بسم الله الرحمن الرحیم

۱۳۸۸/۱۰/۲۰

۱۳۸۶۸۴

دانشگاه بوعلی سینا

دانشکده کشاورزی

گروه خاک‌شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته خاک‌شناسی

عنوان:

بررسی حرکت باکتری *اشریشیا کولی* آزاد شده از کود گاوی در خاک مزرعه

اساتید راهنما

دکتر محمدرضا مصدقی

دکتر علی اکبر صفری سنجانی

استاد مشاور

دکتر علی اکبر محبوبی

۱۳۸۸/۱۰/۲۰

پژوهشگر:

محمدباقر فرهنگی راستی

مرکز اطلاعات مدارک علمی
ثبت مدارک

شهریور ۱۳۸۷

۱۲۸۶۸۴

همه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی‌سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی‌سینا (یا استاد یا اساتید راهنمای این پایان‌نامه) و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

دانشکده کشاورزی

با نام و یاری خداوند متعال

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی

آقای محمدباقر فرهنگی راستی

تحت عنوان

" بررسی حرکت باکتری *اشریشیاکولی* آزاد شده از کود گاوی در خاک مزرعه"

به ارزش **۶ واحد** در روز **شنبه** مورخ **۸۷/۶/۳۰** و در محل دانشکده کشاورزی با حضور جمعی از اساتید و دانشجویان برگزار گردید و با نمره ۱۹/۶ و درجه عالی به تصویب کمیته تخصصی زیر رسید.

۱- اساتید راهنما	دکتر محمدرضا مصدقی	امضاء
	دکتر علی اکبر صفری سنجانی	امضاء
۲- استاد مشاور	پروفسور علی اکبر محبوبی	امضاء
۳- اساتید داور	دکتر محسن شکل آبادی	امضاء
	دکتر صفرمعروفی	امضاء
	دکتر حسین بانژاد	امضاء
۴- مدیر گروه	دکتر محمدرضا مصدقی	امضاء
۵- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر فرشاد دشتی	امضاء

۱۳۸۸/۱۰/۲

سپاس و قدردانی

نفس می‌نیارم زد از شکر دوست　　که شکری ندانم که در خورد اوست

اکنون که دوره دیگری از زندگی‌ام را پشت سر می‌گذارم، این زمان را مجال آن دانسته و از آنان که یاری‌ام نموده‌اند سپاس‌گزاری می‌نمایم. از خانواده عزیزم که در تمام مراحل زندگی، یار و یاورم بوده‌اند، تشکر می‌کنم و دستان پر مهر پدر و مادرم را می‌بوسم.

از اساتید راهنمای بسیار ارجمندم، جناب آقای دکتر محمدرضا مصدقی و دکتر علی‌اکبر صفری سنجانی که در مراحل مختلف انجام این پایان‌نامه با راهنمایی‌ها و مساعدت‌های بی‌دریغشان مرا یاری دادند، نهایت تشکر را دارم. از استاد مشاور بزرگوارم، جناب آقای پروفسور علی‌اکبر محبوبی که با راهنمایی‌های خود به بهتر شدن این پایان نامه کمک کردند تشکر می‌کنم. همچنین بر خود واجب می‌دانم از اساتید محترم آقایان دکتر حسین‌پور، دکتر جلالی، دکتر ترابی گل‌سفیدی، دکتر شکل‌آبادی، دکتر شعبان‌پور، دکتر عزیزی، دکتر شیرانی، دکتر صیاد و خانم دکتر کرباسی که افتخار شاگردی‌شان را داشته‌ام تشکر نمایم. همچنین از اساتید داور آقایان دکتر محسن شکل‌آبادی، دکتر صفر معروفی و دکتر حسین بانژاد که زحمت داوری این پایان نامه را کشیدند، سپاس‌گزارم.

بر خود لازم می‌دانم از آقایان دکتر شریفی و دکتر عسگرزاده، و خانم‌ها دکتر صفادوست، دکتر کلاهچی، مهندس صابریان، مهندس یوسفی مسئول آزمایشگاه فیزیک خاک، مهندس اسدی و سایر عزیزان در مرکز تحقیقات کشاورزی و همچنین آقای محمود مرشدی‌زاد که در مراحل مختلف این پایان‌نامه مرا یاری دادند، تشکر کنم.

از همه دوستان و همکلاسی‌هایم در دوران تحصیل آقایان: قاسمی، چراغی، میرهاشمی، عزیزی‌نیا، صفیرزاده، محمدی، فرنگی، زارعی، آباد، اسود، احمدی، مرشدی‌زاد، دندانمزد، حقیقت، رعیت، محوحی، جلیلی، ارفع‌نیا، سلیمانی، دهقان، شفیعی، قلی‌نژاد، مکاری، میرزامحمدی، میرزایی، میرفتاح، ناصری، نیکزاد، و خانم‌ها: اعلامنش، امیری، بهمن‌زاده، جلیلوند، دعایی، صحرایی، رحم-جو، نیک‌پور و سحر نوبخت سپاس‌گزارم.

