

## 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<sup>۱</sup>

### چکیده

لجن فاضلاب بامقدار بالای مواد آلی، علاوه بر بهبود کیفیت شیمیایی و حاصلخیزی خاک می‌تواند در بهسازی خصوصیات فیزیکی خاک نیز اثرات مثبت زیادی داشته باشد. در این تحقیق نقش اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب (هدایت الکتریکی ۹/۴ دسی زیمنس و pH ۶/۴) 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، ۱۰۰ تن در هکتار) انجام گردید. جهت تعیین اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب بر خصوصیات فیزیکی خاک، در سال دوم هر کرت (۱۵×۳) به دو قسمت ۳×۳ و ۳×۳ 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 از نمونه گیری در دو زمان ۱۰۰ و ۲۱۰ روز پس از کاشت گیاه ذرت انجام گرفت. استفاده از لجن فاضلاب در دو سال پیپای 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+۱۰۰ تن در هکتار 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

انسان از اهمیت ویژه‌ای بر خوردار 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

حفظ مقدار مطلوب ماده آلی خاک یکی از اساسی‌ترین اصول کشاورزی پایدار است. بنابراین مواد آلی باید مرتباً 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 در اغلب این مناطق هستند که 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

تاریخ دریافت: ۸۲/۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۸۳/۱۱/۱۹

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

خاکدانه‌ها را از مشخصات خاک های نواحی خشک و نیمه خشک دانسته و اظهار می 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 در هکتار باعث بهبود پایداری خاکدانه‌ها و نهایتاً تشکیل ساختمان پایدار شده که خود می‌تواند موجب سهولت نفوذ و حرکت آب در خاک شود. چینی و سوفت (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 در آن از سایر شهرهای ایران زیادتر است. در این شهر استفاده از لجن فاضلاب، به عنوان کود کشاورزی مرسوم است (۱). اما تحقیقات پیرامون اثر کاربرد آن بر جنبه‌های 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 خاکدانه‌ها اجرا گردیده است.

### مواد و روش‌ها

این طرح در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد انجام گردید. این منطقه در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان و در عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ 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

و در جهت عمودی نفوذپذیری نامیده می‌شود (۲). از نظر کمی، شدت نفوذ، عبارتست از حجم 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 کردند که با گذشت زمان از مصرف لجن، میزان نفوذ نهایی خاک کاهش می‌یابد که دلیل آنرا به کاهش پایداری خاکدانه‌ها ربط دادند. بویل و همکاران (۶) در یک تحقیق به این نتیجه رسیدند که افزایش ماده آلی موجب پایداری خاکدانه‌ها، نفوذپذیری بهتر آب در خاک، تهویه بهتر و افزایش درصد خلل و فرج در خاکهای تیمار شده با این مواد می‌شود. لوگان و هاریسون (۱۰) گزارش کردند که افزودن لجن فاضلاب باعث افزایش خلل و فرج و به دنبال آن افزایش نفوذپذیری خاک گردیده و فرسایش بوسیله روان آب کاهش می‌یابد. 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

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 صحرائی تطبیق داشته است. این معادله با موفقیت به اطلاعات حاصل از آزمایشهای نفوذسنجی که بوسیله استوانه‌های مضاعف بدست آمده برآزش داده شده است. کوستیاکوف در سال ۱۹۳۲ معادله نفوذ تجمعی عمودی را در معادله ۱ ارائه داد (۲):

$$D = at^b \quad (1)$$

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:

$$I = At^b \quad (2)$$

که در آن  $I$  سرعت نفوذ لحظه‌ای (سانتی متر بر ساعت)،  $A$  و  $B$  ضرایب معادله سرعت نفوذ که به صورت  $A=a.b$  و  $B=b-1$  با ضرایب معادله نفوذ تجمعی در ارتباط می‌باشند.

جهت تعیین جرم مخصوص ظاهری، نمونه‌های خاک دست نخورده به قطر ۷/۰۲ و ارتفاع ۷/۹۵ سانتی متر در دو زمان ۱۰۰ و ۲۱۰ روز بعد از کاشت ذرت، تهیه شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد و توزین آنها، جرم مخصوص ظاهری خاک محاسبه گردید.

پایداری خاکدانه‌ها پس از قراردادن نمونه‌های خاک بر روی یک ردیف الک (الکها با اندازه‌های ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ میلی متر از بالا به پایین) که در آب با سرعت و زمان مشخص بالا و پایین برده می‌شدند با

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 در سری خاک خمینی شهر قرار می‌گیرد و جزء فامیل فاین - لومی، میکسد، ترمیک تیپیک‌هاپل آرجید<sup>۱</sup> است (جدول ۱).

