نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۶
http://ejsms.gau.ac.ir

تغییرات ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در حضور وتیور و پلی‌اکریل‌آمید

الهام امیری خبوشان[۱]، *حجت امامی[۲]، علیرضا آستارایی[۲] و محمدرضا مصدقی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، [۲]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد،
[۳]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: مدیریت صحیح اراضی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک و کنترل فرسایش در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود. استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان یک ابزار بیومهندسی در جهت بهبود ویژگی‌های هیدروفیزیکی خاک و حفاظت آن در برابر عوامل فرساینده فاکتور مناسبی می‌باشد. پلی‌اکریل‌آمید آنیونی (PAM) نیز در این زمینه کاربرد گسترده‌ای یافته است. در مطالعات پیشین اثر وتیور و PAM بر شاخص‌های پایداری ساختمان و کنترل فرسایش خاک مورد بررسی قرار گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه سیستم وتیور و PAM و تلفیق آنها بر ویژگی‌های هیدرولیکی و شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S_{gi}) در کرت‌های آزمایشی انجام شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در کرت‌های آزمایشی یک خاک لومی واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل تیمار کشت گیاه وتیور (VP0)، کاربرد PAM در دو سطح ۲۰ (P2) و ۴۰ (P4) کیلوگرم در هکتار، کاربرد هم‌زمان وتیور و هر دو سطح PAM (VP2 و VP4) بود. یک تیمار نیز به‌عنوان تیمار شاهد (P0) در نظر گرفته شد. مقادیر رطوبت خاک تیمارهای مختلف در مکش‌های ماتریک صفر، ۵، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. سپس مدل منحنی رطوبتی ون‌گنوختن با استفاده از نرم‌افزار RETC به داده‌های آزمایشی برازش داده شد و پارامترهای مدل مذکور با روش حداقل مربعات خطا برآورد گردید. هم‌چنین هدایت هیدرولیکی اشباع (K_S) و شاخص S_{gi} تعیین گردید. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طراحی شد و تحلیل آماری پارامترهای مدل ون‌گنوختن، شاخص S_{gi} و هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از نرم‌افزار SPSS 23 انجام گردید.

یافته‌ها: نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داد که PAM و وتیور با افزایش خاکدانه‌سازی و پایداری آن‌ها و بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک موجب افزایش درصد رطوبت اشباع و K_S شدند. البته اثر PAM بر K_S به غلظت و گرانروی محلول نیز بستگی دارد. وتیور درصد رطوبت باقیمانده خاک را کاهش و مولکول‌های آب‌دوست پلیمر PAM درصد رطوبت باقیمانده خاک را افزایش داد. وتیور با افزایش منافذ درشت خاک، اثر قابل‌توجهی در افزایش α و کاهش مکش ورود هوا داشت، در حالی‌که PAM تأثیر چندانی در پارامتر α نشان نداد. PAM و وتیور پارامتر n را به‌ترتیب افزایش و کاهش دادند. هم‌چنین PAM و وتیور با اثر بر خاکدانه‌سازی و بهبود ساختمان و شرایط فیزیکی

* مسئول مکاتبه: hemami@um.ac.ir

خاک، شاخص S_{gi} را افزایش داده‌اند. در مجموع اثر وتیور بر پارامترهای مدل ون گنوختن و بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی خاک بیش‌تر از PAM بود و تلفیق وتیور و PAM بیش‌ترین تأثیر را نشان داد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی بر اساس نتایج این پژوهش، روش بیومهندسی کم‌هزینه و بادوام بر پایه کاربرد وتیور جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و ساختمانی خاک در مناطق نیمه‌خشک مانند ایران پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: منحنی مشخصه رطوبتی خاک، مدل ون‌گنوختن، هدایت هیدرولیکی اشباع، شاخص کیفیت فیزیکی خاک

مقدمه

فرسایش خاک یک مسأله جدی تخریب زمین به‌شمار می‌رود که کیفیت فیزیکی و حاصلخیزی خاک بسیاری از زمین‌های قابل کشت را در مناطق نیمه‌خشک تهدید می‌کند. از طرفی مقدار کم ماده آلی و ویژگی‌های فیزیکی ضعیف خاک منجر به فرسایش تشدیدی در این مناطق می‌شود (۵). از این‌رو مهار فرسایش خاک مستلزم مدیریت صحیح خاک در جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک می‌باشد. تعیین منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی خاک جهت مطالعه فرایندهای نفوذ آب در خاک، زهکشی، حرکت آب و املاح در خاک و در نتیجه مدیریت آب و خاک الزامی می‌باشد (۱۱). تغییرات منحنی مشخصه رطوبتی (برای مثال؛ نقطه عطف منحنی و شیب آن در نقطه عطف) معمولاً به‌وسیله پارامترهای مدل ون‌گنوختن تعیین می‌شود (۷، ۱۰، ۱۵، ١٦، ۲۰ و ۲۳). علاوه بر این، دکستر (٢٠٠٤) شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف آن را با عنوان شاخص S_{gi} ارائه کرد، که معرف کیفیت فیزیکی خاک می‌باشد، بیانگر وضعیت ساختمان خاک است و متأثر از ویژگی‌های فیزیکی خاک است (٦، ۷ و ۲۲).

