



تأثیر پرده تزریق بر ژئوشیمی آب‌های زیرزمینی پایین دست سد داریان کرمانشاه

سارا رمضانپور^۱، محمد فتح‌اللهی^{۲*}، مهدی کرد^۳، کمال کنجلی‌پور^۴

- ۱- کارشناسی ارشد زمین‌شیمی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران
- ۲- استادیار زمین‌شناسی مهندسی، گروه علوم زمین، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران
- ۳- استادیار هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران
- ۴- دکتری زمین‌شناسی مهندسی، شرکت مهندسی مشاور مهلب قدس، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: m.fathollahy@uok.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۲۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۶

چکیده

پرده آب‌بند به منظور جلوگیری از نشت آب از پی سدها، با تزریق دوغاب سیمان در ساختگاه اجرا می‌شود. عمق پرده تزریق تا قسمت‌های غیرقابل نفوذ توده سنگ پی ادامه می‌یابد. سیمان تزریق شده در زمین با آب زیرزمینی در ارتباط بوده و باعث وارد شدن ترکیبات سیمان به آب و متأثر نمودن کیفیت آن می‌شود. میزان تغییر ایجاد شده و تداوم آن از جمله مسائل مهمی است که نیاز به بررسی و مطالعه در طول زمان دارد. در این تحقیق با مقایسه آنالیز نمونه‌های آب در طول زمان و در مراحل مختلف ساخت سد داریان، تغییرات مذکور بررسی شده است. بدین منظور چهار سری نمونه آب شامل چشمه‌های ساختگاه قبل از شروع سدسازی در سال ۱۳۹۲، نمونه‌های بعد از تزریق سیمان و قبل از آب‌گیری (سال ۱۳۹۴) و دو سری نمونه نیز بعد از آب‌گیری (سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) با فاصله زمانی یک سال مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌های سری دوم، سوم و چهارم از چاه‌های مشاهده‌ای برداشت شده اند که در پایین دست پرده تزریق قرار دارند. در این تحقیق با دسته‌بندی اطلاعات برداشت شده، با استفاده از نرم‌افزار SURFER و GIS پارامترهای مختلف در دوره‌های مختلف درون‌یابی و با تولید نقشه‌های پهنه‌بندی شده، با هم مقایسه شده و میزان تغییرات عناصر مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی نمودارها و نقشه‌ها نشان داد که پارامترهای pH، سیلیس، سدیم، پتاسیم، آهن، کربنات، سولفات، کلر و TDS دارای تغییرات قابل توجهی است که حاکی از ورود ترکیبات سیمان تزریق شده به آب زیرزمینی و کاهش کیفیت آب است.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، پرده تزریق، سد داریان، هیدروژئوشیمی.

مقدمه

به‌طور کلی اجرای پروژه‌های مهندسی، باعث به‌هم خوردن محیط می‌شود و می‌تواند منجر به ایجاد تغییر در کیفیت آب‌های زیرزمینی گردد. تغییرات کیفیت آب از جوانب مختلف توسط محققین مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ از جمله این مطالعات می‌توان به بررسی اثر سد الغدیر ساوه بر روی کمیت منابع آب زیرزمینی دشت ساوه و نقش آن بر تراز آب زیرزمینی (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۰)، بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه کرخه و بهبود کیفی آب رودخانه در اثر احداث سد کرخه

پرده آب‌بند با تزریق دوغاب سیمان در ساختگاه سدها ایجاد می‌شود و به‌علت در تماس بودن با آب زیرزمینی، خصوصیات هیدروژئوشیمی منابع آبی پایین دست را دستخوش تغییر می‌کند. اهمیت این امر زمانی دو چندان می‌شود که برای منابع آبی پایین دست، کاربری خاصی مانند شرب مدنظر باشد. بنابراین لازم است مطالعات لازم بر روی میزان تغییرات و طول اثر آن انجام گیرد که در مدیریت منابع آبی کمک شایانی می‌کند.

(سامانی، ۱۳۸۸)، بررسی آلودگی عناصر بالقوه سمی در مخزن سد لتیان، با نگرشی به نقش رسوبات در کنترل آلاینده‌ها (سرهنگی و همکاران، ۱۳۹۱)، بررسی آنومالی آرسنیک موجود در منابع آب سهند (ندیری و همکاران، ۱۳۹۰)، هیدروژئوشیمی و بررسی کیفیت آب سد مخزنی مهاباد (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۵)، بررسی ارزیابی احتمال آلودگی آرسنیک در آب زیرزمینی دشت همدان-بهار (توزنده‌جانی و همکاران، ۱۳۹۶)، بررسی میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی به عناصر سنگین و پهنه‌بندی آن در منطقه گیلان مرکزی (رهنمای رهسپار و همکاران، ۱۳۹۳)، پهنه‌بندی مکانی و زمانی هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول آب‌های زیرزمینی دشت گیلان (احمدی پور و همکاران، ۱۳۹۳)، پهنه‌بندی منابع آب زیرزمینی دشت نیشابور (بزدانی و منصوریان، ۱۳۹۳)، شبیه‌سازی تأثیر احداث سد زیرزمینی روی ذخیره آبخوان و پراکنش نیترات در دشت شهرکرد (لاله‌زاری و طباطبایی، ۱۳۹۲)، بررسی هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی دشت ساری از نظر یون‌های اصلی، pH، EC، دمای آب و غلظت یون نیترات و آلودگی باکتریایی (مصطفوی، ۱۳۸۸)، بررسی مدیریت کیفیت آب در مخزن سد طرق از طریق آگیری انتخابی از محل خروجی‌های سد (خیامی و همکاران، ۱۳۸۷)، آسیب‌پذیری آبخوان‌های چندگانه (ندیری و صدقی، ۱۳۹۸)، بررسی کیفیت آبخوان دشت کاشان با استفاده از تحلیل‌های هیدروژئوشیمی (جمشیدزاده،

۱۳۹۹)، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت گلپایگان (سعیدی-رضوی، ۱۳۹۹) و بررسی ارتباط هیدرولیکی رودخانه سنگ سیاه با آبخوان دشت دهگلان (جاوید، ۱۳۸۴) اشاره کرد. همچنین محققان دیگری به ارزیابی تغییرات فصلی کیفیت آب دریاچه دال واقع در کشمیر هندوستان با استفاده از تکنیک‌های آماری چندمتغیره (نجار و بشیر، ۲۰۱۲)، بررسی استفاده از موانع زیرین در مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی (فخاری‌نیا و همکاران، ۲۰۱۲) پرداختند. بر اساس منابع موجود، در گذشته مطالعه‌ای در زمینه تأثیر اجرای پرده تزریق بر منابع آبی انجام نشده است؛ ضروری به نظر می‌رسد که این مهم بررسی شود، از این‌رو، در این تحقیق تأثیر اجرای پرده آب‌بند بر کیفیت منابع آب زیرزمینی پایین‌دست مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات سد خاکی داریان

سد خاکی داریان بر روی رودخانه سیروان در ۲۹ کیلومتری شمال‌غرب شهرستان پاوه در مجاورت روستای داریان واقع شده است (شکل ۱). بدنه سد در استان کرمانشاه و مخزن آن در استان کردستان قرار گرفته و ارتفاع آن به ۱۵۵ متر می‌رسد. طول محور آن ۳۶۸ متر و ظرفیت مخزن ۳۱۶/۳ میلیون مترمکعب است (شرکت مهندسی مهاب قدس، ۱۳۹۰). در شکل ۲ نمایی از سد داریان ارائه شده است.

