

تأثیر گنبد نمکی جهانی بر کیفیت منابع آبی مجاور، فیروزآباد فارس

مهدی زارعی*^۱، راضیه مهدیزاده^۲

۱-دانشیار گروه هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز

۲-دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۸/۲۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۱/۱۷

چکیده

گنبد نمکی جهانی، یکی از ۱۲۲ رخنمون گنبد‌های نمکی جنوب ایران، در منطقه جنوب استان فارس با آب و هوای گرم و خشک واقع شده است. سنگ نمک این گنبد نمکی متعلق به سازند هرمز با سن پرکامبرین-کامبرین میانی می‌باشد که در بخش‌های شمالی و خاوری گنبد رخنمون بارزی دارد. گنبد نمکی جهانی از نظر زمین‌شناسی یک گنبد نمکی فعال است و شامل دو بخش مرتفع و پست که نتیجه خروج نمک در دو مرحله می‌باشد. در این تحقیق تأثیر گنبد نمکی جهانی بر کیفیت منابع آبی مجاور با استفاده از روش‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیک مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که این گنبد در تخریب کیفیت آب رودخانه فیروزآباد تأثیر قابل توجهی دارد به طوری که هدایت هیدرولیکی رودخانه که قبل از تماس ۷۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر است در ایستگاه پایین دست به ۱۳۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر افزایش می‌یابد. همچنین آبرفت دشت آزادگان در جنوب و آبخوان آهک سروک در تاق‌دیس مجاور گنبد نمکی نیز تحت تأثیر شورابه‌های گنبد نمکی جهانی قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: فارس، فیروزآباد، کیفیت، گنبد نمکی جهانی.

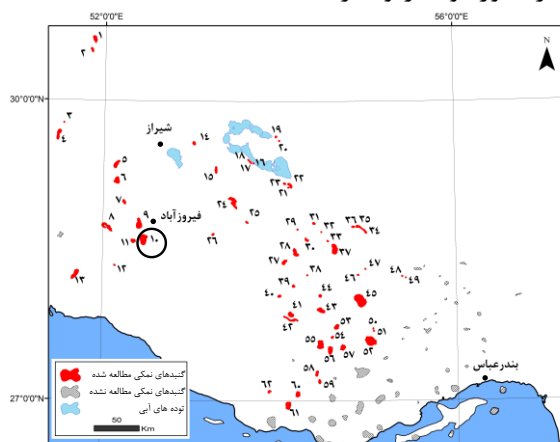
مقدمه

باختر) برونزد یافته است. رخنمون این گنبد نمکی با تأثیر بر تاقدیس سورمه ضمن انحراف محور تاقدیس و ایجاد تغییرات محسوس در شیب لایه-های اطراف، منجر به رخنمون منظمی از واحدی چینه‌ای پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک (سازندهای زردکوه - فراغان، دشتک، سورمه، گروه خامی و همچنین از سروک تا بختیاری) زاگرس شده که تقریباً همگی با گنبد نمکی در تماس هستند. دشت جنوب باختری گنبد نمکی (دشت آزادگان)، در حاشیه گنبد توسط آبرفت‌های عهد حاضر که از گنبد نمکی منشأ گرفته‌اند پوشیده شده است (شکل ۲). نیروی رانشی اولیه آغاز حرکت گنبد نمکی جهانی هنوز به‌طور کامل مشخص نشده است، با این وجود نقش گسل‌های کششی و بارگذاری تفریقی (تالبوت و همکاران، ۲۰۰۰)، به-عنوان عوامل محرک آغاز حرکت نمک در حوضه هرمز غیر قابل انکار می‌باشد. در ارتباط با سازوکار موثر در تداوم حرکت این گنبد نمکی پس از آغاز حرکت، شواهد صحرایی از موقعیت چینه‌های هالوکینتیک در بخش شمال خاوری گنبد و نزدیک به دهانه خروج نمک نشان دهنده فعالیت این گنبد قبل از کوهزایی زاگرس می‌باشد (عدالت نیا و همکاران، ۱۳۹۰) (شکل ۱ و ۲).

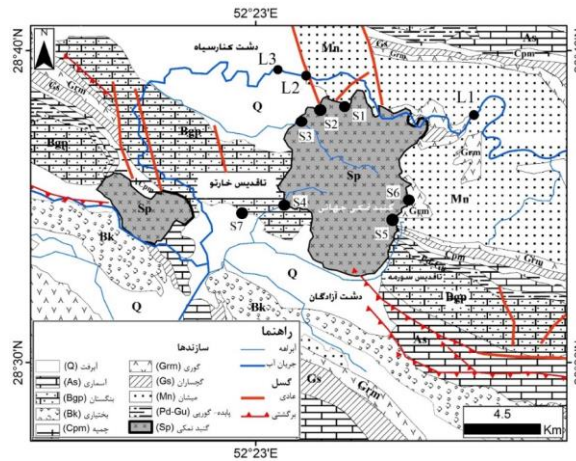
جنوب ایران با آب و هوای گرم و خشک میزبان ۱۲۲ گنبد نمکی رخنمون یافته در سطح زمین می‌باشد. این گنبد‌های نمکی با تأثیر بر آبخوان‌های مجاور خود منجر به شور شدن آب‌های زیرزمینی و در نتیجه کاهش شدید کیفیت این آب‌ها شده‌اند به نحوی که به یکی از مهم‌ترین منابع کاهش کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در کنار محدودیت مصرف منابع آبی تبدیل شده‌اند. از جمله این گنبد-های تأثیرگذار، گنبد نمکی جهانی است که سنگ نمک آن متعلق به سازند هرمز با سن پرکامبرین تا کامبرین میانی است. این گنبد نمکی که از لحاظ مختصات جغرافیایی در ۵۲ درجه و ۲۹ درجه شرقی و ۲۸ درجه و ۳۷ درجه شمالی قرار دارد (شکل ۱)، در ۱۵۰ کیلومتری جنوب باختری شهر شیراز در منطقه فیروزآباد و در مجاورت معدن سرب و روی کوه سورمه واقع شده است. متوسط بارش، تبخیر و متوسط دمایی در این منطقه به ترتیب ۴۳۴ میلی‌متر، ۲۵۹۱ میلی‌متر و ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (وزارت معادن و فلزات، ۱۳۷۸).

