# بررسی اثر تیمارهای خاک بر منحنی رخنه باکتری *اشریشیاکلی* آزاد شده از کودهای آلی مختلف

ستار زند سلیمی [۱]  علی‌اکبر محبوبی [۲]  محمدرضا مصدقی [۳]  منوچهر رشیدیان [۴]  مظفر فیروزمنش [۵]

(دریافت ۸۵/۲/۱۸  پذیرش ۸۵/۷/۱۰)

## چکیده

**کودهای حیوانی منبع باکتری‌های بیماری‌زا هستند که می‌توانند سلامتی انسان را به شدت به خطر اندازند. در این تحقیق از ستونهای دست‌نخورده خاک، با بافت لوم‌رسی‌شنی و شن‌لومی، برای بررسی اثر بافت و ساختمان خاک بر پالایش و انتقال باکتری *اشریشیاکلی* آزاد شده از کود گاوی، کود مرغی و لجن فاضلاب استفاده شد. ستونهای خاک دست‌نخورده به ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر و قطر ۱۶ سانتی‌متر، با کودهای آلی ذکر شده، به میزان ۱۰ تن در هکتار (بر حسب وزن خشک) تیمار شد. با ایجاد جریان غیراشباع ماندگار، اثر تیمارهای خاک و کود بر انتقال باکتری *اشریشیاکلی*، با اندازه‌گیری تغییرات غلظت باکتری در آب ورودی و زهاب خروجی تا چهار برابر حجم آب منفذی (PV) بررسی شد. با وجودی که سطوح جذب خاک لوم‌رسی‌شنی زیادتر از خاک شن‌لومی بود، ولی میزان باکتری عبور یافته از آن، بیشتر از خاک شن لومی بود. در مقابل، خاک شن‌لومی باکتری بیشتری را پالایش کرد. شدت آلودگی زهاب ستونهای خاک تیمار شده با کود مرغی، بیشتر از کود گاوی و لجن فاضلاب بود؛ ولی در بیشتر موارد، اختلاف بین تیمار کود گاوی و لجن فاضلاب از نظر شدت آلودگی زهاب، ناچیز بود. به احتمال زیاد ساختمان ضعیف‌تر و پیوسته نبودن منافذ خاک شن‌لومی، عامل پالایش بیشتر باکتری *اشریشیاکلی* در ستونهای این خاک بود. در حالی که به نظر می‌رسد وجود جریان ترجیحی در خاک لوم رسی شنی به علت ساختمان‌سازی بیشتر و پیوسته بودن منافذ درشت، عامل پالایش کمتر باکتری *اشریشیاکلی* در این خاک و حضور زود هنگام (۰/۱ حجم آب منفذی) آن در زهاب بود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ساختمان خاک و جریانهای ترجیحی (در اثر وجود منافذ درشت)، در انتقال باکتری *اشریشیاکلی* از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، به طوری که اهمیت آنها بر فرآیند انتقال باکتری در خاکهای دست‌نخورده بیشتر از بافت و سطوح جذب می‌باشد.**

***واژه‌های کلیدی:*** *ساختمان خاک، جریان ترجیحی، باکتری اشریشیاکلی، کود گاوی، کود مرغی، لجن فاضلاب.*

# Breakthrough Curve of *Escherichia Coli* Released from Organic Manures as Influenced by Soil Properties

*Sattar Zandsalimi*[1]  *Ali Akbar Mahboubi*[2]  *Mohammad Reza Mosaddeghi*[3]
*Manochehr Rashidian*[4]  *Mozaffar Firozmanesh*[5]

*(Received May 8, 2006  Accepted Oct. 2, 2006)*

## Abstract

Organic manures are the source of many pathogenic bacteria which could be dangerous for human health. In this study, the effects of soil texture and structure on transmitting and filtering of manure-borne *Escherichia Coli* were investigated. The intact soil samples (25 cm in height and 16 cm in diameter) were taken from a sandy clay loam soil and a loamy sand soil. Three manures including: cow manure, poultry manure and sewage sludge were applied on the surface of the soil cores at the rate of 10 Mg $ha^{-1}$ on dry basis. With controlled steady-state unsaturated water flow, the influent and effluent concentration of *Escherichia Coli* were determined vs. time up to four pore volumes (PV). In spite of greater adsorptive sites of sandy clay loam soil, more bacteria have been transmitted and polluted the effluent of the soil. The loamy sand soil filtered more *Escherichia Coli* compared with the sandy clay loam soil. The effluent contamination of poultry manure-treated columns was greater than the cow manure and that of treated sewage sludge. In the majority of the columns, the difference between cow manure and sewage sludge was negligible. The filtration of *Escherichia Coli* in loamy sand soil was greater due to weaker structure and discontinuity of pores which are responsible for physical filtering. In sandy clay loam soil, the stable structure and preferential pathways are believed to cause funneling of the bacteria towards the bottom of the columns and the early appearance of *Escherichia Coli* in the drain water. The results demonstrated the importance of soil structure and preferential (macroporous) flow in bacteria transport which could diminish the impacts of soil texture and adsorptive sites on the transmission mechanisms.

***Keywords:*** *Soil Structure, Preferential Flow, Escherichia Coli Bacteria, Cow Manure, Poultry Manure, Sewage Sludge.*

۱- کارشناس ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، s_zandsalimi@yahoo.com
۲- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
۳- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
٤- استادیار دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کردستان
۵- مربی دانشکده بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کردستان

1-M.Sc., Soil Science, Department of Soil Science, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, s_zandsalimi@yahoo.com
2- Associate Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University
3- Assistant Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Bu-Ali Sina University
4-Assistant Prof., Department of Medical Sciences, Medical Sciences University of Kurdestan
5- Instructor, Department of Environmental Public Health, Medical Sciences University of Kurdestan

## ۱- مقدمه

کودهای آلی علی‌رغم اینکه ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک را جهت رشد بهتر گیاه بهبود می‌بخشند، منبع باکتری‌های بیماری‌زایی هستند که می‌توانند به شدت سلامتی انسان را به خطر اندازند. غلظت باکتری‌های بیماری‌زا در کودهای دامی تا حد زیادی بستگی به نوع حیوان، روش ذخیره کود و میزان تجزیه آن قبل از اضافه شدن به خاک دارد. باکتری‌ها می‌توانند از سطح ذرات کود آزاد شده و به همراه آب آبیاری یا بارندگی، از طریق جریانهای سطحی و زیرزمینی خود را به آبهای سطحی و زیرزمینی رسانده و سبب آلودگی آنها شوند. عمق انتقال باکتری‌ها در خاکهای مختلف متفاوت است. هاگدورن[1] و همکاران در سال ۱۹۸۱ و بیتون[2] و هاروی[3] در سال ۱۹۹۲ عمق انتقال باکتری در طول خاک را که بستگی به نفوذپذیری و درجه اشباع خاک و طول زمان آبشویی کود دارد، از ۱ تا ۸۳ متر گزارش کرده‌اند [۱ و ۲]. در خاکهای با زهکشی مناسب و منافذ درشت متعدد، انتقال باکتری بیشتر است [۳]. ریدی[4] و همکاران در سال ۱۹۸۱، سرعت حرکت *اشریشیاکلی* در دو خاک با زهکشی مناسب و ضعیف را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که زهکشی خاکی مناسب است که، منافذ درشت زیادی دارد؛ به همین علت سرعت حرکت *اشریشیاکلی* در آن بیشتر از خاک با زهکشی ضعیف است [۴].

در ستونهای خاک دست‌نخورده، توزیع و پیوستگی منافذ درشت در طول ستون خاک عامل اصلی مؤثر بر میزان انتقال باکتری می‌باشد [۵، ۶ و ۷]. توزیع اندازه منافذ خاک رابطه نزدیکی با بافت خاک دارد. پژوهشهای متعدد نشان می‌دهد که جا به جایی و انتقال باکتری‌ها در خاک، رابطه مستقیم با اندازه ذرات خاک دارد [۸ و ۹]. توزیع اندازه ذرات، در نهایت بر توزیع اندازه منافذ خاک مؤثر است. در خاکهای با منافذ درشت و پیوسته، جریانهای ترجیحی (ماکروپوری)[5] به وجود می‌آید. سرعت زیاد جریان آب در این خاکها، میزان جذب و حبس شدن باکتری را کاهش می‌دهد که در اثر آن شدت آلودگی آبهای زهکشی و زیرزمینی بالا می‌رود. به طور کلی در خاکهای دست‌نخورده نسبت به خاکهای دست‌خورده، باکتری بیشتری منتقل می‌شود [۱۰] که علت اصلی آن وجود ساختمان، منافذ به هم پیوسته و جریانهای ترجیحی در خاکهای دست‌نخورده است.

