

## زمین‌شیمی فلزات سنگین در چشمه‌های شور استان خوزستان به‌منظور ردیابی پتانسیل آلاینده‌گی منابع آب استان خوزستان و خلیج فارس

محسن رضایی<sup>۱\*</sup>، علیرضا زراسوندی<sup>۱</sup>، علی اژدری<sup>۲</sup>، مجید حیدری<sup>۱</sup>

۱. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز  
 ۲. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت مرکز جنوب باختری، اهواز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۷

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2019.166210.2249](https://doi.org/10.22113/jmst.2019.166210.2249)

### چکیده

در این مطالعه ویژگی‌های زمین‌شیمی فلزات سنگین در آب خروجی تعداد ۱۶ چشمه شور عمده استان خوزستان شامل چشمه پیرموسی، چشمه‌های دوگانه گره‌بردی، چشمه‌های سه‌گانه قلعه‌مدرسه، بتوند، کوه‌زر، عقیلی، کوه‌سالن (هفت تنان)، قاسم‌آباد، ایسپره، گرو، دابلوطان و چشمه‌های منطقه رامشیر مورد ارزیابی قرار گرفتند. عمده چشمه‌های مورد بررسی پس از ورود به کارون در نهایت به خلیج فارس تخلیه می‌شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهد به استثناء چشمه‌های منطقه رامشیر و چشمه گرو که به ترتیب در سازندهای میشان و آسماری رخنمون دارند، مظهر کلیه چشمه‌های شور استان خوزستان در سازند تبخیری گچساران واقع شده‌است. حداکثر دبی این چشمه‌ها از کمینه  $L/Sec^2$  (چشمه‌های رامشیر و قلعه‌مدرسه) تا بیشینه  $330 L/Sec$  (چشمه گرو) متغیر می‌باشد. در این مطالعه پراکنش فلزات سنگین توسط روش ICP-OES تعیین و مورد بررسی قرار گرفت. بررسی پراکنش فلزات سنگین نظیر Hg, As, Cd, Cr, Pb, Fe و Ni در آب خروجی چشمه‌های مورد مطالعه و مقایسه آن با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO) و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران نشان می‌دهد فلزاتی نظیر جیوه، آرسنیک و سرب در برخی از چشمه‌ها دارای مقادیر چندین برابر استاندارد می‌باشند. همچنین به طور مهم چشمه‌های منطقه رامشیر درجات متغیری از غنی‌شدگی کادمیوم را نشان می‌دهند. میزان شاخص فلزی برای آب چشمه‌های مورد مطالعه بسیار بیشتر از واحد یک (تا ۱۲۴/۱۷؛ چشمه رامشیر) می‌باشد. علاوه‌براین چشمه‌هایی که از لحاظ مکانی به هم نزدیک می‌باشند معمولاً نشان دهنده تغییرات شاخص فلزی نزدیک به هم می‌باشند. با توجه به محتوای فلزی قابل توجه آب خروجی چشمه‌های مورد مطالعه و اثرات احتمالی نامطلوب زیست محیطی بویژه بر کیفیت و اکوسیستم منابع آبی، لزوم توجه و رسیدگی به این منابع آلاینده ضروری به نظر می‌رسد.

**واژگان کلیدی:** فلزات سنگین، چشمه‌شور، آلاینده‌گی، منابع آب، استان خوزستان

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول، پست الکترونیک: rezaee@ymail.com

## ۱. مقدمه

شورابه‌ها در بسیاری از کشورها به عنوان منبعی مهم برای پتاسیم، منیزیم، بروم، ید، استرانسیوم، روبیدیم و لیتیوم قلمداد می‌شوند (Kesler *et al.*, 2012). این موضوع به حدی حائز اهمیت است که در برخی موارد غلظت به نسبت پایین برخی فلزات مانند لیتیوم (10-20 mg/dm<sup>3</sup>) در شورابه‌ها می‌تواند دارای ارزش اقتصادی باشد (Alekseyev and Alekseyeva, 2008). در طی دهه گذشته تلاش‌های گسترده‌ای در جهت ارتقاء تکنولوژی‌های استخراج فلزات از شورابه‌ها صورت پذیرفته است. این موضوع در پاسخ به افزایش بازار تقاضا و نیز هزینه‌های به نسبت پایین استخراج بعضی فلزات از شورابه‌ها می‌باشد (Yu *et al.*, 2013). به عنوان مثال کربنات سدیم<sup>۱</sup>، سولفات‌های سدیم و منیزیم<sup>۲</sup>، کلرید سدیم، برات‌های سدیم و کلسیم<sup>۳</sup> و لیتیوم از متداول ترین منابع شورابه‌ای می‌باشند که امروزه در سطح جهانی مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند. در پاره‌ای از موارد محتوی فلزی قابل توجه شورابه‌ها، باعث شده ذخایر شورابه‌ای نسبت به ذخایر کانساری فلزی سنتی برای استخراج در اولویت قرار گیرند (Laznika, 2006). به عنوان مثال همانطور که در Kesler و همکاران (2012) مورد بحث قرار گرفته- است مقایسه بین منابع جهانی لیتیوم نشان می‌دهد ذخایر شورابه‌ای در ارتباط با حوضه‌های تبخیری بسته، برای استخراج در ابعاد بزرگ و طولانی مدت تر نسبت به ذخایر سنتی لیتیوم (نظیر پگماتیت‌ها) مناسب تر می‌باشند. علاوه بر موارد اقتصادی، محتوای فلزی بالای شورابه‌ها در برخی موارد می‌تواند به عنوان یک پتانسیل بالقوه جهت آلودگی منابع آب قلمداد شود (Giva *et al.*, 2017). به طور کلی منشاهای مختلفی برای ورود مواد سنگین به محیط وجود دارد این منشاهای ممکن است طبیعی و یا انسان‌زاد باشند (Bradl, 2005). اگرچه برخی از فلزات

