

ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی رسوبات مخروط‌افکنه در محل ایستگاه آبخوانداری کوثر

حمید حسینی‌مردی^{۱*} و مجتبی پاکپور^۲

۱ و ۲- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، فارس، ایران

نویسنده مسئول: hmarand@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۳/۸ پذیرش: ۱۴۰۰/۸/۵

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

ایستگاه کوثر قدیمی‌ترین سامانه‌ی پخش سیلاب در ایران، حدود ۴۰ سال پیش در دشت گربایگان فسا اجرا شده است. ضخامت لایه‌ها، بافت، نفوذپذیری، دانسیته کل، رطوبت، هدایت الکتریکی و pH رسوبات این مخروط‌افکنه مورد بررسی قرار گرفت. هدف این بررسی، معرفی مخروط‌افکنه‌های مناسب جهت پخش سیلاب و همچنین دستیابی به چگونگی ویژگی‌های رسوبی مخروط‌افکنه در ستون عمودی و مقایسه جانبی لایه‌های آن بوده است. در نوار اول سامانه در امتداد خاوری - باختری، سه نقطه انتخاب و تا سطح آب زیرزمینی چاه حفر گردید. با توجه به تغییرات مشاهداتی لایه‌های رسوبی تفکیک و با نمونه‌برداری، و آزمایش‌ها، ویژگی‌های رسوبی بدست آمد و ستون چینه‌شناسی هر کدام از چاه‌ها ترسیم و با روش تطبیق، ویژگی لایه‌ها در چاه‌های مختلف دنبال و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی مواد سازنده آبخوان (حداقل تا عمق ۳۰ متر از سطح زمین) مشاهده شد. نفوذ ذرات رس همراه سیلاب موجب تشکیل افق‌های بسیار نازکی با نفوذپذیری ناچیز (حدود ۰/۰۱ سانتی‌متر بر دقیقه) شده است. رطوبت، افزایش مواد آلی و فعالیت‌های میکرو و ماکروارگانیکی، هوازگی شیمیایی کانی‌ها را تشدید می‌کنند. در مخروط‌افکنه نشانه‌هایی از اثرات منفی نفوذ سیلاب، مثل ایجاد میان لایه‌های شور و یا تشکیل کانی‌های خاص دیده نشد. تغذیه مصنوعی مخروط‌افکنه‌های مناطق خشک، به شرط عدم وجود آلودگی و یا شوری در آن‌ها و استفاده از سیلاب با کیفیت مناسب، حداقل در دوره‌های کوتاه مدت، تاثیر شیمیایی و فیزیکی مخربی بر مواد سازنده آبخوان بر جای نمی‌گذارد.

واژگان کلیدی: فسا، رسوب، مخروط‌افکنه، فیزیکی، شیمیایی

پیشگفتار

در اثر تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی بوسیله پخش سیلاب بر سطح آبخوان‌های آبرفتی، بخش غیراشباع آبخوان در زمانی کوتاه، با نفوذ مقدار زیادی آب و املاح محلول و مواد بسیار ریز غیرمحلول (رس‌های بسیار ریز) مواجه می‌شود. این فرایند می‌تواند در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محیط انتقال (مواد سازنده آبخوان) و همچنین عامل انتقال (سیل نفوذ یافته) تغییراتی ایجاد کند. علاوه بر این، شرایط اکولوژیکی محیط نیز تغییر می‌کند (گسترش و افزایش موجودات زنده و بویژه گیاهان). این فرایند نیز می‌تواند در شرایط فیزیکی و شیمیایی اولیه در سطح و عمق آبخوان تغییر ایجاد کند. بطور کلی چنین تغییراتی کاملاً شناخته شده نیستند؛ و از طرفی اثر مثبت و بویژه منفی آن‌ها نیز مبهم است.

به دلیل تبخیر زیاد و بارش کم در مناطق خشک و نیمه خشک، بخش زیادی از آب باران که از سطح زمین نفوذ می‌کند، از طریق فرایند تبخیر و تعرق، خارج می‌شود و معلوم نیست که مابقی نیز می‌تواند بخش غیراشباع را طی کرده و به سطح آب زیرزمینی اضافه شود. به همین دلیل در شرایط طبیعی آبخوان‌های واقع در این مناطق، فرایندهای ناشی از تقابل آب و مواد سازنده آبخوان (رسوب و سنگ) به دلیل رطوبت کم و خشکی محیط، غالباً فرایندی کند است. وقتی این شرایط طبیعی به واسطه ماده‌ی مصنوعی، مثل تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی به هم می‌خورد، انتظار می‌رود فرایندهای فیزیکی و شیمیایی نرمال قبلی نیز دچار ناهنجاری‌هایی شوند.

آبخوان گریایگان در رسوبات مخروط‌افکنه‌ای تشکیل شده که ضخامت زیادی ندارد و از جمله آبخوان‌های کم عمق محسوب می‌شود. اصولاً نیز رسوبات کواترنر و آبخوان‌های غیرمحبوس بیش از آبخوان‌های محبوس از محیط پیرامون خود متاثر می‌شوند (بچمت، ۱۹۹۴). بنابراین طرح‌های تغذیه مصنوعی که بر روی آبخوان‌های غیرمحبوس اجرا می‌شوند و امروزه به عنوان آبخوانداری شناخته شده‌اند، می‌توانند تأثیرات مختلفی بر ویژگی‌های آب‌شناسی و رسوب‌شناختی این آبخوان‌ها داشته باشند. در اثر تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی، امکان حرکت ذرات رس به سمت سطح سفره آب وجود دارد، امکان نفوذ رس‌ها تا عمق ۸ متر از سطح زمین وجود دارد (محمدمدنی و همکاران، ۱۹۹۷). در واقع سیلاب‌ها غالباً نقش انتقال مواد را بصورت محلول و جامد از حوضه‌های بالادست به مناطق پایین دست به عهده دارند. بررسی رسوب‌شناسی رخساره‌های رسوبی مخروط‌افکنه‌ها ارتباط اختصاصات شیمیایی و فیزیکی آن‌ها به ویژگی‌های حوضه‌های آبخیز بالادست را بازگو می‌کند (چمپال و همکاران، ۱۹۹۷). مطالعات و پژوهش در رسوبات مخروط‌افکنه‌ها از جنبه‌های مهندسی، زیست‌محیطی، کشاورزی و باستان‌شناسی اهمیت داشته بنابراین روش‌های مختلفی برای بررسی آن‌ها بکار گرفته شده است. ایجاد مدل‌های سه بعدی زمین‌شناسی آبخوان و شبیه‌سازی جریان زیرزمینی (پائولوکوانتال و همکاران، ۲۰۱۲)، بررسی چینه‌های رسی عهد حاضر به عنوان خاک‌های قدیمی و با استفاده از دانه‌بندی و مغناطیس‌سنجی در شرایط عمودی و افقی (کوئینگ کیانگ و همکاران، ۲۰۰۸)، مطالعات تاریخی زیست‌محیطی و اکولوژی دیرینه از طریق ژئوکرونولوژی (جیمز بی اینس و همکاران، ۲۰۰۹)، بررسی‌های کانی‌شناسی و رسوب‌شناسی بعنوان روش کاربردی برای شناسایی و تفسیر شرایط اقلیمی گذشته (عرفان و همکاران، ۱۳۹۹؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۹)، مورد توجه و استفاده بوده است. همچنین مطالعات متعدد دیگری برای بررسی ویژگی سیلاب‌های دیرینه با استفاده از رسوب‌شناسی رخساره‌ها از طریق تطبیق ستون‌های چینه‌شناسی (جوناتان ای هاروی و همکاران، ۲۰۱۱؛ مارتین استاک و همکاران، ۲۰۱۲؛ مروان آ حسن، ۲۰۰۹؛ جی ارناتود فاستا و همکاران، ۲۰۱۰)، در رسوبات عهد حاضر و آبرفت مخروط‌افکنه‌ها مورد استفاده قرار گرفته و

بنابراین شناخت این تغییرات اهمیت علمی و کاربردی پیدا می‌کند و در مرحله بعد نیز تعیین آثار مثبت و یا منفی این تغییرات می‌تواند موجب اصلاح اثر بخشی طرح‌های تغذیه مصنوعی گردد. رسوب‌شناسی و آب‌شناسی رخساره‌های عمودی نقاطی از عرصه پخش سیلاب و مقایسه جانبی آن‌ها با یکدیگر و همچنین با نواحی مشابه بدون پخش سیلاب می‌تواند آثار نفوذ آب، املاح، رس‌ها و تقابل آن‌ها با مواد زمین و با یکدیگر را در بخش‌های مختلف یک آبخوان نشان دهد. طرح پخش سیلاب گریایگان فسا حدود ۴۰ سال قدمت دارد و از این نظر برای دنبال کردن اهداف این تحقیق مناسب به نظر رسید.

مخروط‌افکنه‌های آبرفتی غالباً آبراه‌های فصلی زودگذری که رژیم جریان و پویایی رسوب آن‌ها بوسیله ویژگی‌های مخروط‌افکنه و اندرکنش آب زیرزمینی آبخوان‌های کم عمق کنترل می‌شود را در بر می‌گیرند. در طول آبراهه‌ها جزء به جزء اتصال به جریان زیرقشری آبخوان، بویژه در بخش انتهایی مخروط‌افکنه، جایی که آب زیرزمینی ممکن است به آبراهه برگردد، اتفاق می‌افتد. درک اندرکنش بین جریان‌های فصلی آبراهه و آبخوان زیرین آن، پیش‌بینی‌های بهتری را از زمان و بزرگی جریان‌های آبی و به نوبه خود اثرات احتمالی بر مسیرهای تخلیه جریان فراهم می‌کند (بلک برن و همکاران، ۲۰۲۱). بررسی منابع تغذیه و تحول هیدروژئوشیمیایی آب زیرزمینی در آبخوان‌های کم عمق مخروط‌افکنه‌ها نشان می‌دهد که در نتیجه اندرکنش آب نفوذی و مواد آبخوان، تحول هیدروژئوشیمیایی منابع آب زیرزمینی از ترکیب Ca-HCO_3 , Na-HCO_3 به Na-SO_4 رخ داده است (فادونگ لی و همکاران، ۲۰۰۷). بررسی‌های متعدد نشان داده است که در اثر تغذیه مصنوعی و فروراندن سیلاب به درون زمین با استفاده از طرح‌های پخش سیلاب، سطح آب زیرزمینی خیز برداشته و بالا می‌آید (قهاری و پاکپور، ۱۳۸۶؛ حسینی‌مردی و همکاران، ۱۳۹۳؛ چایانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ ماتهوجی کورل و همکاران، ۲۰۱۰؛ سارا توئید و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین نفوذ و افزایش حجم اشباع آبخوان می‌تواند موجب تغییرات شیمیایی و فیزیکی در آب و مواد سازنده آبخوان گردد.

