

ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت شمال قوچان (خراسان رضوی) جهت مصارف آشامیدن و صنعتی

نجمه رخس ماه^۱، محمد حسین محمودی قرایی^۲، اسداله محبوبی^۳ و رضا موسوی حرمی^۳

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۰

چکیده

هدف از این مطالعه ارزیابی کیفی آب‌های زیرزمینی جهت مصارف آشامیدن و صنعتی با اشاره به عوامل تأثیرگذار بر شیمی این آب‌ها در دشت شمال قوچان واقع در استان خراسان رضوی است. بدین منظور غلظت یون‌های اصلی (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}) در ۱۷ نمونه آب زیرزمینی اندازه‌گیری شد. پارامترهای دما (T)، pH و هدایت الکتریکی (EC) نیز هنگام نمونه‌برداری اندازه‌گیری شدند. ترکیب شیمیایی آب‌ها بر اساس نمودار پایپر (Piper)، ۲۹/۴٪ کلسیم سولفات (Ca-SO₄)، ۲۳/۵٪ سدیم سولفات (Na-SO₄)، ۲۳/۵٪ سدیم سولفات (Mg-SO₄)، ۱۱/۸٪ سدیم بی‌کربناته (Na-HCO₃)، ۵/۸٪ کلسیم بی‌کربناته (Ca-HCO₃) و ۵/۸٪ منیزیم بی‌کربناته (Mg-HCO₃) تعیین شدند. بر اساس نمودار گیبس (Gibbs)، عامل اصلی کنترل‌کننده شیمی آب‌ها فرایند برهم‌کنش آب - سنگ است. بر اساس نمودار شولر (Schoeller Diagram)، اکثر نمونه‌ها از نظر آشامیدن در رده‌های متوسط و قابل قبول قرار دارند. همچنین از نظر شاخص کیفی آب (WQI)، ۷۰/۵۹ درصد آب‌ها برای آشامیدن مناسب هستند. کاهش کیفیت برخی نمونه‌ها جهت مصارف آشامیدن مرتبط با افزایش یون سولفات است. شاخص لائزلیه (LSI) نشان داد ۸۲/۳۵ درصد نمونه‌ها رسوب‌گذار و ۱۷/۶۵ درصد (از جمله نمونه‌های برداشت شده از شهرک صنعتی قوچان) خورنده هستند. هر دو ویژگی رسوب‌گذاری و خوردگی آب‌ها می‌تواند پیامدهایی مانند مسدود شدن و یا تخریب لوله‌ها در تأسیسات و حتی اثرات منفی بر سلامت انسان را به دنبال داشته باشند. علت رسوب‌گذار بودن آب‌های محدوده دشت قوچان را می‌توان به بالا بودن سختی کل (TH) و وجود سازندهای آهکی نظیر مزدوران نسبت داد. همچنین، انحلال ژپس موجود در سازند شوربجه و افزایش غلظت سولفات می‌تواند دلیل خورنده بودن برخی نمونه‌های آب باشد.

کلید واژه‌ها: کیفیت آب، دشت قوچان، آشامیدن، خوردگی، رسوب‌گذاری

* نویسنده مسئول: محمد حسین محمودی قرایی

E-mail: mhmgharaie@um.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

خوردگی نقش دارند (Hoseinzadeh et al., 2013; Amini et al., 2015). طی فرایند رسوب‌گذاری کاتیون‌های فلزی دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم با سایر مواد محلول در آب واکنش داده و به اشکال کربنات کلسیم، کربنات منیزیم، سولفات کلسیم و کلرید منیزیم ته‌نشین می‌شوند (Ryznar, 1944). رسوب‌گذاری می‌تواند سبب مسدود شدن لوله‌ها، کاهش میزان جریان آب، افزایش مصرف انرژی و هزینه پمپاژ شود (Farley and Trow, 2016).

بررسی ترکیب شیمیایی آب‌ها می‌تواند در جلوگیری از خطرات احتمالی بر سلامت انسان مؤثر بوده و به حفظ سلامت جامعه بیانجامد. مقایسه با استانداردهای بین‌المللی مانند سازمان بهداشت جهانی (WHO)، نمودارهای پایه مانند شولر (Schoeller, 1955) و شاخص‌های کیفی (Water quality indices) مختلف عنوان ابزاری جهت طبقه‌بندی آب‌های آشامیدنی توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است (Jerome and Piuse, 2010; Ketata-Rokbani et al., 2011; Kishore and Hanumantharao, 2010; Khanoranga and Khalid, 2018). مزایای استفاده از شاخص‌های کیفی آب (WQI) این است که بر اساس چندین پارامتر فیزیکی-شیمیایی می‌توان آب‌ها را به رده‌های مناسب و نامناسب جهت آشامیدن تقسیم بندی نمود.

با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی و با در نظر گرفتن این موضوع که کشور ایران جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود، در این مطالعه به بررسی کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی دشت قوچان جهت مصارف آشامیدن و صنعت با استفاده از شاخص‌های مختلف و با اشاره بر فرایندهای شیمیایی تأثیرگذار بر این آب‌ها پرداخته شده است.

بررسی کیفیت آب به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک که آب‌های زیرزمینی به عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده آب هستند، بسیار حائز اهمیت است (Sener et al., 2017; Kawo and Karuppannan, 2018; Khanoranga and Khalid, 2018). از سوی دیگر، به موازات افزایش جمعیت در دنیا، نیاز آبی در بخش‌های خانگی، صنعتی و کشاورزی نیز به شکل قابل توجهی افزایش یافته و در نتیجه استفاده بیش از حد از منابع آبی را به همراه داشته است (Heydari et al., 2012). بنابراین برای حفظ و مدیریت هر چه بهتر منابع آبی تأمین‌کننده حیات انسان، بررسی کیفیت آب‌ها جهت مصارف مختلف مانند آشامیدن و صنعت ضروری است. تغییر کیفیت آب‌ها می‌تواند متأثر از برهم‌کنش بین آب و سنگ، تبخیر و نوسانات غلظت با توجه به میزان بارش و منابع آلاینده انسان‌زاد مانند فاضلاب‌های صنعتی باشد. آب زیرزمینی در مسیر حرکت خود از منطقه تغذیه به تخلیه، انواع واکنش‌های شیمیایی را با فازهای جامد مختلف از جمله رسوبات و سنگ‌های بستر آبخوان انجام می‌دهد. این واکنش‌ها بسته به ماهیت شیمیایی آب اولیه، سازندهای زمین‌شناسی و زمان اقامت آب متفاوت است (Sarkar et al., 2007).

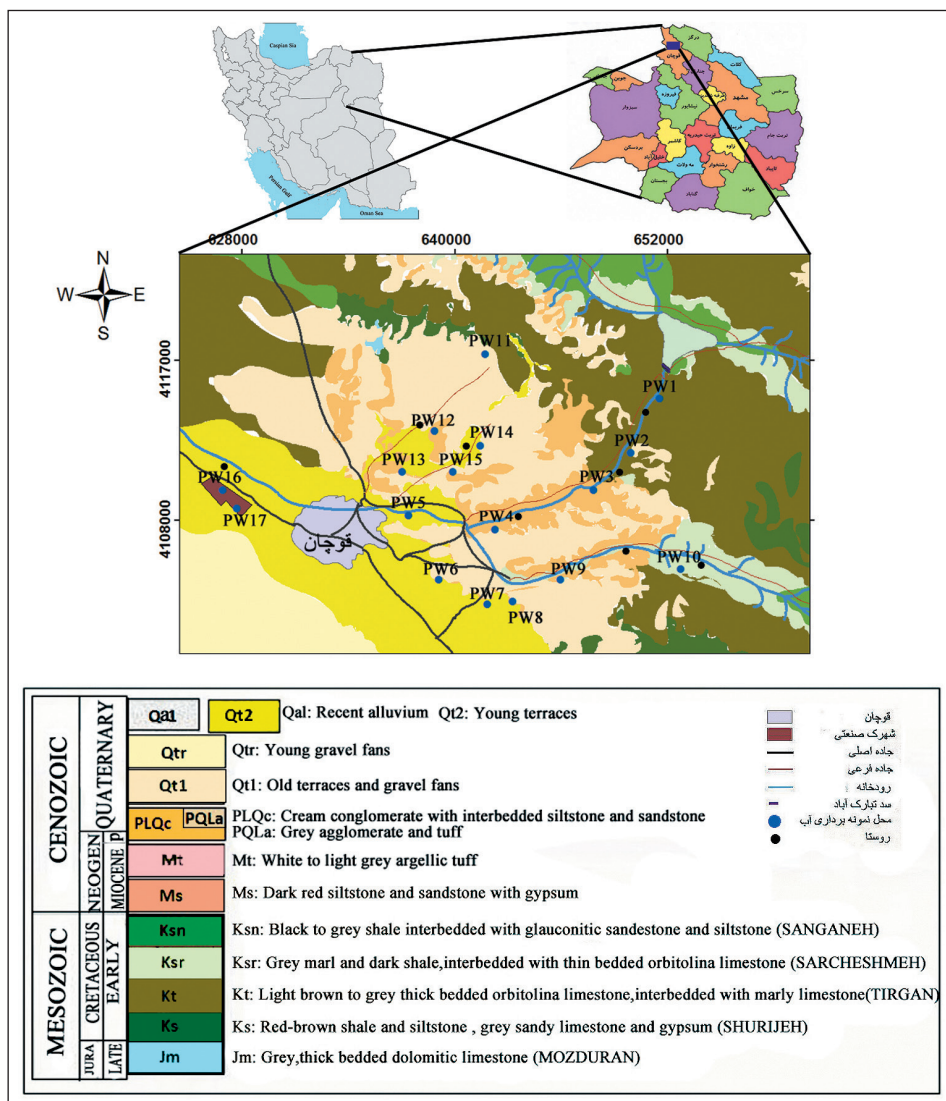
ترکیب شیمیایی آب‌ها عامل تعیین‌کننده رسوب‌گذاری و خوردگی در تأسیسات آبی است. پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری از مهم‌ترین شاخص‌ها در ارزیابی آب‌ها برای مصارف صنعتی هستند (Amini et al., 2015). خوردگی یک فرایند فیزیکی-شیمیایی است که بین آب و یک ماده در محیط اطراف رخ می‌دهد (Angell, 1999; Dietrich, 2004). عواملی مانند درجه حرارت، سختی، اسیدیته، قلیائیت، کلر باقیمانده، کل جامدات محلول (TDS)، وجود گازها، نمک‌های محلول و میکروارگانیسم‌ها در آب و همچنین نوع فلزات به کار رفته در تأسیسات در فرایند