سنگین در غلظت‌های کم به‌عنوان ریزمغذی در زنجیره غذایی موجودات زنده عمل می‌کنند اما تجمع آن‌ها در غلظت‌های بالا می‌تواند باعث ایجاد سمیت و اثرات نامطلوب زیست‌محیطی و به خطر افتادن اکوسیستم منابع آبی و مصرف‌کننده‌های این منابع می‌شود (Bardi *et al.*, 2018; Sheybanifar *et al.*, 2016). در این مطالعه تعداد ۱۶ چشمه شور عمده در استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفته‌است. این چشمه‌ها شامل چشمه پیرموسی، چشمه‌های دوگانه گره‌بردی، چشمه‌های سه‌گانه قلعه‌مدرسه، چشمه‌های بتوند، کوه‌زر، عقیلی، کوه‌سالن (هفت تنان)، قاسم‌آباد، ایسپره، گرو، دوبروطان و چشمه‌های رامشیر می‌باشند که محدود به حوضه‌های آبریز شور دشت بزرگ، کارون پایین، جراحی، دز ۲ و مرغاب می‌باشند. اگرچه چشمه‌های شور دارای رخنمون گسترده در استان خوزستان می‌باشند اما تاکنون مطالعه جامعی در خصوص زمین‌شناسی و زمین‌شیمی فلزات سنگین این چشمه‌ها صورت نپذیرفته است. با توجه به این نکته و از طرفی بحران کنونی آب در استان خوزستان لزوم توجه به پتانسیل آلاینده‌گی این چشمه‌ها بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. از این رو در مطالعه حاضر تلاش شده با استفاده از بررسی پراکنش فلزات سنگین در چشمه‌های شورابه‌ای استان خوزستان، پتانسیل آلاینده‌گی منابع آب در استان خوزستان توسط این چشمه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

## ۲. مواد و روش‌ها

از لحاظ زمین‌شناسی ساختاری، استان خوزستان در محدوده کمربند زاگرس چین‌خورده-رانده واقع شده- است. رسوبات این کمربند عمدتاً شامل رسوبات قاره- ای کم‌عمق (پالئوزویک)، رسوبات پلتفورمی (پرمین- تریاس)، رسوبات فلات قاره (ژوراسیک-کرتاسه) و رسوبات پیش‌بوم (سنوزویک) می‌باشد. به طور کلی توالی‌های پیش‌بوم (Foreland) متعلق به سنوزویک عمدتاً شامل رسوبات از نوع سیلیسی آواری، کربنات‌های کم‌عمق و عمیق و نیز رسوبات تبخیری

<sup>۱</sup> Trona, Nahcolite<sup>۲</sup> Mirabilite, Epsomite<sup>۳</sup> Borax, Colemanite, Ulexite

چشمه‌های دوگانه گره بردی، چشمه‌های سه گانه قلعه مدرسه، چشمه‌های بتوند، کوه‌زر، عقیلی، کوه-سالن (هفت تنان)، قاسم‌آباد، ایسپره و دوبلوطان در سازند گچساران رخنمون دارند (جدول ۲). از میان چشمه‌های رخنمون یافته در سازند گچساران چشمه‌های پیرموسی، گره بردی، قلعه مدرسه، بتوند، کوه‌زر، عقیلی و دوبلوطان عمدتاً در سطح زمین لغزش موجود در سازند گچساران شامل رسوبات ضخیم تا توده‌ای گچ، با مارن‌های خاکستری مایل به سبز و قرمز ظهور یافته‌اند (شکل ۱ الف). چشمه ایسپره در مرز گسله بین مارن‌های خاکستری تا سبز و لایه‌های بالایی سازند گچساران شامل مارن قرمز با لنزهای ژئپسی دیده می‌شود (شکل ۱ ب).

می‌باشند که در یک حوضه فورلند طویل و نامتقارن کرتاسه تا عهد حاضر نهشته شده‌اند (Alavi, 2004). یکی از مهمترین سازندهای متعلق به رسوبات پیش-بوم، سازند گچساران به سن میوسن پایینی می‌باشد که رسوبات تبخیری-مارنی-شیلی - ژئپسی این سازند به عنوان مهم‌ترین پوش سنگ ذخایر نفتی زاگرس قلمداد می‌شود (Habibi and Ruban, 2017). همانطور که در شکل ۱ و جدول ۲ نشان داده شده- است به‌استثناء چشمه‌های شور منطقه رامشیر و چشمه گرو که به ترتیب در سازندهای میشان (عمدتاً شامل مارن، شیل، سیلت استون و ماسه سنگ به سن میوسن پایینی تا میانی) و آسماری (عمدتاً کربناته به سن الیگوسن تا میوسن پایینی) رخنمون دارند، عمده چشمه‌های شور مورد بررسی شامل چشمه پیرموسی،



شکل ۱- الف) محل خروج چشمه گره بردی ۲ از زمین لغزش موجود در سازند گچساران، دید به سمت شمال، ب) مظهر چشمه ایسپره در مرز گسلش بین مارن‌های سبز و قرمز سازند گچساران، دید به سمت شمال غرب، پ) آبراهه چشمه دوبلوطان در مرز سازندهای گچساران

و آغاچاری، دید به سمت شمال، ت) چشمه بتوند واقع در ۳ کیلومتری شرق روستای بتوند، دید به سمت جنوب، ث) رسوبگذاری نمک در دهانه خروجی چشمه کوهزر، ج) رسوبگذاری شدید نمک در حوضچه ناشی از تداخل چشمه های رامشیر.

جدول ۱. مشخصات عمومی چشمه های شور استان خوزستان در فصل سرد و گرم.

