

بررسی صحرائی و آزمایشگاهی تغییرات سرعت نفوذ آب به خاک در اثر مواد معلق موجود در آب در طرحهای تغذیه مصنوعی

سیدفرهاد موسوی ، علی بصیرپور و بهروز مصطفی زاده

بترتیب دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان ، کارشناس ارشد سازمان آب منطقه‌ای

اصفهان و دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش مقاله ۲۶/۶/۲۶

خلاصه

جریان آبهای سطحی که به منظور تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی بکار می‌روند عموماً حاوی ذرات معلق زیادی هستند. این ذرات همراه با آب وارد سازه‌های تغذیه مصنوعی شده و در اثر ته‌نشینی آن‌ها یک لایه با نفوذپذیری کم تشکیل می‌شود، یا به بخشهای عمیقتر خاک رفته و کاهش سرعت نفوذ خاک را سبب می‌شوند. پدیده انسداد یکی از عوامل محدودکننده تغذیه مصنوعی محسوب می‌شود. در تحقیق حاضر، ضمن بررسی این پدیده در دو طرح تغذیه مصنوعی رامشه و کهرویه در استان اصفهان، اثر غلظت و دانه‌بندی مواد معلق با استفاده از بررسیهای صحرائی و یک مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که به طور متوسط، سرعت نفوذ آب در استخرهای تغذیه مصنوعی از ۲ متر در روز به حدود ۰/۵ متر در روز در طرح رامشه و از ۱/۵ متر در روز به حدود یک متر در روز در طرح کهرویه در طی ۵ ماه در اولین سال بهره‌برداری کاهش یافته است. غلظت مواد معلق موجود در آب عامل اصلی بروز پدیده انسداد می‌باشد و دانه‌بندی آنها تأثیر کمی در روند این پدیده داشته است. برداشتن لایه رسوبی ته‌نشین شده سطحی (در مطالعه آزمایشگاهی) در بازایی سرعت نفوذ اولیه چندان مؤثر نبوده است. پیش‌پالایی آب برای حذف رسوبات ورودی به سازه‌های نفوذی می‌تواند اثرات زیانبار انسداد را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: تغذیه مصنوعی، پدیده انسداد، لایروبی، نفوذ و مناطق خشک

مقدمه

در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، کمبود منابع آب همواره به عنوان یک عامل مهم محدودکننده توسعه اجتماعی و اقتصادی مطرح بوده است. جهت رفع این مشکل، تمهیداتی از قبیل احداث سدهای ذخیره‌ای و تنظیمی، ایجاد شبکه‌های مدرن آبیاری، ایستگاههای بزرگ پمپاژ آب و شیرین کردن آب دریاها به کار گرفته شده است. یکی از ویژگیهای اقلیمی مناطق خشک و نیمه خشک، علاوه بر کم بودن نزولات جوی، ریزش بارشهایی با شدت نسبتاً زیاد در مدتی کوتاه می‌باشد که منجر به وقوع سیلابهای حجیمی می‌گردد (۳). از آنجا که این سیلابها بیشتر در فصلهای غیرزراعی اتفاق می‌افتد، بدون استفاده کافی از دسترس خارج شده و گاهی

موجب خسارت نیز می‌شوند. پخش سیلاب و اجرای طرحهای تغذیه مصنوعی می‌تواند بخشی از کمبودهای آب را جبران کند (۲ و ۹). به غیر از این، تغذیه مصنوعی می‌تواند سبب پالایش آبهای سطحی، تقویت سفره‌های آب زیرزمینی، بهینه‌سازی رژیم بهره‌برداری از منابع آب موجود، کنترل و یا تعدیل اثر سیلابها، دفع پسابها و جلوگیری از پیشروی آبهای شور یا آلوده شود.

جریان آبهای سطحی که به منظور تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی بکار برده می‌شود عموماً حاوی ذرات معلق زیادی است (در طرحهای تغذیه با حوضچه، اکثر غلظتها بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده است) (۸). این ذرات همراه با آب وارد سازه‌های تغذیه مصنوعی شده و موجب کاهش سرعت نفوذ می‌شوند.

ایران می‌گذرد اما هیچگونه آمار و اطلاعات از کارکرد چندین طرحی که تاکنون اجرا گردیده وجود ندارد (۲).

اهداف تحقیق حاضر عبارتند از: (۱) بررسی روند تغییرات سرعت نفوذ آب به خاک در دو طرح تغذیه مصنوعی اجرا شده، ۲) تأثیر غلظت مواد معلق در کاهش سرعت نفوذ و (۳) تأثیر دانه‌بندی مواد معلق در روند کاهش نفوذ آب به خاک و تأثیر آن در بازیابی سرعت نفوذ اولیه خاک از طریق جمع‌آوری لایه رسوب سطحی - همچنین، راه‌حلهای مختلف کاهش پدیده انسداد به طور اجمال بررسی خواهند شد.

مواد و روشها

این تحقیق در دو بخش شامل مطالعات صحرائی و مطالعات آزمایشگاهی انجام گرفته است.

الف) مطالعات صحرائی

در طی مطالعات صحرائی، ضمن بازدید و بررسیهای محلی طرحهای تغذیه مصنوعی اجرا شده در استان اصفهان (نظیر طرحهای نیسیان و کهنک، هرات و مروست، باغ سرخ، کاجک، امین آباد، کهرویه و رامشه) و همچنین اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز نظیر سرعت نفوذ در استخرهای تغذیه، غلظت مواد معلق و ضخامت لایه رسوبی ته نشست شده در بستر استخرها، مسئله کاهش نفوذپذیری بررسی گردید. از میان این طرحها، دو طرح تغذیه مصنوعی کهرویه و رامشه انتخاب شدند.

طرح کهرویه در سال ۱۳۷۲ در ناحیه جنوبی روستای سُلار در ساحل چپ رودخانه فصلی کهرویه توسط سازمان آب منطقه‌ای اصفهان به اجرا گذاشته شده است (۵). هدف از اجرای این طرح استفاده از رواناب زمستانه رودخانه کهرویه برای تقویت آبدهی قنات جنوب شهرضا می‌باشد. سازه‌های اصلی این طرح عبارتند از: بند انحرافی به طول ۴۰ متر و ارتفاع ۲ متر از کف، کانال انتقال آب به طول ۳۰۰ متر و ظرفیت ۴ متر مکعب در ثانیه، استخر رسوبگیر به ابعاد ۱۶۰ x ۶۰ متر و چهار استخر تغذیه هر یک به ابعاد ۱۶۰ x ۶۰ متر و ارتفاع ۳ متر. مشخصات صفر تا یک متری خاک محل تغذیه عبارت بود از: $d_{10} = 0/7$ ، $d_{30} = 4$ ، $d_{50} = 9/5$ ، $d_{70} = 17$ ، $d_{90} = 40$ و $d_{95} = 40$ میلی‌متر.

کوثر (۱۰) (به نقل از بیز، ۱۹۷۹) کاهش سرعت نفوذ را از ۴ متر در روز به ۲ متر در روز در طرح تغذیه مصنوعی ورامین (طی سه ماه آزمایش) و از ۳ متر در روز به ۲ متر در روز در طرح گرمسار (طی یک ماه مطالعه) گزارش کرده است. کاهش نفوذپذیری در اثر استفاده از آب حاوی ذرات معلق (با غلظتهای کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و به وجود آمدن پدیده انسداد^۱ (مسدود شدگی یا کورشدگی) بستر سازه‌های تغذیه در طرحهای بال و دره نایس در آلمان و طرح پثوریای ایلی نوز (۴) و بررسیهای آزمایشگاهی در کالیفرنیا (۴ و ۱۲) نشان داده شده است. این پدیده تاکنون در هیچیک از طرحهای تغذیه مصنوعی ایران مورد بررسی وسیع و همه جانبه قرار نگرفته است.

