

## بر آورد نرخ انحلال گنندهای نمکی در جنوب ایران، گنبد نمکی کنارسیاه فیروز آباد

مهدی زارعی<sup>(۱)\*</sup> و عزت‌اله رئیسی<sup>۲</sup>

۱. استادیار بخش علوم زمین دانشگاه شیراز

۲. استاد بخش علوم زمین دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۱۱

### چکیده

با توجه به رخنمون بیش از ۱۰۰ گنبد نمکی در جنوب ایران، گنندهای نمکی از مهمترین منابع بالقوه شوری در این منطقه محسوب می‌گردند. انحلال نمک این گنندهای نمکی در اغلب موارد موجب تخریب کیفیت آب‌های سطحی و آبخوان‌های مجاور می‌گردد. گنبد نمکی کنارسیاه با مساحت ۳۷/۴ کیلومتر مربع در ۹۰ کیلومتری جنوب شیراز واقع شده است. این گنبد نمکی توسط آبخوان‌های متعددی احاطه شده است. همچنین بخشی از شورابه این گنبد نمکی توسط آبراهه‌های مجاور آن زهکشی شده و به رودخانه فیروز آباد می‌ریزد.

به‌منظور محاسبه میزان نمک تخلیه شده از گنبد نمکی کنارسیاه، بده، کل مواد جامد محلول و غلظت یون‌های اصلی از جمله سدیم و کلر به صورت ماهانه در ۱۷ چشمه، دو گمانه، پنج چاه بهره‌برداری و هشت ایستگاه آب سطحی در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ اندازه‌گیری شده است. همچنین در طول یک سیلاب که در تاریخ ۱۳ دی‌ماه سال ۱۳۸۷ اتفاق افتاد، اندازه‌گیری بده و غلظت یون‌های سدیم و کلر به صورت دو ساعته انجام گرفته است. با استفاده از این داده‌ها، جرم نمک انحلال یافته از گنبد نمکی کنارسیاه در طول یک سال دوره مطالعه برابر با ۱۴۶۵۳۹ تن شامل ۱۴۳۲۶۹ تن نمک انحلال یافته به صورت جریان پایه و ۳۲۷۰ تن نمک سیلابی محاسبه شده است. همچنین عمق نمک انحلال یافته از این گنبد نمکی معادل با ۱/۸ میلی‌متر در سال محاسبه شده است. این نرخ انحلال سالیانه با مقادیر محاسبه شده توسط محققین مختلف مقایسه شده و دلایل تفاوت نتایج مورد بحث قرار گرفته است. همچنین برای جلوگیری از تاثیر گنبد نمکی کنارسیاه بر رودخانه فیروزآباد و آبخوان‌های مجاور راهکارهایی شامل حفر گالری افقی و چاه بهره‌برداری و احداث حوضچه‌های تبخیر در محل‌های مناسب ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** گنبد نمکی، نرخ انحلال نمک، راهکار کاهش شوری.

### مقدمه

شده است. یکی از محدودیت‌های منابع آب در ایران، مشکل شور شدن بر اثر عوامل مختلف طبیعی می‌باشد. از جمله این عوامل می‌توان گنندهای نمکی، سازندهای تبخیری و نفوذ آب شور دریاچه‌ها و دریاها را نام برد. این عوامل سبب می‌شود که آب‌های با کیفیت مطلوب، جهت مصارف شرب و حتی کشاورزی غیر قابل استفاده گردند. لذا در چنین شرایطی، جلوگیری از کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی را می‌توان به‌عنوان دست‌یابی به منابع جدید آب تلقی کرد.

در دو دهه اخیر، سرمایه‌گذاری عظیمی در پروژه‌های آبی از قبیل احداث سد‌های مخزنی و طرح‌های تغذیه مصنوعی در کشور صورت گرفته است، که با اتمام این طرح‌ها قسمت اعظم پتانسیل آب‌های سطحی مورد استفاده قرار خواهد گرفت. بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی نیز توسعه وسیعی یافته و با احداث چاه‌های پمپاژ متعدد، منابع آب زیرزمینی با حداکثر ظرفیت در حال استفاده است، در حال حاضر اکثر دشت‌های کشور ممنوعه اعلام

\* نویسنده مرتبط mehdizarey@yahoo.com

جهانی که در فاصله ۱۰ کیلومتری جنوب گنبد نمکی کنارسياه واقع شده است اندازه‌گیری کردند. نتایج کار آنها نشان داده است که سنگ نمک در این گنبد نمکی در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ به‌طور متوسط ۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر در سال انحلال یافته است. اهداف این تحقیق عبارتند از:

- محاسبه نرخ تخلیه نمک سالیانه به درون آبخوان‌ها و منابع آب سطحی مجاور
- محاسبه عمق سالانه انحلال نمک از سطح گنبد نمکی کنارسياه
- ارائه راهکارهای پیشگیری از ورود نمک به منابع آب منطقه

### زمین‌شناسی منطقه

گنبد نمکی کنارسياه با مساحت ۳۷/۴ کیلومترمربع در ۹۰ کیلومتری جنوب شیراز و در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر فیروزآباد واقع شده است. این گنبد نمکی در هسته مرکزی تاقدیس آغار نفوذ کرده است (شکل ۱). نمک گنبد نمکی کنارسياه از طریق دو مجرا<sup>۲</sup> از اعماق به سطح زمین راه یافته است. این دو مجرا به فاصله ۶ کیلومتر از یکدیگر و در امتداد گسل بزرگ منگرک (منقارک) قرار دارند. نمک خارج شده از این دو مجرا در سطح زمین به صورت نمک‌شار<sup>۳</sup> جریان یافته و پس از پیوستن به یکدیگر تشکیل گنبد نمکی کنارسياه را داده است. در تاقدیس آغار از قدیم به جدید سازندهای هرمز، آهک سروک، شیل و مارن پابده-گورپی، آهک آسماری، سازند تبخیری گچساران، آهک و مارن میشان، ماسه‌سنگ آجاجاری و کنگلومرای بختیاری رخنمون دارند (شکل ۱). لایه تغذیه کننده نمک در گنبد‌های ناحیه جنوب و جنوب غرب ایران سری هرمز است که سن آن پرکامبرین تا کامبرین میانی گزارش شده است (Stocklin, 1968) و در دوره‌های تریاس و ترشیاری صعود کرده‌اند. گنبد نمکی کنارسياه توسط چندین آبخوان کارستی و آبرفتی احاطه شده است، که مهم‌ترین آنها آبخوان کارستی سروک در شرق گنبد نمکی و یک آبخوان آهکی در غرب گنبد می‌باشند. دشت آبرفتی کنارسياه در جنوب و دشت فیروزآباد نیز از شمال با گنبد نمکی کنارسياه در تماس مستقیم می‌باشند.

### روش نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

هدایت الکتریکی، بده، کل مواد جامد محلول (TDS) و غلظت یونهای اصلی شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات و بی‌کربنات به صورت ماهانه در ۱۷ چشمه، دو گمانه، پنج چاه بهره‌برداری و هشت ایستگاه آب سطحی از مهرماه ۱۳۸۷ تا شهریورماه ۱۳۸۸ اندازه‌گیری شده است (جدول ۱). آنالیز یون‌های اصلی در آزمایشگاه هیدروشیمی بخش علوم زمین دانشگاه شیراز انجام گرفته است. در این آزمایشگاه، غلظت کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون توسط EDTA و غلظت سدیم

در حدود ۱۳۰ گنبد نمکی در جنوب و جنوب غرب ایران رخنمون دارند. لذا یکی از مهم‌ترین منابع بالقوه شوری در جنوب ایران، انحلال هالیت گنبد‌های نمکی می‌باشد که در اغلب موارد موجب تخریب کیفیت آب‌های سطحی و آبخوان‌های کارستی و آبرفتی مجاور می‌گردد. با وجودی که آبهای کارستی و آبرفتی عموماً دارای کیفیت مطلوبی می‌باشند، در موارد متعددی در جنوب کشور کیفیت این آب‌ها به دلیل تماس با گنبد‌های نمکی کاهش یافته است. از جمله این موارد می‌توان به دشت سروستان به دلیل وجود گنبد‌های نمکی در شرق دشت (سیوکی، ۱۳۷۵)، دشت گز طویله داراب و شورشدن رودخانه فیروزآباد پس از عبور از مجاورت گنبد‌های نمکی جهانی، کنارسياه و خوراب اشاره کرد (کاظمی، ۱۳۸۵). علی‌رغم انجام مطالعات فوق، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه سازوکار حرکت آب در گنبد‌های نمکی و چگونگی شورشدن آب‌های زیرزمینی مجاور در دنیا انجام نشده است.