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه

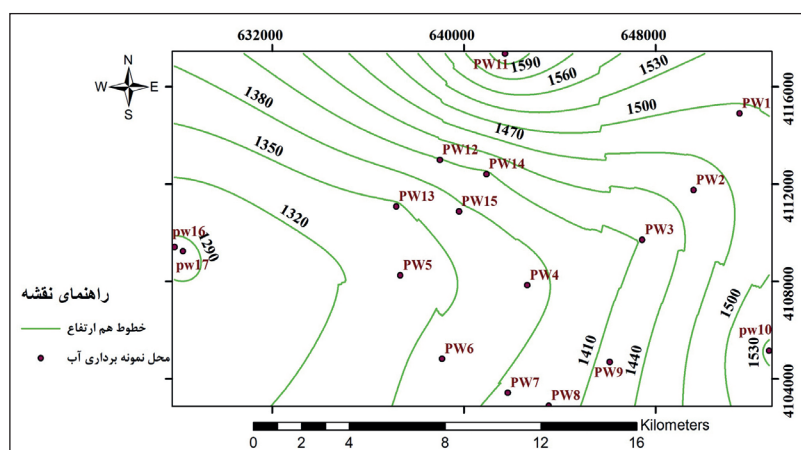
دشت قوچان بین طول‌های جغرافیایی ۱۵° ۵۷' تا ۵۹° ۰۳' و عرض‌های جغرافیایی ۴۵' ۳۶° تا ۳۸° ۱۳' شمالی واقع شده است. مهم‌ترین شهرهای این منطقه شامل قوچان، فاروج و شیروان بوده و اقلیم منطقه بر مبنای طبقه‌بندی دمارتن از نوع خشک سرد است. دشت قوچان بخشی از حوضه رسوبی کپه‌داغ به‌شمار می‌رود. واحدهای چینه‌شناسی منطقه به ترتیب از قدیم به جدید شامل سازندهای مزدوران، شورجه، تیرگان، سرچشمه، سنگانه و نهشته‌های سنوزویک (رسوبات نئوژن و کواترنری، آبرفت‌های رودخانه‌ای و کفه‌های رسی) است (شکل ۱). در محدوده مطالعاتی دشت قوچان، سازند مزدوران با سنگ آهک میکربیتی تا دولومیتی خاکستری سبتر لایه و ریخت‌شناسی صخره‌ساز، قدیمی‌ترین واحد چینه‌شناسی است. سازند شورجه بیشتر از رسوبات آواری (شیل، ماسه‌سنگ، کنگلومرا)، مقدار کمتر تبخیری و لایه‌های نازکی از سنگ‌های کربناتی است و سنگ آهک‌های صخره‌ساز ژوراسیک بالا (مزدوران) را از سنگ آهک‌های کرتاسه پایین (سازند تیرگان) جدا می‌کند (افشارحرب، ۱۳۷۳). سازند کربناته تیرگان، دارای ویژگی‌های کارستی بوده و مجاری انحلالی در آن تا اعماق زیادی توسعه یافته‌اند. سازند سنگانه اغلب در

محور ناودیس‌ها و نواحی پست و کم‌ارتفاع رخمون دارد. نهشته‌های نئوژن به‌واسطه وجود لایه‌های تبخیری (گچ و نمک) (آق‌ناتی، ۱۳۸۳) و عناصر محلول در آب اثر منفی بر کیفیت منابع آبی محدوده مطالعاتی دارند (شکل ۱). شکل ۲ نیز نقشه رقومی ارتفاع محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

ستبرای آبخوان در دشت قوچان بسیار متغیر است. در آبخوان‌های آبرفتی حد فاصل سد تبارک تا شهر قوچان ستبرای آبخوان بین ۵-۱۰۰ متر و حدفاصل بین شهر قوچان و فاروج بین ۲۰ تا ۲۰۰ متر متغیر است. ژرفای آب با توجه به نوع آبرفت دشت متغیر و از سد تا شهر قوچان بین ۵ تا ۲۰ متر و از شهر قوچان تا فاروج بین ۲۰ تا ۷۰ متر متغیر است. تغییرات ستبرای آبرفت عموماً متأثر از توپوگرافی سنگ کف و عملکرد گسل‌های طولی منطقه به‌ویژه در دامنه شمالی آن می‌باشد. آبخوان آبرفتی قوچان-شیروان با عرض نه چندان زیاد و ستبرای متغیر از نوع آزاد با ویژگی‌های هیدرودینامیکی متغیر بوده و به‌طور مؤثری از سازندهای کربناته شمال منطقه که به موازات دشت گسترش دارند و رواناب‌های حوضه رودخانه اترک و زیر شاخه‌های آن تغذیه می‌شود (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان شمالی، ۱۳۹۱).



شکل ۱- بخشی از نقشه زمین‌شناسی قوچان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، (با اندکی تغییرات برگرفته از قائمی، ۱۳۸۳) و محل نمونه‌برداری‌های انجام شده در دشت شمال قوچان.



شکل ۲- نقشه رقومی ارتفاع محدوده مطالعاتی دشت شمال قوچان.

۳-موادوروشی‌ها

۳-۱. نمونه برداری و آنالیزهای شیمیایی

و نتایج آنالیز نمونه‌های آب در جدول ۱ نشان داده شده است. پارامترهای صحرایی مانند pH، دما و هدایت الکتریکی (EC) به وسیله دستگاه pH متر (AZ8685) و EC متر (AZ8351) در محل اندازه‌گیری شد. آنالیز آنیون‌ها به روش تیتراسیون و کاتیون‌ها به روش جذب اتمی (AAS) در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد.

به منظور بررسی کیفیت آب دشت قوچان جهت مصارف آشامیدنی و صنعتی، تعداد ۱۷ نمونه آب زیرزمینی شامل چاه، چشمه و قنات از دشت قوچان و شهرک صنعتی قوچان مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفته است. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی و پارامترهای صحرایی نمونه‌های آب زیرزمینی مورد مطالعه (چاه، چشمه و قنات) در دشت شمال قوچان.

