



Evaluation of Soil Surface Stabilization Affected by Organic and Mineral Mulches Using Erosional Plots and Profile Meter

ELHAM RIZEHBANDI¹, ATAALLAH KHADEMALRASOUL^{✉2}, MEHDI TAGHAVI ZAHEDKOLAEI³

1. Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, elhamrizehbandi78@gmail.com

2. Corresponding Author, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, a.khademalrasoul@scu.ac.ir.

3. Chemistry Department, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, m.taghavi@scu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: March. 2, 2022

Received: May. 11, 2022

Accepted: May. 18, 2022

Published online: June. 22, 2022

Keywords:

armoring effect,
erosional plots,
hydraulic properties,
mulching, Profile meter

ABSTRACT

Wind erosion is one of the most dominant soil degradation factors in semi-arid and arid regions. Mulching is a management scenario to protect the soil surface. The present research accomplished to assess the efficacy of some organic and inorganic mulch on soil physical and hydraulic properties in the Kupal region of Khuzestan province. These mulches consist of organic mulch (O) at three levels O1, O2 and O3 at combined ratios of sugarcane bagasse, gelatin and gum arabic, mineral mulch (M) at two levels M1 and M2 from MNF mulch and Nanosilica hydrogel (H) mulch was made of nanosilica hydrogel at two levels H1 and H2, which were applied to the erosional plots with the size of 50 × 30 cm in May 2020, profile meters installed in each plot. After four months, applying the mulches had significant effects to improve the physical and hydraulic properties of the soil. The O3 and O2 treatments demonstrated the highest effect on soil MWD, by the value of 2.49 mm, and 2.45 mm, respectively. Soil organic carbon (SOC) increased from 0.2% in the control treatment to 0.92% in the O3 treatment. The H1 treatment depicted the lowest effect on SOC by the value of 0.50%. The biggest amount of soil water content in all moisture points was related to the O3 treatment. The lowest amount of soil loss was observed in O3 treatment (1490 ton / km.year) and the highest value was related to the control treatment (6028 ton / km.year). The organic matter in the mulches due to its binding effect was able to improve aggregation process. To conclude the binding and armoring effect are the main effects of organic mulch. Organic matter in mulches, due to its binding effect, is able to improve and increase the agglomeration process and reduce soil losses.

Cite this article: Rizebandi, E., Khademalrasoul, A., & Taghavi Zadehdolaei, M. (2022). Evaluation of Soil Surface Stabilization Affected by Organic and Mineral Mulches Using Erosional Plots and Profile Meter. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (4), 747-761.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.339828.669220>



ارزیابی تثبیت خاک سطحی متأثر از خاکپوش‌های آلی و معدنی نوترکیب با استفاده از کرت‌های فرسایشی و پروفایل‌متر

الهام ریزه‌بندی^۱، عطااله خادم الرسول^۲، مهدی تقوی زاهدکلایی^۳

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، elhamrizehbandi78@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، a.khademalrasoul@scu.ac.ir

۳. گروه شیمی دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، m.taghavi@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۴/۱

واژه‌های کلیدی:

اثر زره‌دار کردن،

پروفایل‌متر،

خاکپوش،

کرت‌های فرسایشی،

ویژگی‌های هیدرولیکی

فرسایش بادی از بارزترین عوامل تخریب خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. استفاده از خاکپوش یکی از راهبردهای مدیریتی برای حفاظت سطح خاک و کنترل فرسایش بادی است. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر خاکپوش‌های تولیدی نوترکیب آلی و معدنی بر ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک در منطقه کوپال استان خوزستان انجام شد. این خاکپوش‌ها شامل خاکپوش آلی (O) در سه سطح O₁، O₂ و O₃ با نسبت‌های ترکیبی از زغال‌زیستی باگاس نیشکر، ژلاتین و صمغ عربی، خاکپوش معدنی (M) در دو سطح M₁ و M₂ از خاکپوش MNF و خاکپوش هیدروژل نانوسیلیس (H) در دو سطح H₁ و H₂ از هیدروژل نانوسیلیس بودند که در کرت‌های فرسایشی به ابعاد ۳۰×۵۰ سانتی‌متر، از اردیبهشت تا مرداد ماه سال ۱۳۹۹ اعمال شدند. سپس در هر کرت پروفایل‌متر نصب شد. ارزیابی‌ها نشان داد بعد از گذشت چهار ماه، استفاده از خاکپوش‌ها اثر معنی‌داری در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک داشتند. تیمارهای O₃ و O₂ بیش‌ترین اثر را بر افزایش MWD خاک، به‌ترتیب با مقادیر ۲/۴۹ میلی‌متر و ۲/۴۵ میلی‌متر نشان دادند. کربن آلی خاک (SOC) از ۰/۲ درصد در تیمار شاهد به ۰/۹۲ درصد در تیمار O₃ افزایش یافت. کم‌ترین اثر در تیمار H₁ با ۰/۵ درصد SOC مشاهده شد. بیش‌ترین میزان نگاه‌داشت رطوبت در خاک در تمام نقاط رطوبتی مربوط به تیمار O₃ بود. به علاوه میزان خاک هدر رفته با کم‌ترین مقدار در تیمار O₃ (۱۴۹۰ t/km.y) مشاهده شد و بیش‌ترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد (۶۰۲۸ t/km.y) بود. ماده‌آلی موجود در خاکپوش‌ها به دلیل دارا بودن اثر اتصال‌دهندگی، قادر به بهبود و افزایش فرآیند خاکدانه‌سازی و کاهش تلفات خاک می‌شود. به‌طور کلی خاکپوش آلی دارای اثرات چسبانندگی و زره‌دار کردن سطح خاک است. پیشنهاد می‌شود اثر افزودنی‌های نوظهور حاصل از مواد تبدیلی مانند بازانتیت در خاک‌های حساس به فرسایش در مقیاس عرصه‌ای نیز ارزیابی شود.

استناد: ریزه‌بندی، الهام؛ خادم الرسول، عطااله؛ و تقوی زاهدکلایی، مهدی (۱۴۰۱). ارزیابی تثبیت خاک سطحی متأثر از خاکپوش‌های آلی و معدنی نوترکیب با استفاده از

کرت‌های فرسایشی و پروفایل‌متر. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۴)، ۷۴۷-۷۶۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.339828.669220>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

امروزه فرسایش بادی به یک چالش جدی در مناطق نیمه‌خشک و خشک تبدیل شده است که تأثیرات منطقه‌ای و جهانی بر محیط زیست و کشاورزی ایجاد کرده است (Colazo and Buschiazzo, 2014; Alipur et al, 2016; Aliabad et al, 2019). استفاده از خاکپوش یک استراتژی مدیریتی است که به حفظ رطوبت خاک و کاهش تبخیر خاک کمک می‌کند (Ghosh et al, 2015) که شامل خاکپوش‌های آلی (برگ، کاه، کود) و غیر آلی (سیمان، گچ) می‌باشد (Keesstra et al, 2019). پایداری خاکدانه‌ها یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ساختمان خاک است (Rallo et al, 2014) که تأثیر قابل توجهی بر پتانسیل فرسایش خاک دارد (Cantón et al, 2009).

مواد آلی و معدنی در خاک بر میزان فعالیت‌های بیولوژیکی در خاک موثرند. فعالیت‌های بیولوژیکی نیز منجر به ایجاد فرآیندهای خاکدانه‌سازی می‌شوند (Van-Camp et al, 2004). بنابراین استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی و اصلاح‌کننده‌های مصنوعی مانند هیدروژل‌ها می‌تواند پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داده و پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک را کاهش دهد (Papadopoulou et al, 2006; Bai et al, 2010). علاوه بر این، مواد آلی به عنوان اصلاح‌کننده‌های خاک، اهداف پایداری خاک را پوشش می‌دهد. زغال‌زیستی ماده جامد با کربن آلی بالا است که از تجزیه زیتوده طی فرآیند گرماکافت^۱ در شرایط بی‌هوازی کامل یا جزئی به دست می‌آید (Lehmann and Joseph, 2009; Sohi, 2012; IBI^۲, 2015). این ماده موجب ترسیب کربن خاک می‌شود، در کاهش انتشار خالص جهانی دی اکسید کربن موثر است و اثرات مثبتی بر سلامت خاک دارد (McHenry, 2009). پژوهش‌ها حاکی از اثر زغال‌زیستی در افزایش پایداری خاکدانه (Ghorbani et al, 2019) است که می‌تواند در کاهش خطر فرسایش‌پذیری خاک موثر باشد (Lu et al, 2014; Soinne et al, 2014; Sadeghi et al, 2016a; Lohrasbi et al, 2019).

مطالعات انجام شده نشان داد که کاربرد زغال‌زیستی در خاک باعث افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک می‌شود (Herath et al, 2013; Lu et al, 2017; Wang et al, 2014; Soinne et al, 2014; et al, 2014). طی مطالعاتی (Baiaomonte et al, 2019) با مطالعه اثر زغال‌زیستی در خاک شنی بیابان و Lohrasbi et al, 2019 با بکارگیری زغال‌زیستی در خاک لوم سیلتی نشان دادند که استفاده از زغال‌زیستی در بهبود ساختار خاک و حفظ رطوبت خاک مؤثر است، بنابراین پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد.

بکارگیری سوپرچادب در افزایش ظرفیت زراعی خاک، درصد رطوبت اشباع و میزان آب قابل استفاده در خاک شور و سدیمی موجب موثر است (Farahbakhsh, 2014). همچنین استفاده از سوپرچادب موجب بهبود ساختمان خاک به ویژه در خاک‌های سبک بافت، افزایش درصد نگهداشت رطوبت در مکش‌های مختلف از منحنی رطوبتی می‌گردد. ایجاد ویژگی رهاسازی رطوبت در مکش‌های کم در بافت‌های سنگین و افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت در بافت‌های سبک در مکش‌های بالا می‌شود (Koupai and Sohrab, 2004).

