

تأثیر پلی آکریل آمید، کود دامی، ورمی کمپوست و لجن بیولوژیکی بر پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت فروروی و آب قابل استفاده در یک خاک لوم شنی

شکراه اصغری^{1*}، محمد رضا نیشابوری²، فریبرز عباسی³، ناصر علی اصغرزاد² و شاهین اوستان⁴

تاریخ دریافت: 87/7/17 تاریخ پذیرش: 88/5/19

1- استادیار، گروه علوم خاک، دانشگاه محقق اردبیلی

2- استاد و دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

3- دانشیار پژوهشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج، وزارت جهاد کشاورزی

* مسئول مکاتبه E-mail: sh_asghari2005@yahoo.com

چکیده

تشکیل سله باعث افزایش مقاومت فروروی و کاهش سرعت نفوذ آب به خاک در اثر آبیاری و بارندگی می‌گردد. هدف از این تحقیق، بررسی اثر چهار اصلاح کننده آلی طبیعی و مصنوعی بر پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت فرسودگی و آب قابل استفاده در یک خاک لوم شنی با ساختمان ضعیف در شرایط گلخانه‌ای بود. اصلاح کننده‌ها در دو سطح شامل پلی آکریل آمید (PAM) به میزان 0/25 و 0/5، کود گاوی 12/5 و 25، ورمی کمپوست 2/5 و 5 و لجن بیولوژیکی 1/7 و 3/4 (همگی بر حسب گرم در کیلوگرم خاک هوا خشک) با خاک مخلوط و به طور یکنواخت در تشت‌های پلاستیکی و در لوله‌های پولیکا به ترتیب به ارتفاع 25 و قطرهای 50 و 15 سانتی‌متر پر گردیده و در رطوبت (0/7-0/8)FC و دمای 22 ± 4 °C به مدت 6 ماه نگهداری (اینکوبه) شدند. تشت‌ها به منظور برداشتن نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها در آب (WAS) و ظرفیت آب قابل استفاده (AWC) در زمانهای 7، 30، 60، 120 و 180 روز استفاده گردیدند. مقاومت فروروی (PR) در همان زمانها در لوله‌های پولیکا اندازه‌گیری شد. هر دو سطح مصرفی PAM باعث افزایش معنی دار (WAS ($p < 0/05$) نسبت به شاهد و بقیه اصلاح کننده‌ها گردید و این افزایش تا 180 روز دوام داشت. هر دو سطح مصرفی PAM و کود دامی باعث کاهش معنی دار (PR ($p < 0/05$) در مقایسه با شاهد گردیدند. اثرات اصلاحی سطوح مصرفی ورمی کمپوست و لجن بیولوژیکی از نظر افزایش WAS و کاهش PR معنی دار نشد. سطح مصرفی دوم همه اصلاح کننده‌ها باعث افزایش معنی دار (AWC ($p < 0/10$) گردید. بر اساس نتایج این تحقیق انتظار می‌رود که به کارگیری 0/25 گرم بر کیلوگرم PAM به خاطر هزینه کمتر و یا 25 گرم بر کیلوگرم کود دامی به خاطر سهولت تامین، باعث بهبودی ساختمان و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاکهای درشت بافت گردد.

واژه‌های کلیدی: آب قابل استفاده، اصلاح کننده خاک، پایداری خاکدانه، مقاومت فروروی

Effects of Polyacrylamide, Manure, Vermicompost and Biological Sludge on Aggregate Stability, Penetration Resistance and Available Water Capacity in a Sandy Loam Soil

Sh Asghari^{1*}, MR Neyshabouri², F Abbasi³, N Aliasghar zad² and Sh Oustan⁴

Received: 9 October 2008 Accepted: 10 August 2009

¹ Assist Prof., Dept. of Soil Science, Univ. of Mohaghegh Ardabili, Iran.

^{2,4} Prof. and Assist. Prof., Dept. of Soil Science, Univ. of Tabriz Iran.

³ Assoc. Prof., of Agric. Engin. Res. Inst. (AERI), Karaj, Iran.

* Corresponding author: E-mail: sh_asghari2005@yahoo.com

Abstract

Seal formation increases penetration resistance and decreases infiltration rate and volume in soil during irrigation and rainfall. The objective of this study was to investigate the effects of four natural and synthetic organic conditioners on aggregate stability, penetration resistance and available water capacity in a sandy loam soil with weak structure under greenhouse conditions. Soil conditioners with two application rates including polyacrylamide (PAM) 0.25 and 0.5, cattle manure 12.5 and 25, vermicompost 2.5 and 5 and biological sludge 1.7 and 3.4 (all in g.kg^{-1} of air dry soil) were mixed with the soil and uniformly packed in plastic pans and PVC tubes with 25 cm height and 50 and 25 cm diameter, respectively. Both pans and PVC tubes were incubated at (0.7-0.8) FC moisture content and at temperature of 22 ± 4 °C for 6 months. Pans were used for undisturbed soil sampling in order to measure water aggregates stability (WAS) and available water capacity (AWC) at 7, 30, 60, 120 and 180 days. Penetration resistance (PR) was measured at the same times in the tubes. Both applied levels of PAM significantly ($p<0.05$) increased WAS compared to the control and other conditioners and the increase continued for 180 days. Both levels of PAM and manure significantly ($p<0.05$) decreased PR compared to the control. Conditioning effects of vermicompost and biological sludge on WAS and PR became insignificant. All of the conditioners at the second level of application significantly ($p<0.10$) increased AWC. According to our findings, application of 0.25 gkg^{-1} PAM because of its lower cost, and 25 gkg^{-1} manure for its availability would improve both structure and water holding capacity of the coarse-textured soils.

Keywords: Aggregate stability, Available water, Penetration resistance, Soil conditioner

مقدمه

ناپایداری ساختمانی خاکها به طور اعم باعث ایجاد سله پس از آبیاری و بارندگی می شود (مصدقی و همکاران 1382 و اقبال و همکاران 1996). تشکیل سله از طریق انسداد منافذ خاک باعث کاهش نفوذ آب و تجمع آن در سطح خاک و در نتیجه ایجاد شرایط تهویه ای نامساعد در ناحیه ریشه می شود. رشد جلبکها در مکانهای تجمع آب، به علت تشدید کاهش نفوذ، افزایش تلفات تبخیر از سطح خاک را به دنبال دارد (آجوا و تروت 2006).

