

## Production of Organic and Mineral Recombinant Mulches and Their Effects on Volumetric Moisture of Erodible Soils

ELHAM RIZEHBANDI<sup>1</sup>, ATAALLAH KHADEMALRASOUL<sup>\*1</sup>, MEHDI TAGHAVI ZAHED KALAEI<sup>2</sup>

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

2. Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

(Received: May. 5, 2020- Revised: May. 21, 2020- Accepted: May. 23, 2020)

### ABSTRACT

Soil moisture reduction is one of the main effective factors on wind erosion and dust storm. Mulch application is a convenient strategy to enhance soil water retention. This study was performed to evaluate the effects of recombinant organic and mineral mulches on water retention in different matric potential including 330, 1000, 3000, 5000 and 15000 cm in erodible soils (Silty loam). In this study the effectiveness of three recombinant mulch types including organic (O) combination of Bagasse biochar, Arabic gum and Gelatin in three levels, organic-mineral mulch (M) named MNF in three levels consist of 1, 3 and 5% and Hydrogel combined with nanosilica (H) in three levels 1, 3 and 5%, incorporated with soil in the plots with 5\*30\*50 cm dimension, at 75% of FC for 2 and 4 incubation periods were evaluated on soil moisture properties. The experiment was performed as factorial in randomized completely design with 3 replications. With increasing the treatments levels in two and four month incubation periods, soil water retention increased significantly ( $P < 0.01$ ) at the proposed suctions. Also application of treatments to the soil enhanced the organic carbon and aggregate stability, meaningfully. The highest organic carbon content and aggregate stability was observed for organic mulch (the combination of Bagasse biochar, Arabic gum and Gelatine). Moreover, at high levels of Hydrogel combined with Nanosilica and also MNF the enhancement in aggregate stability was observed for two month incubation. In addition the TGA analyses clearly show the high resistance of produced mulches against temperature. The high resistance against temperature is a positive item related to the recombinant mulches in order to apply the hotspots. In general, the application of recombinant organic and mineral mulch is a convenient scenario to cover the purposes of sustainable management.

**Keywords:** Organic and Mineral Mulches, Wind Erosion, Water Retention, Thermal Analysis, Morphological Properties.

---

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

## تولید خاکپوش‌های آلی و معدنی نو ترکیب و ارزیابی تاثیرات آن‌ها بر ویژگی‌های رطوبتی خاک‌های فرسایش پذیر

الهام ریزه‌بندی<sup>۱</sup>، عطااله خادم‌الرسول<sup>۱\*</sup>، مهدی تقوی زاهدکلانی<sup>۲</sup>

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲. گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۶ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۳/۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۳/۳)

### چکیده

کاهش رطوبت خاک یکی از مهم‌ترین عوامل وقوع فرسایش بادی و پدیده‌ی گردوغبار است. استفاده از خاکپوش‌ها راهکاری مناسب برای حفظ و افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت در خاک است. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات خاکپوش‌های سنتزی آلی و معدنی نو ترکیب بر ظرفیت نگهداشت رطوبت در مکش‌های ۳۳۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر در خاک‌های حساس به فرسایش با بافت سیلت لوم پایه‌ریزی شد. در این پژوهش تاثیرات ۳ نوع خاکپوش نو ترکیب مشتمل بر خاکپوش آلی (O) ترکیب زغال زیستی باگاس نیشکر، صمغ عربی و ژلاتین در سه سطح، خاکپوش آلی- معدنی (M) MNF در سه سطح ۱، ۳ و ۵ درصد و خاکپوش هیدروژل تقویت شده با نانوسیلیس (H) در سه سطح ۱، ۳ و ۵ درصد به صورت مخلوط با خاک در پلات‌هایی با ابعاد ۵×۳۰×۵ سانتی‌متر در رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در دو دوره‌ی انکوباسیون ۲ و ۴ ماهه بر روی ویژگی‌های رطوبتی خاک ارزیابی شد. آزمایش به صورت فاکتوریل، در قالب طرح کامل تصادفی و ۳ تکرار اجرا گردید. با افزایش سطوح کاربردی تمامی تیمارها در دو دوره‌ی زمانی دو و چهار ماهه، میزان نگهداشت رطوبت خاک در مکش‌های مذکور به صورت معنی‌داری افزایش (P<0.01) یافت. همچنین افزودن تیمارها به خاک موجب افزایش معنی‌دار کربن آلی و ایجاد پیوندهای آلی-معدنی منجر به پایداری خاکدانه‌ها شد. بیش‌ترین مقدار کربن آلی خاک و پایداری خاکدانه به تیمار خاکپوش آلی که ترکیبی از زغال زیستی، صمغ عربی و ژلاتین است تعلق دارد. در سطوح بالای خاکپوش‌های هیدروژل تقویت شده با نانوسیلیس و MNF نیز برای دوره‌ی زمانی دو ماهه افزایش پایداری خاکدانه‌ای مشاهده شد. همچنین نتایج تجزیه‌ی حرارتی خاکپوش‌های سنتزی، مقاومت حرارتی بالای آن‌ها را تایید می‌نماید. بالا بودن مقاومت حرارتی از جمله آیت‌های مثبت خاکپوش‌های تولید شده است زیرا نشان می‌دهد که در صورت کاربرد در عرصه‌ی فرسایشی، از ماندگاری بالایی برخوردار هستند. در مجموع افزودن خاکپوش‌های سنتزی آلی و معدنی راهکاری موثر در راستای تحقق اهداف مدیریت پایدار منابع خاک است.

**واژه‌های کلیدی:** خاکپوش‌های آلی و معدنی، فرسایش بادی، نگهداشت رطوبتی، آنالیز حرارتی، خصوصیات مورفولوژیکی.

### مقدمه

برخوردار است که تا کنون ۷ کانون بحرانی شناسایی شده است (Abyaz et al., 2018). با توجه به شرایط حاکم بر کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و مشکل پایین بودن سطوح رطوبتی در خاک، در نتیجه ضرورت دارد از راهکارهای مدیریتی مناسب جهت رفع این معضل استفاده نمود. در این ارتباط یکی از راه‌های حفظ رطوبت خاک، افزایش نگهداشت آب در خاک و در نتیجه کنترل فرسایش‌پذیری خاک، استفاده از خاکپوش است. خاکپوش‌ها می‌توانند در افزایش کیفیت خاک موثر باشند (Yang et al., 2020; Li et al., 2018). در سال‌های اخیر استفاده از پلیمرهای طبیعی و پسماندهای صنعتی ارزان‌قیمت به عنوان خاکپوش مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Jamshid safa et al., 2014; Maleki et al., 2016).

از مهم‌ترین عوامل ایجاد فرسایش بادی و وقوع گردوغبار در جهان، تغییرات اقلیمی است که از طریق خشکسالی و تحت تاثیر قرار دادن مقدار رطوبت خاک و محدود کردن رشد گیاهان سبب افزایش وقوع گردوغبار می‌شود (Bazgir and Namdar khojaste, 2019). پیامدهای وقوع پدیده‌ی گردوغبار آلودگی هوا، تخریب ساختمان خاک و کاهش باروری خاک می‌باشد (Giménez et al., 2019). کاهش سطح رطوبتی خاک متاثر از شرایط اقلیمی و نیز نامناسب بودن ویژگی‌های خاک برای نگهداشت رطوبت، زمینه را جهت ایجاد و تشدید رخدادهای فرسایشی فراهم می‌نماید. استان خوزستان از جمله استان‌هایی است که به دلیل دارا بودن اقلیم خشک از پتانسیل ایجاد کانون‌های بحرانی فرسایش بادی

ژلاتین پلیمری زیست‌سازگار، تجزیه‌پذیر و غیرسمی است که حاوی گلیسین، پرولین، هیدروکسی پرولین و گروه‌های عاملی آب‌دوست است (Nichol *et al.*, 2010). یکی از راه‌های استفاده از حداکثری از بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از هیدروژل‌هاست. هیدروژل‌ها، سوپرجاذب‌هایی با شبکه‌ی پلیمری هستند که قابلیت نگهداری حلال آب یا محلول‌های آبی را تا چندین برابر وزن خود دارند. خاصیت کشسانی نرم دارند و در عین حال از نظر ویژگی‌های اسمزی بسار فعال هستند (Bahadoran *et al.*, 2017). این مواد به‌دلیل ویژگی‌های خاص می‌توانند در بخش‌های مختلف از جمله در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند و علاوه بر مقرون به صرفه بودن در کاهش مشکلات زیست‌محیطی موثر باشند. هیدروژل‌های با پایه‌ی طبیعی خصوصاً هیدروژل‌های بر پایه‌ی نشاسته به دلیل ارزانی، در دسترس بودن و تجزیه‌پذیر بودن اخیراً مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند (Li *et al.*, 2018). در تولید این سوپرجاذب‌ها می‌توان از اکریلات‌ها جهت پلیمریزاسیون و از عامل شبکه‌ای کننده جهت تبدیل زنجیر پلیمری به ساختمان شبکه‌ای (پلیمر سه بعدی با وزن مولکولی بالا) در محلول‌های آبی استفاده کرد (Fang *et al.*, 2019). عامل شبکه‌ای شدن هیدروژل‌ها، به‌دلیل ایجاد اتصالات عرضی در هیدروژل موجب می‌شود که این پلیمرها در محلول‌های آبی علاوه بر جذب آب و ایجاد تورم در این محیط‌ها حل نشوند (Nawang *et al.*, 2001). موادی که دارای ساختار هیدروژل نانوذره‌ای هستند ویژگی‌هایی را که هیدروژل‌ها و نانوذرات هر یک به‌طور جداگانه دارا می‌باشند، به‌طور هم‌زمان نشان می‌دهند. از این رو می‌توان از آبدوستی، انعطاف‌پذیری، تطبیق‌پذیری، میزان زیاد جذب آب و زیست‌سازگاری این ذرات و همه‌ی مزایای نانوذرات به‌ویژه طول عمر زیاد استفاده و از امکان کاربرد روی سایت هدف به‌صورت فعال و یا غیرفعال بهره گرفت. با توجه به مشکل محدودیت‌های شدید منابع آبی در کانون‌های فرسایش بادی، ارزیابی منحنی مشخصه رطوبتی می‌تواند در جهت پیشبرد اهداف مدیریت‌های کشاورزی و زیست-محیطی حائز اهمیت باشد. از این‌رو هدف پژوهش حاضر تولید و به‌کارگیری خاکپوش‌های سنتزی نوترکیب از مواد آلی و معدنی موجود در طبیعت با ترکیبات جدید در خاک‌های یکی از کانون-های فرسایش بادی در استان خوزستان، طی دوره‌های انکوباسیون دو ماهه و چهار ماهه است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی

نمونه‌های خاک مورد مطالعه در این پژوهش از کانون بحرانی گرد

زغال‌زیستی به‌عنوان محصول فرایند گرماکافت، ماده‌ای غنی از کربن، متخلخل، دارای سطح ویژه‌ی بالا و در نتیجه با قابلیت بالای نگهداری آب است که در دمای ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و در شرایط بی‌هوازی تولید می‌شود (Lehmann *et al.*, 2006). هم‌چنین وجود بار منفی در سطوح زغال‌زیستی، منجر به افزایش ظرفیت جذب آب و کاتیون‌ها در آن می‌شود. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که افزودن زغال‌زیستی به خاک منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک، افزایش پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت در خاک می‌گردد (Herath *et al.*, 2013; Khademalrasoul *et al.*, 2014). افزودن خاکپوش کاه ذرت به خاک به شکل معنی‌داری موجب حفظ رطوبت خاک و بالا بردن بازده مصرف آب می‌شود (Yang *et al.*, 2020). افزودن زغال‌زیستی به خاک سبک بافت شنی منجر به بهبود فرایند خاکدانه‌سازی، افزایش سطح ویژه‌ی خاکدانه‌ها و در نتیجه سبب افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک می‌گردد (Verheijent *et al.*, 2010; Baiamonte *et al.*, 2019). هم‌چنین لهراسبی و همکاران (۲۰۱۸) با ارزیابی اثرات افزودن سه اصلاح‌کننده‌ی ژئوپلانت، زغال زیستی باگاس نیشکر و کنوکارپوس به خاک با بافت سیلتی لوم نشان دادند که افزودن ماده‌ی آلی به خاک، با افزایش درصد تخلخل خاک منجر به بالا بردن میزان نگهداشت رطوبت خاک در حد رطوبتی ظرفیت زراعی می‌شود (Lohrasbi, 2018). از دیگر موادی که برای تولید خاکپوش‌های آلی استفاده می‌شود صمغ عربی یا صمغ افاقا است که پلیمری با زنجیره‌ی منشعب پلی‌ساکاریدی، بی‌رنگ تا قهوه‌ای رنگ و دارای pH اندکی اسیدی می‌باشد (El-Jack, 2003; Badreldin *et al.*, 2009). صمغ عربی به‌دلیل طبیعی بودن، از لحاظ زیست‌محیطی فاقد سمی بودن و اثرات مخرب است، در نتیجه به‌عنوان یک پلیمر طبیعی سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌شود (El-Jack, 2003). پلیمرهای طبیعی علاوه بر اینکه موجب بهبود شرایط فیزیکی خاک می‌شوند، دارای ارزش غذایی زیادی نیز هستند در نتیجه منجر به بهبود شاخص‌های حاصلخیزی خاک می‌گردند. هم‌چنین چون محصولی طبیعی هستند می‌توانند در مقایسه با پلیمرهای سنتز شده ارزان‌تر بوده و قابل دسترس‌تر باشند و بر اساس یافته‌های El-Jack (2003) با افزایش غلظت صمغ عربی، ظرفیت نگهداشت آب در خاک افزایش می‌یابد. این افزایش در نگهداشت آب ممکن است به‌دلیل اثر صمغ در اصلاح ساختمان خاک بوده و منجر به جذب آب بیشتری گردد (Rosenkranz *et al.*, 2012; Chang *et al.*, 2015). ژلاتین یک شکل هیدرولیز شده‌ی ناپایدار از کلاژن است، این ماده محلول در آب است و معمولاً به‌عنوان عامل ژله‌ای با گرانش بالا و خاصیت الاستیسیته به‌کار می‌رود (Schrieber and Gareis, 2007).

معدنی به صورت انفرادی، ترکیب دوتایی و سپس ترکیبات سه‌تایی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. که دارای مشخصه‌هایی مانند ویسکوزیته بالا، قابلیت جذب آب و هم‌چنین داشتن خاصیت هم‌چسبی و دگرچسبی بالا باشند. بدین صورت که پس از تهیه خاکپوش حاصل از ترکیب مواد اولیه با یکدیگر، تیمار تهیه شده به سطح خاک موجود در پلات‌های کوچک آزمایشگاهی با ابعاد ۲۰×۱۵ سانتی‌متر و عمق ۵ سانتی‌متر به بافت سیلتی لوم (SIL) افزوده شد و سپس تغییرات ظاهری خاکپوش‌های افزوده شده به خاک در طول دوره‌ی زمانی چهار ماهه مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۱).

و غبار شرق اهواز در مختصات جغرافیایی "۲۲'۵۰'۴۸° تا "۴۶'۵۰'۴۸° شمالی و نیز "۲۰'۳۱° تا "۱۴'۳۱° شرقی با ارتفاع ۱۱ متر از سطح دریا تهیه گردید. این زمین‌ها متشکل از دشت رسوبی با فرسایش‌پذیری زیاد و بافت غالب سیلتی لوم هستند که پوشش گیاهی منطقه به صورت پوشش ضعیف از بوته‌های شورپسند مانند *Halocnemum strobilaceum* گزارش شده است (گزارش مطالعات و برنامه کنترل ریز اجرایی تثبیت کانون جنوب شرق اهواز، ۱۳۹۵).

سنتز و ارزیابی خاکپوش‌ها در مقیاس کوچک آزمایشگاهی قبل از انتخاب بهترین خاکپوش‌ها، یکسری مواد طبیعی آلی و



شکل ۱- خاکپوش‌های ترکیبی افزوده شده به خاک (الف) صمغ عربی + نشاسته، (ب) سریش + نشاسته، (ج) ژلاتین + نشاسته، (د) هیدروژل تقویت شده با نانوسیلیس، (ه) MNF، (و) ژلاتین + صمغ عربی، (ز) ژئوپلانت + زغال زیستی، (ح) صمغ عربی + نشاسته + زغال زیستی، (ط) ژلاتین + نشاسته + زغال زیستی و (ی) ژلاتین + صمغ عربی + زغال زیستی



## آماده‌سازی خاکپوش‌های آلی، نانوسیلیسی و آلی-معدنی

جهت تهیه زغال زیستی باگاس نیشکر، زیتوده‌های باگاس نیشکر در فضای آزاد هوا خشک شده و پس از آن به منظور تولید زغال زیستی، نمونه‌ها درون جعبه‌ای از جنس آهن گالوانیزه با آستر نازک آلومینیومی و با ابعاد متناسب با محفظه‌ی کوره قرار داد شد. نمونه‌ها جهت تخلیه‌ی هوا، توسط وزنه‌ی ۱۳ کیلوگرمی کاملاً فشرده شده و بعد از پر کردن کامل مواد درون جعبه درب آن محکم بسته شده و درون کوره الکتریکی Muffle Furnac مدل SEF-101 ساخت شرکت FINE TECH منتقل شدند. فرایند گرمکافت نمونه‌ها درون کوره با دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، نرخ افزایش دمای ۷ درجه سانتی‌گراد در دقیقه و به مدت ۳ ساعت صورت گرفت. هم‌چنین صمغ عربی با توجه به در دسترس بودن، زیست‌تخریب‌پذیری، ارزان تر بودن نسبت به پلیمرهای سنتزی مصنوعی و به‌علاوه دارای ویژگی جاذب‌الرطوبه بودن و حالت چسبانندگی در حضور آب، در اتصال سطحی ذرات خاک به هم (Rosenkranz et al., 2012; Chang et al., 2015) در ترکیب خاکپوش آلی مورد استفاده قرار گرفته است. هیدروژل تقویت شده با نانوسیلیس، ترکیبی سنتزی است که با استفاده از ترکیب نشاسته، اکریلیک اسید، گلوترآلدئید و نانوسیلیس تهیه شد. این ماده نسبت به هیدروژل نشاسته علاوه بر این که قابلیت جذب آب بالاتری دارد، به خاطر وجود شبکه‌ی سه‌بعدی پلیمری، در برابر تنش‌های مکانیکی نیز پایدارتر است. این پلیمر از نظر واکنش خنثی است ضمناً به pH و دما حساس نیست و با استفاده از روش پلیمر شدن رادیکالی آزاد (Morkhande et al., 2016) تولید شد. خاکپوش MNF ماده‌ای با ماهیت کاملاً طبیعی، به‌صورت پودری و به رنگ سفید و متشکله از گچ، سلولز و مقدار کمی رس است که توسط شرکت صنعت سازه ساتراپ تولید شده است (تاییدیه پاشش در عرصه وسیع از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، ۱۳۹۵). این خاکپوش از مواد طبیعی و موجود در سطح زمین تهیه شده و خطرات زیست‌محیطی ندارد. با توجه به این که حاوی ماده‌ی اصلاحی گچ و ماده آلی سلولز در ترکیب خود است می‌تواند نقش خاکپوش را در اراضی حساس به فرسایش ایفا کند (گزارش پروپوزال اولیه رسمی شرکت ساتراپ به اداره کل خط و

سازه‌های فنی شرکت راه آهن، ۱۳۹۳).

