فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ۹ (۱۳۹۲)، شماره ۱: ۶۳-۵۳
www.appliedgeology.ir
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد زاهدان

بررسی هجوم آب شور از کویر مرکزی به آبخوان اسفراین (خراسان شمالی)

اعظم محمدی*[۱] و غلامحسین کرمی[۲]

۱) کارشناس منابع آب، آب منطقه‌ای خراسان شمالی، a_mohammadi_84@yahoo.com

۲) استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود

*) عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۹۲/۲/۳؛ دریافت اصلاح شده: ۹۲/۲/٤؛ پذیرش: ۹۲/۲/۱۰؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۲/۵/۳۱

چکیده

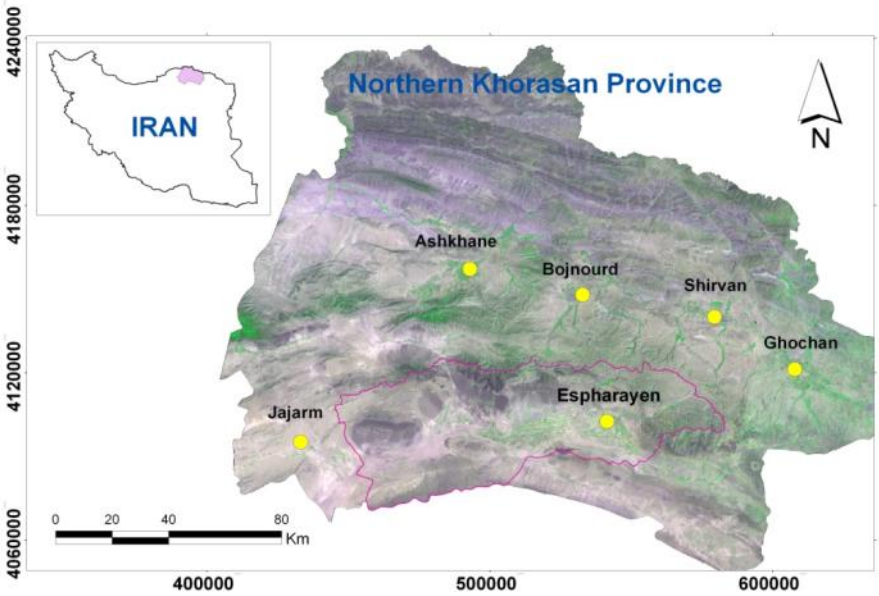
منطقه مورد مطالعه (دشت اسفراین) یکی از زیرحوضه‌های کویر مرکزی در استان خراسان شمالی می‌باشد. با توجه به کاهش کیفیت آب زیرزمینی آبخوان اسفراین بویژه در سالهای اخیر، در این مقاله سعی شده تا علل این کاهش کیفیت که در بخشهای جنوبی بارزتر است، بررسی گردد. به همین منظور در دو نوبت (آذرماه ۱۳۸۸ و تیرماه ۱۳۸۹) مجموعاً تعداد ۷۵ نمونه آب از چاههای منطقه برداشت شد. در ادامه، پس از اندازه‌گیری اسیدیته، هدایت الکتریکی و غلظت یونهای اصلی، نقشه هدایت الکتریکی آبخوان رسم گردید. حداکثر، حداقل و میانگین هدایت الکتریکی نمونه‌های برداشت شده به ترتیب ۱٤۷۲۰، ٦٦۱ و ۳۵۱۹ میکروموس بر سانتیمتر می‌باشد. با توجه به بازدید منطقه‌ای، بررسی‌های صورت گرفته و نقشه هدایت الکتریکی رسم شده، آبخوان اسفراین به ۵ منطقه تقسیم شد. برای هر بخش ابتدا میانگین مقدار آنیونها، کاتیونهای اصلی، هدایت الکتریکی، شاخص اشباع هالیت و نسبت بی‌کربنات به کلراید محاسبه و سپس با یکدیگر مقایسه گردیدند. بجز از آنیون بی‌کربنات مقدار سایر کاتیونها و آنیونها، هدایت الکتریکی و شاخص اشباع هالیت در مناطق ٤ و ۵ نسبت به دیگر مناطق بیشتر می‌باشد. برای ارزیابی زونهای غالب کاتیونی و آنیونی نیز از نمودار پایپر استفاده شد. نتایج بدست آمده، بیانگر هجوم آب شور به بخشهای جنوب و جنوب غربی آبخوان اسفراین (نواحی ٤ و ۵) است. با بررسی مقادیر افت در پنج ناحیه مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که علت اصلی هجوم آب شور در این آبخوان افت بیش از حد سطح آبهای زیرزمینی در نتیجه برداشت بی‌رویه از آبخوان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان اسفراین، آب زیرزمینی، کیفیت، هجوم آب شور.

۱- مقدمه

تاکنون، در زمینه کیفیت آب زیرزمینی و عوامل کنترل کننده آن مطالعات زیادی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات احمدی و آبرومند (۱۳۸۸)، پور سلطانی و موسوی حرمی (۱۳۸٦)، چیت سازان و همکاران (۱۳۸٦)، مونتوریو و همکاران (Montorio et al. 2002)، ساساموتو و همکاران (Sasamoto et al. 2004)، واندر ویجدن و پاچکو (Van der Weijden & Pacheco 2003) و جلالی (Jalali 2007, 2005) اشاره نمود. کیفیت آبهای زیرزمینی در هر منطقه به عوامل متعددی وابسته است که شناسائی آنها می‌تواند در مدیریت کیفی آن منطقه بسیار مفید باشد. نفوذ آب شور به منابع آب شیرین، یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی است که موجب افت کیفیت منابع آب زیرزمینی می‌گردد (حمزه و همکاران

