

بررسی شاخص های جذب و پالایش ترابری باکتری ای کو لای در سیستم جریان ترجیحی

سحر اخوان^۱، سهیلا ابراهیمی^{۲*}، مریم نواییان^۳، علی مجتهدی^۴، محمود شعبانپور^۵ و علیرضا موحدی نایینی^۶

- ۱- دانشجوی دکتری خاکشناسی دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۲- عضو هیئت علمی گروه خاکشناسی دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۳- عضو هیئت علمی گروه آب دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران
- ۴- عضو هیئت علمی گروه میکروبیولوژی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران
- ۵- عضو هیئت علمی گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران
- ۶- عضو هیئت علمی گروه خاکشناسی دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، گرگان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۵ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۰/۰۳	ماکروپوره های خاک مهم ترین عامل انتقال پساب کودها و میکروارگانسیم ها از جمله باکتری های شاخص مدفوعی به خاک های عمیق تر و حتی به آب های زیرزمینی می باشند. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف مطالعه ترابری ترجیحی و نگهداشت باکتری اشرشیاکولای به عنوان یک باکتری شاخص و متداول در کودهای حیوانی در شرایط استفاده از آب شور تعریف گردید. مطالعات آزمایشگاهی در سیستم جریان ترجیحی با ماکروپوره های مصنوعی با قطرهای مختلف (۱ و ۲ سانتی متر) و تیمار شوری مختلف آب (۱، ۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر) تحت جریان اشباع در سال ۱۳۹۵ انجام شد. طرح آماری مورد استفاده، فاکتوریل دو فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی بود. نتایج نشان داد که اثر متقابل شوری و قطر ماکروپور بر میانگین غلظت خروجی (C_{av})، ضریب پالایش باکتری (f_r)، شاخص نسبی جذب باکتری (S_R) و عمق بیشینه پیش بینی شده انتقال باکتری (Z_{max}) در سطح آماری پنج درصد معنی دار بود. تیمار شوری ۴ دسی زیمنس بر متر و بدون قطر ماکروپور بیشترین مقدار پالایش (۰/۰۱ کلنی بر میلی لیتر) را نشان دادند، به طوری که با افزایش قدرت یونی به میزان ۲ برابر، از میزان پالایش ۳۰ درصد کاسته شد. به طور کلی نتایج نشان داد که عامل اصلی انتقال باکتری وجود جریان ترجیحی در اثر پیوستگی ماکروپور است، اما شوری به عنوان یک عامل بازدارنده با افزایش قدرت یونی محلول خاک، میزان پالایش باکتری را کاهش داد.
کلمات کلیدی: پالایش باکتری، جریان ترجیحی شاخص جذب باکتری، ماتریکس، ماکروپور، شوری	
* عهده دار مکاتبات Email: sohebrahimi@gmail.com	

فاضلاب، دامداری ها و کودهای دامی می تواند منجر به آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی شود. در کشاورزی برای بهبود حاصل خیزی خاک از کودهای گاوی استفاده

مقدمه

راه یابی آلاینده ها به منابع آبی از طریق فعالیت های انسانی مانند نش و نشر از محل جمع آوری زباله و چاه های

نشان داد که عامل اصلی انتقال باکتری در خاک های دست نخورده، جریان های ترجیحی (ماکروپوری) ناشی از پیوسته بودن ماکروپور و درز و ترک های موجود در خاک می باشد و بدین سان در شرایط جریان اشباع، باکتری بیشتری نسبت به جریان غیر اشباع در خاک جا به جا می شود. هم چنین مطالعات آزمایشگاهی و عددی ونگ و همکاران (۱۶) نشان داد که طول ماکروپور مصنوعی تأثیر زیادی در انتقال ترجیحی ای کولای، به ویژه در شرایط قدرت یونی بالا داراست. در قدرت یونی پایین انتقال گسترده تر در مسیر ترجیحی و زمان زودتر در رسیدن برای ای کولای نسبت به بروماید به عنوان یک نتیجه از محدودیت اندازه مشاهده شد (۱۶). در پژوهش دیگری تخمین سرعت مهاجرت باکتری ها در پروفیل خاک با فرضیه عبور عمده باکتری ها از ماکروپورها مطابقت داشت. سرعت انتقال باکتری سریع تر از میانگین سرعت منافذ آب بود. انتقال در ماکروپور احتمالاً در خاک های مرطوب اتفاق می افتد اما به خاک هایی با مقدار آب اولیه زیاد محدود نمی شود و باکتری های معلق اختصاصاً از قطر منافذ بزرگ تر سریع تر عبور می کند (۱۴). صفادوست و همکاران^۳ (۱۱) نقش احیا ساختمان خاک با هوازگی فیزیکی را با آزمایش ستونی برای انتقال ای کولای و بروماید بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که شکل متعادل و متقارن منحنی رخنه از ستون های خاک نشان می دهد که عمدتاً آبشویی از طریق جریان ماتریس رخ داده است. هدف اصلی این تحقیق چگونگی وضعیت ترابری شاخص آلودگی (ای کولای) در حضور جریان ترجیحی با قطور و سطوح مختلف شوری آب در ستون های آزمایشی و پیش بینی شمای نگه داشت آلاینده مورد بررسی در عمق های مختلف بود.

