

تأثیر واحدهای رسوبی در ترکیب و کیفیت آب: مثالی از حوضه آبریز کارده، شمال شرق مشهد، ایران

مهدی رضا پورسلطانی^{۱*}، نسترن کاظمی زنجانی لطف‌آبادی^۲، محمد ابراهیم فاضل ولی‌پور^۳

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد ایران

۲- کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد ایران

۳- استادیار گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد ایران

*پست الکترونیک: poursoltani1852@mshdiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۸

چکیده

کارده یکی از مهمترین حوضه‌های آبریز در استان خراسان رضوی است که در شمال شرق شهرستان مشهد قرار دارد و تأمین کننده قسمتی از آب شرب و کشاورزی منطقه محسوب می‌گردد. بخش عمده منطقه توسط سازندهای کربناته مزدوران و سیلیسی آواری شوربجه و بخش کمتر توسط رسوبات نئوژن و عهد حاضر پوشیده شده است. هدف اصلی این پژوهش، مطالعه کیفیت آب‌های سطحی و تأثیر سنگ‌شناسی منطقه بر آن است. بر اساس آنالیزهای نمونه‌های سنگی واحدهای کربناته، سیلیسی آواری و تبخیری، منشأ احتمالی افزایش غلظت کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، آهن، سدیم، آلومینیم و همچنین آنیون‌های سولفات و بیکربنات محسوب می‌گردند. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات انجام شده و مطابقت آنها با استانداردهای بهداشت جهانی و ایران و استفاده از نمودارهای شولر، ویلکاکس و پایپر، وجود مقدار یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر و سولفات و همچنین میزان اسیدیته، مواد جامد محلول در آب و سختی کل، سبب گردیده که آب حوضه آبریز کارده به دلیل خوردگی و رسوب‌گذار بودن جهت مصارف صنعتی مناسب نباشد. همچنین برخی نمونه‌های آبی، گرچه از نظر وجود کاتیون‌های سدیم و منیزیم و آنیون سولفات خوب تا قابل قبول بوده، اما به دلیل وجود TDS و TH بالا از نظر شرب انسانی نامناسب هستند. از سویی، عمده آب‌های حوضه آبریز کارده دارای کیفیت خوبی بوده و به طور عمده سولفات و کلسیم یون‌های غالب محسوب می‌گردند، لذا نوع آب به طور عمده سولفات کلسیک است. در نهایت عمده نمونه‌های آب حوضه آبریز کارده در کلاس C2S1 طبقه‌بندی شده که جهت استفاده کشاورزی مناسب هستند.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبریز کارده؛ خراسان رضوی؛ سنگ‌شناسی؛ کیفیت آب.

مقدمه

استفاده بی‌رویه همواره در معرض آلودگی و با کاهش کیفیت بوده است. مصرف رو به رشد در تمامی عرصه‌های مصرف اعم از شرب، صنعت، خدمات و کشاورزی پیامدهای تغییر و کاهش کیفیت را به دنبال دارد.

آب سه چهارم سطح کره زمین را فرا گرفته و یکی از مهمترین و بنیادی‌ترین عوامل حیات موجودات زنده است. از این نظر جلوگیری از آلودگی آب نیز به همان نسبت مهم و مورد توجه می‌باشد. منابع آب در اثر بهره‌برداری و

زیرحوضه و همچنین آنالیز شیمیایی سنگ‌های منطقه، ارتباط تأثیر عناصر مضر حاصل از فرسایش بر روی آب رودخانه‌های این حوضه مورد بحث قرار گیرد. علاوه بر این نیز کیفیت آب هر یک از رودخانه‌ها از نظر استفاده‌های کشاورزی، شرب و به کار گیری در صنعت نیز بررسی شده است.

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی حوضه آبریز کارده

حوضه آبریز کارده در مختصات $59^{\circ}26'$ تا $59^{\circ}45'$ طول شمالی و $36^{\circ}40'$ تا $36^{\circ}58'$ عرض شرقی و در 40 کیلومتری شمال شهر مشهد قرار دارد. این حوضه آبریز با مساحت حدود $557/9$ کیلومتر مربع، در شرق پهنه هزارمسجد - کپه‌داغ واقع شده و یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز اصلی رودخانه کشف‌رود محسوب می‌گردد. این حوضه از شرق به رودخانه خورو و سررود، از غرب به حوضه رودخانه ارداک و کوشک‌آباد، از شمال به ارتفاعات خرکت و از جنوب به دره آندرک محدود می‌شود. بالاترین نقطه ارتفاعی در شمال غرب حوضه 2977 متر از سطح دریا و پایین‌ترین نقطه ارتفاعی در خروجی حوضه و در پایین دست آبادی کارده 1200 متر و متوسط ارتفاع این حوضه آبریز 2080 متر است (شکل ۱). حوضه آبریز کارده جزو پهنه کپه‌داغ بوده و تنوع سنگ شناسی در آن مشهود است. سازندهای کربناته مزدوران (ژوراسیک پسین)، آواری شوریه (کرتاسیه پیشین)، رسوبات نئوژن و عهد حاضر از جمله برونزدهای اصلی این حوضه محسوب می‌گردند (Nabavieh, 1998). با توجه به شکل ۱، بیشتر حوضه آبریز توسط واحدهای کربناته مزدوران با حدود $57/5$ درصد پوشیده شده است، گرچه رسوبات شیلی، ماسه سنگی به همراه لایه‌های تبخیری سازند شوریه نیز بخش‌های چشمگیری ($40/7\%$) از این حوضه را فرا گرفته است. رسوبات نئوژن با کمتر از $0/5$

آلودگی آب رودخانه‌ها را در حقیقت می‌توان شاخص آلودگی محیط زیست ناشی از عوامل طبیعی و مصنوعی به حساب آورد که با توجه به زمان و مکانی که رودخانه در آن جریان دارد، این عوامل می‌تواند به صورت جداگانه یا همزمان کیفیت آب رودخانه را تحت کنترل خود درآورد (حیدرزاده و محمدزاده، ۱۳۹۱). چون آب رودخانه‌ها بیش از آب هر منبع دیگری برای مصارف گوناگون مانند کشاورزی، خانگی، صنعتی و تجاری استفاده می‌شود، می‌تواند اثرات سوء گسترده‌ای بر محیط زیست داشته باشد. در این راستا، برای از بین بردن آلودگی آب رودخانه‌ها باید ابتدا منشأ آلودگی را شناخت و سپس به روش‌های مختلف به حذف آن مبادرت نمود.

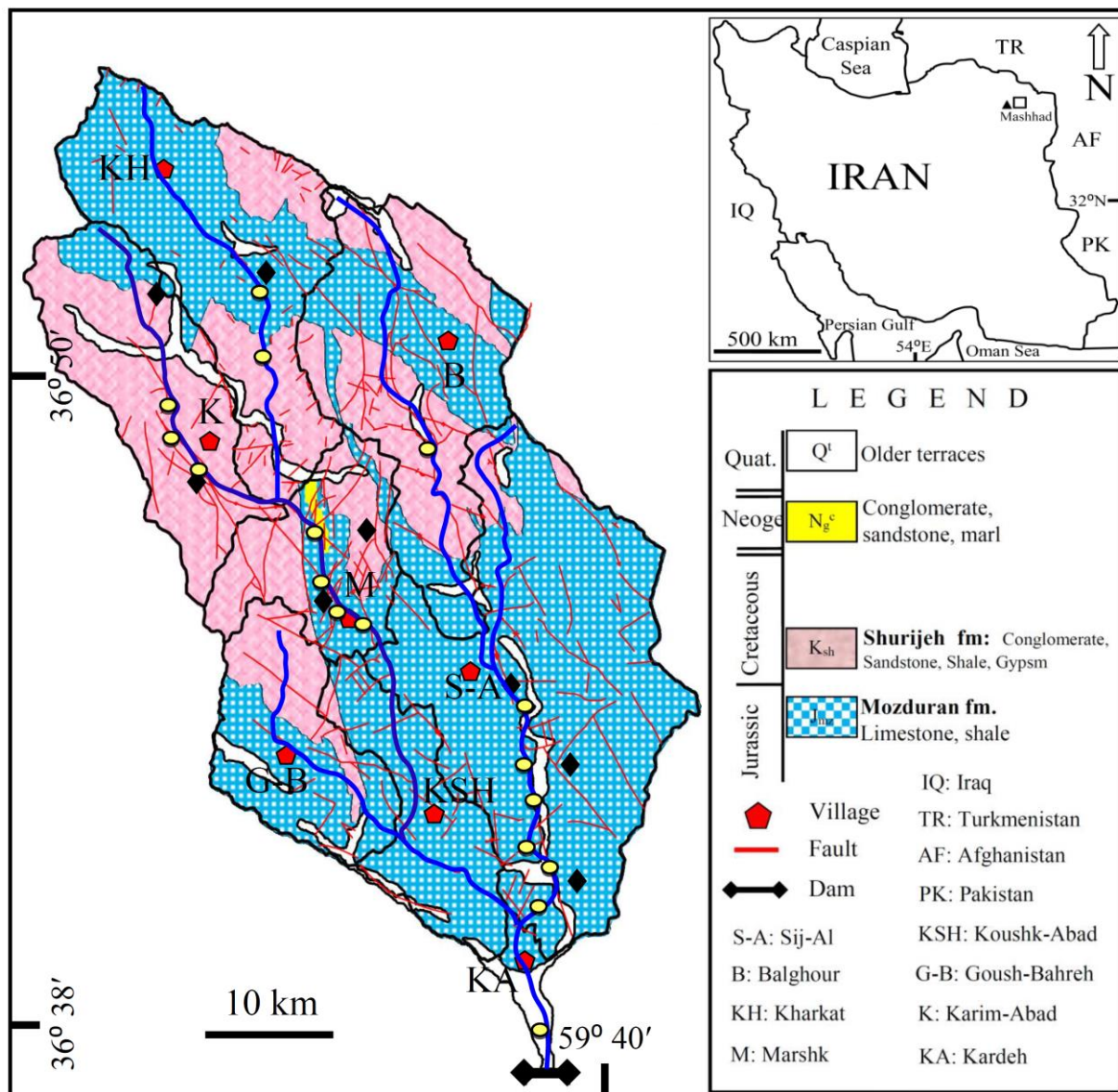
به طور کلی کیفیت آب رودخانه متأثر از دو منشأ طبیعی کیفیت آب بارندگی و کیفیت شیمیایی سنگ شناسی حوضه آبریز و منشأ مصنوعی ناشی از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی است (Li & Zhang, 2008). اکثر مطالعاتی که بر روی نقش سنگ شناسی بر کیفیت آب رودخانه‌ها در سرتاسر جهان صورت گرفته است، این واقعیت علمی را آشکار می‌کند که انحلال کانی‌های کربناته و تبخیری در مقایسه با کانی‌های سیلیکاته به دلیل انحلال بیشتر نقش تعیین‌کننده‌تری را در شیمی آب رودخانه‌ها بازی می‌کنند (Han et al., 2010).

