

بررسی مکانیسم جریان ترجیحی نیترات در شرایط غیر اشباع در حضور ماکروپوره‌های با تعداد و اندازه مختلف

فهیمة امیری میجان^{۱*}، مهدی شرفا^۲، عبدالمجید لیاقت^۳

چکیده

با گسترش صنعت، مشکلات ناشی از آلودگی رو به افزایش است. استفاده بیش از حد از کود و سموم در کشاورزی، آلودگی آبهای زیر زمینی و کم عمق را به دنبال داشته که سبب بروز مشکلاتی در زندگی مردم شده است. جریان ترجیحی در خاک یکی از روشهای انتقال سریع آلاینده‌ها به سفره‌های آب زیرزمینی می باشد که سبب آلودگی منابع آبی و محیط زیست می گردد. هدف از این تحقیق بررسی نقش ماکروپوره‌های مصنوعی از نظر تعداد و قطر روی جریان ترجیحی نیترات در دو نوع خاک لومی و لوم رس شنی می باشد. در مجموع ۱۶ ستون خاک هر کدام به ارتفاع ۳۰ و قطر ۲۰ سانتیمتر تهیه شد، که ۸ ستون با خاک لوم رس شنی و ۸ ستون دیگر با خاک لومی پر شده بود. جریان ترجیحی در ماکروپوره‌های مصنوعی با دو سری ۳ و ۷ عددی و اندازه ۲ و ۴ میلیمتری مورد بررسی قرار گرفت. کلیه ستونهای فوق تحت تاثیر جریان غیر اشباع (۰/۳Ks) قرار گرفتند. Ks هدایت هیدرولیک اشباع می باشد. نتایج نشان داد که در صورت ایجاد ماکروپور به تعداد سه و هفت عدد جریان ترجیحی رخ می دهد و با افزایش تعداد ماکروپورها از ۳ به ۷ عدد، نه تنها جریان ترجیحی رخ داد، بلکه منحنی های رخنه در V/V_0 کمتری به نقطه اوج رسیدند. در بعضی از موارد در بافت لوم رس شنی با وجود ماکروپورها، هیچ گونه جریان ترجیحی دیده نشد که دلیل آن ریزش دیواره ماکروپوری می باشد. نتایج همچنین نشان داد که در هر دو اندازه ماکروپوری جریان ترجیحی مشاهده شد. با افزایش قطر ماکروپور (به جزء ماکروپوره‌های ناپیوسته) نقطه اوج منحنی زودتر رخ داد.

۲ واژه‌های کلیدی: خاک، ماکروپور، جریان ترجیحی، منحنی رخنه، نیترات

۱. مقدمه

امروزه ثابت شده است که شکافها و ماکروپوره‌های ناشی از فعالیت کرمهای خاکی و پوسیدگی

^{۱*} نویسنده مسئول؛ دانشجوی دکتری خاکشناسی دانشگاه ولیعصر رفسنجان(ع)

