

# بررسی اثرات متقابل غلظت مواد معلق در آب و نوع پوشش خاک بر میزان نفوذپذیری حوضچه‌های نفوذ (در طرحهای تغذیه مصنوعی)

مسعود تابش

استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

روزبه جواهری

فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد - گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۱/۱۱/۶، تاریخ تصویب ۸۲/۴/۱۴)

## چکیده

تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی یکی از روشهای جبران آبهای مصرف شده از سفره‌ها و یا پالایش آبهای سطحی توسط بهترین فیلتر طبیعی یعنی خاک می‌باشد. یکی از مشکلات طرحهای تغذیه مصنوعی پدیده کورشدگی<sup>۱</sup> است که بر اثر مواد معلق موجود در آب و متناسب با خصوصیات خاک حوضچه‌ها رخ می‌دهد. این مقاله حاوی نتایج یک طرح تحقیقاتی است که به بررسی آثار متقابل غلظت مواد معلق در آب، جنس پوشش سطح خاک حوضچه و عمق لایروبی بعد از رسوبگذاری در میزان نفوذپذیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی می‌پردازد. در این تحقیق چهار غلظت مختلف مواد معلق در آب و سه نوع متفاوت پوشش خاک در حالات مختلف در ۱۶ حوضچه در آب‌رفتهای اطراف رودخانه کن در شمال غرب تهران مورد آزمایش نفوذ قرار گرفتند. بر طبق نتایج بدست آمده، فیلتر شن دانه‌بندی شده در مرحله آبیگری حوضچه‌ها افت نفوذ کمتری نسبت به سایر گزینه‌ها داشته است. آزمایش نفوذ بر روی لایه رسوبی پس از رسوبگذاری نشان داد که استفاده از فیلتر شن دانه‌بندی شده و ضایعات پنبه باعث نفوذ بیشتری خواهد شد. همچنین پوشش کمپوست (کود آلی بازیافتی) بهترین نتیجه را در احیاء نفوذپذیری خاک پس از لایروبی داشته است.

**واژه‌های کلیدی:** غلظت، مواد معلق، رسوب، پوشش خاک، نفوذپذیری، حوضچه نفوذ، تغذیه مصنوعی

## مقدمه

نشست مواد جامد معلق در آب، انتقال هوا بوسیله آب و آزاد شدن گاز محلول، شیمیایی (پخش و تورم رسها بوسیله تبادل یونی، رسوبگذاری نمکهای فلزی یا قلیایی - خاکی) و زیست‌شناختی (ازدیاد باکتریها، تولید مواد شیمیایی کورکننده و تکثیر جلبکها) تقسیم می‌شوند [۱]. آب مورد استفاده برای تغذیه مصنوعی غالباً ناشی از جریانهای سطحی فصلی بوده که با مقدار زیادی گل و لای و مواد ریز معلق همراه می‌باشد. این ذرات در هنگام ته‌نشینی، با نفوذ به اعماق خاک و پر کردن خلل و فرج خاک موجبات مسدود شدگی و گرفتگی منافذ و مجاری عبور آب را فراهم آورده و باعث پدیده کورشدگی و کاهش سریع نفوذ می‌گردند [۲].

کورشدگی ناشی از ته نشست مواد معلق در آب و روشهای کاهش آن در طرحهای تغذیه مصنوعی توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. در طرحهای انجام شده در سالهای ۱۳۴۹ تا ۱۳۵۱ در

در دنیا بخش اعظمی از آب مورد استفاده انسان از منابع آب زیرزمینی تامین می‌گردد. محدودیت این منابع و آثار جانبی و ثانویه برداشت‌های کلان و بدون جایگزین از آنها منجر به تلاشهای گسترده‌ای برای دستیابی به راه حلی در جهت احیاء این سفره‌ها گردیده است. یکی از این راه حلها تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک به منظور بازیابی و احیاء آبخوانها می‌باشد. در کشورهای اروپایی که عملاً بدلیل نوع اقلیم آب و هوایی با مشکل کم آبی روبرو نیستند نیز بحث تغذیه مصنوعی برای کنترل و بهبود کیفیت آب مورد توجه می‌باشد. یکی از معضلات و مشکلات طرحهای تغذیه مصنوعی کوتاه مدت بودن عمر استفاده از طرحهای اجرا شده بدلائل مختلف از جمله گرفتگی و کورشدگی حوضچه‌ها می‌باشد.

فرآیندهای کورشدگی به سه گروه مکانیکی (ته

با غلظت مواد معلق ثابت در فرسno کالیفرنیا نیزمورد بررسی قرار گرفته است [۱ و ۶]. نتایج این آزمایشات نشان می‌دهد هرچه غلظت رسوب بیشتر شده میزان کورشدگی افزایش یافته و کاهش نفوذپذیری سریعتر صورت پذیرفته است [۱]. در طرحی در پنوریا (در ایالت ایلی نویز آمریکا) که در حوضچه‌های ۱۲×۲۰ متر با ارتفاع ۳ متر و ضخامت فیلتر ۱۵ سانتیمتر انجام پذیرفت مشاهده گردید که ۹۰٪ مواد معلق در ۵ سانتی‌متر بالایی لایه فیلتر ته نشین شده‌اند [۱].

عواملی که باعث پیچیده شدن مکانیزم کورشدگی بوسیله مواد معلق می‌شوند عبارتند از دانه بندی و تخلخل خاک، دانه بندی و مشخصات فیزیکی و غلظت ذرات معلق، نسبت بین سرعت ته نشینی مواد و معلق و سرعت عمودی آب و ارتفاع آب [۱]. همچنین مهمترین عواملی که در مسدود شدگی داخلی مؤثر می‌باشند عبارتند از: تصفیه مکانیکی (پرشدن خلل و فرج ذرات درشت تر توسط ذرات ریز)، رسوب‌گذاری (در داخل خلل و فرج)، جذب سطحی مولکولی، فعالیت‌های بیوشیمیایی و باکتریولوژیکی. مواد معدنی معلق در آب تحت تاثیر سه عامل اول موجب کورشدگی می‌شود [۷]. کور شدگی در سطح خاک بحرانی تر می‌باشد [۸]. براساس اندازه گیریهای فیزیکی مشاهده شده هست که اگر چه بیشتر مواد معلق در سطح خاک فیلتر میشوند ولی برخی ذرات رسی در اعماق بیشتری نفوذ مینمایند [۹]. اگر کورشدگی در اعماق سطح حوضچه اتفاق بیفتد، استفاده دراز مدت از تاسیسات تغذیه به شدت متاثر خواهد شد [۱۰].

روشهای گوناگونی برای جلوگیری از کور شدگی و احیاء مجدد حوضچه‌های کور شده معرفی شده‌اند [۱۳، ۱۱، ۱۲]. این روش ها عبارتند از : راکدگذاری حوضچه‌ها و برنامه ریزی دوره های اجرایی خشک و تر برای تغذیه [۱۴، ۱۱]، شخم زدن لایه رسوبی [۷، ۳، ۱]، پیش بالایی آب مورد استفاده [۱ و ۲]، لایروبی مواد ته‌نشست شده [۱]، لایروبی لایه رسوبی به همراه بخشی از خاک زیرین [۱۶، ۱۵]، استفاده از فیلتر معکوس شنی و یا گیاهانی مانند چمن و یا انواع پوششهای نفوذپذیر آلی و معدنی (مالچ) بر روی خاک [۱۷، ۱۴] و روشهای شیمیایی [۱۴].

دشتهای اطراف قزوین از آب تقریباً صاف و بدون مواد معلق استفاده گردیده که کماکان طرح مذکور مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. این طرح بدلیل استفاده از آب تقریباً صاف مشکل کورشدگی نداشته و ضخامت رسوبات پس از ۳۰ سال استفاده کمتر از ۳۰ سانتیمتر می‌باشد.

در مطالعات بیز و همکاران، طرحهای گرمسار و ورامین مورد بررسی قرار گرفته که میزان نفوذپذیری در طی سه ماه آزمایش در ورامین از ۴ متر در روز به ۲ متر در روز و در گرمسار در یک بررسی ۳۰ روزه از ۳ به ۲ متر در روز کاهش یافته است [۳]. در بررسی‌های انجام شده بر روی طرحهای تغذیه مصنوعی جنوب استان اصفهان، در طرح رامشه نفوذ از ۲ به ۰/۵ متر در روز و در طرح کهرویه از ۲/۵ به ۱ متر در روز طی ۵ ماه از شروع بهره‌برداری کاهش داشته است. در این طرحها اثر ارتفاع آب بر روی حوضچه‌ها نیز ناچیز ارزیابی گردیده است [۴]. همچنین بصیرپور در یک مطالعه آزمایشگاهی تغییرات نفوذپذیری خاک در اثر مواد معلق موجود در آب را بررسی نمود [۴].

