

بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی جنوب دشت بیرجند با استفاده از تکنیک تعادل جرمی

بهناز دهرآزما^{۱*}، سیده ملیحه موسوی^۲

۱- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- کارشناس ارشد زمین شناسی زیست محیطی

Behnaz_dahrazma@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۲۹

چکیده - محدوده مطالعه شده، جنوب دشت بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی است. در این پژوهش به ارزیابی کیفیت و چگونگی پراکنش مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی (آنیون‌ها و کاتیون‌ها، pH، EC، TDS، TH) در منابع آب زیرزمینی منطقه پرداخته شده و منابع آلوده کننده مشخص شده است. همچنین در پژوهش حاضر منشأ آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در منابع آب زیرزمینی و ارتباط آنها با شرایط زمین شناسی منطقه با استفاده از محاسبه تعادل جرمی ارزیابی شده است. برای نیل به این هدف، از میان ۱۰۰ چاه بهره‌برداری در منطقه، از ۳۰ منبع آب زیرزمینی نمونه‌برداری انجام و آنالیز شده است. نتایج نشان می‌دهند که به ترتیب ۵۰٪، ۳۰٪ و ۱۰٪ منابع آب زیرزمینی مطالعه شده به منیزیم، سدیم و کلر آلوده است. آلودگی منابع آب می‌تواند حاصل حضور لیستونیت‌های حاصل از دگرسانی سنگ‌های اولترامافیک موجود در ارتفاعات بالادست منابع آبی باشد. ۹۶٪ منابع آبی در محدوده آب‌های بسیار سخت قرار می‌گیرند. تیپ منابع آب در ارتفاعات بیشتر کربناته کلسیک و به سمت پایین و شرق منطقه به دلیل حلالیت بالای Na^+ و Cl^- بیشتر کلروره سدیک است. محاسبه همبستگی پارامترها معلوم می‌کند که سدیم با کلر، پتاسیم و سولفات همبستگی بالایی را نشان می‌دهد. با استفاده از محاسبه تعادل جرمی می‌توان منشأ سدیم و پتاسیم موجود در منابع آبی را فرایند تبادل یونی با منشأ هوازدگی سنگ‌های مافیک (اسپیلیت‌ها)، و منشأ کلسیم را هوازدگی پلاژیوکلازهای توده‌های ساب-ولکانیکی، کانی‌های فرومنیزین و لیستونیت‌های کربناته و انحلال سنگ آهک‌های منطقه در نظر گرفت.

واژگان کلیدی: کیفیت آب زیرزمینی، آلودگی، تعادل جرمی، جنوب دشت بیرجند.

۱- مقدمه

در غرب یونان نشان می‌دهد که در این مناطق شرایط زمین شناختی منطقه، باعث افزایش pH، EC و یون کلر شده است [۲]. همچنین در پژوهشی که برای ارزیابی کیفی آب آشامیدنی در یکی از دشت‌های استان تفیلا در جنوب اردن با اندازه‌گیری کاتیون‌ها و آنیون‌ها در آب صورت گرفت،

منابع آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع آب شرب است. کیفیت منابع آب دشت‌هایی که از دسترس انسان و فعالیت‌های انسانی به دور مانده‌اند، را شرایط زمین شناسی محل تعیین می‌کند [۱]. نتایج بررسی کیفیت آب آشامیدنی

نتایج نشان داد که نمونه‌های آب دارای مقدار بالاتر از حد مجاز کلراید، سولفات و بی کربنات است، که در این منطقه دو منشأ طبیعی و انسانی باعث آلودگی منابع آب شده است [۳]. بررسی کیفیت آب زیرزمینی دشت کاشان نشان می‌دهد که مقدار کلر در اکثر نقاط دشت همبستگی خوبی با EC داشته و غلظت کلر تمام نمونه‌های آب زیرزمینی دشت کاشان، کمتر از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بوده و مقدار بی کربنات در قسمت‌های غربی و مناطق تغذیه دشت زیاد و در بخش‌های شرقی کم است [۴]. در پژوهشی دیگر در ارزیابی میزان آلودگی در آب آشامیدنی روستاهای شمال شاهرود، معلوم شد که غلظت یون سولفات در روستاهای علی آباد و قهج سفلی به ترتیب ۴۹۹ و ۴۵۱ میلی گرم بر لیتر و غلظت یون سدیم به ترتیب ۳۷۹ و ۵۲۹ میلی گرم بر لیتر در این روستاها می‌رسد. TDS آب این روستاها ۱۳۲۰ و ۱۳۸۰ میلی گرم بر لیتر است که بالاتر از حد مجاز است [۵].

عوامل بسیاری در انتقال عناصر از سنگ‌ها به آبخوان اثرگذار است. تبادل یونی یکی از پدیده‌های رایج مؤثر در افزایش و یا کاهش کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب شناخته شده است. نوع یون‌ها و چگونگی توزیع آنها در آب‌های طبیعی بستگی کامل به تشکیلات زمین‌شناختی و خاک منطقه دارد. فراوان‌ترین یون‌های موجود در آب شیرین، یون‌های کلسیم، بی کربنات، منیزیم، سولفات، کلرید و سدیم است [۶]. کلسیم معمولاً از انحلال سنگ آهک، دولومیت و سنگ گچ تولید می‌شود و پس از بی کربنات دومین جزء عمده بیشتر آب‌های طبیعی است. منیزیم بیشتر از مواد معدنی فرومنیزیمی، سنگ‌های آذرین و کربنات منیزیم، سنگ آهک و دولومیت به دست می‌آید. نمک‌های کلسیم نسبت به نمک‌های منیزیم محلول تر است [۷].

آنیون‌های اصلی، می‌توان منشأ عناصر محلول در آب را مشخص کرد [۸]. در پژوهشی که در مورد بررسی آلودگی فیزیکی و شیمیایی در آب‌های زیرزمینی دشت طبسین (جنوب بیرجند) انجام شد، نتایج محاسبه تعادل جرمی یون‌ها نشان داد که منشأ Cl^- و Na^+ آب‌ها ناشی از کانی‌های تبخیری است. همچنین در منابع آب دشت طبسین، غلظت SO_4^{2-} از Ca^{+2} بیشتر بوده که پدیده زدایش Ca^{+2} از آب و نرم‌شدگی طبیعی آب و اکسیداسیون پیریت را معلوم می‌کند [۹]. نتایج حاصل از ارزیابی آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت مختاران (بخش شمالی کوه شاه جنوب بیرجند) بر پایه اطلاعات ژئوشیمی منطقه و استفاده از تعادل جرمی، منشأ کاتیون‌ها و آنیون‌ها در منابع آب را مشخص کرده است. به گونه‌ای که منشأ Na^+ و K^+ به تبادل یونی، هوازگی آلپیت و یا کانی‌های فرومنیزین نسبت داده شده است. هوازگی پلاژیوکلازها به عنوان منبع Ca^{+2} در نظر گرفته شده است [۱۰].

پژوهشی در مورد فرایندهای ژئوشیمیایی بر شیمی آب‌های زیرزمینی بر اساس روش تعادل جرمی در کره جنوبی انجام شده است. در این مطالعه از ۲۷۹ منبع آب زیرزمینی نمونه‌برداری انجام شده است. فاکتورهای pH، کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و سیلیس و نیترات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. بر اساس تعادل جرمی منشأ پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب حاصل عملکرد سه فرایند معرفی شد: (۱) سیلیکات‌ها و کربنات‌ها و یا آهک حاصل هوازگی مواد معدنی (۲) ورود Cl^- و SO_4 از طریق نمک‌ها (۳) نیترات‌ها از طریق تجزیه هوازی مواد آلی. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که هوازگی مواد معدنی عامل مؤثر در شیمی آب‌های زیرزمینی است [۱۱]. نتایج حاصل از بررسی هیدروژئوشیمی آب‌های زیرزمینی در حوضه شمال شرقی اوزاکای ژاپن در تخمین جریان آب زیرزمینی