سنگ نمک خصوصیات منحصر به فردی دارد. حلالیت آن ۳۶۰ گرم در لیتر می‌باشد. سنگ نمک یک سنگ نفوذناپذیر است و هیچ جریان آب زیرزمینی در درون خود سنگ نمک اتفاق نمی‌افتد (Ford and Williams, 2007). آب در تماس با سنگ نمک به سرعت به حد اشباع می‌رسد، به طوری که در جریان‌های ورقه‌ای<sup>۱</sup> این عمل تنها ظرف چند دقیقه صورت می‌گیرد. در جریان‌های کانالی نیز بسته به سرعت و درجه آشفتنگی جریان آب می‌تواند ظرف مدت چند ساعت تا چند روز به حد اشباع برسد. وقتی آب به حد اشباع رسیده دیگر پتانسیل انحلال نمک بیشتر را نخواهد داشت و به همین دلیل پتانسیل کارستی شدن در سنگ نمک تنها در اعماق کم وجود دارد و با افزایش عمق به شدت کاهش می‌یابد. محققین مختلفی اقدام به محاسبه نرخ انحلال نمک گنبد‌های نمکی کرده‌اند. با توجه به این که هر لیتر آب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد می‌تواند ۳۶۰ گرم نمک (NaCl) را در خود حل کند، هر سانتیمتر بارش در صورتی که کاملاً اشباع شود، پتانسیل انحلال ۱۶/۷ میلی‌متر ستون نمک را دارا می‌باشد. به همین دلیل (Talbot and Jarvis (1984) نرخ انحلال نمک گنبد‌های نمکی را به صورت تخمینی برابر با ۱۷ درصد بارش سالانه در نظر گرفتند. Frumkin (1994) به روش هیدرولوژیکی و اندازه‌گیری غلظت آب در بخش‌های مختلف گنبد نمکی سدوم، نرخ انحلال سالانه آن را برابر با ۰/۵ تا ۰/۷۵ میلی‌متر برای ضرایب نفوذ ۰/۲ تا ۰/۳ تخمین زد. وی همچنین با اندازه‌گیری مستقیم انحلال نمک در کف غارهای این گنبد نمکی با استفاده از میخ‌های پلاستیکی، نرخ انحلال در کف غارها را ۴ تا ۲۵ میلی‌متر در سال اندازه‌گیری کرد و نتیجه گرفت که نرخ انحلال در همه جا به صورت یکنواخت نیست و به‌عنوان مثال در کف غارها چندین برابر نرخ متوسط کل گنبد نمکی می‌باشد. همچنین (Bruthans et al. (2008 با استفاده از میخ‌های پلاستیکی نرخ انحلال از سطح نمک را در گنبد نمکی

1. Sheet flow  
2. Vent  
3. Salt glacier



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه (نقشه زمین‌شناسی جنوب غرب فارس، شرکت ملی نفت ایران)

غرب گنبد نمکی از چشمه شور (S10) با بده ۳/۲ لیتر در ثانیه و مواد جامد محلول ۲/۹۳ گرم در لیتر سرچشمه می‌گیرد. سپس در نتیجه زهکشی آبخوان‌های کارستی غربی به صورت سطح نشستی از کف به درون آبراهه، بده و مواد جامد محلول آن در ایستگاه R20 به ترتیب به ۹۰ لیتر در ثانیه و ۳/۸۵ گرم در لیتر می‌رسد. سپس در نتیجه اضافه شدن چشمه‌های شورابه S16، S15 و S17 در ایستگاه R24، بده و مواد جامد محلول آن به ترتیب به ۹۷ لیتر در ثانیه و ۲۶/۰۲ گرم در لیتر می‌رسد. آبراهه منگرک که در نهایت در جنوب گنبد نمکی به آبراهه کنار می‌پیوندد، پس از پیوستن به آبراهه به سمت جنوب جریان یافته و پس از زهکشی چشمه‌های موجود در دشت کنارسیاه (چشمه‌های لب شور تا شور S34 تا S40) در نهایت به رودخانه فیروزآباد می‌ریزد. بده و مواد جامد محلول این آبراهه، قبل از پیوستن به رودخانه کنارسیاه نیز به صورت ماهانه در ایستگاه R17 اندازه‌گیری شده که متوسط بده و مواد جامد محلول آن به ترتیب ۲۸۷ لیتر در ثانیه و ۲۸/۸۵ گرم در لیتر می‌باشند.

علاوه بر چشمه‌های شورابه، بخشی از شورابه گنبد نمکی کنارسیاه نیز به صورت زیر سطحی به درون آبخوان‌های مجاور نفوذ می‌کند. از میان این آبخوان‌ها، دشت فیروزآباد و آبخوان آسماری شرقی با گنبد نمکی ارتباط هیدرولیکی ندارند و هیچ شورابه‌ای وارد این آبخوان‌ها نمی‌گردد به طوری که چاه‌های حفر شده در دشت فیروزآباد (W3، W4 و W5) همگی دارای تیپ بی‌کربناته و املاح جامد محلول کمتر از ۰/۷۰۰ گرم در لیتر

و پتاسیم به روش شعله‌سنجی اندازه‌گیری شده است. غلظت کلر و سولفات به ترتیب به روش‌های تیتراسیون موهر و روش توربیدیتی تعیین گردیده است. همچنین غلظت آنیون بی‌کربنات با استفاده از روش تیتراسیون با اسید کلریدریک اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی صحت آنالیزهای انجام شده از روش توازن یونی استفاده شده است که کلیه نمونه‌ها خطای کمتر از ۵ درصد نشان می‌دهند. همچنین در طول یک سیلاب که در تاریخ ۱۳ دی‌ماه ۱۳۸۷ اتفاق افتاد، اندازه‌گیری بده و نمونه‌برداری به منظور آنالیز یون‌های سدیم و کلر به صورت دو ساعته صورت گرفته است.

## بحث و نتایج هیدرولوژی و هیدروژئولوژی

هشت دهنه چشمه شورابه در اطراف گنبد نمکی کنارسیاه ظاهر شده است. این چشمه‌ها همگی شورابه و کلروره می‌باشند و مواد جامد محلول آن‌ها ۳۲۳/۶ تا ۳۳۰/۹ گرم در لیتر می‌باشد (جدول ۱). دو آبراهه دائمی به نام‌های کنار در شرق و منگرک در غرب گنبد نمکی کنارسیاه جریان دارند. آبراهه کنار در شرق گنبد نمکی از چشمه S25 که یک چشمه کلروره با مواد جامد محلول ۱۰/۵۲ گرم در لیتر سرچشمه می‌گیرد و پس از زهکشی آب چشمه‌های شورابه S23 و S24، بده و مواد جامد محلول آن در ایستگاه R12 به ترتیب به ۳۲/۹ لیتر در ثانیه و ۱۵/۵۲ گرم در لیتر می‌رسد. این آبراهه در جنوب گنبد نمکی کنار سیاه به آبراهه منگرک (آبراهه غربی) می‌پیوندد. از طرف دیگر آبراهه منگرک در

سدیم آب چشمه S20 (کنارسیاه) اندازه‌گیری شده است. بنابراین مجموع نمک خروجی از گنبد نمکی کنارسیاه شامل نمک عبوری از ایستگاه R17 بعلاوه نمک خروجی از چشمه S20 می‌باشد.