در تاسیسات تغذیه مونتس - بال آلمان برای صاف نمودن آب از فیلترهای شنی کوارتزی به قطر ۱ تا ۲ میلی‌متر که به ضخامت ۲۰ سانتی متر روی یک لایه دیگر به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر پوشیده شده بود استفاده گردیده در حالیکه غلظت مواد معلق نیز از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به ۱ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته بود. در مدت ۴۴ ماه آزمایش مشاهده شد که به تدریج بر میزان لای ته نشین شده افزوده می‌شود. میزان نفوذ نیز پس از ۱۲ ماه از ۳۵ متر در روز با یک کاهش سریع به ۷/۵ متر در روز از ماه سی ام به بعد کاهش یافت [۱]. در یک طرح تحقیقاتی در دره نایس آلمان شرقی با استفاده از لایه‌های فیلتر با دانه بندی متفاوت بر روی سطح خاک، کاهش سرعت نفوذپذیری محاسبه و فرمولی برای آن ارائه گردید [۱]. غلظت مواد معلق در آب ۱۰ میلی گرم در لیتر و ارتفاع حوضچه‌ها ۳۰ سانتی متر بودند. همچنین در یک حوضچه آزمایشی تغذیه مصنوعی با سطح ماسه ای و آب کدر با غلظت مواد معلق متوسط ۵۵ میلی گرم در لیتر سرعت نفوذ با توان ۲ کاهش نشان داد [۵]. روند کاهش نفوذپذیری در اثر مواد معلق طی یک سری آزمایش بر روی ستونهایی از شن به طول ۸۵ و قطر ۱۰ سانتیمتر با آب

همچنین تاثیر غلظت مواد معلق موجود در آب بر میزان تغییرات نفوذپذیری و احیاء آن در حوضچه‌های تغذیه مصنوعی در دو فاز قبل و بعد از لایروبی رسوب و لایه پوشش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### نحوه انجام آزمایشات

آزمایشات بصورت صحرائی در مخروط افکنه رودخانه کن واقع در شمال غربی شهر تهران صورت پذیرفت. روش انجام کار به گونه‌ای طراحی گردید که در محیط باز و طبیعی میزان نفوذ اندازه‌گیری شده و همچنین حجم و میزان آب ورودی قابل کنترل باشد. بدین منظور حوضچه‌هایی در ابعاد  $1/5 \times 1/5$  متر و ارتفاع ۱ متر از سطح زمین و ۰/۷ متر در عمق احداث و تمامی دیواره‌ها بوسیله پلاستیک ضخیم ایزوله گردید. این حوضچه‌ها در چهار بلوک و در هر بلوک ۴ حوضچه (مجموعاً ۱۶ حوضچه) ایجاد شدند و اختلاف بلوک‌ها در میزان غلظت رسوب در آب و تفاوت حوضچه‌های هر بلوک در نوع پوشش خاک بود. پوشش‌های انتخاب شده برای طرح عبارت بودند از:

- کود آلی بازیافتی (کمپوست) از نوع fine (نرم و بدون ناخالصی): این کود از مواد هموموسی آلی با ۶۰٪ رطوبت تشکیل گردیده و وزن حجمی آن در حالت طبیعی حدود  $30 \text{ Kg/m}^3$  بود.

- ضایعات پنبه (مواد خارج از نیاز کارخانجات ریسندگی): این پوشش نیز دارای بافت الیافی بوده و از نظر وزن ظاهری و بافت مشابه پنبه می‌باشد (با وزن حجمی حدود  $5 \text{ Kg/m}^3$  در حالت طبیعی).

- فیلتر دانه‌بندی شده: شن شسته شده یکنواخت با اندازه  $d_{50} = 1/5 - 2 \text{ mm}$

یک عدد از حوضچه‌ها در هر بلوک نیز بدون پوشش (بعنوان شاهد) در نظر گرفته شد و آزمایشها در ۵ مرحله به شرح زیر صورت پذیرفت:

۱- اندازه‌گیری سرعت نهایی نفوذ آب صاف در خاک بدون رسوب و بدون پوشش توسط استوانه‌های مضاعف.

۲- اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب صاف در خاک با پوشش توسط استوانه‌های مضاعف، شامل ۸ آزمایش نفوذ، برای هر پوشش ۲ تکرار. (با توجه به نتایج [۹] خاک به

در مطالعات انجام شده، پیش پالایی اولیه آب از مواد معلق تاثیر قابل ملاحظه‌ای در بهبود روند نفوذ داشته است. لیکن بدلیل محدودیتهای اجرائی و فیزیکی مانند محدود بودن حجم مخزن رسوبگیر و همچنین عدم رسوبگیری ذرات کوچکتر از ۰/۰۴ میلیمتر این روش نمی‌تواند تاثیر زیادی در پدیده مسدودشدگی که از تجمع ذرات سیلت و رس که دارای قطر کمتر از ۰/۰۲ میلی‌متر ناشی می‌شود ایجاد نماید. برخی از محققان استفاده از مواد منعقدکننده شیمیایی در حوضچه‌های رسوبگیر از جمله زاج سفید، سولفات آهن و کلرید آهن و یا کشت گیاهانی نظیر چمن و مرغ در بستر حوضچه‌های رسوبگیری را در کاهش سرعت آب و افزایش راندمان رسوبگیری مؤثر می‌دانند [۳]. شخم زدن خاک نظم دانه‌بندی مواد ته‌نشست شده را که بصورت فیلتر معکوس طبقه‌بندی شده‌اند به هم می‌ریزد و از این طریق سبب بالا رفتن نفوذپذیری می‌شود ولی در برخی تحقیقات از جمله [۱۷] مشاهده شد که شخم زدن مخصوصاً در زیرآب باعث افزایش عمق نفوذ مواد ریزدانه در خاک و کورشدگی بیشتر می‌گردد.

با توجه به نتایج ارائه شده توسط [۱]، لایروبی لایه سطحی به تنهایی کافی نبوده و باید قسمتی از لایه زیرین خاک نیز بدلیل نفوذ رسوبات برداشته شود. عمق لازم جهت لایروبی لایه بالایی خاک در برخی از طرحهای آلمان شرقی بین ۱/۵ تا ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است [۱]. در طرح کهرویه نیز لایروبی رسوب به همراه ۱۰ سانتی‌متر خاک زیرین آن توصیه گردیده است [۱۵، ۱۶]. همچنین در طرح اخیر نفوذپذیری طرحها به کمتر از ۲۰٪ مقادیر اولیه خود رسیده بودند و لایروبی تا عمق ۱۵ سانتی‌متر تنها توانسته بود حدود ۷۰ تا ۸۰٪ نفوذ اولیه این طرحها را بازیابی کند [۱۵، ۱۶]. افزودن مواد معدنی و آلی به خاک نیز مورد بررسی قرار گرفته که افزودن این مواد همراه با خاکورزی برای افزایش نفوذپذیری خاک (خاکهای رسی قلیا) موثر بوده است [۱۷]. بطور مثال افزودن یونجه خشک و یا جو دارای اثر زودگذر، کود حیوانی بدون اثر و باقیمانده محصول پنبه موثر گزارش شده است [۱۴].

در این مقاله با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده تاکنون، اثر نوع پوشش بر میزان جذب ذرات معلق و

ارتفاع ۴۰ سانتیمتر که تا عمق ۲۰ سانتیمتری درون خاک قرار می‌گرفت، انتخاب گردید. برای تهیه مخلوط آب و مواد معلق از یک مخزن استوانه‌ای به قطر ۱/۵ متر، ارتفاع ۲ متر و حجم مفید ۲/۲ متر مکعبی که به یک همزن مجهز شده بود و رس یکنواخت  $d_{50}=0.102 \text{ mm}$  استفاده شد. پارامترهای فیزیکی خاک عبارت بودند از: رطوبت اولیه ۶۱/۰۲٪، وزن مخصوص ظاهری ۲/۵۸ گرم در سانتیمتر مکعب، بافت شنی - لوم درشت دانه با تخلخل ۴۰٪. دانه بندی خاک در شکل (۱) نشان داده شده است. جزئیات آزمایش‌ها و مراحل اجرایی در مرجع [۱۸] ارائه شده است.

### بحث و بررسی نتایج

نتایج مراحل ۱ و ۲ در شکل (۲) ارائه گردیده است که در آنها تفاوت زیادی بین منحنی‌های نفوذ آب صاف در خاکهای با پوشش متفاوت نسبت به خاک بدون پوشش دیده نمی‌شود. در مرحله ۳، بلوکها به ترتیب A, B, C و D نامگذاری و میزان رسوب در هر بلوک به ترتیب ۰، ۲، ۵ و ۱۰ گرم در لیتر تعیین گردید. در هر بلوک نیز چهار حوضچه بدون پوشش (a)، پوشش کمپوست (b)، پوشش فیلتر (c) و پوشش ضایعات پنبه (d) مشخص شدند. ضخامت رسوبات ته‌نشین شده در پایان آبیاری مطابق جدول (۱) بود. میزان نفوذ نهایی در حوضچه‌ها در مراحل ۳ و ۴ و ۵ مطابق جداول (۲)، (۳) و (۴) بدست آمد.