در این خصوص اداره مطالعات و هماهنگی مدیریت منابع طبیعی (۱۳۷۳)، مدیریت آبخیزداری سازمان جهاد کشاورزی خراسان (۱۳۸۳) و حیدرزاده و محمدزاده (۱۳۹۱) مطالعاتی را بر روی حوضه آبریز کارده انجام داده‌اند، اگرچه این مطالعات مرتبط با تأثیر سنگ شناسی دربرگیرنده و کیفیت آب نیست.

در این تحقیق بنا به اهمیت حوضه آبریز کارده و کاربرد منابع آبی سطحی و زیرزمینی منطقه به منظور شرب ساکنان غرب شهرستان مشهد، سعی شده است با آنالیز آب هر

ساختارهای زمین شناسی داشته و به طور کلی ریخت شناسی آن توسط سنگ‌های کربناته سازند مزدوران کنترل می‌شود. شکل ۱ گسترده‌گی سنگ شناسی مختلف در زیرحوضه‌های این حوضه آبریز را نشان می‌دهد.

درصد در مرکز و رسوبات عهد حاضر به صورت تراس‌های آبرفتی، حدود ۱/۳ درصد نیز رخنمون داشته که گسترش چشمگیری ندارند. از دیدگاه زمین ریخت شناسی این منطقه کوهستانی، جوان و توپوگرافی آن رابطه مستقیم با



شکل ۱: نقشه زمین شناسی و موقعیت منطقه مورد مطالعه (Nabavieh 1998); مکان برداشت نمونه آبی با دایر زرد و نمونه‌های سنگی با لوزی‌های سیاه نمایش داده شده است (جهت اطلاعات بیشتر به جدول ۱ رجوع شود).

های کپه داغ و آلا داغ سرچشمه گرفته و در جهت جنوبی و در محل روستاهای ابروان و گزی به کشف رود می‌ریزد. طول آبراه اصلی رودخانه در این حوضه ۴۵ کیلومتر و شیب متوسط آبراه و حوضه به ترتیب ۲/۷ و ۳/۷ درصد می‌باشد.

فیزیوگرافی و مشخصات اقلیمی حوضه آبریز کارده
حوضه آبریز کارده دارای ۷ زیرحوضه به نام‌های مارشک، سیج - آل، گوش - بهره، کریم آباد، خرکت، کوشک آباد و بلغور است (شکل ۱). رودخانه کارده از خط الرأس رشته کوه

در قسمتی از مسیر این رودخانه به نام تنگه زو در فاصله ۴۲ کیلومتری مشهد، سد کارده با ارتفاع ۶۷ متر از پی، با حجم ۳۸ میلیون متر مکعب احداث گردیده است. این سد علاوه بر تأمین آب جهت کشاورزی سالانه، ۱۴ میلیون متر مکعب آب وارد شبکه معرفی شهرستان مشهد می نماید. با توجه به این که نیمی از حوضه آبریز کارده در ارتفاعات بالا قرار گرفته، اقلیم کوهستانی مرتفع دارد در صورتی که نیمی دیگر دارای آب و هوای خشک و سرد است. بنابراین در حوضه آبریز کارده سه نوع آب و هوا قابل تشخیص است. قسمت‌های مرتفع حوضه دارای آب و هوای نیمه مرطوب سرد، قسمت‌های پایین آب و هوای خشک و قسمت‌های میانی حوضه آب و هوای مدیترانه‌ای دارند. میزان بارندگی در حوضه آبریز کارده متفاوت بوده به طوری که گرادیان بارندگی ۱۴ میلی متر به ازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع است. متوسط بارندگی در بخش جنوبی حوضه ۳۷۴/۲ میلی متر و در ارتفاعات بخش شمالی به ۴۵۰ میلی متر و متوسط میزان بارندگی سالیانه حوضه معادل ۳۷۰ میلی متر برآورد شده است. بیش از ۷۴ درصد از کل بارندگی مربوط به ماه اردیبهشت است. پراکنش بارندگی در زمستان ۴۱ درصد، در بهار ۴۱ درصد، در تابستان ۲ درصد و در پاییز ۱۶ درصد است. دمای متوسط حوضه حدود ۱۲ درجه سانتی گراد و گرادیان درجه حرارت در این منطقه به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، کاهش ۶/۰۲ درجه سانتی گراد دما است. رژیم بارش در این منطقه مدیترانه‌ای است، یعنی فصل خشک منطبق بر تابستان و فصل بارندگی منطبق بر زمستان است (جهانبخش و اکرمی، ۱۳۷۸).

روش مطالعه

در طی این تحقیق، پس از مطالعه منابع مربوط و نقشه‌های زمین شناسی و ماهواره‌ای منطقه و در ادامه تعیین مسیرهای پیمایش نمونه برداری اعم از نمونه‌های آب و سنگ، تعداد

۱۷ نمونه آبی از رودخانه‌های منطقه که دارای جریان آب دائمی بودند، نمونه برداری گردیده و موقعیت جغرافیایی هر نمونه مشخص شده است (جدول ۱). آنالیز نمونه‌های آب به روش‌های مختلف (تیتراسیون، جذب اتمی و نشر اتمی) انجام شده است. در این راستا شاخص‌های دما، pH، هدایت الکتریکی (EC) و مواد جامد محلول در آب (TDS) اندازه گیری شده‌اند. آنالیزهای شیمیایی همانند اندازه گیری برخی از آنیون‌ها و کاتیون‌ها در آزمایشگاه شیمی تجزیه دانشگاه آزاد اسلامی مشهد انجام شد. ابتدا غلظت یون بیکربنات توسط روش تیتراسیون با استفاده از HCl ۰/۱ نرمال، غلظت یون کربنات توسط روش تیتراسیون با استفاده از HCl ۰/۰۵ نرمال، میزان غلظت کلرید توسط روش تیتراسیون با استفاده از AgNO₃ ۰/۰۱ نرمال و میزان غلظت یون سولفات توسط روش تیتراسیون با استفاده از EDTA ۰/۰۱ نرمال مشخص و اندازه گیری شد (جدول ۱). سپس میزان غلظت و جذب عناصر منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) با دستگاه جذب اتمی مدل Hitachi Z.2000 و عناصر پتاسیم (K) و سدیم (Na) توسط دستگاه نشر اتمی مدل Jenway اندازه گیری شده است (جدول ۲). با توجه بالا بودن غلظت برخی از عناصر، نمونه‌های مورد مطالعه رقیق سازی شده‌اند. در طی مطالعات فوق و براساس نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه‌ها، به منظور تعیین کیفیت آب جهت شرب، استفاده کشاورزی و مصارف صنعتی از جدول استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (۱۹۸۳) و دستورالعمل‌های مجمع اروپایی آب آشامیدنی (۱۹۸۰)، جدول استانداردهای آب آشامیدنی کمیسیون فنی تدوین استاندارد ویژگی‌های آب آشامیدنی (۱۳۸۸) و نمودار شولر^۱، نمودار Piper (1944) و نمودار Wilcox (1995) استفاده شده است.

جدول ۱: آنالیز نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه (به شکل ۱ مراجعه شود)

زیر حوضه	نمونه آب	موقعیت جغرافیایی	TH	T (C°)	PH	EC (µs/s)	TDS (mg/l)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
سیج - آل	A1	36°43'15.7" 59°39'50.2"	368.64	14.8	7.1	543	841.65	141.1	3.985	32	37	0.0071	N.D	0.0045	0
سیج - آل	A2	36°42'58.7" 59°39'44.2"	312.31	16.1	6.76	514	796.7	117.6	4.516	30	16	0.0041	N.D	0.0055	68.07
سیج - آل	A3	36°42'51.3" 59°39'54.1"	341.08	17.8	6.5	532	824.6	129.3	4.45	31	2	0.0068	N.D	0.0043	68.07
سیج - آل	A4	36°42'01.8" 59°39'51"	356.09	20.7	7.2	480	744	135.3	4.408	29	2	0.0063	N.D	0.0042	68.07
سیج - آل	A5	36°41'02.4" 59°39'48.2"	330.25	17.8	7.2	494	765.7	125.1	4.316	27	1	0.0071	N.D	0.004	68.07
سیج - آل	A6	36°40'19.8" 59°40'31.1"	305.79	18.1	7.3	557	863.35	116.4	3.691	28	1	0.0063	N.D	0.0053	204.2
کریم‌آباد	Km12	36°50'50.8" 59°30'00"	2215.82	11.7	6.7	372	576.6	866	13	37	2	0.0045	N.D	0.004	68.07
کریم‌آباد	Km12.1	36°30'49.8" 59°30'00"	2431.82	11.8	6.83	374	579.7	950.3	14.33	31	1	0.0042	N.D	0.0045	204.2
کریم‌آباد	Km13	36°50'37.7" 59°29'55.4"	2276.51	14.5	6.85	369	571.95	889.7	13.36	33	2	0.006	N.D	0.0038	136.1
مارشک	M8	36°50'35.3" 59°32'49.2"	121.27	10.9	6.7	424	657.2	40.7	4.773	8	5	0.0045	N.D	0.004	136.1
مارشک	M9	36°50'01.3" 59°32'09.6"	108.93	10.3	7	422.8	655.34	35.63	4.848	12	2	0.0057	N.D	0.0037	108.9
مارشک	M10	36°49'02.7" 59°33'04.8"	134.08	12.5	6.98	465	720.75	45.11	5.208	16	0	0.0066	N.D	0.0041	163.4
مارشک	M11	36°48'43.1" 59°33'14.2"	132.72	11.6	6.8	460	713	45.23	4.806	20	4	0.0075	N.D	0.0044	68.07
خرکت	Kh14	36°53'43.6" 59°32'35.3"	140.98	11.8	6.8	398	616.9	33.66	13.84	33	1	0.006	N.D	0.0043	0
خرکت	Kh15	36°53'30.6" 59°32'39.6"	135.8	17.2	6.9	411.2	637.36	31.49	13.9	34	1	0.0051	N.D	0.0051	0
بلغور	B16	36°50'57.8" 59°36'32.4"	117.17	14.7	6.9	447	692.85	38.33	5.216	35	1	0.0051	N.D	0.0067	108.9
دریاچه کارده	S	36°38'15.3" 59°39'52.2"	76.88	24.6	6.8	525	813.75	26.19	2.791	42	23	0.006	N.D	0.0048	204.2
میانگین	--	--	582.71	15.1	6.9	458.1	710.1	221.6	7.1	28.1	5.9	0.0	--	0.0	98.5

طبقه‌بندی Sibley & Greeg (1987) انجام شده است. تعداد ۲ مقطع نازک با روکش سربی از ماسه سنگ‌های سازند شورجه و سنگ‌های کربناته سازند مزدوران نیز با میکروسکپ الکترونی مدل LEO 450vp با ولتاژ ۳۰kv، مجهز به دستگاه EDS متصل به SEM، در دانشگاه سنت مریس کانادا جهت تشخیص برخی کانی‌ها و ترکیبات آنها مورد مطالعه قرار گرفته است.

