

مطالعه خوردگی و رسوب گذاری منابع آب و پساب پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد

مریم تاجبخشیان، محمدحسین محمودی قرائی، اسدالله محبوبی و سیدرضا موسوی حرمی

دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، صفحات ۳۰-۱۳

Vol. 6(1), Spring 2020, 13 – 30

DOI: 10.22034/jewe.2020.207062.1336

Study of Corrosion and Scaling of Water
Resources and Wastewater of Shahid Hashemi
Nezhad Gas Refinery

Tajbakhshian M., MahmudyGharaie M. H.,
Mahboubi A. and Moussavi Harami S. R.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

تاجبخشیان م.، محمودی قرائی م. ح.، محبوبی ا. و موسوی حرمی س. ر. (۱۳۹۹). مطالعه خوردگی و رسوب گذاری پساب حاصل از پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد و منابع آبی مجاور. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۱، صفحات: ۳۰-۱۳.

Citing this paper: Tajbakhshian M., MahmudyGharaie M. H., Mahboubi A. and Moussavi Harami S. R. (2020). Study of corrosion and scaling of water resources and wastewater of Shahid Hashemi Nezhad Gas Refinery. Environ. Water Eng., 6(1), 13–30. DOI: 10.22034/jewe.2020.207062.1336.

مطالعه خورندگی و رسوب‌گذاری منابع آب و پساب پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد

مریم تاج‌بخشیان^{۱*}، محمدحسین محمودی قرائی^۲، اسدالله محبوبی^۳ و سیدرضا موسوی حرمی^۳

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

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

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

*نویسنده مسئول: maryamtaj87@yahoo.com

مقاله اصلی

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۱/۱۷]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۸/۰۱/۱۱]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۸/۰۸/۰۸]

چکیده

در این پژوهش به منظور بررسی کیفیت منابع آب منطقه پالایشگاه گاز شهید هاشمی‌نژاد و پساب‌های تولیدی در این واحد از نظر خورندگی و رسوب‌گذاری ۱۸ نمونه آب سطحی و زیرزمینی و پنج نمونه پساب مورد مطالعه قرار گرفتند. EC، pH، دما و غلظت یون‌های اصلی شامل K^+ ، Cl^- ، Na^+ ، HCO_3^- و CO_3^{2-} در نمونه‌های برداشت‌شده اندازه‌گیری شدند. با استفاده از نمودار Piper اکثر نمونه‌های آب تیپ و رخساره سدیم سولفات و سدیم کلروره را نشان دادند. جهت ارزیابی خورندگی و رسوب‌گذاری نمونه‌ها، شاخص‌های مختلفی شامل LSI، RSI، PSI، AI و S&DSI برای رسوب‌گذاری کلسیم کربنات و شاخص‌های L&SI و Skillman برای رسوب‌گذاری سولفات‌ها به‌ویژه کلسیم و سولفات محاسبه شدند. نتایج نشان داد اکثر نمونه‌های آب به‌دلیل سختی و قلیائیت بالا رسوب‌گذار بوده و پساب‌ها در بیش‌تر موارد خورنده بودند. بر این اساس تمام نمونه‌های آب و پساب برای استفاده در صنعت کیفیت مطلوبی نداشتند. با استفاده از نتایج حاصل از مطالعات هیدروژئوشیمیایی مشخص شد مکانیسم تبخیر، حضور کانی‌های تبخیری در مسیر جریان آب مانند ژپس و انیدریت، وجود سازندهای کربناته و انحلال آن‌ها از مهم‌ترین پارامترهای کنترل‌کننده محتوای یونی منابع آب هستند.

واژه‌های کلیدی: پالایشگاه گاز؛ تیپ و رخساره؛ سختی؛ هیدروژئوشیمیایی.

۱- مقدمه

Mokif et al. (2018) آب خام و تصفیه‌شده در تصفیه‌خانه Tayyara در شهر Al-Hilla را با استفاده از شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری مورد بررسی قرار دادند. بر اساس شاخص لانژلیه آب تصفیه‌شده و آب خام در حال تعادل تا حدودی رسوب‌گذار و بر اساس شاخص رایزنر خورنده بودند. (Zamand et al. 2019) نشان دادند آب شرب شهرستان نیشابور پتانسیل خوردگی داشته و از این نظر می‌تواند به تجهیزات آب‌رسانی و سلامت مردم آسیب برساند.

Langlier (1936) شاخص اشباع‌شدگی لانژلیه^۵ (LSI) را پیشنهاد داد که بر مبنای تمایل آب برای ته‌نشینی و یا انحلال (خورندگی) کلسیم کربنات محاسبه می‌شود. کلسیم کربنات یکی از چندین کانی محلول در آب و مهم‌ترین ترکیب عامل ایجاد رسوبات کلسیتی محسوب می‌شود (Taghipour et al. 2012). شاخص LSI نیروهای محرک وابسته به pH را به‌عنوان مهم‌ترین عامل برای تشکیل رسوب نشان داده‌است.

شاخص پایداری رایزنر^۶ شاخص رسوب‌گذاری دیگری است که اغلب به همراه LSI برای افزایش دقت در پیش‌بینی رسوب‌گذاری و یا خوردگی منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gupta et al. 2011). مقادیر بالای RSI غالباً با مقادیر بالای LSI منطبق است و نشان‌دهنده احتمال خوردگی آب است. سومین شاخص مورد استفاده در تعیین خوردگی و یا رسوب‌گذاری منابع آب شاخص رسوب‌گذاری پوکوریوس (PSI)^۷ است. برخلاف سایر شاخص‌هایی که ظرفیت بافر کنندگی آب و حداکثر مقدار رسوبی را که می‌تواند در آب‌های ورودی برای برقراری تعادل نیاز باشد مدنظر قرار نمی‌دهد، PSI تلاش می‌کند تا ارتباط میان حالت اشباع‌شدگی و تشکیل رسوب را با برآوردی از ظرفیت بافرکنندگی آب به کمیت درآورد. این شاخص مشابه با RSI محاسبه‌شده، با این تفاوت که در آن به‌جای مقدار pH واقعی از pH در

تأثیر شیمی آب بر روی تجهیزات صنعتی، سیستم‌های انتقال آب و لوازم‌خانگی نیز از موارد قابل توجه است که معمولاً به چهار صورت دیده می‌شود: لکه‌دارشدن، رسوب‌گذاری^۱، خوردگی^۲ و زنگ‌زدگی^۳. لکه‌دارشدن مکانیسم پیچیده‌ای است که منجر به تجمع مواد نامطلوب بر روی سطوح مختلف می‌شود. در مکانیسم رسوب‌گذاری، نمک‌ها می‌توانند بر روی سطح رسوب‌گذاری کنند (Wranglen 1985).

عوامل مؤثر در خوردگی و رسوب‌گذاری سیستم‌های انتقال آب شامل سرعت جریان آب، هدایت الکتریکی، کلیتیت، کلراید باقیمانده، سختی، pH، اکسیژن محلول، مجموع مواد جامد محلول، واکنش‌های بیولوژیکی، زمان اقامت، دما و عمر لوله‌ها می‌باشد (Khorsandi et al. 2015). انسداد لوله‌ها، کاهش دبی جریان، آسیب لوله‌ها و نشت مقادیر زیادی آب نیز از نتایج خوردگی و رسوب‌گذاری آب می‌باشد. هم‌چنین ورود آلاینده‌های ثانویه مانند آهن، مس و منگنز در غلظت‌های بالاتر از حد استاندارد و در نتیجه ایجاد مزه، بو، رنگ و ایجاد لکه بر روی سطوح، رشد باکتری‌ها، افزایش کدورت و کاهش کیفیت از دیگر نتایج آب‌های خورنده در سیستم‌های آب‌رسانی می‌باشد (Mokhtari et al. 2010).

اندازه‌گیری میزان خوردگی و رسوب‌گذاری در آب می‌تواند با روش‌های مستقیم و غیرمستقیم انجام شود. روش‌های غیرمستقیم شامل تفسیر داده‌های حاصل از نمونه‌برداری و آنالیز آن‌ها و محاسبه شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری در جهت تعیین کیفیت آب می‌باشد (Shams et al. 2012).

Amouei et al. (2017) با مطالعه آب شرب شهرستان جویبار به این نتیجه رسیدند که تمایل به رسوب‌گذاری در اکثر نمونه‌های آب وجود دارد.

^۱Fouling

^۲ Deposition

^۳Aggression

^۴Corrosion

^۵Langlier Saturation Index

^۶Ryznar Stability Index

^۷ Puckorius Scaling Index

بر روی ترکیب شیمیایی منابع آب اثرگذار هستند. از این‌رو بررسی شاخص‌های رسوب‌گذاری-خورندگی سولفات کلسیم ضروری به نظر می‌رسد. شاخص لارسون و اسکلد^۲ برخلاف شاخص‌هایی که پیش از این معرفی شدند به رسوب‌گذاری کربنات کلسیم مربوط نمی‌شود و به‌طور تجربی نسبت یون‌های ویژه‌ای را بیان می‌کند که ماهیت خورندگی یک نمونه آب را بر اساس توجه به میزان خوردگی فلز تعیین می‌نماید (Larson and Scold (1958). این شاخص در مورد محلول‌هایی به کار می‌رود که حاوی یون‌های بی‌کربنات، کلراید و سولفات بوده و همچنین میزان مواد جامد محلول و سختی بالایی داشته باشند (Barringer et al. 1993).