اگرچه نفوذ کند آب از ویژگیهای خاکهای ریزبافت است ولی گزارشاتی نیز وجود دارد که در خاکهای درشت بافت (شنی، شن لومی و لوم شنی) با ماده آلی ناچیز به علت پایداری کم خاکدانه ها در آب و متلاشی شدن آنها طی آبیاری های متوالی، منافذ خاک مسدود گردیده و در نتیجه نفوذ آب به خاک کاهش یافته است (نیشابوری و همکاران 1385، آجوا و تروت 2006 و باگارلو و اسگری 2007). از دیگر مشکلات خاکهای درشت بافت می توان به پایین بودن ظرفیت نگهداری آب و املاح به علت وجود منافذ درشت فراوان در آنها اشاره کرد (تستر 1990، الداربی 1996 و نیامانگارا و همکاران 2001).

روشهای مختلفی برای تقلیل محدودیتهای فوق الذکر در خاکهای درشت بافت پیشنهاد شده است که استفاده از انواع مختلف اصلاح کننده های طبیعی و مصنوعی از جمله آنها می باشد. بر اساس گزارش بیور و بلک (1992) در اثر افزودن کربن آلی به یک خاک شنی، رطوبت FC نسبت به PWP بیشتر افزایش یافته و منجر به افزایش ظرفیت آب قابل استفاده¹ (AWC) گردید در حالیکه این افزایش در خاکهای متوسط و ریز بافت برای هر دو رطوبت FC و PWP یکسان بود. نیامانگارا و همکاران (2001) گزارش کردند که در اثر اضافه کردن 37/5 تن در هکتار کود دامی بر یک خاک

شنی، پایداری خاکدانه ها در آب² (WAS) و ظرفیت نگهداری آب در فاصله مکش های 5 تا 20 کیلو پاسکال (آب سهل الوصول) به طور معنی دار افزایش یافت. نتایج حاصله از پژوهش مزرعه ای صفا دوست و همکاران (1386) نشان داد که اضافه کردن 30 و 60 تن در هکتار کود دامی پوسیده بر یک خاک لوم شنی زیر کشت ذرت به ترتیب باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی قطر³ (MWD) خاکدانه ها (روش الک تر) از 0/75 در شاهد به 1/02 و 1/32 میلی متر در خاکهای تیمار شده گردید. بریان (1992) نشان داد که به کارگیری پلی آکریل آمید⁴ (PAM) آنیونی به مقدار 0/5 گرم به ازای هر کیلوگرم خاک هوا خشک بر چندین نوع خاک متوسط و ریز بافت باعث افزایش معنی دار WAS و AWC گردید. لیوی و میلر (1999) نشان دادند که استفاده از PAM با وزن مولکولی⁷ 10⁷ دالتون در یک خاک لوم شنی باعث افزایش معنی دار MWD (روش الک تر) نسبت به شاهد گردید. همچنین بر اساس گزارش نیشابوری و همکاران (1385) افزودن PAM به آب آبیاری با غلظت 50 میلی گرم بر لیتر در یک خاک لوم شنی باعث افزایش هدایت هیدرولیکی سله (K_c) از 44/2 به 88/9 میلی متر بر ساعت شد.

در منابع علمی نتایج ضد و نقیضی در مورد اثر اصلاح کننده ها بر مقاومت فروری⁵ (PR) خاک گزارش شده است. بوشر و همکاران (2007) در یک تحقیق آزمایشگاهی نشان دادند که افزودن PAM آنیونی به مقدار 0/12 گرم به ازای هر کیلوگرم خاک هوا خشک بر یک خاک شن لومی باعث افزایش معنی دار PR از 0/611 در شاهد به 1/001 مگاپاسکال در خاک تیمار شده در رطوبت 10 درصد وزنی (FC) گردید. در حالیکه نتایج حاصله از تحقیق آزمایشگاهی

² Water aggregates stability³ Mean weight diameter⁴ Polyacrylamide⁵ Penetration resistance¹ Available water capacity

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک از یک مزرعه بایر در ایستگاه تحقیقاتی کرکج دانشگاه تبریز (عرض جغرافیایی $5^{\circ} N$ و 38° و طول جغرافیایی $17^{\circ} E$ 46°) از عمق 0-30 سانتی‌متر تهیه گردید. خاک مورد آزمایش دارای کلاس رده بندی Coarse loamy, mixed, mesic and typic calcixercept می‌باشد (جعفرزاده و همکاران 1370). نمونه‌های خاک پس از انتقال به گلخانه و خشک شدن در هوا از الک $4/76$ میلی‌متر عبور داده شدند. اصلاح‌کننده‌ها شامل پلی‌آکریل آمید (PAM) آنیونی با وزن مولکولی 18×10^6 گرم بر مول تهیه شده از پژوهشگاه پلیمر ایران، لجن بیولوژیکی حاصله از تصفیه فاضلاب از کارخانه پتروشیمی تبریز، کود گاو پوسیده و ورمی کمپوست حاصل از فعالیت کرم خاکی *Eisenia foetida* بر روی کود دامی در کارخانه کود آلی شهرداری تبریز، انتخاب گردیدند. سپس برخی ویژگی‌های آنها و خاک مطابق روش‌های متداول توصیه شده (پیچ 1985 و کلوت 1986) اندازه‌گیری شد (جدول 1). برای اندازه‌گیری WAS و AWC از تشتت‌های پلاستیکی (قطر 50 و ارتفاع 25 سانتی‌متر) به تعداد 27 عدد و برای اندازه‌گیری PR و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) (در این مقاله آورده نشده است) از لوله‌های پولیکا (قطر 15 و ارتفاع 25 سانتی‌متر) به تعداد 135 عدد استفاده گردید. در قسمت تحتانی تشتت‌ها سوراخهایی به قطر 2 mm به صورت دایره وار ایجاد گردید. آماده سازی لوله‌ها هم بر اساس روش رایج شده توسط صادقیان و همکاران (1385) صورت گرفت. همه اصلاح‌کننده‌ها (به استثنای PAM) هواخشک گردیده و پس از خرد شدن با آسیاب برقی از الک 2 میلی‌متری عبور داده شدند. سپس لجن بیولوژیکی با توجه به تولید انبوه آن به عنوان یک ماده

صادقیان و همکاران (1385) نشان داد که اضافه کردن PAM با غلظت 100 میلی‌گرم بر لیتر در یک خاک لوم شنی، میانگین PR را 6 روز بعد از آبیاری به طور معنی‌دار از 4/507 در شاهد به 3/43 کیلوپاسکال کاهش داد؛ همچنین تیمار 5 تن در هکتار کاه و کلش گندم در همان زمان باعث کاهش معنی‌دار PR به 3/55 کیلو پاسکال نسبت به شاهد گردیده و در نتیجه از تشکیل سله در لایه سطحی خاک جلوگیری کرد. اوزترک و همکاران (2005) در یک آزمایش گلخانه‌ای اثر اصلاح‌کننده آلی مصنوعی TP¹ را بر مقاومت فرسودگی سه نوع خاک لوم رسی، لوم رسی شنی و لوم شنی بررسی کردند. نتایج نشان داد که PR در همه خاکها به استثنای خاک لوم شنی با افزایش غلظت TP افزایش یافت. وود و اوستر (1985) گزارش کردند که کاهش مقاومت سله در دو نوع خاک ریز بافت و درشت بافت برابر با 30 تا 60 درصد در تیمار گزانتات سلولز و 0 تا 30 درصد در تیمار پلی‌وینیل‌الکل بود. نتایج حاصله از تحقیق مزرعه‌ای شجونینگ و همکاران (1994) نیز نشان داد که تیمار یک خاک لوم شنی با کود حیوانی به مدت 90 سال نتوانست PR را به طور معنی‌دار کاهش دهد.