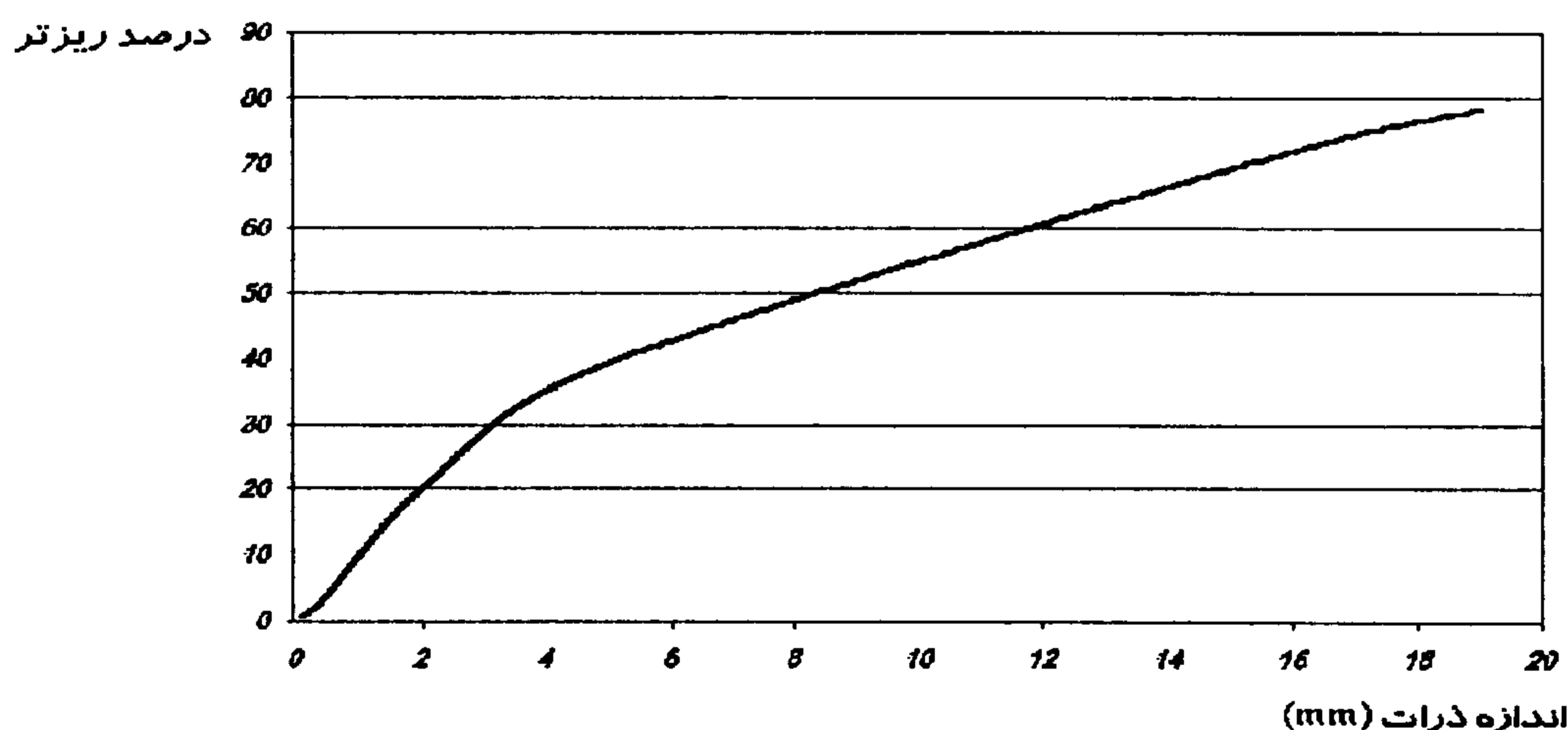
همراه پوشش تا عمق ۱۰ سانتیمتر خاکورزی شد).  
۳- اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب همراه رسوب در خاک با پوشش توسط اشل (هر حوضچه دارای یک پوشش خاص و یک حوضچه هم بدون پوشش).

۴- اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب صاف در خاک دارای پوشش و رسوب بجامانده از آب‌اندازی حوضچه‌ها توسط استوانه‌های مضاعف (پس از خشک شدن حوضچه‌ها).

۵- برداشت لایه رسوبی ممزوج با پوشش بعلاوه ۵ سانتیمتر از خاک زیرین و اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب صاف در خاک حوضچه‌های لایروبی شده توسط استوانه‌های مضاعف.

در مجموع ۶۰ آزمایش به شرح زیر انجام شد. سه آزمایش تعیین بافت خاک، سه آزمایش تعیین وزن مخصوص ظاهری خاک، سه آزمایش تعیین رطوبت اولیه خاک، سه آزمایش تعیین نفوذ نهایی آب (FC) در خاک با پوشش، شانزده آزمایش نفوذپذیری با آب حاوی رسوبات، شانزده آزمایش نفوذپذیری بر روی لایه رسوبی و پوشش با استفاده از استوانه مضاعف و آب صاف و شانزده آزمایش پس از لایروبی با استفاده از استوانه مضاعف و آب صاف.

آب مورد استفاده در آبیاری مرحله سوم از ۴ غلظت ۰، ۲، ۵ و ۱۰ گرم در لیتر مواد معلق تشکیل شده بود که بلوک با غلظت ۰ گرم در لیتر بعنوان معیار شاهد مورد استفاده واقع گردید. خاکها تا عمق ۱۰ الی ۱۵ سانتیمتری خاکورزی شد و استوانه‌های مضاعف مورد استفاده نیز به قطر ۳۰ سانتیمتر (داخلی) و ۴۰ سانتیمتر (خارجی) و



شکل ۱: نمودار دانه بندی خاک بستر مورد آزمایش در عمق ۹۰ سانتیمتری.

جدول ۱: غلظت مواد معلق و ضخامت رسوبات ته‌نشست شده در بلوکها در پایان مرحله سوم.

بلوک	غلظت مواد معلق (gr/lit)	ضخامت رسوبات (mm)
A	۰	۰
B	۲	۰/۷
C	۵	۱/۵
D	۱۰	۳

جدول ۲: مقادیر سرعت نهایی نفوذ آب در خاک در آزمایشات مرحله سوم.

نفوذ نهایی در هر بلوک (cm/hr)				نوع پوشش کرت
A(0 gr/lit)	B(2 gr/lit)	C(5 gr/lit)	D(10 gr/lit)	
3.1	2	1.7	1.2	بدون پوشش (a)
3.1	1.8	1.6	1.2	کمپوست (b)
3.5	2.5	2	1.8	فیلتر (c)
3.5	2.3	2	1.8	ضایعات پنبه (d)

جدول ۳: مقادیر سرعت نهایی نفوذ آب در خاک در آزمایشات مرحله چهارم.

نفوذ نهایی در هر بلوک (cm/hr)				نوع پوشش کرت
A(0 gr/lit)	B(2 gr/lit)	C(5 gr/lit)	D(10 gr/lit)	
1	0.7	0.53	0.3	بدون پوشش (a)
0.9	0.6	0.5	0.3	کمپوست (b)
1	0.8	0.6	0.4	فیلتر (c)
1	0.8	0.7	0.4	ضایعات پنبه (d)

جدول ۴: مقادیر سرعت نهایی نفوذ آب در خاک در آزمایشات مرحله پنجم.

نفوذ نهایی در هر بلوک (cm/hr)				نوع پوشش کرت
A(0 gr/lit)	B(2 gr/lit)	C(5 gr/lit)	D(10 gr/lit)	
1	0.7	0.6	0.5	بدون پوشش (a)
0.9	0.9	0.8	0.75	کمپوست (b)
1	0.8	0.7	0.7	فیلتر (c)
1	0.9	0.75	0.7	ضایعات پنبه (d)

منحنی‌های نفوذ در آزمایشات مرحله ۵ به ترتیب در شکل‌های (۷) تا (۱۰) بعنوان نمونه ارائه شده‌اند.

در شکل (۳) مشاهده می‌شود که سرعت نفوذ در مرحله سوم از ۰/۸۴ متر در روز در حوضچه بدون پوشش در اثر ۱۰ گرم در لیتر مواد رسوبی به ۰/۲۹ متر در روز رسیده یعنی به میزان ۶۶ درصد کاهش داشته است. این کاهش در حوضچه‌های b، c و d به ترتیب حدود ۶۱، ۴۹ و ۴۹ درصد بوده است.

در نتایج بدست آمده مشخص است که هر چه غلظت مواد معلق در آب مورد استفاده بیشتر شده سرعت نفوذ نهایی کاهش یافته است که این امر ناشی از تشکیل سریعتر و ضخامت بیشتر لایه ته‌نشست می‌باشد.

