گردد (McIntyre and Wheater 2004; Zhao et al. 2020).

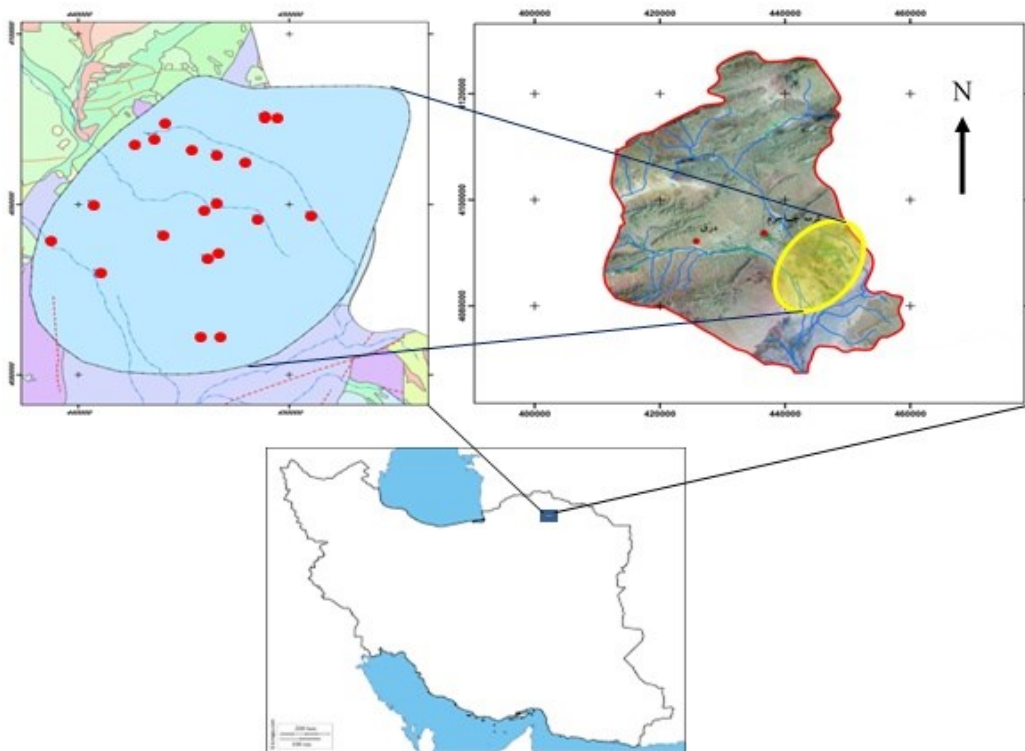
افزایش جمعیت و بالا رفتن استانداردهای زندگی در بسیاری از کشورها موجب تقاضای روزافزون استفاده از آب زیرزمینی برای مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و شهری شده است (Nakhaei et al. 2009). آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب با چالش‌های متفاوتی از جمله آلاینده‌های طبیعی و غیرطبیعی روبروست. امروزه آب‌های زیرزمینی به دلیل استعداد آلودگی کمتر و همچنین ظرفیت ذخیره زیاد نسبت به آب‌های سطحی، به عنوان یک منبع مهم آب مورد توجه هستند. افزایش میزان هدایت الکتریکی و غلظت یون‌های سدیم، کلر، سولفات و نیترات در آب زیرزمینی بیشتر در اثر فعالیت‌های خود انسان همانند عملیات کشاورزی، کاربرد کودهای شیمیایی فشرده در شرب و صنعت است (Bably et al. 2011). رشد شهرها، افزایش فعالیت‌های صنعتی و استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی در کشاورزی باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است که اثر این تغییرات روی سلامتی انسان، حیوانات و گیاهان مضر می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت جاجرم یکی از دشت‌های خراسان شمالی است که در شمال حوضه کویر مرکزی و در جنوب سلسله جبال البرز واقع شده است میانگین بارندگی سالانه دشت جاجرم خیلی کم بوده و جزو نواحی خشک محسوب می‌شود، این دشت دارای زمستان‌های سرد و طولانی و تابستان‌های گرم می‌باشد. این محدوده مطالعاتی بین مختصات جغرافیایی $37^{\circ}, 37'$ تا $55^{\circ}, 32'$ طول شرقی و $36^{\circ}, 45'$ تا $37^{\circ}, 17'$ عرض شمالی واقع شده است. با استفاده از جاده‌های ارتباطی بجنورد-جاجرم می‌توان به تمامی بخش‌های محدوده مطالعاتی دسترسی پیدا کرد. کل وسعت این محدوده مطالعاتی در محدوده خراسان شمالی 1735 km^2 می‌باشد که 936 km^2 آن را دشت و بقیه مساحت آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد (شکل ۱).

نامحلول از قبیل کربنات‌های قلیایی خاکی (کلسیت کم منیزیم، کلسیت پرمیزیم و آراگونیت) و ژئیس یک مرحله اساسی است که تکامل شورابه را کنترل می‌کند (Hardie Eugster and 1970). تا به حال مطالعات زیادی در رابطه با تکامل شورابه‌ها صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به کارهای افرادی چون (Koponen et al. 2002; Dorgham 2004; Lucassen 2004; Zhao et al. 2017; Zhao et al. 2020) اشاره کرد. با توجه به این‌که آب آبخوان دشت جاجرم جهت مصارف شرب، کشاورزی و صنعت مورداستفاده قرار می‌گیرد لذا در این تحقیق با استفاده از مدل‌های هیدروژئوشیمیایی، ویژگی‌های زیست‌محیطی آب‌های منطقه بررسی و تأثیر لیتولوژی بر کیفیت منابع آب آن مورد ارزیابی قرار گرفت از طرفی سعی شد پیش‌بینی روند کلی تغییرات هیدروژئوشیمی آب این آبخوان در سال‌های آینده نیز مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و محل برداشت نمونه‌های آب زیرزمینی از آبخوان دشت جاجرم

Fig. 1 Geographical location and location of groundwater samples from Jajarm plain aquifer