با توجه به نتایج متناقض حاصله از اثر اصلاح‌کننده‌های طبیعی و مصنوعی فوق‌الذکر بر PR لازم است پژوهش‌های بیشتر در این زمینه انجام گیرد. علاوه بر آن، اثر انکوباسیون اصلاح‌کننده‌های مصنوعی مثل PAM بر پایداری خاکدانه‌ها و آب قابل استفاده کمتر مطالعه گردیده است. هدف تحقیق حاضر، بررسی اثرات PAM، کود دامی، ورمی کمپوست و لجن بیولوژیکی بر WAS، PR و AWC در یک خاک لوم شنی و نیز بررسی تغییر این پارامترها با زمان می‌باشد.

¹ Terralyt plus

سانتی متری متری خاک از محدوده 0/7 FC (معادل مکش 30 سانتی بار) تا 0/8 FC (معادل مکش 15 سانتی بار) فراتر نرفت. اضافه کردن آب در مکش 30 سانتی بار انجام می شد.

برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها، نمونه های دست خورده از عمق 10 تا 15 سانتی متری تشت‌ها که دارای نوسانات رطوبتی و حرارتی کمتری بود تهیه و پایداری خاکدانه‌ها در مقابل خیساندن در آب (WAS) با استفاده از روش کمپر و روسنا (1986) اندازه گیری شد.

مقاومت فروروی (PR) در لایه سطحی (0-2 cm) ستونهای خاک داخل لوله‌ها به وسیله فروسنج مخروطی مدل جیبی ساخت ژاپن¹، 10 روز (زمان لازم برای رسیدن رطوبت خاک نزدیک به 0/75FC) بعد از اندازه‌گیری K_s در ستون‌ها تعیین گردید. روش محاسبه PR توسط دستگاه مذکور در مقاله صادقیان و همکاران (1385) ارائه شده است لذا از نوشتن جزئیات صرفنظر می‌شود.

برای تعیین ظرفیت آب قابل استفاده، نمونه‌های دست نخورده با استوانه‌های فولادی (قطر 5/6 و ارتفاع 4 سانتی‌متر) از عمق 10 تا 15 سانتی‌متری تشت‌ها تهیه و رطوبت آنها در مکش‌های 10 و 1500 کیلوپاسکال با استفاده از روش صفحات فشاری² اندازه‌گیری گردید (گاردنر 1986). ظرفیت آب قابل استفاده (AWC) برابر اختلاف رطوبت در دو مکش مذکور در نظر گرفته شد (بیور و بلک 1992).

آزمایش به صورت فاکتوریل (فاکتور اول شامل 4 نوع اصلاح کننده، فاکتور دوم شامل 3 سطح مصرفی اصلاح کننده و فاکتور سوم شامل 5 زمان انکوباسیون

زائد در کارخانه پتروشیمی تبریز به مقادیر 1/7 و 3/4 گرم بر کیلوگرم خاک هواخشک بر مبنای تحقیق قبلی انجام گرفته توسط کسرای (1382)، ورمی کمپوست به مقادیر 2/5 و 5 گرم بر کیلوگرم خاک هواخشک و کود دامی (گاوی) به مقادیر 12/5 و 25 گرم بر کیلوگرم خاک هواخشک با توجه به سهولت دسترسی و فراوانی تولید آنها و نیز بر اساس صرفه اقتصادی برای زارعین محلی، با خاک لوم شنی مورد آزمایش در رطوبت تقریباً 0/75FC مخلوط گردیدند. پلی آکریل آمید آنیونی نیز بر مبنای تحقیق بریان (1992) و با در نظر گرفتن امکان بالقوه تولید انبوه آن در داخل کشور به مقادیر 0/25 و 0/5 گرم بر کیلوگرم خاک هواخشک در مقدار آب لازم برای ایجاد رطوبت 0/75FC حل و محلول حاصل به خاک اضافه شد. پر کردن تشت‌ها و لوله‌ها از خاک تیمار شده به صورت لایه لایه و بر اساس حجم هر لایه و جرم مخصوص ظاهری مزرعه (1/48 گرم بر سانتی متر مکعب) انجام گرفت. برای ایجاد پیوستگی در خاک مورد آزمایش و نیز تسهیل در زهکشی احتمالی، هم تشت‌ها و هم لوله‌ها بر روی بستر خاکی به ضخامت 10 سانتی متر در کف گلخانه قرار گرفتند. انکوباسیون تیمارها در گلخانه در دمای $22 \pm 4^\circ\text{C}$ و رطوبت 0/75FC (شرایط بهینه برای فعالیت میکروب‌های هوازی) به مدت 6 ماه انجام گرفت. به منظور بررسی تاثیر انکوباسیون، اندازه‌گیری پارامترها در زمانهای 7، 30، 60، 120 و 180 روز انجام گرفت. در طول این مدت برای کنترل رطوبت در دامنه 0/8FC-0/7 از تانسیموتر استفاده گردید. برای این منظور تعدادی تانسیموتر در داخل تشت‌ها و لوله‌ها در عمق 10-15 سانتی‌متر نصب گردیده و آبیاری بر اساس حجم خاک هر تشت و لوله و رطوبت های مذکور صورت گرفت. به طوریکه تغییرات رطوبت در عمق 10

¹ O.S.K. 221 Soil hardness tester

² Pressure plates

نتایج و بحث

جدول 1 نشان می‌دهد که خاک مورد مطالعه به علت داشتن رس و ماده آلی کم، دارای WAS پایین (7/81 درصد) بوده و AWC آن نیز 7/69 درصد وزنی است. در این خاک به علت کمی مواد آلی، طبق مشاهدات لایه سطحی خاک بعد از آبیاری و یا بارندگی نیز سله می‌بندد. جدول 2 تجزیه واریانس پارامترهای اندازه-گیری شده را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

یا اندازه‌گیری) در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با 3 تکرار اجرا گردید. قبل از تجزیه آماری، تست نرمال بودن بر روی داده‌ها انجام گرفت. سپس تجزیه واریانس داده‌ها با نرم افزار MSTATC، مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و رسم اشکال با نرم افزار EXCEL صورت گرفت.