محدوده مورد مطالعه

گنبد نمکی جهانی در زون زاگرس چین خورده و در میان دو تاقدیس سورمه (در خاور) و خار تو (در



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی گنبد نمکی جهانی (گنبد شماره ۱۰)



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

می‌گردد. منطقه مورد مطالعه فاقد چاه و قنات می‌باشد و لذا تنها نقاط نمونه‌برداری از آب زیرزمینی شامل چشمه‌های شورابه گنبد نمکی و چشمه خارطو می‌باشد. شکل ۳ نقشه توزیع شوری نقاط نمونه‌برداری در منطقه را نشان می‌دهد. همچنین نمودارهای پایپر و استیف نقاط نمونه‌برداری در شکل ۴ مشاهده می‌گردد. به جز نمودار استیف نمونه L1 در کلیه نمونه‌ها یون‌های سدیم و کلر یون‌های غالب می‌باشند. در دیگر پلایر نیز تنها نمونه L1 جدا از سایر نمونه‌ها پلات می‌شود و دیگر نمونه‌ها در رأس‌های سدیم و کلر دی‌گرام قرار می‌گیرند.

نتایج

زمین ریخت‌شناسی گنبد نمکی جهانی گنبد نمکی جهانی یک گنبد نمکی فعال، نامتقارن و با کشیدگی شمالی- جنوبی می‌باشد. این گنبد نمکی وسیع (۵۲/۴۷ کیلومترمربع) با ارتفاع بیشینه و کمینه ۱۴۷۴ و ۶۲۰ متر (جدول ۳) است که از دو بخش مرتفع و کم ارتفاع تشکیل یافته است (شکل ۵). بخش مرتفع که در خاور گنبد نمکی واقع شده (شکل ۶)، توده اصلی گنبد را تشکیل می‌دهد و نسبت به بخش کم ارتفاع، جوان‌تر و

اولین گام در مطالعه گنبد‌های نمکی شناخت زمین‌شناسی آن می‌باشد. بنابراین در مطالعه گنبد نمکی جهانی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ موقعیت گنبد نمکی از لحاظ جغرافیایی و زمین‌شناختی تعیین گردید. نقشه-های ۱:۱۰۰۰۰۰ فراشبند و فیروزآباد، میزان گسترش این گنبد نمکی به همراه سایر پدیده‌های زمین‌شناختی و زمین ریخت‌شناختی و هیدروژئولوژیک مجاور گنبد از جمله سازندهای زمین‌شناسی، منابع آب سطحی، گسل‌ها و موقعیت زمین‌شناسی دقیق‌تر این گنبد را آشکار ساختند. سپس با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث و عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، مورفولوژی گنبد نمکی جهانی به همراه پدیده‌های عمده انحلالی در سطح گنبد نمکی، مشخص گردید. در مطالعه تاثیر این گنبد نمکی بر منابع آبی، در آبان ماه ۱۳۹۲ از منابع آبی منطقه شامل ۶ چشمه شورابه، یک چشمه لب شور و ۳ نمونه از آب رودخانه فیروزآباد نمونه برداری انجام گرفت (شکل ۷) و غلظت یون‌های اصلی در نمونه‌های آب در آزمایشگاه هیدروشیمی دانشگاه شیراز اندازه‌گیری گردید (جدول ۱). همچنین هدایت الکتریکی منابع آب انتخابی به صورت فصلی اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۲ مشاهده

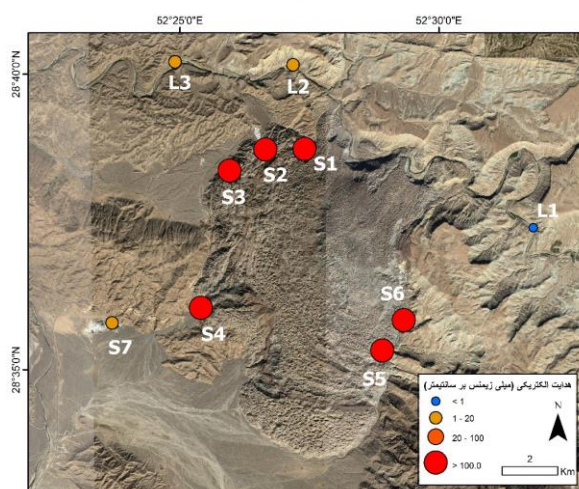
فعال تر می باشد. بخش کم ارتفاع، نمکشار گنبد نمکی را در برگرفته که به تبعیت از شیب توپوگرافی به سمت اطراف توده اصلی جریان یافته است. قرارگیری نمکشار این گنبد در دو سطح ارتفاعی، نشان دهنده خروج نمک در دو مرحله زمانی می باشد.

جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی نمونه ها

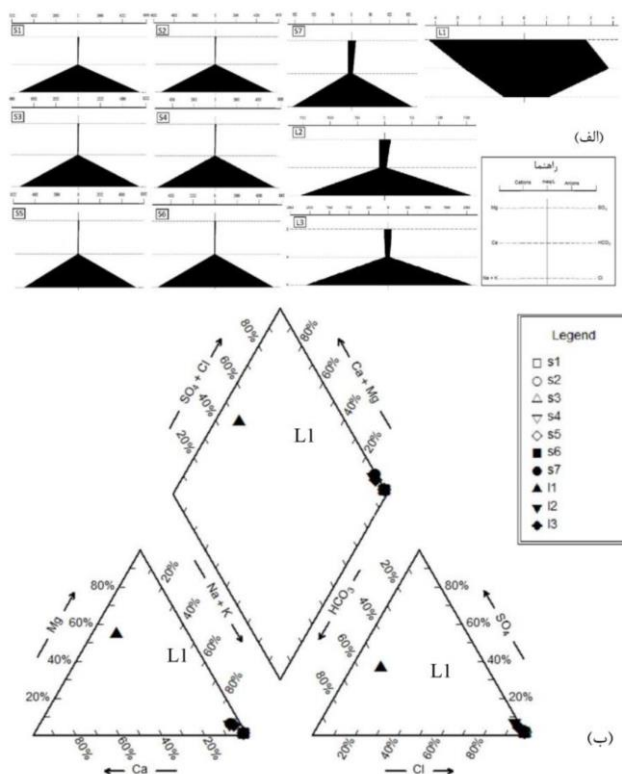
کد محل نمونه برداری	نوع منابع آب	Ca	Mg	Na	HCO ₃	SO ₄	Cl	TDS	EC	Na/Cl	تیپ آب
		میلی اکی والان در لیتر						گرم در لیتر	میلی زیمنس بر سانتیمتر	نسبت مولی	
S1	چشمه	۶۲/۱۰	۵۵/۴۵	۵۳۸۰	۱/۱	۷۱/۶	۵۵۶۵	۳۲۵/۱	۱۳۷/۲	۰/۹۷	سدیم کلرید
S2	چشمه	۶۳/۰۵	۵۲/۵	۵۲۵۳	۰/۹۵	۶۷/۸	۵۵۱۰	۳۲۳/۲	۱۳۹/۱	۰/۹۵	سدیم کلرید
S3	چشمه	۶۷/۹	۴۶/۵	۵۲۳۰	۱/۲	۵۵/۹	۵۴۶۰	۳۲۳/۶	۱۴۵/۲	۰/۹۶	سدیم کلرید
S4	چشمه	۶۶/۷	۴۶/۲	۵۳۹۰	۱/۱۵	۶۹/۵	۵۵۳۰	۳۲۸/۵	۱۴۰/۲	۰/۹۷	سدیم کلرید
S5	چشمه	۶۴/۱۵	۴۶/۱	۴۹۹۵	۱/۲۵	۵۸/۳	۵۳۱۰	۳۲۸/۲	۱۳۴/۵	۰/۹۴	سدیم کلرید
S6	چشمه	۶۴/۰۵	۴۸/۳	۵۲۱۰	۱/۶۵	۶۶/۲	۵۳۱۲	۳۳۰/۹	۱۳۹/۲	۰/۹۸	سدیم کلرید
S7	(چشمه خارطو)	۸/۵۶	۱۱/۴۴	۱۶۳/۷۲	۰/۶۵	۳/۴۵	۱۶۸/۱۵	۱۲/۶۷	۱۱/۶۱	۰/۹۷	سدیم کلرید
L1	رودخانه	۲/۷	۴/۳	۰/۹۲	۳/۸	۲/۷۷	۱/۱	۰/۴۶	۰/۷۷	۰/۸۴	منیزیم - بیکربنات
L2	رودخانه	۹/۵	۹/۵	۱۵۵/۳۲	۳/۴	۱۱/۲۸	۱۶۰	۱۰/۷۵	۱۱/۵۵	۰/۹۷	سدیم کلرید
L3	رودخانه	۸/۶	۱۱/۴	۲۱۰/۷	۳/۵	۸/۱	۲۱۵/۷	۱۴/۶	۱۷/۵۵	۰/۹۸	سدیم کلرید

جدول ۲: نتایج اندازه گیری های فصلی هدایت الکتریکی نمونه ها

زمان نمونه برداری	هدایت الکتریکی					
	L1	L2	L3	S1	S2	S7
آبان ۱۳۹۲	۰/۷۷۰	۱۱/۵۵	۱۷/۵۵	۱۳۷/۲	۱۳۹/۱	۱۱/۶۱
اسفند ۱۳۹۲	۰/۶۲۵	۷/۷۰	۸/۵۰	۱۳۵/۲	۱۳۸/۱	۱۱/۲۰
خرداد ۱۳۹۳	۰/۶۰۵	۷/۲۵	۷/۶۵	۱۳۴/۵	۱۳۸/۰	۱۱/۳۰
شهریور ۱۳۹۳	۰/۸۰۰	۱۳/۰۵	۱۸/۳۰	۱۳۶/۲	۱۴۰/۲	۱۲/۱۰
میانگین	۰/۷۰۰	۹/۸۹	۱۳/۰۰	۱۳۵/۸	۱۳۸/۹	۱۱/۵۵



شکل ۳: توزیع شوری نقاط نمونه برداری



شکل ۴: الف) نمودارهای استیف نقاط نمونه برداری، ب) نمودار پایپر نقاط نمونه برداری

جدول ۳: خصوصیات زمین ریخت شناسی گنبد نمکی جهانی

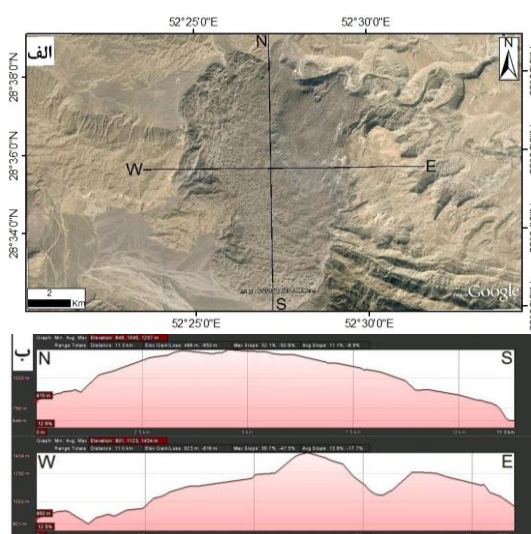
به سمت جنوب	جهت حرکت نمکشار
شمالی-جنوبی	کشیدگی گنبد
۵۲/۴۷	مساحت (کیلومتر مربع)
۳۳/۲	محیط (کیلومتر)
۶۲۰	کمترین ارتفاع (m)
۱۴۷۴	بیشترین ارتفاع (m)
۶/۵۴	بیشترین عرض (km)
۱۰/۴	بیشترین طول (km)

