Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Analysis of the bacterial pollution breakthrough curve in the soil column with different sizes of cow manure in the conditions of grass cultivation

Yashar Jahandideh[1], Sayyed-Hassan Tabatabaei[2]*, Mehrnoush Dehghanian[3]

[1] Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[2] Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
[5] Former Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Abstract

Introduction

Recently, the presence of pathogenic bacteria in the municipal water network has been observed and proven. Applying animal manure in agricultural lands with improper drainage is the main cause of this pollution. Identifying and investigating the movement of intestinal bacteria, especially E. Coli, which is the source of their distribution in most waters, agricultural activities, and urban sewage, is considered one of the appropriate and necessary ways to preserve drinking water resources Some of the soil characteristics that affect the movement of bacteria are: particle size distribution, structure, porosity and apparent density of the soil, in addition, plant roots and pores and cracks are caused by root activity. Plants and animals in the soil create fast water passages to facilitate the transport of pollutants. These routes are called preferential pathways and the flow is named preferential flow. Therefore, considering the environmental importance of the movement of E. Coli bacteria as a pathogen in the soil, so far, most of the studies on the transfer of bacteria without the presence of plants and its effect on the release of bacteria have been investigated. Therefore, this research aims to investigate bacteria transport from cow manure in four granulation levels in the presence of grass plants.

Materials and Methods

This study was conducted in the greenhouse of Shahrekord University to investigate the transport of E. Coli bacteria caused by the addition of cow manure in four levels of granular size in the soil profile with/without grass cultivation. Some physical and chemical characteristics of the soil were measured by usual methods. In this research, cow manure with a scale of 36 tons per hectare with four granulation levels of 0.25, 0.5, one, and two mm was used as a source of bacteria. The grass was prepared at a height of five cm and was placed on the surface of the soil columns for 14 days to stabilize the roots. The used columns were 24, made of polyethylene and in the form of a cylinder with an external diameter of 160 and a height of 350 mm. First, the soil was passed through a two mm sieve and then the columns were filled with soil up to a height of 300 mm. The treatments included grass cultivation in two levels (without cultivation and with grass cultivation) and the size of manure particles in four levels (0.25, 0.5, one, and two mm). The columns were irrigated with the usual irrigation schedule (once every two days) with the same volume and flow in the surface method until the field capacity was reached. After seven irrigations, the transfer test was performed. The transfer test with municipal water in the columns continued up to seven pore volumes (PV) and sampling was carried out in pore water volumes of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7,0.8,0.9, 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2, 2.5 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5 and 7 were done for each treatment. After the end of the transfer test, to measure the population of bacteria in the soil profile, samples were taken from every five cm of soil depth. In this study, the live count method was used to measure the bacterial population.

Results and Discussion

There is no significant difference in the relative concentration curve of bacteria in the state of cultivation and without the cultivation of grass. It can be said that the effect of the cultivation of grass in the transfer of bacteria was not observed for 2 mm fertilizer particles, but the shape of the curves has changed in diameters less than 2 mm. It can be stated that in all treatments, the larger the amount of fertilizer, the higher the relative concentration of bacteria in low PVs. In other words, by washing the bacteria from the surface of the fertilizer particles, they are freed and enter the soil, and by continuing the washing, the maximum relative concentration of bacteria in the treatments without grass

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

cultivation and in the diameters of 2.0, 1.0, 0.5 and 0.25, respectively, is 0.6. 0.7, 0.6, and 0.9 times the pore volume occurred. These values were equal to 0.7, 1.0, 0.9, and 1.0 times the pore volume in the treatments with grass cultivation, respectively. After this period, the concentration of released bacteria decreased sharply. The results showed that the presence of grass in the soil for all diameters of fertilizer, except the diameter of 0.25 mm, caused the peak of the breakthrough curve to be delayed. In addition, it is observed that the relative concentration of bacteria in the treatments with grass cultivation has decreased with a gentler slope compared to the treatments without grass cultivation. The amount of zero torque in the treatments with grass cultivation in all fertilizer sizes was more than the same treatment as compared to the conditions without cultivation, and this indicates that the presence of grass caused more bacteria to escape from the drainage of the columns. For fertilizers with particle sizes of 0.25, 0.5, and 2.0 mm in the condition of no cultivation, there is not much difference in the delay factor with the similar treatment in the condition of grass cultivation, but in the treatment with the particle size of one mm in the condition of grass cultivation, the rate of fertilization is delayed. has had a significant increase.

Conclusions

The results showed that for two mm fertilizer particles, the amount of bacteria transfer increased in the case of no grass cultivation compared to the one, 0.5, and 0.25 mm treatments. The maximum relative concentration of bacteria in the breakthrough curve for 0.25 mm fertilizer particles was lower between one and two mm compared to larger fertilizer particles and was observed with a delay compared to coarser fertilizer particles. In the treatment without grass cultivation, the maximum concentration per fertilizer with the particle size of 0.25 mm was observed at PV 0.9, while in the treatment with the particle size of two, one, and 0.5 mm, the maximum relative concentration of bacteria was 6.6, respectively. About 0.0, 0.7, and 0.6 times the pore volume occurred. In the presence of grass in the soil, the bacteria reached the bottom of the soil column at a faster rate. One of the causes of this phenomenon is the role of plant roots in accelerating the transfer of bacteria in the soil in such a way that the preferential flow paths created by grassroots have moved the bacteria down.

Keywords: Cow manure, Escherichia coli bacteria, Grass cultivation, Particle size, Pore volume

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to Shahrekord University for the financial and logistical support that significantly contributed to the research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article

Data availability statement

The data used in this research will be available (by the corresponding author), upon reasonable request.

Authors' contribution

Yashar Jahandideh: Making setup, doing experiment and analyzing data; **Sayyed-Hassan Tabatabaei:** Analyzing the results, writing and editing the article; **Mehrnoush Dehghanian:** Writing - original draft preparation.

*Corresponding Author, E-mail: Tabatabaei@sku.ac.ir

Citation: Jahandideh, Y., Tabatabaei, S.H.., & Dehghanian, M. (2024). Analysis of the bacterial pollution breakthrough curve in the soil column with different sizes of cow manure in the conditions of grass cultivation. *Water and Soil Management and Modeling*, 4(2), 75-88 .
DOI: 10.22098/mmws.2023.12529.1247

Received: 13 March 2023, Received in revised form: 02 April 2023, Accepted: 02 April 2023, Published online: 02 April 2023
Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 2, pp. 75-88
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۲۵٤٦

تحلیل منحنی رخنهٔ آلایندهٔ باکتریایی در شرایط کشت چمن در ستون خاک با اندازهٔ کود گاوی مختلف

یاشار جهاندیده[۱]، سید حسن طباطبائی[۲]*، مهرنوش دهقانیان[۳]

[۱] دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

[۲] استاد، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

[۳] دانش‌آموختهٔ دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

چکیده

یکی از معمول‌ترین روش‌ها برای اصلاح، غنی‌سازی خاک و کمک به رشد گیاهان استفاده از کودهای دامی است. هدف پژوهش حاضر بررسی اثر اندازهٔ ذرات کود و کشت چمن بر انتقال باکتری در ستون خاک و میزان آبشویی کود در حضور باکتری تحت شرایط کشت چمن است. برای این منظور تیمارهای کود گاوی با چهار قطر دو، یک، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر انتخاب شدند. آزمایش انتقال باکتری ایشریشیاکولی در ستون‌های PVC به ارتفاع ۳۵۰ و قطر ۱۶۰ میلی‌متر انجام شد. مقدار کود مصرفی روی سطح ستون‌ها با مقیاس ۳۶ تن در هکتار انتخاب شد. چمن تهیه شده با ارتفاع پنج سانتی‌متر روی سطح ستون‌های خاک قرار داده شد. ستون‌های خاک، در مدت دو هفته هر دو روز آبیاری و پس از آن، آبشویی ستون‌ها تا خروجی زهاب هفت حجم منفذی انجام شد. میزان غلظت باکتری ایشریشیاکولی در زهاب جمع‌آوری شده به روش شمارش زنده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در تیمارهای بدون کشت چمن، میزان انتقال باکتری در تیمار دانه‌بندی دو میلی‌متر نسبت به سایر تیمارها بیش‌تر بود. حداکثر غلظت نسبی باکتری (C/C0) در ذرات کود با قطر ۰/۲۵ میلی‌متر نسبت به قطر کود یک و دو میلی‌متر کم‌تر و با تأخیر نسبت به ذرات درشت‌تر کود مشاهده شد. متوسط بیشینهٔ غلظت نسبی باکتری ایشریشیاکولی (C/C_0) در شرایط با و بدون کشت در تیمارهایی با اندازهٔ قطر ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌متر (۰/۷۲ و ۰/۸۱) کم‌تر از ذرات کود با قطر یک و دو (۰/۹۵ و ۰/۹۱) میلی‌متر شد. کاشت چمن میزان انتقال باکتری را سرعت بخشید. حداکثر غلظت نسبی باکتری (C/C_0) در تیمارهای بدون کشت چمن و در قطرهای دو، یک، ۰/۵ و ۰/۲۵ به‌ترتیب در ۰/۶ PV، ۰/۷ PV، ۰/۶ PV و ۰/۹ PV برابر حجم منفذی رخ داد. این مقادیر در تیمارهای با کشت چمن به‌ترتیب برابر با ۰/۷ PV، ۱/۰ PV، ۰/۹ PV و ۱/۰ PV شد. بر اساس نتایج در صورتی‌که هدف کاهش انتقال باکتری به اعماق خاک باشد باید از ذرات کود ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌متر استفاده نمود و اگر هدف تأخیر انداختن انتقال باکتری به اعماق خاک باشد می‌توان از اندازهٔ ذرات کود یک و دو میلی‌متر استفاده کرد. کشت گیاه چمن سبب افزایش باکتری انتقال یافته شد.

