مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۱، سال ۱۳۸٤

اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب بر پایداری خاکدانه ها، نفوذپذیری و جرم مخصوص ظاهری خاک

عبدالرضا زائری، یحیی رضائی نژاد، مجید افیونی وحسین شریعتمداری[1]

چکیده

لجن فاضلاب بامقدار بالای مواد آلی، علاوه بر بهبود کیفیت شیمیایی و حاصلخیزی خاک می‌تواند در بهسازی خصوصیات فیزیکی خاک نیزاثرات مثبت زیادی داشته باشد. در این تحقیق نقش اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب (هدایت الکتریکی ۹/٤ دسی زیمنس و pH ٦/٤) بر نفوذپذیری، جرم مخصوص ظاهری خاک و پایداری خاکدانه ها مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه در مزرعه، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار و چهار سطح لجن فاضلاب (۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰تن درهکتار) انجام گردید. جهت تعیین اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب بر خصوصیات فیزیکی خاک، در سال دوم هرکرت (۳×۱۵)به دو قسمت۳×۱۲و۳×۳ متر تقسیم شد. در قسمت بزرگتر لجن به مقدار تیمارهای ذکر شده در بالا اضافه گردید، در قسمت کوچکتر لجنی اضافه نشد. در یک سال اول گندم و دوم ذرت کاشته شد. اندازه گیری خصوصیات فیزیکی پس ازنمونه گیری در دو زمان ۱۰۰و۲۱۰روز پس از کاشت گیاه ذرت انجام گرفت. استفاده از لجن فاضلاب در دو سال پیاپی باعث افزایش نفوذپذیری و پایداری خاکدانه ها و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در زمانهای اول و دوم شد. بیشترین تاثیر در کلیه خصوصیات را تیمار لجن فاضلاب ۱۰۰+۱۰۰تن درهکتار نشان داد. لجن فاضلاب باقیمانده در خاک نیز باعث افزایش نفوذپذیری و پایداری خاکدانه ها و کاهش جرم مخصوص ظاهری در مقایسه با تیمار شاهد گردید. نتایج بدست آمده حاکی از اینست که تاثیر لجن فاضلاب و تداوم آن به میزان زیادی وابسته به میزان لجن مصرفی خواهد بود.

واژه های کلیدی: لجن فاضلاب، پایداری خاکدانه، نفوذپذیری، جرم مخصوص ظاهری، مواد آلی.

مقدمه

حفظ مقدار مطلوب ماده آلی خاک یکی از اساسی‌ترین اصول کشاورزی پایدار است. بنابراین مواد آلی باید مرتبا به خاک اضافه شوند. این نیاز در مناطق خشک و نیمه خشک با توجه به مقدار کم مواد آلی و محدود بودن منابع کودهای دامی محسوس تر است. موادی همچون بقایای گیاهی، فضولات دامی، زباله و فاضلاب از منابع قابل دسترس مواد آلی دراغلب این مناطق هستندکه از دورانهای گذشته تا به حال از آنها استفاده شده است. در این بین لجن فاضلاب به دلیل ارزان بودن و قرار گرفتن عناصر آن در چرخه غذایی انسان از اهمیت ویژه‌ای بر خوردارد است (۱). کاربرد لجن فاضلاب در اراضی کشاورزی به عنوان کود، علاوه بر بهبود کیفیت شیمیایی و حاصلخیزی خاک می‌تواند در بهسازی خصوصیات فیزیکی خاک نیز اثرات مثبت زیادی داشته باشد (۱). نفوذ پذیری از مهمترین اجزاء چرخه هیدرولوژیکی و یکی از معمول‌ترین پدیده های فیزیکی است که پژوهشگران علوم خاکشناسی و کشاورزی نسبت به آن توجه خاصی دارند. فرآیند ورود آب به خاک، از سطح خاک

۱- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیاران گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