از جمله راهکارهای بهبود کیفیت فیزیکی خاک و کنترل فرسایش خاک کاربرد سیستم‌های بیومهندسی و اصلاح‌کننده‌های خاک مانند پلیمرهای شیمیایی است. استفاده از پوشش گیاهی به‌عنوان یک ابزار بیومهندسی در جهت بهبود ویژگی‌های هیدروفیزیکی خاک و حفاظت آن در برابر عوامل فرساینده فاکتور مناسبی می‌باشد. با توجه به اهمیت زیاد کنترل بیومهندسی فرسایش، کشت گونه‌ای از گیاه وتیور با نام علمی *Zizinoids vetiveria* برای حفاظت خاک و آب اولین بار توسط بانک جهانی در سال ۱۹۸۰ در هند مورد استفاده قرار گرفت و تحت عنوان فناوری وتیور گراس (VGT)[1] معرفی گردید. گیاه وتیور به‌طور طبیعی سازگاری خوبی در انواع مختلف خاک‌ها و شرایط اقلیمی نشان می‌دهد (۲۳). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که وتیور در کنترل فرسایش خاک و افزایش پایداری ساختمان خاک موفق بوده است (۲، ۳، ۱۷ و ۱۹). ماترکرا (۲۰۱۰) ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیکی را در خاک تحت کشت وتیور و زمین‌های آیش و چراگاه مجاور آن بررسی کردند. نتایج آن‌ها دلالت بر افزایش معنی‌دار ظرفیت نگهداشت آب در خاک تحت کشت وتیور و اثر اصلاحی قابل‌توجه وتیور بر کیفیت خاک در شرایط نیمه‌خشک دارد. این پژوهش‌گران افزایش قابل ملاحظه کیفیت خاک تحت کشت وتیور را به‌دلیل افزایش مواد آلی ناشی از ریشه‌ها و بقایای علف وتیور، ترشح ترکیبات آلی از ریشه‌ها و بیومس میکروبی زیاد در ریزوسفر گیاه بیان کردند (۱۷). اوکیو و همکاران (۲۰۱۱) هم‌چنین با بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک در دو تیمار کشت وتیور و

1- Vetiver Grass Technology

کوددهی شده مشاهده کردند که هدایت هیدرولیکی خاک در تیمار کشت وتیور ٤١/٧ درصد نسبت به خاک بایر (شاهد) افزایش یافت و ظرفیت جذب آب در تیمار کشت وتیور ١٩٪ بیش‌تر از تیمار کودی و ٣٩٪ بیش‌تر از شاهد بود. آن‌ها دریافتند که استفاده از وتیور در زمین‌های شخم خورده مستعد فرسایش به‌عنوان یک منبع کود آلی ویژگی‌های فیزیکی خاک را بهبود می‌بخشد (١٩).

پلی‌اکریل‌آمید آنیونی (PAM) یک پلیمر غیرسمی محلول در آب است که در میان اصلاح‌کننده‌های مورد استفاده در حفاظت خاک کاربرد گسترده‌ای یافته است (٢٠). PAM با ساختار زنجیره‌ای متشکل از منومرهای اکریل آمید با اتصال ذارت خاک به هم و تشکیل خاکدانه‌ها، نقش مؤثری در افزایش پایداری ساختمان، خلل و فرج و در نتیجه کاهش تخریب و فرسایش خاک دارد. PAM دارای اثرات باقی‌مانده طولانی در خاک است، که مصرف آن از دهه ١٩٩٠ به‌دلیل سهولت تهیه، رشد فراوان داشته است (١٤). پژوهش‌های زیادی در رابطه با افزایش پایداری ساختمان خاک (٢ و ١٣) و کنترل فرسایش و رواناب (٣ و ٤) در اثر کاربرد PAM در نقاط مختلف جهان گزارش شده است. مطالعاتی نیز در زمینه اثر PAM بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک انجام شده است (١٨). در این خصوص، لنتز و همکاران (٢٠١٥) تأثیر دو پلیمر آنیونی PAM و بیوپلیمر پلی‌ساکاریدی را بر پایداری خاکدانه‌ها و هدایت هیدرولیکی اشباع یک خاک سیلتی لوم مقایسه کردند و دریافتند که علی‌رغم وزن مولکولی و چگالی بار مشابه دو پلیمر کارایی آن‌ها متفاوت می‌باشد و اثر PAM در افزایش پایداری خاکدانه و K_s خاک بیش‌تر از بیوپلیمر است (١٣). ملو و همکاران (٢٠١٦) با بررسی اثر غلظت‌های مختلف PAM (١٢/٥، ٥٠ و ١٠٠mg kg^{-1}) بر ویژگی‌های هیدروفیزیکی خاک‌های چسبنده و غیرچسبنده دشت‌های ساحلی ایالت پرنامبوکو در برزیل دریافتند که کاربرد PAM تخلخل درشت، تخلخل کل و نسبت تخلخل درشت به تخلخل کل و در نتیجه K_s خاک‌های چسبنده را کاهش داد. این پژوهش‌گران بار منفی اضافی موجود در سیستم را عامل اصلی پیامد منفی کاربرد PAM در خاک‌های چسبنده رسی ذکر کردند (PAM متشکل از ٣٥٪ گروه‌های کربوکسیلیک است که چگالی بار منفی را افزایش می‌دهد)، به‌طوری‌که PAM با الکترونگاتیویته کم‌تر می‌تواند ویژگی‌های هیدروفیزیکی خاک را بهبود ببخشد. نتایج ملو و همکاران (٢٠١٦) نشان داد که تأثیر PAM بر K_s خاک‌های چسبنده و غیرچسبنده به گران‌روی محلول آن و بافت خاک بستگی دارد. هم‌چنین PAM قطر بزرگ‌ترین منافذ خاک در افق غیرچسبنده شنی را کاهش و در نتیجه مکش مورد نیاز برای خروج آب از این منافذ را افزایش داد (١٨). ممدوو و همکاران (٢٠١٦) با استفاده از روش دامنه منحنی رطوبتی پرانرژی[1] (HEMC) اثر PAM و اندازه خاکدانه در سه بافت لوم، رسی‌شنی و رسی را بر پارامترهای α و n ون‌گنوختن و شاخص S_{gi} بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش PAM و اندازه خاکدانه‌ها، پارامتر α افزایش و مقدار n و شاخص S_{gi} به‌تدریج کاهش یافت (١٦).