fahime.amiri@gmail.com

^۲ دانشیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران

^۳ استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

ریشه‌ها در خاک، مسیرهای آبگذری سریعی را برای انتقال آلاینده‌ها از منابع آلوده‌کننده تا سفره آب زیرزمینی فراهم می‌کنند، که به آن مسیر ترجیحی^۱ گفته می‌شود. این مسیرها سبب انتقال املاح و آلاینده‌ها به لایه‌های زیرین خاک می‌گردند. بنابراین مصرف بی‌رویه سموم و آفت‌کشها در کشاورزی تهدیدی جدی برای آبهای سطحی و زیرزمینی به شمار می‌رود. هیلل در کتاب فرایندهای فیزیکی در خاک در سال ۱۹۸۰ بیان کرد که ساختار ماکروپوری و لایه‌های متمایز بافتی ممکن است روی جریان آب تأثیر قابل توجهی داشته باشند. به طور مثال زمانی که خاکی توسط رسوبات و لایه‌های ریز بافت پوشیده می‌شود ممکن است سبب تشدید انتقال آلاینده‌ها گردد. سیمیک و دستونی (۲۰۰۱) با استفاده از یک مدل آماری برای آنالیز رابطه جریان ترجیحی و جابه‌جایی جرمی و پخشیدگی املاح، نشان دادند که به دلیل پراکنش تصادفی املاح در مسیرهای ترجیحی در خاکهای غیراشباع، پیش‌بینی انتقال املاح و آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی مشکل می‌باشد. چرا که پخشیدگی آلاینده‌ها در جریان ترجیحی بخش عمده‌ای از فرایند انتقال آلاینده را شامل می‌شود که درپاره‌ای از موارد از تأثیر آن بر جریان ترجیحی غفلت شده است و در نتیجه خطاهای فاحشی را در پیش‌بینی انتقال املاح بوجود می‌آورد، که باعث به دست آمدن نتایج غیرمنطقی می‌باشد. تسوبویاما و همکاران (۱۹۹۴)، سیدل و همکاران (۱۹۹۵ و ۲۰۰۱) نشان دادند که جریان ترجیحی حتی روی شیب تپه‌ها از طریق ماکروپوره‌های موجود در محل رخ می‌دهد. این ماکروپورها توسط فعالیت‌های بیولوژیکی و یا توسط فرایندهای شیمیایی ایجاد شده‌اند. آنها بیان کردند که در دامنه وسیعی از آزمایشات انجام شده، سیستم ماکروپوری دارای پیوستگی بوده است. پوتی و پراساد (۲۰۰۰)، بوچیدا و همکاران (۱۹۹۹) در آزمایشات مزرعه‌ای نشان دادند که تحت شرایط معمولی در مزرعه، ماکروپورها قادرند روی جریان زیر سطحی یا جریان ناشی از ذوب برف اثر معنی‌داری بگذارند. آنها بیان کردند که با استفاده از بعضی از مدل‌ها می‌توان جریان ترجیحی را روی شیب تپه‌ها مورد بررسی قرار داد. افیونی و همکاران (۱۹۹۴) بیان داشتند که گوناگونی در خواص فیزیکی خاک و انتقال آب می‌تواند انتقال املاح را در یک حوزه تحت تأثیر قرار بدهد. ون اسپیک و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که چگونگی جریان ترجیحی در مسیرهایی که دارای توده‌های بیولوژیکی بیشتری هستند و بالطبع جامعه میکروبی گوناگونی دارند، متفاوت می‌باشد. به طوری که در این آزمایشات غلظت مواد آلی در مسیرهای جریان ترجیحی بالا بوده و روی ظرفیت تبادل کاتیونی تأثیر معنی‌داری به جای می‌گذارد. لی و قدرتی (۱۹۹۵) یک ماکروپور مصنوعی را با میله‌ای به قطر ۱/۷ میلی‌متر در یک ستون خاک ایجاد کردند و ستونهای حاوی یک ماکروپور مصنوعی و بدون ماکروپور را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که چنانچه یک

۱. preferential pathway

ماکروپور در ستون خاک ایجاد گردد، منحنی رخنه حاصله تفاوت چندانی با منحنی بدون حضور ماکروپورها ندارد. در حالی که با افزایش تعداد ماکروپورها به بیش از یک عدد جریان ترجیحی دیده می شود. آنها گزارش دادند که با افزایش تعداد ماکروپورها، منحنی رخنه یون بروماید بسیار سریع تر به نقطه اوج می رسد. لی و قدرتی (۱۹۹۷) نیز همین آزمایشات را تکرار کردند و به این نتیجه رسیدند که با ایجاد یک ماکروپور مصنوعی در ستون خاک دست خورده هیچ جریان ترجیحی اتفاق نمی افتد. آنها بیان کردند که اگر تعداد ماکروپورها افزایش یابد نه تنها جریان ترجیحی رخ می دهد بلکه منحنی در V/V_0 کمتری نسبت به تیمار با یک ماکروپور به نقطه اوج خود دست پیدا می کنند.