### محاسبه جرم نمک تخلیه شده از گنبد نمکی

تخلیه نمک از گنبد نمکی کنارسیاه را می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد:

- جریان پایه که طی آن تخلیه شورابه به صورت دائمی از طریق چشمه‌ها و نفوذ به آبخوان‌های مجاور در طول سال انجام می‌گیرد.

- جریان سیلابی که در زمان بارندگی به مؤلفه جریان پایه اضافه می‌گردد.

### تخلیه نمک به صورت جریان پایه

به منظور محاسبه حجم سالانه نمک تخلیه شده از گنبد نمکی کنارسیاه، بده جریان و غلظت یون‌های اصلی به طور ماهانه در طول سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ اندازه‌گیری شده است. مطالعات Zarei and Raeisi (2010 a,b) نشان داد که تنها منشاء شوری در آبخوان‌های این منطقه انحلال نمک گنبد نمکی کنارسیاه می‌باشد. لذا با اندازه‌گیری غلظت کلر و سدیم، بده جرمی نمک انحلال یافته از گنبد نمکی قابل محاسبه می‌باشد. برای این منظور معادله زیر بر اساس بیلان جرمی مشتق گردید:

$$Q_b = 2.592 \sum_{i=1}^n [q_i (Cl_i + Na_i)] \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله  $Cl_i$  و  $Na_i$  به ترتیب غلظت کلر و سدیم (میلی‌گرم بر لیتر) نمونه آب در ایستگاه انتخاب شده در ماه  $i$  و  $q_i$  بده حجمی جریان (لیتر بر ثانیه) در ایستگاه می‌باشد.  $Q_b$  جرم نمک عبوری از ایستگاه بر حسب کیلوگرم در طول دوره نمونه‌برداری (یک سال) می‌باشد.

به منظور محاسبه نمک انحلال یافته از گنبد نمکی کنارسیاه به صورت جریان پایه، اندازه‌گیری بده حجمی و غلظت کلر و سدیم به صورت ماهانه در ایستگاه R17 و چشمه کنارسیاه (S20) در طول یک سال دوره مطالعه (سال آبی ۸۸-۱۳۸۷) انجام شده است. البته علاوه بر این دو نقطه، اندازه‌گیری‌ها به منظور کنترل ایستگاه‌های اصلی در چشمه‌ها و ایستگاه‌های بالادست از جمله چشمه‌های شورابه S18، S17، S16، S15، S24، S23 و ایستگاه‌های آبراهه‌های سطحی از جمله R13 و R25 نیز انجام شده است (شکل ۱). نتایج این اندازه‌گیری‌های ماهانه در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۲ هیدروگراف و کموگراف ایستگاه R17 و چشمه S20 را در دوره جریان پایه نشان می‌دهد.

مقدار نمک عبوری از ایستگاه R17 به صورت جریان پایه با استفاده از معادله ۱ برابر با ۱۲۹۷۷۵ تن در سال محاسبه شده است. همچنین بده جرمی نمک عبوری از این ایستگاه در شکل ۲ مشاهده می‌شود. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، گرچه غلظت نمک در فصل خشک ماکزیمم است، ولی به دلیل افزایش

می‌باشند و هیچ‌گونه افزایش کلر در این چاه‌ها مشاهده نشده است. همچنین از چاه W2 که در آسماری شرقی حفر شده نمونه‌برداری شده است. این چاه نیز دارای تیپ بی‌کربناته با املاح جامد محلول ۰/۶۸۰ گرم در لیتر می‌باشد که نشان‌دهنده نفوذ نکردن شورابه گنبد نمکی به درون این آبخوان آهکی می‌باشد.

Zarei and Raeisi (2010 a) از طریق مطالعات زمین‌شناسی و هیدروشیمی اثبات کردند که بخشی از شورابه گنبد نمکی کنارسیاه در محل تماس گنبد نمکی با سازند سروک به درون این آبخوان آهکی نفوذ می‌کند. این بخش از شورابه با آب کارستی سروک اختلاط پیدا کرده و در نهایت از طریق چشمه لب شور کنارسیاه (S20) با بده ۱۴۲ لیتر در ثانیه و املاح جامد محلول ۳/۸۲ گرم در لیتر تخلیه می‌گردد. آب این چشمه از طریق یک کانال سیمانی به دشت پایین‌دست منتقل شده و جهت آبیاری نخلستان‌های منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سمت غرب نیز بخشی از شورابه گنبد به صورت زیرزمینی به درون آبخوان‌های کارستی غرب گنبد نمکی شامل آهک سروک و آهک آسماری نفوذ می‌کند. همانطور که اشاره گردید آب این دو آبخوان کارستی در نهایت توسط چشمه شور و نیز یک سطح نشستی به درون آبراهه منگرک وارد می‌شود. لذا کل نمک وارد شده به درون آبخوان‌های کارستی غربی در نهایت وارد آبراهه منگرک می‌گردد. همچنین Zarei and Raeisi (2010 a,b) با انجام مطالعات ایزوتوپی و هیدروشیمیایی نشان دادند که منشاء شوری چشمه‌های کلروره در دشت کنارسیاه (چشمه‌های S34 تا S40) نیز از نمک گنبد نمکی کنارسیاه می‌باشد. چشمه‌های این دشت در نهایت توسط آبراهه تلخاب زهکشی شده و به درون آبراهه کنارسیاه می‌ریزند. بنابراین شورابه گنبد نمکی کنارسیاه به یکی از سرنوشت‌های زیر دچار می‌گردد:

- تخلیه از طریق چشمه‌های شورابه که به طور مستقیم به درون آبراهه‌های کنارسیاه و منگرک تخلیه می‌گردد.

- تخلیه زیر سطحی به درون آبخوان‌های کارستی غربی که در نهایت از طریق چشمه شور و نشست از کف به درون آبراهه منگرک تخلیه می‌گردد.

- تخلیه زیرسطحی به درون آبخوان دشت کنارسیاه که در نهایت توسط چشمه لب شور تا شور S34 تا S40 به درون آبراهه تلخاب و در نهایت به آبراهه کنارسیاه وارد می‌شود.