یکی از مکانیسم‌های کاهنده حرکت باکتری‌ها در خاک، جذب آنها بر روی سطح ذرات و به دام افتادن آنها در منافذ ریز خاک است. جذب سطحی باکتری‌ها و به دام افتادن آنها در منافذ ریز، به مقدار زیادی تحت تأثیر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک، ویژگیهای الکتروشیمیایی سطح سلول باکتری و همچنین ویژگیهای کود است. پاتوژن‌هایی که جذب ذرات خاک نشده و در منافذ کوچک خاک حبس نشده‌اند، سرانجام در محلول خاک باقی مانده و همراه جریان آب در خاک نفوذ می‌کنند. همچنین این باکتری‌ها می‌توانند از طریق رواناب سطحی به منابع آب سطحی رسیده و آلودگی آنها را افزایش دهند [۴].

در اکثر پژوهشهای انجام شده، از سوسپانسیون باکتری با غلظت مشخص برای بررسی جذب و انتقال آن در طول ستونهای خاک استفاده شده است. نتایج این پژوهشها تنها برای بررسی فرآیند و مکانیسم آبشویی باکتری مورد نظر کاربرد دارد. در مورد کود، باکتری قبل از اینکه در خاک نفوذ کند، ابتدا بایستی از سطح ذرات کود آزاد شده و وارد سوسپانسیون آن شود تا بتواند در نیمرخ خاک آبشویی شود. سرعت آزاد شدن باکتری، در کودهای مختلف متفاوت است [۱۱]. علاوه بر این سوسپانسیون کودهای آلی ویژگیهای شیمیایی خاصی دارند که می‌توانند بر ویژگیهای خاک تأثیر گذار باشند.

افزودن الکترولیتی مانند کودهای مایع حیوانی، سبب بالا رفتن قدرت یونی محلول خاک و فشرده شدن لایه دوگانه پخشیده (DDL) می‌شود. این عمل سبب نزدیک شدن میکروب‌ها به سطح ذرات خاک و غلبه نیروهای واندروال برای جذب باکتری روی سطح ذرات خاک می‌شود؛ لذا با افزایش غلظت محلول کود، انتظار می‌رود انتقال و آبشویی باکتری‌ها در خاک کندتر شود [۱۲]. از طرف دیگر باکتری‌های کود، می‌توانند جذب ذرات کلوئیدی محلول کود و خاک شوند. این عمل می‌تواند انتقال و حرکت باکتری‌ها را به خاطر توانایی انتقال زیاد ذرات کلوئیدی آسان کند. البته این ذرات می‌توانند منافذ ریز خاک را نیز مسدود کرده و از حرکت باکتری‌های دیگر جلوگیری کنند [۱۳]. دارناولت[6] و همکاران دریافتند که با افزودن کود گاوی به ستونهای خاک، سرعت انتقال باکتری کاهش می‌یابد که دلیل آن مسدود شدن منافذ ریز به وسیله ذرات کلوئیدی و آلی کود است [۱۴].

این تحقیق با هدف بررسی اثر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی کود و خاک بر انتقال باکتری *اشریشیاکلی* و مقایسه شدت آلایندگی کودهای آلی مختلف انجام شد. همچنین در این تحقیق منحنی رخنه باکتری به منظور بررسی شدت آلودگی زهاب ستونهای خاک در

[1] Hagedorn
[2] Bitton
[3] Harvey
[4] Reddy
[5] Preferential or Macroporous Flow
[6] Darnault

طول آزمایش آبشویی و مقایسه اثر تیمارهای کود مختلف بر انتقال باکتری، اندازه‌گیری شد.

## ۲- مواد و روشها

این پژوهش در شرایط جریان غیر اشباع ماندگار، بر روی ستونهای خاک دست‌نخورده به ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر و قطر ۱۶ سانتی‌متر انجام شد. نمونه‌های خاک دست‌نخورده، با استفاده از سیلندرهای نمونه‌گیری از جنس آهن گالوانیزه، به ضخامت ۳ میلی‌متر و ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر، به تعداد ۱۲ عدد از دو نوع خاک با بافت لوم‌رسی‌شنی (با ۵۵ درصد شن، ۲۲ درصد سیلت و ۲۳ درصد رس) در منطقه فیض‌آباد همدان با رده‌بندی خاک Typic Xerocrepts و شن‌لومی (با ۸۴ درصد شن، ۸ درصد سیلت و ۸ درصد رس) در منطقه چشمه قصابان همدان با رده‌بندی خاک Typic Xerortents تهیه شد. در جدول ۱ برخی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاکها آورده شده است.

قبل از نمونه‌گیری، برای سهولت در انجام آن و جلوگیری از جریان ترجیحی در فصل مشترک جدار داخلی سیلندر و ستون خاک، جدار داخلی سیلندرها با پارافین مایع روغن‌کاری شد. نمونه‌گیری طوری انجام شد که نمونه‌های برداشت شده شامل افقهای A و B خاک زراعی باشد، یعنی از وسط لایه سطحی تا وسط لایه زیرسطحی برداشت شد. پس از نمونه‌گیری، ستونهای خاک به آزمایشگاه منتقل شده و داخل قیف فلزی بر روی چهار پایه‌ای مستقر شدند. با اشباع کردن ستونهای خاک، ضریب آبگذری اشباع آنها به روش بار ثابت[1] اندازه‌گیری شد. جهت ایجاد شرایط جریان غیر اشباع، ستونهای خاک با شدت جریانی برابر با ۰/۱۲ ضریب آب‌گذری اشباع خاک ریز بافت (با شدت جریان ۴/۸ سانتی‌متر در ساعت) آبیاری شدند. با مکش کردن انتهای ستونهای خاک به وسیله پمپ خلاء برای برقراری جریان ماندگار و جلوگیری از اشباع شدن انتهای ستونهای خاک، در ته ستونهای خاک مکشی اعمال شد. با جمع‌آوری زهاب خروجی در مکشهای مختلف، مکش طوری تنظیم شد که شدت جریان ورودی با شدت جریان خروجی از ستونها برابر شود. نمونه‌گیری از زهاب، به وسیله سرنگ‌های سترون در حجمهای مختلف آب خروجی تا چهار برابر حجم آب منفذی (PV)[2] در مسیر جریان آب خروجی انجام شد. حجم آب منفذی عبارت است از حجمی از خاک که به وسیله آب پر شده است. حجم آب منفذی ستونهای خاک در شرایط جریان غیر اشباع ماندگار با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید [۱۵]:

$$PV = \theta_V \times V_t \qquad (۱)$$

که در این رابطه: PV = حجم آب منفذی خاک بر حسب سانتی‌متر مکعب؛ $\theta_V$، رطوبت حجمی خاک بر حسب سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب که به روش استوانه، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری شد و $V_t$، حجم کل خاک درون سیلندر بر حسب سانتی‌متر مکعب می‌باشد. در جدول ۲ ویژگیهای جریان غیر اشباع ماندگار داده شده است.