واژه‌های کلیدی: اندازه ذرات، ، باکتری ایشریشیاکولی، حجم منفذی، کود گاوی، کشت چمن

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Tabatabaei@sku.ac.ir

استناد: جهاندیده، یاشار، طباطبائی، سیدحسن، و دهقانیان، مهرنوش (۱۴۰۳). تحلیل منحنی رخنهٔ آلایندهٔ باکتریایی در شرایط کشت چمن در ستون خاک با اندازهٔ کود گاوی مختلف. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۴)، ۷۵–۸۸.
DOI: 10.22098/mmws.2023.12529.1247

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۳، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۱۳

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۲، صفحه ۷۵ تا ۸۸

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

۱- مقدمه

امروزه تولید آب سالم و کافی در کشورهای در حال توسعه یکی از عواملی است که موجب کاهش امراض و مرگ و میر می‌شود. آلودگی میکروبی آب‌های زیرزمینی نقش قابل ملاحظه‌ایی در شیوع بیماری‌های میکروبی دارد. امروزه آلودگی آب‌های زیرزمینی و ارائهٔ راه‌کارهای مناسب برای حفاظت از آن‌ها به آلاینده‌های میکروبی، یکی از مسائل نگران‌کنندهٔ جوامع است (Foppen and Schjven, 2006). بیش از ۱۵۰ بیماری زا (پاتوژن) مضر برای بشر در طبیعت شناخته شده است که در کود دامی نیز وجود دارد. در سال‌های اخیر وجود باکتری‌های بیماری در شبکهٔ آب شهری به اثبات رسیده است. به نظر می‌رسد که کار برد کود دامی در اراضی کشاورزی با زهکشی مناسب علت اصلی این آلودگی است (Jamieson et al., 2002). باکتری ایشریشیاکولی[1] (E. Coli) شاخص اصلی آلودگی میکروبی آب آشامیدنی است. بنابراین، شناسایی و بررسی حرکت باکتری‌های روده‌ای به‌ویژه باکتری E. Coli که منشأ پراکنش آن‌ها در بیش تر آب‌ها، فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب‌های شهری است، یکی از راه‌های مناسب و ضروری برای حفظ منابع آب آشامیدنی محسوب می‌شود (Macler and Merkel, 2000). برخی از ویژگی‌های خاک که بر حرکت باکتری اثر دارند عبارت‌اند از: توزیع اندازهٔ ذرات، ساختمان، تخلخل، چگالی ظاهری خاک، نفوذپذیری، اسیدیته، مقدار مادهٔ آلی، قدرت یونی، ترکیب محلول و نوع کانی است. دمای خاک، مقدار رطوبت و شدت‌جریان آب در خاک از جمله شرایط محیط زیستی مؤثر بر انتقال و بقای باکتری هستند (Abu-Ashour et al., 1994). میزان نگهداشت باکتری در یک محیط متخلخل توسط چندین عامل بیولوژیکی و فیزیکوشیمیایی مانند: گونه و غلظت ریزجانداران، سرعت سیال، اندازه، نوع دانه‌های محیط متخلخل و شرایط ترمودینامیکی (دما و ترکیب محلول) تنظیم می‌شود (Li et al., 2017).

علاوه‌بر آن ریشهٔ گیاهان و منافذ و شکاف‌های درشت ناشی از فعالیت ریشهٔ گیاهان و جانوران خاکزی در خاک، مسیرهای آبگذری سریعی را برای انتقال آلاینده‌ها ایجاد می‌کنند که این مسیرها را مسیر ترجیحی[2] می‌نامند. میزان منافذ درشت و پیوستگی آن‌ها در خاک‌هایی با ساختمان پایدار، تأثیر زیادی بر میزان و شدت این جریان دارد. کودهای آلی و شیمیایی که جهت افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی به خاک اضافه می‌شود، با عبور از مسیرهای ترجیحی در نیم‌رخ خاک سبب آلودگی منابع آب زیرزمینی می‌شود. نوع گیاه کشت شده و سیستم ریشه‌ایی آن می‌تواند ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را تغییر داده و بر حرکت آلاینده‌ها تأثیر بگذارد (Reynolds et al., 1989). ریشهٔ گیاهانی که در خاک نفوذ می‌کنند از خود منافذی را باقی می‌گذارند که باعث بهبود و تسریع حرکت آب و پخشیدگی گاز در خاک، می‌شود (Stoddard et al., 1998). بعضی از پژوهش‌های صورت گرفته نشان داده است که مسیرهای آسان ایجاد شده توسط شکاف‌های ایجاد شده حاصل از رشد و پوسیدگی ریشهٔ گیاهان باعث انتقال سریع میکروب‌ها و ریزجانداران بیماری‌زا به لایه‌های زیرین خاک و آب‌های زیرزمینی می‌شود (Smucker et al., 1995). به‌علاوه سیستم‌های ریشه‌ایی مختلف تأثیرات متفاوتی بر هدایت هیدرولیکی اشباع دارد (Mawdsley et al., 1995). پژوهش‌های Toor et al. (2004) نشان داد که در خاک‌هایی با پوشش علفزار در مقایسه با خاک‌های کشاورزی به‌دلیل وجود ساختمان‌سازی بیش‌تر منافذ درشت و مسیرهای ترجیحی بیش‌تر است. بررسی‌های صورت گرفته در خاکی با کشت یونجه در مقایسه با خاک بدون کشت، میزان نفوذ آب و املاح بیش‌تر است (Disparte, 1987). بررسی‌های صورت گرفته بر انتقال باکتری سودوموناس فلورسنس[3] در ستون‌های خاکی به طول ۵۰ سانتی متر نشان داد که انتقال باکتری در ستون‌های خاک دست نخورده نسبت به ستون‌های خاک دست خورده به‌طور معناداری بیش‌تر است. دلیل این امر جریان سریع‌تر باکتری در مسیرهای ترجیحی عنوان شد (Van Elsas et al., 1991). هم‌چنین، مطالعات صورت گرفته بر اثر رشد و پوسیدگی ریشهٔ گیاه ذرت بر انتقال و نگهداشت باکتری ایشرشیاکولی نشان داد که سیستم ریشهٔ گیاه و منافذ به جا مانده از آن تأثیر معناداری بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و شدت جریان آب در خاک می‌شود. به‌علاوه ریشهٔ گیاه با ایجاد منافذ درشت سبب انتقال سریع آلاینده در خاک می‌شود (Alipour et al., 2015; Mamun 2022; Morianou et al. 2023; Shelden and Munns 2023).

یکی از عوامل مهم در انتقال باکتری خصوصیات محیط متخلخل از جمله وزن مخصوص ظاهری و میزان خلل و فرج ریز و درشت است که وجود ریشهٔ گیاه به‌طور بالقوه می‌تواند مسیرهای جریان ترجیحی در خاک ایجاد نموده و انتقال باکتری به اعماق خاک را تشدید نماید. لذا، با این‌که پژوهش‌های زیادی بر اثر باکتری بر رشد و فعالیت گیاه صورت گرفته است، تنها مطالعات بسیار اندکی بر اثر گیاه و فعالیت ریشهٔ گیاه بر انتقال باکتری انجام شده است. بنابراین، با توجه به اهمیت محیط زیستی حرکت باکتری E. Coli به‌عنوان یک بیماری زا در خاک، عمده مطالعات در زمینهٔ انتقال باکتری بدون حضور گیاه (Maneshdavi et al.,

[1] Escherichia coli (E. Coli)
[2] Preferential flow
[3] Pseudomonas flourescens

2015; Akhavan et al., 2021; Norouzi et al., 2022) و اثر آن بر آزادسازی باکتری بررسی شده است. لذا، هدف از این پژوهش بررسی انتقال باکتری از کود گاوی در چهار سطح دانه‌بندی در شرایط وجود گیاه چمن است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده‌سازی ستون‌ها

این پژوهش در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد و با هدف بررسی انتقال باکتری E. Coli ناشی از افزودن کود تازهٔ گاوی در نیم‌رخ خاک با کشت چمن و بدون کشت چمن انجام شد. خاک مورد نظر از محوطهٔ اطراف گلخانه دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شهرکرد تهیه شد. بافت خاک با اندازه‌گیری درصد سیلت، رس و شن (به روش هیدرومتری و بر پایهٔ قانون استوکس) و با استفاده از مثلث بافت خاک تعیین شد (Beretta et al., 2014). هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با روش بار ثابت اندازه‌گیری شد (Klute and Derkson, 1986). ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه از جمله pH (متر) و EC (متر) با نسبت یک به پنج خاک و کلسیم، منیزیم (به روش تیتراسیون)، سدیم (روش فلیم فتومتر) و کربن آلی اندازه‌گیری شد (Horneck et al., 2011).