۲. مواد و روشها

به منظور تهیه ستونهای خاک دو نوع خاک از منطقه حسن آباد و اشتهاارد کرج جمع آوری شد. نمونه ها به آزمایشگاه انتقال یافت و هوا خشک شدند. سپس نمونه ها از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها تعیین گردید که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. با استفاده از نمونه های الک شده ستونهای خاک دست خورده ای به ارتفاع ۳۰ و قطر ۲۰ سانتیمتر تهیه گردید. ستونها به گونه ای تهیه شد که جرم مخصوص ظاهری خاک در درون ستونهای خاک دست خورده و مزرعه یکسان باشد. ۸ ستون با خاک لومی و ۸ ستون دیگر با خاک لوم رس شنی پر شدند. در ۸ ستون (هر بافت ۴ ستون) ۳ و ۷ میله کریستالی ۲ میلی متری و در ۸ ستون دیگر ۳ و ۷ میله ۴ میلی متری قرار داده شد. سپس میلها از ستون خاک خارج شدند تا ماکروپورهای مورد نظر ایجاد گردند. برای هر ستون دارای ماکروپور، یک تیمار شاهد تهیه گردید. تیمار شاهد شامل ستون خاکی بود که در آن هیچ ماکروپوری ایجاد نشده بود. فرایند آبشویی نیترات یکبار در حضور ماکروپورهای ۲ میلی متری و یک بار در حضور ماکروپورهای ۴ میلی متری در دو سری ۳ و ۷ ماکروپور تحت جریان غیر اشباع ($0/3KS$) صورت گرفت. برای این کار از یک شبیه ساز باران که روی ستونها قرار داشت، استفاده شد. شدت جریان توسط یک شیر رابط که در مسیر شلنگ رابط و مخزن تعبیه شده بود، کنترل می شد. برای آبشویی املاح موجود در ستون خاک از محلول زمینه کلرید کلسیم $0/2$ مولار به مدت ۴۸ ساعت استفاده گردید. پس از اینکه حجم قابل توجهی از املاح شسته شدند، برای هر کدام از ستونهای مورد آزمایش، پالس نیترات کلسیم نیز به مدت ۱۲۰ دقیقه اعمال گردید. سپس جریان پالس قطع شده و جریان زمینه دوباره اعمال شد، تا نیترات وارد شده به ستون خاک طی فرایند پالس آبشویی شود. در این مراحل شدت جریان پالس و زمینه در هر آزمایش یکسان و $0/3KS$ بود. از لحظه شروع پالس به مدت ۵۰ الی ۷۲ ساعت بسته به بافت خاک در

فواصل زمانی ۱۵ دقیقه نمونه‌گیری از محلول آبشویی شده صورت گرفت.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد آزمایش

اشتهارد	حسن آباد	مکان نمونه برداری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی
لومی رسی شنی	لومی	بافت خاک
۰/۲۳	۰/۴۴	شوری (دسی زیمنس بر متر)
۰/۲۱	۰/۳۶	غلظت نیترات (میلی گرم بر لیتر)
۲/۶۲	۲/۵۸	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتیمتر مکعب)
۱/۴۲	۱/۲۲	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)
۷/۹	۸	pH
۰/۰۴۷	۰/۰۵۴	هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتیمتر بر ثانیه)

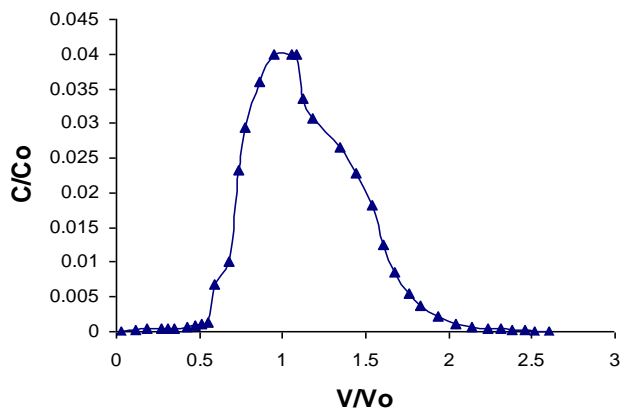
در هر لحظه از نمونه‌گیری اطلاعات لازم از قبیل زمان نمونه برداری و حجم نمونه‌ها یادداشت شد. سپس جهت جلوگیری از فعل و انفعالات شیمیایی در داخل محلول، نمونه‌ها بلافاصله به یخچال انتقال داده شدند و تا زمان قرائت با دستگاه اسپکتروفتومتر در یخچال در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شدند. در مرحله بعد از روش رنگ سنجی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر غلظت نیترات در نمونه‌ها قرائت شد. غلظت نسبی یون نیترات (C/C_0) یکبار بر حسب زمان (دقیقه) و یکبار هم بر حسب تخلخل نسبی (V/V_0) با استفاده از نرم افزار اکسل ترسیم شدند. به طوری که C_0 و C به ترتیب غلظت محلول ورودی و خروجی همچنین V_0 و V نیز به ترتیب حجم محلول خروجی و حجم تخلخل کل خاک می باشند.