تقدیم به:

خانواده ام و دوستانم

ابراهیم زارعی،

محسن مرشدی زاد و

سعیده نوبخت

فهرست مطالب صفحه

مقدمه ۱

فصل اول: بررسی منابع

۱-۱- اهمیت کود دامی در کشاورزی ۵

۱-۱-۱- اثر تغذیه‌ای و شیمیایی ۵

۱-۱-۲- اثر فیزیکی ٦

۱-۱-۳- اثر بیولوژیکی ٦

۱-۲- کود دامی به عنوان منبع آلوده‌کننده محیط زیست ٦

۱-۳- ریزجانداران بیماری‌زای کود دامی ۷

۱-۳-۱- باکتری‌ها ۸

الف) *اشریشیا کولی* ۸

ب) *سالمونلا* ۸

پ) *شیگلا* ۹

ج) *مایکوباکتریوم* ۹

د) *کامپیلوباکتر* ۹

۱-۳-۲- *پروتوزوئرها* ۹

الف) *کریپتواسپوریدیوم* ۹

ب) *ژیاردیا* ۱۰

۱-٤- *اشریشیا کولی* به عنوان ریزجاندار شاخص ۱۰

۱-۵- سرنوشت باکتری‌های بیماری‌زای موجود در کودهای دامی ۱۱

۱-۵-۱- عوامل موثر بر زنده‌مانی باکتری‌های بیماری‌زا در خاک ۱٤

الف) رطوبت ۱٤

ب) دما ۱۵

پ) pH ۱٦

ج) عناصر غذایی فراهم و مقدار ماده آلی ۱٦

د) اثر نمک‌ها و یون‌ها ۱٦

و) تهویه خاک ۱۷

ی) رقابت و شکار شدن ۱۷

۱-۵-۲- عوامل موثر بر بی‌جنبش شدن باکتری‌ها در خاک ۱۷

الف) اثر ویژگی‌های خاک بر جذب باکتری در خاک ۱۸

ب) اثر ویژگی‌های باکتری بر جذب آن در خاک ۱۹

پ) اثر کود دامی بر جذب باکتری در خاک ۲۰

۱-٦- انتقال باکتری‌های بیماری‌زا در محیط‌های متخلخل ۲۱
۱-٦-۱- ویژگی‌های فیزیکی محیط متخلخل ۲۲
الف) بافت خاک ۲۲
ب) توزیع اندازه ذرات و منافذ ۲٤
پ) ساختمان خاک ۲٦
ج) شرایط رطوبتی خاک ۲۷
د) ماده آلی خاک ۲۸
۱-٦-۲- ویژگی‌های شیمیایی محیط متخلخل ۲۹
الف) pH ۲۹
ب) رسانایی الکتریکی محیط متخلخل ۲۹
پ) لایه دوگانه پخشیده ۲۹
۱-٦-۳- ویژگی های بیولوژیکی مؤثر بر حرکت باکتری ها ۳۰
الف) تحرک باکتری‌ها ۳۰
ب) اندازه و چگالی باکتری‌ها ۳۰
پ) آب‌گریزی باکتری‌ها ۳۰
۱-٦-٤- ویژگی‌های منبع آلودگی ۳۱
الف) نوع کود ۳۲
ب) زمان و مقدار کاربرد کود ۳۲
پ) روش کاربرد کود ۳۳
۱-٦-٥- ویژگی‌های جریان آب ۳٤
۱-٦-٦- جریان ترجیحی ۳٥
۱-٦-۷- مدیریت خاک‌ورزی ۳٦
۱-۷- حرکت آب در خاک ۳۷
۱-۷-۱- جریان اشباع ۳۸
۱-۷-۲- جریان غیراشباع ۳۸
۱-۷-۳- جریان ماندگار ۳۹
۱-۷-٤- جریان غیرماندگار ٤۰
۱-۷-٥- اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی خاک ٤۰
الف) نفوذسنج حلقه‌ای (رینگی) فشاری ٤۱
ب) نفوذسنج دیسکی مکشی ٤۱
ب-۱) مباحث نظری ٤۳