S.I.D	نوع منبع آبی	T (°C)	pH	EC (μs/cm)	TDS _c (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Error %
PW1	چاه	۱۳/۵	۸/۶	۶۰۳	۴۱۱/۸	۳۳/۱	۲۴/۷	۴۹/۶	۱	۲۲۴/۵	۵۸	۲۰/۹	۳/۶۸
PW2	چشمه	۱۶/۶	۷/۶	۱۵۳۷	۱۲۱۰/۱	۱۸۵	۸۴/۱	۳۵/۸	۱/۶	۲۱۹/۶	۶۶۴/۹	۱۹/۱	۰/۳۷
PW3	چاه	۱۴/۵	۷/۳	۱۷۷۰	۱۳۶۰/۶	۱۶۸/۵	۷۹/۵	۹۴/۷	۳/۴	۴۷۸/۲	۴۸۰/۷	۵۵/۶	۰/۴۳
PW4	چاه	۱۳/۴	۷/۲	۲۳۰۰	۱۸۰۹/۱	۱۷۶/۷	۱۱۶/۵	۱۷۳/۶	۳/۳	۵۱۷/۳	۷۱۰/۵	۱۱۱/۲	۰/۴۵
PW5	چاه	۱۲/۸	۷/۴	۲۴۷۰	۱۷۹۸/۸	۱۶۹/۲	۱۱۴/۲	۲۱۱/۹	۳/۶	۳۸۰/۶	۷۸۰/۳	۱۳۹	۱/۶۲
PW6	چاه	۱۳	۷/۹	۱۳۴۶	۹۵۷/۹	۶۰/۲	۶۱/۷	۱۳۳/۵	۲/۸	۳۰۷/۴	۳۵۷/۵	۳۴/۸	۲/۰۴
PW7	چاه	۱۱/۶	۷/۹	۱۱۶۲	۸۳۷/۴	۶۳/۹	۴۵/۷	۱۲۲/۶	۱/۶	۲۸۳	۲۸۲/۴	۳۸/۲	۳/۲۴
PW8	قنات	۱۶	۸/۴	۵۵۴	۴۰۲	۵۶/۴	۱۶	۴۲/۸	۰/۸	۱۹۵/۲	۶۹/۹	۲۰/۹	۷
PW9	چاه	۱۳/۵	۸/۱	۹۳۳	۷۲۰/۶	۷۹	۴۵/۷	۵۵/۳	۲/۵	۲۷۸/۵	۲۳۱/۸	۲۷/۸	۰/۲۴
PW10	قنات	۱۲	۸/۵	۱۱۴۴	۸۴۴	۱۳۳/۵	۵۱/۴	۴۰/۵	۱/۵	۲۶۳/۵	۳۳۶/۲	۱۷/۴	۳/۸۴
PW11	چشمه	۱۳/۷	۸/۲	۴۵۶	۳۵۵/۲	۴۵/۱	۲۹/۷	۲۱/۴	۰/۷	۲۰۹/۸	۳۸/۱	۱۰/۴	۱۱/۲۹
PW12	قنات	۱۵/۸	۸/۱	۱۴۰۸	۹۲۷/۹	۹۷/۸	۵۴/۸	۱۱۳/۷	۱/۸	۲۱۹/۶	۳۶۷/۲	۷۳	۴/۱۱
PW13	قنات	۱۲/۴	۷/۷	۲۸۸۰	۲۰۲۰/۶	۱۵۷/۹	۱۲۷/۹	۲۶۸/۳	۱۰/۱	۴۰۵	۸۰۹/۹	۲۴۱/۵	۰/۲۷
PW14	قنات	۱۶/۶	۸	۱۴۰۴	۹۶۸/۲	۱۰۹	۵۹/۴	۹۹/۶	۱/۸	۲۲۴/۵	۴۱۶/۶	۵۷/۳	۲/۷۹
PW15	چشمه	۱۰/۵	۷/۶	۲۹۲۰	۲۰۸۷/۱	۲۲۱/۸	۱۵۳	۲۳۶/۹	۲/۶	۳۴۶/۵	۱۰۰۱/۲	۱۲۵/۱	۶/۴۵
PW16	چاه	۱۴/۵	۷/۳	۱۱۳۷	۸۳۱/۵	۳۷/۶	۱۳/۷	۱۹۰/۱	۲/۳	۳۵۱/۴	۱۷۷/۳	۵۹/۱	۱/۰۱
PW17	چاه	۱۴/۷	۶/۸	۲۳۹۰	۱۷۳۷	۱۴۲/۹	۱۳۰/۲	۱۶۹/۵	۴/۵	۵۳۶/۸	۵۲۸	۱۹۸/۱	۲/۴۵
Min		۱۰/۵	۶/۸	۴۵۶	۳۵۵/۲	۳۳/۱	۱۳/۷	۲۱/۴	۰/۷	۱۹۵/۲	۳۸/۱	۱۰/۴	۰/۲۴
Max		۱۶/۶	۸/۶	۲۹۲۰	۲۰۸۷/۱	۲۲۱/۸	۱۵۳	۲۶۸/۳	۱۰/۱	۵۳۶/۸	۱۰۰۱/۲	۲۴۱/۵	۱۱/۲۹
Mean		۱۳/۸	۷/۸	۱۵۵۶/۷	۱۱۳۴/۱۰	۱۱۳/۹۷	۷۱/۰۷	۱۲۲/۷۵	۲/۷	۳۲۰/۰۸	۴۳۰/۰۲	۷۳/۴۹	۳/۰۱
SD ±		۱/۷۵	۰/۵	۷۸۴/۳	۵۷۰/۷۶	۵۹/۷۴	۴۳/۲۶	۷۷/۹۱	۲/۱۷	۱۱۰/۷۰	۲۸۵/۴۹	۶۷/۷۱	۲/۹۷

۳-۲. محاسبه شاخص های ارزیابی آب جهت مصارف آشامیدنی و صنعتی

به منظور بررسی کیفیت آب دشت قوچان جهت مصارف آشامیدنی از نمودار شولر و شاخص کیفی آب (Water quality index) و همچنین برای مصارف صنعتی از پارامترهای شاخص لانتزلیه (Langelier Saturation Index)، شاخص رایزنر (Ryznar Stability Index)، شاخص پوکوریوس (Puckorius Index) و سختی کل (TH) استفاده گردید.

شاخص کیفیت آب (WQI): در این مطالعه جهت تعیین شاخص کیفی آب (WQI) از مقادیر کاتیون ها (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) و آنیون های اصلی (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) و پارامترهایی مانند مقدار کل مواد جامد محلول (TDS) و pH استفاده شده است (Ketata-Rokbani et al., 2011). محاسبه مقدار متوسط شاخص وزن دار کیفی آب (AWQI) به صورت زیر (معادلات ۱ تا ۴) می باشد (Jerome and Piuse, 2010):

$$AWQI = \sum(q_i W_i) / \sum(W_i) \quad (1)$$

$$q_i = 100 * (V_i / S_i) \quad (2)$$

$$q_i \text{ pH} = 100 \{ (V_{pH} - 7.0) / (8.5 - 7) \} \quad (3)$$

$$W_i = K / S_i \quad (4)$$

در این معادلات q_i نرخ کیفی i امین پارامتر و مقدار W_i و $i = (1, 2, 3, 4, \dots, N)$ واحدی است که برای i امین پارامتر در نظر گرفته شده است (جدول ۲). V_i مقدار اندازه گیری شده پارامتر i و S_i برابر با مقادیر استاندارد مجاز برای پارامترها است (Jerome and Piuse, 2010; Ketata-Rokbani et al, 2011). همچنین K ثابت تناسب بوده و برابر با یک در نظر گرفته می شود. اگر مقدار WQI برابر با صفر باشد نشان دهنده عدم وجود آلاینده و اگر برابر ۱۰۰ باشد به این معنی است که تمام آلاینده ها به حد غیر مجاز رسیده اند.

جدول ۲- وزن واحد پارامترها W_i و مقدار استاندارد (WHO, 2011)

پارامترها	مقدار استاندارد پیشنهادی WHO	وزن واحد (W_i)
pH	۷ - ۸/۵	۰/۰۰۵
TDS	۵۰۰	۰/۰۰۲
Ca^{2+}	۷۵	۰/۰۱۳۳
Mg^{2+}	۵۰	۰/۰۲
Na^+	۲۰۰	۰/۰۰۵
K^+	۱۲	۰/۰۰۸
HCO_3^{*-}	۱۲۰	۰/۰۰۸
Cl^-	۲۰۰	۰/۰۰۵
SO_4^{2-}	۲۰۰	۰/۰۰۵

*US Public Health Service values (Ketata-Rokbani et al., 2011)

سختی کل (Total Hardness): سختی کل (TH) نشانگر حضور یون های کلسیم و منیزیم در آب است و به صورت میلی گرم بر لیتر $CaCO_3$ بیان می شود. سختی کل در نمونه های آب مورد مطالعه که در آن غلظت یون های کلسیم و منیزیم بر حسب mg/l است، محاسبه شد (معادله ۵) (Weiner, 2008).

$$\text{Total hardness (mg/l } CaCO_3) = 2.497 (Ca^{2+}) + 4.118 (Mg^{2+}) \quad (5)$$

شاخص لانتزلیه (LSI): خوردگی و رسوب گذاری در منابع آب آشامیدنی می تواند به خسارات اقتصادی و بهداشتی زیادی منجر شود (Amini et al., 2015). در ارزیابی کیفیت آب برای مصارف صنعتی ابتدا باید pH اشباع (pHs) را با استفاده از آلکالینیتی، دما و pH بر اساس معادله (۶) محاسبه کرد و سپس پارامترهای مختلف

صنعتی از جمله شاخص های لانتزلیه و رایزنر و پوکوریوس را محاسبه نمود (معادله ۶) (Benson et al., 2012).

$$pH_s = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (6)$$

در این معادله مقادیر A، B، C و D بر اساس معادلات ۷، ۸، ۹ و ۱۰ محاسبه می شوند.

$$A = (\log [TDS] - 1) / 10 \quad (7)$$

$$B = -13.12 * \log (^\circ C + 273) + 34.55 \quad (8)$$

$$C = \log 10 [Ca^{2+} \text{ as } CaCO_3] - 0.4 \quad (9)$$

$$D = \log 10 [\text{alkalinity as } CaCO_3] \quad (10)$$

در معادلات بالا A میلی گرم بر لیتر میزان مواد جامد محلول (TDS)، B دما (T)، C میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم (TH) و D میزان قلیائیت کل (TA) می باشد. شاخص لانتزلیه (LSI) که توسط لانتزلیه در سال ۱۹۳۶ ارائه شد، درجه اشباع آب را نسبت به کربنات کلسیم نشان می دهد (Choi et al., 2015; Langelier, 1936). این شاخص مفهوم اشباع را با استفاده از pH به عنوان یک متغیر اصلی بیان می کند. در تعریفی دیگر، مفهوم LSI به عنوان تغییرات pH جهت رسیدن آب به تعادل عنوان می شود (Gupta et al., 2011) که از معادله (۱۱) به دست می آید.