پیچیده بودن پدیده انسداد از عوامل متعددی ناشی می‌شود. بعضی از این عوامل عبارتند از بافت و ساختمان خاک، دانه‌بندی و مشخصات فیزیکی ذرات معلق در آب، غلظت مواد معلق و ارتفاع آب قرار داده شده بر روی خاک. علاوه بر این، در پدیده انسداد دو فرآیند دخالت دارند، یکی ته‌نشست و دیگری تصفیه. این دو فرآیند ممکن است با هم و یا به تنهایی عمل کنند. عمل تصفیه باعث انسداد داخلی خاک می‌شود. مهمترین عواملی که در انسداد داخلی دخالت دارند عبارتند از تصفیه مکانیکی، رسوبگذاری، جذب سطحی و فعالیتهای بیوشیمیایی و باکتریایی (۱۱). راههای پیشنهاد شده برای کاهش انسداد شامل پیش‌پالایی اولیه رسوبات، لایروبی مواد ته‌نشین شده و شخم زدن بستر سازه‌های تغذیه مصنوعی می‌باشد (۴، ۷ و ۱۱). هیچیک از این راه‌حلهای بطور قاطع کفایت خود را به اثبات نرسانیده است.

در حال حاضر، تعدادی شرکت مهندسی مشاور مشغول بررسی و طراحی پروژه‌های تغذیه مصنوعی در نقاط مختلف ایران هستند و بودجه قابل ملاحظه‌ای نیز صرف می‌شود بدون اینکه اطلاعات کاملی از عملکرد، مشکلات دوران بهره‌برداری و کمبودهای طرحهای اجرا شده داشته باشند (۹). گرچه طرح تغذیه مصنوعی پتانسیلی است برای حل مسایل تأمین آب، اما به دلیل ویژگیهای خاص هر منطقه باید هر طرح ارزیابی شود تا توجه‌پذیر بودن آن از لحاظ فیزیکی و اقتصادی تعیین گردد (۱۳). گرچه حدود ۳۰ سال از شروع بررسیهای مربوط به تغذیه مصنوعی در

از جنس پلاستیک بود که سوراخی برای تخلیه آب در آن تعبیه شده است. آب از طریق یک منبع آب ۲۰ لیتری به وسیله ۳ شیلنگ پلاستیکی به ستون وارد می‌شد.

باتوجه به اینکه تغذیه مصنوعی عمدتاً در خاکهای سبک صورت می‌گیرد، خاک مورد نیاز از محل طرح تغذیه مصنوعی کهرویه انتخاب شد. مشخصات دانه‌بندی این خاک (پس از عبور از الک شماره ۸ برای جدا کردن ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر) عبارت بود از: $d_{۱۰} = ۰/۰۰۸$ ، $d_{۳۰} = ۰/۳$ ، $d_{۵۰} = ۰/۷$ ، $d_{۷۰} = ۰/۱۱$ و $d_{۱۰۰} = ۰/۱۷$ میلی‌متر.

این تحقیق با آبهای حاوی مواد معلق با دانه‌بندی و غلظتهای مختلف زیر صورت گرفته است: ۱) آب حاوی ذرات رس و سیلت و شن ($d < ۰/۲ \text{ mm}$) با غلظتهای ۰/۲، ۱ و ۵ گرم در لیتر، ۲) آب حاوی ذرات رس و سیلت ($d < ۰/۰۶ \text{ mm}$) با غلظتهای فوق (۳، ۴ و ۷) آب حاوی ذرات رس ($d < ۰/۰۰۲ \text{ mm}$) با غلظتهای فوق (۴ و ۷) آب شرب شهری (بدون مواد معلق). برای تهیه مواد معلق با دانه‌بندیهای مختلف در حالت‌های ۱ و ۲، ذرات عبور یافته از الک ۲۷ برای حالت ۱ و ذرات عبور یافته از الک ۷۰ برای حالت ۲ استفاده شده است. یک نوع خاک رس مونت موریلونایت نیز در حالت ۳ بکار رفت. با هم زدن مرتب آب در منبع آب، سعی می‌گردید که غلظت آب حاوی ذرات رسوب در موقع کاربرد آن یکنواخت باشد.

در مرحله اول، درون هر ستون تا ارتفاع ۸۰ سانتیمتری خاک (بارطوبت اولیه ۵ درصد) ریخته شد و تا حد مشخصی تراکم گردید (تخلخل ۳۵ درصد). سپس، درون هر ستون تا ارتفاع ۰/۵ متر آب با غلظت و دانه‌بندی مواد معلق معلوم ریخته شد (باتوجه به ارتفاع ستون، اثر ارتفاع آب بر سرعت نفوذ نیز بررسی گردید ولی نتایج حاصله در این مقاله ارائه نگردیده است). در مراحل اولیه نفوذ و قبل از اشباع کامل خاک، میزان افت سطح آب با زمان ثبت شد. پس از اشباع شدن کامل خاک و شروع تخلیه آب از انتهای ستون، سطح آب درون ستون تثبیت شده و در فواصل زمانی مشخص میزان دبی خروجی از ستون اندازه‌گیری شد. در مرحله دوم، به منظور تفکیک اثر مسدودشدگی (انسداد) سطحی و انسداد داخلی خاک، لایه ته‌نشست شده مرحله اول برداشته شد و مجدداً آزمایش با آب

طرح رامشه در سال ۱۳۷۳ در ۷ کیلومتری جنوب روستای رامشه توسط سازمان آب منطقه‌ای اصفهان اجرا شده است (۶). هدف از این طرح، استفاده از آبدهی زمستانه رودخانه ایزدخواست برای تقویت آبدهی قنات رامشه می‌باشد. سازه‌های اصلی طرح عبارتند از: تأسیسات انحراف آب و آبیگری، کانال انتقال، استخر رسوبگیر به ابعاد ۱۰۰×۵۰ متر و پنج استخر تغذیه هر یک به ابعاد ۱۰۰×۵۰ متر و ارتفاع ۳ متر. محل تغذیه مصنوعی، زمینهای آبرفتی است و دارای سیلت، رس، کمی شن و ماسه و هموس بوده و رسوبات به صورت لایه‌های غیر یکنواخت در منطقه ظاهر گردیده‌اند. دانه‌بندی خاک شبیه طرح کهرویه بود.

در هر کدام از طرحهای کهرویه و رامشه، استخر رسوبگیر و استخرهای تغذیه مصنوعی به صورت سری بوده و توسط سرریزهایی به یکدیگر مرتبط شده‌اند.

در اولین دوره بهره‌برداری از طرحهای تغذیه مصنوعی کهرویه و رامشه (اوایل آذر ۱۳۷۳ لغایت اواخر فروردین ۱۳۷۴) پارامترهای مورد نیاز به شرح زیر اندازه‌گیری گردید:

الف - مقادیر دبی ورودی و خروجی ماهانه هر یک از استخرها و سپس تعیین میزان نفوذپذیری هر استخر در فواصل زمانی مختلف.

ب - مقادیر ماهانه غلظت مواد جامد معلق در آب ورودی به هر استخر (با انجام نمونه‌برداری).

ج - ضخامت رسوبات ته‌نشین شده در هر استخر در پایان فصل بهره‌برداری و پس از خشک شدن استخرها (برای این منظور، در هر استخر شبکه‌ای متشکل از ۹ نقطه اندازه‌گیری در نظر گرفته شد و از ضخامت‌های بدست آمده میانگین‌گیری بعمل آمد).

د - دانه‌بندی رسوبات ته‌نشین شده در هر استخر در پایان فصل بهره‌برداری.

ب - مطالعات آزمایشگاهی

مدل آزمایشگاهی مورد استفاده ستونی از جنس پلکسی گلاس^۱ به ارتفاع ۱۸۰ سانتیمتر، سطح مقطع خارجی ۱۰۰ سانتیمتر مربع و سطح مقطع داخلی ۸۳ سانتیمتر مربع بود. در طول ستون، سه پیرومتر از جنس لوله شفاف پلاستیکی به قطر حدود ۰/۵ سانتیمتر در فواصل ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتیمتری از کف ستون به طور عمودی نصب شد. ظرف تخلیه تحتانی (که ستون بر روی آن قرار می‌گیرد)

بدون مواد معلق تکرار شد. هر آزمایش در ۳ تکرار انجام پذیرفت و میانگین سرعت نفوذ در تکرارهای مختلف محاسبه شد.

