تأثیر کود گاوی بر برخی خصوصیات فیزیکی و ضرایب هیدرولیکی و انتقال برماید در یک خاک لوم شنی در کرمان

هرمزد نقوی، محمد علی حاج عباسی و مجید افیونی[۱]

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثر ماده آلی (کود گاوی) بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، خصوصیات و ضرایب هیدرولیکی و انتقال ردیاب برماید در خاک بوده است. برای این منظور خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) از یک مزرعه لوم شنی انتخاب و ۳ سطح کود دامی ۰ (صفر)، ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار به آن اضافه و در تمام پلات‌ها ذرت کاشته شد. این آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. سه ماه بعد از اضافه کردن کود آلی بقایای ذرت حذف و محلول KBr به صورت یک‌نواخت روی سطح کرت‌ها پاشیده شد. جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، مقدار ماده آلی و رطوبت خاک در ۱۸ مقدار پتانسیل ماتریک در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. پس از اضافه کردن ردیاب، سه مرحله آبیاری به مقدار ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متر انجام گردید. بعد از هر مرحله آبیاری نمونه‌های خاک از هفت عمق، با ضخامت‌های مساوی ۱۵ سانتی‌متری تا ۱۰۵ سانتی‌متر برداشته شد و غلظت باقی‌مانده Br در نمونه‌ها تعیین گردید. برای هر زمان نمونه‌برداری مرکز جرم توزیع غلظت ردیاب در اعماق ذکر شده در تمام تیمارها نیز محاسبه شد. نتایج نشان داد که افزودن کود دامی باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش تخلخل، مقدار ماده آلی و رطوبت خاک در بیشتر پتانسیل‌های ماتریک شده است. هم چنین افزودن کود دامی باعث تغییر ضرایب هیدرولیکی خاک گردید. مقدار Br در نیم‌رخ پلات‌هایی که کود دامی دریافت کرده بودند، کمتر انتقال پیدا کرد. مشابه همین نتایج از بررسی مرکز جرم ردیاب در زمان‌های نمونه‌برداری به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ویژگی‌های فیزیکی خاک، کود گاوی، شستشوی برماید، ضرایب هیدرولیکی، منحنی خصوصیات رطوبتی

مقدمه

توصیف منحنی خصوصیت رطوبتی یکی از اصولی‌ترین مباحث هیدرولیک خاک می‌باشد. یکی از راه‌های دسترسی به منحنی خصوصیت رطوبتی استفاده از معادلات رگرسیونی جهت تخمین رطوبت خاک در پتانسیل‌های مختلف می‌باشد. برای این منظور از پارامترهای آسان (Easy measurable properties) مانند جرم مخصوص ظاهری، بافت، مقدار ماده آلی و برخی از ویژگی‌های دیگر خاک استفاده می‌شود(۱۱، ۱۸ و ۲۲).

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیاران خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.8.0]

راه دیگر برای توصیف منحنی خصوصیت رطوبتی خاک ارائه یک معادله پیوسته بین مقادیر رطوبت (θ) و پتانسیل ماتریک خاک (h) می‌باشد (۷ و ۲۰). معادله ۱ معروف به رابطه وانگنختن (۲۰) از این نوع معادلات است:

$$S_e = [\frac{1}{1+(\alpha h)^n}]^m \qquad [1]$$

در رابطه [۱]، α، n و m پارامترهای نامعلوم معادله هستند.

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \qquad [2]$$

زیرنویس‌های r و s به ترتیب معرف رطوبت باقی‌مانده و رطوبت اشباع خاک می‌باشند و S_e اشباع مؤثرنامیده می‌شود که از رابطه ۲ به دست می‌آید. این روابط در بسیاری از مسایل از جمله نفوذپذیری، قابلیت هدایت هیدرولیکی اشباع و غیر اشباع و مقدار آب قابل استفاده به کار می‌روند (۸ و ۲۲).

از طرفی بررسی حرکت املاح در خاک در حالت اشباع و غیر اشباع موضوع بسیاری از تحقیقات بوده است. بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی مانند افزایش کود، سموم و حتی آبیاری (به دلیل وجود املاح) باعث اضافه شدن موادی به خاک و انتقال این مواد به طرف آب‌های زیرزمینی می‌شود(۴ و ۱۲). در بسیاری از مطالعات چگونگی انتقال املاح و عوامل مهم اثر گذار بر این حرکت بررسی شده است. وانگنختن و ویرنگا (۱۹) اعتقاد دارند حرکت املاح و آب در خاک تحت مکانیزم‌های فیزیکی و شیمیایی تعادلی و غیر تعادلی قرار دارد. برای این منظور رطوبت خاک را به دو بخش متحرک و غیر متحرک تقسیم نموده و جریان سریع‌تر آب و املاح را توسط رطوبت متحرک و ماندگار و انتقال املاح غیرفعال را برای مدت طولانی‌تری در خاک ناشی از انتشار آنها از درون رطوبت متحرک به درون بخش رطوبت غیر متحرک می‌دانند. جوری و همکاران (۱۲) خاک را به عنوان یک سیستم پیچیده معرفی می‌کنند که بررسی انتقال املاح در آن به دلیل تغییرات مکانی زیاد، دشوار و استفاده از احتمالات را در این امر ارائه می‌کنند.