$$LSI = pH - pH_s \quad (11)$$

شاخص رایزنر (RSI): شاخص پایداری رایزنر (RSI) ارتباط بین حالت اشباع کربنات کلسیم و تشکیل پوسته کربنات (رسوب گذاری) را به صورت کمی نشان می دهد. به عبارت دیگر این شاخص ارائه روشی برای تخمین میزان گرایش آب به رسوب گذاری کربنات کلسیم است (Alsaqqar et al., 2014; WHO, 2017). در واقع شاخص رایزنر هم مانند شاخص لانتزلیه تفاوت pH واقعی آب و pH اشباع شده توسط کربنات کلسیم را نشان می دهد. شاخص پایداری رایزنر توسط معادله ۱۲ تعیین می شود (Alsaqqar et al., 2014).

$$RSI = 2(pH_s) - pH \quad (12)$$

شاخص پوکوریوس (PI): شاخص پوکوریوس نشان دهنده ظرفیت بافری آب بوده و حداکثر مقدار رسوبی که جهت ایجاد تعادل در آب می تواند تشکیل شود را بیان می کند (Colin., 2006). شاخص پوکوریوس بر اساس معادلات ۱۳ و ۱۴ (Amini et al., 2015) قابل محاسبه است.

$$pHeq = 1.465 \log (T - Alk) + 4.54 \quad (13)$$

$$PI = 2 \text{ pHs} - pHeq \quad (14)$$

۴- نتایج

نتایج حاصل از اندازه گیری پارامترهای صحرایی و همچنین غلظت آنیون ها و کاتیون های اصلی در نمونه های آب مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود کمترین دما مربوط به نمونه PW15، چشمه جاده آق کاریز و بیشترین دما مربوط به نمونه PW14، قنات آق کاریز است. مقدار pH در نمونه های برداشت شده در محدوده اسیدی تا قلیایی قرار دارد که کمترین میزان آن ۶/۸ و مربوط به نمونه برداشت شده از چاه شهرک صنعتی قوچان و بیشترین میزان آن ۸/۶ و مربوط به نمونه PW1 که نمونه واقع در چاه پایین دست سد تبارک آباد است. هدایت الکتریکی (EC) در گستره ای از ۴۵۶ $\mu S/cm$ تا ۲۹۲۰ $\mu S/cm$ تغییر می کند که کمترین مقدار آن مربوط به نمونه PW11، نمونه چاه پایین دست سد و بیشترین مقدار مربوط به نمونه PW15، نمونه چشمه جاده آق کاریز می باشد. در بین آنیون های اندازه گیری شده، سولفات با میانگین ۴۳۰/۰۲ میلی گرم بر لیتر آنیون غالب بوده و در نمونه های PW1، PW8، PW11 در محدوده مجاز (۲۰۰ میلی گرم در لیتر WHO, 2011) و در سایر نمونه ها بالاتر از حد مجاز اعلام شده (WHO, 2011) می باشد. میانگین غلظت کلر ۷۳/۴۹ میلی گرم بر لیتر بوده و غلظت آن به جز در نمونه PW13 که بالاتر از حد مجاز ۲۰۰ میلی گرم در لیتر است، در سایر نمونه ها در حد مجاز می باشد. میانگین غلظت بی کربنات ۳۲۰/۰۸ میلی گرم بر لیتر بوده و مقادیر آن در تمامی نمونه ها بالاتر از حد مجاز ۱۲۰ میلی گرم در لیتر (WHO, 2011) می باشد.

کاتیون‌ها را نشان می‌دهد که بر پایه آن می‌توان ترکیب شیمیایی آب و فرایندهایی مانند آمیختگی و تبادل یونی و همچنین مسیر تکامل هیدروژئوشیمیایی منابع آب یک منطقه را مورد مطالعه قرار داد (Hounslow, 1995). بر اساس نمودار پایپر (شکل ۳) ترکیب شیمیایی آب‌های برداشت شده از منطقه، ۲۹/۴٪ کلسیم سولفات (Ca-SO₄)، و ۲۳/۵٪ سدیم سولفات (Na-SO₄)، ۲۳/۵٪ منیزیم سولفات (Mg-SO₄)، ۱۱/۸٪ سدیم بی‌کربنات (Na-HCO₃)، ۵/۸٪ کلسیم بی‌کربنات (Ca-HCO₃) و ۵/۸٪ منیزیم بی‌کربنات (Mg-HCO₃) هستند (جدول ۳). با توجه به تغییرات کاتیونی از کلسیک به سدیک و تغییرات آنیونی از بی‌کربنات به سولفات، ترکیب شیمیایی آب‌ها متأثر از سازندهای زمین‌شناسی منطقه بوده و روندی تکاملی را نشان می‌دهند.

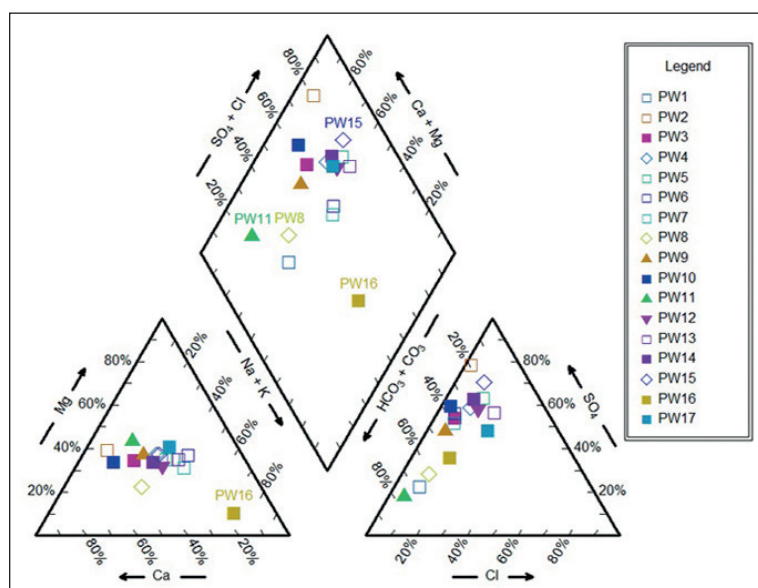
در ناحیه تغذیه، فرایند غالب انحلال کلسیت موجب می‌شود Ca^{2+} و HCO_3^- وارد آب شود. هنگامی که آب زیرزمینی از ناحیه تغذیه دور می‌شود، مقادیر فرعی ژپس موجود در سنگ کربناتی حل می‌شود (Eby, 2004). هنگام انحلال ژپس، یون‌های Ca^{2+} وارد محلول می‌شوند (یک یون مشترک نسبت به انحلال پذیری ژپس و نیز کلسیت). افزایش یون‌های Ca^{2+} در محلول می‌تواند باعث سیرشدگی محلول از کلسیت و ته نشینی آن شود. یون دیگر، یعنی SO_4^{2-} که هنگام انحلال ژپس آزاد می‌شود، در واکنش تعادلی کلسیت وارد نمی‌شود (Eby, 2004).

در بین کاتیون‌ها بیشترین غلظت را یون سدیم با میانگین ۱۲۲/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر دارا بوده و تعداد ۳ نمونه (PW5, PW13, PW15) دارای مقادیری بالاتر از حد مجاز ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر (WHO, 2011) و سایر نمونه‌ها دارای مقادیری کمتر از حد مجاز بودند. میانگین غلظت کلسیم ۱۱۳/۹۷ میلی‌گرم بر لیتر بوده و تعداد ۴ نمونه (PW1, PW6, PW8, PW11) دارای مقادیری کمتر از حد مجاز ۷۵ میلی‌گرم در لیتر بوده و سایر نمونه‌ها دارای مقادیری بالاتر از حد مجاز می‌باشند. کمترین غلظت را پتاسیم با میانگین ۲/۷ میلی‌گرم بر لیتر دارا بوده و تمامی نمونه‌ها دارای غلظت مجاز کمتر از ۱۲ میلی‌گرم در لیتر بودند. میانگین غلظت منیزیم ۷۱/۰۷ میلی‌گرم بر لیتر بوده و نمونه‌های (PW1, PW7, PW8, PW9, PW11, PW12, PW14, PW16) دارای مقادیری کمتر از حد مجاز ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (WHO, 2011) و سایر نمونه‌ها دارای مقادیری بالاتر از حد مجاز بودند.

۵- بحث

۵-۱. ترکیب هیدروشیمیایی و عوامل کنترل کننده آن

تعیین ترکیب شیمیایی آب‌ها در فهم کلی فرایندهای ژئوشیمیایی تأثیرگذار و در تعیین منشأ آن حائز اهمیت است. نمودار پایپر (Piper, 1944) ترکیبی از آنیون‌ها و



شکل ۳- نمودار پایپر (Piper, 1944) نشان دهنده ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب مورد مطالعه در دشت شمال قوچان.

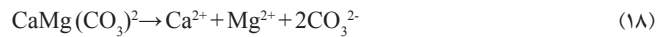
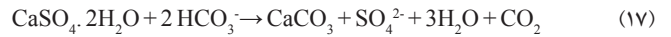
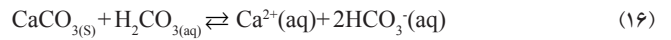
جدول ۳- ترکیب شیمیایی نمونه‌های آب برداشت شده از دشت شمال قوچان.