اگر چه پژوهش‌هایی در رابطه با اثر PAM بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک صورت گرفته است، ولی اکثر پژوهش‌ها در شرایط آزمایشگاهی انجام شده و ترکیب آن با تکنیک‌های بیومهندسی به‌ویژه در شرایط میدانی و در مناطق نیمه‌خشک مانند استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین پژوهشی مبنی بر مقایسه تأثیر وتیور و PAM بر ویژگی‌های هیدرولیکی و کیفیت خاک

1- High Energy Moisture Curve

صورت نگرفته است. با توجه به سازگاری نسبتاً زیاد وتیور در بسیاری از مناطق دنیا به‌نظر می‌رسد این گیاه در بهبود کیفیت فیزیکی خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران تأثیر به‌سزایی داشته باشته، که رسیدن به این امر نیاز به بررسی‌های بیش‌تر دارد. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه سیستم وتیور به‌عنوان یک روش بیومهندسی کم‌هزینه و بادوام و PAM و تلفیق آن‌ها بر ویژگی‌های هیدرولیکی و شاخص S_{gi} بر روی یک خاک لوم انجام شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی کرت‌ها و اعمال تیمارهای آزمایش: این پژوهش در کرت‌های آزمایشی یک خاک لومی با ویژگی‌های ارائه شده در جدول ۱ واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. منطقه مورد نظر برای اعمال تیمارها و انجام آزمایش در ابعاد یک متر در یک متر کرت‌بندی گردید. تیمارهای آزمایش شامل کشت گیاهچه وتیور به فاصله ۳۵ در ۳۵ سانتی‌متر (تیمار VP0) و اعمال پلیمر پلی‌اکریل‌آمید آنیونی به فرمول شیمیایی با مشخصات ارائه شده در جدول ۲ به‌صورت محلول با دو غلظت ۰/۲ و ۰/٤ درصد معادل ۲۰ و ٤۰ کیلوگرم در هکتار (به‌ترتیب تیمارهای P2 و P4) و ترکیب این دو تیمار (کشت گیاه در حضور دو غلظت پلیمر به‌ترتیب تیمارهای VP2 و VP4) در هر کرت بودند. یک تیمار نیز به‌عنوان تیمار شاهد (P0) در نظر گرفته شد. محلول مذکور با استفاده از آب‌فشان به‌طور یکنواخت روی خاک کرت‌ها پاشیده شد. نمونه‌های دست‌نخورده جهت اندازه‌گیری K_s با استفاده از سیلندرهای به ارتفاع ۵ و قطر ۵ سانتی‌متر و منحنی مشخصه رطوبتی خاک جمع‌آوری گردید.

تعیین پارامترهای هیدرولیکی: به‌منظور تعیین منحنی مشخصه رطوبتی خاک، پس از اشباع کردن نمونه‌ها، مقادیر رطوبت تیمارهای مختلف در مکش‌های ماتریک صفر، ۵، ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری شد و مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۰) با استفاده از نرم‌افزار RETC و فرض معلم ($m = 1 - \frac{1}{n}$) به داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی خاک (h و θ) برازش داده شد، پارامترهای مدل مذکور با روش حداقل مربعات خطا برآورد گردید. مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۰) به‌صورت زیر می‌باشد (۲٤):

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1+(\alpha h)^n)^m} \qquad (۱)$$

که در آن، θ_S رطوبت اشباع ($L^3\ L^{-3}$)، θ_r رطوبت باقی‌مانده ($L^3\ L^{-3}$) و α، m و n پارامترهای تجربی یا شکل منحنی رطوبتی هستند.

هدایت هیدرولیکی اشباع، K_s ($cm\ min^{-1}$)، با استفاده از روش بار ثابت اندازه‌گیری و طبق رابطه ۲ تعیین شد (۱۲):

$$K_S = \frac{VL}{\Delta H\ A\ t} \qquad (۲)$$

که در آن، V حجم آب خروجی از انتهای ستون خاک (cm^3)، L طول ستون خاک (cm)، ΔH اختلاف پتانسیل هیدرولیکی بین دو انتهای ستون خاک (cm)، A سطح مقطع ستون خاک، t مدت زمان آزمایش (min) می‌باشند.

شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S_{gi}) براساس شیب منحنی مشخصه رطوبتی در نقطه عطف و با توجه به مقادیر وزنی رطوبت خاک در برابر لگاریتم طبیعی مکش خاک ($\ln(h)$) تعیین شد. برای تعیین شاخص S_{gi} مدل ون‌گنوختن به داده‌های منحنی رطوبتی برازش داده شد و S_{gi} از رابطه زیر به‌دست آمد (۷):

$$S_{gi} = -n(\theta_s - \theta_r)\left[1+\frac{1}{m}\right]^{-(1+m)} \quad (۳)$$

که در آن، θ_s و θ_r به‌صورت وزنی ($kg\ kg^{-1}$) می‌باشند.

تجزیه و تحلیل آماری: این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵ درصد، جهت بررسی اثر تیمارهای مورد بررسی بر پارامترهای مدل ون‌گنوختن، شاخص S_{gi} و K_s به‌ترتیب براساس تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS 23 انجام گردید.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد بررسی.

Table 1. Some of physical and chemical properties of studied soil.

وزن مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$) Bulk Density ($g\ cm^{-3}$)	کربنات‌کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalent (%)	کربن آلی (٪) Organic Carbon (%)	بافت Texture	شن (٪) Sand (%)	سیلت (٪) Silt (%)	رس (٪) Clay (%)
1.60	12.63	0.12	Loam	48	41	11

جدول ۲- مشخصات پلی‌اکریل‌آمید مورد استفاده.

Table 2. Properties of used polyacrylamide.

مشخصات PAM Characteristics of PAM	مقدار Item
شکل ظاهری Appearance	پودر دانه‌ای سفید White granular powder
درجه هیدرولیز Hydrolysis degree	30-35%
وزن مولکولی Molecular weight	15-20 million
جرم مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$) Density (gcm^{-3})	0.67≤
pH	6-8
حلالیت در آب Water insolubility	0.8%≤
درجه خلوص Degree of purity	95%
منومر اکریل آمید Acrylamide monomer	≥ 0.02 %

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس یک‌طرفه، تأثیر تیمارهای مختلف آزمایشی بر پارامترهای مدل ون‌گنوختن، شاخص S_{gi} و K_s نشان می‌دهد که وتیور و PAM اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک نسبت به شاهد در سطح پنج درصد داشتند.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مدل ون‌گنوختن، هدایت هیدرولیکی اشباع و شاخص کیفیت فیزیکی خاک.

Table 3. Analysis of variance for parameters of van Genuchten's model, saturated hydraulic conductivity, soil physical quality index.

منابع تغییر Sources of variations	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		θ_s ($L^3 L^{-3}$)	θ_r ($L^3 L^{-3}$)	α (cm)	n	K_s (cm min^{-1})	S_{gi}
تیمار Treatment	5	0.029**	0.015**	0.009**	0.08**	0**	0.00001**
خطا Error	12	0.01	0.001	0	0.01	0	0.00001
ضریب تغییرات CV (%)		0.02	0.22	0.05	0.03	0.05	0.03

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد.

* and ** Significant at P<0.01 and P<0.05, respectively.

پارامترهای مدل ون‌گنوختن: نتایج برازش مدل ون‌گنوختن به داده‌های منحنی مشخصه رطوبتی و برآورد پارامترهای آن در تیمارهای مورد بررسی (جدول ٤) نشان داد که PAM و وتیور موجب افزایش معنی‌دار درصد رطوبت اشباع خاک‌های تیمار شده نسبت به تیمار شاهد شدند؛ به‌طوری‌که با اعمال تیمارهای PAM مقدار رطوبت اشباع تقریباً ۱۲/۵ درصد افزایش یافت، هر چند بین غلظت‌های مختلف PAM اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. دلیل این امر را می‌توان به ساختار زنجیره‌ای PAM و توانایی آن در ایجاد پل‌هایی بین ذارت خاک و اتصال آن‌ها نسبت داد؛ که باعث ایجاد خاکدانه‌های درشت و پایدار و در نتیجه افزایش تخلخل خاک و رطوبت اشباع خاک می‌گردد (۲). افزایش θ_s در اثر کاربرد مواد اصلاح‌کننده در خاک شور- سدیمی به‌دلیل بهبود ساختمان خاک و افزایش خلل و فرج خاک در نتایج امامی و آستارایی (۲۰۱۲) نیز گزارش شده است (۹). هم‌چنین تیمار وتیور مقدار θ_s را نسبت به شاهد ۲۲/۵ درصد افزایش داد و تیمار تلفیقی وتیور و هر دو غلظت PAM با ۱/۲۵ برابر افزایش θ_s، بیش‌ترین تأثیر را در افزایش θ_s داشتند. وتیور با افزایش خاکدانه‌سازی و پایداری آن‌ها و بهبود ویژگی‌های ساختمانی خاک (۲ و ۸) موجب افزایش تخلخل و درصد رطوبت اشباع خاک می‌شود. به‌هرحال، تیمار تلفیق وتیور و PAM (VP2 و VP4)، اختلاف معنی‌داری با تیمار وتیور (VP0) در افزایش θ_s دارند که نشان‌دهنده تأثیر عوامل شیمیایی (PAM) در تشدید فرایند خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه و تخلخل خاک ناشی از حضور

وتیور (عوامل بیولوژیکی و فیزیکی) می‌باشد. ماترکرا (۲۰۱۰) نیز افزایش نگهداشت آب در خاک تحت کشت وتیور را به‌دلیل بهبود شرایط ساختمانی و کیفیت خاک و تخلخل خاک گزارش نموده است (۱۷).