در نهایت سه نوع خاکپوش ترکیبی از مواد آلی و معدنی با سطوح بهینه انتخاب و تهیه گردید. این خاکپوش‌ها شامل (۱) خاکپوش آلی (O) (در سه سطح: O<sub>1</sub>: ترکیب ۱٪ زغال زیستی باگاس نیشکر + ۰/۵٪ صمغ عربی + ۰/۵٪ ژلاتین؛ O<sub>2</sub>: ترکیب ۳٪ زغال زیستی باگاس نیشکر + ۱٪ صمغ عربی + ۱٪ ژلاتین؛ O<sub>3</sub>: ترکیب ۵٪ زغال زیستی باگاس نیشکر + ۱/۵٪ صمغ عربی + ۱/۵٪ ژلاتین)، (۲) خاکپوش آلی-معدنی MNF (M) (در سه سطح: M<sub>1</sub>: ۱٪، M<sub>2</sub>: ۳٪، M<sub>3</sub>: ۵٪) و (۳) هیدروژل تقویت‌شده با نانوسیلیس (H) (در سه سطح: H<sub>1</sub>: ۰/۵٪، H<sub>2</sub>: ۱٪ و H<sub>3</sub>: ۱/۵٪) می‌باشند. خاکپوش‌ها در سطوح تعیین شده با خاک در پلات‌هایی از جنس آهن گالوانیزه با ابعاد ۵×۳۰×۵۰ سانتی‌متر در رطوبت ۷۵ درصد ظرفیت زراعی در دو دوره‌ی انکوباسیون دو و چهار ماهه در شرایط آزمایشگاهی نگهداری شدند. پس از اتمام هر دوره‌ی انکوباسیون، درصد کربن آلی به روش والکل-بلک، میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) جهت ارزیابی پایداری خاکدانه به روش الک خشک (رابطه ۱) محاسبه گردید.

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i W_i \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این معادله،  $\bar{X}_i$  میانگین قطر خاکدانه‌ها در هر کلاس اندازه (میلی‌متر)،  $W_i$  نسبت جرم خاکدانه‌های خشک باقیمانده روی هر الک به جرم کل خاکدانه‌ها (۵۰ گرم) و  $n$  تعداد الک‌ها می‌باشد.

هم‌چنین با استفاده از دستگاه صفحات فشاری میزان نگهداشت رطوبت تیمارها در مکش‌های ۳۳۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر، اندازه‌گیری شد.

## اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک شاهد

در این پژوهش بافت خاک به روش هیدرومتری، مواد آلی خاک به روش والکل-بلک، کلسیم و منیزیم با روش تیتراسیون توسط EDTA، سدیم توسط دستگاه فلیم‌فتومتر در عصاره‌ی اشباع، آهک به روش تیتراسیون برگشتی، جرم مخصوص ظاهری به روش استوانه‌ی نمونه‌بردار و جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

پارامتر	واکنش خاک (۱:۲)	هدایت الکتریکی (۱:۲)	ظرفیت تبادل کاتیونی	جرم مخصوص ظاهری	جرم مخصوص حقیقی	بافت خاک	کربن آلی	کربنات کلسیم	نسبت جذب سدیم
واحد	-	dS/m	Cmole/kg	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>	-	%	%	-
مقدار	۷/۴۱	۶۶/۹	۴۴/۰۶	۱/۴۱	۲/۶۶	سیلتی لوم	۰/۲۳	۴۲/۵۰	۴۷/۰

اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکپوش‌ها جهت تعیین ویژگی‌های شیمیایی زغال زیستی باگاس نیشکر ابتدا نمونه‌های زغال زیستی تولیدی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد؛ صمغ عربی، ژلاتین و هیدروژل نیز آسیاب شده و به حالت پودری در آورده شدند. سپس برای هر تیمار، خواصی از قبیل pH با دستگاه pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC سنج، ویژگی‌های مورفولوژیکی تیمارها توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل LEO 1455 VP و آنالیز توزین حرارتی توسط دستگاه TGA مدل PT1600 از شرکت LINSEIS اندازه‌گیری شدند. گروه‌های عاملی سطحی نیز با استفاده از دستگاه FT-IR شناسایی و تعیین شدند (Gnansambandan, 2000). هم‌چنین سطح ویژه زغال زیستی به روش BET و توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح ویژه مدل Nano sord تعیین شد.

جدول ۲- مقادیر pH و هدایت الکتریکی ترکیبات استفاده شده در خاکپوش‌های سنتزی نوترکیب

پارامتر	خاکپوش			
	زغال زیستی	ژلاتین	صمغ	نانوهیدروژل MNF
واکنش (۱:۲۰)	۹/۲۰	۵/۴۹	۵/۵۸	۷/۴۳
هدایت الکتریکی (۱:۲۰)	۱/۰۷	۰/۸۶	۰/۳۵	۱/۰۰

### تجزیه و تحلیل آماری

پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و با ۳ تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه‌ی میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها توسط نرم افزار Sigma Plot 14.0 ترسیم شدند.

### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های مورفولوژیکی خاکپوش‌ها

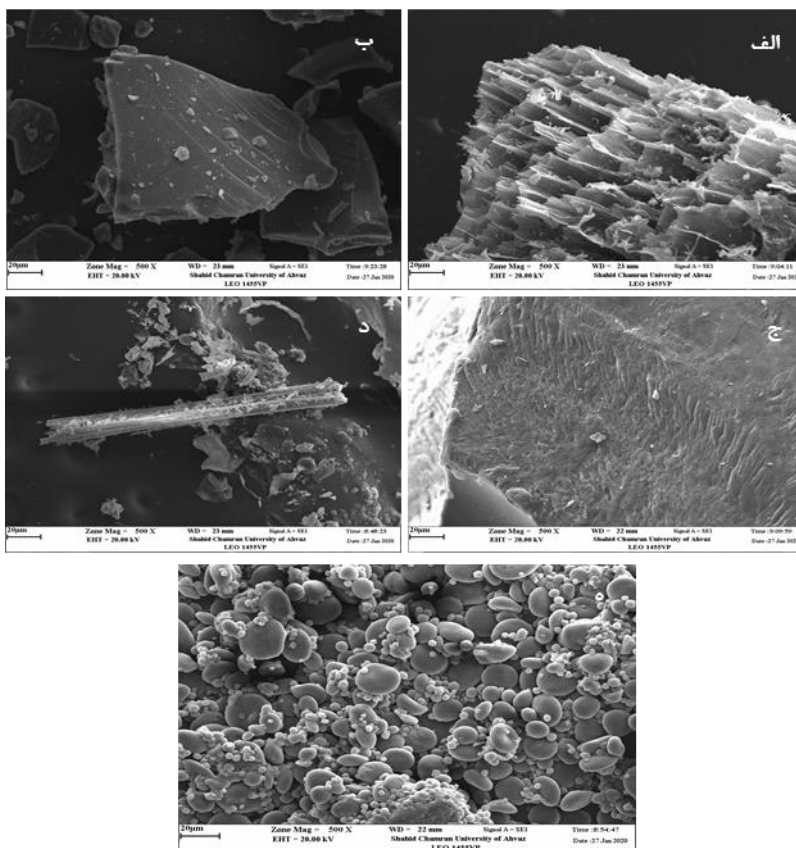
تصویر تهیه شده از زغال زیستی باگاس نیشکر توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان‌دهنده‌ی ساختار حفره‌ای به شکل شبکه‌ی لانه زنبوری و وجود تخلخل در سطح زغال زیستی است (شکل ۲ الف). متاثر از فرآیند گرماکافت تغییر ساختار حفرات از شکل طبیعی به حالت کج و معوج صورت گرفته است. بیضی شکل بودن و حالت کج و معوج حفرات بیانگر این مطلب است که طی فرآیند گرماکافت و افزایش دما، ترکیبات آلی مانند سلولز، همی سلولز و لیگنین موجود در زیتوده تجزیه شده و با خروج مواد فرار سبب ایجاد ساختار متخلخل و موجب افزایش در حجم منافذ ریز و در نهایت افزایش سطح ویژه‌ی زغال زیستی می‌گردد (Yang et al.,

2017). خلل و فرج زغال‌زیستی فضای مناسبی جهت ذخیره‌ی آب و مواد غذایی و هم‌چنین زیستگاهی برای میکروارگانیسم‌ها محسوب می‌شوند. شکل (۲ ب) تهیه شده از صمغ عربی نشان می‌دهد که صمغ عربی از مواد آمورف (بی‌شکل) تشکیل شده است. ذرات تشکیل‌دهنده‌ی آن اغلب به صورت دانه‌های بی‌شکل و نامنظم است. ظرفیت جذب آب در صمغ عربی به خصوصیات سطح آن بستگی دارد. شکل، ساختمان یا ناهمواری در سطح صمغ ممکن است متاثر از نحوه‌ی تهیه، خالص‌سازی و چگونگی آماده‌سازی این ماده باشد (Mohammed, 2015). ساختار میکروسکوپی ژلاتین در شکل (۲ ج) نشان داده شده است. به‌طور کلی ژلاتین دارای ساختمان متراکم و غیریکنواخت و بدون منافذ درشت است. این ساختار به زنجیره‌های به هم پیوسته در ساختمان پلیمر ژلاتین مربوط است. در تصویر تهیه شده از خاکپوش MNF (شکل ۲ د)، بیشتر، کریستال‌های صفحه‌ای شکل و به تعداد خیلی معدودی هم کریستال‌های سوزنی شکل جیپسوم دیده می‌شوند که توسط ذرات ریزی احاطه شده‌اند. این ذرات، بی‌شکل و نامنظم هستند، وجود این ذرات موجب افزایش سطح ویژه در جیپسوم می‌گردد (Bang et al., 2015; Ma et al., 2019) هم‌چنین الیاف سلولز با ساختار سوزنی شکل بین ذرات جیپسوم قرار گرفته که می‌توانند در افزایش تخلخل در ساختار خاکپوش موثر باشند. از تصاویر SEM تهیه شده از هیدروژل می‌توان در ارزیابی ساختار و سطح مواد در آن استفاده نمود (Lee et al., 2015). شکل (۲ ه) مربوط به سطح هیدروژل تقویت شده با نانوسیلیس است که به صورت ذرات کروی ریز و درشت است که خلل و فرج زیادی بین آن‌ها دیده می‌شود. این حفرات عامل جذب بالای رطوبت در هیدروژل است. هم‌چنین، همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نانو ذرات سیلیس به خوبی روی سطح و بین منافذ در هیدروژل پراکنده شده‌اند.