تیمارهای کود شامل کودهای گاوی، مرغی و لجن فاضلاب بودند. کود گاوی از گاوداریهای سنتی حومه شهرستان سنندج، کود مرغی از فضولات مرغ خانگی و لجن فاضلاب از تصفیه‌خانه فاضلاب شهرستان قروه تهیه گردید. تصفیه فاضلاب در این تصفیه‌خانه به روش ته‌نشینی با استفاده از حوضچه‌های متوالی انجام می‌شود که هیچ‌گونه عمل کلرزنی و تثبیت در آن صورت نمی‌گیرد. پس از هوا خشک شدن، نمونه‌های کود از الک ۳ میلی‌متری عبور داده شد تا نمونه یکنواختی از آن به دست آید. رطوبت وزنی تیمارهای کود به روش وزنی اندازه‌گیری شد، و به میزان ۱۰ تن در

[1] Constant-head Method

[2] Pore Volume

**جدول ۱**- برخی ویژگیهای شیمیایی و فیزیکی خاکهای مورد مطالعه*

| نوع خاک | لایه خاک | EC (دسی زیمنس بر متر) | pH | TNV (درصد وزنی) | OC (درصد وزنی) | DOC (درصد وزنی) | TSC (میلی‌گرم بر لیتر) | MWD (میلی‌متر) | Macro P (درصد حجمی) | Micro P (درصد حجمی) | $K_s$ (سانتی‌متر بر ساعت) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خاک شن لومی | ۰-۲۵ | ۰/۱۱ | ۷/۸ | ۴/۰ | ۰/۸۲ | ۰/۳۶ | ۱۴۵/۳۶ | ۲/۵۳ | ۱۴/۵ | ۲۷/۵ | ۷۰/۶ |
| | ۲۵-۵۰ | ۰/۰۴۷ | ۷/۹ | ۴/۰ | ۰/۷۹ | ۰/۳۶ | ۲۰۶/۰۸ | ۲/۱۳ | ۱۴ | ۳۲ | ۷۰/۶ |
| خاک لوم رسی شنی | ۰-۲۵ | ۰/۱۲ | ۷/۸ | ۱۹/۵ | ۰/۸۹ | ۰/۰۹ | ۲۱۷/۲ | ۳/۸۷ | ۱۶/۵ | ۴۱/۵ | ۳۹/۵ |
| | ۲۵-۵۰ | ۰/۱۲ | ۷/۸ | ۲۲/۵ | ۱/۰۷ | ۰/۰۹ | ۲۳۴/۸ | ۳/۶۷ | ۱۵/۵ | ۴۰/۵ | ۳۹/۵ |

*EC = هدایت الکتریکی عصاره ۱ به ۵ خاک به آب، pH = اسیدیته گل اشباع، TNV= مواد خنثی شونده (آهک) ، OC = کربن آلی، DOC = درصد کربن آلی محلول در عصاره ۱ به ۵ خاک به آب ، TSC= غلظت کاتیون‌های محلول در عصاره ۱ به ۵ خاک به آب ، MWD = میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، Macro P = تخلخل درشت ، Micro P = تخلخل ریز و $K_s$ = ضریب آبگذری اشباع

**جدول ۲**- ویژگیهای شرایط غیر اشباع ماندگار*

| نوع خاک | $\theta_m$ (درصد جرمی) | $\theta_V$ (درصد حجمی) | $\tau$ (کیلوپاسکال) | q (سانتی‌متر بر ساعت) | $\overline{V}$ (سانتی‌متر بر ساعت) | $V_t$ (سانتی‌متر مکعب) | PV (سانتی‌متر مکعب) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شن لومی | ۲۰/۸ | ۳۱/۱ | ۴ | ۴/۸ | ۱۵ | ۵۰۲۵ | ۱۵۵۷ |
| لوم رسی شنی | ۳۰ | ۳۴/۲ | ۶ | ۴/۸ | ۱۴ | ۵۰۲۵ | ۱۷۲۰ |

*$\theta_m$ = رطوبت جرمی، $\theta_V$ = رطوبت حجمی، $\tau$ = مکش اعمال شده در انتهای ستون خاک جهت ایجاد شرایط ماندگار، q = شدت جریان آب در ستونهای خاک، $\overline{V}$ = سرعت ظاهری (سرعت نیوتونی) ، $V_t$ = حجم ستونهای خاک و PV= حجم آب منفذی

**جدول۳**- ویژگی کودهای آلی مورد استفاده*

| تیمار کود | EC (دسی زیمنس بر متر) | pH | $\theta_m$ (درصد وزنی) | DOC (درصد وزنی) | OM (درصد وزنی) | TSC (میلی‌گرم بر لیتر) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| کود گاوی | ۲/۲۲ | ۸/۹ | ۸/۱ | ۵/۴ | ۷۷/۷ | ۴۰۹۲۱ |
| کود مرغی | ۱/۵۶ | ۷/۶ | ۷/۷ | ۳/۶ | ۷۴/۴ | ۶۴۴۰۵ |
| لجن فاضلاب | ۰/۲۳ | ۸/۱ | ۶/۸ | ۰/۷۲ | ۲۴/۶ | ۱۹۳۱ |

*EC = هدایت الکتریکی عصاره ۱ به ۲۰ کود به آب، pH = اسیدیته عصاره ۱ به ۲۰ کود به آب، $\theta_m$ = رطوبت وزنی، DOC= کربن آلی محلول کود ،OM= مواد آلی کود، TSC= غلظت کل کاتیون های محلول کود در نسبت ۱ به ۵ کود به آب

هکتار بر حسب وزن خشک، کود بر روی سطح ستونهای خاک پخش گردید. در جدول ۳ برخی ویژگیهای شیمیایی کودها آورده شده است.

کودهای آلی منبع بسیاری از ریزجانداران بیماری‌زای انسان و حیوان هستند. در تیمارهای کودی ذکر شده، باکتری *اشریشیاکلی* به عنوان باکتری شاخص آلودگی آب انتخاب شد. *اشریشیاکلی* از خانواده باکتری‌های گرم منفی، متحرک، هوازی یا بی‌هوازی اختیاری می‌باشد، که قطر سلول آن از ۱ تا ۶ میکرون است.

با اندازه‌گیری تغییرات غلظت باکتری در آب ورودی و زهاب ستونهای خاک، انتقال آن در طول ستونهای خاک بررسی شد. مجموعه کود و ستون خاک، با آب شهر با دبی برابر با ۱۶ سانتی‌متر مکعب بر دقیقه (معادل شدت جریانی برابر با ۴/۸ سانتی‌متر در ساعت) شستشو شد. در آزمایشهای آبشویی برای هر ترکیب کود- خاک سه تکرار (سه ستون خاک همراه با کود مورد نظر) در نظر گرفته شد. آزمایش آبشویی کود و ستون خاک، تا چهار برابر حجم آب منفذی (حدود ۳۸۸ دقیقه) ادامه یافت. در حجمهای آب منفذی ۰/۱PV ، ۰/۲PV، ۰/۳PV، ۰/۴PV، ۰/۶PV، ۰/۸PV، ۱/۰PV، ۱/۳PV، ۱/۶PV، ۱/۹PV، ۲/۲PV، ۲/۶PV، ۳/۰PV، ۳/۵PV و ۴PV از زهاب ستونهای خاک و همچنین از سوسپانسیون کود ورودی نمونه‌گیری شد. حجم نمونه برداشت شده در هر بار نمونه‌گیری، ۵ میلی‌لیتر بود. نمونه‌های آب آلوده به میزان لازم رقیق شده و با استفاده از پیپت سترون، ۰/۱ میلی لیتر از نمونه رقیق شده، بر روی محیط کشت ائوزین متیلن بلو (EMB) کشت داده شد. پلیت‌های محیط کشت به مدت ۱۸ تا ۲۴ ساعت، در محیط رشد (انکوباتور) با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. محیط کشت EMB حاوی املاح صفراوی و رنگدانه‌های متیلن‌بلو می‌باشد که از رشد باکتری‌های گرم مثبت جلوگیری می‌کند [۱۶]. بر روی محیط کشت EMB باکتری‌های گرم منفی زیادی رشد می‌کنند. برای تشخیص باکتری *اشریشیاکلی* از سایر باکتری‌های گرم منفی، از محیطهای افتراقی دیگری، که در مجموع به آن تست IMVIC[1] می‌گویند، استفاده شد. این محیطها شامل اوره آگار، سیترات آگار ، لیزین، TSI[2]، SIM[3] و MRVP[4] می‌باشند [۱۶]. تعداد کلونی باکتری رشد کرده بر روی محیط کشت، به روش شمارش زنده[5]، شمارش و سپس غلظت باکتری در آب خروجی (C) و ورودی ($C_0$) محاسبه و با واحد کلنی در میلی‌لیتر (CFU $mL^{-1}$) بیان شد.