جدول 1- برخی ویژگی‌های خاک و اصلاح کننده‌های مورد مطالعه.

ویژگی	خاک	کود دامی	ورمی کمپوست	لجن بیولوژیکی
pH عصاره اشباع	8/1	7/7	8	8/1
EC عصاره اشباع (دسی زیمنس بر متر)	1/87	15	14/65	11/41
کربن آلی (%)	0/62	34/8	16/5	26/6
ازت کل (%)	-	0/4	2	7/4
کربنات کلسیم معادل (%)	21	-	-	-
پایداری خاکدانه‌های 1-2 mm (%WAS)	7/81	-	-	-
محتوای آب 10 کیلوپاسکال (درصد وزنی)	17/41	-	-	-
محتوای آب 1500 کیلوپاسکال (درصد وزنی)	9/72	-	-	-
شن (%)	69/44	-	-	-
سیلت (%)	20/9	-	-	-
رس (%)	9/66	-	-	-

جدول 2- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) پارامترهای اندازه گیری شده.

منابع تغییر	نوع اصلاح کننده	سطح مصرفی اصلاح کننده	زمان انکوباسیون	نوع × سطح	نوع × زمان	سطح × زمان	نوع × سطح × زمان	خطا
درجه آزادی	3	2	4	6	12	8	24	118
WAS	15841/2**	4729/8**	357/9**	4028/6**	80/23**	28/34*	24/9*	13/32
PR	19812/45**	28488/64**	88661/1**	5771/54*	1778/9 ^{n.s}	4005/7 ^{n.s}	1034/8 ^{n.s}	2267/7
AWC	2/407*	2/239*	212/826**	1/154 ^{n.s}	1/03 ^{n.s}	2/136*	0/75 ^{n.s}	0/939

+ . معنی دار در 10 درصد، * . معنی دار در 5 درصد، ** . معنی دار در 1 درصد.

جدول 3- مقایسه میانگین درصد پایداری خاکدانه‌ها در آب (WAS) در سطوح مصرفی اصلاح کننده‌ها و زمان‌های انکوباسیون (آزمون دانکن).

زمان (روز)	اصلاح کننده	پلی آکریل آمید	لجن بیولوژیکی	ورمی کمپوست	کود دامی
7	صفر	7/81n	7/81n	7/81n	7/81n
	یک	71/26cd	10/01lmn	10/56klmn	7/617n
	دو	83/73a	11/2jklmn	11/53ijklmn	9/726mn
30	صفر	18/13fghij	18/13fghij	18/13fghij	18/13fghij
	یک	75/71bc	19/17fgh	14/18hijklm	17/93fghij
	دو	79/78ab	15/24hijklm	18/7fghi	16/56ghijklm
60	صفر	17/16fghijkl	17/16fghijkl	17/16fghijkl	17/16fghijkl
	یک	70/7cd	18/71fghi	17/55fghijk	18/17fghij
	دو	80/33ab	17/43fghijk	18/22fghij	17/31fghijk
120	صفر	19/26fgh	19/26fgh	19/26fgh	19/26fgh
	یک	66/77d	19/58fgh	18/55fghij	18/63fghi
	دو	75/22bc	24/48f	21/36fgh	20/88fgh
180	صفر	17/23 fghijkl	17/23fghijkl	17/23fghijkl	17/23fghijkl
	یک	59/39e	21/57fgh	19/92fgh	16/6ghijklm
	دو	69/98cd	18/21fghij	23/91fg	17/07fghijkl

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ستون و در هر ردیف از نظر آماری در سطح احتمال 5 درصد اختلاف معنی‌دار دارند.

پایداری خاکدانه‌ها (WAS)

خاکدانه‌ها در آب (WAS) در جدول 3 نشان می‌دهد که در تیمار شاهد (سطح مصرفی صفر) WAS در زمان 7 روز 7/81 درصد بوده و بعد از آن در بقیه زمان‌ها (30، 60، 120 و 180 روز) به طور معنی‌دار افزایش یافته است. این نکته بیانگر آن است که حتی در خاک شاهد که هیچ نوع مواد اصلاح کننده به آن اضافه نگردیده است در اثر انکوباسیون به علت ایجاد شرایط مطلوب از نظر درجه حرارت و رطوبت، میکروارگانیزم‌های بومی خاک، فعال شده و از مواد آلی اندک موجود در خاک (جدول 1) استفاده کرده و در اثر ترشحات آنها، خاکدانه‌های پایدار ایجاد شده

جدول 2 نشان می‌دهد که اثرات اصلی نوع و سطح مصرفی اصلاح کننده و زمان انکوباسیون ($P < 0/01$) و اثرات متقابل نوع \times سطح مصرفی اصلاح کننده ($P < 0/01$)، نوع اصلاح کننده \times زمان انکوباسیون ($P < 0/01$)، سطح مصرفی اصلاح کننده \times زمان انکوباسیون ($P < 0/05$) و نوع \times سطح مصرفی اصلاح کننده \times زمان انکوباسیون ($P < 0/05$) بر WAS معنی‌دار گردیده است. مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع \times سطح مصرفی اصلاح کننده \times زمان انکوباسیون بر پایداری

7 روز فاقد اختلاف معنی دار بوده و بعد از آن شروع به کاهش کرده است که بیانگر مقاوم بودن این پلیمر مصنوعی در مقابل تجزیه میکروبی و نیز آبشویی می-باشد. گزارش شده است که PAM با شدت 10 درصد در سال به علت واکنش‌ها و فرایندهای فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و فتوشیمیایی تجزیه می‌شود (بوشر و همکاران 2007). با توجه به اینکه PAM به مقدار زیادی حساس به تجزیه شدن توسط اشعه UV می‌باشد لذا در صورتیکه این اصلاح کننده به منظور کنترل فرسایش، در لایه سطحی خاک اضافه گردد، ممکن است شدت تجزیه آن سریعتر از مقدار گزارش شده فوق باشد. بنابراین برای جلوگیری از این عمل و به منظور تجزیه بیولوژیکی PAM، محققان توصیه می‌کنند که آن را با حجم زیادی از خاک مخلوط کنند (سوجکا و همکاران 2006). نتایج حاصل از تحقیق آزمایشگاهی بوشر و همکاران (2007) نیز نشان داد که به کارگیری PAM در غلظت‌های 0/03 و 0/12 گرم بر کیلوگرم خاک هوا خشک بر یک خاک شن لومی، باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0/05$) WAS خاکدانه‌های 2-0/25 میلی متر نسبت به شاهد، 96 روز بعد از انکوباسیون گردیده ولی بین سطوح مصرفی PAM اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. بنا به اظهارات محققان مذکور هزینه هر کیلوگرم PAM، 3 تا 4 دلار آمریکا بوده که در صورت استفاده از آن در غلظت 0/03 گرم بر کیلوگرم هزینه اصلاح یک هکتار خاک به حدود 180 دلار می‌رسد.

