

## بررسی اثر پلیمر پلی‌وینیل‌استات، زغال زیستی اسیدی و هیدروژل سلولز کاه گندم بر ظرفیت نگهداشت آب در خاک شنی

فاطمه نورعلی‌وند<sup>۱</sup>، احمد فرخیان‌فیروزی<sup>۲\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷)

### چکیده

بحران خشکسالی، ضرورت صرفه‌جویی و کاربرد بهینه آب را در بخش کشاورزی بیش از پیش نشان می‌دهد. یکی از راهکارهای استفاده بهینه از منابع آب و حفظ آن کاربرد مواد آلی و جاذب‌های طبیعی و مصنوعی است. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر پلیمر پلی‌وینیل‌استات، زغال زیستی کاه گندم و هیدروژل سلولز کاه گندم بر نگهداشت رطوبت (در مکش‌های ۳۳، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال)، جرم ویژه ظاهری، پایداری خاکدانه‌ها و مقدار کربن آلی خاک شنی بود. بدین منظور آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. خاک شنی از کانون گرد و غبار جنوب شرق اهواز نمونه‌برداری شد. فاکتورها شامل (۱) نوع اصلاح کننده (پلیمر پلی‌وینیل‌استات، هیدروژل کاه گندم و زغال زیستی کاه گندم)، (۲) غلظت اصلاح کننده (پلیمر پلی‌وینیل‌استات: پنج و ۱۰ گرم بر لیتر، زغال زیستی و هیدروژل سلولز: یک و سه درصد وزنی و (۳) زمان (۲۱، ۴۲، ۶۳ و ۱۲۶ روز) بودند. نتایج نشان داد که تمام تیمارهای آزمایشی مقدار نگهداشت رطوبت خاک را در همه‌ی مکش‌ها بصورت معنی‌دار ( $p < 0/01$ ) افزایش داد. افزودن مواد اصلاح کننده جرم ویژه ظاهری را کاهش و پایداری خاکدانه و کربن آلی را افزایش داد. کم‌ترین مقدار جرم ویژه ظاهری در تیمار-های هیدروژل و زغال زیستی در زمان ۱۲۶ روز و در تیمار پلی‌وینیل‌استات در زمان ۲۱ روز مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار کربن آلی و پایداری خاکدانه در تیمار هیدروژل در زمان ۱۲۶ روز مشاهده شد. در تیمار هیدروژل با گذشت زمان، پایداری خاکدانه و نگهداشت رطوبت افزایش یافت. اما نگهداشت رطوبت تیمار پلیمر پلی‌وینیل‌استات با گذشت زمان کاهش یافت. بیوپلیمر جاذب رطوبت جایگزین مناسبی برای پلیمرهای سوپر جاذب مصنوعی است؛ زیرا علاوه بر افزایش نگهداشت رطوبت و مواد آلی خاک سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها نیز گردید.

**واژه های کلیدی:** بیوپلیمر، پلیمر سنتز شده، خاک شنی، ساختمان خاک، نگهداشت آب

نورعلی‌وند ف.، فرخیان‌فیروزی ا. ۱۳۹۹. بررسی اثر پلیمر پلی‌وینیل‌استات، زغال زیستی اسیدی و هیدروژل سلولز کاه گندم بر ظرفیت نگهداشت آب در خاک شنی. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸، شماره ۳. صفحه: ۱۴۴-۱۵۹.

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز (نویسنده مسئول).

\*پست الکترونیک: [a.farrokhian@scu.ac.ir](mailto:a.farrokhian@scu.ac.ir)

## مقدمه

ایجاد شبکه در سطح و پل بین ذرات خاک سبب چسبیده شدن آنها به یکدیگر می‌شوند (Al-Khanbashi & Abdalla, 2006). کاربرد مواد پلیمری سوپرچاذب سبب کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های شنی می‌شود که در کاهش تلفات آب از طریق آبیاری (Taban & Movahedi, 2006) و بهبود شرایط رشد گیاهان در مناطق خشک بسیار مهم می‌باشند. نتایج پژوهش سیواپالان (Sivapalan, 2006) نشان داد که افزودن ۰/۰۳ درصد وزنی پلیمر پلی‌اکریل‌آمید به خاک شنی باعث افزایش بازده مصرف آب گردید. همچنین در دهه اخیر استفاده از زیست توده کربن شده و یا زغال زیستی نیز به عنوان یک گزینه مؤثر برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک (Glaser *et al.*, 2002) مورد توجه پژوهشگران آب و خاک قرار گرفته است. زغال زیستی ترکیبی غنی از کربن است که از طریق تجزیه گرمایی هر نوع زیست توده تحت شرایط بدون اکسیژن یا حضور جزئی آن بدست می‌آید (Lehmann & Joseph, 2009). زغال زیستی به علت تخلخل و سطح ویژه بالا، می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی (ساختمان خاک، توزیع اندازه ذرات و جرم ویژه ظاهری) و هیدرولیکی خاک (مانند ظرفیت نگهداشت آب خاک و هدایت هیدرولیکی) را تغییر دهد (E. Brantley *et al.*, 2015). نتایج پژوهش نواک و همکاران (Novak *et al.*, 2012) نشان داد که زغال زیستی به علت تخلخل بالا به طور مستقیم و از طریق افزایش ماده آلی خاک به طور غیرمستقیم رطوبت قابل دسترس را افزایش می‌دهد. نتایج تحقیقات متعدد نیز نشان داد که افزودن زغال زیستی به خاک باعث کاهش جرم ویژه ظاهری خاک می‌شود (Kumar *et al.*, 2013, Hardie *et al.*, 2014, Lehmann & Joseph, 2009). نتایج پژوهش پیرا و همکاران (Pereira *et al.*, 2012) نشان داد افزایش ۱۲ درصد وزنی زغال زیستی به خاک شنی، می‌تواند ظرفیت نگهداشت رطوبت را در پتانسیل‌های ماتریک کم‌تر از ۶- کیلوپاسکال افزایش دهد. با توجه به افزایش مشکلات زیست محیطی مرتبط با پلیمرهای مصنوعی، تمایل به استفاده از پلیمرهای سنتز شده از منابع تجدیدپذیر (مانند نشاسته یا سلولز) افزایش یافته است. مزایای استفاده از این پلیمرهای زیستی در مقایسه با پلیمرهای نفتی، پایداری، تجزیه

ایران به دلیل کمبود ریزش‌های جوی سالانه و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی بارندگی، همواره با مشکل کمبود آب مواجه است. براساس مطالعات انجام شده، متوسط بارندگی در ایران در حدود ۲۲۴ میلی‌متر در سال است که این مقدار کم‌تر از یک سوم بارندگی سالانه جهان می‌باشد؛ از سوی دیگر، مقدار تبخیر و تعرق در حدود سه برابر متوسط جهانی است (Chitsazan & Akhtari, 2006). یکی از راهکارهای استفاده بهینه از منابع آب و حفظ آن، افزودن مواد آلی و جاذب‌های رطوبت اعم از نوع طبیعی (مواد آلی قابل تجزیه) و مصنوعی (پلیمرهای شیمیایی) است. امروزه اهمیت مواد آلی در اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند تخلخل، هدایت هیدرولیکی، ساختمان و نگهداری رطوبت به خوبی شناخته شده است. ماده آلی با بهبود شرایط خاکدانه‌سازی، وضعیت تخلخل و نفوذپذیری خاک، عنصر اصلی برای حاصلخیزی خاک محسوب می‌شوند. علاوه بر این، ظرفیت نگهداشت آب در خاک (WRC)<sup>۱</sup> شاخص بالقوه کیفیت و بهره‌وری خاک است که به وسیله رابطه غیرخطی بین رطوبت حجمی خاک و پتانسیل ماتریک نشان داده می‌شود که به توزیع منافذ خاک وابسته است و تا حد زیادی توسط اندازه ذرات خاک (بافت)، ساختمان خاک (خاکدانه‌سازی) و مقدار ماده آلی خاک تنظیم می‌شود (Verheijen *et al.*, 2009). اصلاح خاک با مواد آلی یا شیمیایی، می‌تواند ویژگی‌های خاک را تغییر داده و ظرفیت نگهداشت آب در خاک را افزایش دهد. به طور کلی به مواد طبیعی یا مصنوعی که بتواند پوشش محافظی به صورت یک لایه مجزا و گسترده روی زمین ایجاد نماید و سطح خاک را از گزند عوامل مختلف از جمله باد، باران و غیره مصون دارد، خاکپوش گفته می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۸). در این روش مواد آلی نظیر پلیمرها، کاه و کلش، زغال زیستی، مواد نفتی و یا سایر مواد بر روی سطح خاک قرار داده شده و به این ترتیب منجر به اصلاح خاک و پایداری خاکدانه می‌گردد. کاربرد پلیمرها در خاک یک روش جدید برای بهبود ساختمان خاک است. مواد پلیمری با