اردیبهشت ماه			شهریورماه			اسفندماه			حداکثر	حوضه آبریز	چشمه
TDS (ppm)	EC (μs)	pH	TDS (ppm)	EC (μs)	pH	TDS (ppm)	EC (μs)	pH	دبی (L/Sec)		
۷۳۵۰۰	۱۰۹۲۰۰	۷/۸۲	۷۲۰۵۰	۱۱۲۴۰۰	۷/۱۲	۶۹۵۰۰	۱۰۳۰۰۰	۶/۹	۹/۷۵	رودخانه شور دشت بزرگ	پیرموسی
۸۳۲۰۰	۱۱۷۸۰۰	۷/۶۳	۷۸۵۱۶	۱۱۹۱۰۰	۷/۴۳	۷۹۰۰۰	۱۱۱۶۰۰	۲/۷	۴/۸	رودخانه شور دشت بزرگ	گره بردی ۱
۴۷۸۰۰	۶۹۱۰۰	۷/۹۲				۵۳۳۰۰	۷۷۷۰۰	۱/۵۲	۴/۸	رودخانه شور دشت بزرگ	گره بردی ۲
۶۷۰۰۰	۱۰۲۴۰۰	۷/۷۹	۸۰۳۰۰	۱۲۳۶۰۰	۷/۵۹	۸۶۰۰۰	۱۳۰۸۰۰	۱/۱۴	۲/۵	رودخانه شور دشت بزرگ	قلعه مدرسه ۱
۸۱۹۰۰	۱۱۹۲۰۰	۷/۲۵	۹۴۶۰۰	۱۴۲۵۰۰	۷/۰۵	۸۵۹۰۰	۱۲۵۰۰۰	۱/۵۲	۲	رودخانه شور دشت بزرگ	قلعه مدرسه ۲
۱۳۶۱۰۰	۱۷۵۸۰۰	۶/۱۵	۱۲۱۱۰۰	۱۸۹۳۰۰	۶/۵	۱۳۱۵۰۰	۱۶۹۹۰۰	۶/۶	۲	رودخانه شور دشت بزرگ	قلعه مدرسه ۳
۴۰۱۹	۶۰۴۰	۸/۲	۸۸۹۰	۱۴۳۰۰	۷/۸۹	۳۷۸۰	۵۶۸۰	۷/۵	۳۳۰	رود شور تمبی	گرو
۱۷۷۰۰	۷۲۰۰۰	۶/۸۶	۶۴۴۰۰	۹۴۸۰۰	۶/۲۵				۷۵	دز ۲	هفت تنان
۱۰۶۱۰۰	۱۶۰۶۰۰	۷/۴۳	۱۰۹۲۰۰	۱۶۹۷۰۰	۷/۲۳	۱۱۱۰۰۰	۱۶۷۵۰۰	۶/۹	۸	مرغاب	دوبلوطان
۱۰۲۱۰۰	۱۵۸۳۰۰	۷/۳۴	۱۰۹۱۵۰	۱۶۵۳۰۰	۷/۶۹	۳۶۷۰۰	۵۱۷۰۰	۱/۵۱	۵	کارون پایین	قاسم آباد
۱۱۵۷۰۰	۱۸۱۳۰۰	۷/۱۸	۱۱۶۸۸۰	۱۸۴۲۰۰	۷/۴۳	۱۲۰۲۰۰	۱۸۵۷۰۰	۱/۳۳	۳	رودخانه شور دشت بزرگ	بتوند
۱۱۷۴۰۰	۱۷۶۳۰۰	۷/۳۱	۱۱۵۸۰۰	۱۶۹۳۰۰	۷/۶۹	۱۲۲۸۰۰	۱۷۹۳۰۰	۵/۹۶	۸/۲	رودخانه شور دشت بزرگ	عقیلی
۱۱۹۳۰۰	۱۹۲۳۰۰	۷/۰۱	۱۲۹۲۰۰	۱۹۵۶۰۰	۷/۱۶	۱۳۳۲۰۰	۱۹۹۹۰۰	۶/۹	۷	رودخانه شور دشت بزرگ	کوهزر
۱۱۳۹۰۰	۱۷۰۲۰۰	۴/۹۵	۱۱۷۲۴۱	۱۸۳۴۰۰	۵/۱۵				۲	جراحی	رامشیر ۱
۱۳۳۱۱۰۰	۱۹۹۴۰۰	۵/۱۷							۲	جراحی	رامشیر ۲
۱۲۹۵۰۰	۱۸۶۱۰۰	۶/۱۲	۱۳۱۵۰۰	۱۹۲۱۰۰	۶/۴۹	۱۲۱۶۰۰	۱۸۲۳۰۰	۶/۷۵	۷	دز ۲	ایسپره

شناسی چشمه های مورد مطالعه نشان دهنده حضور مواد سیاه رنگ هیدروکربنی و بوی شدید گوگرد در خروجی بعضی از چشمه های مورد مطالعه نظیر چشمه های منطقه قلعه مدرسه، گرو، دوبلوطان، ایسپره

همچنین چشمه های قاسم آباد و کوه سالن در مرز بخش های بالایی سازند گچساران (شامل تناوب گچ و مارن خاکستری مایل به سبز) و سازند آغاچاری رخنمون دارند. لازم به ذکر است بررسی های زمین-

اردیبهشت ماه صورت پذیرفت (جداول ۳ و ۴). برای نگهداری نمونه‌های آب از ظروف شیشه‌ای تیره‌رنگ استفاده شد. علاوه بر این به منظور تثبیت کاتیون‌های محلول، با استفاده از نیتریک اسید ۱ مولار میزان pH نمونه‌ها به زیر ۲ کاهش داده شد. تا قبل از انجام آنالیز، کلیه نمونه‌ها در دمای پنج درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. به منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین، نمونه‌ها به آزمایشگاه ICP-OES سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی تهران ارسال شد. نتایج مربوط به غلظت فلزات سنگین (نظیر As, Hg, Cd, Cr, Pb, Fe و Ni) در آب خروجی چشمه‌های مورد مطالعه در نمونه‌برداری‌های اسفند و اردیبهشت ماه در جداول ۳ و ۴ نمایش داده شده است.

و چشمه‌های منطقه رامشیر می‌باشد. همچنین حداکثر دبی این چشمه‌ها از کمینه  $2 \text{ L/Sec}$  در چشمه‌های رامشیر و قلعه مدرسه تا بیشینه  $330 \text{ L/Sec}$  در چشمه گرو متغیر می‌باشد (جدول ۱). علاوه بر این پایین‌ترین میزان pH در چشمه‌های منطقه رامشیر دیده می‌شود (جدول ۱). چشمه‌های شور مورد مطالعه عمدتاً در حوضه‌های آبریز رودخانه شور دشت بزرگ، دز ۲، مرغاب، کارون پایین، جراحی و رود شور تمبی قرار دارند (جدول ۱) و خروجی عمده چشمه‌های مورد مطالعه در نهایت رودخانه کارون می‌باشد (جدول ۲).

به منظور سنجش و تفسیر فلزات سنگین در چشمه‌های مورد مطالعه، نمونه برداری از آب خروجی چشمه‌های مورد مطالعه در دوبازه زمانی اسفندماه و

جدول ۲. لیتولوژی سرچشمه به همراه مشخصات خروجی چشمه‌های شور استان خوزستان.