عرض حدود چند ده متر از بالادست (ابتدا و شروع فرایند پخش سیلاب بر روی مخروط‌افکنه) تا پایین دست بطور متوالی احداث شده‌اند. بر این اساس هنگام رخداد سیل نوارهای ابتدایی اصولاً رسوبات بیشتری در واحد سطح خواهند گرفت. بنابراین نقاط مورد نظر این تحقیق (سه چاه W1 (۷۸۶۹۱۶-۳۱۶۷۴۷۱)، W2 (۷۸۶۵۵۲-۳۱۶۸۸۶۵-۷۸۶۲۹۶) W3 در اولین حوضچه سامانه پخش سیلاب انتخاب شدند (شکل ۱ و جدول ۱).

روش بررسی

روش بررسی‌ها شامل دو بخش میدانی و آزمایشگاهی می‌باشد. پس از بررسی منابع و اطلاعات و نقشه‌ها، با استفاده از بازدید و مشاهدات میدانی، در اولین نوار (حوضچه) پخش سیلاب طرح تغذیه مصنوعی کوثر که عملاً بیشترین زمان و حجم سیل‌گیری را در بخش بالادست مخروط‌افکنه داشته، سه حلقه چاه تا عمق سطح آب زیرزمینی (حدود ۳۰ متر) حفر شد. مواد رسوبی در نیمرخ عمودی چاه‌ها مشاهده و بررسی شدند. در صورت مشاهده تغییر در هرکدام از ویژگی‌های ضخامت، بافتی، چگونگی کمی و کیفی ریشه گیاهان در مواد رسوبی، آن بخش بعنوان یک افق رسوبی (لایه) مجزا مشخص گردیده، ضخامت آن اندازه‌گیری و نمونه‌ای در حد ۵ کیلوگرم از آن تهیه گردید. ویژگی‌های رطوبتی لایه‌ها با استفاده از نصب سنسورهای دستگاه TDR در بدنه همین چاه‌ها و در قالب پروژه خاص دیگری انجام شده است (پاکپور، ۱۳۹۳). برای اندازه‌گیری نفوذپذیری لایه‌ها در کنار چاه حفاری پلکانی زمین صورت گرفته و پس از شناسایی و تطبیق لایه‌ها، با استفاده از کاربرد حلقه‌های مضاعف انجام شده است (پاکپور، ۱۳۹۳). در بخش بررسی‌های آزمایشگاهی، نمونه‌ها در آزمایشگاه فرسایش و رسوب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس ابتدا آماده‌سازی و سپس با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی، تجزیه و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها شامل دانه‌بندی و بافت (درصد ماسه، سیلت و رس)، دانسیته کل، هدایت

نتایج آن‌ها منجر به روشنگری و پاسخ به برخی پرسش‌ها در ارتباط با این رخساره‌های رسوبی و ژئومرفولوژیک شده است. تداخل آب نفوذ یافته با آب زیرزمینی از طریق بررسی کیفیت شیمیایی جریان در رسوبات کواترن (گونتر، ۲۰۰۱)، هیدرولیز کانی‌های آلومینوسیلیکات‌ها، مثل پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن، به عنوان فرایند هیدروژئوشیمیایی کنترل‌کننده شیمی آب زیرزمینی در آبخوان‌های کواترن (گو و همکاران، ۲۰۰۴) مواردی مشابهی هستند که نشان‌دهنده تاثیرگذاری احتمالی طرح‌های تغذیه مصنوعی بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مواد سازنده آبخوان‌ها است. در این پژوهش با استفاده از ترسیم ستون چینه و رسوب‌شناسی نیمرخ رسوبات (چاه‌ها)، و تحلیل تغییرات نسبت به عمق و همچنین مقایسه تطبیقی لایه‌های هر چاه با نقاط مجاور، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مخروط‌افکنه تحت تاثیر سامانه پخش سیلاب مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. تعیین تغییرات ضخامت و بافت لایه‌ها و بررسی چگونگی حضور ریشه‌های گیاهی و آثار آن‌ها در اعماق رسوبات مخروط‌افکنه در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش‌های گذشته، نفوذپذیری مواد سطحی آبخوان‌های تحت پخش سیلاب مورد بررسی قرار گرفته که نتایج آن‌ها بویژه در رابطه با اثربخشی طرح‌های پخش سیلاب از نظر تغذیه آبخوان خالی از اشکال نیست. در تحقیق حاضر، بررسی تغییرات نفوذپذیری مخروط‌افکنه در اعماق مختلف تا سطح آب زیرزمینی (حدود ۳۰ متری سطح زمین) و جستجوی تحلیلی علل آن، مورد توجه بوده است که در رابطه با مخروط‌افکنه‌های تحت پخش سیلاب روشنگری بیشتری خواهد کرد.

مواد و روش‌ها

انتخاب محدوده و نقاط مورد بررسی

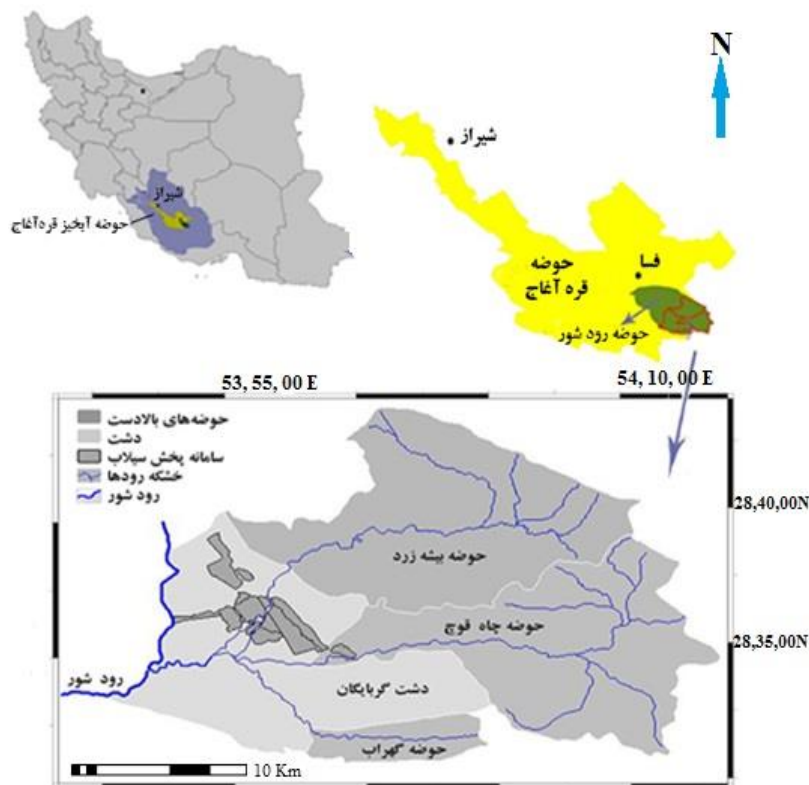
ایستگاه آبخوان داری کوثر، در دشت گریاگان در ۵۰ کیلومتری جنوب خاوری فسا، بر روی سطح مخروط‌افکنه بیشه زرد اجرا شده است. شاخص اصلی انتخاب این محل برای اجرای پژوهش، اجرای طرح قدیمی تغذیه مصنوعی با استفاده از پخش سیلاب با قدمت بیش از ۳۵ سال بر روی آن بوده است. سامانه پخش سیلاب مرکب از اجزایی است که مهمترین آن کانال‌ها و حوضچه‌های تغذیه هستند. این حوضچه‌های نواری طویل (چند صد متر) با

ویژگی‌های فیزیکی افق‌ها (لایه‌های) رسوبات مخروط‌افکنه (لوگ ترسیم شده چاه‌ها) به روش تطبیق مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. با استفاده از داده‌های بدست آمده از شاخص‌های اندازه‌گیری شده، نیمرخ عمودی مخروط‌افکنه در هر کدام از چاه‌ها ترسیم و ویژگی لایه‌های رسوب هر لایه از سطح زمین تا آخرین عمق در هر چاه و همچنین با چاه‌های مجاور مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

توصیف محدوده تحقیق

طرح پخش سیلاب بر روی مخروط‌افکنه‌ای در بخش شمال خاوری دشت به وسعت حدود ۲۰۰۰ هکتار اجرا شده است. آبخیزهای کوه گر، چاه قوچ و گهراب جمعاً با مساحت ۴۰۰ کیلومتر مربع، در بالا دست مخروط‌افکنه دشت گربایگان قرار دارند که خشکه رودهای بیشه زرد، چاه قوچ و گهراب سیلاب آن‌ها را به این دشت می‌رسانند. منطقه گرم و خشک و نزولات آسمانی آن عموماً از نوع باران و همراه با تغییرات زمانی و مکانی زیاد است. میانگین بارش سالانه منطقه حدود ۲۰۶ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه ۲۵۴۸ میلی‌متر است.

الکتریکی، اسیدیته و کربن آلی نمونه‌های رسوب اندازه‌گیری شدند. هدایت الکتریکی عصاره اشباع رسوب (ECe) و اسیدیته گل اشباع رسوب (pH)، پس از گذشت ۲۴ ساعت از تهیه گل اشباع با دستگاه pH متر و هدایت‌سنج الکتریکی تعیین گردید. تعیین اندازه ذرات خاک با روش هیدرومتری (پگ و همکاران، ۱۹۸۲) انجام و بافت خاک بر اساس طبقه‌بندی وزارت کشاورزی آمریکا (USDA) تعیین گردید. ترسیم و بررسی ستون‌های چینه‌شناسی یکی از روش‌های مرسوم و پذیرفته شده در مطالعات زمین‌شناسی است که در تحقیقات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است (آماجور و همکاران (۱۹۸۹)، سوکا (۱۹۹۹)، اسندن (۱۹۹۹)، اسلات (۲۰۰۶)، ریجرز (۲۰۱۱)، دانیل فرانک و همکاران (۲۰۱۴)، جین‌لای‌زوچون و همکاران (۲۰۱۹)، گنزالس‌رگالادو و همکاران (۲۰۱۹)). روش مقایسه و تطبیق جانبی لایه‌های رسوب از سه جنبه بررسی ویژگی‌های فیزیکی (ضخامت، بافت و...)، از نظر زمان و از نظر محیط رسوبگذاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این بررسی