نتایج و بحث

در این بخش، نتایج بررسیهای پدیده انسداد در طرحهای تغذیه مصنوعی رامشه و کهرویه و مطالعات آزمایشگاهی ارائه می گردد.

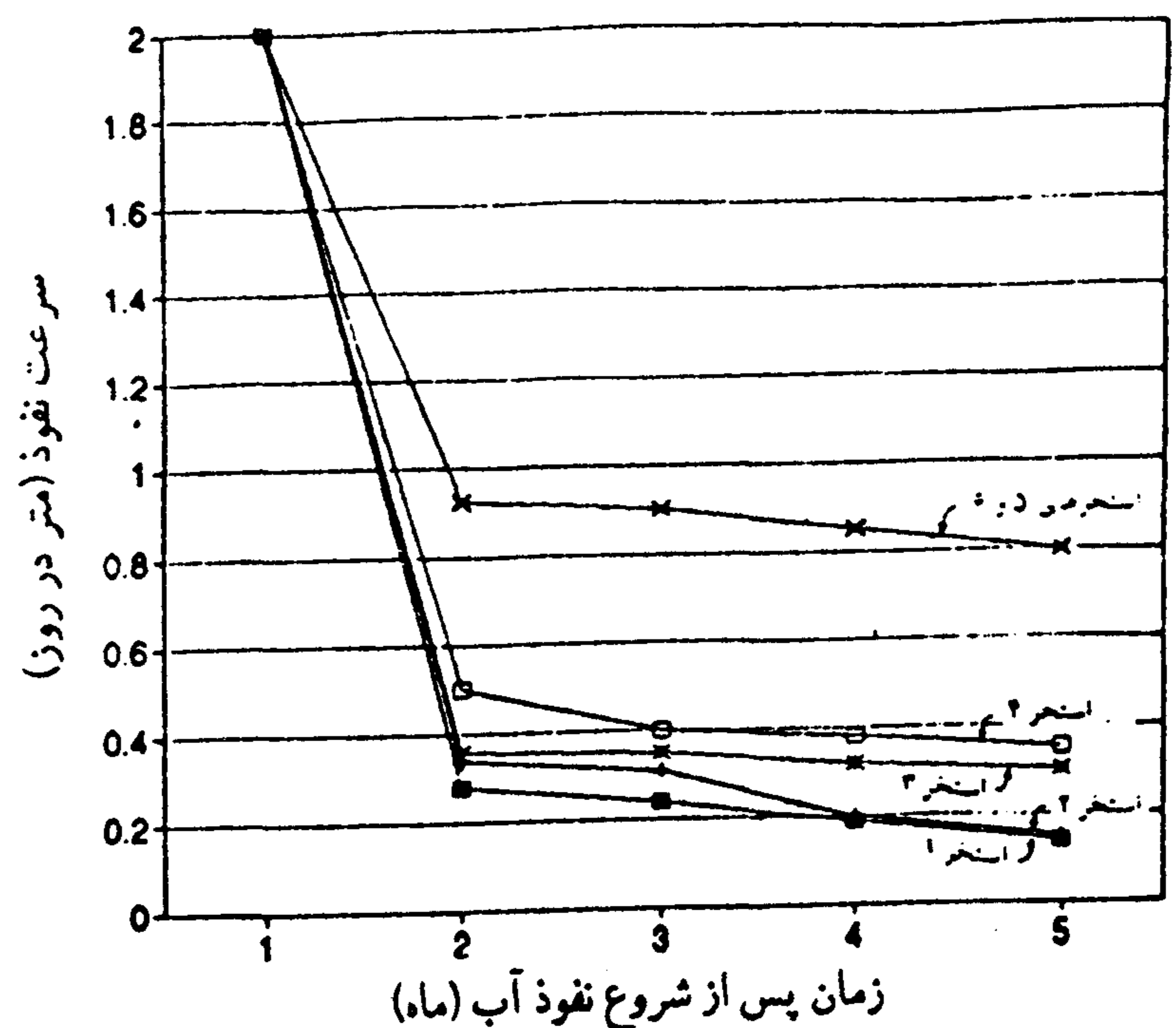
الف) طرح تغذیه مصنوعی رامشه

سرعت نفوذ خاک محل تغذیه (قبل از اجرای طرح) توسط استوانه های نفوذ سنج در ۸ مورد اندازه گیری شد و متوسط ۲/۲ متر در روز بدست آمد. براساس اندازه گیریهای بعمل آمده در اولین دوره بهره برداری از این طرح (آذر ۱۳۷۳ لغایت فروردین ۱۳۷۴) روند تغییرات سرعت نفوذ در استخرهای مختلف بدست آمد (شکل ۱). حداکثر کاهش میزان نفوذ مربوط به استخر شماره یک است که در آن سرعت نفوذ از ۲ متر در روز به حدود ۰/۱ متر در روز کاهش پیدا کرده و حداقل کاهش سرعت نفوذ مربوط به استخرهای ۵ و ۶ است که نفوذپذیری از ۲ متر در روز به حدود ۰/۸ متر در روز رسیده است. سرعت نفوذ ۲ متر در روز پس از شروع آب اندازی استخرها بدست آمده است. به طور متوسط، پدیده انسداد موجب کاهش سرعت نفوذ استخرهای طرح رامشه از ۲ متر در روز به ۰/۵ متر در روز در طی اولین دوره بهره برداری شده است.

آب ورودی به هر استخر پس از بجا گذاشتن مقداری از رسوبات، وارد استخر بعدی می شده است. متوسط غلظت آب ورودی به استخر اول (استخر رسوبگیر) در حدود ۰/۲۵ گرم در لیتر و استخر ششم قریب به ۰/۰۱ گرم در لیتر اندازه گیری شده است. باتوجه به اینکه همه استخرها در ابتدای فصل بهره برداری از نفوذپذیری یکسانی برخوردار بوده اند، لذا اختلاف موجود از نظر سرعت نفوذ استخرها را می توان به غلظت مواد معلق موجود در آب ورودی به هر یک از آنها و تشکیل لایه های رسوبی با ضخامت متفاوت در بستر استخرها نسبت داد. در پایان اولین فصل بهره برداری از طرح رامشه، ضخامت لایه رسوبی در هر یک از استخرها و دانه بندی مواد رسوبی اندازه گیری شده است. استخرهای اول و دوم رسوبات دانه درشت داشتند و سایر استخرها حاوی مواد رسوبی کم و بیش یکسان و ریزتر بودند (شکل ۲). باتوجه به ارقام سرعت نفوذ استخرها در پایان فصل بهره برداری و ضخامت لایه ته نشست شده، شکل ۳ حاصل شده است. این شکل نشان می دهد که در بدو رسوبگذاری با افزایش ضخامت لایه رسوبی، سرعت نفوذ استخرها به شدت کاهش می یابد ولی به تدریج تأثیر آن کم شده و پس از حد معینی (۶۵ میلی، در شکل ۳) ضخامت این لایه تأثیر قابل ملاحظه ای نخواهد داشت. در واقع، این مرحله را می توان مرحله نهایی پدیده انسداد دانست که طی آن نفوذپذیری استخرها به شدت کاهش یافته است. بررسیهای بعمل آمده در این طرح این نکته را یاد آور می شود که غلظت مواد معلق ورودی به سیستم مهمترین عامل در بروز پدیده انسداد محسوب می شود.