پالایشگاه گاز شهید هاشمی‌نژاد در ۱۶۵ km شمال شرق مشهد، در طول جغرافیایی "۵۱۷'۵۰°۵۰ شرقی و عرض "۶/۴'۳۶°۲۸ شمالی قرار گرفته است. آب موردنیاز پالایشگاه و شهرک‌های مسکونی کارکنان از چند حلقه چاه آب واقع در کنار رودخانه مرزی تجن که در فاصله ۳۵ km پالایشگاه قرار دارد تأمین و توسط لوله‌های انتقال آب به پالایشگاه منتقل می‌شود.

با اندازه‌گیری خورندگی و یا رسوب‌گذاری منابع آب موجود در منطقه می‌توان تأثیر آن‌ها را بر روی تجهیزات انتقال و تصفیه آب و همچنین سلامت ساکنان منطقه که به‌طور عمده از آب‌های زیرزمینی جهت شرب و کشاورزی استفاده می‌کنند، پیش‌بینی نمود. بر اساس عوامل طبیعی و انسانی مؤثر بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی موجود در منطقه، هدف از این مطالعه ارزیابی کیفیت این منابع و پساب‌های تولیدی در پالایشگاه گاز شهید هاشمی‌نژاد جهت مصارف صنعتی و تعیین میزان خورندگی و رسوب‌گذاری در آن‌ها با استفاده از شاخص‌های مختلف بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۵۷۸ km² در استان خراسان رضوی واقع شده و بخش جنوبی شهرستان

حال تعادل (pH_{eq}) استفاده می‌شود (Gholikandi et al. 2011). این نکته قابل‌ذکر است که pHs برابر با pHs در محاسبه شاخص LSI است. به دلیل این که pH ویژگی مناسبی در سیستم‌های بافر است ولی ارتباط قابل‌توجهی با قلیایت ندارد، pH_{eq} را می‌توان بر مبنای قلیایت به دست (Colin 2008). غالباً LSI خاصیت رسوب‌گذاری آب را منعکس می‌کند، در حالی که PSI بر حالت خورندگی آب تأکید بیشتری دارد (Golozar 2008). مقادیر بیش‌تر از ۶ نشان‌دهنده خورندگی آب و مقادیر کم‌تر از ۶ رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد (Shahmohammadi et al. 2018).

شاخص تهاجمی (AI) شاخصی است که در بیشتر موارد تأثیر خورندگی آب بر روی لوله‌های آذبستی - سیمانی را نشان داده و برای پیش‌بینی رسوب‌گذاری کربنات کلسیم و یا عدم تنشینی آن و خورندگی جداره‌های این‌گونه لوله‌ها استفاده می‌شود (Kurdi et al. 2015). آبی با مقدار AI کم‌تر از ۱۰ به شدت خورنده است، بین ۱۰-۱۲ تقریباً خورنده و با مقدار بیشتر از ۱۲ رسوب‌گذار است (Fazlzadeh Davil et al. 2009). AI که به‌طور عمده برای پایش کیفیت آب در لوله‌های آذبستی استفاده می‌شود، معمولاً به‌عنوان شاخصی برای خورندگی آب جایگزین LSI می‌شود و حتی مناسب‌تر از آن است (Safe Drinking Water Committee 1982).

شاخص اشباع‌شدگی استیف و دیویس (S&DSI)^۱ به‌ویژه برای منابع آبی مناسب است که دارای TDS > ۱۰۰۰ mg/l باشند. روش معمول برای بهبود کیفیت آب رساندن مقدار این شاخص به میزان ۰/۲ با افزودن عوامل اسیدی و یا قلیایی مناسب است. از این‌رو S&DSI به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان شاخصی برای پیش‌بینی تمایل آب برای رسوب‌گذاری کربنات کلسیم استفاده می‌شود (Bahadori 2010). علاوه بر فراوانی سازندهای کربناته در منطقه مورد مطالعه، مقادیر قابل‌توجهی رسوبات تبخیری سولفات از قبیل ژپس (CaSO₄, 2H₂O) و انیدریت (CaSO₄) وجود دارند که

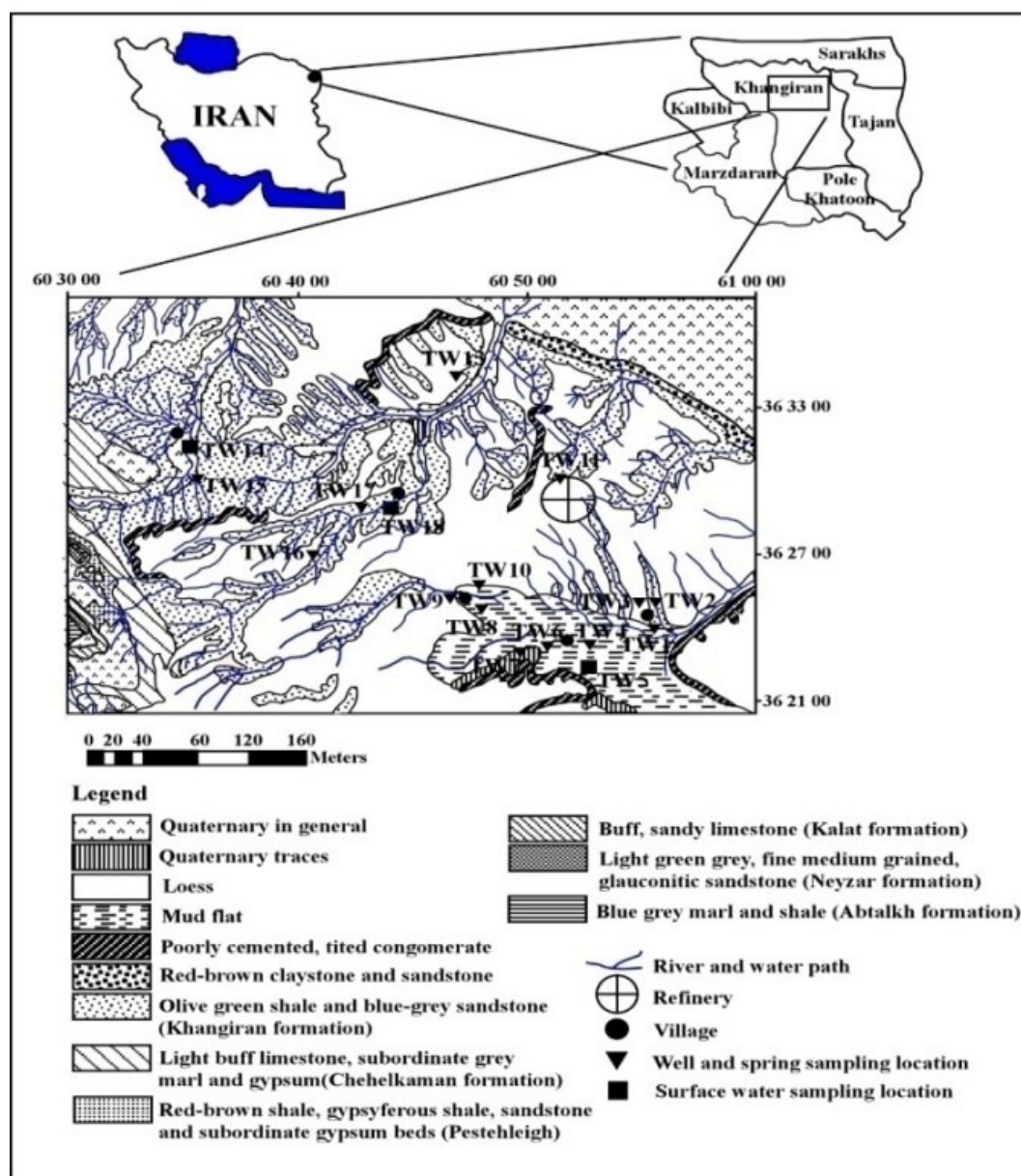
^۱ Aggressive Index

^۲ Stiff and Davis Saturation Index

^۳ Larson and Skold Index (L&SI)

(Company 2009) منطقه مورد مطالعه از نظر چینه‌شناسی شامل سازندهایی به سن ژوراسیک بالایی تا کواترنر است که عمدتاً از آهک، شیل و ماسه‌سنگ تشکیل شده‌اند. بعضی از این سازندها از قبیل چهل کمان، پسته‌لیق و شوربچه دربردارنده رسوبات تبخیری می‌باشند. رسوبات دوره کواترنر در منطقه شامل لس‌ها و پادگانه‌ها است که لس‌ها از سیلت و رس تشکیل شده و پادگانه‌ها اغلب از کنگلومرای دانه‌متوسط تا دانه‌درشت با جورشدگی ضعیف و زمینه‌ای از رس، سیلت و ماسه تشکیل شده‌اند (Afshar Harb 1994).

سرخس محسوب می‌شود (شکل ۱). از نظر آب و هوایی، اقلیم این منطقه خشک سرد تا خشک معتدل بوده و جزء مناطق کم باران است (Jangjoo et al. 2008). منبع اصلی آب‌های ورودی به حوضه، بارش‌های جوی است. رژیم بارندگی در ارتفاعات و دشت محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد که پرباران‌ترین ماه سال، اسفند با $43/5$ mm و کم باران‌ترین ماه سال مرداد با $0/1$ mm بارندگی است. هم‌چنین میزان تبخیر سالانه در ارتفاعات و دشت این محدوده به ترتیب 2431 و 2440 mm گزارش شده است (Toos Ab Consultant Engineers).