1. Water retention capacity

خاک ارائه گردیده که اکثر این روش‌ها، هزینه بر بوده و یا از نظر مسائل زیست محیطی کارایی چندانی نداشته است. در بخش کشاورزی بقایای گیاهی و ضایعات به حجم زیاد تولید می‌شوند که عمدتاً از سلولز و لیگنین تشکیل شده‌اند که به علت تجدیدپذیری سالانه و فراوانی بالا، ماده اولیه مناسبی برای تولید بیوپلیمر می‌باشند. از طرفی خاک‌های شنی به علت سطح ویژه کم دارای ظرفیت محدودی برای نگهداری آب هستند (Lehmann & Joseph, 2009) که استفاده از چنین اصلاح کننده‌هایی علاوه بر افزایش ماده آلی منجر به حفظ رطوبت و بهبود ساختمان خاک می‌گردد. با توجه به اینکه مطالعات اندکی در این زمینه صورت گرفته است، این تحقیق با هدف بررسی اثر پلیمر پلی‌وینیل-استات، زغال زیستی اسیدی و هیدروژل سلولز کاه گندم بر جرم ویژه ظاهری، مقدار کربن آلی، پایداری خاکدانه و نگهداشت رطوبت در خاک در مکش‌های مختلف ( صفر، ۰/۳، ۱، ۳، ۵ و ۱۵ بار) در خاک شنی در چهار زمان (۲۱، ۴۲، ۶۳ و ۱۲۶ روز) انجام شد.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتورها شامل اصلاح کننده (پلیمر پلی‌وینیل‌استات، زغال زیستی اسیدی و هیدروژل سلولز کاه گندم)، غلظت اصلاح کننده (دو سطح) و زمان (۲۱، ۴۲، ۶۳ و ۱۲۶ روز) بودند. خاک مورد مطالعه از جنوب شرق اهواز (کانون گردوغبار شماره ۴ جنوب شرق اهواز) نمونه برداری شد. کانون گردوغبار جنوب شرق اهواز از فاصله حدود ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر اهواز آغاز و در امتداد بزرگراه اهواز-ماهشهر در مختصات جغرافیایی ۴۷'، ۴۸° تا ۱۷'، ۴۹° طول شرقی و ۴۵'، ۳۰° تا ۱۵'، ۳۱° عرض شمالی ادامه می‌یابد.

#### آماده‌سازی مواد اصلاح کننده

تهیه زغال زیستی: زغال زیستی مورد استفاده در این پژوهش از کاه گندم تهیه شد. مواد اولیه تهیه زغال زیستی (کاه گندم) قبل از گرماکافت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شد و سپس به منظور تسهیل فرآیند تجزیه به قطعات کوچک (کم‌تر از دو سانتی‌متر) خرد شد. سپس نمونه در دمای ۶۰۰

زیستی و ترکیبات غیرسمی آنهاست (Stahl et al., 2000; Weerawarna, 2009). هیدروژل‌هایی که از الیاف گیاهی تهیه می‌شوند دارای شبکه پلیمری سه بعدی می‌باشند و توانایی بالایی برای جذب و نگهداری آب در ساختار سه بعدی خود دارند (Hu et al., 2010). از میان پلیمرهای مشتق شده از منابع تجدیدپذیر، سلولز به عنوان ماده خام در تولید پلیمرهای سوپر جاذب زیست تخریب‌پذیر اولویت دارد، زیرا ارزان‌ترین و فراوان‌ترین پلیمر طبیعی روی زمین است (Kono & Fujita, 2012). هیدروژل سلولز و سیستم شبکه پلیمری از گروه‌های هیدروفیلی کربوکسیل ترکیب شده با مولکول‌های آب تشکیل شده است. به طور کلی آنها از یک شبکه زنجیره‌های پلیمری تشکیل شده‌اند که برای جلوگیری از انحلال به یکدیگر متصل هستند. معمولاً گروه‌های عاملی یونی در طول زنجیره‌های پلیمری برای افزایش نفوذ آب در شبکه وجود دارند (Raju et al., 2003). هیدروژل در نزدیکی ریشه به خاک متصل شده و وقتی آب از طریق آبیاری یا باران به خاک اضافه می‌شود، آب را جذب و حفظ می‌کند. بنابراین از هدر رفتن ناگهانی آب به دلیل تبخیر و زهکشی جلوگیری می‌کند. با خشک شدن خاک، هیدروژل آب ذخیره شده را به طور مداوم از طریق فرآیند انتشار، آزاد می‌کند و خاک یا بستر را در طول دوره‌های طولانی مرطوب نگه می‌دارد (Demetri et al., 2013). در پژوهشی زو و همکاران (Xu et al., 2015) گزارش دادند که کاربرد هیدروژل پلی-اکریل‌امید و هیومیک اسید، باعث کاهش جرم ویژه ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع و مقاومت نفوذی و افزایش خاکدانه‌سازی و تخلخل در خاک‌هایی با بافت شنی لومی می‌شود. مونتسانو و همکاران (Montesano et al., 2015) از ۰/۵، یک و دو درصد وزنی هیدروژل سلولز به منظور بررسی توانایی هیدروژل در تغییر خصوصیات نگهداشت آب خاک و رشد گیاه استفاده کردند. نتایج نشان داد که دو درصد وزنی هیدروژل رطوبت ظرفیت زراعی را در مقایسه با خاک شاهد افزایش داد و مقدار رطوبت در نقطه پژمردگی برابر با رطوبت ظرفیت زراعی خاک شاهد بود. از آنجا که رطوبت خاک یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاهش و کنترل فرسایش بادی است، در سال‌های اخیر روش‌های متعددی برای کنترل فرسایش بادی و حفظ رطوبت در

هیدروژل سلولز کاه گندم با استفاده از روش کادوکاوا و همکاران (Kadokawa *et al.*, 2008)، Kadokawa *et al.*, 2008) (2009) و لی و همکاران (Li *et al.*, 2009) تهیه شد. مخلوطی از سلولز کاه گندم و گوارگام با ۱۰ گرم از حلال ۱-آلیل ۳ متیل ایمیدازولیوم کلرید در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد به مدت هشت ساعت حرارت داده شد تا انحلال کامل انجام شده و ماده چسبناک همگن تولید شود. پس از اتمام واکنش، مخلوط در دمای اتاق خشک شده و هیدروژل بدست آمده چند مرتبه با آب مقطر شسته شد. برای بررسی مورفولوژی زغال زیستی و هیدروژل سلولز تولید شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) تصاویر آن‌ها تهیه شد. تعیین گروه‌های عاملی سطح زغال زیستی و هیدروژل سلولز با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز انجام شد. بافت خاک به روش هیدرومتر، pH و هدایت الکتریکی خاک در سوسپانسیون ۲:۱ (خاک:آب) به ترتیب با استفاده از pH متر و EC سنج و درصد کربن آلی از روش والکلی بلک (Walkly & Black, 1934) اندازه‌گیری شد. جرم ویژه حقیقی و ظاهری خاک به ترتیب با روش‌های پیکنومتر و حجمی اندازه‌گیری شد. همچنین پایداری خاکدانه با روش الک خشک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، به عنوان شاخص پایداری ساختمان خاک (معادله ۱) محاسبه شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad (1)$$

که در آن  $X_i$  میانگین قطر خاکدانه‌ها روی هر الک (میلی‌متر) و  $W_i$  جرم خشک خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه بر حسب گرم به وزن کل خاک (۵۰ گرم) می‌باشد. برای اندازه‌گیری نگهداشت رطوبت در خاک شاهد و تیمارها، در پایان دوره آزمایش (۲۱، ۴۲، ۶۳ و ۱۲۶ روز) از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد و مقدار نگهداشت رطوبت در نمونه‌ها در مکش‌های ۳۳، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد. مورفولوژی و گروه‌های عاملی سلولز و زغال زیستی تولید شده توسط SEM و FTIR تعیین شد.

درجه سانتیگراد در کوره الکتریکی تحت گاز نیتروژن (شرایط بدون اکسیژن) با نرخ افزایش پنج درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه به مدت سه ساعت پیرولیز شد (Jingkuan *et al.*, 2014). زغال زیستی تولید شده در محفظه‌های بسته در دمای اتاق برای مراحل بعدی ننگه‌داری شد (Mandel & Singh, 2017). نتایج پژوهش‌ها و همکاران (Chu *et al.*, 2018) نشان داد که اصلاح اسیدی زغال زیستی باعث افزایش سطح ویژه و تخلخل زغال زیستی خواهد شد. لذا برای اصلاح اسیدی زغال زیستی از روش پنگ و همکاران (Peng *et al.*, 2017) استفاده شد. زغال زیستی در محلول ۴۲/۵ درصد اسید فسفریک با نسبت ۱:۲ (اسید:زغال زیستی) به مدت ۱۲ ساعت غوطه‌ور شد. مخلوط زغال زیستی و اسید در آن در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد و به مدت دو ساعت در دمای ۶۰۰ درجه پیرولیز شد. پس از سرد شدن در دمای اتاق، به منظور حذف اسید فسفریک اضافی، زغال زیستی اصلاح شده با آب دیونیزه شسته شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آن خشک شد. سطح ویژه زغال زیستی قبل و بعد از اصلاح شیمیایی به روش تیتراسیون با هیدروکسید سدیم (Sears, 1956; Dume *et al.*, 2016) اندازه‌گیری شد.

#### استخراج سلولز از کاه گندم

استخراج سلولز از کاه گندم به روش سان و همکاران (Sun *et al.*, 2004) انجام شد. ابتدا ۲۰ گرم کاه گندم کاملاً خشک عبوری از مش ۶۰ و باقیمانده روی مش ۸۰، درون ارلن با ۴۰۰ میلی‌لیتر محلول یک درصد سدیم هیدروکسید به مدت یک ساعت جوشانده شد و پس از صاف کردن و شستشو با آب مقطر، در داخل ارلن به همراه ۴۴۰ میلی‌لیتر مخلوط استیک اسید (۸۰ درصد) و نیتریک اسید (۶۷ درصد) با نسبت ۱۰ به ۱ به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس جوشانده شد. پس از پایان زمان واکنش و سرد شدن نسبی مخلوط، خمیرهای سلولزی به دست آمده صاف شد و تا خنثی‌سازی کامل با آب مقطر شستشو داده شدند و در آن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت به طور کامل خشک شدند.

