

تأثیر خاکپوش ماسه بادی و نانو ذرات رس در آبیاری سفالی بر تغییرات رطوبت، دما و پایداری خاکدانه در مناطق خشک، منطقه مورد مطالعه: شهرستان نیمروز

معین جهان تیغ^{۱*}، علی نجفی نژاد^۲، منصور جهان تیغ^۳ و محسن حسینعلی زاده^۴

^۱ دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان، ^۲ دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان، ^۳ دانشیار مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران و ^۴ دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹

چکیده

کمبود نزولات جوی و خشکسالی از عوامل مؤثر بر بحران کم‌آبی در مناطق خشک بشمار می‌رود که این فرایند با توجه به بالا بودن میزان تبخیر در این مناطق ضمن کاهش میزان بهره‌وری از آب، باعث کاهش رطوبت خاک می‌شود. از این‌رو، کاربرد روش‌های حفاظتی با کاهش میزان تبخیر و حفظ رطوبت خاک علاوه بر بهبود رشد و عملکرد گیاه، باعث افزایش بهره‌وری آب می‌شود. هدف از اجرای این پژوهش، بررسی تأثیر خاکپوش ماسه بادی و نانو رس در آبیاری سفالی بر تغییرات دما و رطوبت در یکی از کانون‌های فرسایشی منطقه سیستان است. بدین‌منظور، در ابتدا طی عملیات میدانی از رسوبات بادی انباشت شده در دشت سیستان و همچنین، رسوبات سیلابی بستر رودخانه هیرمند (رسوبات حمل شده طی سیلاب‌های ورودی از کشور افغانستان) نمونه‌برداری شد. با تعیین اندازه ذرات نمونه‌های رسوب به‌منظور تهیه خاکپوش ماسه بادی بزرگ‌ترین اندازه ذرات رسوبات بادی با استفاده از الک جدا شد. برای تهیه نانو ذرات رس نیز رسوبات سیلابی با استفاده از آسیاب گلوله‌ای ضمن بررسی اندازه ذرات و تعیین عناصر اصلی (با استفاده از روش XRF) پودر شد. در ادامه، با آماده‌سازی تیمارهایی متشکل از خاکپوش ماسه بادی، نانو رس و شاهد با نصب ترمومتر و پروب در اعماق ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر اقدام به اندازه‌گیری دما و رطوبت خاک (با استفاده از رطوبت‌سنج) برای یک دوره ۱۸۶ روزه شد. همچنین، در پایان دوره آزمایش به‌منظور بررسی شاخص‌های پایداری خاکدانه با نمونه‌برداری از اعماق مختلف شاخص میانگین وزنی (MWD) و شاخص میانگین هندسی (GMD) قطر خاکدانه‌ها بر اساس روش الک خشک اندازه‌گیری شد. یافته‌ها نشان داد که در توزیع رطوبت و دما در تیمارهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد وجود دارد. بیشترین رطوبت ذخیره شده در عمق ۱۰ سانتی‌متر در تیمار خاکپوش ماسه بادی اندازه‌گیری شد (به‌ترتیب ۱/۲ و ۱/۴ برابر بیشتر از میزان رطوبت ذخیره شده در تیمارهای نانو ذرات رس و شاهد). همچنین، در عمق ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر بیشترین میزان رطوبت حفظ شده مربوط به تیمار نانو ذرات رس است (به‌ترتیب ۱/۲ و ۱/۶ برابر بیشتر از لایه‌های فوق‌الذکر در تیمارهای خاکپوش ماسه بادی و شاهد). در بررسی تغییرات دما در اعماق ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر، بیشترین و کمترین میزان دما به‌ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد و خاکپوش ماسه بادی می‌باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، با ایجاد لایه خاکپوش ماسه بادی در سطح خاک دمای خاک در لایه سطحی نسبت به تیمارهای شاهد و نانو ذرات رس به‌ترتیب ۳۳ و ۱۷/۲ درصد کاهش یافت. در بررسی شاخص‌های پایداری خاکدانه نیز یافته‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر شاخص‌های میانگین وزنی