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از افشار حرب ۱۳۶۱) و نقاط نمونه‌برداری از آب
Fig. 1 Geological map of study area (Adopted from Afshar Harb 1982) and water sampling locations

جهت تعیین میزان خورندگی و رسوب گذاری تعداد ۱۸ نمونه آب از مناطق مجاور پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد برداشت شد. که از این تعداد، ۱۳ نمونه از آب های زیرزمینی، یک نمونه از آب خام مورد استفاده در فعالیت های صنعتی مختلف پالایشگاه، یک نمونه از گمانه ای داخل پالایشگاه و سه نمونه از آب های سطحی بودند. پنج نمونه پساب تولیدی در پالایشگاه نیز شامل

پساب زهکش اطراف محوطه قالب گیری گوگرد، ورودی و خروجی تصفیه خانه، استخر آب ترش صنعتی (استخر B) که محل ذخیره پساب هایی با هدایت الکتریکی بیش از $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ می باشد و همچنین خروجی پالایشگاه (آب بند دوم) مورد سنجش قرار گرفتند. دما، EC و pH نمونه های آب توسط دستگاه pH متر و EC متر در محل اندازه گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات صحرایی نمونه های آب و پساب

Table 1. Field characteristics of water and wastewater samples

Sample ID	Water types	Position to refinery	T (°C)	pH	EC (dS/m)
TW1	Groundwater	South	18.5	7.6	11658
TW2	Groundwater	South	19.4	7.8	8982
TW3	Groundwater	South	21	7.6	7815
TW4	Groundwater	South	16.2	7.6	11950
TW5	Groundwater	South	10.5	8	23178
TW6	Groundwater	South	20	7.2	7517
TW7	Groundwater	South	21	7.3	8250
TW8	Groundwater	South	18.3	7.4	18269
TW9	Groundwater	South	19	7.6	17090
TW10	Groundwater	South	11.6	7.8	13172
TW11	Groundwater	Inside	18	7.4	7047
TW12	Wastewater	Inside	12.5	3.8	10393
TW13	Groundwater	North-west	32	7.5	12560
TW14	Surface water	West	15.8	8.4	21806
TW15	Groundwater	West	16	7.5	9695
TW16	Groundwater	West	18.5	7.5	13029
TW17	Groundwater	West	14.7	7.8	14067
TW18	Surface water	West	12.4	8.2	44454
TW19	Wastewater	Inside	29.6	7.9	1540
TW20	Wastewater	Inside	29	6.5	1717
TW21	Wastewater	Inside	25	6	12030
TW22	Wastewater	Inside	27.3	4.1	51806
TW23	Raw water	Inside	26.9	7.41	2155
Minimum	-	-	10.5	3.8	1540
Maximum	-	-	32	8.4	51806
Mean	-	-	19.96	7.2	14400

صنعتی از شاخص های مربوط به خورندگی و رسوب گذاری کلسیم کربنات و سولفات استفاده شد که در ادامه به توضیح آن ها پرداخته می شود.

۲-۲- شاخص های مورد استفاده

شاخص LSI از طریق روابط (۱) الی (۶) محاسبه می شود که در آن ها، TDS برحسب mg/l ، سختی و قلیائیت برحسب $\text{CaCO}_3 \text{ mg}/\text{l}$ ، دما برحسب $^\circ\text{C}$ و pH مقدار اندازه گیری شده آن است:

$$\text{pH}_S = (9.3 + A + B) - (C + D) \quad (1)$$

غلظت کربنات و بیکربنات، کلراید و سولفات به ترتیب به روش تیتراسیون اسید و باز، تیتراسیون رسوبی و روش وزنی و غلظت کلسیم و منیزیم و سدیم و پتاسیم به روش تیتراسیون کمپلکسومتری و طیف سنجی جذب اتمی در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد اندازه گیری شدند. TDS نمونه های مورد مطالعه نیز به روش وزن سنجی در آزمایشگاه شرکت پالایش گاز شهید هاشمی نژاد تعیین شد (APHA (2005). در جدول (۲) ویژگی های اندازه گیری شده در نمونه های آب و پساب ارائه شده است. جهت بررسی کیفیت نمونه های آب و پساب مورد مطالعه برای مصارف

$$D = \log_{10}[\text{Alkalinity as CaCO}_3] \quad (۵)$$

$$A = (\log_{10}(\text{TDS}) - 1) \frac{(\log_{10}(\text{TDS}) - 1)}{10} \quad (۲)$$

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (۶)$$

$$B = -13.12 \log_{10}(\text{°C} + 273) + 34.55 \quad (۳)$$

$$C = \log_{10}[\text{Ca}^{2+} \text{ as CaCO}_3] - 0.4 \quad (۴)$$

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی نمونه‌های آب و پساب (کاتیون‌ها و آنیون‌ها برحسب meq/l و TDS برحسب mg/l)

Table 2 Chemical characteristics of water and wastewater samples

Sample ID	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
TW1	8743	3.13	28.14	2.12	42.84	3.79	0	54.12	30.82
TW2	6736	24.69	28.09	2.06	44.62	3.35	0	61.2	29.83
TW3	5861	22.06	28.27	2.01	39.58	2.55	0	57.87	25.85
TW4	8962	33.41	30.48	0.57	66.28	3.23	0	68.9	53.2
TW5	17382	54.06	27.54	0.67	146.36	2.51	0.19	119.49	103.91
TW6	5637	24.64	29.01	0.46	32.8	5.03	0	53.29	23.86
TW7	6188	25.01	26.07	0.37	44.54	4.55	0	59.74	32.31
TW8	16442	49.28	35.99	0.69	129.4	3.67	0	84.52	128.18
TW9	12817	29.04	22.4	0.71	126.36	5.11	0	117.41	69.09
TW10	11855	27.09	45.9	0.49	57.86	4.27	0	43.5	88.12
TW11	5285	15.44	36.35	0.28	20.01	5.51	0	39.97	21.52
TW12	7795	16.65	21.95	0.62	50.45	0	0	52.04	36.79
TW13	11304	24.64	33.05	0.52	77.52	3.59	0	61.41	68.09
TW14	19625	68.39	23.87	0.9	160.96	3.55	0.51	118.24	124.17
TW15	7271	21.69	29.78	0.56	46.97	4.55	0	59.33	34.04
TW16	11726	23.59	24.97	0.42	78.51	3.31	0	62.03	78.11
TW17	12660	16.91	17.62	0.41	86.78	2.07	0	50.37	78.11
TW18	40009	69.5	33.43	0.9	220.97	3.75	0.19	124.49	236.33
TW19	417	1.72	5.58	0.05	1.44	6.39	0	0.27	0.2
TW20	2063	2.13	2.19	0.15	61.76	3.59	0	5.26	4.97
TW21	6616	15.74	20.01	0.05	46.02	27.68	0	0.10	0.2
TW22	32800	62.42	32	0.67	54.43	0	0	56	89.61
TW23	1050	6.6	3.69	2.1	42.1	3.80	0	11.53	10
Minimum	417	1.72	2.19	0.05	1.44	0	0	0.10	0.2
Maximum	40009	69.5	45.9	2.12	220.97	27.68	0.51	124.49	236.33

شاخص AI بر اساس تأثیرات pH، غلظت کلسیم و قلیائیت بر اساس رابطه (۱۰) محاسبه شد.

$$AI = \text{pH} + \log(\text{TA})(\text{H}) \quad (۱۰)$$

که، TA = قلیائیت کل و H = سختی کلسیم هر دو برحسب mg/l شاخص S&DSI طبق رابطه (۱۱) (اگر <math>I < 1/2</math> باشد) و روابط (۱۲) الی (۱۴) (اگر $I > 1/2$ باشد) محاسبه می‌شود. در آن‌ها I = قدرت یونی، T = دما برحسب °C و pCa و pAlk منفی لگاریتم غلظت یونی کلسیم و بیکربنات می‌باشند.

$$K = 2.022e^{\frac{(\ln I + 7.544)^2}{102.6}} - 0.0002T^2 + 0.00097T + 0.262 \quad (۱۱)$$

$$K = -0.11 - 0.0002T^2 - 0.00097T + 3.887 \quad (۱۲)$$

شاخص L&SI طبق رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود که در آن غلظت یون‌ها برحسب meq/l می‌باشد.

شاخص RSI با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Vasconcelos et al. 2015):

$$RSI = 2\text{pH}_s - \text{pH} \quad (۷)$$

شاخص PSI با استفاده از روابط (۸) و (۹) محاسبه گردید.

$$PSI = 2(\text{pH}_{\text{eq}}) - \text{pH}_s \quad (۸)$$

$$\text{pH}_{\text{eq}} = 1.465 \log_{10}(\text{Alkalinity}) + 4.54 \quad (۹)$$

$$\text{pH}_{\text{sat}} = \text{pCa} + \text{pAlk} + K \quad (۱۳)$$

$$\text{S\&DSI} = \text{pH} - \text{pH}_{\text{sat}} \quad (۱۴)$$

$$SI = \frac{S_{act}}{S_t} \quad (16)$$

$$S_t = 1000(\sqrt{X^2 + 4k_{sp}} - X) \quad (17)$$

$$X = (2.5[Ca] - 1.04[SO_4])10^{-5} \quad (18)$$

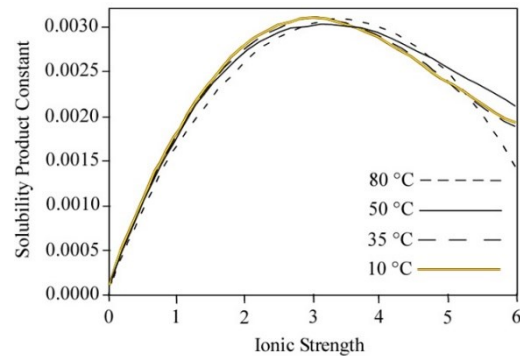
$$U = 2.2[Na] + 5[Ca] + 8.2[Mg] + 1.4[Cl] + 2.1[SO_4] + 0.8[HCO_3]10^{-5} \quad (19)$$