#### تهیه هیدروژل سلولز کاه گندم

1. Scanning Electron Microscopy (SEM)
2. Mean Weight Diameter

کننده (زغال زیستی اسیدی کاه گندم، پلیمر پلی‌وینیل استات و هیدروژل سلولز)، غلظت اصلاح کننده (سه سطح) و زمان (۲۱، ۴۲، ۶۳ و ۱۲۶ روز) بودند. نمودارها با برنامه Excel رسم شدند.

### نتایج و بحث

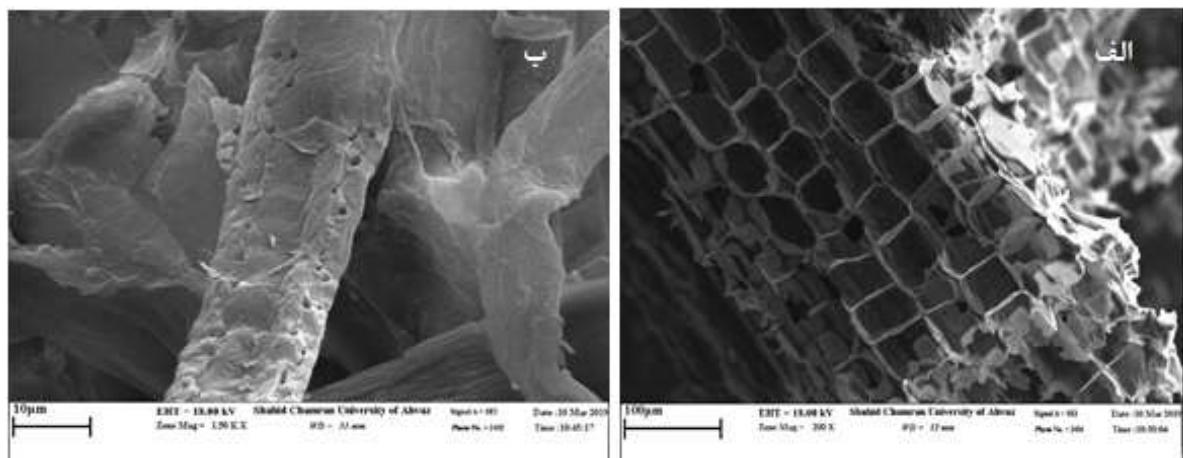
خاک مورد مطالعه دارای بافت شنی و pH قلیایی (۸/۴) است. تخلخل و کربن آلی خاک به ترتیب ۲۷ و ۰/۰۲۹ درصد و جرم ویژه ظاهری ۱/۷۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) هیدروژل سلولز و زغال زیستی در شکل (۱) نشان داده شده است. سطح زغال زیستی (شکل ۱-الف) دارای خلل و فرج درشت، بصورت حفره‌های لانه زنبوری می‌باشد. این شبکه لانه زنبوری در واقع بیانگر شکل‌گیری بهتر اسکلت کربن در ساختار زغال زیستی است (Ghani *et al.*, 2013). رها شدن گازها از سطح زغال زیستی اصلاح شده، به علت واکنش اسید فسفریک با گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار زغال زیستی، منجر به تشکیل منافذ ریز و افزایش سطح ویژه می‌شود (Peng *et al.*, 2018, Chu *et al.*, 2017). اصلاح بیوجار سبب شد سطح ویژه آن از ۴۵/۴ به ۲۲۱ متر مربع بر گرم برسد. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی هیدروژل سلولز (شکل ۱-ب) نشان می‌دهد که ساختار سوزنی شکل الیاف سلولز پس از تهیه هیدروژل حفظ شده و تخلخل افزایش یافته است. تجمع الیاف در طول فرآیند تهیه هیدروژل رخ نداده است.

### بررسی اثر اصلاح کننده‌ها بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک

سه اصلاح کننده (پلیمر پلی‌وینیل استات، زغال زیستی و هیدروژل کاه گندم) با دو غلظت و چهار زمان مختلف ۲۱، ۴۲، ۶۳ و ۱۲۶ روز (Jien & Wang, 2013) در سه تکرار برای هر تیمار، در مجموع ۷۲ نمونه، برای ارزیابی جرم ویژه ظاهری، مقدار کربن آلی، پایداری خاکدانه‌ها و نگهداشت رطوبت در مکش‌های مختلف در یک خاک شنی مورد بررسی قرار گرفتند. تیمارهای مورد بررسی شامل، تیمار شاهد (بدون اصلاح کننده)، پلیمر پلی‌وینیل استات در دو غلظت پنج و ۱۰ گرم بر لیتر (P1 و P2)، زغال زیستی اسیدی کاه گندم با دو غلظت یک و سه درصد وزنی خاک خشک (B1 و B2) و هیدروژل کاه گندم با دو غلظت یک و سه درصد وزنی خاک خشک (C1 و C2) بودند. خاک مورد مطالعه در ظروف پلاستیکی با ابعاد ۵۰ × ۱۳۰ × ۲۲۰ میلی‌متر ریخته شد. زغال زیستی و هیدروژل با خاک مخلوط شد سپس با اسپری آب روی سطح خاک رطوبت در حد ۷۵ درصد ظرفیت زراعی ثابت نگهداشته شد. پلیمر پلی‌وینیل استات نیز به صورت یکنواخت اسپری شد.

### تجزیه و تحلیل آماری

به منظور بررسی اثر اصلاح کننده‌ها بر خصوصیات خاک آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد. آزمون مقایسه میانگین‌ها به روش چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. فاکتورها شامل اصلاح

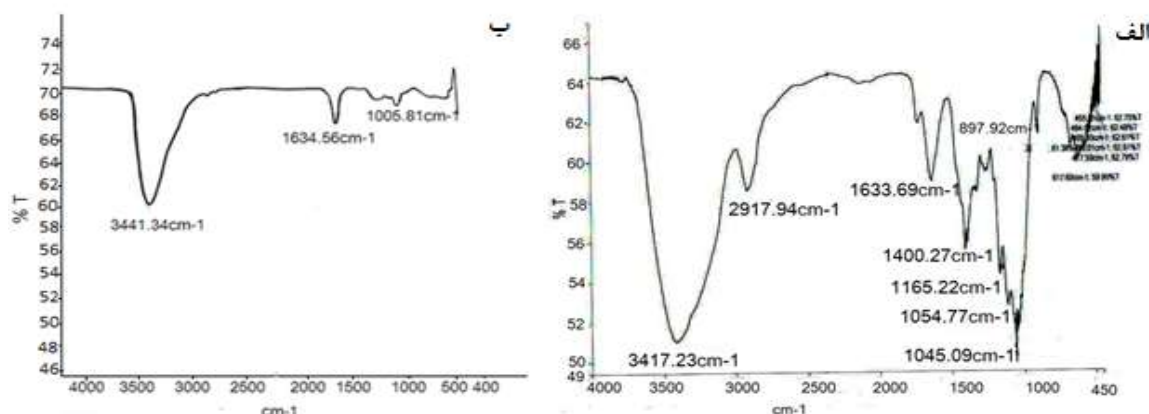


شکل ۱- تصویر SEM زغال زیستی (الف) و هیدروژل سلولز (ب)  
Figure 1. SEM image of the biochar (a) and cellulose hydrogel (b)



های  $\text{CH}_2$  است. (Biswal & Singh, 2004). مقادیر اوج ۱۱۶۵، ۱۰۵۴ و ۱۰۴۵ بر سانتی‌متر مربوط به ارتعاشات کششی C-O و C-C است (Sun, 2002). افزایش قله جذب در ۸۹۷/۹۲ بر سانتی‌متر به دلیل پیوندهای  $\beta$ -گلیکوزیدی بین حلقه‌های گلوکزی سلولز است. در شکل (۲-ب) طیف جذبی ۳۴۱۷/۲۳ بر سانتی‌متر مربوط به ارتعاشات گروه -OH و ۱۶۳۴/۵۶ بر سانتی‌متر مربوط به گروه  $\text{O}=\text{C}$  کربوکسیلها یا ترکیبات آروماتیک  $\text{C}=\text{C}$  می‌باشد. ارتعاشات مربوط به  $\text{P}=\text{O}$  در طیف جذبی ۱۰۰۵/۸۱ بر سانتی‌متر مشاهده شد. گروه‌های فسفات با مکان‌های دارای کربن فعال مرتبط شده و میزان فسفات موجود در زغال زیستی اصلاح شده با  $\text{H}_3\text{PO}_4$  را افزایش دادند (Sahin et al., 2017).