عرض‌های $37^{\circ} 52' 33''$ تا $32^{\circ} 42' 53''$ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه از شمال به شهر بیرجند و از جنوب به ارتفاعات باقران، کوه‌چ و کوه‌زرد، از غرب به ارتفاعات کوه اشکسته و کناکوه و از شرق به ارتفاعات سیاه کوه محدود می‌شود. مجموعه سنگی رشته کوه باقران که در جنوب دشت بیرجند قرار می‌گیرد و تأمین منابع آب قسمت جنوبی دشت بیرجند نیز از این ارتفاعات است، شامل ادامه کامل افیولیتی یا مجموعه آمیزه رنگین معرفی شده است. افیولیت‌های جنوب بیرجند از قاعده به سمت بالا شامل اولترامافیک، پهنه انتقال، گابروهای لایه‌ای، گابروهای ایزوتروپ، دایک‌های ورقه‌ای، گدازه‌های بالشی، نهشته‌های پلاژیک و پس از آن نهشته‌های فلیشی است و مساحت منطقه مورد مطالعه که بخشی از آبخوان جنوب دشت بیرجند و ارتفاعات محصورکننده آن است، حدود 893 کیلومتر مربع است، که در این میان وسعت دشت حدود $280/5$ کیلومتر مربع است. با استفاده از جاده‌های ارتباطی بیرجند - مود - زاهدان و بیرجند - خوسف می‌توان به محدوده مطالعاتی دسترسی پیدا کرد. روند بیشتر آبراهه‌ها شمال - جنوب بوده و جهت جریان در بخش جنوبی دشت از جنوب به شمال و در بخش مرکزی با رودخانه اصلی هم مسیر شده و به تدریج شرقی - غربی می‌شود. شکل ۲ نقشه آبراهه‌های اصلی در دشت بیرجند را در محیط GIS مشخص می‌کند که در این پژوهش با استفاده از نقشه $1/100000$ بیرجند تهیه شده است. متوسط بارش سالیانه $156/7$ میلی‌متر بوده و اقلیم منطقه از نوع گرم و خشک است.

۲-۲- نمونه برداری

نمونه‌برداری آب، بر اساس پراکندگی چاه‌ها در دشت، با رعایت فاصله و در یک مسیر به صورت عمودی از ارتفاعات به سمت دشت تا رودخانه اصلی دشت بیرجند و تقریباً به فاصله 3 کیلومتری از یکدیگر در طول دشت صورت پذیرفت.

بر اساس تبادل یونی به روش تعادل جرمی بررسی شده است. مقایسه مواد شیمیایی و ترکیبات ایزوتوپی استرانسیم در آب‌های زیرزمینی با ترکیب رسوبات زیرزمین در این پژوهش، حاکی از آن است که عناصر از رسوبات وارد حوضه آبخوان شده است. علاوه بر این محاسبات مدل نشان می‌دهد که آب‌های دریایی و آب رودخانه سطحی عوامل مؤثر در تغییرات شیمی آب زیرزمینی نیستند [۱۲].

محدودیت منابع آب و کاهش سطح سفره آب زیرزمینی و همچنین حساسیت ویژه دشت بیرجند در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت و همچنین نیاز به برداشت آب بیشتر در سالهای آینده، تصمیم‌گیری برای مدیریت کیفی آب زیرزمینی و کاهش بار آلودگی، حاصل از منابع آلاینده واقع در محدوده را الزامی می‌کند. آب مورد نیاز شهر بیرجند به وسیله 305 چاه با میزان برداشت سالیانه $112/61$ میلیون متر مکعب، 442 چشمه و 1222 قنات از سفره آب زیرزمینی دشت بیرجند تأمین می‌شود. دشت بیرجند از سال 1360 تاکنون جزء دشت‌های ممنوعه محسوب می‌شود. دشت بیرجند جزء دشت‌های بحرانی استان است و سطح آب زیرزمینی در این دشت به طور متوسط سالانه 20% افت نشان می‌دهد [۱۳].

با توجه به اهمیت کیفیت منابع آب دشت بیرجند در پژوهش حاضر به بررسی کیفیت و هیدروژئوشیمی منابع آب جنوب دشت بیرجند و منشاء احتمالی یون‌های موجود در منابع آب با استفاده از محاسبه همبستگی و تعادل جرمی پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی بخشی از جنوب دشت بیرجند است که بین طول‌های جغرافیایی $38^{\circ} 00' 00''$ تا $59^{\circ} 23' 02''$ شرقی و

خاک و گیاه، شرکت خدمات مهندسی آب و خاک کاوش آب شرق خراسان جنوبی انجام شد. موقعیت محل های نمونه برداری در جدول ۱ آورده شده است.

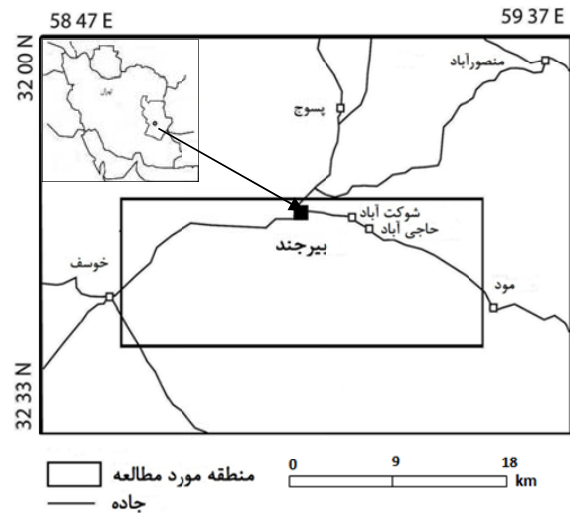
جدول (۱) مشخصات ایستگاه های نمونه برداری از منابع آب زیرزمینی

جنوب دشت بیرجند

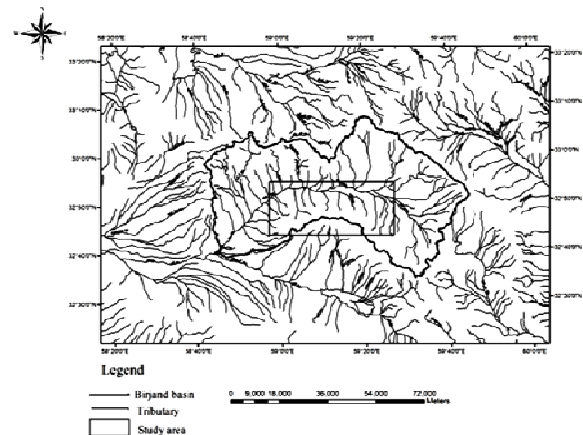
شماره منبع	نام منبع آبی	مختصات نمونه برداری		موقعیت در منطقه مورد مطالعه
		Y	X	
w1	۶ رکات	3638208	694047	نزدیک ارتفاعات غربی
w2	۵ رکات	3639141	694863	نزدیک ارتفاعات غربی
w3	۱۰ رکات	3638571	702916	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w4	۸ رکات	3638836	695082	نزدیک ارتفاعات غربی
w5	۹ رکات	3638571	702222	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w6	۱۱ رکات	3637634	705413	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w7	۱۰ علی آباد	3636823	709614	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w8	۶ علی آباد	3636061	710445	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w9	۷ علی آباد	3636382	710213	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w10	۱۲ علی آباد	3638830	710498	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w11	۱۳ علی آباد	3636556	713129	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w12	۸ علی آباد	3637223	712148	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w13	۱۱ علی آباد	3636358	712449	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w14	۱۴ علی آباد	3636653	714737	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w15	اداره راه	3637129	711006	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w16	بوستان مهدیه	3638249	711652	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w17	برزگانی	3637660	711456	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w18	محمدیه	3639834	691350	نزدیک ارتفاعات غربی
w19	آموزش کشاورزی ۱	3638540	689396	نزدیک ارتفاعات غربی
w20	آموزش کشاورزی ۲	3639028	688600	نزدیک ارتفاعات غربی
w21	چکهکند	3636588	701790	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w22	پارک جنگلی	3638678	705317	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w23	بجد	3635822	716926	نزدیک ارتفاعات مرکزی
w24	حاجی آباد	3636915	716355	نزدیک ارتفاعات شرقی
w25	پورشمسیان	3636295	697016	نزدیک ارتفاعات غربی
w26	شمس آباد	3638554	697775	نزدیک ارتفاعات غربی
w27	شمس آبادی	3637525	697376	نزدیک ارتفاعات غربی
w28	بوشاد	3629355	719716	نزدیک ارتفاعات شرقی
w29	نصرآباد	3626997	725574	نزدیک ارتفاعات شرقی
w30	بند عمرشاه	3634440	703504	نزدیک ارتفاعات مرکزی

۳- بحث و نتایج

نتایج آنالیز پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و غلظت کاتیون ها و آنیون های اصلی منابع آب در جدول ۲ و ۳ آورده شده است.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه (سایت جامع راهنمای ایران-۱۳۸۸).