ب-۲) کاربرد نفوذسنج مکشی برای بررسی حرکت باکتری در خاک ٤٦
۱-۸- بررسی حرکت باکتری در شرایط مزرعه‌ای ٤٩
۱-۹- مدل‌سازی ٥٠
۱-۹-۱-برنامه رایانه‌ایDISC ٥١
۱-۱۰- وضعیت خاک‌های ایران و پژوهش‌های انجام شده در این زمینه ٥١
فصل دوم: مواد و روش‌ها
۲-۱- اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ٥٤
۲-۱-۱- توزیع اندازه ذرات اولیه و بافت خاک ٥٥
۲-۱-۲- چگالی حقیقی خاک ٥٥
۲-۱-۳-چگالی ظاهری خاک ٥٥
۲-۱-٤- تخلخل کل خاک ٥٥
۲-۱-٥- رطوبت حجمی خاک ٥٥
۲-۱-٦- میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ٥٦
۲-۱-۷- هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ٥٦
۲-۱-۸- اسیدیته خاک ٥٦
۲-۱-۹- رسانایی الکتریکی خاک ٥٧
۲-۱-۱۰- کربن آلی ٥٧
۲-۱-۱۱- گنجایش تبادل کاتیونی خاک ٥٧
۲-۲- اندازه‌گیری ویژگی‌های هیدرولیکی خاک ٥٧
۲-۲-۱- دستگاه نفوذسنج مکشی ٥٧
۲-۲-۲- آماده‌سازی نفوذسنج مکشی در مزرعه ٥٩
۲-۲-۳- آماده‌سازی سطح خاک برای آزمایش نفوذ ٦٠
۲-۲-٤- شروع آزمایش نفوذ ٦٠
۲-۲-٥- تجزیه و تحلیل داده‌های نفوذ ٦١
الف) رسیدن به جریان ماندگار ٦١
ب) مباحث نظری ٦١
ج) برآورد ویژگی‌های هیدرولیکی خاک ٦٣
د) شرایط اولیه و مرزی ٦٥
۲-۳- استقرار ستون‌های لایسیمتری در خاک و نصب نمونه‌گیرها ٦٦
۲-٤- تیمار کود ٦٩
۲-٥- انتخاب باکتری بیماری‌زا ۷۰

۲-٦- محیط کشت VRB آگار ۷۰
۲-۷- شمارش *E. coli* ۷۱
۲-۸- آزمایش‌های آب‌شویی ۷۱
۲-۹- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و ارائه نتایج ۷۳
فصل سوم: نتایج و بحث
۳-۱- ویژگی‌های خاک مورد بررسی ۷٦
۳-۲- میانگین دمای خاک در دورهٔ آزمایش ۷۸
۳-۳- ویژگی‌های هیدرولیکی خاک و نتایج برنامهٔ رایانه‌ای DISC ۷۹
۳-٤- اثر تیمارهای شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی باکتری *اشریشیا کولی* ۸۵
۳-٤-۱- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی *اشریشیا کولی* در زمان اول (یک ساعت پس از آغاز آب‌شویی) ۸٦
۳-٤-۲- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی *اشریشیا کولی* در زمان دوم (دو ساعت پس از آغاز آب‌شویی) ۸۸
۳-٤-۳- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی *اشریشیا کولی* در زمان سوم (چهار ساعت پس از آغاز آب‌شویی) ۹۲
۳-٤-٤- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی باکتری *اشریشیا کولی* در زمان چهارم (شش ساعت پس از آغاز آب‌شویی) ۹٤
۳-٤-٥- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی *اشریشیا کولی* در زمان پنجم (دوازده ساعت پس از آغاز آب‌شویی) ۹٦
۳-٤-٦- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی *اشریشیا کولی* در زمان ششم (بیست و چهار ساعت پس از آغاز آب‌شویی) ۱۰۰
۳-٥- مقایسه اثر شرایط جریان و عمق خاک بر شدت آلودگی باکتریایی محلول خاک در زمان‌های مختلف ۱۰٤
۳-٦- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر منحنی رخنهٔ *اشریشیا کولی* ۱۰۷
۳-٦-۱- اثر شرایط جریان بر منحنی رخنهٔ *اشریشیا کولی* در عمق اول و دوم ۱۰۷
۳-٦-۲- اثر عمق خاک بر منحنی رخنهٔ *اشریشیا کولی* ۱۱۱
۳-۷- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر ضریب پالایش (λ_f)، عمق بیشینه پیش‌بینی شدهٔ انتقال (Z_{max}) و شاخص نسبی جذب (S_R) باکتری *اشریشیا کولی* ۱۱٤
۳-۷-۱- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر ضریب پالایش (λ_f) باکتری *اشریشیا کولی* ۱۱٥
۳-۷-۲- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر عمق بیشینه پیش‌بینی شدهٔ انتقال (Z_{max}) باکتری *اشریشیا کولی* ۱۱۷
۳-۷-۳- اثر شرایط جریان و عمق خاک بر شاخص نسبی جذب (S_R) باکتری *اشریشیا کولی* ۱۱۹
۳-۸- نیم‌رخ غلظت باکتری *اشریشیا کولی* در طول زمان آب‌شویی ۱۲۰