نتایج مربوط به طیف‌سنجی مادون قرمز مربوط به هیدروژل سلولز و زغال زیستی در شکل (۲) نشان داده شده است. برای بررسی پیوندهای شیمیایی و گروه‌های عاملی موجود در جاذب‌ها از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز استفاده شد که بر اساس امواج ارسالی از سطح نمونه، گروه‌های عاملی و نوع پیوندها را مشخص می‌کند. پیک‌های مشخصه سلولز در شکل (۲-الف) عبارتند از یک پیک پهن در طول موج  $3441.34\text{cm}^{-1}$  که مربوط به گروه -OH می‌باشد که آبدوستی سلولز با توجه به همین باند پهن مشخص می‌شود. طیف جذبی  $\text{cm}^{-1}$  ۲۹۱۷/۹۴ را می‌توان به ارتعاشات پیوندهای C-H نسبت داد. حضور یک طیف جذبی قوی در  $\text{cm}^{-1}$  ۱۶۳۳/۶۹ وجود گروه عاملی  $\text{COO}^-$  را تأیید می‌کند. طیف جذبی  $1400/27\text{cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاشات پیوند-



شکل ۲- طیف مادون قرمز هیدروژل سلولز (الف) و زغال زیستی اسیدی (ب)

Figure 2. FTIR spectrum of the biochar (a) and cellulose hydrogel (b)

در مورد هر سه اصلاح کننده در همه زمان‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. در تیمارهای زغال زیستی و هیدروژل سلولز با گذشت زمان درصد کربن آلی و پایداری خاکدانه افزایش یافت. دو عامل مهم در تشکیل و پایداری خاکدانه وجود عوامل چسباننده بین ذرات و زمان لازم برای تأثیر این عوامل است. مواد آلی می‌تواند بطور مستقیم به عنوان عامل اتصال دهنده‌ی ذرات خاک عمل کند (Spaccini et al., 2002)، یا بطور غیر مستقیم فعالیت میکروبی خاک را افزایش داده و باعث بهبود خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌ها در خاک شود (Murphy, 2015). برهمکنش زغال زیستی و سلولز با ماتریکس خاک تحت تأثیر فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی قادر است باعث تشکیل و پایداری خاکدانه‌های درشت‌تر، افزایش تخلخل و نهایتاً کاهش جرم ویژه

اثر اصلاح کننده‌ها بر پایداری خاکدانه و درصد کربن آلی خاک

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر پایداری خاکدانه و درصد کربن آلی در جدول (۱) گزارش شده است. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که اثر عامل‌های زمان، نوع اصلاح کننده، غلظت و اثر متقابل زمان و اصلاح کننده، زمان و غلظت و اثر سه‌گانه فاکتورها در سطح یک درصد و اثر متقابل اصلاح کننده و غلظت در سطح پنج درصد بر میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) و درصد کربن آلی معنی‌دار است. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، نوع اصلاح کننده و غلظت اصلاح کننده (شکل ۳) نشان می‌دهد تمام اصلاح کننده‌ها در هر چهار فاصله زمانی مورد مطالعه میانگین وزنی قطر خاکدانه و درصد کربن آلی خاک را نسبت به خاک شاهد افزایش داده‌اند.

می‌شود (Kenneth & Nwankwo, 2001). نتایج پژوهش میزوتا و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که در خاک تیمار شده با سلولز ماکرو خاکدانه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. الخاشا و همکاران (Alkhasha *et al.*, 2018) گزارش کردند که پلیمر پلی‌اکریل‌آمید و مخلوط پلیمر و زغال زیستی خرما به طور قابل توجهی درصد پایداری خاکدانه را در خاک شنی لومی افزایش می‌دهد.

ظاهری شود (Verheijen *et al.*, 2010). با گذشت زمان و سست شدن پیوند ذرات با پلی‌وینیل‌استات از اثر آن اندکی کاسته شد. بطوریکه در زمان چهارم، نسبت به زمان اول، پایداری خاکدانه و درصد کربن آلی کاهش یافت. اما اختلاف معنی‌دار با خاک شاهد در زمان چهارم نیز مشاهده شد. اضافه کردن پلیمر به خاک با افزایش واکنش‌های شیمیایی و برقراری پیوندهای یونی بین پلیمر و ذرات خاک باعث تشکیل خاکدانه‌های بزرگتر

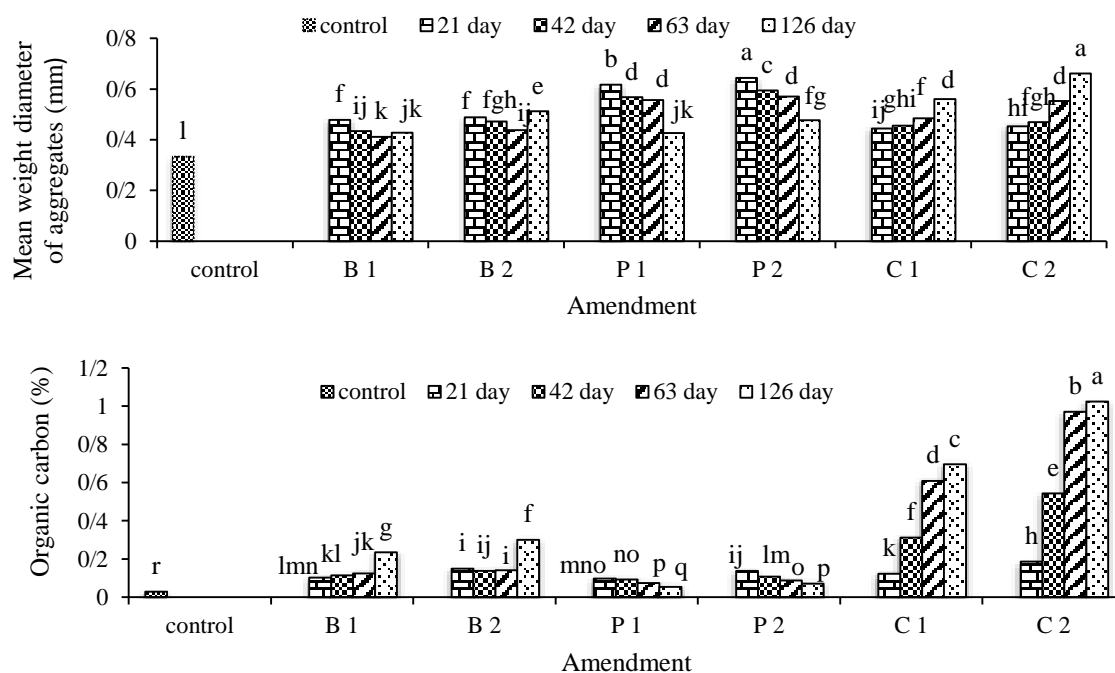
جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع اصلاح کننده، غلظت اصلاح کننده و زمان بر پایداری خاکدانه و درصد کربن آلی

Table 1. Analysis of variance for the effects of amendment, amendment concentration and time on aggregate stability and organic carbon

Sources of variation	Df	Mean squares	
		OC	MWD
Time	3	0.151**	0.001**
Amendment	2	1.518**	0.059**
Concentration	1	0.186**	0.027**
Amendment × Time	6	0.215**	0.034**
Concentration × Time	3	0.007**	0.003**
Concentration × Amendment	2	0.094**	0.001*
Concentration × Amendment × Time	6	0.01**	0.001**
Error	56	0.00005	0

\* و \*\* به ترتیب فاقد تفاوت معنی‌دار، معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ می‌باشند.

\* Significant at  $P < 0.05$ , \*\* Significant at  $P < 0.01$



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان، اصلاح کننده و غلظت بر کربن آلی و میانگین وزنی قطر ذرات (حروف غیرمشترک بر نشان‌دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است، B: زغال زیستی، C: هیدروژل سلولز، P: پلیمر پلی‌وینیل‌استات، اندیس اول غلظت و اندیس دوم نشان‌دهنده‌ی زمان است).

Figure 3. Mean test the effect of time, amendments type and concentration on organic carbon and mean weight diameter of aggregates (non-same letter are significantly different at 1% probability level, B: Biochar, C: Cellulose hydrogel, P: Polyvinyl Acetate polymer, the first and second subscripts are concentration and time, respectively)

## اثر اصلاح کننده‌ها بر جرم ویژه ظاهری

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر جرم ویژه ظاهری در جدول (۲) گزارش شده است. نتایج ارائه شده در جدول (۲) نشان می‌دهد که اثر عامل‌های زمان، نوع اصلاح کننده، غلظت و اثر متقابل زمان و نوع اصلاح کننده در سطح یک درصد بر جرم مخصوص ظاهری معنی‌دار می‌باشد. اثر متقابل زمان و غلظت، نوع اصلاح کننده و غلظت و اثر سه‌گانه فاکتورها بر جرم مخصوص ظاهری معنی‌دار نشد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و نوع اصلاح کننده (شکل ۴) نشان می‌دهد تمام اصلاح کننده‌ها در هر چهار فاصله زمانی مورد مطالعه جرم ویژه ظاهری خاک را نسبت به خاک شاهد کاهش داده‌اند. در پلیمر پلی‌وینیل استات و هیدروژل سلولز اختلاف بین زمان‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود. در مورد زغال زیستی اختلاف معنی‌داری بین زمان اول و دوم مشاهده نشد اما با زمان سوم و چهارم از نظر آماری اختلاف معنی‌داری داشتند. بیش‌ترین کاهش در مقدار جرم مخصوص ظاهری بعد از ۱۲۶ روز در تیمار هیدروژل (سه درصد وزنی) مشاهده شد که نسبت به شاهد ۳۰ درصد کاهش یافت. با گذشت زمان جرم ویژه ظاهری در تیمار هیدروژل و زغال زیستی کاهش یافت.