شکل (۲) نقشه آبراه های اصلی جنوب دشت بیرجند، برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ بیرجند

به طور متوسط یک سوم از چاه هایی که در محدوده مورد مطالعه قرار دارند، برای نمونه برداری انتخاب شدند. نمونه برداری در پایان فصل خشک (مهرماه) سال ۱۳۸۹ از ۲۷ چاه، ۲ قنات و یک چشمه انجام شد. قبل از برداشت هر نمونه آب، ظروف به وسیله آب همان منبع ۳ بار شسته شدند. آنالیز کاتیون ها (K^+ و Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+) و آنیون ها SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- و Cl^- ، TDS، TSS، pH و سختی کل نمونه های آب برداشت شده به وسیله آزمایشگاه آب،

جدول (۲) مقادیر برخی پارامترهای فیزیکی شیمیایی در منابع آب

جنوب دشت بیرجند

شماره منبع	نام منبع آبی	EC(μS/cm)	TDS(mg/L)	TSS(mg/L)	TH(mg/L as CaCO3)	دما(°C)	pH
w1	۶ رکات	1766	1004.8	436	545	27	7
w2	۵ رکات	2051	1491.2	629	635	26.9	7.5
w3	۱۰ رکات	1592	921.6	253	375	25	7.2
w4	۸ رکات	2038	1420.8	751	710	25	7.5
w5	۹ رکات	1638	934.4	287	450	25	7.4
w6	۱۱ رکات	1423	889.6	197.4	365	22	7.2
w7	۱۰ علی آباد	1778	980.4	395	547	27	7.5
w8	۶ علی آباد	2071	1606.4	365	845	24	7
w9	۷ علی آباد	2022	1235.2	311.9	645	24	7.3
w10	۱۲ علی آباد	1963	1132.8	314	450	26	7.5
w11	۱۳ علی آباد	1768	1004.8	455	725	25	7.3
w12	۸ علی آباد	2019	1280	425	325	24	7.2
w13	۱۱ علی آباد	2004	1139.2	367	485	25	7.3
w14	۱۴ علی آباد	1855	1062.4	501.5	725	24	7
w15	اداره راه	2018	1267.2	761	555	24	7.8
w16	بوستان مهدیه	2059	1350.4	595	485	24	7.5
w17	برزگانی	3000	1760	834	620	22	7.7
w18	محمدیه	5007	243.2	815.2	1110	24	7
w19	آموزش کشاورزی ۱	1870	870.4	373.4	455	25	7.4
w20	آموزش کشاورزی ۲	1540	915.2	189	360	24	8.2
w21	چپکند	1318	761.6	246.1	325	26	7.9
w22	پارک جنگلی	2006	1184	215	535	27	8
w23	بیجد	1706	998.4	203.6	370	23.8	7.7
w24	حاجی آباد	2085	1702.4	307	375	20.5	7.7
w25	پورشمسیان	2073	928	237.4	550	25	7.4
w26	شمس آباد	1643	940.8	293	410	25	7.5
w27	شمس آبادی	1618	1715.2	466.5	450	25	7.2
w28	پوشاد	1272	704	208.4	480	17.5	8
w29	نصراآباد	1245	697.6	336.1	425	16.5	7.6
w30	بند عمرشاه	1946	480	92.5	300	21	7

به این استاندارد، غلظت املاح حل شده در چاه‌های W8، W17، W24 و W27 بیش از حد استاندارد است. چشمه بند عمرشاه (W30) کمترین غلظت املاح حل شده را دارد.

جدول (۳) مقادیر غلظت کاتیونها و آنیون‌های اصلی در منابع آب

جنوب دشت بیرجند بر حسب mg/L

شماره منبع	نام منبع آبی	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4
w1	۶ رکات	78.15	125.2	183.9	0.782	408.8	390	216.1
w2	۵ رکات	80.16	91.14	96.56	0.391	311.2	202.1	192.1
w3	۱۰ رکات	60.12	52.26	151.7	0.391	414.9	223.4	38.43
w4	۸ رکات	48.09	80.21	128.7	0.391	396.6	248.2	52.84
w5	۹ رکات	74.14	46.18	158.6	0.391	384.4	216.3	96.06
w6	۱۱ رکات	52.1	58.33	188.5	0.391	494.2	219.8	62.44
w7	۱۰ علی آباد	60.12	81.42	186.2	0.782	561.4	273	43.23
w8	۶ علی آباد	90.18	150.7	188.5	1.173	549.2	439.6	177.7
w9	۷ علی آباد	78.15	109.4	147.1	0.782	311.2	368.7	182.5
w10	۱۲ علی آباد	16.03	166.5	48.28	0.391	439.3	234	134.5
w11	۱۳ علی آباد	16.03	166.5	48.28	0.391	439.3	234	134.5
w12	چاه ۸ علی آباد	70.14	36.46	310.4	0.782	366.1	347.4	201.7
w13	۱۱ علی آباد	90.18	60.76	200	0.391	274.6	382.9	115.3
w14	۱۴ علی آباد	64.12	115.4	243.7	0.782	396.6	531.8	86.46
w15	اداره راه	76.15	71.7	262.1	0.782	414.9	372.3	182.5
w16	بوستان مهدیه	92.18	94.79	347.1	0.782	378.3	549.5	278.6
w17	برزگانی	150.3	178.6	381.6	1.173	286.8	1035	235.4
w18	محمدیه	56.11	76.56	103.5	0.391	238	265.9	105.7
w19	آموزش کشاورزی ۱	96.19	29.17	163.2	0.391	451.5	226.9	24.02
w20	آموزش کشاورزی ۲	12.02	122.7	179.3	0.391	457.6	361.6	38.43
w21	چپکند	70.14	92.36	200	0.391	549.2	375.8	96.06
w22	پارک جنگلی	48.09	61.98	439.1	1.173	530.8	361.3	336.2
w23	بیجد	40.08	54.69	124.1	0.391	640.7	159.5	91.26
w24	حاجی آباد	70.14	91.14	80.46	0.391	451.5	230.4	28.82
w25	پورشمسیان	60.12	72.91	409.2	1.173	482	400.6	365
w26	شمس آباد	70.14	60.76	55.18	0.391	274.6	166.6	81.65
w27	شمس آبادی	80.16	51.04	149.4	0.391	238	322.6	81.65
w28	پوشاد	86.17	20.66	34.48	0.391	317.3	70.91	14.41
w29	نصراآباد	56.11	81.42	34.48	0.391	274.6	120.5	105.7
w30	بند عمرشاه	86.17	20.66	34.48	0.391	317.3	70.91	14.41

بیشترین مقادیر EC در چاه‌های W18 (5007 μS/cm) و W17 (3000 μS/cm) به ترتیب در غرب و مرکز منطقه مطالعه شده به دست آمده است (جدول ۲). می‌توان مقدار بالای EC در این چاه‌ها را به آب و هوای گرم و خشک در منطقه و تبخیر بالای رواناب‌ها و نفوذ شورابه‌های سطحی به آب‌های زیرزمینی نسبت داد. چاه w18 یا چاه محمدیه در پایین دست چاه‌ها قرار دارد. در واقع این چاه، در پست‌ترین قسمت از منطقه مورد مطالعه و پایین دست

در این پژوهش برای بررسی کیفیت منابع آب منطقه، مقادیر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی با استاندارد آب آشامیدنی ۱۰۵۳ ایران [۱۰] مقایسه و چاه‌های آلوده مشخص شدند. میزان سختی منابع آب مشخص و با استفاده از دیاگرام پایپر، تیپ منابع آب تعیین شده است. با استفاده از محاسبه همبستگی (جدول ۶) و تعادل جرمی (جدول ۷)، هیدروژئوشیمی منابع آب بررسی و منشاء احتمالی آنیون‌ها و کاتیون‌ها ارزیابی شدند.