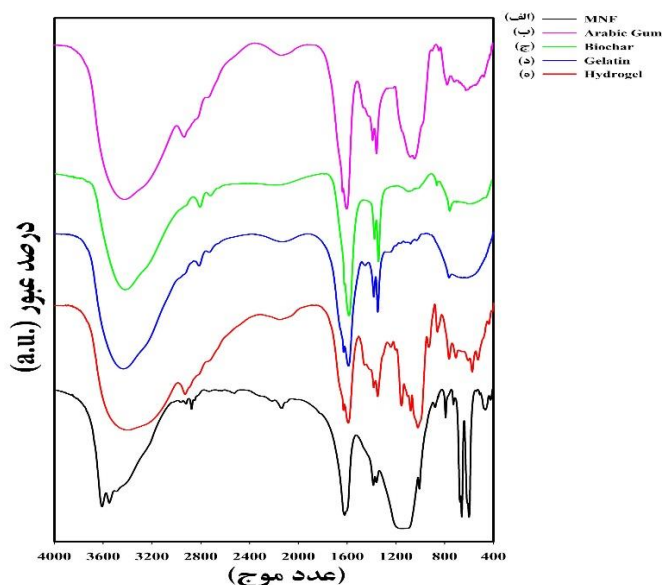
همان‌گونه که در شکل (۳ ج) نشان داده شده است، زغال زیستی دارای رفتار آروماتیکی است. در این طیف پیک پهن در طول موج  $3483\text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاشات کششی قوی گروه فنولی (O-H) است. این طیف نشان می‌دهد که بیش‌تر کربن موجود در زغال زیستی پایدار است (Hao Jien and Shen Wang, 2013) در محدوده طول موج  $1609\text{ cm}^{-1}$ ، پیک تند مربوط به ارتعاش کششی، C=O گروه‌های کربوکسیلی و کتونی قرار دارد. گروه H-C آلیفاتیک به صورت پیک ضعیفی در محدوده طول موج  $2861\text{ cm}^{-1}$  واقع شده است. حضور این گروه عاملی نشان‌دهنده آنست که مقداری سلولز یا همی سلولز تجزیه نشده از زیتوده در ترکیب زغال زیستی باقی مانده است (Zhao et al. 2018) در طول موج  $1356\text{ cm}^{-1}$ ، پیک مربوط به ارتعاشات کششی C=C قرار

طول موج  $1100\text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه C-O است. در ژلاتین (شکل ۳ د) پیک مربوط به طول موج  $3480\text{ cm}^{-1}$  پیوندهای هیدروژنی در گروه -OH و پیک طول موج  $2868\text{ cm}^{-1}$  به گروه C-H آلیفاتیک برمی‌گردد. پیک مربوط به عدد موجی  $1607\text{ cm}^{-1}$  و  $1635\text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه کربوکسیلیک است. پیک مربوط به عدد موجی  $1354\text{ cm}^{-1}$  به پیوند C-N برمی‌گردد.

دارد. در منحنی مربوط به صمغ عربی (شکل ۳ ب)، پیک در طول موج های  $2967\text{ cm}^{-1}$  و  $3455\text{ cm}^{-1}$  به پیوندهای هیدروژنی در -OH و ارتعاشات کششی CH- آلیفاتیک مربوط می‌باشد (Gnansambandan at all, 2000). هم‌چنین پیک مربوط به طول موج  $1612\text{ cm}^{-1}$  مربوط به C=O در گروه‌های کربوکسیل اسیدی یا آمید پروتئین اتصال یافته در صمغ عربی است. پیک مربوط به

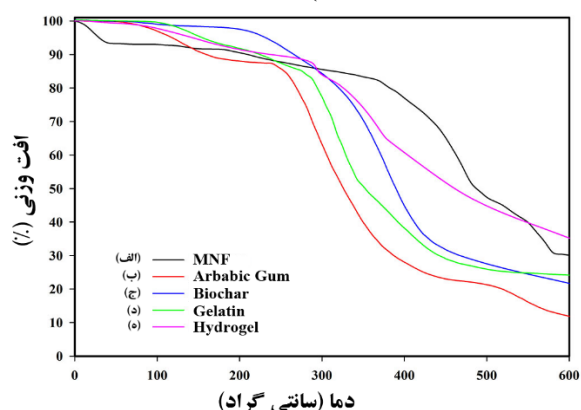


شکل ۲- تصاویر SEM (الف) زغال زیستی، (ب) صمغ عربی، (ج) ژلاتین، (د) MNF و (ه) هیدروژل



شکل ۳- طیف مادون قرمز (الف) زغال زیستی، (ب) صمغ عربی، (ج) ژلاتین، (د) خاکپوش MNF و (ه) هیدروژل

مرحله اصلی کاهش وزن برای ژلاتین مشاهده می‌گردد. در مرحله اول کاهش وزن در محدوده‌ی دمایی کمتر از  $100^{\circ}\text{C}$  مربوط به از دست رفتن رطوبت نمونه و برخی گروه‌های آمینی آبدوست در ترکیب پلیمر است. مرحله دوم کاهش وزن  $18/6\%$  درصدی در محدوده دمایی  $300^{\circ}\text{C}$  -  $100^{\circ}\text{C}$ ، که به از بین رفتن مولکول‌های پروتئینی با وزن مولکولی پایین و پیوندهای ساختمانی مرتبط با آب مربوط است و در مرحله‌ی سوم تا دمای  $445^{\circ}\text{C}$  تخریب زنجیره‌های ژلاتین موجب کاهش وزن  $75/3\%$  درصدی این ماده می‌گردد (Kenawy *et al*, 2019). منحنی کاهش وزن خاکپوش MNF با افزایش دما نشان داده شده است (۴ الف)، در این منحنی کاهش وزن تا  $50^{\circ}\text{C}$  مربوط به تبخیر آب در سطح ذرات است. در محدوده  $50^{\circ}\text{C}$  تا  $250^{\circ}\text{C}$  کاهش وزن تقریباً با شیب ملایم دیده می‌شود. در این محدوده دمایی کاهش وزن مربوط به فرآیند دهیدراسیون در جیپسوم طی دو مرحله یکی در محدوده  $130^{\circ}\text{C}$  -  $110^{\circ}\text{C}$  و سپس در محدوده دمایی  $200^{\circ}\text{C}$  -  $150^{\circ}\text{C}$  است که طی این دو مرحله دو مولکول آب از ساختمان جیپسوم خارج می‌گردند. کاهش وزن در محدوده  $350^{\circ}\text{C}$  -  $250^{\circ}\text{C}$  نتیجه دهیدراسیون و تجزیه و تخریب کامل سلولز است. طی این فرآیند ساختمان بلوری سلولز به‌طور کامل فرو می‌ریزد. مواد باقی‌مانده بعد از این دما، نشانه حضور ترکیبات کربناتی و ناخالصی‌هایی است که در ترکیب این خاکپوش دیده می‌شود (Borrachero *et al*, 2015; Lee *et al*, 2008). در منحنی تحلیل توزین حرارتی مربوط به خاکپوش هیدروژل تقویت شده با نانوسیلیس (شکل ۴ ه)، کاهش دما در هیدروژل تا حدود  $130^{\circ}\text{C}$  مربوط به از دست رفتن آب در نمونه خاکپوش هیدروژل است. تخریب هیدروژل در دمای  $300^{\circ}\text{C}$  شروع می‌گردد اما در  $400^{\circ}\text{C}$  از پایداری حرارتی بالایی برخوردار است. دلیل این امر را می‌توان به پیوند اکریلیک اسید و نانوسیلیس در ترکیب هیدروژل و وجود ساختار شبکه‌ای هیدروژل نسبت داد (Ghasemzadeh Mohammadi, and Keshavarz Ghasemi, 2017).



شکل ۴- منحنی‌های تحلیل توزین حرارتی در (الف) MNF، (ب) صمغ عربی، (ج) زغال زیستی، (د) ژلاتین و (ه) هیدروژل

در خاکپوش MNF (شکل ۳ الف)، پیک مربوط به طول موج‌های  $3609\text{ cm}^{-1}$  و  $3619\text{ cm}^{-1}$  به گروه  $\text{NH}_2$  و پیک جذبی در طول موج  $3571\text{ cm}^{-1}$  به گروه  $\text{-OH}$  مربوط است. پیک مربوط به عدد موجی  $295\text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه  $\text{C-H}$  آلیفاتیک است. پیک قوی مربوط به طول موج  $1630\text{ cm}^{-1}$  به حضور گروه کربوکسیلیک در سلولز خاکپوش است. محدوده جذبی قوی و پهن مربوط به طول موج‌های  $1113\text{ cm}^{-1}$  تا  $1215\text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه  $\text{C-O}$  است. پیک پهن و قوی در محدوده  $1133\text{ cm}^{-1}$  تا  $1215\text{ cm}^{-1}$  به گروه‌های  $\text{C-O}$  و  $\text{CH}_2$  مربوط به واحدهای گلیکوزیل در سلولز است. پیک‌های مربوط به طیف موجی بلند و تیز در  $604\text{ cm}^{-1}$  و  $662\text{ cm}^{-1}$  حاصل وجود آنیون سولفات در گچ است. در منحنی مربوط به هیدروژل تقویت شده با نانوسیلیس (شکل ۳ ه)، پیک پهن و قوی موجود در محدوده طول موج‌های  $3381\text{ cm}^{-1}$  تا  $3537\text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه‌های  $\text{-OH}$  در کربوکسیلیک می‌باشد. حضور این گروه‌ها نشان‌دهنده وجود پیوند هیدروژنی قوی در ساختمان هیدروژل است. پیک  $2948\text{ cm}^{-1}$  ارتعاشات کششی پیوند  $\text{C-H}$  آلیفاتیک را نشان می‌دهد. وجود پیک‌های  $1606\text{ cm}^{-1}$ ،  $1162\text{ cm}^{-1}$  و  $1163\text{ cm}^{-1}$  به ترتیب ارتعاشات کششی پیوندهای  $\text{C=O}$ ،  $\text{C-N}$  و  $\text{C-O}$  را در ساختار هیدروژل نشان می‌دهد.