علاوه بر این، جهت اندازه‌گیری غلظت باکتری بومی موجود در ستونهای خاک دست‌نخورده، ستونهای خاک بدون کود (تیمار شاهد) نیز آبشویی گردید و در حجمهای آب منفذی مشابه، از

[1] IMVIC Test
[2] Triple Suger Iron Agar
[3] Solfid Indol Motility
[4] Methy Red Voges Proskaur Reaction
[5] Plate Count

زهاب نمونه‌گیری شد. پس از کشت آن بر روی محیط EMB، باکتری *اشریشیاکلی* در آب خروجی از ستونهای خاک بدون کود، مشاهده نشد.

در این پژوهش طرح آزمایشی مورد استفاده، طرح فاکتوریل دو فاکتوره در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود[۱۷]. فاکتور یا تیمار اول، نوع خاک (خاک شن‌لومی و خاک لوم‌رسی‌شنی) و تیمار دوم تیمار کودی (کود گاوی، کود مرغی و لجن فاضلاب) بود. متغیر مورد بررسی، غلظت خروجی (C) *اشریشیاکلی* در حجمهای آب منفذی ۰/۱، ۰/۴، ۱/۰، ۱/۹ و ۴ برابر PV بود. داده‌های به دست آمده به وسیله نرم‌افزار آماری MSTATC تجزیه شده و مقایسه میانگینها به روش LSD صورت گرفت.

منحنیهای رخنه[1] (BTC) به صورت لگاریتم غلظت خروجی (C)، و همچنین غلظت ورودی ($C_0$) برحسب $CFU\ mL^{-1}$، در برابر حجم آب منفذی (PV) برای تیمارهای خاک و کود مختلف با استفاده از نرم افزار اکسل[2] رسم گردید، و روند آلودگی زهاب ستونهای خاک تیمار شده با کودهای آلی و توانایی خاکها در پالایش آب آلوده، بحث و بررسی شد.

## ۳- نتایج و بحث

با آبشویی تیمارهای کودی، باکتری *اشریشیاکلی* از سطح ذرات کود آزاد شده و همراه سوسپانسیون کود وارد سطح خاک شد. پس از برهم‌کنش با فاکتورهای محدود کنندهٔ حرکت باکتری در ستونهای خاک، تعدادی از باکتری‌ها در خاک نگهداری و حبس شده و تعدادی نیز در محلول خاک باقی مانده و همراه جریان آب از ستونهای خاک خارج شدند. میزان آلودگی زهاب ستونهای خاک، رابطه معکوسی با توانایی خاک در پالایش باکتری داشتند.

[1] Breakthrough Curves (BTC)
[2] Excel

تیمارهای خاک به علت ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی مختلف، توانایی متفاوتی در پالایش باکتری *اشریشیاکلی* داشتند. به همین دلیل شدت آلودگی متفاوتی در زهاب ستونهای خاک شن‌لومی و لوم‌رسی‌شنی مشاهده شد.

در جدول ۴ تجزیه واریانس اثر تیمارهای خاک و کود بر غلظت باکتری *اشریشیاکلی* زهاب ستونهای خاک دست‌نخورده در حجمهای آب منفذی ۰/۱PV، ۰/۴PV، ۱/۰PV، ۱/۹PV و ۴/۰PV آورده شده است. نوع خاک تنها در حجم آب منفذی ۱/۰PV، بر غلظت باکتری *اشریشیاکلی* زهاب اثر معنی‌دار داشت ($P<0/05$). در مقابل، نوع کود در همه حجمهای آب منفذی (به جز ۰/۱PV) بر غلظت *اشریشیاکلی* زهاب تأثیر معنی‌داری داشت ($P<0/01$)، که بیانگر اثر قابل توجه نوع کود بر میزان آلودگی زهاب است. تیمارهای خاک و کود اثر متقابل کمی،بر یکدیگر داشتند؛ به گونه‌ای که اثر متقابل خاک×کود تنها در حجمهای آب منفذی ۱/۰PV و ۱/۹PV، شدت آلودگی زهاب به *اشریشیاکلی* را تحت تأثیر قرار داد ($P<0/01$). بنابراین می‌توان گفت که با گذشت زمان پس از آغاز آزمایشهای آبشویی، اثر تیمارهای مختلف بر جا به جایی و نگهداری باکتری در خاک قابل توجه و معنی‌دار شد. در مراحل نهایی آبشویی (۴/۰PV) به علت آبشویی زیاد کود و کاهش غلظت ورودی باکتری، اثر تیمار خاک و اثر متقابل خاک×کود بر میزان آلودگی آب زهکشی کاهش یافت (جدول ۴).

در شکل ۱ روند آلودگی زهاب در طول زمان آبشویی آورده شده است. شدت آلودگی زهاب در ابتدای آبشویی به علت آنکه هنوز جبهه آلودگی به انتهای ستونهای خاک نرسیده بود پایین بود. خروج زود هنگام باکتری (در ۰/۱PV) در خاک لوم‌رسی‌شنی بیانگر نقش جریان ترجیحی در انتقال باکتری است. با ادامه آبشویی در ۰/۴PV شدت آلودگی زهاب به حداکثر رسیده و سپس کاهش

**جدول ۴**- منابع تغییر و اثر آنها بر غلظت *اشریشیاکلی* زهاب در حجمهای آب خروجی مختلف

| منبع تغییرات | درجه آزادی | نسبت F | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ۰/۱PV | ۰/۴PV | ۱/۰PV | ۱/۹PV | ۴/۰PV |
| خاک (S) | ۱ | ۱/۰۹ | ۰/۲۵ | ۲۴/۶۸* | ۳۱/۵۷ | ۳/۵۵ |
| کود (M) | ۲ | ۱/۰۵ | ۳۴/۹۱** | ۵۰/۳۳** | ۷۹/۰۹** | ۱۴۳/۸** |
| S×M | ۲ | ۱/۰۶ | ۰/۲۸ | ۲۸/۳۱** | ۳۴/۷** | ۳/۵۲ |

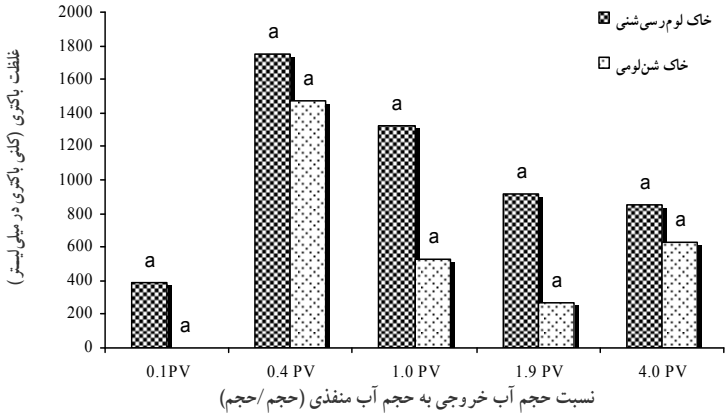
** و * به ترتیب بیانگر اثر معنی‌دار درسطوح آماری ۱ و ۵ درصد می‌باشند.

می‌یابد. در طول آبشویی اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خاک از نظر شدت آلودگی زهاب مشاهده نشد ولی در کل، میزان آلودگی ایجاد شده در زهاب خاک لوم‌رسی‌شنی بیشتر از خاک شن‌لومی بود. در انتهای آبشویی یعنی در ۴/۰PV، شدت آلودگی زهاب خاک شن لومی افزایش یافت. به نظر می‌رسد دفع باکتری از سطوح جذب و آزاد شدن باکتری‌های گیرافتاده در منافذ این خاک بیشتر شده و باکتری بیشتری وارد زهاب شد و آلودگی آن را افزایش داد.