تغییر کرده، که کم‌ترین میزان آن ۳/۸ در نمونه پساب TW12 بود. بیش‌ترین مقدار pH مربوط به نمونه آب‌های سطحی TW18 به مقدار ۸/۴ بود. این نمونه‌های آب سطحی به‌علت دارا بودن pH بالا علاوه بر آنیون بی‌کربنات، دارای آنیون کربنات نیز بودند و سایر نمونه‌ها فاقد کربنات بودند. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان EC در نمونه‌های آب ۴۴۴۵۴/۵ و ۷۰۷۴/۷۸ $\mu S/cm$ به‌ترتیب در TW11 و TW18 و در پساب‌ها ۵۱۸۰۶/۴ و ۱۵۴۰/۶۶ $\mu S/cm$ در نمونه‌های TW19 و TW22 بود. بر طبق جدول (۲) TDS در تمامی نمونه‌ها محتوای بالایی را نشان داد، طوری که کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار این کمیت به ترتیب در نمونه TW19 به میزان ۴۰۰۰۹/۰۵ mg/l و در نمونه TW18 به میزان ۴۱۷/۱۲ mg/l بود. در بین کاتیون‌های اندازه‌گیری شده، کم‌ترین و بیش‌ترین غلظت را پتاسیم با میانگین ۰/۸۲ meq/l و سدیم با میانگین ۷۲/۹۸ meq/l نشان دادند. پس از سدیم، کاتیون‌های منیزیم و کلسیم به‌ترتیب با میانگین غلظت ۲۷/۷۳ و ۲۵/۴۹ meq/l قرار داشتند. کم‌ترین غلظت پتاسیم، سدیم، منیزیم و کلسیم به ترتیب ۰/۰۵، ۱/۴۴، ۱/۷۲ و ۲/۱۹ meq/l در نمونه‌های TW19 و TW21، TW19، TW19 و TW20 بود. بیش‌ترین مقدار این کاتیون‌ها به‌ترتیب ۲/۱۲، ۲۲۰/۹۷، ۶۹/۵ و ۴۵/۹ meq/l در نمونه‌های TW1، TW18، TW18 و TW10 بود. کلراید و سولفات دارای میانگین غلظت تقریباً برابری بودند و بیش‌ترین غلظت آن‌ها ۲۳۶/۳۳ meq/l و ۱۲۴/۴۹ در TW18 و کم‌ترین غلظت آن‌ها به ترتیب ۰/۲ و ۰/۱ meq/l در TW19 و TW21 بود. بی‌کربنات با میانگین ۴/۶ meq/l غلظت بیش‌تری از آنیون کربنات داشت، به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت آن به ترتیب در نمونه TW21 به میزان ۲۷/۶۸ meq/l و

$$L \& SI = \frac{(Cl + SO_4)}{(CO_3 + HCO_3)} \quad (15)$$

Skillman et al. (1969) روش ساده‌ای برای محاسبه شاخص حلالیت کلسیم سولفات و برآورد احتمال رسوب‌گذاری آن پیشنهاد دادند (شاخص SI) که به صورت روابط (۱۶) الی (۱۹) محاسبه می‌شود:

که، S_{act} = حلالیت واقعی و S_t حلالیت تئوریک می‌باشد. در این معادلات X غلظت مازاد یون مشترک می‌باشد که در آن غلظت کلسیم و سولفات برحسب mg/l است. K_{sp} ثابت حلالیت ژپیس بوده که از نمودار قدرت یونی در برابر ثابت حلالیت تحت تأثیر دما تعیین می‌شود (شکل (۲)). U قدرت یونی است که در آن غلظت تمامی یون‌ها برحسب mg/l است.



شکل ۲- نمودار ثابت حلالیت ژپیس در برابر قدرت یونی به‌عنوان تابعی از دما (Skillman et al. 1969)

Fig. 2 Diagram of gypsum solubility constant vs. ionic strength as a function of temperature (Skillman et al. 1969)

عدد محاسبه‌شده برای این شاخص اگر بیش‌تر از یک باشد فوق اشباع بودن آب از نظر سولفات کلسیم و رسوب‌گذاری آن را نشان داده، اگر کم‌تر از یک باشد عدم رسوب‌گذاری و تحت اشباع بودن آن و اگر مساوی صفر باشد تعادل سولفات کلسیم را نشان می‌دهد (Skillman et al. 1969).

۳- یافته‌ها و بحث

بر اساس جدول (۱)، کم‌ترین دما مربوط به نمونه TW5 به مقدار ۱۰/۵ °C بود و بیش‌ترین دما در نمونه TW13 به مقدار ۳۲ °C وجود داشت. pH با میانگین ۷/۶ در نمونه‌های برداشت‌شده از گستره قلیایی تا بسیار اسیدی

سبک و رسوب‌گذاری و غیر خوردگی دارای مقادیر مساوی هستند. حدوداً ۵۵٪ از نمونه‌های آب بر اساس RSI رسوب‌گذاری سبک، ۳۹٪ رسوب‌گذاری یا خوردگی اندک و ۶٪ خوردگی مشخص را نشان می‌دهند. بنابراین، بر اساس این شاخص نمونه‌های آب مورد مطالعه به ترتیب رسوب‌گذار سبک، رسوب‌گذار یا خورنده ضعیف و خورنده مشخص هستند و نمونه‌های پساب نیز حالت خوردگی غیرقابل تحمل و رسوب‌گذاری سبک را به مقدار مساوی نشان داده و پس از آن خوردگی سنگین در این نمونه‌ها مشاهده می‌شود. مقادیر PSI محاسبه شده برای نمونه‌های آب مورد مطالعه (جدول ۲) نشان می‌دهد که ۷۲٪ رسوب‌گذار و ۲۸٪ خورنده هستند. نمونه پساب‌های TW19 و TW21 (۴۰٪) رسوب‌گذار و نمونه‌های TW20، TW12 و TW22 (۶۰٪) خورنده هستند.

TW12 و TW22 است که مقدار آن صفر است. توالی آنیونی نمونه‌ها کلراید، سولفات، بی‌کربنات و کربنات بود. مقادیر LSI نمونه‌های مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس این جدول ۸۹٪ نمونه‌های آب مورد مطالعه رسوب‌گذار و غیر خورنده بوده و ۱۱٪ حالت رسوب‌گذاری و خوردگی سبک را نشان می‌دهند. نمونه‌های TW12 و TW22 خوردگی غیرقابل تحمل (۴۰٪)، TW20 خوردگی جدی (۲۰٪)، TW21 رسوب‌گذاری و خوردگی سبک (۲۰٪) نشان داده و TW19 رسوب‌گذار و غیر خورنده است (۶۰٪)؛ بنابراین، نتایج حاصل از محاسبه LSI در مورد نمونه‌های آب، غالباً رسوب‌گذاری و غیر خوردگی را نشان می‌دهد و در نمونه‌های پساب نیز خوردگی غیرقابل تحمل غالب بوده و پس از آن خوردگی جدی، رسوب‌گذاری و خوردگی

جدول ۳- طبقه‌بندی نمونه‌های آب و پساب بر اساس شاخص‌های خوردگی و رسوب‌گذاری

Table 3 Water and wastewater samples classification based on the scaling and corrosion indices

Index type	Index name	Range	Water quality	Water	Wastewater
Calcium Carbonate Scaling-Corrosion Indices	LSI (Shankar 2014)	<-2	Intolerable corrosive	0	2
		-2 - -0.5	Serious corrosive	0	1
		-0.5 - 0	Slightly corrosive but non-scale forming	0	0
		0	Balanced but pitting	0	0
		0 - 0.5	Slightly scale forming and corrosive	2	1
		0.5 - 2	Scale forming but non corrosive	16	1
	RSI (Shankar 2014)	4 - 5	Heavy scale forming	0	0
		5 - 6	Light scale forming	10	2
		6 - 7	Little scale forming or corrosive	7	0
		7 - 7.5	Significant corrosive	1	0
		7.5 - 9	Heavy corrosive	0	1
	PSI (Shahmohammadi et al. 2018)	>9	Intolerable corrosive	0	2
		<6	Scale forming	13	2
AI (Fazlzadeh Davil 2009)	>6	Corrosive	5	3	
	>12	Scale forming	18	2	
	10 - 12	Slightly corrosive	0	1	
	<10	Heavy corrosive	0	2	
S&DSI Leitz and Guerra 2013	<0	Corrosive	1	4	
	>0	Scale forming	17	1	
Calcium Sulfate Scaling-Corrosion Indices	L&SI (Larson and Scold 1958)	<0.8	Chloride and sulfate not influence on natural scale formation	0	4
		0.8 - 1.2	Chloride and sulfate may influence on natural scale formation	0	0
		>1.2	Water tendency to high corrosive predict	18	1
	SI (Skillman et al. 1969)	>1	Scale forming	8	1
		0	Equilibrium	0	0
	<1	Not scale forming	10	4	

نتیجه تولید رسوب کلسیم کربنات بیش تر نسبت به سولفات کلسیم را منعکس می کند (شکل ۳).

