اثرات لجن فاضلاب پتروشیمی بر هدایت هیدرولیکی و پارامترهای منحنی مشخصه رطوبتی یک خاک منطقه نیمه خشک

شکراله اصغری[1*] و اسماء ضیالدینی[1]

1- بترتیب استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی

* مکاتبه کننده: sh_asghari2005@yahoo.com

چکیده

منحنی رطوبتی یکی از مهمترین خواص هیدرولیکی خاک بوده و از نظر تعیین پارامترهای هیدرولیکی و انتقال املاح در خاک کاربرد فراوان دارد. تحقیق حاضر به منظور بررسی اثرات لجن بیولوژیکی فاضلاب پتروشیمی تبریز بر هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) و پارامترهای منحنی رطوبتی در معادله وان گنوختن شامل رطوبت اشباع (θ_s)، رطوبت باقیمانده (θ_r)، آلفا (α) و n و نیز شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (S_p) به صورت فاکتوریل (فاکتور اول 5 مقدار مصرفی لجن شامل صفر، 25، 50، 75 و 100 تن در هکتار و فاکتور دوم 3 زمان انکوباسیون و اندازه‌گیری شامل 60، 120 و 180 روز) و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با 3 تکرار در گلخانه اجرا گردید. نتایج نشان داد که مصرف لجن در مقادیر 25 تا 100 تن در هکتار، پارامترهای K_s، θ_s، θ_r، n و S_p را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌دار افزایش داد. در همه تیمارها، مقادیر پارامترهای مذکور به استثنای θ_r از 60 تا 180 روز به طور معنی‌دار کاهش یافت.

کلمات کلیدی: خاک منطقه نیمه خشک، زمان انکوباسیون، لجن پتروشیمی، منحنی رطوبتی، هدایت هیدرولیکی

مقدمه

اکثر خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران به علت داشتن ماده آلی ناچیز دارای ساختمان ناپایداری هستند. این مسأله به علت اثر بر توزیع اندازه منافذ خاک، خصوصیات هیدرولیکی خاک از قبیل هدایت هیدرولیکی، پارامترهای منحنی رطوبتی و منحنی رخنه املاح را نیز متأثر می‌سازد (هیلل، 1998؛ جوری و هورتون، 2004). یکی از روش‌های اصلاح و یا ارتقای کیفیت فیزیکی خاک‌های مناطق مذکور، استفاده از اصلاح کننده‌های آلی ارزان قیمت و سهل‌الوصول مثل لجن فاضلاب در مقایسه با کاه و کلش و کود دامی است. اگرچه لجن فاضلاب ممکن است دارای برخی فلزات سنگین سمی مثل کادمیم نیز باشد ولی با توجه به آهکی بودن و pH قلیایی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران این مسأله نمی‌تواند باعث ایجاد خطرات جدی گردد (کریمی و همکاران، 2009).

منحنی رطوبتی خاک، رابطه بین رطوبت حجمی و مکش خاک بوده و در حل معادلات انتقال آب و املاح در خاک کاربرد دارد. یکی از معادلات پرکاربرد برای نشان دادن منحنی رطوبتی، معادله ارائه شده توسط وان گنوختن (1980) می‌باشد. مطالعات محدود انجام شده توسط برخی محققان نشان داده است که بکارگیری اصلاح کننده‌های طبیعی و مصنوعی در خاک‌های با کلاس بافتی مختلف از طریق جابجایی شکل منحنی رطوبتی باعث تغییر پارامترهای این منحنی در معادله وان گنوختن (1980) گردیده است. به طور مثال، بر اساس گزارش الداربی (1996) افزودن نوعی هیدروژل به نام ژالما[1] در

[1]- Jalma

مقادیر 0/2 و 0/4 درصد به یک خاک شنی باعث افزایش پارامتر n وان گنوختن از 2/49 در شاهد به 2/63 و 2/55 در خاک‌های تیمار شده گردید و باعث شد که منحنی رطوبتی خاک‌های تیمار شده در وضعیت بالاتری نسبت به شاهد قرار گیرند. این در حالی است که بر اساس نتایج تحقیق نقوی و همکاران (1384) اضافه کردن 30 و 60 تن در هکتار کود گاوی به یک خاک لوم شنی اگرچه باعث جابجایی شکل منحنی رطوبتی به بالای شاهد گردید ولی منجر به افزایش معنی-دار پارامتر α وان گنوختن از 0/05 به 0/15 cm^{-1} (فقط در تیمار 60 تن در هکتار) و کاهش معنی‌دار n وان گنوختن در هر دو سطح از 8/72 بترتیب به 3/43 و 2/67 گردید. دکستر و ریچارد (2009) شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (S_p) را با استفاده از پارامترهای معادله وان گنوختن (1980) محاسبه و نشان دادند که عوامل مختلفی از قبیل مقدار رس، ماده آلی و جرم مخصوص ظاهری بر S_p تأثیر می‌گذارند. بهره‌مند و همکاران (1381) نشان دادند که در اثر افزودن 100 تن در هکتار لجن فاضلاب به یک خاک لوم رس سیلتی، جرم مخصوص ظاهری به طور معنی‌دار کاهش و رطوبت اشباع (θ_s) و رطوبت باقیمانده (θ_s) افزایش یافت. این در حالی است که بر اساس گزارش نقوی و همکاران (1384) اضافه کردن 60 تن در هکتار کود گاوی در یک خاک لوم شنی باعث افزایش معنی‌دار پارامتر θ_s ولی کاهش پارامتر θ_r برازشی به معادله وان گنوختن (1980) از 0/08 به 0/05 $cm^3\ cm^{-3}$ گردید.

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) یکی از پارامترهای فیزیکی به شمار می‌رود که دارای ضریب تغییرات بسیار بالایی بوده (CV= 400) و عوامل مختلفی مثل درصدهای شن، رس و ماده آلی و توزیع اندازه منافذ خاک بر آن اثر می‌گذارند (هیلل، 1998؛ واریک، 2002). نتایج تحقیق صفادوست و همکاران (1386) نشان داد که بکارگیری 30 و 60 تن در هکتار کود گاوی باعث افزایش معنی‌دار K_s خاک لوم شنی در مقایسه با شاهد گردید. ولی بر اساس گزارش شیرانی و همکاران (2002) بکارگیری همان مقادیر کود گاوی در خاک لوم رسی سیلتی نتوانست اثر معنی‌داری بر K_s بگذارد.

با توجه به بررسی منابع فوق‌الذکر، اثرات اصلاح کننده‌ها بر پارامترهای هدایت هیدرولیکی و منحنی رطوبتی خاک متناقض بوده و تغییرات این پارامترها با زمان نیز مطالعه نشده است. لذا تحقیق حاضر با هدف اصلی بررسی اثرات لجن فاضلاب پتروشیمی تبریز به عنوان یک اصلاح کننده ارزان قیمت و سهل‌الوصول بر K_s ، پارامترهای منحنی رطوبتی در معادله وان گنوختن (θ_s، θ_r، α و n) و S_p و نیز تغییرات احتمالی این پارامترها با گذشت زمان در یک خاک منتخب از منطقه نیمه خشک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک از لایه سطحی (0 تا 30 سانتی‌متری) یک زمین بایر واقع در مزرعه تحقیقاتی بابلان دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی (طول جغرافیایی°38 و´19 شمالی و عرض جغرافیایی°48 و´20شرقی) برداشته شد. لجن بیولوژیکی از تأسیسات تصفیه فاضلاب مجتمع پتروشیمی تبریز تهیه گردید. برخی ویژگی‌های مهم خاک و لجن مطابق روش‌های معمول و استاندارد (کلوت، 1986؛ پیج، 1985) اندازه‌گیری شد (جدول 1).

جدول 1- برخی ویژگی های خاک و لجن مورد مطالعه

ویژگی	واحد	خاک	لجن
pH*	-	8/25	7/47
کربن آلی	٪	1/24	36
کربنات کلسیم معادل	٪	20	-
میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)	mm	0/29	-
رطوبت ظرفیت مزرعه (FC)	درصد وزنی	23/14	-
کلاس بافت	-	لوم	-

* pH خاک و لجن به ترتیب در گل اشباع و عصاره 1به 2 (لجن به آب) اندازه گیری شد.

لجن هواخشک (2mm >) در مقادیر صفر، 11/11، 22/22، 33/33 و 44/44 گرم بر کیلوگرم (بترتیب معادل صفر، 25، 50، 75 و 100 تن در هکتار) خاک هواخشک با خاک مزرعه (4/75mm >) در رطوبت 75 درصد ظرفیت مزرعه (FC 0/75) مخلوط گردید سپس بر اساس جرم مخصوص ظاهری مزرعه ($1/18\ g\ cm^{-3}$) در داخل گلدان‌های پلاستیکی بزرگ به قطر 50 و ارتفاع 25 سانتی‌متر پر گردید. انکوباسیون نمونه‌ها در داخل گلخانه با شرایط رطوبتی و حرارتی به ترتیب FC(0/8-0/7) و $۲۲\pm۴C^{\circ}$ به مدت 6 ماه صورت گرفت. در طول این مدت رطوبت گلدان‌ها در محدوده مکش‌های حدود 30 تا 50 سانتی‌بار (بترتیب معادل رطوبت 0/8 تا FC 0/7) با تانسیومتر کنترل گردید.

نمونه‌های خاک دست‌نخورده لازم برای اندازه‌گیری پارامترها، در زمان‌های 60، 120 و 180 روز پس از شروع انکوباسیون و از عمق 10 تا 15 cm گلدان‌ها با استفاده از استوانه‌های فولادی به قطر داخلی 5 و ارتفاع 5/1cm برداشته شد. هدایت هیدرولیکی اشباع(K_s) به روش بار افتان[1] (کلوت و دیرکسون، 1986) و منحنی رطوبتی در مکش‌های 0، 10، 20، 30، 40، 60، 80 و 100 cm به روش ستون آب آویزان[2] و در فشارهای 20، 30، 60 و 1500 kPa به روش صفحه فشاری[3] اندازه‌گیری شد. داده‌های منحنی رطوبتی با استفاده از نرم‌افزار RETC به معادله وان گنوختن (1980) برازش گردیدند. در موقع اجرای نرم‌افزار، پارامترهای معادله وان گنوختن (1980) شامل θ_s و θ_r را به عنوان مقادیر ثابت (اندازه-گیری شده)در نظر گرفته و پارامترهای α و n (با فرض $m=1-\frac{1}{n}$) برآورد گردیدند. شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (S_p) با در دست داشتن پارامترهای θ_s و θ_r و n وان گنوختن با استفاده از معادله ارائه شده توسط دکستر (2004) محاسبه گردید.

آزمایش به صورت فاکتوریل (فاکتور اول 5 مقدار مصرفی لجن و فاکتور دوم 3 زمان انکوباسیون و اندازه‌گیری) با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. پس از اطمینان از نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس آنها و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن و با استفاده از نرم‌افزار MSTATC انجام گرفت.

[1]- Falling head
[2]- Hanging water column
[3]- Pressure plate

نتایج و بحث

با توجه به جدول 1 مشاهده می‌شود که در خاک مورد آزمایش به علت پایین بودن مقدار کربن آلی (1/24%)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها کوچک بوده (MWD = 0/29 mm) که بیانگر ناپایداری ساختمان آن می‌باشد. لذا انتظار بر آن بود که بکارگیری لجن پتروشیمی به علت داشتن کربن آلی زیاد (36%) باعث ارتقای پارامترهای هیدرولیکی خاک مذکور گردد.

اثرات لجن و زمان انکوباسیون بر هدایت هیدرولیکی اشباع(K_s) خاک

جدول 2 نشان می‌دهد که خاک شاهد (بدون مصرف لجن) دارای K_s کمتری ($0/046\ cm\ min^{-1}$) است. بر اساس گزارش هیلل (1998) متوسط K_s خاک‌های شنی حدود 0/9 و خاک‌های رسی حدود $0/0009\ cm\ min^{-1}$می‌باشد. بکارگیری لجن در مقادیر 25 تا 100 تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار K_s بترتیب از 41/3 تا 269/5 درصد در مقایسه با شاهد گردید (جدول 2). بین تیمارهای مصرفی لجن نیز اختلاف معنی‌دار وجود داشته و بیشترین افزایش در تیمار 100 تن در هکتار حاصل گردید. علت افزایش معنی‌دار K_s در تیمارهای لجن را می‌توان به افزایش معنی‌دار منافذ ماکرو[1] (اصغری، 2010) در مقایسه با شاهد نسبت داد. نتایج مشابهی توسط صفا دوست و همکاران (1386) و نقوی و همکاران (1381) در اثر مصرف کود گاوی بترتیب در خاک‌های لوم شنی و لوم رسی سیلتی گزارش شده است.

جدول 2- اثر مقدار مصرفی لجن بر هدایت هیدرولیکی اشباع(K_s)، رطوبت اشباع (θ_s)، رطوبت باقیمانده (θ_r)، n وان گنوختن و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (S_p)

مقادیر لجن ($t\ ha^{-1}$)	K_s ($cm\ min^{-1}$)	θ_s ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_r ($cm^3\ cm^{-3}$)	n (-)	S_p (-)
0	0/046 e	0/59 d	0/2075 d	1/3 c	0/053 c
25	0/065 d	0/64 c	0/2171 c	1/37 b	0/069 b
50	0/11 c	0/65 bc	0/2263 b	1/38 b	0/071 b
75	0/14 b	0/66 b	0/2397 a	1/39 ab	0/073 b
100	0/17 a	0/68 a	0/2441 a	1/41 a	0/08 a

میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن).

جدول 3 نشان می‌دهد که K_s زمان 180 روز در همه تیمارها در مقایسه با 60 روز به طور معنی‌دار و به میزان 14/5 درصد کاهش یافته است. به نظر می‌رسد متلاشی شدن خاکدانه‌های ضعیف با گذشت زمان در اثر آبیاری‌های متوالی و انسداد منافذ خاک دلیل این کاهش باشد. باگارلو و اسگروی (2007) نیز گزارش کردند که در یک خاک لوم شنی پس از گذشت حدود 2/3 سال، در اثر آبیاری‌های متوالی و ناپایداری ساختمان خاک، میانگین K_s حدود 46 برابر کاهش یافت.

[1]- Macropors (d > 30 μm)

جدول 3- اثر زمان انکوباسیون بر هدایت هیدرولیکی اشباع(K_s)، رطوبت اشباع (θ_s)، رطوبت باقیمانده (θ_r)، n وان گنوختن و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (S_p)

زمان (روز)	K_s (cm min^{-1})	θ_s (cm^3 cm^{-3})	θ_r (cm^3 cm^{-3})	n (-)	S_p (-)
60	0/11 a	0/65 a	0/2266 ab	1/4 a	0/073 a
120	0/107 ab	0/64 ab	0/2324 a	1/37 b	0/068 b
180	0/094 b	0/63 b	0/2219 b	1/35 c	0/065 b

میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد هستند (آزمون دانکن).

اثرات لجن و زمان انکوباسیون بر پارامترهای منحنی رطوبتی

اگرچه بکارگیری لجن در زمان‌های مختلف انکوباسیون نتوانست پارامتر α در معادله وان گنوختن را تحت تأثیر قرار دهد ولی اضافه کردن لجن در مقادیر 25 تا 100 تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار رطوبت اشباع (θ_s)، رطوبت باقیمانده (θ_r)، n وان گنوختن و S_p در مقایسه با شاهد گردید (جدول 2). به نظر می‌رسد لجن به علت داشتن ظرفیت نگهداری رطوبت بالا و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک (اصغری، 2010) θ_s را افزایش و از طریق جابجایی شکل منحنی رطوبتی به بالای شاهد باعث افزایش پارامتر n و در نتیجه S_p گردیده است. بر اساس گزارش دکستر و ریچارد (2009) با افزایش ماده آلی به خاک S_p افزایش یافته و S_p مساوی با 0/035 مرز بین کیفیت فیزیکی خوب و ضعیف در خاک‌ها می‌باشد بنابراین در تحقیق حاضر افزودن لجن باعث افزایش کیفیت فیزیکی خاک گردیده است. افزایش θ_r یا رطوبت معادل مکش 1500 کیلوپاسکال (واریک، 2002) را در اثر افزودن لجن می‌توان به زیاد شدن سطح ویژه و در نتیجه افزایش آب جذب سطحی شده نسبت داد. نتایج مشابهی در زمینه تأثیر اصلاح کننده‌های مختلف بر θ_s و θ_r و n وان گنوختن در خاک‌های با بافت مختلف توسط شیرانی و همکاران (2002)، الداربی (1996) و بهره‌مند و همکاران (1381) گزارش شده است.