شکل ۱. موقعیت محدوده دشت گربایگان و حوزه‌های آبخیز مرتبط

جدول ۱. چگونگی افق‌های رسوبی از سطح تا عمق ۱۰ متری نیمرخ عمودی چاه شماره ۳

کد لایه	عمق چاه (cm)	ضخامت لایه (cm)	ویژگی لایه (افق) رسوبی
A	۰-۴۲	۴۲	ریزدانه، ده سانتی‌متر بالا بدون سنگریزه، ریشه وجود ندارد، در ادامه حدود ۱۰٪ سنگریزه (۵ میلی‌متر)، بافت Sandy loam
B	۴۲-۱۳۰	۸۸	ریزدانه، ریشه وجود ندارد و حدود ۱۰٪ سنگریزه‌های ریز (۵ میلی‌متر)، گاهی ریشه قطور دیده می‌شود، در بخش‌های میانی به بعد درصد سنگریزه کم می‌شود (حدود ۳٪)، آثار ریشه‌های نازک زیادی مشاهده می‌شود. بافت Sandy loam
C	۱۳۰-۱۸۰	۵۰	ریزدانه، ریشه وجود ندارد، حدود ۱۰٪ سنگریزه‌های ریز (۵ میلی‌متر)، بافت loamy sand
B	۱۸۰-۲۵۵	۷۵	متوسط تا درشت دانه، حدود ۳٪ سنگریزه دارد، آثار ریشه‌های نازک به چشم می‌خورد، کم و بیش ریشه قطور هم دیده می‌شود. بافت Sandy loam
C	۲۵۵-۳۳۵	۸۰	ریزدانه، ریشه وجود ندارد و دارای سنگریزه‌های ریز (۵ میلی‌متر) حدود ۱۰٪، loamy sand
B	۳۳۵-۴۴۰	۱۰۵	حدود ۳٪ دارای سنگ و سنگریزه است. آثار ریشه‌های نازک و کم و بیش ریشه هم مشاهده می‌شود. بافت loamy sand
C	۴۴۰-۴۷۰	۳۰	ریزدانه، ریشه وجود ندارد و حدود ۱۰٪ سنگریزه (۵ میلی‌متر)، ریشه قطور دیده می‌شود، بافت loamy sand
B	۴۷۰-۶۳۰	۱۶۰	متوسط دانه، حدود ۳٪ سنگ و سنگریزه دارد. آثار ریشه‌های نازک و کم و بیش ریشه هم مشاهده می‌شود. بافت Sandy loam
C	۶۳۰-۶۶۰	۳۰	ریزدانه، ریشه وجود ندارد. حدود ۱۰٪ سنگریزه (۵ میلی‌متر)، ریشه قطور دیده می‌شود. بافت loamy sand
B	۶۶۰-۷۶۰	۱۰۰	حدود ۳٪ دارای سنگ و سنگریزه است. آثار ریشه‌های نازک و کم و بیش ریشه هم مشاهده می‌شود. بافت loamy sand
C	۷۶۰-۸۰۰	۴۰	ریزدانه، ریشه وجود ندارد. حدود ۱۰٪ سنگریزه (۵ میلی‌متر)، ریشه قطور دیده می‌شود. بافت loamy sand
B	۸۰۰-۸۴۰	۴۰	متوسط دانه، حدود ۳٪ سنگریزه دارد. آثار ریشه‌های نازک و کم و بیش ریشه هم مشاهده می‌شود. بافت Sandy loam
C	۸۴۰-۸۷۰	۳۰	ریزدانه، ریشه وجود ندارد. واجد حدود ۱۰٪ سنگریزه‌های ریز (۵ میلی‌متر)، ریشه قطور دیده می‌شود، بافت loamy sand
B	۸۷۰-۹۵۰	۸۰	متوسط دانه، حدود ۳٪ سنگ و سنگریزه دارد. آثار ریشه‌های نازک و کم و بیش ریشه هم مشاهده می‌شود. بافت Sandy loam
C	۹۵۰-۹۸۰	۳۰	ریزدانه، ریشه وجود ندارد. واجد حدود ۱۰٪ سنگریزه‌های ریز (۵ میلی‌متر)، ریشه قطور دیده می‌شود، بافت loamy sand
B	۹۸۰-۱۰۰۰	۲۰	ریزدانه، حدود ۳٪ سنگریزه دارد. آثار ریشه‌های نازک و کم و بیش ریشه هم مشاهده می‌شود. بافت loamy sand

*عمق نهایی چاه شماره سه ۳۱/۶ متر است.

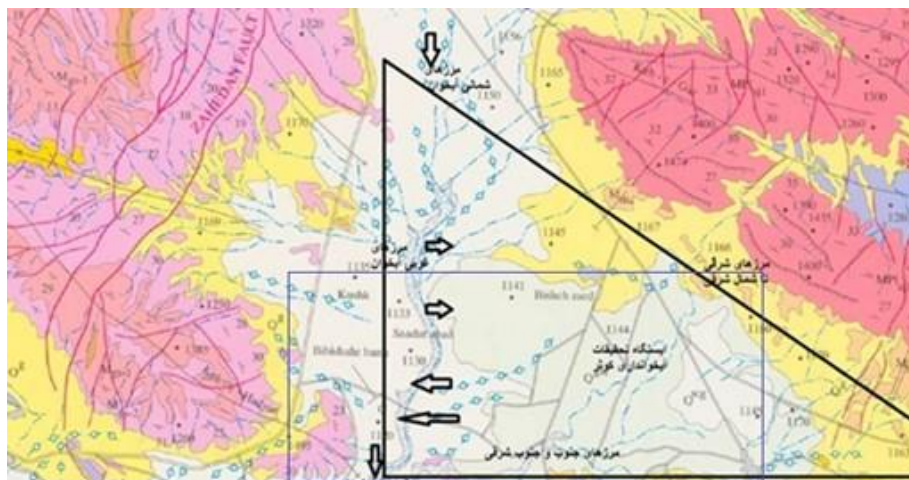
زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در ناحیه‌ی چین‌های ساده‌ی زاگرس، با راستای شمال‌باختر- جنوب‌خاور واقع شده است. از نظر ریخت‌زمین، این محل بر سطح سردشتی فرسایشی قرار دارد که در پایین دست خود به دشت‌سر پوشیده یا دشت منتهی می‌شود. بالادست این محل نیز حوضه‌ای کوهستانی قرار دارد. بنابراین زمین‌شناسی محل تحقیق بیشتر شامل زمین‌شناسی رسوبات ناپیوسته سیستم کواترنری دشت می‌شود. چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی دشت نیز، در رابطه با ضخامت، دانه‌بندی، جنس و ویژگی‌های هیدرولیکی مواد رسوبی سازنده آبخوان، جنس و عمق قرار گرفتن سنگ بستر آبخوان اهمیت دارند. قدیمی‌ترین سازندی رخنمون یافته در چین‌خوردگی ناودیدی این منطقه، سازند آسماری- جهرم (آهکی و دولومیتی) است و سپس به

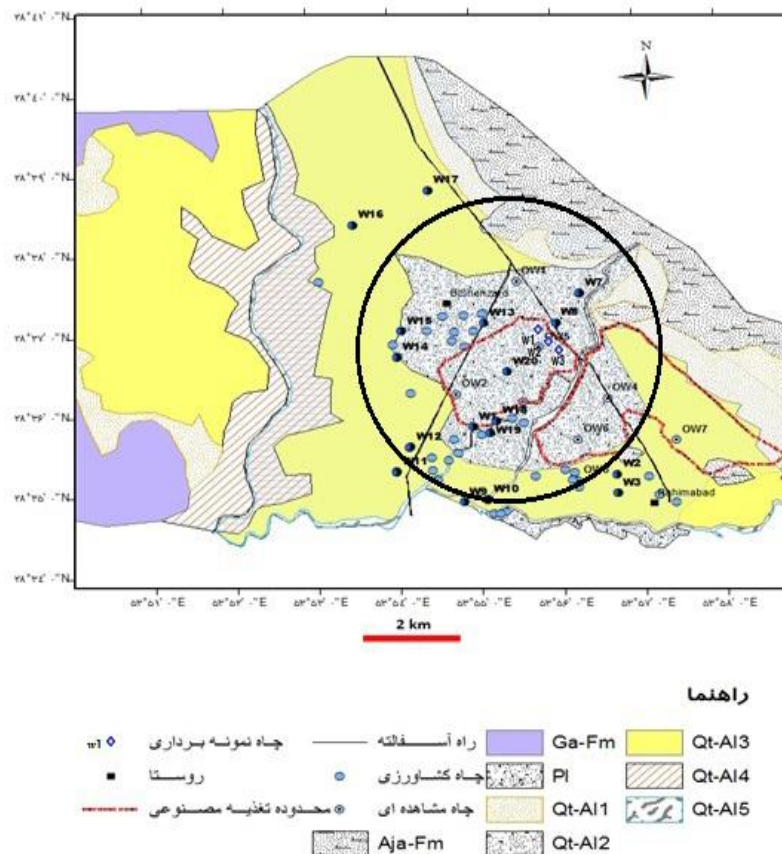
ترتیب، سازندهای گچساران (سنگ‌های آهکی، آهک‌رسی، آهک گچ‌دار و سنگ گچ)، رازک (مارن‌های سیلتی قرمزمایل به سبز تا خاکستری و آهک‌های سیلتی)، میشان (مارن و آهک مارنی)، آغاچاری (تناوب ماسه‌سنگ‌های آهکی قهوه‌ای تا خاکستری و مارن‌های قرمزرنج با رگه‌های ژئوپس و سیلستون قرمزرنج) و بختیاری (کنگلوما با دانه‌های گرد و نسبتاً گرد آهکی و سیلیسی)، که جوان‌تر هستند نیز در این چین‌خوردگی رخنمون دارند. در قسمت‌های کوهپایه‌ای و خروجی حوزه آبخیز بیشه زرد، مخروط‌افکنه‌ای متشکل از رسوبات آبرفتی درشت‌دانه شامل ذرات و قطعاتی در اندازه تکه سنگ‌های رودخانه‌ای تا دانه‌های شن، سیلت و رس ته‌نشین شده است. این رسوبات آبرفتی از ضخامت کمی برخوردار بوده و عموماً مربوط به مسیل فعال مرکزی حوضه هستند. در ادامه سیلاب‌ها، در پهنه‌های کم‌شیب دشت گسترده شده

سنگ گچ، در حاشیه دشت برونزد دارند. در محدوده دشت نیز شش رخساره از واحد کواترنری شامل رسوبات کوهپایه‌ای (Qt-A11)، رسوبات مخروط‌افکنه آبرفتی (Qt-A12)، رسوبات ریزدانه دشت آبرفتی (Qt-A13)، رسوبات تراس و حاشیه رودخانه (Qt-A14)، رسوبات بستر فعال مسیل و رودخانه (Qt-A15) قابل مشاهده و بررسی هستند.