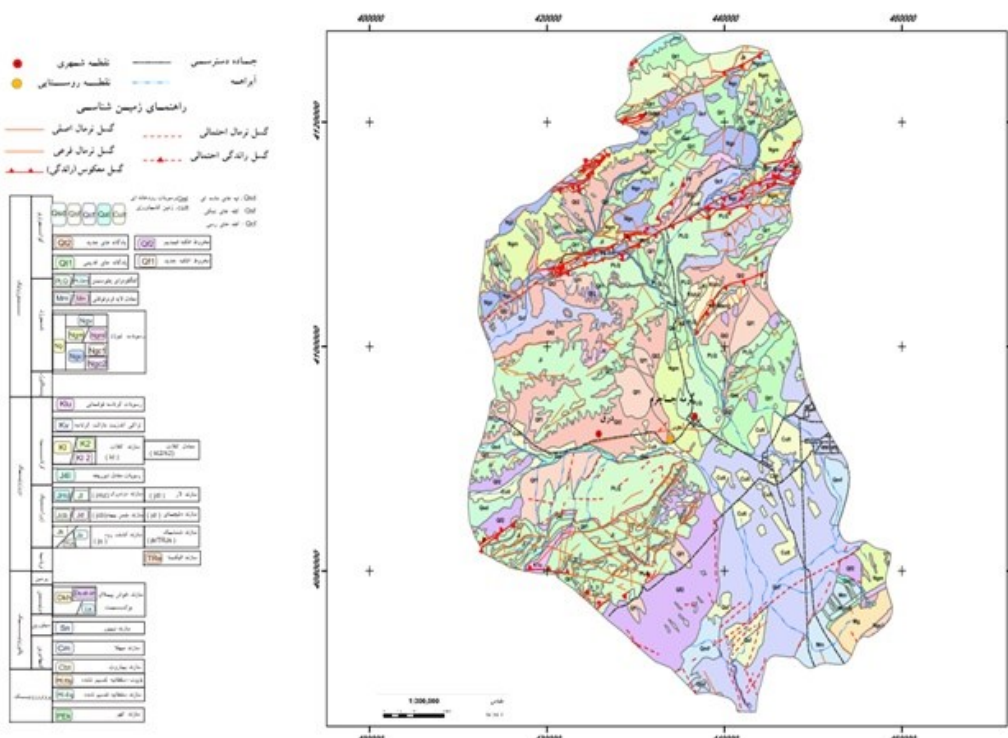
و واحدهای سنگی دارای تنوع می‌باشد. واحدهای سنگی در این منطقه از دوران اول زمین‌شناسی (پروتروزوئیک) تا نهشته‌های کواترنری رخنمون دارند. سازندهای زمین-شناسی متنوعی با سن پروتروزوئیک در محدوده

۲-۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه از نظر زمین‌شناسی در محدوده گسترش واحدهای بینالود (البرز شرقی) و ایران مرکزی قرار دارد و به لحاظ زمین‌شناسی و نوع لیتولوژی سازندها

فوقانی است که از مارن قرمز، ماسه‌سنگ، با کنگلومرا و گچ تشکیل شده (Mms, Mm) است همچنین واحدهای رسوبی پلیستوسن (PIQc) که شامل کنگلومرای با پیوستگی ضعیف بوده و همچنین واحد رسوبی نفوژن (Ngm) که شامل مارن‌های کرم تا خاکستری رنگ همراه با ماسه‌سنگ و کنگلومراست نیز در این دوران تفکیک گردیده است. رسوبات کواترنر این دوران شامل رسوبات رودخانه‌ای مربوط به مخروط افکنه‌های قدیمی (Qt_1 Qf_1) و مخروط افکنه‌های کم ارتفاع و جوان تر و رسوبات جدید (Qf_2 Qt_2) و آبرفت‌های عهد حاضر رودخانه‌ای (Qal) است (شکل ۲).

مورد مطالعه قابل تفکیک است. از مهم‌ترین واحدهای این دوران سازندهای کهر (PEk)، سازند سلطانیه (PE) و سازند باروت (PEbt) را می‌توان نام برد. همچنین سازندهای زمین‌شناسی متنوعی با سن پالئوزوئیک (دوران اول) در محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود که مهم‌ترین واحدهای این دوران سازندهای میلا (PEm)، نیور (Sn) و خوش ییلاق (Dkh) است. مهم‌ترین واحدها و سازندهای زمین‌شناسی دوران دوم در منطقه مورد مطالعه شامل سازندهای کشف رود، مزدوران، شوربچه، کلات، شمشک، چمن بید و الیکا می‌باشد. نهشته‌های متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی در محدوده مطالعاتی شامل سازند قرمز



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی دشت جاجرم (با اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ رباط قره بیل، (Vaziri and Salamati 2001)

Fig. 2 Geological map of Jajarm plain (adapted from the geological map of 100000 Robate Qarabail, Vaziri and Salamati 2001)

اندازه‌گیری شد. pH نمونه‌ها در محل نمونه‌برداری به جهت جلوگیری از رسوب فلزات سنگین به کمک اضافه کردن اسید نیتریک غلیظ به عدد ۲ رسانده شد. سپس نمونه‌ها در دمای $4^{\circ}C$ به آزمایشگاه جهت آنالیز پلاسمای القایی منتقل گردید. آنیون‌های اندازه‌گیری در آزمایشگاه شامل کربنات، بی‌کربنات، سولفات و کاتیون‌ها شامل Ca, Mg, Na, K می‌باشند که نتایج حاصل از این آنالیز در جدول (۱) قابل مشاهده است. به منظور تجزیه و تحلیل

۲-۳- روش مطالعه

در ابتدا بررسی اولیه از منابع آب زیرزمینی دشت جاجرم صورت گرفت و ۲۰ نمونه بدین منظور انتخاب گردید. در هر مرحله از نمونه‌برداری قبل از برداشت، بدنه بطری نمونه‌برداری با نمونه آب مذکور چند مرتبه پر و خالی گردید و از هر محل یک نمونه برداشت شد. پارامترهای فیزیکی از قبیل pH، T.D.S، EC و Salinity در محل نمونه‌برداری در منطقه توسط مولتی متر مدل Extech

آنیون‌ها در نمونه‌های برداشت‌شده در دشت جاجرم، فراوان‌ترین کاتیون‌ها و آنیون‌ها در منطقه مشخص گردید و با استاندارد سازمان بهداشت جهانی مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۱). بررسی آنیون‌ها و کاتیون‌ها و مقایسه آن‌ها گویای آن است تمامی نمونه‌ها دارای رخساره سدیک و تیپ کلروره به‌جز نمونه‌های (W19, W10, W20) که دارای رخساره سدیک و تیپ سولفات است (شکل ۳). با استفاده از نمودارهای پایپر ترسیم‌شده می‌توان دریافت که آنیون غالب در بیشتر نمونه‌ها کلر و یون بی‌کربنات کمترین مقدار آنیونی را دارا می‌باشد و در بیشتر نمونه‌ها کاتیون غالب سدیم می‌باشد در حالی که منیزیم کمترین مقدار کاتیونی را دارا است (شکل ۳). نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌های برداشت‌شده از دشت جاجرم (جدول ۱) نشان می‌دهد بیش‌ترین فراوانی یون‌های موجود در نمونه‌های آب به آنیون کلر Cl^- با بیشینه 1943.8 mg/l وابسته به نمونه‌ی (W2) و کمینه‌ی 3.7 mg/l وابسته به نمونه‌های (W19, W20) مربوط است. پس از کلر بیشترین کاتیون Na و مربوط به نمونه (W5) 1094.5 mg و حداقل مقدار Na مربوط به نمونه (W19) با مقدار 4.7 mg/l می‌باشد.