۵

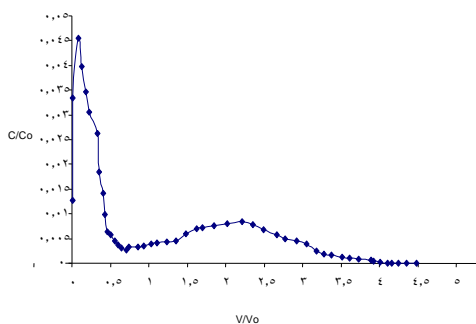
۳. نتایج

معمولا برای بررسی جریان ترجیحی املاح از منحنی‌های رخنه استفاده می گردد. از ترسیم غلظت نسبی یون نیترات (C/C_0) بر حسب V/V_0 یک سری منحنی‌هایی به دست می آید که با نام منحنی‌های رخنه (BTC_s) شناخته شده اند. در منحنی‌های حاصل در شرایطی که هیچ ماکروپوری اعمال نشده بود، منحنی‌ها دارای یک اوج بودند، که تک اوج بودن منحنی بیانگر انتقال یون نیترات توسط یک سیستم می باشد. این وضعیت نشان دهنده این است که تنها سیستم انتقال دهنده یون نیترات، اسکلت خاک بوده است (شکل ۱). این نتایج هم در بافت لوم رس شنی و هم در بافت لومی رویت شدند. در تیمارهایی که ماکروپورها اعمال شده بودند (پس از خروج میله‌ها)، منحنی‌های حاصله دارای دو اوج کاملا متمایز از یکدیگر شدند. دو اوج بودن منحنی نشان دهنده انتقال نیترات از دو محیط کاملا متفاوت می باشد. اوج اول انتقال از طریق ماکروپورها و اوج دوم انتقال املاح از مسیرهای موجود در ماتریکس خاک را نشان می دهد. از

آنجایی که طی فرایند انتقال از ماتریکس خاک، محلول با فاز جامد هم برخورد می کند بنابراین سرعت حرکت آن کاهش می یابد و سبب می شود که اوج دوم با تاخیر زمانی نسبت به اوج اول اتفاق بیفتد (شکل ۲).



شکل ۱. منحنی رخنه در ستون خاک بدون ماکروپور تحت جریان غیر اشباع در خاک لومی (تیمار شاهد)



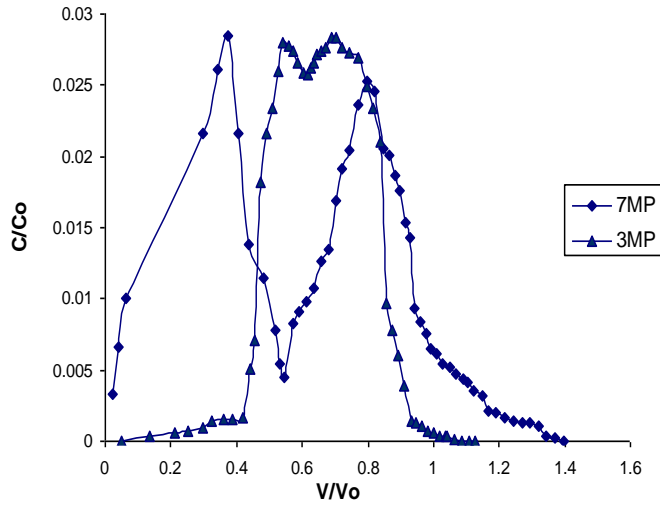
شکل ۲. منحنی رخنه در ستون خاک با ۳ ماکروپور ۲ میلیمتری تحت جریان غیر اشباع در بافت لومی

۶

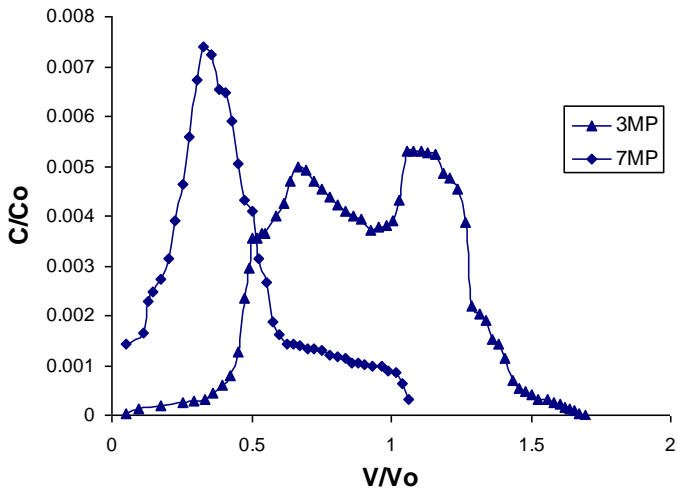
تاثیر تعداد ماکروپورها بر جریان ترجیحی و شکل منحنی رخنه

در بافت لومی در تیمارهای با ۳ ماکروپور ۲ میلیمتری در جریان غیر اشباع منحنی های رخنه دارای دو نقطه اوج کاملا واضح می باشند که دو اوج بودن منحنی دخالت دو محیط ماکروپورها و اسکلت