و رسوباتی غالباً ریز تا متوسط دانه بر جا گذاشته‌اند. شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی در برگیرنده حوزه آبخیز بیشه زرد و شکل (۳)، نقشه زمین‌شناسی دشت گریایگان را نشان می‌دهند. زمین‌شناسی محدوده مخروط‌افکنه و دشت گریایگان در شکل (۲) با مقیاس بزرگ‌تر و دقیق‌تر نمایش داده شده است. واحدهای سنگی سازند آجاجاری (Aja-Fm) متشکل از ماسه‌سنگ و مارن و سیلتستون، سازند گچساران (Ga-Fm) متشکل از سنگ‌آهک گچی و



شکل ۲. محدوده آبخوان مورد مطالعه و حدود مرزهای آن بر روی نقشه (نقشه زمین‌شناسی فسا، سازمان زمین‌شناسی کشور)



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی مخروط‌افکنه و دشت گریایگان (این محدوده در چهارگوش مشخص شده در شکل ۲ قرار می‌گیرد)

هیدروژئولوژی

(مصباح، ۱۳۹۰). نوع رس بیشتر از نوع ایلیت، کلریت، اسمکتایت و پلی‌گورسایت بوده و کانی‌های غیررسی در شبکه‌های پخش سیلاب شامل کوارتز، فلدسپار، کلسیت و دولومیت هستند. در دشت گربایگان، شبکه‌های گسترش سیلاب از سال ۱۳۶۱ در ایستگاه آبخوان‌داری کوثر اجرا شده‌اند (کوثر، ۱۳۷۲). در یک طرح کلی و عمومی، در سامانه‌های پخش سیلاب با ایجاد سازه‌ای نسبتاً ساده بخشی از سیلاب رودخانه (معمولاً فصلی) منحرف و بوسیله کانال آبرسان وارد کانال آبرسان گسترشی و کانال‌های گسترشی و از سراسر طول لبه کانال‌ها نیز آب بصورت لایه‌ای وارد حوضچه‌های تغذیه و پخش می‌شود (شکل ۴). کل حجم سیلاب استحصال شده طی ۲۹ سال (۱۳۶۱ تا ۱۳۸۵) حدود ۱۳۰ میلیون مترمکعب بوده که با کسر مقدار ده درصد به عنوان تبخیر و تعرق، حجم آب تغذیه شده حدود ۱۱۷ میلیون مترمکعب بوده است (حسینی مرندي، ۱۳۹۳). بررسی در عرصه شاهد نشان می‌دهد که قبل از پخش سیلاب ویژگی‌های خاک در این مخروط‌افکنه نسبت به شرایط حدود ۲۰ سال بعد از پخش سیلاب تغییرات معنی‌داری کرده‌اند. بافت خاک سنگین‌تر شده، درصد رس و سیلت افزایش داشته ولی میزان ماسه به نسبت کمتر شده است. میزان کربن آلی قبل از پخش سیلاب خیلی کمتر بوده و بعد از اجرای طرح بیش از ۱۵۰ درصد افزایش یافته است. برخی دیگر از عوامل شیمیایی از جمله فسفر، پتاس و نیتروژن نیز بطور معنی‌داری افزایش یافته‌اند. هدایت الکتریکی افزایش یافته ولی اسیدیته قدری کاهش یافته است (رهبر و کوثر، ۱۳۸۱؛ رهبر، ۱۳۸۹). نفوذپذیری سطح خاک در مخروط‌افکنه نسبت به قبل از طرح (عرصه شاهد) کاهش قابل توجهی یافته است (رهبر، ۱۳۸۹). ولی بررسی ستون رسوب‌شناسی نشان می‌دهد که هرچند نفوذپذیری در لایه سطحی گاهی کاهش یافته است ولی در مجموع کاهش قابل توجهی در نفوذپذیری نیز دیده نمی‌شود (پاکپور، ۲۰۱۵).

نتایج

انطباق رسوب‌شناختی لایه‌های رسوبی نیمرخ‌ها

در سه نقطه (چاه) مورد بررسی (W1, W2, W3)، سه افق (لایه) رسوب‌شناختی قابل بررسی و تفکیک هستند؛ که با کد حرفی A، B و C نام گذاری شده‌اند. ممکن است لایه‌ها

مخروط‌افکنه بیشه زرد، آبخوان گربایگان را تشکیل داده که وسعتی حدود ۲۶۹/۷۲ کیلومتر مربع داشته و از نوع آبخوان آبرفتی آزاد و ناهمگن و تقریباً به وسیله ارتفاعات و رودخانه‌های فصلی محدود می‌گردد (شرکت آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۸۶). جنس و اندازه رسوبات منفصل تشکیل دهنده آبخوان در نقاط مختلف آن متغییر بوده، در حاشیه ارتفاعات درشت‌تر و در مرکز آن از رسوبات دانه ریز و ماسه تشکیل شده است. حداکثر ضخامت آبرفت ۹۰ متر تخمین زده می‌شود (حسینی مرندي، ۱۳۹۳). عمق سطح آب زیرزمینی در آبخوان بین ۹/۲ تا بیش از ۷۶ متر در نوسان است. میزان تغذیه از کف مسیل‌ها و پخش سیلاب با استفاده از مدل‌های ریاضی حدود ۱۰ میلیون مترمکعب برآورد گردیده است که ۵ میلیون مترمکعب از طریق پخش سیلاب و ۵ میلیون مترمکعب از طریق بستر مسیل‌ها می‌باشد (حسینی مرندي، ۱۳۹۰).

هدایت الکتریکی (EC) سیلاب از ۰/۲۵ تا ۴ دسی‌زیمنس برمتر متغییر است که در هنگام سیل دارای کمترین مقدار است. کمترین میزان (EC) مربوط به چاه‌های مجاور پخش سیلاب بین ۱/۶ تا ۱/۸ دسی‌زیمنس بر متر و بیشترین میزان مربوط به چاه‌های مجاور رودخانه شور ۷ الی ۸ دسی‌زیمنس بر متر است. همچنین افت تراز آب زیرزمینی در یک دوره ۱۳ ساله (شهریور ۷۲ تا شهریور ۸۵) ۹/۴۶ متر و به طور متوسط سالانه ۰/۷۳ متر محاسبه شده است (حسینی مرندي، ۱۳۹۰).

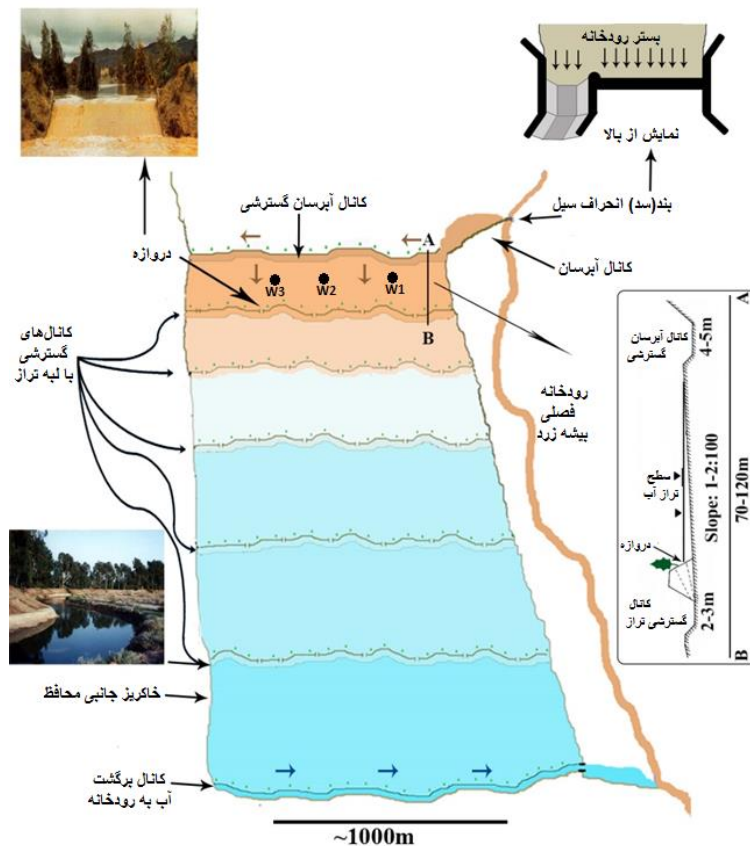
مشخصات کلی طرح پخش سیلاب (آبخوان‌داری)

عرصه مورد مطالعه از نوع اراضی دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ای نسبتاً مسطح و با شیب حدود یک درصد می‌باشد. خاکی شنی و بدون ساختمان با میانگین شن، لای، رس به ترتیب ۷۰، ۱۸، ۱۲ درصد، افق A را به ضخامت ۲۰-۱۰ سانتی‌متر به وجود آورده است. افق سنگی و سنگریزه‌ای C مستقیماً در زیر افق A قرار گرفته است. خاک از عمق قابل توجهی برخوردار نبوده و اراضی کاملاً تخریبی می‌باشند. خاک‌های زراعی پیرامون مخروط‌افکنه که از تخریب، تجزیه و حمل مواد تشکیلات سنگی حاصل شده‌اند، دارای بافت متوسط تا سبک می‌باشند. میزان بسیار کم ماده‌ی آلی خاک اساساً به خاطر بارندگی مختصر و درجه‌ی حرارت خیلی بالا می‌باشد

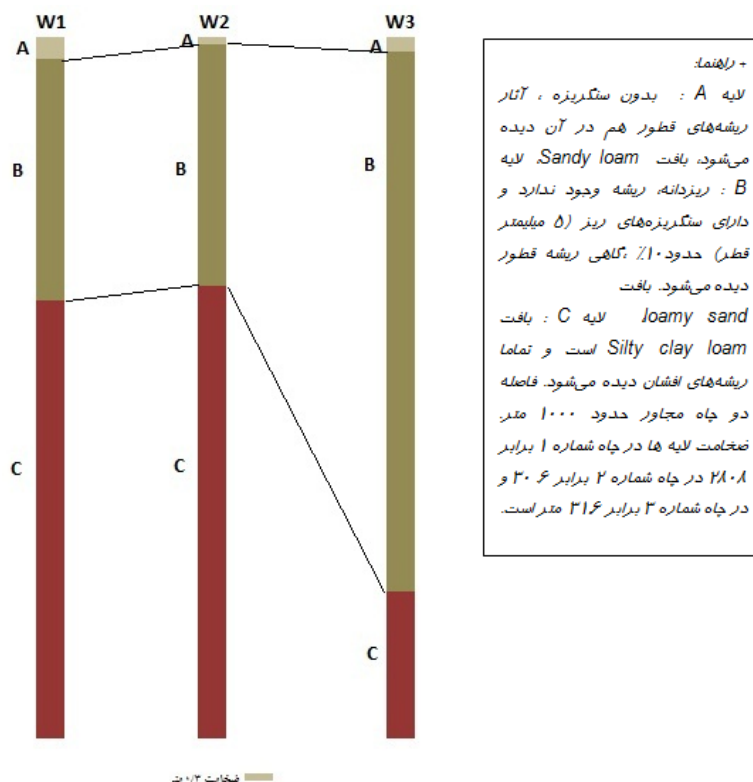
نشان می‌دهد. این لایه در چاه شماره یک ۸/۹ متر، در چاه شماره دو ۱ متر و در چاه شماره سه، ۵ متر ضخامت دارد. حضور سنگریزه کم (حدود ۳ درصد) مهم‌ترین ویژگی لایه C در هر سه چاه است. این لایه نیز کم و بیش حاوی ریشه گیاه می‌باشد. بجز در لایه‌های سطحی (۵۰ - ۰ سانتی‌متر) بطور کلی در سایر لایه‌ها رسوبات یا ناجور هستند و یا از جورشدگی ضعیف تا متوسطی برخوردارند.