۲-۲- تهیهٔ تیمارهای کود

در این پژوهش کود گاوی به‌عنوان منبع باکتری استفاده شد و میزان کود در سطح ۳۶ تن بر هکتار (بر حسب وزن خشک) انتخاب شد. کود گاوی مورد نظر به‌صورت تازه از فضولات مجموعه دامپروری دانشگاه شهرکرد جمع‌آوری و سپس به مدت ۷۲ ساعت در دمای اتاق خشک و از الک‌های ۰/۲۵، ۰/۵، یک و دو میلی‌متر عبور داده شد.

۲-۳- کشت چمن

از آن‌جاکه بخشی از آزمایش‌های این پژوهش در شرایط کشت چمن انجام شد، در این پژوهش بذر چمن چهار تخم اسپرت هلندی برای کاشت انتخاب شد. چمن به‌صورت آماده و به ارتفاع پنج سانتی‌متر تهیه و سپس روی ستون‌ها انتقال داده شد. چمن به‌صورت یکنواخت روی سطح ستون‌های خاک قرار داده شد. پس از این مرحله به مدت ۱۴ روز فرصت برای تثبیت و نفوذ ریشه‌های چمن درون خاک ستون‌های آزمایش لحاظ شد. ستون‌های مورد استفاده در این پژوهش به تعداد ۲۴ عدد، از جنس پلی‌اتیلن و به شکل استوانه با قطر خارجی ۱۶۰ و ارتفاع ۳۵۰ میلی‌متر انتخاب شدند. ابتدا خاک از الک دو میلی‌متر عبور داده شد و سپس ستون‌ها متناسب با چگالی مخصوص ظاهری خاک مزرعه و به صورت لایه به لایه (لایه‌های پنج سانتی‌متری) تا ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر از خاک پر شدند (شکل ۱).

شکل ۱- شمای کلی ستون‌های مورد استفاده در پژوهش
Figure 1- Schematic of the columns used in the research

برای جلوگیری از ایجاد جریان‌های ترجیحی از کناره‌های ستون، جداره‌های داخلی آن با پارافین مایع آغشته و انتهای ستون خاک برای برقراری امکان خروج آب، صفحهٔ مشبک قرار داده شد. تیمارها شامل کشت چمن در دو سطح (بدون کشت و با کشت چمن) و اندازهٔ ذرات کود دامی در چهار سطح (۰/۲۵، ۰/۵، یک و دو میلی‌متر) بودند. مقدار کود در تیمارها براساس میزان ۳۶ تن بر هکتار (برحسب وزن خشک ۵۲ گرم) به سطح ستون‌های خاک اضافه شدند (Sepehrnia et al., 2021). ستون‌ها مطابق با برنامهٔ معمول آبیاری (هر دو روز یک مرتبه) و با حجم و دبی ثابت و کاملا یکسان به روش سطحی تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی براساس رابطهٔ (۱) آبیاری شدند.

$$d = (\theta_{fc} - \theta_i) \times z \qquad (۱)$$

در رابطهٔ بالا، θ_{fc} و θ_i به‌ترتیب رطوبت ظرفیت زراعی و رطوبت قبل از آبیاری (سانتی‌مترمکعب بر سانتی‌مترمکعب)، z عمق ستون خاک (سانتی‌متر) و d عمق آبیاری (سانتی‌متر) است. ستون‌ها هر یک روز در میان آبیاری شدند پس از هفت آبیاری آزمایش انتقال انجام شد.

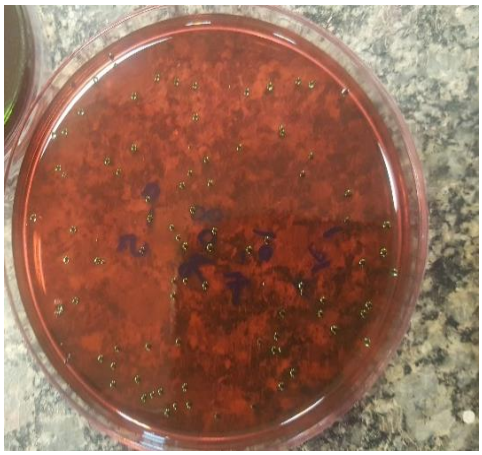
۲-۴- آزمایش انتقال

آزمایش انتقال با آب شهری در ستون‌ها تا هنگامی‌که خروجی حدوداً برابر هفت حجم منفذی (PV) ادامه داشت و نمونه‌برداری در حجم‌های آب منفذی ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹، ۱/۰، ۱/۲، ۱/۴، ۱/۶، ۱/۸، ۲/۰، ۲/۵، ۳/۰، ۳/۵، ۴/۰، ۴/۵، ۵/۰، ۵/۵، ۶، ۶/۵ و ۰/۷ برای هر تیمار انجام شد (شکل ۲)

و میزان باکتری ایشریشیاکولی به روش شمارش زنده اندازه‌گیری شد (شکل ۳). لازم به ذکر است که مقدار PV با استفاده از رابطهٔ (۲) محاسبه شد. در این رابطه θ_v مقدار رطوبت حجمی و V_t حجم کل ستون خاک است.

$$PV = \theta_v \times V_t \qquad (۲)$$

شکل ۲- نمونه‌های زهاب جمع‌آوری شده
Figure 2- The collected effluent samples



شکل۳- کلنی‌های باکتری E.Coli **رشد کرده روی محیط کشت** EMB
Figure 3- Colonies of E.Coli bacteria grown on EMB culture medium

۲-۵- اندازه‌گیری جمعیت باکتری

برای اندازه‌گیری میزان باکتری در کود و خاک مقدار یک گرم کود گاوی خشک شده و خاک در یک ظرف حاوی آب مقطر (نُه سی سی) ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه شیکر قرار داده شد. رقیق‌سازی نمونه‌ها یک الی سه مرتبه انجام شد و بعد از رقیق‌سازی ۱۰۰ میکرولیتر از نمونه درون پلیت با محیط آئوزین متیلن بلو (EMB) به‌منظور شناسایی باکتری ایشریشیاکولی (به عنوان باکتری شاخص) ریخته و به‌صورت وارونه به مدت ۲۴ ساعت درون انکوباتور با دمای ۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد (Leininger et al., 2001). آئوزین متیلن بلو یک محیط کشت انتخابی- افتراقی برای شناسایی باکتری‌های میله‌ای روده‌ای گرم منفی است. پس از طی این مدت زمان کلنی‌های ایجاد شده روی محیط کشت به روش شمارش مستقیم، انجام شد. باکتری‌های E. Coli در این محیط به‌صورت سبز رنگ با جلای فلزی قابل مشاهده بودند.