تحلیل توزین حرارتی یا تجزیه وزن سنجی گرمایی (TGA) در تعیین پایداری خاکپوش‌ها در شرایط مختلف دمایی و بررسی روند تجزیه‌ی آن‌ها در اثر حرارت کمک شایانی می‌نماید. در منحنی تحلیل توزین حرارتی زغال‌زیستی چهار پیک دمایی مشاهده می‌گردد (شکل ۴ ج). پیک اول مربوط به کاهش جرم اولیه نمونه بین دمای  $135^{\circ}\text{C}$  -  $25^{\circ}\text{C}$  به دلیل از دست دادن رطوبت در زغال زیستی است (Salgado *et al*, 2018). دو پیک دمایی در  $321^{\circ}\text{C}$  و  $420^{\circ}\text{C}$  مربوط به از دست دادن مواد فرار و قابل احتراق می‌باشد. سرانجام یک پیک کوچک در  $450^{\circ}\text{C}$  مشاهده می‌گردد که ناشی از احتراق کربن باقیمانده است. در دمای  $600^{\circ}\text{C}$  حدود ۲۵ درصد از مواد باقیمانده شامل کربن فعال و به‌صورت خاکستر باقی می‌ماند. نتایج حاکی از مقاومت حرارتی بالای زغال زیستی تهیه شده می‌باشد. در نمودار TGA مربوط به صمغ عربی در شکل (۴ ب) دو مرحله (ناحیه‌ی) کاملاً متمایز دیده می‌شود. اولین ناحیه مربوط به کاهش وزن ۱۳ درصدی در اثر تبخیر آب در دمای  $230^{\circ}\text{C}$  و مرحله دوم هم حاصل تجزیه نهایی و تجزیه و تخریب صمغ با کاهش وزن حدود ۸۰ درصدی در دمای  $520^{\circ}\text{C}$  است که این روند مشابه نتایج مطالعات سایر پژوهشگران بر روی صمغ‌ها می‌باشد (Zohuriaan and shokrolahi, 2004; Fadavi *et al*, 2013). در شکل (۴ د) سه



اثر متقابل سه‌گانه ( اثرات زمان، نوع و سطح تیمار) در کلیه مکش‌ها بر نگهداشت رطوبت بر خاک معنی‌دار نشدند. با توجه به اینکه اثرات متقابل سه‌گانه زمان، نوع و سطح تیمار در همه مکش‌ها معنی‌دار نشدند، لذا نتایج مقایسه‌ی میانگین برای اثرات دوگانه نوع تیمار و سطح تیمار در دوره‌های زمانی دو ماهه و چهار ماهه به‌صورت جداگانه در جداول (۶) و (۷) نشان داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس اثر زمان، نوع تیمار و سطح تیمار بر میزان رطوبت نگهداری شده در مکش‌های مختلف (جداول ۳، ۴ و ۵)، نشان می‌دهد که اثرات تکی عوامل مورد بررسی بر نگهداشت رطوبت در سطح یک درصد معنی‌دار شده و در مورد اثرات متقابل دوگانه نیز به جز اثر زمان بر سطح کاربردی تیمار سایر اثرات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. هم‌چنین

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر زمان، نوع و سطح تیمار بر رطوبت حجمی در مکش‌های مختلف

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
مکش	مکش	مکش	مکش	مکش		
(cm)۱۵۰۰	(cm)۵۰۰	(cm)۳۰۰	(cm)۱۰۰	(cm)۳۳۰		
۰/۰۰۴**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۲**	۱	زمان
۰/۱۷۶**	۰/۱۶۵**	۰/۱۶۰**	۰/۱۷۹**	۰/۱۴۰**	۳	نوع تیمار
۰/۰۳۵**	۰/۰۳۷**	۰/۰۳۷**	۰/۰۳۹**	۰/۰۳۱**	۲	سطح تیمار
۰/۰۰۱**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۳	زمان×نوع تیمار
۲/۳۷۵×۱۰ <sup>-۵ns</sup>	۱/۸۸۸×۱۰ <sup>-۵ns</sup>	۱/۴۹۳×۱۰ <sup>-۵ns</sup>	۰/۰۰۰ <sup>ns</sup>	۶/۹۵۰×۱۰ <sup>-۵ns</sup>	۲	زمان×سطح تیمار
۰/۰۰۴**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۵**	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۴**	۶	نوع تیمار×سطح تیمار
۴/۸۲۱×۱۰ <sup>-۵ns</sup>	۷/۵۵۴×۱۰ <sup>-۵ns</sup>	۶/۹۶۰×۱۰ <sup>-۵ns</sup>	۰/۰۰۰*	۵/۸۳۳×۱۰ <sup>-۵ns</sup>	۶	زمان×نوع تیمار×سطح تیمار
۵/۱۷۴×۱۰ <sup>-۵</sup>	۷/۱۰۷×۱۰ <sup>-۵</sup>	۷/۹۰۸×۱۰ <sup>-۵</sup>	۶/۴۱۷×۱۰ <sup>-۵</sup>	۵/۷۲۰×۱۰ <sup>-۵</sup>	۴۸	خطا

<sup>ns</sup> و \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ هستند.

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر نوع و سطح تیمار بر رطوبت حجمی در مکش‌های مختلف در دوره انکوباسیون دو ماهه

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
مکش	مکش	مکش	مکش	مکش		
(cm)۱۵۰۰	(cm)۵۰۰	(cm)۳۰۰	(cm)۱۰۰	(cm)۳۳۰		
۰/۰۹۴**	۰/۰۸۸**	۰/۰۸۶**	۰/۰۹۳**	۰/۰۷۶**	۳	نوع تیمار
۰/۰۱۸**	۰/۰۱۷**	۰/۰۱۸**	۰/۰۱۸**	۰/۰۱۶**	۲	سطح تیمار
۰/۰۰۲**	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۲**	۶	نوع تیمار×سطح تیمار
۶/۹۶۹×۱۰ <sup>-۵</sup>	۷/۵۱×۱۰ <sup>-۵</sup>	۹/۴۴×۱۰ <sup>-۵</sup>	۹/۴۴×۱۰ <sup>-۵</sup>	۶/۹۴۵×۱۰ <sup>-۵</sup>	۲۴	خطا

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ است.

آلی در دوره دو ماهه مشاهده گردید. این افزایش در دوره دو ماهه و برای بالاترین سطوح خاکپوش‌های آلی، نانوهیدروژل و MNF برای رطوبت ظرفیت زراعی به ترتیب ۱/۹، ۱/۶۶ و ۱/۴۶ برابر نسبت به تیمار شاهد و برای رطوبت نقطه پژمردگی به ترتیب ۳/۸۸، ۳/۰۳ و ۲/۴۵ برابر تیمار شاهد و نیز برای رطوبت اشباع به ترتیب ۱/۵۹، ۱/۴۴ و ۱/۳۱ برابر تیمار شاهد بود.

نتایج تجزیه واریانس در جداول (۳)، (۴) و (۵) نشان می‌دهد که افزایش سطوح کاربردی خاکپوش‌ها در دو دوره زمانی موجب افزایش نگهداشت رطوبت در نقطه ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت اشباع خاک نسبت به تیمار شاهد شدند. هم‌چنین این افزایش‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده‌اند (جداول ۶ و ۷). به طوری که بیشترین افزایش در سطح سوم تیمار خاکپوش

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر، نوع تیمار و سطح تیمار بر رطوبت حجمی در مکش‌های مختلف انکوباسیون چهار ماهه

میانگین مربعات					درجه آزادی	منابع تغییرات
مکش	مکش	مکش	مکش	مکش		
(cm)۱۵۰۰	(cm)۵۰۰	(cm)۳۰۰	(cm)۱۰۰	(cm)۳۳۰		
۰/۰۸۳**	۰/۰۷۸**	۰/۰۷۶**	۰/۰۸۸**	۰/۰۶۴**	۳	نوع تیمار
۰/۰۱۸**	۰/۰۱۹**	۰/۰۱۸**	۰/۰۲۱**	۰/۰۱۴**	۲	سطح تیمار
۰/۰۰۲**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۲**	۶	نوع تیمار×سطح تیمار
۵۰۱۰×۳۷۸	۵۰۱۰×۶۶۹۴	۵۰۱۰×۶۶۹۴	۵۰۱۰×۶۳۴۴	۵۰۱۰×۴۹۴	۲۴	خطا

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۱ است.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و سطح تیمار بر رطوبت حجمی در مکش‌های مختلف (سانتی‌متر) پس از دو ماه انکوباسیون