استفاده از اصلاح کننده‌های کود دامی، ورمی کمپوست و لجن بیولوژیکی در سطوح مصرفی به کار رفته در این تحقیق نتوانست اثر معنی‌داری بر WAS نسبت به شاهد در کلیه زمان‌های انکوباسیون بگذارد (جدول 3). با توجه به بافت درشت و ماده آلی ناچیز خاک مورد آزمایش (جدول 1)، پایداری خاکدانه‌ها در آب خیلی ضعیف بوده (7/81 درصد) و انتظار بر این بود که اضافه کردن هر نوع اصلاح کننده آلی بر آن،

است. بخش اعظم عمل خاکدانه‌سازی یک فرایند بیولوژیکی می‌باشد که طی آن رشته‌ها و پلی ساکاریدهای حاصله از فعالیت ریشه‌ها و میکروارگانیسم‌ها با ذرات رس پیوند خورده و در اثر ایجاد کمپلکس‌های آلی- معدنی، خاکدانه تشکیل می‌شود (علی‌اصغرزاد 1376). البته عوامل فیزیکی از قبیل خشک و مرطوب شدن متوالی، ذوب و انجماد، رشد ریشه و حرکت حیوانات نیز در خاکدانه‌سازی موثر هستند (جوری و هورتون 2004).

تیمار پلی‌آکریل‌آمید (PAM) در هر دو سطح مصرفی باعث افزایش معنی‌دار WAS نسبت به شاهد و بقیه اصلاح‌کننده‌ها گردیده و با افزایش مقدار مصرفی PAM، پارامتر WAS در کلیه زمان‌ها (به استثنای 30 روز) به صورت معنی‌دار ($P < 0/05$) افزایش یافت (جدول 3). نتایج حاصل از تحقیق نادلر و همکاران (1996) نیز نشان داد که به کارگیری PAM در هر سه سطح مصرفی (0/025، 0/05 و 0/075 گرم بر کیلوگرم خاک هوا خشک) در یک خاک لوم شنی اشباع شده با سدیم، از طریق سیمانی کردن ذرات خاک و جلوگیری از پراکنش ذرات رس و در نتیجه ایجاد خاکدانه‌های بزرگ و پایدار در آب، باعث افزایش معنی‌دار WAS نسبت به شاهد گردیده و این اثر افزایشی با بیشتر شدن غلظت PAM، افزایش یافت. همچنین بر اساس گزارش بریان (1992) به کارگیری PAM در 10 نمونه خاک با بافت‌های مختلف، باعث افزایش معنی‌دار WAS خاکدانه‌های بزرگتر از 2/8 میلی متر در غلظت‌های 0/5 (همه خاک‌ها) و 0/25 گرم بر کیلوگرم خاک هوا خشک (برخی خاک‌ها) نسبت به شاهد گردید. با این وجود محقق مذکور استفاده از غلظت 0/25 گرم بر کیلوگرم را به علت داشتن هزینه کمتر و سهولت به کارگیری آن به خاطر گرانروی پایین توصیه کرد. همچنین از جدول 3 نمایان است که پارامتر WAS در سطح یک PAM، تا زمان 120 روز و در سطح دو PAM، تا زمان 60 روز نسبت به زمان

کود دامی از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک (شکل 3) به علت ایجاد منافذ ریز (میکرو) زیاد (اصغری و همکاران 2009) و یا کاهش احتمالی جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به شاهد توانسته است PR را به طور معنی‌دار کاهش دهد. این نتایج با یافته‌های مصدقی و همکاران (1378) مطابقت دارد. ایشان نشان دادند که در اثر افزودن کود دامی به مقادیر 50 و 100 تن در هکتار بر یک خاک لوم رسی سیلتی در مزرعه، جرم مخصوص ظاهری و PR (یا شاخص مخروطی، CI) خاک در رطوبت حد پلاستیکی (PL) به طور معنی‌دار ($P < 0/1$) کاهش یافته ولی اختلاف معنی‌دار بین دو سطح کود دامی از نظر اثر بر CI مشاهده نشد.

اثر سطوح مصرفی ورمی کمپوست و لجن بیولوژیکی بر PR احتمالاً به علت مقادیر مصرفی کم آنها معنی‌دار نشد. این در حالی است که بر اساس گزارش تستر (1990) افزودن 60 تن در هکتار کمپوست لجن فاضلاب بر یک خاک شن لومی از طریق کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری و افزایش نگهداری رطوبت در لایه 10 سانتی‌متری سطحی خاک باعث کاهش معنی‌دار ($P < 0/05$) PR از 1752 در شاهد به 1334 کیلو پاسکال در خاک تیمار شده گردید. نتایج حاصله از پژوهش مزرعه‌ای نیشابوری (2002) نیز نشان داد که اضافه کردن کاه و کلش گندم، کود دامی خشک، ضایعات برنج و بقایای پنبه به مقادیر لازم برای پوشاندن 30 و 60 درصد سطح در یک خاک لوم رسی سیلتی باعث کاهش معنی‌دار PR، 10 روز پس از آبیاری بارانی از 2/1 به 0/79 کیلو پاسکال در مقایسه با شاهد گردیده و جوانه‌زنی پنبه را افزایش داد. با توجه به شکل 2 مشاهده می‌شود که مقاومت فروروی خاک از زمان 7 روز تا 180 روز افزایش یافته و این افزایش در دو زمان متوالی (به استثنای 7 و 30 روز) کاملاً معنی‌دار گردیده است. چنین به نظر می‌رسد که با گذشت زمان و در اثر ضربات ناشی از قطرات آب طی