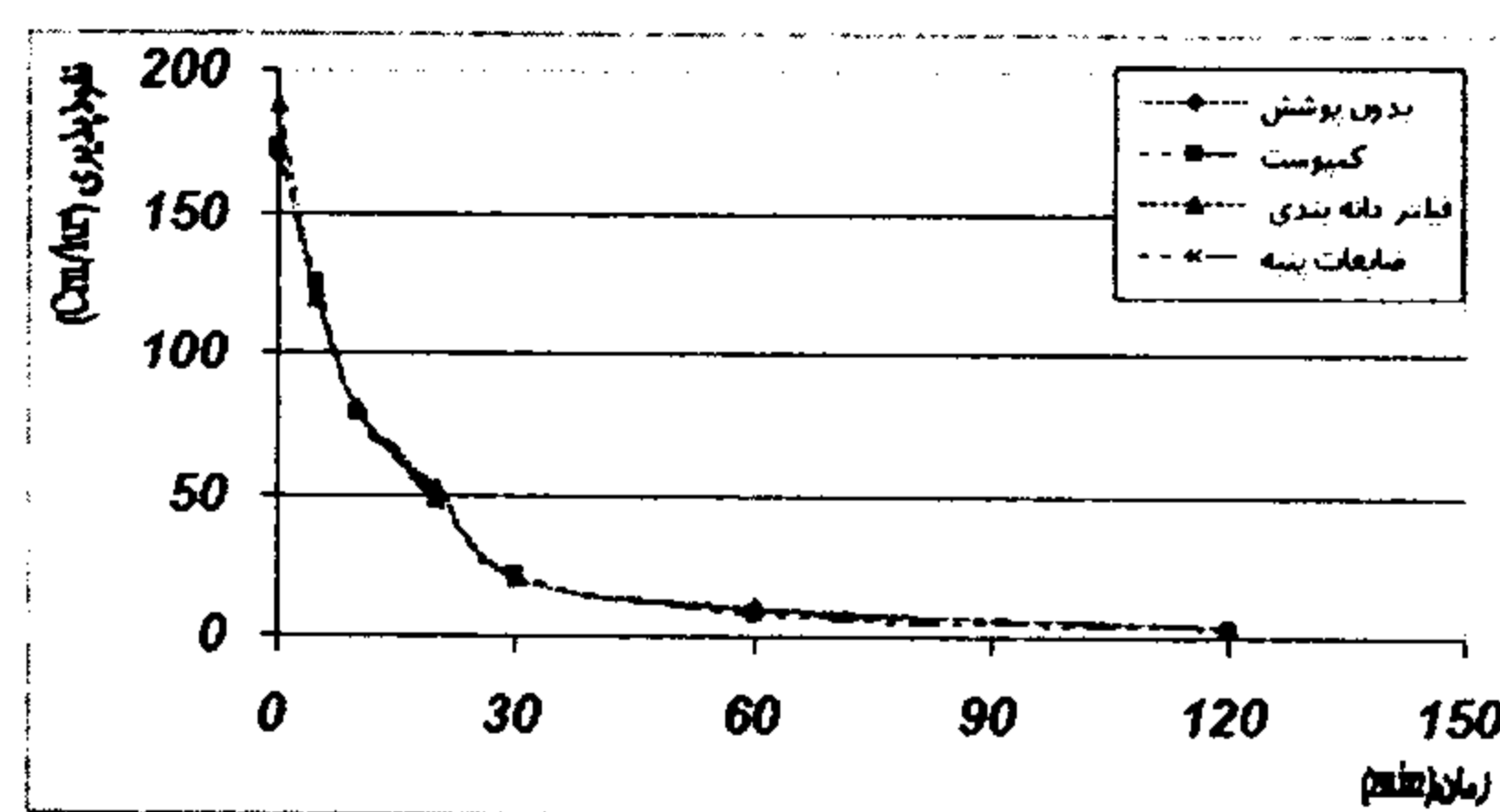
مقادیر کاهش نفوذپذیری در مراحل ۳ و ۴، افزایش نفوذپذیری در مرحله ۵ نسبت به مرحله ۴ و نسبت نفوذپذیری در مرحله ۵ به حالت طبیعی اولیه (مرحله ۲) نیز در اشکال (۳) تا (۶) مشخص گردیده‌اند. همچنین

با توجه به تفاوت سطح نفوذ و سیستم نفوذ آب در آگیری حوضچه‌ها در مرحله ۳ نسبت به مرحله ۴ (اشکال ۳ و ۴) مشاهده می‌گردد که بطور کلی نفوذ اندازه‌گیری شده توسط اشل در همه حوضچه‌ها بیشتر از نفوذ اندازه‌گیری شده توسط استوانه‌های مضاعف می‌باشد. دلیل این مسئله وجود نفوذ عرضی در حوضچه‌ها است که این مورد در استوانه‌های مضاعف خود را نشان نمی‌دهد.

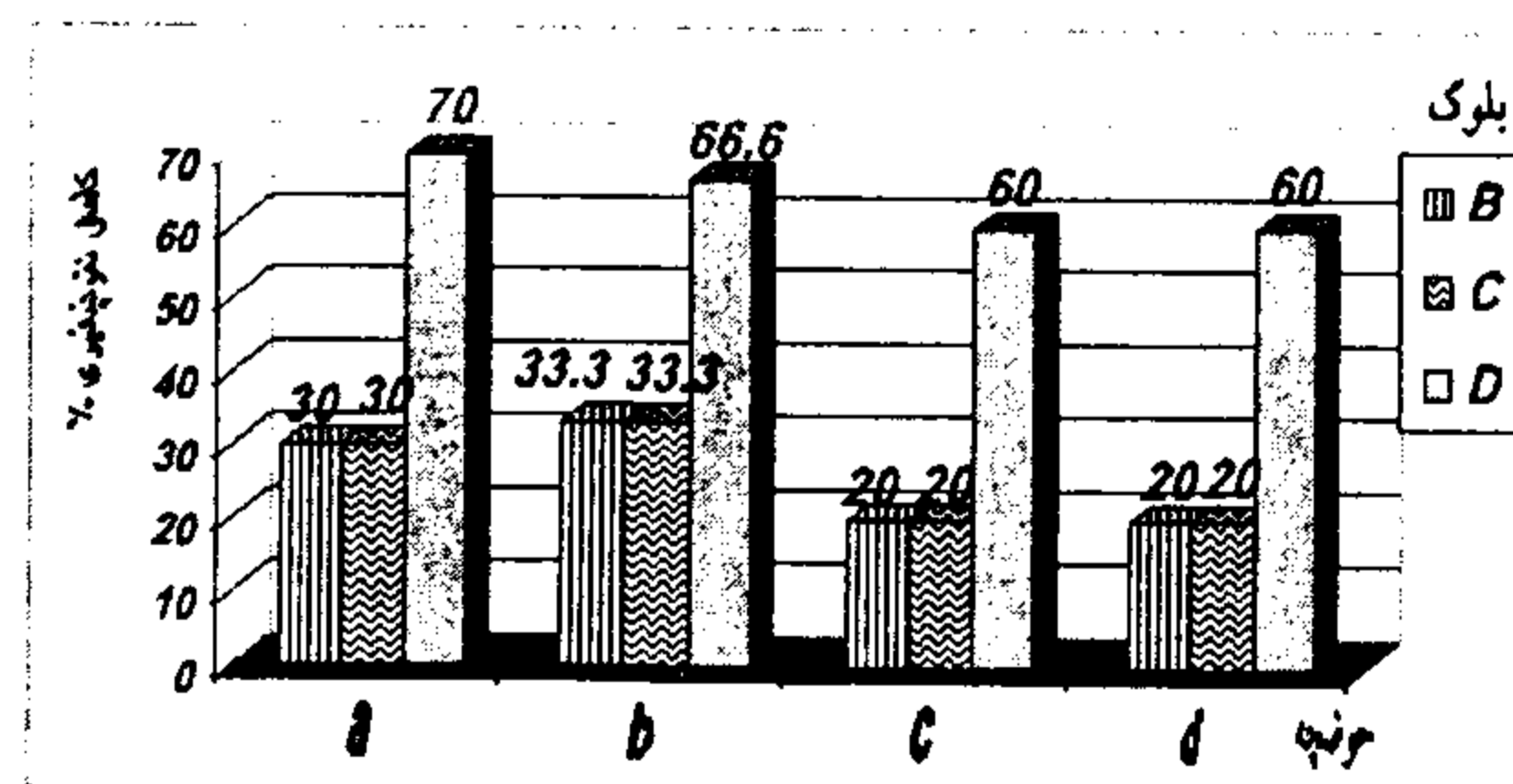
بر اساس نتایج مرحله ۴ (شکل ۴) مشاهده می‌شود که در غلظت ۲ گرم در لیتر (در بلوک B)، در حوضچه بدون پوشش (a) کاهش نفوذ کمتر از حوضچه با پوشش کمپوست است. در اثر چسبیده شدن ذرات معلق رسوب به ذرات چسبیده کمپوست و تشکیل لایه کم‌نفوذ بر روی سطح خاک، نفوذپذیری خاک کاهش یافته است ولی در حوضچه‌هایی که پوشش فیلتر و ضایعات پنبه دارند، فیلتر و الیاف پنبه ذرات معلق رس را در بین خود جای داده و یک لایه متخلخل، ولی با تخلخل کمتر از تخلخل خاک بستر، ایجاد می‌کند که کاهش نفوذ در آن از کاهش نفوذ ایجاد شده توسط لایه رسوب و کمپوست کمتر می‌باشد. هنگامی که غلظت مواد معلق افزایش می‌یابد عملاً اثر چسبندگی لایه کمپوست کمتر شده و خود باعث ایجاد یک لایه کم‌نفوذ با نفوذپذیری بیشتر از لایه رسوب خالص می‌گردد. در حوضچه‌های با پوشش فیلتر و ضایعات پنبه نیز به همان دلایل قبل نفوذپذیری بیشتر از دو حوضچه دیگر است. با افزایش غلظت مواد معلق مشاهده می‌شود در غلظت ۱۰ گرم در لیتر، تأثیر پوششها به نحو چشمگیری کاهش پیدا کرده و فقط ۴۰٪ سرعت نفوذ اولیه باقی می‌ماند.