۱۳۸۹). برداشت بی‌رویه از آب زیرزمینی و افت سطح آب یکی از مهمترین دلایل پیشروی آب شور در آبخوانهای ساحلی و مجاور کویر می‌باشد (میرعباسی نجف آبادی و همکاران ۱۳۸٦، قلی کندی و همکاران ۱۳۸۹، محمدی ۱۳۸۹، دادستان ۱۳۸۹، حمزه و همکاران ۱۳۸۹، چیت سازان و همکاران ۱۳۸٦ ۱۳۸۹). دشتهای بسیاری در کشور با این مشکل مواجه بوده‌اند که توسط محققین بررسی شده‌اند، از جمله این دشت‌ها می توان به دشت خانمیرزا (یکی از دشت های حاصلخیز شهرستان لردگان)، دشت ایسین در حاشیه شمالی خلیج فارس، دشت کاشان و دشت جنگل در تربت حیدریه اشاره کرد (میرزائی و چیت سازان ۱۳۸۲، فصاحت و همکاران ۱۳۸۷، ترابی ۱۳۷۸ و ولایتی ۱۳۸۱). برای جلوگیری از هجوم آب شور به داخل آبخوانها، می‌توان با توجه به وضعیت بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی، شرایط زمین‌شناسی منطقه و نوع آبخوان، از روش‌های مختلفی از جمله بهینه‌سازی عملیات پمپاژ، تغذیه مصنوعی و ایجاد خط افت موازی با ساحل، افزایش تراز سطح آبهای زیرزمینی و احداث سدهای زیرزمینی استفاده نمود (نادری و فلکی ۱۳۸۹). بر اساس مطالعاتی که کامرا و همکاران (Kamra et al. 2000) در بلوک گوهانا واقع در استان هاویانا هند انجام دادند، می توان گفت که در این ناحیه لایه‌های آب شیرین بر روی زون‌های آب شور قرار گرفته و پمپاژ بیش از حد آب زیرزمینی باعث ورود آب شور به لایه‌های آب شیرین می‌شود. این امر سبب کاهش کیفیت آب شده، بنابراین باید روشهای پمپاژ به صورت کنترل شده انجام شوند. دشت اسفراین یکی از زیرحوضه‌های کویر مرکزی واقع در استان خراسان شمالی می‌باشد. آب و هوای حوضه آبگیر اسفراین تحت تأثیر ارتفاعات و جبهه‌های سردسیری و مرطوب مدیترانه قرار دارد. بنابراین، آب و هوای این حوضه می‌تواند به عنوان آب و هوای مدیترانه‌ای با ریزش‌های زمستانی و درجه حرارت نیمه قاره‌ای در نظر گرفته شود. به طور کلی متوسط بارندگی سالانه حوضه آبگیر اسفراین در ارتفاعات ۲۹۹/۳ میلیمتر و در دشت ۲٤۱/٤ میلیمتر می باشد. منابع آب زیرزمینی محدوده دشت اسفراین شامل ۵۸۸ حلقه چاه، ۲۵۸ دهنه چشمه و ۸۵ رشته قنات با تخلیه به ترتیب ۱٦۰، ٤۹ و ۱۸ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. بیشترین تعداد چاهها با دبی‌های بالا در محدوده جنوب آبخوان قرار گرفته است. در این محدوده بیش از ۱۳۰ حلقه چاه با تخلیه سالیانه بیش از ۵۵ میلیون متر مکعب در سال وجود دارد. ورودی اصلی جریان آب زیرزمینی به دشت اسفراین از منطقه جنوب شرق اسفراین انجام می‌شود. تغذیه دشت عمدتاً از مناطق شمال شرقی و شمالی دشت به ویژه به وسیله آهک‌های کوه سالوک انجام می‌شود. کیفیت آب زیرزمینی در شرق و شمال آبخوان اسفراین بسیار مطلوب بوده، اما در بخشهای غرب، جنوب غرب و جنوب این دشت کیفیت آب زیرزمینی به شدت نامطلوب می‌شود. در این تحقیق، سعی بر آن است تا با بررسی هیدروژئولوژیکی و هیدروژئوشیمی این دشت علل اصلی نامطلوب شدن کیفیت آب زیرزمینی در مناطق ذکر شده بررسی و راهکارهایی برای بهبود وضعیت کیفی آب آن ارائه گردد. منطقه مورد مطالعه یا آبخوان اسفراین در محدوده شهرستان اسفراین قرار گرفته است. این شهرستان با مختصات جغرافیایی ٥٦ درجه و ٥۷ دقیقه تا ٥۸ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی و ۳٦ درجه و ٤۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی، در جنوب استان خراسان شمالی واقع شده است. تصویر ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۲- مواد و روش‌ها

به منظور بررسی وضعیت هیدروژئوشیمی آبخوان اسفراین، در دو نوبت (آذر ماه ۱۳۸۸ و تیر ماه ۱۳۸۹) از چاه های منطقه نمونه‌برداری شد. برای تمامی نمونه‌ها مقادیر هدایت الکتریکی، درجه حرارت آب و pH در محل نمونه‌برداری اندازه‌گیری گردید. نمونه‌های برداشت شده به آزمایشگاه پارک علم و فناوری شاهرود منتقل و غلظت کاتیون های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم و آنیون های کلر، سولفات، بی کربنات و نیترات آنها اندازه گیری شد. با توجه به این که تعداد نمونه‌ها در تیر ماه ۱۳۸۹ حدود دو برابر نمونه های آذر ماه ۱۳۸۸ بوده و همچنین تفاوت محسوسی بین نتایج این دو بازه مشاهده نشده، کلیه ارزیابی‌ها با داده‌های مربوط به تیر ماه ۱۳۸۹ انجام شد. جدول ۱ مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین و انحراف معیار هدایت الکتریکی، درجه حرارت آب، pH و همچنین غلظت یون‌های اصلی را در نمونه‌های آب برای تیر ماه ۱۳۸۹ نشان می‌دهد.

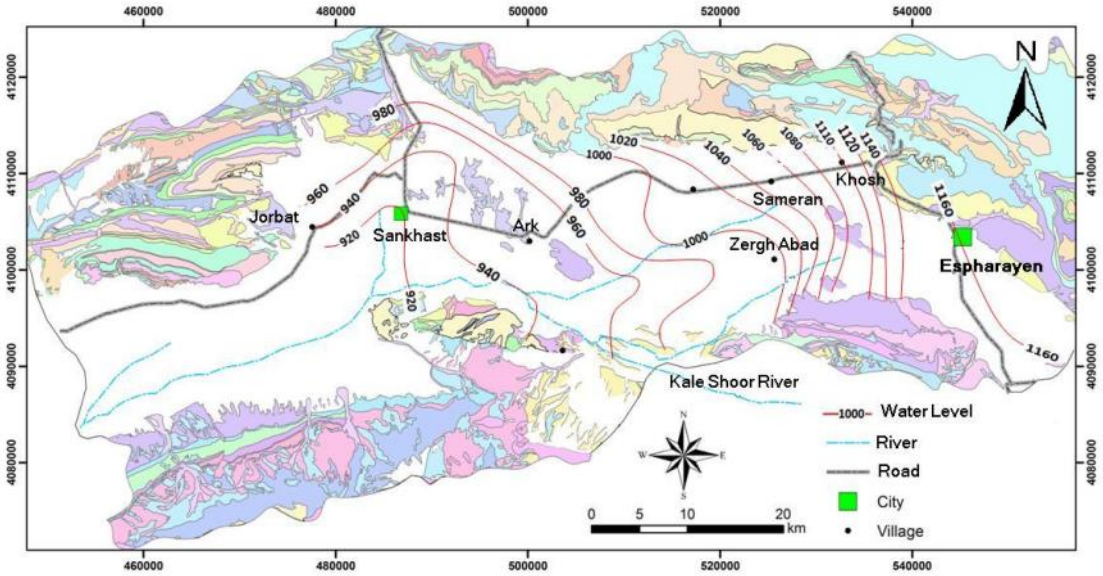
جدول ۱- میانگین، انحراف معیار، حداکثر و حداقل یونهای اصلی ، pH و EC

	$Ca2^+$ (epm)	K^+ (epm)	Na^+ (epm)	$Mg2^+$ (epm)	$SO2^-$ (epm)	Cl^- (epm)	$HCO3^-$ (epm)	$NO3^-$ (epm)	EC (µmhos/cm)	pH	TH (mg/l as CaCO3)	Na%	SAR
حداکثر	۲٤	۱/۲	٦۹/۱	۳۱/۷	٤۳/۳	۷۱	۵/۲	۰/٦	۱٤۷۲۰	۸/۳	۲۷۲۰/۵	۸۰	۲۰/٦
حداقل	۲,۳	۰	۱/٦	۲/۳	۳/۳	۱/۱	۲/۵	۰/۱	٦٦۱	۷/٤	۲۲۷/۳	۱۵/٦	۰/۸
میانگین	٦/۳	۰/۲	۱۸/٦	۹	۱۰/۹	۱۸/۹	۳/۸	۰/۱	۳۵۱۹	۷/۸	۷۵٤/۸	٤٦/۳	٦/۲
انحراف معیار	٤/۵	۰/۲	۱۷	۵/۱	۷/۸	۱۷/۷	۰/٦	۰/۱	۲۹۷۸	۰/۲	٤۵۰/۷	۱۷/۱	۵