تعداد تکرار لایه‌های تفکیک شده در ستون عمودی هر چاه از سطح تا عمق نهایی زیاد است. بنابراین برای این که طرحی تقریبی از کل ستون لایه‌بندی عمودی مخروط‌افکنه ارایه شود، اطلاعات لایه‌های بخش ابتدایی چاه شماره ۳ از سطح زمین تا عمق ۱۰ متری (کل عمق چاه شماره سه ۳۱/۶ متر است)، اطلاعات لایه‌های میانی چاه شماره ۲ از عمق ۱۰ تا ۲۰ متری (کل عمق چاه شماره دو ۳۰/۶ متر است) و اطلاعات لایه‌های بخش انتهایی (تا سطح آب زیرزمینی) چاه شماره ۱ از عمق ۲۰ تا ۲۹ متری (کل عمق چاه شماره یک ۲۹ متر است) در جدول‌های ۱ تا ۳ ارایه گردید. تطبیق کلی سه لایه A, B, C در شکل ۵ نشان داده شده است.

از سطح تا عمق مورد بررسی تکرار شوند. ضخامت افق‌ها، مهم‌ترین ویژگی است که در چاه‌ها متفاوت است. بعنوان مثال، لایه A اولین افقی است که در چاه‌ها مشاهده می‌شود؛ در چاه شماره یک ۹۳ سانتی‌متر، در چاه شماره دو ۲۰ و در چاه شماره سه ۳۲ سانتی‌متر ضخامت دارد. بافت این لایه ماسه لومی (Sandy loam) بدون سنگریزه است. لایه A، آبرفتی و حاصل‌ته‌نشینی رسوبات همراه سیلاب است. لایه A منحصر به سطح بوده و در هیچ‌کدام از چاه‌ها در اعماق تکرار نمی‌شود. از نظر رسوب‌شناختی عمودی چاه‌ها، زیر لایه A، بترتیب لایه‌های B و C وجود دارند که با ضخامت‌های متفاوت تا عمق نهایی بررسی شده، تکرار می‌شوند. بیشترین تناوب و تکرار لایه‌های B و C در چاه شماره ۳ و کمترین تکرار آن‌ها در چاه شماره ۱ مشاهده می‌شود. ضخامت اولین مشاهده از لایه B در چاه شماره یک برابر ۱۶ سانتی‌متر، در چاه شماره دو، ۴۰ و در چاه شماره ۳ برابر ۸۸ سانتی‌متر است. ویژگی خاص لایه B در هر سه چاه، حضور سنگریزه (غالباً ۵ تا ۱۰ درصد و در مواردی تا ۵۰ درصد) و حضور ریشه‌ی گیاهان است. بافت لایه B از نوع لوم ماسه‌ای (Loamy sand) است. ضخامت لایه C در چاه‌های مورد بررسی تغییرات زیادی



شکل ۴. طرح شماتیک از یک سامانه پخش سیلاب با مقیاس تقریبی (پاکپور، ۱۳۹۳)



شکل ۵. تطبیق کلی افق‌های اصلی رسوبی (A، B و C) در نیمرخ عمودی چاه‌های مورد بررسی

جدول ۲. چگونگی افق‌های رسوبی از عمق ۱۱ متری تا عمق ۲۰ متری در نیمرخ عمودی چاه شماره دو*

ویژگی لایه (افق) رسوبی	ضخامت لایه (cm)	عمق چاه (cm)	کد لایه
متوسط تا درشت دانه، حدود ۳٪ واجد سنگ و سنگریزه، آثار ریشه‌های نازک و کم و بیش ریشه مشاهده می‌شود. بافت Sandy loam	۲۲۰	۱۰۰۰-۱۱۰۰	C
		۱۱۰۰-۱۲۲۰	
ریزدانه، ریشه وجود ندارد، واجد حدود ۱۰٪ سنگریزه (حدود ۵ میلی‌متر)، بافت loamy sand	۴۰	۱۲۲۰-۱۲۶۰	B
متوسط تا درشت دانه، حدود ۳٪ دارای سنگریزه، آثار ریشه‌های نازک و ریشه قطور هم دیده می‌شود. بافت Sandy loam	۱۸۰	۱۳۵۵-۱۲۶۰	C
		۱۳۵۵-۱۴۴۰	
ریزدانه، ریشه وجود ندارد، واجد حدود ۱۰٪ سنگریزه (حدود ۵ میلی‌متر)، بافت loamy sand	۶۵	۱۴۴۰-۱۵۰۵	B
متوسط تا ریزدانه، حدود ۳٪ دارای سنگریزه، آثار ریشه‌های نازک و ریشه قطور هم دیده می‌شود. بافت Sandy loam	۵۰.۵	۱۵۰۵-۲۰۱۰	C

* عمق نهایی چاه شماره دو ۳۰ / ۶ متر است.

جدول ۳. چگونگی افق‌های رسوبی از عمق ۲۱ متری تا عمق ۲۹ متری در نیمرخ عمودی چاه شماره یک*

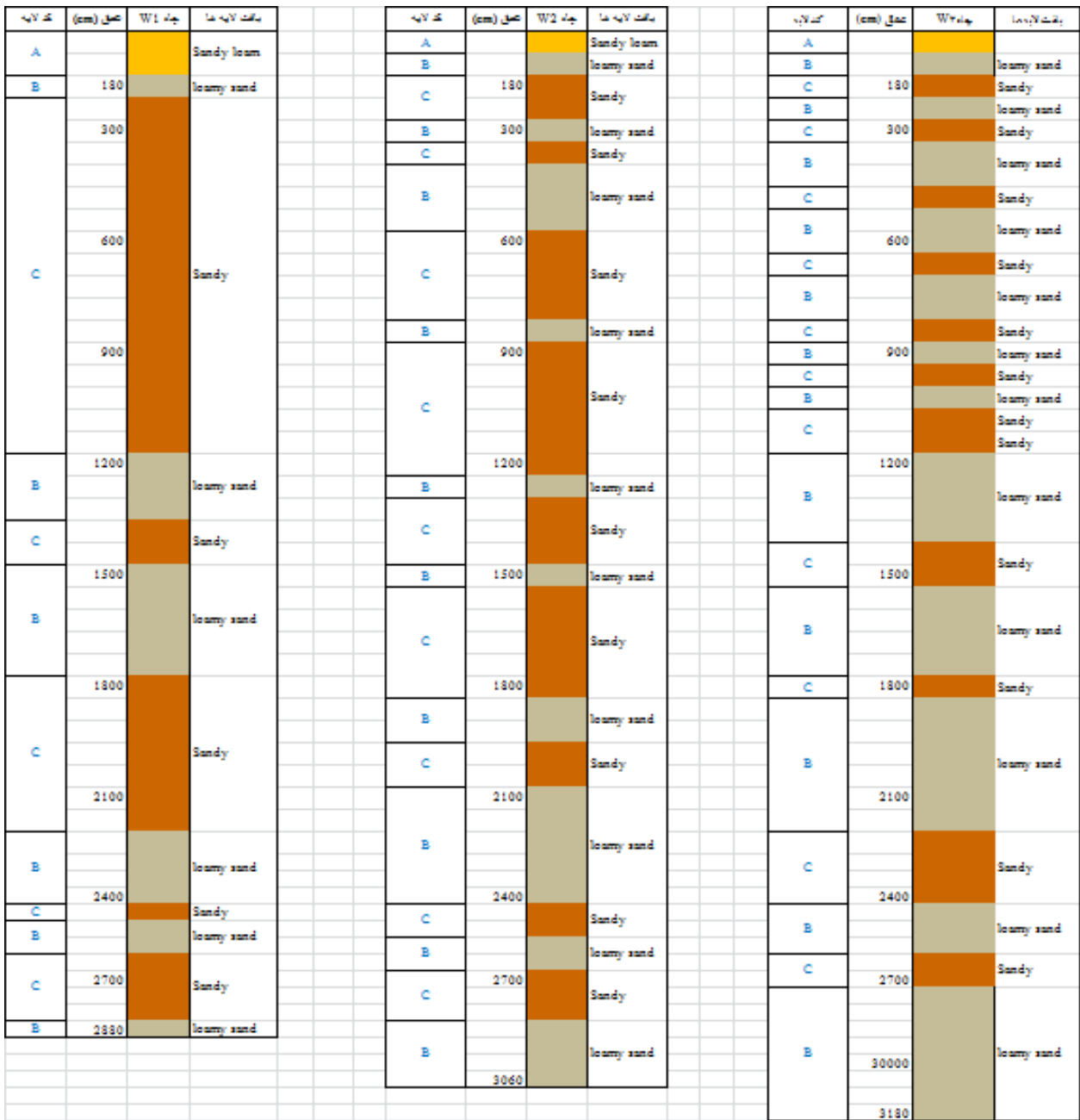
ویژگی لایه (افق) رسوبی	ضخامت لایه (cm)	عمق چاه (cm)	کد لایه
ریزدانه، واجد حدود ۳٪ سنگریزه، واجد آثار ریشه‌های نازک، بافت Silty clay loam	۷۰	۲۰۰۰-۲۱۱۰	C
		۲۱۱۰-۲۱۵۰	
		۲۱۵۰-۲۱۸۰	
ریز تا درشت دانه، ریشه وجود ندارد. و دارای حدود ۱۰٪ سنگ و سنگریزه، گاهی ریشه قطور دیده می‌شود، بافت غالب loamy sand	۲۳۰	۲۱۸۰-۲۴۱۰	B
ریزدانه، واجد سنگریزه، ریشه و ریشه‌های افشان و بلند، بافت loamy sand	۳۰	۲۴۱۰-۲۴۴۰	C
ریزدانه، ریشه وجود ندارد و دارای حدود ۱۰٪ سنگ و سنگریزه (۵ میلی‌متر)، بافت loamy sand	۱۰۰	۲۴۴۰-۲۵۴۰	B
ریزدانه، درصد رس غالب است، واجد ریشه‌های افشان و متراکم، بافت Silty clay loam	۲۶۰	۲۵۴۰-۲۸۰۰	C
ریز تا متوسط دانه، ریشه وجود ندارد. حدود ۱۰٪ دارای سنگریزه (۵ میلی‌متر)، گاهی ریشه قطور دیده می‌شود، بافت loamy sand	۱۰۰	۲۸۰۰-۲۹۰۰	B

* عمق نهایی چاه شماره یک ۲۹ متر است.