مواد و روش ها

در پژوهش حاضر، مطالعات آزمایشگاهی به منظور بررسی انتقال باکتری ای کولای، در سیستم جریان ترجیحی با ماکروپورهای مصنوعی با قطرهای مختلف (صفر، ۱ و ۲ سانتی متر) و تیمار شوری آب مختلف (هدایت الکتریکی ۱،

می شود. اشرشیاکولای معمول ترین کلیفرم روده ای کود گاوی است که به عنوان شاخص آلودگی آب های زیرزمینی در پژوهش ها مورد بررسی قرار می گیرد، زیرا به راحتی شناسایی و شمارش شده و آب دوست و قویا با بار منفی است. اشرشیاکولای یک باکتری گرم منفی، میله ای شکل ($1/5-1/1 \mu m \times 2-6$) تکی یا جفتی از نظر رده بندی جز خانواده انتروباکتریاسه^۱ است. در بین میکروارگانسیم ها فقط اشرشیاکولای به طور خاص منشا مدفوعی دارد. بسیاری از گونه های اشرشیاکولای ارگانسیم های بی ضررند، در حالی که بعضی از آن ها عامل بیماری هستند و می توانند از عفونت با پاتوژن منتج به بیماری روده ای، عفونت ادراری، و مسمومیت و منتزیت شوند. کلراید نیز به عنوان ردیاب شیمیایی بدون واکنش به کار برده می شود. از ردیاب کلراید برای اندازه گیری منحنی رخنه محلول آبی و انتقال ردیاب باکتری یا ویروس استفاده می شود. از آن جا که بخش عمده مساحت ایران از نظر اقلیمی جز مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می گردد که سبب گردیده استفاده از آب های شور و نامتعارف اهمیت بالایی پیدا کند (۴). اگر چه عملکرد کاربرد آب شور نسبت به شرایط آب غیر شور اختلاف معنی داری را نشان می دهد، ولی در شرایط اقلیمی کشور که کمبود آب هم اکنون یکی از موانع جدی تولید به حساب می آید، استفاده از این منابع آبی گریزناپذیر است. نکته قابل توجه در کاربرد آب های شور حفظ پایداری کشاورزی در درازمدت است (۶). در مورد چگونگی تأثیر آب های شور بر تخریب یا بهبود ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تحقیقات فراوانی انجام گرفته و نتایج متفاوت و گاه متضاد ارائه شده است. آبیاری با آب شور بدون مدیریت آبشویی در اکثر موارد سبب تخریب شده است (۱۰). شوری یکی از عوامل مهم استرس برای میکروارگانسیم ها به حساب می آید. کاهش کسر تنفسی، کاهش میزان دی اکسید کربن، کاهش فعالیت آنزیمی و هم چنین کاهش بیومس میکروبی در اثر شوری اتفاق می افتد (۱۳). هم چنین پژوهش های مختلف از جمله ونگ و همکاران^۲ (۱۵)

1- Enterobacteriace

2- Wang *et al.*

3- Safadoust *et al.*

سوم ارتفاع ستون را پر و یک لوله پلاستیکی به طول ۳۰ سانتی متری با قطر خارجی مورد نظر (۱ و ۲ سانتی متر) در مرکز ستون کار گذاشته شد. شن ریز به تدریج به ماتریکس ستون (خارج از لوله پلاستیکی) اضافه شد. سپس آب اضافی در لوله پلاستیکی از کف، زهکش شد. لوله با دقت بدون اختلال در اطراف ساختار شن از ستون بیرون کشیده شد و یک حفره با قطر ۲ سانتی متر در مرکز ستون به جای گذاشت. در این مرحله حفره تا ارتفاع بیست سانتی متر با شن درشت با استفاده از یک قیف پر شد، تا ساختار ماکروپور جریان ترجیحی مورد نظر ایجاد شود. لایه نازکی از شن درشت بر سطح ستون خاک برای جلوگیری از تخریب ساختمان خاک قرار داده شد.

۲ و ۴ دسی زیمنس بر متر) تحت جریان اشباع در نیمه اول سال ۹۵ انجام شد. ویژگی های اولیه خاک و نمای افقی و عمودی ستون های آزمایشی به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده است.

قابل ذکر است که جداول بایستی در اولین مکان ممکن پس آزمایش های انتقال ترجیحی در مخازنی از جنس پی وی سی با طول و قطر داخلی مشخص (به ترتیب ۲۰ و ۱۰ سانتی متر) انجام شد. از سمباده جهت زبر کردن دیواره داخلی سیلندر قبل از پر کردن ستون خاک برای جلوگیری از جریان سریع از دیواره ستون استفاده شد و کف ستون با استفاده از تور سیمی و یک لایه سنگ ریزه زهکش شد.