افزایش ماده‌آلی موجب تغییر درخصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک شده و در نتیجه بر حرکت املاح نیز اثر می‌گذارد (۱ و ۹). یکی از راه‌های توصیف انتقال املاح پس از ترسیم منحنی توزیع غلظت ماده در خاک، مطالعه مرکز جرم غلظت ماده مورد نظر در طول نیم‌رخ خاک می‌باشد (۱۱). گرابر و همکاران (۱۱) حرکت آترازین را تا عمق ۴ متری تحت تأثیر آبیاری با آب مزرعه و با پساب مطالعه کردند. نتایج آنان نشان داد مرکز جرم آترازین هنگام آبیاری با پساب تا عمق بیشتری حرکت کرده است. تعدادی از تحقیقات گزارش کرده‌اند افزودن ماده آلی به خاک قابلیت هدایت هیدرولیکی آن را بالا می‌برد (۱ و ۱۳) و تعدادی از مطالعات نیز کاهش قابلیت هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری خاک ناشی از افزودن ماده آلی را گزارش کردند. به نظر می‌رسد تأثیر مواد آلی بر خصوصیات هیدرولیکی خاک، تابع نوع خاک و خصوصیات فیزیکی آن باشد(۴ و ۶).

از آنجا که ماده آلی بر ویژگی‌های هیدرولیکی و میزان انتقال مواد شیمیایی در خاک اثر می‌گذارد و با توجه به راندمان پایین آبیاری و کوددهی در ایران، مطالعه اثر مواد آلی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و انتقال املاح در آن از لحاظ منابع آبی و نهاده‌های کودی و هم چنین زیست محیطی حائز اهمیت است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر افزایش کود دامی (کود گاوی) بر خصوصیات فیزیکی و ضرایب هیدرولیکی و هم چنین تأثیرآن بر حرکت برماید (ردیاب) در طول نیم‌رخ خاک در شرایط خاک‌های خشک منطقه کرمان و در مزرعه مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه مؤسسه تحقیقات پسته کشور در استان کرمان انجام شد. خاک این ایستگاه در فامیل Coarse loamy mixed, Typic Torrifluvents قرار گرفته و دارای بافت لوم شنی است (تا عمق ۳۰ سانتی‌متری ۶۶ درصد شن و ۱۸ درصد سیلت). قبل از آزمایش تا عمق ۱۰۵ سانتی‌متری از خاک نمونه برداری و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و هم چنین غلظت Br در آن اندازه‌گیری شد. این پژوهش با ۳ تیمار افزایش کود گاوی (شاهد، ۳۰ و ۶۰ تن در

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.8.0]

هکتار وزن خشک) در کرت‌های ۲×۴ متری، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با ۳ تکرار انجام گرفت. به این ترتیب که مقادیر کود هر کرت به آن اضافه و پس از پخش یک‌نواخت در سطح هر کرت، تا عمق ۳۰cm با خاک مخلوط شد. عملیات مشابهی در کرت‌های شاهد اما بدون افزایش کود صورت پذیرفت. سپس برای دست‌یابی به شرایط مزرعه‌ای و استقرار یک سیستم ریشه‌ای اقدام به کشت ذرت رقم ۷۰۴ به صورت کرتی، ردیفی، به فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۱۰ و عمق کاشت ۵ سانتی‌متر شد. سه ماه پس از افزودن کود آلی ، نمونه‌های دست‌نخورده و دست‌خورده خاک از لایه سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متر) تهیه و جرم مخصوص ظاهری با استفاده از استوانه نمونه‌برداری به حجم ۲۵۳/۹ سانتی‌متر مکعب، تخلخل به روش محاسباتی با استفاده از جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص حقیقی (روش پیکنومتر)، مقدار ماده آلی توسط اکسایش تر و منحنی خصوصیت رطوبتی در ۱۸ زمان با پتانسیل‌های ماتریک ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال با استفاده از دستگاه صفحه فشار (با دقت ۱۰ کیلوپاسکال) اندازه‌گیری و ضرایب معادله وانگنختن (۲۰) (معادله ۱) با استفاده از روش حل معکوس(۱۴) تخمین زده شد.