چشمه	لیتولوژی مظهر چشمه	مشخصات خروجی چشمه‌های شور استان خوزستان
چشمه‌های پیرموسی	سازند گچساران	پس از طی مسافت ۵۰۰ متر در سازند گچساران به رودخانه چکامه می‌ریزد. در ادامه پس از مخلوط شدن با رودخانه تمبی باعث تشکیل رود شور می‌شود. در نهایت این رودخانه به کارون می‌ریزد.
چشمه‌های گره بردی	سازند گچساران	طی آبراه‌های به طول ۷۰۰ متر وارد رودخانه شور باریک می‌ریزد. پس مخلوط شدن با رود شور به کارون می‌ریزد.
چشمه‌های قلعه مدرسه	سازند گچساران	آب این چشمه‌ها به همراه چشمه‌های گلگیر و آب تلخ تشکیل رود شور می‌دهند که در نهایت با مخلوط شدن با چشمه آب شور به کارون می‌ریزد.
گرو	سازند آسماری	پس از پیوستن به رود شور تمبی به کارون می‌ریزد.
دوبلوطان	سازند گچساران	پس از پیوستن به رودخانه مرغا به کارون می‌ریزد.
ایسپره	سازند گچساران	با حرکت به سمت غرب با رودخانه دره باریک مخلوط شده و تشکیل رود شور سردشت می‌دهد. در نهایت این رودخانه به رود شور باریک و از آنجا به رودخانه دز می‌ریزد.
قاسم‌آباد	سازند گچساران	آب این چشمه وارد رودخانه دله می‌شود و از آنجا طی حرکت به سمت شمال به کارون می‌ریزد.
بتوند	سازند گچساران	با حرکت در مرز سازندهای گچساران و آغا جاری با طی مسافتی در حدود ۲ کیلومتر به رود شور و از آنجا به رودخانه تمبی و در نهایت به کارون می‌ریزد.
کوه‌زر	سازند گچساران	با حرکت به سمت جنوب غرب پس از طی مسافت ۵/۲ کیلومتر به رود شور دشت بزرگ می‌پیوندد و از آنجا با حرکت به سمت شمال غرب در نهایت به رود کارون می‌ریزد.
رامشیر	سازند میشان	به رودخانه جراحی می‌ریزد.

### ۳. نتایج

نتایج بررسی‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد مظهر عمده چشمه‌های مورد مطالعه در سازند گچساران قرار دارد. همانطور که پیشتر ذکر شد در مطالعات جامع چینه‌شناسی زاگرس که توسط James و Wynd در سال 1965 صورت پذیرفت؛ سازند گچساران به‌عنوان پوش‌سنگ<sup>۴</sup> اصلی مخازن نفتی زاگرس معرفی گردیده‌است. در مظهر چشمه‌های مورد مطالعه لیتولوژی سازند گچساران به صورت مارن خاکستری- قرمز عمدتاً بهم‌ریخته به‌همراه عدسی‌های ژپس و انیدریت مشهود می‌باشد (شکل ۱ الف و ب). به‌طور کلی لیتولوژی‌های مارنی- ژپسی- انیدریتی در صورتی که در عمق زمین قرار داشته باشند از توانایی پوش‌سنگی مخازن نفتی برخوردار می‌باشند (Bahadori et al., 2011). در شرایط عدم وجود فشار همه‌جانبه در سطح زمین، بویژه در مواردی که مخازن نفتی کم‌عمق باشند این لیتولوژی-ها عملاً از توانایی پوش‌سنگی کمی برخوردار می‌باشند. از شواهد این امر ظهور چشمه‌های نفتی و قیر در اطراف رخنمون سطحی سازند گچساران بخصوص در نواحی مسجدسلیمان می‌باشد (Soltani et al., 2012). در چنین شرایطی احتمال نقش آفرینی شورابه‌های نفتی بر روی میزان شوری چشمه‌های مورد مطالعه دور از ذهن نیست.

این موضوع می‌تواند توضیح دهنده علت احتمالی وجود حضور مواد سیاه‌رنگ هیدروکربنی اکسید شده و بوی شدید گوگرد در خروجی بعضی از چشمه‌های مورد مطالعه نظیر چشمه‌های منطقه قلعه مدرسه، گرو، دوبروطان، ایسپره و چشمه‌های منطقه رامشیر باشد (شکل ۱ ج). البته لازم به توضیح است سازند گچساران به‌عنوان یک سازند تبخیری شناخته می‌شود در چنین شرایطی تماس آبخوان چشمه‌های مورد مطالعه با توالی‌های نمکی موجود در سازند

گچساران نیز می‌تواند از علل شوری چشمه‌های مورد مطالعه قلمداد گردد.

### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج آنالیز زمین‌شیمیایی نمونه‌های برداشت شده از چشمه‌های شور مورد مطالعه برای فلزات سنگین اصلی نظیر جیوه، آهن، آرسنیک، کادمیوم، کروم، سرب و نیکل در نمونه‌برداری‌های اسفند و اردیبهشت‌ماه به ترتیب در جداول ۳ و ۴ نمایش داده شده‌است. همانطور که در جداول ۳ و ۴ نشان داده شده‌است به‌طور کلی نمونه‌های مربوط به نمونه- برداری اردیبهشت دارای محتوی بیشتر جیوه می‌باشند، بنحوی که مقادیر جیوه در نمونه رامشیر ۲ به بیشینه ۰/۰۷ ppm می‌رسد (جدول ۴). علاوه‌براین، میانگین غلظت آرسنیک در نمونه‌برداری اسفندماه برابر ۰/۰۳ و در نمونه‌برداری اردیبهشت برابر با ۰/۲۸ ppm می‌باشد که نشان‌دهنده غنی‌شدگی نسبی این عنصر در نمونه‌برداری اردیبهشت است. بیشترین میزان آرسینک مربوط به چشمه رامشیر ۲ می‌باشد (۰/۴۸ ppm، جدول ۴). به‌طور کلی مقادیر کادمیوم در عمده چشمه‌های مورد مطالعه کمتر از ۰/۰۱ ppm می‌باشد، تنها نمونه‌برداری اردیبهشت مربوط به رامشیر نشان‌دهنده مقادیر قابل توجه ۰/۰۵ ppm می‌باشد (جدول ۴). مقادیر متغیر سرب در آب خروجی چشمه‌های مورد مطالعه دیده می‌شود، غلظت این عنصر در نمونه برداری اسفند و اردیبهشت‌ماه به ترتیب ۰/۵۵ ppm و ۰/۴۶ ppm می‌باشد که نشان‌دهنده غنی‌شدگی نسبی در نمونه‌های مربوط به نمونه‌برداری اسفندماه می‌باشد.