۳-۱- بررسی تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

مقدار مجاز TDS، ۱۵۰۰ mg/L تعیین شده است. با توجه

بیشترین pH متعلق به چاه W20 با pH=8/2 و کمترین مربوط به منابع W18، W14، W8، W1 و W30 با pH=7 است. منابع آب نزدیک به ارتفاعات از pH بالاتری برخوردارند و تشکیلات افیولیتی منطقه نقش به سزایی در مقادیر pH آب زیرزمینی داشته‌اند. حضور اولترامافیک‌ها و سنگ‌های آهکی و لیستونیت‌های کربناته در ارتفاعات بالادست منابع آب و وجود شرایط قلیایی در رسوبات منطقه (pH بین ۸/۶-۹/۹) باعث به وجود آمدن محیطی با pH خنثی تا نسبتاً قلیایی در منابع آب منطقه شده است (جدول ۲).

۳-۲- بررسی غلظت کاتیون‌های اصلی (Mg^{+2} ، Ca^{+2} ، K^{+} و Na^{+})

مقدار استاندارد کلسیم ۲۵۰ ppm تعیین شده است. غلظت کلسیم در کل منابع آب زیر حد استاندارد بوده و بیشترین غلظت Ca در چاه‌های W17 (۱۵۰/۳ ppm) و W19 (۹۶/۱۹ ppm) در مرکز و غرب منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل ۳). بودن کلسیم در آب زیرزمینی را می‌توان به دلیل وجود توده‌های لیستونیتی ناشی از دگرسانی پریدوتیت‌ها و سنگ‌های آهکی و نفوذ شورابه‌های موجود به علت تبخیر بالا در محدوده مطالعه شده دانست.

کلسیت نیز به صورت پرکننده در فضاهای خالی و شکستگی‌های موجود در مجموعه افیولیتی حضور دارد. علاوه بر اینها در بالادست چاه‌های با کلسیم بیشتر شیل‌های کربناتی و آهک‌های ماسه‌ای بسیار زیاد دیده می‌شود.

مینیزیم از جمله کاتیون‌های اصلی و مهم در تعیین سختی و کیفیت آب زیرزمینی است. کانی‌های دولومیت، پیروکسن، آمفیبول و اولیوین حاوی مینیزیم بوده (16) و بودن آنها در یک منطقه می‌تواند باعث افزایش غلظت مینیزیم در منابع آب شود. کربنات‌های کلسیم و مینیزیم در

جاده اصلی قرار گرفته است. بالا بودن غیر عادی EC در این چاه را می‌توان به تأثیر جاده و شستشوی آن (منشاء بشرزاد) نسبت داد.

بیشترین مقدار TSS در چاه‌های W17 (۸۳۴ mg/L) و W18 (۸۱۵ mg/L) در غرب و قسمت مرکزی منطقه، به علت قرار گرفتن این منابع در پایین دست رسوبات آرزیلیتی و کانی‌های رسی دیده می‌شوند. کمترین مقدار TSS در چشمه بند عمرشاه W30 (۹۲/۵ mg/L) دیده می‌شود، که این امر به دلیل قرار گرفتن این منبع آب در مرتفع‌ترین قسمت و نزدیک ارتفاعات از نوع اسپیلیت‌ها است (جدول ۲).

با توجه به حد استاندارد سختی (۵۰۰ میلی‌گرم برلیتر برحسب $CaCO_3$)، سختی کل در ۴۳/۳۳٪ از چاه‌ها بیش از حد مجاز است و بیشترین مقدار در چاه W18 ($1110 \text{ mg/L as } CaCO_3$) که بالاترین EC را نیز دارا است و کمترین در چشمه بند عمرشاه W30 ($300 \text{ mg/L as } CaCO_3$) به دست آمده است. سختی کل نیز در منابع آب منطقه روند افزایشی را از ارتفاعات به سمت پایین دست نشان می‌دهد. سختی منابع آب منطقه با حدود سختی آب‌ها (جدول ۴) مقایسه شده و نشان می‌دهد که آب‌های منطقه به جزء چشمه بند عمرشاه W30 در محدوده آب‌های بسیار سخت قرار می‌گیرند.

جدول (۴) تقسیم‌بندی آب‌ها بر اساس سختی (15)

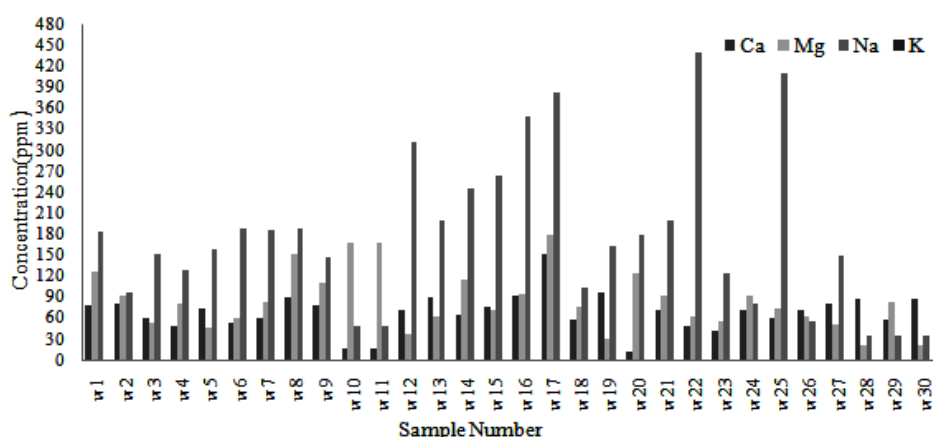
نوع آب	سختی کل ($CaCO_3$ برحسب mg/L)
نرم	$50 >$
نسبتاً سخت	۱۰۰-۵۰
سخت	۳۰۰-۱۵۰
بسیار سخت	>300

حد مجاز pH، ۸/۵-۶ تعیین شده است که بر این اساس pH کل منابع آب منطقه مطالعه شده در حد استاندارد بوده و

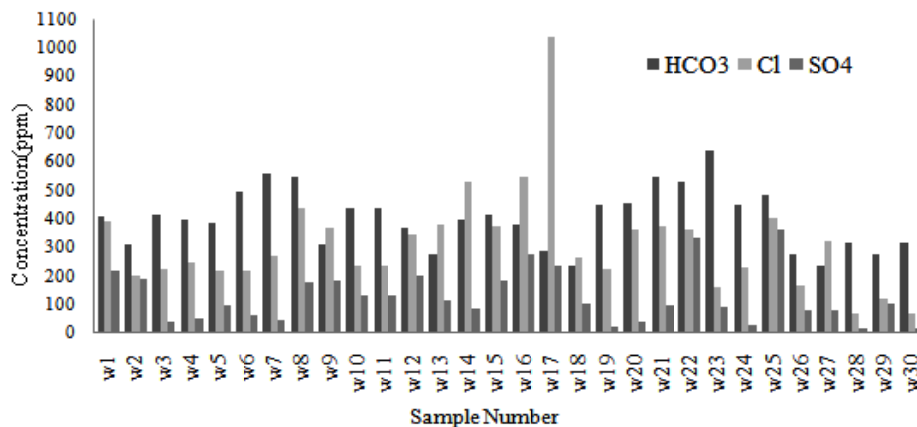
چاه‌های W22، W25، W17، W12، W14، W13 و W21 در قسمت مرکزی و جنوب غرب منطقه بیش از حد مجاز است. به دلیل قابلیت بالای انحلال ترکیبات سدیم‌دار در آب‌ها، حرکت آب‌ها در دشت، با افزایش املاح و غلظت سدیم همراه است. حضور اسپیلیت‌ها (بازالت‌های سدیم‌دار) در ارتفاعات مرکزی و بالادست [۸] را می‌توان دلیل بودن Na^+ بالا در منابع آب منطقه دانست. رسوب بالادست چاه W25 که در مسیر آبراهه‌ای قرار گرفته است به توده‌های اسپیلیتی می‌رسد. تبخیر بالا در منطقه و ایجاد شورابه‌ها نیز می‌تواند عاملی برای افزایش غلظت سدیم در منابع آب محسوب شود. پتاسیم در منابع آب منطقه مورد مطالعه بر خلاف بقیه یون‌ها از غلظت پایینی برخوردار است. منشاء پتاسیم در آب را می‌توان به اسپیلیت‌ها در منطقه مربوط دانست [۱۹]. به دلیل انحلال پذیری بالای پتاسیم، با فاصله از ارتفاعات به سمت دشت بر غلظت آن در منابع آب افزوده می‌شود. استاندارد ۱۰۵۳ میلی ایران حد استاندارد را برای پتاسیم تعیین نکرده است. به جز چاه W25 که نزدیک ارتفاعات است، بیشترین غلظت پتاسیم در نمونه‌های W8، W17 و W25 که در دشت واقع شده‌اند، دیده می‌شود (شکل ۳). حضور شیل‌های کربناته در بالادست چاه W25 نیز می‌تواند موجب افزایش غلظت پتاسیم در آب شده باشد.