کاهش جرم ویژه ظاهری خاک به علت جرم ویژه ظاهری کم زغال زیستی (۰/۴ گرم بر سانتی‌مترمکعب) و هیدروژل سلولز (۰/۱۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب) دور از انتظار نبود اما این دو اصلاح کننده علاوه بر نقش مستقیم در کاهش جرم ویژه ظاهری، می‌توانند از طریق تغییر در تراکم ذرات خاک جرم ویژه ظاهری آن را کاهش دهند (Lim et al., 2015). تشکیل و ثبات خاکدانه‌ها ناشی از تجزیه مواد آلی مصرفی باعث افزایش تخلخل و در نتیجه کاهش جرم ویژه ظاهری شده است. بیش‌ترین کاهش در جرم ویژه ظاهری در تیمار پلیمر پلی‌وینیل استات در زمان اول (۲۱ روز) مشاهده شد. علت این امر ناشی از جذب آب توسط پلیمر و انبساط خاک است. فرآیند تورم پلیمر در حضور آب منجر به افزایش حجم خاک، کاهش جرم ویژه ظاهری و افزایش تخلخل خاک می‌گردد (El-hady et al., 2003). با گذشت زمان احتمالاً به علت تجزیه پلیمر پلی‌وینیل-استات اندکی از اثر آن در خاک کاسته شد. در نتیجه جرم ویژه ظاهری افزایش یافت اما اختلاف معنی‌دار با خاک شاهد بعد از ۱۲۶ روز هم‌چنان برقرار بود.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر نوع اصلاح کننده، غلظت اصلاح کننده و زمان بر جرم مخصوص ظاهری

Table 2. Analysis of variance for the effects of amendment, amendment concentration and time on bulk density

Mean squares		
Sources of variation	Df	Bulk Density
Time	3	0.008**
Amendment	2	0.24**
Concentration	1	0.018**
Time × Amendment	6	0.034**
Time × Concentration	3	0 <sup>ns</sup>
Amendment × Concentration	2	0 <sup>ns</sup>
Time × Amendment × Concentration	6	0 <sup>ns</sup>
Error	56	0

ns و \*\* به ترتیب فاقد تفاوت معنی‌دار، معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ می‌باشند.

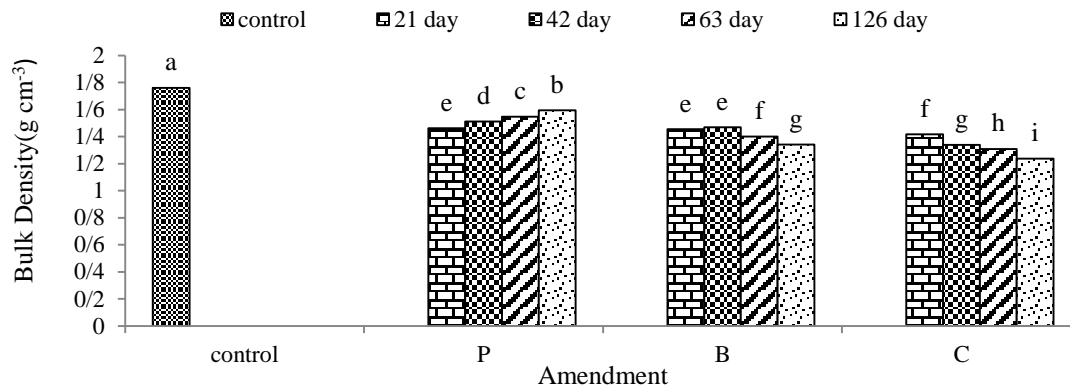
ns: Not significant, \*\* Significant at P <0.01

## اثر اصلاح کننده‌ها بر نگهداشت رطوبت در خاک

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر نگهداشت رطوبت در مکش‌های مختلف در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به نتایج گزارش شده اثر عامل‌های زمان، نوع اصلاح کننده، غلظت، اثر متقابل دوگانه و اثر متقابل سه‌گانه فاکتورها در سطح یک درصد بر نگهداشت

رطوبت در مکش‌های مختلف معنی‌دار می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، اصلاح کننده و غلظت بر درصد رطوبت حجمی در مکش‌های مختلف (بار) در جدول (۵) نشان داده شده است.





شکل ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان و اصلاح کننده بر جرم مخصوص ظاهری (حروف غیرمشترک نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد است، B: زغال زیستی، C: هیدروژل سلولز، P: پلیمر پلی وینیل استات).

Figure 4. Mean test the effect of time, amendments type and concentration on bulk density (non-same letter are significantly different at 1% probability level, B: Biochar, C: Cellulose hydrogel, P: Polyvinyl Acetate polymer)

در این مکش با گذشت زمان مقدار رطوبت در همه تیمارها بجز تیمارهای پلیمر پلی وینیل استات، افزایش یافت. در نتیجه در تیمارهای حاوی پلیمر پلی وینیل- استات علی‌رغم افزایش رطوبت در مکش ۳۳ کیلوپاسکال نسبت به شاهد، بعد از ۱۲۶ روز مقدار افزایش نگهداشت رطوبت کم‌تر از زمان ۲۱ روز بود. افزایش نگهداشت رطوبت در تیمارهای پلیمر پلی وینیل- استات به ساختمان و خواص آبدوستی پلیمر نسبت داده می‌شود. ساختمان شبکه‌ای پلیمر پلی وینیل استات منجر به جذب و نگهداری بیش‌تر آب نسبت به نمونه شاهد گردید. پلیمر با نگهداری آب در خاک و کاهش تبخیر به طور قابل ملاحظه‌ای میزان آب در دسترس گیاه را افزایش می‌دهد (Naderi & Vashghani Farahani, 2006). در مکش‌های ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال نیز روند مشابهی مشاهده شد و بیش‌ترین نگهداشت رطوبت مربوط به هیدروژل سلولز (سه درصد وزنی) بعد از ۱۲۶ روز بود که نسبت به خاک شاهد به ترتیب ۲/۷۷، ۳/۰۸، ۳/۰۷ و ۳/۷ برابر افزایش یافت. نتایج مطالعات پژوهشگران (Chen & Chen, 2019; Coello *et al.*, 2018; Guilherme *et al.*, 2015) نشان داد که هیدروژل سلولز ظرفیت نگهداشت آب خاک را افزایش می‌دهد. افزودن پلیمرهای هیدروفیل به خاک- های شنی با افزایش نگهداشت رطوبت، می‌تواند از هدر رفت آب در خاک‌های شنی جلوگیری کند (Montesano *et al.*, 2015).

با توجه به نتایج مواد اصلاح کننده رطوبت اشباع را به طور معنی داری نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند که علت آن ناشی از تأثیر مثبت این مواد (پلیمر پلی وینیل- استات، زغال زیستی و هیدروژل سلولز) در تشکیل خاکدانه‌ها، بهبود ساختمان خاک و در نتیجه افزایش تخلخل و منافذ درشت خاک می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده در بین تیمارهای مورد آزمایش افزودن سه درصد وزنی هیدروژل سلولز در زمان چهارم سبب بیش‌ترین افزایش در مقدار رطوبت اشباع شد. در تیمار های هیدروژل و زغال زیستی با گذشت زمان نگهداشت رطوبت افزایش یافت اما عکس این روند در مورد پلیمر رخ داد. بطوری که رطوبت اشباع در هیدروژل سلولز، زغال زیستی و پلیمر در غلظت بیش‌تر و زمان چهارم نسبت به شاهد، به ترتیب ۸۱/۹۷، ۴۸/۰۱ و ۱۶/۵۴ درصد افزایش یافت. با گذشت زمان بقایای گیاهی در داخل خاک تجزیه و موجب بهبود ساختمان خاک و حفظ رطوبت در داخل خاک می‌گردند. زغال زیستی با افزایش حجم منافذ خاک، تغییر توزیع اندازه منافذ (Obia *et al.*, 2016) و کاهش جرم ویژه ظاهری خاک (Abel *et al.*, 2013) می‌تواند نگهداشت آب در خاک را افزایش دهد. اما پلیمر زمانی که در سطح خاک اسپری می‌شود آب خود را خود را زودتر از دست می‌دهد به همین دلیل توصیه می‌شود پلیمر نیز با خاک مخلوط شود. با افزایش مکش از مقدار نگهداشت رطوبت به ازای کاربرد ماده‌ی اصلاحی کاسته شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در مکش ۳۳ کیلوپاسکال مقدار رطوبت خاک در تمام تیمارها نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر نوع اصلاح کننده، غلظت اصلاح کننده و زمان بر نگهداشت رطوبت در مکش‌های مختلف  
Table 3. Analysis of variance for the effects of amendment type, amendment concentration and time on moisture retention at different suctions

Sources of variation	Df	Mean of squares				
		Suction 33(kPa)	Suction 100(kPa)	Suction 300(kPa)	Suction 500(kPa)	Suction 1500(kPa)
Time	3	5.632**	10.791**	10.385**	10.042**	8.741**
Amendment	2	126.353**	98.284**	97.082**	74.155**	68.49**
Concentration	1	14.967**	7.466**	14.424**	5.717**	13.788**
Time × Amendment	6	9.839**	9.491**	7.889**	5.203**	5.622**
Time × Concentration	3	0.172**	0.203**	0.464**	0.627**	0.815**
Amendment × Concentration	2	4.09 **	0.529**	2.178 **	1.999**	5.479 **
Time × Amendment × Concentration	6	0.215**	0.125**	0.298**	0.109**	0.85**
Error	56	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016

\*\* معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱ می‌باشند. P < 0.01

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل زمان، اصلاح کننده و غلظت بر درصد رطوبت حجمی در مکش‌های مختلف (کیلوپاسکال)  
Table 4. Mean test the effect of time, amendments and concentration on volumetric water content at different suction (kPa)