تاریخ دریافت: ۸۲/۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۸۳/۱۱/۱۹

و در جهت عمودی نفوذپذیری نامیده می‌شود (۲). از نظر کمی، شدت نفوذ، عبارتست ازحجم آب ورودی به درون خاک در واحد سطح و در واحد زمان وقتی که سطح خاک غرقاب باشد (۲). عوامل متعددی از قبیل بافت، ساختمان، مقدار ماده آلی، نوع کانیهای رسی و غلظت املاح محلول در نفوذپذیری خاک موثر می‌باشند (۴). اضافه نمودن کودهای آلی از جمله لجن فاضلاب موجب بهبود ساختمان و به دنبال آن بهبود نفوذپذیری خاک می‌گردد. بهره مند و همکاران (۳) در تحقیق بر روی خاک‌های اصفهان نتایجی مبنی بر افزایش نفوذپذیری خاک در هنگام افزایش سطح لجن فاضلاب را گزارش کردند. آنان همچنین مشاهده کردندکه با گذشت زمان از مصرف لجن، میزان نفوذ نهایی خاک کاهش می‌یابدکه دلیل آنرا به کاهش پایداری خاکدانه‌ها ربط دادند. بویل و همکاران (۶) دریک تحقیق به این نتیجه رسیدندکه افزایش ماده آلی موجب پایداری خاکدانه ها، نفوذپذیری بهتر آب درخاک، تهویه بهتر و افزایش درصد خلل و فرج در خاکهای تیمار شده با این مواد می‌شود. لوگان و هاریسون (۱۰) گزارش کردندکه افزودن لجن فاضلاب باعث افزایش خلل و فرج و به دنبال آن افزایش نفوذپذیری خاک گردیده و فرسایش بوسیله روان آب کاهش می یابد. اپستاین و همکاران (۸) دریافتند که اضافه کردن ۶۵ و ۱۰۳ تن در هکتار لجن فاضلاب به خاک، منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری از ۱/۱۳ گرم بر سانتی متر مکعب به ۱/۰۵ و ۰/۹۹ گرم بر سانتی متر مکعب می‌گردد. در تحقیقی که گوپتا و همکاران(۹) در یک خاک شنی در ایالت مینوسوتای آمریکا انجام دادند نشان داده شد که با افزایش ماده آلی، جرم مخصوص ظاهری خاک بدلیل افزایش خلل و فرج کل و تغییر توزیع اندازه خلل و فرج، کاهش می‌یابد. شینبرگ و همکاران (۱۶) پایداری پایین خاکدانه‌ها را از مشخصات خاک های نواحی خشک و نیمه خشک دانسته و اظهارمی دارند که افزایش مواد آلی به خاک های این مناطق سبب بهبود وضعیت خاکدانه‌ها می‌گردد. تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها اثرات چشمگیری بر دیگر خواص فیزیکی خاک از جمله ظرفیت نگهداری آب، تهویه، انتقال گرما و تخلخل کل خاک دارد (۱۶). خلیل و همکاران (۱۲) گزارش کرد که افزودن لجن فاضلاب ۳۰ تن درهکتار باعث بهبود پایداری خاکدانه‌ها و نهایتاً تشکیل ساختمان پایدار شده که خود می‌تواند موجب سهولت نفوذ و حرکت آب در خاک شود. چینی وسوفت (۷) نشان دادند که همبستگی معنی‌داری بین پایداری خاکدانه‌ها و میزان ماده آلی خاک وجود دارد.

سابقه استفاده از لجن فاضلاب در اصفهان به دلیل وجود تصفیه‌خانه‌های فاضلاب درآن از سایر شهرهای ایران زیادتر است. دراین شهراستفاده ازلجن فاضلاب، به عنوان کودکشاورزی مرسوم است (۱). اما تحقیقات پیرامون اثر کاربرد آن برجنبه‌های فیزیکی خاک بسیار اندک و محدود می‌باشد. بنابراین، این طرح با هدف بررسی اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب بر نفوذ- پذیری، جرم مخصوص ظاهری و پایداری خاکدانه ها اجرا گردیده است.

مواد و روشها

این طرح در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد انجام گردید. این منطقه در۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان و در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۶۳۰ متر و طبق تقسیم بندی کوپن دارای اقلیم نیمه خشک با تابستانهای گرم و خشک است. متوسط بارندگی و

درجه حرارت سالانه منطقه به ترتیب ۱۴۰ میلی متر و ۱۴/۵ درجه سانتی گراد می‌باشد. خاک مورد آزمایش جزء تحت گروه تیپیک‌هاپل آرجید و درسری خاک خمینی‌شهر قرار می‌گیرد و جزء فامیل فاین – لومی، میکسد، ترمیک تیپیک هاپل آرجید[1] است (جدول ۱).

چهارسطح لجن فاضلاب شامل شاهد(بدون لجن فاضلاب)، ۲۵، ۵۰ و۱۰۰ تن لجن فاضلاب برهکتار در سه تکرار به کرتهای ۳×۱۵متری اضافه شد (جدول ۲). به منظور بررسی اثرات تجمی و باقیمانده لجن فاضلاب برخواص فیزیکی خاک، تیمارهای مختلف لجن فاضلاب، یکبار در سال۱۳۷۷و یک بار در سال ۱۳۷۸ به خاک اضافه شد، که در این مقاله به ترتیب به آنهامرحله اول و دوم نامیده خواهد شد. برای اضافه کردن لجن فاضلاب در مرحله دوم، هریک ازکرتهای اولیه به دو کرت به ابعاد۳×۱۲و۳×۳ متر تقسیم گردید و سپس به کرت بزرگترتیمار لجن فاضلاب، در هر سه سطح ۲۵ ، ۵۰، ۱۰۰تن در هکتار، برای بار دوم اضافه شد. لجن فاضلاب پس از اضافه شدن در کرتها تا عمق ۳۰ سانتی متری با خاک مخلوط گردید. در هر سال۱۳۷۷و ۱۳۷۸به ترتیب گندم رقم روشن و ذرت رقم سینگل کراس۷۰۴ کشت شدند. آبیاری به صورت کرتی باآب چاه مزرعه لورک صورت گرفت. هدایت الکتریکی و pH متوسط آب آبیاری به ترتیب معادل ۱/۲ دسی‌زیمنس برمتر و ۷/۴ بود.