<sup>۴</sup> Cap rock



جدول ۳. غلظت فلزات سنگین در آب چشمه‌های مورد مطالعه (ppm) (مربوط به نمونه‌برداری اسفند).

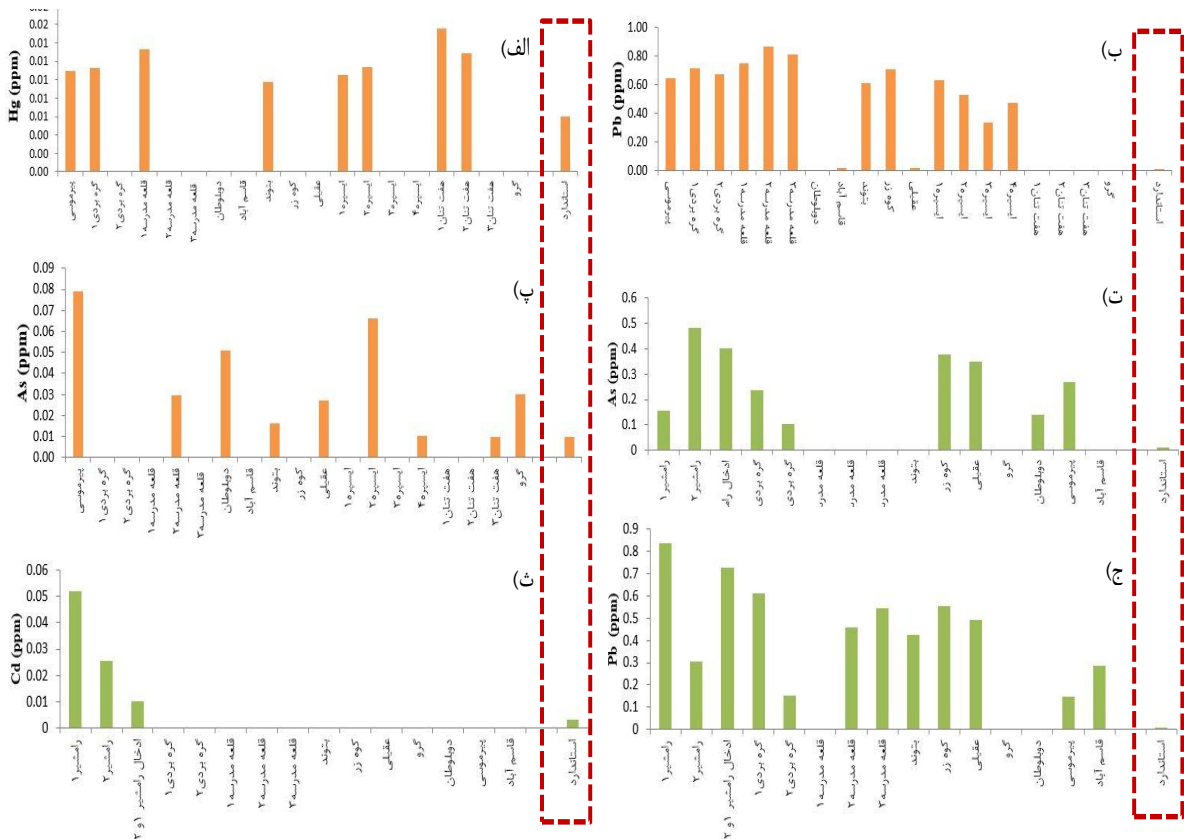
Hg	Fe	As	Cd	Cr	Pb	Ni	Field.NO.	چشمه
۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۰۸	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۶۵	۰/۰۴	PR-W1	پیرموسی
۰/۰۱	۰/۲۸	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۷۲	۰/۰۵	GR1-W1	گره بردی ۱
<۰/۰۱	۰/۲۷	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۶۸	۰/۰۶	GR2-W1	گره بردی ۲
۰/۰۱	۰/۲۶	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۷۵	۰/۰۶	GL1-W1	قلعه مدرسه ۱
<۰/۰۱	۰/۳۴	۰/۰۳	<۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۸۶	۰/۰۴	GL2-W1	قلعه مدرسه ۲
<۰/۰۱	۰/۳۴	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۸۱	۰/۰۳	GL3-W1	قلعه مدرسه ۳
<۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۰۵	<۰/۰۱	۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۲	DB-W1	دوبلوطان
<۰/۰۱	۰/۴۷	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	G-W1	قاسم آباد
۰/۰۱	۰/۴۰	۰/۰۲	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۶۱	۰/۰۲	BAT-W1	بتوند
<۰/۰۱	۰/۴۸	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۷۱	۰/۰۲	KUH-W1	کوه زر
<۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۰۳	<۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	AG-W1	عقیلی
۰/۰۱	۰/۳۴	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۶۳	۰/۰۲	IS-W1	ایسپره
<۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۳۴	۰/۰۳	IS-W2	ایسپره
۰/۰۱	۰/۴۸	۰/۰۷	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۵۳	۰/۰۲	IS-W3	ایسپره
<۰/۰۱	۰/۴۹	۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۴۸	۰/۰۵	IS-W4	ایسپره
<۰/۰۱	۰/۶۵	۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۲	<۰/۰۱	۰/۰۸	H-W1	سالن
۰/۰۱	۰/۶۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۲	<۰/۰۱	۰/۰۸	H-W2	سالن
۰/۰۲	۰/۲۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۲	<۰/۰۱	۰/۰۳	H-W3	سالن
<۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۰۳	<۰/۰۱	۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۲	GU-W1	گرو

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران نشان می‌دهد اکثر فلزات سنگین موجود در نمونه‌های آب برداشتی در حد مجاز می‌باشد. تنها فلزات جیوه، آرسنیک و سرب در برخی از چشمه‌ها دارای مقادیر چندین برابر استاندارد می‌باشند. علاوه بر این به طور مهم چشمه‌های رامشیر درجات متغیری از غنی‌شدگی کادمیوم را نشان می‌دهد (شکل ۲).