درصد	نمونه های آب	ترکیب شیمیایی آب‌ها
۵/۸	PW8	Ca-HCO ₃
۵/۸	PW11	Mg-HCO ₃
۱۱/۸	PW1, PW16	Na-HCO ₃
۲۹/۴	PW2, PW3, PW9, PW10, PW14	Ca-SO ₄
۲۳/۵	PW4, PW5, PW15, PW17	Mg-SO ₄
۲۳/۵	PW6, PW7, PW12, PW13	Na-SO ₄

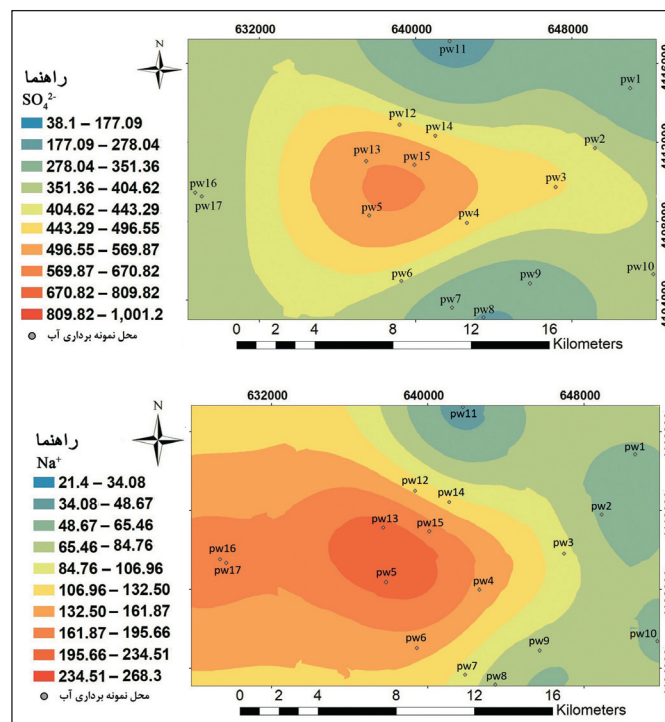
مطالعاتی به سمت باختر (به‌ویژه یون Na^+) بی‌هنجاری نشان می‌دهد. همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بالاترین مقدار یون Na^+ (۲۶۸/۳ میلی گرم بر لیتر) مربوط به نمونه PW13 و بالاترین مقدار سولفات (۱۰۰۱/۲ میلی گرم بر لیتر) مربوط به چشمه PW15 که در پایین دست مناطق روستایی قرار دارند، می‌باشند. این افزایش و بی‌هنجاری می‌تواند مرتبط با آلودگی‌های انسان‌زاد در نزدیکی این دو منبع آبی باشد. در واقع روند مکانی تغییرات یون‌های مورد بررسی متأثر از هر دو فرایند زمین‌زاد و انسان‌زاد است.

برای تعیین عوامل کنترل‌کننده شیمی آب‌ها می‌توان از نمودار گیبس (Gibbs, 1970) استفاده کرد. این نمودار با رسم مقادیر $\text{Na}/\text{Na}+\text{Ca}$ و $\text{Cl}/\text{Cl}+\text{HCO}_3$ در برابر مجموع مواد جامد محلول (TDS) به دست می‌آید. در این نمودار سه فرایند کلی برهم‌کنش آب - سنگ (water-rock interaction)، تبخیر (evaporation) و بارش (precipitation) معرفی شده‌اند (Edjah et al., 2015). موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار گیبس نشان می‌دهد که فرایند غالب اثر گذار بر شیمی آب، برهم‌کنش آب - سنگ است (شکل ۵).

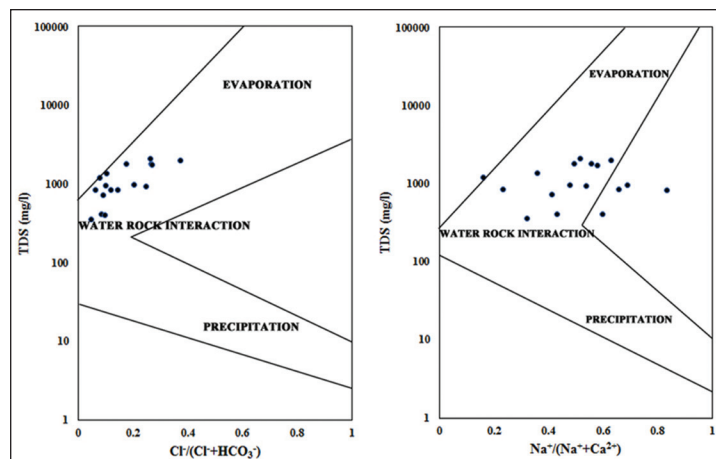
همچنین دولومیت $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ نیز در سنگ‌های کربناتی موجود است و هنگامی که کلسیت ته‌نشین می‌شود، دولومیت حل می‌شود. تلفیق این واکنش‌ها باعث افزایش مشاهده Mg^{2+} و SO_4^{2-} (Eby, 2004) و سولفات شدن آب‌های منطقه می‌شود (معادله ۱۶).



بنابراین می‌توان گفت که سازندهای آهکی و دولومیتی تیرگان و مزدوران و همچنین مقادیر فرعی ژئیس موجود در سازند شوربجه و رسوبات آبرفتی عامل تعیین‌کننده ترکیب شیمیایی اولیه این آب‌ها هستند. جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه از سد تبارک تا شهر قوچان، از شمال خاور به سمت جنوب باختر و سپس در جهت باختری به سمت شهر فاروج می‌باشد. در شکل ۴ نقشه پهنه‌بندی آنیون (SO₄²⁻) و کاتیون غالب (Na⁺) در دشت قوچان ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود این دو یون در مرکز محدوده



شکل ۴- نقشه پهنه بندی یون‌های سولفات و سدیم در محدوده مطالعاتی از دشت شمال قوچان.

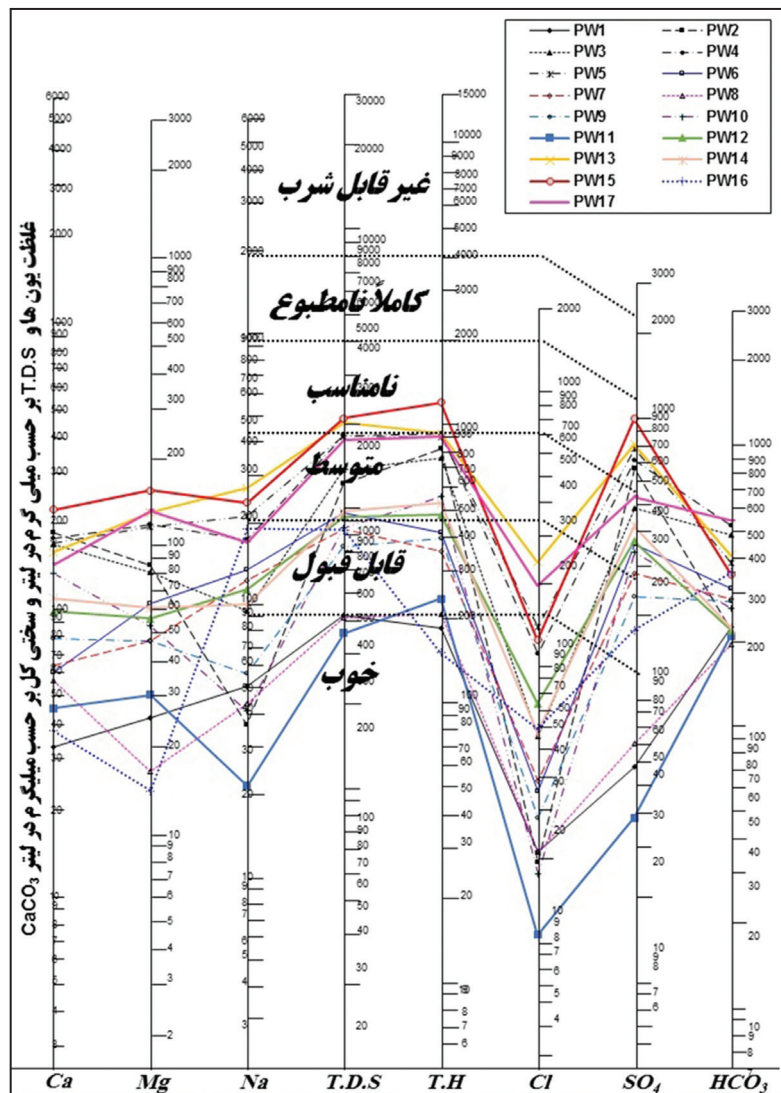


شکل ۵- نمودار گیبس نمونه‌های آب مورد مطالعه (Gibbs, 1970).