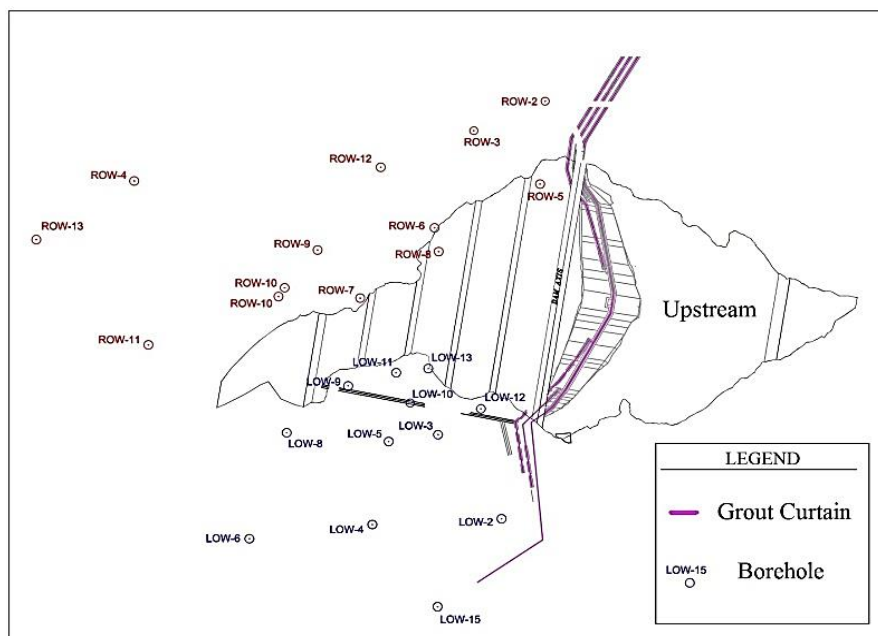


شکل ۱- موقعیت سد داریان در استان کرمانشاه.

تزریق دوغاب سیمان به منظور پر کردن درز و شکاف سنگ‌ها برای جلوگیری از فرار آب از پی، در ساخت‌گاه انجام می‌شود. دوغاب تزریق شده در تماس با آب زیرزمینی بوده و مقداری از ترکیبات آن وارد آب می‌شود. ورود ترکیبات سیمان به آب، کیفیت آب زیرزمینی پایین دست را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند کاربری آن را تغییر دهد. در شکل ۳ پلان پرده تزریق^۱ ساخت‌گاه نشان داده شده است.



شکل ۲- نمایی از سد داریان، دید به سمت بالادست.



شکل ۳- امتداد پرده تزریق ساخت‌گاه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه‌های تهیه شده توسط شرکت مهتاب قدس، ۱۳۹۷).

همان‌طور که گفته شد پرده آب‌بند با تزریق سیمان اجرا می‌شود. بنابرین انتظار می‌رود در صورت واکنش، مواد تشکیل‌دهنده سیمان، در آب زیرزمینی مشاهده گردد. ترکیب اولیه سیمان در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی سیمان تزریق شده.

درصد (تقریبی)	ترکیب	
۶۳	CaO	آهک
۲۰	SiO ₂	سیلیس
۶	Al ₂ O ₃	آلومین
۳	Fe ₂ O ₃	اکسید آهن
۱/۵	MgO	اکسید منیزیم

^۱ Grout curtain

نمونه برداری و نتایج آزمایشات

در این تحقیق برای بررسی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در اثر تزریق سیمان، در ۴ مرحله نمونه برداری انجام شده است. سری اول نمونه برداری از چشمه های ساخت گاه قبل از عملیات ساخت و هرگونه دست کاری محیط، سری دوم از چاه های مشاهده ای (شکل ۳) قبل از آب گیری و سری سوم و چهارم بعد از آب گیری انجام شد. از این به بعد در این متن، به نمونه های قبل از دست کاری منطقه، نمونه بکر (سری اول) و به نمونه های برداشت شده از چاه های مشاهده ای قبل و بعد از آب گیری (به ترتیب زمان) نمونه های سری دوم، سوم و چهارم گفته می شود (جدول ۲).

جدول ۲- زمان و مکان نمونه گیری های آب زیرزمینی.

نمونه	تاریخ	زمان از نظر اجرا	محل نمونه گیری
سری اول	۱۳۹۲/۶	قبل از پرده آب بند	چشمه محدوده ساخت گاه
سری دوم	۱۳۹۴/۸	بعد از پرده آب بند قبل از آب گیری	چاه های مشاهده ای پایین دست
سری سوم	۱۳۹۵/۵	بعد از آب گیری	چاه های مشاهده ای پایین دست
سری چهارم	۱۳۹۶/۵	بعد از آب گیری	چاه های مشاهده ای پایین دست

شایان ذکر است که آنالیز نمونه های آب در آزمایشگاه کارگاه سد داریان انجام شده است و همچنین ۶ نمونه مشترک جهت مقایسه نتایج، در آزمایشگاه شیمی آب گروه خاکشناسی دانشگاه کردستان مورد آنالیز قرار گرفته است. برخی از پارامترها مانند دما، هدایت الکتریکی و pH در محل و در آزمایشگاه نیز عناصر اصلی سیلیس، کربنات، بی کربنات، سولفات، کلراید، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم اندازه گیری شدند. برای اندازه گیری

سدیم و پتاسیم از فلیم فوتومتر، برای اندازه گیری کربنات، بی کربنات، کلراید، کلسیم، منیزیم از تیتراسیون و برای اندازه گیری پارامترهای دما، هدایت الکتریکی و pH از دستگاه اندازه گیری چند پارامتره WA-2017SD که قابل حمل است، استفاده شده است. نتایج آنالیز نمونه ها مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج آنالیز نمونه های آب در دوره های مختلف (شرکت مهتاب قدس، ۱۳۹۷).

سال	پارامتر	بازه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
۱۳۹۲	pH	۰/۴۱	۷	۷/۴۱	۷/۱۷	۰/۱۵
۱۳۹۴		۲/۷۳	۶/۴۱	۹/۱۴	۷/۶۰	۰/۷۱
۱۳۹۵		۱/۸۹	۷/۸۱	۹/۷	۸/۵۰	۰/۷۳
۱۳۹۶		۰/۹۲	۷/۹۳	۸/۸۵	۸/۲۸	۰/۲۴
۱۳۹۲	EC(μS/cm)	۷۰	۱۷۰	۲۴۰	۲۰۷	۲۸/۴۸
۱۳۹۴		۳۲۲	۲۶۳	۵۸۵	۴۱۱	۸۶/۲۵
۱۳۹۵		۲۶۰	۲۲۵	۴۸۵	۳۳۷	۸۶/۴۸
مخزن ۱۳۹۵		-	-	-	۲۸۶	-
۱۳۹۶	مخزن ۱۳۹۶	۲۲۰	۲۲۲	۴۴۲	۳۱۸	۷۰/۸۶
۱۳۹۶	مخزن ۱۳۹۶	-	-	-	۱۹۷	-
۱۳۹۲	SO ₄ (mg/L)	۰/۴	۳/۴	۳/۸	۳/۵۹	۰/۱۵
۱۳۹۴	SO ₄ (mg/L)	۶۸	۳	۷۱	۳۴/۳۶	۱۹/۳۹
۱۳۹۵	SO ₄ (mg/L)	۵۳	۰	۵۳	۲۶/۶۴	۲۰/۵۹
مخزن ۱۳۹۵	SO ₄ (mg/L)	-	-	-	۸/۰۰	-
۱۳۹۶	مخزن ۱۳۹۶	۵۸	۷	۶۵	۲۴/۳۰	۲۰/۹۵
۱۳۹۶	مخزن ۱۳۹۶	-	-	-	۱۰/۰۰	-
۱۳۹۲	Na(mg/L)	۰/۳	۰/۴	۰/۷	۰/۵۶	۰/۱۱
۱۳۹۴		۴۶	۳/۱	۴۹/۱	۱۳/۷۹	۱۱/۵۷