۲-۶- سنجش میزان نگهداشت باکتری

مقادیر نگهداشت باکتری در عمق‌های مختلف (S) با استفاده میزان غلظت اولیهٔ باکتری ورودی (C_0) نرمال گزارش (S/C_0) شدند. برای مقایسهٔ میزان نگهداشت باکتری در عمق‌های مختلف نیم‌رخ خاک در تیمارهای مختلف، میزان کل باکتری در تیمارهای بدون جریان ترجیحی با محاسبهٔ مساحت زیرمنحنی محاسبه شد. با نسبت گرفتن میزان نگهداشت در هر عمق (S) به میزان کل باکتری ورودی در خاک، شاخص نگهداشت باکتری در هر عمق محاسبه شد.

$$SI_z = \frac{\sum S_z}{C_0} \qquad (۳)$$

در رابطهٔ فوق، S_z غلظت زیرمنحنی نگهداشت باکتری در عمق z (L) و C_0 کل غلظت باکتری ستون خاک بر حسب M L^{-3} هستند

۲-۷- بیلان جرم و مومنتم

میزان کل جرم آلایندهٔ ورودی برابر با سطح زیرمنحنی رخنه می باشد که گشتاور مرتبهٔ صفر نیز نامیده می‌شود و از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود. مرکز ثقل جرم آلاینده با استفاده از گشتاور مرتبهٔ اول به‌دست آورده می‌شود که رابطهٔ آن به شکل زیر است:

$$M0 = \sum_{t=0}^{t=n} Ct^0 dt \qquad (۴)$$

$$M1 = \sum_{t=0}^{t=n} Ct^1 dt \qquad (۵)$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کود

برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و کود مورد مطالعه به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. بافت خاک مورد استفاده در آزمایش لوم بود. محدودهٔ مناسب اسیدیتهٔ خاک برای ریزجاندارن ۸-۷/۵ گزارش شده و خارج از این محدوده فعالیت ریزجانداران تحت تاثیر اسیدیته است. لذا، اسیدیتهٔ خاک و کود در محدودهٔ مطلوب برای زنده ماندن باکتری قرار دارد. ویژگی‌های شیمیایی کود و یون‌های محلول آن مشابه مقادیر ارائه شده توسط سایر پژوهش‌گران از جمله Safadoust et al. (2012) و Sepehrnia et al. (2021) است. میزان غلظت باکتری ایشیرشیاکولی در کود با روش شمارش زنده تعیین شد و متوسط میزان غلظت باکتری در کود $۳/۲\times۱۰^{۵}$ میلی لیتر بر واحد تشکیل کلنی بود. از نمونه‌های خاک نیز قبل از آزمایش‌ها نمونه‌برداری شد و خاک فاقد باکتری ایشیرشیاکولی بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Physical characteristics of the soil used in the experiment

بافت خاک	ظرفیت زراعی	چگالی ظاهری	چگالی حقیقی	رس	شن	سیلت
	سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب	گرم بر سانتی‌متر			درصد	
لوم	0.35	1.32	2.35	22	48	30

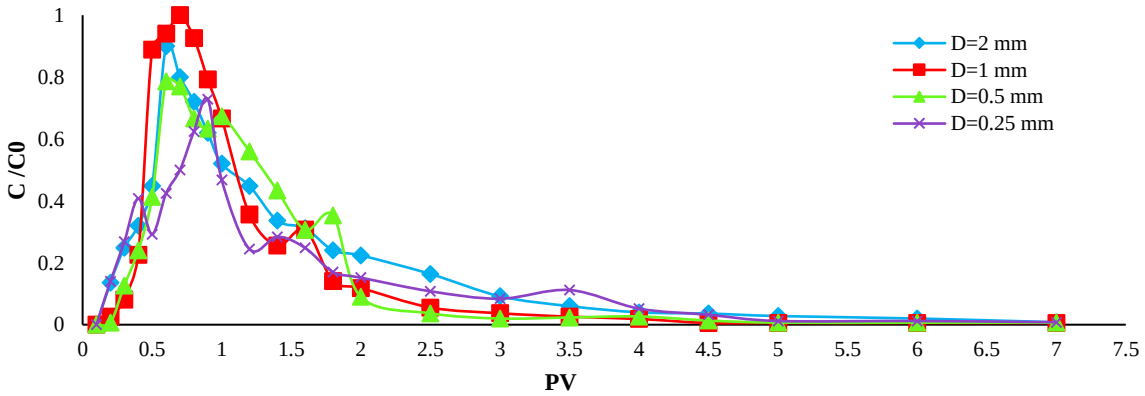
جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی خاک و کود گاوی

Table 2- Chemical characteristics of soil and cow manure

تیمار	EC	pH	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	کربن آلی	E.coli
	(دسی‌زیمنس بر متر)		(میلی‌اکی‌والان بر لیتر)			(درصد)	
خاک	0.65	7.71	10.12	4	5	0.08	0
کود	13.75	8.5	24.34	12.5	20.1	3.58	3.2×10^5

۳-۲- تیمارهای بدون کشت چمن

شکل ۴ نشان‌دهندهٔ میزان غلظت نسبی باکتری در تیمارهایی با چهار سطح دانه‌بندی کود و بدون کشت چمن است. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که به‌طور کلی در تیمارهای بدون کشت چمن شدت آلودگی زهاب در ابتدای آزمایش به‌دلیل آن‌که هنوز جبههٔ آلودگی به انتهای ستون خاک نرسیده، در تمامی اندازه‌های کود صفر بود و با ادامهٔ روند آبشویی مقدار باکتری در یک حجم منفذی مشخص به حداکثر رسید و از آن پس کاهش یافت. در اندازهٔ کود دو میلی‌متر مقدار باکتری زهاب از ۰/۲ PV تا ۰/۶ PV روند افزایشی داشت و در ۰/۶ PV به حداکثر رسید و پس از آن میزان باکتری زهاب کاهش یافت و کم‌ترین آن در ۷ PV ثبت شد. این روند برای اندازهٔ کود یک میلی‌متر، از ۰/۲ تا ۰/۸ حجم منفذی افزایشی، در ۰/۷ PV حداکثر و سپس روند کاهشی آن با شیبی تند تا ۶ PV ادامه یافت. در تیمار با اندازهٔ کود ۰/۵ میلی‌متر حداکثر مقدار باکتری در ۰/۶ PV مشاهده شد. سپس میزان باکتری با شیب تند تا ۱/۴ PV کاهش یافت و از آن پس کاهش غلظت نسبی باکتری زهاب با شیب ملایمی تا ۷ PV ادامه یافت. در کوچک‌ترین اندازهٔ کود یعنی تیمار با قطر ۰/۲۵ میلی‌متر، روند افزایشی غلظت باکتری در زهاب از ۰/۲ PV آغاز و تا حداکثر ۰/۹PV ادامه یافت و پس از آن میزان باکتری روندی کاهشی به خود گرفت. مشابه این نتایج در پژوهش Tabatabaei et al. (2022) نیز مشاهده شد. این پژوهش‌گران گزارش کردند که میزان حداکثر رهاسازی باکتری ایشریشیاکولی از ذرات کود با قطر دو میلی‌متر زودتر از کود با قطر ۰/۲۵ میلی‌متر و در یک میلی‌متر زودتر از این دو قطر رخ داده است که با نتایج Norouzi (2017) مطابقت داشت و شاید علت این امر رهاسازی سریع‌تر و گیرافتادگی کم‌تر باکتری در تیمارهای کود با اندازه ذرات بزرگ تر در محیط متخلخل خاک باشد.



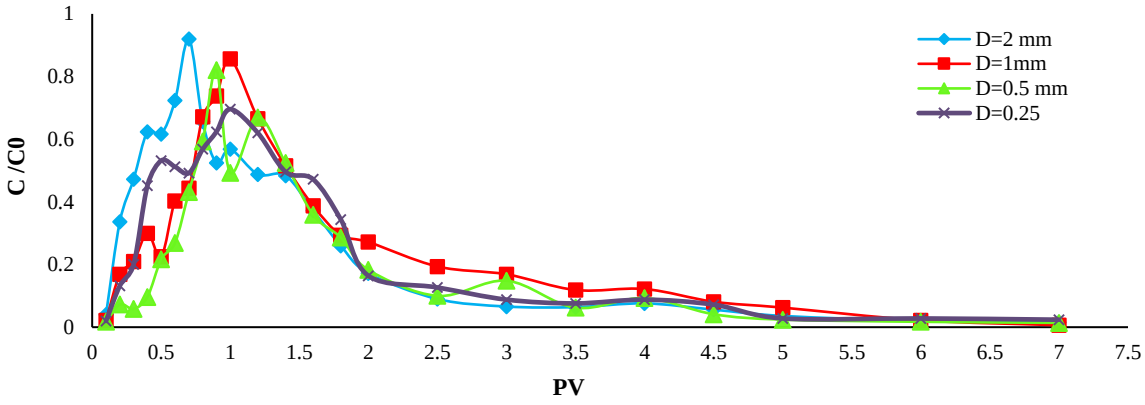
شکل ٤- میزان غلظت نسبی باکتری در تیمارهای با چهار سطح دانه‌بندی کود و بدون کشت چمن

Figure 4- The relative concentration of bacteria in treatments with four levels of fertilizer granulation and without grass cultivation

۳-۳- تیمارهایی با کشت چمن

غلظت نسبی باکتری موجود در زهاب تیمارهایی با کشت چمن در شکل ۵ نشان داده شده است. مشاهده شد که غلظت نسبی باکتری زهاب در تیمارهایی با کشت چمن در ۰/۱ PV برای هر چهار اندازهٔ کود بزرگ‌تر از صفر و برای اندازهٔ کودهای دو، یک، ۰/۵ و ۰/۲۵ به‌ترتیب برابر با ۰/۰۴، ۰/۰۲۵، ۰/۰۱۷ و ۰/۰۲ است (شکل ۵). این مطلب نشان می‌دهد که در حضور چمن در خاک، باکتری با سرعت بیش‌تری به انتهای ستون خاک رسیده است. از علل این رخداد