انطباق ضخامت و بافت لایه‌های رسوبی نیمرخ‌ها

انطباق افق‌های رسوبی سه چاه نشان می‌دهد که رسوبات سازنده آبخوان، بطور جانبی تغییرات ضخامتی نسبتاً زیادی نشان می‌دهند. ترکیب رسوبی نیمرخ عمودی چاه‌ها نسبتاً شبیه بوده و لایه‌های ماسه‌ای و لوم‌ماسه‌ای با تغییرات جزئی در طول عمق چاه‌ها تکرار می‌شوند. در هر سه چاه، ابتدا افق رسوبی دارای بافت ماسه لومی مشاهده می‌شود؛

که در هر کدام از چاه‌ها ضخامت متفاوتی دارد. به سمت پایین بافت رسوبات، لومی و در اعماق بیشتر، بافت ماسه‌ای شده و تکرار این سه نوع بافت در نیمرخ عمودی چاه‌ها تا عمق نهایی مشاهده می‌شود. ضخامت لایه‌های دارای بافت مشابه در چاه‌ها متفاوت است. بعنوان مثال، اولین لایه دارای بافت ماسه‌ای در چاه شماره ۱ حدوداً ۸ برابر همان لایه در چاه شماره ۲ و ۱۶ برابر آن در چاه شماره ۳ ضخامت دارد (شکل ۶).

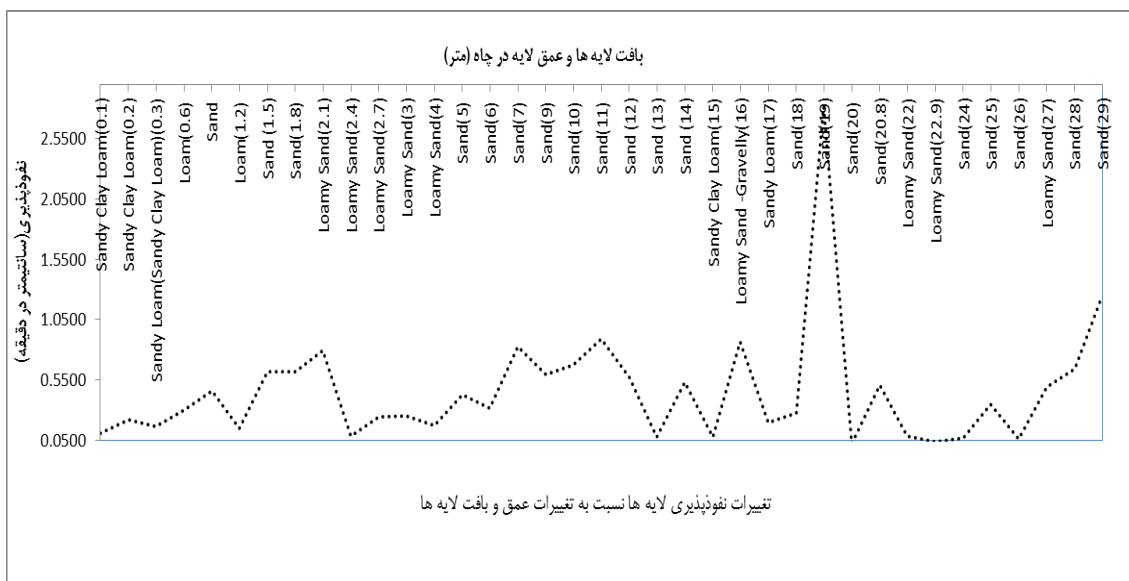


شکل ۶. بافت لایه‌های رسوبی در اعماق مختلف سه چاه مورد بررسی

انطباق نفوذپذیری لایه‌های رسوبی نیمرخ‌ها

نمی‌باشد. هرچند نفوذ رس‌ها، از نظر منطقی بنظر می‌رسد که موجب کاهش نفوذ گردند، ولی همانگونه که در مشخصات بیشتر لایه‌های رسوبی مخروط‌افکنه در سامانه پخش سیلاب مشاهده شد، آثار ریشه‌های گیاهی و به عبارتی ریشه‌راه‌ها تا اعماق بیش از ۲۹ متری نیز در هر سه نقطه مورد بررسی وجود دارد. همین ویژگی می‌تواند ضریب آبگذری لایه‌های رسوب را بطور چشمگیری افزایش دهد. بنابراین پس از اجرای سامانه‌های پخش سیلاب، فرایندهای پچییده‌ای در بستر از سطح زمین تا اعماق رخ می‌دهند. جنبه‌های مختلف اندرکنش تقابل آب و رسوب، تقابل آب سطحی و آب منفذی و آب منطقه اشباع، نفوذ فیزیکی رس‌ها، هیدرولیز کانی‌های موجود در رسوب، تشکیل کانی‌های جدید، رشد گیاهان و منطقه فعالیت ریشه، تغییرات میکروبیولوژی خاک و رسوب، تبخیر و تعرق و ... مواردی هستند که بعد از اجرای سامانه پخش سیلاب محیط موجود را دستخوش تغییرات خواهند کرد. کارکرد مناسب شبکه پخش سیلاب کوثر بعد از بیش از ۴۰ سال، خود نشان‌دهنده‌ی برآیند مثبت فرایندهای فوق بر روی نفوذپذیری می‌باشد. شکل (۷) تغییرات نفوذپذیری نسبت به تغییرات بافت رسوبات را نشان می‌دهد. نمودار شکل شماره ۸ تغییرات نفوذپذیری لایه‌ها در اعماق مختلف زمین در چاه شماره یک و جدول ۴ رده‌های کیفی و مقادیر کمی نفوذپذیری لایه‌ها در این چاه را نشان می‌دهند.

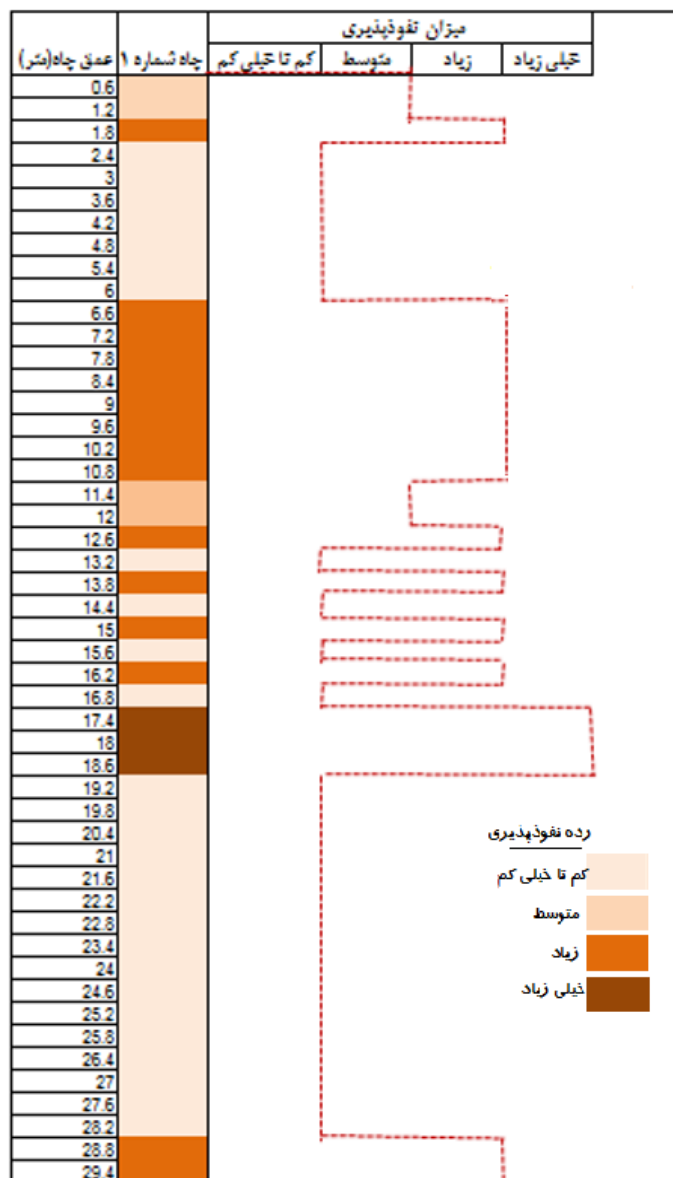
نفوذپذیری لایه‌های چاه شماره ۱ از ۰/۱۷ تا ۲/۸۱۷ سانتی‌متر در دقیقه تغییر می‌کند. تا عمق حدود ۱۲۰ سانتی‌متری زمین نفوذپذیری کم و بین ۰/۱ تا ۰/۴ سانتی‌متر و بطور متوسط ۰/۲۳ در دقیقه می‌باشد. این شاخص تا عمق کمی بیش از ۲ متر بطور متوسط سه برابر می‌شود. نفوذپذیری لایه‌های این چاه تا عمق حدود ۱۱ متری افزایش یافته و به حدود ۰/۷ سانتی‌متر در دقیقه می‌رسد. در عمق ۱۹ متری نفوذپذیری به شدت افزایش یافته و بیشترین نفوذپذیری در این نیمرخ از چاه دیده می‌شود که بیش از ۲/۸ سانتی‌متر در دقیقه است. در عمق ۲۰ متری نفوذپذیری به شدت کم می‌شود و به حدود ۰/۰۱ سانتی‌متر در دقیقه می‌رسد. تغییرات زیاد نفوذپذیری و دیگر ویژگی لایه‌های رسوبات مخروط‌افکنه در اعماق مختلف نشان می‌دهد که مبتنی بر محیط‌رسوبی دیرینه تشکیل مخروط‌افکنه، ذاتاً تشکیل میان لایه‌های با نفوذپذیری کم و یا زیاد امری ممکن است. بنابراین هر چند که نفوذ ذرات ریزدانه در بخش‌های اول ستون رسوبی و کاهش نفوذپذیری لایه‌ها دور از انتظار نبوده و تحقیقات نیز نفوذ رس‌ها را تا عمق ۸ متر نشان داد (محمدنیا، ۱۳۸۲)، ولی تاثیر پخش سیلاب بر کاهش نفوذپذیری در سامانه‌های پخش سیلاب بطور کلی و عمومی قابل قبول نبوده و از پشتوانه علمی از جمله رسوب‌شناسی برخوردار



شکل ۷. تغییرات نفوذپذیری لایه‌ها در عمق و تغییرات بافت لایه‌ها

جدول ۴. رده‌های کیفی و مقادیر کمی نفوذپذیری لایه‌ها

رده کیفی	مقدار	ردیف
خیلی کم تا کم	$0/5 < =$ نفوذپذیری $< 0/25$	۱
متوسط	$0/5 < =$ نفوذپذیری < 1	۲
زیاد	$1 < =$ نفوذپذیری $< 1/25$	۳
خیلی زیاد	نفوذپذیری $< 1/25$	۴



شکل ۸. تغییرات نفوذپذیری* (بر حسب سانتی‌متر در دقیقه) لایه‌های اعماق مختلف چاه شماره ۱