pH بالا محلول بوده و در pH پایین غیر محلول‌اند [۱۷]. بیشینه غلظت مجاز منیزیم ۵۰ ppm است. بر این اساس غلظت Mg^{+2} در تمام منابع آب به جزء W5 (۴۶/۱۸ ppm)، W12 (۳۶/۴۶ ppm)، W19 (۲۹/۱۷ ppm)، W28 و W30 بیش از حد استاندارد است. بیشترین آلودگی منیزیم در چاه‌های شرقی و غربی منطقه دیده می‌شود (شکل ۳). حضور لیستونیت‌ها در بالا دست این منابع آب و کانی‌های دولومیت، منیزیت، هونتیت موجود در آنها [۵] و پریدوتیت‌ها که حاوی کانی‌های پیروکسن و اولیوین هستند که سرپانتینی شده‌اند را می‌توان منشاء اصلی منیزیم در منابع آب منطقه مورد مطالعه دانست. سرپانتینی شدن در پریدوتیت‌های توالی افیولیت جنوب بیرجند یک فرایند متغیر است. در بعضی از محل‌ها، این فرایند آنقدر شدید است که سنگ اولیه تقریباً به طور کامل سرپانتینی شده، ولی در پاره‌ای از محل‌ها، این فرایند از ۱۰ الی ۱۵٪ تجاوز نمی‌کند. آب‌هایی که باعث سرپانتینی شدن می‌شوند قلیایی بوده و دارای pH ۱۰ الی ۱۲ است [۱۸]. در فرایند سرپانتینی شدن برخی از کاتیون‌ها از جمله کلسیم و منیزیم آزاد شده و وارد روان آب‌ها می‌شوند.

حد مجاز Na^+ در آب آشامیدنی بر اساس استاندارد ۱۰۵۳ میلی ایران ۲۰۰ mg/L تعیین شده است. غلظت Na در



شکل (۳) تغییرات غلظت کاتیون‌ها در منابع آب منطقه



شکل (۴) تغییرات غلظت آنیون‌ها در منابع آب منطقه

۳-۳- بررسی غلظت آنیون‌های اصلی

آنیون برتر در آب‌های زیرزمینی، یون بی‌کربنات است (HCO₃⁻, SO₄⁻², Cl⁻) که از انحلال سنگ آهک و آلومینوسیلیکات‌ها تولید می‌شود [۴]. بیشترین غلظت بی‌کربنات در چاه‌های W23 (۶۴۰/۷ ppm) و W21 (۵۴۹/۲ ppm) که در قسمت تقریباً مرکزی منطقه قرار می‌گیرند، دیده می‌شود (شکل ۴). در کل به دلیل نبودن استاندارد برای بی‌کربنات، نمی‌توان آلوده بودن یا نبودن چاه‌ها را نسبت به HCO₃⁻ مشخص کرد. شیل‌های کربناته و لیستونیت‌های کربناتی و سنگ‌های آهکی و آهک‌های ماسه‌ای در دامنه ارتفاعات و در بالادست منابع آب، می‌توانند منشاء بی‌کربنات در آب زیرزمینی منطقه باشند.

غلظت سولفات ۴۰۰ ppm در آب آشامیدنی تعیین شده است. بر این اساس غلظت SO₄⁻² در تمام منابع آب زیر حد استاندارد است و منابع نسبت به سولفات آلوده نیست. بیشترین غلظت سولفات در چاه‌های W16 (۲۷۸/۶ ppm) و W17 (۲۳۵/۴ ppm) در قسمت مرکزی منطقه مطالعه شده دیده می‌شود (شکل ۴). احتمال حضور سولفیدهای توده‌ای در درون اسپیلیت‌ها در ارتفاعات و بالادست آبراهه‌های اصلی به خصوص در قسمت مرکزی منطقه را می‌توان عامل اصلی سولفات در منابع آب دانست. در واقع تبدیل

سولفیدها به سولفات در اثر هوازدگی و حلالیت بالای سولفات و آبشویی سازندهای سولفات‌ها باعث ورود سولفات از سنگ‌های منطقه به آب زیرزمینی است.

یون کلرید از یون‌های رایج در آب‌های زیرزمینی و سطحی است که همراه با عناصر سدیم و پتاسیم یافت می‌شود. لیستونیت‌ها، سنگ‌های آهکی و شیل‌های آهکی همه در بالادست منابع آب که دارای غلظت بالای کلر است، قرار گرفته‌اند. البته حضور شورابه‌ها در منطقه را نیز می‌توان منشاء کلر در نظر گرفت. با توجه به استاندارد ۱۰۵۳ ملی ایران که حد مجاز کلر در آب آشامیدنی را ۴۰۰ ppm تعیین کرده است، غلظت Cl⁻ در ۱۶/۶۶٪ از چاه‌های منطقه، از جمله W8 (۴۳۹/۶ ppm)، W14 (۵۳۱/۸ ppm)، W16 (۵۴۹/۵ ppm)، W17 (۱۰۳۵ ppm) و W25 (۴۰۰/۶ ppm) بیش از حد استاندارد است که در مرکز و غرب منطقه مطالعه شده قرار دارند. کلر نیز از جمله آنیون‌هایی است که گذراندن مسافت بیشتر در آب‌های زیرزمینی باعث افزایش غلظت آن می‌شود. کمترین مقدار کلر در قنوات و چشمه بند عمرشاه که در ارتفاعات قرار دارند دیده می‌شود.

۳-۴- تعیین تیپ و رخساره منابع آب منطقه

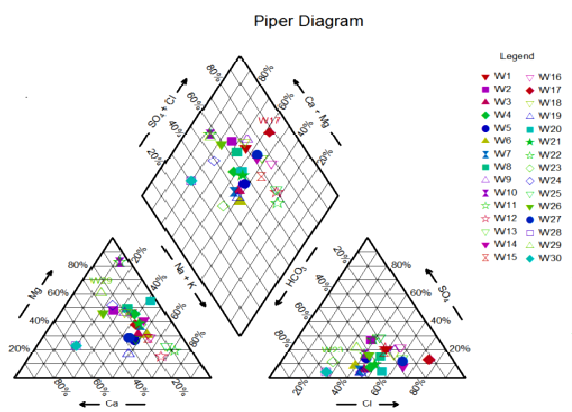
برای مشخص کردن تیپ آب در منابع آب منطقه از غلظت

دشت در فاصله دورتر از ارتفاعات قرار دارند. در منابع آب نزدیک ارتفاعات تیپ Ca-HCO_3 دیده می‌شود.

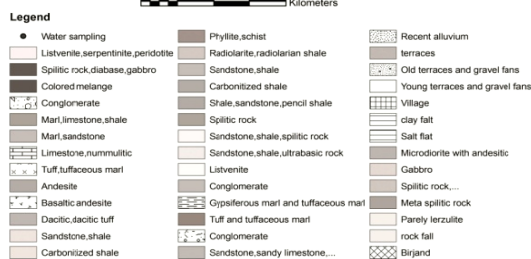
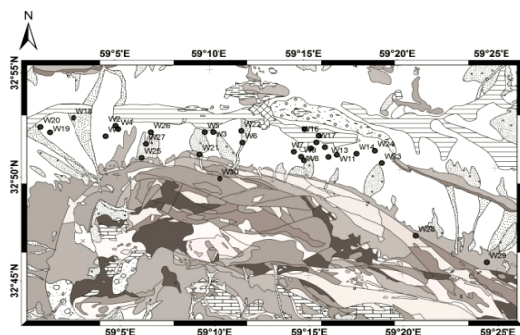
۳-۵- بررسی منشأ پارامترهای هیدروژئوشیمیایی

۳-۵-۱- محاسبه همبستگی

همبستگی بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و آنیون‌ها و کاتیون‌های اندازه‌گیری شده در منابع آب دشت محاسبه و مقدار آنها در جدول ۶ آورده شده است.