چهار سطح لجن فاضلاب شامل شاهد (بدون لجن فاضلاب)، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن لجن فاضلاب برهکتار در سه تکرار به کرت‌های ۱۵×۳ متری اضافه شد (جدول ۲). به منظور بررسی اثرات تجمعی و باقیمانده لجن فاضلاب بر خواص فیزیکی خاک، تیمارهای مختلف لجن فاضلاب، یکبار در سال ۱۳۷۷ و یکبار در سال ۱۳۷۸ به خاک اضافه شد، که در این مقاله به ترتیب به آنها مرحله اول و دوم نامیده خواهد شد. برای اضافه کردن لجن فاضلاب در مرحله دوم، هریک از کرت‌های اولیه به دو کرت به ابعاد ۱۲×۳ و ۳×۳ متر تقسیم گردید و سپس به کرت بزرگتر تیمار لجن فاضلاب، در هر سه سطح ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ تن 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 سال ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ به ترتیب گندم رقم روشن و ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ کشت شدند. آبیاری به صورت کرتی با آب چاه مزرعه لورک صورت گرفت. هدایت الکتریکی و pH متوسط آب آبیاری به ترتیب معادل ۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۷/۴ بود.

اندازه‌گیری قابلیت نفوذ به کمک استوانه‌های مضاعف فلزی<sup>۲</sup> در دو زمان ۱۰۰ و ۲۱۰ 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

1-Fine Loamy, Mixed, Thermic, Typic Haplargid

2-Double ring

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد آزمایش.

ویژگی	PH	ECe(dS/m)	ماده آلی gkg <sup>-1</sup>	نیترژن gkg <sup>-1</sup>	فسفر gkg <sup>-1</sup>	پتاسیم gkg <sup>-1</sup>
رسی	۷/۹	۳/۰	۶	۰/۹	۳۵	۲۴۵

جدول ۲- خواص شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده.

ویژگی	PH	ECe(dS/m)	ماده آلی gkg <sup>-1</sup>	نیترژن gkg <sup>-1</sup>	فسفر gkg <sup>-1</sup>	پتاسیم gkg <sup>-1</sup>
رسی	۶/۵	۱۳/۵	۲۶۸	۳۸	۶/۲	۲/۳

لجن فاضلاب حاوی ۳۱ درصد مواد آلی است که پس از اضافه شدن به خاک باعث افزایش ماده آلی خاک می‌گردد (۱۵). باگذشت زمان از مصرف لجن، مقدار ماده آلی خاک کاهش یافت و در زمان دوم نمونه برداری بین تیمارهای ۲۵ تن لجن در هکتار در یکبار کود دهی و تیمار شاهد تفاوت معنی داری مشاهده نشد (جدول ۳).

## ۲- جرم مخصوص ظاهری

با افزایش سطح لجن فاضلاب جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش یافت (جدول ۳). بیشترین کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در تیمار 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 معنی داری با یکدیگر ندارند. مقایسه سطوح مختلف لجن فاضلاب جمعی 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

استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید:

$$MWD = \sum w_i x_i \quad (3)$$

که در آن  $X_i$  میانگین قطر خاکدانه‌های باقیمانده بر روی هر الک (میلی متر) و  $w_i$  نسبت وزنی خاکدانه‌ها در هر الک به وزن کل نمونه خاک می باشد. ماده آلی خاک نیز با روش اکسایش ترتعین شد.

## نتایج و بحث

### ۱- درصد ماده آلی

افزودن لجن فاضلاب، ماده آلی خاک را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی داری افزایش داد (جدول ۳). درصد ماده آلی خاک در زمان اول نمونه برداری از ۰/۷ در خاک سطحی تیمار شاهد به ۲/۲ و ۱/۷ به ترتیب در تیمارهای ۵۰+۵۰ و ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب افزایش یافت. افزایش یکبار لجن فاضلاب در خاک نیز باعث افزایش معنی دار 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.