نتایج مرحله ۵ مندرج در شکل‌های (۵) تا (۱۰) حاکی است که در حوضچه بدون پوشش و غلظت ۲ گرم در لیتر، ذرات ریزدانه‌ای که وارد خلل و فرج خاک شده‌اند در لایه رویی، باقی مانده و پس از لایروبی، نفوذپذیری به میزان اولیه خود باز می‌گردد. در حوضچه با پوشش کمپوست (همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد) ذرات معلق ریزدانه با کمپوست تشکیل یک لایه کم‌نفوذ تقریباً کلونیدی را داده که بر روی سطح خاک باقی می‌ماند و مانع از نفوذ زیاد ذرات به داخل خاک می‌شود. بنابراین پس از برداشت لایه رسوبی (البته به همراه ۵ سانتی‌متر از خاک زیرلایه)

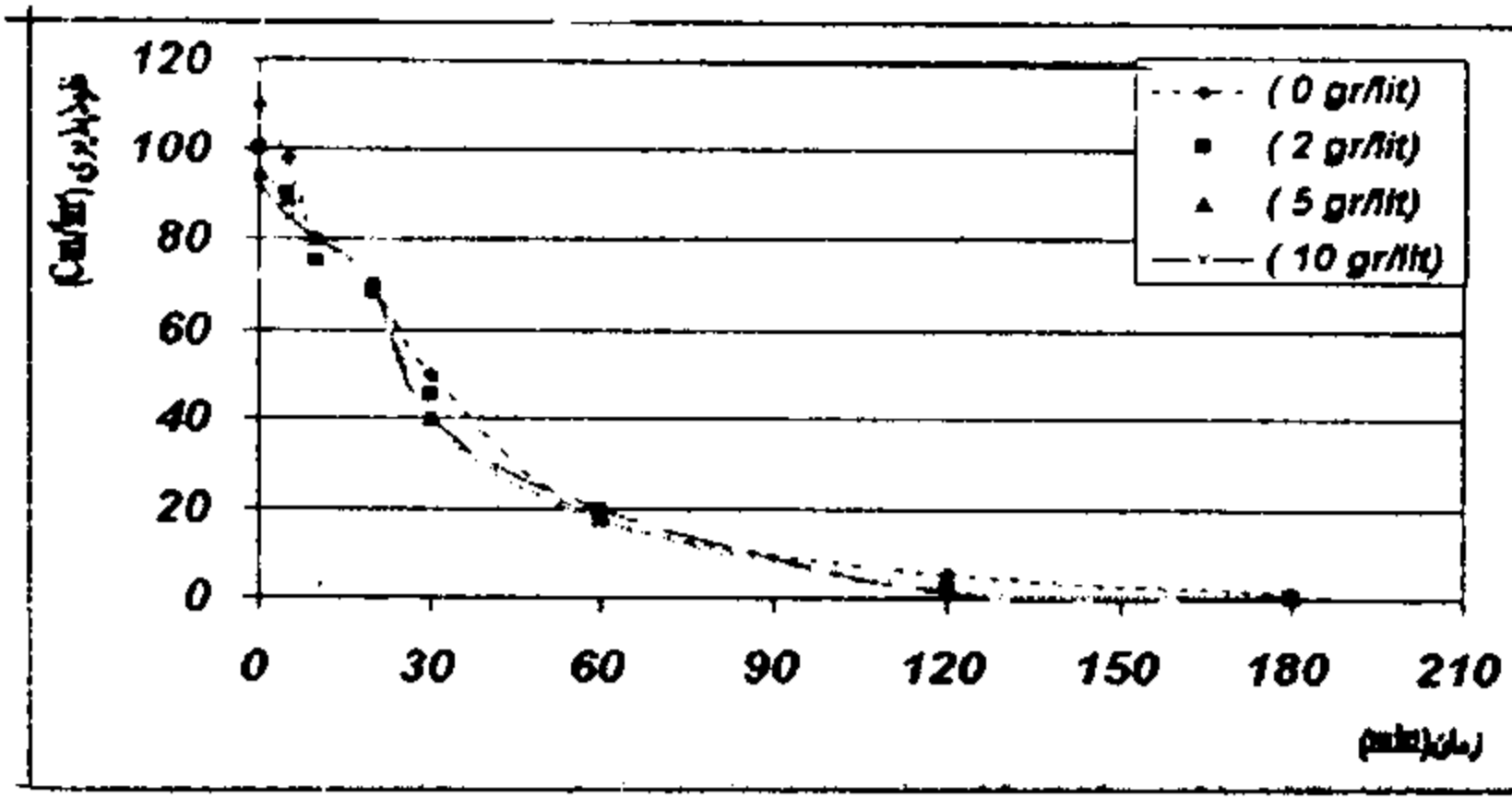
کاهش نفوذپذیری در مرحله سوم را می‌توان به شرح زیر تفسیر نمود: برای غلظت ۲ گرم در لیتر، در حوضچه بدون پوشش، ذرات معلق با ته‌نشین شدن و تشکیل یک لایه رسی کم‌نفوذ باعث کاهش نفوذ گردیده‌اند. در پوشش کمپوست این کاهش نسبت به حوضچه بدون پوشش اندکی کمتر است و دلیل آن وجود ذرات چسبنده آلی در کمپوست می‌باشد که به ذرات رس چسبیده و تقریباً نقشی در بهبود نفوذ ایفاء نموده‌اند. در پوشش فیلتر مشاهده می‌شود بدلیل جلوگیری از ورود کامل ذرات معلق ریز به داخل خاک، کاهش نفوذپذیری پایین‌ترین مقدار می‌باشد. در پوشش ضایعات پنبه نیز بدلیل مشابه نسبت به دو نمونه بدون پوشش و پوشش کمپوست کاهش کمتری ایجاد شده است. برای غلظت‌های ۵ و ۱۰ گرم در لیتر نیز پوشش فیلتر باعث جلوگیری از ورود ذرات ریزدانه به خاک گردیده و کاهش نفوذپذیری آب در خاک در این حوضچه‌ها کمتر از سایر پوشش‌ها در حوضچه‌های دیگر می‌باشد. پوشش پنبه نیز در وضعیتی تقریباً مشابه، به همان دلایل نسبت به میزان تغییرات نفوذ کاهش کمتری نشان داده است.



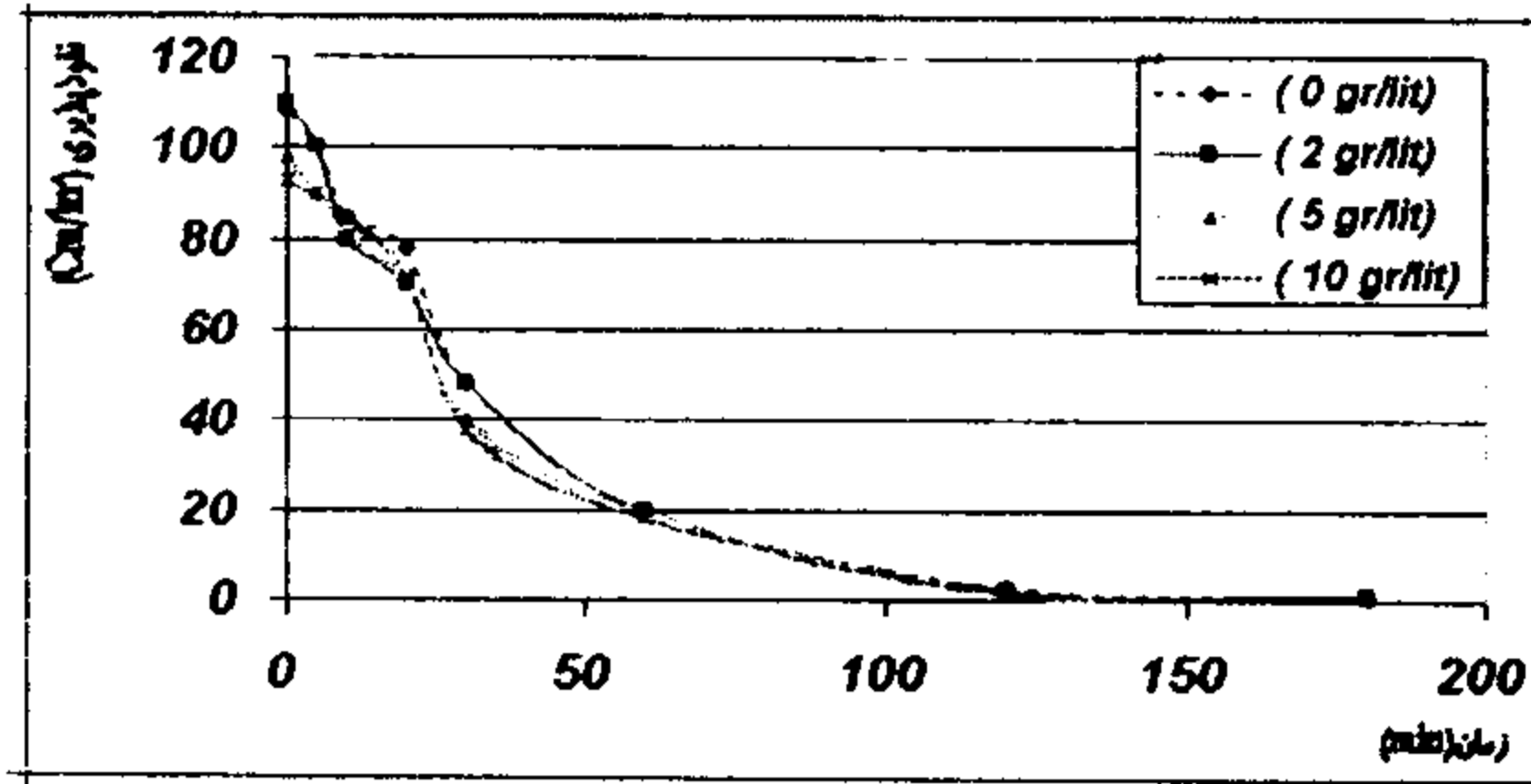
شکل ۲: نمودار تغییرات نفوذ برای خاک با چهار نوع پوشش مختلف (مراحل اول و دوم).