گیاهان ذرت در شهریور ماه درو و از سطح خاک برداشته شده و محلول KBr به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم Br خالص در هکتار در سطح کرت‌ها به صورت کاملاً یک‌نواخت پاشیده شد و سپس دو روز، ۱۴ روز و ۲۶ روز پس از اضافه کردن Br به ترتیب به میزان ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلیمتر آبیاری غرقابی انجام گردید. یک هفته بعد از هر آبیاری از خاک تا عمق ۱۰۵cm و با توالی ۱۵-۰، ۳۰-۱۵، ۴۵-۳۰، ۶۰-۴۵، ۷۵-۶۰، ۹۰-۷۵ و ۱۰۵-۹۰ سانتی‌متر با استفاده از اگر در تمام کرت‌ها نمونه برداری شد. متوسط رطوبت حجمی نیم‌رخ خاک در هنگام نمونه برداری‌ها ۲۵ درصد بود. غلظت باقی‌مانده Br در عصاره ۱:۵ نمونه‌ها با دستگاه الکترود انتخابگر Jenway مدل ۳۰۴۰ تعیین گردید. نتایج غلظت باقی‌مانده Br در هر زمان در عمق‌های مشابه بین تیمارهای کودی، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. برای هر مرحله نمونه‌برداری، مرکز جرم غلظت باقی‌مانده ردیاب محاسبه شد(۳). برای این منظور غلظت باقی‌مانده برمایه (مؤلفه X) در اعماق نمونه‌برداری شده (مؤلفه Y) اندازه‌گیری و منحنی آن ترسیم گردید. در این مرحله منحنی‌های متفاوتی از توزیع غلظت Br در نیم‌رخ خاک تیمارها به دست آمد. در مرحله بعد سطح هر منحنی به اشکال منظم هندسی تقسیم شد و طبق رابطه ۳ و شکل۱ مکان هندسی مرکز جرم هر منحنی محاسبه گردید(۳). پس از محاسبه مرکز جرم، برای مطالعه تأثیر کاربرد کود آلی بر انتقال Br بین مختصات مکان هندسی مراکز جرم به دست آمده در تیمارهای مختلف مقایسه آماری (آزمون دانکن) انجام شد.

$$\begin{Bmatrix} \overline{X} = \dfrac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} \\ \overline{Y} = \dfrac{\sum m_i y_i}{\sum m_i} \end{Bmatrix} \qquad [۳]$$

$\overline{X}$: مؤلفه افقی مرکز جرم (مقدار غلظت باقی‌مانده ردیاب)

$\overline{Y}$: مؤلفه قائم مرکز جرم (عمق نفوذ ردیاب)

x: مؤلفه افق هر یک از گوشه‌های هر شکل منظم هندسی

y: مؤلفه قائم هر یک از گوشه‌های هر شکل منظم هندسی

i : شماره هر شکل منظم هندسی

نتایج و بحث

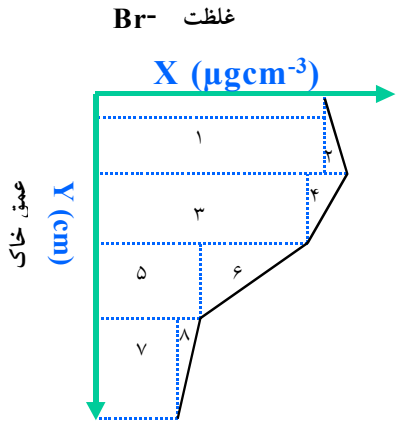
برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه در جدول ۱ و مشخصات کود گاوی در جدول ۲ آمده است.

تأثیر کود دامی بر خصوصیات خاک

تجزیه‌های آماری نشان داد که افزودن کود حیوانی به میزان ۶۰ تن در هکتار موجب کاهش معنی دار جرم مخصوص ظاهری خاک شده است (جدول ۳). کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک به دو دلیل می‌تواند رخ دهد، دلیل اول مخلوط شدن ماده‌ای با جرم مخصوص کمتر با خاک و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.8.0]



شکل ۱. توزیع غلظت باقی‌مانده Br در نیم‌رخ خاک برای محاسبه مرکز جرم غلظت باقی‌مانده Br.
این نمودار به اشکال هندسی منظم تقسیم و سپس با استفاده از رابطه ۳ مختصات مکان هندسی مرکز جرم به دست می‌آید.

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نیم‌رخ خاک مزرعه مورد مطالعه قبل از انجام آزمایش

عمق (cm)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	هدایت الکتریکی (dS/m)	سدیم (meq/l)	آهک (درصد)	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$ (meq/l)	کربن آلی (درصد)	Cl^- (meq/l)	HCO_3^- (meq/l)
۰–۱۵	۶۶	۱۶	۱۸	۳/۶	۱۷/۵	۴۹	۲۲/۴	۰/۱	۱۲	۶
۱۵–۳۰	۶۲	۲۴	۱۴	۲/۱	۱۱/۲	۲۱–۵	۱۰/۸	۰/۱۸	۱۲	۲/۸
۳۰–۴۵	۶۸	۲۰	۱۲	۴/۱	۱۵	۲۷	۳۲/۸	۰/۱۵	۷/۲	۳/۲
۴۵–۶۰	۷۲	۱۶	۱۲	۳/۹	۱۵	۲۶	۳۲/۸	۰/۱۱	۵/۶	۲
۶۰–۷۵	۶۶	۲۰	۱۴	۵	۱۶	۲۷	۴۰	۰/۱	۱۱/۲	۲
۷۵–۹۰	۷۰	۲۲	۸	۴/۱	۱۵	۲۶/۵	۳۲/۴	۰/۱	۸	۳/۲
۹۰–۱۰۵	۶۶	۲۴	۱۰	۴/۴	۱۵	۲۸	۳۶/۸	-	۱۰	۲/۴
۱۰۵–۱۲۰	۶۰	۳۱	۹	-	-	-	-	-	-	-

به علت اندازه‌گیری نکردن کلیه آنیون‌ها و کاتیون‌ها در هر نمونه خاک حاصل جمع آنیون ها و کاتیون‌های هر نمونه خاک در جدول فوق برابر نمی‌باشند.