۳- نتایج و بحث

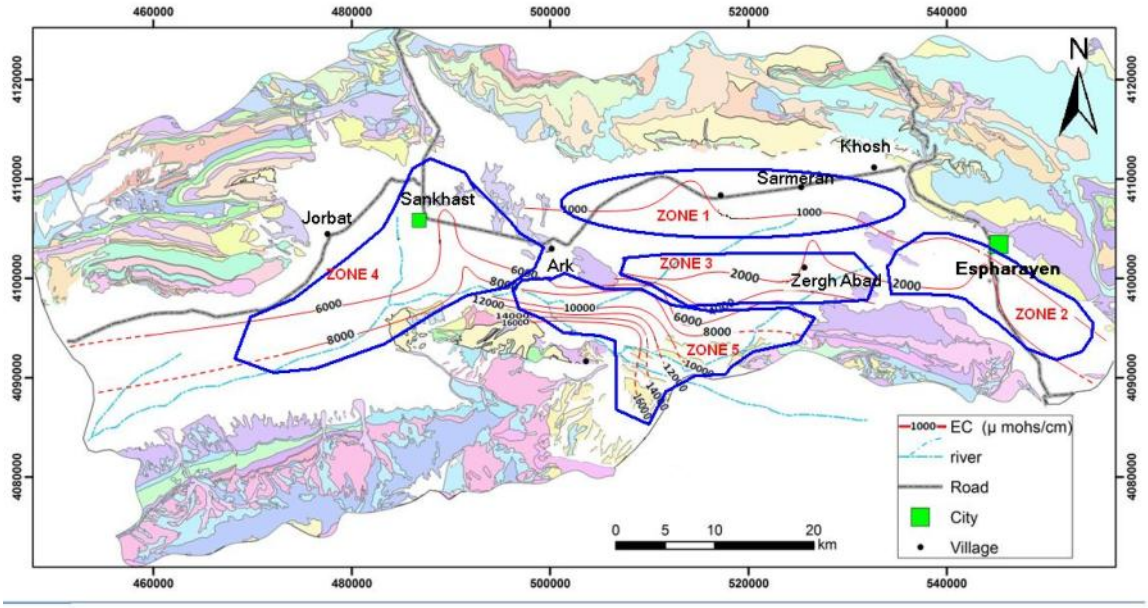
با توجه به بازدیدهای منطقه‌ای صورت گرفته، بررسی های هیدروژئولوژیکی، رسم نقشه‌های پراکندگی آنیونها و کاتیونهای اصلی، نقشه هم پتانسیل سطح آب (تصویر ۲) و نقشه هدایت الکتریکی رسم شده (تصویر ۳)، آبخوان اسفراین از لحاظ کیفیت آب زیرزمینی به ۵ منطقه قابل تقسیم است.

اولین ناحیه در دامنه جنوبی کوه آهکی سالوک واقع شده است. مقادیر هدایت الکتریکی در این منطقه کمتر از ۱۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر است (این منطقه کمترین مقادیر هدایت الکتریکی را دارا می‌باشد). دلیل این امر تغذیه قابل توجه آبخوان آبرفتی به وسیله آهک‌های کوه سالوک می‌باشد. دومین ناحیه در منتهی الیه شرقی دشت (جنوب و جنوب شرق شهر اسفراین) واقع شده است. مقادیر هدایت الکتریکی در این منطقه حدود ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. ارتفاعات شمالی این ناحیه عمدتاً از آهک و ارتفاعات جنوبی آن بیشتر از سازندهای تبخیری تشکیل شده است، بنابراین هدایت الکتریکی در این بخش تحت تأثیر لیتولوژی‌های مختلف آهکی ارتفاعات شمالی و سازندهای تبخیری ارتفاعات جنوبی می‌باشد.



تصویر ۲- نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت اسفراین در تیر ماه ۱۳۸۹

ناحیه سوم در مرکز دشت اسفراین (غرب زرق‌آباد) واقع شده است. در بالادست این منطقه، به دلیل تغذیه از سنگ‌های آهکی کوه سالوک، آب‌های زیرزمینی از کیفیت خوبی برخودار بوده اما در جهت جریان آب زیرزمینی، کیفیت آب به شدت نامطلوب می‌شود. هدایت الکتریکی در بالادست منطقه از حدود ۱۰۰۰ میکرموس بر سانتی‌متر به بیشتر از ۵۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر در پایین‌دست می‌رسد. علت نامطلوب شدن کیفیت در پایین‌دست این منطقه، کاهش سطح آب و هجوم آب شور رودخانه قره‌سو به این بخش از آبخوان می‌باشد. ناحیه چهارم در غرب دشت اسفراین (محدوده اطراف سنخواست) می‌باشد که مقادیر هدایت الکتریکی در این ناحیه حدود ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ میکروموس بر سانتی‌متر متغیر است. چاههای این قسمت از آبخوان به علت کف شکنیهای مکرر و افزایش عمق تحت تأثیر لایه‌های شور زیرین قرار گرفته و به همین علت کیفیت آب آنها نامطلوب می‌باشد. ناحیه پنجم در پایین دست محل الحاق رودخانه قره‌سو با رودخانه اسفراین واقع شده است. در این منطقه شوری آب نسبت به دیگر مناطق بیشتر است، به گونه‌ای که مقادیر هدایت الکتریکی از حدود ۶۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ میکرموس بر سانتی‌متر متغیر است. بالا بودن بسیار زیاد هدایت الکتریکی بعضی از چاه‌ها به دلیل نفوذ آب شور از آبخوان صفی آباد به این منطقه است. یکی از نشانه‌های مهم هجوم آب شور در این منطقه، افزایش هدایت الکتریکی با پایین افتادن سطح آب چاه‌ها در حین پمپاژ می‌باشد.