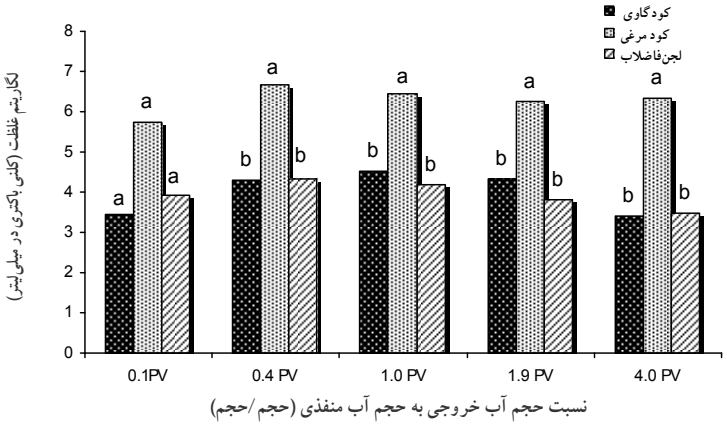
در شکل ۲ شدت آلودگی ناشی از تیمارهای کود آورده شده است. در ابتدای آزمایش آبشویی، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کود از نظر شدت آلودگی زهاب مشاهده نشد. اما با ادامه آبشویی اثر تیمارهای کود بر آلودگی زهاب معنی‌دار شد. بین تیمار کود مرغی با دو تیمار کودی دیگر در سطح آماری ۵ درصد اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. اما این اختلاف بین کود گاوی و لجن فاضلاب معنی‌دار نبود. روی‌هم‌رفته کود مرغی نسبت به دو تیمار کودی دیگر در طول زمان آبشویی، آلودگی بیشتری ایجاد کرد.

### ۳-۱- اثر تیمار خاک بر میزان عبور باکتری *اشریشیاکلی* و آلودگی زهاب

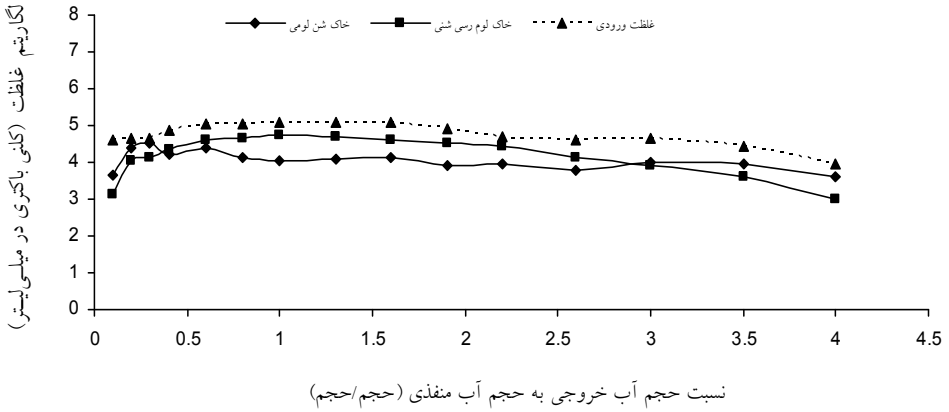
در شکلهای ۳، ۴ و ۵ منحنیهای رخنه باکتری *اشریشیاکلی* برای تیمارهای خاک و کود، و همچنین منحنیهای غلظت ورودی باکتری ($C_0$) آورده شده است. در اوایل آبشویی کود گاوی، میزان آلودگی



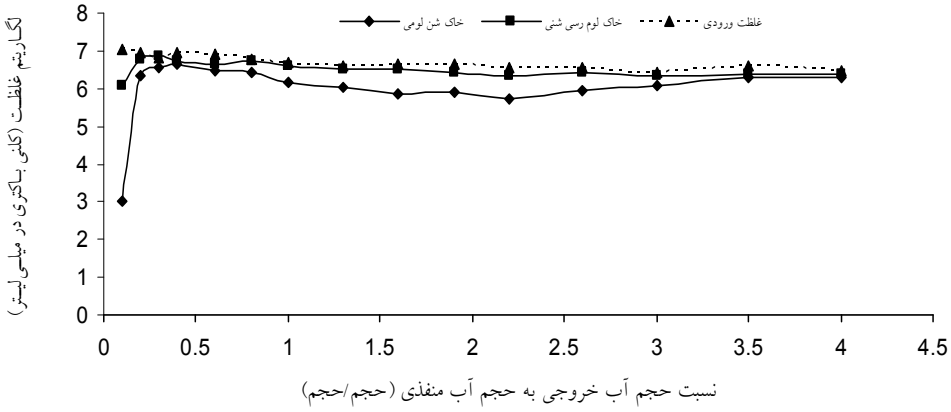

**شکل ۱**- اثر تیمارهای خاک بر غلظت باکتری *اشریشیاکلی* زهاب در حجمهای آب خروجی مختلف (SCL= خاک لوم‌رسی‌شنی و LS= خاک شن‌لومی)، حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگینها در سطح آماری ۵ درصد است.



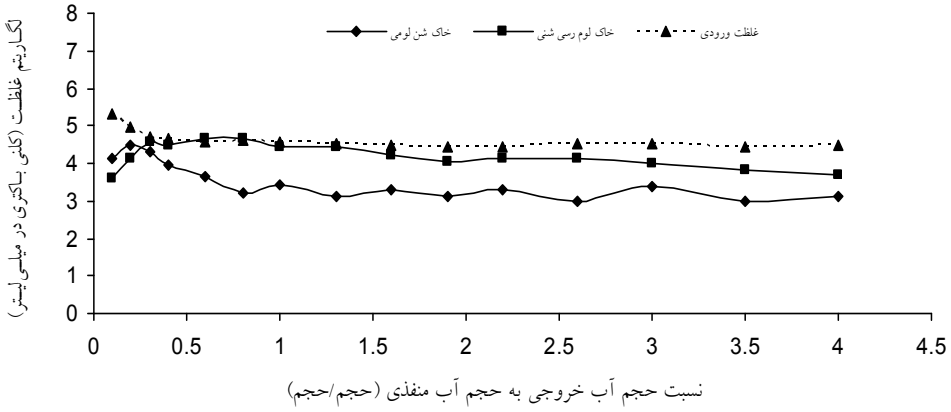

**شکل ۲**- اثر تیمارهای کود بر غلظت باکتری *اشریشیاکلی* زهاب در حجمهای آب خروجی مختلف (CM= کود گاوی ، PM= کود مرغی و SS= لجن فاضلاب)، حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگینها در سطح آماری ۵ درصد است.




**شکل۳**- منحنی غلظت ورودی باکتری *اشریشیاکلی* حاصل از کود گاوی و اثر تیمار خاک بر منحنیهای رخنه آن




**شکل۴**- منحنی غلظت ورودی باکتری *اشریشیاکلی* حاصل از کود مرغی و اثر تیمار خاک بر منحنیهای رخنه آن




**شکل۵**- منحنی غلظت ورودی باکتری *اشریشیاکلی* حاصل از لجن فاضلاب و اثر تیمار خاک بر منحنیهای رخنه آن

زهاب ستونهای خاک شن‌لومی بیشتر از خاک لوم‌رسی‌شنی بود. پس از ۰/۳PV، شدت آلودگی زهاب خاک شن لومی کاهش یافته و باکتری بیشتری در ستونهای آن جذب و پالایش شد (شکل ۳). با افزایش سطح ویژه خاک در اثر اضافه شدن ترکیبات آلی سوسپانسیون کود به خاک، بار منفی سطوح جذب خاک شن لومی بیشتر شده، باکتری بیشتری از آن دفع می‌شد. به همین دلیل در انتهای آزمایش آبشویی کود گاوی، میزان آلودگی زهاب ستونهای خاک شن‌لومی بیشتر شد. بر خلاف نتایج به دست آمده برای خاک شن‌لومی، شدت آلودگی زهاب خاک لوم‌رسی‌شنی در ابتدای آبشویی کود گاوی، روند افزایشی داشت. همچنین، همزمان با کاهش غلظت باکتری در سوسپانسیون ورودی به سطح خاک، آلودگی زهاب این خاک با شیب ملایمی کاهش یافت، که بیانگر تأثیر کمتر کود گاوی بر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک لوم‌رسی‌شنی در حین آزمایش آبشویی است.