و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای مورد مطالعه وجود دارد و بیشترین مقادیر شاخص‌های مورد مطالعه مربوط به تیمار نانو رس می‌باشد (در سطح پنج درصد). در مجموع، بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، استفاده از خاکپوش ماسه بادی و نانو رس با کاهش دما و بهبود پایداری خاکدانه‌ها باعث افزایش ۳۰ تا ۴۵ درصدی رطوبت حجمی خاک در لایه‌های زیرسطحی و همچنین، افزایش مدت زمان حفظ رطوبت در خاک و کاهش دور آبیاری در مقایسه با حالت بدون اقدام حفاظتی در خاک شده است که کاربرد قابل توجه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش با تأمین رطوبت مورد نیاز گیاه برای استقرار پوشش گیاهی در کانون‌های فرسایشی منطقه مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: بحران کم‌آبی، خشک‌سالی، رطوبت‌سنج، سیستان، نانو رس

مقدمه

کمبود نزولات جوی و خشک‌سالی از جمله عوامل مؤثر بر بحران کم‌آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بشمار می‌رود (Li و همکاران، ۲۰۰۰). این مهم با توجه به نرخ بالای تبخیر و تحت تأثیر قرار گرفتن مقدار رطوبت خاک، رشد و احیای پوشش گیاهی در این مناطق را با محدودیت همراه کرده است. به‌طوری‌که فقر پوشش گیاهی و اثر توأم عوامل فرسایشی از جمله باد ضمن گسترش مناطق بیابانی باعث تخریب محیط زیست شده است که ماحصل آن وقوع طوفان‌های ماسه‌ای و بروز پدیده گرد و غبار در این مناطق می‌باشد. علاوه بر آن، استفاده از روش‌های آبیاری ناکارآمد و بالا بودن میزان هدر رفت آب با توجه به بازده پایین مصرف، ضمن کاهش تولید محصول، باعث تشدید رخدادهای فرسایش در این مناطق می‌شود (Honarbaksh و Babran، ۲۰۰۸).

از این‌رو، با توجه به این‌که خاک نقش بسزایی بر میزان تبخیر از سطح زمین دارد، لذا، استفاده از روش‌های مناسب برای حفاظت خاک ضمن کاهش تبخیر، مانع از شور شدن خاک و با حفظ رطوبت باعث بهبود عملکرد و رشد گیاه می‌شود (Dlamini و همکاران، ۲۰۱۷). از جمله روش‌های مهم و کارآمد به‌منظور کاهش میزان تبخیر از سطح خاک، استفاده از مالچ می‌باشد که باعث کنترل فرایندهایی از جمله تخریب فیزیکی-شیمیایی و بیولوژیکی در خاک می‌شود و با حفظ رطوبت باعث افزایش تولید محصول و به تبع آن افزایش بهره‌وری از آب می‌شود. در این روش، با قرار دادن مواد آلی یا غیرآلی در سطح خاک با کاهش میزان تبخیر و دما در خاک، میزان رطوبت

ذخیره شده در خاک افزایش می‌یابد که شرایطی مطلوب برای رشد گیاه و در نتیجه، افزایش بهره‌وری از آب را فراهم می‌کند (Singh و Kamal، ۲۰۰۸؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۱؛ Chakraborty و همکاران، ۲۰۱۴). مطالعات متعددی در بررسی اثر خاکپوش بر میزان تبخیر و رطوبت خاک صورت گرفته است. در مطالعه‌ای، Yuan و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر مالچ در تیمارهایی با قطر ۰/۵، ۲/۵ و ۴/۵ میلی‌متر بر میزان تبخیر از خاک سطحی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش، بیانگر کاهش قابل ملاحظه شدت تبخیر از خاک سطحی نسبت به تیمار شاهد بود. آنان همچنین، همبستگی کاهش میزان تبخیر در تیمارهای مالچ‌پاشی شده با اندازه ذرات خاکپوش را منفی و حفظ رطوبت در پروفیل خاک در تیمارهای مالچ‌پاشی شده در مقایسه با تیمار شاهد را پایدار گزارش کردند. نتایج مطالعات Zhao و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تأثیر لایه‌های شنی با ضخامت یک، دو، سه و پنج سانتی‌متر بر میزان تبخیر از سطح خاک بیانگر آن بود که کمترین میزان تبخیر مربوط به لایه شنی با ضخامت پنج سانتی‌متر می‌باشد که باعث افزایش نسبی رطوبت خاک در مقایسه با تیمار شاهد شده است. در مطالعه‌ای دیگر، Chen و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر مالچ شن و ماسه بر میزان تبخیر و رطوبت خاک در طی دوره یخ‌ذوب در ایستگاه پژوهشی تایگو شانشی در کشور چین پرداختند. آن‌ها با اندازه‌گیری میزان تبخیر، دما و رطوبت در تیمارهای متشکل از مالچ شن با اندازه ذرات ۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌متر در لایه‌هایی با ضخامت یک، دو، سه و چهار سانتی‌متر دریافتند که با افزایش