جدول ۲. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی عصاره اشباع کود گاوی مورد استفاده در تحقیق

چگالی (gr/cm^3)	EC_e(dS/m)	pH	Na^{+1} (meq/l)	$Ca^{+2}+Mg^{+2}$ (meq/l)
۰/۳	۴۴/۲	۶/۷	۶۲	۱۵۵

OC%	P (ppm)	K (ppm)	Cl^-(meq/l)	HCO_3^-(meq/l)
۲۸	۱۳۲	۲۷۰۰۰	۲۸۰	۱۰۰

OC: کربن آلی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.8.0]

جدول۳. تأثیر افزایش کود گاوی بر جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، مقدار کربن آلی رطوبت باقی‌مانده و اشباع و دو ضریب از معادله وانگنختن (۲۰) در خاک مورد مطالعه

تیمار	n	α	θs # (cm^3/cm^3)	θr (cm^3/cm^3)	کربن آلی (%)	تخلخل (%)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)
شاهد	۸/۷۲ a*	۰/۰۵ b	۰/۳۹ b	۰/۰۸	۰/۱۰ c	۴۰/۳۸ b	۱/۵۸ b
۳۰ تن	۳/۴۳ b	۰/۰۷ b	۰/۳۹ b	۰/۰۵	۰/۳۵ b	۴۱/۸۹ b	۱/۵۴ b
۶۰ تن	۲/۶۷ b	۰/۱۵ a	۰/۴۸ a	۰/۰۵	۰/۵۵ a	۴۴/۱۵ a	۱/۴۸ a

*: اعداد دارای حروف مشابه در یک ستون دارای تفاوت معنی‌دار نمی باشند(سطح ۰/۰۵ آزمون چند دامنه‌ای دانکن).

: مقدار θs از طریق حل معکوس(۱۴) به دست آمده که الزاما با مقدار تخلخل برابر نمی‌باشد. مقدار تخلخل در آزمایشگاه تعیین شد.

دلیل دوم آن ناشی از تأثیرات غیر مستقیم ماده آلی است. به این ترتیب که ماده آلی موجب بهبود ساختمان و دانه‌بندی خاک می‌شود و از این طریق جرم مخصوص ظاهری خاک را کاهش می‌دهد. مورچان و همکاران (۱۵) اعتقاد دارند عامل اصلی کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک بر اثر افزایش ماده آلی تأثیر آن بر بهبود ساختمان و افزایش تخلخل خاک است. به نظر می‌رسد در این جا تأثیر هر دو عامل موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شده است. البته نتایج تحقیق نشان داد که تخلخل خاک نیز تحت تأثیر کود دامی افزایش معنی‌دار پیدا کرده است (جدول۳)

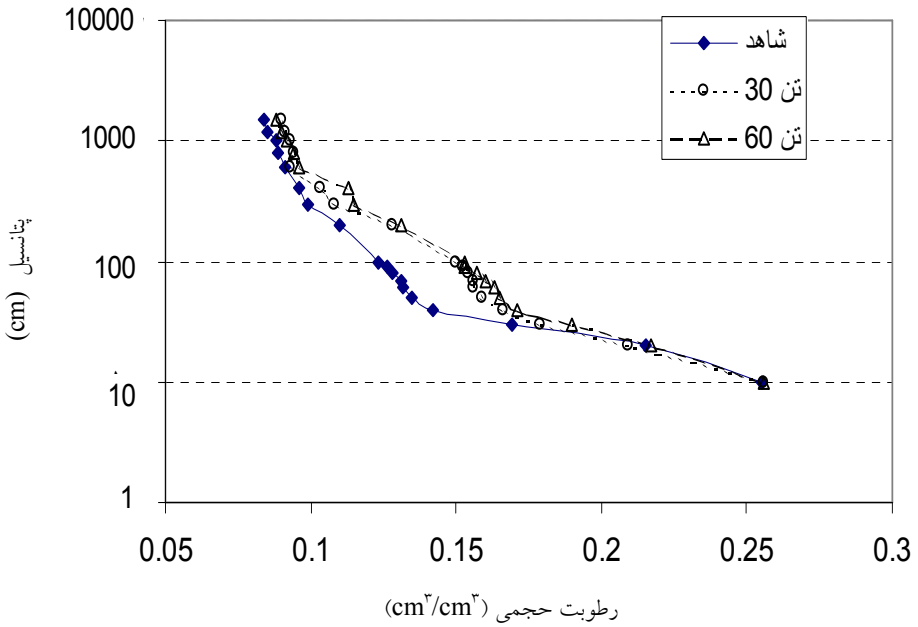
افزودن کود گاوی موجب افزایش معنی دار ماده آلی خاک شده است (جدول۳). درصد ماده آلی خاک به ترتیب ۳/۵ و ۵/۵ برابر در تیمارهای ۳۰ و ۶۰ تن در هکتار کود آلی نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط بهره‌مند و همکاران گزارش شده است (۱).