خاک را در انتقال یون نیترات از ستون خاک نشان می دهد. محیط اول از طریق ماکروپورها و محیط دوم اسکلت خاک می باشد. نقطه اوج اول در V/V_0 برابر با $0/54$ و نقطه اوج دوم در V/V_0 برابر با $0/7$ اتفاق افتاد. با افزایش تعداد ماکروپورها از ۳ به ۷ عدد جریان ترجیحی مشاهده شد و شکل منحنی های رخنه و موقعیت نقاط اوج دچار تغییراتی گردید، به طوری که نقطه اوج اول مربوط به تیمار ۷ ماکروپور در V/V_0 کمتری نسبت به تیمار با ۳ ماکروپور رخ داد (شکل ۳). از آنجایی که با افزایش تعداد ماکروپورها نسبت حجم ماکروپور به حجم تخلخل موجود در اسکلت خاک افزایش می یابد، در نتیجه مقدار محلولی که از این مسیرهای سهل الوصول میتواند به راحتی عبور کند افزایش پیدا می کند. بنابراین با افزایش تعداد ماکروپورها نقش آنها در انتقال املاح نیز افزایش می یابد. در بافت لومی در تیمار با تعداد ۳ ماکروپور ۲ میلیمتری جریان ترجیحی دیده نشد. و همانطور که در شکل ۴ دیده می شود منحنی رخنه ای با یک اوج به دست آمده است. که تک اوجی بودن آن دلیل بر عدم وقوع جریان ترجیحی می باشد. و نشان می دهد که تنها یک محیط در انتقال یون نیترات نقش ایفا می کند و این محیط اسکلت خاک است. با بررسی های انجام شده مشخص شد که در اینگونه تیمارها ریزش دیواره ماکروپوری رخ داده است و سبب عدم پیوستگی ماکروپورها گردیده است، و این ماکروپورهای ناپیوسته نقشی در وقوع جریان ترجیحی ایفا نمی کنند. اما با این وجود در انتقال سریعتر املاح نقش کاملاً موثری دارند به طوری که منحنی های رخنه خیلی سریعتر به اوج رسیده اند. اما با افزایش تعداد ماکروپورها به ۷ عدد جریان ترجیحی دیده شد و منحنی رخنه ای با دو نقطه اوج کاملاً متمایز از یکدیگر به دست آمده است. که بیانگر دخالت دو محیط در انتقال املاح می باشد. محیط اول ماکروپورها و محیط دوم اسکلت خاک می باشد.



شکل ۳. منحنی رخنه در ستون خاک حاوی ۳ ماکروپور ۲ میلی درمقایسه با ۷ ماکروپور ۲ میلیتری تحت جریان غیر اشباع در بافت لوم رس شنی



شکل ۴. منحنی رخنه در ستون خاک حاوی ۳ ماکروپور ۲ میلیتری درمقایسه با ۷ ماکروپور ۲ میلیتری تحت جریان غیر اشباع در بافت لومی

نقش قطر ماکروپورها بر وقوع جریان ترجیحی

در بافت لومی در تمامی تیمارها با افزایش قطر ماکروپورها ترجیحی مشاهده شد و منحنی های رخنه در V/V_0 کمتری به اوج رسیدند. همانطور که در شکل ۵ مشخص می باشد، با حضور ماکروپورهای ۲ میلیمتری منحنی ها دارای دو اوج متمایز از یکدیگر می باشند که دو اوج بودن منحنی نشان دهنده وقوع جریان ترجیحی بوده و دخالت دو محیط را در انتقال محلول مورد نظر نشان می دهد. با افزایش قطر ماکروپورها به ۴ میلیمتر جریان ترجیحی دیده شد و منحنی رخنه در V/V_0 کمتری به اوج رسیده است و دو نقطه اوج به فاصله کمتری از هم مشاهده می شوند. دلیل تاخیر زمانی بین دو نقطه اوج این است که انتقال از میان ماتریکس خاک بر اساس فرایند پخشیدگی است، بنابراین املاح با سرعت کمتری به انتهای ستون خاک می رسند و منحنی ها دارای دنباله می گردند. تفاوت سرعت حرکت املاح بین این دو محیط سبب تاخیر زمانی در انتقال املاح و در نتیجه وقوع نقاط اوج می گردد. این نتایج با توجه به معادله داریسی - ویز باخ قابل پیش بینی بود.