تصویر ۳- نقشه هدایت الکتریکی اسفراین در تیرماه ۱۳۸۹ و ۵ منطقه آبخوان

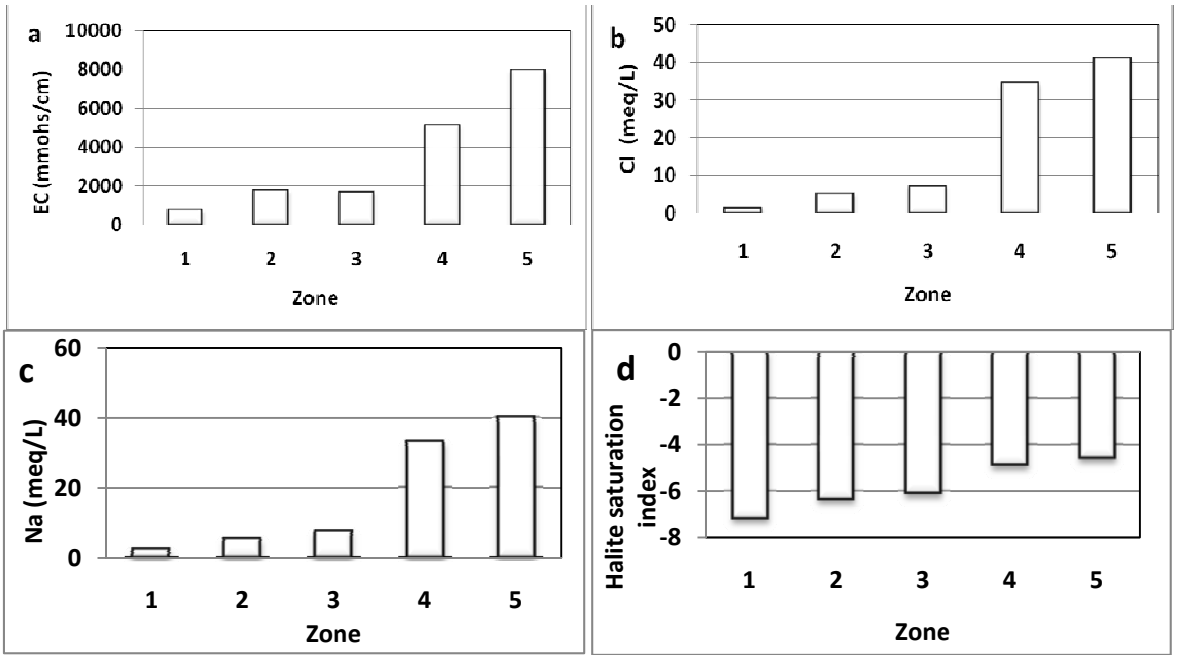
جدول ۲، غلظت یون‌های اصلی و بعضی از پارامترهای مهم هیدروژئوشیمی را در نواحی پنج گانه دشت اسفراین نشان می‌دهد. بر این اساس، نمودار پارامترهای مهم‌تر (شامل هدایت الکتریکی، کلر، سدیم و شاخص اشباع هالیت) برای نواحی پنج گانه رسم و مقایسه شد (تصاویر ٤ الف تا د). برای ارزیابی همه‌جانبه هیدروژئوشیمی دشت اسفراین، ضمن رسم نقشه‌های کیفی برای کل دشت، به طور مشخص این نواحی پنج‌گانه نیز به لحاظ معیارهای کیفی مختلف مورد مقایسه قرار گرفتند. مهمترین معیارهای بکار گرفته شده برای مقایسه هیدروژئوشیمی نواحی پنج‌گانه عبارت است از: مقادیر هدایت الکتریکی، غلظت یونهای سدیم و کلر، مقادیر شاخص‌های اشباع هالیت، زونهای غالب کاتیونی و آنیونی، تیپ آب و نسبت بی‌کربنات به کلراید. تصویر ٤، میانگین مقادیر هدایت الکتریکی، شاخص اشباع هالیت و غلظت یونهای کلرید و سدیم را در نواحی پنج گانه دشت اسفراین نشان می‌دهد. با توجه به تصویر ٤a ملاحظه می‌شود که میانگین هدایت الکتریکی در ناحیه اول (به ویژه)، دوم و سوم، نسبتاً کم بوده، اما میانگین این پارامتر در ناحیه چهارم و پنجم به طور قابل توجهی افزایش یافته است.

تصاویر ٤b و ٤c، به ترتیب میانگین غلظت یونهای کلرید و سدیم را در نواحی پنج گانه نشان می‌دهند. تغییرات غلظت این دو یون در نواحی پنج‌گانه دشت اسفراین با یکدیگر مطابقت داشته و روند تغییرات آنها کاملاً با تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی همخوانی نشان می‌دهد. تصویر ٤d، میانگین مقادیر شاخص اشباع هالیت را برای نواحی پنج گانه دشت اسفراین نشان می‌دهد. با توجه به این تصویر، میانگین این شاخص مهم در ناحیه اول کمترین و در ناحیه پنجم

بیشترین می‌باشد که با مقادیر هدایت الکتریکی، کلرید و سدیم کاملاً همخوانی نشان می‌دهد.

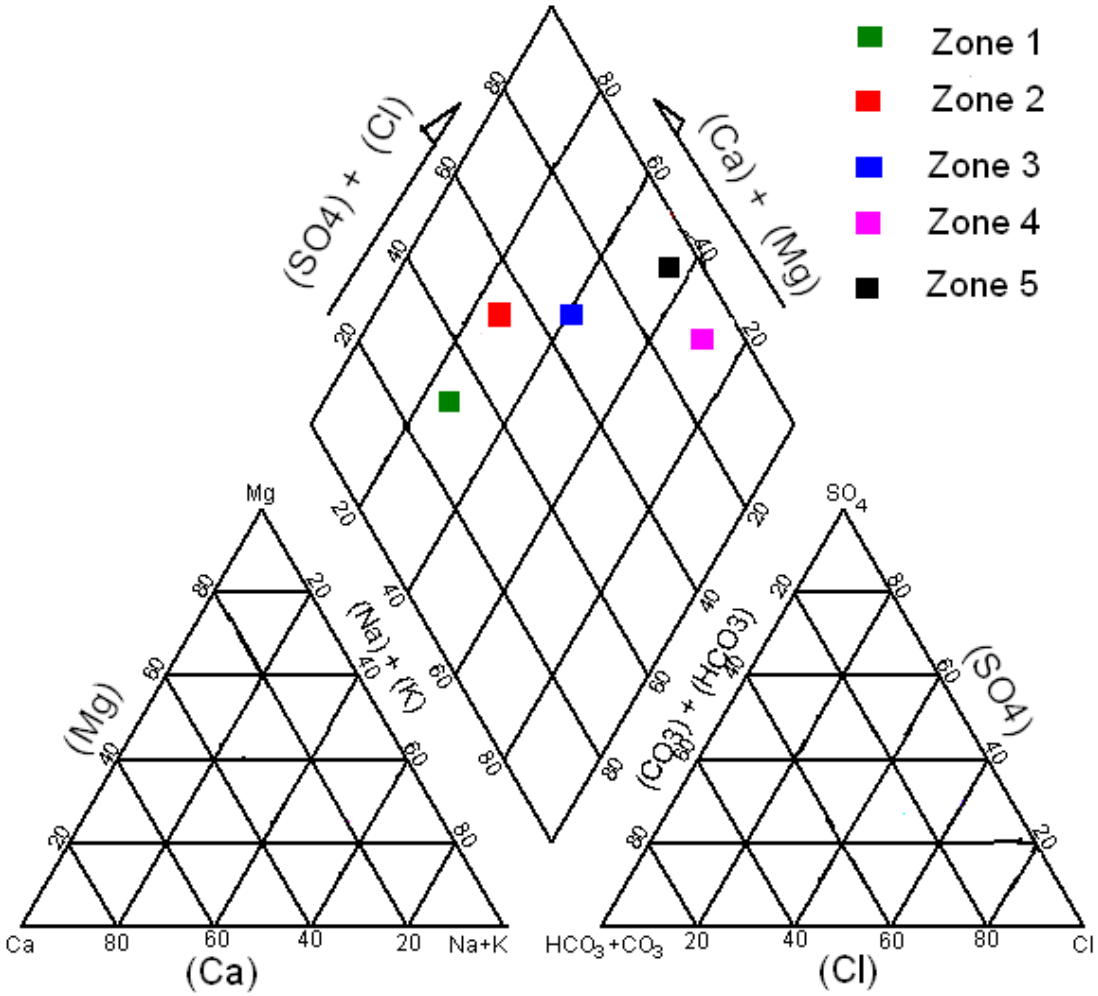
جدول ۱- مقادیر پارامترهای هیدروژئوشیمیایی در نواحی پنج‌گانه دشت اسفراین

پارامتر	مناطق				
	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
Na (epm)	۲/۳۲	۵/۴۱	۷/۴۵	۳۳/۰۸	۴۰/۰۵
K (epm)	۰	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۵۹
Ca (epm)	۲/۹۵	۵/۲۷	۴/۴	۶/۳۵	۱۳/۲۳
Mg (epm)	۳/۷۱	۸/۶۳	۷/۳۷	۹/۶	۱۶/۲۱
Cl (epm)	۱/۴۵	۵/۴۳	۷/۲۰	۳۴/۵	۴۱/۲۹
HCO3 (epm)	۳/۵۱	۴/۰۹	۴/۰۵	۴/۰۴	۳/۶۴
SO4 (epm)	۳/۶۹	۹/۷۳	۸/۰۶	۱۰/۱۴	۲۴/۰۴
NO3 (epm)	۰/۱۱	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۳
EC (µmhos/cm)	۷۵۳/۸۳	۱۷۷۷/۲۰	۱۶۹۳	۵۱۲۷/۲۷	۷۹۴۱
pH	۸/۰۷	۷/۷۶	۷/۶۶	۷/۸۷	۷/۵۱
درجه حرارت آب (°C)	۲۱/۴۳	۱۷/۱۰	۱۹/۱۵	۲۰/۸	۱۹/۱۶
% Na	۲۵/۸۳	۲۸/۱۱	۳۸/۹۵	۶۷/۶۵	۵۷/۹۹
SAR	۱/۲۷	۲/۰۵	۳/۰۷	۱۱/۷۱	۱۰/۴۴
شاخص اشباع هالیت	-۷/۱۶	-۶/۳۴	-۶/۰۸	-۴/۸۷	۴/۵۷-