همچنین تعداد ۹ نمونه سنگی از سازندهای شورجه و مزدوران، با تعیین موقعیت جغرافیایی برداشت شده است که با دستگاه ICP Varian735، مورد آنالیز ۳۳ عنصری قرار گرفته‌اند (جدول ۳). در این راستا و به منظور مطالعات سنگ شناسی، تعداد ۹ مقطع نازک تهیه شده و توسط میکروسکپ KYOWA مدل MEPOL2 مورد مطالعه قرار گرفته است. نام گذاری ماسه سنگ‌ها بر اساس طبقه‌بندی Folk (1980) و سنگ‌های کربناته دولومیتی بر اساس

جدول ۲: میزان جذب، غلظت و درصد عناصر اصلی در نمونه‌های آب منطقه مورد مطالعه

نمونه	Mg			Ca			Na			K		
	جذب	غلظت	درصد (%)	جذب	غلظت	درصد (%)	جذب	غلظت	درصد (%)	جذب	غلظت	درصد (%)
A1	0	3.98	3.27	0.09	141.06	3.74	0	32	0.80	1	37	28.03
A2	0.2	4.51	3.71	0.07	117.63	3.12	100	30	3.26	50	16	12.12
A3	0.4	4.45	3.66	0.075	129.26	3.43	200	35	5.90	115	2	1.52
A4	0.6	4.4	3.62	0.08	135.34	3.59	300	29	8.26	150	3	2.27
A5	0.8	4.31	3.54	0.085	125.14	3.32	400	27	10.72	210	1	0.76
A6	1	3.69	3.03	0.09	116.38	3.09	500	28	13.26	300	1	0.76
Km12	0	13	10.69	0	865.97	22.99	100	37	3.44	57	2	1.52
Km12.1	0.1	14.33	11.78	0.05	950.28	25.23	200	31	5.80	106	4	3.03
Km13	0.2	13.36	10.98	0.1	889.68	23.62	500	33	13.39	157	2	1.52
M8	0	4.77	3.92	0.01	40.7	1.08	0	8	0.20	50	7	5.30
M9	0.1	4.84	3.98	0.05	35.63	0.95	100	12	2.81	100	2	1.52
M10	0.2	5.5	4.52	0.1	45.114	1.20	200	16	5.42	154	1	0.76
M11	0.3	4.8	3.95	0.25	45.23	1.20	400	20	10.55	200	4	3.03
Kh14	0	13.83	11.37	0	33.65	0.89	100	33	3.34	2	1	0.76
Kh15	0.2	13.89	11.42	0.06	31.48	0.84	200	34	5.88	2.56	3	2.27
B16	0.2	5.21	4.28	0.2	38.33	1.02	100	35	3.39	2.85	23	17.42
S	3	2.79	2.29	0.05	26.19	0.70	100	42	3.57	2.9	23	17.42

بحث

آنالیز نمونه‌های آبی

با توجه به جدول ۱، آنالیز نمونه‌های آبی نشانگر و جود برخی از یون‌ها با مقادیر چشمگیری است، که هر کدام در زیرحوضه‌های مختلف دارای غلظت متفاوت می‌باشد. کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم و آنیون‌های سولفات، کلرید و بیکربنات از مهمترین آنها بوده که از این میان یون‌های کلسیم، سدیم و سولفات بیشترین فراوانی را دارند. حداقل، حداکثر و میانگین آن‌ها در هر یک از زیرحوضه‌ها در ادامه به طور مبسوط آمده است.

آنالیز نمونه‌های سنگی

جدول ۳ نشانگر نتایج آنالیز نمونه‌های سنگی بوده که عناصر آلومینیم، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و آهن بیشترین فراوانی را دارا می‌باشند؛ اگرچه عناصر فرعی نیز به میزان بسیار ناچیز شناسایی شده است که جهت جلوگیری از اطاله کلام از آنها نام برده نمی‌شود.

دگرسانی

دگرسانی نیز از رخدادهایی است که در تمام کانی‌های ناپایدار به وقوع می‌پیوندد، اما به دلیل درصد پایین این

عوامل صحرایی و غلظت برخی از آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی در آب رودخانه‌های حوضه آبریز کارده، در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. بیشترین میزان TDS مربوط به زیرحوضه آل با ۸۶۳/۳۵ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین میزان آن مربوط به زیرحوضه کریم‌آباد با ۵۷۱/۹۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین حداکثر هدایت الکتریکی (EC) مربوط به زیرحوضه آل با ۵۵۷ میکروزیمنس بر ثانیه و حداقل آن مربوط به زیرحوضه کریم‌آباد با ۳۶۹ میکروزیمنس بر ثانیه می‌باشد. بیشترین دما مربوط به دریاچه سد کارده با ۲۴/۶ درجه سانتی‌گراد و کمترین دما مربوط به زیرحوضه مارشک با ۱۰/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از آنالیز غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها نشانگر آن است که یون منیزیم و پتاسیم دارای کمترین غلظت و سدیم و کلسیم دارای بالاترین غلظت در بین کاتیون‌ها می‌باشند (جدول ۱). از طرفی یون بیکربنات بالاترین غلظت و یون سولفات پایین‌ترین غلظت را دارا می‌باشد.

جدول ۳: آنالیز شیمیایی نمونه‌های سنگی به روش ICP (به شکل‌های ۲ و ۳ نیز مراجعه شود) (غیر از عناصر Mg و Ca، بقیه مقادیر برحسب ppm است)

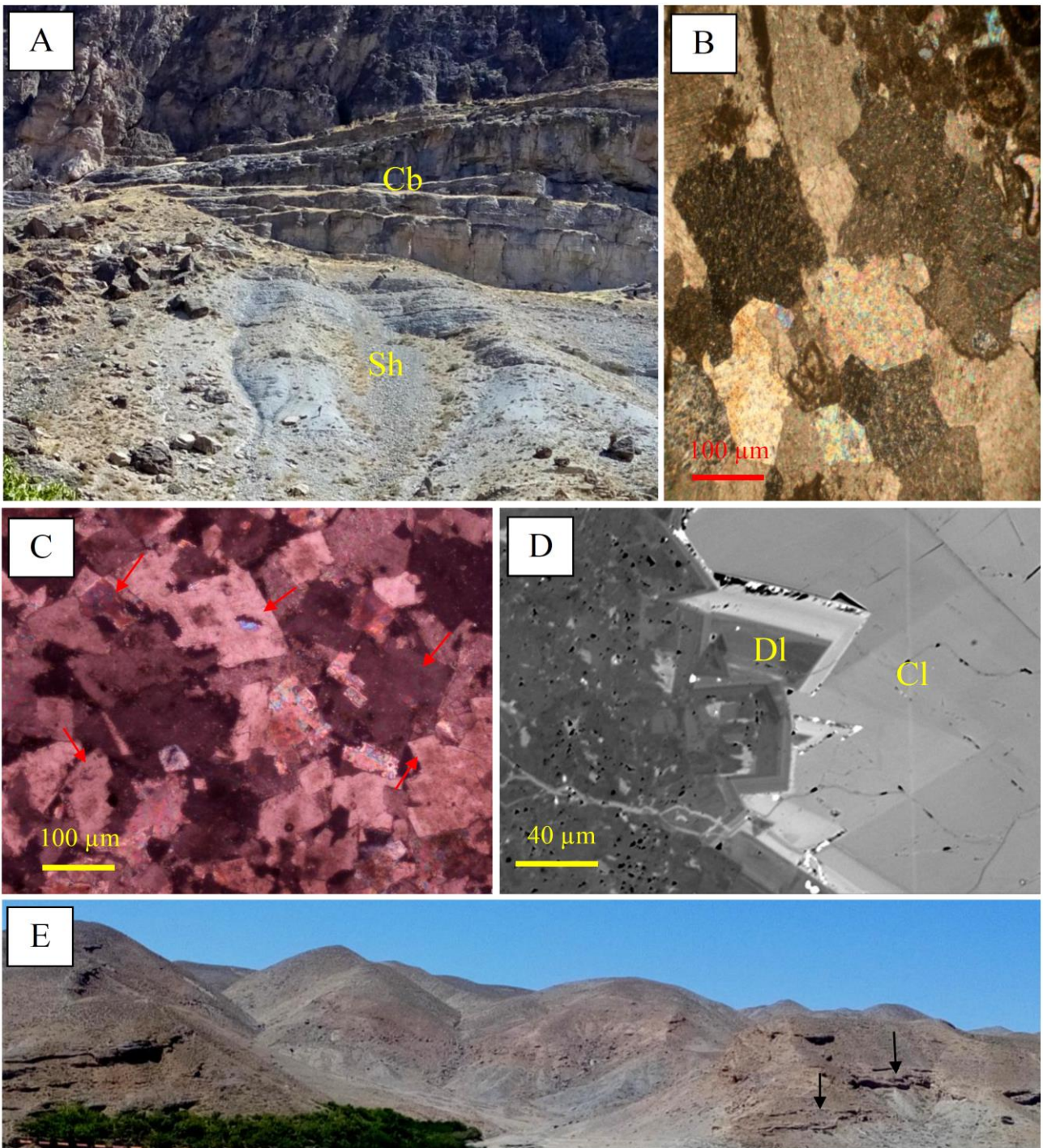
نمونه	سازند	موقعیت جغرافیایی	نام سنگ	AL	Ca	K	Mg	Mn	Na	S	K	Mn	Fe
A1	36°43'15.7"	مزدوران	دولواستون	15304	>10%	7325	>2%	110	678	1451	7325	110	6061
A2	36°42'04.1"	مزدوران	مادستون دولومیتی شده	14880	>10%	6496	5816	159	532	373	6496	159	7275
A3	36°40'19.8"	مزدوران	دولواستون	15906	>10%	6407	>2%	149	698	651	6407	149	6591
M4	36°50'35.3"	مزدوران	دولومیت	4340	>10%	1959	>2%	100	507	488	1959	100	3024
Km12	36°50'50.8"	مزدوران	دولومیت	2370	>10%	1049	>2%	142	475	371	1049	142	3346
Kh14	36°53'43.6"	مزدوران	دولومیت	2974	>10%	1171	>2%	834	498	612	1171	834	5274
Km16	36°49'47.7"	شوریجه	فلدسپاتیک لیت ارنایت	21974	5373	9895	5365	100	762	71	9895	100	15984
M5	36°49'11.4"	شوریجه	ساب لیت ارنایت	24392	>10%	13044	>2%	1514	359	359	13044	1514	4931
M6	36°48'51.4"	شوریجه	فلدسپاتیک لیت ارنایت	16825	28303	8528	15514	339	126	126	8528	339	10372
میانگین				6660.22		6208.22		383	500.222	500.222	6208.22	383	6984.22

فلدسپاتیک لیت ارنایت با سیمان سیلیسی، کربناته و اکسید آهن هستند (جدول ۳). سیمان رخساره‌های ماسه سنگی به طور عمده از سیلیس، اکسید آهن و کربنات (کلسیت، دولومیت و سیدریت) تشکیل شده است (شکل‌های ۳B-C,F). همچنین بر اساس آنالیزهای ژئوشیمیایی که بر روی نمونه‌های سنگی انجام شده نتایج زیر حاصل شده است (جدول ۳) که از این میان عناصر آلومینیم، کلسیم، آهن، پتاسیم، منیزیم و سدیم بیشترین میزان را داشته که مورد بحث قرار می‌گیرند (شکل ۴).