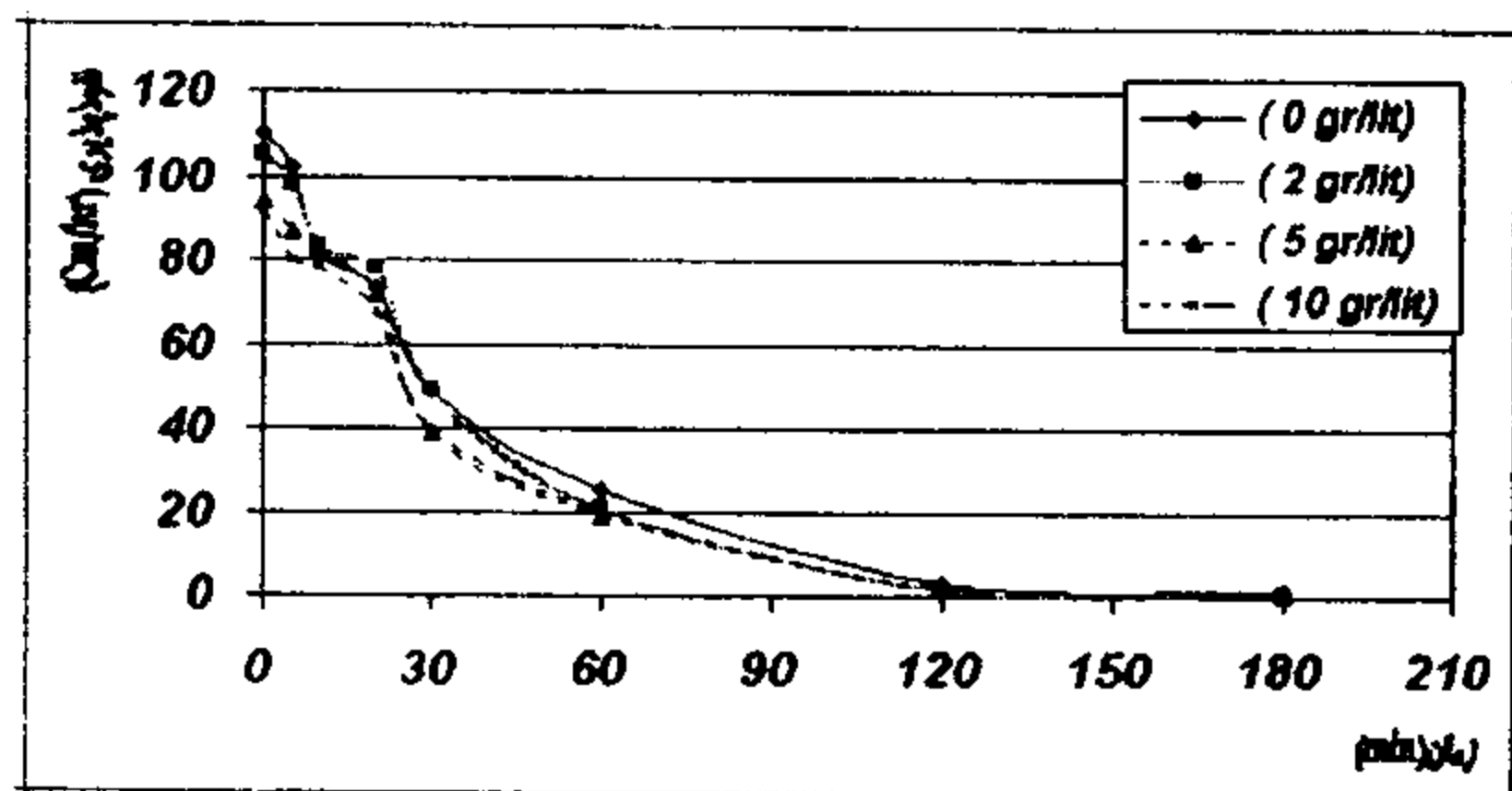
شکل ۳: میزان کاهش نفوذپذیری در آزمایشات مرحله سوم.



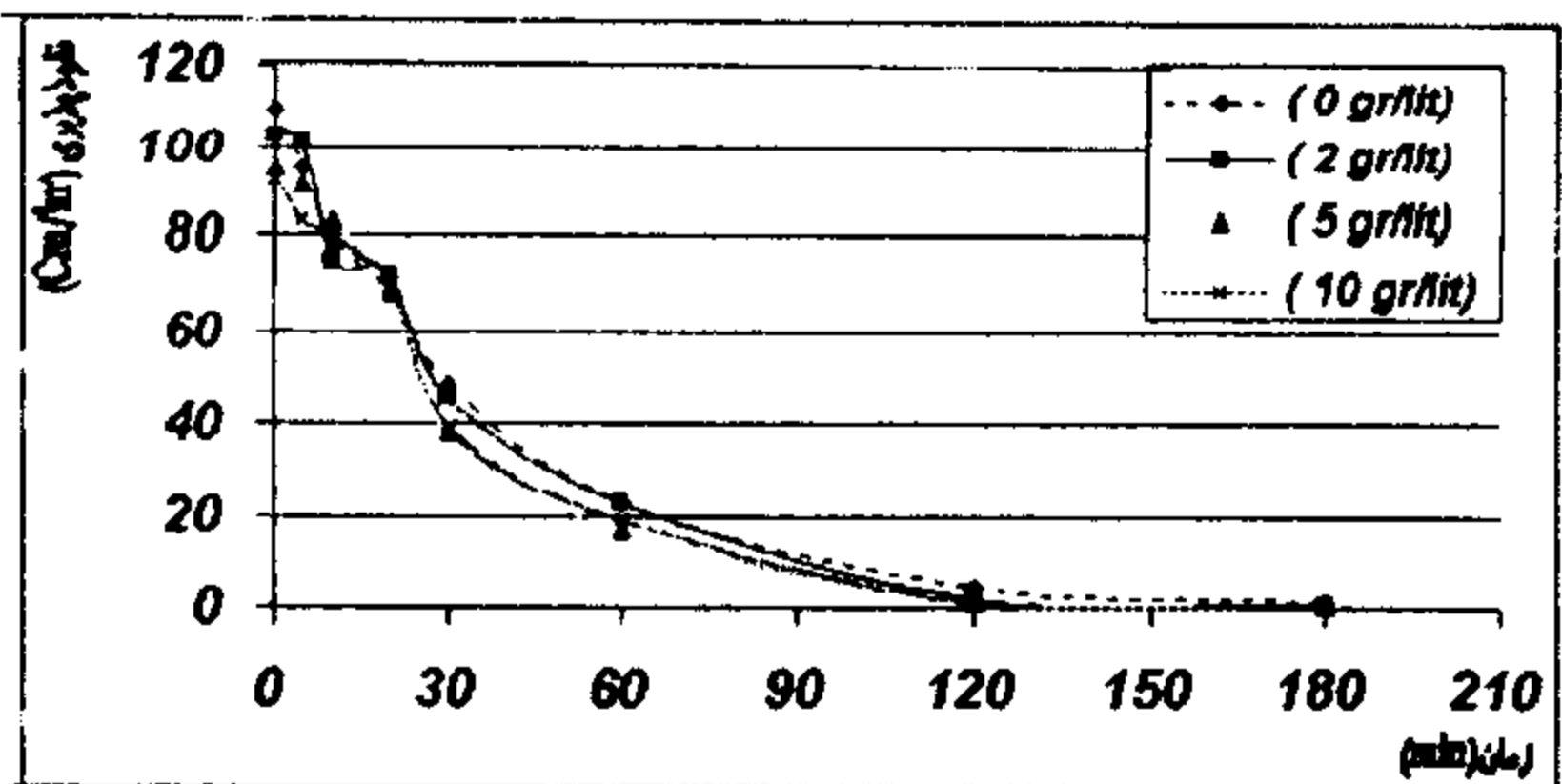
شکل ۷: منحنی‌های نفوذ در آزمایش مرحله پنجم (حوضچه a).



شکل ۸: منحنی‌های نفوذ در آزمایش مرحله پنجم (حوضچه b).



شکل ۹: منحنی‌های نفوذ در آزمایش مرحله پنجم (حوضچه c).