بیشترین میزان سرب (۰/۸۶ ppm) مربوط به نمونه اسفندماه قلعه مدرسه ۲ می‌باشد (جدول ۳). همچنین مقادیر نیکل در نمونه‌برداری اسفندماه (میانگین ppm ۰/۰۴) نسبت به اردیبهشت‌ماه (میانگین ppm ۰/۰۲) از غنی‌شدگی نسبی برخوردار می‌باشد. به طور کلی مقایسه غلظت فلزات سنگین چشمه‌های مورد مطالعه با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی (WHO) و

جدول ۴. غلظت فلزات سنگین در آب چشمه‌های مورد مطالعه (ppm) (نمونه برداری اردیبهشت).

As	Cd	Cr	Fe	Ni	Pb	Hg	Field.NO.	چشمه
۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۰۲	۰/۸۴	<۰/۰۱	R1	رامشیر ۱
۰/۴۸	۰/۰۳	<۰/۰۱	۰/۳۳	<۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۰۷	R2	رامشیر ۲
۰/۴۰	۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۳۸	۰/۰۴	۰/۷۳	۰/۰۴	R3	تداخل رامشیر ۱ و ۲
۰/۲۴	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۶۱	۰/۰۲	GR1-N1	گره بردی ۱
۰/۱۰	<۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۶۵	<۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۵	GR2-N1	گره بردی ۲
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۲۷	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۴	GL1-N	قلعه مدرسه ۱
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۱۶	<۰/۰۱	۰/۴۶	۰/۰۴	GL2-N	قلعه مدرسه ۲
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۲۳	<۰/۰۱	۰/۵۵	۰/۰۲	GL3-N	قلعه مدرسه ۳
<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۳۴	<۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۰۵	BAT-N	بتوند
۰/۳۸	<۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۰۲	۰/۵۶	۰/۰۱	KUH-N	کوه زر
۰/۳۵	<۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲۶	<۰/۰۱	۰/۴۹	۰/۰۲	Ag-N	عقبلی
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۱۲	<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	Gru-N	گرو
۰/۱۴	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۰۳	<۰/۰۱	۰/۰۳	Do-N	دوبلوطان
۰/۲۷	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۰۶	PR-N	پیرموسی
<۰/۰۱	<۰/۰۱	<۰/۰۱	۰/۲۵	<۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۰۶	G-Na	قاسم آباد



شکل ۲. الف، ب و پ مقایسه غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های چشمه‌های شور با مقادیر موسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران (نمونه برداری اسفندماه)، ت، ث و ج مقایسه غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های چشمه‌های شور با مقادیر موسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران در نمونه برداری اردیبهشت‌ماه.



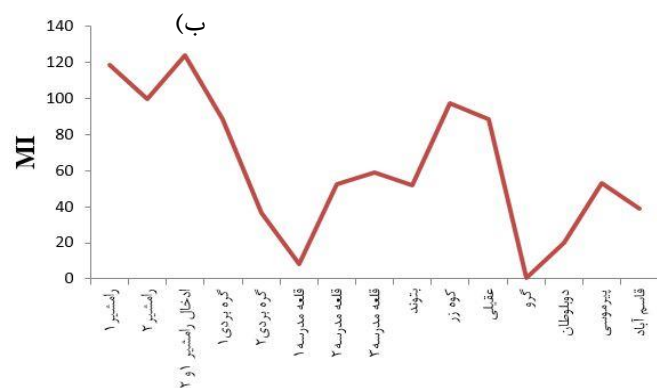
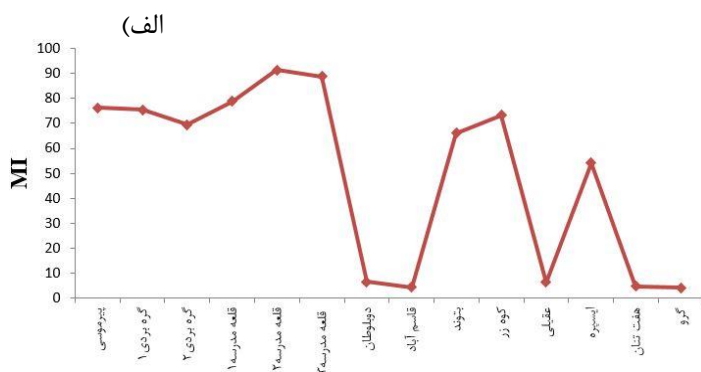
نمونه‌های آب برداشتی اسفندماه از چشمه‌های مورد مطالعه در جدول ۵ و نیز شکل ۳ الف نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین میزان شاخص فلزی در چشمه قلعه مدرسه ۲ و کمترین میزان این شاخص در چشمه گرو مشاهده می‌شود. به طور کلی میزان شاخص فلزی برای آب چشمه‌های مورد مطالعه بسیار بیشتر از یک می‌باشد. علاوه بر این چشمه‌های که از لحاظ مکانی به هم نزدیک می‌باشند معمولاً دارای تغییرات شاخص فلزی نزدیک به هم می‌باشند (چشمه‌های قلعه مدرسه، چشمه‌های رامشیر و چشمه‌های گره بردی). نتایج محاسبات مربوط به شاخص فلزی در نمونه برداری اردیبهشت ماه در جدول ۵ و نیز شکل ۳ ب نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۳ ب نشان داده شده بیشترین میزان شاخص فلزی مربوط به نمونه برداشت شده از محل تداخل آب چشمه‌های دوگانه رامشیر می‌باشد. همانند نمونه‌های اسفندماه پایین‌ترین میزان شاخص فلزی مربوط به چشمه گرو می‌باشد. به طور کلی بیشترین میزان شاخص فلزی در چشمه‌های رامشیر مشاهده می‌شود، همزمان این چشمه‌ها نشان دهنده بالاترین مقادیر pH نیز می‌باشند (جدول ۱). این موضوع همخوان با مطالعات Lyons و همکاران (۱۹۹۲) می‌باشد که نشان می‌دهد بطور کلی بیشترین محتوای فلزات سنگین همراه با شوره‌های با اسیدیته بالا دیده می‌شود.