سالانه ۲۵ تن لجن بر هکتار در دو سال (مجموعاً ۵۰ موثر باشد. در تعدادی از تیمارها در مرحله دوم نمونه تن در هکتار) در کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک 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 نمونه برداری.**

سطح لجن فاضلاب (تن در هکتار)							زمان نمونه برداری	پارامتر اندازه گیری شده
۱۰۰+۱۰۰	۱۰۰	۵۰+۵۰	۵۰	۲۵+۲۵	۲۵	شاهد		
۶/۶۷Aa	۲/۵Ca	۳/۱۵Ba	۱/۸۵Da	۲/۶۱Ca	۱/۸۲Da	۰/۶۷Ea**	۱	نفوذنیایی (سانتیمتر بر ساعت)
۴/۹۶Ab	۲/۶۲Ca	۳/۰۴Ba	۱/۶Da	۲/۳۵Ca	۱/۱۴Eb	۰/۷۴Fa	۲	
۱/۱۸Aa	۱/۳۱Ca	۱/۲۲Ba	۱/۳۵Da	۱/۳۰Ca	۱/۳۶Da	۱/۰۴Ea	۱	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)
۱/۲۶Ab	۱/۳۳Cb	۱/۲۷Ab	۱/۳۳Cb	۱/۳۰Ba	۱/۳۶Da	۱/۴۰Ea	۲	
۱۵/۶۶Aa	۸/۱۰Ca	۱۳/۲۷Ba	۷/۰۲Da	۶/۷۱Da	۶/۴۵Da	۵/۸۱Ea	۱	پایداری خاکدانه ها
۱۷/۹۳Ab	۸/۶۰Cb	۱۴/۳۰Bb	۷/۵۵Db	۸/۵۲Cb	۶/۸۳Db	۶/۰۶Ea	۲	
۲/۲Aa	۱/۳Ca	۱/۷Ba	۱/۰Da	۱/۲Ca	۰/۸۵Ea	۰/۷Fa	۱	درصد ماده آلی
۱/۸Ab	۰/۹۶Cb	۱/۲Bb	۰/۷۷Db	۰/۹۹Cb	۰/۸۲Ea	۰/۶۵Ea	۲	

۱- در مرحله اول در سال ۱۳۷۷، لجن در سه سطح ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار به زمین افزوده شد.

۲- در مرحله دوم در سال ۱۳۷۸، لجن فاضلاب به مقدار ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار به دو سوم سطح کرتها افزوده شد.

\*\* میانگین های دارای حرف کوچک مشترک در هر ستون و میانگین های دارای حرف بزرگ مشترک در هر ردیف بر طبق آزمون دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند.

می یابد که دلیل آنرا تجزیه مواد آلی و کاهش اثر رقیق کنندگی لجن فاضلاب دانستند. پایداری خاکدانه ها با افزایش سطح لجن فاضلاب میزان خاکدانه های پایدار در آب به طور معنی داری افزایش یافت (جدول ۳). بالاترین پایداری خاکدانه ها در تیمار ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب در زمان دوم نمونه برداری مشاهده شد. تیمارهای لجن فاضلاب در یکبار کوددهی اگر چه در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار باعث افزایش پایداری خاکدانه ها به طور معنی داری نسبت به شاهد شده اند ولی در مقایسه با

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

**۳- پایداری خاکدانه ها**

بهره مند 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 متر مکعب در تیمار ۱۰۰ تن لجن فاضلاب در هکتار ارائه کردند. آنان همچنین اظهار داشتند که با گذشت زمان از مصرف لجن فاضلاب در خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک مجدداً افزایش

تکرار آزمایش و نیز ضریب تعیین ( $R^2$ ) این معادله را نشان می دهد.

اضافه کردن لجن فاضلاب باعث افزایش میزان نفوذ آب 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، ۱۴/۸۳ و ۳۶/۵۲ به ترتیب در تیمارهای ۲۵+۲۵، ۵۰+۵۰ و ۱۰۰+۱۰۰ تن لجن فاضلاب در هکتار افزایش یافته است (جدول ۴). باقیمانده لجن در خاک 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 در جدول ۳ نشان داده شده است. بالاترین نفوذپذیری متعلق به تیمار ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار (۶/۶۷ سانتی متر بر ساعت) بود که حتی در مقایسه با تیمارهای ۵۰+۵۰ و ۲۵+۲۵ تن در هکتار نیز بطور معنی داری 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 معنی داری در سرعت نفوذ نهایی داشته اند، ولی بین خود این دو تفاوت معنی داری دیده نشد. در زمان دوم نمونه برداری این دو تیمار نیز تفاوت معنی داری با یکدیگر نشان داده اند. روند مشابهی بین تیمارهای ۱۰۰ و ۲۵+۲۵ تن لجن فاضلاب در هکتار مشاهده گردید. با گذشت زمان از

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 ۲۵ و ۵۰ تن لجن در هکتار را بر پایداری خاکدانهها دارد و حتی تأثیر آن زیادتر از مصرف ۲۵ تن لجن در هکتار در دوبار کود دهی می باشد.