عنصر آهن با میانگین ۶۹۸۴/۲۲ پی‌پی‌ام، با حداقل ۳۰۲۴ پی‌پی‌ام، مربوط به زیرحوضه مارشک (M4) و حداکثر ۱۵۹۸۴ پی‌پی‌ام، مربوط به زیرحوضه کریم‌آباد (Km16) است (شکل ۴A). میانگین عنصر پتاسیم ۶۲۰۸/۲۲ پی‌پی‌ام، با حداقل ۱۰۴۹ پی‌پی‌ام مربوط به نمونه Km12 از زیرحوضه کریم‌آباد و بیشترین میزان مربوط به نمونه M5 بخشی از زیرحوضه مارشک با ۱۳۰۴۴ پی‌پی‌ام است (شکل ۴B). عنصر آلومینیم دارای میانگین ۶۶۶۰/۲۲ پی‌پی‌ام است. حداقل میزان آلومینیم مربوط به نمونه Km12 از زیرحوضه کریم‌آباد با ۲۳۷۰ پی‌پی‌ام و حداکثر میزان مربوط به نمونه M5 از زیرحوضه مارشک با ۲۴۳۹۲

نوع کانی‌ها در رخساره‌های سنگی منطقه، رخداد دگرسانی کمتر مشاهده شده است؛ اگرچه با نسبت‌های کم هم تأثیرگذار می‌باشد. این تأثیرات می‌توانند به عنوان رخداد‌های دیاژنتیکی در مباحث سنگ شناختی سنگ‌های رسوبی منطقه مورد تفسیر قرار گیرند و یا به عنوان تأمین کننده برخی از عناصر در محیط بروز نمایند؛ هرچند مباحث سنگ شناختی مربوط به این تحقیق نیست، اما تأثیر دگرسانی در تغییرات کیفیت آب به طور مستقیم یا غیرمستقیم از اهمیت خاصی برخوردار است. از میان کانی‌هایی که بیشتر حضور داشته و تحت تأثیر این رخداد قرار گرفته‌اند می‌توان به کانی‌های گروه فلدسپات و میکا اشاره نمود. در ادامه بحث در مورد این گونه کانی‌ها و تأثیراتی که می‌توانند بر کیفیت آب داشته باشند، اشاره شده است.

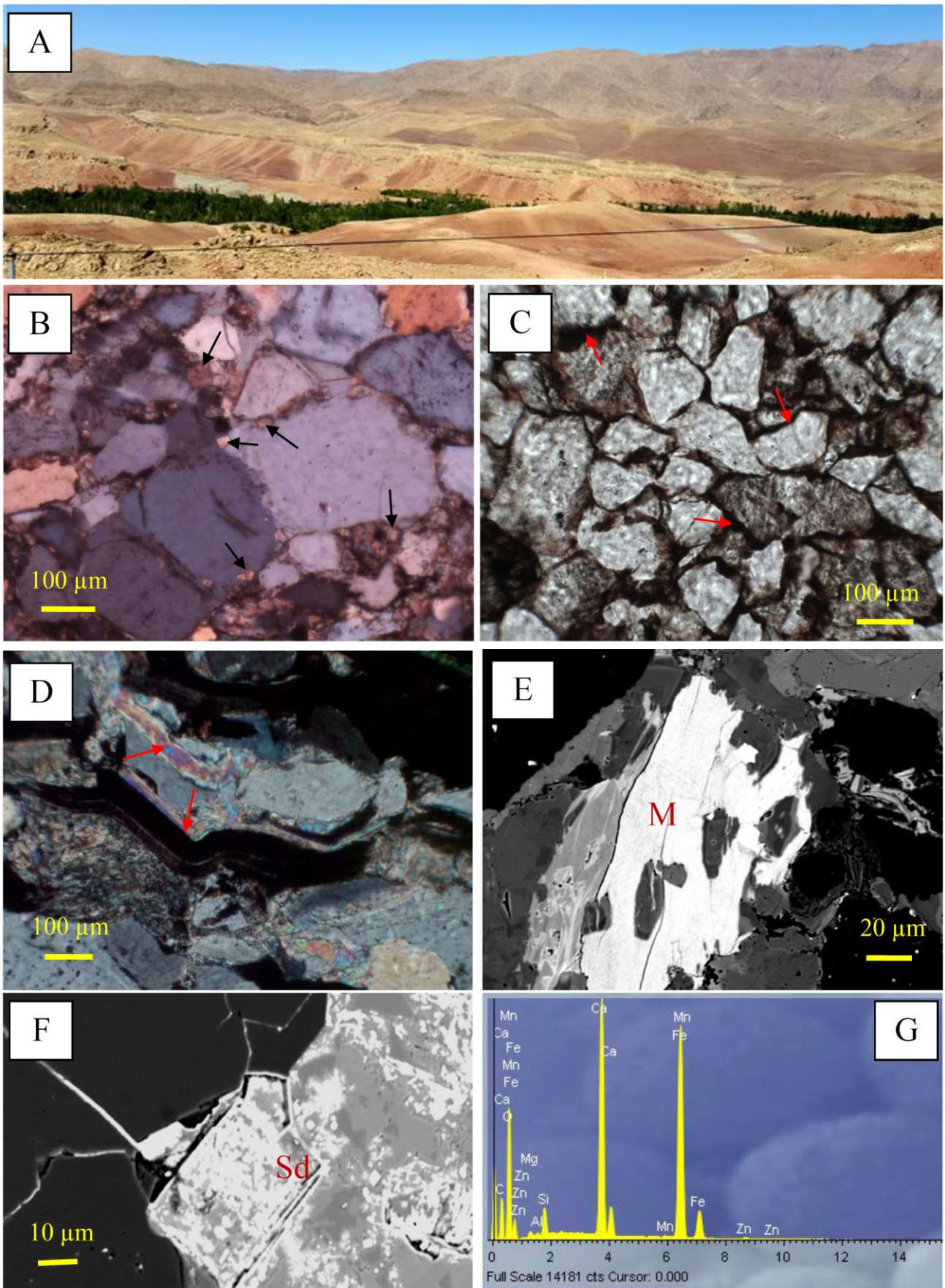
بر اساس مطالعات میکروسکوپی انجام شده به طور عمده دو نوع رخساره کربناته و ماسه سنگی شناسایی شده است. رخساره‌های کربناته مربوط به سازند مزدوران بوده که بسیاری از آنها دولومیتی شده است (شکل‌های ۲B-D)، در صورتی که رخساره ماسه سنگی مربوط به سازند شوریجه بوده که به طور عمده شامل ساب‌لیت ارنایت و



شکل ۲: (A) تصویر صحرایی از واحدهای کربناته و شیلی سازند مزدوران در منطقه زیر حوضه سیچ - آل؛ (B) تصویر میکروسکوپی کلسیت موزائیکی در نور رنگی (سازند مزدوران)؛ (C) تصویر میکروسکوپی دولومیت‌های شکل‌دار در نور رنگی که برخی از آنها با پیکان نشان داده شده است (سازند مزدوران)؛ (D) تصویر کلسیت و بخش دولومیتی شده که با میکروسکپ الکترونی تهیه شده است؛ (E) نمایی از رسوبات شیلی منطقه که لایه‌های تبخیری با پیکان نشان داده شده است (Cb: کربناته؛ Sh: شیلی؛ DI: دولومیت؛ CI: کلسیت).

و حداکثر مربوط به نمونه M5 بخشی از زیر حوضه مارشک با میزان ۲۵۵۳ پی‌پی‌ام است (شکل ۴D). عنصر کلسیم از عناصر بارز محسوب شده که حداقل میزان آن مربوط به

پی‌پی‌ام است (شکل ۴C). میانگین سدیم موجود در این حوضه ۸۹۳/۴۴ پی‌پی‌ام می‌باشد که حداقل آن مربوط به نمونه Km12 از زیر حوضه کریم آباد با میزان ۴۷۵ پی‌پی‌ام



→ شکل ۳: A) تصویر صحرایی از سازند سیلیسی آواری شوربچه در منطقه کریم آباد؛ B) تصویر میکروسکوپی ماسه سنگ فلدسپاتیک لیت آرنایت در نور رنگی (سازند شوربچه)؛ بلورهای دولومیت با پیکان نمایش داده شده‌اند. C) تصویر میکروسکوپی از ماسه سنگ‌های شوربچه در نور معمولی؛ پیکان‌ها سیمان اکسید آهن را نشان می‌دهند. D) تصویر میکروسکوپی کانی میکا در نور رنگی (سازند شوربچه) که با پیکان نشان داده شده‌اند. E) تصویر میکا از نوع بیوتیت (M) که با میکروسکپ الکترونی تهیه شده است (سازند شوربچه). F) کانی سیدریت (Sd) که به صورت سیمان در ماسه سنگ‌های سازند شوربچه تشکیل شده‌اند (تهیه شده به روش EDS)؛ G) نمودار حاصل از آنالیز کانی سیدریت.

یون کلر دارد که از منابع تأمین آن‌ها وجود سازندهای موجود در منطقه است. واحدهای تبخیری از نوع گچ با ترکیب CaSO_4 که در سازندهای مزدوران و شوربچه و رسوبات نئوژن وجود دارد از منابع احتمالی تأمین کننده این یون در آب‌های منطقه محسوب می‌گردد (شکل‌های ۱ تا و جدول‌های ۱ و ۲).

یون منیزیم: یکی از سازندهایی که در این حوضه از گستردگی بالایی برخوردار است، سازند کربناته مزدوران بوده که به طور عمده از دولومیت، شیل، مارن و نهشته‌های تبخیری تشکیل شده است (شکل ۱). دولومیت با ترکیب شیمیایی $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ که به صورت اولیه و یا ثانویه تشکیل شده است، می‌تواند از منابع احتمالی یون منیزیم محسوب شود که در ترکیبات آب نیز به میزان بالایی وجود دارد؛ اگرچه منابع دیگری نیز برای آن متصور است. از دیگر منابع تأمین یون منیزیم، آلتراسیون کانی‌های فرومنیزین مانند گروه میکاها و خرده سنگ‌های آذرین از نوع بازیکی و فوق بازیکی است که در ماسه سنگ‌های سازند شوربچه وجود دارند (شکل‌های ۳D-E). با آلتره شدن این کانی‌ها یون منیزیم آزاد شده که می‌تواند در ترکیبات آب‌ها مؤثر باشد (Morad & Aldaham, 1986؛ Uysal et al., 1987؛ De Ros et al., 1997؛ Mcbride et al., 1987؛ al., 2000).