تیمارها	مکش ۳۳۰ (cm)	مکش ۱۰۰۰ (cm)	مکش ۳۰۰۰ (cm)	مکش ۵۰۰۰ (cm)	مکش ۱۵۰۰۰ (cm)
O <sub>1</sub>	۰/۴۶ <sup>d</sup>	۰/۳۸ <sup>d</sup>	۰/۳۳۳ <sup>d</sup>	۰/۳۳ <sup>d</sup>	۰/۳۹ <sup>d</sup>
O <sub>2</sub>	۰/۵۱ <sup>b</sup>	۰/۴۴ <sup>b</sup>	۰/۳۸۰ <sup>b</sup>	۰/۳۶۰ <sup>b</sup>	۰/۳۳۰ <sup>b</sup>
O <sub>3</sub>	۰/۵۳ <sup>a</sup>	۰/۴۶۵ <sup>a</sup>	۰/۴۱۵ <sup>a</sup>	۰/۳۹۷ <sup>a</sup>	۰/۳۶۵ <sup>a</sup>
H <sub>1</sub>	۰/۳۹ <sup>g</sup>	۰/۳ <sup>g</sup>	۰/۲۴۴ <sup>g</sup>	۰/۲۳ <sup>g</sup>	۰/۲۱ <sup>g</sup>
H <sub>2</sub>	۰/۴۱ <sup>f</sup>	۰/۳۱ <sup>f</sup>	۰/۲۶ <sup>f</sup>	۰/۲۵ <sup>f</sup>	۰/۲۳ <sup>f</sup>
H <sub>3</sub>	۰/۴۹ <sup>c</sup>	۰/۴۱ <sup>c</sup>	۰/۳۶ <sup>c</sup>	۰/۳۴ <sup>c</sup>	۰/۳۱ <sup>c</sup>
M <sub>1</sub>	۰/۳۴ <sup>i</sup>	۰/۲۴ <sup>i</sup>	۰/۱۹ <sup>h</sup>	۰/۱۷ <sup>i</sup>	۰/۱۴ <sup>i</sup>
M <sub>2</sub>	۰/۳۷ <sup>h</sup>	۰/۲۸ <sup>h</sup>	۰/۲۳ <sup>g</sup>	۰/۲۲ <sup>h</sup>	۰/۱۹ <sup>h</sup>
M <sub>3</sub>	۰/۴۳ <sup>e</sup>	۰/۳۳ <sup>e</sup>	۰/۲۸۵ <sup>e</sup>	۰/۲۷۵ <sup>e</sup>	۰/۲۵ <sup>e</sup>
Blank	۰/۲۹۵ <sup>j</sup>	۰/۱۹ <sup>j</sup>	۰/۱۵ <sup>i</sup>	۰/۱۳ <sup>j</sup>	۰/۰۹ <sup>j</sup>

میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است (O: خاکپوش آلی، H: خاکپوش نانوهیدروژل، M: خاکپوش MNF، اندیس نشان دهنده سطح تیمار است).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و سطح تیمار بر رطوبت حجمی در مکش‌های مختلف پس از چهار ماه انکوباسیون

تیمارها	مکش ۳۳۰ (cm)	مکش ۱۰۰۰ (cm)	مکش ۳۰۰۰ (cm)	مکش ۵۰۰۰ (cm)	مکش ۱۵۰۰۰ (cm)
O <sub>1</sub>	۰/۴۴۸ <sup>d</sup>	۰/۳۶ <sup>d</sup>	۰/۳۰۶ <sup>d</sup>	۰/۲۹ <sup>d</sup>	۰/۲۶۵ <sup>d</sup>
O <sub>2</sub>	۰/۵۳ <sup>b</sup>	۰/۴۶۵ <sup>b</sup>	۰/۴۱۵ <sup>b</sup>	۰/۳۹۷ <sup>b</sup>	۰/۳۶۵ <sup>b</sup>
O <sub>3</sub>	۰/۵۱ <sup>a</sup>	۰/۴۴ <sup>a</sup>	۰/۳۸ <sup>a</sup>	۰/۳۴ <sup>a</sup>	۰/۳۳ <sup>a</sup>
H <sub>1</sub>	۰/۳۸ <sup>g</sup>	۰/۲۸۴ <sup>g</sup>	۰/۲۳۵ <sup>g</sup>	۰/۲۲ <sup>g</sup>	۰/۱۹ <sup>g</sup>
H <sub>2</sub>	۰/۳۹۴ <sup>f</sup>	۰/۳ <sup>f</sup>	۰/۲۵ <sup>f</sup>	۰/۲۳۴ <sup>f</sup>	۰/۲۱ <sup>f</sup>
H <sub>3</sub>	۰/۴۷۸ <sup>c</sup>	۰/۴ <sup>c</sup>	۰/۳۴ <sup>c</sup>	۰/۳۲۳ <sup>c</sup>	۰/۲۸۵ <sup>c</sup>
M <sub>1</sub>	۰/۳۳ <sup>i</sup>	۰/۲۱ <sup>i</sup>	۰/۱۷ <sup>i</sup>	۰/۱۵ <sup>i</sup>	۰/۱۲ <sup>i</sup>
M <sub>2</sub>	۰/۳۷ <sup>h</sup>	۰/۲۵ <sup>h</sup>	۰/۲۱ <sup>h</sup>	۰/۱۹ <sup>h</sup>	۰/۱۶ <sup>h</sup>
M <sub>3</sub>	۰/۴۳ <sup>e</sup>	۰/۳۳ <sup>e</sup>	۰/۲۶۸ <sup>e</sup>	۰/۲۵۷ <sup>e</sup>	۰/۲۳ <sup>e</sup>
Blank	۰/۲۹۵ <sup>j</sup>	۰/۱۹ <sup>j</sup>	۰/۱۵ <sup>i</sup>	۰/۱۳ <sup>j</sup>	۰/۰۹ <sup>j</sup>

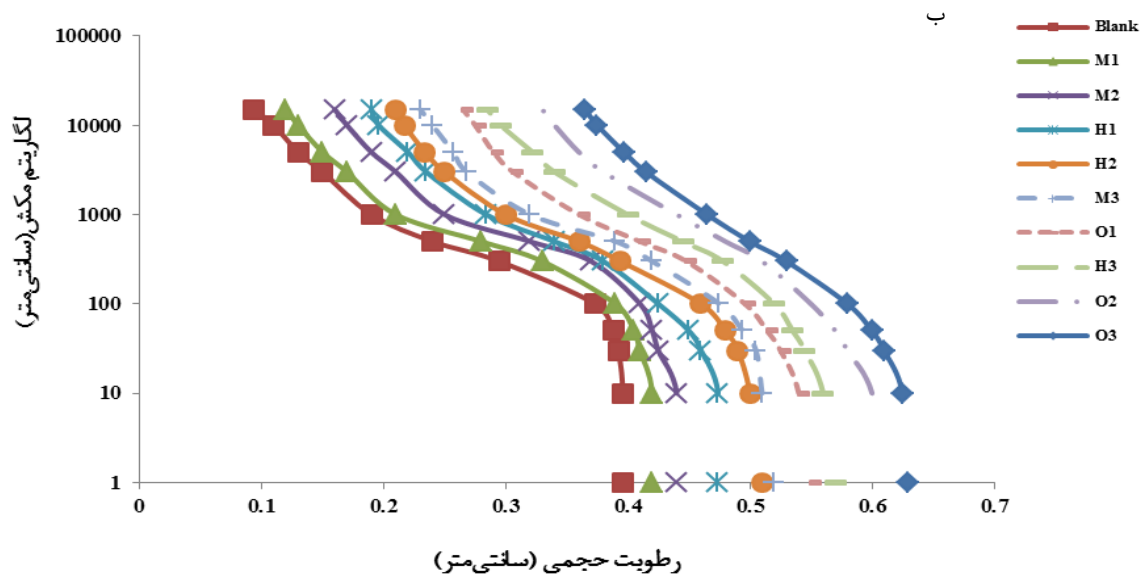
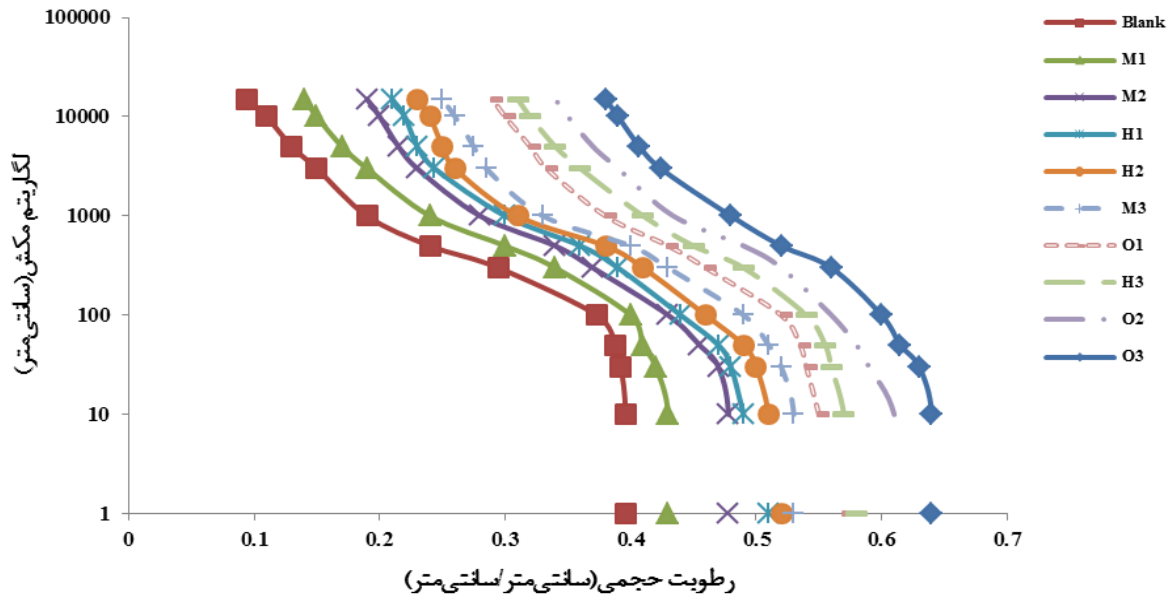
میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است (O: خاکپوش آلی، H: خاکپوش نانوهیدروژل، M: خاکپوش MNF، اندیس نشان دهنده سطح تیمار است).