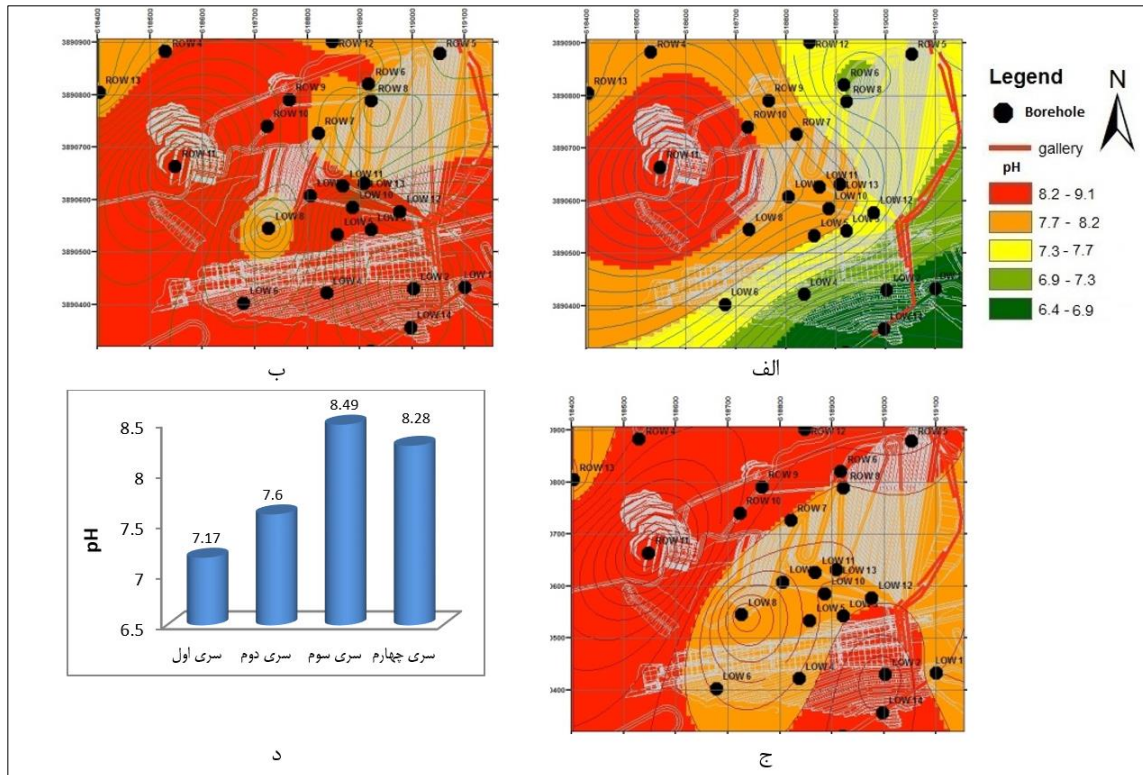
سال	پارامتر	بازه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
۱۳۹۶		۱۶۷	۰	۱۶۷	۴۳/۳۷	۵۱/۷۴
مخزن ۱۳۹۶		-	-	-	-	-
۱۳۹۲		۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۳	۰/۲۳	۰/۰۵
۱۳۹۴	K(mg/L)	۳۴/۵۱	۰/۵۹	۳۵/۱	۷/۵۶	۱۰/۵۹
۱۳۹۶		۳۳۱	۰	۳۳۱	۵۶/۹۲	۹۶/۱۸
مخزن ۱۳۹۶		-	-	-	۰/۰	-
۱۳۹۲	Ca(mg/L)	۵	۳۷	۴۲	۳۹/۵۰	۱/۸۷
۱۳۹۴		۲۸/۵	۲۳/۲	۵۱/۷	۳۲/۴۵	۶/۸۴
۱۳۹۲		۰/۵	۲/۷	۳/۲	۳/۰۰	۰/۱۸
۱۳۹۴	Mg(mg/L)	۴۳/۶	۰	۴۳/۶	۱۷/۲۷	۱۰/۱۰
۱۳۹۶		۰/۴	۳/۴	۳/۸	۳/۶۰	۰/۱۶
۱۳۹۴		۱۴	۸	۲۲	۱۳/۶۴	۴/۲۷
۱۳۹۵	SiO ₂ (mg/L)	۱۸	۲	۲۰	۱۱/۱۸	۴/۷۹
مخزن ۱۳۹۵		-	-	-	۶/۰۰	-
۱۳۹۶		۳۱	۹	۴۰	۱۵/۰۰	۸/۸۰
مخزن ۱۳۹۶		-	-	-	۰	-
۱۳۹۲		۱۵	۱۰۰	۱۱۵	۱۰۸/۰۰	۵/۲۴
۱۳۹۴	CaCO ₃ (mg/L)	۱۱۹/۸	۶۸/۴	۱۸۸/۲	۱۴۷/۰۰	۳۳/۸۷
۱۳۹۵		۱۵۳/۹	۸۵/۵	۲۳۹/۴	۱۵۹/۰۰	۵۰/۷۸
مخزن ۱۳۹۵		-	-	-	۰/۱۷۱	-
۱۳۹۶		۱۷۱	۸۵/۵	۲۵۶/۵	۱۵۷/۰۰	۴۹/۴۵
مخزن ۱۳۹۶		-	-	-	۱۳۷/۰۰	-
۱۳۹۴		۰/۲۱	۰	۰/۲۱	۰/۰۵	۰/۰۷
۱۳۹۵	Fe (mg/L)	۰/۳۴	۰	۰/۳۴	۰/۱۲	۰/۱۲
مخزن ۱۳۹۵		-	-	-	۰/۰۴	-
۱۳۹۶		۰/۱۳	۰	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۵
مخزن ۱۳۹۶		-	-	-	۰/۰۰	-
۱۳۹۲	Cl (mg/L)	۰/۱۵	۰/۷	۰/۸۵	۰/۷۸	۰/۰۵
۱۳۹۵		۶/۳	۷	۱۳/۲	۹/۷۹	۱/۸۸
۱۳۹۶	Cl (mg/L)	۶/۳	۷	۱۳/۲	۹/۷۹	۱/۸۸
۱۳۹۲	TDS (mg/L)	۲۰	۱۲۵	۱۴۵	۱۳۵/۰۰	۷/۹۱
۱۳۹۴	TDS (mg/L)	۷	۱۹۶	۲۰۳	۲۰۰/۰۰	۴/۹۵
۱۳۹۵	TDS (mg/L)	۵۸۵/۲	۱۱۷/۸	۷۰۳	۲۳۴/۰۰	۱۵۶/۱۳
مخزن ۱۳۹۵	TDS (mg/L)	-	-	-	۱۳۷/۶۰	-
۱۳۹۶	TDS (mg/L)	۲۵۲/۶	۷۷/۴	۳۳۰	۱۵۴/۸۶	۵۸/۸۰
مخزن ۱۳۹۶	TDS (mg/L)	-	-	-	۹۹/۵۰	-

برای بررسی و مقایسه تغییرات در دوره‌های مختلف، پارامترهایی انتخاب شدند که اندازه‌گیری آنها به صورت پیوسته انجام شده باشد. برای ارزیابی صحت و دقت داده‌های اندازه‌گیری شده توسط آزمایشگاه آب سد، نمونه‌های آخرین دوره که هم‌زمان و به صورت مشترک برداشت شدند، در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه کردستان، آنالیز و مقایسه شدند. مقایسه نتایج هر دو آزمایشگاه بسیار به هم نزدیک بودند. پس از آماده‌سازی داده‌ها، بررسی تغییرات پارامترهای مختلف از اطلاعات گمانه‌های پایین‌دست سد و درون‌یابی آنها با روش کریجینگ با استفاده از نرم‌افزارهای Surfer و GIS انجام شد. در ادامه نقشه پراکندگی و نحوه تغییرات آنها در دوره‌های مختلف ارائه شده است.

بررسی pH

ترکیبات سیمانی یکی از عوامل تأثیرگذار بر pH است به طوری که با ورود آن به آب، محیط از حالت خنثی به سمت قلیایی میل می‌کند. در شکل ۴ نحوه تغییرات pH در دوره‌های مختلف نشان داده شده است. لازم به ذکر است از آنجایی که نمونه‌های سری اول از چشمه‌های ساختگاه برداشت شده و تعداد آنها محدود می‌باشد لذا درون‌یابی آن مقدور نمی‌باشد.