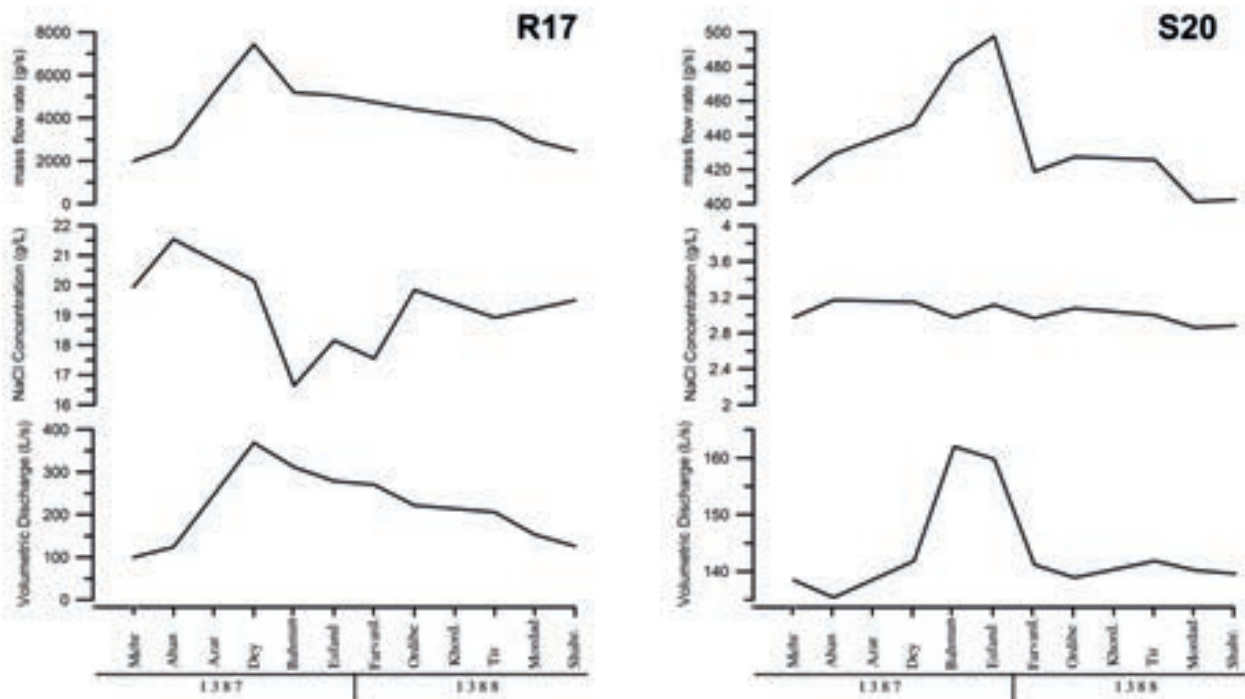
- تخلیه زیر سطحی به درون آبخوان سروک شرقی که در نهایت از طریق چشمه لب شور کنارسیاه تخلیه می‌شود. آب این چشمه از طریق یک کانال سیمانی به محل مصرف در دشت پایین‌دست منتقل می‌گردد.

با توجه به اینکه موارد ۱ تا ۳ مذکور در نهایت به درون آبراهه کنارسیاه تخلیه می‌شوند، با انتخاب ایستگاه اندازه‌گیری R17 جهت اندازه‌گیری بده و غلظت کلر و سدیم می‌توان مقدار نمک تخلیه شده از گنبد نمکی کنارسیاه از طریق این سه مورد را اندازه‌گیری کرد. مورد چهارم یعنی نمک ورودی به آبخوان کارستی سروک نیز از طریق اندازه‌گیری بده و غلظت کلر و



جدول ۱. نتایج اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی و آنالیز شیمیایی چشمه‌ها، چاه‌ها و آب سطحی در منطقه کنارسیاه.

نمونه	گروه	تیپ آب	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	TDS	EC	بده
			(meq/L)							(g/L)	(ms/cm)	(L/s)
S6	شورابه	Na-Cl	64.3	50.7	5031.7	10.29	1.23	65.2	5487.2	326.7	147.0	0.03
S15	شورابه	Na-Cl	61.7	55.2	4988.2	9.32	2.42	67	5535.9	330.9	139.9	1.3
S16	شورابه	Na-Cl	64.7	51.3	4804.5	9.6	1.8	66.0	5314.6	330.9	128.2	2.8
S17	شورابه	Na-Cl	64.1	48.1	4781.1	9.71	1.11	58	5316.7	328.2	134.6	2.2
S18	شورابه	Na-Cl	66.8	46.3	4995.3	7.6	1.1	70.9	5532.8	328.5	140.9	0.5
S19	شورابه	Na-Cl	68.1	46.7	5035.0	7.6	1.1	55.5	5466.9	323.6	155.5	0.2
S23	شورابه	Na-Cl	63.0	52.5	5105.0	12.7	0.9	67.5	5514.4	324.0	139.2	0.2
S24	شورابه	Na-Cl	62.1	55.5	5285.7	14.9	0.8	72	5556.3	325.1	137.3	0.6
S10	لب شور	Na-Cl	7.57	9.93	31.57	0.16	4.86	6.94	38.61	2.93	5.34	3.2
S20	لب شور	Na-Cl	6.69	9.09	45.96	0.20	5.24	4.44	55.29	3.82	5.65	142
S25	لب شور	Na-Cl	15.31	15.38	70.86	0.26	5.21	17.15	83.39	6.57	10.52	5.3
S34	لب شور	Na-Cl	7.74	8.70	46.44	0.17	5.87	5.17	55.34	3.87	7.04	14.3
S35	لب شور	Na-Cl	6.48	12.73	50.18	0.18	6.38	6.18	59.83	4.06	7.32	15.5
S36	لب شور	Na-Cl	7.25	8.52	49.54	0.16	5.42	5.40	58.58	4.00	7.51	4.1
S38	لب شور	Na-Cl	9.40	9.74	106.68	0.26	5.30	6.14	120.30	9.83	9.03	26
S39	شور	Na-Cl	16.05	14.16	177.18	0.44	5.42	9.77	202.25	13.18	20.17	-
S40	شور	Na-Cl	17.54	16.34	280.47	0.62	5.38	9.34	312.50	19.09	26.60	16.4
W1	لب شور	Na-Cl	8.41	9.13	45.43	0.19	5.54	3.20	55.93	3.86	7.00	-
W2	شیرین	Ca-SO <sub>4</sub>	2.66	2.53	0.45	0.03	0.70	0.90	0.25		0.68	-
W3	شیرین	Mg-HCO <sub>3</sub>	3.20	3.37	0.58	0.04	1.13	0.88	0.39	0.32	0.70	-
W4	شیرین	Mg-SO <sub>4</sub>	3.11	3.31	0.52	0.04	0.58	1.01	0.20	0.40	0.64	-
W5	شیرین	Mg-HCO <sub>3</sub>	3.58	4.18	0.38	0.04	5.48	1.15	0.41	0.39	0.67	-
B1	لب شور	Na-Cl	6.93	9.37	46.77	0.15	5.40	4.32	54.07	3.88	6.45	-
B4	لب شور	Na-Cl	5.70	12.05	52.80	0.21	6.88	5.70	62.19	4.27	0.00	-
R5	لب شور	Na-Cl	9.18	12.30	128.07	0.63	3.51	8.18	138.68	9.21	13.06	561
R6	شور	Na-Cl	8.56	11.44	162.72	0.65	3.45	8.14	176.70	11.61	15.45	848
R12	شور	Na-Cl	8.62	11.23	160.67	0.47	4.26	7.96	183.67	11.45	18.89	36.8
R13	شور	Na-Cl	17.58	15.81	480.89	0.90	3.96	19.05	544.81	34.84	40.3	23.0
R17	شور	Na-Cl	12.35	13.13	318.85	0.64	3.75	12.05	333.14	20.56	28.85	287
R20	لب شور	Na-Cl	7.70	10.60	41.27	0.17	4.94	9.14	51.10	3.85	6.66	90
R24	شور	Na-Cl	13.60	11.71	370.42	0.73	4.04	15.38	416.36	26.02	34.23	97
R25	شور	Na-Cl	11.71	11.41	413.07	0.72	3.80	16.22	452.29	30.68	36.5	99.1



شکل ۲. هیدروگراف و کموگراف جریان پایه ایستگاه هیدرومتری R17 و چشمه کنارسياه (S20) در طول دوره نمونه‌برداری.

میزان نمک در طول سیلاب، پارامترهای بده جریان و غلظت کلر و سدیم در طول یک واقعه سیلابی در طول دوره مطالعه در ایستگاه R17 و چشمه S20 به صورت دو ساعته اندازه‌گیری شده است.