(۸) حاکی از کاهش غیرمعنی‌دار کربن آلی و ظرفیت نگه داشت رطوبت در منحنی رطوبتی با گذشت زمان در دوره‌ی چهار ماهه نسبت به دو ماهه است. کاهش در قدرت نگهداشت آب در خاک به دلیل تجزیه و تخریب تیمارهای به‌کاررفته به‌خصوص ماده آلی در خاک و کاهش اثرات چسبانندگی و پایدارکنندگی ترکیبات خاکپوش‌ها بود. که این مسئله زیست‌تخریب‌پذیری خاکپوش‌ها را تایید می‌کند. در خاکپوش آلی در کلیه سطوح کاربردی و در خاکپوش‌های نانوهیدروژل و MNF در بالاترین سطح کاربردی شاهد بیشترین افزایش بودیم. به‌طور کلی دلیل این امر به اثر کربن آلی و گروه‌های عاملی آب‌دوست در ترکیبات به‌کار رفته در خاکپوش‌ها مربوط بود. در خاکپوش آلی این اثر به دلیل غنی‌تر بودن این خاکپوش از ماده آلی و وجود پلیمرهای صمغ‌عربی و ژلاتین با ویژگی‌های آب‌دوستی و اصلاحی در خاک، افزایش پایداری خاکدانه و ظرفیت بالای نگهداشت رطوبت به‌صورت چشم‌گیرتری دیده شد. نتایج تجزیه‌ی واریانس اثر زمان، نوع و سطح تیمار بر

افزودن خاکپوش‌ها به خاک منجر به افزایش ماده آلی در خاک و افزایش پایداری خاکدانه گردید که در افزایش رطوبت نگهداری شده در خاک در مکش‌های مختلف بسیار با اهمیت است. وال و هسکانن (۲۰۰۳) نشان دادند که با افزایش میزان ماده آلی، محتوای رطوبتی در تمام مکش‌ها افزایش یافت که دلیل آن را می‌توان در مکش‌های پایین به اثر ماده آلی در توسعه ساختمان‌های پایدار و در مکش‌های بالا به افزایش سطح ویژه و ویژگی‌های نگهداشت رطوبتی ماده‌آلی نسبت داد (Wall and Heiskanen, 2003). نتایج مشابهی نیز توسط Yang *et al* (2014) و Pradeep and Bhushan (2001) گزارش شده است. با توجه به اهمیت ماده آلی و پایداری خاکدانه در تغییرات منحنی مشخصه رطوبتی لذا در این تحقیق اثرات این دو پارامتر نیز بررسی شد. بررسی منحنی‌های رطوبتی در شکل (۵) نشان دادند که کاربرد خاکپوش‌ها موجب افزایش معنی‌دار رطوبت حجمی خاک در منحنی رطوبتی خاک در محدوده مکش‌های متفاوت نسبت به تیمار شاهد، در زمان‌های مختلف گردیدند. نتایج جدول

تیمارد در هر دوره زمانی نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری در سطح یک درصد داشته اما با گذشت زمان مقادیر پایداری خاکدانه برای هر سطح تیماری نسبت به دوره دو ماهه کاهش معنی‌داری یافته است (شکل ۶). بیش‌ترین میانگین وزنی قطر خاکدانه در سطح سوم خاکپوش آلی در دوره زمانی دو ماهه مشاهده گردید.

پایداری خاکدانه‌ها و درصد کربن آلی خاک نشان‌دهنده‌ی اثر معنی‌دار نوع و سطح خاکپوش‌ها در هر دوره زمانی بر افزایش کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد است (جدول ۸). با گذشت زمان کاهش غیرمعنی‌دار کربن آلی و کاهش معنی‌دار در پایداری خاکدانه‌ها در دوره‌ی زمانی آنکوباسیون چهار ماهه رخ داد. مقایسه‌ی میانگین اثر سطوح تیماری بر پایداری خاکدانه نشان می‌دهد پایداری خاکدانه با افزایش سطوح کاربردی



شکل ۵- منحنی‌های رطوبتی تیمارهای مختلف در زمان ۲ ماهه (الف) و زمان ۴ ماهه (ب) (O: خاکپوش آلی، H: خاکپوش نانوهیدروژل، M: خاکپوش MNF، اندیس نشان دهنده‌ی سطح تیمار است).

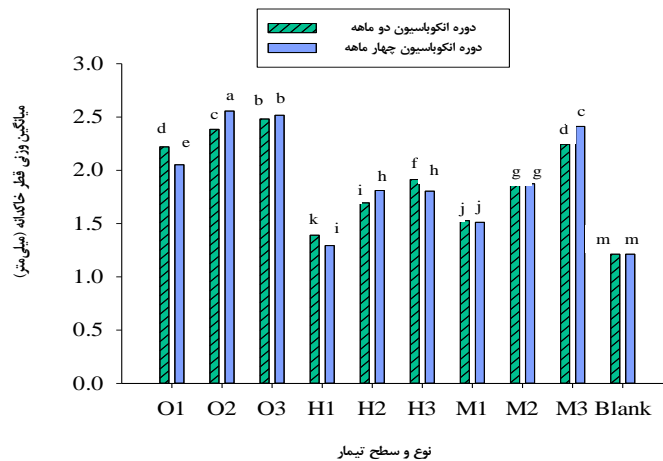
داشت رطوبتی خاک می‌گردد (Peake et al., 2014; Gao et al., 2014). خاک تیمار شده با زغال زیستی و سلولز در خاک با ایجاد پیوند بین ذرات خاک و اثرگذاری بر فرآیندهای بیولوژیکی خاک موجب تشکیل خاکدانه‌های درشت و پایدار در خاک می‌گردد.

مواد آلی می‌توانند با اتصال ذرات خاک به هم و افزایش خاک‌دانه‌سازی موجب بهبود ساختمان خاک گردند (Murphy, 2015). افزودن زغال زیستی در خاک موجب افزایش پایداری خاکدانه، بهبود ساختمان خاک و تهویه آن و افزایش ظرفیت نگه

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس تاثیر زمان، نوع و سطح تیمار بر پایداری خاکدانه و درصد کربن آلی

میانگین مربعات			
کربن آلی	میانگین وزنی قطر خاکدانه	درجه آزادی	منابع تغییرات
۰/۰۴۷**	۴/۲۴×۱۰ <sup>-۵ns</sup>	۱	زمان
۱/۴۵۲**	۴/۱۰۴**	۳	نوع تیمار
۰/۱۸۵**	۱/۱۰۰**	۲	سطح تیمار
۰/۰۰۶**	۰/۰۰۷**	۳	زمان × نوع تیمار
۵/۸۶۳×۱۰ <sup>-۷ns</sup>	۰/۰۳۳**	۲	زمان × سطح تیمار
۰/۰۲۳**	۰/۱۹۳**	۶	نوع تیمار × سطح تیمار
۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۷**	۶	زمان × نوع تیمار × سطح تیمار
۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۴۸	خطا

<sup>ns</sup> و <sup>\*\*</sup> به ترتیب غیرمعنی دار و معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱ است.



شکل ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل زمان، نوع تیمار و سطح تیمار بر میانگین وزنی قطر خاکدانه (حروف غیرمشترک نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح احتمال یک درصد است)

در نتیجه افزایش پایداری خاکدانه‌ها شد. نتایج پژوهش Hanay *et al* (2004) نیز موید نقش اصلاح کننده سلولز و گچ در ایجاد همآوری خاکدانه‌ای و در نتیجه پایداری خاکدانه‌ها در برابر عوامل تخریب کننده ساختمان خاک می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

افزودن خاکپوش‌های آلی و معدنی نوترکیب به خاک از طریق تاثیر بر میزان کربن آلی خاک و پایداری خاکدانه، موجب بهبود وضعیت ساختمانی خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک شده است. در خاکپوش آلی تولیدی تمامی ترکیبات به کاررفته از جمله زغال‌زیستی در افزایش کربن آلی خاک موثر بوده‌اند. در این خاکپوش علاوه بر حضور کربن آلی بالا که در بهبود ساختمان خاک موثر است، صمغ عربی و ژلاتین نیز به دلیل دارا بودن گروه‌های عاملی آبدوست در ساختار خود، خاصیت جاذب‌الرطوبه بودن را در خاکپوش تولیدی افزایش می‌دهند که مجموعه‌ی این عوامل در افزایش ظرفیت نگهداشت رطوبت توسط

نانوهیدروژل تهیه شده در این پژوهش، بر پایه‌ی نشاسته بوده و مالچ MNF نیز حاوی سلولز است. نشاسته و سلولز هر دو نوعی پلی ساکارید هستند که در افزایش کربن آلی در خاک موثر هستند. Lima *et al.* (2009) بیان کردند که مواد آلی حاوی پلی ساکارید، به واسطه‌ی جذب بر روی سطح ذرات رس موجب بهبود فرآیند خاکدانه‌سازی و افزایش پایداری خاکدانه‌ای می‌گردند. هم‌چنین مواد پلی ساکاریدی به دلیل دارا بودن خاصیت آبدوستی در افزایش ظرفیت نگهداری رطوبتی خاک موثر هستند.