شکل (۵) نمودار پایپر منابع آب منطقه مطالعه شده



شکل (۶) نقشه زمین شناسی منطقه مطالعه شده و نقاط نمونه‌برداری

کاتیون‌های اصلی (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2}) و آنیون‌های اصلی (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) استفاده شده است. با استفاده از داده‌های ارائه شده در جدول ۳، نمودار پایپر (شکل ۵) رسم شده و تیپ و رخساره منابع آب منطقه در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که ۳۶٪ از منابع آب منطقه دارای تیپ کلروره-سدیک و تیپ چاه‌های W1، W2، W4، W8، W9، W18 و W26 از نوع کلروره-منیزیک و چاه‌های W3، W5، W6، W7، W19 و W23، بی‌کربنات-سدیک و چاه‌های W10، W11، W24 و W29، بی‌کربنات-منیزیک و قنات بوشاد (W28) و چشمه‌بند عمرشاه (W30)، تیپ بی‌کربنات-کلسیک است.

جدول (۵) تیپ و رخساره منابع آب منطقه مطالعه شده

شماره منبع	نام منبع	تیپ و رخساره	شماره منبع	نام منبع	تیپ و رخساره
W1	چاه ۶ رکات	Mg-Cl	W16	بوستان مهدیه	Na-Cl
W2	چاه ۵ رکات	Mg-Cl	W17	بزرگانی	Na-Cl
W3	چاه ۱۰ رکات	Na-HCO3	W18	محمدیه	Mg-Cl
W4	چاه ۸ رکات	Mg-Cl	W19	آموزش کشاورزی ۱	Na-HCO3
W5	چاه ۹ رکات	Na-HCO3	W20	آموزش کشاورزی ۲	Mg-Cl
W6	چاه ۱۱ رکات	Na-HCO3	W21	چهکنده	Na-Cl
W7	چاه ۱۰ علی آباد	Na-HCO3	W22	پارک جنگلی	Na-Cl
W8	چاه ۶ علی آباد	Mg-Cl	W23	بجد	Na-HCO3
W9	چاه ۷ علی آباد	Mg-Cl	W24	حاجی آباد	Mg-HCO3
W10	چاه ۱۲ علی آباد	Mg-HCO3	W25	پورشمیان	Na-Cl
W11	چاه ۱۳ علی آباد	Mg-HCO3	W26	شمس آباد	Mg-Cl
W12	چاه ۸ علی آباد	Na-Cl	W27	شمس آبادی	Na-Cl
W13	چاه ۱۱ علی آباد	Na-Cl	W28	بوشاد	Ca-HCO3
W14	چاه ۱۴ علی آباد	Na-Cl	W29	نصرآباد	Mg-HCO3
W15	اداره راه	Na-Cl	W30	بند عمرشاه	Ca-HCO3

واحدهای سنگی منطقه که بیشتر از نوع کربناته (سنگ‌های آهکی، لیستونیت‌های کربناته، شیل‌های آهکی) بوده (شکل ۶) و همچنین بودن سنگ‌های پریدوتیتی که دارای کانی‌های کلسیم‌دار پیروکسن و آمفیبول و کانی‌های فرومنیزین است و اسپیلیت‌ها (بازالت‌های سدیم‌دار) در ارتفاعات، باعث می‌شوند که تیپ منابع آب منطقه از تنوع برخوردار باشند. به دلیل حلالیت بالای Cl، چاه‌های با تیپ Na-Cl به صورت متمرکز به سمت پایین دشت و در قسمت شرقی منطقه و چاه‌های با تیپ Mg-Cl و Na-HCO3 به صورت پراکنده در

جدول (۶) همبستگی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی و پارامترهای فیزیک و شیمیایی در نمونه‌های آب (مقادیر بالاتر از ۰/۶ ضخیم شده‌اند)

	Ca	Cl	K	Mg	Na	HCO3	SO4	PH	EC	TH	TDS	TSS
Ca	1											
Cl	0.184	1										
K	0.352	0.41	1									
Mg	0.614	0.564	0.322	1								
Na	-0.283	0.713	0.792	-0.376	1							
HCO3	-0.38	0.71	0.229	0.115	0.129	1						
SO4	0.307	0.297	0.375	0.197	0.739	0.252	1					
PH	0.141	0.019	0.023	-0.002	0.141	-0.309	0.235	1				
EC	0.71	-0.181	0.184	0.178	0.041	-0.181	0.308	-0.35	1			
TH	0.178	0.023	0.081	0.41	0.322	0.019	0.235	0.081	0.71	1		
TDS	0.307	0.041	0.3469	0.375	0.197	-0.376	0.308	-0.138	-0.094	0.023	1	
TSS	0.173	0.297	0.019	0.336	0.197	-0.376	0.235	-0.138	0.614	0.641	0.346	1

جدول (۷) مقادیر بحرانی در روش تعادل جرمی (۸)

نتیجه گیری	مقدار	پارامتر
احتمال انحلال شیشه آتشفشانی یا آبهای گرمابی	> 0/5	$SiO_2(mmol/L)$
هوازگی کربنات‌ها	> 0/1	HCO_3/SiO_2
مبهم	5 < , < 10	
هوازگی سیلیکات‌ها	< 5	
هوازگی همزمان دولومیت و سنگ آهک	< 0/5	$Mg^{+2}/(Mg^{+2} + Ca^{+2})$
انحلال دولومیت، ته‌نشینی کلسیت، یا آب دریا	> 0/5	
تبادل کاتیون	> 1	$SiO_2/(Na^+ + K^+ - Cl)$
هوازگی آلپیت	1 > , > 2	
کانی‌های فرومنینزین	< 2	
هوازگی احتمالی پلاژیوکلازها	0/2 < , < 0/8	$(Na^+ + K^+ - Cl)/(Na^+ + K^+ - Cl + Ca^{+2})$
هوازگی غیر محتمل پلاژیوکلاز	0/2 > , , > 0/8	
منبع سدیم از منابعی به جزء حالت-آلپیت، تبادل یون	0/5 <	$Na^+/(Na^+ + Cl)$
انحلال حالت	0 =	
نرم شدن معکوس، آب دریا	(500 < TDS < 0/5)	
خطای تجزیه	(500 > TDS > 50) > 0/5	
آب باران	(50 < TDS) < 0/5	
انحلال ژپیس	5/0 =	$Ca^{+2}/(Ca^{+2} + SO_4^{2-})$
اکسیداسیون پیریت	5/0 > , 5/5 > pH	
حذف کلسیم-تبادل یون یا رسوب کلسیت	> 0/5 ، pH خنثی	
کلسیم از منابعی به جزء ژپیس-کربنات‌ها یا سیلیکات‌ها	0/5 <	$Cl/Sum Anions$
آب دریا، شورابه‌ها یا تبخیر	(500 < TDS < 0/8)	
آب باران	(100 > TDS > 0/8)	
هوازگی سنگ	< 0/8	$HCO_3/Sum Anions$
هوازگی کربنات یا سیلیکات	0/8 <	
انحلال ژپیس	> 0/8 و سولفات بالا	
آب دریا یا شورابه	0/8 و سولفات پایین	

جدول (۸) مقدار محاسبه شده در روش تعادل جرمی برای منابع آب منطقه

منبع آبی	SiO ₂	منبع آبی	HCO ₃ /SiO ₂	(Na+K-Cl)		منبع آبی	Na/(Na + Cl)
				(Na+K-Cl+Ca)			
W30&W1	۹۸/۰ تا ۴۱/۰	انحلال شیشه آتشفشانی یا ورود آبهای گرمایی	۱۴/۱۶ تا ۱۱/۶	هوازدهگی کربناتها	W5, W6, W7, W12, W15, W19, W23	۶۸/۰ تا ۲۲/۰	انحلال آلیت یا تبادل یون
-	-	-	-	-	W3, W22	۶۸/۰ تا ۱۷/۰	نرم شدن معکوس
منبع آبی	Mg/(Mg+Ca)	منبع آبی	Ca/(Ca+SO ₄)	منبع آبی	Cl/sum Anions	منبع آبی	HCO ₃ /Sum Anions
W3, W5, W6, W7, W8, W10, W11, W14, W15, W16, W20, W21, W22, W23, W24	۹۴/۰ تا ۵۱/۰	انحلال دولومیت و رسوب کلسیت	۵۵/۰ تا ۴۵/۰	انحلال ژپس	W30&W1	۶۶/۰ تا ۲۷/۰	حضور شورابه‌ها
W19, W28, W30	۳۳/۰ تا ۲۸/۰	هوازدهگی سنگ آهک - دولومیت	۹۳/۰ تا ۶/۰	ورود Ca از منابع غیر ژپس (کربناتها و سیلیکاتها)			
-	-	-	۴۴/۰ تا ۲۲/۰	حذف Ca به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربنات کلسیم			