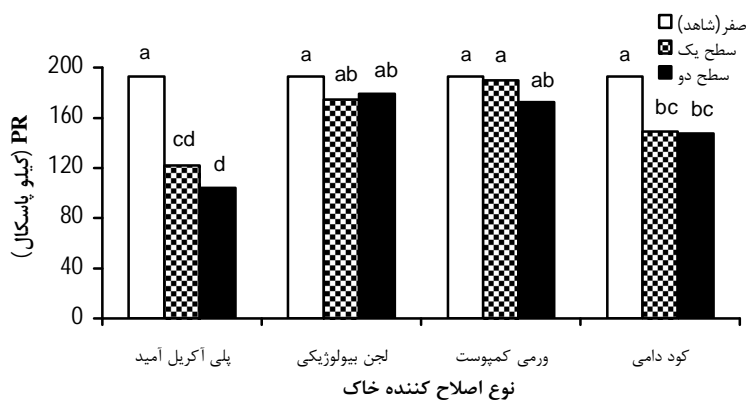
فقط به مقدار ناچیزی ساختمان خاک را بهبود دهد لذا خاکدانه‌سازی جزئی انجام گرفته هم به احتمال قوی به آسانی در اثر تنش‌های رطوبتی تخریب گردیده و ترکیبات آلی طبیعی اضافه شده نتوانستند ذرات درشت‌تر را به هم پیوند دهند. این اثر تثبیت‌کنندگی ضعیف به علت تجزیه سریع مواد آلی اضافه شده تحت شرایط هوایی، در یک خاک درشت بافت تشدید می‌شود. نتایج حاصله از پژوهش پاگلیای و همکاران (1981) و گوپتا و همکاران (1977) نیز این مسأله را تأیید می‌کند.

مقاومت فروروی (PR)

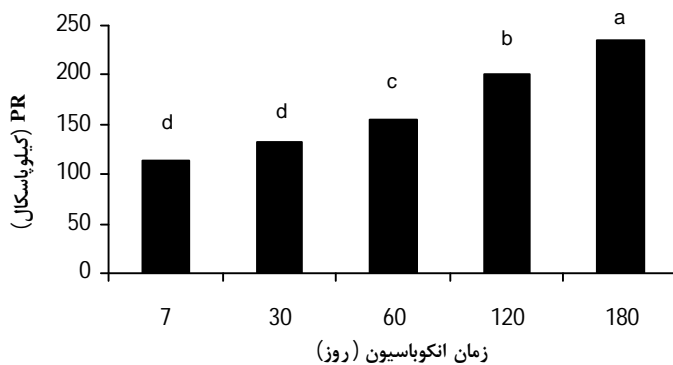
اثرات اصلی نوع و سطح مصرفی اصلاح‌کننده و زمان انکوباسیون ($P < 0/01$) و فقط اثرات متقابل نوع \times سطح مصرفی اصلاح‌کننده ($P < 0/05$) بر PR معنی‌دار شد (جدول 2). شکل 1 نشان می‌دهد که همه اصلاح‌کننده‌ها در هر دو سطح مصرفی باعث کاهش PR نسبت به شاهد گردیدند که فقط در تیمارهای PAM و کود دامی (هر دو سطح) معنی‌دار شد. همچنین تیمار PAM در دومین سطح مصرفی نسبت به بقیه اصلاح‌کننده‌ها در سطوح مصرفی به کار رفته، میانگین PR را به طور معنی‌دار کاهش داد و بین سطح یک و دو در هیچ یک از اصلاح‌کننده‌ها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. چنین به نظر می‌رسد که PAM از طریق ایجاد خاکدانه‌های قوی و پایدار در آب در مقایسه با شاهد و سایر اصلاح‌کننده‌ها (جدول 3) از تشکیل سله در لایه سطحی خاک جلوگیری کرده و منجر به کاهش معنی‌دار مقاومت فروروی خاک گردیده است. نتایج حاصله از پژوهش کوک و نلسون (1986) نشان داد که در اثر اضافه کردن 67 کیلو گرم در هکتار PAM مایع در یک خاک ریز بافت، PR از 4/5 به 0/58 میلی گرم بر متر مربع کاهش و جوانه زنی یونجه 34 درصد افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط صادقیان و همکاران (1385) نیز به دست آمده است.

بررسی منابع انجام گرفته در تحقیق حاضر، به علت عدم وجود مطالعه در زمینه اثر زمان انکوباسیون بر مقاومت فروروی (PR) خاک، مقایسه دقیق نتایج حاصله از این قسمت میسر نشد.

آبیاری‌های متوالی، خاکدانه‌های لایه سطحی متلاشی گردیده سپس در اثر انسداد منافذ و تشکیل سله در سطح خاک، PR به طور معنی دار افزایش یافته است. کاهش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع با گذشت زمان (اصغری 1387) نیز مؤید این مسأله بود. با توجه به



شکل 1- اثرات متقابل نوع و سطح مصرفی اصلاح کننده خاک بر میانگین مقاومت فروروی (PR) خاک. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال 5 درصد است.



شکل 2- اثر زمان انکوباسیون بر میانگین مقاومت فروروی (PR) خاک. حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال 5 درصد است.

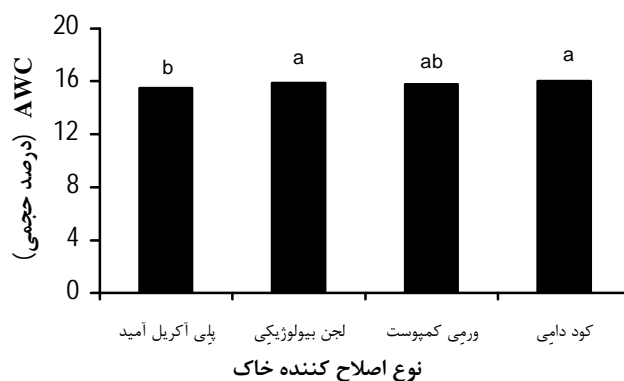
- ظرفیت آب قابل استفاده (AWC)

اثرات اصلی نوع و سطح مصرفی اصلاح کننده $(P < 0/1)$ و زمان انکوباسیون $(P < 0/01)$ و اثرات متقابل سطح مصرفی اصلاح کننده \times زمان انکوباسیون $(P < 0/05)$ بر AWC معنی‌دار شد (جدول 2). شکل 3 نشان می‌دهد که تیمار PAM نسبت به بقیه (به استثنای ورمی کمپوست) به طور معنی‌دار $(P < 0/1)$ دارای AWC کمتری می‌باشد. تیمار PAM به علت داشتن منافذ ماکرو و مزوی زیاد و منافذ میکروی کم (اصغری 1387)، در مکش 10 کیلوپاسکال نسبت به بقیه اصلاح کننده‌ها آب بیشتری را از دست داده و دارای FC و در نتیجه AWC کمتری گردیده است که این نتیجه با یافته‌های صادقیان و همکاران (1385) در مورد PAM مطابقت دارد.