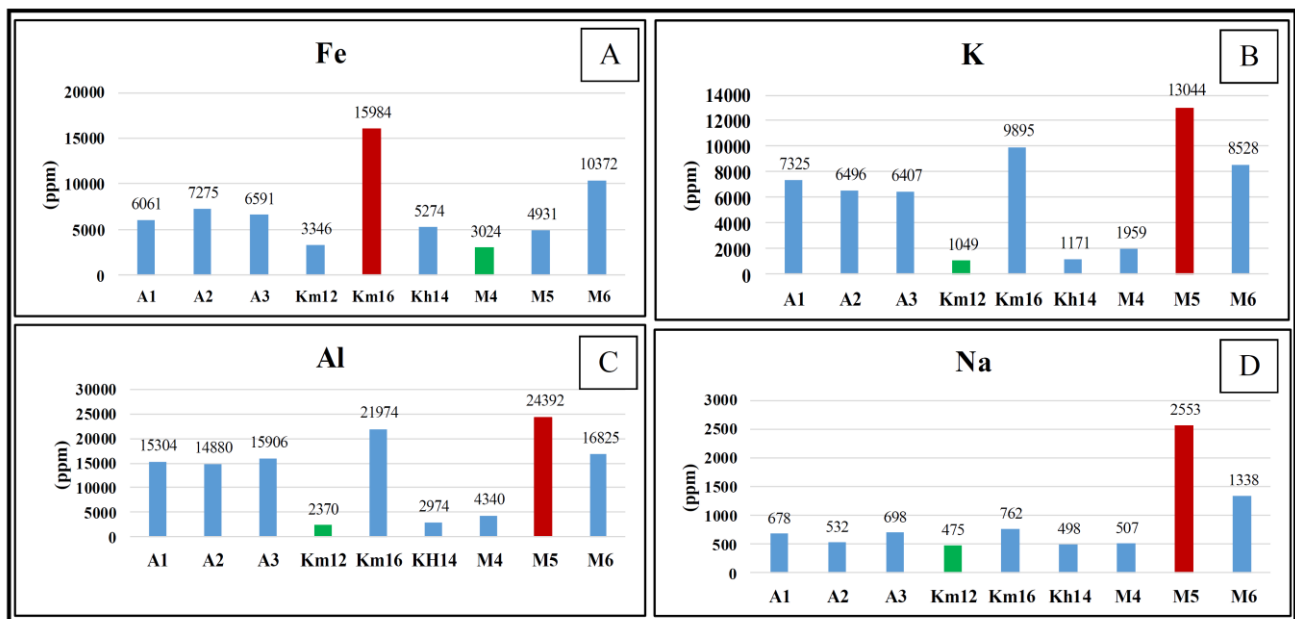
یون آهن: از منابع تأمین یون آهن، وجود کانی‌های با ترکیب آهن می‌باشد که پس از آلتراسیون یون آهن به صورت محلول در آب‌ها آزاد می‌شوند. کانی‌های فرومنیزین از این گروه محسوب می‌شوند.

بخشی از زیرحوضه کریم آباد (۵۳۷۳ پی‌پی‌ام) و زیرحوضه مارشک (۲۸۳۰ پی‌پی‌ام) می‌باشد. میزان کلسیم موجود در این حوضه آبریز با توجه به ترکیب سازندهای دربرگیرنده منطقه که اغلب کربناته هستند بیش از ۱۰٪ می‌باشد (جدول ۳). میزان عنصر منیزیم با حداقل ۵۸۱۶ پی‌پی‌ام و ۵۳۶۵ پی‌پی‌ام، به ترتیب مربوط به نمونه‌های A2 و KM16 زیرحوضه‌های آل و کریم آباد است. این عنصر همانند عنصر کلسیم به دلیل حضور سنگ‌های کربناته نوع دولومیت که در منطقه گستردگی دارند، از میزان بالایی برخوردار بوده و بیش از ۲ درصد است (جدول ۳).

منشأ ترکیبات

ارتباط شیمیایی بین آب و سنگ معمولاً به صورت تبادل یونی بین آنهاست. قدرت تبادل یونی به عواملی مانند مدت تماس بین آب و سنگ، ظرفیت یون‌ها، غلظت یون‌ها، قطر یون‌های هیدراته شده، قطر دانه‌های کانی و pH محیط بستگی دارد (حیدرزاده و محمدزاده، ۱۳۹۱). وجود واحدهای کربناته مزدوران، سیلیسی آواری شوربچه، رسوبات نئوژن و همچنین واحدهای تبخیری مربوط به سازندهای قدیمی تر مانند سازندهای مزدوران و شوربچه که در عمده سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است، از منشأهای احتمالی یون‌های محلول در آب محسوب می‌گردند (کاظمی و همکاران، ۱۳۹۵).

یون سولفات: منشأ این یون در آب رودخانه‌ها می‌تواند بسیار متنوع باشد. یون سولفات در آب رودخانه‌های حوضه آبریز کرده ارتباط مستقیمی با غلظت دیگر یون‌ها از جمله



شکل ۴: حضور عناصر اصلی در نمونه‌های سنگی، حداکثر با رنگ قرمز و حداقل با رنگ سبز نمایش داده شده است (Fe: آهن؛ K: پتاسیم؛ Al: آلومینیم؛ Na: سدیم؛ جهت توضیح بیشتر به متن رجوع شود).

همانند فلدسپات‌ها که در ترکیب‌شان کلسیم وجود دارد، می‌توانند در ایجاد ترکیبات با Ca^{2+} تأثیر داشته و در نهایت به افزایش یون مذکور کمک کنند (Siebert *et al.*, 1984).

یون بیکربنات: سنگ‌های کربناته مانند دولومیت، سنگ آهک، شیل‌های آهکی و مارن که در ترکیب آن‌ها CO_3^- وجود دارد، چنانچه در معرض آب‌های جوی و یا سطحی قرار گیرند، در اثر پدیده انحلال، باعث آزاد سازی یون کربنات می‌گردند. سازند کربناته مزدوران و سیمان‌های کربناته در ماسه‌سنگ‌های سازند شوربجه از منابع تأمین این یون محسوب می‌شوند (Poursoltani & Gibling 2011).

کلریدها: از منابع مؤثر در تأمین کلر در منطقه مورد مطالعه وجود لایه‌های تبخیری در سازندهای مزدوران و شوربجه و به طور عمده رسوبات نئوژن و عهد حاضر در بخش بالادست برخی رودخانه‌ها و همچنین دریاچه سد است. با قرارگیری این رسوبات در معرض آب‌های سطحی و نزولات جوی، یون‌های کلر و سدیم در اثر انحلال آزاد

در ماسه‌سنگ‌های سازند شوربجه کانی‌های با ترکیبات آهن شناسایی شده است (Uysal & McBride *et al.*, 1987)؛ اگرچه وجود سیمان‌های با ترکیب آهن مانند هماتیت، مگنتیت و سیدریت از دیگر منابع احتمالی تأمین این عنصر محسوب می‌گردند (پورسلطانی و قطبی راوندی، ۱۳۹۳) (شکل ۳C). همچنین سیمان با ترکیب اکسید آهن و سیدریت نیز از عمده سیمان‌های تشکیل شده در این رخساره‌ها می‌باشد. از سویی وجود لایه‌های ضخیم شیلی با ترکیب اکسید آهن نیز می‌تواند در افزایش این عنصر نقش به‌سزایی داشته باشد (شکل‌های ۲A و ۳A)؛ هرچند وجود محیط اکسیدان نیز هنگام رسوب‌گذاری تشکیل یون آهن را فراهم می‌کند.

یون کلسیم: سازند کربناته مزدوران از منابع اصلی تأمین یون کلسیم است که گسترش زیادی در منطقه دارد (پورسلطانی و قطبی راوندی، ۱۳۹۳) (شکل ۲). از دیگر منابع احتمالی تأمین یون کلسیم وجود سیمان کربناته از جمله کلسیت، دولومیت و سیدریت در ماسه‌سنگ‌های سازند شوربجه است (شکل ۳B,F). کانی‌های ناپایدار

شده و میزان این یون‌ها در آب‌های منطقه افزایش می‌یابد.

یون سدیم: از منابع اصلی تأمین یون سدیم نهشته‌های تبخیری است که در منطقه وجود دارد. همان‌طور که قبلاً نیز توضیح داده شد، وجود لایه‌های تبخیری در سازندهای شوریه، مزدوران و رسوبات نئوژن از منابع تأمین یون سدیم محسوب می‌شوند. از دیگر منابع احتمالی که می‌تواند در افزایش میزان یون سدیم نقش داشته باشد، وجود فلدسپات نوع آلپیت بوده که در اثر پدیده آلتراسیون، باعث آزاد سازی سدیم می‌گردد. آلپیت‌های دگرسان شده نیز در ماسه‌سنگ‌های سازند شوریه شناسایی شده‌اند، اما نقش این منشأ در مقابل نهشته‌های تبخیری از اهمیت چندانی برخوردار نیست.

یون آلومینیم: بارزترین منشأ جهت تأمین یون آلومینیم کانی‌های رسی هستند. کانی‌های رسی با بنیان Al_2O_3 از منابع اصلی یون مذکور می‌باشند. بخشی از این یون توسط آلتراسیون کانی‌های ناپایدار مانند فلدسپات‌ها حاصل شده (Ketzer et al., 2005; Reed et al., 2005) و بخشی دیگر نیز از رسوبات عهد حاضر که غنی از کانی‌های رسی هستند تأمین می‌گردد. البته وجود سیمان رسی در ماسه سنگ‌های منطقه می‌تواند از تأمین کننده‌های این یون نیز محسوب شود، هر چند میزان آن کم باشد (Liu 2002; Mansourbeg et al., 2008).