تصویر ۴- میانگین **a**: مقادیر هدایت الکتریکی، **b**: غلظت کلر، **c**: سدیم و **d**: شاخص اشباع هالیت در نواحی پنج‌گانه دشت اسفراین

برای ارزیابی زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی، از نمودار پایپر (Piper) استفاده شد (تصویر ۵). در ناحیه ۱، این زون‌ها شامل عناصر قلیائی خاکی و اسیدهای ضعیف می‌باشند، بدین ترتیب که عناصر قلیائی خاکی حدود ۷۵ درصد از کاتیون‌ها و اسیدهای ضعیف حدود ۷۰ درصد از آنیونها را شامل می‌شوند. در نواحی چهارم و پنجم ، زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی عناصر قلیائی و اسیدهای قوی هستند. در این دو ناحیه اسیدهای قوی حدود ۹۰ درصد از آنیونها و عناصر قلیائی حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد کاتیونها را شامل می‌شوند. مناطق دوم و سوم، در بین نواحی اول، چهارم و پنجم واقع شده‌اند، در این دو ناحیه هیچ زون غالب کاتیونی و آنیونی مشاهده نمی‌شود. با توجه به روند تغییرات زون‌های غالب کاتیونی و آنیونی در نواحی اول تا پنجم، یک تکامل هیدروژئوشیمیائی از ناحیه اول به طرف نواحی دوم و سوم و در نهایت نواحی چهارم و پنجم قابل مشاهده می‌باشد.

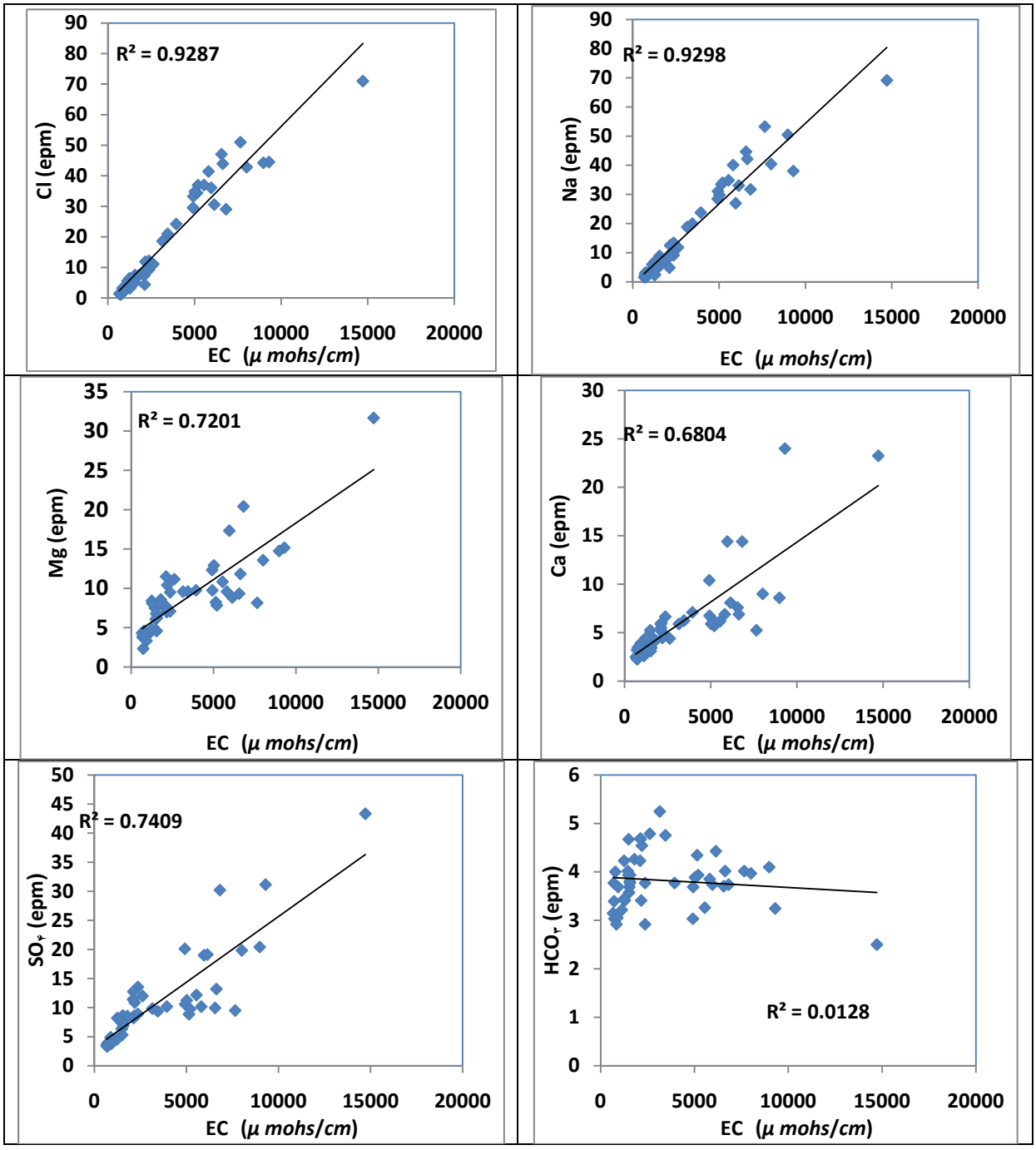


تصویر ۵- نمودار پایپر در نواحی پنج‌گانه دشت اسفراین

در این پژوهش، برای تعیین تیپ یا فرمول یونی آب از نمودار استیف (Stiff) استفاده شده است. تیپ آب در دشت اسفراین از تنوع زیادی برخوردار است. تیپ آب در ناحیه اول عمدتاً سولفاته (به ویژه سولفات منیزیک)، در ناحیه دوم سولفات منیزیک و سولفات سدیک، در ناحیه سوم سولفات منیزیک یا سولفات سدیک تا کلروه سدیک و در نواحی چهارم و پنجم تیپ آب فقط کلروه سدیک است.