ب) طرح تغذیه مصنوعی کهرویه

دو نکته در مورد طرح کهرویه قابل ذکر است. اولاً خاک محل اجرای طرح تغذیه مصنوعی ناهمگن بود و مقادیر سرعت نفوذ اندازه گیری شده در استخرها قبل از اجرای طرح تفاوت داشت. بطور متوسط، سرعت نفوذ محل اجرای طرح تغذیه کهرویه ۲۰/۲ سانتیمتر در ساعت (با انحراف معیار ۷/۴ سانتیمتر در ساعت) بود. ثانیاً به دلیل غیریکنواخت بودن جریان آب رودخانه، استخرها متناوباً مرطوب و خشک می شدند. آبگیری استخرهای این طرح در اول آبان ۱۳۷۳ انجام گرفت. جدول ۱ مقادیر اندازه گیری شده سرعت نفوذ استخرها در دوران بهره برداری و ضخامت لایه رسوبی در انتهای فصل (اواسط فروردین ۱۳۷۴) را نشان می دهد. استخر شماره ۱

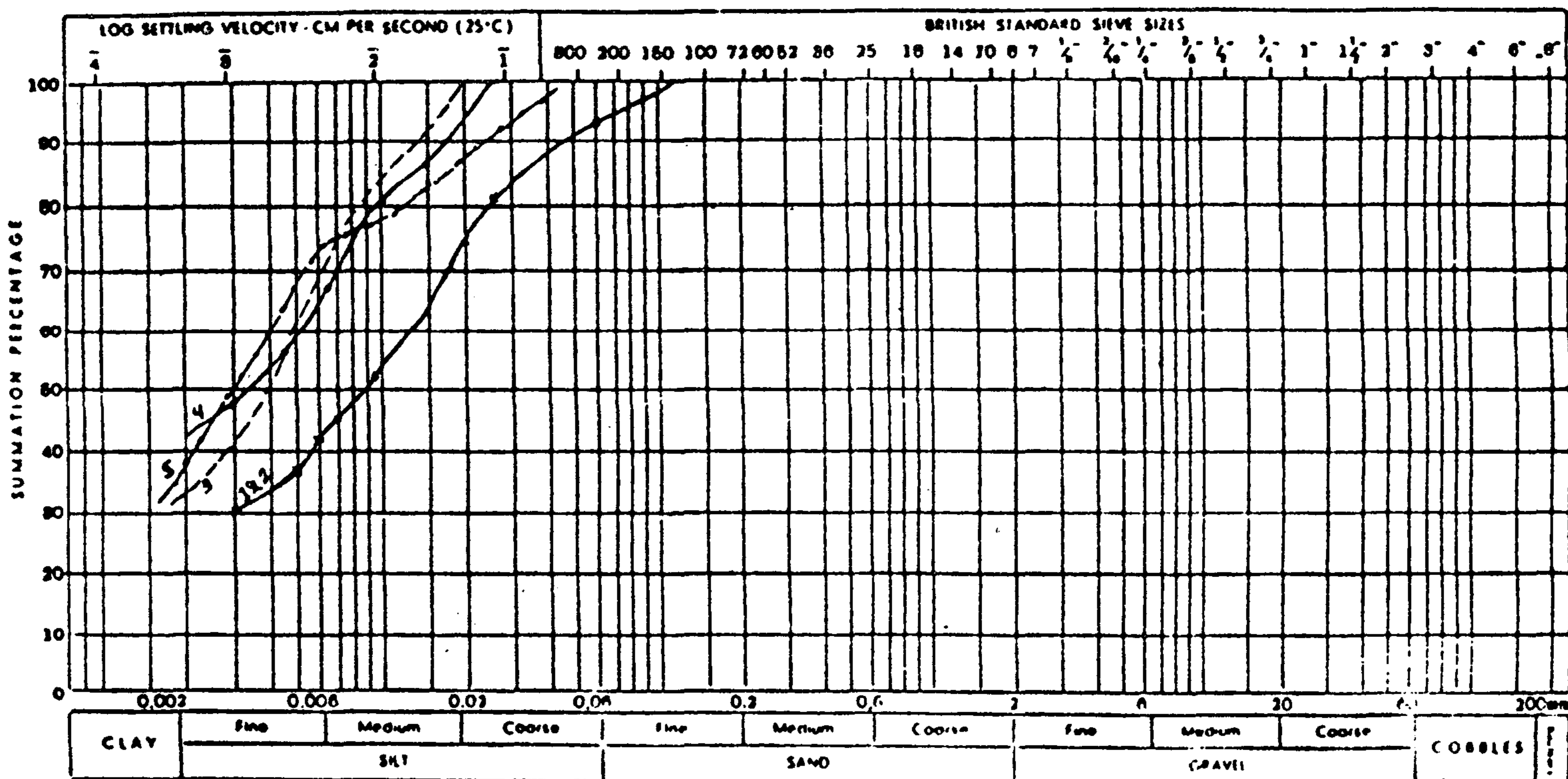


شکل ۱- روند تغییرات سرعت نفوذ در استخرهای تغذیه مصنوعی رامشه.

جدول ۱ - نفوذپذیری و ضخامت لایه رسوبی در اولین دوره بهره‌برداری از طرح تغذیه مصنوعی کهرویه

ضخامت لایه رسوبی (میلیمتر)	۷۳/۱۲/۱۴	۷۳/۱۱/۲۵	۷۳/۱۰/۲۸	۷۳/۹/۱	شماره استخر
۲۰۰	۰/۱	۰/۲	۰/۵	۱/۵	۱
۲۵	۰/۹	۱۰	۱/۰	۱/۲	۲
۱۳	۱/۰	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۳
۱	*	۱/۰	۱/۰	*	۴
-	۱	-	-	-	۵

* استخرهای موردنظر در این تاریخها بدون آب بوده‌اند.



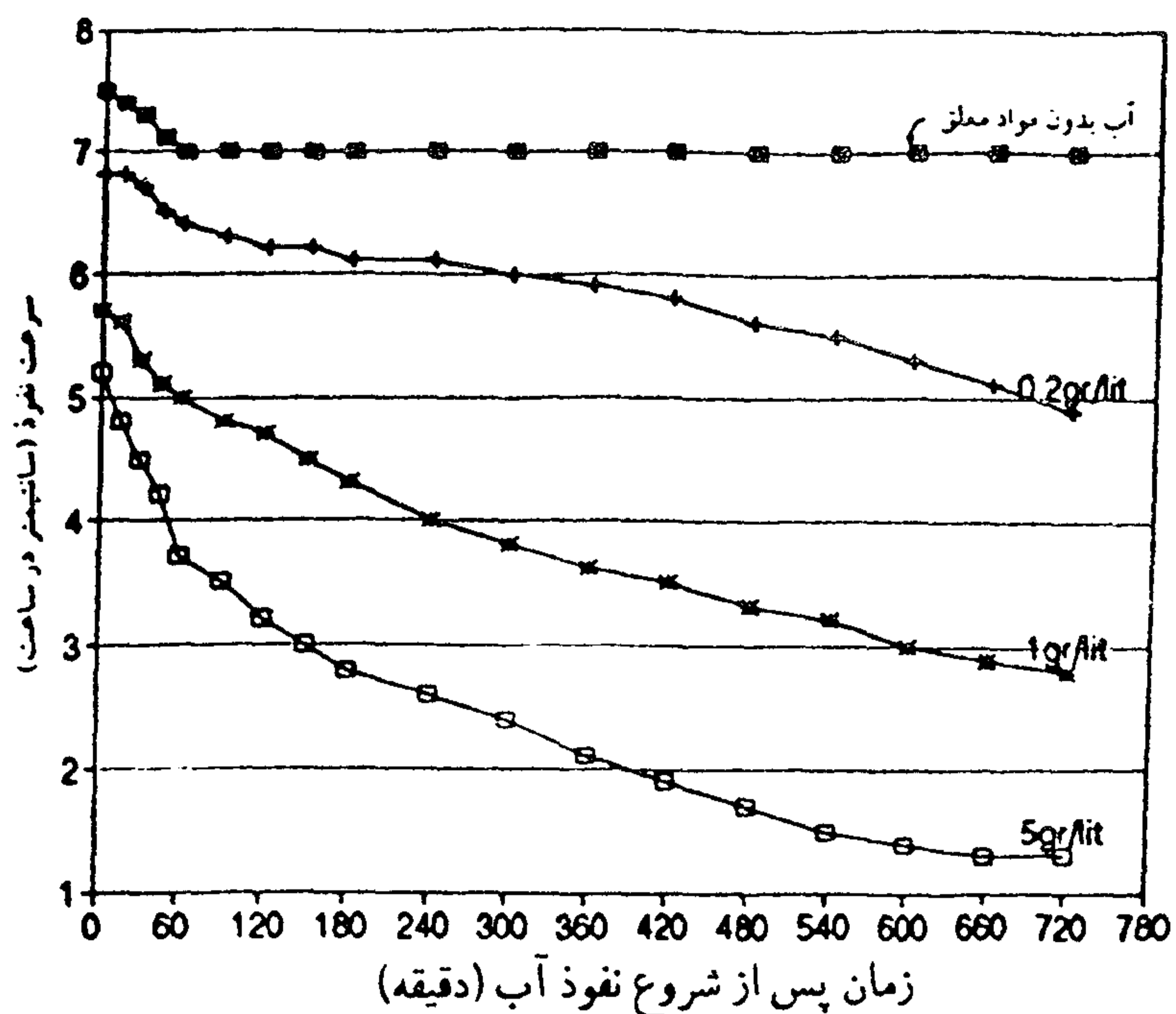
شکل ۲ - نمودار دانه‌بندی ذرات ته‌نشین شده در بستر استخرهای طرح تغذیه مصنوعی رامشه.