تغییرات پایداری خاکدانهها در زمانهای اول و دوم نمونه برداری در جدول ۳ 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 (جدول ۳) 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 خاکدانهها 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 قارچها اشاره نمود. میلر و همکاران (۱۴) گزارش کرد که رشد شبکههای قارچی روی خاک در اثر افزودن لجن می تواند باعث افزایش پایداری خاکدانهها گردد. نتایج مشابهی توسط لوگان و همکاران (۱۱) گزارش شد.

#### ۴- نفوذ پذیری

جدول ۴ ضرایب معادله سرعت نفوذ کوستیاکوف شامل A و B برای هر تیمار به صورت میانگین سه

خاک در زمان دوم نمونه برداری گردیده است. بهره‌مند و همکاران (۴) در تحقیقی که بر روی خاک‌های اصفهان انجام شد نتایج مبنی بر افزایش

مصرف لجن، سرعت نفوذنهایی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب کاهش می‌یابد. بنظر می‌رسد کاهش مواد آلی خاک منجر به کاهش نفوذپذیری

**جدول ۴- ضرایب مدل سرعت نفوذ کوستضیاکوف ( $I = At^B$ ) برآزش داده شده و ضرائب تعیین برای میانگین ارقام سه تکرار از هر تیمار.**

زمان دوم نمونه برداری			زمان اول نمونه برداری			لجن فاضلاب (تن در هکتار)
r <sup>2</sup>	B	A	r <sup>2</sup>	B	A	
۰/۹۸	-۰/۴۴	۳/۱۳	۰/۹۷	-۰/۴۷	۳/۳۲	شاهد
۰/۹۰	-۰/۴۶	۶/۱۲	۰/۹۷	-۰/۳۴	۴/۳۸	۲۵
۰/۹۶	-۰/۴۳	۱۰/۱۸	۰/۹۸	-۰/۴۹	۱۴/۵۶	۲۵+۲۵
۰/۹۸	-۰/۳۷	۴/۴۹	۰/۹۸	-۰/۵۴	۱۳/۱۴	۵۰
۰/۹۶	-۰/۴۰	۱۱/۲۰	۰/۹۴	-۰/۴۶	۱۴/۸۳	۵۰+۵۰
۰/۹۶	-۰/۴۳	۱۰/۱۵	۰/۹۶	-۰/۴۳	۱۰/۳۰	۱۰۰
۰/۹۷	-۰/۵۲	۳۲/۴۶	۰/۹۸	-۰/۴۸	۳۶/۵۲	۱۰۰+۱۰۰

۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب باعث کاهش معنی دار جرم مخصوص ظاهری خاک در دو زمان نمونه برداری شدند، ولی تیمار ۲۵ تن لجن فاضلاب بر هکتار در زمان دوم نمونه برداری تفاوت معنی داری 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 خاکدانه ها با اضافه شدن لجن فاضلاب افزایش می یابد. بیشترین تاثیر در افزایش پایداری خاکدانه ها را تیمارهای لجن تجمعی ۵۰+۵۰ و ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار نشان دادند. اثرات باقیمانده لجن فاضلاب نیز منجر به افزایش پایداری خاکدانه ها گردید. تاثیر کاربرد لجن بر پایداری خاکدانه ها نسبت به سایر پارامترهای اندازه گیری شده بلند مدت تر بوده است.

۴- کاربرد لجن فاضلاب به عنوان کود در زمین زراعی باعث بهبود نفوذپذیری خاک گردید. بیشترین

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 می یابد که دلیل آنرا به کاهش پایداری خاکدانه ها ربط دادند. مارتینز و همکاران (۱۳) نیز گزارش کردند که با افزودن مواد آلی به خاک سرعت نفوذ در آبیاری اولیه افزایش می یابد ولی افزایش سرعت نفوذ با زمان کاهش می یابد.

### نتیجه گیری

۱- افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث افزایش معنی دار ماده آلی شد. تیمار لجن فاضلاب ۱۰۰+۱۰۰ تن در هکتار بیشترین تاثیر را در افزایش ماده آلی نشان داد. مصرف لجن فاضلاب در مقادیر بالا می تواند دارای اثرات باقیمانده بر افزایش ماده آلی خاک داشته باشد.

۲- جرم مخصوص ظاهری خاک با افزودن لجن فاضلاب به خاک کاهش می یابد. باگذشت زمان از مصرف کود، مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک مجدداً افزایش می یابد. در حالی که تیمارهای ۵۰ و

نفوذپذیری و مواد آلی و در نهایت حاصلخیزی خاک داشته باشد.

### سیاسگزاری

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.

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 معنی داری زیادتیر 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

### 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 properties. *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.*, 15(5 ):326-332