بالاتر بودن موقعیت منحنی غلظت ورودی ($C_0$) نسبت به منحنی رخنه باکتری (C)، بیانگر توانایی تیمارهای خاک در پالایش باکتری *اشریشیاکلی* است، که با نتایج پژوهشهای کینوشیتا[1] کینوشیتا[1] در سال ۱۹۹۳، هیکمن[2] و همکاران در سال ۱۹۹۴، یونک و گوس[3] در سال ۲۰۰۳ و شلتون[4] در سال ۲۰۰۲ هماهنگ بود [۱۸، ۱۹ و ۲۰]. ولی مقایسه اختلاف سطح منحنی رخنه دو تیمار خاک با منحنی ورودی، توانایی بیشتر ستونهای خاک شن‌لومی در پالایش باکتری *اشریشیاکلی* را نشان می‌دهد. با وجود آنکه خاک لوم‌رسی‌شنی دارای سطوح جذب (میزان رس و ماده آلی) بیشتری نسبت به خاک شن‌لومی است، ولی خاک لوم‌رسی‌شنی باکتری بیشتری از خود عبور داد. به احتمال زیاد، بالا بودن درصد رس، ماده آلی و هدایت الکتریکی در خاک لوم‌رسی‌شنی (جدول ۱)، سبب پایداری بیشتر ساختمان و پیوستگی بیشتر منافذ درشت آن شده است؛ به طوری که مجاری عبور (منافذ درشت و درز و ترکها) در خاک لوم رسی شنی بیشتر بوده و بالا بودن سرعت جریان آب در منافذ درشت آن مانع جذب و حبس شدن باکتری شده است. نتایج پژوهشهای یونک و گوس در سال ۲۰۰۴ مؤید چنین روندی است [۲۱].

از سوی دیگر در سال ۱۹۹۲، تان[5] و همکاران، در سال ۱۹۹۴، هیکمن و همکاران، در سال ۱۹۹۶، هایسمن و ورستریت[6] و در سال ۲۰۰۲، لو[7] و همکاران نتایج متفاوتی گزارش کرده‌اند [ ۲۲، ۲۳ و ۲۴]. این پژوهشگران گزارش کردند که با افزایش درصد رس در ستونهای خاک، میزان جذب باکتری بیشتر شده و شدت آلودگی زهاب کاهش یافته است. به احتمال زیاد پالایش کمتر باکتری *اشریشیاکلی* در خاک لوم‌رسی‌شنی مربوط به وجود جریانهای ترجیحی در منافذ درشت با پیوستگی زیاد در ستونهای این خاک می‌باشد. یعنی اینکه به دلیل سرعت زیاد جریان آب در منافذ درشت این خاک، باکتری فرصت جذب سطحی و حبس فیزیکی[8] در منافذ ریز آن را ندارد. شدت آلودگی زهاب ستونهای خاک تیمار شده با کود مرغی بیشتر بود (شکل ۴). شدت آلودگی زهاب خاک شن‌لومی در ابتدای آبشویی کود مرغی، با سرعت بیشتری افزایش یافت. ولی میزان آلودگی زهاب خاک لوم‌رسی‌شنی بیشتر از خاک شن‌لومی بود. پس از ۰/۲PV، شدت آلودگی زهاب خاک لوم‌رسی‌شنی ثابت شد و تغییر چندانی پیدا نکرد، ولی منحنی رخنه برای ستون خاک شن‌لومی تغییرات بیشتری نشان داد. به نظر می‌رسد کود مرغی بر انتقال باکتری *اشریشیاکلی* در طول ستون خاک شن‌لومی تأثیر بیشتری داشته باشد. احتمالاً سرعت جریان زیاد در مسیرهای ترجیحی[9]، اثر تیمار کود بر جذب و پالایش باکتری در طول ستونهای این خاک را کاهش داده است که با نتایج به دست آمده برای کود گاوی هماهنگی دارد. وجود جریان ترجیحی در خاک لوم‌رسی‌شنی از یک طرف و تأثیر فاکتور تأخیر[10] در خاک شن‌لومی (به دلیل منافذ ریز زیاد) بر حرکت باکتری، از دلایل اصلی آلودگی کمتر زهاب خاک شن‌لومی در ابتدای آبشویی کود مرغی است. پس از ۰/۲PV، تفاوت بین شدت آلودگی زهاب دو تیمار خاک کاهش می‌یابد، ولی به تدریج میزان جذب و گیر افتادن باکتری در ستون خاک شن‌لومی بیشتر می‌شود، که علت آن را می‌توان به تأثیر بیشتر ذرات کلوئیدی سوسپانسیون کود مرغی در مسدود کردن منافذ ریز نسبت داد. با افزایش بار سطحی منفی خاک به دلیل تجمع زیاد باکتری و ذرات آلی روی سطوح جذب، دفع باکتری بیشتر شده و آلودگی زهاب افزایش می‌یابد. میزان آلودگی زهاب ستون خاک شن‌لومی در ابتدای فرآیند آبشویی لجن فاضلاب بیشتر بود (شکل ۵). خاک شن‌لومی در ابتدا باکتری بیشتری از خود عبور داده و آلودگی بیشتری در زهاب ایجاد کرد، ولی پس از آن با کاهش غلظت باکتری ورودی، آلودگی زهاب به سرعت کاهش یافت، و موازی با غلظت باکتری ورودی به مقدار ثابتی در طول آزمایش آبشویی رسید. آلودگی زهاب خاک

[1] Kinoshita
[2] Hekman
[3] Unc and Goss
[4] Shelton
[5] Tan
[6] Huysman and Verstraete
[7] Lo
[8] Physical Filtering
[9] Preferential Pathways
[10] Retardation Factor

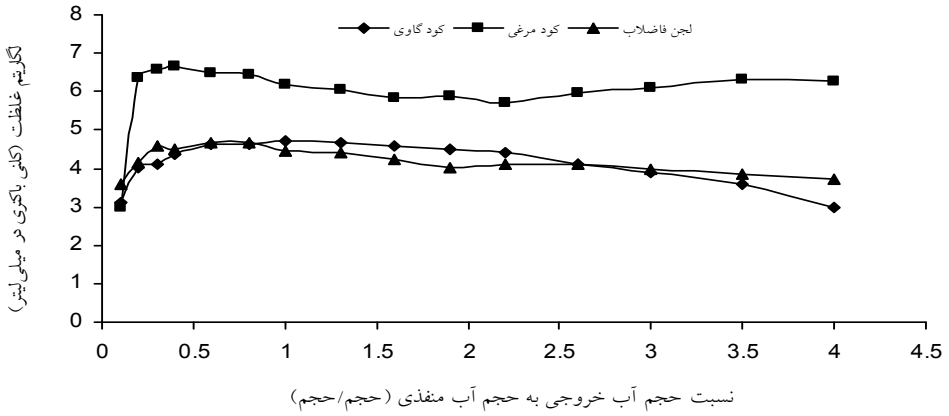
لوم‌رسی‌شنی متفاوت بود؛ یعنی اینکه در ابتدای آبشویی میزان آلودگی زهاب افزایش و پس از ۰/۳PV با شیب ملایمی کاهش یافت. در مجموع اثر تیمار لجن فاضلاب بر آلودگی زهاب خروجی از ستونهای خاک، کمتر مشاهده شد؛ ولی باکتری بیشتری در این تیمار نسبت به کود گاوی و کود مرغی پالایش شد. در خاک شن لومی تیمار شده با لجن‌فاضلاب اختلاف سطح منحنی رخنه با منحنی غلظت باکتری ورودی نسبت به تیمار کود گاوی و مرغی بیشتر بود. تفاوت بین دو تیمار خاک در پالایش باکتری *اشریشیاکلی* لجن فاضلاب بیشتر از کودهای گاوی و مرغی بود. تفاوت در ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی تیمارهای کودی و اثر آنها بر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک (مؤثر بر انتقال باکتری)، می‌تواند علت این اختلاف محسوب شود.