وجود دارد. این مسئله را شاید بتوان به ناهمگنی محیط متخلخل مورد استفاده برای تغذیه نسبت داد.

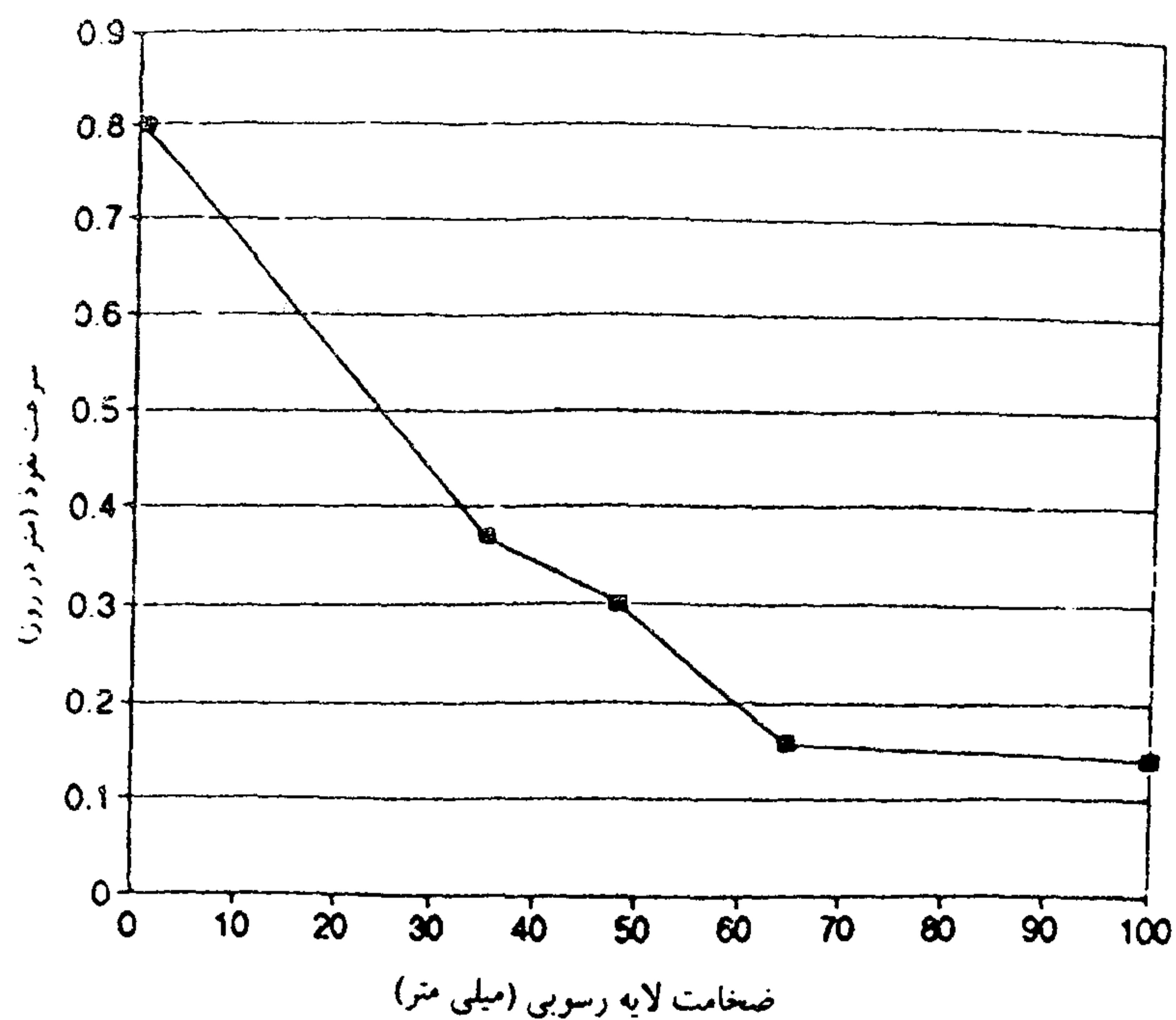
ج) مطالعات آزمایشگاهی

در شکل‌های ۵ الی ۷ نتایج آزمایشات انجام شده در زمینه تأثیر غلظت مواد معلق موجود در آب و همچنین اندازه ذرات معلق در آب در روند کاهش سرعت نفوذ ارائه شده است. براین اساس، هر اندازه غلظت مواد معلق موجود در آب بیشتر باشد شیب بخش اول منحنی سرعت نفوذ تندتر می‌شود، تشکیل لایه پیوسته رسوب در سطح خاک در زمان کوتاه‌تری اتفاق می‌افتد و سرعت نفوذ نهایی

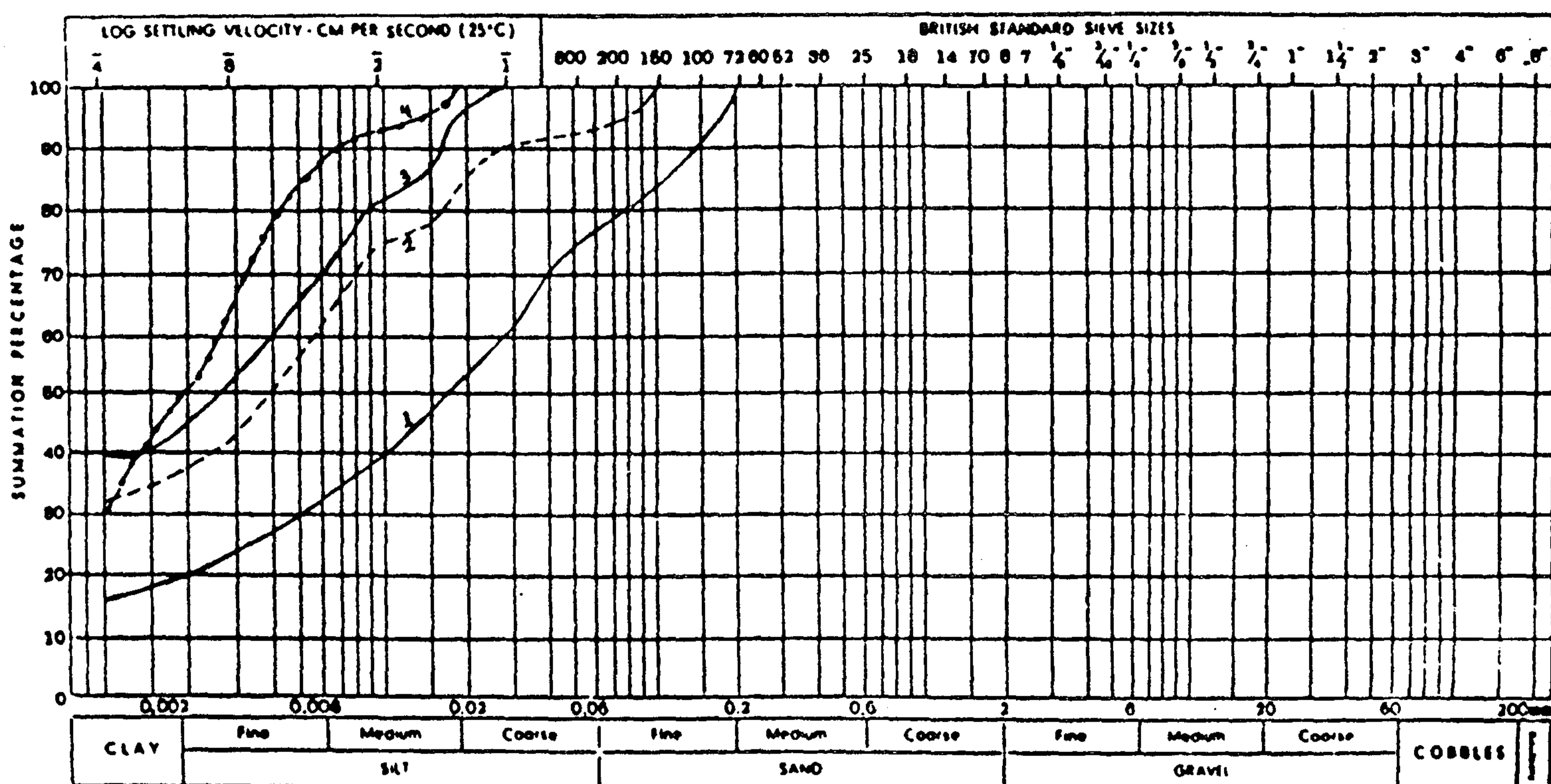
بعنوان رسوبگیر طراحی شده است و آب حاوی رسوب از یک استخر وارد استخر بعدی می‌شده است. در این جدول نیز کاهش سرعت نفوذ در اثر گذشت زمان (بخصوص در استخر شماره ۱) و ته‌نشست ضخامت‌های متفاوت رسوب در استخرهای تغذیه دیده می‌شود. شکل ۴ نمودار دانه‌بندی ذرات ته‌نشین شده در بستر استخرهای تغذیه مصنوعی کهرویه را نشان می‌دهد. ارقام ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهند که تفاوت فاحشی بین سرعت نفوذ استخرهای طرح کهرویه در زمان بهره‌برداری و ارقام سرعت نفوذ اندازه‌گیری شده به وسیله استوانه نفوذسنج قبل از شروع بهره‌برداری