Treatments	θ(33 kPa)	θ(100 kPa)	θ(300 kPa)	θ(500 kPa)	θ(1500 kPa)
Blank	4.89 r	4.13 q	3.31 t	3.02 p	2.38 q
B <sub>1,1</sub>	7.6 k	6.35 k	5.45 l	4.64 k	3.80 k
B <sub>1,2</sub>	8.31 i	7.65 h	5.73 k	5.22 hi	4.85 h
B <sub>1,3</sub>	9.03 g	8.25 g	7.39 g	6.13 f	5.33 g
B <sub>1,4</sub>	10.95 d	9.68 e	8.70 d	7.78 d	6.65 e
B <sub>2,1</sub>	8.22 ij	6.6 j	6.17 i	5.13 j	4.46 i
B <sub>2,2</sub>	8.59 h	8.17 g	6.86 h	5.75 g	5.33 g
B <sub>2,3</sub>	9.53 f	9.02 f	7.84 f	6.73 e	6.01 f
B <sub>2,4</sub>	12.38 b	10.95 b	9.63 b	8.52 b	7.46 c
C <sub>1,1</sub>	8.07 j	6.3 k	5.16 m	4.71 k	3.84 k
C <sub>1,2</sub>	9.18 g	8.21 g	5.63 kl	5.37 h	4.71 h
C <sub>1,3</sub>	9.68 f	8.9 f	7.42 g	6.63 e	5.91 f
C <sub>1,4</sub>	11.27 c	10.48 c	9.13 c	7.67 d	7.02 d
C <sub>2,1</sub>	10.44 e	6.82 i	5.95 j	5.32 hi	4.21 j
C <sub>2,2</sub>	10.97 d	9.04 f	8.19 e	6.14 f	5.99 b
C <sub>2,3</sub>	11.21 c	10.21 d	9.13 c	8.14 c	8.15 b
C <sub>2,4</sub>	12.86 a	11.44 a	10.23 a	9.29 a	8.82 a
P <sub>1,1</sub>	6.99 m	5.52 m	4.17 op	4.01 l	3.13 l
P <sub>1,2</sub>	6.13 o	5.13 n	3.84 qr	3.32 no	2.85 mn
P <sub>1,3</sub>	5.42 pq	4.81 o	3.63 rs	3.23 nop	2.56 no
P <sub>1,4</sub>	5.22 q	4.54 p	3.45 st	3.18 op	2.45 p
P <sub>2,1</sub>	7.29 l	5.9 l	4.53 n	4.3 no	3.43 mn
P <sub>2,2</sub>	6.37 n	5.46 m	4.22o	4.06 op	3.11 op
P <sub>2,3</sub>	5.54 p	5.08 n	4.0 pq	3.77 m	2.93 lm
P <sub>2,4</sub>	5.39 pq	4.84 o	3.72 r	3.42 n	2.53 mn

میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است (B: زغال زیستی، C: هیدروژل سلولز، P: پلیمر پلی‌وینیل استات، پایین نویس اول و دوم به ترتیب نشان دهنده غلظت و زمان است).

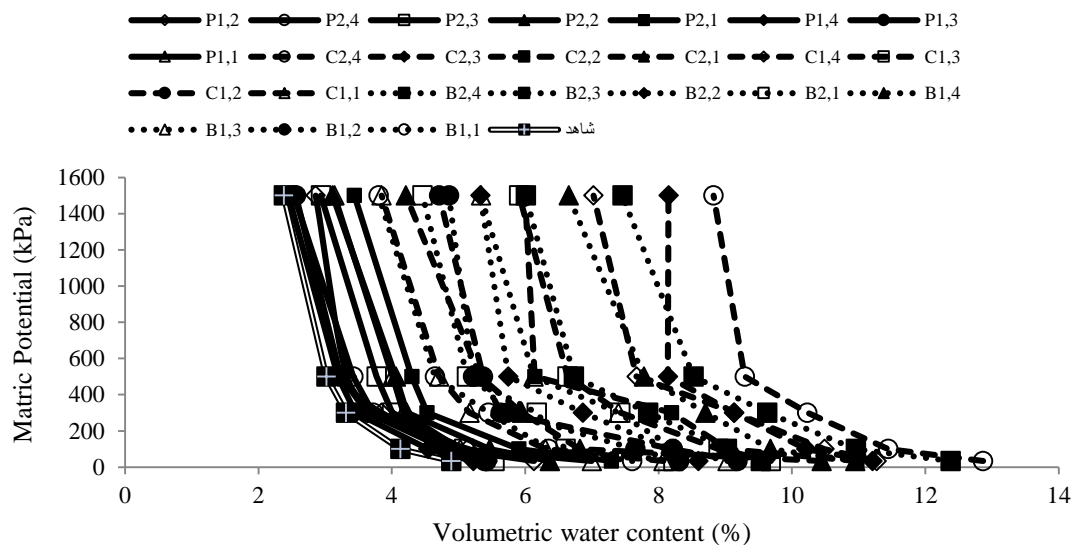
Means with non-same letter in each column are significantly different at 1% probability level (B: Biochar, C: Cellulose hydrogel, P: Polyvinyl Acetate polymer, first and second subscripts are concentration and time, respectively).

قابل توجهی رطوبت توسط اصلاح کننده‌ها آزاد شد و با افزایش مکش مقدار رطوبت حجمی کاهش یافت. در تمام دامنه‌های منحنی رطوبتی مقدار نگهداشت رطوبت در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد.

با بررسی منحنی‌های رطوبتی در شکل (۵) مشاهده شد که با کاربرد اصلاح کننده‌ها در زمان‌های مختلف مقدار درصد رطوبت حجمی نسبت به شاهد در تمام دامنه‌های منحنی رطوبتی افزایش یافت و این افزایش در تیمارهای هیدروژل سلولز چشمگیرتر بود. در مکش‌های کم مقدار

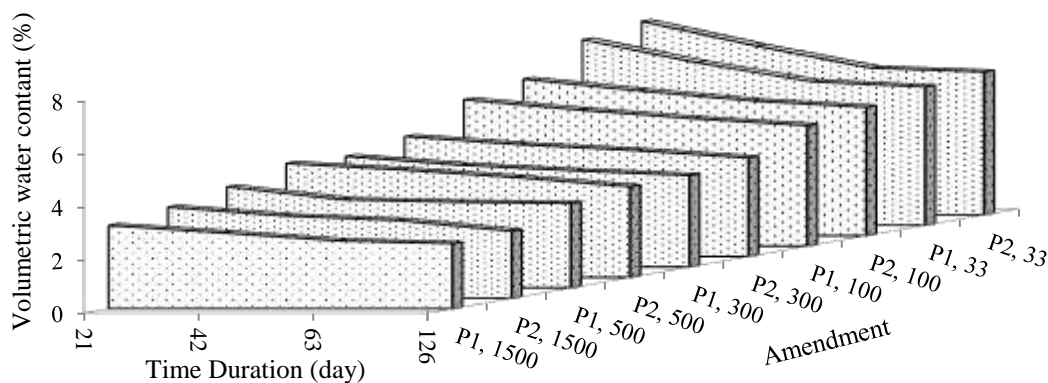
گذشت زمان نگهداشت رطوبت کاهش یافت (Geesing & Schmidhalter, 2004 & Bandedschafie & Durner, 2015). تخریب بیولوژیکی پلیمرها یکی از مهمترین عوامل کاهش کارایی آنها در شرایط واقعی خاک است (Smagin *et al.*, 2014). اما در تیمارهای زغال زیستی و هیدروژل سلولز، به علت بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک، با گذشت زمان نگهداشت رطوبت در خاک افزایش یافت.

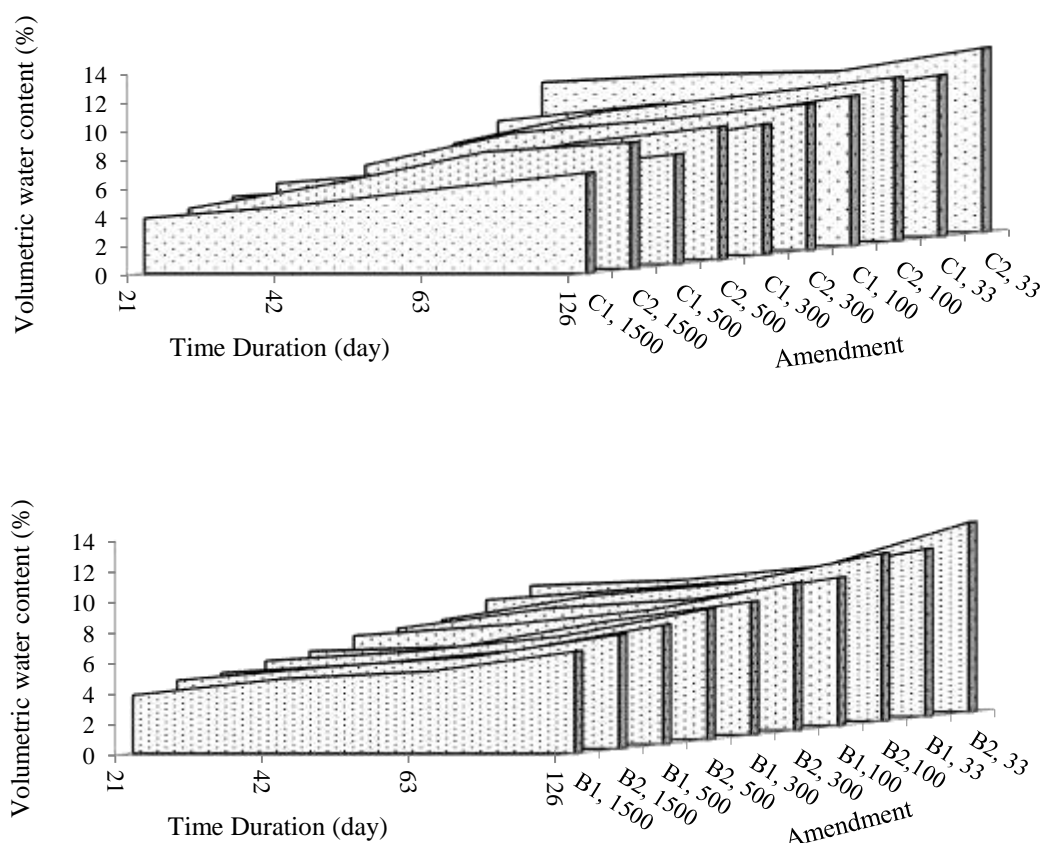
تغییرات نگهداشت رطوبت با زمان و غلظت در تیمارهای مختلف (a: پلیمر پلی‌وینیل استات، b: هیدروژل سلولز و c: زغال زیستی کاه گندم) در شکل (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزودن هیدروژل سلولز، زغال زیستی و پلیمر پلی‌وینیل استات می‌تواند قابلیت نگهداشت رطوبت را در خاک نسبت به خاک شاهد (بدون اصلاح کننده) بهبود بخشد. در مکش‌های یکسان، افزایش غلظت اصلاح کننده باعث افزایش نگهداشت رطوبت در خاک شد. در تیمار پلیمر پلی‌وینیل استات با



شکل ۵- منحنی‌های رطوبتی تیمارهای مختلف در چهار زمان (۲۱، ۴۲، ۶۳ و ۱۲۶ روز) (B: زغال زیستی، C: هیدروژل سلولز، P: پلیمر پلی‌وینیل استات، اندیس اول غلظت و اندیس دوم زمان)

Figure 5. Water retention curves of different treatments at four time (21, 42, 63 and 126 days) (B: Biochar, C: Cellulose hydrogel, P: Polyvinyl Acetate polymer, the first and second subscripts are concentration and time, respectively)





شکل ۶- تغییرات نگهداشت رطوبت نسبت به زمان (۲۱، ۴۲، ۶۳ و ۱۲۶ روز) و غلظت در تیمارهای مختلف (P: پلیمر پلی‌وینیل- استات، C: هیدروژل سلولز، B: زغال زیستی، اندیس اول غلظت و اندیس دوم پتانسیل ماتریک (مکش‌های ۳۳، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال)

Figure 6. The variation of water retention over time (21, 42, 63 and 126 days) and concentration in the different treatments (B: Biochar, C: Cellulose hydrogel, P: Polyvinyl Acetate polymer, the first and second subscripts are concentration and suction (33, 100, 300, 500 and 1500 kPa, respectively)

استات ناشی از جذب آب توسط پلیمر و انبساط خاک بود. فرآیند تورم پلیمر در حضور آب منجر به افزایش حجم خاک، کاهش جرم ویژه ظاهری و افزایش تخلخل خاک گردید. با گذشت زمان بقایای گیاهی در داخل خاک تجزیه و موجب بهبود ساختمان خاک و حفظ رطوبت در خاک شدند. اما توان آبیگری پلیمر پلی‌وینیل استات با گذشت زمان کاهش یافت. پلیمر پلی‌وینیل استات زمانی که در سطح خاک اسپری می‌شود آب خود را زودتر از دست می‌دهد به همین دلیل توصیه می‌شود پلیمر نیز با خاک مخلوط شود. پیشنهاد می‌شود در مناطق خشک و بیابانی در خاک‌های شنی به جای استفاده از پلیمرهای شیمیایی سوپر جاذب با توجه به غیر اقتصادی بودن آن‌ها از مواد آلی طبیعی جاذب رطوبت مانند زغال زیستی و هیدروژل‌های زیستی

### نتیجه‌گیری کلی

بطور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که تمام تیمار- های آزمایشی مقدار ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک را به طور معنی‌داری نسبت به خاک شاهد افزایش دادند که بیانگر تأثیر مثبت این مواد در تشکیل خاکدانه، بهبود ساختمان خاک و در نتیجه افزایش تخلخل و منافذ خاک می‌باشد. برهمکنش زغال زیستی و سلولز با ماتریکس خاک تحت تأثیر فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی باعث تشکیل و پایداری خاکدانه‌های درشت- تر، افزایش تخلخل و نهایتاً کاهش جرم ویژه ظاهری شد. این دو اصلاح کننده افزون بر نقش مستقیم در کاهش جرم ویژه ظاهری، از طریق تغییر در تراکم ذرات خاک جرم ویژه ظاهری خاک را کاهش دادند. علت کاهش جرم ویژه ظاهری در تیمار پلیمر پلی‌وینیل-

نویسندگان این مقاله از دانشگاه شهید چمران اهواز و مرکز پژوهشی منطقه‌ای ریزگردهای دانشگاه شهید چمران اهواز به دلیل حمایت‌های مالی و سایر کمک‌هایشان کمال تشکر و قدردانی را دارند.

استفاده شود زیرا این مواد علاوه بر افزایش مواد آلی در خاک، می‌توانند سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها و نگهداشت رطوبت در خاک شوند.

سیاسگزاری

## Reference

- Abel S., Peters A., Trinks S., Schonsky H., Facklam M., and Wessolek G. 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202–203: 183–191.
- Al-Khanbashi A., and Abdalla S.W. 2006. Evaluation of three waterborne polymers as stabilizers for sandy soil. *Geotechnical and Geological Engineering*, 24: 1603-1625.
- Alkhasha A., Al-Omran A., and Aly A. (2018). Effects of Biochar and Synthetic Polymer on the Hydro-Physical Properties of Sandy Soils. *Sustainability*, 10(12): 4642.
- Banedjschafie S., and Durner W. 2015. Water retention properties of a sandy soil with superabsorbent polymers as affected by aging and water quality. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*, 178(5): 798–806.
- Biswal D.R., and Singh R.P. 2004. Characterization of carboxymethyl cellulose and polyacrylamide graft copolymer. *Carbohydrate Polymers*, 57(4): 379-387.
- Chen Y.C., and Chen Y.H. 2019. Thermo and pH-responsive methylcellulose and hydroxypropyl methylcellulose hydrogels containing  $K_2SO_4$  for water retention and a controlled-release water-soluble fertilizer. *Science of the Total Environment*, 655: 958-967.
- Chitsazan M., and Akhtari Y. 2006. Evaluating the potential of groundwater pollution in kherran and zoweircherry plains through GIS-based DRASTIC Model. *Journal of Water and Wastewater*. 17: 39-51. (In Persian)
- Chu G., Zhao J., Huang Y., Zhou D., Liu Y., Wu M., Peng H., Zhao Q., Pan B., and E.W., Steinberg C. 2018. Phosphoric acid pretreatment enhances the specific surface areas of biochars by generation of micropores. *Environmental Pollution*, 240:1-9.
- Coello J., Ameztegui A., Rovira P., Fuentes C., and Piqué M. 2018. Innovative soil conditioners and mulches for forest restoration in semiarid conditions in northeast Spain, *Ecological Engineering*, 118, 52–65.
- Demitri C., Scalera F., Madaghiele M., Sannino A., and Maffezzoli A. 2013. Potential of cellulose-based superabsorbent hydrogels as water reservoir in agriculture. *International Journal of Polymer Science*, 12: 1-6.
- Das K.C., Steiner C., Ahmedna M., Rehrh D., and Schomberg H. 2012. Biochars impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. *Soil Science*, 177(5):310–320.
- Dume B., Mosissa T., and Nebiyu A. 2016. Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia African. *Journal of Environmental Science and Technology*, 10(3): 77-85.
- Brantley K.E., Brye K.R., Savin M.C., and Longer D.E. 2015. Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. *Soil Science*, 5(1): 1-10.
- El-hady O.A., AbdEl-Hady B.M., Rizk N.A., and El-Saify E.S. 2003. The potentiality for improving plant-soil water relations in sandy soil using some synthesized Am Na (or K) ATEA hydrogels. *Egyptian Journal of Soil Science*, 43 (4): 547-566.
- Geesing D., and Schmidhalter U. 2004. Influence of sodium polyacrylate on the water-holding capacity of three different soils and effects on growth of wheat. *Soil Use Management*, 20: 207–209.
- Ghani W.A.W.A.K., Mohd A., da Silva G., Bachmann R.T., Taufiq-Yap Y.H., Rashid U., and Al-Muhtaseb A. H. 2013. Biochar production from waste rubber-wood-sawdust and its potential use in C sequestration: Chemical and physical characterization. *Industrial Crops and Products*, 44: 18-24.
- Glaser B., Lehmann J., and Zech W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review, *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219–230.