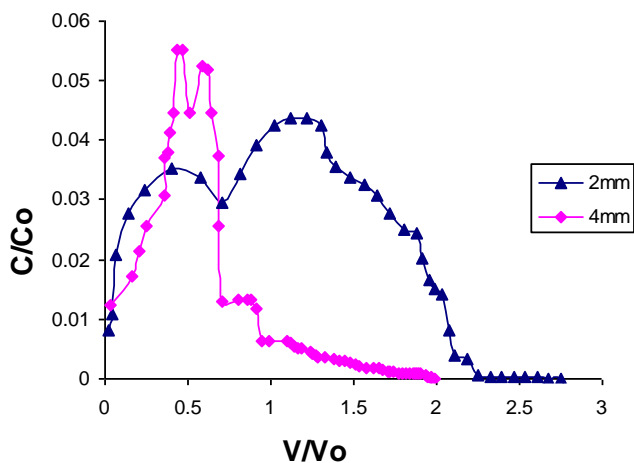
$$q=A.K.I$$

$$V=q/A$$

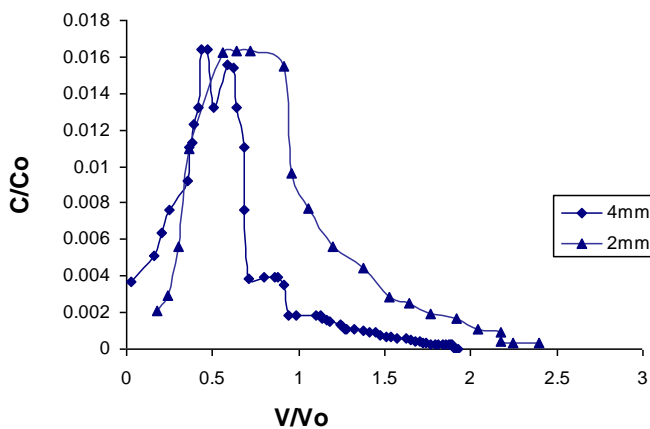
$$q=\pi r^2 \rho g h/\eta$$

به طوری که بر اساس معادله مورد نظر با ۲ برابر شدن شعاع ماکروپوری، شدت جریان به میزان قابل توجهی افزایش پیدا می کند. در بافت لوم رس شنی با افزایش قطر ماکروپورها نیز جریان ترجیحی دیده شد و منحنی در V/V_0 کمتری به نقطه اوج خود دست یافت. اوج اول منحنی در تیمار با ماکروپورهای ۲ میلیمتری در V/V_0 برابر با ۰/۶۷ و نقطه اوج دوم در V/V_0 برابر با ۱/۷ رخ داد، در حالی که در تیمار با ماکروپورهای ۴ میلیمتری اوج اول در V/V_0 برابر با ۰/۳۱ و نقطه اوج دوم در V/V_0 برابر با ۰/۸۸ رخ داد (شکل ۶).

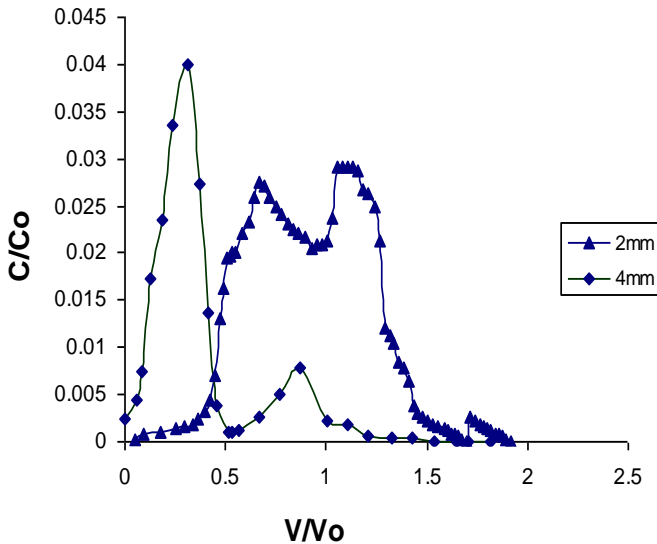
در بافت لوم رس شنی در برخی تیمارها منجمله تیمار ۳ ماکروپور ۴ میلیمتری با وجود ماکروپورها هیچ گونه جریان ترجیحی دیده نشد. عدم وقوع جریان ترجیحی در این تیمارها به دلیل ریزش دیواره ماکروپوری و ناپیوستگی ماکروپورها می باشد. ناپیوستگی ماکروپورها با فرو کردن میله ۴ میلی متری درون ماکروپور ها تایید شد. ریزش دیواره ماکروپوری سبب شده که ماکروپورها نقشی در انتقال سریعتر املاح نداشته باشند، بنابراین تنها یک نقطه اوج مشاهده شد (شکل ۷).