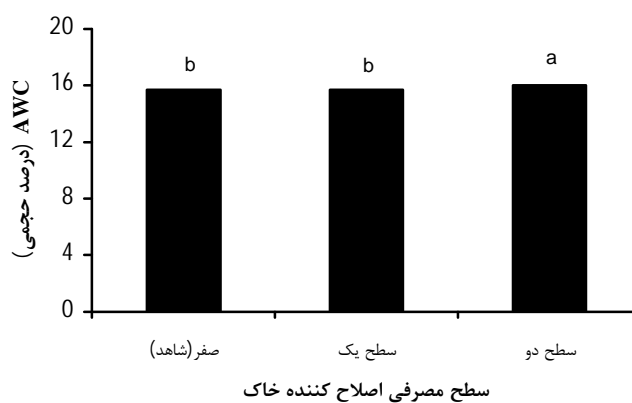
با توجه به شکل 4 مشاهده می‌شود که همه اصلاح کننده‌ها در سطح مصرفی دو به علت افزایش خاکدانه‌سازی و یا تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک (اصغری، 2009)، آب نگهداری شده در رطوبت FC را نسبت به رطوبت PWP بیشتر افزایش داده و در نتیجه باعث افزایش AWC نسبت به خاک شاهد گردیدند $(P < 0/1)$. نیامانگارا و همکاران (2001) نشان دادند که در اثر افزودن کود گاوی بر خاک شنی، آب سهل‌الوصول (RAWC) که متأثر از ماکروپروزیته (منافذ درشت) می‌باشد به طور معنی‌دار $(P < 0/01)$ افزایش یافت. بر اساس گزارش الداربی (1996) در اثر افزودن یک اصلاح کننده مصنوعی به نام ژالما در مقادیر 0/2، 0/4 و 0/8 درصد وزنی بر خاک شنی، AWC به ترتیب حدود 12، 54 و 331 درصد افزایش پیدا کرد.

شکل 5 نشان می‌دهد که در زمان‌های مختلف (به استثنای 120 روز) بین سطوح مصرفی اصلاح کننده‌ها از نظر اثر بر AWC اختلاف معنی‌دار وجود نداشته و

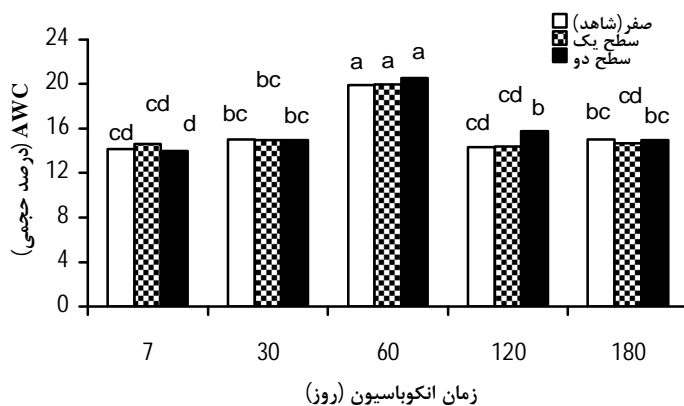
در زمان 60 روز، AWC در هر سه سطح مصرفی نسبت به بقیه زمان‌ها به طور معنی‌دار افزایش یافته است که بیانگر افزایش رطوبت FC احتمالاً به علت تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک از طریق ایجاد منافذ میکروی زیاد (اصغری 1387) می‌باشد. علت افزایش معنی‌دار AWC در تیمار شاهد در زمان 60 روز شاید به خاطر خاکدانه‌سازی موقتی بوده که در زمان‌های بعدی این خاکدانه‌ها در اثر تنش‌های آبی وارده دوباره متلاشی شده‌اند. با ادامه این تغییرات، AWC در زمان 120 روز در سطح مصرفی دو به طور معنی‌دار $(P < 0/05)$ نسبت به سطح مصرفی یک و شاهد افزایش پیدا کرده است و در زمان 180 روز احتمالاً به علت تجزیه شدن مواد آلی اضافه شده از طریق افزایش سطح ویژه ذرات خاک و در نتیجه افزایش آب جذب سطحی شده باعث گردیده که رطوبت PWP نسبت به FC، بیشتر افزایش یافته و در نتیجه، اختلاف بین این دو یعنی AWC در سطوح مصرفی تیمارها در مقایسه با شاهد معنی‌دار نگردد. برخی از محققان عدم ایجاد اثر معنی‌دار اضافه کردن اصلاح کننده لجن فاضلاب بر AWC در خاک‌های شنی حتی به مقدار 450 تن در هکتار را نیز به علت عدم اثر-گذاری لجن بر خاکدانه‌سازی به خاطر درشتی بافت خاک گزارش کرده‌اند (گوپتا و همکاران 1977). همچنین بر اساس گزارش بریان (1992) به کارگیری PAM با غلظت 0/5 گرم به ازای هر کیلوگرم خاک هوا خشک در خاک‌های با بافت‌های مختلف باعث افزایش غیر معنی‌دار رطوبت در مکش‌های پایین (0/33 بار) و کاهش معنی‌دار رطوبت در مکش‌های بالا (15 بار) گردیده و نسبت رطوبت نگهداری شده در مکش‌های 0/3 و 15 بار در خاک‌های تیمار شده را در مقایسه با شاهد به طور معنی‌دار $(P < 0/1)$ افزایش داد و این اثرات تنها در برخی خاک‌ها و فقط تا مدت 30 روز توانست پایدار بماند.



شکل 3- اثر نوع اصلاح کننده بر میانگین ظرفیت آب قابل استفاده (AWC).
حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال 10 درصد است.



شکل 4- اثر سطح مصرفی اصلاح کننده بر میانگین ظرفیت آب قابل استفاده (AWC).
حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال 10 درصد است.



شکل 5- اثرات متقابل سطح مصرفی اصلاح کننده و زمان انکوباسیون بر میانگین ظرفیت آب قابل استفاده.
حروف غیر مشابه بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال 5 درصد است

نتیجه گیری

بین چهار اصلاح کننده، فقط PAM در هر دو سطح مصرفی توانست خاکدانه‌های قوی و پایدار در آب ایجاد کند. بقیه اصلاح کننده‌ها احتمالاً به علت مقادیر مصرفی کم آنها و یا درشت بافت بودن خاک مورد آزمایش نتوانستند اثر معنی‌داری بر خاکدانه‌سازی بگذارند. PAM در مرتبه نخست و کود دامی در مرتبه بعدی باعث کاهش معنی‌دار مقاومت فروری خاک گردید. هر چهار اصلاح کننده، آب قابل استفاده را در دومین سطح مصرفی افزایش دادند اگرچه، این افزایش فقط در سطح

احتمال 10 درصد معنی‌دار شد. به نظر می‌رسد استفاده از PAM در غلظت 0/25 گرم بر کیلوگرم از هر چند سال یکبار به علت هزینه پایین و تولید آن در داخل کشور و نیز مقاوم بودن آن در برابر آبهویی از خاک و یا استفاده از کود دامی به مقدار 25 گرم بر کیلوگرم در هر سال در صورت داشتن توجیه اقتصادی بتواند باعث اصلاح ساختمان و بهبود نسبی ظرفیت نگهداری خاکهای درشت بافت گردد. البته برای بررسی دقیق‌تر، انجام آزمایشات مزرعه‌ای با سایر سطوح مصرفی اصلاح کننده‌ها ضروری می‌باشد.