کیفیت آب‌های سطحی آبخوان دشت جاجرم از داده‌های شرکت طوس آب استفاده گردید (جدول ۲). برای بررسی تحولات شیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده از نمودار پایپر (با استفاده از نرم‌افزار AqQA) استفاده شد. برای تعیین تیپ شورابه ابتدا مقادیر کاتیون‌ها و آنیون‌ها برحسب میلی‌اکی والان بر لیتر محاسبه گردید. سپس درصد مولی کاتیون‌ها و آنیون‌ها به‌طور مجزا محاسبه شد، به‌طوری‌که مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌ها نیز ۱۰۰٪ گردد. یون‌هایی که مقدار آن‌ها کمتر از ۵٪ باشند، در نام‌گذاری به‌حساب نمی‌آیند و یون‌های بین ۵ تا ۲۵٪، در داخل پرانتز نوشته می‌شوند و مقادیر بالای ۲۵٪ منظور می‌شود (Hardie and Eugster 1970). در نهایت به کمک نمودارهای استاندارد روند تکاملی این منابع تعیین گردید.

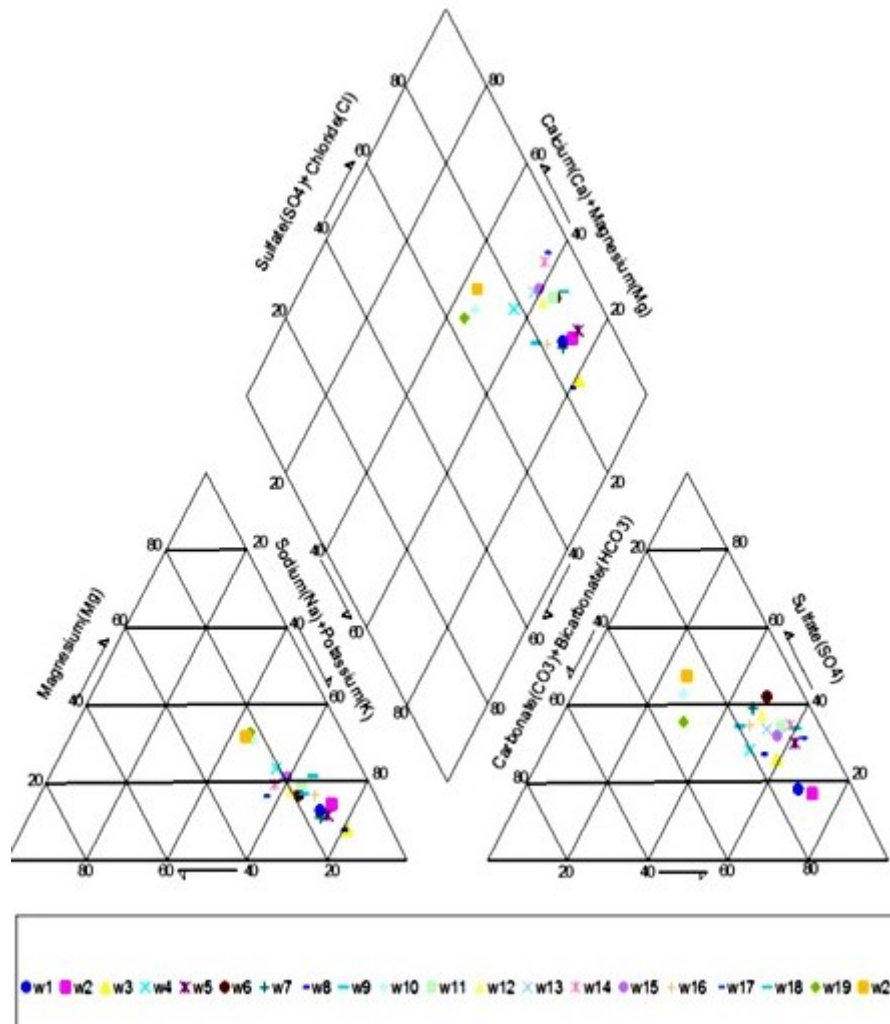
۳- یافته‌ها و بحث

با توجه به شرایط مختلف شیمیایی، فیزیکی و زمین‌شناختی حاکم بر آب‌های زیرزمینی، متغیرهای زیادی در کیفیت آب زیرزمینی مؤثر هستند که معمولاً همه آن‌ها را نمی‌توان تجزیه و بررسی کرد (Lucassen 2009; Kumar and Dua 2004). با مقایسه کاتیون‌ها و

جدول ۱- آنالیز نمونه‌های آب سطحی (mg/l) برداشت‌شده دشت جاجرم

Table 1 Analysis of surface water samples (mg/l) collected from Jajram Plain

Station	X	Y	Ca	Na	Mg	K	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻
W1	445722	4082095	165.9	910.5	198.5	18	299.6	8	437.5	1617.8
W2	440857	4085853	209.7	1046.5	170.5	24	256.9	17.9	466.1	1943.8
W3	445985	4086704	90.9	910.5	127.2	15	293.5	8.27	542.5	1220.8
W4	443894	4088104	141.8	322.5	125	15	244.7	6.52	360.5	644.9
W5	448409	4089039	175.9	1094.5	213.5	15	214.2	16.7	844.5	1703.8
W6	450918	4089245	206.8	780.5	231.5	12	250.8	6.75	1200.5	1375.8
W7	440598	4089898	84.9	548.5	126	15	214.2	6.7	627.5	744.3
w8	446495	4089994	59.4	589.6	94	15	250.8	7.82	408.5	815.3
w9	443477	4093848	91.1	338.9	92.5	12	220.3	6.15	403.7	531.3
w10	448739	4094974	85.2	120.4	63.5	21	202	4.85	322.1	204.7
w11	441700	4094350	8.96	29.02	7.72	0.02	3.646	0.13	13.14	21.23
w12	446275	4092225	6.93	23.91	7.97	0.02	4.16	0.1	12.09	16
w13	444250	4098600	8.76	23.23	8.08	0	4.41	0.1	11.09	17.18
w14	447950	4091950	12.89	36.96	15.29	0.02	4.41	0.14	22.03	36.48
w15	446150	4086950	10.15	27.63	9.15	0	5.5	0.12	15.03	26.2
w16	444525	4092150	5.56	22.28	4.89	0	4.01	0.22	8.17	11.22
w17	445600	4081925	13.84	46.56	22.94	0	4.4	0.13	23.53	46.41
w18	438600	4088000	17.7	50	10.5	0	5	3.2	27.9	48.8
w19	444850	4089650	3.9	5.2	2.7	0	4	0	4.3	3.7
w20	449100	4095600	4.7	6.4	3.6	0	3.8	0	6.8	3.7
WHO			100	200	50	-	150	-	250	250



شکل ۳- نمودار پایپر نمونه‌های برداشت‌شده آبخوان دشت جاجرم.