یکی از روشهای تفسیر فرایندهای مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی تعیین رابطه بین پارامترهای حاصل از تجزیه نمونه های آب از طریق رسم (پلات کردن) بر روی نمودارهای دو متغیره (نمودارهای ترکیبی) می‌باشد. جلالی (Jalali 2007)، ماری و ونگوش (Marie & Vengosh 2001)، جانکووسکی و آکورس (Jankowski & Acworth 1993) و جانکووسکی و جاکوبسون (Jankowski & Jacobson 1990) از نمودارهای ترکیبی مختلفی برای شناخت فرایندهای ژئوشیمیایی موثر بر کیفیت آبهای زیرزمینی در مناطق مختلف دنیا استفاده نمودند. در ادامه، نمودار غلظت یونهای مختلف در برابر مقادیر هدایت الکتریکی رسم شد (تصویر ٦). بر این اساس، به

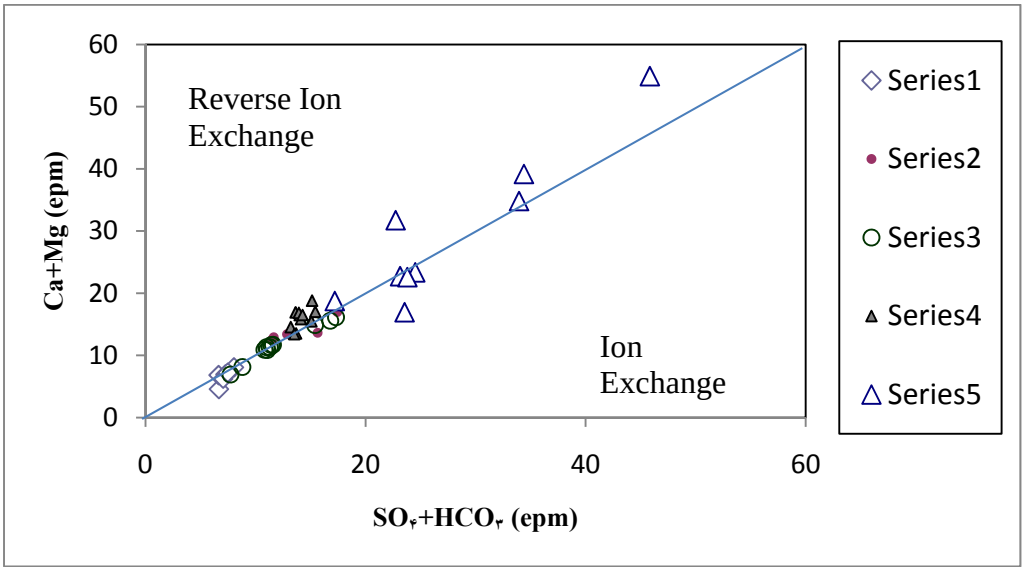
غیر از آنیون بی‌کربنات، سایر یونها با مقادیر هدایت الکتریکی رابطه مستقیم نشان می‌دهند. همچنین، بهترین رابطه بین غلظت یونها و مقادیر هدایت الکتریکی به ترتیب مربوط به یونهای سدیم، کلرید، سولفات، منیزیم و کلسیم می‌باشد. یون‌های کلر و سدیم بیشترین همبستگی را با هدایت الکتریکی نشان می‌دهند که این مسأله بیانگر نامطلوب بودن کیفیت آب زیرزمینی در این دشت است.



تصویر ٦- نمودارهای ترکیبی یون‌های مختلف در مقابل هدایت الکتریکی

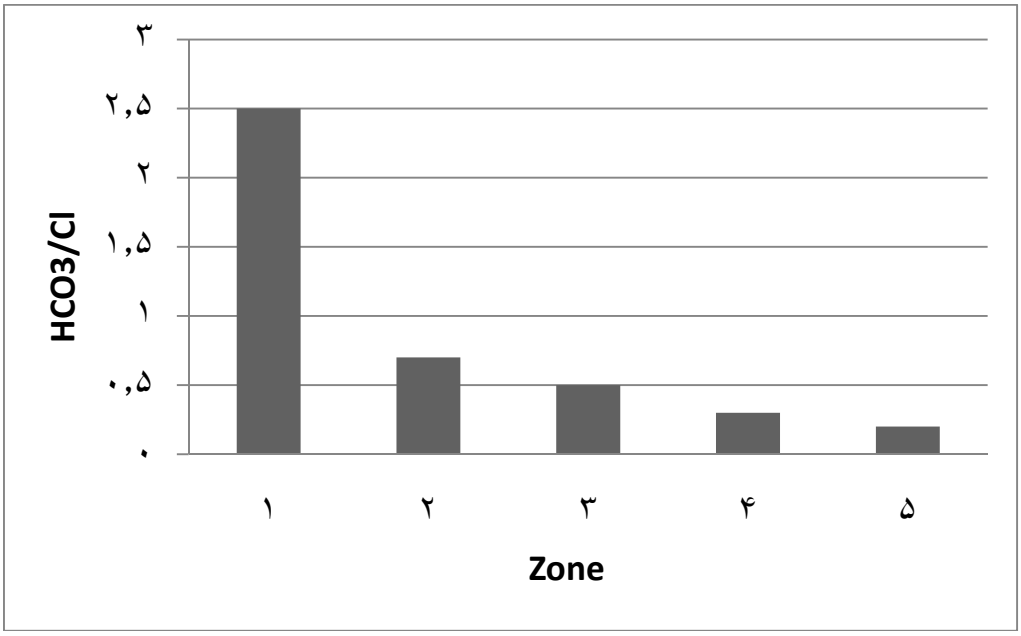
تبادل یونی را می‌توان به عنوان منشأ مهمی برای یون سدیم در نظر گرفت (فاریابی و همکاران ۱۳۸۹). آبخوانهای حاوی کانی‌های رسی و غلظتهای بالای سدیم و پتاسیم با جایگزینی کلسیم و منیزیم با سدیم و پتاسیم، باعث نرم شدن یا کاهش سختی (Softening) طبیعی آب می‌شوند (Hounslow 1995). مجموع غلظت‌های کلسیم و منیزیم در برابر مجموع غلظت‌های سولفات و بی‌کربنات، در تصویر ۷ رسم شده است. با توجه به شکل بیشتر نمونه های مورد مطالعه بر روی خط قرار گرفته اند در این نمودار نقاطی که روی خط شیب ٤٥ درجه قرار

گرفته‌اند انحلال ژیپس، نقاط واقع در زیر خط، تبادل یونی و نقاط بالای آن تبادل یونی معکوس را نشان می‌دهند (Hounslow 1995).



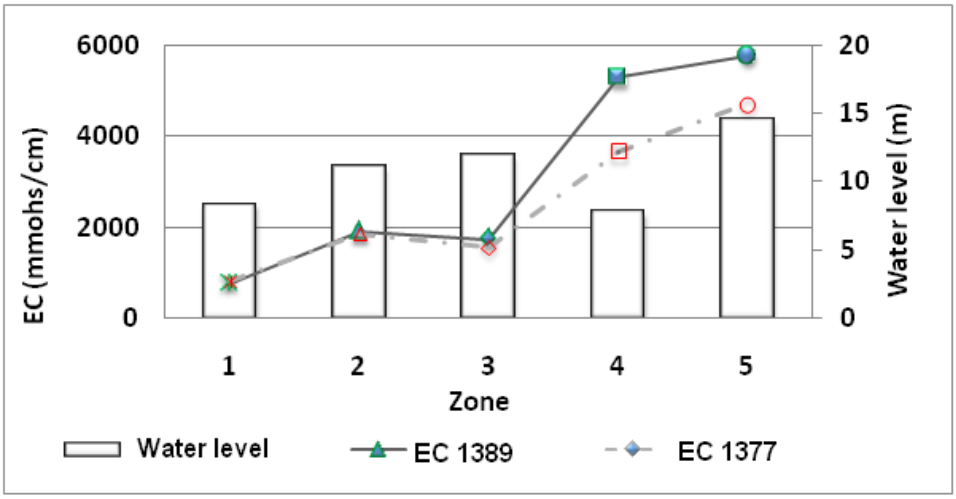
تصویر ۷- نمودار مجموع غلظت کلسیم و منیزیم در برابر مجموع غلظت‌های سولفات و بی‌کربنات

یکی دیگر از نسبت‌های قابل استفاده برای مطالعه نفوذ آب شور به داخل آبخوان‌ها، نسبت بی‌کربنات به کلراید است (Bennetts et al. 2006). به منظور بررسی هجوم آب شور به برخی از نواحی دشت اسفراین، نسبت مذکور برای نواحی پنج‌گانه رسم گردید (تصویر ۸). بر این اساس، نسبت بی‌کربنات به کلراید از ناحیه اول به طرف نواحی چهارم و پنجم به شدت کاهش یافته است. تصویر ۸ تأیید دیگری بر نامطلوب بودن کیفیت آب در نواحی چهارم و پنجم می‌باشد.