صمغ عربی بیوپلیمری است که مخلوطی از پلی‌ساکاریدها و گلیکوپروتئین‌ها است. دارای ساختاری با شاخه‌های زیاد است که در غلظت بالا به محلول چسبناک تبدیل می‌شود (Ahmed et al, 2009; Qian et al, 2009). صمغ عربی ماده‌ای غیرسمی، بی‌مزه، بی‌بو و محلول در آب با مجموعه‌ای از پروتئین‌های آبگریز و کربوهیدرات‌های آب‌دوست است (Ohwoavworhua and Adelakun, 2007; Nasir et al, 2008; Badreldin et al, 2009). این پلیمر طبیعی با ایجاد ترکیب ژله‌ای و چسبنده در آب، قادر به پیوند ذرات خاک و متعاقباً پایداری بیش‌تر خاکدانه‌ها در برابر عوامل فرسایشی است (Whistler and Hymowitz, 1979; Whistler, 2012). یکی از مهم‌ترین مزایای این پلیمر، در دسترس بودن، ارزان بودن و زیست تخریب‌پذیر بودن آن نسبت به سایر پلیمرهای مصنوعی است (Azzaoui et al, 2015). این ماده همچنین توانایی بالایی در افزایش ظرفیت نگه‌داشت آب در خاک دارد (El-Jack, 2003; Rosenkranz et al, 2012; Chang et al, 2015). همچنین صمغ عربی در افزایش کربن آلی خاک، پایداری خاکدانه و ظرفیت نگهداشت رطوبت اشباع خاک موثر است (Habibi et al, 2019).

ژلاتین یک پلیمر هیدرولیز شده ناپایدار است که از کلاژن به دست می‌آید. این بیوپلیمر کاربردی دارای ویژگی آب‌دوستی است. معمولاً به عنوان عامل ژل‌کننده با ویسکوزیته و خاصیت ارتجاعی بالا استفاده می‌شود (Schrieber and Gareis, 2007). ژلاتین پلیمری محلول در آب، زیست‌سازگار، تجزیه‌پذیر و غیرسمی است که حاوی گلیسین، پرولین و هیدروکسی پرولین است. علاوه بر این، نشان داده شده که ژلاتین ساختار شبکه را بهبود می‌بخشد و مقاومت هیدروژل را افزایش می‌دهد (Nichol et al, 2010).

گچ به عنوان اصلاح‌کننده خاک یک کانی سولفاتی رایج با فرمول مولکولی سولفات کلسیم هیدراته ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) است که از نظر تجاری اهمیت دارد. گچ که با مواد آلی ترکیب شده باشد می‌تواند بر پایداری خاکدانه‌ها تأثیر بگذارد و تخلخل خاک را بهبود بخشد (Walia and Dick, 2018). مطالعات قبلی نشان داد که استفاده از گچ در خاک‌های قلیایی موجب بهبود خاکدانه‌سازی می‌شود. که دلیل آن را در نقش مثبت یون Ca^{+2} در پیوند ذرات رس خاک به یکدیگر و اتصال ذرات رس با مواد آلی در خاک می‌دانند. همچنین جایگزینی آن با یون Na^{+1} در سایت‌های تبادل موجب همآوری و فلیکوله شدن رس در خاک می‌شود. (Qadir et al, 2001; Luo et al, 2015). گچ به عنوان اصلاح‌کننده خاک در افزایش خاکدانه‌سازی (Ekhtesasi et al, 2003) و پایداری خاکدانه‌های درشت (Rousta et al, 2011., Farahbakhsh et al, 2014) و بالا بردن ظرفیت نگهداشت

^۱ Pyrolysis

^۲ International Biochar Initiative

رطوبت خاک (Farahbakhsh et al, 2014) در کاهش پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک (Ekhtesasi et al, 2003) موثر است. زبری سطح خاک به دو روش عمده اندازه‌گیری می‌شود: ۱- روش‌های تماسی که در آن دستگاه‌های مکانیکی به‌طور مستقیم با خاک تماس برقرار می‌کنند، مثلاً پروفیل‌متر (میله‌های فلزی هستند که روی یک قالب در فواصل یکسان و در امتداد یک خط تعبیه شده‌اند (Kuipers, 1957) و زنجیر که توسط Saleh (1993) ارائه شده است. ۲- روش‌های غیر تماسی یا از راه دور که سطح خاک را با فاصله اندازه‌گیری می‌کنند و سطح خاک را لمس نمی‌کنند. روش‌های تماسی ساده هستند، اندازه‌گیری‌های زیادی می‌توانند انجام دهند و بنابراین نتایج آن‌ها می‌توانند قابل اعتماد باشند، به این معنی که قابل استفاده هستند (García Moreno, 2010). اندازه‌گیری تکی تغییرات سطح در یک نقطه ممکن است بسیار متفاوت باشد، اما این روش ارزان و ساده است. پروفیل‌متر برای اندازه‌گیری تغییرات کم در سطح خاک در مقطع کوچک مناسب است. پروفیل‌متر می‌تواند تغییرات سطح را در امتداد یک خط مستقیم اندازه‌گیری کند. این وسیله به شکل یک قالب افقی با میخ‌ها یا میله‌های فلزی نصب شده روی آن است به طوری که میله‌ها به طور هم‌زمان به سطح خاک پایین می‌روند و می‌توان تغییرات سطح خاک و زبری آن را در یک زمان و هم‌چنین پس از گذشت یک یا چند دوره زمانی اندازه‌گیری نمود (Hudson, 1993).

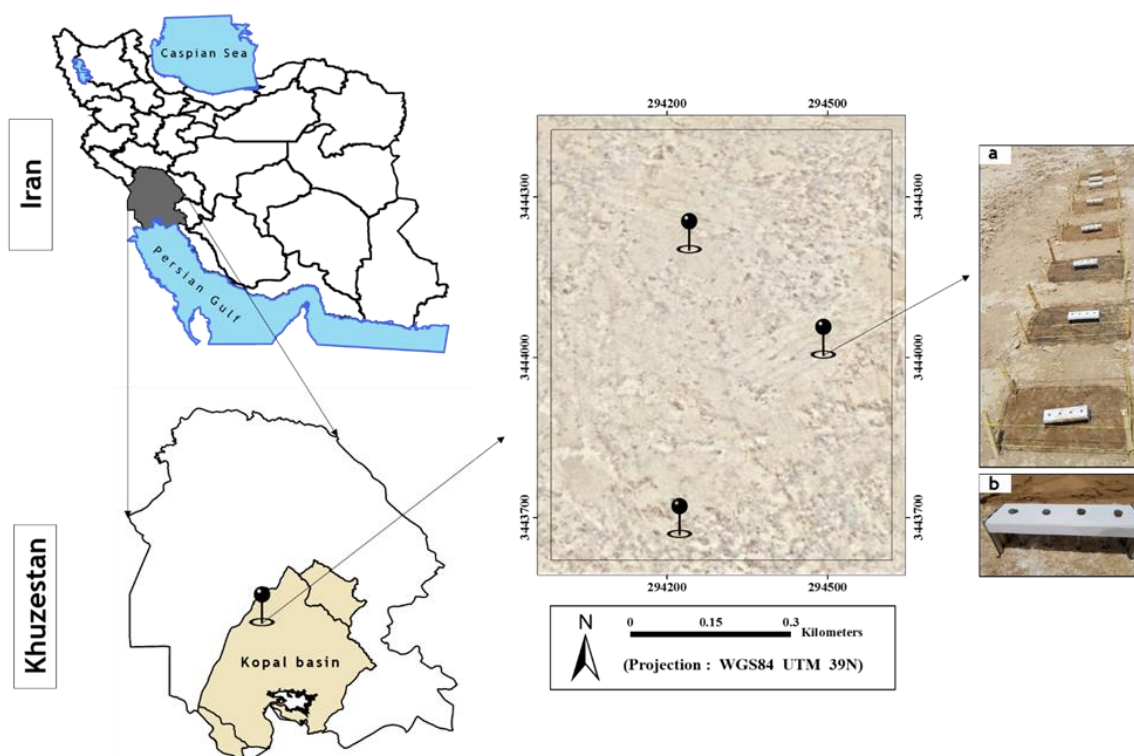
منحنی مشخصه رطوبتی خاک رابطه بین میزان رطوبت خاک و مکش ماتریک را نشان می‌دهد. این ویژگی در مسائل آب و خاک مانند آبیاری و زهکشی، حفاظت از خاک و حرکت املاح و آلودگی کاربرد دارد. مقدار ماده‌آلی و وضعیت ساختمانی خاک بر میزان رطوبت خاک تأثیر می‌گذارد (Verheijen et al, 2010). بنابراین مطالعه ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به‌ویژه پارامترهای نگه‌داشت آب در خاک برای بهبود روش‌های مدیریت خاک ضروری است.