در این مطالعه به منظور ارزیابی کمی آلودگی فلزات سنگین موجود در نمونه آب چشمه‌های مورد مطالعه، از شاخص فلزی یا (MI) استفاده شد. با استفاده از این شاخص، میزان آلودگی منابع آب موجود در یک منطقه تعیین می‌شود. شاخص فلزی یا MI که توسط (Tamasi and Cini, 2004) معرفی شده است از شاخص‌هایی است که با استفاده از آن می‌توان اثرات افزایشنده همراه بودن N عنصر سنگین را بر سلامت انسان بررسی و کیفیت کلی آب را در آن برآورد کرد. مقدار شاخص فلزی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۱-۱):

$$MI = \sum_{i=1}^N \frac{Ci}{(MAC)i}$$

در این رابطه C غلظت هر عنصر در آب و I شماره عنصر فلزی است که در این رابطه به کار می‌رود. MAC نیز بیشترین حد مجاز غلظت برای عنصر مورد نظر می‌باشد. هر چه غلظت فلز در مقایسه با بیشترین حد مجاز آن (MAC) بیشتر باشد کیفیت آب پایین‌تر می‌باشد. اگر غلظت عنصر خاصی از MAC بیشتر باشد آب آلوده است. حضور عناصر مختلف با غلظت‌های کمتر اما نزدیک به MAC نسبی، کیفیت کلی آب را به دلیل اثر افزایشنده مجموعه فلزات، کاهش می‌دهد. بنابراین  $MI > 1$  به عنوان حد آستانه خطر حتی در شرایطی که غلظت تک تک عنصرها در مقایسه با MAC مربوطه کمتر باشد در نظر گرفته می‌شود. میزان شاخص MI محاسبه شده برای



جدول ۵- میزان شاخص فلزی در چشمه های شور مورد مطالعه در نمونه برداری های اسفند و اردیبهشت ماه.

چشمه (اسفند)	(MI)	چشمه (اردیبهشت)	شاخص فلزی
پیرموسی	۷۶/۲۶	رامشیر ۱	۱۱۸/۶۰
گره بردی ۱	۷۵/۵۲	رامشیر ۲	۹۹/۸۷
گره بردی ۲	۶۹/۵۷	ادخال رامشیر ۱ و ۲	۱۲۴/۱۷
قلعه مدرسه ۱	۷۸/۹۲	گره بردی ۱	۸۸/۶۶
قلعه مدرسه ۲	۹۱/۴۳	گره بردی ۲	۳۶/۷۵
قلعه مدرسه ۳	۸۸/۹	قلعه مدرسه ۱	۸/۱۴
دوبلوطان	۶/۴۳	قلعه مدرسه ۲	۵۲/۴۶
قاسم آباد	۴/۳۶	قلعه مدرسه ۳	۵۸/۹۴
بتوند	۶۶/۰۲	بتوند	۵۱/۷۹
کوه زر	۷۳/۳۱	کوه زر	۹۷/۳۵
عقیلی	۶/۲۷	عقیلی	۸۸/۴۵
ایسپره	۵۴/۱۸	گرو	۰/۴۱
هفت تنان	۴/۷۸	دوبلوطان	۱۹/۹۸
گرو	۴/۰۴	پیرموسی	۵۳/۱۴

در نهایت می توان بیان داشت که در این مطالعه شاخصه های زمین شناسی و پراکنش فلزات سنگین در آب خروجی تعداد ۱۶ چشمه شور عمده استان خوزستان شامل چشمه پیرموسی، چشمه های دوگانه- گره بردی، چشمه های سه گانه قلعه مدرسه، بتوند، کوه- زر، عقیلی، کوه سالن (هفت تنان)، قاسم آباد، ایسپره، گرو، دوبلوطان و چشمه های منطقه رامشیر مورد ارزیابی قرار گرفتند. در مجموع چشمه های مورد مطالعه در دو بازه زمانی اسفندماه و اردیبهشت ماه مورد نمونه برداری قرار گرفتند. عمده چشمه های مورد مطالعه در ارتباط با سازند تبخیری گچساران می- باشند. با توجه به نقش پوش سنگی این سازند در ذخایر نفتی کمربند زاگرس و همچنین رخداد مواد سیاه رنگ هیدروکربنی اکسید شده و بوی شدید گوگرد در خروجی بعضی از چشمه های مورد مطالعه نظیر چشمه های منطقه قلعه مدرسه، گرو، دوبلوطان، ایسپره و چشمه های منطقه رامشیر، احتمال تاثیرگذاری شورابه های نفتی بر محتوای نمک و فلزات سنگین چشمه های شور مورد مطالعه محتمل به نظر می رسد. همچنین تماس آبخوان چشمه های مورد مطالعه با توالی های نمکی موجود در سازند

گچساران نیز می تواند به عنوان یکی از علل مهم شوری چشمه های مورد مطالعه قلمداد گردد. بررسی پراکنش فلزات سنگین در آب چشمه های مورد مطالعه نشان می دهد عناصری نظیر جیوه، آرسنیک، سرب و کادمیوم در برخی از چشمه ها دارای مقادیر چندین برابر استاندارد می باشند. با توجه به این که مقصد نهایی آب خروجی عمده چشمه های شور مورد مطالعه رود کارون (از منابع اصلی تامین آب شرب خوزستان) و در نهایت خلیج فارس می باشد این چشمه ها می توانند به عنوان منبع عمده آلاینده گی منابع آبی و اکوسیستم آبی قلمداد گردند. لذا توجه و برنامه ریزی بر روی چشمه های شور استان خوزستان ضروری به نظر می رسد.

#### تشکر و قدردانی

این مقاله ارائه دهنده بخشی از نتایج پروژه تحقیقاتی ارائه شده به بنیاد نخبگان نیروهای مسلح توسط نویسنده اول می باشد که با حمایت مالی و پشتیبانی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت زمین شناسی جنوب باختری (مرکز اهواز) صورت پذیرفته است. بدینوسیله از کلیه حمایت های صورت پذیرفته صمیمانه تشکر و قدردانی

Habibi T. and Ruban DA. 2017. Outstanding diversity of heritage features in large geological bodies: The Gachsaran Formation in southwest Iran. *Journal of African Earth Sciences*. 133: 1-6.

James GA. and Waynd JD. 1965. Stratigraphy nomenclature of Iranian oil Constortium Agreement area, American Assosiation of Petrololium Geologist Bulletin. 49: 2182-2245.