برای بررسی و مقایسه تغییرات در دوره‌های مختلف، پارامترهایی انتخاب شدند که اندازه‌گیری آنها به صورت پیوسته انجام شده باشد. برای ارزیابی صحت و دقت داده‌های اندازه‌گیری شده توسط آزمایشگاه آب سد، نمونه‌های آخرین دوره که هم‌زمان و به صورت مشترک برداشت شدند، در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه کردستان، آنالیز و مقایسه شدند. مقایسه نتایج هر دو آزمایشگاه بسیار به هم نزدیک بودند. پس از آماده‌سازی داده‌ها، بررسی تغییرات پارامترهای مختلف از اطلاعات گمانه‌های پایین‌دست سد و درون‌یابی آنها با روش کریجینگ با استفاده از نرم‌افزارهای



شکل ۴- نحوه توزیع pH در مراحل مختلف: الف) سری دوم، ب) سری سوم، ج) سری چهارم، د) مقایسه مقادیر pH در سری های مختلف.

ترکیبات سیمانی به آب کمتر شده و در حال رقیق شدن و خارج شدن از محیط است.

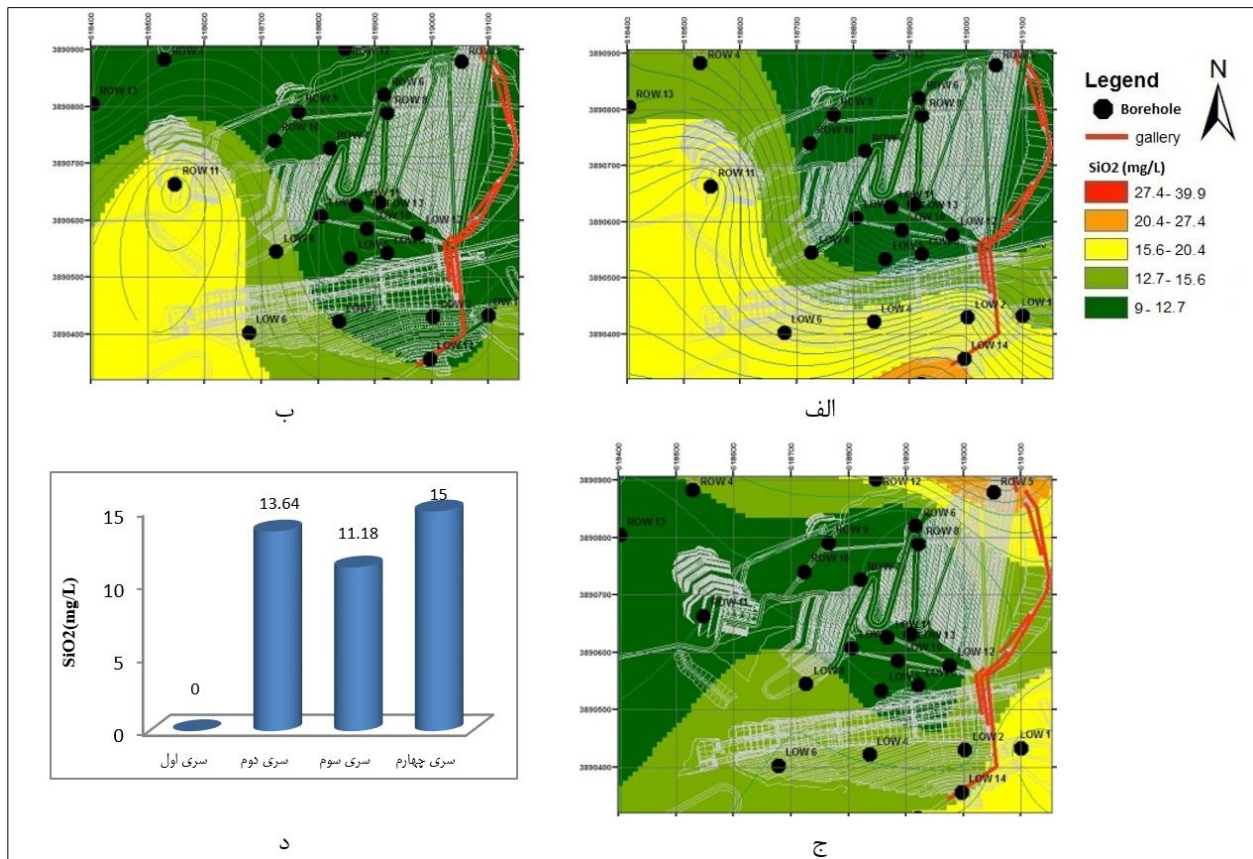
بررسی SiO_2

اکسید سیلیسیم یکی از پارامترهایی است که در اثر تزریق سیمان به زمین ممکن است اثرات آن در آب زیرزمینی مشاهده شود. در شکل ۵ ادامه اثرات آن در دوره های مختلف مشاهده می شود. همان طور که دیده می شود در نمونه بکر مقدار این پارامتر در حد صفر اندازه گیری شده است ولی در دوره های بعدی مقدار آن افزایش پیدا کرده است.

همان طور که نتایج نشان می دهد مقدار SiO_2 با تزریق دوغاب سیمان به داخل زمین افزایش می یابد. این مقدار در مراحل دو، سه و چهارم تقریباً ثابت است (شکل ۵ د) هر چند که در سری چهارم مقداری افزایش نشان می دهد. با گذشت یک سال، تراز آب مخزن، ده متر افزایش داشته است، افزایش تراز آب باعث افزایش گرادیان هیدرولیکی و درگیر شدن گمانه های تراز بالاتر و مقاطع بالاتر سایر گمانه ها شده و در نتیجه مقدار آن افزایش

با اضافه شدن ترکیبات سیمانی به آب، محیط از حالت خنثی به حالت بازی تبدیل می شود، افزایش pH تا بیش از ۱۲ هم در مایعات باقی مانده از ترکیب آب و سیمان گزارش شده است. در نمونه های اندازه گیری شده، مقدار pH از ۷/۵ در نمونه بکر تا بالاتر از ۹ در برخی گمانه ها مشاهده شد. همان طور که از شکل ۴ د، برمی آید افزایش این پارامتر از سری اول تا سوم روند افزایشی را نشان می دهد. در شکل ۴ الف نیز، پیداست که توزیع pH در قسمت های پایین دست بیشتر است. علت این امر این است که قبل از آب گیری جریان آب زیرزمینی در تراز پایین تر وجود داشته و چون جریان در قسمت های بالایی وجود ندارد، طبیعتاً pH این قسمت ها بالا نرفته است. اما در شکل های ب و ج با آب گیری سد، پرده آب بند بیشتر درگیر شده و pH در محیط گسترش یافته است. میزان افزایش مقدار pH در نمونه های سری چهارم در مواردی ثابت و حالت کاهشی را نشان می دهد (شکل ۴ د). فاصله نمونه گیری بین نمونه های سری سوم و چهارم یک سال بوده و این نشان دهنده این امر است که تمایل ورود

نشان داده است؛ قابل توجه است که در نمونه‌های سری چهارم، این به این معناست که جریان آب موجود در حال دور کردن گمانه‌های تراز پایین مقدار این پارامتر را کمتر نشان می‌دهند و SiO_2 از محیط است.