هدف اصلی این مقاله بکارگیری خاکپوش‌های آلی و آلی- معدنی نوترکیب و ارزیابی کارایی خاکپوش‌های اعمال شده در مقیاس مزرعه‌ای به‌منظور کاهش پتانسیل فرسایش در سطح خاک ناشی از نیروهای فرسایشی باد و عوامل محرکه آن است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

کوپال، یکی از مناطق قرار گرفته در کانون‌های فرسایش بادی در استان خوزستان است. به جهت امکان رصد و پایش بهتر، بخشی از منطقه کوپال به مساحت حدودی ۲۰ هکتار با موقعیت جغرافیایی، عرض جغرافیایی $31^{\circ} 06' 20''$ تا $31^{\circ} 07' 31''$ و طول جغرافیایی $48^{\circ} 50' 22''$ تا $48^{\circ} 50' 46''$ به عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب گردید (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه. الف) کرت‌های فرسایشی و ب) پروفیل‌متر

منطقه مطالعاتی در کانون فرسایش بادی جنوب شرق اهواز قرار دارد. بر اساس آمار آب و هواشناسی دارای اقلیم خشک تا نیمه خشک است. در این منطقه، طی دوره پنج ساله (۱۳۹۲-۱۳۹۹)، میانگین سالانه دما، بارندگی و تخییر به ترتیب ۲۷/۰۸ درجه سانتی‌گراد، ۱۹۰/۸۲ میلی‌متر و ۲۹۴۴/۱۲ میلی‌متر است. جهت باد غالب غرب به شمال غربی است، هم‌چنین بیش‌ترین سرعت باد حدود ۷۶ کیلومتر در ساعت است^۱. اراضی این منطقه متشکل از دشت رسوبی با بافت غالب سیلت لوم و درصد بالای سیلت است. لذا در دسته خاک‌های حساس به فرسایش بوده هرگونه عارضه و پستی، بلندی خاصی است، از نوع خاک‌های شور و قلیا با فرسایش‌پذیری زیاد هستند. کاربری رایج اراضی بدون پوشش گیاهی است. خاک‌های این منطقه در رده خاک‌های جوان انتی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند^۲.

آماده‌سازی و به‌کارگیری خاکپوش‌ها

در این مطالعه تیمارها در کرت‌های فرسایشی شامل مواد آلی و معدنی سنتزی نوترکیب شامل خاکپوش آلی (O) که با ترکیب زغال‌زیستی باگاس نیشکر، ژلاتین و صمغ عربی به ترتیب در سه سطح O₁: ۱ درصد، O₂: ۰/۵ درصد و O₃: ۵ درصد، در دو سطح M₁ (۳ درصد) و M₂ (۵ درصد) و نیز خاکپوش نانوهیدروژل (H) در دو سطح H₁ (۱ درصد) و H₂ (۱/۵ درصد) تهیه گردیدند.

برای تولید زغال‌زیستی، زیتوده خشک باگاس-نیشکر تحت شرایط کنترل شده در اثر حرارت تجزیه شد. کوره الکتریکی (مدل Muffle Furnace, SEF-101 جهت محدود کردن ورود اکسیژن استفاده شد. فرآیند گرماکافت نمونه‌ها در سطح دمایی ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، با نرخ افزایش دمای ۷ درجه سانتی‌گراد در دقیقه و به مدت ۳ ساعت و با استفاده از جریان پیوسته گاز بی اثر (آرگون) انجام شد. سپس به زغال‌زیستی تهیه شده اجازه داده می‌شود تا به آرامی در دمای آزمایشگاه خنک شود. MNF ماده‌ای با حالت پودری و سفید رنگ و از مواد طبیعی است که از شرکت صنعت سازه ساتراپ تهیه شده است. در ترکیباتش بیش‌تر از گچ (به عنوان اصلاح‌کننده خاک‌های قلیایی) از سلولز (برای تأمین کربن آلی) و مقدار کمی خاک رس (برای افزایش فلیکوله شدن و خواص چسبندگی بین ذرات) استفاده شده است. خاکپوش هیدروژل نانو سیلیس تولید شده با روش پلیمری‌اسیون رادیکال آزاد (Morkhande et al, 2016) است. این پلیمر مصنوعی از نشاسته (به عنوان ماده پایه برای ایجاد حالت ژلی)، گلو تار آل‌دیئید (به عنوان عامل اتصال عرضی)، پرسولفات پتاسیم (به عنوان یک آغازگر برای پلیمری‌اسیون رادیکال آزاد) و نانو سیلیس (به عنوان تقویت‌کننده مقاومت مکانیکی و حرارتی هیدروژل) ساخته شده است. این پلیمر نسبت به هیدروژل نشاسته‌ای قابلیت جذب آب بیش‌تری دارد. دارای شبکه پلیمری سه بعدی بوده و در برابر تنش‌های مکانیکی و تغییرات pH و دما مقاومت بیش‌تری دارد.

پروفایل متر برای اندازه‌گیری تغییرات سطح خاک

پروفایل متر وسیله‌ای برای ارزیابی تغییرات سطح خاک در طول زمان استفاده می‌شود. پروفیل متر مورد استفاده در این پژوهش، صفحه‌ای مستطیلی به ابعاد ۶×۱۸ سانتی‌متر با دو پایه فلزی بود که در داخل خاک قرار داده شد. در هر صفحه، از چهار میخ مدرج فولادی با طول ۱۲ سانتی‌متر که در امتداد یک خط و به فاصله ۴ سانتی‌متر از هم قرار داشتند، استفاده شد. تیمارها در کرت‌های فرسایشی (در مقیاس ۳۰×۵۰ سانتی‌متر) در سه نقطه جغرافیایی مجزا در اردیبهشت ماه ۱۳۹۹ در منطقه کوپال اعمال شدند. سپس در هر قطعه یک پروفیل متر نصب شد و سطح خاک به موازات هر میخ درجه‌بندی شده به دقت خوانده و ثبت شد.

اندازه‌گیری‌های تجربی صحرائی و آزمایشگاهی

پس از چهار ماه، تغییرات سطح خاک (میزان هدررفت یا رسوب خاک) توسط پروفیل‌مترهای تعبیه شده در کرت‌های فرسایشی اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خاک دست‌نخورده در قسمت ۰ تا ۵ سانتی‌متری سطح خاک از هر کرت به طور جداگانه جمع‌آوری شد. سپس به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد در هوا خشک شد. کربن آلی (OC) با استفاده از روش (Walkley and Black, 1934) ارزیابی شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) به عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی پایداری خاکدانه، با استفاده از معادله Van Bavel (1950) با روش سری الک خشک اندازه‌گیری شد (معادله ۱). برای تعیین رطوبت خاک در مکش‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر، از دستگاه جعبه شنی استفاده شد و برای مکش‌های ۱۰۰، ۳۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر از دستگاه صفحه فشاری استفاده کردیم. در نهایت استوانه‌های خاک به مدت ۲۴ ساعت در کوره و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و رطوبت جرمی آن‌ها در هر مکش ماتریکس اندازه‌گیری شد.

رابطه ۱)

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i W_i$$

در این معادله، \bar{X}_i میانگین قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر) در هر کلاس اندازه، W_i نسبت جرم خاکدانه‌های خشک باقیمانده روی هر الک به جرم

کل خاکدانه‌ها و n تعداد الک‌ها است.

تجزیه و تحلیل آماری

این تحقیق به صورت طرح فاکتوریل و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS 17.0 و آزمون دانکن ($P < 0.05$) برای مقایسه میانگین انتخاب شد. هم‌چنین برای رسم نمودارها از نرم افزار Sigmaplot 14.0 استفاده شده است.

نتایج و بحث

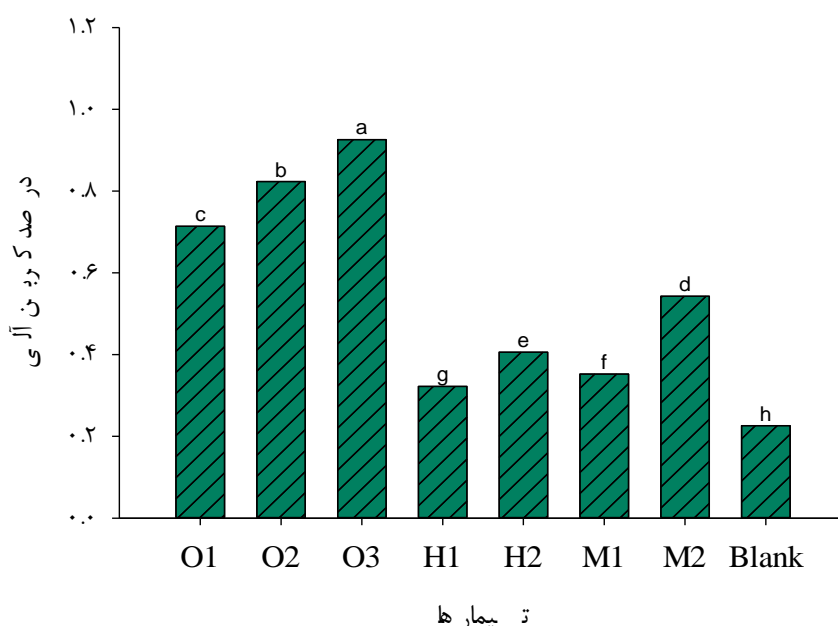
در جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارها بر خواص مکانیکی و هیدرولیکی خاک پس از چهار ماه نشان داده شده است. همان‌طور که جدول (۱) نشان می‌دهد، تیمارها اثرات معنی‌داری بر برخی ویژگی‌های خاک شامل مقدار کربن آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، هدررفت خاک و مقدار نگه‌داشت رطوبت خاک در مکش‌های ۳۰۰ سانتی‌متر و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر داشتند.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمارها بر ویژگی‌های مکانیکی و هیدرولیکی خاک در کرت‌های فرسایشی بعد از چهار ماه

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	کربن آلی	میانگین وزنی قطر خاکدانه	هدر رفت خاک	مکش ۳۰۰ (cm)	مکش ۱۵۰۰۰ (cm)
تکرار	۲	$ns-1.0 \times 1/254$	0.001^{ns}	$21/125^{ns}$	0.000^{ns}	0.000^{ns}
تیمارها	۷	0.159^{**}	0.592^{**}	$8.7962/354^{**}$	0.18^{**}	0.23^{**}
خطا	۱۴	$5.10 \times 7/878$	0.001	$12/014$	$5.10 \times 3/457$	$5.10 \times 8/571$

ns و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ هستند

تیمار O_3 موثرترین خاکپوش بین سایر تیمارها در افزایش کربن آلی بود (شکل ۲). به‌طور کلی، پس از چهار ماه، درصد کربن آلی از ۰/۲ در تیمار شاهد به نزدیک ۰/۹۲ در تیمار O_3 افزایش یافت. در حالی که تیمار H_1 کم‌ترین تأثیر را در افزایش مقدار کربن آلی نشان داد. و درصد آن حدود ۰/۳۲ بود (شکل ۲). مواد آلی، با اتصال ذرات خاک به یکدیگر، فرآیند خاکدانه‌سازی را بهبود می‌بخشد (Murphy, 2015).