اندازه گیری قابلیت نفوذ به کمک استوانه‌های مضاعف فلزی[2] در دو زمان ۱۰۰و۲۱۰ روز پس از کاشت ذرت در سال ۱۳۷۸ در سه تکرار انجام شد. جهت تعیین میزان نفوذ آب به خاک از مدل کوستیاکوف استفاده گردید. معادلات تجربی متعددی توسط محققین جهت تعیین میزان نفوذ آب به خاک ارائه گردیده است. از میان معادلات مختلف نفوذ، معادله نفوذ کوستیاکوف در مجموع بهتر از دیگر معادلات با شرایط آزمایشات صحرایی تطبیق داشته است. این معادله با موفقیت به اطلاعات حاصل از آزمایشهای نفوذسنجی که بوسیله استوانه‌های مضاعف بدست آمده برازش داده شده است. کوستیاکوف در سال۱۹۳۲ معادله نفوذتجمعی عمودی را در معادله ۱ ارائه داد (۲):

$$D = at^b \qquad (۱)$$

که در آن D نفوذ تجمعی(سانتی متر)، t زمان نفوذ(دقیقه)، a میزان نفوذ آب در اولین واحد زمانی و (b) آهنگ کاهش نفوذ تجمعی را با گذشت زمان نشان می‌دهند. اگر از معادله نفوذ تجمعی کوستیاکوف نسبت به زمان مشتق گرفته شود، معادله سرعت نفوذ لحظه‌ای بدست خواهد آمد:

$$I = At^B \qquad (۲)$$

که در آن I سرعت نفوذ لحظه‌ای (سانتی متربرساعت)، AوB ضرایب معادله سرعت نفوذکه به صورت$A=a.b$ و$B=b-1$ با ضرایب معادله نفوذ تجمعی درارتباط می باشند.

جهت تعیین جرم مخصوص ظاهری، نمونه های خاک دست نخورده به قطر ۷/۰۲ و ارتفاع ۷/۹۵ سانتی متر در دو زمان ۱۰۰و۲۱۰ روز بعد از کاشت ذرت، تهیه شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها در دمای ۱۰۵درجه سانتی گراد و توزین آنها، جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه‌گردید.

پایداری خاکدانه ها پس از قراردادن نمونه های خاک بر روی یک ردیف الک (الکها با اندازه های۲، ۱ ، ۰/۵، ۰/۲۵میلی متر از بالا به پایین) که در آب با سرعت و زمان مشخص بالا و پایین برده می شدند با

1-Fine Loamy, Mixed, Thermic, Typic Haplargid

2-Double ring

جدول۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد آزمایش

ویژگی	PH	ECe(dS/m)	ماده آلی gkg^{-1}	نیتروژن gkg^{-1}	فسفر gkg^{-1}	پتاسیم gkg^{-1}
رسی	۷/۹	۳/۰	٦	۰/۹	۳۵	۲٤٥

جدول۲- خواص شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده

ویژگی	PH	ECe(dS/m)	ماده آلی gkg^{-1}	نیتروژن gkg^{-1}	فسفر gkg^{-1}	پتاسیم gkg^{-1}
رسی	٦/٥	۱۳/٥	۲٦۸	۳۸	٦/۲	۲/۳

استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید:

$$MWD=\Sigma wixi \quad (۳)$$

که درآن Xi میانگین قطرخاکدانه‌های باقیمانده برروی هر الک(میلی متر) و W_{ig} نسبت وزنی خاکدانه‌ها در هر الک به وزن کل نمونه خاک می باشد. ماده آلی خاک نیز با روش اکسایش ترتعیین شد.

نتایج وبحث

۱- درصد ماده آلی

افزودن لجن فاضلاب، ماده آلی خاک را درمقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳). درصد ماده آلی خاک درزمان اول نمونه برداری از ۰/۷ در خاک سطحی تیمار شاهد به ۱/۷و۲/۲ به ترتیب درتیمارهای۵۰+۵۰و۱۰۰+۱۰۰تن در هکتار لجن فاضلاب افزایش یافت. افزایش یکبار لجن فاضلاب در خاک نیز باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک در مقایسه با تیمار شاهد گردید. به طوری که مقدار ماده آلی خاک در این تیمارها نیز در زمان اول نمونه برداری در کلیه سطوح لجن بالاتر از شاهد بود. لجن فاضلاب حاوی ۳۱ درصد مواد آلی است که پس از اضافه شدن به خاک باعث افزایش ماده آلی خاک می‌گردد (۱۵). باگذشت زمان ازمصرف لجن، مقدارماده آلی خاک کاهش یافت و در زمان دوم نمونه برداری بین تیمارهای ۲۵تن لجن در هکتار در یکبار کود دهی و تیمار شاهد تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول۳).

۲- جرم مخصوص ظاهری

با افزایش سطح لجن فاضلاب جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش یافت (جدول۳). بیشترین کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک درتیمار ۱۰۰+۱۰۰ تن لجن در هکتار مشاهده شد که این کاهش از لحاظ آماری نیز نسبت به سایر تیمارها معنی دار شده است. سطوح ۲۵ و ۵۰ تن لجن فاضلاب در هکتار از لحاظ تأثیر بر جرم مخصوص ظاهری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. مقایسه سطوح مختلف لجن فاضلاب تجمعی و باقیمانده (دوبار و یکبار افزایش لجن) نشان می‌دهد که کاربرد یک سال لجن فاضلاب به میزان ۱۰۰ تن در هکتار فقط توانسته است به اندازه کاربرد سالانه ۲۵ تن لجن بر هکتار در دو سال (مجموعاً ۵۰ تن در هکتار) در کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک موثر باشد. در تعدادی از تیمارها در مرحله دوم نمونه برداری جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش یافت.