در نهایت جرم نمک عبوری از ایستگاه R17 در طول سیلاب را می‌توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$Q_q = \sum_{j=1}^n \left( \frac{Na_j + Cl_j}{2} q_j + \frac{Na_{j+1} + Cl_{j+1}}{2} q_{j+1} \right) \Delta t_j \quad (2)$$

در این معادله  $Na_j$  و  $Cl_j$  غلظت‌های سدیم و کلر برحسب میلی‌گرم در لیتر در لحظه زمانی  $j$  می‌باشد.  $q_j$  بده حجمی جریان آب در لحظه اندازه‌گیری و  $\Delta t_j$  بازه زمانی بین دو اندازه‌گیری متوالی در زمان سیلاب می‌باشد.

مقادیر بده جریان آب و غلظت‌های سدیم و کلر در سیلاب ۱۳ دی‌ماه سال ۱۳۸۷ حاصل از بارشی به عمق ۴۱ میلی‌متر با فواصل زمانی ۲ ساعته در ایستگاه R17 و همچنین چشمه S20 اندازه‌گیری گردید که نتایج آن در شکل ۴ مشاهده می‌شود. اطلاعات بارندگی مربوط به ایستگاه دهرود در فاصله ۱۰ کیلومتری از منطقه به‌عنوان ایستگاه معرف مورد استفاده قرار گرفته است.

همانطور که انتظار می‌رفت، چشمه کارستی S20 که آهک سروک را تخلیه می‌کند، نسبت به سیلاب عکس‌العمل قابل توجهی نشان نمی‌دهد (شکل ۴) و لذا حجم نمک تخلیه شده برای این چشمه در محاسبات، فقط حجم نمک تخلیه شده به صورت جریان پایه لحاظ شده است. جرم نمک عبوری از ایستگاه R17 در طول این

بده جریان، ماکزیمم بده جرمی نمک در فصل تر اتفاق می‌افتد. همانطور که در بخش قبل اشاره شد، بخشی از نمک گنبد نمکی کنارسياه نیز وارد آبخوان کارستی سروک شرقی می‌شود که در نهایت از چشمه لب شور کنارسياه تخلیه می‌گردد. از آنجایی که آب این چشمه وارد آبراهه منگرک نمی‌گردد، لذا حجم نمک تخلیه شده از طریق این چشمه بایستی به حجم نمک محاسبه شده در ایستگاه R17 اضافه گردد. نتایج محاسبات، جرم نمک تخلیه شده سالانه توسط چشمه کنارسياه را ۱۳۴۹۴ تن نشان داد که با افزودن این مقدار به نمک تخلیه شده در ایستگاه R17، میزان جرم نمک تخلیه شده کل از گنبد نمکی کنارسياه به ۱۴۳۲۶۹ تن در سال می‌رسد.

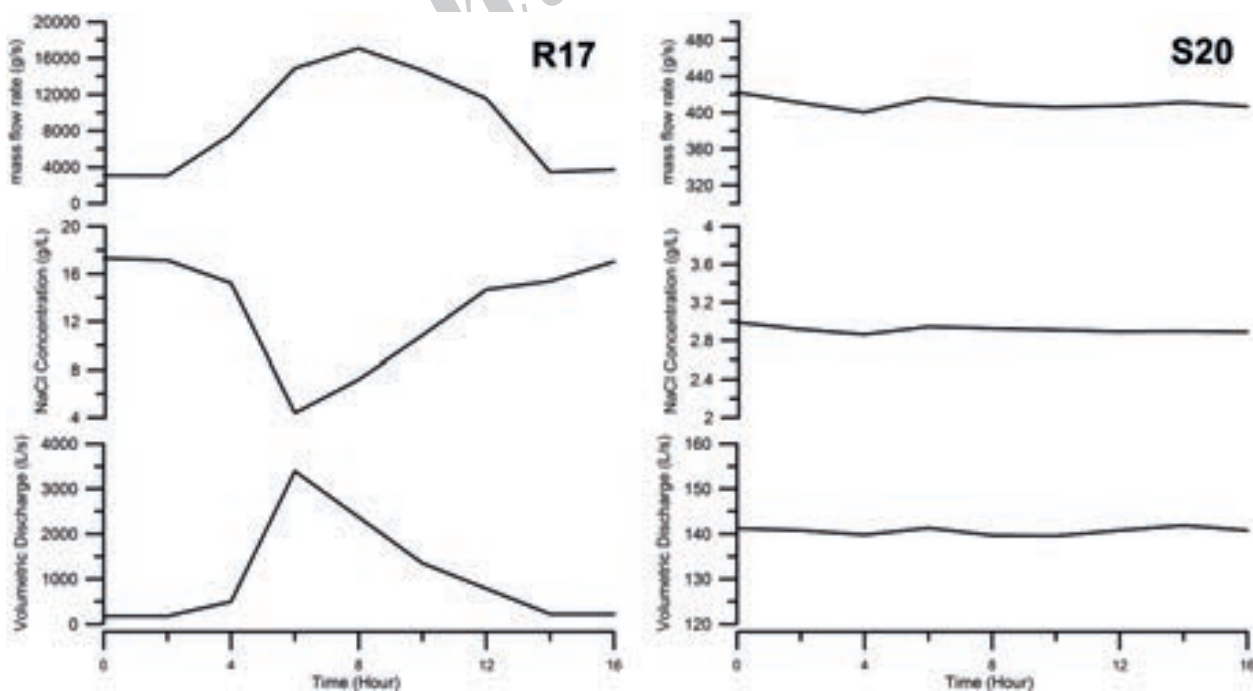
### تخلیه نمک در طول جریان سیلابی

افزایش نرخ انحلال نمک در زمان وقایع سیلابی ممکن است به دو شکل صورت گیرد:

- افزایش بده چشمه‌های شورابه که به نوبه خود منجر به افزایش میزان نمک خروجی از گنبد نمکی می‌گردد.
  - جریان رواناب سطحی بر بخشهایی از گنبد نمکی، که سنگ نمک رخنمون دارد، منجر به انحلال نمک توسط رواناب سطحی می‌گردد. البته با توجه به اینکه بخش عمده گنبد نمکی کنارسياه توسط سنگ‌پوش غیر تبخیری پوشیده شده است و تنها در ۱/۱ درصد از سطح این گنبد نمکی سنگ نمک رخنمون دارد (شکل ۳)، انتظار می‌رود که سهم این مؤلفه چندان قابل توجه نباشد.
- صرف نظر از اینکه کدام یک از این دو مؤلفه فوق منجر به افزایش انحلال نمک گنبد نمکی می‌گردد، به‌منظور اندازه‌گیری



شکل ۳. نقشه محل‌های رخنمون سنگ نمک در گنبد نمکی کنارسیاه (Zarei and Raeisi, 2010b).



شکل ۴. هیدروگراف و کموگراف ایستگاه هیدرومتری R17 و چشمه کنارسیاه (S20) در طول سیلاب ۱۳ دی‌ماه ۱۳۸۷.