منابع مورد استفاده

- اصغری ش. 1387. اثر چهار ماده اصلاح کننده آلی بر توزیع اندازه منافذ، پایداری خاکدانه، ضرایب هیدرولیکی و انتقال املاح در یک خاک لوم شنی. پایان نامه دکتری رشته خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- جعفرزاده ع، کسرای ر و نیشابوری م، 1370. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مطالعات تفصیلی 18 هکتار از اراضی و خاکهای ایستگاه تحقیقاتی کرکج دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- صادقیان ن، نیشابوری م، جعفرزاده ع ا و تورچی م، 1385. بررسی اثر سه نوع اصلاح کننده بر روی خصوصیات فیزیکی لایه سطحی خاک. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد 37، شماره 2. صفحات 341-351.
- صفا دوست آ، مصدقی م، محبوبی ع، نوروژی ع و اسدیان ق، 1386. تاثیر کوتاه مدت خاک ورزی و کود دامی بر ویژگی‌های ساختمانی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 41، شماره 1. صفحات 91-100.
- علی اصغرزاد ن، 1376. میکروبیولوژی و بیوشیمی خاک (ترجمه). انتشارات دانشگاه تبریز.
- کسرای ر. 1382. کاربرد لجن بیولوژیکی فاضلاب کارخانه پتروشیمی تبریز به عنوان کود در خاکهای کشاورزی. گزارش طرح تحقیقاتی، امور پژوهشی دانشگاه تبریز.
- مصدقی م، ر، حاج عباسی م، ع، همت ع و افیونی م، 1378. اثر رطوبت خاک و کود دامی بر تراکم پذیری خاک مزرعه لورک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 3، شماره 4. صفحات 27-40.
- مصدقی م، ر، همت ع و حاج عباسی م، ع، 1382. تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاکی با ساختمان ناپایدار پس از آبیاری غرقابی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 7، شماره 1. صفحات 91-106.

نیشابوری م ر، صادقیان ن، جعفرزاده ع ا و تورچی م، 1385. تاثیر پلی آکریل آمید، پومیس و کاه بر روی فرایند نفوذ و هدایت هیدرولیکی تحت شرایط غرقابی و بارانی. مجله دانش کشاورزی. جلد 16، شماره 4. صفحات 39-50.

Asghari S, Neyshabouri MR, Abbasi F, Aliasgharzag N and Oustan S, 2009. The effects of four organic soil conditioners on aggregate stability, pore size distribution and respiration activity in a sandy loam soil. Turk J Agric For 33: 47-55.

Ajwa HA and Trout TJ, 2006. Polyacrylamide and water quality effects on infiltration in sandy loam soils. Soil Sci Soc Am J 70: 643-650.

Al-Darby AM, 1996. The hydraulic properties of a sandy soil treated with gel-forming soil conditioner. Soil Technol 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 Till Res 94: 283-294.

Bauer A and Black A L, 1992. Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. Soil Sci Soc Am J 56: 248-254.

Bryan RB, 1992. The influence of some soil conditioners on soil properties: Laboratory tests on Kenyan soil samples. Soil Technol 5: 225-247.

Busscher WJ, Novak JM and Caesar-Tonthat TC, 2007. Organic matter and polyacrylamide amendment of Norfolk loamy sand soil. Soil Till Res 93: 171-178

Cook DF and Nelson SD. 1986. Effect of polyacrylamide on seedling emergence in crust-forming soils. Soil Sci 141(5): 328-333.

Eghbal MK, Hajabbasi MA and Golsefidi HT, 1996. Mechanism of crust formation on a soil in central Iran. Plant Soil 180: 67-73.

Gardner WH, 1986. Water content. Pp. 177-189. In: Klute A (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Madison, WI.

Gupta SC, Dowdy RH and Larson WE, 1977. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. Soil Sci Soc Am J 41: 601-605.

Jury W and Horton R, 2004. Soil Physics. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. New Jersey.

Kemper WD and Rosenau RC, 1986. Aggregate stability and size distribution. Pp. 425-442. In: Klute A (ed). Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Madison, WI.

Klute A (ed), 1986. Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical methods. American Society of Agronomy, Madison. WI.

Levy GJ and Miller WP, 1999. Polyacrylamide adsorption and aggregate stability. Soil Till Res 51: 121-128.

- Nadler A, Perfect E and Kay D, 1996. Effect of polyacrylamide application on the stability of dry and wet aggregates. *Soil Sci Soc Am J* 60: 555-561.
- Neyshabouri MR, 2002. Soil mulching effect on crust formation, cotton seedling emergence and infiltration. Pp. 2084 Proceeding of the 17th Congress of Soil Sci, Symp. No. 62, Bangkok, Thailand.
- Nyamangara J. Gotosa J and Mpfu SE, 2001. Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity of a granitic sandy soil in Zimbabwe. *Soil Till Res* 62: 157-162.
- Ozturk HS, Turkrmen CE, Erdogan E, Baskan O, Dengiz, O and Parlak M, 2005. effects of a soil conditioner on some physical and biological features of soils: results from a greenhouse study. *Biores Technol* 96: 1950-1954.
- Page AL (ed), 1985. *Methods of Soil Analysis: Part 2. Chemical and Microbiological Methods.* American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Pagliai M, Guidi G, Marca ML, Giachetti M and Lucamante, G, 1981. Effects of sewage-sludges and composts on soil porosity and aggregation. *J Environ Qual* 10: 556-561.
- Schjonning P, Christensen BT and Carstensen B, 1994. Physical and chemical properties of a sandy loam soil receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. *Eur J Soil Sci* 45: 257-268.
- Sojka RE, Entry JA and Fuhrmann JJ, 2006. The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil. *Appl Soil Ecol* 32: 243-252.
- Tester CF, 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Sci Soc Am J* 54: 827-831.
- Wood JD and Oster JD, 1985. The effect of cellulose xanthate and poly vinyl alcohol on infiltration, erosion, and crusting at different sodium levels. *Soil Sci* 139: 243-249.