شکل ۵. منحنی رخنه در ستون خاک حاوی ۳ ماکروپور ۲ میلیمتری در مقایسه با ۳ ماکروپور ۴ میلیمتری تحت جریان غیر اشباع در بافت لومی



شکل ۶. منحنی رخنه در ستون خاک حاوی ۳ ماکروپور ۲ میلیمتری در مقایسه با ۳ ماکروپور ۴ میلیمتری تحت جریان غیر اشباع در بافت لوم رس شنی



شکل ۷. منحنی رخنه در ستون خاک حاوی ۳ میکروپور ۲ میلی در مقایسه با ۷ میکروپور ۲ میلیمتری تحت جریان غیر اشباع در بافت لوم رس شنی

۴. بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصله می توان یافته های حاصل از تاثیر تعداد ماکرو پورها بر جریان ترجیحی و شکل منحنی رخنه که در اشکال ۳ و ۴ آورده شده است با نتایج پارکر (۱۹۸۴) و لی و قدرتی (۱۹۹۷) مطابقت دارد.

همچنین نتایج بدست آمده از نقش قطر و پیوستگی و ناپیوستگی ماکرو پورها به عنوان فاکتورهای مهم بر وقوع جریان ترجیحی با یافته های دیگر محققان همخوانی دارد از جمله شی پیتالو و گیس (۲۰۰۴) و همینطور آلایر و همکاران (۲۰۰۰ a, b)، نسر و هورتون (۱۹۸۹) و همچنین لی و قدرتی (۱۹۹۷) با نتایج خود اهمیت نقش پیوستگی ماکروپورها در جریان ترجیحی املاح را اثبات کردند. به احتمال زیاد علاوه بر پیوند ضعیف بین ذرات شن، شدت جریان بالا به عنوان عامل تشدید کننده در ریزش دیواره ماکروپوری عمل کرده است و سبب انسداد ماکروپورها و ناپیوستگی آنها گردیده است. به طوری که با فرو بردن میله های کریستالی در ماکروپورها عدم پیوستگی آنها تایید شد. با افزایش قطر ماکروپورها به ۴ میلی متر در شرایطی که ماکروپورها مسدود شده بودند جریان ترجیحی دیده نشد، اما نقطه اوج منحنی در V/V_0 یکسانی با تیمار ماکروپورهای ۲ میلیمتری ظاهر شده است.

به عنوان نتیجه کلی از یافته های این پژوهش می توان استنباط کرد که با افزایش قطر ماکروپورها

دربافت لومی جریان ترجیحی تشدید شده به طوریکه منحنی های رخنه در V/V_0 کمتری به نقطه اوج خود دست پیدا می کنند. این مساله نقش موثر اندازه قطر ماکروپور در فرایند انتقال املاح و آلاینده ها را بیش از پیش اثبات می کند. در بافت لوم رس شنی بنا به دلیل ساختمان ضعیف این بافت با افزایش قطر ماکروپورها تا ۴ میلیمتر در پاره ای از موارد جریان ترجیحی دیده شد و در بعضی موارد دیده نشد. در مواردی که جریان ترجیحی دیده نشد، ریزش دیواره ماکروپوری سبب انسداد ماکروپورها و عدم وقوع این پدیده شده است. و همین طور با افزایش تعداد ماکروپورها نه تنها جریان ترجیحی مشاهده شد، بلکه در تیمار با تعداد ماکروپوری بیشتر منحنی ها در V/V_0 کمتری به نقطه اوج رسیدند. که نشان دهنده این است که با افزایش تعداد ماکروپوری نقش ماکروپورها در انتقال املاح افزایش می یابد. در نهایت می توان اینطور استنباط کرد که علاوه بر تاثیر حضور و عدم حضور ماکروپورها در ایجاد جریان ترجیحی، پیوستگی و نا پیوستگی ماکروپورها نیز در ایجاد جریان ترجیحی یک فاکتور موثر می باشد.

تشکر و قدردانی

از مساعدت و همکاری اساتید و کارکنان دانشکده مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران به ویژه ریاست محترم وقت دانشکده و مدیریت محترم وقت گروه صمیمانه تشکر می گردد.