۳-۹- نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۲٤
الف)نتایج ۱۲٤
ب) پیشنهادها ۱۲٦
منابع علمی ۱۲۹

شکل ۱-۱: باکتری *اشریشیا کولی* ۱۱
شکل ۱-۲: نمای شماتیکی نفوذسنج حلقه‌ای فشاری (قطر mm ۹۸)؛ بار ثابت و افتان (الف) و بار ثابت (ب) ٤۱
شکل ۱-۳: نمای شماتیکی نفوذسنج دیسکی با قطر mm ٤۸/۵ (الف)، mm ۸۰ (ب) و mm ۲۵۰ (ج) ٤۳
شکل ۱-٤: منحنی رخنهٔ باکتری *باسیلوس سابتیلیس* و برمید در ستون خاک دست‌نخورده ٤۷
شکل ۱-۵: چگونگی استفاده از نفوذسنج مکشی برای آب‌شویی باکتری در ستون خاک شنی ٤۸
شکل ۲-۱: دستگاه نفوذسنج مکشی، الف) دستگاه استفاده شده در این پژوهش و ب) نمای شماتیکی آن ۵۸
شکل ۲-۲: نمای شماتیکی ستون لایسیمتری نصب شده در خاک و نفوذسنج دیسکی بر روی آن ٦٦
شکل ۲-۳: تصویری از ستونهای لایسیمتری نصب شده در خاک و نفوذسنج دیسکی بر روی یکی از آن‌ها در حین انجام آزمایش آب‌شویی ٦۷
شکل ۲-٤: نمونه‌گیر مورد استفاده در آزمایش‌های آب‌شویی؛ (الف) لوله پلاستیکی مشبک، (ب) سوکت مورد استفاده در پزشکی و (ج) نمونه‌گیر آماده شده ٦۹
شکل ۲-۵: کلنی‌های درشت و قرمزرنگ باکتری *اشریشیا کولی* در محیط VRB آگار ۷۰
شکل ۳-۱: کانال ریشه در لایه رویین خاک مورد بررسی ۷۸
شکل ۳-۲: داده‌های نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده (نقاط) در برابر زمان و منحنی برآورد شده (خط) توسط برنامهٔ رایانه‌ای DISC ۸۰
شکل ۳-۳: دامنه انحراف برای منحنی نفوذ برازش یافته توسط برنامهٔ رایانه‌ای DISC ۸۱
شکل ۳-٤: منحنی هدایت هیدرولیکی خاک به دست آمده از برنامهٔ DISC و K_s به دست آمده به روش وودینگ (نقطه سیاه‌رنگ) ۸٤
شکل ۳-۵: منحنی مشخصهٔ رطوبتی خاک به دست آمده از برنامهٔ DISC ۸٤
شکل ۳-٦: اثر عمق خاک (الف) و شرایط جریان (ب) بر غلظت نسبی (C/C.) باکتری *اشریشیا کولی* در زمان اول آب‌شویی ۸۸
شکل ۳-۷: اثر عمق خاک (الف) و شرایط جریان (ب) بر غلظت نسبی (C/C.) باکتری *اشریشیا کولی* در زمان دوم آب‌شویی ۹۱
شکل ۳-۸: اثر عمق خاک (الف) و شرایط جریان (ب) بر غلظت نسبی (C/C.) باکتری *اشریشیا کولی* در زمان سوم آب‌شویی ۹٤
شکل ۳-۹: اثر عمق خاک (الف) و شرایط جریان (ب) بر غلظت نسبی (C/C.) باکتری *اشریشیا کولی* در زمان چهارم آب‌شویی ۹٦
شکل ۳-۱۰: اثر عمق خاک (الف) و شرایط جریان (ب) بر غلظت نسبی (C/C.) باکتری *اشریشیا کولی* در زمان پنجم آب‌شویی ۹۹
شکل ۳-۱۱: اثر عمق خاک (الف) و شرایط جریان (ب) بر غلظت نسبی (C/C.) باکتری *اشریشیا کولی* در زمان ششم آب‌شویی ۱۰۳

شکل ۳-۱۲: اثر عمق خاک (الف) و شرایط جریان (ب) بر غلظت باکتری *اشریشیا کولی* در محلول خاک در زمان‌های مختلف ۱۰۶
شکل ۳-۱۳: منحنی رخنه و منحنی غلظت ورودی *اشریشیا کولی* در شرایط جریان اشباع (الف) و غیراشباع (ب) در عمق اول و دوم ۱۱۰
شکل ۳-۱٤: منحنی رخنه و منحنی غلظت ورودی *اشریشیا کولی* در عمق اول (الف) و عمق دوم (ب) در شرایط جریان اشباع و غیراشباع ۱۱۳
شکل ۳-۱۵: نیم‌رخ غلظت باکتری *اشریشیا کولی* در شرایط غیراشباع برای زمان‌های ابتدایی (الف) و زمان‌های انتهایی (ب) آب‌شویی ۱۱۲
شکل ۳-۱٦: نیم‌رخ غلظت باکتری *اشریشیا کولی*، در شرایط اشباع برای زمان‌های ابتدایی (الف) و زمان‌های انتهایی (ب) آب‌شویی ۱۲٤