۲-۵. ارزیابی کیفیت آب برای مصارف آشامیدن

– نمودار شولر: برای بررسی کیفیت آب جهت مصارف آشامیدن از نمودار شولر استفاده می‌شود (Schoeller, 1955; Todd & Mays, 2005) که در این نمودار سه رده کیفی خوب، قابل قبول و متوسط برای نمونه‌های آب وجود دارد (شکل ۶؛ جدول ۴). بر اساس مقادیر TDS، نمونه‌های PW13 و PW15 در رده نامناسب، نمونه‌های PW2، PW3، PW4، PW5 و PW17 در رده نامناسب، نمونه‌های PW6، PW7، PW9،

PW10، PW12، PW14، PW16 در رده قابل قبول و همچنین نمونه‌های PW1، PW8، PW11 در رده خوب قرار گرفتند. بنابراین می‌توان گفت که نمونه‌های بی‌کربناته در رده‌های خوب و قابل قبول قرار گرفته‌اند اما نمونه‌های سولفاته (سایر نمونه‌ها) در رده‌های قابل قبول، متوسط و نامناسب قرار دارند. کاهش کیفیت نمونه‌های آب مورد مطالعه با افزایش غلظت مجموع مواد جامد محلول، سختی کل و به‌ویژه افزایش یون سولفات ارتباط دارد (شکل ۶).

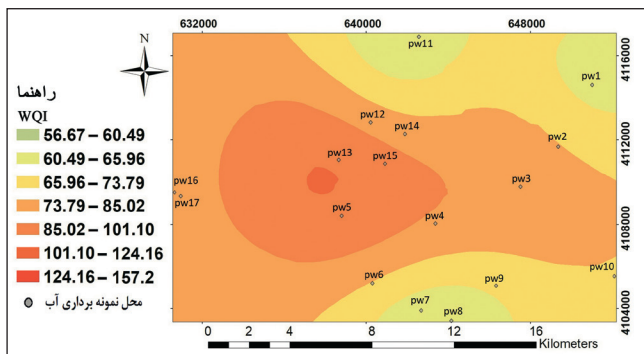


شکل ۶- نمودار شولر (Schoeller, 1955) جهت تعیین کیفیت نمونه‌های آب برداشت شده از دشت شمال قوچان برای مصارف آشامیدن.

جدول ۴- رده‌بندی کیفیت آب بر اساس پارامترهای Na^+ و TH, TDS, SO_4^{2-} , Cl^- (Schoeller, 1955).

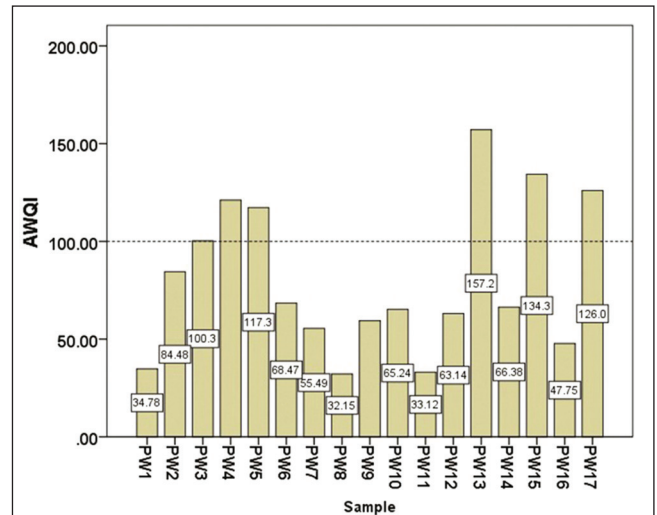
TH	TDS	SO_4^{2-}	Cl^-	Na^+	رده کیفی آب جهت آشامیدن
mg/l					
<۲۵۰	<۵۰۰	<۱۴۵	<۱۷۵	<۱۱۵	خوب
۲۵۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۴۵-۲۸۰	۱۷۵-۳۵۰	۱۱۵-۲۳۰	قابل قبول
۵۰۰-۱۰۰۰	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۸۰-۵۸۰	۳۵۰-۷۰۰	۲۳۰-۴۶۰	متوسط
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۰۰۰-۴۰۰۰	۵۸۰-۱۱۵۰	۷۰۰-۱۴۰۰	۴۶۰-۹۲۰	نامناسب
۲۰۰۰-۴۰۰۰	۴۰۰۰-۸۰۰۰	۱۱۵۰-۲۲۴۰	۱۴۰۰-۲۸۰۰	۹۲۰-۱۸۶۰	کاملاً نامطبوع
>۴۰۰۰	>۸۰۰۰	>۲۲۴۰	>۲۸۰۰	>۱۸۶۰	غیر قابل شرب

مورد مطالعه صفر نبوده و ۲۹/۴۱ درصد نمونه‌ها شامل نمونه‌های PW4, PW5, PW13, PW17 (مربوط به نمونه‌های برداشت شده از چاه) و PW15 (مربوط به نمونه برداشت شده از چشمه)، دارای مقدار بالاتر از ۱۰۰ بوده و بیانگر آلودگی می‌باشد که برای آشامیدن مناسب نیستند، همچنین مقادیر WQI برای سایر نمونه‌ها نیز پایین نیست (شکل ۷) که از این نظر باید مورد توجه قرار گیرند. نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفی آب با استفاده از روش کریجینگ در محیط GIS ترسیم گردید (شکل ۸) و نشان داد که نمونه‌های PW13 و PW5, PW15 در محدوده بالای مقادیر WQI قرار دارند.



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی شاخص کیفی آب (WQI) نمونه‌های مورد مطالعه در دشت شمال قوچان.

— شاخص کیفی WQI: شاخص کیفی آب به‌عنوان یک ابزار پیشرفته قوی برای تصمیم‌گیری‌ها و مدیریت مربوط به کیفیت آب به کار می‌رود (Varol and Darvez, 2015). شاخص‌های کیفی آب با ساده‌سازی و کاهش اطلاعات خام اولیه، علاوه بر بیان کیفیت، روند تغییرات کیفی آب را نیز در طول زمان و مکان نشان داده و مناطقی را که از نظر آلودگی بیشتر مورد تهدید هستند را مشخص می‌نماید (Simoes et al., 2008; Sahu and Sikdar, 2008). اگر مقدار WQI بالاتر از ۱۰۰ باشد، نشان دهنده آلودگی است. با توجه به شکل ۷ مقادیر متوسط شاخص کیفی آب (WQI) برای هیچ کدام از نمونه‌های



شکل ۷- مقادیر متوسط شاخص کیفی آب نمونه‌های مورد مطالعه در دشت شمال قوچان.

می‌توان نتیجه گرفت علت رسوب‌گذار بودن آب‌های دشت قوچان در ارتباط با سنگ‌شناسی منطقه می‌باشد.

با توجه به جدول‌های ۵ و ۶ که رده‌بندی کیفی شاخص راینر را نشان می‌دهند ۵/۸ درصد نمونه‌ها شامل نمونه PW3، نمونه چاه بند انحرافی بادخور به میزان زیادی رسوب‌گذار، ۱۱/۷ درصد نمونه‌ها شامل نمونه‌های PW13، نمونه قنات چهل چشمه و PW15، نمونه چشمه جاده آق کاریز رسوب‌گذار و به میزان کمی خورنده می‌باشند. همچنین ۲۹/۴ درصد نمونه‌های محدوده مورد مطالعه شامل نمونه‌های PW4, PW5, PW10, PW12 و PW14 نه رسوب‌گذار و نه خورنده بوده و ۵۲/۹ درصد نمونه‌ها از جمله نمونه‌های PW1 چاه پایین‌دست سد، PW2 چشمه گرماب، PW6 چاه شن‌شویی ریگدانه، PW7 چاه آستان قدس، PW8 قنات کربلانی کاظم، PW9 چاه دستی جاهد، PW11 چشمه پیغمبر، PW16 و PW17 که چاه‌های واقع در شهرک صنعتی هستند، خورنده و کمی رسوب‌گذار می‌باشند (جدول‌های ۵ و ۶).

در طبقه‌بندی کیفیت آب با توجه به مقادیر PI با توجه به جدول‌های ۵ و ۶، حدود ۳۵ درصد نمونه‌های منطقه شامل نمونه‌های PW3, PW4, PW5, PW13, PW15 و PW17 رسوب‌گذار و ۶۴/۸ درصد نمونه‌ها از جمله نمونه‌های PW1, PW2, PW6, PW11, PW12, PW14 و PW7, PW8, PW9, PW10, PW16 خورنده می‌باشند. بالا بودن میزان کلر و سولفات یکی از دلایل مهم خوردگی آب‌ها است (خسروان و بختیاری، ۱۳۸۳). ژپس موجود در سازند شورجه و رسوبات آبرفتی می‌تواند علت خوردگی بعضی از نمونه‌های آب مورد مطالعه باشد. یون کلراید در آب‌های با EC زیاد به میزان قابل توجهی وجود داشته و باعث افزایش سرعت خوردگی آب می‌شود. از این رو است که آب‌های نمک‌دار به عنوان آب‌های خیلی خورنده شناخته می‌شوند. هیچ یک از نمونه‌های آب مورد بررسی ترکیب شیمیایی کلروره

—سختی کل (Total Hardness): حضور مقادیر فراوان عناصر کلسیم و منیزیم در سازندهای زمین شناسی موجب ایجاد سختی بالا در آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. طبقه‌بندی منابع آبی بر حسب میزان سختی کل به گونه‌ای است که آب‌هایی با میزان سختی بیش از ۳۵۰ میلی گرم بر لیتر CaCO_3 به عنوان آب‌های بسیار سخت شناخته می‌شوند (EPA, 2006). با توجه به جدول ۵ و ۶ بیش از ۷۰ درصد نمونه‌های محدوده مورد مطالعه از جمله نمونه‌های PW2 PW3, PW4, PW5, PW6, PW9, PW10, PW12, PW13 PW14, PW15 و PW17 جزو آب‌های بسیار سخت قرار گرفتند که علت آن می‌تواند انحلال کانی‌های کربناته سازندهایی نظیر تیرگان و مزدوران و حضور مقادیر زیادی از یون‌های کلسیم و منیزیم در آنها باشد.