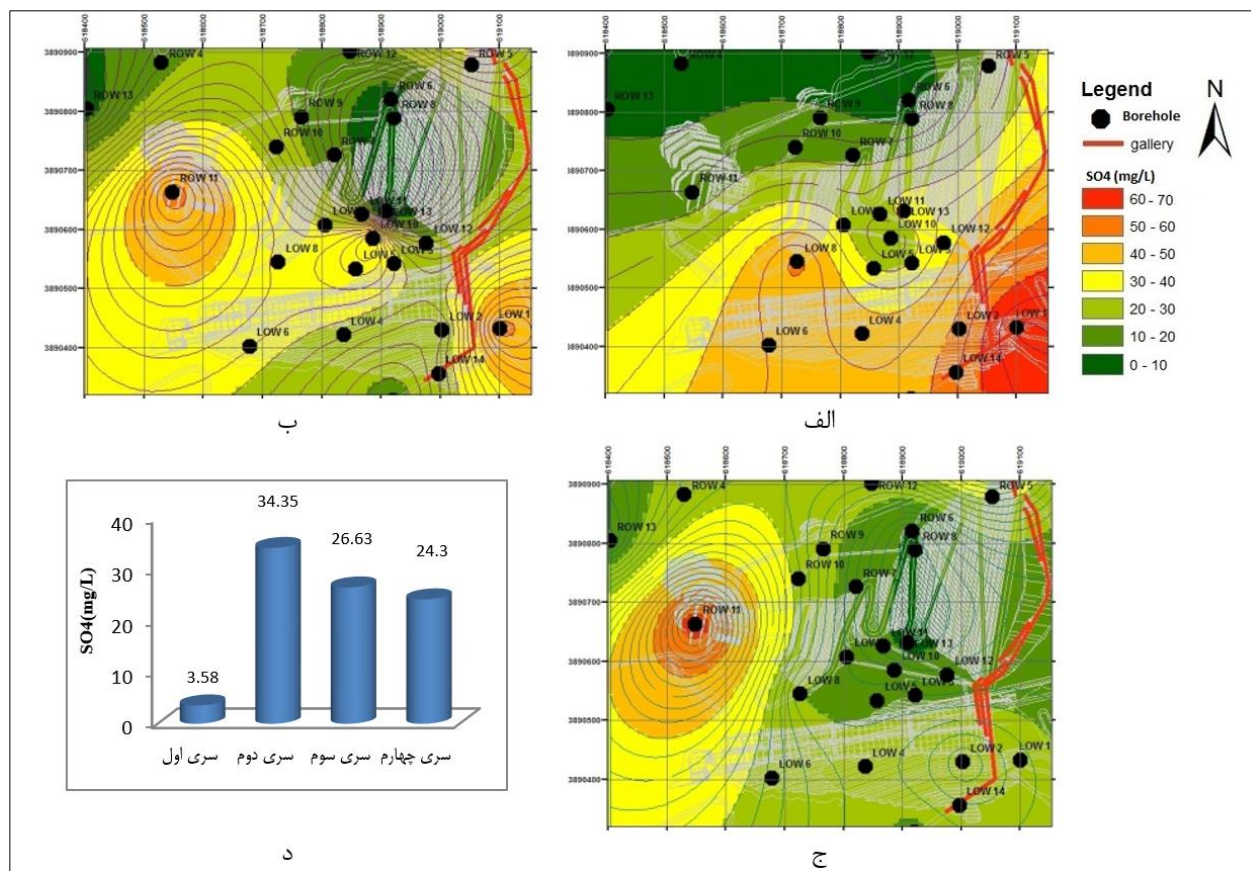


شکل ۱- نحوه توزیع SiO_2 در مراحل مختلف: الف) سری دوم، ب) سری سوم، ج) سری چهارم، د) مقایسه مقادیر SiO_2 سری‌های مختلف.

نتایج نشان‌دهنده افزایش سولفات با تزریق سیمان به محیط می‌باشد، این مقدار افزایش به طور میانگین تا بیشتر از ۷ برابر اتفاق افتاده است. در سری دوم مقدار این پارامتر در جناح چپ مقدار قابل توجهی را نشان می‌دهد (شکل ۶ الف)، علت این امر را می‌توان مربوط به وجود جریان قشری در جناح چپ دانست که باعث پخش شدن سولفات در محیط شده است (شکل ۶ ب). در سری سوم و چهارم با آب‌گیری سد و جریان بیشتر آب زیرزمینی مقدار سولفات به ترتیب روندی کاهشی و در حال دور شدن از محیط را نشان می‌دهد.

بررسی SO_4

در مواد اولیه سیمان به‌خصوص در مرحله آسیاب‌کردن کلینکر، مقداری ژپس با فرمول $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ به سیمان اضافه می‌شود، بنابراین انتظار بر این است که با تزریق آن به داخل گمانه‌ها و آب زیرزمینی اثرات آن قابل مشاهده باشد. بررسی میانگین کلی تغییرات سولفات و نحوه توزیع آن در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۲- نحوه توزیع SO_4 در مراحل مختلف: الف) سری دوم، ب) سری سوم، ج) سری چهارم، د) مقایسه مقادیر سولفات سری‌های مختلف.

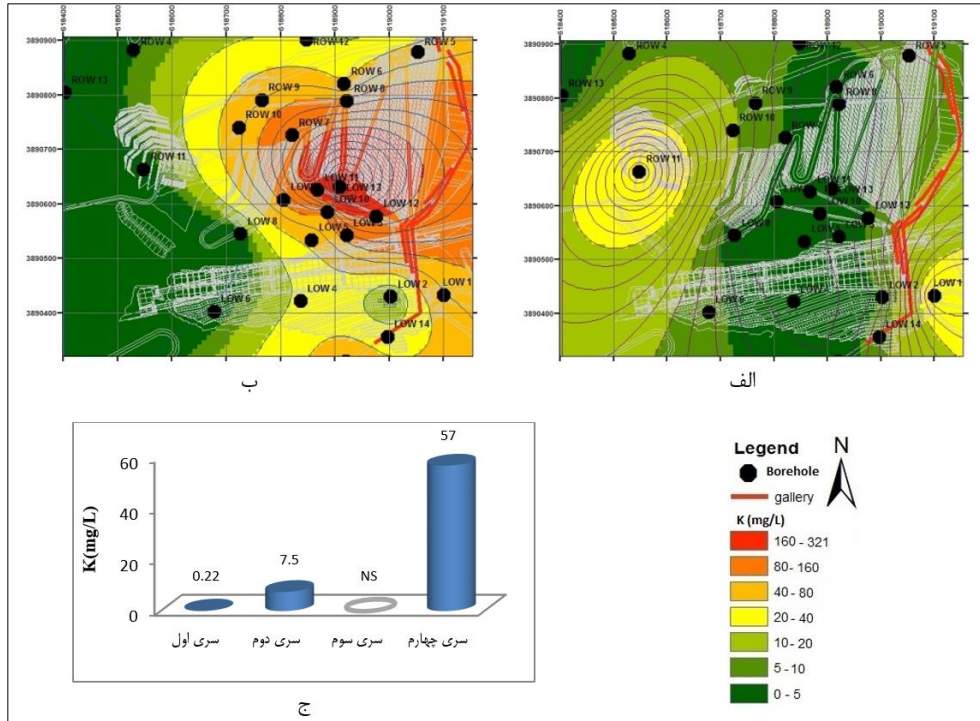
است قبل از آب‌گیری به علت جریان کم آب زیرزمینی محیط فاقد افزایش کاتیون K می‌باشد ولی در ترازهای نزدیک به بستر رودخانه در پایین دست به علت وجود جریان آب اثر آن قابل مشاهده است (شکل ۷ الف). در سری چهارم بعد از آب‌گیری به علت افزایش جریان آب زیرزمینی در محیط این عنصر وارد محیط شده و مقدار آن افزایش یافته است (شکل ۷ ب).

بررسی Na

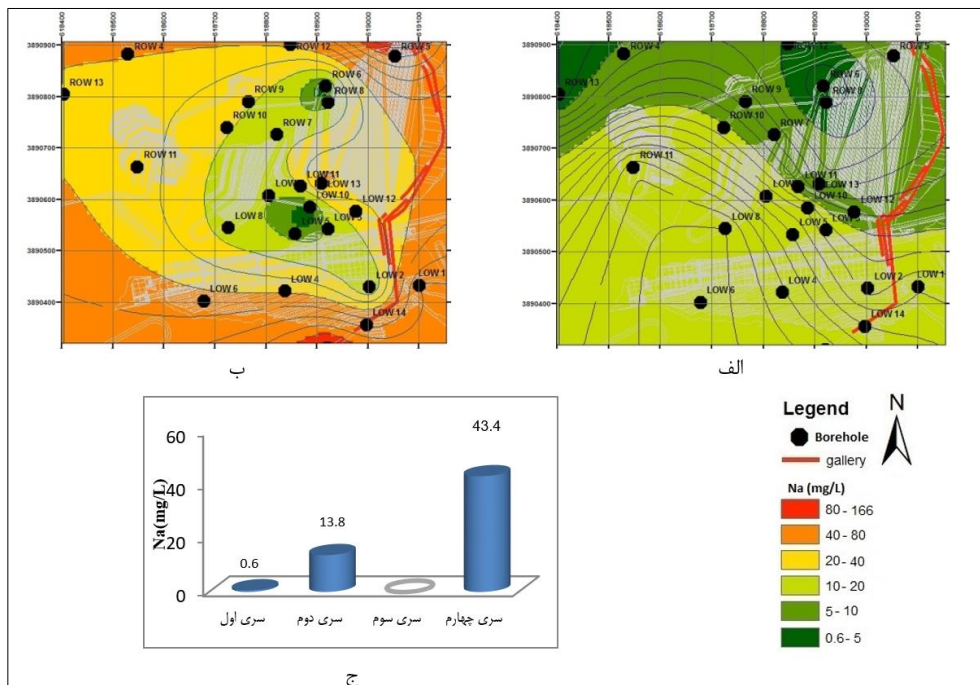
وضعیت این کاتیون مشابه پتاسیم می‌باشد. در این مورد هم به طوری که در شکل ۸ دیده می‌شود مقدار آن از ۰/۶ در نمونه بکر به ۴۳ میلی‌گرم در لیتر در نمونه‌های سری چهارم رسیده است.