می‌توان به نقش ریشه‌های گیاه در تسریع انتقال باکتری در خاک اشاره کرد؛ به‌گونه‌ای که مسیرهای جریان ترجیحی ایجاد شده به‌وسیلهٔ ریشهٔ چمن باکتری را به پایین منتقل کرده است. از سوی دیگر بیش‌ترین میزان غلظت نسبی باکتری در این حجم منفذی در اندازهٔ کود دو و کم‌ترین آن در اندازهٔ کود ۰/۲۵ و ۱ میلی‌متر بوده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که ذرات ریز کود احتمالا در مسدود کردن منافذ خاک نقش داشته و سبب گیرافتادن باکتری در خاک در مقایسه با اندازهٔ کود دو میلی‌متر شده‌اند. به‌عبارت دیگر ذرات بزرگ‌تر کود انتقال آلودگی بیش‌تری داشته‌اند. غلظت نسبی باکتری در اندازهٔ کود دو میلی‌متر با شیب تندتری در مقایسه با دیگر اندازه‌های کود حرکت کرده و به یک حداکثر که بیش‌ترین در بین چهار اندازهٔ کود است، در ۰/۷ PV رسید.



شکل ۵- میزان غلظت نسبی باکتری در تیمارهای با چهار سطح دانه‌بندی کود و با کشت چمن

Figure 5- The relative concentration of bacteria in the treatments with four levels of fertilizer granulation and with grass

با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که پس از این میزان روند کاهش باکتری با شیب تندی آغاز و تا ۱/۰ PV ادامه یافت، سپس میزان غلظت نسبی باکتری مجددا در ۱/۰ PV افزایش یافت. در ادامه تا ۷ PV این کاهش با شیبی ملایم ادامه یافت. در تیمار با قطر کود یک و ۰/۵ میلی‌متر روند افزایش باکتری در زهاب با شیبی تند در تیمارهای کوچک‌تر از قطر دو میلی‌متر در ۰/۱ PV آغاز و به‌ترتیب در ۱ PV و ۰/۹ PV به حداکثر میزان خود رسیدند. در تیمار ۰/۵ میلی‌متر نقطهٔ اوج مجددی پس از یک کاهش شدید در ۱/۲ PV مشاهده شد اما قطر یک میلی‌متر تقریبا روند ثابت و ملایم‌تری برای کاهش غلظت باکتری زهاب داشت. غلظت نسبی باکتری زهاب در ابتدای آبشویی تیمار با اندازهٔ کود ۰/۲۵ میلی‌متر اگرچه با شیبی تند آغاز شد ولی میزان حداکثر آن در مقایسه با اندازه‌های کود دو، یک و ۰/۵ میلی‌متر کم‌تر بود. بیشینهٔ غلظت باکتری در تیمار ۰/۲۵میلی‌متر در ۱ PV اتفاق افتاد. اگرچه اُفت و خیزهایی در منحنی رخنهٔ کود با قطر ۰/۲۵ میلی‌متر وجود داشت، ولی روند کاهشی آن تا ۷ PV با شیبی نسبتا ملایم ادامه یافت. وجود اُفت و خیز در منحنی رخنه نشان‌دهندهٔ ناهمگنی فیزیکی و شیمیایی و یا مسیرهای متفاوت جریان برای انتقال باکتری در خاک است (Banks et al., 2003). از دیگر علل اُفت و خیز در منحنی رخنه می‌توان به آزاد شدن باکتری‌هایی که جذب سطحی شده و یا در منافذ خاک گیر اُفتاده و به‌تدریج آزاد می‌شوند، اشاره کرد (Morales et al., 2010). قابل ذکر است که در زمان‌های انتهایی آزمایش انتقال میزان باکتری در زهاب خروجی برای هر چهار اندازهٔ کود تقریبا یکسان و به‌صورت میانگین ۲۰ میلی‌لیتر در واحد تشکیل کلنی بود.

۳-٤- مقایسهٔ منحنی رخنه در شرایط کشت چمن و عدم کشت چمن

بر اساس جدول ۳، همبستگی منحنی رخنه در اندازهٔ دو میلی‌متر کود (شکل ۶) معنادار می‌باشد و این نشان‌دهندهٔ آن است که رفتار کلی حاکم بر انتقال باکتری مشابه می‌باشد. عوامل مؤثر بر انتقال باکتری در خاک شامل عوامل شیمیائی و فیزیکی و میکربی خاک می‌باشد که در هر دو نمونه با کشت و بدون کشت چمن یکسان است و تنها تفاوت در وجود کشت چمن و حضور ریشهٔ گیاه می باشد که جدول ۳ نشان می‌دهد که این تفاوت بر رفتار کلی اثری نداشته است.

جدول ۳- تحلیل همبستگی منحنی رخنه در حالت بدون و با چمن

Table 3- Paired sample correlation analysis for BTC under grass cultivation and bare soil

قطر ذرات کود گاوی	تعداد نمونه	همبستگی با کشت و بدون کشت چمن	سطح معناداری
2mm	23	.870	.000
1mm	23	.571	.004
0.5mm	23	.762	.000
0.25mm	23	.786	.000

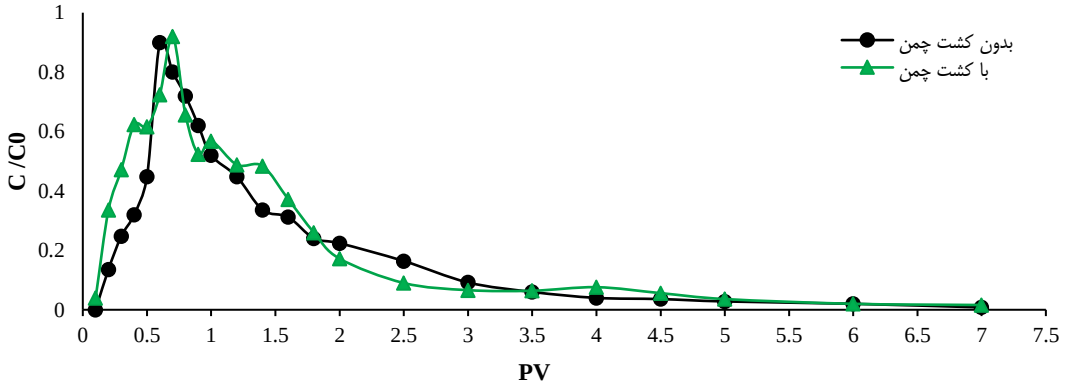
جدول ۴ تحلیل آماری دیگری بر داده‌های آزمایش است که این تحلیل آماری جفتی نمونه‌ها (Paired Sample Test) نشان می‌دهد که در سطح آماری پنج درصد نتایج دو منحنی رخنه برای سایزهای مختلف کود به‌جز سایز ۰/۲۵ میلی‌متر تفاوت معناداری ندارند. لذا، اختلاف معناداری در منحنی غلظت نسبی باکتری در حالت کشت و بدون کشت چمن وجود ندارد و می‌توان بیان کرد اثر کشت چمن در انتقال باکتری به ازای ذرات کود دو میلی‌متر اختلافی مشاهده نشد ولی در قطرهای کم‌تر از دو میلی‌متر شکل منحنی‌ها متفاوت شده است (شکل‌های ۶ تا ۹). به‌صورت کلی بر اساس شکل‌های ارائه شده می‌توان بیان کرد که در همهٔ تیمارها هر چه اندازهٔ کود بزرگ‌تر بوده، غلظت نسبی باکتری در حجم منفذهای پایین بیش‌تر شده است. به‌عبارت دیگر با انجام آبشویی، باکتری از سطح ذرات کود آزاد و وارد خاک شده و با ادامهٔ آبشویی حداکثر غلظت نسبی باکتری در تیمارهای بدون کشت چمن و در قطرهای یک، دو، ۰/۵ و ۰/۲۵ به‌ترتیب در ۰/۶، ۰/۷، ۰/۶ و ۰/۹ برابر حجم منفذی رخ داده است. این مقادیر در تیمارهای با کشت چمن به‌ترتیب برابر با ۰/۷، ۱، ۰/۹ و یک برابر حجم منفذی بود. پژوهش‌های Toor et al. (2004) نشان داد که در خاک‌هایی با پوشش علفزار در مقایسه با خاک‌های کشاورزی به‌دلیل وجود ساختمان‌سازی بیش‌تر منافذ درشت و مسیرهای ترجیحی بیش‌تر است که البته در این پژوهش چون گیاه تازه کشت شده است، لذا افزایش ریشهٔ گیاه سبب تراکم بیش‌تر خاک شده و چون هنوز پوسیدگی ریشه در مدت زمان پژوهش روی نداده لذا مسیر جریان های ترجیحی هنوز باز نشده است. بنابراین، به‌علت افزایش تراکم خاک در حضور گیاه نسبت به شرایط بدون گیاه، میزان دیرائی باکتری اتفاق اُفتاده است. به‌همین دلیل در حجم منفذی بیش‌تر، اوج منحنی رخنه روی داده است.