جدول ۳-۱: درصد ذرات شن، سیلت و رس و بافت خاک مورد بررسی ۷۶
جدول ۳-۲: ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد بررسی ۷۶
جدول ۳-۳: ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد بررسی ۷۷
جدول ۳-٤: میانگین نوسان دمایی خاک مورد بررسی ۷۸
جدول ۳-۵: نتایج آزمایش نفوذ آب به خاک به دست آمده به روش وودینگ ۷۹
جدول ۳-٦: پارامترهای هیدرولیکی خاک برآورد شده و بدست آمده از برنامهٔ DISC ۸۲
جدول ۳-۷: ماتریس همبستگی برای پارامترهای بهینه شده ۸۳
جدول ۳- ۸: تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت و غلظت نسبی باکتری *اشریشیا کولی* در زمان‌های مختلف پس از شروع آب‌شویی ۸۵
جدول ۳-۹: مقایسه میانگین اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی (C/C.) *اشریشیا کولی* در زمان اول آب‌شویی ۸۷
جدول ۳-۱۰: مقایسه میانگین اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی (C/C.) *اشریشیا کولی* در زمان دوم آب‌شویی ۸۹
جدول ۳-۱۱: مقایسه میانگین اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی(C/C.) *اشریشیا کولی* در زمان سوم آب‌شویی ۹۳
جدول ۳-۱۲: مقایسه میانگین اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی (C/C.) *اشریشیا کولی* در زمان چهارم آب‌شویی ۹۵
جدول ۳-۱۳: مقایسه میانگین اثر شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت و غلظت نسبی (C/C.) *اشریشیا کولی* در زمان پنجم آبشویی ۹۷
جدول ۳-۱٤: مقایسه میانگین اثر تیمارهای شرایط جریان و عمق خاک بر غلظت خروجی و غلظت نسبی (C/C.) *اشریشیا کولی* از ستونهای خاک در زمان ۲٤ ساعت ۱۰۱
جدول ۳-۱۵: تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر ضریب پالایش (λ_f)، عمق بیشینه پیش‌بینی شده انتقال (Z_{max}) و شاخص نسبی جذب (S_R) باکتری *اشریشیا کولی* ۱۱۵
جدول ۳-۱٦: مقایسه میانگین اثر شرایط جریان و عمق خاک بر ضریب پالایش (λ_f)، عمق بیشینه پیش‌بینی شدهٔ انتقال (Z_{max}) و شاخص نسبی جذب (S_R) باکتری *اشریشیا کولی* ۱۱۷