تعیین کیفیت آب حوضه آبریز کارده بر اساس استانداردهای ایران و جهان

جهت بررسی کیفیت شیمیایی منابع آب‌های سطحی حوضه آبریز کارده بر اساس نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آبی (جدول ۱)، با مطابقت با جدول استانداردهای بهداشت جهانی و استانداردهای آب آشامیدنی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (جدول ۴)، کیفیت آب بر اساس یون‌های اصلی کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، سولفات و

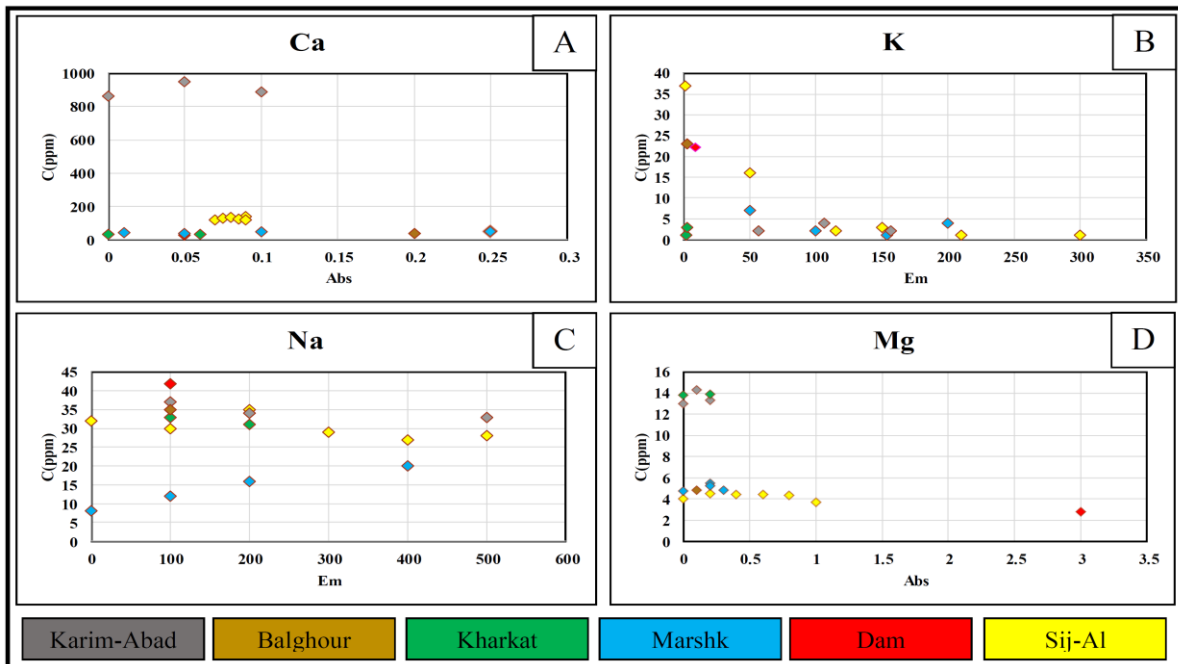
کلر و همچنین اسیدیته، مواد جامد محلول در آب، سختی کل و هدایت الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلسیم: در حوضه آبریز کارده، بیشترین میزان کلسیم مربوط به کریم‌آباد (نمونه Km12.1) با $950/3$ میلی‌گرم بر لیتر و کمترین میزان مربوط به دریاچه (S) با $26/19$ میلی‌گرم بر لیتر است. با توجه به استانداردهای ایران (حداکثر مجاز 250 میلی‌گرم بر لیتر) و استانداردهای جهانی (200 میلی‌گرم بر لیتر) و در نظر گرفتن میانگین $221/6$ میلی‌گرم بر لیتر، آب حوضه مورد مطالعه دارای کیفیت مطلوبی است (شکل ۵A).

منیزیم: حداکثر میزان توصیه شده منیزیم بر اساس سازمان بهداشت جهانی 30 میلی‌گرم بر لیتر و حداکثر مقدار توصیه شده آن 150 میلی‌گرم بر لیتر است، در صورتی که طبق استانداردهای آب آشامیدنی ایران، حداکثر میزان توصیه شده منیزیم 50 میلی‌گرم بر لیتر و حداکثر مجاز آن 30 میلی‌گرم بر لیتر است. بنابراین در حوضه کارده، بیشترین میزان منیزیم مربوط به زیرحوضه کریم‌آباد (Km12.1) با $14/33$ میلی‌گرم و کمترین میزان منیزیم مربوط به دریاچه (S) با $2/79$ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین این یون در حوضه $7/1$ میلی‌گرم بر لیتر است. لذا آب حوضه کیفیت مناسبی دارد (شکل ۵D).

سدیم: با توجه به حداقل سدیم منطقه مربوط به زیرحوضه مارشک (M8)، 8 میلی‌گرم بر لیتر و حداکثر آن مربوط به دریاچه (S)، 42 میلی‌گرم بر لیتر است (شکل ۵C). لذا با مطابقت با استاندارد ایران (مقدار مطلوب 150 میلی‌گرم بر لیتر) و سازمان بهداشت جهانی (مقدار توصیه شده 200 میلی‌گرم بر لیتر) (جدول ۴)، آب منطقه دارای کیفیت مطلوبی خواهد بود.

پتاسیم: بر اساس استانداردهای سازمان بهداشت جهانی در آب آشامیدنی، پتاسیم موجود نباید از 12 میلی‌گرم بر لیتر بیشتر باشد. همچنین طبق استاندارد آب ایران میزان پتاسیم



شکل ۵: غلظت عناصر اصلی نمونه‌های آب (Ca: کلسیم؛ K: پتاسیم؛ Na: سدیم؛ Mg: منیزیم؛ C: غلظت؛ Abs: جذب اتمی).

مطلوب ۲۵۰ میلی گرم بر لیتر) (جدول ۴)، آب منطقه دارای کیفیت خوبی است.

اسیدیته (pH): میزان حد اقل و حداکثر pH مربوط به نمونه‌های آبی زیرحوضه آل بوده (A6 و A3) که بین ۶/۵ و ۷/۵ در تغییر است. لذا بنا به استانداردهای ایران و جهانی در گستره مجاز قرار داشته و از لحاظ مصرف شرب محدودیتی ندارند.

مواد جامد محلول در آب (TDS): حداقل میزان TDS در حوضه آبریز کارده مربوط به حوضه کریم‌آباد (Km13) (۵۷۱/۹۵ میلی گرم بر لیتر) و حداکثر آن مربوط به حوضه سیچ - آل (A6) (۸۶۳/۳۵ میلی گرم بر لیتر) است. میانگین TDS حوضه آبریز کارده ۷۱۰/۱ میلی گرم بر لیتر است که طبق استانداردهای ایران در حد مطلوب بوده و طبق استانداردهای جهانی بیش از حد مجاز بوده و برای شرب محدودیت دارد.

سختی کل (TH): با مطابقت با جدول استانداردهای آب آشامیدنی ایران و بهداشت جهانی، حداکثر مجاز سختی کل در آب آشامیدنی ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر است

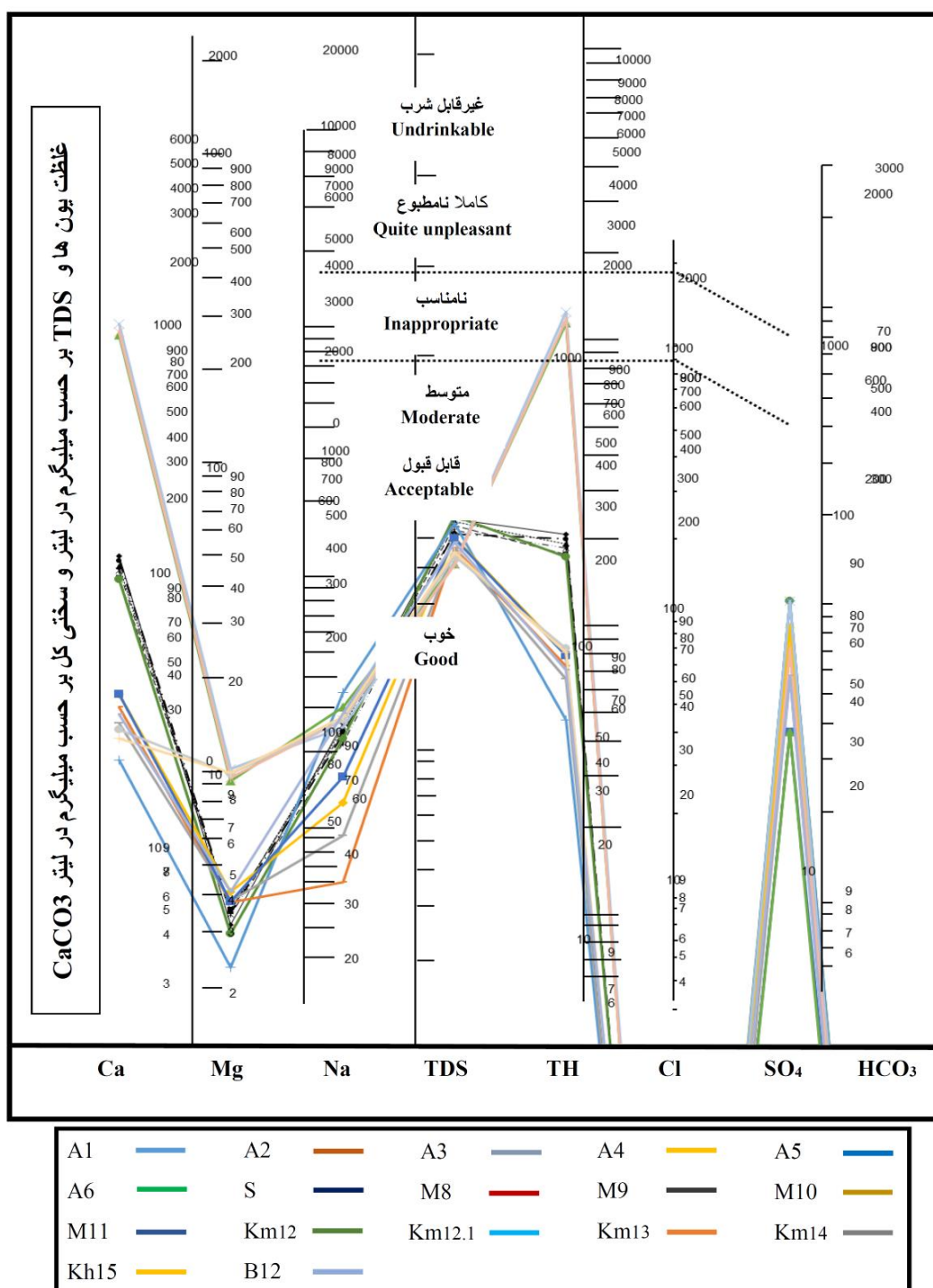
مجاز ۱۲ میلی گرم بر لیتر است، اما از آن‌جا که بخشی از زیرحوضه حوضه سیچ - آل (A1) دارای حداکثر پتاسیم، ۳۷ میلی گرم است، آب این منطقه در حد استاندارد نبوده، اما با توجه به میانگین پتاسیم در کل حوضه کارده، ۵/۹ میلی گرم بر لیتر، آب حوضه کیفیت مطلوبی را داراست (شکل ۵B).

سولفات: طبق استانداردهای آب آشامیدنی ایران میزان استاندارد بهداشت جهانی حداکثر غلظت مجاز ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر است؛ اگرچه ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر توصیه شده است. در حوضه آبریز کارده، بیشترین میزان سولفات مربوط به زیرحوضه‌های سیچ و آل، کریم‌آباد و دریاچه (A6, Km12.1, S) با میزان ۲۰۴/۲ میلی گرم بر لیتر است و حداقل آن مربوط به زیرحوضه‌های حرکت و سیچ - آل (Kh14-15, A1) به میزان صفر میلی گرم بر لیتر است. بنابراین آب حوضه از نظر سولفات قابل قبول می‌باشد.