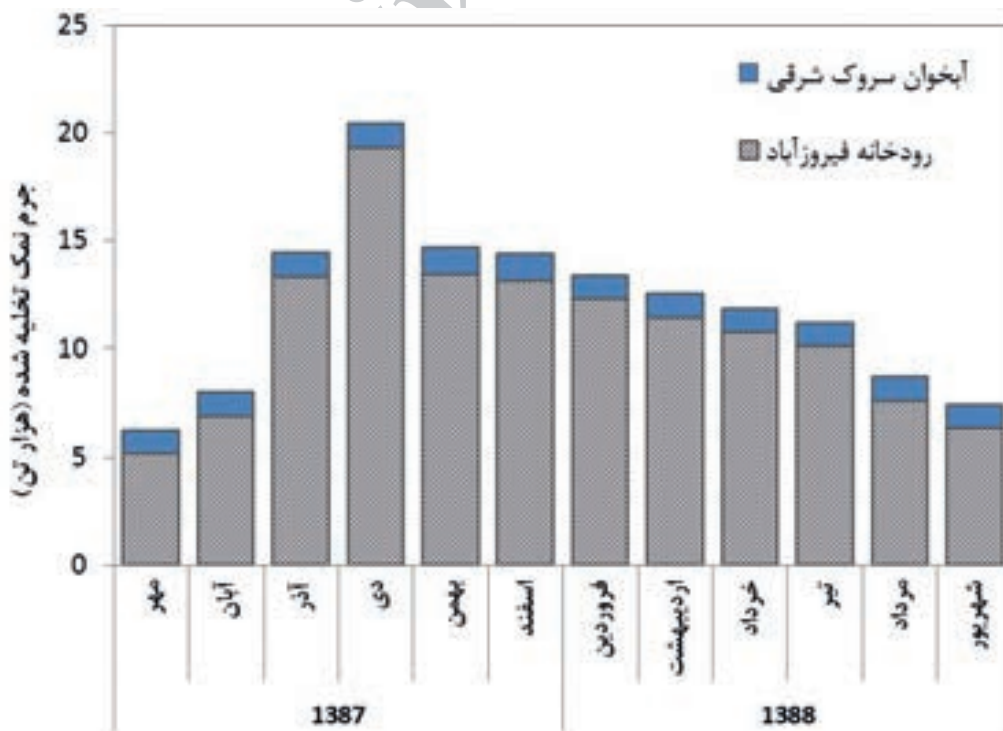
مطالعه که پتانسیل تولید رواناب را داشته‌اند، شامل پنج واقعه بارش با عمق ۱۰ تا ۲۱ میلی‌متر می‌باشند. حتی با در نظر گرفتن حجم تخلیه نمک مشابه با بارش ۴۱ میلیمتری اندازه‌گیری شده برای هریک از این بارش‌ها، جرم نمک تخلیه شده سیلابی در طول دوره مطالعه تنها  $3270 = 6 \times 545$  تن محاسبه می‌شود که معادل با  $2/3$  درصد حجم نمک تخلیه شده در طول سال به صورت جریان پایه می‌باشد.

در نهایت جرم کل نمک تخلیه شده در طول سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ از جمع جرم نمک تخلیه شده در طول سال به صورت جریان پایه (۱۴۳۲۶۹ تن) و جرم تخمین زده شده برای نمک تخلیه شده در زمان سیلاب در طول سال (۳۲۷۰ تن) برابر با ۱۴۶۵۳۹ تن محاسبه می‌گردد (جدول ۲). شکل ۵ جرم کل نمک تخلیه شده از گنبد نمکی کنارسیاه را به تفکیک نمک تخلیه شده در منابع آب زیرزمینی و سطحی در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد.

سیلاب با استفاده از معادله ۲ برابر با ۵۴۵ تن محاسبه شده است. با توجه به سختی اندازه‌گیری‌ها در زمان سیلابی تنها اندازه‌گیری یک سیلاب در طول دوره مطالعه امکان‌پذیر گردید. مقایسه نتایج حجم تخلیه نمک به صورت جریان پایه و سیلابی در این ایستگاه نشان می‌دهد که عمده نمک تخلیه شده از گنبد نمکی کنارسیاه به صورت جریان پایه صورت می‌گیرد و تخلیه نمک در طول سیلاب اندازه‌گیری شده تنها  $0/4$  درصد از حجم نمک سالانه را تشکیل می‌دهد. همچنین با توجه به اینکه سیلاب اندازه‌گیری شده نتیجه یک واقعه بارش ۴۱ میلی‌متری می‌باشد که بزرگ‌ترین بارش منطقه در طول دوره مطالعه (سال آبی ۸۸-۱۳۸۷) بوده است، حجم نمک تخلیه شده از گنبد نمکی در زمان سیلابی در مورد سایر وقایع بارندگی که در طول سال اتفاق افتاده به صورت تخمینی برآورد شده است. حجم کل بارش منطقه در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ برابر با ۱۶۲ میلی‌متر بوده است. علاوه بر واقعه بارش ۴۱ میلی‌متری، سایر بارش‌های عمده این ایستگاه در طول دوره

جدول ۲. نتایج محاسبات تخلیه نمک به درون منابع آب سطحی و زیرزمینی به تفکیک تخلیه پایه و سیلابی (برحسب تن در سال).

نوع جریان	تخلیه درون رودخانه فیروزآباد	تخلیه درون آبخوان سروک	مجموع تخلیه
تخلیه پایه	۱۲۹۷۷۵	۱۳۴۹۴	۱۴۳۲۶۹
تخلیه سیلابی	۳۲۷۰	-	۳۲۷۰
نمک کل سال	۱۳۳۰۴۵	۱۳۴۹۴	۱۴۶۵۳۹



شکل ۵. جرم نمک تخلیه شده از گنبد نمکی به درون آبخوان سروک شرقی و رودخانه فیروزآباد (ارتفاع کل ستون نیز کل نمک تخلیه شده از گنبد نمکی کنارسیاه را نشان می‌دهد).



این شورابه نیز کاملاً شور و بلا استفاده می‌باشد و همچنین می‌توان آب این آبراهه‌ها را در حوضچه‌هایی تبخیر کرده و نمک را مورد استحصال قرار داد.

بخشی از شورابه گنبد نمکی نیز به درون آبخوان کارستی غربی نفوذ می‌کند که موجب می‌شود هدایت الکتریکی آب تخلیه شده (۹۰ لیتر در ثانیه) از این آبخوان آهکی نیز به ۶۶۶۰ میکروموس بر سانتیمتر افزایش یابد و از آنجاکه شور شدن آب کارستی در پایین دست آبخوان صورت می‌گیرد، بهتر است با حفر یک یا چند حلقه چاه، آب کارستی را قبل از اختلاط با شورابه گنبد نمکی کنارسیاه استخراج نمود (محدوده B در شکل ۶).

همانطورکه اشاره شد علاوه بر تاثیر گنبد نمکی کنارسیاه بر آبخوان‌های اطراف، سالانه ۱۳۳۰۴۵ تن نمک نیز از طریق آبراهه کنارسیاه به رودخانه فیروزآباد وارد می‌کند لذا پیشنهاد می‌شود که با احداث حوضچه‌های تبخیر در دشت کنارسیاه و قبل از تلاقی این آبراهه با رودخانه فیروزآباد که از لحاظ توپوگرافی نیز محل مناسبی می‌باشد (محدوده C در شکل ۶)، ضمن استحصال این مقدار نمک، از ورود آن به رودخانه فیروزآباد نیز جلوگیری شود. قرارگیری منطقه در ناحیه آب و هوایی گرم و خشک کشور با میانگین تبخیر پتانسیل ۲۹۰۰ میلیمتر در سال و همچنین وجود کارخانه‌های نیازمند به حجم قابل توجه نمک در نزدیکی منطقه از جمله واحد کربنات سدیم در فاصله ۵ کیلومتری و نیز احداث واحدهای پتروشیمی متعدد در جنوب کشور و عبور جاده جدید الاحداث فیروزآباد به عسلویه از این منطقه، می‌تواند از لحاظ اقتصادی به موفق بودن این طرح کمک نماید.

### نتیجه‌گیری

سالانه ۱۴۶۵۳۹ تن نمک از گنبد نمکی کنارسیاه وارد منابع آبی سطحی و زیرزمینی مجاور می‌گردد. از این میزان سهم نمک ورودی در شرایط سیلابی تنها ۲/۳ درصد معادل با ۳۲۷۲ تن در سال می‌باشد. همچنین به جز ۱۳۴۹۴ تن نمک که وارد آبخوان سروک شرقی می‌گردد، بقیه نمک به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم (ورود به آبخوان و سپس زهکشی به درون آبراهه‌ها) وارد آبراهه‌های مجاور گنبد نمکی و در نهایت رودخانه فیروزآباد می‌گردد.