چکیده

کودهای دامی کاربرد گسترده‌ای در کشاورزی دارند. این کودها دارای چندین ریزجاندار بیماری‌زا هستند که می‌توانند از کود دامی جدا شده و موجب آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی شوند. کلیفرم‌های روده‌ای از ریزجانداران موجود در کودهای دامی هستند. *اشریشیا کولی* معمول‌ترین کلیفرم روده‌ای است، که به عنوان ریزجاندار شاخص در تعیین پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ثابت شده است که کود گاوی مهم‌ترین منبع سویه‌های خطرناک این باکتری است که موجب بیماری‌های عفونی در انسان و جانوران می‌شود. هدف این پژوهش بررسی چگونگی حرکت باکتری *اشریشیا کولی* آزاد شده از کود گاوی در شرایط جریان اشباع و غیراشباع، در مزرعه می‌باشد. برای انجام آزمایش لایسیمترهای کوچک (به ارتفاع ۵۰ و قطر ۲۰ سانتی‌متر) در مزرعه نصب شدند. خاک مزرعه دارای بافت لوم رسی بود. کنترل شرایط جریان آب با دستگاه نفوذسنج مکشی انجام گرفت. این دستگاه می‌تواند میزان آب ورودی به خاک را در مکش ماتریک مشخص کنترل کند. برای برقراری شرایط جریان اشباع غیراشباع، دستگاه به ترتیب در مکش ماتریک صفر و ۵ cm تنظیم شد. پس از برقراری جریان ماندگار کود گاوی تازه هوا-خشک به میزان ۱۰ $Mg\ ha^{-1}$ (بر اساس وزن خشک) روی لایسیمترها ریخته شد و دوباره نفوذسنج روی خاک قرار گرفت. نمونه‌گیری از محلول خاک توسط نمونه-گیرهای پلاستیکی کارگذاشته شده در عمق‌های ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری لایسیمتر و در زمان‌های ۱، ۲، ۴، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت پس از آغاز آب‌شویی کود و با کمک پمپ خلاء انجام گرفت. آزمایش در قالب فاکتوریل و به صورت طرح کاملاً تصادفی با دو تکرار انجام شد. از خاک پیش از آغاز آزمایش و از آب ورودی به لایسیمترها (محلول خارج شده از کود) نیز در زمان‌های مشابه نمونه‌برداری شد. فراوانی باکتری‌ها در واحد حجم محلول خروجی از نمونه‌گیرها (C) و آب ورودی (.C) به روش زنده (پلیت کانت) شمارش گردید. ضریب پالایش (λ_f)، عمق بیشینه پیش‌بینی‌شدهٔ انتقال (Z_{max}) و شاخص نسبی جذب (S_R) باکتری در شرایط مختلف جریان و برای لایه‌های ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متر خاک محاسبه شد. از داده‌های نفوذ تجمعی آب به خاک در برنامهٔ رایانه‌ای DISC استفاده شد و پارامترهای هیدرولیکی (K_s و n، α، θ_s)، مدل ون‌گنوختن-معلم منحنی مشخصهٔ رطوبتی (θ-h)، و هدایت هیدرولیکی (K-θ) برآورد شد. اثر شرایط جریان، عمق نمونه‌برداری و اثر متقابل آن‌ها در همهٔ زمان‌ها به جز زمان ششم (۲۴ ساعت) بر C و .C معنی‌دار شد (در سطح آماری ۵٪). در زمان ششم تنها اثر جریان بر این دو پارامتر معنی‌دار بود. تفاوت میانگین C و .C در جریان اشباع و غیراشباع و عمق اول و دوم نمونه‌گیری در همهٔ زمان‌ها در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار شد. غلظت باکتری در همهٔ زمان‌ها در شرایط اشباع بیش‌تر از شرایط غیراشباع بود. در شرایط غیراشباع باکتری‌های بیش‌تری در خاک پالایش شدند. میانگین C در عمق اول نیز بیش‌تر از عمق دوم بود. ساختمان خاک در لایه اول دست‌خوردگی بیش‌تری داشته و سبب پالایش بیش‌تر باکتری‌ها شد. شرایط جریان و عمق خاک بر λ_f، Z_{max} و S_R *اشریشیا کولی* تاثیر گذاشت. بیش‌ترین مقدار λ_f در تیمار ترکیبی جریان غیراشباع×عمق اول و کم‌ترین مقدار آن در تیمار ترکیبی جریان اشباع×عمق اول به دست آمد. ضریب پالایش در شرایط جریان غیراشباع حدود ۳۴٪ بیش‌تر از شرایط اشباع بود. اگر چه نقش لایهٔ رویین خاک در پالایش باکتری برجسته بود ولی وجود جریان‌های ترجیحی در خاک‌ها باعث انتقال باکتری‌ها تا اعماق بسیار زیاد شدند. میزان آلودگی باکتریایی محلول خاک رابطهٔ وارونه با توانایی خاک در پالایش باکتری داشت. خاک به عنوان یک محیط متخلخل با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی ویژه قادر به پالایش باکتری‌هایی است که توسط آب از این محیط در حال گذر هستند. با افزایش عمق خاک، غلظت باکتری‌ها کم‌تر شده و شرایط رطوبتی اشباع خاک نسبت به شرایط غیراشباع موجب انتقال بیش‌تر باکتری‌ها شد.

واژه‌های کلیدی: کود گاوی، باکتری *اشریشیا کولی*، جریان اشباع، جریان غیراشباع، عمق خاک، نفوذسنج مکشی، شرایط در مکان واقعی

مقدمه

مقدمه

در کشاورزی برای بهبود حاصلخیزی خاک از کودهای دامی استفاده می‌شود که کود گاوی یکی از آن‌هاست. کودهای دامی سرشار از عناصر غذایی و مواد آلی بوده و می‌توانند علاوه بر حاصلخیزی شیمیایی خاک، ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیک خاک را نیز بهبود بخشند.

ترکیب‌های آلی موجود در کودهای جانوری عناصر غذایی کم‌نیاز نامحلول خاک را به شکل محلول و قابل جذب برای گیاه در می‌آورند. این ترکیب‌های آلی گنجایش تبادل کاتیونی خاک را افزایش داده، ویژگی‌های فیزیکی، ساختمان، گنجایش نگه‌داری رطوبت و رنگ خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از رویکرد بیولوژیکی، این کودها فراوانی و کارایی ریزجانداران سودمند خاک را بیش‌تر می‌کنند و از این دیدگاه نسبت به کودهای شیمیایی برتری دارند (سالاردینی، ۱۳۷٤).