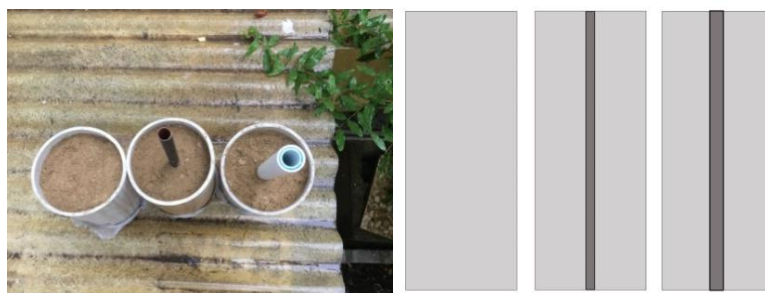
سیستم جریان ترجیحی با استفاده از دو اندازه شن شامل لوم شنی و شن لومی در ستون به صورت زیر آماده و طراحی شد. ابتدا با آب مقطر (اتوکلاو شده) حدود یک

جدول (۱) ویژگی های اولیه خاک ستون های آزمایشی

Table(1) The primary characteristics of the soil column test

نوع بستر Material	حجم آب منفذی Pore volume (PV) (cm ³)	سرعت جریان آب منفذی Vapor flow velocity (v) (cm h ⁻¹)	سرعت جریان ماندگار Stable flow rate (q) (cmh ⁻¹)	رطوبت حجمی خاک Volumetric soil moisture (θ) (%)	بافت خاک Soil Texture
ماکروپور Macrospore	737.9	14.3	4.70	0.47	Loamy Sand (LS)
ماتریکس Matrix	926.3	18.2	7.04	0.59	Sandy Loam (SL)

ns, * and **, respectively, indicate a significant difference $P < 0.01$, $P < 0.05$ and the non-significant difference.



شکل (۱) نمای افقی شماتیک طراحی ستون و نمای عمودی ستون های آزمایشی

Figure(1) Schematic and vertical view of columns

نمونه‌های پساب در زمان های صفر، ۱، ۲، ۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۶۰ دقیقه از پایین ستون جمع آوری شد. آزمایش آبتیوی با ۳ تکرار برای هر تیمار انجام شد. سپس غلظت‌های باکتری و کلر آنالیز شد. سوسپانسیون باکتری ورودی با روش استاندارد کدورت نیم‌مک‌فارلند از طریق افزودن کلرید هیدرات باریوم ۱/۱۷۵ درصد (۰/۴۸ مولار) به ۹۹/۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۱ درصد (۰/۳۶ نرمال) تهیه شد. حجم نمونه‌گیری در هر بار ۵ میلی‌لیتر بود. به‌منظور اندازه‌گیری باکتری در نیم‌رخ خاک پس از پایان آزمایش انتقال باکتری، ستون خاک به ۳ لایه تقسیم و برش زده شد. نمونه‌ها از ۳ عمق و در هر عمق از ۲ منطقه ماکروپور و ماتریکس برداشته شد. یک گرم از هر نمونه با ۹ میلی‌لیتر محلول کالگون (هگزا متافسفات سدیم) ۰/۲ درصد به لوله سانتریفیوژ ۱۵ میلی‌متری اضافه شد. برای جداسازی باکتری موجود در فاز مایع از فاز جامد هر نمونه در دستگاه میکسر ورتکس به مدت ۱۵ دقیقه به‌هم زده شد. برای تعیین غلظت باکتری در محلول رویی به‌دست آمده از روش شمارش زنده استفاده شد.

سوسپانسیون باکتری خروجی با رقت‌های 10^{-1} ، 10^{-2} و 10^{-3} تهیه شد. پس از رقیق کردن نمونه‌ها، ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول رقیق شده درون پلیت‌های دارای محیط‌کشت EMB کشت شد. غلظت‌های باکتری در پساب با شمارش پلیت‌ای کولای در آگار EMB بعد از ۲۴ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه تخمین زده شد و سپس غلظت باکتری در آب خروجی محاسبه و با واحد کلنی در میلی‌لیتر ($CFU ml^{-1}$) بیان شد. هم‌چنین شمارش باکتری در نیم‌رخ خاک به‌روش اندازه‌گیری غلظت باکتری در پساب انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت کلراید، هدایت الکتریکی هر نمونه پساب خروجی به‌روش تیتراسیون با نیترات نقره اندازه‌گیری شد. در این پژوهش منحنی‌های رخنه^۲ (BTC) باکتری به صورت غلظت خروجی (C) بر حسب $CFU ml^{-1}$ و غلظت نسبی باکتری در برابر زمان با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد. هم‌چنین طرح آماری مورد استفاده،

در پایان ستون با آب از پایین اشباع شد تا فشار مرزپایین در صفر سانتی‌متر کنترل شود. محلول‌های مورد نظر که به تفصیل در بند ۲ توضیح داده شده‌اند، از مرز بالای ستون ناهمگن با سرعت جریان ثابت اضافه شدند. ستون در طول آزمایش با حفظ ارتفاع آب در بالای ستون (پنج سانتی‌متر) در مرزبالا اشباع گردید.