### ۳-۲- اثر تیمار کود بر میزان عبور باکتری *اشریشیاکلی* و آلودگی زهاب

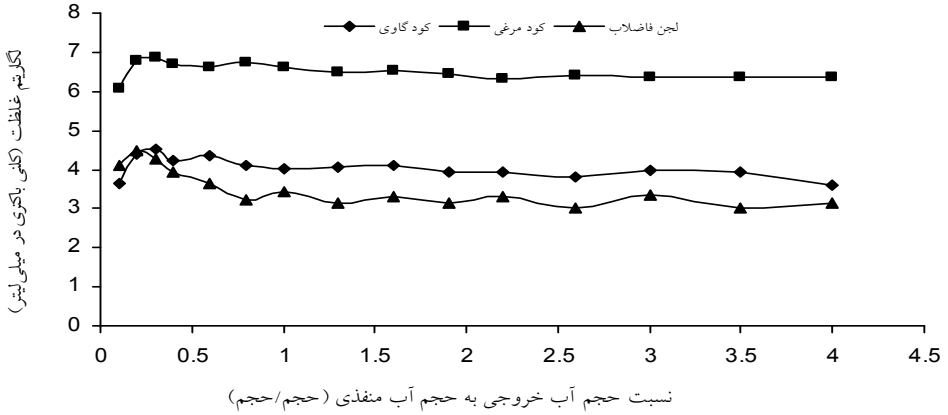
تیمارهای کودی اثر متفاوتی بر آلودگی زهاب داشتند. در شکلهای ۶ و ۷ اثر تیمارهای کودی بر آلودگی زهاب ستونهای خاک شن‌لومی و لوم‌رسی‌شنی آورده شده است. میزان باکتری *اشریشیاکلی* در زهاب تیمار شاهد (تیمار بدون کود) در مراحل مختلف نمونه‌گیری ناچیز بود، که با نتایج تحقیقات وارنموند و کانوار[1] هماهنگی داشت [۲۵]. *اشریشیاکلی* یک باکتری کلیفرم روده‌ای است که زادبوم اصلی آن روده حیوانات و انسان می‌باشد. تعداد خیلی کمی از این باکتری در خاک به صورت کومنسال (ساپروفیت) زندگی می‌کند. ولی منبع اصلی این پاتوژن، فضولات دام و انسان می‌باشد که از طریق کودهای آلی به زمینهای کشاورزی منتقل می‌شود [۲۶]. بنابراین غلظت ناچیز (در حد صفر) *اشریشیاکلی* در زهاب تیمار شاهد قابل پیش‌بینی بود. شدت آلودگی زهاب ستونهای خاک تیمار شده با کود مرغی، بیشتر از کود گاوی و لجن فاضلاب بود. وجود مقدار زیاد کربن آلی محلول و قابل تجزیه در فضولات مرغی(جدول ۳)، باعث رشد و فعالیت تعداد زیاد باکتری *اشریشیاکلی* شد. در کود گاوی مقادیر زیاد کاه و کلش تجزیه نشده مشاهده شد، که دارای مواد غیر قابل تجزیه مانند لیگنین و سلولز بود. این ترکیبات منبع غذایی مناسبی برای فعالیت باکتری‌های فرصت طلبی مانند *اشریشیاکلی* و دیگر باکتری‌های گرم منفی نمی‌باشند. همچنین لجن فاضلاب آبکی، رقیق و غیرهوازی است که محیط مناسبی برای رشد و تکثیر باکتری‌های گرم منفی هوازی و بی‌هوازی اختیاری مانند *اشریشیاکلی* محسوب نمی‌شود. به همین دلیل جمعیت باکتری *اشریشیاکلی* در کود گاوی و لجن فاضلاب کمتر از کود مرغی است و پتانسیل آلوده کنندگی کود گاوی و لجن فاضلاب نسبت به کود مرغی کمتر می‌باشد.

در ابتدای آبشویی کود مرغی، غلظت باکتری *اشریشیاکلی* در زهاب ستون خاک شن‌لومی نسبت به کود گاوی و لجن فاضلاب کمتر بود (شکل ۶). بین تیمار کود گاوی و لجن فاضلاب از نظر میزان آلودگی زهاب خاک شن‌لومی به باکتری *اشریشیاکلی* اختلاف کمتری مشاهده شد. در ابتدای آبشویی، پایین بودن قدرت یونی سوسپانسیون لجن‌فاضلاب، باعث انتقال بیشتر باکتری *اشریشیاکلی* شده است. شدت آلودگی زهاب ستون خاک شن‌لومی تیمار شده با لجن فاضلاب بیشتر از کود گاوی بود. در سوسپانسیون کود گاوی ترکیبات آلی محلول زیادی وجود دارد که می‌توانند انتقال باکتری *اشریشیاکلی* را آسان کنند [۲۷]. به همین دلیل با ادامه فرآیند آبشویی، اثر تیمارکود گاوی بر شدت آلودگی

[1] Warnemuende and Kanwar




**شکل ۶**- اثر تیمارهای کود بر منحنی رخنه باکتری *اشریشیاکلی* در خاک شن لومی




**شکل۷**- اثر تیمارهای کود بر منحنی رخنه باکتری *اشریشیاکلی* در خاک لوم رسی شنی

زهاب بیشتر از لجن فاضلاب شد. پس از مسدود شدن منافذ ریز خاک شن‌لومی با ذرات آلی سوسپانسیون کود گاوی، باکتری بیشتری در ستون خاک شن‌لومی حبس شد که در اثر آن شدت آلودگی زهاب خاک شن‌لومی تیمار شده با کود گاوی کاهش یافت. در کل می‌توان گفت تیمار کود گاوی به دلیل دارا بودن قدرت یونی بالاتر، غلظت کاتیون‌های محلول زیاد، مواد آلی و ترکیبات کربن آلی محلول بیشتر نسبت به کود مرغی و لجن فاضلاب (جدول ۳) تأثیر بیشتری بر ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر جذب و انتقال باکتری در خاک شن‌لومی داشت.

اثر تیمارهای کود بر پالایش باکتری در خاک لوم‌رسی‌شنی، به دلیل وجود جریانهای ترجیحی نسبت به خاک شن‌لومی کمتر بود (شکل ۷). مقایسه منحنیهای رخنه کود مرغی در دو تیمار خاک در ابتدای آبشویی، حاکی از آلودگی بیشتر زهاب در خاک لوم رسی شنی است، که علت آن تأثیر کمتر فاکتور تأخیر، به دلیل بالا بودن سرعت جریان در منافذ درشت این خاک بود. غلظت باکتری *اشریشیاکلی* در زهاب ستون خاک لوم‌رسی‌شنی تیمار شده با کود مرغی، ابتدا روند افزایشی داشت. پس از خروج ۰/۳PV آب از ستون خاک، شدت آلودگی زهاب ثابت شد و تغییر چندانی نداشت. استفاده از کود گاوی و لجن فاضلاب نتایج مشابهی به دست داد؛ با این تفاوت که شدت آلودگی زهاب ستون خاک لوم‌رسی‌شنی تیمار شده با لجن فاضلاب، پس از ۰/۳PV، به سرعت کاهش یافت. لجن فاضلاب به علت داشتن قدرت یونی و مواد آلی محلول و کلوئیدی اندک، باکتری کمتری در خود نگهداری می‌کند. به نظر می‌رسد حضور عمده باکتری *اشریشیاکلی* لجن فاضلاب در بخش محلول کود بوده که در همان اوایل آبشویی کود، به سرعت از کود جدا شده و وارد سطح ستون خاک می‌شود. به همین علت شدت آلودگی زهاب خاک تیمار شده با لجن فاضلاب با گذشت زمان آبشویی، به سرعت کاهش می‌یابد. در ستونهای خاک لوم‌رسی‌شنی، پتانسیل آلوده‌کنندگی کود مرغی بیشتر از کود گاوی و لجن فاضلاب، بود که با نتایج به دست آمده برای ستون خاک شن‌لومی هماهنگی داشت. ولی کود گاوی نسبت به لجن فاضلاب، آلودگی بیشتر ایجاد کرد. احتمالاً پایین بودن غلظت ورودی باکتری *اشریشیاکلی* حاصل از لجن فاضلاب و تأثیر کمتر ویژگیهای لجن فاضلاب بر انتقال و جذب باکتری *اشریشیاکلی* در ستون خاک لوم‌رسی‌شنی، باعث تأثیر بیشتر کود گاوی در آلودگی زهاب نسبت به لجن فاضلاب شده است.

## ۴- نتیجه‌گیری

۱- نتایج این پژوهش نشان داد که ستونهای خاک لوم‌رسی‌شنی (بافت سنگین‌تر)، باکتری *اشریشیاکلی* بیشتری از خود عبور دادند و شدت آلودگی زهاب این خاک بیشتر بود. به احتمال زیاد، بالا بودن درصد رس، ماده آلی و هدایت الکتریکی در خاک لوم‌رسی‌شنی، سبب پایداری بیشتر ساختمان و پیوستگی بیشتر منافذ درشت آن شده است؛ به طوری که مجاری عبور (منافذ درشت و درز و ترکها) در این خاک بیشتر بوده و بالا بودن سرعت جریان آب در منافذ درشت آن مانع جذب و حبس شدن باکتری شده است.