هم‌چنین نتایج نشان داد که افزودن نانوهیدروژل در خاک اثرات مثبتی در افزایش و بهبود قدرت نگهداری آب در خاک دارد به گونه‌ای که در تمامی مکش‌های اعمال شده منجر به افزایش میزان رطوبت نگهداری شده در مقایسه با نمونه‌ی خاک شاهد شده است. هیدروژل با دارا بودن ساختار شبکه‌ای سه‌بعدی دارای خاصیت آبدوستی است که قادر به جذب آب به میزان صدها برابر وزن خود است. هیدروژل با دارا بودن این ویژگی می‌تواند به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای و مرکز آبدهی در خاک عمل نموده و با خشک شدن محیط یا اعمال مکش در خاک، آب را به تدریج به محیط تخلیه نموده و بدین صورت خاک به‌صورت طولانی می‌تواند مرطوب بماند (Hau and Wang, 2009; Kent *et al.*, 2009).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که خاکپوش آلی-معدنی MNF به دلیل دارا بودن سلولز و گچ در ترکیبات خود علاوه بر افزایش میزان کربن آلی خاک در بهبود خصوصیات شور و سدیمی خاک منطقه‌ی مطالعاتی نقش موثری را ایفاء نمود. به بیان بهتر وجود گچ در خاکپوش MNF سبب ایجاد همآوری ذرات خاک و

خاک، کربن آلی کاهش غیرمعنی‌داری نشان داد، که این کاهش موجب کاهش غیرمعنی‌دار مقادیر رطوبت نگهداری شده در مکش‌های مختلف نسبت به دوره‌ی انکوباسیون دو ماهه گردید. در بین تیمارهای مورد استفاده، خاکپوش آلی در سطح سوم و در دوره دو ماهه بیش‌ترین پایداری خاکدانه و قابلیت ظرفیت نگهداشت رطوبت را نشان داد که نشان از اهمیت بالای تاثیر ماده آلی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک است. با توجه به بروز ویژگی اصلاحی خاکپوشهای ترکیبی مورد استفاده و مقاومت بالای حرارتی آنها می‌توان خاکپوش آلی و سطوح بالای خاکپوش‌های نانوهیدروژل و MNF را جهت به‌کارگیری در عرصه‌ی میدانی در مناطق با میانگین درجه حرارت بالا، خصوصاً کانون تولید گردوغبار مورد مطالعه توصیه نمود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Abyaz, A., Asadolzadeh, R., Raieszadeh, A. and Danaee, A. (2018). Analytic report and functional evaluation of dust and dust storm control methods in Khuzestan province. *2th International Conference on dust*. 24-26 April., Ilam University, Ilam, Iran, pp: 541-547. (In Farsi)
- Badreldin, 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)
- Baiamonte, G., Crescimanno, B., Parrino, F. and De Pasquale, C. (2019). Effect of biochar on the physical and structural properties of a sandy soil. *Catena*. 175, 294-303.
- Bang, J.-H., Song, K., Park, S., Jeon, C., Lee, S.-W. and Kim, W. (2015). Effects of CO<sub>2</sub> Bubble Size, CO<sub>2</sub> Flow Rate and Calcium Source on the Size and Specific Surface Area of CaCO<sub>3</sub> Particles. *Energies*, 8(10), 12304-12313. Doi: 10.3390/en81012304.
- Bazgir, M. and Namdar Khojasteh, D. (2019). Biological, chemical and mineral mulches effect on stabilization of dust storm sources, case study: Ilam Province. *Watershed Engineering and Management*, 10(4), 701- 713. (In Farsi)
- Borrachero, M. V., Payá, J., Bonilla, M. and Monzó, J. (2008). The use of thermogravimetric analysis technique for the characterization of construction materials. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 91(2), 503-509. doi:10.1007/s10973-006-7739-3
- Chang, I., Im, J., Prasadhi, A.K. and Cho, G.C. (2015). Effects of Xanthan gum biopolymer on soil strengthening. *Construction and Building Materials*, 74: 65-72.
- 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.
- Fadavi, Gh., Mohammadifar M. A., Zargaran, A. and Azadnia, E. (2013). The study of composition, molecular weight and rheological characteristics of Zedo gum exudates from *Amygdalus scoparia*. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7(5), 35-41. (In Farsi)
- Fang, S., Wang, G., Xing, R., Chen, X., Liu, S., Qin, Y., Li, K., Wang, X., Li, R. and Li, P. 1. (2019). Synthesis of superabsorbent polymers based on chitosan derivative graft acrylic acid-co-acrylamide and its property testing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 575-584.
- Gao Lu, S., Fang, S.F. and Tong, Z.Y. (2014). Effect of rice husk biochar and charcoal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena*. 114, 37-44.
- Ghasemzadeh Mohammadi, H. and Keshavarz Ghasemi, A. (2017). Controlled release of indomethacin prepared from smart hydrogels based on starch, acrylic Acid and b-cyclodextrin as a nanocarrier. *Iran. J. Polym. Sci. Technol.* 29(6): 497-506. (In Farsi)
- Giménez, A., Lozano, F. J., Torres, J. A. and Asensio, C. (2019). Automated system for soil wind erosion studies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 164, 104889.
- Gnanasambandan, R. and Proctor, A. (2000). Determination of pectin degree of esterification by



- diffusereflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Food Chemistry*, 68, 327–332.
- Hanay, A., Buyuksonmez, F. and M., Y. Conbolat. (2004). Reclamation of saline- sodic soils with Gypsum and MSW compost. *Journal of Compost science and utilization*. 12,175-179.
- Hao Jien, S. and Sheng Wang, C. (2013). Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110, 225-233.
- Hau, S. and Wang, A. (2009). Synthesis, Characterization and swelling of sodium alginate – g – poly (acrylic acid) / sodium humate superabsorbent. *International Newsletters*, Medical Textiles, England, December 1997.
- 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, 188–197.
- Jamshid Safa, M., Khalili Moghadam, B., Jafari, S. and Ghorbani Dashtaki, Sh. (2014). Investigation on the possibility of using filter cake in producing mulches for stabilization of moving sands. *J. Agric. Engin.* 38: 1. 29-42. (In Farsi)
- Kenawy, E., Omer, A. M., Tamer, T. M., Elmeligy, M. A. and Eldin, M. S. M. (2019). Fabrication of biodegradable gelatin/chitosan/cinnamaldehyde crosslinked membranes for antibacterial wound dressing applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.07.191
- Kent, G. A., Douglqss, F. J. and Kasten Dumerose, R. (2009). Root desiccation and drought stress responses of bareroot *Quercus rubra* seedlings treated with a hydrophililc polymer root dip. *Plant Soil*, 315, 229-240.
- Khademalrasoul A., Naveed M., Heckrath G., Kumari K.G.I.D., Jonge L.W. and Elsgaard L. (2014). Biochar effects on soil aggregate properties under no-till maize. *Soil Science*, 179, 273–283.
- Lee, C. Y., Wahit, M. U. and Othman, N. (2015). Thermal and flexural properties of regenerated cellulose (RC)/poly (3 hydroxybutyrate) (PHB) biocomposites. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 75, 11 (2015) 107–112.
- Lehmann J., Gaunt J. and Rondon M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems- A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11, 403–427.
- Li, M., Tian, X., Jin, R. and Li, D. (2018). Preparation and characterization of nanocomposite films containing starch and cellulose nanofibers. *Industrial Crops and Products*, 123, 654–660. doi:10.1016/j.indcrop.2018.07.043
- 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, 38-45.
- Lohrasbi, H. (2018). *Investigating the possibility of using zeoplat and biochar from plant residues in hotspots (Case study: Bostan)*. A thesis for the degree of Master in Soil Science, Faculty of Agriculture Chamran University of Ahwaz. (In Farsi).
- Ma, B., Jiang, Q., Huang, J., Wang, X. and Leng, J. (2019). Effect of different silica particles on flowability of gypsum powder for 3D powder printing. *Construction and Building Materials*, 217, 394–402. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.05.097.
- Maleki, M., Ebrahimi, S., Asadzadeh, F. and Emami Tabrizi, M. (2016). Performance of microbial-induced carbonate precipitation on wind erosion control of sandy soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(3), 937–944. doi:10.1007/s13762-015-0921-z
- Mohammed .A.M.E. (2015). Estimation of the active components in gum arabic collected from western Sudan. *IJSR*, 6(3), 1262-1282.
- 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, 605–635.
- Nawang, R., Danjaji, I., Ishiaku, U. Ismail, H. and Mohd Ishak, Z. (2001). Mechanical properties of sago starch-filled linear low density polyethylene (LLDPE) composites. *Polymer Testing*, 20(2), 167–172. doi:10.1016/s0142-9418(00)00018-0
- 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, 5536-5544.
- Peake, L., 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.
- 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.
- Rosenkranz, H., Iden. S.C. and Durner, W. (2012). Effect of biofilm on soil hydraulic properties: laboratory studies using xanthan as surrogate. *Institute of Geoecology Soil Science and Soil Physics*.
- Salgado, M. de F., Abioye, A. M., Junoh, M. M., Santos, J. A. P. and Ani, F. N. (2018). Preparation of activated carbon from babassu endocarp under microwave radiation by physical activation. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 105, 012116. doi:10.1088/1755-1315/105/1/012116
- Schrieber, R. and Gareis, H. (2007). *Gelatine handbook - theory and industrial practice*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, Germany.
- 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.
- Wall, A. and Heiskanen, J. (2003). Water retention characteristics and related physical properties of soil on afforested agricultural land in Finland. For. Ecol. Manage, 186, 21–32.
- Yang, D. I. N. G., Yunguo, L. I. U., Shaobo, L. I. U., Huang, X., Zhongwu, L. I., Xiaofei, T. A. N., Guangming Z. E. N. G. and Lu, Z. H. O. U. (2017). Potential Benefits of Biochar in Agricultural Soils: A Review. *Pedosphere*, 27(4), 645-661.
- 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.
- Yang, H., Wu, G., Mo, P., Chen, S., Wang, S., Xiao, Y. and Fan, G. (2020). The combined effects of maize straw mulch and no-tillage on grain yield and water and nitrogen use efficiency of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Soil and Tillage Research*, 197, 104485.
- Zhao, B., O'Connor, D., Zhang, J., Peng, T., Shen, Z., Tsang, D. C. and Hou, D. (2018). Effects of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar. *Journal of Cleaner Production*, 174, 977-987.
- Zohuriaan, M. J. and Shokrolahi, F. (2004). Thermal studies on natural and modified gums. *Polymer Testing*, 23(5):575-9.