برای اندازه‌گیری حجم آب منفذی در شرایط اشباع ابتدا چگالی ظاهری خاک با استفاده از ستون آماده شده در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. سپس رطوبت وزنی خاک با نمونه‌گیری از دو لایه ۰-۱۲/۵ و ۱۲/۵-۲۰ سانتی‌متر خاک درون سیلندر به روش آون اندازه‌گیری و رطوبت حجمی خاک‌ها (θ_v) محاسبه گردید. سپس حجم آب منفذی ستون خاک در شرایط اشباع (PV)^۱ طریق رابطه ۱ محاسبه شد:

$$PV = \theta_v \times V_t \quad (1)$$

در این مطالعه برای بررسی اثر سطوح مختلف شوری آب، ردیاب بیولوژیکی و شیمیایی در شرایط اشباع پایدار با جریان ترجیحی به‌صورت زیر مورد استفاده قرار گرفت.

آزمایش آبتیوی در دمای ۲۰ درجه در طی چند فاز انجام شد. ابتدا قبل از شروع آزمایش انتقال میکروبی، دو حجم منفذی (PVs) محلول NaCl (تیمار شوری) انتخاب و به ستون استریل با استفاده از سرم فیزیولوژی استریل اضافه شد و به‌شن اجازه داده شد تا با محلول به‌تبادل برسد (فاز صفر). آزمایش‌های انتقال میکروبی در دو فاز با شرایط مرزی و سرعت جریان مشابه فاز صفر انجام شد. به این صورت که ابتدا یک پالس سوسپانسیون میکروبی به ستون با سرعت ثابت اضافه شد (فاز ۱). سپس محلول NaCl در ستون با سرعت جریان و قدرت یونی مشابه فاز ۱ تا زمانی که غلظت میکروب پساب به مقدار اولیه برگردد اضافه شد (فاز ۲). سوسپانسیون ای کولای به‌طوریک‌نواخت در سطح بالایی ستون خاک استریل در کنار شعله با استفاده از سرنگ استریل اسپری شد. شستشوی ستون‌های خاک به مدت یک ساعت ادامه یافت و

ورودی به سطح بین منحنی ورودی (C_0) و منحنی رخنه (C) در هر دامنه زمانی متوالی که نمونه‌گیری انجام شده بود به دست آمد. تفاوت غلظت باکتری ورودی به سطح خاک و غلظت خروجی از لایه‌های نمونه‌گیری شده بیان‌گر میزان باکتری است که در خاک تحت تأثیر فرآیندهای جذب قرار گرفته است. در آزمایش حاضر از آنجا که میزان رشد و مرگ و میر باکتری‌ها قابل اندازه‌گیری نیست و به دلیل نسبتاً یکسان بودن این نرخ در آزمایش‌های تحت شرایط یکسان، برای برآورد میزان باکتری پالایش یافته در طول زمان آب شویی خاک، از رابطه (۴) برای محاسبه شاخص نسبی جذب باکتری (S_R) استفاده شد:

$$S_R = \frac{\int_0^{V_{max}} [C_0 - (C - C_b)] dv}{\int_0^{V_{max}} C_0 dv} \quad (4)$$

$$Z_{max} = \ln(C_{0(av)}) \times \frac{1}{\lambda_f} \quad (5)$$

که در آن Z عمق بیشینه پیش‌بینی شده انتقال باکتری (Z_{max}) اشریشیا کولای در خاک را بر اساس رابطه ۴ برآورد می‌کند که شاخصی از پیوسته بودن ماکروپور خاک می‌باشد (۱۴).

نتایج و بحث

در جدول ۲ تجزیه واریانس اثر تیمار شوری و قطر ماکروپور و هم‌چنین اثر متقابل شوری و قطر ماکروپور بر میانگین غلظت خروجی (C_{av})، ضریب پالایش باکتری (λ_f)، شاخص نسبی جذب باکتری (S_R) و عمق بیشینه پیش‌بینی شده انتقال باکتری (Z_{max}) در ستون‌های خاک آورده شده است. نتایج نشان داد که اثر متقابل شوری و قطر ماکروپور بر شاخص‌های مورد بررسی در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود.

نتایج اثر متقابل شوری و قطر ماکروپور بر میانگین غلظت خروجی نشان داد که باکتری در حین انتقال، تحت تأثیر تیمارهای بررسی شده قرار گرفته است، به طوری که با افزایش شوری و کاهش قطر ماکروپور، میانگین غلظت خروجی باکتری کاهش یافت (شکل ۲). همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد در تیمار با قطر ماکروپور ۲ و شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر وجود جریان ماکروپوری بیشتر، موجب

فاکتوریل دو فاکتوره در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بود. سطوح شوری (۳ سطح) به عنوان فاکتور یا تیمار اول و قطر ماکروپورها به عنوان فاکتور یا تیمار دوم (۳ سطح) در نظر گرفته شد. متغیرهای مورد بررسی میانگین غلظت خروجی (C_{av})، ضریب پالایش خاک (λ_f)، شاخص نسبی جذب باکتری (S_R) و عمق بیشینه پیش‌بینی شده انتقال باکتری (Z_{max}) بود. برای اندازه‌گیری سطح زیر منحنی‌های مذکور از روش Simpson در نرم افزار اکسل استفاده شد. داده‌های به دست آمده توسط نرم افزار SAS^۲ تجزیه و تحلیل شده و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD انجام گرفت. میانگین غلظت خروجی (C_{av}) از ستون خاک از طریق محاسبه اختلاف بین سطح زیر منحنی رخنه و سطح زیر منحنی تیمار شاهد و تقسیم حاصل آن بر کل حجم آب خروجی به دست آمد (رابطه ۲)

$$C_{av} = \frac{\int_0^{V_{max}} (C - C_b) dv}{V_{max}} \quad (2)$$

که در این معادله V_{max} کل حجم آب خروجی در طول آزمایش آبتشویی برحسب میلی‌لیتر C میانگین غلظت باکتری در محلول خاک و C_b میانگین غلظت باکتری در پساب تیمار شاهد ($CFU\ ml^{-1}$) می‌باشند.