شکل ۵ - مطالعه آزمایشگاهی تأثیر غلظت مواد معلق آب در کاهش سرعت نفوذ ($d < 0.2mm$)



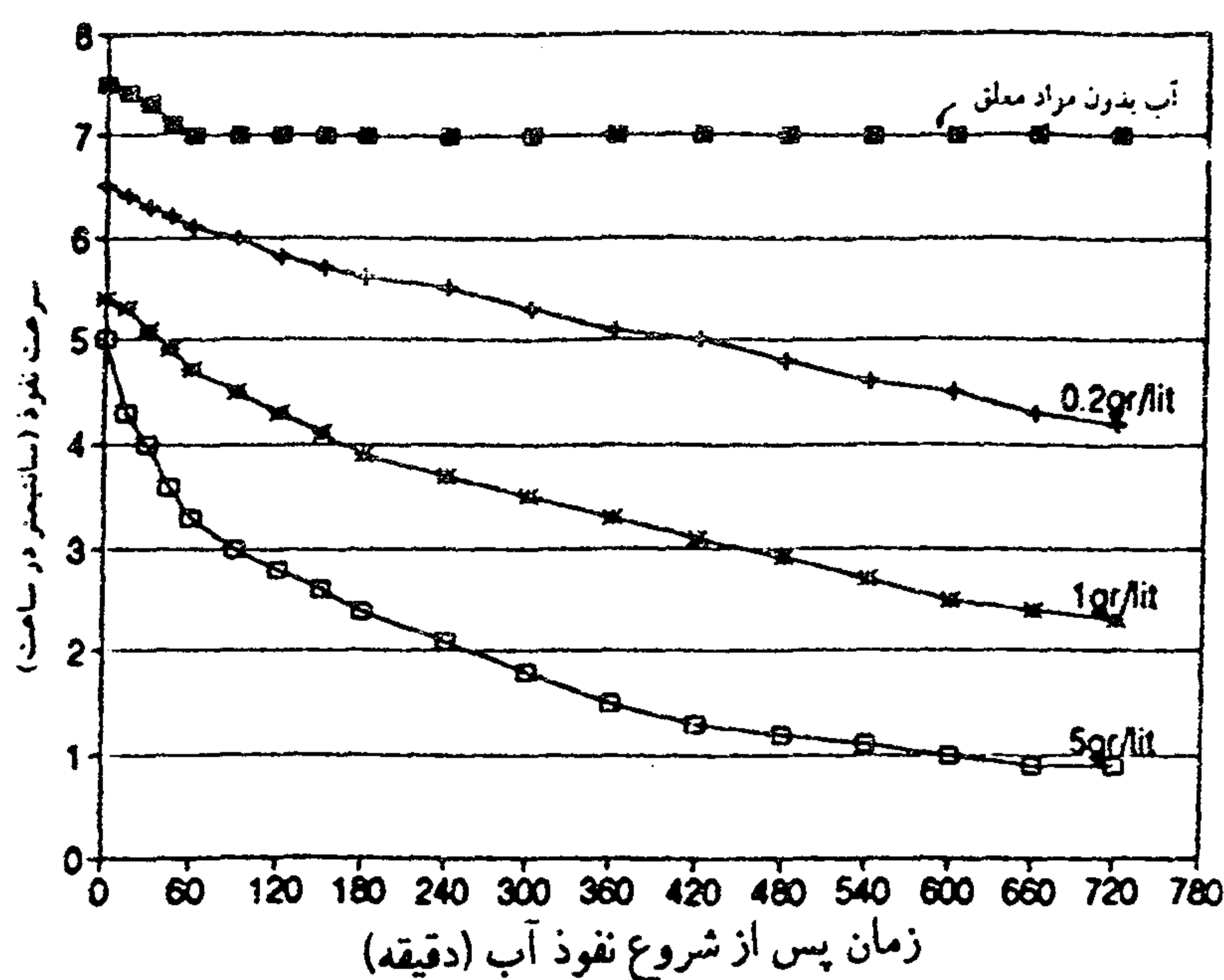
شکل ۳ - رابطه ضخامت لایه رسوبی و سرعت نفوذ استخرها در طرح رامشه.



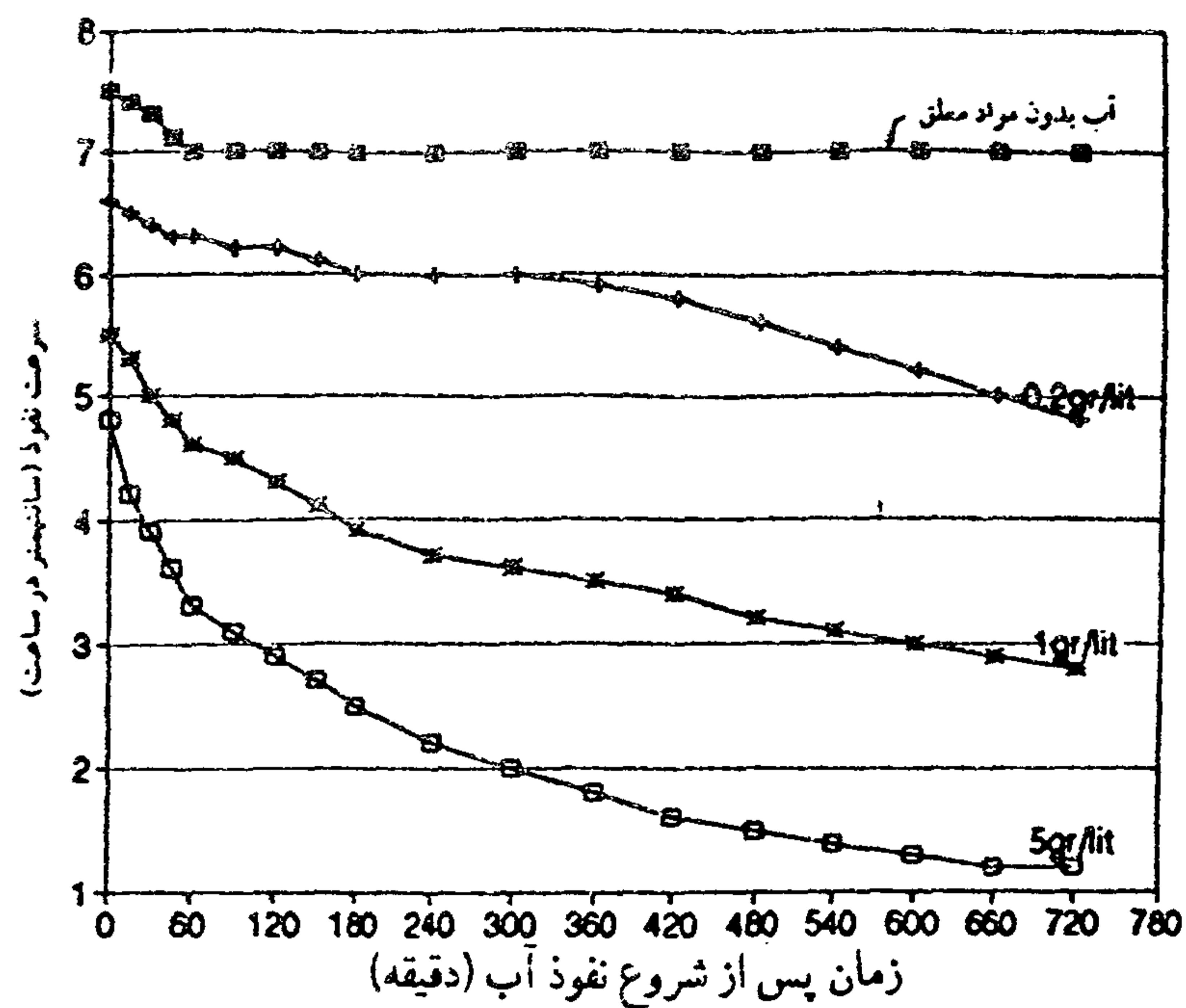
شکل ۴ - نمودار دانه‌بندی ذرات ته نشین شده در بستر استخرهای طرح تغذیه مصنوعی کهرویه.