همچنین عمق سالانه انحلال نمک از سطح گنبد نمکی برابر با ۱/۸ میلیمتر محاسبه شده است. این نرخ انحلال در ارزیابی بیلان جرمی نمک و چرخه نمک گنبد‌های نمکی جنوب ایران حائز اهمیت می‌باشد. نرخ انحلال محاسبه شده، با نتایج محققین مختلف نیز مقایسه شده است. محاسبه نرخ انحلال در گنبد نمکی کنارسیاه به روش Talbot and Jarvis (1984) برابر با ۲۷/۵ میلیمتر در سال مورد مطالعه خواهد بود که در حدود ۱۵ برابر مقدار محاسبه شده در این تحقیق می‌باشد. در روش Talbot and Jarvis (1984) فرض شده که تمامی آب باران در تماس با گنبد نمکی کاملاً به حد اشباع می‌رسد. در صورتیکه در عمل آب باران

### محاسبه حجم و عمق نمک انحلال یافته

به منظور محاسبه حجم سنگ نمک انحلال یافته از گنبد نمکی از چگالی سنگ نمک برابر با ۲۱۶۵ کیلوگرم بر متر مکعب و جرم کل نمک تخلیه شده برابر ۱۴۶۵۴۲ تن استفاده گردید و حجم نمک انحلال یافته در طول دوره مطالعه برابر با ۶۷۶۸۵ مترمکعب حاصل شد. همچنین با توجه به مساحت گنبد نمکی کنارسیاه، عمق معادل نمک انحلال یافته از سطح این گنبد نمکی را می‌توان از معادله زیر محاسبه کرد:

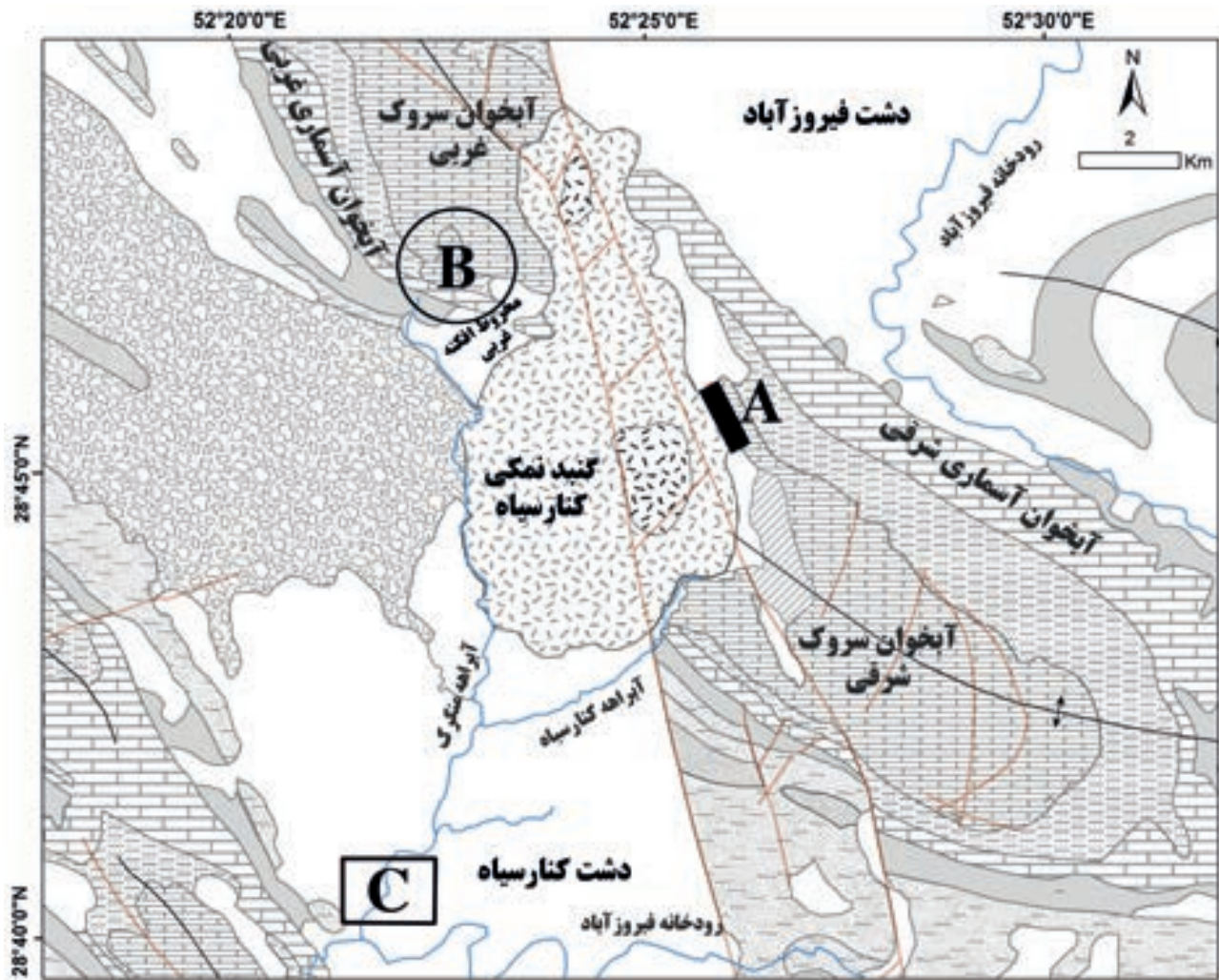
$$d = \frac{V_s}{A} \quad \text{معادله (۳)}$$

در این معادله  $V_s$  حجم نمک تخلیه شده از گنبد نمکی در طول دوره مطالعه (۶۷۶۸۵ مترمکعب)،  $A$  مساحت گنبد نمکی کنارسیاه (۳۷/۴ کیلومتر مربع) و  $d$  عمق معادل نمک انحلال یافته از گنبد نمکی می‌باشد.

بنابراین با توجه به حجم کل نمک تخلیه شده از گنبد نمکی در طول سال ۸۸-۱۳۸۷، عمق سالانه انحلال نمک از این گنبد نمکی برابر با ۱/۸ میلی‌متر در سال محاسبه می‌شود. البته این رقم نرخ متوسط انحلال از سطح گنبد نمکی را نشان می‌دهد. در عمل نرخ انحلال در تمام سطح گنبد به صورت یکنواخت صورت نمی‌گیرد و تابع عواملی از جمله ضخامت خاک‌پوش و شیب سطح زمین، مساحت حوضه آبرگیر و باز یا بسته بودن حوضه آبرگیر در بخش‌های مختلف گنبد متغیر است.

### ارائه راهکار

تاثیر گنبد نمکی کنارسیاه به صورت سطحی و زیرزمینی موجب کاهش کیفیت منابع آب منطقه می‌گردد. Zarei and Raesi (2010a) نشان دادند که نفوذ ۲ لیتر در ثانیه شورابه گنبد نمکی کنارسیاه به درون آبخوان سروک شرقی در محل دره موزدر و در ابتدای جبهه آب کارستی این آبخوان (شکل ۱)، هدایت الکتریکی چشمه کنارسیاه با بده متوسط سالانه ۱۴۲ لیتر در ثانیه را به ۵۶۵۰ میکروموس بر سانتیمتر افزایش داده است. لذا به منظور جلوگیری از شوری این آبخوان کارستی بهتر است که از نفوذ شورابه در بالادست جریان جلوگیری شود. همچنین با توجه به اینکه امکان نفوذ شورابه به آهک سروک در محل تماس مستقیم آهک با گنبد نمکی در فاصله نسبتاً کوتاهی برقرار می‌باشد، حفر یک گالری افقی در این محل (محدوده A در شکل ۶) می‌تواند شورابه نفوذی از گنبد نمکی به درون آهک را زهکشی نماید. خوشبختانه گنبد نمکی کنارسیاه در محلی که با آهک سروک در تماس مستقیم است، به صورت نمکشار بوده و انتظار می‌رود که عمق چندانی نداشته باشد. البته بدون تردید اجرای این طرح به مطالعات بیشتر از جمله حفر گمانه‌هایی جهت تعیین عمق دقیق نمک در این بخش نیاز دارد. شورابه زهکشی شده را نیز می‌توان به آبراهه کنارسیاه که در حال زهکشی چشمه‌های شورابه شرق گنبد نمکی است انتقال داد، چراکه آب این آبراهه بدون زهکشی