ضریب پالایش باکتری اشریشیا کولای در ستون‌های آزمایشی بر اساس معادله ماتس و همکاران^۳ (۸) محاسبه شد:

$$\lambda_f = \ln\left(\frac{C_0}{C - C_n}\right) \times \frac{1}{Z} \quad (3)$$

که در این رابطه، λ_f ضریب پالایش باکتری در ستون‌های آزمایشی (m^{-1})، C_0 میانگین غلظت ورودی باکتری به سطح یا لایه خاک ($CFU\ ml^{-1}$)، C میانگین غلظت باکتری در محلول خاک در عمق‌های نمونه برداری شده ($CFU\ ml^{-1}$) و C_n میانگین غلظت باکتری بومی خاک ($CFU\ ml^{-1}$) هستند. با توجه به استریل بودن ستون خاک غلظت باکتری بومی خاک ($C_n=0$) در نظر گرفته شد و ضریب پالایش از تقسیم سطح زیر منحنی

1- Filtration coefficient
2- Statistical analysis system
3- Mathess et al.

اخوان و همکاران: بررسی شاخص های جذب و پالایش...

انتقال بیشتر باکتری در این ستون خاک شده است (غلظت خروجی ۰/۷۴ کلنی بر میلی لیتر).
 وجود ماکروپور و پیوستگی این منافذ در ستون با قطر ۲ سانتی متر به علت داشتن تخلخل کل زیاد حرکت باکتری را سرعت بخشیده و خروجی شاخص آلودگی پساب را افزایش داده است و در نتیجه باکتری بیشتری نسبت به ستون شاهد (بدون قطر ماکروپور) عبور کرده است، اما تیمار شوری به عنوان یک عامل بازدارنده مانع از انتقال بیشتر باکتری گردیده است.

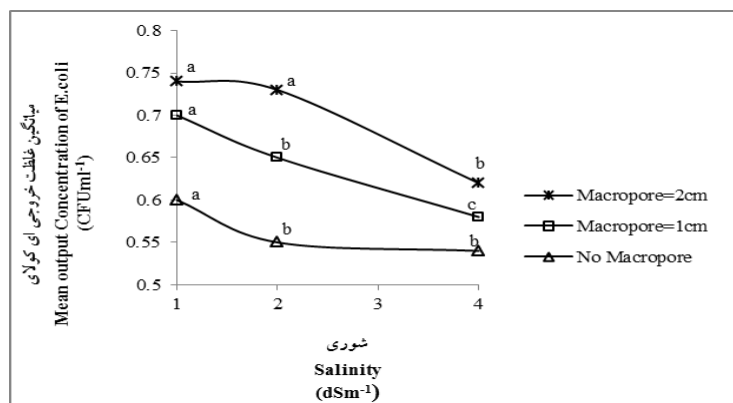
جدول (۲) منابع تغییر و اثر آن‌ها بر میانگین غلظت خروجی (C_{av})، ضریب پالایش باکتری (λ_f)، شاخص نسبی جذب باکتری (S_R) و عمق بیشینه پیش‌بینی شده انتقال باکتری (Z_{max}) در ستون‌های خاک

Table(2) Resource changes and their effect on the average output concentration (C_{av}), filtration coefficient (λ_f), relative adsorption index (S_R), and maximum depth (Z_{max}) in soil columns

منبع تغییر Source Change	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات (Mean Square)			
		میانگین غلظت خروجی average output concentration (C_{av})	ضریب پالایش filtration coefficient (λ_f)	شاخص نسبی جذب relative adsorption index (S_R)	عمق بیشینه maximum depth (Z_{max})
شوری (Salinity)	2	0.012*	0.03385**	0.0395*	18.38*
قطر ماکروپور (Diameter of Macrospore)	2	0.031**	0.01062*	0.0516*	2.39*
شوری × قطر ماکروپور (Salinity × Diameter of Macrospore)	4	0.0046*	0.00259*	0.0039*	0.10*
خطا (Error)	18	0.0059	0.0030	0.0006	0.0041
ضریب تغییرات (%) (CV)		0.08	0.63	0.04	0.71

ns, * and ** به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و اختلاف غیر معنی‌دار است.

ns, * and ** respectively, indicate a significant difference $P < 0.01$, $P < 0.05$ and the non-significant difference



شکل (۲) مقایسه میانگین اثر متقابل قطر ماکروپور و شوری بر غلظت خروجی باکتری ای کولای

Figure(2) Mean comparison of the interaction between the macrospore diameter and salinity on mean output concentration of E.coli

یونی به میزان ۲ برابر از میزان پالایش ۳۰ درصد کاسته شد. پالایش فیزیکی زمانی رخ می دهد که ذرات سوسپانسیون قادر نباشند از منافذ با قطر کمتر از قطر ذره عبور نمایند.