بدیهی است که نقش آب حاصل از بارندگی در شکل زائی فروچاله‌ها انکار ناپذیر است اما در این میان، شیب توپوگرافی مهم‌ترین عامل کنترل کننده فروچاله‌ها در این گنبد نمکی است. در شیب‌های زیاد گرادپان هیدرولیکی به قدری زیاد

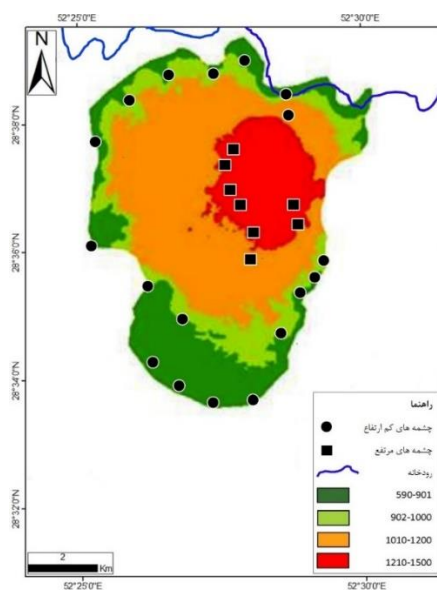
فروچاله‌ها و چاله‌های انحلالی: یکی از اشکال کارستی بارز در گنبد نمکی جهانی فروچاله‌ها هستند (شکل ۷ الف). به‌طور کلی عوامل کنترل کننده فروچاله‌ها شامل آب، زمین‌ساخت نمک، ترکیب سنگ شناسی و شیب توپوگرافی می‌باشد.

۲۰۱۰). ثروتی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰، ۱:۴۰۰۰۰ و مشاهدات صحرایی، نقشه پراکندگی فروچاله‌های این گنبد نمکی را تهیه نمودند که با توجه به آن می‌توان گفت تجمع و پراکندگی فروچاله‌ها در ارتباط با شیب سطح زمین و ترکیب سنگ شناسی گنبد نمکی جهانی است به طوری که با افزایش شیب، تعداد فروچاله‌ها و ابعاد آنها کاهش می‌یابد.

است که آب‌ها به جای حرکت عمودی به درون زمین در امتداد شیب زیاد سطح زمین حرکت می‌کنند و در نتیجه انحلال عمودی صورت نگرفته و فروچاله‌ای به وجود نمی‌آید. عامل دیگر تشکیل فروچاله‌ها ترکیب سنگ شناسی می‌باشد به این ترتیب که هر چه مقدار نمک نسبت به سایر ترکیبات تشکیل دهنده محیطی بیشتر باشد، امکان توسعه این پدیده نیز بیشتر است (زارعی و رئیسی،



شکل ۵: الف) نمای پلان گنبد نمکی جهانی، ب) نیمرخ ارتفاعی گنبد نمکی جهانی (گوگل ارث، ۲۰۱۵).



شکل ۶: مدل ارتفاعی رقومی گنبد نمکی جهانی

نادر از سد و حوضچه‌های ریم استون^۲ تشکیل شده است (شکل ۷ ج).

۳) غارهای نمکی: دو غار نمکی در جنوب و جنوب خاوری گنبد نمکی جهانی توسط محققین دانشگاه چارلز کشور چک گزارش شده است. طول غار بزرگ‌تر به نام غار فوم سفید^۳ بیش از ۲۰۰ متر است. دهانه این غار در موقعیت عرض جغرافیایی ۲۸/۵۷۹ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲/۴۷۴ درجه خاوری قرار دارد. دهانه غار دوم با نام آبشار^۴ در موقعیت عرض جغرافیایی ۲۸/۵۷۶ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲/۴۸۰ درجه خاوری قرار دارد (شکل ۹).

هم‌چنین در بخش شمالی گنبد نمکی تعداد زیادی چاه انحلالی با عمق بیش از ۵۰ متر و قطر بیش از ۱۰ متر مشاهده می‌گردد. این چاه‌های انحلالی عمدتاً در مناطق با شیب کم و در انتهای مسیر آبراهه‌های دارای حوضه آبرگیر سطحی قابل توجه تشکیل شده‌اند.