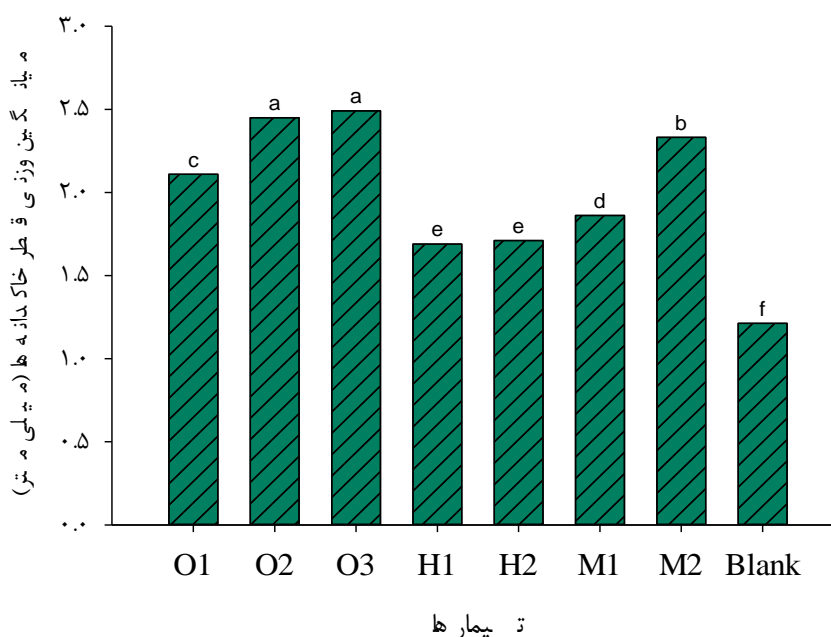


شکل ۲. آزمون مقایسه میانگین دانکن تیمارهای مختلف بر روی کربن آلی خاک (OC) پس از چهار ماه ($P < 0.05$)

استفاده از خاکپوش باعث افزایش میزان کربن آلی خاک و پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. کربن آلی با افزایش چسبندگی بین ذرات خاک و در نهایت ایجاد لایه‌های به هم پیوسته و خاکدانه‌هایی با قطر بزرگ‌تر، تراکم بیش‌تر و استحکام بالاتر بر فرآیند خاکدانه‌سازی تأثیر می‌گذارد و موجب کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. (Karimi et al, 2012; Chen et al, 2018; Dong et al, 2019; Zhang et al, 2019; Li et al, 2020)

(Hemmat et al, 2010);

تیمارهای O₃ و O₂ به ترتیب با مقادیر ۲/۴۹ میلی‌متر و ۲/۴۵ میلی‌متر بیش‌ترین MWD را در تمام تیمارهای ارزیابی شده نشان دادند، همچنین کم‌ترین مقدار پارامتر MWD در تیمارهای H₂ و H₁ مشاهده گردید (شکل ۳). Herath et al. (2013) گزارش دادند که زغال‌زیستی قادر به تسهیل و افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی و میکروبی است که خود تشکیل خاکدانه‌ها را در خاک افزایش می‌دهد (Liu, 2014; Domene et al, 2014; Hemmat al, 2010). زغال‌زیستی موجب افزایش پیوندهای درون ساختمانی در ساختار خاکدانه و افزایش پایداری خاکدانه می‌شود. دو عامل اساسی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها، وجود عوامل منسجم‌کننده بین ذرات خاک و زمان برای تأثیرگذاری این عوامل است. مواد آلی از طرفی مستقیماً به عنوان عامل اتصال دهنده ذرات خاک عمل می‌کنند (Spaccini et al, 2002). و از طرف دیگر، به طور غیر مستقیم با افزایش فعالیت میکروبی خاک، تشکیل و تثبیت خاکدانه‌ها را بهبود می‌بخشند. (Murphy, 2015). نتایج Mizuta et al. (2015) نشان داد که در خاک تیمار شده با سلولز، خاکدانه‌های درشت به طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش یافتند.



شکل ۳. آزمون مقایسه میانگین دانکن تیمارهای مختلف روی میانگین وزنی قطر خاک (MWD) پس از چهار ماه ($P < 0.05$)

در این پژوهش نانوهیدروژل تهیه شده بر پایه نشاسته (H) و خاکپوش M حاوی سلولز هستند. به دلیل این‌که هم نشاسته و هم سلولز پلی‌ساکارید هستند، قادرند به‌طور موثر کربن آلی خاک را افزایش دهند. همچنین Lima et al. (2009) بیان کردند که مواد آلی حاوی پلی‌ساکارید فرآیند خاکدانه‌سازی را بهبود می‌بخشند و پایداری خاکدانه‌ها را با جذب روی سطح ذرات رس افزایش می‌دهند. علاوه بر این، مواد پلی‌ساکاریدی گاهی اوقات خواص آب‌دوست دارند. که در افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک موثرند. مطالعات قبلی نشان دادند که زغال‌زیستی به عنوان یک اصلاح‌کننده آلی (Sun et al, 2016) به‌طور موثری پایداری خاکدانه‌ها و خواص هیدرولیکی را بهبود می‌بخشد (Almaroai et al, 2013; Wu and Shao, 2014; Chaganti and Crohn, 2015; Chaganti et al, 2015). علاوه بر این Khademalrasoul et al. (2014) نشان دادند که زغال‌زیستی و کود حیوانی به عنوان ماده‌آلی موجب افزایش پیوندهای درون ساختمانی، بهبود ساختمان خاک و تاثیر بر فرآیند خاکدانه‌سازی گردیدند. به‌علاوه زغال‌زیستی می‌تواند با بهبود نسبت توزیع منافذ خاک به خاکدانه‌سازی و افزایش ظرفیت آب‌نگهداری شده در منافذ خاک کمک کند (Downie et al, 2019).

پلیمرهای زیستی با افزایش چسبندگی بین ذرات خاک و زاویه‌ی اصطکاک آن‌ها در بالا بردن مقاومت برشی خاک موثر بوده که در نهایت موجب کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌گردد (Hemmat et al, 2010). این پلیمرها با به دام انداختن ذرات خاک، نقش مهمی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها در خاک بازی می‌کنند (Czarnes et al, 2000; Chenu and Stotzky, 2002). همچنین با اتصال خاکدانه‌ها به هم توسط مولکول‌های زنجیره بلند، موجب بهبود ساختمان فیزیکی خاک می‌گردند (Shanmuganathan and Oades, 1982). مطالعات گذشته نشان می‌دهند که پلیمرها با تشکیل پل‌های اتصال با خاکدانه‌های رس و همچنین به دلیل داشتن ویژگی ژل‌کنندگی و چسبانندگی موجب اتصال ذرات خاک به هم شده، خاکدانه‌سازی را تسهیل و تشکیل ساختمان خاک را بهبود می‌دهند (Whistler and Hymowitz, 1979; Whistler, 2012). منحنی‌های نگهداشت رطوبت خاک (SWRCS) در هر چهار تیمار به طور قابل توجهی متفاوت بود (شکل ۴). به طور کلی بالاترین مقدار

رطوبت نزدیک به نقطه اشباع، در تیمار O_3 مشاهده گردید. دلیل این امر، به وجود ماکروپوره‌های فراوان در زغال‌زیستی نسبت داده می‌شود (Herath et al, 2013; Sun et al, 2015). همان‌طور که جدول (۲) نشان می‌دهد، تفاوت مقدار آب خاک در مکش‌های ۳۰۰ سانتی‌متر و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر در بین تمام تیمارها از نظر آماری معنی‌دار بود. مقدار آب خاک برای تیمار O_3 در حالت اشباع حدود ۵۰ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. همچنین نتایج نشان‌دهنده شده در مکش‌های ۳۰۰ سانتی‌متری و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متری، نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار مقدار آب خاک برای همه تیمارها نسبت به شاهد بود.