پس از این مدت (زمان روی دادن اوج) غلظت باکتری آزاد شده به شدت کاهش یافت. نتایج نشان داد که وجود چمن در خاک برای همهٔ قطرهای کود به‌جز قطر ۰/۲۵ میلی‌متر، سبب به تأخیر افتادن اوج منحنی رخنه شده است. علاوه‌براین مشاهده می‌شود که غلظت نسبی باکتری در تیمارهایی با کشت چمن در مقایسه با تیمارهای بدون کشت چمن با شیب ملایم‌تری کاهش یافته است. مقایسهٔ شکل‌ها نشان می‌دهد که اوج منحنی‌ها در سایزهای کوچک‌تر کود چه در حالت با کشت و بدون کشت کم تر شده است. علت آن را می‌توان در رابطه با میزان خلل و فرج خاک و اندازهٔ ذرات کود جست و جو کرد. به‌عبارتی در سایزهای کوچک‌تر کود احتمال گرفتگی خلل و فرج خاک با ذرات کود بیش‌تر شده و به‌همین دلیل میزان باکتری انتقال یافته در سایزهای کوچک‌تر، کم‌تر شده است. لازم به ذکر است مقدار کل باکتری انتقال یافته (مومنتم صفر) بحث دیگری است که در ادامهٔ مقاله به آن پرداخته شده است.

جدول ٤- تحلیل آماری آزمون نمونه‌های جفتی برای تعیین اختلاف منحنی رخنه در اندازه‌های مختلف کود در حالت بدون و با چمن

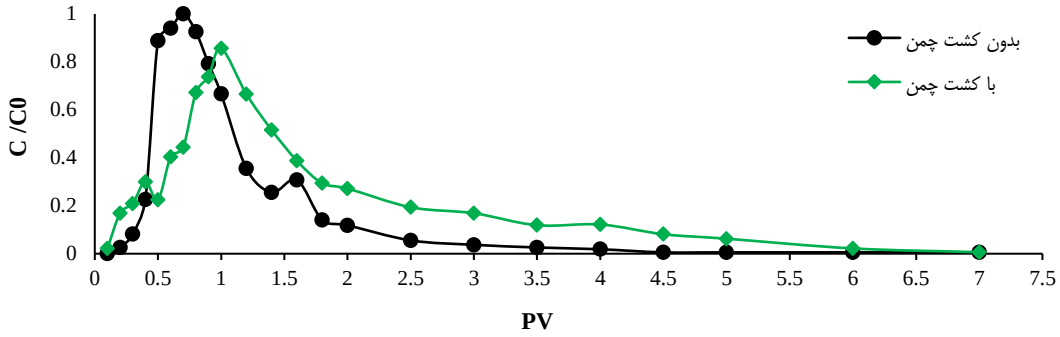
Table 4- Paired sample test for BTC under grass cultivation and bare soil

قطر ذرات کود گاوی	میانگین	انحراف معیار	میانگین خطای استاندارد	۹۵ درصد سطح معناداری اختلافات		t	df	سطح معناداری
				حد پائین	حد بالا			
2mm	-.0097826	.1599324	.0333482	-.0789425	.0593773	-.293	22	.772
1mm	-.0662319	.3143187	.0655400	-.2021535	.0696897	-1.011	22	.323
0.5mm	.0311594	.2237865	.0466627	-.0656131	.1279320	.668	22	.511
0.25mm	.2250000	.2570948	.0536080	.1138239	.3361761	4.197	22	.000



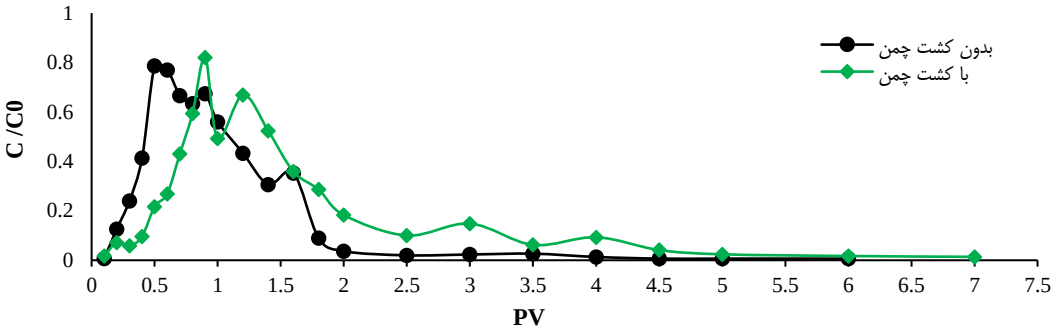
شکل ٦- میزان غلظت نسبی باکتری در تیمارهای با قطر کود گاوی دو میلی متر

Figure 6- The relative concentration of bacteria in treatments with two mm cow manure diameter



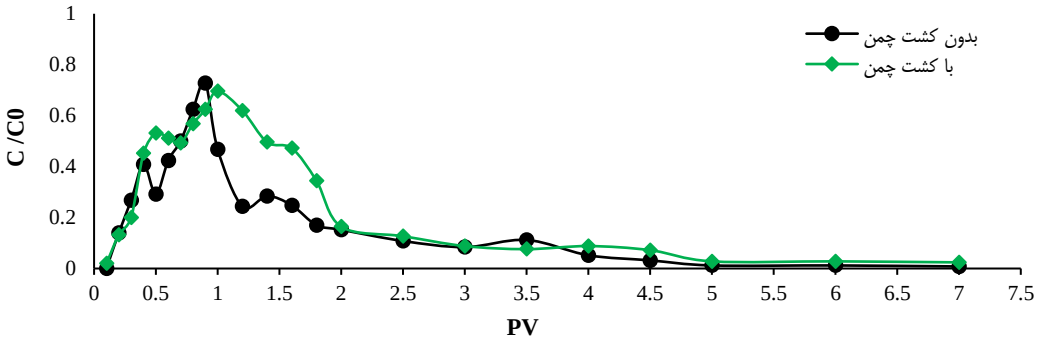
شکل ۷- میزان غلظت نسبی باکتری در تیمارهای با قطر کود گاوی یک میلی‌متر

Figure 7- The relative concentration of bacteria in treatments with a diameter of cow manure of one mm



شکل ۸- میزان غلظت نسبی باکتری در تیمارهای با قطر کود گاوی ۰/۵ میلی‌متر

Figure 8- The relative concentration of bacteria in treatments with a diameter of cow manure of 0.5 mm



شکل ۹- میزان غلظت نسبی باکتری در تیمارهای با قطر کود گاوی ۰/۲۵ میلی‌متر

Figure 9- The relative concentration of bacteria in treatments with a diameter of cow manure of 0.25 mm

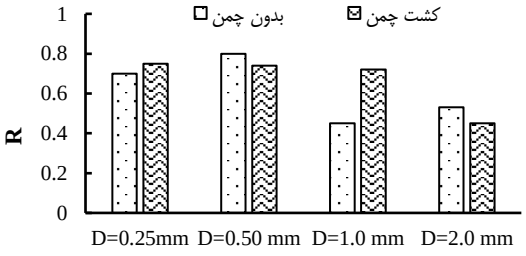
و بیان‌گر این مطلب است که وجود چمن سبب خروج بیش‌تر باکتری از زهاب ستون‌ها شده است. بر اساس شکل ۷ در تیمار بدون کشت با ذرات کود ۰/۲۵ میلی‌متر کم‌ترین و در تیمار با کشت چمن با ذرات کود یک میلی‌متر بیش‌ترین میزان انتقال باکتری در آبشویی صورت گرفته است. نکتهٔ قابل‌توجه بیش‌تر بودن نسبت C/C_0 یا غلظت نسبی باکتری در مقایسه با عدد یک در تیمارهای بدون کشت چمن در اندازهٔ کود دو میلی‌متر مورد استفاده است و در تیمارهایی که دارای کشت چمن هستند در همهٔ قطرهای کود، غلظت نسبی باکتری زهاب بزرگ‌تر از یک به دست آمد. علت را می‌توان این گونه بیان کرد که به‌دلیل