شکل ۶. موقعیت راهکارهای پیشنهادی جهت کاهش تاثیر گنبد نمکی کنارسیاه بر منابع آب سطحی و زیرزمینی

میلیمتر برای ضرایب نفوذ  $0.2$  تا  $0.3$  تخمین زد که کمتر از نصف نرخ محاسبه شده برای گنبد نمکی کنارسیاه ( $1/8$  میلیمتر) می‌باشد. علت این تفاوت احتمالاً نرخ بارش سالانه پایین‌تر در گنبد نمکی سدام ( $50$  میلیمتر در سال) در مقایسه با کنارسیاه ( $162$  میلیمتر) می‌باشد.

Bruthans et al. (2008) با استفاده از میخ‌های پلاستیکی نرخ انحلال از سطح نمک را در گنبد نمکی جهانی که در فاصله  $10$  کیلومتری جنوب گنبد نمکی کنارسیاه واقع شده است، اندازه‌گیری کردند. نتایج کار آنها نشان داد که سنگ نمک در این گنبد نمکی در فاصله سال‌های  $2000$  تا  $2005$  به‌طور متوسط  $50$  تا  $80$  میلیمتر در سال انحلال یافته است. نرخ انحلال اندازه‌گیری شده توسط Bruthans et al. (2008) منحصر به محل‌های رخنمون سنگ نمک است و نمی‌توان آنرا به‌عنوان متوسط نرخ انحلال نمک از کل گنبد بسط داد. دلیل بالا بودن نرخ انحلال اندازه‌گیری شده توسط Bruthans et al. (2008) احتمالاً این است که بخش قابل توجهی از حوضه آبگیر نقاط انتخاب شده، توسط خاک‌پوش غیر تبخیری و نفوذناپذیر یا کم نفوذپذیر پوشیده شده است. با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که روش

(که تنها منبع تغذیه کننده گنبد نمکی کنارسیاه می‌باشد) کاملاً به حد اشباع نمی‌رسد. سطح گنبد نمکی عمدتاً از خاک‌پوش غیر تبخیری پوشیده شده است به‌طوری‌که رخنمون سنگ نمک تنها در  $1/1$  درصد از سطح این گنبد مشاهده می‌گردد. لذا تنها بخشی از آب باران که از لایه خاک‌پوش نفوذ کرده و به لایه زیرین سنگ نمک رسد، پتانسیل اشباع شدن را دارد. در حالی که بخش عمده بارش بر سطح گنبد نمکی بدون تماس با سنگ نمک به صورت رواناب از حوضه خارج می‌گردد. همچنین با توجه به اینکه رخنمون سنگ نمک عمدتاً در شیبهای تند حاشیه گنبد نمکی دیده می‌شود، آن بخش از رواناب سطحی گنبد نمکی نیز که با سنگ نمک در تماس است، زمان کافی برای رسیدن به حد اشباع را پیدا نمی‌کند. به‌علاوه در روش Talbot and Jarvis (1984) سهم تبخیر از آب بارش صرف نظر شده است در حالی که تبخیر از چالاب‌های سطح گنبد نمکی و تبخیر از خاک‌پوش گنبد نمکی در روزهای پس از بارندگی سهم قابل توجهی در بیلان آبی گنبد نمکی کنارسیاه دارد. (Frumkin 1994) به روش هیدرولوژیکی و اندازه‌گیری غلظت آب در بخش‌های مختلف گنبد نمکی سدام، نرخ انحلال سالانه آنرا برابر با  $0.5$  تا  $0.75$

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ جنوب غرب فارس، ۱۳۴۵، شرکت ملی نفت ایران، شماره نقشه ۲۵۲۳۱  
- مرادی، ع. ۱۳۷۲. بررسی مورفولوژیکی آبروچاله‌های گنبد نمکی کنارسياه و منگرک در منطقه فیروزآباد. پایان‌نامه کارشناسی، دانشگاه شیراز.

- Bruthans, J., Asadi, N., Filippi, M., Vilhelm, Z. and Zare, M., 2008. Erosion rates of salt diapirs surfaces: An important factor for development of morphology of salt diapirs and environmental consequences (Zagros Mts., SE Iran). *Environmental Geology*, 53, 5, 1091-1098.

- Ford, D.C. and Williams, P., 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. John Wiley and Sons, Ltd., England, 562.

- Frumkin, A., 1994. Hydrology and denudation rates of halite karst. *Journal of Hydrology*, 162, 171-189.

- Stocklin, J., 1968. Salt deposits of the Middle East. *Geological Society of America, Special Paper*, 88, 15, 1-81.

- Talbot, C.J. and Jarvis, R.J., 1984. Age, budget and dynamics of an active salt extrusion in Iran. *Journal of Structural Geology*, 6, 521-33.

- Zarei, M. and Raiesi, E., 2010a. Conceptual modeling of brine flow into aquifers adjacent to the Konarsiah salt diapir, Iran. *Cave and Karst Science*, 37, 2, 37-44.

- Zarei, M. and Raiesi, E., 2010b. Karst development and hydrogeology of Konarsiah salt diapir, South of Iran. *Carbonates and Evaporites*, 25, 3, 217-229.

استفاده شده در این تحقیق در محاسبه نرخ انحلال نمک گنبد‌های نمکی در مقایسه با سایر تحقیقات مشابه از ضریب اطمینان بالاتری برخوردار است. در این تحقیق سهم نمک انحلالی در طول سال به صورت جریان پایه و همچنین سهم نمک انحلال یافته در زمان سیلاب نیز مورد توجه قرار گرفته است. به علاوه مقدار نمک خروجی از گنبد نمکی به صورت چشمه‌های شورابه، نشست در آبراهه‌های مجاور گنبد نمکی و نیز نمک ورودی به آبخوان‌های مجاور نیز در نظر گرفته شده است به طوری که از انحلال پذیری بالای نمک به عنوان یک ردیاب طبیعی جهت شناخت خروجی‌های گنبد نمکی به درون منابع آبی سطحی و زیرزمینی مجاور استفاده گردیده است.

در پایان راهکارهایی شامل حفر گالری افقی و چاه‌های بهره‌برداری جهت جلوگیری از نفوذ شورابه به درون آبخوان کارستی و نجات آب کارستی قبل از شور شدن و ساخت حوضچه‌های استحصال نمک جهت کاهش تاثیر گنبد نمکی بر رودخانه فیروزآباد پیشنهاد شده است که با اجرای این طرح‌ها می‌توان از ورود سالانه ۱۴۶۵۳۹ تن نمک به درون منابع آب زیرزمینی و سطحی مجاور جلوگیری کرد.

#### منابع

- سبوكی، ع.، ۱۳۷۵. بررسی کیفیت آب‌های سطحی گنبد نمکی سروستان. پایان‌نامه کارشناسی، دانشگاه شیراز.

- کاظمی، م.، ۱۳۸۵. بررسی علل شوری رودخانه فیروزآباد. گزارش شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس، شرکت مهندسی مشاور صدراب فارس، ۳۵.

- زارعی، م. و ریسی، ع.، ۱۳۹۰. تعیین منشاء شوری در آبخوان‌های کارستی و آبرفتی منطقه کنارسياه استان فارس به روش‌های هیدروشیمیایی و ایزوتوپی. پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران.