# اثر لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک

محمدرحیم بهره‌مند، مجید افیونی، محمدعلی حاج‌عباسی و یحیی رضایی‌نژاد[۱]

## چکیده

*در این پژوهش اثر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، و هم‌چنین اثر گذشت زمان پس از افزودن لجن فاضلاب به خاک بر این ویژگی‌ها بررسی گردید. چهار سطح لجن فاضلاب (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار) در چارچوب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به خاک افزوده و تا عمق ۲۰ سانتی‌متری مخلوط شد. خاک مورد آزمایش جزو فامیل فاین- لومی، میکسد، ترمیک هاپل آرجید است. پس از افزودن لجن فاضلاب، گندم کشت شد و ۲۳، ۸۵، ۱۴۸ و ۲۲۱ روز بعد از افزودن لجن فاضلاب ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل پایداری خاک‌دانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع، نفوذپذیری، درصد رطوبت در $\frac{۱}{۳}$ و ۱۵ بار و آب قابل استفاده گیاه در خاک اندازه‌گیری گردید.*

*لجن فاضلاب در خاک باعث افزایش معنی‌دار پایداری خاک‌دانه‌ها، هدایت هیدرولیکی اشباع، سرعت نفوذ نهایی، درصد رطوبت در $\frac{۱}{۳}$ و ۱۵ بار و آب قابل استفاده گیاه در خاک و کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری آن گردید. برای خواص فیزیکی اندازه‌گیری شده، بهترین نتایج در تیمار ۱۰۰ تن در هکتار مشاهده شد. گذشت زمان پس از افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث شد که کمیت این ویژگی‌ها در تمام تیمارها به سوی مقدار شاهد میل کند. ولی حتی ۲۲۱ روز پس از افزودن لجن فاضلاب به خاک در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار، ویژگی‌های فیزیکی تفاوت معنی‌دار با شاهد داشتند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که افزودن لجن فاضلاب به خاک اثر مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی آن دارد، و این موضوع مخصوصاً در مورد افزایش آب قابل استفاده گیاه و نفوذپذیری خاک در مناطق مرکزی ایران که با کمبود آب روبه‌رو هستند، بسیار اهمیت دارد.*

**واژه‌های کلیدی:** *هدایت هیدرولیکی، آب قابل جذب، نفوذپذیری، جرم مخصوص ظاهری، لجن فاضلاب*

---

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



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.1.4 ]

## مقدمه

خاک‌های مناطق مرکزی ایران با اقلیم خشک و نیمه خشک، اغلب دارای کمتر از یک درصد ماده آلی می‌باشند. بنابراین، و با توجه به محدود بودن منابع کودهای دامی، استفاده از منابع کودهای آلی دیگر نظیر لجن فاضلاب امری مطلوب است (۱، ۳ و ٦). لجن فاضلاب منبع غنی عناصر مورد نیاز گیاه می‌باشد و به همین علت به عنوان کودی ارزان قیمت مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است (۱، ۱۰ و ۱۷). اخیراً در ایران پژوهش‌هایی در مورد جنبه‌های شیمیایی و آلودگی استفاده از لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی صورت گرفته، ولی توجه کمتری به اثر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های فیزیکی خاک شده است.

لوگان و همکاران (١٤) گزارش کردند که اثر مواد آلی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک بستگی زیادی به سرعت تجزیه آنها دارد. عوامل مؤثر در سرعت تجزیه مواد آلی شامل ترکیب شیمیایی این مواد (مقدار کربن، نسبت C/N)، درجه حرارت خاک، رطوبت خاک، طرز اضافه کردن (سطحی یا مخلوط کردن با خاک) و مقدار آن در خاک است (١٤). اپستین (۸) گزارش کرد که با افزودن ۵ درصد وزنی لجن فاضلاب به خاکی با بافت لوم‌سیلتی (Silty loam) هدایت هیدرولیکی اشباع پس از ۲۷ روز انکوباسیون افزایش می‌یابد، ولی پس از ۷۹ روز افت کرده و به مقدار شاهد می‌رسد. کلاپ و همکاران (۷) نشان دادند که نفوذپذیری خاک با افزودن ۵۲ و ١٠٤ تن لجن فاضلاب در هکتار به طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد. مارتنز و فرانکن‌برگ (۱۵) سرعت نفوذ یک خاک لوم شنی را با کاربرد لجن فاضلاب، کود مرغی، کاه جو و یونجه اصلاح کردند. آنها دریافتند که کارایی لجن فاضلاب، کاه جو و یونجه نسبت به کود مرغی و شاهد بیشتر است. میز و همکاران (١٦) گزارش کردند که اضافه کردن لجن فاضلاب به خاک سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شود. آنها این کاهش را به تشکیل خاک‌دانه‌ها نسبت دادند. فورر و استافر (۹) گزارش کردند که با اضافه کردن لجن فاضلاب به مدت ٤ سال، در مجموع به میزان ٦١ تن در هکتار به یک خاک رسی، خاک‌دانه‌های پایدار در آب دو درصد افزایش یافت. مارتنز و فرانکن‌برگ (۱۵) گزارش کردند که با افزودن لجن فاضلاب به یک خاک لومی در قطعات آزمایشی با تناوب پنج ساله ذرت، لوبیا و جو، پایداری خاک‌دانه‌ها به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. لوگان و بیلیت (۱۳) دریافتند که اضافه کردن ۲۵ درصد حجمی لجن هضم شده به خاک سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک می‌شود.

پژوهش‌های فوق و بسیاری پژوهش‌های دیگر نشان دهنده تأثیر مطلوب لجن فاضلاب بر ویژگی‌های فیزیکی خاک است، ولی به تأثیر گذشت زمان پس از افزودن لجن فاضلاب بر ویژگی‌های فیزیکی کمتر توجه شده است. بنابراین، هدف از این پژوهش تعیین اثر لجن فاضلاب بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک و تعیین اثر گذشت زمان بر ویژگی‌های فیزیکی در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و چهار سطح لجن فاضلاب (صفر، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار) در کرت‌هایی به ابعاد ۱۵×۵ متر، در مزرعه پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در نجف‌آباد اجرا گردید. خاک محل اجرای آزمایش جزو فامیل (Fine Loamy, mixed, thermic Typic Haplargids) است. لجن هوا خشک توزین، و در سطح کرت مربوطه به طور یک‌نواخت پخش شد، و تا عمق ۲۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط گردید. برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است.

پس از اعمال تیمارهای لجن فاضلاب، گندم (رقم روشن) به طور ردیفی (فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و عمق کاشت پنج سانتی‌متر) در پنجم آذرماه ۱۳۷۷ با دست کاشته شد. آبیاری به صورت کرتی و با توجه به نیاز گیاه انجام شد. چهار مرحله نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری خاک، به ترتیب



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.1.4 ]

**جدول ۱. برخی ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب مورد استفاده**

| ویژگی | واحد | مقدار |
|---|---|---|
| pH | – | ٦/٥ |
| هدایت الکتریکی[1] | dS/m | ۱۳/٥ |
| ماده آلی | درصد | ۲٥ |
| نیتروژن کل | درصد | ۱/۸ |
| فسفر کل | درصد | ۰/۳٦ |
| C/N | – | ۱۱/۹ |
| آهن[2] | mg/kg | ۱۱۳٦۲ |
| روی | mg/kg | ۹٥۰ |
| مس | mg/kg | ٤۰٤ |
| منگنز | mg/kg | ۲٥۰ |
| کادمیم | mg/kg | ٤/٥ |
| سرب | mg/kg | ۷۲۳ |

۱. نسبت لجن: آب در عصاره ۲:۱ است.
۲. غلظت کل فلزات، عصاره‌گیری شده با اسید نیتریک ٤ مولار (۱)

۲۳، ۸٥، ۱٤۸ و ۲۲۱ روز پس از افزودن لجن فاضلاب انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی خاک، شامل جرم مخصوص ظاهری با روش نمونه‌گیری دست نخورده (۱۲)، هدایت هیدرولیکی اشباع به روش آزمایشگاهی بار ثابت (Constant head method) (٤ و ۱۲)، پایداری خاک‌دانه‌ها به روش الک کردن مرطوب، آب قابل استفاده با محاسبه تفاضل مقدار آب $\frac{۱}{۳}$ و ۱٥ بار توسط دستگاه صفحه فشاری (Pressure plate) (۱۸)، و نفوذ آب به داخل خاک در مزرعه با روش تک استوانه‌ای (Single-ring method) اندازه‌گیری شد (علت استفاده از این روش، جلوگیری از ایجاد درز و شکاف اضافی در خاک بوده است؛ یعنی پس از فرو کردن استوانه در خاک اطراف آن به فاصله ۲۰ سانتی‌متری جوی جداگانه‌ای ساخته شد و نخست اطراف استوانه از آب اشباع گردیده، سپس آب به داخل استوانه ریخته و میزان نفوذ در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شد) (٥ و ۱۱).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام گرفت. در این پژوهش روند تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک هر تیمار کودی در طول فصل زراعی در چهار نوبت (۲۳، ۸٥، ۱٤۸ و ۲۲۱ روز پس از افزودن لجن فاضلاب)، و اختلاف میان تیمارهای کودی مختلف بحث و بررسی گردیده است.

## نتایج و بحث

### پایداری خاک‌دانه‌ها

با افزایش میزان لجن فاضلاب افزوده شده به خاک، پایداری خاک‌دانه‌ها به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۲). بیشترین افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار است. به نظر می‌رسد برای تأثیر لجن بر پایداری خاک‌دانه‌ها زمان بخصوصی مورد نیاز می‌باشد. به طوری که، پس از افزودن لجن فاضلاب به خاک، با گذشت زمان، نخست پایداری خاک‌دانه‌ها بدون تغییر، بعد از مدتی افزایش و سپس کاهش می‌یابد. حداکثر پایداری خاک‌دانه‌ها در نمونه‌برداری سوم (۱٤۸ روز پس از افزودن لجن فاضلاب) در تیمارهای ٥۰ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن نشان داده شد، ولی در نمونه‌برداری چهارم (۲۲۱ روز پس از افزودن لجن) پایداری به حال اول بازگشت. البته در تمام تیمارها، و در کلیه زمان‌ها پایداری خاک‌دانه‌ها به طور معنی‌داری بیش از تیمار شاهد است (شکل ۱).

یکی از علل احتمالی این نوسانات این است که کودهای آلی، به ویژه لجن فاضلاب، در آغاز افزودن به خاک مورد حمله قارچ‌ها قرار می‌گیرند، و میسلیوم قارچ‌ها در خاک زیاد می‌شود. بنابراین، شبکه‌های قارچی باعث افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها می‌شوند. با کاهش نسبت کربن به نیتروژن لجن فاضلاب، قدرت تجزیه‌کنندگی باکتری‌ها بیشتر شده و در این رقابت قارچ‌ها حذف می‌گردند (۱۷).

از دیگر علل این افزایش و کاهش در پایداری خاک‌دانه‌ها عوامل محیطی مانند درجه حرارت است. در آغاز، و در هنگام نمونه‌برداری دوم، هوا نسبتاً سرد (فصل زمستان)، ولی در هنگام نمونه‌برداری سوم بهار بوده و شرایط فعالیت قارچ‌ها بسیار مناسب بود. سپس، در هنگام نمونه‌برداری چهارم، هوای گرم

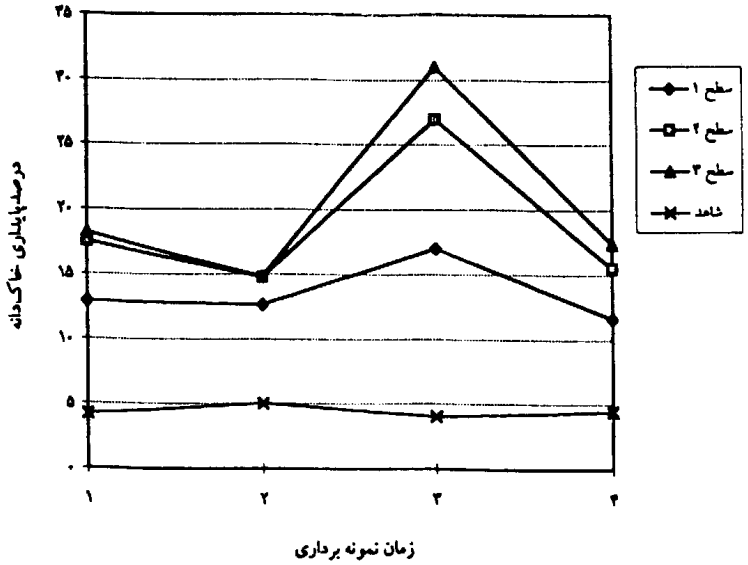


[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.1.4 ]

**جدول ۲. تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک در اثر افزودن مقادیر مختلف لجن فاضلاب به خاک**

| تیمار | جرم مخصوص ظاهری ($Mg/m^3$) | هدایت هیدرولیکی (cm/h) | نفوذ نهایی (cm/h) | پایداری خاک‌دانه (mm) | رطوبت $\frac{1}{3}$ بار | رطوبت ۱۵ بار | آب قابل استفاده |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | درصد | | |
| شاهد | ۱/۲۷ | ۱/۳۶ $^{d}$ | ۰/۷٤ $^{d}$ | ٤/٦٨ $^{d}$ | ۲۰/۸۱ $^{b}$ | ۱۲/٥٦ $^{c}$ | ۸/۲٥ $^{c}$ |
| ۲۵ تن در هکتار | ۱/۲۹ $^{ab}$ | ۲/۹۸ $^{c}$ | ۲/۹٦ $^{c}$ | ۱۳/٥٥ $^{c}$ | ۲۳/٦۱ $^{a}$ | ۱۳/۱۲ $^{b}$ | ۱۰/٤۹ $^{b}$ |
| ۵۰ تن در هکتار | ۱/۲۳ $^{b}$ | ۳/۲٥ $^{b}$ | ۳/٦٥ $^{b}$ | ۱۸/٦۹ $^{b}$ | ۲۳/٦٥ $^{a}$ | ۱۲/۹۳ $^{b}$ | ۱۰/۷۲ $^{b}$ |
| ۱۰۰ تن در هکتار | ۱/۱۳ $^{c}$ | ۵/۷۳ $^{a}$ | ۷/۳ $^{a}$ | ۲۰/۳٥ $^{a}$ | ۲٤/۸۲ $^{a}$ | ۱۳/۷۱ $^{a}$ | ۱۱/۱۱ $^{a}$ |

اعداد هر ستون که حروف مشابه ندارند، دارای اختلاف معنی‌دار ($P<0/05$) هستند.




**شکل ۱. تغییرات پایداری خاک‌دانه‌ها در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب در طول فصل زراعی**

(تابستان) باعث کاهش فعالیت قارچ‌ها، کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها، و در نتیجه در دسترس قرار گرفتن آنها گردید.

### جرم مخصوص ظاهری

به طور کلی، افزایش ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب به خاک باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری نسبت به شاهد گردیده، ولی گذشت زمان باعث از بین رفتن این اثر، و در نتیجه افزایش این ویژگی تا سطح شاهد شده است. کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری برابر ۰/۹۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب، مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب می‌باشد. ولی در طول فصل زراعی و پس از برداشت محصول، تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک روند افزایشی دارد (شکل ۲). در آغاز فصل رشد، به خاطر اثر رقیق کنندگی لجن، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش یافت، ولی پس از آن روند افزایشی داشت (شکل ۲).

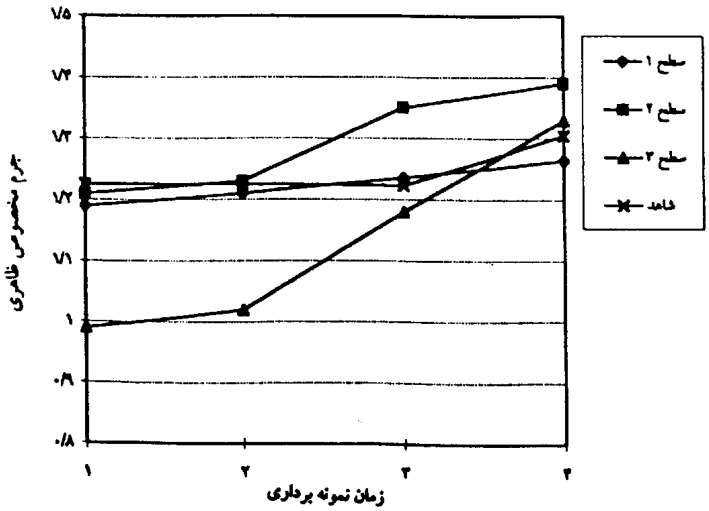
یکی از علل افزایش جرم مخصوص ظاهری مدتی پس از افزودن لجن به خاک (مقایسه نمونه‌برداری‌های اول با دوم، سوم و چهارم)، بی‌ثباتی پایداری خاک‌دانه‌ها و در دسترس قرار گرفتن آنها، و سپس جای‌گزین شدن ذرات در خلل و فرج خاک، و در نتیجه افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک بوده است (۱۷).

از دیگر علت‌های افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در کلیه تیمارها تراکم طبیعی خاک پس از عملیات کاشت است.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.1.4 ]




**شکل ۲. تغییرات جرم مخصوص ظاهری تیمارهای مختلف لجن فاضلاب در طول فصل زراعی**

پژوهش‌های بسیاری نشان داده که خاک پس از نخستین آبیاری نشست می‌کند. این نشست باعث افزایش چشم‌گیر جرم مخصوص ظاهری، به ویژه در عمق‌های اولیه خاک (۰– ۲۰ سانتی‌متری) می‌شود (۱۷).

## هدایت هیدرولیکی

شکل ۳ روند تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع را در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب نشان می‌دهد. این روند نسبت معکوسی با تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک در زمان‌های مختلف نمونه‌برداری دارد. به طور کلی، افزودن لجن فاضلاب باعث افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شد، ولی گذشت زمان پس از نخستین نمونه‌برداری باعث کاهش این پارامتر گردید (جدول ۲ و شکل ۳). این نتایج مشابه با نتایج گزارش شده اپستین (۸) است.

در نمونه‌برداری اول، تیمار ۲۵ تن لجن در هکتار هدایت هیدرولیکی اشباع را ۳/٤ برابر، و تیمار ۱۰۰ تن لجن در هکتار را ٥/٦ برابر نسبت به شاهد افزایش داد. در هنگام نمونه‌برداری دوم، تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد با شاهد دارند.

در نمونه‌برداری‌های سوم و چهارم نیز هنوز تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای لجن با شاهد وجود دارد، و این مورد به ویژه در تیمار ۱۰۰ تن لجن فاضلاب آشکار است (شکل ۳). بنابراین، تداوم اثر لجن بر هدایت هیدرولیکی خاک به مقدار لجن افزوده شده بستگی دارد. این نتایج با نتایج گزارش اپستین (۸) هم‌خوانی دارد.

## سرعت نفوذ نهایی آب در خاک

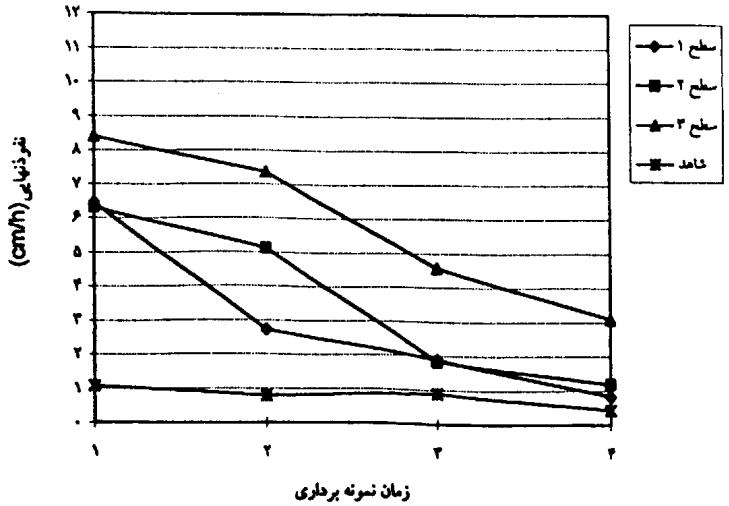
روند تغییرات نفوذ نهایی خاک در زمان‌های مختلف در شکل ٤ نشان‌داده شده است. لجن فاضلاب به طور معنی‌داری سرعت نفوذ نهایی خاک را افزایش داد (جدول ۲). افزایش سرعت نفوذ نهایی خاک به دلیل افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در کرت‌های تیمار شده با لجن فاضلاب است (۲ و ٦). در طول فصل زراعی، نفوذپذیری خاک، همانند هدایت هیدرولیکی، روندی کاهشی نشان داد. ولی حتی در نمونه‌برداری‌های سوم و چهارم سرعت نفوذ نهایی خاک در تیمارهای لجن فاضلاب هنوز به صورت معنی‌داری بیش از سرعت نفوذ نهایی در شاهد است.

در آغاز فصل رشد، میسلیوم قارچ‌ها و دیگر میکروارگانیسم‌ها سریعاً رشد کرده، با ایجاد حفره‌هایی در سطح خاک، سرعت نفوذ نهایی خاک را نسبت به شاهد افزایش می‌دهند (۱۰). با گذشت زمان، روند کاهشی سرعت نفوذ نهایی خاک به علت تجزیه مواد آلی و کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.1.4 ]




**شکل ٤. تغییرات نفوذ نهایی تیمارهای مختلف لجن فاضلاب در طول فصل زراعی**

است. تیمار ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب به طور معنی‌داری سرعت نفوذ نهایی خاک را نسبت به تیمارهای ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار افزایش داد (جدول ۲). نتایج مشابهی توسط کلاپ و همکاران (۷) در بارهٔ تأثیر لجن فاضلاب در افزایش سرعت نفوذ آب در خاک گزارش شده است.

### رطوبت خاک

با افزودن مواد آلی به خاک قدرت نگهداری رطوبت خاک افزایش یافت، این افزایش به خاطر کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش تخلخل کل، تغییر در اندازه خاک‌دانه‌ها و افزایش سطح جذب آب می‌باشد (۸). در جدول ۲، درصد رطوبت خاک در مکش‌های $\frac{۱}{۳}$ و ۱۵ بار نشان داده شده است.

با افزایش میزان لجن، درصد رطوبت در $\frac{۱}{۳}$ بار به صورت معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش یافت، ولی این افزایش بین تیمارهای لجن معنی‌دار نیست. به طور کلی، تیمار ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب دارای درصد رطوبت بیشتری در $\frac{۱}{۳}$ و ۱۵ بار نسبت به تیمارهای دیگر لجن فاضلاب است (جدول ۲).

شکل ۵ روند تغییرات آب قابل استفاده در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب را در طول فصل زراعی نشان می‌دهد. آب قابل استفاده با افزودن لجن فاضلاب به صورت معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۲). بیشترین درصد آب قابل استفاده در تیمار ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب دیده شد. در هنگام نمونه‌برداری دوم کاهشی در آب قابل استفاده وجود دارد. این کاهش ممکن است به خاطر کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها باشد. بیشترین میزان آب قابل استفاده در هنگام نمونه‌برداری سوم دیده شد، که به علت افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها و پوسیدن بیشتر مواد آلی موجود در لجن فاضلاب (افزایش سطح جذب‌کننده آب) است (۸). تیمار ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب آب قابل استفاده را به طور معنی‌داری نسبت به تیمارهای ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار افزایش داد، و تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۲۵ و ۵۰ تن لجن در هکتار مشاهده نشد (جدول ۲).

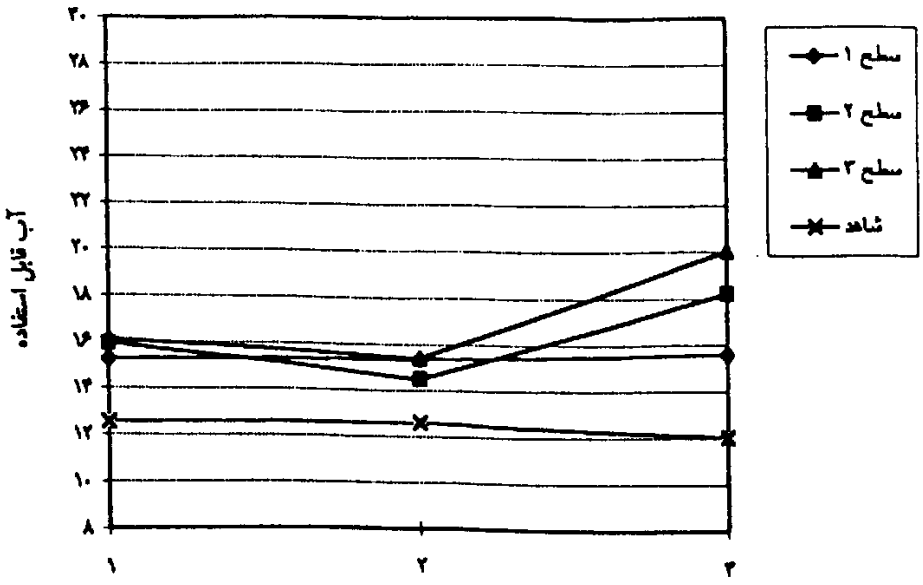
### نتیجه‌گیری کلی

۱. افزودن لجن فاضلاب به خاک، باعث پایداری کلی خاک‌دانه‌ها می‌شود، که می‌تواند سبب کاهش مقدار فرسایش خاک گردد.
۲. افزودن لجن فاضلاب به خاک باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری گردید، ولی پس از مدتی در طول فصل زراعی، جرم مخصوص ظاهری خاک روند افزایشی داشت.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.1.4 ]




**شکل ۵. تغییرات آب قابل استفاده تیمارهای مختلف لجن فاضلاب در طول فصل زراعی**

۳. افزودن لجن فاضلاب به خاک موجب افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع و سرعت نفوذ نهایی گردید، ولی در طول فصل زراعی هدایت هیدرولیکی اشباع و سرعت نفوذ نهایی کاهش یافت، و حتی افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها هم این روند کاهشی را جبران نکرد. در هر صورت، هدایت هیدرولیکی و سرعت نفوذ نهایی خاک بیش از شاهد بود. تیمار ۱۰۰ تن لجن در هکتار بیشترین تأثیر را در افزایش سرعت نفوذ نهایی و هدایت هیدرولیکی خاک دارد.

۳. تیمارهای لجن فاضلاب نگهداری رطوبت خاک را در مکش $\frac{۱}{۳}$ و ۱۵ بار نسبت به شاهد افزایش داد. هم‌چنین، آب قابل استفاده گیاه با افزودن لجن به خاک افزایش یافت. این امر باعث می‌شود که با کاربرد کودهای آلی مصرف آب آبیاری کمتر شده، و نیز در مناطق خشک گیاهان در شرایط تنش کم آبی از آب خاک استفاده بیشتر برند.

٤. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که لجن فاضلاب اثر مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک دارد، و تأثیر تیمار لجن فاضلاب در برخی از موارد حتی بیش از یک فصل زراعی باقی می‌ماند. اثر مطلوب لجن فاضلاب بر افزایش آب قابل استفاده خاک، به ویژه در مناطق مرکزی ایران که با کمبود آب مواجه هستند، بسیار اهمیت دارد. پیشنهاد می‌شود پژوهش بیشتری در باره اثر لجن فاضلاب بر ویژگی‌های دیگر فیزیکی خاک مانند سله‌بندی، دانه‌بندی و ویژگی‌های حرارتی انجام گیرد. هم‌چنین، توصیه کودی با در نظر گرفتن تمام جنبه‌های فیزیکی و آثار زیست‌محیطی انجام گیرد، و تنها جنبه‌های حاصل‌خیزی خاک مبنای توصیه کودی نباشد.