Fig. 3 Piper diagram of the samples taken from Jajarm plain aquifer

تکامل منابع آب، در اثر هوازگی شیمیایی رخنمون‌های سنگی اطراف حوضه نسبت‌های مختلف یونی ایجاد می‌گردد طوری که در اثر هوازگی به‌خصوص کربنات‌ها $\text{CO}_3^{2+} > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ است ولی در اثر انحلال سولفیدها $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > \text{CO}_3^{2+}$ خواهد شد که یکی از عوامل مهم در تکامل منابع آبی است. سنگ‌های حوضه آبریز دشت جاجرم شامل تبخیری‌ها، سیلیکات، کلسیت‌ها و سولفیدها می‌باشند، در نتیجه به نظر می‌رسد که آب‌های وارده به حوضه یکی از ویژگی A: $\text{Ca} > \text{CO}_3$ و B: $\text{Ca} + \text{Mg} > \text{CO}_3$ ، $\text{Cl} + \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ را دارا می‌باشد. بررسی آنالیزهای شیمیایی آب‌های وارده به آبخوان دشت جاجرم (جدول ۲) نیز بیانگر این موضوع است.

۳-۱- تأثیر واحدهای سنگی بر روند تکاملی منابع آب

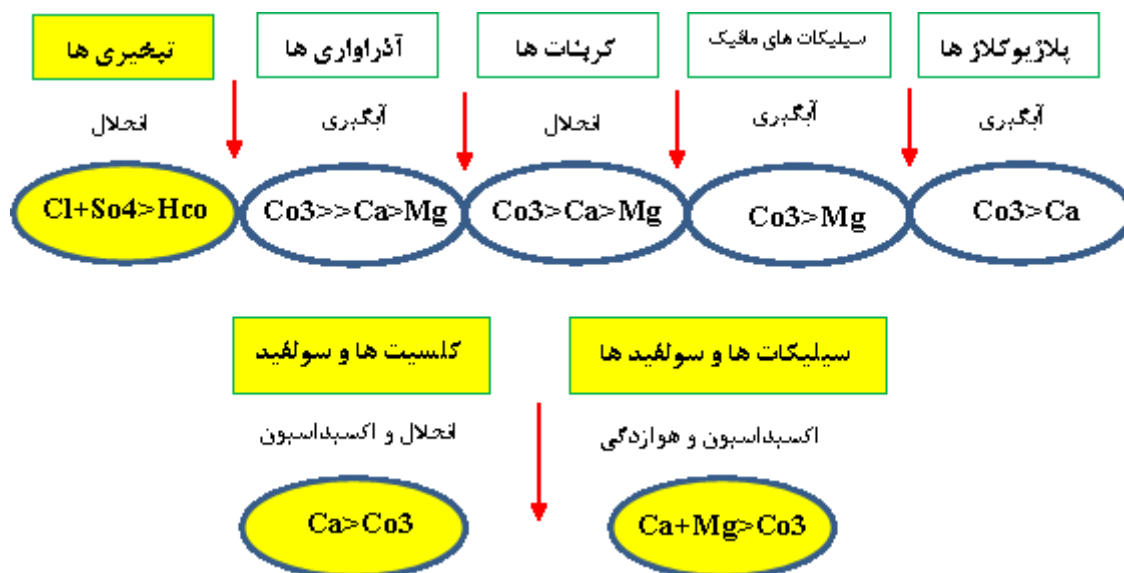
تکامل منابع آب با جنس رخنمون‌های سنگی اطراف حوضه، واکنش آن‌ها با آب‌های موجود و ویژگی‌های آب ارتباط دارد (Jones and Decampo 20014). جنس سازندهای زمین‌شناسی اطراف حوضه یکی از عوامل مهم در روند تکامل منابع آبی محسوب می‌شود. هوازگی شیمیایی سنگ‌های مختلف در اثر واکنش با آب‌های ورودی، کاتیون و آنیون‌های متفاوتی تولید می‌کند (شکل ۴). این امر موجب اختلاف در نسبت $\text{HCO}_3/\text{Ca} + \text{Mg}$ اولیه در محلول می‌شود (Jones and Decampo 2014). همان طوری که در شکل (۴) دیده می‌شود طی

جدول ۲- آنالیز نمونه های آب سطحی برداشت شده دشت جاجرم

Table 2 Analysis of surface water samples taken from Jajarm plain

statistics	hardness	Anions, mg/l			Cations, mg/l				pH	TDS, mg/l	FEC, $\mu\text{mhos/cm}$
		SO ₄	Cl	HCO ₃	K	Na	Mg	Ca			
Max	230.3	3.7	2.6	2.7	0	4.3	1.9	2.7	7.8	527	862
Mean	939.4	20.1	36.3	3.8	2.0	39.2	11.4	7.4	8.0	3746	5833
Min	940.0	20.0	37.0	3.4	1.2	40.0	13.0	5.8	8.1	3720	5850
SD	411.7	7.7	15.8	1.0	1.4	15.8	4.9	3.8	8.2	1461	2318
CV	43.8	38.5	43.4	26.8	72.6	40.3	43.0	51.3	8.2	39	39.8

ترکیب آب های منطقه دشت جاجرم به دلیل عبور از سازندهای تبخیری-آواری دوران سوم شامل تشکیلات مارنی، گچی - نمکی و آهک مارنی، آن ها را حل نموده اند، در نتیجه نسبت $\text{Cl} + \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ بالا می باشد (Rosenberg et al. 2018). علاوه بر آن به دلیل وجود سنگ های کربناته (کلسیت) و سولفات (ژپس) و سیلیکاته (ماسه سنگ ها) در مسیر عبور آب از سازندهای آهکی، دولومیتی، شیل و ماسه سنگی این منطقه (شکل ۴) باعث شده تا نسبت های $\text{Ca} > \text{CO}_3$ و $\text{Ca} + \text{Mg} > \text{CO}_3$ وجود بیاید (Rosenberg et al. 2018).



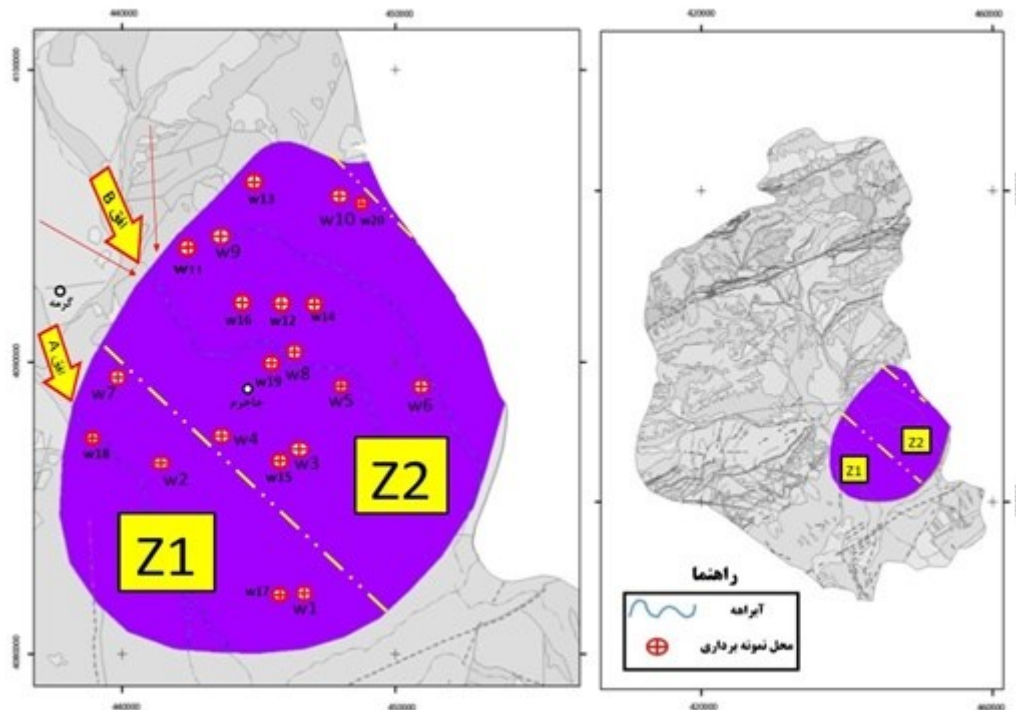
شکل ۴- رابطه ی بین خاستگاه و ترکیب شورابه ی اقتباس از Jones and Decampo (2014)

Fig. 4 The relationship between the origin and composition of Jones and Decampo adaptation (2014)

به طور کلی حدود ۸۰٪ از کل مساحت محدوده مطالعاتی مربوط به سازندهای دوران سوم، ۱۵٪ به سازندهای دوران دوم، ۱۱/۸٪ مربوط به دوران اول و ۳/۲٪ مربوط به دوران پروتروزوئیک است که در ادامه به آن پرداخته می شود. با توجه به اینکه دشت جاجرم از دو شاخه اصلی تغذیه می شود (شکل ۶، افق A و B) خصوصیات هیدروژئوشیمی آب های ورودی به دشت جاجرم نیز متأثر از این دوشاخه هستند. تغییرات حاصل از تأثیرات سازندهای بالادست و تأثیر آب بر روی سازندها و شستشوی یون های آن ها می تواند بیانگر کیفیت آب دشت باشد. از کل مساحت محدوده مطالعاتی جاجرم (۱۷۱۳ km²) در حدود ۳۶/۵ (۳/۲٪) از کل مساحت محدوده مطالعاتی رسوبات دوران پروتروزوئیک است. واحدها و سازندهای این دوران بیشتر در قسمت شمال شرق و غرب محدوده مطالعاتی رخنمون داشته و به طور عمده از سنگ های رسوبی (آهک، دولومیت، ماسه سنگ) و دگرگونی (سازند کهر) تشکیل شده است. از کل مساحت محدوده مطالعاتی جاجرم (۱۴۱۳ km²)، حدود ۳۰/۱ (۱/۸٪) مربوط به رسوبات این دوران است. تقریباً از کل مساحت محدوده مطالعاتی جاجرم (۱۷۱۳ km²) در حدود ۲۴۵ (۱۵٪) از کل مساحت حوزه آبخیز) مربوط به دوران دوم می باشد که در قسمت های شرقی، شمالی، غرب و جنوب غرب

جوان‌تر و رسوبات جدید (Qf_2 Qt_2) و آبرفت‌های عهد حاضر رودخانه‌ای (Qal) بوده و $927/4 \text{ km}^2$ برابر $54/14\%$ از مساحت محدوده را می‌پوشانند. مهم‌ترین رسوبات این دوران را می‌توان شامل سازندها و واحدهای زمین‌شناسی مربوط به نهشته‌های نئوژن ($414/8 \text{ km}^2$; $25/86\%$) از مساحت کل محدوده مطالعاتی دانست (شکل ۵).

محدوده مورد مطالعه برونزد دارند. رسوبات دوران سوم به‌طور وسیعی در منطقه رخنمون داشته و سازندها و واحدهای زمین‌شناسی این دوران حدود $1342/2 \text{ km}^2$ (۸۰٪) از کل مساحت محدوده مطالعاتی را می‌پوشانند. رسوبات کواترنر این دوران شامل مخروط افکنه‌های بلند و رسوبات قدیمی (Qt_1 Qf_1) مخروط افکنه‌ای کم ارتفاع و



شکل ۵- تقسیم‌بندی زون‌ها و افق‌های ورودی آب به آبخوان دشت جاجرم در منطقه مورد مطالعه

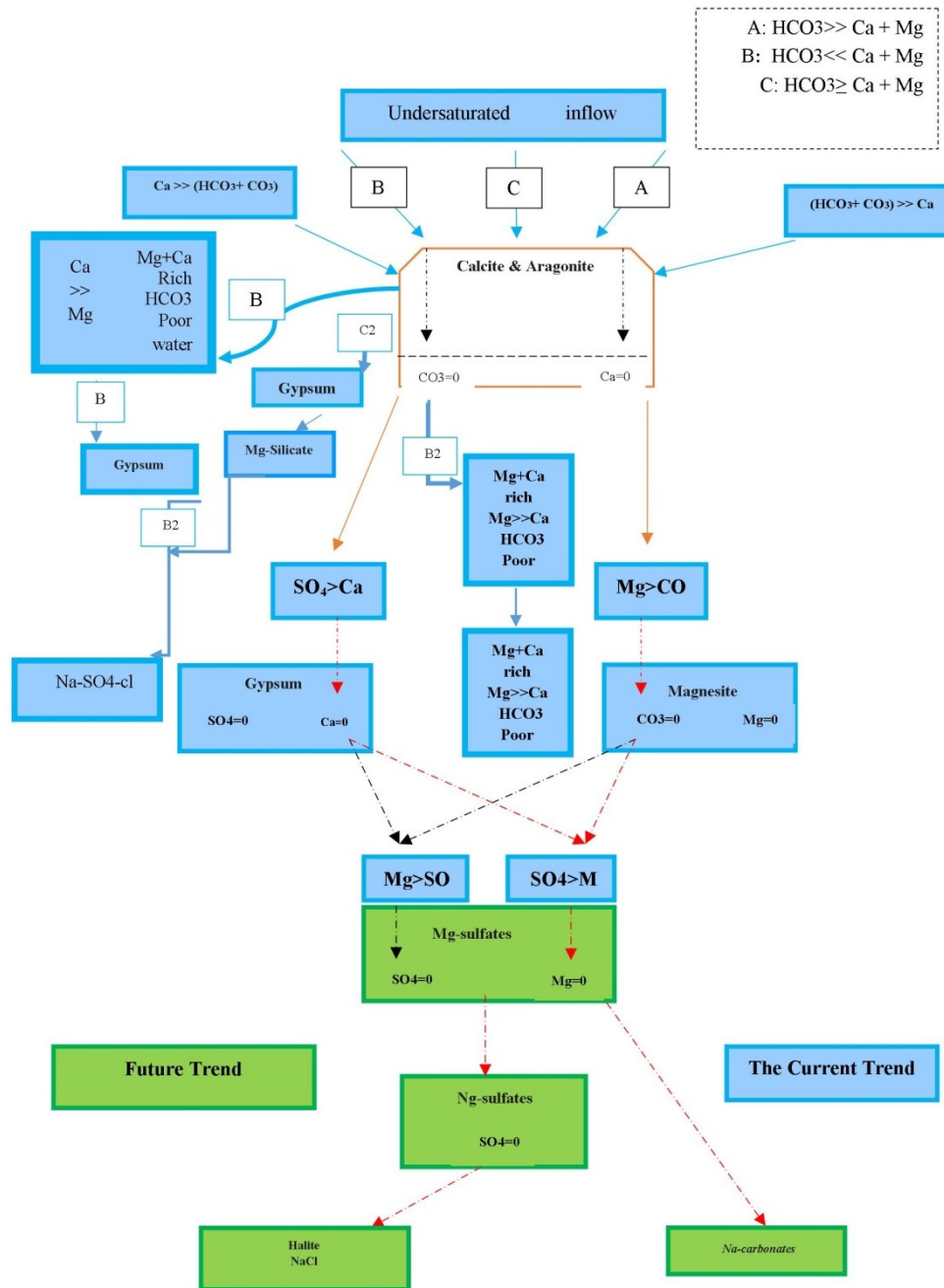
Fig. 5 Division of water input zones and horizons into Jajarm plain aquifer in the study area

و آنیون‌های متفاوتی را تولید می‌کند (Han and Liu 2004; Schmidt et al. 2015). بر اساس آنالیزهای جمع‌آوری‌شده، وضعیت هیدروژئوشیمیایی آب‌های مطالعه شده در زون ۲ نسبت مولاری Ca/Na بالاتری نسبت به زون ۱ دارد بطوریکه میانگین این نسبت در زون اول $0/14$ و در زون دوم $0/21$ می‌باشد که می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر بیشتر تشکیلات کربناته بر روی محتوای ژئوشیمیایی آب‌های زون ۲ دارد زیرا مطالعات صورت گرفته توسط White and Drake (1993) و Cohen (2003) نشان داد آب‌های در تماس با سنگ‌های آهکی دارای Ca (نسبت مولاری Ca/Na بالا) بالا و SiO_2 پایین (حدود 10 ppm) می‌باشد و pH آن‌ها به‌طور عادی قلیایی است (Duarte et al. 2020). آب‌های در تماس با دولومیت مشابه آب‌های آهکی هستند اما دارای Ca و Mg در مقادیر مولاری مساوی می‌باشند. بررسی‌ها نشان

۳-۳- روند تغییرات کیفی آب‌های زیرزمینی

همچنان که اشاره شد، منابع تأمین‌کننده یون‌های وارده به نمونه‌های آب دشت جاجرم متأثر از لیتولوژی سنگ‌ها و رسوباتی است که در معرض هوازدگی قرار می‌گیرند و مدت‌زمان ماندگاری زیاد آب‌های زیرزمینی درون سنگ‌های دشت می‌باشد. بر اساس آنالیزهای موجود نمونه‌های برداشت‌شده از آبخوان دشت جاجرم و نمودارهای پیش‌رو روند افزایش کربنات و هالیت در منطقه را نشان می‌دهند (شکل ۶). دانستن زمین‌شناسی دشت برای دانستن شیمی آب ضروری می‌باشد. آب‌های سطحی و زیرزمینی، منابع تأمین‌کننده یون‌های است که در نهایت به صورت نمک در حوزه رسوب می‌کند و باعث بالا رفتن EC و TDS آب منطقه می‌شود. هوازدگی شیمیایی سنگ‌های مختلف با آب‌های طبیعی، کاتیون‌ها

می‌دهد میانگین این نسبت در زون اول ۰/۶۹ و در زون ۲ مؤثرتر دانست. دوم ۰/۹۱ است که می‌توان تأثیر لیتولوژی دولومیتی را



شکل ۶- دیگرام تکامل منابع آبی آب‌های دشت جاجرم اقتباس از (Eugster and Hardie 1987 و Warren 2006)

Fig. 6 Diagram of the evolution of water Jajarm plain from Eugster and Hardie (1987; Warren 2006)

بررسی‌ها نشان می‌دهد مجموع ذرات محلول (TDS) به‌ویژه در آب‌هایی که از سولفات و کلرید غنی هستند مقادیر بالایی را نشان می‌دهند، لذا متوسط مقادیر کاتیونی و آنیونی ذکرشده بر روی داده‌های زون اول ۱۵۶/۰۲ و در زون دوم ۱۱۴/۰۱ است که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر لیتولوژی شیلی بر روی محتوای هیدروژن‌شیمیایی زون ۱ است زیرا آب‌های در تماس با شیل‌ها، HCO_3 بالا داشته و بعضی از نظر SO_4 خیلی غنی هستند، Ca و Na کاتیون‌های غالب آن‌ها بوده و pH ممکن است از حد اسیدی ۴ (غنی از سولفات) تا حد

روند تکاملی C در نمونه‌های W10, W3, W8, W9 مربوط به زون ۲ و W7 مربوط به زون ۱ که دارای HCO_3^- بالایی می‌باشند و باعث ایجاد تیپ نوع Na-Cl- SO_4 برای تمامی نمونه‌های فوق به جز نمونه W10 (از نوع تیپ Na- SO_4 -Cl است) شده است مشاهده می‌شود. از طرفی این احتمال وجود دارد که با توجه به ترکیب هیدروژئوشیمی آب این دشت تکامل آبی نمونه‌های برداشت شده در آینده از روندهای C₂ و C₁ پیروی کنند (شکل ۵ و ۶). در آب‌های اولیه ورودی تأثیرگذار در این روند هیچ‌کدام از یون‌های Ca^{2+} , Mg^{2+} و HCO_3^- ($\text{HCO}_3^- \geq \text{Ca} + \text{Mg}$) غالب نیستند. در این مرحله با آب‌ها فقیر از عناصر قلیایی خاکی یا غنی از بیکربنات می‌شوند. طبق شکل (۶) تمامی ۲۰ نمونه برداشت شده در مرحله آخر دارای نسبت $\text{SO}_4 > \text{Mg}$ می‌باشند که احتمالاً باعث تشکیل کربنات‌های سدیم دار، هالیت در آینده خواهند شد و همچنین در انتها باعث بالا رفتن EC و بوجود آمدن شوره‌زار در دشت جاجرم می‌شوند.