رسوب گذاری نمکها به طور معمول در نتیجه تغییرات pH (بیش از ۷/۵)، فشار، دما و تبخیر و تعرق ایجاد می شود (Vlotman et al. 2001). نمکها در نواحی خشک و نیمه خشک بر اساس نوع آنیونها به چهار گروه تقسیم می شوند که شامل کربناتها، سولفاتها، کلرایدها و بوراتها است. نمکهایی با حلالیت کم ته نشین می شوند و لایههایی را بر روی لولهها و تجهیزات آب رسانی ایجاد می کنند. سه نوع نمک غالب در نواحی خشک و نیمه خشک کلسیم کربنات، کلسیم سولفات و منیزیم کربنات به ترتیب با حلالیت ۰/۱۳، ۰/۱۹ و ۲/۵g/l هستند که منیزیم کربنات کم تر معمول است، در حالی که دو نوع دیگر بیش تر مشاهده می شوند. کلسیم کربنات که کم ترین میزان حلالیت را دارد در حدود ۰/۸۰٪ ته نشینی مجموع نمکها را در نواحی خشک تشکیل می دهد. به دلیل حلالیت پائین، کلسیم کربنات به سرعت در سطوح داخلی لولههای انتقال آب و همچنین خاک زمینهای کشاورزی ته نشین می شود (FAO/UNESCO 1973).

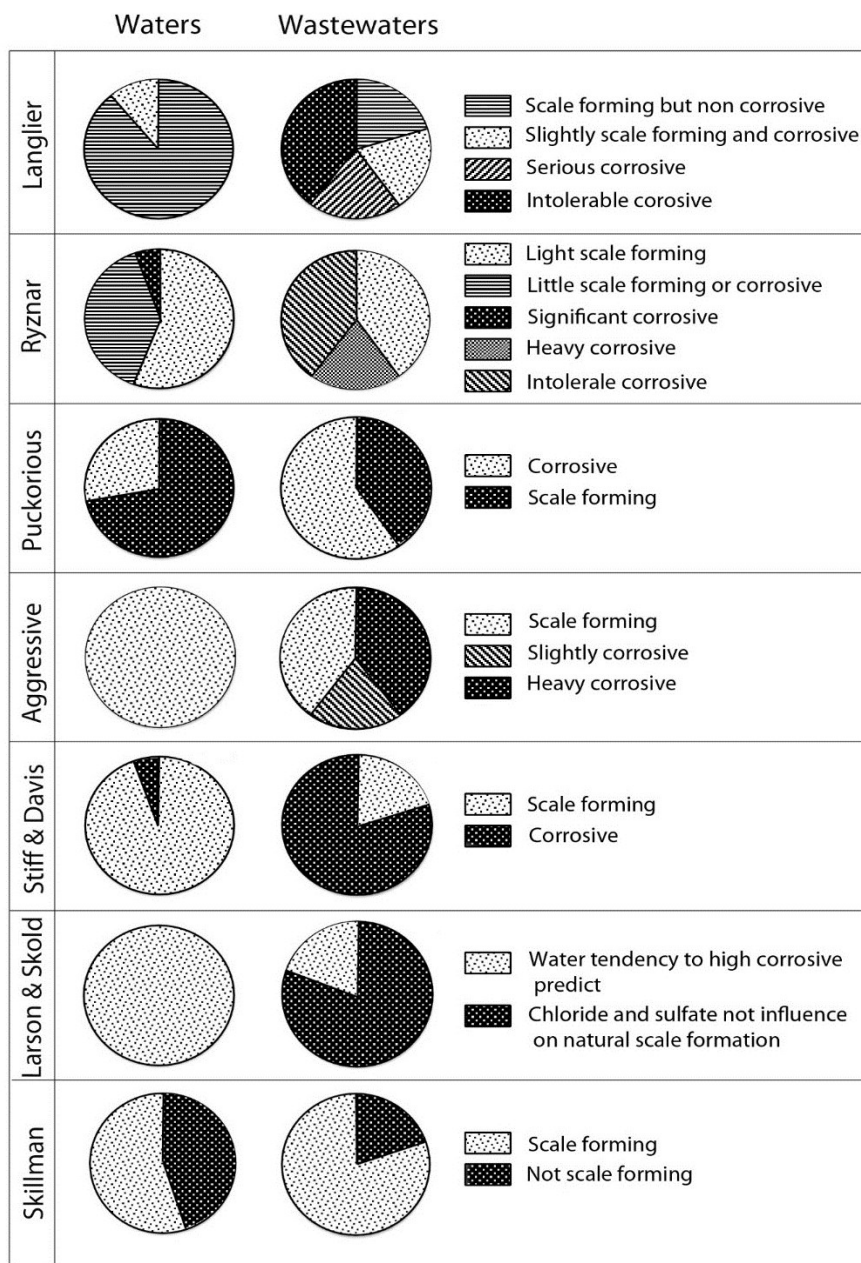
با توجه به فوق اشباع بودن منابع آب نسبت به کلسیم کربنات، می توان سنگ شناسی منطقه را که غالباً از سازندهای قابل انحلال کربنات تشکیل شده است منشأ اصلی ورود این کانی به منابع آب در نظر گرفت که با حلالیت کم، در طی زمان ته نشین شده و کیفیت آب را جهت مصارف صنعتی کاهش می دهد. از طرفی علیرغم گسترش سازندهای حاوی ژپس در منطقه مانند پسته لیک و چهل کمان، عدم رسوب گذاری ژپس در نمونه های آب مورد مطالعه را می توان به تمایل بیش تر این کانی برای محلول بودن نسبت به کلسیم کربنات نسبت داد. مجموع مواد جامد محلول و هدایت الکتریکی بالا در تمام نمونه های آب نشان دهنده وجود ترکیباتی مانند کلسیم کربنات است که می توانند موجب نامناسب بودن آب جهت مصارف صنعتی باشند.

AI در نمونه های آب مورد مطالعه بیش تر از ۱۲ بوده و بنابراین بر اساس این شاخص تمام این نمونه ها رسوب گذار هستند. نمونه های TW19 و TW21 (۴۰٪) رسوب گذار بوده، TW20 (۲۰٪) خورندگی سبک را نشان داده و نمونه های TW12 و TW22 (۴۰٪) خورنده سنگین هستند. بر اساس S&DSI اکثر نمونه های آب مورد مطالعه (۹۴٪) رسوب گذار هستند و از بین پسابها تنها نمونه پساب TW19 رسوب گذار بوده و سایر پسابها خورنده هستند. در مجموع می توان نتیجه گرفت که اکثر نمونه های آب بر اساس AI, PSI, RSI, LSI و S&DSI رسوب گذاری کربنات کلسیم را نشان می دهند، به این معنا که کربنات کلسیم در بیشتر آنها فوق اشباع بوده و تمایل به رسوب گذاری دارد (جدول ۳).

در مقابل، برای نمونه های پساب مورد مطالعه بر اساس این شاخصها هر دو حالت خورندگی و رسوب گذاری پیش بینی می شود و در بیشتر موارد این نمونه ها در دو گروه آب های خورنده و رسوب گذار طبقه بندی می شوند.

طبقه بندی کیفیت آب بر اساس L&SI در جدول (۳) ارائه شده است که برای تمامی نمونه های آب مورد مطالعه تمایل به خورندگی بالا پیش بینی می شود. تنها برای نمونه پساب TW20 احتمال خورندگی بالا وجود داشته و در سایر نمونه های پساب آنیونهای کلراید و سولفات در تشکیل رسوب تأثیری ندارند. شاخص Skillman نیز برای نمونه های آب هر دو حالت رسوب گذاری (۴۴٪) و عدم رسوب گذاری (۵۶٪) را نشان می دهد. در میان پسابها نیز فقط یک نمونه رسوب گذار است و سایر آنها عدم رسوب گذاری را نشان می دهند (جدول ۳).

همان گونه که ذکر شد نمونه های آب از نظر کلسیم کربنات در بیش تر موارد حالت رسوب گذاری دارند، از نظر سولفات کلسیم تحت اشباع بوده و عدم رسوب گذاری سولفات و افزایش خورندگی با افزایش L&SI را نشان می دهند که محتوای کلسیم و منیزیم بالا و سختی زیاد که در اثر وجود این کاتیونها در آب ایجاد می شود و در



شکل ۳- دیاگرام‌های دایره‌ای شاخص‌های رسوبگذاری-خوردگی برای نمونه‌های آب و پساب
 Fig. 3 Pie diagrams of the scaling-corrosion indices for water and wastewater samples

داد، به طوری که محل خروجی این پساب‌ها در مجاورت محوطه قالب‌گیری گوگرد و تحت تأثیر ورود ترکیبات گوگردی مختلفی به داخل آن‌ها و همچنین ورود ترکیبات صنعتی مختلف مانند سولفوریک‌اسید بوده که علاوه بر افزایش مجموع مواد جامد محلول، موجب ایجاد شرایط اسیدی در آن‌ها شده است. همچنین سولفید هیدروژن که یکی از آلاینده‌های معمول پساب‌های پالایشگاهی است نیز می‌تواند در ایجاد شرایط اسیدی در آب مؤثر باشد. از این رو این پساب‌ها کیفیت لازم را برای

در مقادیر کم pH، آب حالت خوردگی دارد به طوری که در pH < 5 آهن و مس به سرعت و به صورت یکنواختی خورده می‌شوند، و در pH = 5-9 که گستره محیط‌های اسیدی تا قلیایی را در برمی‌گیرد، احتمالاً خوردگی در مواد فلزی و سیمانی روی می‌دهد (Meyer and Edwards 1994; Schock 1999). نمونه‌های پساب مورد مطالعه، به ویژه TW12 و TW22 بر اساس شاخص‌های رسوب‌گذاری کلسیم کربنات در تمامی موارد خورنده هستند که می‌توان به pH پائین در آن‌ها نسبت

نمونه‌های آب در رده آب‌های شور قرار گرفته‌اند (شکل (۴.a)) و تعداد کمی نیز دارای سختی دائم هستند. با استفاده از نمودار Piper می‌توان واحدهای سنگی اثرگذار در ترکیب شیمیایی آب را نیز تعیین نمود که در نمونه‌های آب مورد مطالعه این واحدها شامل ژئوپس و شیل بوده و تعدادی از نمونه‌ها از نظر ترکیب شیمیایی مشابه آب دریا هستند که می‌تواند در نتیجه رسوبات تبخیری با منشأ دریایی باشد. با مقایسه غلظت یون‌های موجود در نمونه‌های آب مورد مطالعه مشخص می‌شود که ۵۳٪ دارای تیپ و رخساره سدیم سولفات، ۴۱٪ سدیم کلروره هستند و ۶٪ نیز تیپ و رخساره کلسیم سولفات را نشان می‌دهند.

بر اساس شکل (۴.b) آب خام مصرفی در پالایشگاه نیز در رده آب‌های شور قرار گرفته که فراوانی یون‌های سدیم و سولفات را نشان می‌دهد و از نظر ترکیبی مشابه آب دریا می‌باشد. نمونه پساب‌های TW12 و TW22 در لوزی میانی این نمودار و در ضلع مربوط به آنیون سولفات قرار گرفته‌اند، اما TW12 دارای یون‌های غالب سدیم-سولفات بوده و TW22 دارای محتوای منیزیم بیش‌تری نسبت به سدیم و کلسیم و تیپ و رخساره منیزیم کلروره است. منشأ این نمونه‌های پساب آب‌های طبیعی بوده است که ترکیب شیمیایی آن‌ها تحت تأثیر سازندهای ژئوسی و شیلی تغییر کرده است. نمونه پساب TW20 دارای تیپ و رخساره سدیم-سولفات است که با آب‌های شور ارتباط می‌یابد. TW19 و TW21 تفاوت قابل توجهی با نمونه‌های آب و پساب دارند، بطوریکه از نظر محتوای آنیونی به یکدیگر شباهت دارند، از نوع بیکربناته محسوب می‌شوند و محتوای کاتیونی با غلبه سدیم و کلسیم را نشان می‌دهند. در واقع می‌توان گفت آب خام مصرفی در پالایشگاه طی عملیات مختلف فرآوری گاز و افزوده شدن مواد صنعتی مختلف، با نوع و رخساره سدیم سولفات به سدیم بیکربناته، کلسیم بیکربناته و منیزیم کلروره تغییر یافته است.

مصارف صنعتی نداشته و موجب خورندگی تجهیزات انتقال آب می‌شوند.

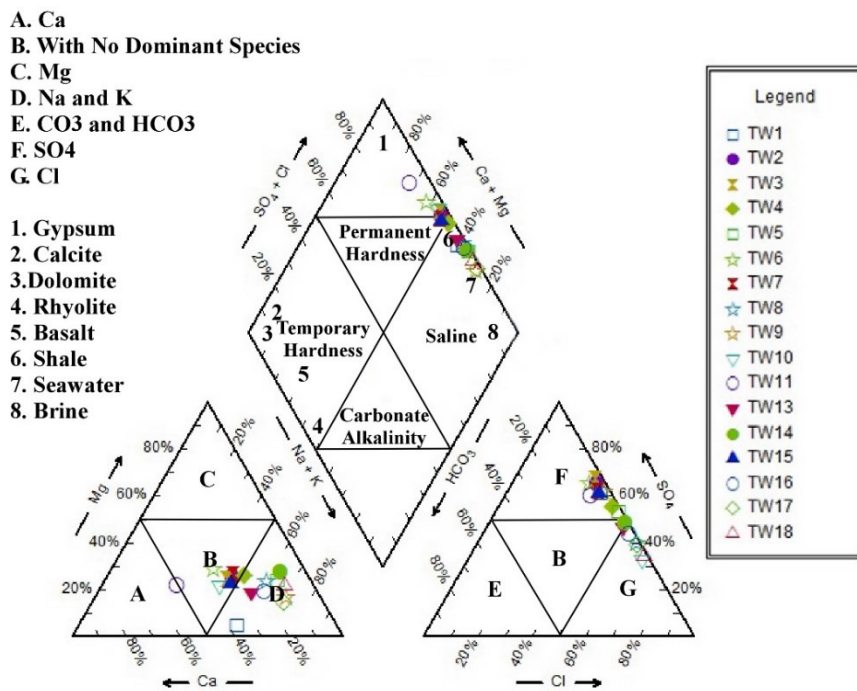
غلظت‌های بالای کلراید و سولفات نیز خورندگی مواد فلزی و سیمانی را افزایش می‌دهند. خورندگی در لوله‌های فلزی اغلب رابطه مستقیمی با نسبت غلظت این آنیون‌ها به یون بیکربنات دارد به طوری که افزایش این نسبت تمایل آب به خورندگی را افزایش می‌دهد (Cruse and Pomeroy 1974; Ferguson et al. 1996).

مقادیر بالای TDS معمولاً با غلظت‌های بالای یون‌ها در ارتباط است که موجب افزایش هدایت الکتریکی آب می‌شوند. افزایش هدایت الکتریکی آب نیز رابطه مستقیمی با توانایی آب برای خورندگی دارد. از طرفی، مواد جامد محلول ممکن است در تشکیل لایه‌های محافظ نقش داشته باشند و از این رو خورندگی را تضعیف کنند، اما این تأثیر به ماهیت مواد جامد محلول بستگی دارد. اثر TDS بر روی خورندگی به نوع یون موجود در آب بستگی دارد: اگر سولفات و کلراید آنیون‌های عمده در TDS باشند، خورندگی آهن افزایش می‌یابد، اما اگر بیکربنات آنیون عمده باشد خورندگی کاهش می‌یابد (Schock 1999).

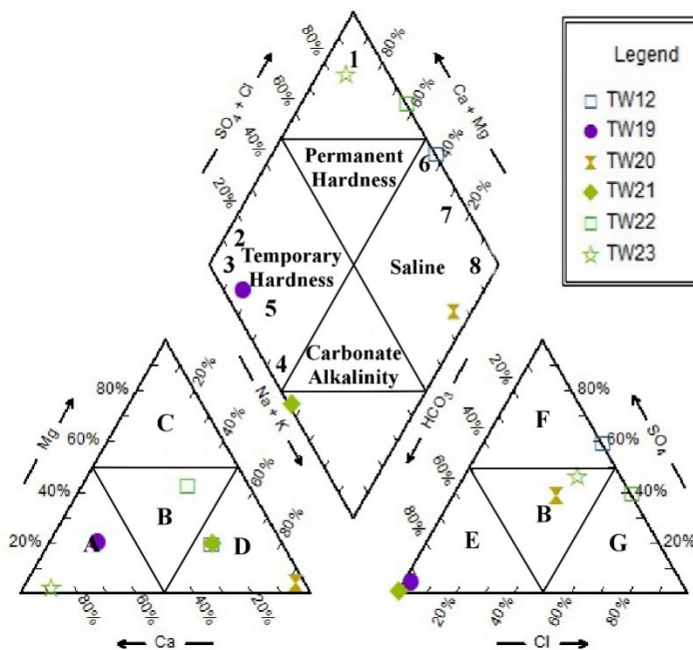
۳-۱- تیپ و رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی

روش ترسیمی Piper برای ارزیابی ماهیت هیدروژئوشیمیایی منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد و مناسب‌ترین نمودار برای تفسیر پارامترهای موجود در منابع آب است که در آن غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی موجود در آب ترسیم می‌شود (Piper 1944).

رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی مناطق محدودی بر روی نمودار Piper هستند که در آن‌ها غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در میان رده‌های ترکیبی مشخصی تعریف می‌شوند (Jagadeeswari and Ramesh 2012). شکل (۴-الف) و (۴-ب) نمودار Piper نمونه‌های آب، پساب و آب خام پالایشگاه را نشان می‌دهند و بر اساس آن‌ها اکثر



الف-نمونه‌های آب



ب- پساب‌ها و آب خام پالایشگاه

شکل ۴- نمودار Piper: الف-نمونه‌های آب و ب- پساب‌ها و آب خام پالایشگاه (برگرفته از Piper 1944)

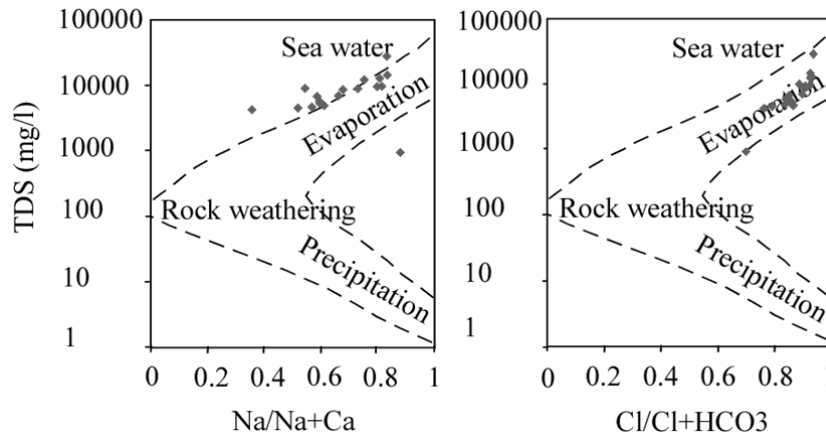
Fig. 4: a) Piper diagram for water and b) wastewater samples and raw water of the refinery (adopted from Piper 1994)

می‌باشند. از این رو با رسم مقادیر $Na^+/(Na^++Ca^{2+})$ و $Cl^-/(Cl^-+HCO_3^-)$ در برابر می‌توان مکانیسم‌های مختلفی که شیمی منابع آب را کنترل می‌کنند تشخیص داد که به صورت نمودار Gibbs نشان داده می‌شود (شکل ۵). بارش‌های اتمسفری، هوازدگی سنگ و تبخیر

۲-۳ عوامل کنترل کننده ترکیب شیمیایی کاتیون‌ها و آنیون‌های اصلی که ویژگی‌های شیمیایی آب را تعیین می‌کنند کلسیم و بیکربنات برای آب‌های شیرین و سدیم و کلراید برای آب‌هایی با شوری بالا

موضوع با توجه به کمبود بارش و هم‌چنین دمای بالای هوا در منطقه گنبدلی که منجر به افزایش میزان شوری و مجموع مواد جامد محلول در منابع آب می‌شود، قابل توجیه است.