در مجموع، در یک دوره کوتاه مدت، کربن آلی موجود در تیمارها می‌تواند مقدار آب خاک را در مکش‌های ۳۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متری و نزدیک به نقطه اشباع به میزان قابل توجهی بهبود بخشد. این نتیجه به دلیل تخلخل بالا و سطح ویژه زیاد مواد آلی در خاکپوش‌های اعمال شده است که منجر به کاهش چگالی ظاهری و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود (Peake et al, 2014; Hansen et al, 2016).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر نگاه‌داشت رطوبت در خاک در مکش‌های ۳۰۰ cm و ۱۵۰۰۰ cm در کرت‌های فرسایشی بعد از گذشت چهار ماه

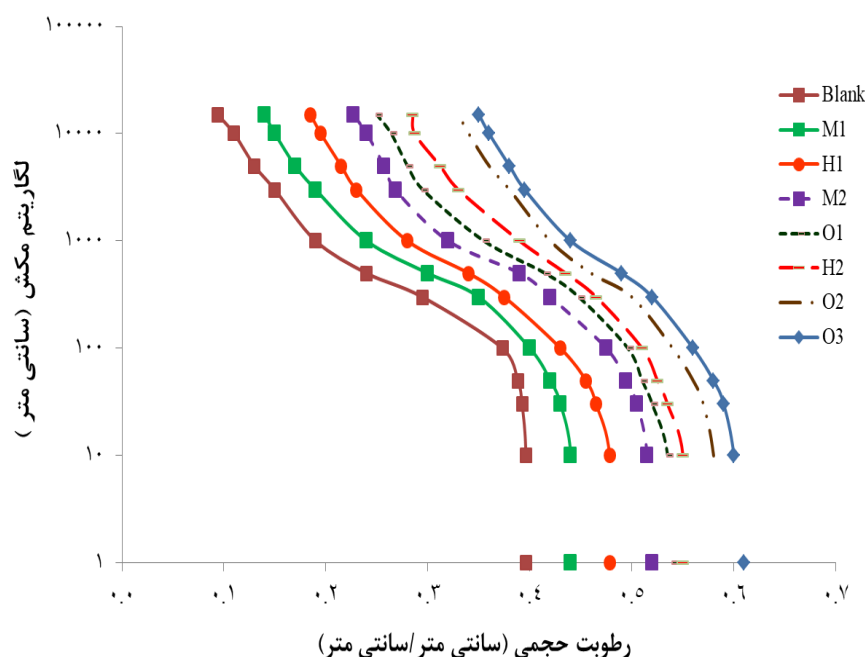
تیمارها	مکش ۳۰۰ (cm)	مکش ۱۵۰۰۰ (cm)
O_1	۰/۴۴۸ ^d	۰/۲۵۰ ^d
O_2	۰/۵۰۰ ^b	۰/۳۳۰ ^b
O_3	۰/۵۲۰ ^a	۰/۳۵۰ ^a
H_1	۰/۳۷۵ ^f	۰/۱۸۵ ^f
H_2	۰/۴۶۵ ^e	۰/۲۸۵ ^e
M_1	۰/۳۵۰ ^g	۰/۱۴۰ ^g
M_2	۰/۴۲۰ ^e	۰/۲۲۷ ^e
Blank	۰/۳۹۵ ^h	۰/۰۹۴ ^h

میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است.

مواد معدنی حاوی یون کلسیم مانند گچ از پراکندگی ذرات خاک جلوگیری نموده و با ایجاد هم‌آوری بین ذرات موجب افزایش خاکدانه‌سازی می‌شوند (Rose, 2005; Wong et al, 2005; Tobyo'geen et al, 2007). همچنین با تشکیل خاکدانه‌های درشت در افزایش ظرفیت رطوبت خاک موثرند (Farahbakhsh, 2014). در خاکپوش M، علاوه بر سلولز (به عنوان منبع کربن آلی و هیدروکربن آبدوست به دلیل دارا بودن گروه عاملی هیدروکسیل)، وجود گچ می‌تواند ظرفیت نگهداری آب در خاک را افزایش دهد که با نتایج (Aldaood et al, 2014) که بیان کرد با اعمال گچ به خاک ظرفیت نگهداری آب در خاک پس از بیش از ۲۸ روز افزایش یافته است، مطابقت دارد. گچ در خاک با تشکیل مینرال‌های سیلیکات کلسیم هیدراته موجب بهبود توزیع اندازه منافذ خاک و افزایش رطوبت نگهداری شده می‌شود (Al-Mukhtar et al, 2010; Aldaood et al, 2014). افزودن خاکپوش به خاک باعث افزایش میزان ماده‌آلی خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌ها شد که باعث افزایش نگهداری آب در خاک در مکش‌های مختلف شد. نتایج یکسانی توسط Pradeep and Bhushan (2001) و Yang et al. (2014) گزارش شده است.

Wall and Heiskanen (2003) نشان دادند که با افزایش مواد آلی در خاک، مقدار آب خاک در تمام مکش‌ها افزایش می‌یابد، که به اثر ماده آلی در ایجاد خاکدانه‌های پایدار در مکش‌های کم و افزایش سطح ویژه و نگاه‌داشت آب خاک در مکش‌های بالا مربوط می‌شود. نتایج نشان داد که خاکپوش M به دلیل وجود سلولز و گچ در ترکیباتش، باعث افزایش کربن آلی خاک و تجمع خاکدانه‌ها می‌شود. همچنین Hanay et al (2004) نقش اصلاح‌کننده سلولز و گچ را در تجمع خاکدانه‌ها و در نتیجه بالا بردن پایداری خاکدانه‌ها در برابر عوامل مخرب و افزایش پتانسیل ظرفیت نگهداری آب در خاک تأیید کرد.

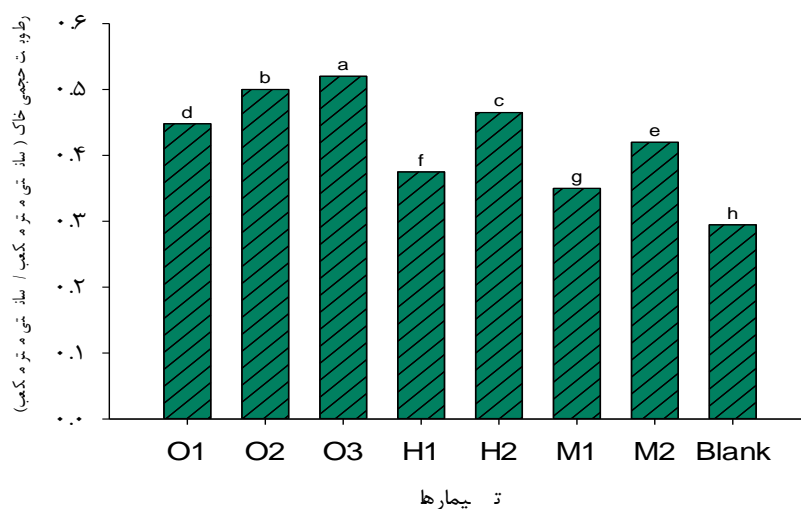
همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، بکارگیری خاکپوش به طور قابل توجهی مقدار رطوبت حجمی در خاک را در مکش‌های مختلف نسبت به تیمار شاهد افزایش می‌دهد. تمام سطوح اعمال شده خاکپوش آلی، خاکپوش M_2 و خاکپوش H_2 بیش‌ترین افزایش معنی‌دار در ظرفیت نگهداری آب در خاک را نشان دادند. که دلیل آن به به‌طور کلی به اثر مقدار کربن آلی و گروه‌های عاملی آب‌دوست در ترکیبات خاکپوش‌های اعمال شده مرتبط بود. در خاکپوش آلی، به دلیل وجود زغال‌زیستی و پلیمرهایی مانند صمغ عربی و ژلاتین در نتیجه دارا بودن ویژگی آب‌دوستی (حضور گروه عاملی هیدروکسیل) و اصلاح‌کنندگی آن‌ها، خاکدانه‌های خاک پایدارتر بوده و ظرفیت نگهداری آب بیش‌تر از سایر خاکپوش‌ها افزایش یافته است (Rosenkranz et al, 2012; Herath et al, 2013; Khademalrasoul et al, 2014; Chang et al, 2015; Bahadoran et al, 2017; Rizehbandi et al, 2020).



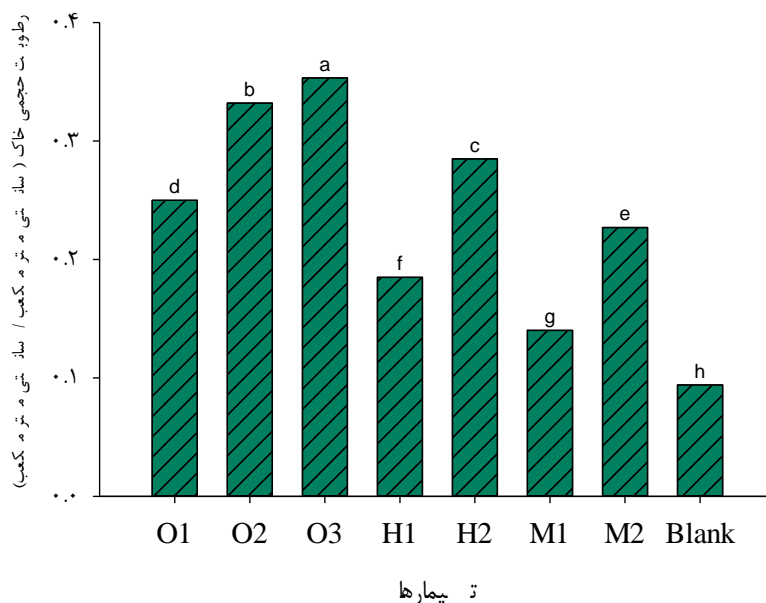
شکل ۴. منحنی‌های نگهداری آب خاک برای تیمارهای مختلف پس از چهار ماه در کرت‌های فرسایشی

در خاکپوش M، الیاف سلولزی با دارا بودن گروه‌های عاملی آب‌دوست در ساختمانش و ساختار سوزنی شکل بین ذرات گچ قرار می‌گیرند که باعث افزایش تخلخل در ساختار خاکپوش و در نهایت افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک می‌گردد (Rizehbandi et al, 2020). نتایج مربوط به مقایسه میانگین دانگن تیمارهای مختلف بر روی میزان نگهداری آب در مکش‌های ۳۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متری به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نمایش داده شده است.

نتایج مشاهده شده نشان داد که افزودن نانوهیدروژل به خاک تأثیر مثبتی بر افزایش و بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک دارد و در تمام مکش‌ها، منجر به افزایش میزان رطوبت نگهداری شده در مقایسه با تیمار شاهد می‌شود. هیدروژل دارای ساختار شبکه‌ای سه بعدی و خاصیت آب دوستی (دارا بودن گروه‌های عاملی آب‌دوست در ساختارش) است که می‌تواند آب را صدها برابر وزن خود جذب کند. Bahadoran et al. (2017) و Rizehbandi et al. (2020) نشان دادند که به دلیل ویژگی بالا بودن ظرفیت جذب آب در نانوهیدروژل به دلیل تخلخل بالای ساختاری آن، هیدروژل نقش منبع ذخیره و مرکز تخلیه آب در خاک را بازی می‌کند. به این ترتیب در محیط خشک و یا در شرایط اعمال مکش در خاک، آب به تدریج به محیط تخلیه می‌شود، در نتیجه خاک برای مدت طولانی مرطوب باقی می‌ماند (Hua and Wang, 2009; Apostol et al, 2009).



شکل ۵. آزمون مقایسه میانگین دانگن تیمارهای مختلف بر روی مقدار آب نگهداری شده در خاک تحت مکش ۳۰۰ سانتی‌متری پس از چهار ماه ($P < 0.05$)

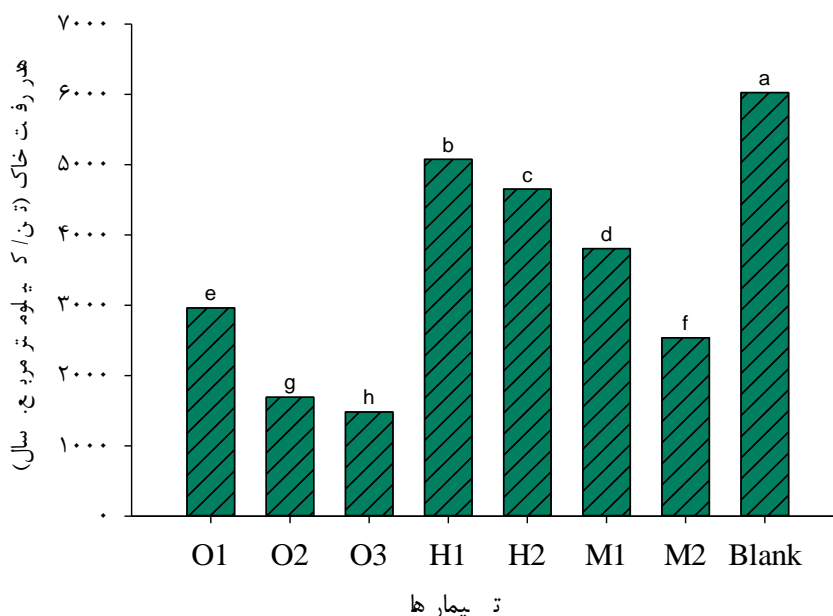


شکل ۶. آزمون مقایسه میانگین دانکن تیمارهای مختلف بر روی مقدار آب نگهداری شده در خاک تحت مکش ۱۵۰۰۰ سانتی متری پس از چهار ماه ($P < 0.05$)

نتایج نشان داد، همهی تیمارهای ارزیابی شده تأثیر معنی داری بر کاهش هدررفت خاک اندازه گیری شده با پروفایل متر در کرت های فرسایشی داشتند (جدول ۱). همان طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، تیمار O₃ کمترین تلفات خاک را داشته است (۱۴۹۰ تن در کیلومتر مربع در سال). به علاوه، تیمار شاهد با حداقل مقدار کربن آلی (۶۰۲۸ تن در کیلومتر مربع در سال) بیشترین تلفات خاک را داشته است. همچنین، بعد از تیمار O₃ تیمارهای O₂، M₂ و O₁ نشان دهنده کمترین تلفات خاک بودند (شکل ۷). استفاده از خاکپوش از جدا شدن ذرات خاک در برابر بادهای فرساینده جلوگیری می کند و در نتیجه با چسباندن ذرات معدنی خاک و پوشاندن سطح خاک، هدر رفت خاک را کاهش می دهد. مطالعات مرتبطی توسط Li et al (2020) گزارش شده است.

Lohrasbi et al (2019) نیز تأیید کردند که اعمال خاکپوش نتایج مثبتی بر ارتقاء کربن آلی خاک و مقاومت خاک در برابر نیروهای فرسایشی

دارد که در نهایت باعث کاهش هدررفت خاک می شود.



شکل ۷. آزمون مقایسه میانگین دانکن تیمارهای مختلف روی هدر رفت خاک پس از چهار ماه ($P < 0.05$)

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که استفاده از خاکپوش در مکش‌های ۳۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متری و نزدیک به نقطه اشباع پس از چهار ماه در کاهش هدررفت خاک و افزایش میزان آب خاک به‌طور معنی‌داری مؤثر است. بیش‌ترین تأثیر بر افزایش درصد کربن آلی و پایداری خاکدانه در تیمار O₃ (سطح سوم خاکپوش آلی) نسبت به سایر تیمارها مشاهده شد. دلیل اصلی آن افزایش درصد کربن آلی در خاک است که موجب بهبود ویژگی‌های ساختاری خاک می‌شود. به‌طور کلی تأثیر کربن آلی به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود: بخش اول مربوط به بهبود فرآیند خاکدانه‌سازی و تشکیل کمپلکس‌های آلی- معدنی است که منجر به افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و مقاومت در برابر فرسایش بادی می‌شود. بخش دوم اثر زرهی ناشی از تأثیرات مثبت اجسام فیزیکی موجود سطح خاک بر افزایش مقاومت سطحی خاک در برابر عوامل فرساینده است. این اجسام، از اصلاح‌کننده‌های خاک به‌ویژه زغال‌زیستی نشأت می‌گیرند. تکه‌های باقیمانده زغال‌زیستی بر سطح خاک، biochar lumps نامیده می‌شوند که از بادبردگی ذرات خاک جلوگیری می‌کنند. افزایش کربن آلی خاک با اتصال ذرات خاک به یکدیگر و ایجاد کمپلکس‌های آلی- معدنی، پایداری ساختمان خاک و آب‌نگهداری شده در مکش‌های مختلف را بهبود بخشید. بنابراین، میزان فرسایش بادی کاهش یافت. در مجموع نتایج نشان داد که خاکپوش‌های ترکیبی ارزیابی شده می‌تواند به عنوان راهکاری عملیاتی و قابل اجرا جهت حفظ خاک در برابر عامل فرساینده‌ی باد در عرصه مورد استفاده قرار بگیرد. لازم به ذکر است که به دلیل تمرکز بیش از حد به استفاده از خاکپوش‌های نفتی در کشور و استان خوزستان شاید در ابتدا استفاده از این خاکپوش‌های سنتزی با پایه‌ی آلی و آلی-معدنی دور از ذهن به نظر برسد ولیکن امکان انجام دارد و در مسیر زمان با توجه به دارا بودن اثرات زیست محیطی مثبت و مدیریت ضایعات آلی به خاکپوش‌هایی با سطح بالای استفاده در کشور تبدیل شوند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Ahmed, S. E., Mohamed, B. E. and Karamalla, K. A. (2009). Analytical studies on the gum exudates from *Anogeissus leioleocarpus*. *Pakistan journal of Nutrition*, 8(6), 782-786. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.568.8101&rep=rep1&type=pdf>
- Aldaood, A., Bouasker, M. and Al-Mukhtar, M. (2014). Soil-water characteristic curve of lime treated gypseous soil. *Appl Clay Sci*, 102: 128-138.
- Aliabad, F.A., Shojaei, S., Zare, M. and Ekhtesasi, M.R. (2019). Assessment of the fuzzyARTMAP neural network method performance in geological mapping using satellite images and Boolean logic. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 16 (7), 3829-3838.
- Alipur, H., Zare, M. and Shojaei, S. (2016). Assessing the degradation of vegetation of arid zones using FAO-UNIP model (case study: Kashan zone). *Model. Earth Syst. Environ*, 2 (4), 1-6.
- Almaroai, Y. A., Usman, A. R. A., Ahmad, M., Moon, D. H., Cho, J. S., Joo, Y. K., Jeon, C., Lee, S. S. and Ok, Y. S. (2013). Effects of biochar, cow bone, and eggshell on Pb availability to maize in contaminated soil irrigated with saline water. *Environ Earth Sci*, 71, 1289-1296.
- Al-Mukhtar, M., Lasledj, A. and Alcover, J. F. (2010). Behaviour and mineralogy changes in lime-treated expansive soil at 20 °C. *Appl Clay Sci*, 50, 191-198.
- Apostol, K. G., Jacobs, D. F. and Dumroese, R. K. (2009). Root desiccation and drought stress responses of bareroot *Quercus rubra* seedlings treated with a hydrophilic polymer root dip. *Plant and Soil*, 315(1-2), 229-240 doi:10.1007/s11104-008-9746-6
- Azzaoui, K., Hammouti, B., Lamhamdi, A., Mejdoubi, E. and Berrabah, M. (2015). The Gum Arabic in the southern region of Morocco. *Moroccan Journal of Chemistry*, 3, 99- 107.
- Badreddin, A., Ziada, A. and Blunden, G. (2009). Biological effects of gum arabic: A review of some recent research. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 1-8.
- Bahadoran, N., Behzad, T. and Etesami, N. (2017). Synthesis and study of inflationary behavior of hydrogel superabsorbents based on starch bound to poly (acrylic acid). *The 6th National and 1st International Conference on Applications of Chemistry in Advanced Technologies. 30 December, Jami Institute of Technology. Isfahan, Iran.* (In Farsi).
- Bai, W., Zhang, H., Liu, B., Wu, Y. and Song, J. (2010). Effects of super-absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles. *Soil Use Manage*, 26, 253-260.
- Baiamonte, G., Crescimanno, G., Parrino, F. and De Pasquale, C. (2019). Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. *Catena*, 175, 294-303. doi:10.1016/j.catena.2018.12.019
- Cantón, Y., Solé-Benet, A., Asensio, C., Chamizo, S. and Puigdefábregas, J. (2009). Aggregate stability in range sandy loam soils Relationships with runoff and erosion. *Catena*, 77, 192-199.
- Chaganti, V. N. and Crohn, D. M. (2015). Evaluating the relative contribution of physiochemical and biological factors in ameliorating a saline-sodic soil amended with composts and biochar and leached with reclaimed water. *Geoderma*, 259-260, 45-55.
- Chaganti, V. N., Crohn, D. M. and Šimunek, J. (2015). Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water. *Agric Water Manag.* 158, 255-265.
- Chang, I., Im, J., Prasadhi, A.K. and Cho, G.C. (2015). Effects of Xanthan gum biopolymer on soil strengthening. *Constr.*



Build. Mater., 74, 65–72.

- Chen J, Heiling M, Resch C, Mbaye M, Gruber R. and Dercon G. (2018). Does maize and legume crop residue mulch matter in soil organic carbon sequestration? *Agriculture, ecosystems & environment*, 265, 123–31.
- Chenu, C. and Stotzky, G. (2002). Interactions between microorganisms and soil particles: An overview. p. 4–28. Edited by P.M. Huang, J.-M. Bollag and N. Senesi. Interactions between soil particles and microorganisms: Impact on the terrestrial ecosystem. *John Wiley & Sons, New York*.
- Colazo, J. C. and Buschiazzo, D. (2014). The Impact of Agriculture on Soil Texture Due to Wind Erosion. *Land Degradation & Development*, 26(1), 62–70. doi:10.1002/ldr.2297
- Czarnes, S., Hallett, P. D., Bengough, A. G. and Young, I. M. (2000). Root and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. *European Journal of Soil Science*, 51, 435–443.
- Domene, X., Mattana, S., Hanley, K., Enders, A. and Lehmann, J. (2014) Medium-Term Effects of Corn Biochar Addition on Soil Biota Activities and Functions in a Temperate Soil Cropped to Corn. *Soil Biology & Biochemistry*, 72, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.01.035>
- Dong, Q., Dang, T., Guo, S. and Hao, M. (2019). Effects of mulching measures on soil moisture and N leaching potential in a spring maize planting system in the southern Loess Plateau. *Agricultural water management*, 213, 803–808. *Erosion. Land Degrad. Dev*, 26 (1), 62–70. <https://doi.org/10.1002/ldr.2297>
- Downie, A., Crosky, A. and Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London.
- Ekhtesasi, M. R., Akhavan Qalibaf, M., Azimzadeh, H.R. and Emtehani, M.H. (2003). Effects of salts erodibility of soil by wind. *Iranian J. Natural Res*, 56 (1, 2), 17–28.
- El-Jack, E. M. S. (2003). Effect of Gum Arabic on Some Soil Physical Properties and growth of sorghum grown on three soil types. A thesis for the degree of Master in Soil Science. B. Sc. (Agric.) Honours, 1998 Faculty of Agriculture, University of Khartoum
- Farahbakhsh, A. (2014). Effect of super absorbent and soil modifications amount on physical and chemical propertise of soil and plant, MSc Thesis, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.
- García Moreno, R., Díaz Álvarez, M. C., Tarquis, A. M., Paz González, A. and Saa Requejo, A. (2010). Shadow analysis of soil surface roughness compared to the chain set method and direct measurement of micro-relief. *Biogeosciences*, 7(8), 2477–2487 doi: 10.5194/bg-7-2477-2010 (In Farsi).
- Ghorbani M., Asadi H. and Abrishamkesh S. (2019). Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. *International Soil and Water Conservation Research*.
- Ghosh, B. N., Dogra, P., Sharma, N. K., Bhattacharyya, R. and Mishra, P. K. (2015). Conservation agriculture impact for soil conservation in maize–wheat cropping system in the Indian sub-Himalayas. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(2), 112–118. doi:10.1016/j.iswcr.2015.05.001
- Habibi, Z., Rahmati, M., Karimi, E. and Alilou, A. A (2019). The effects of Arabic gum on some physical and chemical properties of loam and clay loam soils. *Journal of Water and Soil Conservation Res.* (25) 5 .231–217. (In Farsi).
- Hanay, A., Buyuksonmez, F. and M. and Y. Conbolat. (2004). Reclamation of saline- sodic soils with Gypsum and MSW compost. *Journal of Compost science and utilization*, 12, 175–179.
- Hansen, V., Müller-Stöver, D., Munkholm, L. J., Peltre, C., Hauggaard-Nielsen, H. and Jensen, L. S. (2016). The effect of straw and wood gasification biochar on carbon sequestration, selected soil fertility indicators and functional groups in soil: *An incubation study*. *Geoderma*, 269, 99–107. doi:10.1016/j.geoderma.2016.01.033
- Heidarian, P., Joudaki, M., Darvishi Khatoni, J. and Shahbazi, R. (2015). Recognized Dust Sources in Khuzestan Province: Ministry of Industry, Mine and Trade Geological Survey of Iran South West Regional Center
- Herath, H. M. S. K., Camps-Arbestain, M. and Hedley, M. (2013). Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: *An Alfisol and an Andisol*. *Geoderma*, 209–210, 188–197. doi:10.1016/j.geoderma.2013.06.016
- Hemmat, A., Aghilinategh, N. and Sadeghi, M. (2010). Shear strength of repacked remoulded samples of a calcareous soil as affected by long-term incorporation of three organic manures in central Iran. *Biosystems Engineering*, 107(3), 257–261.
- Hua, S and Wang, A. (2009). Synthesis, characterization and swelling behaviors of sodium alginate-g-poly (acrylic acid)/sodium humate superabsorbent. *Carbohydrate Polymers*, 75(1), 79–84. doi:10.1016/j.carbpol.2008.06.013
- Hudson, N. (1993). Field Measurement of Soil Erosion and Runoff. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Issue 68 of FAO soils bulletin, Volume 68 of Boletín de suelos de la FAO, 139 pp. <https://books.google.com/books?id=rS1fIFU3rOwC>
- International Biochar Initiative. (2015). Standardized Product Definition and Product. Testing Guidelines for Biochar that is used in Soil. IBI Biochar Standards.
- Karami, A., Homaeae, M., Afzalnia, S., Ruhipour, H and Basirat, S. (2012). Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148, 22–28. doi:10.1016/j.agee.2011.10.021
- Keesstra, S. D., Rodrigo-Comino, J., Novara, A., Giménez-Morera, A., Pulido, M., Di Prima, S. and Cerdà, A. (2019). Straw mulch as a sustainable solution to decrease runoff and erosion in glyphosate-treated clementine plantations in Eastern Spain. An assessment using rainfall simulation experiments. *Catena*, 174, 95–103. doi:10.1016/j.catena.2018.11.007
- Khademalrasoul, A., Naveed, M., Heckrath, G., Kumari, K. G. I. D., de Jonge, L. W., Elsgaard, L., Vogel, H.J. and

- Iversen, B. V. (2014). Biochar Effects on Soil Aggregate Properties under No-Till Maize. *Soil Science*, 179(6), 273–283. doi:10.1097/ss.0000000000000069
- Koupai, J. and Sohrab, F. (2004).). Evaluating the application of superabsorbent polymers on soil water capacity and potential on three soil textures. *Journal of Polymer Science and Technology*, 17 (3): 163-173. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=40481>
- Kuipers, H. (1957). A reliefmeter for soil cultivation studies. *Netherland J. Agric. Sci*, 5(4), 255- 262.
- Lal, R. and Shukla, M.K. (2004). Principles of soil physics Marcel Dekker, New York.
- Rose, D.A. (2005), Lal, R. and Shukla, M.K. Principles of Soil Physics. Marcel Dekker, New York, 2004. x + 716 pp. US\$95, hardback. ISBN 0-8247-5324-0. *European Journal of Soil Science*, 56: 683-684. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.0756c.x>
- Lehmann, J. and Joseph, S. (2009). Biochar for Environmental Management. *Sci. Technology Earthscan, London*, pp. 1–12 doi: 10.4324/9780203762264
- Li, R., Hou, X., Jia, Z. and Han, Q. (2020). Soil environment and maize productivity in semi-humid regions prone to drought of Weibei Highland are improved by ridge-and-furrow tillage with mulching. *Soil and Tillage Research*, 196, 104476. doi:10.1016/j.still.2019.104476
- Lima, D. L. D., Santos, S. M., Scherer, H. W., Schneider, R. J., Duarte, A. C., Santos, E. B. H. and Esteves, V. I. (2009). Effects of organic and inorganic amendments on soil organic matter properties. *Geoderma*, 150(1-2), 38–45. doi:10.1016/j.geoderma.2009.01.009
- Liu, B. (2014). Effects of rice-husk ash on soil consistency and compatibility. *Catena*, 122, 54-60.
- Lohrasbi, H., Khademalrasoul, A. and Farrokhan Firuzi, A. 2019. Effects of biochar and zeolant on physical and mechanical properties of erodible soils (Case study: Bostan). *Journal of Water and Soil*. 33(5): 723-737. (In Farsi).
- Lu, S.-G., Sun, F. F. and Zong, Y.-T. (2014). Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena*, 114, 37–44. doi:10.1016/j.catena.2013.10.014
- Luo, J. Q., Wang, L.-L., Li, Q.-S., Zhang, Q.-K., He, B.-Y., Wang, Y., Qin, L.P. and Li, S.-S. (2015). Improvement of hard saline-sodic soils using polymeric aluminum ferric sulfate (PAFS). *Soil and Tillage Research*, 149, 12–20. doi:10.1016/j.still.2014.12.014
- McHenry, M. P. (2009). Agricultural bio-char production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(1-3), 1–7. doi:10.1016/j.agee.2008.08.006.
- Mizuta, K., Taguchi, S. and Sato, S. (2015). Soil aggregate formation and stability induced by starch and cellulose. *Soil Biology and Biochemistry*, 87, 90–96. doi:10.1016/j.soilbio.2015.04.011
- Morkhande, V.K., Pentewar, R.S., Gapat, S.V., Sayyad, S.R., Amol, B.D., Sachin, B. and SandipK. (2016). “A Review on Hydrogel,” *Indo Am. J. Pharm.Res*, 6, 4678-4689.
- Murphy, B. W. (2015). Impact of soil organic matter on soil properties—a review with emphasis on Australian soils. *Soil Research*, 53(6), 605- 635. (In Farsi). doi: 10.1071/sr14246
- Nasir, O., Artunc, F., Saeed, A., Kambal, M. A., Kalbacher, H., Sandulache, D. and Lang, F. (2008). Effects of Gum Arabic (Acacia Senegal) on Water and Electrolyte Balance in Healthy Mice. *Journal of Renal Nutrition*, 18(2), 230–238. doi:10.1053/j.jrn.2007.08.004
- Nichol, J. W., Koshy, S. T., Bae, H., Hwang, C. M., Yamanlar, S. and Khademhosseini, A. (2010). Cell-laden microengineered gelatin methacrylate hydrogels. *Biomaterials*, 31(21), 5536–5544. doi:10.1016/j.biomaterials.2010.03.064
- Ohwoavworhwa, F. O. and Adelakun, T. A. (2007). Some Physical Characteristics of Microcrystalline Cellulose Obtained from Raw Cotton of *Cochlospermum planchonii*. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 4(2). doi:10.4314/tjpr.v4i2.14626
- Papadopoulos, A., Bird, N., Whitmore, A., Mooney, S.(2006). The effects of organic farming on the soil physical environment. *Aspects of Applied Biology 79, what will organic farming deliver? COR 2006*, 263–267
- Papadopoulos, A; Bird, N R A; Whitmore, A P. and Mooney, S J. (2006). The effects of organic farming on the soil physical environment. In: Atkinson, C; Ball, B; Davies, D H K; Rees, R; Russell, G; Stockdale, E A; Watson, C A; Walker, R and Younie, D (Eds.) *Aspects of Applied Biology 79, What will organic farming deliver? COR 2006*, Association of Applied Biologists, pp. 263-267.
- Payandeh, Kh., Khashei, M. and Sabz Alipour, S. (2018). Investigating the causes of microtubules in Khuzestan province and its factors. The First International Conference and the Third National Conference on Sustainable Management of Soil and The Environment Resources, Kerman, Iran.
- Peake, L. R., Reid, B. J. and Tang, X. (2014). Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. *Geoderma*, 235-236, 182–190. doi:10.1016/j.geoderma.2014.07.002
- Pradeep, K. S. and Bhushan, B. (2001). Physical characterization of a soil amended with organic residues in rice-wheat cropping system using a single value soil physical index. *Soil Till. Res*, 60, 143–152.
- Qadir, M., Schubert, S., Ghafoor, A. and Murtaza, G. (2001). Amelioration strategies for sodic soils: a review. *Land Degradation & Development*, 12(4), 357–386. doi:10.1002/ldr.458
- Qian, J. Y., Chen, W., Zhang, W. M. and Zhang, H. (2009). Adulteration identification of some fungal polysaccharides with SEM, XRD, IR and optical rotation: A primary approach. *Carbohydrate Polymers*, 78(3), 620–625. doi:10.1016/j.carbpol.2009.05.025



- Rallo, G., Baiamonte, G., Juárez, J. M. and Provenzano, G. (2014). Improvement of FAO-56 Model to Estimate Transpiration Fluxes of Drought Tolerant Crops under Soil Water Deficit: *Application for Olive Groves*. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(9), A4014001, doi: 10.1061/(ASCE)ir.1943-4774.0000693
- Rizehbandi, E., Khademalrasoul, A. and Taghavi Zahedkolaei, M. (2020). Production of Organic and Mineral Recombinant Mulches and Their Effects on Volumetric Moisture of Erodible Soils. *Iran J Soil Water Res.* 51(8): 2023-2037. (In Farsi).
- Rosenkranz, H., Iden, S.C. and Durner, W. (2012). Effect of biofilm on soil hydraulic properties: laboratory studies using xanthan as surrogate. *Institute of Geocology Soil Science and Soil Physics*. Pub Date, April 2012.
- Rousta, M.J., Enayati, K. and Vakili, A. (2011). Laboratory study of the effect of adding mineral compounds and organic matter on the average weight-diameter of aggregates in a saline-sodium soil. *Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 24 (3) (Special Salinity), 229-235. (In Farsi).
- Sadeghi, S. H. R., Gholami, L., Homaei, M. and Khaledi Darvishan, A. (2015). Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. *Solid Earth*, (In Farsi). 6(2), 445-455, doi:10.5194/se-6-445-2015
- Saleh, A. (1993). Soil roughness measurement: Chain method. *Journal of Soil and Water Conservation*, 48, 527-529.
- Schrieber, R. and Gareis, H. (2007). Gelatine handbook - theory and industrial practice. *Weinheim, Germany. From Collagen to Gelatine*, 45-117. doi: 10.1002/9783527610969
- Shanmuganathan, R.T. and Oades, J.M. (1982). Effect of dispersible clay on the physical properties of the Bhorizon of a red-brown earth. *Australian Journal of soil Research*, 20, 315-324.
- Sohi, S. P. (2012). Carbon Storage with Benefits. *Science*, 338(6110), 1034-1035. doi:10.1126/science.1225987 Biochar Standards.
- Soinne, H., Hovi, J., Tammeorg, P. and Turtola, E. (2014). Effect of biochar on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability. *Geoderma*, 219-220, 162-167. doi:10.1016/j.geoderma.2013.12.022
- 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(4), 404-411. doi:10.1111/j.1475-2743.2002.tb00259.x
- Sun, J., He, F., Shao, H., Zhang, Z. and Xu, G. (2016). Effects of biochar application on Suaeda salsa growth and saline soil properties. *Environmental Earth Sciences*, 75(8), 630, doi: 10.1007/s12665-016-5440-9
- Sun, Z., Arthur, E., de Jonge, L. W., Elsgaard, L. and Moldrup, P. (2015). Pore Structure Characteristics after 2 Years of Biochar Application to a Sandy Loam Field. *Soil Science*, 180(2), 41-46. doi:10.1097/ss.0000000000000111
- Tobyogeen, A., Prichard, T.L., Elkins, R. and Pettygrove. (2007). G.S. orchard flood management practices to Reduce Erosion and protect water quality, university of California, Division of agriculture and Natural Resources publication &202.
- O'Geen, A. T., Prichard, T. L., Elkins, R. and Pettygrove, G. S. (2006). Reducing Runoff from Irrigated Lands: Orchard Floor Management Practices to Reduce Erosion and Protect Water Quality.
- Van Bavel, C. H. M. (1950). Mean weight-diameter of soil aggregation as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 14(C), 20-23. doi:10.2136/sssaj1950.036159950014000c0005x
- Van Camp, G., Gentile, A., Bujarrabal, B., Jones, R., Montanarella, L., Olazabal, C. and Selvaradjou, S. (2004). Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Vol. IV: Contamination and Land Management. EUR 21319 EN. Luxembourg (Luxembourg): Office for Official Publications of the European Communities, JRC28870.
- 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.
- Walia, M. K. and Dick, W. A. (2018). Selected soil physical properties and aggregate-associated carbon and nitrogen as influenced by gypsum, crop residue, and glucose. *Geoderma*. 320:67-73.
- Walkley, A. J. and Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Journal of Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Wall, A. and Heiskanen, J. (2003). Water-retention characteristics and related physical properties of soil on afforested agricultural land in Finland. *Forest Ecology and Management*, 186(1-3), 21-32 doi: 10.1016/s0378-1127(03)00239-1.
- Wang, D., Fonte, S. J., Parikh, S. J., Six, J. and Scow, K. M. (2017). Biochar additions can enhance soil structure and the physical stabilization of C in aggregates. *Geoderma*, 303, 110-117.
- Whistler, R. (2012). Industrial gums: polysaccharides and their derivatives. *Elsevier*.
- Whistler, R. L. and Hymowitz, T. (1979). Guar: agronomy, production, industrial use and nutrition. Purdue University Press, South Campus Courts-D, West Lafayette.
- Wu, Y., Xu, G. and Shao, H. B. (2014). Furfural and its biochar improve the general properties of a saline soil. *Solid Earth*, 5(2), 665-671.
- Yang, F., Zhang, G. L., Yang, J. L., Li, D. C., Zhao, Y. G., Liu, F., Yang, R. M. and Yang, F. (2014). Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. *Journal of Hydrology*, 519, 3086-3093.
- Zhang, R., Huang, Q., Yan, T., Yang, J., Zheng, Y., Li, H. and Li, M. (2019). Effects of intercropping mulch on the

content and composition of soil dissolved organic matter in apple orchard on the loess plateau. *Journal of Environmental Management*, 250, 109531.

Wong, V. N. L., Greene, R. S. B., Murphy, B.W., Dalal, R. and Mann, S. (2005). Decomposition of added organic material in salt – affected soils. pp. 333-337. In cooperative Research centre for landscape Enoronments and mineral Exploration Regional Regolith Symposia 2005: 60 years of CRC LEME. Canberra. (Ed. Iroach). (CRCLEME).