هم‌چنین نتایج نشان‌دهنده اثر افزایشی PAM بر θ_r می‌باشد، هر چند غلظت ۰/٤ درصد آن (P4)، تأثیر بیش‌تر و معنی‌داری در افزایش θ_r، (۱/۱ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد) داشت. از آن‌جایی‌که θ_r رطوبت باقی‌مانده در خاک ناشی از مکش‌های بالا (حدود ۱۵۰۰۰kPa) می باشد (ون‌گنوختن، ۱۹۸۰) و بیش‌تر تحت‌تأثیر بافت خاک و سطوح جذب در خاک است، دلیل این افزایش را می‌توان به خاصیت آب‌دوستی مولکول‌های پلیمر PAM نسبت داد که موجب افزایش جذب و نگهداری آب در خاک تحت مکش‌های بالا می‌شود. عابدی‌کوهپایی و همکاران (۲۰۰۸) علت افزایش مقدار رطوبت حجمی در حضور PAM را وجود گروه‌های عاملی (آمید) در ساختار PAM بیان کردند که موجب تشکیل پیوند هیدروژنی با آب و نگهداشت آن می‌شود (۱). بر خلاف PAM، وتیور θ_r را کاهش داده است که احتمالاً به‌دلیل افزایش تعداد و اندازه منافذ خاک، رطوبت باقی‌مانده در مکش‌های بالا در تیمارهای تحت کشت وتیور نسبت به تیمار شاهد کم‌تر می‌باشد. به هر حال در تیمارهای تلفیقی وتیور و PAM با افزایش غلظت PAM، θ_r تغییری نداشته است که نشان می‌دهد در هنگام کاربرد هم‌زمان تأثیر PAM خیلی کم‌تر از وتیور است و در نهایت موجب کاهش θ_r نسبت به تیمار شاهد شده است.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر تیمارهای وتیور و PAM بر پارامترهای مدل ون‌گنوختن.

Table 4. Mean comparison of effect of PAM and vetiver treatments on parameters of van Genuchten's model.

تیمار Treatments						
VP4	VP2	VP0	P4	P2	P0	پارامتر parameter
0.51^{a}	0.52^{a}	0.49^{b}	0.46^{c}	0.45^{c}	0.04^{d}	θ_s
0.014^{c}	0.012^{c}	0.010^{c}	0.091^{a}	0.051^{b}	0.044^{b}	θ_r
0.091^{a}	0.069^{b}	0.041^{c}	0.032^{d}	0.036^{cd}	0.033^{d}	α
1.19^{c}	1.19^{c}	1.19^{c}	1.37^{a}	1.30^{b}	1.24^{c}	n

مقادیر دارای حروف مشترک در هر ردیف از نظر آماری در سطح ۵ درصد اختلافی ندارند.

Values with same letters in each row are not statistically different at P<0.05.

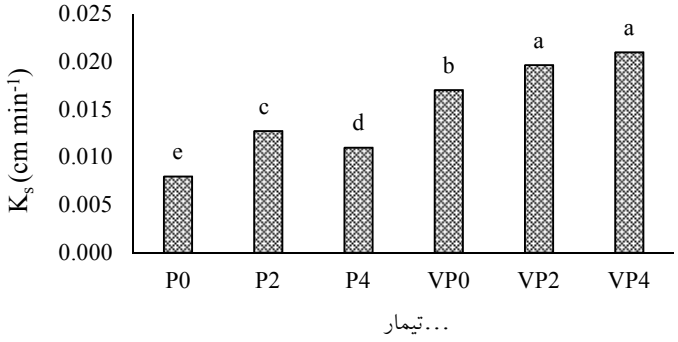
پارامتر α در تیمار PAM اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد، به‌نظر می‌رسد PAM تأثیر چندانی بر توزیع اندازه منافذ درشت خاک نداشته است. ولی وتیور موجب افزایش معنی‌دار α نسبت به شاهد شده است که با افزایش غلظت PAM در تیمار تلفیق PAM و وتیور α افزایش بیش‌تری داشت. احتمالاً وجود PAM موجب افزایش بیش‌تر منافذ درشت خاک از یک‌سو و افزایش رشد ریشه به‌خاطر فراهمی بیش‌تر آب از سوی دیگر شده است که در نتیجه آن منافذ درشت در حضور این دو افزایش پیدا کرده است. با توجه به این‌که پارامتر α در مدل ون‌گنوختن با عکس مکش ورود هوا (مکش مورد نیاز برای ورود هوا به بزرگ‌ترین منافذ موجود در خاک) ارتباط دارد، می‌توان گفت که وتیور با افزایش منافذ درشت خاک،

مکش ورود هوا را کاهش و α (تقریباً معادل عکس مکش ورود هوا است) را افزایش داده است و تلفیق PAM و وتیور در تیمارهای تلفیقی موجب افزایش بیش‌تر منافذ درشت خاک شده است.