جدول ۳- مقایسه اثرات تجمعی و باقیمانده سطوح مختلف لجن فاضلاب بر پارامترهای فیزیکی خاک در زمانهای اول و دوم نمونه‌برداری.

پارامتر اندازه گیری شده	زمان نمونه برداری	سطح لجن فاضلاب(تن درهکتار)						
		شاهد	۲۵[1]	۲۵+۲۵[2]	۵۰	۵۰+۵۰	۱۰۰	۱۰۰+۱۰۰
نفوذنهایی (سانتیمتربرساعت)	۱	۰/۶۷Ea**	۱/۸۲Da	۲/۶۱Ca	۱/۸۵Da	۳/۱۵Ba	۲/۰۵Ca	۶/۶۷Aa
	۲	۰/۷۴Fa	۱/۱۴Eb	۲/۳۵Ca	۱/۶Da	۳/۰۴Ba	۲/۶۲Ca	۴/۹۶Ab
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمترمکعب)	۱	۱/۰۴Ea	۱/۳۶Da	۱/۳۰Ca	۱/۳۵Da	۱/۲۲Ba	۱/۳۱Ca	۱/۱۸Aa
	۲	۱/۴۰Ea	۱/۳۶Da	۱/۳۰Ba	۱/۳۳Cb	۱/۲۷Ab	۱/۳۳Cb	۱/۲۶Ab
پایداری خاکدانه ها	۱	۵/۸۱Ea	۶/۴۵Da	۶/۷۱Da	۷/۰۲Da	۱۳/۲۷Ba	۸/۱۰Ca	۱۵/۷۶Aa
	۲	۶/۰۶Ea	۶/۸۳Db	۸/۵۲Cb	۷/۵۵Db	۱۴/۳۰Bb	۸/۶۰Cb	۱۷/۹۳Ab
درصدماده آلی	۱	۰/۷Fa	۰/۸۵Ea	۱/۲Ca	۱/۰Da	۱/۷Ba	۱/۳Ca	۲/۲Aa
	۲	۰/۶۵Ea	۰/۸۲Ea	۰/۹۹Cb	۰/۷۷Db	۱/۲Bb	۰/۹۶Cb	۱/۸Ab

۱- در مرحله اول درسال۱۳۷۷، لجن درسه سطح۲۵، ۵۰و۱۰۰تن درهکتاربه زمین افزوده شد.

۲- در مرحله دوم درسال۱۳۷۸، لجن فاضلاب به مقدار۲۵، ۵۰و۱۰۰تن درهکتاربه دو سوم سطح کرتها افزوده شد.

**میانگین های دارای حرف کوچک مشترک در هرستون ومیانگین های دارای حرف بزرگ مشترک درهر ردیف بر طبق آزمون دانکن درسطح۵درصدتفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

دلیل این افزایش را باید در تجزیه ماده آلی لجن فاضلاب در طول فصل رشد دانست.

۳- پایداری خاکدانه ها

بهرهمند و همکاران (۳) با مطالعه تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب نتایجی مبنی بر کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک از ۱/۲۷ در تیمار شاهد به ۱/۱۳ گرم بر سانتی مترمکعب در تیمار ۱۰۰تن لجن فاضلاب در هکتار ارائه کردند. آنان همچنین اظهار داشتند که با گذشت زمان ازمصرف لجن فاضلاب در خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک مجددا افزایش می‌یابد که دلیل آنرا تجزیه مواد آلی و کاهش اثر رقیق کنندگی لجن فاضلاب دانستند. پایداری خاکدانه‌ها با افزایش سطح لجن فاضلاب میزان خاکدانه‌های پایدار درآب به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). بالاترین پایداری خاکدانه‌ها در تیمار ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب در زمان دوم نمونه‌برداری مشاهده شد. تیمارهای لجن فاضلاب در یکبار کوددهی اگر چه در سطوح ۵۰ و۱۰۰ تن در هکتار باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها به طور معنی‌داری نسبت به شاهد شده‌اند ولی در مقایسه با تیمارهای ۵۰+۵۰ و ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار دارای تاثیر کمتری بوده اند. دلیل این تفاوت احتمالا تجزیه مواد آلی بخصوص چربیها و مومها به عنوان عوامل پایدار کننده خاکدانه‌ها در طول زمان پس از افزودن لجن به خاک است. تیمار ۱۰۰ تن در هکتار به علت مواد آلی زیادتر اثرات باقیمانده طولانی تری نسبت به

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد آزمایش

ویژگی	PH	ECe(dS/m)	ماده آلی gkg^{-1}	نیتروژن gkg^{-1}	فسفر gkg^{-1}	پتاسیم gkg^{-1}
رسی	۷/۹	۳/۰	٦	۰/۹	۳۵	۲٤٥

جدول ۲- خواص شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده

ویژگی	PH	ECe(dS/m)	ماده آلی gkg^{-1}	نیتروژن gkg^{-1}	فسفر gkg^{-1}	پتاسیم gkg^{-1}
رسی	٦/٥	۱۳/٥	۲٦۸	۳۸	٦/۲	۲/۳

استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید:

$$MWD=\Sigma wixi \quad (۳)$$

که درآن Xi میانگین قطرخاکدانه‌های باقیمانده برروی هر الک(میلی متر) وW_i نسبت وزنی خاکدانه‌ها در هر الک به وزن کل نمونه خاک می باشد. ماده آلی خاک نیز با روش اکسایش ترتعیین شد.

نتایج وبحث

۱- درصد ماده آلی

افزودن لجن فاضلاب، ماده آلی خاک را درمقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ۳). درصد ماده آلی خاک درزمان اول نمونه برداری از ۰/۷ در خاک سطحی تیمار شاهد به ۱/۷و۲/۲ به ترتیب درتیمارهای۵۰+۵۰و۱۰۰+۱۰۰تن در هکتار لجن فاضلاب افزایش یافت. افزایش یکبار لجن فاضلاب در خاک نیز باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک در مقایسه با تیمار شاهد گردید. به طوری که مقدار ماده آلی خاک در این تیمارها نیز در زمان اول نمونه برداری در کلیه سطوح لجن بالاتر از شاهد بود. لجن فاضلاب حاوی ۳۱ درصد مواد آلی است که پس از اضافه شدن به خاک باعث افزایش ماده آلی خاک می‌گردد (۱۵). باگذشت زمان ازمصرف لجن، مقدارماده آلی خاک کاهش یافت و در زمان دوم نمونه برداری بین تیمارهای ۲۵تن لجن در هکتار در یکبار کود دهی و تیمار شاهد تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول۳).

۲- جرم مخصوص ظاهری

با افزایش سطح لجن فاضلاب جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش یافت (جدول۳). بیشترین کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک درتیمار ۱۰۰+۱۰۰ تن لجن در هکتار مشاهده شد که این کاهش از لحاظ آماری نیز نسبت به سایر تیمارها معنی دار شده است. سطوح ۲۵ و ۵۰ تن لجن فاضلاب در هکتار از لحاظ تأثیر بر جرم مخصوص ظاهری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. مقایسه سطوح مختلف لجن فاضلاب تجمعی و باقیمانده (دوبار و یکبار افزایش لجن) نشان می‌دهد که کاربرد یک سال لجن فاضلاب به میزان ۱۰۰ تن در هکتار فقط توانسته است به اندازه کاربرد سالانه ۲۵ تن لجن بر هکتار در دو سال (مجموعاً ۵۰ تن در هکتار) در کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک موثر باشد. در تعدادی از تیمارها در مرحله دوم نمونه برداری جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش یافت.

جدول ۳- مقایسه اثرات تجمعی و باقیمانده سطوح مختلف لجن فاضلاب بر پارامترهای فیزیکی خاک در زمانهای اول و دوم نمونه‌برداری.

پارامتر اندازه گیری شده	زمان نمونه برداری	سطح لجن فاضلاب(تن درهکتار) شاهد	۲۵[1]	۲۵+۲۵[2]	۵۰	۵۰+۵۰	۱۰۰	۱۰۰+۱۰۰
نفوذنهایی (سانتیمتربرساعت)	۱	۰/۶۷Ea**	۱/۸۲Da	۲/۶۱Ca	۱/۸۵Da	۳/۱۵Ba	۲/۵Ca	۶/۶۷Aa
	۲	۰/۷۴Fa	۱/۱۴Eb	۲/۳۵Ca	۱/۶Da	۳/۰۴Ba	۲/۶۲Ca	۴/۹۶Ab
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمترمکعب)	۱	۱/۰۴Ea	۱/۳۶Da	۱/۳۰Ca	۱/۳۵Da	۱/۲۲Ba	۱/۳۱Ca	۱/۱۸Aa
	۲	۱/۴۰Ea	۱/۳۶Da	۱/۳۰Ba	۱/۳۳Cb	۱/۲۷Ab	۱/۳۳Cb	۱/۲۶Ab
پایداری خاکدانه ها	۱	۵/۸۱Ea	۶/۴۵Da	۶/۷۱Da	۷/۰۲Da	۱۳/۲۷Ba	۸/۱۰Ca	۱۵/۷۶Aa
	۲	۶/۰۶Ea	۶/۸۳Db	۸/۵۲Cb	۷/۵۵Db	۱۴/۳۰Bb	۸/۶۰Cb	۱۷/۹۳Ab
درصدماده آلی	۱	۰/۷Fa	۰/۸۵Ea	۱/۲Ca	۱/۰Da	۱/۷Ba	۱/۳Ca	۲/۲Aa
	۲	۰/۶۵Ea	۰/۸۲Ea	۰/۹۹Cb	۰/۷۷Db	۱/۲Bb	۰/۹۶Cb	۱/۸Ab

۱- در مرحله اول درسال۱۳۷۷، لجن درسه سطح۲۵، ۵۰و۱۰۰تن درهکتاربه زمین افزوده شد.

۲- در مرحله دوم درسال۱۳۷۸، لجن فاضلاب به مقدار۲۵، ۵۰و۱۰۰تن درهکتاربه دو سوم سطح کرتها افزوده شد.

**میانگین های دارای حرف کوچک مشترک در هرستون ومیانگین های دارای حرف بزرگ مشترک درهر ردیف بر طبق آزمون دانکن درسطح۵درصدتفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

دلیل این افزایش را باید در تجزیه ماده آلی لجن فاضلاب در طول فصل رشد دانست.

۳- پایداری خاکدانه ها

بهره‌مند و همکاران (۳) با مطالعه تاثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب نتایجی مبنی بر کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک از ۱/۳۷ در تیمار شاهد به ۱/۱۳ گرم بر سانتی مترمکعب در تیمار ۱۰۰تن لجن فاضلاب در هکتار ارائه کردند. آنان همچنین اظهار داشتند که با گذشت زمان ازمصرف لجن فاضلاب در خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک مجددا افزایش می‌یابد که دلیل آنرا تجزیه مواد آلی و کاهش اثر رقیق کنندگی لجن فاضلاب دانستند. پایداری خاکدانه‌ها با افزایش سطح لجن فاضلاب میزان خاکدانه‌های پایدار درآب به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۳). بالاترین پایداری خاکدانه‌ها در تیمار ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب در زمان دوم نمونه‌برداری مشاهده شد. تیمارهای لجن فاضلاب در یکبار کوددهی اگر چه در سطوح ۵۰ و۱۰۰ تن در هکتار باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها به طور معنی‌داری نسبت به شاهد شده‌اند ولی در مقایسه با تیمارهای ۵۰+۵۰ و ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار دارای تاثیر کمتری بوده اند. دلیل این تفاوت احتمالا تجزیه مواد آلی بخصوص چربیها و مومها به عنوان عوامل پایدار کننده خاکدانه‌ها در طول زمان پس از افزودن لجن به خاک است. تیمار ۱۰۰ تن در هکتار به علت مواد آلی زیادتر اثرات باقیمانده طولانی تری نسبت به

تیمارهای ۲۵و۵۰ تن لجن در هکتار را بر پایداری خاکدانه‌ها دارد و حتی تأثیرآن زیادتر از مصرف ۲۵ تن لجن در هکتار در دوبار کود دهی می‌باشد.

تغییرات پایداری خاکدانه‌ها در زمانهای اول و دوم نمونه برداری در جدول۳ نشان داده شده است. پایداری خاکدانه‌ها با گذشت زمان در تیمارهای لجن افزایش یافته است. این یافته نشان می دهد که فرایند تشکیل خاکدانه تحت تاثیر مواد آلی نیاز به زمان نسبتا طولانی دارد، به طوری که با گذشت زمان با توجه به نتایج بدست آمده از تغییرات میزان ماده آلی خاک و همچنین جرم مخصوص ظاهری خاک (جدول۳) مقدار ماده آلی خاک کاهش یافته است ولی تشکیل خاکدانه برای مدت طولانی تری ادامه می یابد. با توجه به اثر نسبتاً طولانی مواد آلی در پایداری خاکدانه‌ها، به نظر می رسد بخشهای مقاوم مواد آلی در تشکیل و پایداری خاکدانه ها موثر می باشند. البته اثرات غیر مستقیم مواد آلی در خاکدانه سازی نیز حائز اهمیت است که از جمله می توان به اثر آن در افزایش رشد میکروارگانیسم‌ها و بویژه قارچ ها اشاره نمود. میلر و همکاران(۱۴) گزارش کردکه رشد شبکه‌های قارچی روی خاک در اثر افزودن لجن می‌تواند باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها گردد. نتایج مشابهی توسط لوگان و همکاران (۱۱) گزارش شد.

٤- نفوذپذیری

جدول ۴ ضرایب معادله سرعت نفوذ کوستیاکوف شامل A و B برای هر تیمار به صورت میانگین سه تکرار آزمایش و نیز ضریب تعیین (r^2)این معادله را نشان می دهد.

اضافه کردن لجن فاضلاب باعث افزایش میزان نفوذآب در پایان اولین واحد زمانی از لحظه شروع آزمایش (ضریب)A گردید. به طوری که میزان نفوذ آب از ۳/۳۲ در تیمار شاهد به ۱۴/۵۶، ۱۴/۸۳و ۳۶/۵۲ به ترتیب در تیمارهای ۲۵+۲۵، ۵۰+۵۰ و۱۰۰+۱۰۰ تن لجن فاضلاب در هکتار افزایش یافته است (جدول ۴). باقیمانده لجن درخاک نیز باعث افزایش میزان نفوذ آب در اولین واحد زمانی نسبت به تیمار شاهد گردید. کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش پایداری خاکدانه ها و ایجاد خلل و فرج درشت در خاکهای تحت تیمار لجن موجب بهبودی نفوذپذیری خاک گردیده است. ونگ و هو(۱۷) گزارش کرد که افزودن لجن فاضلاب باعث افزایش خلل و فرج درشت و به دنبال آن افزایش نفوذ پذیری گردیده و فرسایش خاک بوسیله رواناب کاهش می یابد.