در مناطقی با میزان بارش اندک فرآیندهای موجود در این نمودار می‌باشند. موقعیت منابع آب مورد مطالعه بر روی نمودار Gibbs (شکل ۵) نشان می‌دهد که تبخیر تأثیر قابل توجهی بر روی ترکیب شیمیایی آب دارد و اکثر نمونه‌ها در محدوده فرآیند تبخیر قرار گرفته‌اند که این



شکل ۵- نمودار گیبس نمونه‌های آب (برگرفته از Gibbs 1970)

Fig. 5 Gibbs diagram for water samples (adopted from Gibbs 1970)

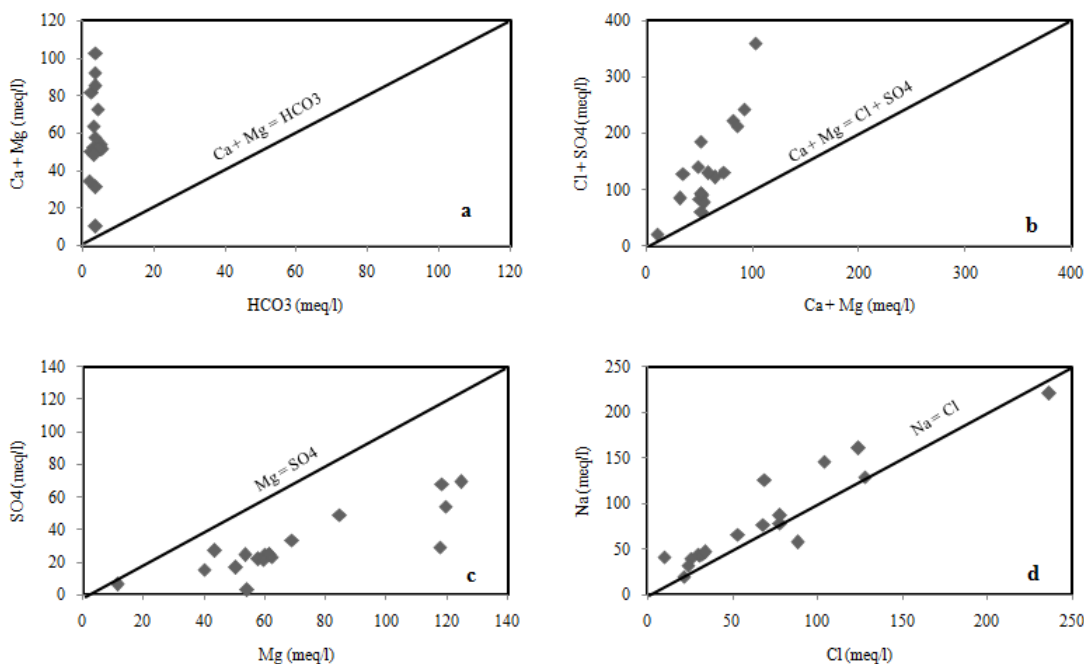
شوند. آب‌وهوا نیز نقش مهمی در توزیع یون‌های آب در مناطق خشک بازی می‌کند به طوری که دلیل دیگر افزایش غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم نسبت به آنیون بیکربنات آب‌وهوای گرم و تجمع کانی‌های تبخیری است (Al-Amry 2008). از این رو علاوه بر سازندهای کربناته، غلبه اقلیم گرم و خشک نیز از دیگر عوامل حضور کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در منابع آب منطقه مورد مطالعه است. هم‌چنین قسمت بالای خط تعادل $Ca^{2+}+Mg^{2+} = SO_4^{2-} + Cl^-$ حضور کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در منابع عمده این یون‌ها در آب معرفی می‌کند (شکل ۶.b) (Al-Amry 2008). بنابراین، بر اساس شکل ۶.b می‌توان منبع عمده آنیون‌های سولفات و کلراید در آب‌های منطقه مورد مطالعه را وجود سازندهای تبخیری حاوی ژپس، انیدریت و هالیت در نظر گرفت.

در نمودار شکل (شکل ۶.c) Mg^{2+} در برابر SO_4^{2-} همبستگی بالایی ($R^2 = 0.72$) بین این دو یون وجود دارد که علاوه بر هوازگی ژپس، تبادل کاتیونی را نیز نشان می‌دهد (Liu et al. 2015). از این رو تبادل کاتیونی نیز یکی دیگر از عوامل مؤثر در ترکیب شیمیایی

شیمی آب‌های زیرزمینی عامل مهمی در تعیین نوع استفاده مناسب از آن‌ها محسوب می‌شود. برهم‌کنش این منابع با سازندهایی که در مسیر حرکت آن‌ها قرار دارند به طور گسترده‌ای شیمی آب‌های زیرزمینی را کنترل می‌کند. آشنایی با فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی کمک مؤثری به درک برهم‌کنش‌های میان خاک/سنگ و آب و هم‌چنین دخالت‌های انسانی می‌نماید (Mohamed and Zineb 2015). جهت شناسایی فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی مؤثر بر نوع و غلظت یون‌های غالب، آمیختگی آب‌های زیرزمینی و منشأ آن‌ها می‌توان از نمودارهای دوتایی استفاده نمود (Mazor 1991). در نمودار $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ در برابر HCO_3^- که در شکل ۶.a) نشان داده شده است تمام نمونه‌های آب مورد مطالعه در بالای خط $Ca^{2+}+Mg^{2+} = HCO_3^-$ قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده بالاتر بودن غلظت کلسیم و منیزیم نسبت به بیکربنات است؛ بنابراین منبع عمده یون‌های کلسیم و منیزیم در منابع آب منطقه می‌تواند هوازگی کربنات‌ها باشد. هم‌چنین، کلسیم و منیزیم می‌تواند از انحلال و هوازگی کانی‌هایی مانند ژپس، کلراید منیزیم و یا کانی‌های سیلیکاتی مانند پلاژیوکلاز نیز وارد منابع آبی

(Chiswell 1992). به دلیل ضریب همبستگی بالا میان یون‌های Na^+ و Cl^- که در شکل (۶.d) نشان داده شده است ($R^2 = 0.86$) می‌توان نتیجه گرفت که غلظت این دو انحلال‌هالیت نقش قابل توجهی در کنترل غلظت این دو یون در منابع آب مورد مطالعه داشته است.

منابع آب منطقه محسوب می‌شود. جهت بررسی مکانیسم افزایش شوری در منابع آب مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده از رابطه میان Na^+ و Cl^- به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود و بر طبق آن اگر رابطه میان آن‌ها رابطه‌ای با ضریب همبستگی بالا باشد انحلال‌هالیت منشأ اصلی این یون‌ها است (Dixon and



شکل ۶- نمودارهای ترکیبی یون‌های مختلف در نمونه‌های آب

Fig. 6 Binary diagrams of different ions in water samples

مجاورت با محل ذخیره گوگرد تولیدی در پالایشگاه ایجاد شده است که مقادیر pH بسیار پائین در آن‌ها مؤید این مطلب بوده و موجب شده برحسب شاخص‌های محاسبه شده خوردگی شدید و غیرقابل تحمل داشته باشند.

۴- پساب ورودی تصفیه‌خانه غالباً غیر خورنده و رسوب‌گذار بوده، درحالی‌که پساب خروجی از این واحد خوردگی بیشتری را نشان داد که می‌توان دلیل این امر را افزودن موادی که در طی فرآیند تصفیه پساب موجب رسوب‌گذاری مواد معلق در آن می‌شود دانست.

۵- تمامی نمونه‌های آب و پساب به دلیل سختی، EC و TDS بالا کیفیت مطلوبی نداشته و خاصیت خوردگی و یا رسوب‌گذاری موجب نامناسب شدن آن‌ها برای مصارف صنعتی شده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه کیفیت آب مورد استفاده در فعالیت‌های صنعتی پالایشگاه گاز شهید هاشمی نژاد و منابع آبی اطراف آن مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن به صورت زیر قابل بیان است:

۱- مهم‌ترین عاملی که بر کیفیت منابع آب مؤثر است، سازندهای موجود در منطقه می‌باشند که عمدتاً کربناته و تبخیری بوده که دارای قابلیت انحلال بالایی هستند.

۲- مطالعات هیدروژئوشیمیایی نیز این موضوع را تأیید کردند که علاوه بر تأثیر لیتولوژی و قابلیت انحلال بالای سازندهای موجود، دمای بالای هوا و کمبود بارش نیز موجب افزایش EC و TDS در منابع آب منطقه شده که در نتیجه تمایل به رسوب‌گذاری نیز افزایش می‌یابد.

۳- خوردگی شدید در نمونه مربوط به پساب اطراف محوطه قالب‌گیری گوگرد و همچنین آب‌بند دوم به علت

دانشگاه فردوسی مشهد قدردانی می‌گردد. همچنین از شرکت پالایش گاز شهید هاشمی نژاد برای همکاری‌های مؤثر در بازدید از منطقه و انجام نمونه برداری‌های میدانی سپاسگزاری می‌شود.

۶- پایش مداوم منابع آب موجود در منطقه مورد مطالعه می‌تواند به کاهش خسارات اقتصادی ناشی از خوردگی لوله‌های آب و رسوب گذاری در آن‌ها منجر شود.