Kesler SE., Gruber PW., Medina PA., Keoleian GA., Everson M.P. and Wallington TJ. 2012. Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geology Reviews*. 48: 55-69.

Laznicka P. 2006. Giant metallic deposits. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 719p.

Lyons WB., Welch S., Long DT., Hines ME., Giblin AM., Carey AE., Macumber PG., Lent RM. and Herczeg AL. 1992. The trace-metal geochemistry of the Lake Tyrrell system brines (Victoria Australia). *Chemical Geology*. 96: 115-132.

Sheybanifar F., Mortazavi S. and Mirsanjari MM. 2016. Study of Heavy Metal Accumulation (Zn, Cu, Pb and Cd) in Feathers of Great White Heron (*Egretta alba*) in Hara Biosphere Reserve in Cool Season. *Journal of Marine Science and Technology*. 1: 65-73.

Soltani N., Baftechi L., Dezfulian M., Shokravi S. and Alnajar N. 2012. Molecular and Morphological Characterization of Oil Polluted Microalgae. *International Journal of Environmental Research*. 6: 481-492.

Tamasi G. and Cini R. 2004. Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy). Possible risks from arsenic for public health in the Province of Siena. *Science of the total environment*. 327: 41-51.

Yu JQ., Gao CL., Cheng AY., Liu Y., Zhang L. and He XH. 2013. Geomorphic, hydroclimatic and hydrothermal controls on the formation of lithium brine deposits in the Qaidam Basin, northern Tibetan Plateau, China. *Ore Geology Reviews*. 50: 171-183.

به عمل می‌آید. همچنین نویسنده اول مراتب تشکر و قدردانی را از آقای مهندس سرمد روزبه به جهت مشاوره علمی و نیز آقایان مهندس علی موحدیان، مجید کاظمی، طارق عبودی و مجتبی شیرمردی به- جهت مشارکت در نمونه‌برداری به عمل می‌آورد.

بدینوسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه SCU.EG98.38600 تشکر و قدردانی می‌گردد.

### منابع

Alavi M. 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*. 307: 1064-1095.

Alavi M. 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*. 304: 1-20.

Alekseyev SV. and Alekseyeva LP. 2008. Lithium-bearing brines in the Daldyno-Alakatsky district (Western Yakutia). *Geography and Natural Resources*. 29: 173-177.

Badri N., Amrollahi Biuki N. and Sharif Ranjbar M. 2018. Determination of Median lethal concentration lead (II) nitrate and Behavioral responses of hermit crab, *Diogenes avarus*. *Journal of Marine Science and Technology*. 4: 56-65.

Bahadori A., Carranza, EJ. and Soleimani B. 2011. Geochemical analysis of evaporate sedimentation in the Gachsaran Formation, Zeloi oil field, southwest Iran. *Journal of Geochemical Exploration*. 111: 97-112.

Bradl HB. 2005. Chapter 1 Sources and origins of heavy metals. *Interface Science and Technology* 6: 1-27.

Giva A., Dofour V., Al Marzooqi F., Al Kaabi M. and Hasan SW. 2017. Brine management methods: Recent innovations and current status. *Desalination*. 407: 1-23.

## Geochemistry of heavy metals in brine springs of Khuzestan province: Tracing of pollution potential of water resources and Persian Gulf

Mohsen Rezaei<sup>1\*</sup>, Alireza Zarasvandi<sup>1</sup>, Ali Ajdari<sup>2</sup>, Majid Heidari<sup>1,3</sup>

1. Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Geological Survey of Iran, Office of Southwest Center, Ahvaz, Iran

(DOI): [10.22113/jmst.2019.166210.2249](https://doi.org/10.22113/jmst.2019.166210.2249)

### Abstract

In this study, the geochemistry of heavy metals in the discharged waters of 16 brine springs, namely Pirmusa, dual springs of Gare-bardi, triple springs of Ghale-Madreseh, Batvand, Kuhzar, Aghili, Keh-e-Salen (Hafttanan), Ghasemabad, Ispareh, Garu, Dobalutan and Ramshir were evaluated. Most of the studied springs are discharged first in Karun river and finally to Persian Gulf. The assessments show that except for Ramshir and Garu spines cropping out in Mishan and Asmari Formations, respectively most of other brine springs are located in the evaporative Ghachsaran Formation. The maximum discharge ranges between 2 Lit/Sec (Ramshir and Ghale-Madreseh springs) and 330 Lit/Sec (Garu spring). The assessment of heavy metals dispersion and comparing with the standards of World Health Organization (WHO) and institute of standards and industrial research of Iran reveal that metals such as Hg, As and Pb are exceed than standards. Highlightly, Ramshir springs show variable degree of Cd enrichment. In the studied springs, the metal index is more than 1. Also, springs with close localities show the same variation range of metal index. Considering, the notable concentration of heavy metal in the studied brine springs and potential of undesirable environmental effects especially on quality and water resources ecosystem, attention and consideration of these springs seem to be necessary.

**Keywords:** Heavy metals, brine springs, pollution, water resources, Khuzestan province.

### List of tables & figures

**Fig. 1.** (a) Discharge point of Gare-bardi 2 in landslide located in the Gachsaran formation (view to north), (b) discharge point of Ispareh spring in the fault zone between the red and green marls of Gachsaran formation (view to north west), (c) water course of Dobalutan spring in the boundary of Gachsaran and Aghajari formations (view to north), (d) Batvand spring located in the 3 km east of Batvand village (view to south), (e) salt deposition in the discharge point of Kuhzar spring, (f) heavy salt deposition in the pool created by Ramshir springs mixture.

**Fig. 2.** The comparison of heavy metal content of brine springs with the values of institute for standard industrial research of Iran (December sampling; a, b and c), Comparison of heavy metal content of brine springs with the values of institute for standard industrial research of Iran (May sampling; d, e and f).

**Fig. 3.** The variation of metal index in the studied springs during the December (a) and May sampling runs (b).

**Table 1.** General features of Khuzestan province brine springs in the cold and warm seasons.

**Table 2.** Source lithology and outlet details of Khuzestan province brine springs.

**Table 3.** The concentration of heavy metals (ppm) in the studied springs (December sampling).

**Table 4.** The concentration of heavy metals (ppm) in the studied springs (May sampling).

**Table 5.** Metal index values in the studied brine springs during December and May sampling runs.

\*Corresponding author, E-mail: rezaee@ymail.com