تأثیر کود دامی بر منحنی مشخصه رطوبتی و ضرایب آن

منحنی خصوصیت رطوبتی خاک برای هر ۳ تیمار شاهد، ۳۰ و ۶۰ تن افزایش کود گاوی در هکتار در شکل ۲ آمده است. نتایج حاکی از انتقال منحنی مذکور از سمت پتانسیل‌های کمتر به سمت پتانسیل‌های بیشتر و یا از سمت رطوبت‌های کمتر به سمت رطوبت‌های بیشتر در اثر اعمال تیمارهای کود گاوی شده است. این افزایش رطوبت در دامنه پتانسیل‌های ۳۰ تا ۴۰۰ کیلوپاسکال از نظر آماری معنی‌دار بوده و دلیل آن افزایش تخلخل متناظر با پتانسیل‌های مذکور است (جدول۳). به نظر می‌رسد سهم تخلخل متناظر با پتانسیل‌های ۳۰ تا ۴۰۰ کیلوپاسکال در دو تیمار ۳۰ و ۶۰ تن افزایش کود دامی، افزایش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد پیدا کرده است و موجب تغییر شکل و شیب منحنی خصوصیت رطوبتی خاک شده است. هرچند انتقال منحنی خصوصیات رطوبتی خاک در دامنه ذکر شده تأثیری بر مقدار آب قابل استفاده گیاه نخواهد داشت (به دلیل این که آب قابل استفاده مقدار آبی است که بین پتانسیل‌های ۳۰و۱۵۰۰ کیلو پاسکال نگه‌داری می‌شود)، ولی بر میزان آب سهل الوصول تأثیر می‌گذارد. به این ترتیب که در مکش‌های نزدیک به ۱۰۰ کیلوپاسکال مقدار آب خاک افزایش پیدا کرده است و با توجه به تغییرات کمتر رطوبت در پتانسیل‌های متناظر با نقاط مرطوب‌تر باعث کاهش آب سهل الوصول خاک می‌شود (البته آب سهل الوصول نسبت به هر محصول متفاوت است ولی به دلیل بالاتر بودن منحنی‌های مربوط به تیمارهایی که کود آلی دریافت کرده‌اند همواره آب

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.8.0]



شکل۲. نمودار تأثیر افزایش سطوح کود دامی بر منحنی خصوصیت رطوبتی خاک مورد مطالعه

سهل الوصول کمتر می‌باشد).

جدول ۳ تأثیر افزایش کود دامی بر ضرایب معادله وانگنختن (۲۰) (به دست آمده با استفاده از روش حل معکوس) را نشان می‌دهد. نتایج گویای این است که افزایش کود دامی در سطح ۶۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار θ_s و α شده است. از طرفی افزایش کود آلی در هر دوسطح موجب کاهش معنی‌دار n گردیده است. فلتون و علی (۹) نیز تغییر ضرایب معادله منحنی خصوصیت رطوبتی را ناشی از افزایش ماده آلی به خاک گزارش کردند. افزایش ماده آلی مانند کودهای حیوانی موجب تغییر برخی از خواص فیزیکی شده است، طبق نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد تأثیر افزایش ماده آلی بر منحنی خصوصیت رطوبتی خاک ناشی از طبیعت جاذبه الرطوبه بودن این مواد و هم چنین تأثیر غیر مستقیم آن بر خواص دیگر خاک از جمله ماکرواستراکچرها (Macrostructures) و میکرواستراکچرها (Microstructures) باشد.

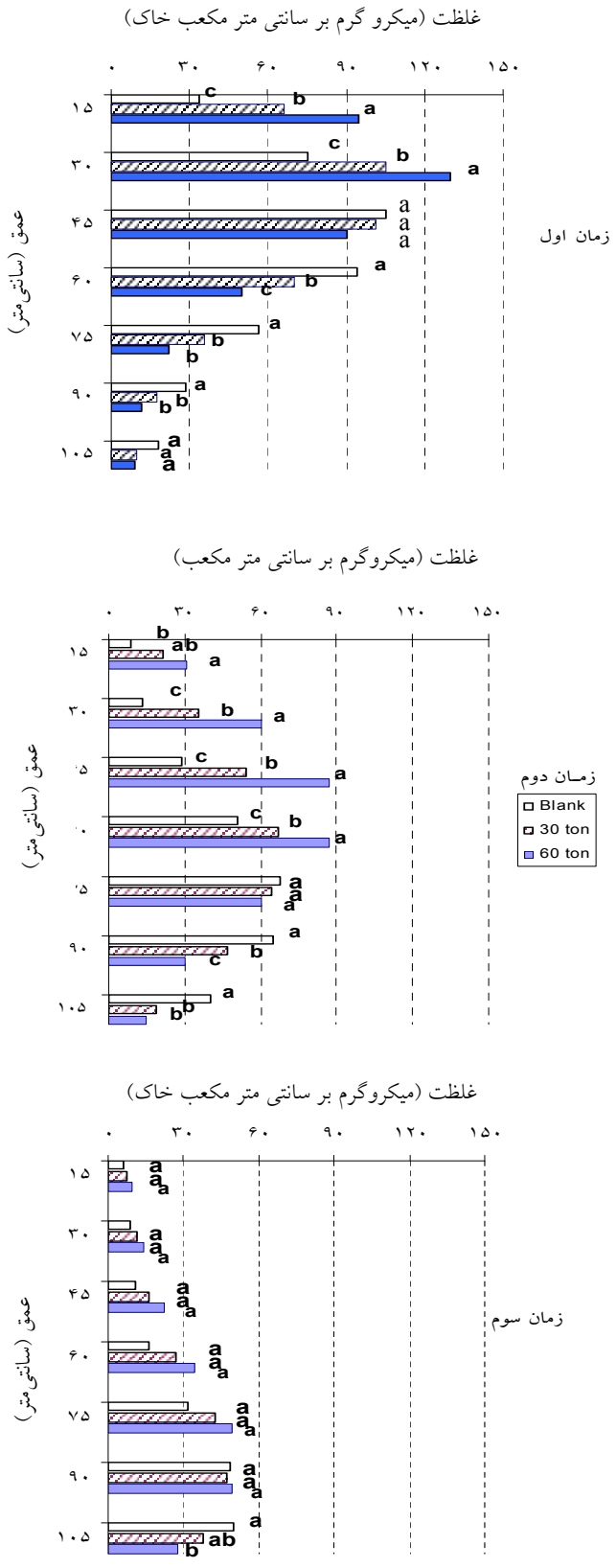
تأثیر کود دامی بر انتقال برماید در نیم‌رخ خاک