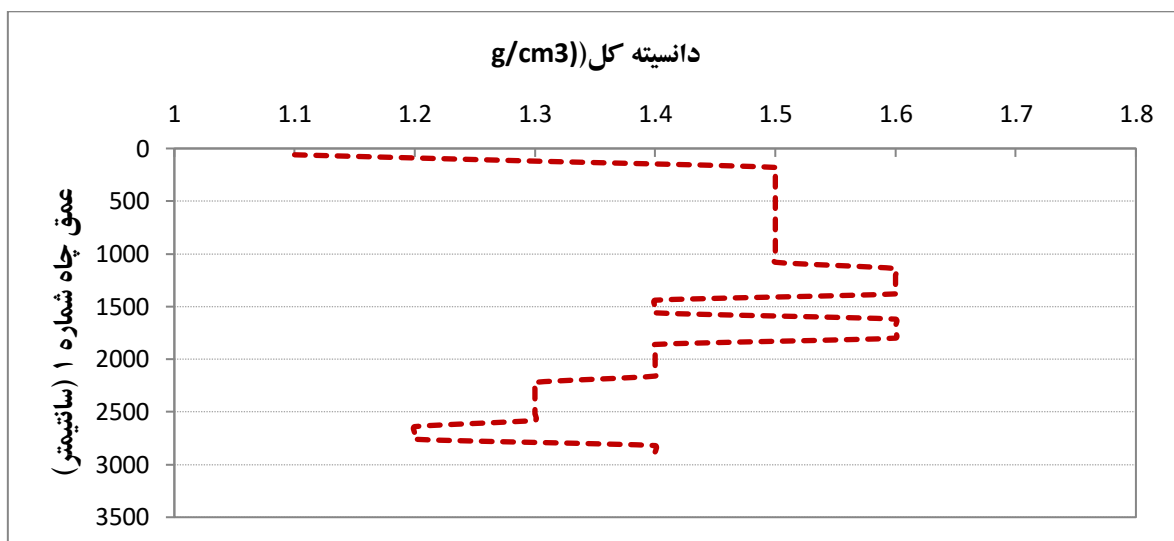
تغییرات دانه‌بندی رسوبات، دانسیته کل نیز بین ۱/۴ تا ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند. کمترین دانسیته کل رسوب، در افق‌های سطحی (تا اعماق حدود ۲ متر) دیده می‌شود. ارقام کوچکی از دانسیته کل (۱/۲ تا ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در اعماق ۲۵ تا ۲۷ متری دیده می‌شوند. شکل ۹ نمودار تغییرات دانسیته کل نسبت

تغییرات دانسیته کل و رطوبت لایه‌های رسوبی نیمرخ‌ها

داده‌های بدست آمده از نیمرخ عمودی چاه شماره ۱، نشان می‌دهد که تغییر دانسیته کل نسبت به عمق روند مشخصی را نشان نمی‌دهد. رسوبات در اعماق ۱۰ تا ۲۰ متری بیشترین دانسیته را دارند. هرچند با توجه به

رطوبتی در نیمرخ عمودی چاه‌ها نشان می‌دهد که بطور کلی افق رسوبی اول نیمرخ (حدود یک متر) خشک و بسمت پایین، متناوباً افق‌های نیمه‌مرطوب و مرطوب تکرار می‌شوند. چگونگی رطوبت لایه‌ها با بافت آن‌ها همپوشانی نسبتاً خوبی را نشان می‌دهد. افق‌های دارای بافت ماسه‌ای و ماسه لومی رطوبت کمتری (نیمه‌مرطوب) دارند. با تغییر بافت به بافت‌های رسوبی ریزدانه‌تر (لوم ماسه‌ای و لومی) درصد رطوبت بیشتر شده و لایه‌ها مرطوب هستند. در شکل ۱۰ چگونگی انطباق تغییرات دانسیته کل و رطوبت افق‌های رسوبی در ارتباط با تغییرات بافت رسوبات در نیمرخ عمودی چاه‌ها نشان داده شده است.

به عمق در چاه شماره ۱ را نشان می‌دهد. در لایه‌های سطحی مخروط‌افکنه، تغییرات دانسیته، افزایشی و نسبتاً منظم است. این روند بنظر می‌رسد رویه‌ای طبیعی و ناشی از رسوبگذاری سیلاب بوده ولی نفوذ سیلاب، تغییرات چندانی در دانسیته کل رسوبات سطحی (تا حدود ۲ متر) ایجاد نکرده است. رسوبات عمیق‌تر مخروط‌افکنه، حاوی میان لایه‌هایی سنگین‌تری هستند. شرایط اولیه تشکیل چنین لایه‌های رسوبی و همچنین فرایندهای تغییرات دانه‌بندی، تحکیم و تراکم، کاهش تخلخل، نفوذ ذرات ریزدانه همراه سیلاب به اعماق، از جمله عواملی هستند که موجب دانسیته بیشتر چنین لایه‌هایی شده‌اند. تغییرات



شکل ۹. تغییرات دانسیته کل رسوبات لایه‌های چاه شماره ۱ در اعماق مختلف

افق‌های رسوبی را تغییر می‌دهد. قبلاً نیز نفوذ این نوع از رس‌ها حداقل تا عمق ۸ متری سطح زمین نشان داده‌اند (محمدنیا و همکاران، ۲۰۰۳). وجود ذرات ریزدانه در سیلاب موجب کاهش زود هنگام تراوایی رسوبگیرها و حوضچه‌های تغذیه می‌گردد. میزان نفوذپذیری در حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در بخش‌های بالادست سامانه پخش سیلاب از ۱۰/۳۳ سانتی‌متر بر ساعت (اراضی بدون پخش سیلاب) به ۲/۱۶ و در اراضی پایین دست سامانه که رسوبات همراه سیلاب کمتر و سیلاب زلال‌تر شده، به ۷/۴۷ سانتی‌متر بر ساعت می‌رسد (رهبر و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین تغییرات اکولوژیک و بیولوژیک سطح خاک (بقایای گیاهی، مانند شاخ و برگ درخت اوکالیپتوس و اسفناج وحشی و...) موجب افزایش شوری در لایه‌های رسوب سطحی می‌شوند. این شوری توسط نفوذ

بحث

وقتی حجمی از سیلاب بر روی زمین پخش و در زمین نفوذ می‌کند، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خود را به آبخوان تحمیل می‌کند. یکی از این ویژگی‌های رسوب همراه سیلاب، وجود ذرات رسی از جمله انواع پلی‌گورسایت و اسمیکتیت است که می‌توانند وارد زمین شوند. این رخداد موجب بوجود آمدن و یا قوی‌تر شدن میان لایه‌های نازکی در مواد اصلی آبخوان شده که کاهش ناگهانی نفوذپذیری را موجب شده‌اند. علاوه بر بروز این پدیده در افق سطحی رسوبات، در اعماق ۱۴-۱۵ متری و همچنین ۲۰ و ۲۳-۲۵ متری سطح زمین نیز دیده می‌شود. هرچند بطور طبیعی نیز انتظار حضور چنین افق‌های رسوبی وجود دارد، حتی در این صورت نیز نفوذ رس‌های همراه سیلاب، چگونگی تخلخل و بویژه آبگذری

مقدار شوری ایجاد شده از این طریق چندان زیاد نبوده و حجم زیاد سیلاب نفوذ یافته؛ که کیفیت شیمیایی خوبی دارد، شوری ناشی از تاثیرات بیولوژیک و تبخیر را جبران می‌کند.

سیلاب‌های بعدی به لایه‌های زیرین و نهایتاً نیز به آب زیرزمینی منتقل می‌شود. تحقیقات دیگر نشان می‌دهد که کیفیت آب آبخوان زیر سامانه پخش سیلاب تخریب نشده (حسینی‌مندی و همکاران، ۱۳۹۰)، بنابراین می‌توان گفت

کد لایه	عمق (cm)	چاه W1	بافت لایه‌ها	دانسیته (g/cm ³)
A			Sandy loam	1.1
				1.3
B	180		Loamy sand	
	300			
	600		Sandy	1.5
	900			
B	1200		Loamy sand	1.6
C			Sandy	
B	1500		Loamy sand	1.4
				1.6
C	1800		Sandy	
	2100			1.4
B	2400		Loamy sand	
C			Sandy	1.3
B			Loamy sand	
C	2700		Sandy	1.2
B	2880		Loamy Sand	1.4

بافت لایه‌ها	رطوبت	چاه W1	عمق (cm)
SandyLoam	خشک		
Loamy Sand	مرطوب		180
			300
Sandy	نیمه مرطوب		600
			900
Loamy Sand	مرطوب		1200
Sandy	نیمه مرطوب		1500
Loamy Sand	مرطوب		1800
Sandy	نیمه مرطوب		2100
Loamy Sand	مرطوب		2400
Sandy			
Loamy Sand			
Sandy	نیمه مرطوب		2700
Loamy Sand	مرطوب		2880

شکل ۱۰. چگونگی رطوبت لایه‌ها (سمت راست) و دانسیته رسوبات (سمت چپ) در اعماق مختلف چاه شماره ۱

۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) در بخش سطحی نیمرخ عمودی مورد بررسی است. در اعماق بیشتر (اعماق ۲۵ تا ۲۷ متری) نیمرخ نیز ناشی از وجود افق‌های نازک ریزدانه و تخلخل زیاد رسوب می‌باشد. این بررسی نشان داد که از نظر جانبی ویژگی رخساره‌های رسوبی مخروط‌افکنه، بویژه

بافت رسوب در تمامی ضخامت حدود سی متر مورد بررسی، تغییر کرده و وزن مخصوص ظاهری افزایش یافته است. این افزایش ناشی از نفوذ ذرات ریز می‌باشد. تراکم کم لایه‌ها و تخلخل زیادتر رسوبات افق‌های سطحی (تا عمق حدود ۲ متر) علت دانسیته کل کم رسوب (۱/۲ تا

برداشت‌های متفاوت از آب زیرزمینی در فصل‌های مختلف سال است. تغییرات رسوب‌شناختی در حد ماکروسکوپی و میکروسکوپی در رخساره رسوبات مخروط‌افکنه در عمق اتفاق می‌افتد. برخی از این تغییرات فیزیکی حداقل در بازه زمانی ۲۰ سال قابل مشاهده و پیگیری است و تغییرات بیشتر، بویژه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناختی نیاز به زمان بسیار بیشتری دارند.

نتیجه‌گیری

نفوذ دادن مصنوعی سیلاب به درون مخروط‌افکنه‌ها موجب تغییرات فیزیکی و شیمیایی در مواد سازنده آن‌ها می‌شود. تشکیل ریزلایه‌های ناشی از نفوذ ریزدانه‌ها و رس‌های همراه با سیلاب، موجب تغییرات ناگهانی در نفوذپذیری شده و ضریب آب‌گذری را کاهش می‌دهند؛ ولی بطور کلی کنش و واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی ناشی از تغییرات اکولوژیک و بیولوژیک در سطح و اعماق رسوبات، موجب عملکرد مثبت و مناسب شرایط نفوذپذیری و تغذیه مصنوعی می‌شود. در نتیجه این تغییرات، تا حدودی شوری، اسیدیته و همچنین بافت و وزن مخصوص ظاهری رسوبات مخروط‌افکنه نیز افزایش می‌یابد. به شرط عدم وجود ناهنجاری‌های خاص رسوب‌شناختی در مواد سازنده مخروط‌افکنه (مانند مواد شور و گچی) و مناسب بودن کیفیت سیلاب مورد استفاده، ایجاد سامانه‌های پخش سیلاب و تغذیه مصنوعی زمین در مناطق خشک تغییرات منفی و مشکل‌سازی در رسوبات مخروط‌افکنه ایجاد نمی‌کنند.