کاربرد PAM باعث افزایش معنی‌دار پارامتر n شد. پارامتر n شیب منحنی رطوبتی در منطقه غیراشباع است که با توزیع اندازه منافذ ارتباط دارد، هرچه توزیع اندازه منافذ یکنواخت‌تر باشد، شیب منحنی رطوبتی و n افزایش می‌یابد و نگهداشت آب در خاک با افزایش مکش کم‌تر می‌شود. افزایش پارامتر n در تیمار PAM را می‌توان ناشی از توزیع یکنواخت‌تر منافذ ناشی از افزودن PAM به خاک دانست. پژوهش امامی و آستارایی (۲۰۱۲) نیز افزایش پارامتر n را در خاک شور- سدیمی در اثر کاربرد اصلاح‌کننده‌ها نشان می‌دهد. این پژوهش‌گران بیان کردند که کاربرد اصلاح‌کننده‌ها در خاک با تغییر در توزیع اندازه منافذ که عامل مؤثری در نگه‌داشت و یا از دست دادن آب خاک است، شکل منحنی رطوبتی و بنابراین پارامتر n را تغییر می‌دهد (۹). بر عکس، نتایج ممدوو و همکاران (۲۰۱٦) کاهش n را در اثر کاربرد PAM نشان می‌دهد. در حالی‌که وتیور پارامتر n را کاهش داده است، ولی این کاهش معنی‌دار نبود (١٦).

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک: نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای PAM و وتیور بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_S) (شکل ۱) نشان داد که تیماهای مورد بررسی اثر معنی‌داری در افزایش K_S خاک مورد مطالعه داشتند؛ به‌طوری‌که کم‌ترین K_S خاک مربوط به تیمار شاهد P0 ($cm\ min^{-1}$ ۰/۰۰۸) و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار VP4 ($cm\ min^{-1}$ ۰/۰۲۱) بود. PAM با افزایش خاکدانه‌سازی و تخلخل خاک موجب افزایش K_S می‌شود. اگرچه تیمار P2 اثر بیش‌تری در افزایش K_S نسبت به تیمار P4 نشان داد. غلظت بالاتر PAM (۰/٤ درصد) موجب افزایش گرانروی محلول و در نتیجه کاهش سیالیت آن و به تبع کاهش K_S می‌شود. از طرفی بخشی از PAM وارد منافذ ریز خاک شده و موجب انسداد آن و در نتیجه کاهش K_S می‌شود. این یافته‌ها با نتایج لنتز و همکاران (۲۰۱٦) مبنی بر افزایش K_s در خاک تیمار شده با PAM نسبت به تیمار شاهد مطابقت دارد. این پژوهش‌گران انبساط ذرات رس و کاهش BD سطح خاک را عامل افزایش تخلخل و هدایت هیدرولیکی ناشی از کاربرد PAM ذکر کردند (۱۳). این نتایج با یافته‌های برایان (۱۹۹۲) مبنی بر افزایش قابل‌ملاحظه K_s در خاک‌های ریز و متوسط بافت در اثر کاربرد PAM با غلظت ۰/۵ گرم در کیلوگرم خاک هواخشک مطابقت دارد که با افزایش نگهداشت آب در مکش صفر بار (رطوبت اشباع) ارتباط دارد (۵). بر عکس این نتایج، ملو و همکاران (۲۰۱٦) کاهش تخلخل درشت و K_s را در اثر افزودن PAM به خاک‌های چسبنده رسی گزارش کردند. این پژوهش‌گران بار منفی اضافی (ناشی از وجود ۳۵ درصد گروه‌های عاملی کربوکسیلیک) موجود در سیستم را عامل اصلی پیامد منفی کاربرد PAM در افق‌های چسبنده رسی ذکر کردند (۱۸).

وتیور با بهبود ساختمان خاک و ویژگی‌های فیزیکی خاک تأثیری بیش‌تری در افزایش K_s داشت؛ به‌طوری‌که تیمار VP0 موجب افزایش ۲/۱۳ برابری K_s گردید. البته اختلاف معنی‌داری بین تیمار تلفیقی وتیور و PAM (VP2 وVP4) و تیمار وتیور (VP0) مشاهده شد که می‌توان دلیل آن را به افزایش K_s ناشی از تقویت ساختمان خاک در حضور PAM اشاره کرد، در واقع PAM اثر تقویتی در بهبود ساختمان خاک ناشی از وتیور داشته است. این نتایج با یافته‌های اوکیو و همکاران (۲۰۱۱) هماهنگی دارد. نتایج آن‌ها دلالت بر افزایش K_S در کرت‌های تحت کشت وتیور نسبت به خاک بایر مجاور آن می‌باشد (۱۹).



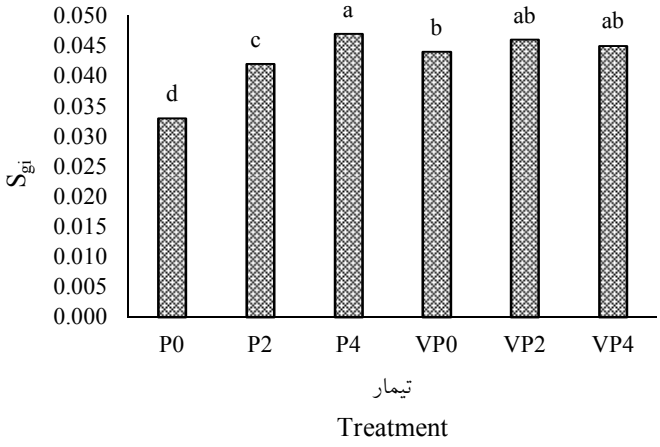
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s).

Figure 1. Mean comparison of effect of studied treatments on saturated hydraulic conductivity (k_s).