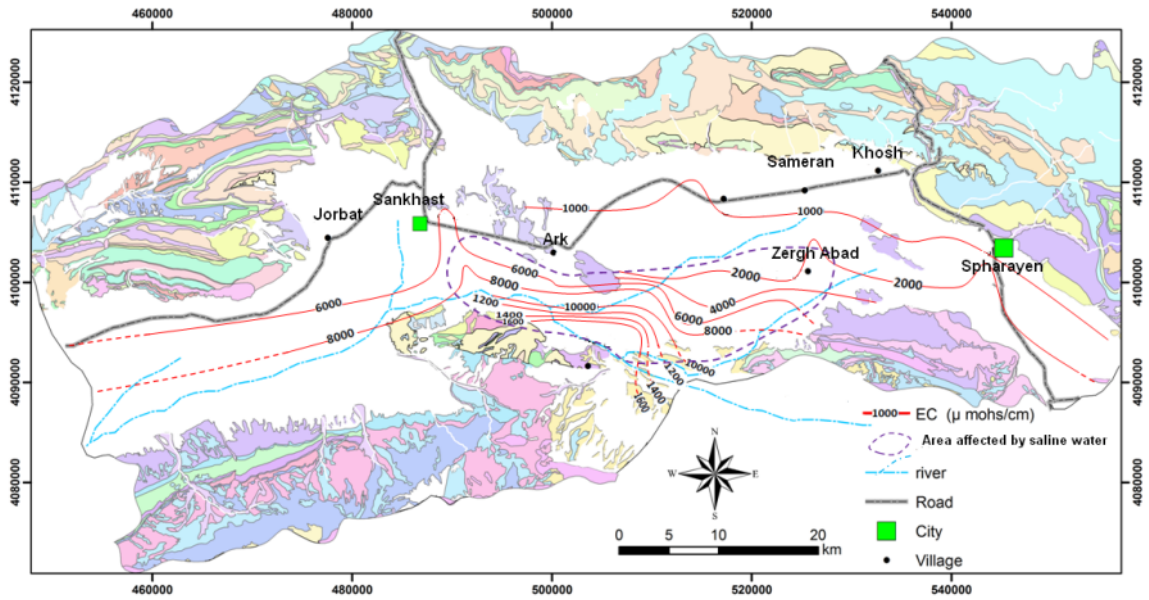
تصویر ۸- مقایسه نسبت بی‌کربنات به کلرید در نواحی پنج‌گانه

به منظور بررسی تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی نسبت به زمان در نواحی مختلف دشت اسفراین و نقش افت سطح آبهای زیرزمینی بر آن، برای تعدادی از چاههای موجود در این ناحیه که برای دو دوره متفاوت مقادیر هدایت الکتریکی آنها اندازه‌گیری شده، نمودار تغییرات هدایت الکتریکی در ۵ ناحیه برای دو سال ۱۳۷۷ و ۱۳۸۹ نسبت به افت سطح آب در تصویر ۹ رسم گردید.



تصویر ۹- تغییرات هدایت الکتریکی و رابطه آن با افت سطح آب در یک دوره ۱۲ ساله

بر اساس تصویر ۹، مقدار افت در ناحیه پنجم در مقایسه با سایر نواحی بیشتر بوده و افزایش هدایت الکتریکی از سال ۱۳۷۷ تا سال ۱۳۸۹ نیز نسبتاً زیاد بوده است. در ناحیه چهارم، علیرغم اینکه افت نسبت به بقیه مناطق کمتر بوده، اما میانگین مقادیر هدایت الکتریکی افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. علت اصلی، بالا بودن هدایت الکتریکی در مقایسه با افت کم این منطقه نسبت به سایر مناطق، ریز دانه بودن آبخوان آبرفتی، جریان نسبتاً ضعیف، مجاورت این منطقه با خروجی دشت و وجود نهشته‌های مخرب کیفیت در شرق و جنوب است. با توجه به نتایج بدست آمده از مقایسه پارامترهای شیمیایی مناطق پنج‌گانه دشت اسفراین، می توان گفت که منطقه اول به لحاظ مجاورت با دامنه جنوبی کوههای آهکی سالوک و تغذیه نسبتاً بالا در این ناحیه بهترین کیفیت آب زیرزمینی را دارا می‌باشد و در صورت عدم افزایش برداشت از این ناحیه، هیچ مشکلی به لحاظ هجوم آب شور وجود نخواهد داشت. در مناطق دوم و سوم، کیفیت آب زیرزمینی در مقایسه با منطقه اول پائین‌تر است و به علت برداشت بیش از حد توان آبخوان می‌تواند در آینده بیشتر دچار شورشدگی شود. در این دو ناحیه بخش‌هایی از آبخوان در مجاورت سازندهای مخرب کیفیت آب قرار گرفته‌اند که می‌تواند عامل نامطلوب شدن کیفیت آب زیرزمینی در این نواحی باشد. در منطقه چهارم، به علت ناچیز بودن تغذیه از سمت ارتفاعات شمالی و غربی و همچنین مجاورت با سازندهای مخرب، کیفیت آب نامطلوب است. در منطقه پنجم، به‌دلیل پایین افتادن سطح آب و هجوم آب شور رودخانه قره‌سو به این بخش از آبخوان، کیفیت آب زیرزمینی بسیار نامطلوب است. بر این اساس و با توجه به مطالب اشاره شده در بخش هیدروژئوشیمی، بخشی از دشت اسفراین که بیشترین مشکل شورشدگی را دارد، با استفاده از نقشه‌های هدایت الکتریکی کلر و سدیم مشخص و در تصویر ۱۰ نشان داده شده است.



تصویر ۱۰- بخش شور شده آبخوان اسفراین

۴- نتیجه‌گیری

به منظور ارزیابی هجوم آبهای شور به بخشهای جنوبی دشت اسفراین، خصوصیات هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی این دشت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که افت شدید سطح آب زیرزمینی در این دشت (بطور متوسط حدود ۸٤ سانتیمتر در سال می‌باشد) و همچنین وجود جریانهای آب زیرزمینی با شوری بالا در جنوب آن (آبخوان صفی آباد)، باعث نامطلوب شدن کیفیت آبهای زیرزمینی شده است. با توجه به مقادیر هدایت الکتریکی و سایر شاخص‌های هیدروژئوشیمیایی، دشت اسفراین به پنج منطقه تقسیم شده است. مناطق چهارم و پنجم، به ویژه منطقه پنجم، به علت هجوم آب شور، دارای کیفیت بسیار نامطلوبی می‌باشد. در این دو منطقه کلیه پارامترها از جمله هدایت الکتریکی، شاخص اشباع هالیت، کلر، سدیم، سولفات و درصد سدیم، در مقایسه با سایر مناطق دشت افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند. برای جلوگیری از هجوم بیشتر آب شور به بخش جنوبی دشت اسفراین (محدوده شمال چهل دختران) و مناطق مجاور آن در آینده، راهکارهای عملی زیر پیشنهاد می‌شوند.