بیشتری دارد.
 از مقایسه شکل‌های ۵ الی ۷ چنین دیده می‌شود که با کاهش قطر مواد معلق موجود در آب (و در نتیجه تغییر دانه‌بندی نمونه‌های آب حاوی رسوب) سرعت نفوذ نیز کاهش می‌یابد. مثلاً، در زمان ۳۰۰ دقیقه پس از شروع آزمایش و غلظت ۵ گرم در لیتر، سرعت نفوذ برای $d < 0.2mm$ ، $d < 0.6mm$ و $d < 0.2mm$ به ترتیب ۲/۴، ۲ و ۱/۷۷ سانتیمتر در ساعت شده است.
 در شرایطی که مواد معلق موجود در آب شامل ذرات رس، سیلت و شن باشد، به علت اختلاف سرعت ته نشینی آنها، ابتدا ذرات درشت‌تر و سپس ذرات ریزتر ته نشین می‌شوند (پدیده فیلتر

آب به خاک کمتر می‌شود. در عمل، آنچه که در روند تغییرات سرعت نفوذ سازه‌های تغذیه مصنوعی اهمیت دارد تغییرات دراز مدت است زیرا بطور معمول طول دوره آب اندازی این گونه سازه‌ها حداقل یک فصل خواهد بود. منحنی‌های شکل ۱ و شکل‌های ۵ الی ۷ روند یکسانی را نشان می‌دهند (گرچه مقیاس زمانی آزمایشات صحرائی و آزمایشگاهی متفاوت است) و با آزمایشات کالیفرنیا (۴ و ۱۲) مطابقت دارند. در مطالعات بنک (۱۲) حداکثر غلظت آب استفاده شده ۲۳۰ میلی‌گرم در لیتر بوده، در حالی که در تحقیق حاضر حداکثر غلظت ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر آزمایش شده است که با شرایط رودخانه‌های فصلی مناطق خشک و نیمه خشک تطابق



شکل ۷ - مطالعه آزمایشگاهی تأثیر غلظت مواد معلق آب در کاهش سرعت نفوذ ($d < 0.002mm$)



شکل ۶ - مطالعه آزمایشگاهی تأثیر غلظت مواد معلق آب در کاهش سرعت نفوذ ($d < 0.06mm$)

می‌کنند و برداشت لایه‌های سطحی رسوب بستر سازه‌های تغذیه چندان در بازیابی سرعت نفوذ اولیه مؤثر نخواهد بود.

(د) بررسی اجمالی راههای کنترل پدیده انسداد

راه‌حلهایی که برای کنترل پدیده انسداد پیشنهاد شده عبارتند

از: لایروبی مواد رسوبی از بستر سازه‌های نفوذی، پیش‌پالایی رسوبات ورودی و خراشیدن یا شخم زدن بستر تأسیسات نفوذی (۴).

اغلب، از برداشت قشر رسوب ته نشین شده در بستر

استخرهای تغذیه مصنوعی به عنوان بهترین روش کنترل انسداد یاد می‌شود. اما اعداد جدول ۲ نشان می‌دهند که در هیچیک از

اندازه‌گیریهای آزمایشگاهی، برداشت قشر ته‌نشین شده نتوانست سرعت نفوذ را به حالت اول برگرداند و تنها در چند مورد سرعت

نفوذ خاک کمی بهبود یافت. قابل ذکر است که عمل جمع‌آوری لایه رسوبی تنها شامل موادی است که در سطح خاک رسوب کرده و

ذرات معلق و ریزی که به درون خاک راه یافته‌اند را شامل نمی‌شود. بنابراین توصیه می‌شود که عمل لایروبی باید تا عمقی از سطح خاک

که بطور مؤثر آلوده به مواد معلق شده است ادامه یابد (حدود ۴ تا ۱۰ سانتیمتر). این عمق تا حد زیادی به بافت خاک، قطر مؤثر ذرات

معلق موجود در آب، غلظت مواد معلق و همچنین ارتفاع آب روی خاک بستگی دارد. در این مورد باید تحقیقات بیشتری صورت گیرد

تا دستورالعمل‌های اجرایی لازم تهیه شود.

پیش‌پالایی رسوبات به عنوان اقدامی مؤثر برای کنترل پدیده

انسداد محسوب می‌شود و به دو طریق صورت می‌گیرد: استفاده از

معکوس). در نتیجه، ذرات رسی به درون خاک نخواهند رفت و پدیده انسداد داخلی بوجود نخواهد آمد. اگر این نظریه پذیرفته شود، باید انتظار داشت که با برداشتن قشر رسوب سطحی بتوان به وضعیت اولیه سرعت نفوذ آب در خاک دست یافت. نتایج آزمایشگاهی این تحقیق (جدول ۲) چنین مطلبی را اثبات نمی‌کند. در این آزمایشات، پس از انجام هر آزمایش با آب حاوی مواد معلق، لایه رسوب سطحی جمع‌آوری شده و مجدداً سرعت نفوذ خاک با آب بدون مواد معلق اندازه‌گیری شده است. رطوبت خاک در زمان اندازه‌گیری سرعت نفوذ پس از جمع‌آوری لایه رسوب ته‌نشین شده مساوی شرایط اولیه آزمایش بود. از جدول ۲ چنین استنباط می‌شود که پدیده فیلتر معکوس اتفاق نیفتاده است و ذرات ریز نفوذ کرده به داخل خاک آزمایش سبب کاهش سرعت نفوذ شده‌اند (حتی ذرات ۰/۲ میلی‌متر نیز در لابلای ذرات درشت‌تر خاک مورد آزمایش، با دانه‌بندی شکل ۲، نفوذ کرده و انسداد را باعث شده‌اند).

در پروژه‌های اجرایی تغذیه مصنوعی نیز عواملی وجود

دارند که مانع تشکیل پدیده فیلتر معکوس در سطح خاک می‌شوند.

مثلاً هنگامی که آبی با درصد معینی از ذرات رس، سیلت و شن وارد یک استخر یا کانال تغذیه می‌شود ذرات درشت‌تر در بدو ورود

شروع به ته‌نشینی می‌کنند و ذرات ریزتر به تدریج در طول استخرهای پایانی تغذیه رسوب می‌کنند. این سخن بدین معنی است

که در پروژه‌های اجرایی انسداد به تشکیل یک قشر لای سطحی محدود نمی‌شود (۴) و ذرات ریز در خاک کف استخرها و کانالها نفوذ

جدول ۲ - تأثیر برداشت قشر رسوب ته‌نشین شده در ستون آزمایشگاهی در امکان بازیابی سرعت نفوذ اولیه .