۴- نتیجه‌گیری

۱- تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از نمودار پایپر و نمودار استیف نشان داد در این دشت به جز نمونه (W10) و (W20) که در شمال دشت و نمونه (W19) که در پارک شهر جاجرم قرار دارد و دارای تیپ سولفات و رخساره سدیک است، سایر نمونه‌ها تیپ کلروره و رخساره سدیک داشته است.

۲- سیر تکاملی آب‌های ورودی به دشت جاجرم و اکثر نمونه‌های برداشت شده از آب‌های منطقه شامل تمام نمونه‌های جنوب تا جنوب‌غربی به جز W7 و تمامی نمونه‌های مرکز تا شمال شرق به جز W3, W8, W9, W10 از روند $(\text{HCO}_3^- / \text{Ca} + \text{Mg}) << \text{HCO}_3^-$ پیروی می‌کند.

۳- وضعیت هیدروژئوشیمیایی آب‌های منطقه نشان‌دهنده تأثیر بیشتر تشکیلات کربناته و دولومیتی بر روی محتوای ژئوشیمیایی آب‌های مرکزی تا شمال شرقی داشته است در نمونه‌های مرکز تا شمال شرق می‌توان تأثیر لیتولوژی دولومیتی را مؤثرتر دانست. از طرفی تأثیر لیتولوژی‌های شیلی و ماسه سنگی بر روی محتوای هیدروژئوشیمیایی نمونه‌های جنوب تا جنوب‌غربی بیشتر است. از آنجائی که

بازی ۹ (غنی از کربنات) متغیر باشد (Duarte et al. 2020). برر سی هیدروژئوشیمیایی منطقه نشان می‌دهد که زون ۱ از نظر آنیون بیکربنات غنی‌تر بوده و احتمالاً لیتولوژی ماسه‌سنگی (آنیون HCO_3^- غالب است، سیلیس پایین و pH نزدیک خنثی دارد) نیز در محتوای ژئوشیمی این زون مؤثرتر بوده است. اطلاعات به‌دست‌آمده از مطالعات زمین‌شناسی نشان می‌دهد (شکل ۲) سازندهای موجود در نواحی شمالی تا شرقی و مرکز اساساً بیشتر از سازندهای تبخیری آواری دوران سوم شامل تشکیلات مارنی، گچی رسوبات کنگلومرا و ماسه‌سنگ تشکیل شده‌اند (نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ رباط قره بیل، Vaziri and Salamati 2001). از آنجائی که زهکش‌های موجود در این منطقه بیشتر زون ۱ را متأثر می‌سازند لذا محتوای کاتیون‌ها و آنیون‌های تحت تأثیر این لیتولوژی‌ها هستند که با اطلاعات ارائه‌شده در بالا همخوانی دارند. سازندهای موجود در نواحی غرب و جنوب بیشتر از سازندهای کربناته و دولومیتی دوران‌های پروتروزوئیک، اول و دوم هستند که زهکش ورودی به زون ۲ را متأثر کرده و محتوای کاتیونی و آنیونی وابسته به این لیتولوژی‌ها را در زون ۲ ایجاد نماید. (Eugster and Hardie 1987) نشان دادند که سه نوع آب ورودی اصلی در تحولات شیمیایی آب در حوضه‌های بسته مؤثرند و در تعیین روند تکاملی نهایی نقش دارند (شکل ۶).

بررسی‌ها نشان می‌دهد روند B، در سیر تکاملی آب‌های ورودی به دشت جاجرم و اکثر نمونه‌های برداشت شده از آب‌های منطقه شامل تمام نمونه‌های زون ۱ به جز W7 و تمامی نمونه‌های زون ۲ به جز W3, W8, W9, W10 (جدول ۱)، نقش اساس دارند (شکل ۵ و ۶). این آب‌ها فقیر از یون بیکربنات بوده و نسبت مولی خیلی پایین از $(\text{HCO}_3^- / \text{Ca} + \text{Mg}) << \text{HCO}_3^-$ دارند. در نتیجه شوره حاصل از نوع کلروره و یا سولفات است. در این مسیر بیکربنات به سرعت حمل شده درحالی‌که خاک‌های قلیایی غنی می‌شوند. به علت از دست رفتن سریع بی‌کربنات این قبیل آب‌ها احتمالاً هرگز کربنات‌های غنی از منیزیم ایجاد نمی‌کنند از این رو بعد از رسوب کلسیت، احتمالاً ته‌نشینی ژپس آغاز می‌شود (Augustin et al. 2019).

کاتیونی و آنیونی وابسته به این لیتولوژی‌ها را در بخش‌های مرکزی تا شمال شرقی ایجاد نماید.

سپاسگزاری

با سپاس فراوان از همکاران محترم شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی و همه دوستانی که مرا در تهیه این مقاله یاری کردند.

زهکش‌های موجود در این منطقه بیشتر نمونه‌های جنوب تا جنوب غربی را متأثر می‌سازند لذا از نظر محتوای کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی این لیتولوژی‌ها مؤثرترند.

۴- در سازندهای موجود در نواحی غرب و جنوب بیشتر از سازندهای کربناته و دولومیتی دوران‌های پروتروزوئیک، اول و دوم می‌باشند که باعث شده زهکش ورودی به بخش‌های مرکزی تا شمال شرقی را متأثر کرده و محتوای