۱) کارن‌ها: شیارهای انحلالی هستند که در تمام برونزدهای سنگ‌های تبخیری به ویژه سنگ نمک، در سطح گنبد نمکی جهانی توسعه یافته‌اند (شکل ۷ ب).
۲) سد و حوضچه‌های ریم استون: در مسیر چشمه S1 در شمال گنبد نمکی جهانی (شکل ۹) اشکالی زیبا و

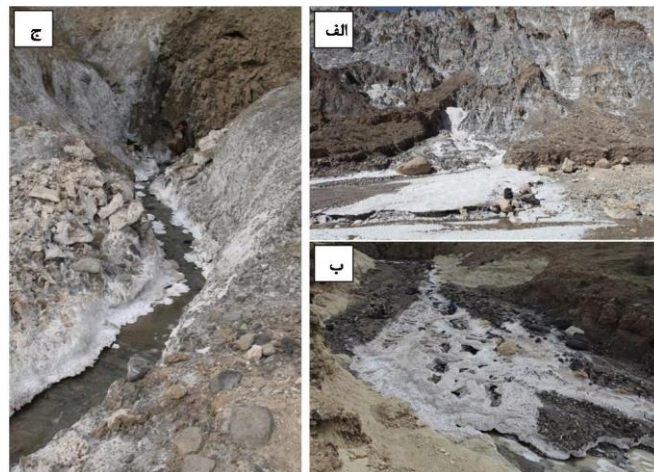


شکل ۷: الف) فروچاله‌ها در سطح گنبد نمکی (شمال غرب)، ب) کارن در سطح گنبد نمکی، ج) اشکال سد و حوضچه‌های

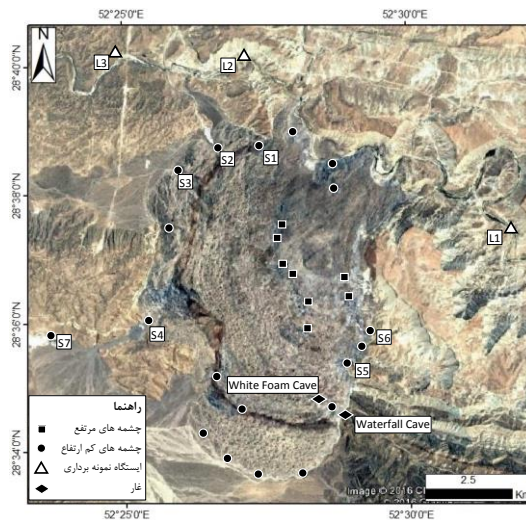
ریم استون در مسیر چشمه شورابه شمال غرب گنبد نمکی

جهانی نفوذ می‌کند. گروه دوم از چشمه‌های شورابه گنبد نمکی جهانی، بخش کم ارتفاع گنبد را زهکشی می‌کنند. این چشمه‌ها به صورت دائمی یا موقت (علامت دایره در شکل ۹) در حاشیه‌های گنبد نمکی و در ارتفاع کمی نسبت به ارتفاع تماس گنبد نمکی با لایه‌های مجاور ظاهر شده‌اند و در نتیجه منجر به زهکشی شورابه‌های گنبد با مکانیزم نفوذ غیر مستقیم (مهدیزاده، ۱۳۹۱) به دشت‌های مجاور می‌شوند.

۴) چشمه‌های شورابه: در اطراف گنبد نمکی جهانی چندین چشمه شورابه وجود دارد (اشکال ۸ الف تا ۸ ج). این چشمه‌ها در دو تراز در گنبد نمکی جهانی ظاهر شده‌اند که این موضوع به همراه سایر شواهد موجود، می‌تواند نشان‌دهنده برونزد نمک در دو دوره زمانی متفاوت باشد. چشمه‌های شورابه مرتفع، بخش مرتفع گنبد جهانی را زهکشی می‌کنند (این چشمه‌ها در شکل ۹ با علامت مربع نشان داده شده‌اند). شورابه این چشمه‌ها پس از طی مسافتی به درون بخش کم ارتفاع گنبد نمکی



شکل ۸: الف) چشمه شورابه حاشیه شرق گنبد نمکی، ب) چشمه شورابه S1 در شمال گنبد نمکی (دید به سمت جنوب)، ج) چشمه شورابه S2 در شمال غرب گنبد نمکی. آب این چشمه به حوضچه‌های استحصال نمک منتقل می‌گردد (دید به سمت شمال).



شکل ۹: موقعیت چشمه‌های شورابه گنبد نمکی جهانی در دو سطح ارتفاعی

به ۹۸۹۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر در ایستگاه L2 و در نهایت به ۱۳۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر در ایستگاه L3 (شکل ۲) افزایش می‌یابد که مهم-ترین علت آن وجود گنبد نمکی جهانی است (شکل ۳). تاثیر این گنبد نمکی بر کیفیت رودخانه فیروزآباد با سه مکانیزم صورت می‌گیرد:

۱) تماس مستقیم رودخانه با سنگ نمک: این مکانیزم در شمال و شمال خاوری گنبد نمکی جهانی فعال است. در بخش شمالی گنبد، توده رخنمون یافته از سنگ نمک در تماس با رودخانه

تأثیر گنبد نمکی جهانی بر کیفیت آب رودخانه فیروزآباد: رودخانه فیروزآباد که از سرشاخه‌های رودخانه مند است مهم‌ترین آبراهه دائمی منطقه می‌باشد که شاخه‌های مختلف آن، منطقه را زهکشی می‌کند. شاخه اصلی این رودخانه در شمال گنبد نمکی جهانی در مسافتی به طول ۵/۲ کیلومتر در تماس با گنبد نمکی می‌باشد. با عبور این رودخانه از مجاورت بخش شمالی گنبد نمکی، میزان هدایت الکتریکی متوسط آب رودخانه از ۷۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر در ایستگاه L1 (شکل ۲)

رودخانه در این مقطع به کلرید-سدیم تغییر کرده و نسبت مولی سدیم به کلر که در مقطع L1 حدود ۰/۸۴ می باشد در مقطع L2 به ۰/۹۷ می رسد که نشان دهنده انحلال نمک هالیت می باشد.

فیروزآباد انحلال یافته و منجر به افزایش هدایت الکتریکی آب رودخانه از ۷۰۰ به ۹۸۹۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر در حدفاصل ایستگاههای L1 و L2 می شود (شکل ۱۰). به علاوه تیپ آب



شکل ۱۰: انحلال نمک گنبد نمکی جهانی در اثر تماس مستقیم رودخانه با گنبد در بخش شمالی (دید به سمت شرق).