پیشنهاد می‌شود که برداشت از منابع آ ب زیرزمینی بخش جنوبی دشت اسفراین که مورد هجوم آب شور قرار گرفته، به میزان قابل توجهی کاهش یابد در بعضی از چاههای این منطقه مشاهده شد که مقادیر هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در ابتدای پمپاژ به طور نسبی کمتر و با ادامه پمپاژ به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. این مطلب دلیل بسیار واضحی از هجوم آب شور به سوی دشت مورد نظر می‌باشد. برای جلوگیری از برعکس شدن جهت جریان عمومی آب زیرزمینی، کاهش برداشت از منابع آب مناطق بالادست منطقه مورد هجوم آب شور پیشنهاد می‌شود.

انجام طرحهای متعدد تغذیه مصنوعی در دامنه جنوبی کوههای سالوک و همچنین در مناطق بالادست منطقه مورد هجوم آب شور برای تقویت جریان آب زیرزمینی نیز باید انجام شود.

در طراحی شبکه‌های تغذیه مصنوعی باید از روشهایی استفاده شود که ضمن راندمان بالاتر به گستره وسیعی نیاز نداشته باشند (مانند کانالهای تغذیه‌ای).

تشکر و قدردانی

این مقاله بر گرفته از طرح تحقیقاتی بررسی هجوم آب شور از کویر مرکزی به آبخوان اسفراین می‌باشد که با حمایت مالی و همکاری بی دریغ مسئولین محترم شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی انجام شده است که بدین وسیله از آنها تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع

احمدی، ا. و آبرومند، م.، ۱۳۸۸، "بررسی پتانسیل آلودگی آبخوان دشت خاش، شرق ایران، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی"، *فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۵ (۱): ۱۱-۱.*

پورسلطانی، م. ر. و موسوی حرمی، ر.، ۱۳۸٦، "مطالعات آبشناسی حوضه آبشناسی سنگرد در منطقه سبزوار"، *فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۳ (۲): ۱۱۸-۱۱۰.*

ترابی، ع.، ۱۳۷۸، "بررسی روند شورشدن آبهای زیرزمینی شمال دشت کاشان"، *مجله بیابان، جلد ٤ (۲): ۲۲-۱.*

چیت سازان، م.، آقابراریان، م. و رستگارزاده، س.، ۱۳۸٦، "تحلیل هیدروشیمیایی و آماری آلودگی منابع آب زیرزمینی دشت میداود-سرله به لحاظ آلودگی به نیترات"، *فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۳ (٤): ۲۵۱-۲۳۹.*

چیت‌سازان، م.، میرزائی، ی.، عطائی‌زاده،س. و درانی‌نژاد م. ص.، ۱۳۸٦، "بررسی و ارزیابی کیفیت آب زیرزمینی دشت دالون-سرله با استفاده از GIS"، *همایش ملی ژئوماتیک ، سازمان نقشه‌برداری کشور.*

حمزه، م. ع.، شهرباف، ا. و بسکله، غ.، ۱۳۸۹، "بررسی نفوذ آب شور به منابع آب شیرین در منطقه چابهار"، *اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی.*

دادستان، ا.، ۱۳۸۹، "وضعیت بحرانی آبخوان آبرفتی خان میرزا و چالش‌های مدیریت آب زیرزمینی"، *اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی.*

فاریابی، م.، کلانتری، ن. ا. و نگارستانی، ا.، ۱۳۸۹، "ارزیابی عوامل مؤثر بر کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی دشت جیرفت با استفاده از روشهای آماری و هیدروشیمیایی"، *اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی.*

فصاحت، ح.، کریمی، ا. ر. و جنت، ک.، ۱۳۸۷، "راهکارهای مدیریتی جلوگیری از پیشروی آبشور در دشت ایسین جهت تأمین بلند مدت آب شرب با استفاده از GIS"، *سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.*

قلی‌کندی، گ.، ب.، هم نبرد، ن. و افندی، ن.، ۱۳۸۹، "مطالعه روند پیشروی شوری آب در آبخوان دشت کهورستان استان هرمزگان"، *اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی.*

میرعباسی نجف‌آبادی، ر.، عربعلی‌ساوه‌یی، ع. و رهنما، م. ب.، ۱۳۸٦، "ارزیابی افت سطح آب زیرزمینی و اثرات آن بر کیفیت آب زیرزمینی دشت سیرجان"، *اولین همایش زمین شناسی زیست محیطی و پزشکی.*

محمدی، ا.، ۱۳۸۹، "هجوم آب شور در دشت جاجرم به علت برداشت بی‌رویه آب"، *اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی.*

میرزائی، س. ی. و چیت سازان، م.، ۱۳۸۲، "بررسی علل شوری چشمه باغ بهزاد و تهاجم آب شور در دشت خانمیرزا شهرستان لردگان"، *هفتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ۱۲ ص.*

نادری، م. ح. و فلکی، ق.، ۱۳۸۹، "مقایسه روشهای کنترل هجوم آب شور برای توسعه پایدار بهره برداری ازآبخوانهای ساحلی/کویری"،

مجموعه مقالات نخستین کنفرانس پژوهشهای کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ۹ ص.

ولایتی، س. ا.، ۱۳۸۱، "تأثیر اضافه برداشت آب از چاه‌ها در شور شدن آبخوان دشت جنگل (تربت حیدریه)**"**، *مجله تحقیقات جغرافیایی، سال ۱۷ (٤ (پیاپی ٦٧)): ۱۰۵-۹۱.*

Bennetts, D. A., Webb, J. A., Stone, D. J. M. & Hill, D. M., 2006, "Understanding the stalinization process for groundwater in an area of south-eastern Australia using hydrochemical and isotopic evidence", *Journal of Hydrology, Vol. 323 (1-4): 178-192*

Hounslow, A.W., 1995, "Water quality data analysis and interpretation", *Stillwater, Oklahoma, Lewis Publishers, 397 pp.*

Jalali, M., 2005, "Major ion chemistry of groundwaters in the Bahar area, Hamadan, western Iran", *Environ, Geology, Vol. 47: 763-772.*

Jalali, M., 2007, "Stalinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example Tajarak, western Iran", *Environ Geol., Vol. 52: 1133-1149.*

Jankowski, J. & Jacobson, G., 1990, "Hydrochemical processes in ground water-discharge playas, Central Australia", *Hydrological Processes, Vol. 4: 59-70.*

Jankowski, J. & Acworth, R. I., 1993, "The hydrogeochemistry of groundwater in fractured bedrock aquifers beneath dryland salinity occurrence at Yass, New South Wales", *Journal of Australian Geology and Geophysics, Vol. 14: 279-285.*

Kamra, S. K., Mongia, A. D., Singh, O. P. & Boonstra, J., 2000, "Hydraulic and geo-chemical characterization of saline groundwater aquifers through pumping test studies", *In: Proceedings of the International Conference on Managing Natural Resources for Sustainable Agricultural Production in the 21st Century, Extended Summaries of Voluntary Papers on Natural Resources, New Delhi, 14–18 February, Vol. 2:534–535*

Marie, A. & Vengosh, A., 2001, "Sources of salinity in ground water from Jericho area, Jordan Valley", *Ground Water, Vol. 39 (2): 240-248.*

Montoroi, J. P., Grunberger, O. & Nasri, S., 2002, "Groundwater geochemistry of a small reservoir catchment in Central Tunisia", *Applied Geochemistry, Vol. 17 (8): 1047-1060.*

Sasamoto, H., Yui, M. & Arthur, R. C., 2004, "Hydrochemical characteristics and groundwater evolution modeling in sedimentary rocks of the Tono mine, Japan", *Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 29 (1): 43-54.*

Van der Weijden, C. H. & Pacheco, F. A. L., 2003, "Hydrochemistry, weathering and weathering rates on Madeira island", *Journal of Hydrology, Vol. 283 (1): 122-145.*