۱۴ و ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد در لایه سطحی گزارش کرده‌اند. در پژوهش دیگر، Jahantigh (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی اثر خاکپوش ماسه بادی بر تغییرات رطوبت در منطقه توسعه ریشه گیاه توت با استفاده از دو روش آبیاری (قطره‌ای و زیرسطحی) در شمال منطقه سیستان پرداخت. یافته‌های این پژوهش، بیانگر آن بود که تفاوت معنی‌دار بین میانگین مقادیر رطوبت در تیمارهای همراه با خاکپوش ماسه بادی نسبت به تیمارهای بدون مالچ سطحی وجود دارد و رطوبت در تیمارهای ماسه بادی به‌طور متوسط ۲۸ درصد بیشتر از تیمار شاهد بوده و همچنین، بالاترین عملکرد مربوط به تیمارهای ماسه بادی به همراه آبیاری زیرسطحی بوده است.

علاوه بر کاربرد مالچ، از دیگر روش‌های حفاظت خاک استفاده از نانو ذرات می‌باشد که به دلیل داشتن مساحت سطح ویژه بسیار بالا و بارهای سطحی باعث تغییر در رفتار فیزیکی-شیمیایی و پایداری خاکدانه با افزایش چسبندگی، مقاومت برشی، رطوبت بهینه و بیشینه ذخیره آب و همچنین، بهبود خواص گرمایی و مقاومتی در برابر دما می‌شود که طی سال‌های اخیر کاربرد فراوانی در زمینه مهندسی و بهسازی خاک داشته است (Patricia و همکاران، ۲۰۰۷؛ Ghazavi و همکاران، ۲۰۰۹؛ Khalid و همکاران، ۲۰۱۵؛ Rizehbandi و همکاران، ۲۰۲۰). در بررسی اثر نانو ذرات آلومینیوم، مس و رس بر خواص مهندسی خاک مطالعات متعددی صورت گرفته است. Taha و Taha (۲۰۱۲) در بررسی تأثیر افزودن انواع مختلف نانو ذرات شامل نانو آلومینیوم، نانو مس و نانو رس بر روی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های ریزدانه دریافتند که افزودن نانو رس باعث افزایش معنی‌دار مقادیر شاخص‌های رطوبت بهینه، حداکثر تراکم خشک، شاخص خمیری و حد انقباض خاک در مقایسه با سایر تیمارها مورد مطالعه شده است. نتایج مطالعات Song و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی اثر پلیمر پلی‌وینیل‌استات حاوی نانو ذرات سیلیس بر مقاومت برشی و میزان نگهداشت آب در خاک، بیانگر آن است که با افزایش غلظت پلیمر میزان تبخیر از سطح خاک به تدریج کاهش یافته و با بهبود خصوصیات خاکدانه ضمن حفظ رطوبت خاک، میزان ذخیره آب نیز