نتایج بررسی حرکت Br در نیم‌رخ خاک در کرت‌های آزمایش در شکل ۳ آمده است. از آنجا که مقدار Br قبل از آزمایش در طول نیم‌رخ خاک در حد قابل اندازه‌گیری مشاهده نشده، بنابراین فرض می‌شود که تمامی برماید مشاهده شده در نمونه‌های خاک از منشا KBr افزوده شده در سطح کرت‌ها باشد.

بعد از اولین آبیاری مقداری از ردیاب به ترتیب ۱۸, ۹ و ۱۰ میکروگرم بر سانتی‌مترمکعب در تیمارهای شاهد، ۳۰ و ۶۰ تن کود تا آخرین عمق مورد مطالعه مشاهده می‌شود. این موضوع احتمالاً در نتیجه حرکت ترجیحی می‌باشد. دلیل این حرکت وجود معابر درشت، مانند درز و شکاف، مجاری ناشی از پوسیدگی ریشه‌ها، کانال‌های محل عبور کرم‌های خاکی و غیره است. در خاک‌هایی که ساختمان خوبی نیز دارند حرکت آب از بین خاکدانه‌ها سریع‌تر از حرکت آب از درون خاکدانه‌ها می‌باشد. شعبانپور (۲) جریان‌های ترجیحی را در مزرعه مطالعه کرد و نتیجه گرفت که نوع کشت به خصوص در دراز مدت بر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.8.0]



شکل۳. تأثیر کود دامی بر مقادیر غلظت باقی‌مانده برمایدر در سه زمان نمونه‌برداری

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار آماری توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.8.0]

آن مؤثر است. بجات و همکاران (۵) وجود جریان ترجیحی را از دلایل عدم موفقیت مدل‌ها در برازش پیش‌بینی‌های آنها می‌دانند.

انتقال بیشتر Br در زمان دوم و سوم نمونه‌برداری به سمت عمق خاک نسبت به زمان اول (بعد از آبیاری دوم و سوم)، نشان‌دهنده تأثیر عامل جریان توده‌ای بر انتقال برماید می‌باشد. در واقع زمانی که کرت‌ها آبیاری می‌شوند مقداری از آب آبیاری از درون مجاری درشت‌تر با سرعت بیشتری به سمت عمق حرکت می‌کند و در این انتقال مقداری از املاح خاک نیز جابه جا می‌شوند. مشاهده غلظت قابل ملاحظه‌ای از ردیاب در اولین عمق مورد مطالعه پس از ۴۰۰ میلی‌متر آبیاری دلیل بر مقاومت بخشی از ردیاب نسبت به شستشو توسط آب آبیاری است.

وانگنختن و ویرنگا (۱۹) برای این منظور رطوبت خاک را به دو بخش تقسیم کردند. بخش اول رطوبت متحرک که شامل رطوبتی است که در فضاهای بین خاکدانه‌ای جای گرفته است و بخش دوم رطوبتی است که درون فضاهای درون خاکدانه‌ای واقع است. حرکت آب و به تبع آن املاح در بخش متحرک سریع و انتقال املاح از و یا به بخش غیر متحرک بسیار کند است و دلیل آن را نقش مهم پدیده انتشار در این انتقال معرفی می‌کنند (۱۶، ۱۷ و ۱۹).