سپاسگزاری

این پروژه در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس و پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری تصویب شده است. در این راستا از مرکز تحقیقاتی مذکور و همکاری کارشناسان و کارکنان ایستگاه آبخوانداری کوثر (فسا) که همکاری داشته‌اند سپاسگزارم.

منابع

حسینی‌مردی، ح (۱۳۹۰) بررسی تغییرات کیفی سفره آب زیرزمینی متأثر از طرح پخش سیلاب در گربایگان، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، ۱۱۵ ص.

از نظر ضخامت افق‌های رسوبی، تغییرات نسبتاً زیادی دارد. این امر ناشی از ویژگی محیط رسوب‌گذاری مخروط‌افکنه‌ها در مناطق خشک است. از نظر تطبیق لایه‌های سه نیمرخ مورد بررسی، ناهنجاری خاصی وجود ندارد. این چگونگی در نیمرخ دیگر چاه‌های منطقه (که خارج از محدوده پخش سیلاب قرار دارند) نیز صدق می‌کند. افزایش رطوبت رسوبات در افق‌های مختلف فرایندهای هیدرولیز رسوبات را افزایش داده و رخدادهای ناشی از هیدرولیز و تخریب از این دست، بویژه در بلند مدت دور از انتظار نیست. تغییرات در مواد سازنده آبخوان در سطح نشان می‌دهد که غلظت کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول نسبت به شرایط قبل از اجرای طرح (شاهد) افزایش یافته است. هدایت الکتریکی و اسیدیته اشباع رسوب کاهش یافته است. نسبت جذب سدیم و نسبت سدیم محلول نیز افزایش پیدا کرده است (رهبر و همکاران، ۱۳۸۸). بطور کلی تغذیه مصنوعی سیلاب در منطقه خشک مورد بررسی، تغییراتی در ویژگی رسوب‌شناختی مواد سازنده آبخوان ایجاد ولی این تغییرات غالباً مثبت و موجب بروز مشکل و ناهنجاری خاصی نشده است. این امر ناشی از شرایط مناسب شاخص‌های زمین‌شناختی و رسوب‌شناختی محل تغذیه و همچنین ویژگی‌های مناسب هیدرولوژیکی سیلاب (بویژه هیدروشیمی سیلاب) بوده است. بنابراین اصل موضوع تغییر رسوب‌شناختی وجود داشته و در جای دیگری ممکن است حتی منجر به تغییرات منفی نیز بشود. برخی تحقیقات نشان می‌دهد که نفوذ سیلاب‌های حجیم موجب شستوی افق‌های شور و یا حاوی ازت فراوان به عمق‌های پایین‌تر و نهایتاً به سطح آب زیرزمینی می‌شود (ساراتوئید و همکاران، ۲۰۱۱، پاکپور و همکاران ۲۰۱۵). همچنین تغییرات واکنش خاک (pH) کاهش یافته و این اسیدی‌تر شدن رسوب موجب تشدید برخی فرایندهای دگرسانی و هوازدگی رسوبات می‌شود. کاتیون‌های کلسیم و منیزیم در لایه‌های سطحی تا دو برابر شرایط بدون پخش سیلاب افزایش نشان می‌دهند (رهبر و همکاران، ۱۳۸۸) عناصر بیولوژیک ماکرو مانند ریشه‌های درختان تا آخرین عمق مورد بررسی (حدود ۳۰ متر) نفوذ کرده و موجب تغییرات فیزیکی و شیمیایی رسوب از جمله افزایش نفوذپذیری شده است.

نوسانات هدایت الکتریکی و اسیدیته آب زیرزمینی در محدوده بررسی، ناشی از نفوذ سیلاب به درون زمین و میزان

- Franke, D. et. al (2014) A combined study of radar facies, lithofacies and three-dimensional architecture of an alpine alluvial fan (Illgraben fan, Switzerland), *SEDIMENTOLOGY*, 68(4): 45-58.
- González-Regalado, M. L. et. al (2019) Facies analysis, foraminiferal record and chronostratigraphy of Holocene sequences from Saltés Island (Tinto-Odiel estuary, SW Spain): The origin of high-energy deposits a. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218: 95-105.
- Gunther, W (2001) Hydrogeologic study of the quaternary aquifer between Fessenheim and Breisach, presentation of the project and ongoing drilling. 2nd Eucor-Urgent Workshop Mont Saint-Odile Strasbourg, Abstract Vol, Edited by Pierre Dèzes, 80-95.
- Guo, H., Wang, Y (2004) Hydrogeochemical processes in shallow quaternary aquifers from the northern part of the Datong Basin. *China. Applied Geochemistry*, 19 (1): 19-27.
- Huaming, G., Yanxin, W (2005) Geochemical characteristics of shallow groundwater in Datong basin, northwestern China. *Journal of Geochemical Exploration*, 87: 109-120.
- James, B. I., Yongaiang, Z., Zhongyuan, C., Chun C., Zanghua, W., and Hui, W (2009) Environmental history, palaeoecology and human activity at the early Neolithic forager/cultivator site at Kuahuqiao, Hangzhou, eastern China, *Quaternary Science Reviews*, 28: 2277-2294.
- Jonathan, E., et.al (2011) Reconciling arroyo cycle and paleoflood approaches to late Holocene alluvial records in dryland streams, *Quaternary Science Reviews*, 30: 855-866.
- Martin, S., et. al (2012) Palaeoflood estimates of Pleistocene coarse grained river terrace landforms (Rio Almanzora, SE Spain), *Geomorphology*, 270p.
- Marwan, A. H., et. al (2009) Bar structure in an arid ephemeral stream, *Sedimentary Geology*, 221: 57-70.
- Matthew, J. C., Ian, C., Dean, C. B., Dongmei, H (2010) Recharge history and controls on groundwater quality in the Yuncheng Basin, north China. *Journal of Hydrology*, 385: 216-229.
- Mohammadnia, M. and Kosar, A (1997) Polygonsite transport through the venous zone: A progress report. *Proceeding of the 8th international conference on rainwater catchments systems*, 1: 128-135.
- Mohammadnia, M. and Kowsar, S. A (2003) Clay Translocation in the Artificial Recharge of a Groundwater System in the Southern Zagros Mountains, Iran. *Mountain Research and Development*, 23 (1): 50-55.
- Pakparvar, M (2015) Evaluation of floodwater spreading for groundwater recharge in Gareh رهبر، غ.، و کوثر، آ. (۱۳۸۱) بررسی برخی از تغییرات فیزیکی و شیمیایی خاک در شبکه‌های پخش سیلاب گربایگان. مجموعه مقالات کارگاه آموزشی تأثیر پخش سیلاب بر خصوصیات خاک در ایستگاه پخش سیلاب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۶۲ ص.
- رهبر، غ (۱۳۸۹) پایش تغییرات فیزیکی شیمیایی خاک در اثر پخش سیلاب در گربایگان، گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۸۶ ص.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس (۱۳۸۹) گزارش آب‌های زیرزمینی دشت شیبکوه شهرستان فسا، ۱۲۰ ص.
- قهراری، غ.، پاکپور، م (۱۳۸۶) بررسی تأثیر استحصال و پخش سیلاب بر منابع آب زیرزمینی دشت گربایگان، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ج ۱۴، ص ۳۹۰-۳۶۸.
- کوثر، س.، آ (۱۳۷۲) بیابان‌زدایی با گسترش سیلاب: کوششی هماهنگ، انتشارات مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام فارس، ۵۸ ص.
- هاشمی، ح (۱۳۸۷) برآورد کمی میزان تغذیه و اثرات پخش سیلاب بر منابع آب زیرزمینی دشت گربایگان فسا، استان فارس. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ۱۳۴ ص.
- Amajor, L. C (1989) Depositional history of the reservoir sandstones, Akpor and Apala oilfields, Eastern Niger Delta, *NIGERIA. JGP*, 12 (4): 453-464.
- Bachmat, Y., (1994) Groundwater as a part of the water system. *Groundwater contamination and control*. New York: Marcel Dekker, Inc. 520p.
- Blackburn, J., et. al (2020) Hydrogeological controls on the flow regime of an ephemeral temperate stream flowing across an alluvial, *Journal of Hydrology*, 595: 254-269.
- Chamyal, L. S., Khadkikar, A. S., Malik, J. N., and Marya, D. M (1997) *Sedimentology of the Narmada alluvial fan, Western India*, 107: 263-279.
- Chyan Deng, J., Hsien, T. and Wei Cheng, L (2007) Effect of rainfall intensity and distribution on groundwater level fluctuations. *Journal of Hydrology*, 332: 348-360.
- Cuneyt, G., Mehmet, A. K., Musa, A., Can, A (2012) Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *Journal of Hydrology*, 414: 435-451.
- Fadong, L. et. al (2007) Recharge source and hydrogeochemical evolution of shallow groundwater in a complex alluvial fan system, southwest of North China Plain, *Environmental Geol*, 55: 1109-1122.

- Bygone Plain, southern Iran. (PhD). Ghent University.
- Paulo, Q., Joes Antonio, A., and Manuela, S (2012) Construction of high-resolution stochastic geological models and optimal upscaling to a simplified layer-type hydrogeological model, *Advances in Water Resources*, 39: 18–32.
- Qingqiang, C., Congxian, L., Ping L., Baozhu, L (2008) Late Quaternary palaeosols in the Yangtze Delta, China, and their palaeoenvironmental implications, *Geomorphology*, 100: 465–483.
- Reijers, T. J. A (2011) Stratigraphy and sedimentology of the Niger Delta, *Geology*, 17 (3): 133-162.
- Sarah, T., Marc, L., Ian, C., Guillaume, F., Christian, L (2011) Arid zone groundwater recharge and Stalinitization processes; an example from the Lake Eyre Basin, Australia. *Journal of Hydrology*, 408: 257–275.
- Slatt, R. M (2006) Stratigraphic Reservoir Characterization for Petroleum Geologists and Engineers. In: Elsevier, A., Ed., Netherlands, 478p.
- Snedden, J. et. al (1999) Isolated shallow marine sand bodies detached for all interpretation. SEPM. Society for Sedimentary Geology, ISBN 156576 05 3, p 1-11.
- Suka, M. S (1999) Sdimentology and Depositional Environment of D2 Sand in Part of Greater Ughelli Depobelt, Onshore Niger Delta, Nigeria, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10: 38-44.
- Timothy, L., C. al (2007) An experimental investigation of autogenic behaviour during alluvial fan evolution, *Geomorphology*, 115 (4): 278-285.
- Xuenchun Fan, J. L. et. al (2019) Correlating diagenetic facies with well logs (conventional and image) in sandstones: The Eocene–Oligocene Suweiyi Formation in Dina 2 Gasfield, Kuqa depression of China. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 174: 617-636.