بررسی K

هرچند که در ترکیب اصلی سیمان، پتاسیم دیده نمی‌شود اما با توجه به این که این عنصر در ترکیب رس وجود دارد و در ترکیبات سیمانی بعد از پخت مشارکت نمی‌کند، بنابراین در سیمان به صورت آزاد باقی می‌ماند و این عنصر همراه با سدیم، ترکیبات قلیایی سیمان را تشکیل می‌دهد. از آنجایی که این ترکیب در سیمان به صورت آزاد وجود دارد انتظار می‌رود به راحتی وارد محیط شده و اثر آن در آب دیده شود. نتایج آنالیزها مؤید این امر است، به طوری که در شکل ۷ ج، دیده می‌شود مقدار آن از ۰/۲ در نمونه بکر به ۵۷ میلی‌گرم در لیتر در نمونه‌های سری چهارم رسیده است. همان‌طور که در نقشه‌ها قابل مشاهده



شکل ۳- نحوه توزیع K در مراحل مختلف: الف) سری دوم، ب) سری چهارم، ج) مقایسه مقادیر پتاسیم در سری های مختلف (در سری سوم پتاسیم اندازه گیری نشده است).

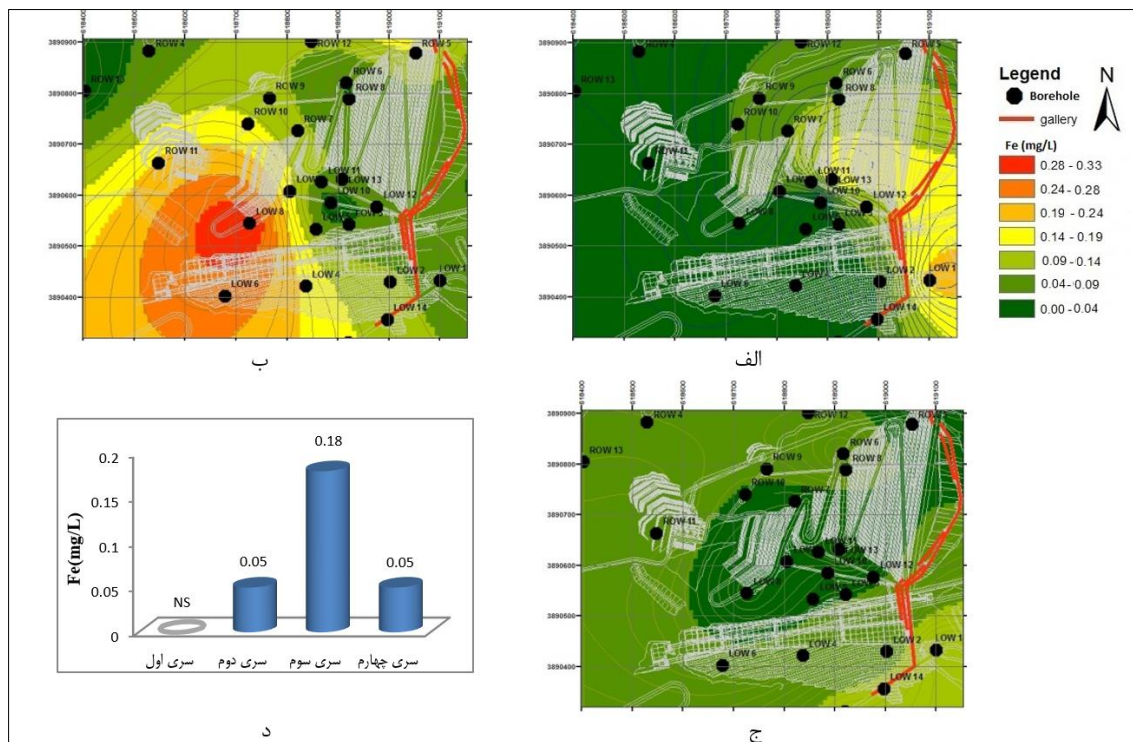


شکل ۴- نحوه توزیع Na در مراحل مختلف: الف) سری دوم، ب) سری چهارم، ج) مقایسه در سری های مختلف، (توضیح: سری سوم فاقد نمونه است).

بررسی Fe

آهن هم از جمله عناصری است که در ترکیبات اولیه سیمان قابل مشاهده است. این پارامتر در نمونه بکر اندازه‌گیری نشده است که نمونه‌های سری‌های بعدی با آن مقایسه شود اما نقشه‌های تولیدشده اثرات حضور این عنصر را به‌طور نسبی نشان می‌دهد (شکل ۹).

آنالیز سدیم هم در سری سوم انجام نشده است به همین خاطر در این دوره فاقد نتیجه است. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی شکل ۸ قبل از آب‌گیری به علت جریان کم آب زیرزمینی، محیط فاقد افزایش Na می‌باشد (شکل ۸ الف). در سری چهارم بعد از آب‌گیری به علت افزایش جریان آب زیرزمینی در محیط این عنصر وارد محیط شده و مقدار آن افزایش یافته است علت کم بودن مقدار آن در ترازهای میانی و پایینی پایین دست، رقیق شدن آن در فاصله زمانی ۲ سال است (شکل ۸ ب).

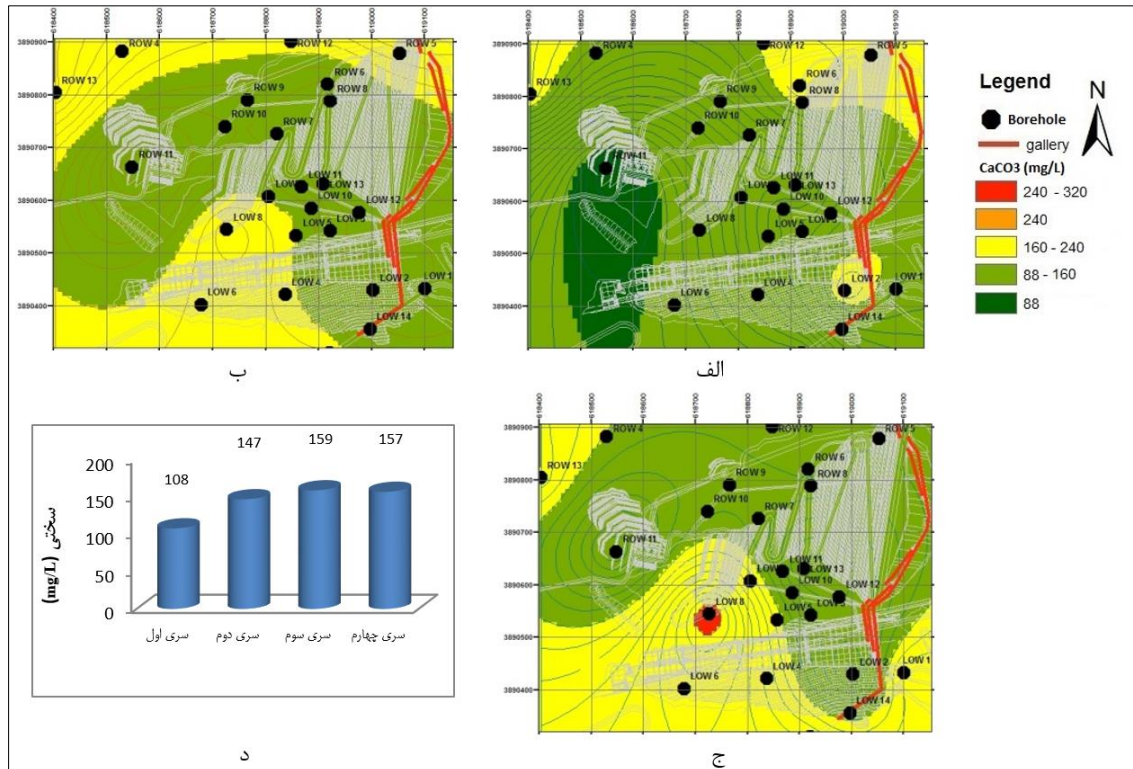


شکل ۵- نحوه توزیع Fe در مراحل مختلف: الف- سری دوم، ب- سری سوم، ج- سری چهارم، د- مقایسه میانگین مقدار آهن در سری‌های مختلف (توضیح: سری اول فاقد نمونه است "NS").