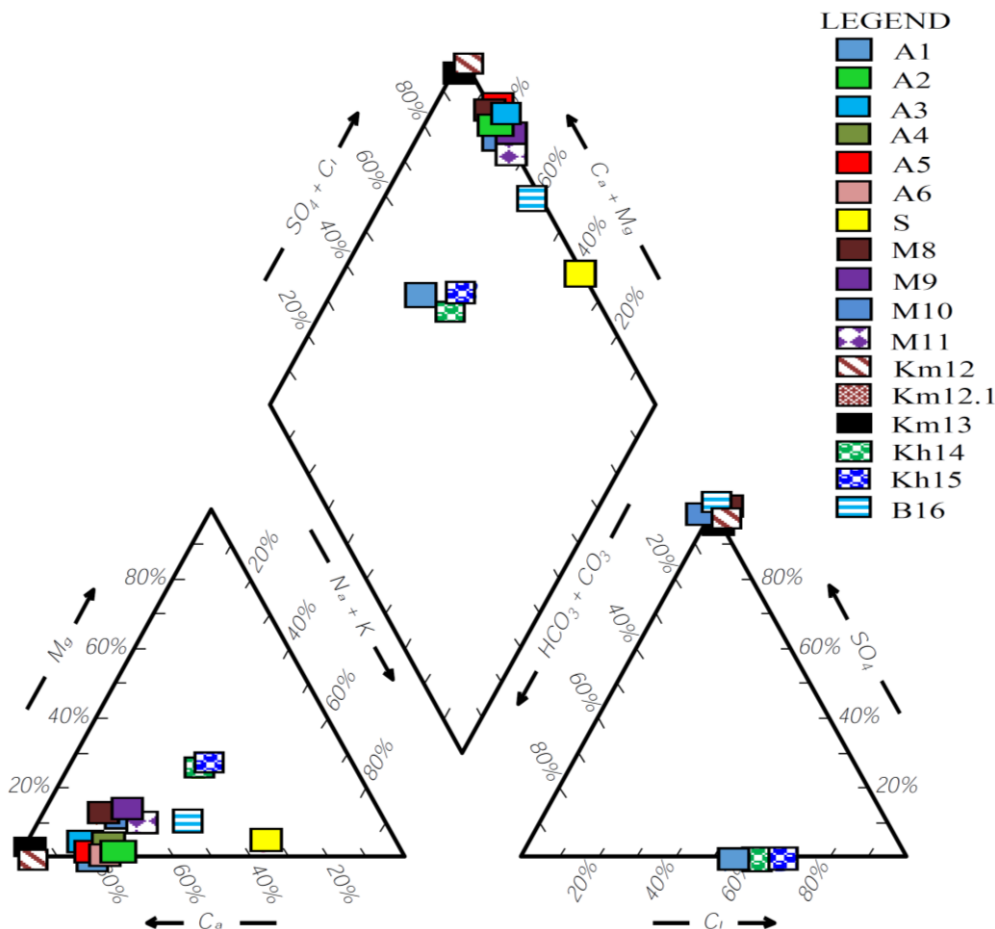
کلر: با توجه به جدول ۱، نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آبی حوضه آبریز کارده حاکی از غلظت بسیار ناچیز کلر بوده که با مطابقت با استاندارد ایران و بهداشت جهانی (حد

کریم آباد، طبق نمودار شولر (شکل ۶) و جدول ۱ و با توجه به جدول استانداردهای آب آشامیدنی، کیفیت آب حوضه آبریز کارده از لحاظ سختی جهت شرب در حد مجاز است.

(جدول ۴)، اما با توجه به نتایج حاصل، حداقل سختی آب در حوضه کارده مربوط به دریاچه (S) به میزان ۷۶/۸۸ میلی گرم بر لیتر و حداکثر آن (۲۴۳۱/۸۲ میلی گرم بر لیتر) مربوط به حوضه کریم آباد (Km12.1) بوده و میانگین آن ۵۸۲/۷۱ میلی گرم بر لیتر است. لذا غیر از زیر حوضه



شکل ۶: کیفیت آب حوضه آبریز کارده از لحاظ شرب بر اساس نمودار شولر و جدول ۱ (جهت توضیح بیشتر به متن رجوع شود).



شکل ۷: نوع آب حوضه آبریز کارده بر اساس نمودار Piper و جدول ۱ (جهت توضیح بیشتر به متن رجوع شود).

رسوب گذار بودن جهت مصارف صنعتی مناسب نمی‌باشند (پورسلطانی و موسوی حرمی، ۱۳۸۶). همچنین بر اساس نمودار شولر (شکل ۶)، برخی نمونه‌های آبی گرچه از نظر وجود کاتیون‌های سدیم و منیزیم و آنیون سولفات در محدوده خوب تا قابل قبول قرار داشته، اما به دلیل وجود TDS و TH بالا از نظر شرب انسانی نامناسب هستند، اما دیگر نمونه‌ها در محدوده خوب تا قابل قبول قرار دارند. از طرفی بر اساس نمودار Piper (1944) (شکل ۷)، عمده نمونه‌ها بیش از ۸۰ درصد کلسیم داشته در صورتی که میزان یون منیزیم کمتر از ۲۰ درصد است. همچنین نمونه‌های آبی M10، M8، Km13، Km12 و B16 دارای میزان سولفات بیش از ۹۰ درصد هستند، در صورتی که عمده نمونه‌ها فاقد یون‌های Na، K، CO_3 و HCO_3

هدایت الکتریکی (EC): بر اساس استانداردهای بهداشت جهانی، حد مجاز هدایت الکتریکی (EC) برابر با ۴۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و بر اساس استانداردهای آب آشامیدنی ایران ۱۸۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. با توجه به این که حداقل میزان هدایت الکتریکی (۳۶۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) مربوط به زیرحوضه کریم‌آباد (Km13) بوده و حداکثر آن (۵۵۷ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) مربوط به زیرحوضه سیج - آل (A6) است (جدول ۱)، بنابراین آب حوضه آبریز کارده دارای کیفیت مناسب است.

در نهایت بر اساس مباحث فوق و نتایج آزمایشگاهی کیفیت نمونه‌های برداشت شده (جدول ۱)، آب رودخانه‌های حوضه آبریز کارده به دلیل خورندگی و

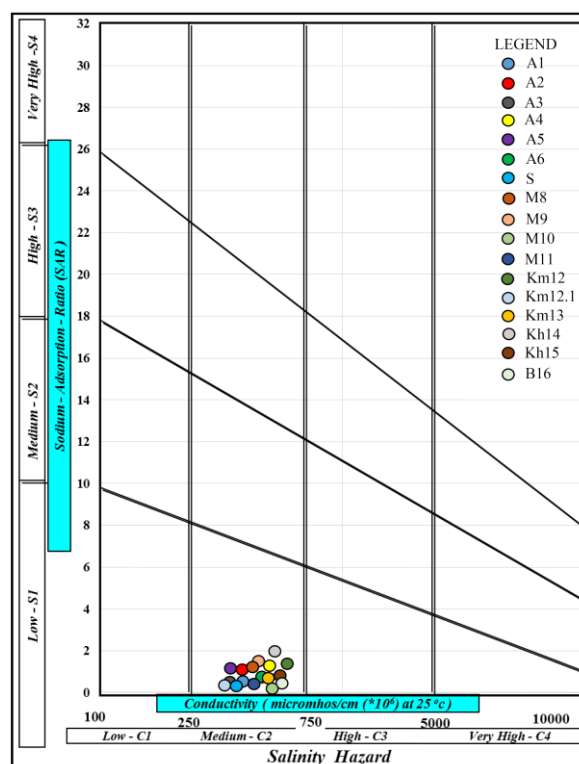
جدول ۴: استانداردهای آب آشامیدنی کمیسیون فنی تدوین استاندارد ویژگی‌های آب آشامیدنی (۱۳۸۸) و سازمان بهداشت جهانی (مقادیر بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و EC بر حسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر است)

خواص آب	استانداردهای ایران		استانداردهای سازمان بهداشت جهانی	
	مقدار مطلوب	حداکثر مجاز	حداکثر مقدار توصیه شده	حداکثر غلظت قابل قبول
کلسیم	75	200-250	75	-
منیزیم	50	50-100	30	50
سدیم	150	200	200	150
پتاسیم	5	12	-	12
سولفات	250	400	200	250
کلر	250	400	200	-
pH	6.5-8.5	6.5-9	7-8.5	6.5-9.5
TDS	1000	1500	1000	500
TH	150	500	100	500
EC	-	1800	-	400

نتیجه‌گیری

وجود واحدهای کربناته سازند مزدوران، سازند سیلیسی آواری شور یجه، رسوبات نئوژن و همچنین واحدهای تبخیری مربوط به سازندهای قدیمی تر از منشأهای احتمالی یون‌های محلول در آب حوضه کارده محسوب می‌گردند. واحدهای تبخیری سازندهای مزدوران و شور یجه و رسوبات نئوژن از منابع تأمین یون سولفات، سدیم و کلر محسوب می‌شوند. سنگ‌های کربناته مانند دولواستون، مادستون‌های دولومیتی شده، شیل‌های آهکی سازند کربناته مزدوران و سیمان‌های کربناته در ماسه سنگ‌های سازند شور یجه از منابع اصلی تأمین یون‌های منیزیم و کلسیم بوده، و بارزترین منشأ جهت تأمین یون آلومینیم کانی‌های رسی هستند.

با در نظر گرفتن استانداردهای ایران و بهداشت جهانی، آب حوضه آبریز کارده از نظر حضور یون‌های کلسیم با میانگین ۲۲۱/۶ میلی‌گرم بر لیتر، منیزیم با میانگین حوضه ۷/۱ میلی‌گرم بر لیتر، پتاسیم با میانگین ۵/۹ میلی‌گرم بر لیتر، سدیم با میانگین ۲۸/۱ میلی‌گرم بر لیتر و سولفات با میانگین ۹۸/۵ میلی‌گرم بر لیتر از کیفیت خوبی برخوردار است. آب منطقه کارده با وجود مواد جامد محلول در آب منطقه با میانگین ۷۱۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر و همچنین سختی کل با میانگین ۵۸۲/۷۱ میلی‌گرم بر لیتر و هدایت الکتریکی کم و اسیدیته بین ۶/۵-۷/۵، دارای وضعیت استاندارد بوده و قابل شرب است. بر اساس نمودار Piper، عمده آب‌های



شکل ۸: کیفیت آب حوضه آبریز کارده بر اساس نمودار Wilcox از لحاظ کشاورزی (جهت توضیح بیشتر به متن رجوع شود).

می‌باشند. در نهایت اغلب آب‌های حوضه آبریز کارده دارای کیفیت خوبی بوده و به طور عمده سولفات و کلسیم یون‌های غالب محسوب می‌گردند. لذا آب‌ها از نوع سولفات کلسیک می‌باشند. همچنین بر اساس نمودار Wilcox (1995) (شکل ۸)، عمده نمونه‌های آب حوضه آبریز کارده در کلاس C_2S_1 طبقه‌بندی می‌گردند. بنابراین گرچه کمی شور بوده، اما جهت استفاده کشاورزی مناسب می‌باشند.