۳-۵- بیلان جرم باکتری در خاک

گشتاور صفر (سطح زیرمنحنی) برای تیمارها محاسبه شد و مقادیر آن در شکل ۱۰ ارائه شده است. برای اندازهٔ کودهای دو، یک، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر در تیمارهای بدون چمن به‌ترتیب برابر با ۱/۰۹، ۰/۹۲، ۰/۹۰ و ۰/۸۷ به‌دست آمد. سطح زیرمنحنی در تیمارهای بدون کشت چمن با کم شدن قطر کود، روند کاهشی نشان داد. میزان گشتاور صفر برای تیمارهای با کشت چمن نیز به‌ترتیب برابر با ۱/۱۲، ۱/۳۲، ۱/۰۳ و ۱/۱۸ حاصل شد و میزان گشتاور صفر در تیمارهایی با کشت چمن در تمامی اندازه‌های کود بیش‌تر از تیمار نظیرشان نسبت به شرایط بدون کشت چمن بود

۳-٦- عامل تأخیر باکتری در خاک

میزان عامل تأخیر، میزان حجم منفذی به ازای میزان نسبت غلظت نسبی ۰/۵ از منحنی رخنه برای هر تیمار است. در شکل ۱۲ مقادیر عامل تأخیر در تیمارهایی با اندازهٔ ذرات کود متفاوت آورده شده است. بر اساس شکل ۹ طی کاربرد کود با اندازهٔ ذرات ۰/۲۵، ۰/۵ و دو میلی‌متر در حالت بدون کشت نسبت به تیمار کشت چمن اختلاف چندانی در عامل تأخیر وجود ندارد. ولی در تیمار با اندازهٔ ذرات کود یک میلی‌متر در شرایط کشت چمن میزان عامل تأخیر افزایش قابل‌توجهی را داشته است. براساس شکل ۱۲ در تیمارهایی که ذرات کود ریزتر از یک میلی‌متر در هر دو شرایط کشت چمن و بدون کشت چمن بود مقادیر عامل تأخیر بیش‌تر است و نشان‌دهندهٔ جذب املاح به ذرات خاک است (Jury and Hurton, 2004). به‌نظر می‌رسد کوچک شدن اندازهٔ ذرات کود سبب شده است که میزان هدایت هیدرولیکی محیط متخلخل کاهش یابد و در نتیجه میزان باکتری تله افتاده در مجراهای خاک بیش‌تر شود، لذا باعث افزایش عامل تأخیر در تیمارهای سایز کوچک‌تر کود شده است (Norouzi, 2017).

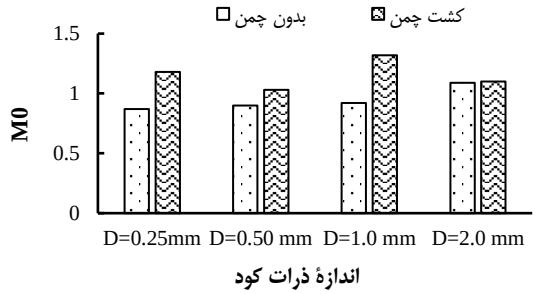


شکل ۱۲- مقادیر عامل تأخیر در تیمارها

Figure 12- Retardation factor values in treatments

٤- نتیجه‌گیری

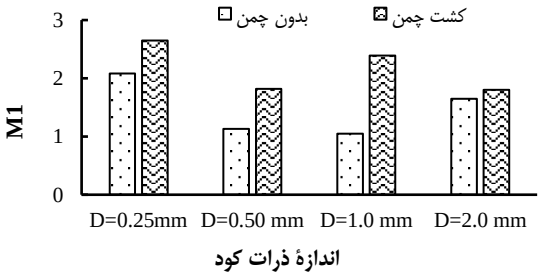
در این پژوهش اثر اندازهٔ ذرات کود و وجود کشت چمن بر میزان انتقال باکتری ایشریشیاکولی در زهاب خروجی و پروفیل خاک بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که به ازای ذرهٔ کود دو میلی‌متری، میزان انتقال باکتری در حالت بدون کشت چمن نسبت به تیمارهای یک، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر بیش‌تر است. حداکثر غلظت نسبی باکتری در منحنی رخنه به ازای ذرات کود ۰/۲۵ میلی‌متر نسبت به ذرات بزرگ‌تر کود یک و دو میلی‌متر کم تر شد و با تأخیر نسبت به ذرات درشت‌تر کود مشاهده شد. در تیمار بدون کشت چمن بیشینه غلظت به ازای کود با اندازهٔ ذرات ۰/۲۵ میلی‌متر در ۰/۹ PV مشاهده شد در صورتی‌که در تیمار با اندازهٔ ذرات دو، یک و ۰/۵ میلی‌متر بیشینه غلظت نسبی باکتری به ازای ترتیب در ۰/۶، ۰/۷، ۰/۶ برابر حجم منفذی اتفاق افتاد. جریان‌های ترجیحی و آزاد شدن باکتری‌های جذب شده و گیر افتاده در منافذ خاک آلودگی زهاب فزایش یافته است. در پژوهشی، Sepehrnia et al. (2017) نیز گزارش کردند که در برخی تیمارها غلظت نسبی باکتری در زهاب بیش از یک بوده است. آن‌ها علت را به واجذب باکتری‌های جذب شده در شرایط استفاده از کود گاوی و جریان‌های ترجیحی در خاک نسبت دادند. هم‌چنین، Norouzi (2017) با بررسی اثر اندازهٔ ذرات کود بر انتقال باکتری دریافتند که ذرات کود دو میلی‌متر آزاد سازی باکتری بیش‌تری دارند و با کاهش میزان ذرات کود میزان آزادسازی باکتری کم‌تر می‌شود که با نتایج این پژوهش در تیمارهای بدون کشت چمن مطابقت دارد.



شکل ۱۰- مقادیر گشتاور مرتبهٔ صفر در تیمارها

Figure 10 - Zero order torque values in the treatments

میزان گشتاور مرتبهٔ اول در تیمارها در شکل ۱۱ آورده شده است بر اساس نتایج حاصل از شکل ۸ در تیمارهای دارای کشت چمن میزان گشتاور مرتبهٔ اول بیش‌تر از تیمارهای بدون کشت است و این بیان‌گر این مطلب است که باکتری در شرایط کشت چمن دارای پراکندگی بیش‌تری نسبت به شرایط بدون کشت است. بیش‌ترین میزان گشتاور مرتبهٔ اول صرف‌نظر از شرایط کشت چمن، در تیمار با اندازهٔ ذرات کود ۰/۲۵ میلی‌متر شده است و مرکز ثقل در این تیمار بیش‌تر و نشان‌دهندهٔ توزیع پراکنده‌تر باکتری در این تیمار نسبت به تیمارهای دیگر است.



شکل ۱۱- مقادیر گشتاور مرتبهٔ اول در تیمارها

Figure 11- First-order torque continuum in treatments

یاشار جهاندیده: ساخت وسایل و انجام آزمایشات و تحلیل داده‌ها؛ **سید حسن طباطبائی:** تحلیل داده‌ها و نتایج، نوشتن و ویرایش مقاله؛ **مهرنوش دهقانیان:** نگارش و تهیهٔ نسخهٔ اولیهٔ مقاله.

منابع

اخوان، سحر، ابراهیمی، سهیلا، نوابیان، مریم، شعبانپور، محمود، مجتهدی، علی، و موحدی نایینی، علیرضا (۱۴۰۰). چگونگی وضعیت ترابری و نگه‌داشت شاخص آلودگی اشرشیاکولی با سطوح شوری مختلف در ستون اشباع. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۳(۶)، ۷۱-۸۳. doi: 10.30495/jest.2022.28580.3736

عالی‌پور شهنی، مولود، فرخیان فیروزی، احمد، معتمدی، حسین و کرایی، علی (۱۳۹۳). نقش رشد و پوسیدگی ریشه گیاه ذرت در انتقال باکتری اشریشیاکلی در خاک تحت شرایط جریان اشباع. *علوم آب و خاک*، ۱۹(۷)، ۱۶۳-۱۷۷. doi:10.18869/acadpub.jstnar.19.71.163

منیشداوی، مریم، جعفرنژادی، علیرضا، صیاد، غلام‌عباس، و شیرانی، حسین (۱۳۹۴). مدل‌سازی معکوس حرکت باکتری اشریشیاکولی در خاک بوسیله مدل HYDRUS-1D با کاربرد معادله‌های تعادلی و غیرتعادلی حرکت املاح. *علوم و مهندسی آبیاری*. ۳۸(۳)، ۱۰۵-۱۱۵. doi: 10.22055/jise.2015.11478

نوروزی، حمداله (۱۳۹۶). مطالعه تاثیر اندازه ذرات کود دامی بر حرکت باکتری اشریشیاکولی در ستون شن تحت جریان اشباع. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.