میانگین سرعت نفوذنهایی در سطوح مختلف لجن فاضلاب بر این اساس که سرعت نفوذ در انتهای زمان آزمایش و باگذشت زمان به مقدار ثابتی می رسد درجدول ۳ نشان داده شده است. بالاترین نفوذپذیری متعلق به تیمار ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار (۶/۶۷سانتی متربرساعت) بود که حتی در مقایسه با تیمارهای ۵۰+ ۵۰ و ۲۵+ ۲۵ تن در هکتار نیز بطور معنی‌داری افزایش نشان می دهد. تیمارهای ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار لجن اگر چه نسبت به تیمار شاهد بعد از گذشت یک فصل زراعی اختلاف معنی‌داری در سرعت نفوذ نهایی داشته‌اند، ولی بین خود این دو تفاوت معنی‌داری دیده نشد. در زمان دوم نمونه‌برداری این دو تیمار نیز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نشان داده‌اند. روند مشابهی بین تیمارهای ۱۰۰و ۲۵+ ۲۵ تن لجن فاضلاب در هکتار مشاهده گردید. با گذشت زمان از مصرف لجن، سرعت نفوذنهایی در خاک های تیمار شده با لجن فاضلاب کاهش می‌یابد. بنظر می رسد کاهش مواد آلی خاک منجر به کاهش نفوذپذیری خاک در زمان دوم نمونه برداری گردیده است. بهره‌مند و همکاران (۴) در تحقیقی که بر روی خاک‌های اصفهان انجام شد نتایجی مبنی بر افزایش

جدول٤- ضرایب مدل سرعت نفوذ کوستضیاکوف($I = At^B$)برازش داده شده و ضرائب تعیین برای میانگین ارقام سه تکرارازهر تیمار.

لجن فاضلاب (تن درهکتار)	زمان اول نمونه برداری			زمان دوم نمونه برداری		
	A	B	r^2	A	B	r 2
شاهد	۳/۳۲	-۰/٤۷	۰/۹۷	۳/۱۳	-۰/٤٤	۰/۹۸
۲۵	٤/۳۸	-۰/۳٤	۰/۹۷	٦/۱۲	-۰/٤٦	۰/۹۰
۲۵+۲۵	۱٤/٥٦	-۰/٤۹	۰/۹۸	۱۰/۱۸	-۰/٤۳	۰/۹٦
٥۰	۱۳/۱٤	-۰/٥٤	۰/۹۸	٤/٤۹	-۰/۳۷	۰/۹۸
٥۰+٥۰	۱٤/۸۳	-۰/٤٦	۰/۹٤	۱۱/۲۰	-۰/٤۰	۰/۹٦
۱۰۰	۱۰/۳۰	-۰/٤۳	۰/۹٦	۱۰/۱٥	-۰/٤۳	۰/۹٦
۱۰۰+۱۰۰	۳٦/٥۲	-۰/٤۸	۰/۹۸	۳۲/٤٦	-۰/٥۲	۰/۹۷

نفوذپذیری خاک در هنگام افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی را گزارش کردند. همچنین مشاهده کردند که با گذشت زمان از مصرف لجن، میزان نفوذ نهایی خاک کاهش می‌یابد که دلیل آنرا به کاهش پایداری خاکدانه‌ها ربط دادند. مارتینز و همکاران (۱۳) نیز گزارش کردند که با افزودن مواد آلی به خاک سرعت نفوذ در آبیاری اولیه افزایش می‌یابد ولی افزایش سرعت نفوذ با زمان کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

۱- افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی شد. تیمار لجن فاضلاب۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار بیشترین تأثیر را در افزایش ماده آلی نشان داد. مصرف لجن فاضلاب در مقادیر بالا می‌تواند دارای اثرات باقیمانده بر افزایش ماده آلی خاک داشته باشد.

۲- جرم مخصوص ظاهری خاک با افزودن لجن فاضلاب به خاک کاهش می‌یابد. باگذشت زمان از مصرف کود، مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک مجددا افزایش می‌یابد. در حالی که تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب باعث کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک در دو زمان نمونه برداری شدند، ولی تیمار ۲۵ تن لجن فاضلاب بر هکتار در زمان دوم نمونه برداری تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد. بنابراین می توان گفت تداوم اثرات باقیمانده لجن فاضلاب تا حدود زیادی به مقدار لجن فاضلاب مصرفی بستگی دارد. به نظر میرسد تاثیر مواد آلی بر جرم مخصوص ظاهری خاک عمدتاً ناشی از رقیق شدن خاک بوسیله مواد آلی باشد و اثر مواد بر ساختمان خاک تاثیر کمتری بر این خصوصیت داشته باشد.

۳- پایداری خاکدانه‌ها با اضافه شدن لجن فاضلاب افزایش می‌یابد. بیشترین تأثیر در افزایش پایداری خاکدانه‌ها را تیمارهای لجن تجمعی ۵۰+۵۰ و ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار نشان دادند. اثرات باقیمانده لجن فاضلاب نیز منجر به افزایش پایداری خاکدانه‌ها گردید. تاثیر کاربرد لجن بر پایداری خاکدانه ها نسبت به سایر پارامترهای اندازه گیری شده بلند مدت‌تر بوده است.

۴- کاربرد لجن فاضلاب به عنوان کود در زمین زراعی باعث بهبود نفوذپذیری خاک گردید. بیشترین تأثیر در افزایش سرعت نفوذپذیری را تیمار ۱۰۰+۱۰۰

تن در هکتار لجن در زمان اول نمونه برداری نشان داد. با گذشت زمان اگرچه مقدار نفوذ پذیری کاهش یافته، ولی به میزان معنی‌داری زیادتر از شاهد بود. اثرات باقیمانده لجن فاضلاب نیز باعث افزایش نفوذپذیری خاک گردیده است.