حاصل از محاسبه تعادل جرمی در منابع آب منطقه در جدول ۸ آورده شده است. با توجه به جدول ۷، غلظت بالاتر از ۰/۵ در مورد SiO₂ به انحلال شیشه آتشفشانی و یا ورود آب‌های گرمایی نسبت داده می‌شود. ۷۳٪ از منابع آب منطقه غلظت بالاتر از ۰/۵ دارند و کمترین مقدار آن در چشمه بند عمرشاه (SiO₂=0.41) به دست آمده است. با توجه به حضور افیولیت‌ها در بالادست منابع و همچنین سنگ‌های آتشفشانی (اسپیلیت‌ها)، احتمال بودن سیلیس از انحلال بخش شیشه‌ای اسپیلیت‌ها در منطقه وجود دارد.

نسبت SiO₂/(Na+K-Cl) در چاه‌های W5, W6, W12, W15, W19, W22 و W23 مقدار کمتر را دارا است. که نشان از تأثیر تبادل یونی در حضور Na و K در آب زیرزمینی دارد. این نسبت در چاه‌های W3 (۱/۹۵) و W7 (۱/۴۳) مقدار بیشتر از یک و در مورد چاه W3 به عدد ۲ نزدیک است که می‌تواند نشان از هوازدهگی آلیت‌های درون اسپیلیت‌ها باشد.

نسبت (Na+K-Cl)/(Na+K-Cl+Ca) در منابع آب بین ۰/۲-۰/۸ به دست آمده است، پس احتمالاً هوازدهگی پلاژیوکلازها را می‌توان منشأ Ca در نظر گرفت.

با استفاده از نسبت Na/(Na+Cl) نیز می‌توان منشأ Na را مشخص کرد. این نسبت در ۳۰ درصد از منابع آب بین

همبستگی مثبت Mg^{+۲} با Ca^{+۲} (۰/۶۱۴) نشان از هم منشأ بودن آنها است. لیستونیت‌های کربناتی به دست آمده از پریدوتیت‌های دگرسان شده و سنگ‌های آهکی در منطقه و حضور کانی‌های غنی از Ca^{+۲} و Mg^{+۲} از جمله کلسیت، دولومیت، هونیت و منیزیت در منطقه مطالعه شده [۱۵] تأییدی بر منشأ یکسان عناصر منیزیم و کلسیم در آب و ارتباط بین آنها است. EC با TH (۰/۷۱۰) و Ca^{+۲} (۰/۷۱۰) و TH با TSS (۰/۶۱۱) همبستگی مثبت نشان می‌دهند. به طور کلی همبستگی مثبت پارامترهای اصلی نشان از منشأ مشترک کاتیون‌ها و آنیون‌ها در منابع آب منطقه دارد.

۳-۵-۲- محاسبه تعادل جرمی

از جمله واکنش‌های کنترل‌کننده مؤثر در انتقال عناصر اصلی و غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌ها با منشأ طبیعی در آب زیرزمینی، می‌توان به انحلال، هوازدهگی، تبادل یونی، تبخیر و... اشاره کرد.

با محاسبه تعادل جرمی با استفاده از غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی، به وسیله نرم‌افزار WATEVAL [۸]، عوامل مؤثر و منشأ یون‌ها در منابع آب مشخص می‌شود. مراحل محاسبه و مقادیر تعادل جرمی در جدول ۷ و نتایج

۴- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از این پژوهش را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- با توجه به بالا بودن مقدار برخی از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی و غلظت آنیون ها و کاتیون ها (بیش از حد مجاز در استاندارد ۱۰۵۳ ایران)، ۵۰٪، ۳۰٪ و ۱۰٪ در منابع به ترتیب به عناصر منیزیم و سدیم و کلرآلوده است.

- حضور Mg^{+2} در لیستونیت های دگرسان شده از سنگ های اولترامافیک موجود در ارتفاعات بالادست منابع آبی، می تواند دلیل افزایش غلظت عنصر Mg^{+2} در منابع آبی باشد.

- بررسی نحوه توزیع عناصر بر روی نقشه زمین شناسی منطقه ارتباط کامل بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در منابع آب را با زمین شناسی منطقه تایید می کند.

- با بررسی میزان سختی در آب های منطقه، تمام منابع آب به جزء W30 در محدوده آب های بسیار سخت قرار می گیرند.

- تیپ ۳۶/۶٪ از منابع آب از نوع کلروره- سدیک و بقیه کلروره- منیزیک، بیکربنات- سدیک، بیکربنات- منیزیک و در نمونه W30 هم تیپ بیکربنات- کلسیک به دست آمد.

- محاسبه تعادل جرمی برای کاتیون ها و آنیون های منابع آب نیز ارتباط شرایط زمین شناسی منطقه را با ویژگی های هیدروژئوشیمی منابع آب دشت تأیید و تأکید می کند.

- حضور Na^+ و K^+ در منابع آب زیرزمینی را می توان ناشی از فرایند تبادل یونی با منشاء هوازدگی سنگ های اولترامافیک، هوازدگی کانی های فرومنیزین و لیستونیت های کربناته دانست.

- منشاء Ca^{+2} را هوازدگی پلاژیوکلاز و منشأ Mg^{+2} را علاوه بر هوازدگی لیستونیت ها، انحلال دولومیت و رسوب کلسیت می توان در نظر گرفت.

۰/۶۵ تا ۰/۵۱ به دست آمده است که نشان می دهد، منشاء اصلی Na^+ از منابعی به غیر از هالیت آلیت است. تنها سنگ غنی از سدیم در منطقه اسپیلیت است. در ۶۰٪ از منابع آب هم این نسبت ۰/۴۹-۰/۲۴ بدست آمده است که با توجه به مقدار $TDS > 500$ ، نرم شدگی معکوس (جایگزینی دیگر یون ها به جای Na و آزاد شدن آن در محیط) را می توان دلیل بودن Na^+ دانست. نسبت $Mg/(Mg+Ca)$ در حدود ۰/۸۳ از منابع آب بین ۰/۹۴ تا ۰/۵ به دست آمده است. انحلال رگه های منیزیتی و دولومیتی می تواند باعث آزادسازی Mg^{+2} شده باشد.

نسبت $Ca/(Ca+SO_4)$ که در حدود ۰/۵۷ از منابع آب مقدار ۰/۹ تا ۰/۶ به دست آمده است، نشان می دهد که منشاء دیگری برای Ca^{+2} یعنی کربنات ها و سیلیکات ها وجود دارد. البته انحلال ژیپس و حذف کلسیم به دلیل تبادل کاتیون یا رسوب کربنات کلسیم نیز می تواند در حضور یا عدم حضور Ca^{+2} نقش داشته باشند. مارن های دارای ژیپس در دامنه های جنوبی رکات وجود دارند.

با استفاده از نسبت های Cl/Sum Anions و HCO_3/Sum Anions می توان به ارتباط بین آب و سنگ پی برده و عوامل مؤثر بر حضور آنیون ها (HCO_3 و Cl) را مشخص کرد. با توجه به مقادیر Cl به مجموع آنیون ها ($< 0/8$)، عامل هوازدگی سنگ ها می تواند دلیل اصلی وجود Cl^- در آب زیرزمینی باشد. نسبت HCO_3 به مجموع آنیون ها کمتر از ۰/۸ است. با توجه به سولفات بالا، معلوم می شود که حضور شورا به ها در منطقه ناشی از تبخیر بالا می تواند یکی از منشاء های حضور بی کربنات در منابع آبی باشد. البته با توجه به نسبت HCO_3/SiO_2 در منابع آب، هوازدگی کربنات ها را می توان عامل اصلی حضور بی کربنات در آب زیرزمینی دانست، که این مورد با توجه به زمین شناسی منطقه تأیید می شود.