مقایسه آماری نشان داد در تیمار ۶۰ تن کود گاوی در هکتار، در اولین عمق (۱۵cm-۰) و زمان اول نمونه‌برداری مقدار غلظت باقی‌مانده ردیاب به صورت معنی‌داری بیشتر از تیمارهای ۳۰ تن است. در این زمان بیشینه غلظت باقی‌مانده ردیاب در تیمار شاهد، ۳۰ و ۶۰ تن کود دامی در هکتار به ترتیب در عمق‌های۴۵-۳۰و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر مشاهده گردید. عمق بیشینه غلظت باقی‌مانده در تیمار شاهد، ۳۰ و ۶۰ تن افزایش کود دامی در هکتار و در زمان دوم و سوم نمونه برداری به ترتیب عبارت است از ۷۵-۶۰، ۶۰-۴۵ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر و ۱۰۵-۹۰، ۹۰-۷۵ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر. به نظر می‌رسد افزایش کود آلی از طریق تغییر توزیع خلل و فرج خاک (منحنی خصوصیت رطوبتی) بر حرکت آب در خاک تأثیر می‌گذارد. نتایج نشان داد تیمارهای کود دامی موجب بیشتر شدن سهم خلل و فرج ریزتر در خاک شده است، بنابراین طبق اصول هیدرولیک خاک باید قابلیت هدایت هیدرولیکی کاهش و در نتیجه انتقال ردیاب و آب در خاک کندتر صورت گیرد. مشابه این نتایج را باتوم و همکاران (۶) و بارینگتون و مادراموتو (۴) گزارش کردند. البته تصور می‌شود افزایش مواد آلی در خاک‌های با بافت متفاوت (بافت سنگین) نتیجه مشابه‌ای نداشته باشد. برای مثال گرابر و همکاران (۱۰) افزودن مواد آلی موجب افزایش سرعت آب و املاح را در یک خاک سنگین گزارش کردند.

تأثیر کود دامی بر مکان هندسی مرکز جرم غلظت باقی‌مانده برماید در نیم‌رخ خاک

نتیجه مطالعه مرکز جرم غلظت باقی‌مانده ردیاب نشان می دهد که حرکت ردیاب در خاک مورد مطالعه تحت تأثیر افزایش کود دامی قرار گرفته است. به طوری که مرکز جرم غلظت باقی‌مانده ردیاب همواره در تیمارهایی که کود حیوانی دریافت کرده بودند در عمق‌های بالاتری واقع شده است (جدول ۴). این نتایج هم چنین نشان می‌دهد که با افزایش آبیاری مرکز جرم مذکور به سمت مقادیر کمتر X و مقادیر بیشتر Y انتقال یافته است. بررسی آماری تأثیر کاربرد کود آلی بر میزان انتقال ردیاب در خاک انجام شده و بین مؤلفه‌هایY (عمق) مراکز جرم به دست آمده تیمارها، مقایسه‌های آماری براساس طرح آزمایشی مورد استفاده صورت گرفت. نتایج نشان داد در اولین زمان نمونه‌برداری مؤلفه عمودی مرکز جرم (عمق) در تیمار۳۰ و۶۰ تن افزایش کود دامی، کاهش معنی داری نسبت به تیمارهای شاهد داشته‌اند. در زمان دوم نمونه‌برداری نتایج مشابه زمان اول حاصل گردید. نتایج مربوط به زمان سوم نمونه‌برداری نشان می‌دهند اختلاف معنی‌داری بین مؤلفه عمودی (عمق ردیاب) مرکز جرم تیمارها مشاهده نمی‌شود.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.8.0]

جدول ۴. جدول مختصات مرکز جرم غلظت باقی‌مانده ردیاب و بررسی آماری تأثیر تمیار سطوح کودی در زمان‌های اول، دوم و سوم بر مؤلفه‌های آن

زمان	تیمار	X(میکرو گرم بر سانتی‌متر مکعب خاک)	Y (سانتی متر)
اول	شاهد	۳۸/۲۷	۵۳/۱۴ [a]
	۳۰ تن در هکتار	۴۰/۵۰	۴۶/۱۱ [b]
	۶۰ تن در هکتار	۳۹/۸۵	۴۲/۱۱ [c]
دوم	شاهد	۲۵/۹۰	۷۰/۴ [a]
	۳۰ تن در هکتار	۲۶/۱۲	۶۱/۲ [b]
	۶۰ تن در هکتار	۳۰/۱۴	۵۵/۱۲ [c]
سوم	شاهد	۱۶/۷۰	۷۷/۰۳ [a]
	۳۰ تن در هکتار	۱۷/۶۱	۷۱/۸۴ [a]
	۶۰ تن در هکتار	۱۶/۶۱	۶۹/۱۹ [a]