نوروزی، حمداله، طباطبائی، سیدحسن، نورمهناد، نگار، و شیرانی، حسین (۱۴۰۰). تأثیر اندازه ذرات کود گاوی بر انتقال آلودگی باکتریایی با استفاده از مدل جذب- واجذب در خاک تحت جریان اشباع. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۵(۶)، ۱۳۸۲-۱۳۹۳. https://www.sid.ir/paper/1058863/fa

در حضور چمن در خاک، باکتری با سرعت بیش‌تری به انتهای ستون خاک رسیده است. در کل بر مبنای نتایج این پژوهش، اگر هدف کاهش مقدار باکتری انتقال یافته به اعماق خاک باشد، می‌بایست از ذرات کود ۰/۲۵ و ۰/۵ میلی‌متر در حالت کشت چمن و بدون کشت استفاده نمود و اگر هدف تأخیر انداختن انتقال باکتری به اعماق خاک باشد می‌توان از اندازهٔ ذرات کود یک و دو میلی‌متر استفاده نمود. هم‌چنین، کشت گیاه چمن سبب افزایش باکتری انتقال یافته به عمق خاک در تمامی تیمارها شد.

سپاسگزاری

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهرکرد بخاطر تامین مالی هزینه های این پژوهش قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

References

Akhavan, S., Ebrahimi, S., Navabian, M., Shabanpour, M., Mojtahedi, A., Movahedi & Naeini, A. (2021). Transmission and retention status of the contamination index (Escherichia Coli) with different levels of salinity in the saturated column. *Journal of Environmental Science and Technology*, *23*(6), 71-83. doi: 10.30495/jest.2022.28580.3736. [In Persian]

AliPour Shahani, M., Farkhian Firouzi, A., Motamedi, H., & Karaei, A. (2015). The role of growth and decay of corn plant roots in the transmission of Escherichia coli bacteria in soil under saturated flow conditions. *Journal of Water and Soil Sciences*, *19*(71), 163-176. [In Persian]

Banks, M.K., Yu, W., & Govindaraju, R.S. (2003). Bacterial adsorption and transport in saturated soil columns. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, *38*(12), 2749-2758. doi:10.1081/ESE-120025828

Beretta, A.N., Silbermann, A.V., Paladino, L., Torres, D., Kassahun, D., Musselli, R., & Lamohte, A.G. (2014). Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method. *Ciencia e Investigación*

Abu-Ashour, J., Joy, D. M., Lee, H., Whiteley, H. R., & Zelin, S. (1994). Transport of microorganisms through soil. Water, air, and soil pollution, 75, 141-158.

Agraria, 41(2), 263-271. doi: 10.4067/s0718-16202014000200013

Disparte, A.A. (1987). Effect of root mass density on infiltration among four Mediterreanean dryland forages and two irrigated forage legumes (Doctoral dissertation, University of California, Riverside). doi:10.1016/S0016-7061(03)00091-0

Foppen, J.W.A., & Schijven, J.F. (2006). Evaluation of data from the literature on the transport and survival of Escherichia coli and thermotolerant coliforms in aquifers under saturated conditions. *Water Research*, *40*(3), 401-426. doi:10.1016/j.watres.2005.11.018

Horneck, D.A., Sullivan, D.M., Owen, J.S., & Hart, J.M. (2011). Soil test interpretation guide. Report number: EC1478, Oregon Cooperative Extension

Jamieson, R.C., Gordon, R.J., Sharples, K.E., Stratton, G.W., & Madani, A. (2002). Movement and persistence of fecal bacteria in agricultural soils and subsurface drainage water: A review. *Canadian Biosystems Engineering*, *44*(1), 1-9.

Jury, W.A., & Horton, R. (2004). *Soil physics*. John Wiley & Sons publication. 384 pages.

Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods*, *5*, 687-734. doi:10.2136/sssabookser5.1.2ed.c28.

Leininger, D.J., Roberson, J.R., & Elvinger, F. (2001). Use of eosin methylene blue agar to differentiate Escherichia coli from other gram-negative mastitis pathogens. *Journal of veterinary diagnostic investigation*, *13*(3), 273-275.

Li, X., Xu, H., Gao, B., Sun, Y., Shi, X., & Wu, J. (2017). Retention and transport of PAH-degrading bacterium herbaspirillum chlorophenolicum FA1 in saturated porous media under various physicochemical conditions. *Water, Air, & Soil Pollution*, *228*(7), 1-12.

Macler, B.A., & Merkle, J.C. (2000). Current knowledge on groundwater microbial pathogens and their control. *Hydrogeology Journal*, *8*(1), 29. doi:10.1007/PL00010972.

Mamun, A.A. (2022). Characterization of water flow and solute transport driven by preferential flow in soil vadose zone. Doctor of Philosophy, Environmental Engineering and Earth Sciences, Clemson University.

Mawdsley, J.L., Bardgett, R.D., Merry, R.J., Pain, B.F., & Theodorou, M.K. (1995). Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution. *Applied soil ecology*, *2*(1), 1-15. doi:10.1016/0929-1393(94)00039-A.

Maneshdavi, M., Jafarnejadi, A.R., Sayyad, G.A., Shirani, H. (2015). Inverse modeling of E.coli mobility through the soil by HYDRUS-1D code using equilibrium and non-equilibrium equations. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, *38*(3), 105-115. doi: 10.22055/jise.2015.11478. [In Persian]

Morales, V.L., Parlange, J.Y., & Steenhuis, T.S. (2010). Are preferential flow paths perpetuated by microbial activity in the soil matrix? A review. *Journal of Hydrology*, *393*(1-2), 29-36. doi:10.1016/j.jhydrol.2009.12.048

Morianou, G., Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P., (2023). A review of HYDRUS 2D/3 Dapplications for simulations of water dynamics, root uptake and solute transport in tree crops under drip irrigation. *Water*, *15*, 741. doi:10.3390/w15040741.

Norouzi H.A. (2017). Studying the effect of cow manure granulation on the movement of Escherichia coli bacteria in the sand column under saturated flow. M.Sc. Thesis, Shahrekord University, Shahrekord Iran. [In Persian]

Norouzi, H., Tabatabaei, S., Nourmahnad, N., Shirani, H. (2022). Effect of cow manure's particle size on bacterial contamination transport in soil using attachment-detachment model under saturation condition. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *15*(6),1382-1393. [In Persian]

Reynolds, P.J., Sharma, P.R.A.M.O.D., Jenneman, G.E., & McInerney, M.J. (1989). Mechanisms of microbial movement in subsurface materials. *Applied and Environmental Microbiology*, *55*(9), 2280-2286. doi:10.1128/aem.55.9.2280-2286.1989

Safadoust, A., Mahboubi, A.A., Mosaddeghi, M.R., Gharabaghi, B., Unc, A., Voroney, P., & Heydari, A. (2012). Effect of regenerated soil structure on unsaturated transport of Escherichia coli and bromide. *Journal of Hydrology*, *430*, 80-90. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.02.003

Sepehrnia, N., Memarianfard, L., Moosavi, A.A., Bachmann, J., Guggenberger, G., & Rezanezhad, F. (2017). Bacterial mobilization and transport through manure enriched soils: experiment and modeling. *Journal of Environmental Management*, *201*, 388-396. doi:10.1016/j.jenvman.2017.07.009

Sepehrnia, N., Tabatabaei, S.H., Norouzi, H., Gorakifard, M., Shirani, H., & Rezanezhad, F. (2021). Particle fractionation controls Escherichia coli release from solid manure. *Heliyon*, *7*(5), e07038. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e07038.

Shelden, M.C., & Munns R. (2023). Crop root system plasticity for improved yields in saline soils. *Frontiers Plant Science 14*. doi:10.3389/fpls.2023.1120583

Smucker, A.J.M., Richner, W., & Snow, V.O. (1995). Bypass flow via root-induced macropores (RIMS) in subirrigated agriculture.

Stoddard, C.S., Coyne, M.S., & Grove, J.H. (1998). Fecal bacteria survival and infiltration through a shallow agricultural soil: timing and tillage effects. *Journal of Environmental Quality*, *27*(6),1516-1523. doi:10.2134/jeq1998.00472425002700060031x

Tabatabaei, S.H., Sepehrnia, N., Norouzi, H., Shirani, H., & Rezanezhad, F. (2022). Effects of solid manure particle fractionation on transport, retention, and release of Escherichia coli. *Environmental Technology & Innovation*, *25*, 102086. doi:10.1016/j.eti.2021.102086

Toor, G.S., Condron, L.M., Di, H.J., & Cameron, K.C. (2004). Seasonal fluctuations in phosphorus loss by leaching from a grassland soil. *Soil Science Society of America Journal*, *68*(4), 1429-1436. doi:10.2136/sssaj2004.1429

Van Elsas, J.D., Trevors, J.T., & Van Overbeek, L.S. (1991). Influence of soil properties on the vertical movement of genetically-marked Pseudomonas fluorescens through large soil microcosms. *Biology and Fertility of soils*, *10*, 249-255