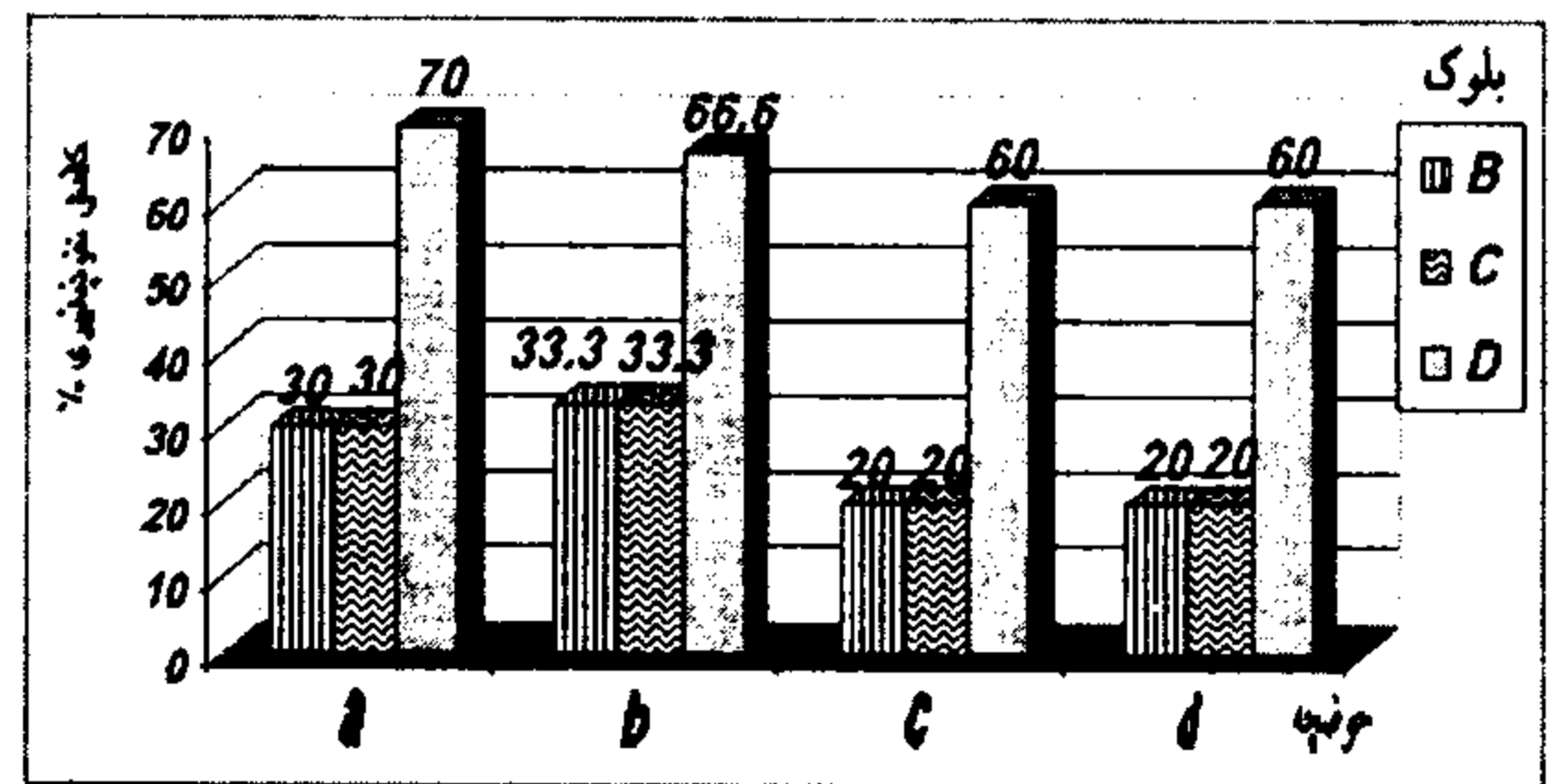


شکل ۱۰: منحنی‌های نفوذ در آزمایش مرحله پنجم (حوضچه d).

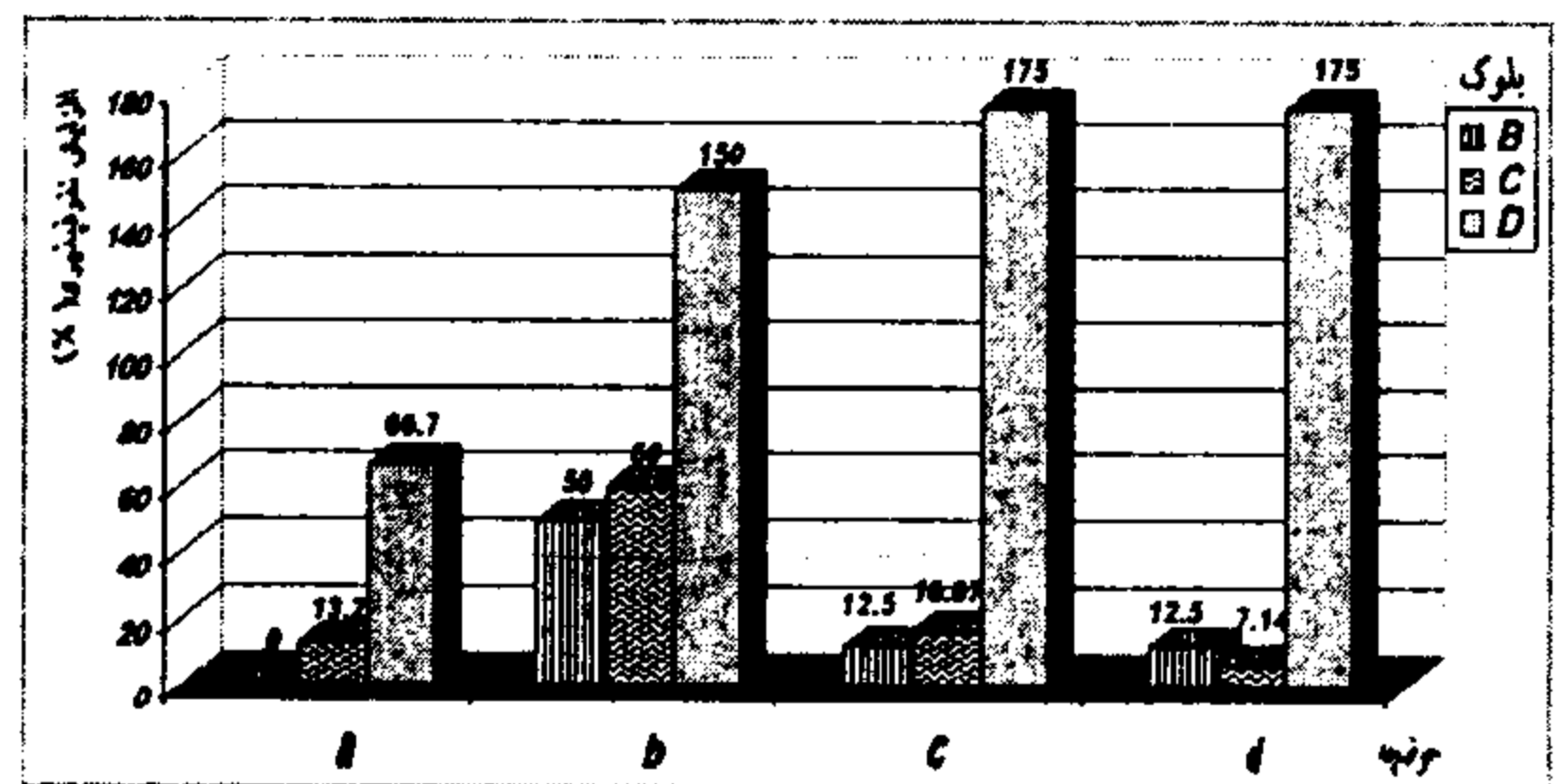
### نتیجه‌گیری

در این مقاله آثار متقابل غلظت مواد معلق در آب، جنس پوشش سطح خاک و لایروبی بعد از رسوبگذاری در