*** میانگین‌هایی که دارای حرف مشابه هستند در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.**

*** Means that have same letters are not statistically difference at P<0.05.**

شاخص کیفیت فیزیکی خاک: نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی بر شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S_{gi}) نشان داد که PAM و وتیور با اثر بر خاکدانه‌سازی و بهبود ساختمان و شرایط فیزیکی خاک شاخص کیفیت فیزیکی خاک را افزایش داده‌اند. شاخص کیفیت فیزیکی خاک تابع وضعیت ساختمان ریز خاک و توزیع منافذ خاک است. کاربرد PAM و وتیور سبب افزایش معنی‌دار شاخص S_{gi} نسبت به شاهد گردید و در بین تیمارهای مورد بررسی، تیمار P4 و تلیفیق وتیور و PAM (VP2 و VP4) بیش‌ترین تأثیر را بر شاخص کیفیت فیزیکی خاک داشتند که اختلاف معنی‌داری بین این تیمارها مشاهده نشد. یافته‌های امامی و آستارایی (۲۰۱۲) دلالت بر بهبود کیفیت ساختاری و فیزیکی خاک شور- سدیمی و افزایش شاخص S_{gi} در اثر کاربرد اصلاح‌کننده‌هایی از جمله گچ، کمپوست زباله شهری و وینیل اکریلیک الکل اسید دارد، که با نتایج این مطالعه هماهنگی دارد (۹).



شکل ۲- مقایسه میانگین شاخص کیفیت فیزیکی خاک (S_{gi}) در تیمارهای مختلف مورد بررسی.

Figure 2. Mean comparison of effect of studied treatments on soil physical quality index (S_{gi}).

*** میانگین‌هایی که دارای حرف مشابه هستند در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.**

*** Means that have same letters are not statistically difference at P<0.05.**

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داد که PAM و وتیور موجب افزایش تخلخل، درصد رطوبت اشباع و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، K_S شدند. البته اثر PAM بر K_S به غلظت و گرانروی محلول آن بستگی دارد. وتیور درصد رطوبت باقی‌مانده خاک را کاهش و مولکول‌های آب‌دوست پلیمر PAM درصد رطوبت باقی‌مانده خاک را افزایش داد. وتیور با افزایش منافذ درشت خاک، اثر قابل‌توجهی در افزایش α و کاهش مکش نقطه ورود هوا داشت، در حالی‌که PAM تأثیر چندانی در پارامتر α نشان نداد. PAM و وتیور پارامتر n را به‌ترتیب افزایش و کاهش دادند. در کل اثر وتیور بر پارامترهای مدل ون‌گنوختن و بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی خاک بیش‌تر از PAM بود و تلفیق وتیور و PAM بیش‌ترین تأثیر را نشان داد. هم‌چنین PAM و وتیور با اثر بر خاکدانه‌سازی و بهبود ساختمان و شرایط فیزیکی خاک شاخص کیفیت فیزیکی خاک را افزایش دادند.

منابع

1.Abedi-Koupai, J., Sohrab, F., and Swarbrick, G.E. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. J. Plant Nutr. 31: 2. 317-331.

2.Amiri, E., Emami, H., Astaraei, A.R., and Mosaddeghi, M.R. 2017. Comparing the Effects of Vetiver and Polyacrylamide on Soil Structural Stability and Erosion Indices. Environmental Erosion Researches. 23: 3.71-90. (In Persian)

3.Amiri, E., Emami, H., Mosaddeghi, M.R., and Astaraei, A.R. 2017. Investigating the effect of vetiver and polyacrylamide on runoff, sediment load and cumulative water infiltration. Soil Research. 55: 769-777.

4.Ao, C., Yang, P., Ren, S., Xing, W., Li, X., and Feng, X. 2016. Efficacy of granular polyacrylamide on runoff, erosion and nitrogen loss at loess slope under rainfall simulation. Environmental Earth Sciences. 75: 490-590.

5.Bryan, R.B. 1992. The influence of some soil conditioners on soil properties: laboratory tests on Kenyan soil samples. Soil Technology. 5: 225-247.

6.Calonego, J.C., and Rosolem, C.A. 2011. Soil water retention and s index after crop rotation and chiseling. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 35: 1927-1937.

7.Dexter, A.R. 2004a. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter and effects on root growth. Geoderma. 120: 201-214.

8.Edem, I.D., and Okoko, P. 2015. Pedo-transfer function of saturated hydraulic conductivity and soil loss under vetiver alleys for soil fertility and aggregation. Inter. J. Plant Soil Sci. 4: 5. 461-474.

9.Emami, H., and Astaraei, A.R. 2012. Effect of Organic and Inorganic Amendments on Parameters of Water Retention Curve, Bulk Density and Aggregate Diameter of a Saline-sodic Soil. J. Agric. Sci. Technol. 14: 1625-1636.

10.Guber, A.X., Rawls, W.J., Shein, E.V., and Pachepsky, Y.A. 2003. Effect of soil aggregate size distribution on water retention. Soil Science. 168: 223-233.

11.Kern, J.S. 1995. Evaluation of soil water retention models based on basic soil physical properties. Soil Sci. Soc. Amer. J. 59: 1134-1141.

12.Klute, A., and Dirksen, C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. P 687-732, In: A. Klute (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1. SSSA/ASA. Madison, WI.

13.Lentz, R.D. 2015. Polyacrylamide and biopolymer effects on flocculation, aggregate stability and water seepage in a silt loam. Geoderma. 241-242: 289-294.