مستقیماً به درون رودخانه فیروزآباد می ریزد (شکل ۱۱ الف). در بخش خاوری نیز یک چشمه شورابه دائمی و چندین چشمه فصلی وجود دارد که شورابه آنها به آبراهه خاوری و نهایتاً به دشت جنوبی (دشت آزادگان) زهکشی می شود (شکل ۱۱ ب).

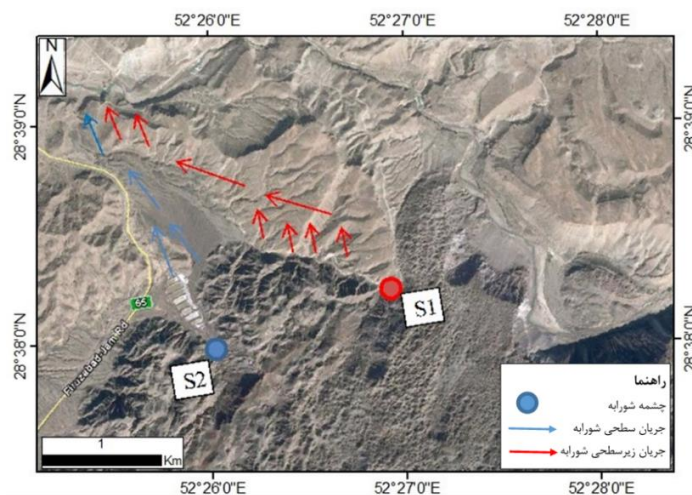
۲) تخلیه مستقیم چشمه های شورابه گنبد به درون رودخانه: این مکانیزم در شمال و همچنین خاوری گنبد نمکی فعال است. در بخش شمالی چندین چشمه شورابه دائمی و فصلی با بده بسیار کم (چند دهم لیتر در ثانیه) وجود دارد که شورابه آنها



شکل ۱۱: الف) تخلیه مستقیم چشمه های شورابه به رودخانه در شمال گنبد (دید به سمت شمال)، ب) دره شرق گنبد نمکی جهانی که چشمه های متعدد در رخنمون قابل توجهی از سنگ نمک در حاشیه شرقی این گنبد مشاهده می گردد (دید به سمت شمال غرب).

به این ترتیب که آب چشمه شورابه S1 در شمال گنبد نمکی با بده تقریبی ۲ لیتر بر ثانیه در مسیر خود به سمت شمال باختر، به تدریج به درون آهک سروک نفوذ می‌کند به طوری که پس از طی مسافتی در حدود ۵۰۰ متر شورابه به طور کامل به درون آهک نفوذ کرده است. وجود لایه مارنی سازند میشان مانع از ادامه مسیر شورابه به سمت شمال خاور شده و در نتیجه شورابه نفوذی در درون این لایه آهکی به سمت شمال باختر جریان پیدا کرده و پس از طی مسافتی در حدود ۲ کیلومتر در محل تقاطع این لایه با رودخانه فیروزآباد به درون رودخانه زهکشی می‌شود (شکل ۱۲). فرایند مشابهی نیز در نتیجه نفوذ آب از حوضچه‌های استحصال نمک در شمال گنبد نمکی (شکل ۱۳) و مازاد شورابه چشمه S2 (شکل ۱۲) به سمت شمال گنبد صورت می‌گیرد. این بخش از شورابه نیز به درون آبرفت شمالی گنبد با وسعت کم در این محدوده، نفوذ می‌کند که در نهایت به درون رودخانه فیروزآباد تخلیه می‌شود.

۳) نفوذ غیرمستقیم شورابه‌های گنبد به رودخانه: نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که شوری آب رودخانه در حد فاصل ایستگاه‌های L2 و L3 که رودخانه تماس مستقیم با گنبد نمکی ندارد نیز به میزان چشمگیری افزایش می‌یابد. به طوری که میانگین هدایت الکتریکی آب رودخانه از ۹۸۹۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر در ایستگاه L2 به ۱۳۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر در ایستگاه L3 افزایش می‌یابد. همچنین نتایج آنالیز شیمیایی (جدول ۱) نشان می‌دهد که افزایش یون‌های سدیم و کلر نقش قابل توجهی در افزایش شوری آب رودخانه در این مقطع دارد. این مکانیزم در بخش شمال باختری گنبد نمکی فعال است. تماس مستقیم این بخش از گنبد نمکی و رودخانه فیروزآباد توسط یک لایه آهکی و یک بخش آبرفتی با وسعت کم قطع شده است. در این بخش از توده گنبد نمکی، شورابه‌های دو چشمه S1 و S2 (شکل ۹) پس از طی مسافتی به درون زمین نفوذ کرده و مجدداً در دیواره جنوبی دره رودخانه فیروزآباد به سطح زمین راه یافته و به درون رودخانه می‌ریزند.



شکل ۱۲: نفوذ غیرمستقیم شورابه چشمه‌های S1 (پیکان‌های قرمز) و S2 (پیکان‌های آبی) به درون رودخانه فیروزآباد



شکل ۱۳: حوضچه‌های استحصال نمک شمال غرب گنبد نمکی جهانی (دید به سمت شمال شرق).

۲) آبرفت جنوبی و جنوب باختری گنبد نمکی جهانی (دشت آزادگان): آبرفت دشت آزادگان (شکل ۲) متأثر از گنبد نمکی جهانی شور شده است که در این باره ذکر چند نکته ضروری است: -به دلیل فعال بودن گنبد نمکی جهانی و تاثیر آن بر دشت آزادگان، در این دشت چاهی حفر نگردیده لذا اطلاعات کمی و کیفی از این دشت در دسترس نمی‌باشد، ولی نبود کشت در این نواحی و توسعه شوره زارها در سطح دشت حاکی از تاثیر زیاد این گنبد بر دشت آزادگان می‌باشد.