برخی پژوهش‌ها نشان داده اند که پالایش فیزیکی زمانی اتفاقی می افتد که نسبت قطر کلویید به میانگین قطر ذرات خاک بیش از ۰/۵ درصد باشد (۱). وقتی که این نسبت به بیش از ۸/۱ برسد مقدار پالایش بسیار چشم گیر خواهد بود. البته این مقادیر برای محیط های متخلخل همگن فاقد ساختمان، ارائه شده اند. منافذ درشت ایجاد شده در خاک دارای ساختمان، امکان انتقال باکتری را با حداقل پالایش فیزیکی فراهم می کند (۹).

شاخص نسبی جذب باکتری (SR)

اثر متقابل تیمار شوری و قطر ماکروپور بر شاخص نسبی جذب باکتری در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش سطح شوری و کاهش قطر ماکروپور شاخص نسبی جذب افزایش یافت. به طوری که تیمار بدون قطر با شوری ۴ دسی زمینس بر متر بیشترین مقدار شاخص نسبی جذب (۰/۹۶) را به خود اختصاص داد. این نتایج با یافته‌های ونگ و همکاران (۱۵) هماهنگی داشت. زمانی رسوب باکتری رخ می دهد که بین چگالی باکتری و آب تفاوت وجود داشته باشد. اگر باکتری چگالتز از آب باشد و ویژگی های جریان به گونه ای باشد که شرایط برای رسوب گذاری بهتر از تعلیق باشد در این حالت ممکن است باکتری در بخش ساکن خاک رسوب نماید. برای محاسبه رسوب باکتری از قانون استوکس استفاده می شود. نتایج برخی پژوهش ها نشان داده است که رسوب ثقلی نقش مهمی در پالایش ذرات با قطر بیش از ۵ میکرومتر دارد (۱۷)، این در حالی است که باکتری ای کولای قطر کمتری دارند. بنابراین می توان گفت نقش رسوب در پالایش باکتری در این آزمایش ناچیز بوده است. هم چنین به علت سرعت کمتر آب در منافذ ریز و تجمع باکتری ها سبب گیرافتادن آن‌ها در منافذ ماتریکس خاک می شود و همین امر سبب بسته شدن مسیر حرکت باکتری های دیگر می شود که در نتیجه باکتری بیشتری پالایش می گردد.

کاهش غلظت باکتری خروجی از ستون های خاک تیمار شده با شوری زیاد می تواند به علت نقش سدیم کلراید در نگه داشتن باکتری در قدرت های یونی بالا دانست. سدیم به خاطر شعاع آبیوشی زیاد، در جذب باکتری ها نقش بسزایی دارد و حرکت آب به سمت پایین را کند می کند. البته این انتقال تا حدی تابع قدرت یونی غلظت نمک هاست. در قدرت یونی بالا، لایه دوگانه کوچک تر می شود، بنابراین حرکت کلویید در قدرت یونی بالا کم می شود و جذب روی سطوح و منافذ بیشتر می گردد. از طرفی بخشی از باکتری های انتقال یافته در مسیر جریان های ترجیحی در شوری های زیاد از بین می روند که نقش شوری در حذف میکروب و کاهش آلودگی منابع آب را تایید می کند. نتایج فوق با گزارش صفادوست و همکاران (۱۲) مطابقت داشت.

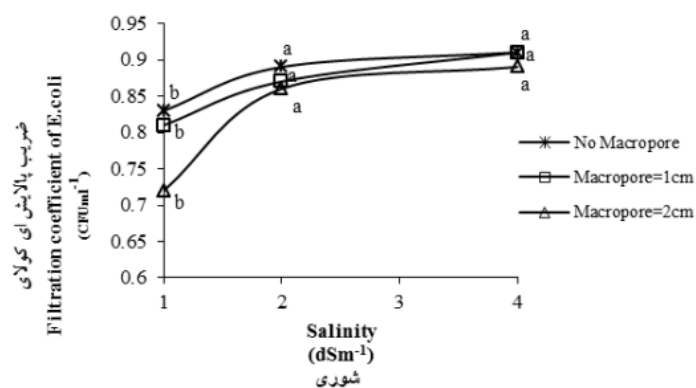
ضریب پالایش باکتری (۸)

ضریب پالایش باکتری بیانگر توانایی محیط متخلخل خاک در جذب شیمیایی باکتری ها روی سطوح ذرات و گیر افتادن آن‌ها در منافذ ریز است. چندین مکانیزم انتقال پالایش باکتری را در خاک تحت شرایط جریان اشباع کنترل می کند. از جمله این مکانیزم‌ها می توان انتقال شامل جریان توده‌های و انتشار، غیرفعال شدن، تبادل باکتری بین فاز مایع و جامد یعنی جذب و واجذب و پالایش فیزیکی^۱ را نام برد (۲). اثر متقابل تیمار شوری و قطر ماکروپور بر ضریب پالایش در شکل ۳ آورده شده است. سطح منحنی ضریب پالایش باکتری در تیمار بدون قطر بالاتر از سایر تیمارهای آزمایشی بود.