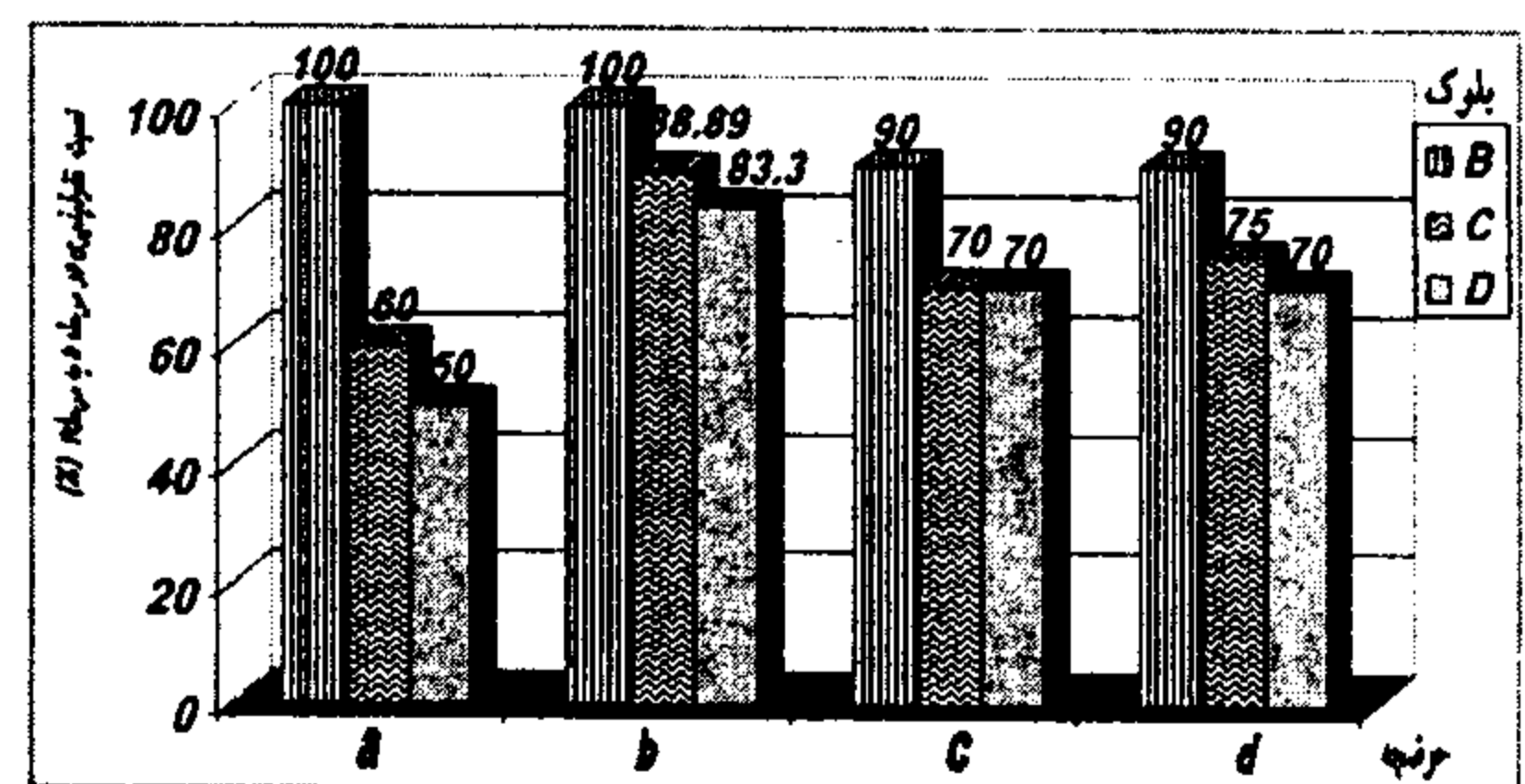
نفوذپذیری خاک تقریباً به حالت اولیه باز می‌گردد. در حوضچه‌های با پوشش ضایعات پنبه و فیلتر بدلیل نفوذ مقدار کمتری از ذرات به داخل خاک نسبت به حوضچه بدون پوشش و باقی ماندن رسوبات بر روی پوشش‌ها، نفوذپذیری تا ۹۰٪ حالت اولیه بهبود یافته است. هنگامی که غلظت مواد معلق در آب مورد استفاده افزایش می‌یابد (در بلوک‌های C و D) نیز به دلایل گفته شده، تغییرات نفوذپذیری رفتاری مشابه با رفتار در بلوک B دارند و تنها تفاوت در حوضچه‌های بدون پوشش می‌باشد که بدلیل افزایش رسوب مقداری از رسوب بر روی خاک بصورت یک فیلتر معکوس عمل کرده و پس از لایروبی تا حدودی نفوذپذیری افزایش می‌یابد.



شکل ۴: میزان کاهش نفوذپذیری در آزمایشات مرحله چهارم.



شکل ۵: میزان افزایش نفوذپذیری در آزمایشات مرحله پنجم نسبت به مرحله چهارم.



شکل ۶: نسبت نفوذپذیری در مرحله ۵ به حالت طبیعی اولیه (مرحله ۲).

پالایی آب، برای غلظت کم مواد معلق (در حد ۲ تا ۵ گرم در لیتر) پوشش فیلتر توصیه می‌شود. این پوشش در هنگام اولین آبیگری نفوذ قابل قبولی داشته و پس از رسوب گذاری نیز کمترین کاهش نفوذپذیری را نشان داده است. در صورت نیاز به لایروبی حوضچه پس از یک یا دو فصل بهره برداری، پوشش کمپوست باعث نفوذپذیری بیشتری نسبت به دیگر پوششهای آزمایش شده خواهد گردید.

### تقدیر و تشکر

بدینوسیله از سازمان تحقیقات منابع آب ایران (تماب) که هزینه و تدارکات لازم را جهت انجام این تحقیق فراهم نمودند صمیمانه قدردانی می‌گردد.

میران نفوذ پذیری حوضچه‌های تغذیه مصنوعی مورد بررسی قرار گرفت. همانگونه که پیش بینی می‌شود با افزایش غلظت مواد معلق در آب میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد. از بین سه نوع پوشش فیلتر شده دانه بندی شده، کمپوست و ضایعات پنبه مشاهده شد که در هنگام آبیگری حوضچه‌های دارای پوشش فیلتر با آب حاوی مواد معلق سرعت نفوذ با شدت کمتری نسبت به دیگر پوششها کاهش می‌یابد و کورشدگی کندتر اتفاق می‌افتد. پس از ته نشین ذرات معلق آب، حوضچه‌های دارای پوشش فیلتر شن دانه بندی شده و ضایعات پنبه نسبت به پوشش کمپوست نفوذپذیری بیشتری دارند. همچنین در صورت لایروبی خاک بستر، نفوذپذیری در حوضچه‌های دارای پوشش کمپوست (کود آلی بازیافتی) نسبت به حوضچه‌های حاوی فیلتر و ضایعات پنبه بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در صورت عدم امکان پیش

### مراجع

- ۱- بیز، ژ، بورگه، ل. و لومورن، ژ. تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، (حیدرپور، ج. مترجم)، (۱۳۶۹).
- 2 - Al-Muttair, F. F., Sendil, U. and Al-Turbak, A. S. (1994). "Management of recharge dams in Saudi Arabia." *ASCE, J. Water Resources Planning and Management*, Vol. 120, No. 6, PP. 749-763.
- ۳- کوثر، آ. کاربرد روشهای گسترش سیلاب در تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی، مجله زیتون، شماره‌های ۴۶ و ۴۷، صفحات ۱۶-۳۳، (۱۳۶۴).
- ۴- بصیرپور، ع. بررسی تغییرات نفوذپذیری خاک در اثر مواد معلق موجود در آب در طرحهای تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۷۴).
- 5 - Schuh, W. M. (1990). "Seasonal variation of clogging of an artificial recharge basin in northern climate." *J. Hydrol.*, Vol. 121, PP. 193-215.
- 6 - Behnkhe, J. J. (1969). "Clogging in surface spreading operations for artificial groundwater recharge." *Water Resources Research*, Vol. 5, No. 4.
- ۷- هاسمن، ا. و اولستورون، ت. ان. تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی، انتشارات شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، (هنرمند ابراهیمی، ع. مترجم)، (۱۳۷۰).
- 8 - Ripley, D. P. and Saleem, Z. A. (1973). "Clogging in simulated glacial aquifers due to artificial recharge." *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 4, PP. 1047-1057.
- 9 - Schuh, W. M. (1988). "In-situ method for monitoring layered hydraulic impedance development during artificial recharge with turbid water." *J. Hydrol.*, Vol. 101, PP. 173-189.
- 10 - Goss, D. W., Smith, S. J., Stewart, B. A. and Jones, O. R. (1973). "Fate of suspended sediment during basin recharge." *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 3, PP. 668-675.



- 11 - Jones, O. R., Goss, D. W. and Schneider, A. D. (1981). "Management of recharge basins on the southern high plains." *Trans. ASAE*, Vol. 24, No. 4, PP. 977-980.
- 12 - Zomorodi, K. (1990). "Optimal artificial recharge in intermittent multibains system." ASCE, *J. Water Resources Planning and Management*, Vol. 116, No. 5, PP. 639-651.
- 13 - Schuh, W. M. (1991). "Effects of an organic mat filter on artificial recharge with turbid water." *Water Resources Research*, Vol. 27, No. 6, PP. 1335-1344.
- ۱۳- عطارزاده، ع.ا. تغذیه مصنوعی سفره آبهای زیرزمینی، چاپ افست گلشن، (۱۳۵۳).
- ۱۴- رضایی، و. و موسوی، ف. تأثیر لایروبی در بازیابی سرعت نفوذ اولیه چند طرح تغذیه مصنوعی در استان اصفهان، مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صفحات ۸۹-۱۰۴، (۱۳۷۷).
- 16 - Mousavi, S. F. and Rezai, V. (1999). "Evaluation of scraping treatments to restore initial infiltration capacity of three artificial recharge projects in central Iran." *Hydrogeology Journal*, Vol. 7, PP. 490-500.
- ۱۷- اسماعیلی، ا. و موسوی، ف. بررسی بهبود نفوذپذیری در خاکهای رسی و شور در اثر خاکورزی و افزایش مواد مالچی، مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صفحات ۶۹-۸۷، (۱۳۷۷).
- ۱۸- جواهری کوپائی، ر. بررسی اثرات متقابل غلظت رسوب و نوع پوشش خاک بر میزان نفوذپذیری حوضچه‌های نفوذ در طرحهای تغذیه مصنوعی، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، (۱۳۸۰).

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Clogging