-با توجه به اینکه ارتفاع چشمه‌های شورابه گنبد نمکی جهانی در بخش جنوبی در حدود ۱۰ تا ۲۰ متر بالاتر از مرز تماس گنبد نمکی با آبرفت است، امکان نفوذ زیرسطحی شورابه گنبد نمکی جهانی به درون آبرفت دشت آزادگان امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که تاثیر گنبد نمکی جهانی بر این دشت عمدتاً به صورت سطحی و نفوذ غیرمستقیم می‌باشد.

-آبراهه خاوری گنبد جهانی پس از زهکشی چشمه‌های شورابه خاور گنبد از جمله چشمه‌های شورابه S5 و S6 وارد این دشت شده و بر شوری آن می‌افزاید. بخش‌های جنوبی گنبد نمکی نیز توسط چندین آبراهه، مستقیماً وارد دشت آزادگان شده و

تاثیر گنبد نمکی بر کیفیت آبخوان‌های مجاور
به دلیل تعداد کم منابع آبی در منطقه شامل چشمه و نیز عدم وجود چاه و قنات شناخت دقیق هیدروژئولوژیکی منطقه امکان‌پذیر نمی‌باشد. لذا در این بخش سعی شده است که از انطباق نتایج آنالیز و اندازه‌گیری‌ها در نقاط نمونه برداری در کنار شواهد و دلایل زمین ریخت شناسی، زمین شناسی و هیدروشیمی در تفسیر هیدروژئولوژی منطقه و پیشنهاد محتمل ترین سازوکار تاثیر گنبد نمکی جهانی بر منابع آبی مجاور استفاده گردیده است. شکل ۳ نقشه توزیع مکانی شوری در نقاط نمونه برداری شده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. واحدهای هیدروژئولوژیکی اصلی در منطقه، در اطراف گنبد نمکی عبارتند از:

۱) آبرفت شمالی رودخانه فیروزآباد در شمال گنبد نمکی جهانی (دشت کنارسیاه): ارتباط هیدرولیکی زیرسطحی گنبد نمکی جهانی با آبرفت دشت کنارسیاه در شمال این گنبد، به دلیل وجود سازند مارنی میشان محتمل نمی‌باشد. لازم به ذکر است که آب زیرزمینی دشت کنارسیاه (شکل ۲) توسط گنبد نمکی کنارسیاه (در شمال دشت) به‌عنوان مهم‌ترین عامل شوری دشت به صورت سطحی و زیرسطحی به شدت شور شده است (زارعی و رئیسی، ۲۰۱۰).

-چشمه‌های متعدد دائمی و فصلی در حاشیه خاوری گنبد نمکی وجود دارد در حالی که در حاشیه باختری گنبد چشمه شورابه ای دیده نمی‌شود. این موضوع می‌تواند نشان دهنده تخلیه آب زیرزمینی بخش خاوری گنبد نمکی به درون آهک خارطو باشد.

-وجود چشمه لب شور خارطو (S7) در فاصله ۴ کیلومتری گنبد نمکی در حاشیه جنوبی تاقدیس خارطو (خاور گنبد نمکی) با مختصات ۲۸/۵۹۴۱۸۷ درجه شمالی و ۵۲/۳۸۹۴۷۰ درجه خاوری با هدایت الکتریکی ۱۱ میلی موهس بر سانتیمتر که تاقدیس خارطو را زهکشی می‌کند نشان دهنده نفوذ آب شور گنبد به درون این تاقدیس می‌باشد. چشمه خارطو تیپ کلریدی دارد (جدول ۱، اشکال ۴ و ۵) و نسبت مولی Na/Cl در این چشمه ۰٫۹۷ است که نشان دهنده تاثیر گنبد نمکی بر آب کارستی آبخوان خارطو می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

گنبد نمکی جهانی گنبدی فعال و وسیع با چشمه‌های شورابه و فروچاله‌های فراوان است. سایر پدیده‌های کارستی در این گنبد نمکی شامل شافت، کارن و غار نمکی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که این گنبد نمکی بر منابع آب زیرزمینی و سطحی مجاور خود تأثیر نامطلوبی دارد به طوری که کلیه نقاط نمونه‌برداری (به جز بالادست رودخانه فیروزآباد) آب‌های شور و لب شور با تیپ آب کلرید-سدیم دارند. تاثیر این گنبد بر رودخانه فیروزآباد با سه مکانیزم تماس مستقیم آب رودخانه با سنگ نمک، تخلیه مستقیم چشمه‌های شورابه و نفوذ غیر مستقیم شورابه امکان‌پذیر است. شناخت مکانیزم تأثیر گنبد نمکی جهانی بر رودخانه فیروزآباد به ارائه راهکارهای هیدروژئولوژیکی به منظور کاهش تاثیر گنبد نمکی کمک خواهد کرد. به‌طور مثال

به همراه شورابه آبراهه خاوری، به درون آن نفوذ می‌کند.

۳) تاقدیس خاوری گنبد نمکی جهانی (سورمه): چشمه‌های متعدد دائمی و فصلی در حاشیه خاوری گنبد نمکی جهانی در ارتفاعی بالاتر از مرز میان گنبد نمکی و تاقدیس سورمه (شکل ۲) قرار دارد. بنابراین شورابه‌های گنبد نمکی جهانی امکان نفوذ به این تاقدیس را نداشته و توسط آبراهه‌ای که در دره خاوری گنبد نمکی در مرز گنبد و تاقدیس قرار گرفته، به سمت دشت جنوبی گنبد (دشت آزادگان) زهکشی می‌شوند. این آبراهه اختلاطی از آب‌های منطقه را زهکشی می‌کند که عبارتند از:

-رواناب‌های سطحی و شور گنبد نمکی جهانی
-رواناب‌های سطحی تاقدیس سورمه
-آب زهکشی شده از سازندهای آهکی تاقدیس سورمه
-شورابه‌های چشمه‌های دائمی و فصلی دره خاوری گنبد نمکی

مجموع آب‌های زهکشی شده توسط این آبراهه که به سمت دشت آزادگان زهکشی می‌شود، دارای کل املاح محلول بیش از ۳۰۰ گرم در لیتر بوده و از عوامل شوری دشت آزادگان محسوب می‌شود.