جدول 3 نشان می‌دهد که پارامترهای θ_s، n و S_p از 60 تا 180 روز احتمالاً به علت تجزیه تدریجی لجن و افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک (اصغری، 2010) کاهش یافته است. افزایش موقتی θ_r در زمان 120 روز شاید به خاطر افزایش معنی‌دار کربن آلی (اصغری، 2010) در آن زمان باشد.

نتیجه‌گیری

افزودن لجن پتروشیمی در مقادیر 25 تا 100 تن در هکتار از طریق افزایش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع، رطوبت‌های اشباع و باقیمانده و پارامتر n وان گنوختن منجر به افزایش پارامتر S_p (شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف) گردیده و در نتیجه باعث ارتقای کیفیت فیزیکی خاک منطقه نیمه خشک فقیر از ماده آلی گردید.

منابع

بهره‌مند م ر، افیونی م، حاج عباسی م ع و رضایی‌نژاد ی، 1381. اثر لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 6، شماره 4، صفحات 1 تا 9.

صفا دوست آ، مصدقی م ر، محبوبی ع ا، نوروزی ع و اسدیان ق، 1386. تأثیر کوتاه‌مدت خاک‌ورزی و کود دامی بر ویژگی-های ساختمانی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 11، شماره 41، صفحات 91 تا 100.

نقوی ه، حاج عباسی م ع و افیونی م، 1384. تأثیر کود گاوی بر برخی خصوصیات فیزیکی و ضرایب هیدرولیکی و انتقال برومايد در یک خاک لوم شنی در کرمان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 9، شماره 3، صفحات 93 تا 103.

Asghari Sh, 2010. Petrochemical sewage sludge effects on organic carbon and some physical quality indicators of a semiarid soil. Journal of Food, Agriculture & Environment 8(3&4):1053-1056.

Al-Darby AM, 1996. The hydraulic properties of a sandy soil treated with gel-forming soil conditioner. Soil Technology 9: 15-28.

Bagarello V and Sgroi A, 2007. Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity at the surface of a sandy loam soil. Soil & Tillage Research 94: 283-294.

Dexter AR, 2004. Soil physical quality. Part 1. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma 120: 201-214.

Dexter AR and Richard G, 2009. Tillage of soils in relation to their bi-modal pore size distributions. Soil & Tillage Research 103 (1): 113-118.

Gardner WH, 1986.Water content. Pp. 493-544. In: Klute, A. (ed).Methods of Soil Analysis. Part 1, 2nd ed. Agron. Monog. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Hillel D, 1998. Environmental Soil Physics. Academic press. USA.

Jury W and Horton R, 2004. Soil Physics. John Wiley and Sons, Inc.

Karimi M, Afuni M, Rezainejad, Y and Schulin R, 2009. Heavy metal uptake by wheat from a sewage sludge-amended calcareous soil. Nutrition Cycle Agroecosystem 83:51-61

Klute A, 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2 nd edition. Agron. Monog.9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Klute A and Dirksen C, 1986. Hydraulic conductivity of saturated soils (Falling head). P. 694. In: Klute, A. (ed). Methods of Soil Analysis. Part 1, 2nd ed. Agron. Monog.9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Page AL, 1985. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Methods. Agron.Monog.9. ASA and SSSA, Madison, WI.

Shirani H, Hajabbasi MA, Afyuni M and Hemmat A, 2002. Effect of farmyard and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. Soil & Tillage Research 68: 101-108.

van Genuchten MTh, 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J 44: 892-898.

van Genuchten MTh, Leij FJ and Yates SR, 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic function of unsaturated soils. US Salinity Laboratory and USDA Agricultural Research Service, Riverside, California, 92501.

Warrick AW. 2002. Soil Physics Companion. CRC press. New York.