۳-۵. ارزیابی کیفیت آب برای مصارف صنعتی

مقادیر LSI کمتر از صفر نشان‌دهنده آب خورنده، و مقادیر بیشتر از صفر، نشان دهنده آب رسوب‌گذار است، ولی در مقادیر برابر با صفر، آب هیچ تمایلی به رسوب‌گذاری و خوردگی ندارد. با توجه به جدول‌های ۵ و ۶، حدود ۸۲ درصد نمونه‌های منطقه مورد مطالعه، رسوب‌گذار و ۱۸ درصد نمونه‌ها شامل نمونه‌های PW11, PW16 و PW17 که دو نمونه PW17 و PW16 مربوط به چاه‌های واقع در شهرک صنعتی و PW11 مربوط به چشمه پیغمبر است، خورنده هستند. با توجه به این که شهرک صنعتی قوچان در پایین‌دست محدوده مطالعاتی قرار دارد، از این رو، نمی‌تواند بر روی آب‌های بالا دست این حوضه تأثیرگذار باشد. از عوارض اقتصادی ناشی از رسوب‌گذاری (شاخص لانتزلیه) نیز می‌توان به کاهش میزان جریان آب در داخل لوله‌ها اشاره کرد که نتیجه آن افت فشار و افزایش انرژی لازم برای پمپاژ است. با توجه به اینکه رسوب‌گذار بودن آب ارتباط مستقیم با کربنات کلسیم داشته و در محدوده مورد مطالعه نیز سازندهای کربناته مانند تیرگان و مزدوران حضور دارند،

در رده بسیار سخت قرار دارند، علت رسوب گذار بودن بیشتر نمونه‌ها را می‌توان به وجود سازندهای کربناته مانند مزدوران و تیرگان در محدوده مورد مطالعه نسبت داد که از گسترش بسیار بیشتری نسبت به سازندهای حاوی کانی ژئوپس برخوردارند.

نداشتند. سختی آب نیز در رابطه با خوردگی یا رسوب گذار بودن آب نقش دارد. به طور کلی هر چه میزان سختی بالاتر باشد، محتوای کربنات کلسیم نیز بالاتر بوده و در نتیجه میزان خوردگی کمتر خواهد بود (Ebrahimi et al., 2012). با توجه به سختی کل محاسبه شده و این که ۷۰ درصد نمونه‌های مورد مطالعه

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های مختلف محاسبه شده جهت تعیین کیفیت برای مصارف صنعتی در منابع آب دشت شمال قوچان.

نمونه	pH	pHs	LSI	RSI	PI	TH
PW1	۸/۶	۸/۱	۰/۵	۷/۶	۸	۱۸۴/۳۶
PW2	۷/۶	۷/۵	۰/۱	۷/۴	۶/۸۰	۸۰۸/۲۶
PW3	۷/۳	۷/۱	۰/۲	-۰/۴	۵/۶۶	۷۴۸/۱۲
PW4	۷/۲	۶/۸	۰/۴	۶/۴	۵/۳۲	۹۲۰/۹۶
PW5	۷/۴	۶/۸	۰/۶	۶/۲	۵/۱۸	۸۹۲/۷۶
PW6	۷/۹	۷/۴	۰/۵	۶/۹	۶/۴۲	۴۰۴/۴
PW7	۷/۹	۷/۴	۰/۵	۶/۹	۶/۴۶	۳۴۷/۷۵
PW8	۸/۴	۷/۹	۰/۵	۷/۴	۷/۶۳	۲۰۶/۷۱
PW9	۸/۱	۷/۶	۰/۵	۷/۱	۶/۸۶	۳۸۵/۴۵
PW10	۸/۵	۷/۶	۰/۹	۶/۷	۶/۸۸	۵۴۵/۰۱
PW11	۸/۲	۸/۳	-۰/۱	۸/۴	۸/۳۹	۲۳۴/۹۱
PW12	۸/۱	۷/۳	۰/۸	۶/۵	۶/۳۸	۴۶۹/۸۷
PW13	۷/۷	۶/۷	۱	۵/۷	۴/۹۰	۹۲۰/۹۶
PW14	۸	۷/۳	۰/۷	۶/۶	۶/۳۷	۵۱۶/۷۸
PW15	۷/۶	۶/۶	۱	۵/۶	۴/۷۸	۱۱۸۳/۸۸
PW16	۷/۳	۷/۴	-۰/۱	۷/۵	۶/۴۱	۱۵۰/۳۰
PW17	۶/۸	۶/۹	-۰/۱	۷	۵/۳۱	۸۹۲/۹۸

جدول ۶- طبقه‌بندی کیفی آب‌ها بر اساس پارامترهای LSI, RSI و PI جهت مصارف صنعتی.

پارامترهای کیفی	طبقه بندی کیفی آب	مقدار پارامتر	درصد نمونه‌های مورد مطالعه
LSI	خورنده	$LSI > 0$	۱۷/۶۵
	فاقد خوردگی و رسوب گذاری	$LSI = 0$	-
	رسوب گذار	$LSI < 0$	۸۲/۳۵
RSI	بسیار رسوب گذار	$RSI > 5/5$	۵/۸
	رسوب گذار و کمی خورنده	$RSI > 5/5$ و $RSI > 6/2$	۱۱/۷
	فاقد خوردگی و رسوب گذاری	$RSI > 6/2$ و $RSI > 6/8$	۲۹/۴
	خورنده و کمی رسوب گذار	$RSI > 6/8$ و $RSI > 8/5$	۵۲/۹
	بسیار خورنده	$RSI < 8/5$	-
PI	رسوب گذار	$PI > 6$	۳۵/۲
	خورنده	$PI < 6$	۶۴/۸

۶- نتیجه گیری

با افزایش یون سولفات است. همچنین آلودگی‌های انسان‌زاد نیز می‌تواند باعث بالا بردن غلظت برخی یون‌ها مانند سولفات و سدیم در برخی منابع آبی پایین‌دست مناطق روستایی شود. بررسی‌های دقیق‌تر ژئوشیمیایی جهت تعیین سهم فرایندهای تأثیرگذار و منشأ یون‌ها در آب، در برنامه‌های آتی نویسندگان مقاله قرار دارد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از آقای محمد حسن سورگی کارشناس ارشد شیمی تجزیه در دانشگاه فردوسی مشهد جهت انجام آنالیزهای هیدروشییمیایی تشکر نمایند. این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول (ن. ر.) به شماره طرح ۳/۴۲۹۰۰ است که از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد نیز قدردانی می‌گردد.

ترکیب شیمیایی آب‌های منطقه مورد مطالعه شامل Ca-SO_4 ، Na-SO_4 ، Mg-SO_4 ، Na-HCO_3 و Ca-HCO_3 بود. روند مکانی تغییرات هیدروشییمیایی، با توجه به جهت حرکت آب‌های زیرزمینی و حضور سازندهای تیرگان و مزدوران در منطقه، می‌تواند متأثر از انحلال کانی‌هایی مانند کلسیت و دولومیت و همچنین انحلال ژیس موجود در سازند شورجه و رسوبات آبرفتی باشد. بر اساس شاخص کیفی آب (WQI) ۷۰/۵۹ درصد نمونه‌ها برای آشامیدن مناسب هستند. بررسی خوردگی و رسوب‌گذاری نمونه‌های آب برداشت شده نشان داد که بیشتر نمونه‌ها رسوب‌گذار هستند و نمونه‌های خورنده می‌توانند در ارتباط با افزایش یون سولفات باشند. با توجه به این که آب‌ها جهت مصارف صنعتی نباید رسوب‌گذار و خورنده باشند، باید تمهیداتی جهت استفاده این آب‌ها برای متعادل کردن آنها در نظر گرفته شود. این مطالعه نشان داد که ترکیب شیمیایی اولیه آب‌ها متأثر از سازندهای زمین‌شناسی بوده و کاهش کیفیت آب‌ها مرتبط

کتابکاری

- افشار حرب، ع.، ۱۳۷۳ - زمین‌شناسی کپه داغ، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۱۱، ۲۷۶ ص.
- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳ - زمین‌شناسی ایران، انتشارات دایره سبز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات کشور، ۵۸۶ ص.
- خسروان، آ.، و بختیاری، ف.، ۱۳۸۳ - خوردگی و رسوب‌گذاری در نیروگاه زرنند و راه حل برای کاهش آنها. نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران.
- قائم، ف.، ۱۳۸۳ - نقشه یک صد هزار ورقه قوچان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان شمالی، ۱۳۹۱ - گزارش تمدید ممنوعیت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی قوچان- شیروان.