ضخامت مالچ شن در طول دوره یخ-ذوب، تبخیر تجمعی خاک نسبت به تیمار شاهد به‌طور محسوسی کاهش یافته است. Suminarti و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای مبنی بر تأثیر اندازه و ضخامت مالچ بر دما و رطوبت خاک و همچنین، رشد و عملکرد گیاه چغندرقد در اراضی خشک کشور اندونزی با به‌کارگیری مالچ باگاس نیشکر (به طول‌های ۳۰ و ۱۰ سانتی‌متر) در لایه‌های مختلف (با ضخامت‌های دو، چهار، شش و هشت سانتی‌متر) دریافتند که در تیمار مالچ نیشکر به طول ۱۰ سانتی‌متر با لایه‌هایی با ضخامت دو، چهار، شش و هشت سانتی‌متر بیشینه دمای خاک به ترتیب ۴/۴۱، ۵/۱۷، ۵/۷۰ و ۴/۹ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته و در مقابل کمینه رطوبت خاک به ترتیب ۲/۲، ۴/۵، ۶/۱ و ۱۷ درصد در مقایسه با استفاده از مالچ با طول ۳۰ سانتی‌متر افزایش یافته است. همچنین، میزان عملکرد گیاه در مقایسه با مالچ با طول ۳۰ سانتی‌متر در لایه‌های ذکر شده با افزایش به ترتیب ۳/۰۹، ۱۵/۴۸، ۱۷/۲۵ و ۲۱/۹۲ درصدی همراه بوده است.

در مطالعات صورت گرفته در داخل کشور، Esllami و Farzamia (۲۰۱۰) به بررسی تأثیر مالچ بر میزان تبخیر و حفظ رطوبت در اراضی پسته‌کاری شهرستان سیرجان پرداختند. آنان با استفاده از مالچ‌های پلاستیکی (سفید، سیاه و بی‌رنگ) در لایه‌هایی با ضخامت سه تا پنج سانتی‌متر به‌عنوان پوشش سطحی خاک، دریافتند که میزان تبخیر در تیمارهای همراه با مالچ نسبت به تیمار شاهد کاهش به‌طور معنی‌دار کاهش یافته و با حفظ رطوبت خاک باعث افزایش میزان رطوبت قابل دسترس گیاه شده است. در مطالعه‌ای دیگر، Yusefi و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی اثر مالچ بر تغییرات رطوبت، دما و شار گرمایی خاک در حضور سطح ایستایی کم عمق در مزرعه‌ای در شهرستان اهواز دریافتند که اثر پوشش مالچ بر توزیع رطوبت و حرارت در دو بافت شنی و لومی در سطح یک درصد معنی‌دار و حضور مالچ منجر به ذخیره ۲۵-۲۰ درصدی رطوبت در لایه سطحی خاک شده است. همچنین، آنان دامنه تغییرات روزانه دما در خاک لومی در حضور و بدون حضور مالچ را به ترتیب ۱۱ و ۱۷/۵ درجه سلسیوس و در خاک شنی

بیشینه، تنش اصطکاکی کل کاهش یافته است. در پژوهشی دیگر، Majdi و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثر نانو ذرات رس بر خواص ژئوتکنیکی خاک رسی پرداختند. آنان با تهیه نانوکائولینیت با استفاده از آسیاب گلوله‌ای و ترکیب نسبت‌های متفاوتی از نانو ذرات با خاک رسی، پارامترهای ژئوتکنیکی خاک از قبیل آزمایش‌های تراکم، برش مستقیم و کاساگرانده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر آن بود که با افزودن نانو ذرات به ترکیب خاک در همه سطوح حد روانی و میزان چسبندگی خاک افزایش و شاخص خمیری روند کاهش داشته است. Rizehbandi و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به ارزیابی اثرات مواد آلی و معدنی نوترکیب بر ویژگی‌های رطوبتی خاک های فرسایش‌پذیر در استان خوزستان پرداختند. آنان با استفاده از سه نوع خاکپوش نوترکیب مشتمل بر خاکپوش آلی ترکیب زغال زیستی باگاس نیشکر، صمغ عربی و ژلاتین و خاکپوش هیدروژل تقویت شده با نانو سیلیس (در سه سطح یک، سه و پنج درصد) و اندازه‌گیری ظرفیت نگهداشت آب و شاخص پایداری خاکدانه در خاک‌هایی با بافت سیلت لوم دریافتند که میزان نگهداشت رطوبت خاک و پایداری خاکدانه‌ها با افزایش سطوح کاربردی تمامی مواد اصلاحی به خاک به‌صورت معنی‌داری افزایش یافته و بیشترین میزان ظرفیت نگهداشت آب و پایداری خاکدانه‌ها مربوط به تیمار ترکیب خاکپوش آلی-زغال زیستی و خاکپوش هیدروژل تقویت شده با نانو سیلیس می‌باشد.