۵- سپاسگزاری

این مقاله بر اساس طرح پژوهشی شماره ۳/۲۷۶۱۶ تهیه شده است که بدین وسیله از حمایت معاونت پژوهشی

References

- Afshar Harb A. (1982). 1:250000 geological map of Sarakhs. (No.1.4). Petroleum Ministry, Tehran, Iran.
- Afshar Harb A. (1994). Kopeh-Dagh geology. Geology Organization, Tehran, Iran. 275 pp.
- Al-Amry A. S. (2008). Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment in an arid region: A case study from Al Salameh Area, Shabwah, Yemen. Proc. 2008, 3rd Int. Conf. on water resources and arid environments and the 1st Arab water forum, Aden University, Yemen.
- Amouei A. Asgharnia H. Fallah H. Miri S. and Momeni H. (2017). Evaluating corrosion and scaling potential of drinking water supplies in Juybar, North of Iran. Iran. J. Health Sci., 5(2), 11-18.
- Bahadori A. (2010). Prediction of scale formation in calcium carbonate aqueous phase for water treatment and distribution systems. Water Qual. Res., 45(3), 379-389.
- Barringer J. L., Kish G. R. and Venlich A. J. (1993). Corrosiveness of groundwater in the Kirkwood-Cohansey aquifer system of the New Jersey coastal plain (90-4180). New Jersey Department of Environmental Protection and Energy, West Trenton, New Jersey, United States of America. 203 pp.
- Colin M. (2008). Stress corrosion cracking. Sr Eng. Consult. Mat. Technol., 7(4), 1-6.
- Cruse H. and Pomeroy R. D. (1974). Corrosion of copper pipes. J. Am. Water Works Assoc., 66(8), 479-483.
- Dixon W. and Chiswell B. (1992). The use of hydrochemical sections to identify recharge areas and saline intrusions in alluvial aquifers, southeast Queensland, Australia. J. Hydrol., 135, 259-274.
- Fazlzadeh Davil M., Mahvi A. H., Norouzi M., Mazloomi S., Amarluie A., Tardast A. and Karamitabar Y. (2009). Survey of corrosion and scaling potential produced water from Ilam water treatment plant. World Appl. Sci. J., 7, 1-6.
- Ferguson J. L., Von Franque O. and Schock M. R. (1996). Corrosion of copper in potable water systems. AWWA Research Foundation/DVGW-TZW, Denver, United States of America. 256 pp
- Gholikandi G. B., Ahmadi M., Haddadi S. and Dehghanifard E. (2011). Study of Andimeshk's drinking water resources in Iran. Asia. J. Chem., 23(8), 3334-3338.
- Gibbs R. J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. Sci., 170(3962), 1088-1090.
- Golozar M. A. (2008). Corrosion ion inspection and monitoring procedures. Arkane Danesh Publication, Isfahan, Iran. 380 pp [In Persian].
- 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. E-J. Chem., 8(3), 1330-1338.

- Jagadeeswari P. B. and Ramesh K. (2012). Deciphering fresh and saline groundwater interface in South Chennai coastal aquifer, Tamil Nadu, India. *J. Res. Chem. Environ.*, 2(3), 123-132.
- Jangjoo M., Ejtehad H. and Danesh, S. (2008). Introduction to suitable plant species to farm in around gas refinery of Sarakhs. Research project, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran. 309 pp [In Persian].
- Khorsandi H., Mohammadi A., Karimzadeh S. and Khorsandi J. (2015). Evaluation of corrosion and scaling potential in rural water distribution network of Urmia, Iran. *Desal. Water Treat.*, 12(6), 173-186.
- Kurdi M., Shahi Ferdows A. and Maghsoudi A. (2015). Sensivity of corrosion and scaling indices based on ions; case study, Iran. *Water Qual. Exp. Health.*, 7, 363-372.
- Larson T. E. and Skold R. V. (1958). Laboratory studies relating mineral quality of water to corrosion of steel and cast iron (S6838-10-58). Illinois State Water Survey, United States of America. 104 pp.
- Leitz F. and Guerra K. (2013). Water chemistry analysis for water conveyance, storage, and desalination projects: manuals and standards program. Department of the Interior Bureau of Reclamation Technical Service Center, Denver, Colorado, United States of America. 210 pp.
- Liu F., Song X., Yang L., Zhang Y., Han D., Ma Y. and Bu H. (2015). Identifying the origin and geochemical evolution of groundwater using hydrochemistry and stable isotopes in the Subei Lake basin, Ordos energy base, Northwestern China. *Hydrol. Earth Sys. Sci.*, 19, 551-565.
- Mazor E. (1991). Applied chemical and isotopic groundwater hydrology. Halsted Press, New York, United States of America. 456 pp.
- Meyer T. E. and Edwards M. (1994). Effect of alkalinity on copper corrosion (CONF-940789). American Society of Civil Engineers, United States of America. 89 pp.
- Mohamed C. and Zineb A. (2015). Geochemistry and hydrogeochemical process of groundwater in the Souf valley of low Septentrional Sahara, Algeria. *Africa. J. Environ. Sci. Technol.*, 9(3), 261-273.
- Mokhtari S. A., Aalighadri M., Hazrati S., Sadeghi H., Gharari N. and Ghorbani L. (2010). Evaluation of corrosion and precipitation potential in Ardebil drinking water distribution system by using Langelier & Ryznar indexes. *Ardebil J. Health*, 1(1), 14-23 [In Persian].
- Mokif L. A., Abbas Z. H. and Abdulhusain N. A. (2018). Investigation of the corrosion and scaling potentials of raw and treated water and its effect on concrete tanks at Al-Tayyaraa water treatment plant. *J. Univ. Babylon Eng. Sci.*, 26(2), 135-140.
- Piper A. M. (1944). A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses. *Trans. Am. Geophys. Union.*, 25, 914-923.
- Schock M. R. (1999). Internal corrosion and deposition control: A handbook of community water supplies. McGraw-Hill, Boston, United States of America. 109 pp.
- Shahmohammadi S., Nouri A., Karami S., Amini A., Shahmoradi A., Sobhan Ardakani S., Lee S. M. and Pawar R. R. (2018). A study on corrosion and scaling potential of drinking water supply resources in rural areas of Sarvabad, west of Iran. *J. Adv. Environ. Health Res.*, 6, 52-60.
- Shams M., Mohamadi A. and Sajadi A. (2012). Evaluation of corrosion and scaling potential of water in rural water supply distribution networks of Tabas,

- Iran. World Appl. Sci. J., 17(11),1484-1489.
- Shankar B. S. (2014). Determination of Scaling and corrosion tendencies of water through the use of Langelier and Ryznar indices. Scholar. J. Eng. Technol., 2(2A), 123-127.
- Skillman H. L., McDonald J. R. and Stiff H.A. (1969). A simple, accurate, fast method for calculating calcium sulfate solubility in oil field brine (Paper No. 906-14-I). Spring Meeting of the South West District, Division of Production, American Petroleum Institute, Lubbock, Texas, United States of America. 56 pp.
- Taghipour H., Shakerkhatibi M., Pourakbar M. and Belvasi M. (2011). Corrosion and scaling potential in drinking water distribution system of Tabriz, northwestern Iran. Health Promot. Persp., 2(1), 103-111.
- Vasconcelos H. C., Fernández-Pérez B. M., González S., Souto R. M. and Santana J. J. (2015). Characterization of the corrosive action of mineral waters from thermal sources: A case study at Azores Archipelago, Portugal. Water, 7, 3515-3530.
- Vlotman W. F., Willardson L. S. and Dierickx W. (2001). Envelope design for subsurface drains. international institute for land reclamation and improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands, 358 pp.
- Wranglen G. (1985). Introduction to corrosion and protection of metals. Chapman and Hall, London. 325 pp.
- Zamand S., Alidadi H. and Taghavimanesh V. (2019). Evaluation of the corrosion and scaling potential of the drinking water sources in Neyshabur city, Iran based on stability indices. J. Adv. Environ. Health Res., 7, 197-202.

Study of Corrosion and Scaling of Water Resources and Wastewater of Shahid Hashemi Nezhad Gas Refinery

Maryam Tajbakhshian^{1*}, Mohammad Hossein MahmudyGharaie², Asadollah Mahboubi³ and Seyed Reza Moussavi Harami³

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

²Assoc. Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

*Corresponding author: maryamtaj87@yahoo.com

Original Paper

Received: February 05, 2020

Revised: March 18, 2020

Accepted: April 05, 2020

Abstract

In this study, 18 surface and groundwater samples and 5 wastewater samples were analyzed to assess water resources and wastewater quality at Shahid Hashemi Nezhad Gas Refinery region in terms of corrosion and scaling. The parameters measured were pH, EC, temperature, and concentration of major ions, including K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- and CO_3^{2-} . Majority of the water samples showed Na^+ - SO_4^{2-} and Na^+ - Cl^- type and face by Piper diagram. To assess corrosion and scaling of the samples, various indices were calculated including LSI, RSI, PSI, AI and S&DSI for $CaCO_3$ deposition, and L&SI and Skillman for sulfates deposition especially $CaSO_4$. The results showed most of the water samples had scale forming due to high hardness and alkalinity, and the wastewater samples were often corrosive and therefore, all of the samples did not have favorable quality for industrial uses. The results of hydrogeochemical studies indicated evaporation, evaporative minerals such as gypsum and anhydrite in the water flow path, carbonate formations and their dissolution were the most important parameters in controlling ionic content of the water resources.

Keywords: Gas Refinery; Hardness; Hydrogeochemical; Type and Face.