References

- Augustin N., Devey C. W. and Van der Zwan F. M. (2019). A modern view on the red sea rift: tectonics, volcanism and salt blankets. In: Geological Setting, Palaeoenvironment and Archaeology of the Red Sea, Eds Rasul N. and Stewart.
- Bably P., Kumara P. and Bano S. (2011). Ground water quality evaluation near mining area and development of heavy metal pollution index. *Appl. Water Sci.*, 2, 130-141.
- Cohen A. S. (2003). *Paleolimnology: the history and evolution of lake systems.* Oxford University press, U.K.
- Drever J. I. and Smith C. L. (1978). Cyclic wetting and drying of the soil zone as an influence on the chemistry of ground water in arid terrains. *Am. J. Sci.*, 278, 1448- 1454.
- Duarte C. M., Røstad A., Michoud G., Barozzi A., Merlini G., Delgado-Huertas A., Hession B. C., Mallon F. L., Affif A. M. and Daffonchio D. (2020). Discovery of Afifi, the shallowest and southernmost brine pool reported in the Red Sea. *Sci Rep.*, 10, 910-919.
- Dorgham M. M. (2004). Eutrophication problems in the Western Harbour of Alexandria. *Egypt. Environ.*, 75, 51-59.
- Erfanian Kaseb H., Torshizian H A., Jahani D., Javanbakht M. and Kohansal Ghadimvandrfanian N. (2020). Studying Evolutionary Processes of Petergan Playa Brines in South Khorasan, East of Iran, Geopersia, In Press [In Persian].
- Eugster H. P. (1980). Geochemistry of evaporitic lacustrine deposits. *Annual Rev. Earth Planet. Sci.*, 8, 35-63.
- Eugster H. P. and Hardie L. A. (1978). Saline lakes, In Lerman A. (Ed), *Lakes, Chemistry, Geology and Physics:* Springer Verlag, 237- 293.
- Gipperth L. and Elmgren R. (2005). Adaptive coastal planning and the European Union's water framework directive: a Swedish perspective. *Ambio*, 34(2), 157-162.
- Han G. and Liu C. Q. (2004). Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou Province, China. *Chem. Geol.*, 204, 1-21.
- Hardie L. A. (1968). The origin of the recent non marine evaporate deposit of Saline Valley: California. *Geochem. eT Cosmochem. Acta*, 32, 1279-1301.
- Hardie L. A. and Eugster H. P. (1970). The evolution of closed basin brines. *Mineral. Soc. Amer. Spec.*, 3, 273-290.
- Jones B. F. and Deocampo D. M. (2014). Geochemistry of saline lakes. *Treatise Geochem.*, 7, 437-469.
- Koponen S., Pulliainen J., Kallio K. and Hallikainen M. (2002). Lake water quality classification with airborne hyperspectral spectrometer and simulated MERIS data. *Remote Sens. Environ.*, 79, 51-59.
- Kumar A. and Dua A. (2009). Water quality index for assessment of water quality of

- river Ravi at Madhopour (India). *J. Environ. Sci.*, 8(1), 49-57.
- Lucassen E. (2004). High groundwater nitrate concentrations inhabit eutrophication of sulphate-rich freshwater wetlands, *Biogeochem.*, 67(2), 249-267.
- McIntyre N. R. and Wheater H. S. (2004). A Tool for risk-based management of surface water quality. *Environ. Model. Software*, 19(12), 1131-1140.
- Nakhaei M., Vadiati M. and Saberi N. (2009). Hydro geochemistry evolution of torbate heydariye plain. Fifteenth Meeting of Geological Society of Iran [in Persian].
- Qiao X., Zhao C., Shao Q. and Hassan M. (2018). Structural characterization of corn stover lignin after hydrogen peroxide presoaking prior to ammonia fiber expansion pretreatment. *Energy Fuel.*, 32(5), 6022-6030.
- Rabah F. K. J., Ghabayen S. M. and Salha A. A. (2011). Effect of GIS interpolation techniques on the accuracy of the spatial representation of groundwater monitoring data in Gaza strip. *J. Environ. Sci. Technol.*, 4, 579-601.
- Rosen M. R. (1994) The importance of ground water in playa, a review of playa classifications and the sedimentology and hydrology of playas. *Geol. Soc. Amer.*, 289, 1-18.
- Rosenberg Y. O, Sade Z. and Ganor J. (2018). The precipitation of gypsum, celestine, and barite and coprecipitation of radium during seawater evaporation. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 233, 50-65.
- Schmidt M., Al-Farawati R. and Botz R. (2015). Geochemical classification of brine-filled Red Sea deeps. In: *The Red Sea*. Eds Rasul, N. and Stewart, 219-233.
- Spencer R. J., Lowenstein T. K., Casas E. and Penxci Z. (1990) Origin of potash salts and brines in the Qaidam Basin, China. *Geochem. Soc. Spec. Publ.*, 2, 395-402.
- Vaziri S. and Salamati R. (2001). Geological map of Robate Qharebil, Scale 1:100000.
- Warren J. (2006). *Evaporates: sediment, resources and hydrocarbons*: Springer, 1035 pp.
- White K. and Drake N. (1993). Mapping the distribution and abundance of gypsum in southcentral Tunisia from Landsat Thematic Mapper data: *Zeitschrif Geomorphol.*, 37, 309-325.
- Zhao C., Qiao X., Cao Y. and Shao Q. (2017). Application of hydrogen peroxide presoaking prior to ammonia fiber expansion pretreatment of energy crops. *Fuel*, 205, 184-191.
- Zhao C., Qiao X., Shao Q., Hassan M., Ma Z. and Yao L. (2020). Synergistic effect of hydrogen peroxide and ammonia on lignin. *Indust. Crops Product.*, 146, 112-177.

Evaluation of Hydrogeochemical Characteristics and Evolutionary Process of Groundwater in Jajarm Plain, Northeastern Iran

Mohammad Javanbakht^{*1}, Vahid Asadi² and Rahim Dabiri³

¹Assist. Professor, Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

²M. Sc. Student, Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

³Assoc. Professor, Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

*Corresponding author: mo_ja58@yahoo.com

Original Paper

Received: May 24, 2020

Revised: August 06, 2020

Accepted: August 10, 2020

Abstract

Jajarm Plain in the province of North Khorasan is located, in terms of structural zoning, in the north of the central desert basin and in the south of the Alborz mountain range. The aim of this study was to investigate the factors influencing the evolutionary process of groundwater resources and hydrogeochemical characteristics of water resources of Jajarm plain. To achieve this goal, 20 water samples were taken from the plain wells and physical parameters such as pH, TDS, EC, and salinity were measured *in situ* using multimeter. In addition, the chemical properties of the surface water entering the plain were also evaluated. The hydrogeochemical analysis was carried out in the laboratory through induction plasma method, the statistical analysis and modeling were performed in Chemistry and AqQA software environment. According to the Piper chart, most of the groundwater in this plain was a part of the sodic and chloride type facies, and in some examples, the sodic facies and the sulfate type. Chemical analysis of water entering the aquifer of Jajarm plain showed that the sources of ions entering the plain of Jajarm were affected by the lithology of rocks and sediments that were exposed to weathering for a long time; hence, as the plain waters, due to the passage of the detrital evaporation formations of the third period (marl, salt gypsum, and marl limestone formation), have dissolved them and increased the ratio of $Cl+SO_4 > HCO$. The results showed that the presence of rocks and minerals of carbonate (calcite), sulfate (gypsum) and silicate (tuff and detrital igneous rock) in the water passage has caused the scenarios of $Ca > CO_3$ and $Ca+Mg > CO_3$. Based on the calculations, it was found that the evolutionary trend of water samples in this plain, if not properly managed, will lead to the formation of $SO_4 > Mg$ ratio, which will probably lead to the formation of sodium carbonates and halites in the future, and also eventually rising EC and the emergence of saline in the Jajarm plain in the future.

Keywords: Geology; Hydrogeochemistry; Plain; Water Resources.