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از مالچ و نانو ذرات از جمله مهمترین روش‌های حفاظتی کارآمد به‌منظور بهسازی خواص مکانیکی و مهندسی خاک می‌باشد که بیشترین تأثیر را بر میزان تبخیر، دما و رطوبت خاک دارد و به‌طور عمده بیشتر مطالعات نیز در این زمینه متمرکز می‌باشد. بر این اساس، کاربرد آن در مناطق خشک بالخصوص در کانون‌های فرسایشی، نقطه عطفی به‌منظور ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب برای بهره‌برداری اصولی از منابع آب و خاک بشمار می‌رود که توجه به آن امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. از جمله مناطق خشک و بیابانی کشور که امروزه زوال عرصه‌های طبیعی در آن باعث تخریب محیط زیست و همچنین،

افزایش یافته است. همچنین، با افزایش چسبندگی ذرات مقاومت برشی خاک نیز به‌طور معنی‌دار افزایش داشته است. در پژوهشی دیگر، Kannan و George (۲۰۲۰) به بررسی اثر نانو ذرات رس بر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک رسی پرداختند. آن‌ها با استفاده از نانو رس مونت‌موریلونیت و بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی خاک دریافتند که با افزودن مقادیر مختلف نانو رس (یک، دو و ۳/۵ درصد وزنی) به خاک رس شاخص‌های مقاومت برشی و بیشینه ذخیره آب افزایش و در مقابل بیشینه تراکم خشک و شاخص حد خمیری به‌طور محسوسی کاهش یافته است. نتایج Jili و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای مبنی بر نقش نانو TiO_2 در اصلاح خصوصیات خاک آبرفتی رودخانه یانگ تسه در کشور چین بیانگر آن بود که اثر نانو TiO_2 با غلظت‌های مختلف باعث کاهش حد روانی، حد خمیری و بیشینه تراکم خشک و در مقابل افزایش بیشینه ذخیره آب در مقایسه با تیمار شاهد شده است.

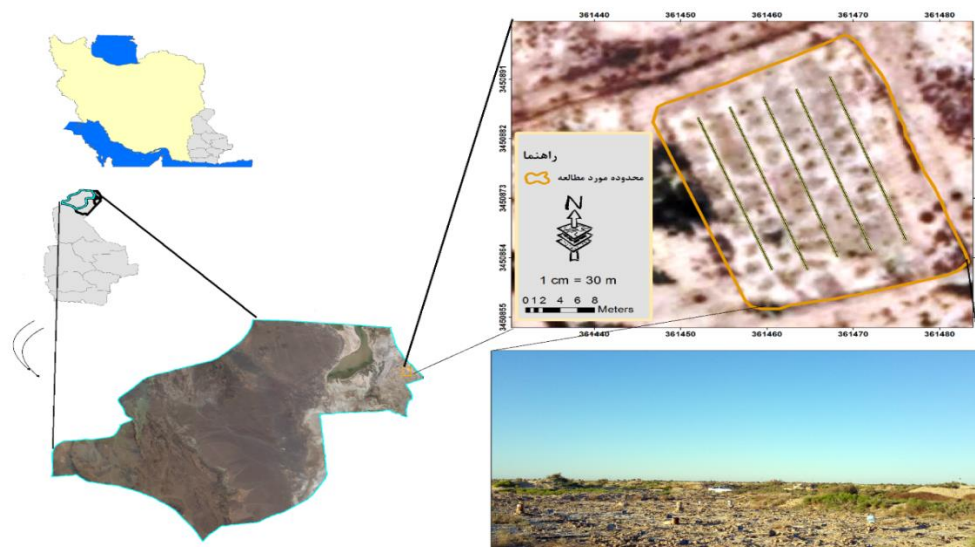
در مطالعات صورت گرفته در کشور نیز Majdi و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر نانو ذرات سیلیس و کائولینیت بر بهسازی خصوصیات مهندسی خاک رسی پرداختند. آنان بر اساس روش مکانیکی و استفاده از آسیاب گلوله‌ای اقدام به تهیه نانو ذرات سیلیس و کائولینیت کرده و با ترکیب نسبت‌های متفاوتی از این نانو ذرات تهیه شده با خاک رسی و بررسی پارامترهای ژئوتکنیکی از جمله آزمایش‌های تراکم، برش مستقیم و مقاومت فشاری تک محوری دریافتند که شاخص‌های حد روانی، تراکم وزن، میزان چسبندگی خاک رسی و مقاومت تک محوری در تیمار نانو سیلیس نسبت به حضور کائولینیت در خاک افزایش و شاخص خمیری کاهش یافته است. Tabarsa (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای مبنی بر تأثیر بهسازی خاک با استفاده از نانو رس در منطقه اینچه‌برون واقع در استان گلستان با انجام آزمایش‌های مختلف ژئوتکنیکی از جمله حدود اتیرگ، تراکم استاندارد، مقاومت فشاری تک‌محوری و مقاومت فشاری سه محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده دریافتند که با افزودن نانو رس شاخص خمیری، درصد رطوبت بهینه، مقاومت فشاری، چسبندگی کل و مقاومت برشی افزایش و در مقابل وزن مخصوص