References

- Alsaqqar, A.S., Khudair, B.H., and Ali, S.K., 2014- Evaluating Water Stability Indices from Water Treatment Plants in Baghdad City. *Journal of Water Resource and Protection*, 6(14), 1344-1351. DOI: 10.4236/jwarp.2014.614124.
- Amini, S.h., Rezaee, R., Jafari, A., and Maleki, A., 2015- Evaluation of corrosion and scaling potential of drinking water supply sources of Marivan villages, Iran. *Journal of Environment Health Research*, 3(3), 172-8. DOI: 10.22102/jaehr.2015.40200.
- Angell, P., 1999- Understanding microbially influenced corrosion as biofilm-mediated changes in surface chemistry. *Current Opinion in Biotechnology*, 10(3), 269-272. DOI: 10.1016/S0958-1669(99)80047-0.
- Benson, A.S., Dietrich, A.M., and Gallagher, D.L., 2012- Evaluation of iron release models for water distribution systems. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(1), 44-97. DOI: 10.1080/10643389.2010.498753.
- Choi, J., Choi, B.G., and Hong, S., 2015- Effects of NF treated water on corrosion of pipe distribution system and its implications to blending with conventionally treated water. *Desalination* 360, 138-145. DOI: 10.1016/j.desal.2015.01.026.
- Colin, M., 2006- Stress corrosion cracking. *The 4th International Congress of Energy and Environmental Engineering and Management (CIIEM) Madison*. 19-28.
- Dietrich, A.M., Glindemann, D., Pizarro, F., Gidi, V., Olivares, M., Araya, M., and Younos, T., 2004- Health and aesthetic impacts of copper corrosion on drinking water. *Water Science and Technology*, 49(2), 55-62. DOI: 10.2166/wst.2004.0087.
- Ebrahimi, A., Kamarehie, B., Asgari, G., Seid, M.A., and Roshanaei, G., 2012- Drinking Water Corrosivity and Sediment in the Distribution Network of Kuhdasht, Iran. 480-486.
- Eby, G.N., 2004- Principles of environmental geochemistry. Thomson-Brooks/Cole. <http://worldcat.org>. <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/50693404.html>. Thompson, 515p.

- Edjah, A.K. M., Akiti, T.T., Osae, S., Adotey, D., and Glover, E.T., 2015- Hydrogeochemistry and isotope hydrology of surface water and groundwater systems in the Ellembele district, Ghana, West Africa. *Applied Water Science*, 7(2), 609-623. DOI:10.1007/s13201-015-0273-3.
- Environmental Protection Agency (EPA), 2006- Parameters of Water Quality: Interpretation and Standards, Ireland, 133 p.
- Farley, M., and Trow, S., 2016- Losses in water distribution networks: A practitioner's guide to assessment, monitoring and control. London, UK: IWA Publishing. DOI:10.2166/9781780402642.
- Gibbs, R. J., 1970- Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170(3962), 1088-1090. DOI:10.1126/science.170.3962.1088.
- Gupta, N., Nafees, S.M., Jain, M.K., and Kalpana, S., 2011- Assessment of groundwater quality of outer skirts of Kota City with reference to its potential of scale formation and corrosivity. *Journal of Chemistry*, 8(3), 1330-1338. DOI:10.1155/2011/607836.
- Heydari, M., and Bidgoli, H.N., 2012- Chemical Analysis of Drinking Water of Kashan District, Central Iran. *Journal of World Applied Sciences*, 16(6), 799-805. DOI:10.18869/acadpub.johe.2.1.2.54.
- Hoseinzadeh, E., Yusefzadeh, A., Rahimi, N., Khorsandi, H. 2013- Evaluation of Corrosion and Scaling Potential of a Water Treatment Plant. *Archives of Hygiene Sciences*, 2(2), 41-47.
- Hounslow, A. W., 1995- Water Quality Data: analysis and interpretation, Lewis Publishers, Oklahoma State University Stillwater, Oklahoma, 397p. DOI: 10.1201/9780203734117.
- Jerome, C., and Pius, A., 2010- Evaluation of Water quality index and its impact on the quality of life in an industrial area in Bangalore, South India, *American Journal of Scientific and industrial research*, 1(3), 595-603. DOI:10.5251/ajsir.2010.1.3.595.603.
- Ketata-Rokbani, M., Gueddari, M., and Bouhlila, R., 2011- Use of geographical information system and water Quality Index to Assess Groundwater Quality in EL Khir at Deep Aquifer (Enfidha, Tunisian Sahel), *Iranica. Journal of Energy & Environment*, 2(2), 133-144. DOI:10.1007/s12517-011-0292-9.
- Kawo, N. S., and Karuppannan, S. 2018- Groundwater quality assessment using water quality index and GIS technique in Modjo River Basin, central Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences*, 147, 300-311. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2018.06.034.
- Khanoranga, A., Khalid, S., 2018- An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 197, 14-26. DOI: 10.1016/j.gexplo.2018.11.007.
- Kishore, M., and Hanumantharao, Y., 2010- Assessment of Water Pollution in Tippiarthy Revenue Sub-Division, Nalgonda (District), Andhra Pradesh, India. *Journal of Chemistry*, 7(S1), S587-S593. DOI: 10.1155/2010/482539.
- Langelier, W. F., 1936- The Analytical Control of Anticorrosion Water Treatment. *Journal of American Water Works Association*, 10(28), 1500-21.
- Piper, A.M., 1944- A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses. *Journal of American Geophysical Union*, 25(6), 914-923. DOI: 10.1029/tr025i006p00914.
- Ryznar, J.W., 1944- A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by water. *Journal of American Water Works Association*, 36(4), 1-15. DOI: 10.1002/j.1551-8833.1944.tb20016.x.
- Sahu, P., and Sikdar, P.K., 2008- Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata wetlands, West Bengal, India. *Journal of Environment Geology*, 55, 823-835. DOI:10.1007/s00254-007-1034-x.
- Sarkar, D., Datta, R., Hannigan, R., 2007- Concepts and applications in environmental geochemistry vol 5. Elsevier's Science & Technology Rights Department in Oxford, UK.
- Schoeller, H., 1955- *Terres et eaux* (Paris-Algiers), UNESCO series, Paris, 4-11p.
- Sener, S., Sener, E., and Davaz, A., 2017- Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Journal of Science of the Total Environment*, 584, 131-144. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.102.
- Simoës, F., Moreira, A.B., Bisinoti, M.C., Gimenez, S.M., and Santos, M., 2008- Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Journal of Ecological Indicators*, 8(5), 476-484. DOI: 10.1016/j.ecolind.2007.05.002.
- Todd, D. K., and Mays, L.W., 2005- *Groundwater Hydrogeology*. 3rd. ed., John Wiley, New York.
- Varol, S., and Davraz, A., 2015- Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: a case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 73(4), 1725-1744.

Weiner, E.R., 2008- Applications of environmental aquatic chemistry: a practical guide. CRC press.

WHO (World Health Organization), 2011- Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]:incorporating 1st and 2nd addenda, v. 1, Recommendations, 3rd ed. WHO, Geneva, 515.

World Health Organization, 2017- Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. (Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.). Geneva. DOI: 10.5942/jawwa.2017.109.0087.

Assessment of groundwater quality in North Quchan plain (Khorasan Razavi Province); implication for drinking and industrial usage

N. Rokhashmah¹, M. H. Mahmudy Gharaie^{2*}, A. Mahboubi³ and R. Moussavi Harami³

¹ M.Sc., Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 2017 December 30

Accepted: 2019 October 02

Abstract

The aims of this study are water quality assessment for drinking and industrial usages with refer to affective factors on water chemistry in North of Quchan plain, Razavi Khorasan province. 17 groundwater samples were collected for major cations (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+) and anions (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) analysis. Parameters such as (pH), temperature (T) and electrical conductivity (EC) were measured during sampling at the field. According to Piper diagram, chemical composition of water samples is 29.4% Ca-SO_4 , 23.5% Na-SO_4 , 23.5% Mg-SO_4 , 11.8% Na-HCO_3 and 5.8% Mg-HCO_3 . Based on Gibbs diagram, the main controlling process of the water composition is mainly water-rock interactions (weathering), rather than evaporation and precipitation. Schoeller diagram shows that most of water samples are categorized in moderate and acceptable classes. Also, based on water quality index (WQI), 70.59 % water samples are suitable for drinking usage. Increasing in SO_4^{2-} concentration reduced the water quality for drinking purposes. Langelier index (LSI) shows 82.35 % water samples are scale forming and 17.65 % are corrosive. Both scale forming and corrosive properties have negative effects on piping systems and even on human health. Scale forming of the water are due to high Th induced by carbonate dissolution (of Mozdouran and Tirgan Formations). In addition, corrosive property of some water samples is due to gypsum dissolution (from Shoorigeh Formation) and increasing of sulfate concentration in the groundwater.

Keywords: Water quality, Quchan plain, Drinking usage, Corrosive, Scale forming

For Persian Version see pages 85 to 96

*Corresponding author: M. H. Mahmudy Gharaie; E-mail: mhmgharaie@um.ac.ir