۴) تاقدیس باختری گنبد نمکی جهانی (خارتو): شورابه‌های گنبد نمکی جهانی می‌توانند به صورت زیرسطحی به درون آهک باختری گنبد (تاقدیس خارطو) (شکل ۲) نفوذ کرده و منجر به افزایش هدایت الکتریکی آب‌های با کیفیت آهکی در این تاقدیس شوند. شواهد زیر احتمال وجود این مکانیزم را تأیید می‌کنند:

-مرز تماس میان گنبد نمکی و آهک خاوری در ارتفاعی بالاتر از مرز تماس میان گنبد نمکی و آهک باختری قرار گرفته است. بنابراین امکان زهکشی شورابه گنبد به سمت باختر وجود دارد.

نمک در جنوب گنبد ساخته شود تا با هدایت آب چشمه‌های شورابه به درون آنها، از نفوذ شورابه به درون آبرفت جلوگیری به عمل آید. به طور کلی هدایت آب چشمه‌های شورابه به درون حوضچه‌های تبخیر و تجهیز و اصلاح حوضچه‌های تبخیر موجود با مواد ژئوممبرین به نحوی که کف آنها نفوذناپذیر شده و نفوذ شورابه به درون آبرفت صورت نگیرد، استفاده کرد. شایان ذکر است که انتخاب گزینه مناسب برای افزایش کیفیت منابع آب منطقه اجرای آن نیازمند تحلیل‌های دقیق اقتصادی و هم-چنین زیست محیطی می‌باشد تا اطمینان حاصل شود که این راهکارها تبعات زیست محیطی برای منطقه نداشته باشد.

سپاسگزاری

از شرکت آب منطقه‌ای فارس به دلیل حمایت مالی از این پژوهش و هم‌چنین استفاده از داده‌های آن شرکت قدردانی می‌گردد.

تاثیر ناشی از انحلال مستقیم سنگ نمک در تماس با رودخانه از طریق تغییر مسیر جزیی و یا ساخت سازه‌هایی (از جمله پوشش بتونی دیواره یا شاتکریت) که در جناح چپ رودخانه که از تماس مستقیم رودخانه با سنگ نمک جلوگیری کند امکان‌پذیر است. برای جلوگیری از ورود مستقیم شورابه‌ها به درون رودخانه نیز پیشنهاد می‌شود که حوضچه‌های تبخیر در شمال گنبد ساخته شود به طوری که با تبخیر شورابه این چشمه‌ها ضمن استفاده نمک حاصه در صنعت از شوری رودخانه نیز جلوگیری گردد. آبرفت دشت آزادگان در جنوب گنبد نمکی جهانی نیز شور و غیر قابل کشت می‌باشد. با توجه به اینکه ارتفاع چشمه‌های شورابه گنبد نمکی جهانی در بخش جنوبی در حدود ۱۰ تا ۲۰ متر بالاتر از مرز تماس گنبد نمکی با آبرفت است لذا امکان نفوذ زیرسطحی شورابه گنبد نمکی جهانی به درون آبرفت دشت آزادگان امکان‌پذیر نمی‌باشد و به نظر می‌رسد که تاثیر گنبد نمکی جهانی بر این دشت عمدتاً به صورت سطحی و غیرمستقیم می‌باشد. برای کاهش تاثیر این چشمه‌ها نیز پیشنهاد می‌شود که حوضچه‌های تبخیر

پانویس

1-sinkhole
2-Rimstone pool and dam

3-White foam
4-Water fall

منابع

گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
-مهدیزاده، ر.، ۱۳۹۱. طبقه‌بندی گنبد‌های نمکی استان فارس و مکانیزم تاثیر آنها بر آبخوان‌های مجاور، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شیراز، ۳۹۳ ص.

-ثروتی، م.، حمدی، ب.، یزدجردی، ک. و ادیب پور، م.، ۱۳۸۹. بررسی موفولوژی گنبد نمکی جهانی در باختر فیروزآباد، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۷.
-عدالت نیا، ز.، علوی، س.، جهانی، س. و دهباشی قنواتی، ن.، ۱۳۹۰. سازوکار حرکت نمک در گنبد جهانی - جنوب باختر فیروزآباد، سی‌امین

معدنی گنبد‌های نمکی استان فارس، جلد ۱ و ۲، مشاور طرح: دانشگاه شیراز، بخش علوم زمین.

-وزارت معادن و فلزات، اداره کل معادن و فلزات استان فارس، ۱۳۷۸. طرح شناسایی پتانسیل‌های

-Talbot, C.J., Medvedev, S., Alavi, M., Shahrivar, H. and Heidari, E., 2000. Salt extrusion at Kuh-e-Jahani, Iran, from June 1994 to November 1997, In: Vendeville BC, Mart Y, Vigneresse JL (eds) Salt, Shale and Igneous Diapirs in and around Europe, Geol Soc Spec Publ, v. 174, p. 93-110.

(http://folk.uio.no/sergeim/public/Talbot_et_al_2000.pdf)

-Zarei, M. and Raeisi, E., 2010. Karst development and hydrogeology of Konarsiah salt diapir, south of Iran: Carbonate Evaporates, v. 25, p. 217-229.