- Guilherme M.R., Aouada F.A., Fajardo A.R., Martins A.F., Paulino A.T., and Davi M.F.T. 2015. Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: a review. *European Polymer Journal*, 72: 365–385.
- Hu Z., Yang J., Yan L., and Shi Y. 2014. Effects of super absorbent resin on soil characteristics in Dry-land Wheat. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 6(4): 480-483.
- Hardie M., Clothier B., Bound S., Oliver G., and Close D. 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? *Plant Soil*, 376: 347–361.
- Jingkuan S., Fei L., Zhongqi L., Lingyan Zh., Zhengguo S. 2014. Biochars derived from various crop straws: Characterization and Cd(II) removal potential. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 106: 226-231.
- Jien Sh.H., and Wang, C. Sh. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110: 225–233.
- Kadokawa J., Murakami M., Takegawa A., and Kaneko, Y. 2009. Preparation of cellulose–starch composite gel and fibrous material from a mixture of the polysaccharides in ionic liquid. *Carbohydrate Polymers*, 75(1): 180-183.
- Kadokawa J., Murakami M., and Kaneko Y. 2008. A facile preparation of gel materials from a solution of cellulose in ionic liquid. *Carbohydrate Research*, 343(4), 769-772.
- Kumar S., Masto R.E., Ram L.C., Sarkar P., George J., and Selvi VA. 2013. Biochar preparation from Parthenium hysterophorus and its potential use in soil application. *Ecological Engineering*, 55: 67–72.
- Kono H., and Fujita S. 2012. Biodegradable superabsorbent hydrogels derived from cellulose by esterification crosslinking with 1,2,3,4-butanetetracarboxylic dianhydride. *Carbohydrate Polymers*, 87 (4): 2582–2588.
- Kenneth N., and Nwankwo P.E. 2001. Polyacrylamide as a soil stabilizer for erosion control. Wisconsin Department of Transportation. Report Number: WI-06-98.28p.
- Li L., Lin Z., Yang X., Wan Z., and Cui S. 2009. A novel cellulose hydrogel prepared from its ionic liquid solution. *Chinese Science Bulletin*, 54(9): 1622-1625.
- Lim T.J., Spokas K.A., Feyereisen G. and Novak J. M. 2015. Predicting the impact of biochar additions on soil hydraulic properties. *Chemosphere*, 142:136-44.
- Lehmann J., and Joseph S. 2009. Biochar for Environmental Management: science and technology. *Earthscan: London, UK*.449 p.
- Mandal A., and Singh N. 2017. Optimization of atrazine and imidacloprid removal from water using biochars: Designing single or multi-staged batch adsorption systems. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 220(3): 637-645.
- Miller D. 1979. Effect of H-SPAN on water retained by soils after irrigation. *Soil Science Society of America Journal*. 43(3): 628-629.
- Mizuta K., Taguchi S., and Sato Sh. 2015. Soil aggregate formation and stability induced by starch and cellulose. *Soil Biology and Biochemistry*, 87:90-96.
- Montesano F.F., Parente A., Santamaria P., Sannino A., and Serio F. 2015. Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4: 451 – 458.
- Murphy B.W. 2015. Impact of soil organic matter on soil properties-a review with emphasis on Australian soils. *Soil Research*, 53, 605–635.
- Novak J.M., Busscher W.J., Watts D.W., Amonette J.E., Ippolito J.A., Lima I.M., Gaskin J., Peng H.B., Gao, P., Chu, G., Pan, B., Peng, J.H., and Xing B.S. 2017. Enhanced adsorption of Cu(II) and Cd(II) by phosphoric acid-modified biochars. *Environment Pollution*, 229: 846-853.
- Naderi F., and Vasheghani Farahani A. 2006. Maintaining the soil moisture by using of water absorbent polymers (hydrogels). *Journal Soil and Water Science*. 20(10): 64-72. (In Persian)
- Obia A., Mulder J., Martinsen V., Cornelissen G., and Børresen T. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil Tillage Research*. 155: 35–44.
- Pereira R.G., Heinemann A. B., Madari B. E., Carvalho M.T.M., Kliemann H.J., and dos Santos A. P. 2012. Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(5): 716–721.



- Raju K.M., Raju M.P., and Mohan Y.M. 2003. Synthesis of Superabsorbent Copolymers as Water Manageable Materials. *Polymer. International*, 52: 768-772.
- Refahi H. 2009. Wind Erosion and its Control. 5<sup>th</sup> Ed. University of Tehran prees, 320 p. (In Persian).
- Stahl J.D., Cameron M.D., Haselbach J., and Aust S.D. 2000. Biodegradation of superabsorbent polymers in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 7 (2): 83-88.
- Sun J.X., Sun X.F., Zhao H., and Sun R.C. 2004. Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stability*, 84(2): 331-339.
- Song Z., Liu J., Bai Y., Wei J., Li D., Wang Q., Chen Zh., Kanungo D. P., and Qian, W. 2019. Laboratory and Field Experiments on the Effect of Vinyl Acetate Polymer-Reinforced Soil. *Applied. Sciences*. 9(1): 208-222.
- Sivapalan S., 2006. Benefits of treating a sandy soil with a crosslinked-type polyacrylamide. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 46 (4): 579-584.
- Sahin O., Taskin M.B., Kaya E.C., Atakol O., Emir E., Inal A., and Gunes A. 2017. Effect of acid modification of biochar on nutrient availability and maize growth in a calcareous soil. *Soil Use and Management*, 33(3): 447-456.
- Sears, G.W. 1956. Determination of specific surface area of colloidal silica by titration with sodium hydroxide. *Analytical. Chemistry*. 28(12):1981-1983.
- Sun X., Sun R., and Sun J. 2002. Acetylation of rice straw with or without catalysts and its characterization as a natural sorbent in oil spill cleanup. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(22): 6428-6433.
- Smagin A.V., Sadovnikova N.B., and Smagina M.V. 2014. Biodestruction of strongly swelling polymer hydrogels and its effect on the water retention capacity of soils. *Eurasian Soil Science*, 47(6): 591-597.
- Spaccini R., Piccolo A., Mbagwu J.S.C., Zena Teshale A., and Igwe C.A. 2002. Influence of the addition of organic residues on carbohydrate content and structural stability of some highland soils in Ethiopia. *Soil Use and Management*, 18: 404-411.
- Taban M., and Movahedi Naeini S.A.R. 2006. Effect of aquasorb and organic compost amendments on soil water retention and evaporation whit different evaporation potentials and soil textures. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37: 2031-2055.
- Verheijen F., Jeffery S., Bastos A.C., van der Velde M., and Diafas I. 2010. Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties Processes and Functions. EUR 24099 EN. Office for the Official Publications of the European Communities. Luxembourg, 149 p.
- Verheijen F., Jeffery S, Bastos A.C., van der Velde M., and Diafas I. 2009. Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 162 p.
- Weerawarna S.A. 2009. Method for Making Biodegradable Superabsorbent Particles. U.S. Patent 2009/0324731 A1, filed June 30, 2008, and issued December 31, 2009.
- Hu X., Hu K., Zeng L., Zhao M., and Huang H. 2010. Hydrogels prepared from pineapple peel cellulose using ionic liquid and their characterization and primary sodium salicylate release study. *Carbohydrate Polymers*, 82 (1): 62-68.
- Xu S., Zhang L., McLaughlin N.B., Mi J., Chen Q., and Liu J. 2015. Effect of synthetic and natural water absorbing soil amendment soil physical properties under potato production in a semi-arid region. *Soil and Tillage Research*, 148: 31-39.

## Investigation the Effect of Polyvinyl Acetate Polymer, Acid Biochar and Wheat Straw Cellulose Hydrogel on Water Retention Capacity in a Sandy Soil

Fatemeh Nooralivand<sup>1</sup>, Ahmad FarrokhanFirouzi<sup>2\*</sup>

(Received: September 2019 Accepted: December)

### Abstract

The drought crisis reveals the necessity of saving and optimal use of water in various sectors, especially in agriculture. One of the strategies to optimize use of water resources is the application of organic materials and natural (bio) and synthetic sorbents. The purpose of this study was to investigate the effect of polyvinyl acetate polymer, wheat straw biochar and cellulose hydrogel on the water retention capacity (at suctions 33, 100, 300, 500 and 1500 kPa), bulk density, aggregate stability and amount of organic carbon in the sandy soil. Therefore, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. A sandy soil was collected from the southeast Ahvaz. The factors included (1) amendment (Polyvinyl Acetate polymer, biochar and cellulose hydrogel of wheat straw), (2) amendment concentration (Polyvinyl Acetate polymer: 5 and 10 g/L, biochar and cellulose hydrogel: 1 and 3 % w/w) and (3) time duration (21, 42, 63 and 126 days). The results showed that all experimental treatments, at all pressure heads, increased soil water retention significantly ( $p < 0.01$ ). The addition of amendments reduced the soil bulk density and increased the organic carbon and aggregate stability. Minimum bulk density was observed in the cellulose hydrogel and biochar treatments at 126-days and in the polyvinyl acetate polymer at 21-days. Maximum organic carbon and aggregate stability were observed in the cellulose hydrogel treatment at 126-days. In hydrogel treatments with passing time, aggregate stability and water retention increased, but water retention of polyvinyl acetate polymer decreased with increasing time. Moisture absorbent biopolymer is a suitable replace to super absorbent synthetic polymers because not only increase soil organic matter but also enhance soil aggregate stability and water retention capacity.

**Keywords:** Bio-polymer, Soil Structure, Sandy Soil, Synthetic-polymer, Water Retention

Nooralivand F. and FarrokhanFirouzi A. 2020. Investigation the Effect of Polyvinyl Acetate Polymer, Acid Biochar and Wheat Straw Cellulose Hydrogel on Water Retention Capacity in a Sandy Soil. *Applied Soil Research*, 8(3): 144-159.

1. Ph.D. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

\*Corresponding Author Email: [a.farrokhan@scu.ac.ir](mailto:a.farrokhan@scu.ac.ir)