## سپاسگزاری

اعتبارات این پژوهش از طریق طرح ملی تحقیقاتی باکد (M12) ۱۱۵۱ با حمایت شورای پژوهش‌های علمی کشور تأمین شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌شود. هم‌چنین، از آقای مهندس مصلح‌الدین رضایی از بخش خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان، به خاطر اندازه‌گیری رطوبت خاک در مکش‌های $\frac{۱}{۳}$ و ۱۵ بار سپاسگزاری می‌گردد.



[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.1.4 ]

## منابع مورد استفاده


۱. افیونی، م.، ی. رضائی‌نژاد و ب. خیام باشی. ۱۳۷۷. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله کاهو و اسفناج. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۲(۱): ۱۹-۳۰.

۲. بیگی هرچگانی، ح. ۱۳٦۸. اثر رطوبت اولیه و بار آب در فرایند نفوذ سه بافت خاک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. سالاردینی، ع. ۱۳۷۱. *حاصلخیزی خاک*. انتشارات دانشگاه تهران.

٤. محبوبی، ع. ا. ۱۳۷۰. *فیزیک خاک کاربردی*. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

5. Afyuni, M. 1992. Effect of landscape position on soil water distribution and solute transport. Ph. D. Diss., North Carolina State University, Raleigh, NC.

6. Bhangoo, M. S., K. S. Day, V. R. Sudangunta and V. E. Petrucci. 1988. Application of poultry manure influences Thompson seedless grape production and soil properties. Hort. Sci. 23: 1010-1012.

7. Clapp, C. E., S. A. Stark, D. E. Clay and W. E. Larson. 1986. Sewage sludge, organic matter and soil properties. PP. 209-253. *In:* Y. Chen and Y. Avnimelech (Eds.), The Role of Organic Matter in Agriculture. Developments in Plant and Soil Science. Martinus Nijhoff Publ., Dordrecht, The Netherlands.

8. Epstein, E. 1975. Effects of sewage sludge on soil physical properties. J. Environ. Qual. 4: 139-142.

9. Furrer, O. J. and W. Stauffer. 1983. Influence of sewage sludge application on physical properties of soil and its contribution to the humus balance. PP. 256- 271. *In*: Y. Chen and Y. Avnimelech (Eds.), The Role of Organic Matter in Agriculture. Developments in Plant and Soil Science. Martinus Nijhoff Publ., Dordrecht, The Netherlands.

10. Gupta, S. C., R. H. Dowday and W. E. Larson. 1977. Hydraulic and thermal properties of sandy soil influenced by incorporation of sewage sludge. Soil Sci. Soc. Am. J. 41: 601-605.

11. Klute, A. 1986. Water retension laboratory methods. PP. 635-662. *In*: A. Klute (Ed.), Method of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Monogr. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.

12. Klute, A. and C. Dirkwen. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. PP. 687-734. *In*: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Monogr. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.

13. Logan, T. J. and J. Billite. 1998. Field response of soil physical properties to sewage sludge. J. Environ. Qual. 27: 534-542.

14. 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. 25: 153-161.

15. Martens, D. A. and W. T. Frankenberg. 1992. Effect of organic amendment on water infiltration and soil properties of an irrigated soil. Agron. J. 82: 707-717.

16. Mays, D. A., G. L. Treman and J. C. Duggan. 1973. Municipal compost: effect on yield and soil properties. J. Environ. Qual. 2: 81-89.

17. Mullins, C. E., D. A. Mcleod, K. H. Northcote, J. M. Tisdall and I. M. Young. 1990. Hardsetting soils: behaviour, occurrence and management. Adv. in Soil Sci. 11: 37-108.

18. Pagliai, M., G. Guidi, M. Lamarca, M. Giachetti and G. Lucamante. 1981. Effect of sewage sludge and compost on soil porosity and aggregation. J. Environ. Qual. 10: 256-268.




[ Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.24763594.1381.6.4.1.4 ]