غلظت مواد معلق gr/lit	دانه‌بندی مواد معلق (d) mm	سرعت نفوذ در پایان آزمایش با آب حاوی مواد معلق Cm/hr	سرعت نفوذ پس از جمع‌آوری لایه رسوب ته‌نشین شده Cm/hr
۰/۲	< ۰/۲	۴/۸	۵
۱	< ۰/۲	۲/۷	۲/۷
۵	< ۰/۲	۱/۳	۱/۴
۰/۲	< ۰/۰۶	۴/۷	۴/۶
۱	< ۰/۰۶	۲/۷	۲/۵
۵	< ۰/۰۶	۱/۲	۱/۲
۰/۲	< ۰/۰۰۲	۴/۲	۴
۱	< ۰/۰۰۲	۲/۳	۱/۹
۵	< ۰/۰۰۲	۰/۹	۰/۸
آب بدون مواد معلق	-	۷	-

بخاطر نفوذ ذرات ریز سیلت و رس در بستر استخرهای تغذیه صورت گرفته و سرعت نفوذ در پایان فصل بهره‌برداری کم شده است. قطعاً اگر این پیش‌پالایی صورت نمی‌گرفت، مسئله کاهش سرعت نفوذ و پدیده انسداد در استخرها جدی‌تر بود.

شخم زدن بستر سازه‌های نفوذی در پخش سیلاب رواج یافته است زیرا به دلیل وسعت زیاد و ناهمواریهای بستر نفوذ آب، عمل لایروبی غیرممکن و یا بسیار پرهزینه است. اما باید توجه کرد که عمل شخم زدن تنها می‌تواند نظم دانه‌بندی مواد ته‌نشست شده را برهم بزند. بدیهی است که به مجرد آب‌اندازی مجدد استخرها، یک لایه متراکم از مواد رسوبی در سطح خاک تشکیل می‌گردد و سرعت نفوذ به شدت کاهش خواهد یافت.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های اجرای این تحقیق از طرف سازمان تحقیقات کشاورزی تأمین شده است که تشکر می‌گردد. از سازمان آب منطقه‌ای اصفهان نیز به دلیل تهیه امکانات مطالعات صحرائی قدردانی می‌شود.

استخرهای رسوبگیر و راکدگذاری آب در سدهای تأخیری. پیش‌پالایی آب و نگهداری استخرها هزینه‌هایی را ایجاد می‌کنند که می‌توانند مکمل یکدیگر باشند. به عبارت دیگر، هر قدر پیش‌پالایی پیشرفته‌تر باشد، مخارج نگهداری به همان نسبت کمتر خواهد بود و برعکس. در طرح تغذیه مصنوعی کهرویه، مقدار کل رسوبات ورودی در طی اولین دوره بهره‌برداری قریب به ۲۷۶۰ تن بوده که از این میزان حدود ۲۳۰۰ تن در استخر رسوبگیر (استخر اول) نگهداری شده است. در طرح رامشه، کل رسوب وارده ۲۱۰۰ تن و رسوب نگهداشته شده در استخر رسوبگیر ۱۲۰۰ تن بوده است. اختلاف عملکرد این دو سیستم در دانه‌بندی رسوبات وارده و ابعاد استخرهای رسوبگیر می‌باشد. بنابراین می‌توان بر این نکته تأکید کرد که کارایی استخرهای رسوبگیر بستگی زیادی به دانه‌بندی مواد رسوبی ورودی و طراحی صحیح ابعاد استخر رسوبگیر دارد. در صورتیکه رسوبات ریزدانه باشند، روش راکدگذاری آب می‌تواند مؤثر باشد (تا ذرات ریز سیلت و رس با سرعت کم ته‌نشین، رسوب کنند). مدت زمان لازم برای راکدگذاری در هر شرایط خاص باید تعیین شود. با وجودیکه در دو طرح رامشه و کهرویه، عمل پیش‌پالایی توسط استخرهای رسوبگیر انجام شده اما بازهم انسداد

REFERENCES

مراجع مورد استفاده

- ۱ - بای بوردی، م.، ۱۳۷۲. فیزیک خاک، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲ - برهن، ف.، ۱۳۷۵. بررسی امکانات منابع آب کشور به منظور تخصیص برای اجرای طرحهای تغذیه مصنوعی، مجله آب و توسعه، شماره ۱، صفحات ۴۸ - ۵۹.
- ۳ - بهرپور، ع. و ف. موسوی، ۱۳۷۴. مسائل بهره‌برداری از رودخانه‌های فصلی در تغذیه مصنوعی آبخوانهای زیرزمینی، مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحات ۳۲۷ - ۳۱۵.
- ۴ - بیز، ژ.، ل. بورگه و ژ. لوموان، ۱۹۷۲ (حیدرپور، ج. (مترجم)، ۱۳۶۹). تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.
- ۵ - سازمان آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۷۱. گزارش طرح تغذیه مصنوعی رودخانه کهرویه.
- ۶ - سازمان آب منطقه‌ای اصفهان، ۱۳۷۲. گزارش طرح تغذیه مصنوعی رامشه.
- ۷ - سازمان تحقیقات منابع آب، ۱۳۷۳. طرح تیپ پیشنهادی تغذیه مصنوعی.
- ۸ - سرزعی، م. م. و م. میراب زاده اردکانی، ۱۳۷۴. نقش طرحهای تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی در توسعه پایدار منابع آب، مجموعه مقالات کنفرانس منطقه‌ای مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحات ۱۴۵ - ۱۳۳.
- ۹ - عطارزاده، ع. ۱.، ۱۳۷۵. نکاتی درباره تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی در ایران، مجله آب و توسعه، شماره ۱، صفحات ۴۳ - ۳۴.
- ۱۰ - کوثر، آ.، ۱۳۶۴. کاربرد روشهای گسترش سیلاب در تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، مجله زیتون، شماره‌های ۴۶ و ۴۷، صفحات ۳۳ - ۱۶.
- ۱۱ - هاسمن، ا. و ت. ان. اولستورن (هنرمند ابراهیمی، ع. (مترجم)، ۱۳۷۰)، تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی، انتشارات شرکت مهندسين مشاور مهاب قدس، ۴۰۳ صفحه.
- 12 - Behnkhe , J. J., 1969. Clogging in surface spreading operations for artificial groundwater recharge, Water Resources Research, Vol. 5, No. 4, PP. 870 - 876.
- 13 - Walton, W.C. 1970. Groundwater Resource Evaluation, McGraw-Hill Co., N.Y.

**Field and Laboratory Study of Soil Infiltration Changes as
Affected by Suspended Materials in Water in Artificial
Recharge Projects**

S . F. MOUSAVI, A. BASSIRPOUR AND B. MOSTAFAZADEH

Associate Professor, Isfahan University of Technology , Master of

Science Isfahan Regional Water Authority, Associate

Professor Isfahan University of Technology .

Accepted 17 Sep. 1997

SUMMARY

Surface runoffs that are used for artificial recharge usually contain a lot of suspended particles. These particles enter the artificial recharge installations by water and after sedimentation , cause a low permeable layer or move into deeper parts of soil and cause reduction in infiltration . This clogging phenomenon is one of the limitations for development of artificial recharge projects . In this research , the effect of clogging in Ramsheh and Kohroyeh artificial recharge projects in Isfahan Province and the effect of concentration and grading of suspended materials was studied . The results showed that average infiltration rate in recharge ponds of Ramsheh project decreased from 2 m/day to 0.5 m/day and that of Kohroyeh project decreased from 1.5 m/day to about 1.0 m/day in five months of the first operating period . The concentration of suspended materials in the water is the main factor which causes clogging and their grading had little influence on the trend of this phenomenon. Removal of settled sediment layer (in laboratory study) was not very effective in restoring original infiltration rate . Primary settling of water to eliminate entering sediments can reduce the damaging effects of clogging .

Key Words: Artificial recharge, Clogging phenomenon, Scraping, infiltration & arid regions