کارده به دلیل خورندگی و رسوب گذار بودن جهت مصارف صنعتی مناسب نمی باشند.

حوضه آبریز کارده دارای کیفیت خوبی بوده و به طور عمده سولفات و کلسیم یون های غالب محسوب می گردند. لذا آب ها از نوع سولفات کلسیک می باشند. همچنین بر اساس نمودار Wilcox، عمده نمونه های آب منطقه مورد مطالعه در کلاس C2S1 طبقه بندی شده و از جهت استفاده کشاورزی مناسب می باشند. آب رودخانه های حوضه آبریز

سپاس گذاری

نویسندگان از داوران محترم که با پیشنهادات علمی سبب ارتقای کیفی مقاله شدند، سپاس گذاری می نمایند.

منابع

- پورسلطانی، م.ر.، موسوی حرمی، ر.، ۱۳۸۶. مطالعات آب شناسی حوضه آبریز سنگرد در سبزوار. فصلنامه زمین شناسی کاربردی، ۲: ۱۱۸-۱۱۰.
- پورسلطانی، م.ر.، قطبی راوندی، م.ر.، ۱۳۹۳. تاریخچه دیاژنز ماسه سنگ های کامبرین زیرین در رخنمون گزوثیه، ایران مرکزی. پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی، ۴: ۱۰۳-۱۲۵.
- جهانبخش، س.، اکرمی، ف.، ۱۳۷۸. تحلیل سینوپتیکی تأثیر پرفشار سیبری بر بارش سواحل جنوبی دریای خزر. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳ و ۴: ۱۳۲-۱۰۷.
- حیدرزاده، م.، محمدزاده، ح.، ۱۳۹۱. مطالعه مکانی و فصلی تغییرات هیدروشیمیایی و بررسی عوامل موثر بر کیفیت آب رودخانه کارده (شمال شهر مشهد). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۹۱-۹: ۱۱۷۰-۱۱۶۱.
- کاظمی، ن.، پورسلطانی م.ر.، فاضل ولی پور م.ا.، ۱۳۹۵. مطالعه آب های سطحی حوضه آبریز کارده، شمال مشهد، ایران. دومین کنفرانس علوم و مهندسی و فناوری های محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱-۱۰.
- مدیریت آبخیزداری سازمان جهاد کشاورزی خراسان، ۱۳۸۳. گزارش فرسایش و رسوب حوضه آبریز سیج و آل (منتشر نشده). اداره مطالعات و هماهنگی مدیریت منابع طبیعی، ۱۳۷۳. مطالعات هیدرولوژی حوضه سد کارده، طرح (منتشر نشده).
- کمیسیون فنی تدوین استاندارد ویژگی های آب آشامیدنی، ۱۳۸۸. استاندارد ملی ایران، شماره ۱۰۵۳ (تجدید نظر پنجم): آب آشامیدنی - ویژگی های فیزیکی و شیمیایی. مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (<http://www.environment-lab.ir/> 2016-11-02T09:28:48Z).

De Ros, L.F., Morad, S., & Al-Aasm, I.S., 1997. Diagenesis of siliciclastic and volcanoclastic sediments in the Cretaceous and Miocene sequences of the NW African margin (DSDP Leg 47A, Site 397): *Sedimentary Geology*, 112: 137-156.

Folk, R.L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks. *Hemphill Publishing, Austin, Texas, USA*, 184 pp.

Han, G., Tang, Y., & Xu, Z., 2010. Fluvial geochemistry of rivers draining Karst terrain in southwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 38: 65-75.

Ketzer, J.M., De Ross, L.F., & Norberto, D., 2005. Kaolinitic meniscus bridges as an indicator of early diagenesis in Nubian sandstone, Sinai, Egypt – discussion. *Sedimentology*, 52: 3213-217.

Li, S., & Zhang, Q., 2008. Geochemistry of the Han River Basin China, 1: Spatial distribution of major ion compositions and their controlling factors. *Applied geochemistry*, 23: 3535-3544.

Liu, K.W., 2002. Deep-burial diagenesis of the siliciclastic Ordovician Natal Group, South Africa. *Sedimentary Geology*, 154: 177-189.

- Mansurbeg, H., Morada, S., Salem, A., Marfield, R., El-ghlie, M.A.K., Nystuenf, J.P., Cajad, M.A., Amorosig, A., Garcia, D., & La Iglesia, A., 2008. Diagenesis and reservoir quality evolution of palaeocene deep-water, marine sandstones, the Shetland-Faroes Basin, British continental shelf. *Marine and Petroleum Geology*, 25: 514–543.
- Mcbride, E.F., Land, L.S., & Mack, L.E., 1987. Diagenesis, Norphler Formation (Upper Jurassic), Rankin County, Mississippi, and Mobile County, Alabama. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, 71: 1019-1034.
- Morad, S., & Aldaham, A.A., 1986. Diagenetic alteration of detrital biotite in Proterozoic sedimentary rocks from Sweden. *Sedimentary Geology*, 47: 95-107.
- Nabavieh, S.M., 1998. Geological map of Kalat, 1:100000, *Geological Survey of Iran*.
- Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Trans. American Geophysical Union*, 25 (6): 914-928.
- Poursoltani, M.R., & Gibling, M.R., 2011. Composition, porosity and reservoir potential of the Middle Jurassic Kashafrud Formation, northeast Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 28: 1094-1110.
- Reed, J.S., Eriksson, K.A., & Kowalewski, M., 2005. Climatic, depositional and burial controls on diagenesis of Appalachian Carboniferous sandstones: qualitative and quantitative methods. *Sedimentary Geology*, 176: 225-246.
- Sibley, D.F., Greig, J.M., 1987. Classification of dolomite rock textures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 57: 967–975.
- Siebert, R.M., Moncure, G.K., & Lanham, R.W., 1984. A theory of framework grain dissolution in sandstones, In: *Clastic Diagenesis* (Ed, D. A. McDonald and R. C. Surdan). Tulsa, Oklahoma, U.S.A.: *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, 37: 163-176.
- Uysal, I.T., Golding, S.D., & Glikson, M., 2000. Petrographic and isotope constraints on the origin of authigenic carbonate minerals and the associated fluid evolution in Late Permian coal measures, Bowen Basin (Queensland), Australia. *Sedimentary Geology*, 136: 189-206.
- Wilcox, L.W., 1995. Classification and Use of Irrigation Water, U.S. Department of Agriculture, *Washington, Circular*, 969 p.

The effect of sedimentary units on composition and quality of water: an example from the Kardeh catchment, northeast of Mashhad, Iran

Poursoltani, M.R.^{1*}, Kazemi Zanjani Lotfabadi, N.², Fazel Valipour, M.E.³

1- Associate Professor, Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

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

3- Assistant Professor, Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

E-mail: poursoltani1852@mshdiau.ac.ir

Introduction

Kardeh catchment is a part of the Kopet-Dagh zone, and contains a variety of lithological composition. Mozduran and Shurijeh formations, Neogene and recent deposits form most of the outcrops in this area (Nabavieh, 1998). In this study, considering the importance of Kardeh catchment area as sources of water for the underground and surface water resources for drinking in the west of Mashhad, we have analysed water samples from each sub-catchment, and conducted chemical analysis of rocks. The impact of harmful elements in the river water, resulted from lithological erosion, in this basin are discussed. In addition, the water quality of the river in terms of agricultural use, drinking and industry usage are also investigated (Li & Zhang, 2008; Han et al, 2010).

Materials and Methods

In this study, 17 water samples and 9 rock samples were collected for analysis. For this reason, temperature, pH, electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), concentration and absorption of some ions have been measured. Based on the results, in order to determine water quality for drinking, agriculture and industrial usage, we have made comparison with the World Health Organization drinking water standards and data from the Standards and Industrial Research Institute of Iran (Schuler, Wilcox and Piper diagrams). Rock samples have been analysed by ICP method. Two polished thin sections were studied to determine the composition of mineral components, using the Scanning Electron Microscope (SEM) equipped with EDS.

Discussion

Based on the analysis carried out in the Kardeh catchment, the maximum TDS is 863.35 mg/l in Al area, and the minimum is 571.95 mg/l in Karim-Abad. The maximum electrical conductivity (EC) is 557 microzimens/sec in Al area, and minimum EC is 369 microzimens/sec in Karim-Aabad. The highest temperature of 24.6°C is related to the lake, and minimum temperature measured is 10.3°C in Marshk area. The results indicate that among cations, magnesium and potassium have the lowest concentration, whereas sodium and calcium have the highest. Among anions, bicarbonate has the maximum concentration, and sulfate the minimum. Petrographic studies indicate that carbonate and sandstone are the main types of rocks in the study area. Carbonate facies are mainly dolomite, whereas sandstone facies are sublitharenite and feldspathic litharenite with silica, carbonate and iron oxide cements. Based on ICP analysis, aluminium, calcium, iron, potassium, magnesium and sodium are the main elements in the rock samples. Mozduran (carbonate strata) and Shurijeh (siliciclastic strata) formations and also evaporative units are the probable sources of water soluble ions (Kazemi et al., 1395).

Based on the results of the analysis of water samples, the water is not suitable for industrial usage due to corrosion and precipitation of chemicals. Also, according to Schuler diagram, some water samples are not suitable for drinking. In the other hand, according to Piper diagram (Piper, 1944), the major water samples have good quality and contain sulphate, chloride and calcium as main ions. Thus, according to Wilcox diagram (Wilcox 1995), the major water samples are in class C2S1. So, based on the presence of slight salt in the water, therefore it is suitable for agricultural use.

Conclusion

The main ions in the Kardeh water samples are sodium, calcium, magnesium, iron, sulfate and carbonate. Based on the analytical results, for drinking all samples are moderate to good, and are classified in class C2S1 of Wilcox diagram. Although these samples are acceptable for agriculture, but they are unacceptable for industrial usage. Finally, based on Piper diagram, the quality of water samples are in sulfate and chloride groups. In the Kardeh catchment, the probable source of ions in water samples could be carbonate and siliciclastic rocks as well as Neogene and recent deposits.

Keywords: Kardeh catchment; Khorasan Razavi; lithology; water quality.

References

- Han, G., Tang, Y., & Xu, Z., 2010. Fluvial geochemistry of rivers draining Karst terrain in southwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 38: 65-75.
- Kazemi N., Poursoltani M.R., Fazel Valipour M.E. 2016. The study of Kardeh catchment ground water, north of Mashhad, Iran, *The Second Conference on Environmental Science and Engineering Technologies, Tehran University*, 1-10 (in Persian).
- Li, S., & Zhang, Q., 2008. Geochemistry of the Han River Basin China, 1: Spatial distribution of major ion compositions and their controlling factors. *Applied geochemistry*, 23: 3535-3544.
- Nabavieh, S.M., 1998. Geological map of Kalat, 1:100000, *Geological Survey of Iran*.
- Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Trans. American Geophysical Union*, 25 (6): 914-928.
- Wilcox, L.W., 1955. Classification and Use of Irrigation Water, U.S. Department of Agriculture, *Washington, Circular*, 969 p.