با وجود همهٔ این ویژگی‌های مفید، فضولات دامی دارای جانداران بیماری‌زای خطرناکی هستند که می‌توانند سلامتی انسان و دیگر جانداران را به خطر اندازند. از میان این ریزجانداران می‌توان به کلیفرم‌های روده‌ای[۱] و باکتری‌های خانوادهٔ انتروباکتریاسه[۲] مانند *اشریشیا کولی*[۳]، *سالمونلا*[٤] و *شیگلا*[٥] اشاره کرد. هر کدام از این میکروب‌ها عامل بیماری ویژه‌ای بوده و می‌توانند سلامتی انسان را به خطر اندازند (جامیسون[٦] و همکاران، ۲۰۰۲). برای نمونه یک سویه از *اشریشیا کولی* به نام *E. coli O۱۵۷* عفونت‌های شدید روده‌ای در انسان پدید می‌آورد و می‌تواند موجب مرگ انسان شود (آل‌هاشم، ۱۳۷۱). کود گاوی منبع اصلی این باکتری خطرناک است (جونز[۷]، ۱۹۹۹).

در دو دههٔ گذشته مدیریت کودهای دامی به دلیل بوی بد این کودها و آلودگی منابع آب در اُنتاریو[۸] کانادا به یک نگرانی عمده تبدیل شده است. پژوهش‌های پیشین در مورد آلودگی منابع آب توسط کودهای دامی بیش‌تر از جهت آلودگی نیتراته آب‌ها بوده است. به هر حال از دههٔ ۱۹۵۰ میلادی اگرچه در آلودگی چاه‌ها به نیترات تغییر زیادی ایجاد نشده، اما آلودگی باکتریایی افزایش قابل توجهی یافته است (آنک[۹]، ۱۹۹۹).

---

۱ Enteric or faecal coliforms
۲ *Entrobacteriaceae*
۳ *Escherichia coli*
٤ *Salmonella*
٥ *Shigella*
٦ Jamieson
۷ Jones
۸ Ontario
۹ Unc

دفع کودهای دامی و فاضلاب‌های شهری به صورت یک‌جا به منظور دفن آن‌ها و پخش در سطح زمین‌های کشاورزی سبب انتقال باکتری‌های موجود در آن‌ها و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود. اگرچه دانسته‌هایی در مورد پتانسیل آلودگی باکتریایی آب‌های زیرزمینی در فرآیند دفن فاضلاب شهری و کودهای دامی وجود دارد، ولی دربارهٔ وجود کلیفرم‌ها در این آب-ها و کاربرد کودهای دامی به عنوان منشاء این باکتری‌ها در زمین‌های کشاورزی دانسته‌ها کم می‌باشد (آنک، ۱۹۹۹).

در ایران مواردی از آلودگی آب‌های زیرزمینی به باکتری‌های بیماری‌زای کود دامی گزارش شده است. در تیرماه سال ۱۳۸۳ آلودگی آب‌های زیرزمینی روستایی در چهارمحال بختیاری موجب بیماری ساکنین آن شد. تجزیه آب چاه‌های منطقه نشان‌دهندهٔ آلودگی آب با *اشریشیاکولی* بود.

مشکل اصلی در بررسی حرکت باکتری‌های آزاد شده از کودهای دامی به سمت آب‌های زیرزمینی در زمین‌های کشاورزی، نمونه‌گیری باکتری‌ها از محلول خاک است. در خاک و به ویژه در شرایط غیراشباع معمولاً آب تحت فشار منفی (مکش ماتریک) است و گرفتن نمونه در این شرایط نیازمند صرف انرژی است. می‌توان نمونه‌های خاک را از لایه‌های مختلف گرفت و در آزمایشگاه عصاره‌گیری کرد. این روش تخریبی است و در همان لایه به دلیل دست‌خوردگی خاک قابل تکرار نمی‌باشد. راه دیگر گردآوری زه‌آب خاک است. این روش غیرتخریبی است و می‌توان انتقال باکتری در زمان آب‌شویی را بررسی کرد. اخیراً از نمونه‌گیرهای با کلاهک سرامیکی در لایه‌های مختلف خاک برای عصاره‌گیری باکتری‌ها در ناحیهٔ غیراشباع استفاده می‌شود. این نمونه‌گیرها برای بررسی حرکت نمک‌ها مناسب‌اند. این نمونه‌گیرها دارای توان جذب باکتری می‌باشند و این امر از اعتبار استفادهٔ آن‌ها می‌کاهد. با این وجود می‌توان از آن‌ها برای نمونه‌گیری باکتری در ناحیهٔ غیراشباع با شرایط مرزی مشخص استفاده کرد (آنک، ۱۹۹۹).