X: مؤلفه غلظت باقی‌مانده ردیاب در نیم‌رخ خاک

Y: مؤلفه عمق نفوذ ردیاب در نیم‌رخ خاک

نتیجه‌گیری

افزایش کود دامی به خاک، موجب تغییر برخی از خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک شده است. متمایل شدن منحنی خصوصیت رطوبتی خاک به سمت پتانسیل‌های بیشتر(افزایش سهم خلل و فرج ریز) موجب می‌شود در این خاک آب با انرژی بیشتری نگه‌داری شود و از سهولت حرکت آن کاسته شود (طبق رابطه پوازی). نتایج بعدی نشان داد افزایش کود دامی می‌تواند بر ضرایب هیدرولیکی خاک (۲۰) اثر معنی‌داری داشته باشد، بنابراین جا دارد در بررسی‌های بعدی سعی در یافتن روابطی بین ضرایب فوق و مقدار ماده آلی خاک شود. مطالعه حرکت ردیاب نیز نشان داد که انتقال این ماده در پلات‌هایی که کود حیوانی دریافت کرده‌اند به صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کمتر بوده است. استفاده از شاخص مرکز جرم املاح نیز این موضوع را تأیید کرد. به نظر می‌رسد در خاک‌هایی که بافت سبک دارند و دارای هدایت هیدرولیکی زیادی می‌باشند (مانند خاک مورد مطالعه) افزایش کود حیوانی موجب کاهش حرکت آب و به پیروی از آن املاح خاک به سمت عمق می‌شود. البته نتایج تا عمق مورد مطالعه نشان داد پس از ۴۰۰mm آبیاری بین مقدار غلظت باقی‌مانده ردیاب در نیم‌رخ خاک در تمام تیمارها تفاوت معنی‌داری به جز در آخرین عمق مشاهده نشد.

منابع مورد استفاده

۱. بهره‌مند، م. ر.، م. افیونی، م. ع.، حاج‌عباسی و ی. رضایی‌نژاد. ۱۳۸۱. اثر لجن فاضلاب بر برخی خواص فیزیکی خاک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۶ (۴) : ۱ – ۸.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.8.0]

۲. شعبانپور شهرستانی، م. ۱۳۷۹. انتقال املاح در شرایط مزرعه. پایان‌نامه دکتری آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳. مریام، جی. ال. و ال. جی. گریگ. ۱۳۷۹. *استاتیک* (ترجمه ع. سینایی). ویرایش چهارم، انتشارات نما، تهران.

4. Barrington, S.F. and C.A. Madramootoo. 1989. Investigating seal formation from manure infiltration into soils. Trans. ASAE 32:851-856
5. Bejat, L.E., V.L. Perfect, M.S. Quisenberry, M. S. Coyne and G. R. Haszler. 2000. Solute transport as related to soil structure in unsaturated intact soil blocks. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:818-826.
6. Bottom, Y.D., J. L. Taraba and I. J. Ross. 1986. Infiltration rate reduction on dairy manure plots. ASAE paper No. 86-4057. MI.
7. Brooks, R. H. and A. T. Corey. 1964. Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper No. 3, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado. 27 pp.
8. Endelman, F.J., E.E.P. Box, J. R. Boyle, R.R. Hughes, D.R. Keeney, M.L. Northrup and P.G. Saffinga. 1974. The mathematical modeling of soil-water nitrogen phenomena. E DFB-IBP-74-8.Oak Ridge National laboratory, Oak Ridge, Tenn.
9. Felton, G. K. and M. Ali. 1992. Hydraulic parameter response to incorporated organic matter in the B-horizon. Trans. ASAE 35(4):1153-1160.
10. Graber, E.R., Z.Gerstl, E. Fischer and U. Mingelgrin. 1995. Enhanced transport of Atrazine under irrigation with effluent. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1513- 1519 .
11. Gupta, S. C. and W.E. Larson.1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content and bulk density. Water Resour. Res. 15:1633-1635.
12. Jury, W. A., J. S. Dyson and G. L Butter. 1990. Transfer function model of field-scale solute transport under transient water flow. Soil Sic. Soc. Am. J. 54:327-332.
13. Khaleel, R., K. R. Reddy and M. R. Overcash. 1981. Change in soil physical properties due to organic waste application: A review. J. Environ. Qual. 10:133-141.
14. Leij, F.J., M.Th. Van Genuchten, S.R. Yates, W.B. Russell and F. Kaveh. 1991. RETC: A Computer Program for Describing and Analyzing Soil Water Retention And hydraulic Conductivity Data. *In*: M.Th. Van Genuchten et.al. (Ed.), Proc. Inter. workshop. Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils, Riverside, Ca. 11-13 Oct. 1989. Univ. of California, Riverside. Ca.
15. Morachan Y.B., W.C. Moldon Hauer and W.E. Larson. 1972. Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn: Yields and soil physical properties. Agron. J. 64:199-203.
16. Parker, J. C., A.D. M. Th. Van Genuchten. 1984. Determining transport parameters from laboratory and field tracer experiments. Virginia Agric. Exp. Stn. Bull.84-3. Virginia Polytechnic Inst. State Univ., Blacksburg, VA.
17. Rao, P. S. C., D. E. Rolson, R. E. Jessup and j. M. Davidson.1980. Solute transport and aggregated porous media: theoretical and experimental evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:1139-1146.
18. Rawls, W. J., D. L. Brakensiek and K. E. Saxton. 1982. Estimating soil water properties. Trans. ASAE 25(5):1316-1320.
19. van Genuchten, M. Th. and P.J. Wieringa. 1976. Mass transfer studies in sorbing porous media. I. Analytical solution. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:473-480
20. van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Am. J. 44:892-898.
21. Vereecken, H., J. Maes, J. Feyen and P. Darius. 1989. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content. Soil Sci. 148 (6): 389-402.
22. Williams R. D., L. R. Ahuja and J. W. Naney. 1992. Comparison of methods to estimate soil water characteristic from soil texture, bulk density and limited data. Soil Sci. 153 (3): 172-184.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-21]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.3.8.0]