۵- سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های مالی و همکاری‌های زیاد شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان جنوبی و دانشگاه صنعتی شاهرود در قالب طرح پژوهشی انجام شده بین دو طرف تشکر و قدردانی کنند. امید است نتایج این پژوهش گامی مؤثر در راه پیشبرد اهداف دو سازمان باشد.

۶- منابع

- [۷] سیدآر، ک. و همکاران، ترجمه موسوی، غ، "مهندسی آب". انتشارات حافظ، (۱۳۸۴).
- [8] Hounslow, A, W. Goff, K, D, "WATEVAL program, ver 8.10", Geology Department-Oklahoma State university, (1995).
- [9] بسکابادی، ا، "بررسی آلودگی فیزیکوشیمیایی در آبهای زیرزمینی دشت طبسین و زمین‌پزشکی منطقه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، (۱۳۹۰).
- [۱۰] ثوابی، غ، "آلودگی آب‌های زیرزمینی در دشت مختاران (بخش شمالی کوه شاه جنوب بیرجند) بر پایه اطلاعات ژئوشیمی منطقه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، (۱۳۸۹).
- [11] Gurrieri, J.T. Furniss, G," Estimation of groundwater exchange in alpine lakes using non-steady mass-balance methods", Journal of Hydrology, Volume 297, Issues 1-4, (2004), Pages 187-208.
- [12] Yamanaka, M. Nakano, T. Tase, N," Hydrogeochemical evolution of confined groundwater in northeastern Osaka Basin, Japan: estimation of confined groundwater flux based on a cation exchange mass balance method", Applied Geochemistry, Volume 20, Issue 2, (2005), Pages 295-316.
- [۱۳] شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، "گزارش تمديد ممنوعیت دشت بیرجند"، دفتر مطالعات پایه منابع آب، (۱۳۸۷).
- [۱۴] استاندارد ۱۰۵۳ آب آشامیدنی ایران، موسسه استاندارد و پژوهشات صنعتی ایران، (۱۳۷۱).
- [۱۵] پوی، ه، س. روو، د. ر. چپانوگلاس، ج، ترجمه ابراهیمی، س. کی نژاد، م، ع، "مهندسی محیط زیست" دانشگاه صنعتی سهند، چاپ دوم، (۱۳۸۲).
- [1] Edmunds, W., M. Shand, P. Hard, P.Ward, R, S,"The natural (baseline) quality of groundwater in England and Wales: A UK pilot study", The Science of the Total Environment, (2003), 310, 25-35.
- [2] Karavoltsova, S. Sakellari, A. Mihopoulos, N. Dassenakis, M. Scoullou, M, J,"Evaluation of the quality of drinking water in regions of Greece", Desalination, (2008), 224, 317-329.
- [3] Al-Rawajfeh, A, E. Al-Shamaileh, E, M,"Assessment of tap water resources quality and its potential of scale formation and corrosivity in Tafila Provinc", South Jordan. Desalination, (2007), 206: 322-332.
- [۴] حیدری، م، م، (۱۳۸۸)، "کیفیت آب زیرزمینی دشت کاشان از لحاظ مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی"، مجموعه مقالات همایش ملی: الگوهای توسعه پایدار در مدیریت آب، شرکت مهندسی مشاور مهتاب ثامن مشهد.
- [۵] دهرآزما، ب. ساغروانی، ف. سعیدی، س، (۱۳۸۸)، "ارزیابی میزان آلودگی در آب آشامیدنی روستاهای شمال شاهرود"، اولین کنفرانس بین‌المللی منابع آب، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- [۶] برد، کالین، ترجمه عابدینی، منصور، "شیمی محیط زیست"، نشر دانشگاهی تهران، (۱۳۸۶).

- [۱۹] زرین کوب، م، ح. امینی، ص. آفتابی، ع. کریم پور، م، ح، "کانی شناسی، زمین شیمی، موقعیت ساختمانی و ارایه مدل ژنتیکی برای لیستونیت های خاور ایران"، سیزدهمین همایش بلورشناسی و کانی شناسی ایران، (۱۳۸۴).
- [16] Appelo, C A, J. Postma, D, "Geochemistry, groundwater and pollution", Balkema, Rotterdam, (1994),p:683.
- [17] Mason, B. Moore, C, B, "Principles of geochemistry", John Willey and Sons, (1982), p:345.
- [18] Hyndman, D,W. "Petrology of igneous and metamorphic rocks", second Edt. Mc. Graw-Hill Book company, (1986),P:786.

Investigation on the Quality of Groundwater Resources of South of Birjand Plain Using Mass Balance Techniques

B. Dahrazma^{1*}, S.M. Mousavi²

1- Assistant Professor, Department of Environmental Geology, Shahrood University of Technology

2- M.Sc. Student of Environmental Geology, Shahrood University of Technology

Behnaz_dahrazma@yahoo.com

Abstract:

Groundwater is of important drinking water resources. The quality of those water resources which are not affected by human activities, is characterized by local geological conditions. The present research was conducted in order to investigate the quality of water resources located in the south of Birjand plain, South Khorasan Province, using mass balance techniques. This research dealt with the quality assessment and the distribution pattern of physico-chemical parameters (anions and cations, pH, EC, TSS, TDS, and TH) in the groundwater resources in the region resulting in indentifying the contamination resources. Also, the origins of anions and cations in the groundwater resources as well as their connection with the geological characteristics of the region were evaluated by employing the mass balance techniques.

The water sampling was performed systematically based on the distribution wells over the plain, with regard to the distances, and perpendicular to the topographical lines from the heights toward the lower plains down to the main river, 3 kilometers apart across the plain. In average, one third of whole wells in the study area were selected for sampling. The samples were taken during the end of dry season (October 2010) from 27 wells, 2 Qanats, and 1 spring.

The cations (Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , and K^+), anions (HCO_3^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , and Cl^-), TSS, TDS, pH, and the total hardness of the water samples were measured in the Water, Soil, and Plant Laboratory, Kavosh Ab Shargh Khorasan Jonobi Engineering Services Co.

To assess the quality of the water resources in the region, in this research the physico-chemical properties of water samples were compared with ISIRI 1053 to identify the contaminated wells. The hardness of the samples was measured and the water resources types were identified using Piper Diagram. Also, through calculating the correlation factors and mass balance, hydrogeochemistry of water resources and probable origin of cations and anions were assessed.

The results showed that 50%, 30%, and 10% of the groundwater resources are contaminated with magnesium, sodium, and chloride respectively. The petrological studies verified the presence of ophiolite sequence. A set of ultramafic rocks and basic magma (spilites) with wide developments in southern heights of Birjand plain which had the most effects on the water quality of the region.

The water resources contaminations in the region may be due to the presence of listonites from the alteration of ultramafic rocks existed in highlands, upstream of the groundwater

Abstracts

resources. 96% of groundwater resources are classified as very hard water. The types of groundwater vary from carbonated calcic in highlands to chloride sodic in downstream and east of the region due to high solubility of Na^+ and Cl^- existing in the soil. %36.6 of water resources were chloric-sodic and the rest were classified as chloric-magnesian, bicarbonate-sodic, and bicarbonate-magnesian.

The correlation analysis of the parameters indicated that sodium has a very high correlation with chloride, potassium, and sulfate. The positive correlation of Mg^{2+} with Ca^{2+} (+0.614) is an indication of the same origin for both ions. Also, EC with TH (+0.710) and Ca^{2+} (+0.710) and TH with TSS (+0.641) show positive correlation. In general, these positive correlations indicate the common geogenic origin of cations and anions in water resources of the region.

WATEVAL software was employed for calculating the mass balance using the concentration of anions and cations to find the effective parameters and origin of ions in the water resources. These calculations verify and emphasize on the influence of geological conditions of the region on hydrogeochemical properties of water resources of the plain.

Mass balance analysis denotes that the origin of sodium and potassium could be the ion exchange process originated from weathering of mafic rocks (spilites) while the calcium may be released due to weathering of plagioclases of sub-volcanic mass, ferromagnesian minerals, carbonated listonite, and dissolution of limestone in the region.

Keywords: Groundwater quality, Contamination, Mass balance, South of Birjand plain.