پژوهش‌های انجام گرفته در مورد حرکت و انتقال باکتری‌ها در محیط‌های متخلخل، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محیط، ویژگی‌های باکتری و منبعی که باکتری از آن آزاد می‌شود و همچنین شرایط حاکم بر انتقال را در این زمینه مؤثر می‌دانند. باکتری در خاک ممکن است جذب ذرات خاک شود، بمیرد و یا منتقل شود (آنک وگاس[1]، ۲۰۰۳؛ جامیسون و همکاران، ۲۰۰۲). توزیع اندازه ذرات، نفوذپذیری و یک‌نواختی خاک، شرایط رطوبتی و جریان حاکم بر انتقال و همچنین ویژگی‌های شیمیایی محیط بر انتقال باکتری‌ها در خاک مؤثرند. در محیط خاک عوامل چندی به طور مستقیم بر زنده‌مانی باکتری‌ها کلیفرم تأثیر می‌گذارند. روی‌هم‌رفته فراهمی

[1] Goss

آب اثر دیگر عوامل را می‌پوشاند (جربا و بیتون[۱]؛ ۱۹۸٤ و موبیرو و همکاران[۲]، ۲۰۰۰). پتانسیل یا میزان آب خاک پارامتر کلیدی است که مهم‌ترین اثر را روی زنده‌مانی و حرکت باکتری‌ها در محیط متخلخل دارد (آنک و گاس، ۲۰۰۳).

اگرچه برخی از باکتری‌ها به کمک اندام‌های حرکتی در فواصل بسیار کوتاه حرکت می‌کنند، ولی جابجایی باکتری‌ها به تنهایی در خاک چشم‌گیر نیست. بنابراین مسیر جابه‌جایی باکتری در خاک و محیط‌های متخلخل به وسیله جریان آب مشخص می‌شود و ویژگی‌های جریان آب نقش مهمی در جابجایی باکتری دارند (آنک و گاس، ۲۰۰٤).

در حالت کلی آب در خاک به دو گونهٔ اشباع و غیراشباع جریان دارد. در شرایط جریان اشباع، باکتری بیش‌تری در خاک جابجا می‌شود. بیش‌تر باکتری‌ها به سطح ذرات کلوییدی و آلی خاک پیوسته و جابجایی این ذرات انتقال باکتری‌ها را سرعت می‌بخشند (آنک و گاس، ۲۰۰٤). در شرایط غیراشباع خاک، گونه‌های آب‌گریز تجمع زیادی در سطح مشترک آب-هوا[۳] (AWI) دارند. ولی در شرایط اشباع، به جز منافذ اندکی که هوا در آن‌ها حبس شده است، سطوح آب-هوا وجود ندارند (پاولسون و میلز[٤]، ۲۰۰۱؛ دارناولت و همکاران[٥]،۲۰۰٤).

جریان ترجیحی در خاک ساختمان‌دار راه انتقال باکتری‌ها را هموار می‌کند و موجب کم‌ترین واکنش خاک با باکتری‌ها برای جذب و به دام افتادن و به اصطلاح پالایش آن‌ها می‌شود. پژوهش‌های زیادی برای بررسی اثر جریان ترجیحی بر حرکت باکتری‌ها انجام گرفته است. بیش‌تر این پژوهش‌ها در ستون‌های خاک دست‌نخورده بوده است. گرچه این ستون‌ها نماینده خاک طبیعی هستند، ولی بررسی حرکت باکتری‌ها در شرایط مزرعه بسیار به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود (گین[٦] و همکاران، ۲۰۰۲). وجود جریان ترجیحی در شرایط غیراشباع (ابو-آشور و همکاران[۷]، ۱۹۹٤؛ ۱۹۹۸) و در خاک طبیعی مزرعه (آنک و گاس، ۲۰۰۳) به اثبات رسیده است.

با توجه به نقش مهم ویژگی‌های خاک و شرایط رطوبتی در حرکت باکتری‌ها به سمت آب‌های زیرزمینی، این پژوهش برای بررسی چگونگی حرکت باکتری *E. coli* آزاد شده از کود گاوی در شرایط جریان اشباع و غیراشباع و در مزرعه انجام شده است. در این پژوهش اثر ویژگی‌های جریان آب بر میزان جذب و جابجایی باکتری‌ها مورد توجه بوده و کنترل شرایط جریان با دستگاه نفوذسنج مکشی انجام گرفته است.

---

۱ Gerba and Bitton
۲ Mubiru
۳ Air-water interface
٤ Powelson and Mills
٥ Darnault
٦ Ginn
۷ Abu-Ashour

هدف اصلی این پژوهش بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی با کلیفرم‌های روده‌ای است که باکتری *اشریشیا کولی* به عنوان باکتری شاخص از این گروه انتخاب شده است.