14.Levey, G.Y., Levin, J., Gal, M., Ben-Hur, M., and Shainberg, I. 1992. Polymers effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigations. Soil Sci. Soc. Amer. J. 56: 902-907.
15.Lipiec, J., Walczak, R., Witkowska-Walczak, B., Nosalewicz, A., Słowińska Jurkiewicz, A., and Sławinski, C. 2007. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. Soil and Tillage Research. 97: 239-246.
16.Mamedov, A.I., Huang, C.H., Aliev, F.A., and Levy, G.J. 2016. Aggregate stability and water retention near saturation characteristics as affected by soil texture, aggregate size and polyacrylamide application. Land Degrad. Develop. Published online in Wiley Online Library.
17.Materechera, S. 2010. Soil physical and biological properties as influenced by growth of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* L.) in a semi-arid environment of South Africa Simeon. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.
18.Melo, D.V.M.SD., de Almeida, B.G., Andrade, K.R., de Souza, E.R., Souza, W.L., da Silva Souza, W.L., and de Almeida, C.D.G.C. 2016. Pore size distribution and hydro-physical properties of cohesive horizons treated with anionic polymer. Afric. J. Agric. Res. 11: 44. 4444-4453.
19.Oku, E., Fagbola, O., and Troung, P. 2011. Evaluation of vetiver grass buffer strips and organomineral fertilization for the improvement of soil physical properties. Kasetsart J. (Natural Science). 45: 824-831.
20.Porebska, D., Slawinski, C., Lamorski, K., and Walczak, R.T. 2006. Relationship between van Genuchten's parameters of the retention curve equation and physical properties of soil solid phase. International Agrophysics. 20: 153-159.
21.Sojka, R.E., Bjorneberg, D.L., Entry, J.A., Lentz, R.D., and Orts, W.J. 2006. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. Advances in Agronomy. 92: 75-162.
22.Tormena, C.A., da Silva, A.P., Imhoff, S.D.C., and Dexter, A.R. 2008. Quantification of the soil physical quality of a tropical Oxisol using the S index. Scientia Agricola. 65: 56-60.
23.Truong, P.N. 2002. Vetiver grass technology. P 114-132, In: M. Maffei (Ed.), Vetiveria. Taylor and Francis: London and New York.
24.Van Genuchten, M.T. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 44: 892-898.

J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 7(4), 2018
http://ejsms.gau.ac.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Soil hydraulic properties as affected by Vetiver and Polyacrylamide

E. Amiri Khaboushan[1], *H. Emami[2], A.R. Astaraei[2] and M.R. Mosaddeghi[3]
[1]Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad,
[2]Associate Prof., Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad,
[3]Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology
Received: 12/31/2016; Accepted: 09/13/2017

Abstract
Background and Objectives: Suitable land management result in improving the soil hydro-physical properties and erosion control in arid and semi-arid regions. Application the cover crop as bioengineering tool is a good choice to improve soil hydro-physical properties and to protect the soil against erosive factors. Anionic polyacrylamide (PAM) has been widely used in this field, as well. In literature, the individual effect of Vetiver and PAM on Soil structural stability and erosion indices has been investigated. The objective of this study was to investigate and compare the effect of vetiver cultivation system, PAM and their combination on hydraulic properties and physical quality index of soil in experimental plots.
Materials and Methods: This study was performed in loamy soil plots of a loamy soil in Agriculture Campus, Ferdowsi University of Mashhad. The experimental treatments include vetiver cultivation (VP0), PAM (20 (P2) and 40 (P4) kg ha^{-1}), simultaneous application of vetiver and PAM concentrations (VP2 and VP4). In addition, P0 (no PAM and vetiver) was regarded as control treatment. The soil moisture contents for different treatments were measured at 0, 5, 10, 50, 100, 300, 500, 1000 and 1500 kPa. According to this data the van Genuchten's equation was fitted to the soil moisture characteristic curve using the RETC software and the parameters of model were estimated by the least square error methods. Also, saturated hydraulic conductivity and soil physical quality index were determined. This study was designed based on randomized complete blocks in a factorial arrangement with 3 replications. Data of van Genuchten's parameters, S_{gi} index and K_s were analyzed using SPSS 23 software.
Results: The results showed that vetiver and PAM through increasing the aggregation and stability of soil structure and improving the structural properties increased θ_s and k_s. However, the effect of PAM on k_s depends on its concentration and viscosity. Vetiver decreased θ_r and the hydrophilic molecules of PAM polymer increased θ_r. Vetiver increased considerably the value of α parameter and decreased air entry value by increasing the soil macro-pores. Although, the value of α parameter was not affected by PAM. Vetiver increased the value of n parameter, while PAM decreased its value. Also, vetiver and PAM increased the S_{gi} through the aggregation and improving the soil structure and physical condition. In general, vetiver had more effect on parameters of van Genuchten model and improvement of soil hydraulic properties than the PAM and the combination of vetiver and PAM showed the greatest effect.
Conclusion: Generally, the results of this research indicated that the very low cost and long-term bioengineering technique based on vetiver system can be recommended to improve physical and structural properties of soil in semi-arid regions such as Iran.

Keywords: Soil moisture characteristic curve, van Genuchten's model, Saturated hydraulic conductivity, Soil physical quality index

* Corresponding Author; Email: hemami@um.ac.ir