به دلیل منافذ ریز پیوسته ماتریکس خاک جذب^۲ شیمیایی باکتری بیشتری در سطوح و منافذ ریز خاک اتفاق افتاد. در حالی که تیمار شوری ۱ دسی زمینس بر متر با قطر ۲ سانتی متر کمترین مقدار پالایش (۰/۷۲ کلنی بر میلی لیتر) را از خود نشان داد. در حالی که تیمار شوری ۴ دسی زمینس بر متر و بدون قطر ماکروپور بیشترین مقدار پالایش (۰/۰۱ کلنی بر میلی لیتر) را داشت. به طوری که با افزایش قدرت

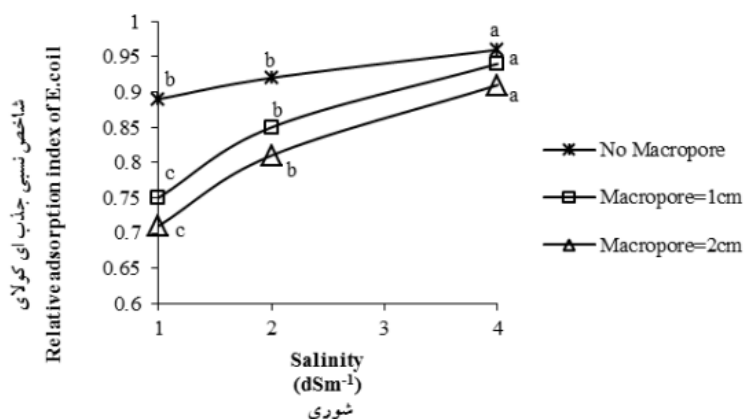
1- Straining
2- Retention

اخوان و همکاران: بررسی شاخص های جذب و پالایش...



شکل (۳) مقایسه میانگین اثر متقابل قطر ماکروپور و شوری بر ضریب پالایش ای کولای

Figure(3) Mean comparison of the interaction between the macrospore diameter and salinity on filtration coefficient of E.coli



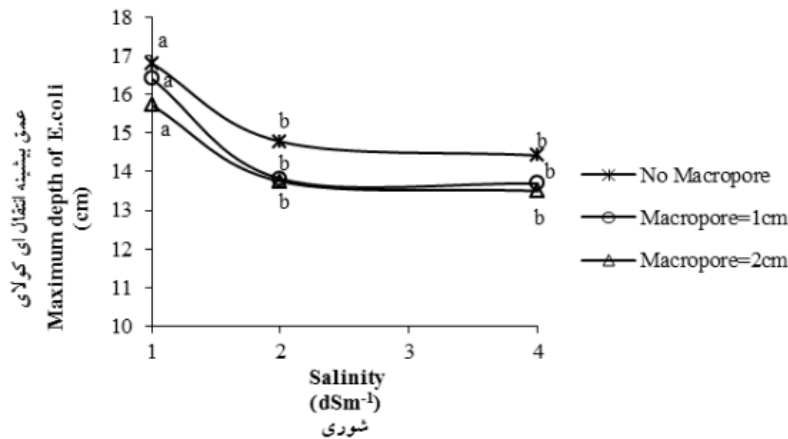
شکل (۴) مقایسه میانگین اثر متقابل قطر ماکروپور و شوری بر شاخص نسبی جذب ای کولای

Figure(4) Mean comparison of the interaction between the macrospore diameter and salinity on the relative adsorption index of E. coli

پالایش باکتری را در لایه اول و شرایط اشباع مشاهده کردند (۳). نتایج محققین دیگر نشان داد که طول ستون تاثیر معنی-داری بر روی پیک غلظت ای کولای یا بازیابی کامل سدیم نداشت، که بیانگر نگر نگر داشت باکتری در لایه بالایی ستون شن است. نقش لایه روین خاک در پالایش باکتری برجسته بود ولی وجود جریانهای ترجیحی به ویژه در زمانهای آغازین باعث انتقال باکتریها تا لایه دوم شد (۵). نتایج فرخیان و همکاران^۲ (۲) نشان داد که نگر نگر داشت باکتری در تمامی ستونهای خاک بسیار بیشتر از مقدار انتقال یافته بود.

عمق بیشینه پیش بینی شده انتقال باکتری (Z_{max})

تیمار موثر بر عمق بیشینه پیش بینی شده انتقال باکتری، اثر متقابل شوری و قطر در سطح احتمال ۵ درصد بود (جدول ۲)، که بیانگر اثر قابل توجه شوری بر پالایش و انتقال باکتری است. عمق بیشینه پیش بینی شده انتقال باکتری در تیمار بدون قطر با شوری ۱ دسی زیمنس بر متر بیشترین مقدار (۱۶/۸۱ سانتی متر) را داشت (شکل ۵). به نظر می رسد نقش لایه های زیرین در پالایش باکتری بیشتر از لایه سطحی بود. هم چنین افزایش قدرت یونی باعث انتقال بیشتر باکتری از محیط ماتریکس و ماکروپور شد. این نتایج مشابه با نتایج فرهنگ و همکاران^۱ (۳) می باشد. آنها نیز کمترین میزان



شکل (۵) مقایسه میانگین اثر متقابل قطر ماکروپور و شوری بر عمق بیشینه انتقال ای کولای

Figure(5) Mean comparison of the interaction between the macropore diameter and salinity on the maximum depth of E.coli

بیشتر باکتری شد که این امر می تواند در کنترل آلودگی آب زیرزمینی با مدیریت آبیاری شور موثر باشد، به گونه ای که حداقل انتقال صورت گرفته و شرایط برای استفاده از منابع آب نامتعارف نیز ایجاد شود، بدون این که مشکل زیست محیطی خطر آلودگی آب زیرزمینی را تهدید نماید.