۵- این آزمایش نشان می دهد که ۱۰۰ تن لجن فاضلاب در هکتار می تواند بهترین کاربرد را در زمینه نفوذپذیری و مواد آلی و در نهایت حاصلخیزی خاک داشته باشد.

سپاسگزاری

این پروژه از طریق طرح ملی تحقیقاتی با کد M12 با حمایت شورای تحقیقات علمی کشور با شماره ثبت ۱۱۵۱ انجام گرفت، که بدین وسیله تشکر و قدردانی می شود.

منابع

۱- افیونی، م. رضائی نژاد، و خیامباشی. ۱۳۷۷. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله کاهو و اسفناج. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ، جلد ۲ - شماره ۱ صفحات. ۱۹-۲۹.

۲- بای بوردی، م. ۱۳۷۲. فیزیک خاک. ۵۶۰ صفحه انتشارات دانشگاه تهران

۳- بهره مند.م.ر.، افیونی.م.، حاج عباسی .م.، رضائی نژاد.ی. ۱۳۸۱. اثر لجن فاضلاب بر خواص فیزیکی خاک، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان. جلد ۶ شماره ۴، صفحات ۱-۹.

۴- عالمی .م.ح. (ترجمه). ۱۳۶۰. آب و خاک ۲۹۳ صفحه. انتشارات دانشگاه تهران.

5- Bendi. D. k. C. R. Biswas, S. S., Bawn, and K. Kumar. 1998. Influence of farmyard manure, inorganic fertilizer and weed control practice on some soil physical properties in a long-term experiment .Soil Use Manage 14:52-54

6- Boyle, M., W. T. Frankenberger. Jr. and L. H. Stolzy. 1989. The influence of organic matter on soil aggregation and water infiltration. J. Prod. Agric., 2:290-299.

7- Chaney, K, and R. S. Swift. 1984. Studies on aggregates stability. I. Re-formation of soil aggregates. J. Soil Sci., 37:399-335.

8- Epestein, E., J. M. Tylor, and R. L. Chaney, 1976. Effect of Sewage sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. J. Environ. Qual., 5:422-426.

9- Gupta, S. C., R. H. Dowdy, and J. Larson. 1977. Hydraulic and thermal properties of a sand soil as influenced by incorporation of sewage sludge. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 41:601-605.

10- Logan, T. J. and B. J. Harrison,. 1995. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge and their effect on soil physical properties. J. Environ. Qual., 24:153-164.

11- Logan, T. J., B. J. Harrison, D. C. McAvoy, and J. A. Greff. 1996. Effect of Olestra in sewage sludge on soil physical properies. J. Environ. Qual.

12- Khaleel, R., K. R. Reddy, and M. R. Overcash. 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: A review. J. Environ. Qual., 10:133-141.

13- Martens, D. A., and W. T. Frankenberger, Jr. 1992. Modification of infiltration rates in a organic amended irrigated soil. Agon., J. 84:707-717.

14- Miller, J. J., N. J. Sweetland , and C. Changs 2002. Hydrological properties of a clay loam soil after long-term cattle manure application. J. Environ. Qual., 31: 989-996.

15- Roberts, J. A., W. T. Daniels, J. C. Bell, and J. A. Burger. 1988. Early stagen of mine soil genesis as affected by topsoiling and organic amendments Soil Sci. Soc. Am. J., 52:730-738.

16- Shainberg, I., R. Karen, and H. Frenkel. 1982. Response of sodic soil to gypsum and calcium application. Soil Sci. Soc. Am. J., 46:113-117.

17- Wong, J. W. C., and G. E. Ho. 1991. Effect of gypsum and sewage sludge amendment on physical properties of fine bauxite refining residue. Soil Sci., 152(5):326-332.

The Effect of Cumulative and Residual Sewage Sludge on Aggregate Stability, Bulk Density, and Infiltration Rate

A. Zaeri, Y. Rezainegad, M. Afyuni, and H. Shariatmadari[1]

Abstract

Sewage sludge is rich in organic matter that can improve soil fertility as well as soil physical properties. The objective of this study was to determine residual and cumulative sludge application on soil physical properties. Four rates (0, 25, 50, and 100 t ha^{-1}) of sewage sludge were applied to a clay loam soil (fine Loamy, Mixed, Thermic, Halargid). To determine cumulative and residual effect on soil physical properties, in the second year, each plot (15x3) m) was divided into two sub-plots (3x3 and 3x9 m) and sewage sludge was added to the larger portion at the same rates as before. Bulk density, infiltration rate, aggregate stability, and organic matter content were measured 100 and 210 days after the sludge applications. Application of sewage sludge in the second year significantly increased infiltration, hydraulic conductivity and decreased bulk density. Residual sludge had similar effects, but as the time passed and organic matter decomposed, the soil physical properties approached the values in the control plots. The results indicate that the effect and duration of sludge application depended on the sludge rate and time of sludge application.

Keywords: *Sewage Sludge, Aggregate Stability, Bulk Density, Organic Matter*

1- Former Graduate Student, Assistant and Associate Professor of Soil Science, respectively, College of Agriculture Isfahan University of Technology