۲- با وجود آنکه میزان سطوح جذب (میزان رس و مواد آلی) در خاک لوم‌رسی‌شنی بیشتر از خاک شن‌لومی بود، ولی میزان پالایش باکتری *اشریشیاکلی* در ستونهای خاک شن‌لومی بیشتر بود. علت این نتیجه جالب را می‌توان به احتمال زیاد، ناپایداری ساختمان و ناپیوستگی منافذ خاک شن لومی دانست؛ به طوری که باکتری برای عبور از ستون خاک مسافت بیشتری را طی کرده و مدت زمان تماس باکتری با سطوح جذب و منافذ ریز، بیشتر شده است.

۳- شکل منحنی رخنه برای تیمارهای کودی مختلف متفاوت بود که علت آن، اثر متفاوت تیمارهای کود به دلیل ویژگیهای شیمیایی متفاوت آنها بر انتقال باکتری *اشریشیاکلی* در ستونهای خاک بود.

۴- شدت آلودگی زهاب ستونهای خاک تیمار شده با کود مرغی بیشتر از کود گاوی و لجن فاضلاب بود. ولی در بیشتر موارد، اختلاف بین تیمارهای کود گاوی و لجن فاضلاب از نظر شدت آلودگی زهاب ناچیز بود. بنابراین توصیه می‌شود تا جایی که ممکن است استفاده از کود مرغی خانگی در زمینهای کشاورزی کمتر شود، مگر آنکه مدیریت مناسب جهت کاهش غلظت باکتری‌های بیماری‌زای آن به عمل آید.

## ۵- قدردانی

بدین وسیله از گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینای همدان و از گروه میکروبیولوژی و گروه بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی کردستان که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند و از دست‌اندرکاران صندوق حمایت از پژوهشگران کشور (طرح شماره ۸۴۱۴۷) به دلیل تأمین هزینه این پژوهش تشکر می‌گردد.

## ۶- مراجع

1-Hagedorn, C., Hansen, D.T., and Simonson, G.H. (1978). "Survival and movement of fecal indicator bacteria in soil under conditions of saturated flow." *J. Environ. Qual.*, 7,55-59.

2-Bitton, G., and Harvey, R.W. (1992). *Transport of pathogens through soils and aquifers,* In: *Environmental microbiology*, Mitchell, R., ed.,Wiley-Liss, New York, 103-124.

3-Shrestha,S., Kanwar,R.S., Cambardella,C., Moorman,T.B., and Loynachan,T.E. (1997). *Effect of swine manure application on nitrogen and bacterial leaching through repacked soil columns,* ASAE Paper No. 97-2164, St. Joseph, MI, ASAE.

4-Reddy, K.R., Khaleel, R., and Overcash, M.R. (1981). "Behavior and transport of microbial pathogens and indicator organisms in soils treated with organic wastes." *J. Environ. Qual.,* 10, 255-266.

5- Abu-Ashour, J., Joy, D.M., Lee, H., Whiteley, H.R., and Zelin, S. (1998). "Movement of bacteria in unsaturated soil columns with macropores." *Trans.*, 41, 1043-1050.

6- McMurry, S.W., Coyne, M.S., and Perfect, E. (1998). "Fecal coliform transport through intact soil blocks amended with poultry manure." *J. Environ. Qual.,* 27,86- 92.

7-Paterson, E., Kemp, J.S., Gammack, S.M., FitzPatrick, E.A., Cresser, M.S., Mullins, Ch.E., and Killham, K. (1993). "Leaching of genetically modified Pseudomonas fluorescens through intact soil microcosms: Influence of soil type." *Biol. Fertil. Soils,* 15, 308–314.

8-Tate, R.L. (1978). "Cultural and environmental factors affecting the longevity of *Escherichia Coli* in Histosols." *Appl. Environm., Microbio*., 35, 925-929.

9- Gerba, C.P., and Bitton, G. (1984). *Microbial pollutants: Their survival and transport pattern to groundwater,* In: *Groundwater pollution microbiology*, Bitton, G., and Gerba, C.P., eds., John Wiley & Sons, Inc., New York, 65-88.

10-Smith, M.S., Thomas, G.W., White, R.E, and Ritonga, D. (1985). "Transport of *Escherichia Coli* through intact and disturbed soil columns*." J. Environ. Qual*., 14,87-91.

11-Shelton, D.R., Pachepsky, Y.A., Sadeghi, A.M., Stout, W.L., Karns, J.S., and Gburek, W.J. (2003). "Release rates of manure-borne coliform bacteria from data on leaching through stony soil." *J. Vadose Zone,* 2, 34–39.

12- Lindqvist, R., and Bengtsson, G. (1995). "Diffusion-limited and chemical-interaction-dependent sorption of soil bacteria and microspheres." *Soil Biol. Biochem*., 27, 941–948.

13- Crane, S.R., Westerman, P.W., and Overcash, M.R. (1981). "Dieoff of fecal indicator organisms following land application of poultry manure." *J. Environ. Qual.*, 9, 531- 537.

14- Darnault, C.J.G., Steenhuis, T.S., Garnier, P., Kim, Y.J., Jenkins, M.B., Ghiorse, W.C., Baveye, P.C., and Parlange, J.Y. (2004). "Preferential flow and transport of Cryptosporidium parvum ocysts through the vadose zone: experiments and modeling." *J. Vadose Zone,* 3, 262–270.
15- Kirkham, M. B. (2005). *Principles of soil and plant water relations*, Elsevier Academic Press, 500.
**۱۶- نوروزی، ج. (۱۳۸۲). *روشهای کاربردی در شناسایی باکتری ها*، چاپ اول، مؤسسه فرهنگی انتشاراتی حیان، تهران.**
**۱۷-ولی‌زاده، م.، و مقدم، م.(۱۳۸۰).*طرحهای آزمایشی در کشاورزی*، چاپ ششم، انتشارات پریور، تبریز.**
18- Kinoshita, T., Bales, R.C., Yahya, M.T., and Gerba, C.P. (1993). "Bacteria transport in a porous media: Retention of Bacillus and Pseudomonas on silica surfaces." *Water Res.,* 27,1295-1301.
19- Hekman, W.E., Van Veen, J.A., and Van Elsas, J.D.(1995). "Transport of bacterial inoculants through intact cores of two different soils as affected by water percolation and the presence of wheat plants." *FEMS Microb. Ecol*., 16, 143–158.
20- Unc, A., and Goss, M.J. (2003). "Movement of faecal bacteria through the vadose zone." *Water Air Soil Pollu*., 149,327–337.
21- Unc, A., and Goss, M.J. (2004). "Transport of bacteria from manure and protection of water resources." *Applied Soil Ecol*., 25,1-18.
22- Tan, Y., Bond, W.J., and Griffin, D.M. (1992). "Transport of bacteria during unsteady unsaturated soil water flow." *J. Soil Sci. Soc. Am.,* 56, 1331-1340.
23-Huysman, F., and Verstraete, W. (1992). "Water-facilitated transport of bacteria in unsaturated soil columns: Influence of inoculation and irrigation methods." *Soil Biol. Biochem.,* 25,91-97.
24- Lo, K.W., Jin, Y.C., and Viraraghavan, T. (2002). "Transport of bacteria in heterogeneous media under leaching conditions." *Environ. Eng. Sci.,* 1, 383-395.
25-Warnemuende, E., and Kanwar, R. S. (2002). *The effects of swine manure application on bacteria quality of leachate from intact soil columns*, ASAE Paper No. 00-2053, St. Joseph, MI, ASAE.
26-Jamieson, R.C., Gorden, R.J., Sharples, K.E., Stratton, G.W., and Madani, A. (2002). "Movement and persistence of feacal bacteria in agricultural soils and subsurface drainage water: A review." *Can. Biosys. Eng.,* 44,11-19.
27-Bengtsson, G., Lindqvist, R., and Piwoni, M.D. (1993). "Sorption of trace organics to colloidal clays, polymers, and bacteria." *J. Soil Sci. Soc. Am*., 57,1261–1270.