نتیجه گیری

تیمار موثر بر میانگین غلظت خروجی باکتری، ضریب پالایش باکتری، شاخص نسبی جذب باکتری و عمق بیشینه پیش بینی شده انتقال باکتری شوری بود، که بیانگر اثر قابل توجه شوری بر پالایش و انتقال باکتری است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش قدرت یونی محلول خاک، باعث افزایش میزان پالایش و حذف

منابع

- Bradford, S.A., Bettahar, M., Šimůnek, J., and van Genuchten, M.Th. 2004. Straining and attachment of colloids in physically heterogeneous porous media. *Vadose Zone Journal*, 3: 384–394.
- Farokhian Firoozi, A., Homari, M., Ervin, C., Roiu, K., and Sattari, M. 2011. Modeling transmission and maintenance of microbial contaminants in calcareous soils under saturated water flow in soil. *Soil and Water Sciences (Agriculture and Natural Resources Sciences and Technology)*, 15 (58): 53-68.
- Farhangi, M.B., Mosdeghi, M.R., Safari, A.A., and Mahboubi, A.A. 2012. E. coli bacteria from cattle manure in the soil released the unsaturated farm. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natura*, 10:15-27.

4. Hasanpur, H. 2010. Quantitative and qualitative traits of salt water over the herb fennel seeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 6: 2.13-120. (In Persian).
5. Jiang, X., Morgan, J.A.W., and Doyle, M.P. 2002. Fate of *Escherichia coli* O157:H7 in manure amended soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 68: 2605-2609.
6. Kiani, A. and Kalate, M. 2003. The effect of supplemental irrigation water in the atmosphere in Gorgan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 10: 35-43. (In Persian)
7. Li, Q., Yang, Z.h., Chai, L.y., Wang, B., Xiong, S., Liao, Y.P., and Zhang, S.j. 2013. Optimization of Cr (VI) bioremediation in contaminated soil using indigenous bacteria. *Journal of Central South University*, 20, 480-487.
8. Mathess, G., Peckdegger, A., and Schroef, J. 1988. Persistence and transport of bacteria and viruses in groundwater-a conceptual evaluation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2: 171-188.
9. McDowell-Boyer L.M., Hunt, J.R. and Sitar, N. 1986. Particle transport through porous media. *Water Resources Research*, 22: 1901-1921.
10. Pakparvar, M. and Saadat, Y.A. 2003. The effect of salt water on the distribution of solute clay soil salinity resistant crop varieties. *Research Journal of Grassland and Desert Iran*, 10: 3. 357-379. (In Persian)
11. , A., Mahboubi, A.A., Mosaddeghi, M.R., Gharabaghi, B., Unc, A., Voroney, P., and Heydari, A. 2012. Effect of regenerated soil structure on unsaturated transport of *Escherichia coli* and bromide. *Journal of Hydrology*, 430-431: 80-90.
12. Safadoust, A., Mahboubi, A.A., Mosaddeghi, M.R., Khodakaramian, Gh., and Heidari, A. 2011. Moving *E. coli* bacteria in soil columns under different temperature and flow conditions. *Journal of Soil and Water Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 15: 57. 183-197. (In Persian)
13. Shirani, H., Shrani, S., Sayyad, G., and Jafarnezhad, A.R. 2011. The effect of salinity on the leaching of water movement in soil bacteria. The third National Conference on Management of irrigation networks and drainage. Shahid Chamran University of Ahvaz.
14. Unc, A. and Goss, M.J. 2003. Movement of faecal bacteria through the vadose zone. *Water, Air, and Soil Pollution*, 149:1-4. 327-337.
15. Wang, Y., Bradford, S.A., and Šimůnek, J. 2014. Estimation and upscaling of dual-permeability model parameters for the transport of *E. Coli* D21g in soils with preferential flow. *Journal of Contaminant Hydrology*, 159: 57-66.
16. Wang, Y., Bradford, S.A., and Šimůnek, J. 2014. Physicochemical Factors Influencing the Preferential Transport of *Escherichia coli* in Soils. *Vadose Zone Journal*, 13:1-10.
17. Yao, K.M., Habibian, M.T., and O'Melia, C.R. 1971. Water and wastewater

filtration. Concepts and applications. *Environmental Science and Technology*, 5(11): 1105–1112.

18. McDowell-Boyer, L.M., Hunt, J.R. and Sitar N. 1986. Particle transport through porous media. *Water Resources Research*, 22: 1901–1921.