متری از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). این منطقه مسطح و یک واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی- رودخانه‌ای است که شیب آن حدود ۰/۰۷ درصد است. از لحاظ شرایط اکولوژیکی این محدوده جزء مناطق خشک و بحرانی کشور به حساب می‌آید (Jahantigh و Jahantigh, ۲۰۲۱). متوسط بارندگی این منطقه حدود ۵۶ میلی‌متر که بیشترین درصد ریزش در فصل زمستان صورت می‌گیرد. کمینه و بیشینه دمای منطقه به ترتیب برابر با ۴۹ (تیر ماه) و ۷- (دی ماه) درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میزان رطوبت این ناحیه از کشور پایین ولی میزان تبخیر آن بالا و در حدود ۵۰۰۰ میلی‌متر در سال است که بخش عمده آن در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد اتفاق می‌افتد. از ویژگی‌های بارز منطقه، وزش بادهای شدید از جمله بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است. به طوری که هر ساله به طور متوسط ۱۶۰/۷ روز از سال، وزش باد به همراه گرد و غبار در منطقه وجود دارد که با تخریب زیست‌بوم آن همراه است (Jahantigh و همکاران، ۲۰۲۰). سازندهای منطقه سیستان مربوط به دوران نئوژن-کواترنری، هالئوسن-پلیستوسن است و ساختار زمین‌شناسی آن مربوط به آبرفت‌های ریز، رسوبات رودخانه‌ای، تپه‌ها و میدان‌های ماسه‌ای می‌باشد. بافت خاک منطقه سنگین و به سمت شوری حرکت می‌کند و قابلیت نفوذ آب در آن متوسط تا آهسته است (Jahantigh و Jahantigh, ۲۰۲۱).

گسترش کانون‌های فرسایشی شده، منطقه سیستان است که تخریب خاک متأثر از فرسایش بادی و فقر پوشش گیاهی به دلیل کمبود آب و رطوبت خاک ضمن گسترش مناطق بیابانی باعث تشدید و گسترش طوفان‌های ماسه و پدیده گرد و غبار شده که علاوه بر سیر قهقرایی محیط زیست، حیات ساکنین این منطقه را نیز با تهدید همراه کرده است. از این‌رو، با توجه به موارد ذکر شده و نظر به اهمیت بررسی روش‌های حفاظت خاک و همچنین، نیاز مبرم به ارائه الگوی مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی در منطقه سیستان برای دستیابی به مدیریت اصولی و کارآمد به منظور حفاظت از منابع آب و خاک در این منطقه، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر استفاده از خاکپوش ماسه بادی و نانو ذرات رس در کنار سامانه آبیاری سفالی بر تغییرات دما، رطوبت و برخی شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک در یکی از کانون‌های فرسایشی شهرستان نیمروز در منطقه سیستان صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: منطقه مورد مطالعه در شمال استان سیستان و بلوچستان و در محدوده شهرستان نیمروز با مختصات جغرافیایی ۳۶۱۴۶۶ تا ۳۶۱۵۵۶ طول شرقی و ۳۴۵۰۸۸۶ تا ۳۴۵۰۸۹۶ عرض شمالی در سامانه مختصات UTM با متوسط ارتفاع ۴۸۰