باتوجه به ترکیبات اولیه سیمان، کربنات کلسیم یکی از پارامترهایی است که می‌تواند وارد محیط شود و سبب افزایش سختی آب گردد. ناگفته نماند از آنجایی که لیتولوژی ساخت‌گاه بیشتر آهکی است، نمی‌توان افزایش این ترکیب را صرفاً به علت تزریق سیمان دانست. نتایج نشان‌دهنده افزایش این پارامتر از ۱۰۸ در نمونه بکر تا ۱۵۷ میلی‌گرم در لیتر در سری سوم می‌باشد (شکل ۱۰).

در سری دوم عمدتاً محیط دارای مقدار آهن کمی است (شکل ۹ الف) و بعد از آب‌گیری با افزایش جریان آب در سری سوم مقدار آن در محیط پخش (شکل ۹ ب) و در ادامه مقدار آن کاهش و در حال خارج شدن از محیط می‌باشد (شکل ۹ ج).

بررسی سختی $CaCO_3$



شکل ۶- نحوه توزیع سختی کربناته در مراحل مختلف: الف) سری دوم، ب) سری سوم، ج) سری چهارم، د) مقایسه میانگین سختی آب در سری‌های مختلف.

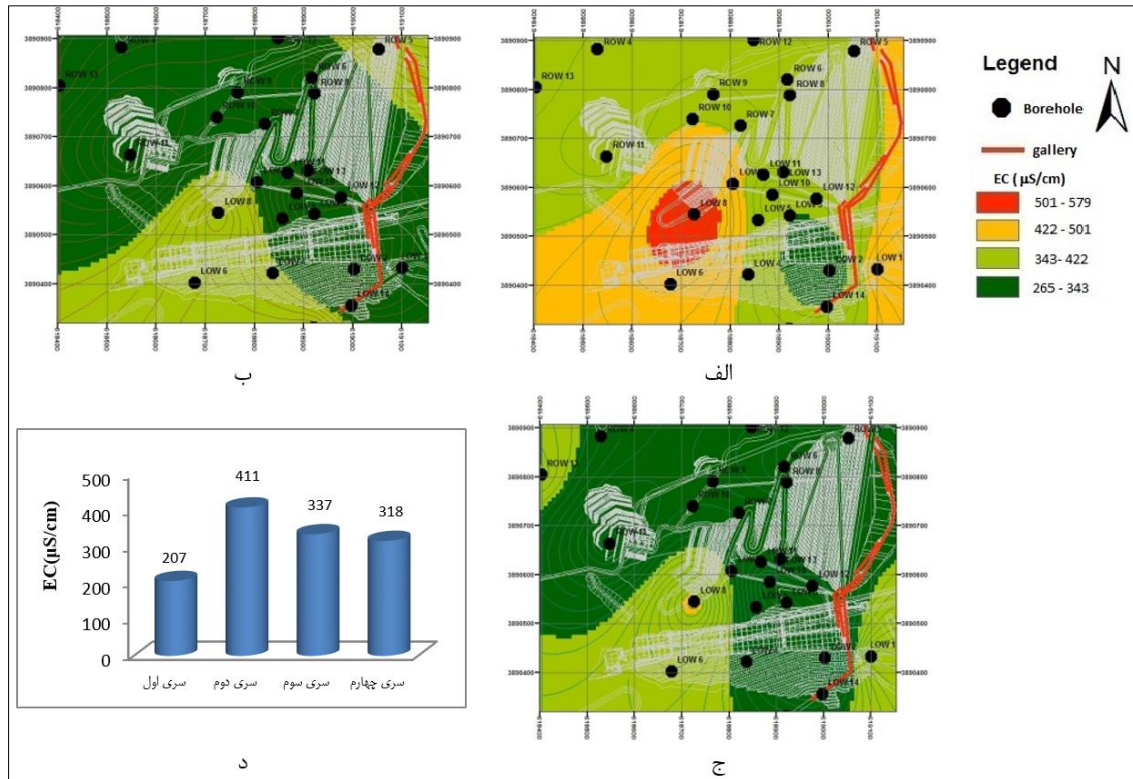
شکل ۱۱ د). در نمونه‌های سری دوم که بلافاصله بعد از تزریق اندازه‌گیری شده‌اند، هدایت الکتریکی افزایش داشته است و این امر نشان‌دهنده بالارفتن املاح در گمانه‌ها در اثر تزریق می‌باشد (شکل ۱۱ الف)، در نمونه‌های سری‌های بعد با افزایش گرادیان هیدرولیکی، املاح موجود در محیط در حال رقیق شدن و دور شدن از محیط می‌باشند (شکل ۱۱ ب و ج).

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که تغییرات کیفیت آب زیرزمینی پایین‌دست به‌طور قابل توجهی ناشی از تزریق سیمان به ساختگاه می‌باشد، این امر را می‌توان با مقایسه نتایج مخزن و گمانه‌ها در نمونه‌ها (جدول ۳) مشاهده کرد. همان‌طور که در این جدول قابل مشاهده است تغییر پارامترها مستقیماً تحت تأثیر به‌هم-خوردگی زیرسطحی ناشی از تزریق می‌باشد به‌طوری که املاح موجود در آب چاه‌ها، همیشه به‌طور قابل توجهی بیشتر از مخزن است.

بر اساس نتایج موجود، کربنات کلسیم قبل از آب‌گیری به نسبت کمتر از مراحل بعد از آب‌گیری است (شکل ۱۰ د). در نمونه‌های سری سوم مقدار این پارامتر در محیط افزایش یافته و در مرحله ۴ مقدار آن روندی کاهشی نشان می‌دهد (شکل ۱۰ ج)، با این نتایج می‌توان انتظار داشت با گذشت زمان مقدار آن کم و به مرور از محیط خارج شود.

بررسی EC

هدایت الکتریکی توانایی آب در انتقال جریان الکتریسیته می‌باشد و تابع عواملی مانند غلظت املاح و دما می‌باشد. همان‌طور که ذکر شد با گذشت زمان پارامترهای مختلف در پی‌زومترها دست‌خوش تغییر شده است از این‌رو هدایت الکتریکی هم از این قاعده مستثنی نیست. بر اساس نتایج موجود، هدایت الکتریکی قبل از آب‌گیری به نسبت کمتر از مراحل بعد از آب‌گیری است



شکل ۱۱۷- نحوه توزیع هدایت الکتریکی در مراحل مختلف: الف) سری دوم، ب) سری سوم، ج) سری چهارم، د) مقایسه مقادیر EC در سری‌های مختلف

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر برای بررسی تأثیر احداث پرده آب‌بند بر آب زیرزمینی عبوری، از داده‌های کیفی بلندمدت پی‌زومترهای تعبیه شده در بدنه و پایین‌دست سد استفاده شده است. به‌طور کلی نتایج بررسی‌ها نشان داد که با بهم‌زدن محیط طبیعی ساختگاه، خصوصیات ژئوشیمی محیط دست‌خوش تغییر شده است. در این تحقیق از خصوصیات هیدروژئوشیمی برای نشان دادن روند این تغییرات استفاده شده است. تغییرات به‌وجود آمده تابع نوع مواد اضافه شده به محیط، و جریان آب زیرزمینی و البته میزان سهولت جابجایی در محیط می‌باشد. پرده آب‌بند کیفیت آب زیرزمینی پایین‌دست را تغییر می‌دهد. با بررسی تغییرات موارد زیر حاصل شد:

- ۲- مقدار SiO_2 از حدود صفر در نمونه بکر تا میانگین ۱۵ میلی‌گرم در لیتر در نمونه‌های سری چهارم تغییر کرده است.
- ۳- مقدار SO_4 از $\frac{3}{4}$ در نمونه بکر تا میانگین $\frac{35}{34}$ میلی‌گرم در لیتر در نمونه‌های سری دوم در تغییر بوده است.
- ۴- مقدار کاتیون K از $\frac{0}{2}$ در نمونه بکر تا میانگین حدود ۵۷ میلی‌گرم در لیتر در نمونه‌های سری چهارم در تغییر بوده است.
- ۵- مقدار کاتیون Na از $\frac{0}{6}$ در نمونه بکر تا میانگین حدود ۴۳ میلی‌گرم در لیتر در نمونه‌های سری چهارم در تغییر بوده است.
- ۶- مقدار آهن در نمونه بکر اندازه‌گیری نشده ولی با توجه به حضور آن در ترکیبات سیمان، در نمونه‌های سری دوم، سوم و چهارم در تغییر است.
- ۷- کربنات کلسیم از ۱۰۸ در نمونه بکر تا ۱۵۹ میلی‌گرم در لیتر در نمونه‌های سری سوم در تغییر بوده است.

- ۱- میزان pH از $\frac{7}{17}$ در نمونه بکر تا $\frac{8}{49}$ (میانگین سری سوم) تغییر کرده است؛ این امر نشان می‌دهد که آب از حالت خنثی به سمت بازی تغییر پیدا کرده است و آب‌های زیرزمین پایین‌دست محدوده غیر قابل شرب می‌باشد.

رهنمای رهسپار، ص.، شاه نظری، ع.، خالدیان، م.، فرقانی، ا.، ۱۳۹۳. بررسی میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی به عناصر سنگین و پهنه‌بندی آن در منطقه گیلان مرکزی به کمک زمین‌آمار. آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۹، ۲۱-۱۳.

سعیدی‌رضوی، ب.، ۱۳۹۹. بررسی آسیب‌پذیری آب زیرزمینی دشت گلپایگان با استفاده از بهینه‌سازی روش دراستیک. هیدروژئولوژی، سال پنجم، شماره ۲، ۷۴-۶۱.

سامانی، س.، ۱۳۸۸. بررسی تغییرات کیفیت آب رودخانه کرخه در اثر احداث سد کرخه با استفاده از تحلیل‌های آماری و هیدروشمیایی. ششمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۳۴۴-۱۳۳۷.

سرهنگی، ا.، مدبری، س.، موسوی حرمی، س.، زیبایی، م.، ۱۳۹۱. بررسی آلودگی عناصر بالقوه سمی در مخزن سد لتیان، با نگرشی به نقش رسوبات در کنترل آلاینده‌ها. زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست. سال ۲۴، شماره ۹۴، ۱۴۶-۱۳۹. لاله‌زاری، ر.، طباطبایی، ح.، ۱۳۹۲. شبیه‌سازی تأثیر احداث سد زیرزمینی روی ذخیره آبخوان و پراکنش نترات در دشت شهرکرد. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۷، شماره ۶۵، ۳۸-۲۴.

شرکت مهندسی مشاور مه‌هاب قدس.، ۱۳۹۰. گزارش نهایی زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد داریان (مرحله دوم). ص ۱۵۲.

شرکت مهندسی مشاور مه‌هاب قدس.، ۱۳۹۷. بررسی و تحلیل نتایج ایزاردقیق سد داریان تا پایان اسفند ماه ۱۳۹۷. گزارشات دوره ای رفتارنگاری سد داریان، ۴۴۵ ص.

محمدپور، ه.، پیرخراطی، ح.، رحیم سوری، ی.، ۱۳۹۵. هیدروژئوشیمی و بررسی کیفیت آب سد مخزنی مه‌باد، استان آذربایجان غربی. یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۱۰، شماره ۲۰، ۱۵۰-۱۶۳.

۸- هدایت الکتریکی از ۱۷۰ در نمونه بکر تا ۵۸۵ میکروموس بر سانتی‌متر در نمونه‌های سری دوم در تغییر بوده است.
۹- با عبور جریان یکنواخت از بدنه سد و پرده تزریق، به مرور زمان از غلظت ترکیبات اضافه شده به آب زیرزمینی کاسته می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از شرکت مهندسی مشاور مه‌هاب قدس به‌خاطر در اختیار گذاشتن اطلاعات قدردانی به‌عمل می‌آید.

منابع

احمدی‌پور، ح.، خالدیان، م.، اشرف‌زاده، ا.، رضایی، م.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی مکانی و زمانی هدایت الکتریکی و کل جامدات محلول آب‌های زیرزمینی دشت گیلان. پژوهش آب در کشاورزی، دوره ۲۸، شماره ۳(ب)، ۶۶۷-۶۷۶.

توزنده جانی، م.، سفینیان، ع.، میرغفاری، ن.، سلیمانی، م.، ۱۳۹۶. بررسی ارزیابی احتمال آلودگی آرسنیک در آب زیرزمینی دشت همدان- بهار. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) جلد ۳۱، شماره ۳، ۸۸۵-۸۷۴.

جاوید، ع.، ۱۳۸۴. بررسی ارتباط هیدرولیکی رودخانه سنگ سیاه با آبخوان دشت دهگلان (استان کردستان) و تهیه مدل ریاضی آن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

جمشیدزاده، ز.، ۱۳۹۹. بررسی کیفیت آبخوان دشت کاشان با استفاده از تحلیل‌های هیدروژئوشیمی. هیدروژئولوژی، سال ۵، شماره ۱، ۴۶-۳۴.

حیدریان، ز.، حافظی مقدس، ن.، ندایی گیلارلو، س.، ابراهیمی، ف.، ۱۳۹۰. اثر سد الغدیر ساوه بر روی کمیت منابع آب زیرزمینی دشت ساوه. هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. دانشگاه صنعتی شاهرود.

خیامی، م.، خدائشاس، س.، دانش، ش.، داوری، ک.، ۱۳۸۷. بررسی تغییرات پارامترهای دما، نترات و فسفات در مخزن سد طرق. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران.

مصطفوی، ر.، ۱۳۸۸. بررسی هیدروژئوشیمی و مدل‌سازی آب زیرزمینی محدوده چاه‌های آب شرب شهر ساری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم تهران.

ندیری، ع.ا.، صدقی، ز.، ۱۳۹۸. ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان‌های چندگانه با استفاده از چهارچوب‌های عملی DRASTIC، SINTACS. هیدروژئولوژی، سال چهارم، شماره ۲، ۱۸۸-۱۷۱.

ندیری، ع.ا.، اصغری مقدم، ا.، صادقی، ف.، آقایی، ح.، ۱۳۹۰. بررسی آنومالی آرسنیک موجود در منابع آب سهند. محیط‌شناسی، سال ۳۸، شماره ۳، ۶۱-۷۴.

یزدانی، و.، منصوریان، ح.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی پتانسیل بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های کمی و کیفی آبخوان دشت نیشابور. مهندسی آبیاری و آب. سال ۴، شماره ۱۵، ۱۱۸-۱۳۳.

Fakharinia, M., Lalezari, R., Yaghoobzadeh, M., 2012. The Use of Subsurface Barriers in the Sustainable Management of Groundwater Resources. World Applied Sciences Journal, 19(11): 1585-1590.

Najar, I. A. Basheer, A., (2012). Assessment of seasonal variation in water quality of Dal Lake (Kashmir, India) using multivariate statistical techniques. WIT Transactions on Ecology and The Environment, 164, 1743-3541.