منابع

1. Allaire, S.E. , S.C. Gupta , J. Nieber and J.F. Moncrief (۲۰۰۲). A Role of macropore continuity on solute transport in soil: ۱- Effects of initial and boundary conditions. *J.Cont. Hydrol.* ۵۸: ۲۸۳-۲۹۸.
2. Allaire, S.E , S.C. Gupta, J.N ieber and J.F. Moncrief (۲۰۰۲B). Interactions with model assumptions for macropore description. *y.Cont. Hydrol .* ۵۸: ۲۹۹-۳۲۱.
3. Afyuni, M., D.K Cassel , and W.P. Robarge (۱۹۹۴). Fateral and vertical Bromide ion Trousport in a pieclmant Landscape. *Soil Sci. Soc. Am. J.* ۵۸: ۹۶۷-۹۷۴
4. Hillel, D. (۱۹۸۰). *Soil and water physical principles and processes.* Hardcover - September . ۱۹۹۸.
5. Li, Y. , and M. Ghodrati (۱۹۹۵). Ttransport of nitrate in soils as affected by earthworm activities. *J.Environ. Qual.* ۲۴: ۴۳۲-۴۳۸.
6. Li, Y. , and M. Ghodrati (۱۹۹۷). Preferential transport of solute through soil columns containing constructed macropores. *Soil Sci. Soc. Am. J.* ۶۱: ۱۳۰۸-۱۳۱۷.
7. Lifang, L and H. Lin (۲۰۰۹). Lacunarity and fractal analyses of soil macropores and preferential transport using micro-x-ray computed tomography. *Vadose zone journal*, V. ۸, no. 1, p:۲۳۳-۲۴۱.
8. Nassar, I.N., and R. Horton (۱۹۸۹). Moisture transport in unsaturated nonisothermal salty soil :I. Experimental Result. *Soil Sci. Soc. Am. J.* ۵۶:۱۳۵۷-۱۳۶۵.

9. Parker, J.C. (1984). Analysis of solute transport in column tracer studies. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 119-124.
10. Putty, M.R.Y. and R. Prasad (2000). Runoff processes in head water catchments- An experimental study in western Ghats , South India. *J. Hydrol.* 230: 63-71.
11. Shipitalo, M. and F. Gibbs (2004). Personal communication, Columbus. Ohio , November.
12. Sidle, R.C., H. Kitahara., T. Terajima. and Y. Nakai (1990). Experimental studies on the effects of pipeflow on Through flow partitioning. *J. Hydrol.* 207-219.
13. Sidle, R.C., S. Noguchi., Y. Tsuboyama and K. Laursem (2001). Conceptual model of preferential flow systems in forested hillslopes: evidence of self-organization, *Hydrol. Process*, 15: 1670-1692.
14. Simic, E. and G. Destouni (2001). Signification of preferential flow for contaminant transport by Ground water in an integrated soil Groundwater system. *aSABE. P:* 29-32.
15. Tsuboyama, Y., R.C.Sidle., S. Noguchi and I. Hosoda (1994). Flow and transport of through the soil matrix and macropores of a hillslope segment water *Resour. Res.* 30: 879-890.
16. Uchida, T., K. Kosugi and T. Mizuyama (1999). Run off characteristics of pipeflow and effects of pipeflow on rainfall- runoff phenomena in a mountainous watershed, *J. Hydrol.* 222: 18-36.
17. Van schaik, N.L.M., R.F .A Hendriks. and J.C. Van Dam (2007). Determination of matrix and macropore flow characteristics. (using tracer infiltration profiles and invers modeling in SWAP) *Geophysical Research. Abstract.ol:*9.

The study mechanism of preferential flow under unsaturated condition by two density and size macropores

Fahimeh Amiri Mijan^{۱*}, Mehdi Shorafa^۲, Abdolmajid Liaghat^۳

Abstract

Improving modern industries in daily makes a main problem which is called pollution. Root and earthworms activities make preferential pathway, movement of pollutants by preferential flow makes soil, water and finally environmental pollution. The aim of this research is to study the effect of preferential flow on the movement of nitrate ion in the soil macropores with two diameter and with different density, which means γ and δ macropores with γ mm and ξ mm diameter. For this purpose, sandy clay loam and loamy soils were chosen for each one, eight soil columns with $\gamma \cdot$ cm hight and $\gamma \cdot$ cm diameter were made. Totally $\gamma \delta$ columns of soils were used. \wedge columns were filled with sandy clay loam soils and \wedge columns with loamy. The results showed that in the γ and δ macropores density, preferential flow occurred. Preferential flow increased with increasing the number of macropores from γ to δ . In sandy clay loam soil with macropores, sometimes there was only one peak, which shows there is not any preferential flow. The reason of this occurrence is collapsing of macropores and sealing of these pores. The results showed that for sandy clay loam and loamy soils with different size of macropores, preferential flow occurred. With increasing the size of macropores from γ mm to ξ mm, the preferential flow increased, with the excepting of some columns for sandy clay loam soils due to collapsing of the pores.

Key words: Soil, Macropore, Preferential flow, Breakthrough curves, Nitrate

^۱. * **Corresponding author;** PhD student of Soil Science, Vali Asr Rafsanjan university, Rafsanjan- Iran;

fahime.amiri@gmail.com

^۲. Associate Professor, Department of Soil Science, University of Tehran- Iran.

^۳. Professor, Department of Water and Irrigation, University of Tehran- Iran.