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان نیمروز، استان سیستان و بلوچستان و کشور

روش پژوهش: از آنجا که هدف از اجرای این پژوهش بررسی اثر خاکپوش ماسه بادی و نانو ذرات رس بر تغییرات رطوبتی، دما و برخی شاخص‌های فرسایشی خاک می‌باشد، لذا در ابتدا به شرح تهیه مصالح مورد استفاده در این پژوهش پرداخته شده است.

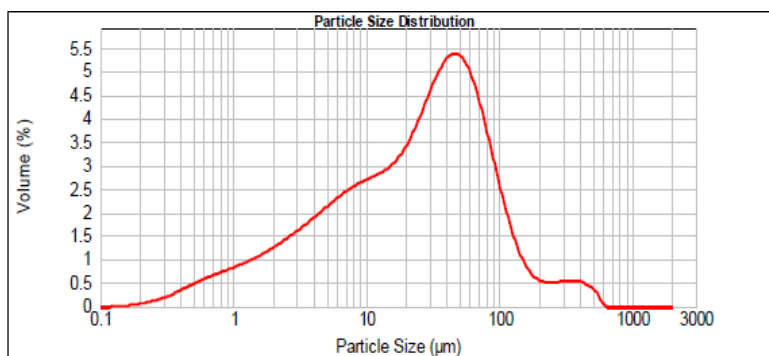
مصالح مورد استفاده:

خاکپوش ماسه بادی: ماسه بادی مورد نیاز برای انجام این پژوهش از یکی از کانون‌های فرسایشی در پنج کیلومتری از شهرستان زابل با مختصات $41^{\circ} 30'$ و $61^{\circ} 29' 44''$ و در حدود سه تن برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد (شکل ۲). در ادامه، پس از آماده‌سازی نمونه‌های برداشت شده با استفاده از روش SLS (Static Light Scattering) تجزیه اندازه ذرات برای این نمونه‌ها انجام شد (SinkoviCova) و همکاران، ۲۰۱۷). در این روش، تجزیه اندازه ذرات بر

مبنای پراکندگی استاتیک نور لیزر می‌باشد. در ادامه، پس از تعیین اندازه ذرات به‌منظور تهیه خاکپوش ماسه بادی، نمودار توزیع اندازه ذرات برای نمونه‌های مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۳). بزرگ‌ترین اندازه ذرات مطابق با نتایج به‌دست آمده برابر با ۳۱۶ میکرون می‌باشد. بدین‌منظور، برای جداسازی بزرگ‌ترین اندازه ذرات از الک شماره ۵۰ مش (برابر با $0/3$ میلی‌متر) استفاده شد. پس از جداسازی اندازه ذرات به‌منظور تعیین ویژگی‌های اسیدیته و هدایت الکتریکی نمونه‌ها، با تهیه گل اشباع ویژگی‌های اسیدیته و هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد که با توجه به میزان بالای هدایت الکتریکی در نمونه‌های مورد بررسی به‌منظور حذف ذرات نمک با استفاده از آب مقطر نمونه‌های برداشت شده مورد آب‌شویی قرار گرفت.



شکل ۲- نمایی از نحوه برداشت (الف) و حمل (ب) رسوبات بادی برای تهیه خاکپوش ماسه بادی از کانون بحرانی شناسایی شده در محدوده شهرستان زابل



شکل ۳- منحنی توزیع اندازه ذرات رسوبات بادی برداشتی با استفاده از روش SLS

سطحی انباشته شده در بستر رودخانه به‌صورت دستی نمونه‌برداری شد. پس از جمع‌آوری نمونه‌های برداشت شده تعیین اندازه ذرات رسوبات سیلابی نیز بر اساس روش SLS انجام شد (SinkoviCova) و همکاران،

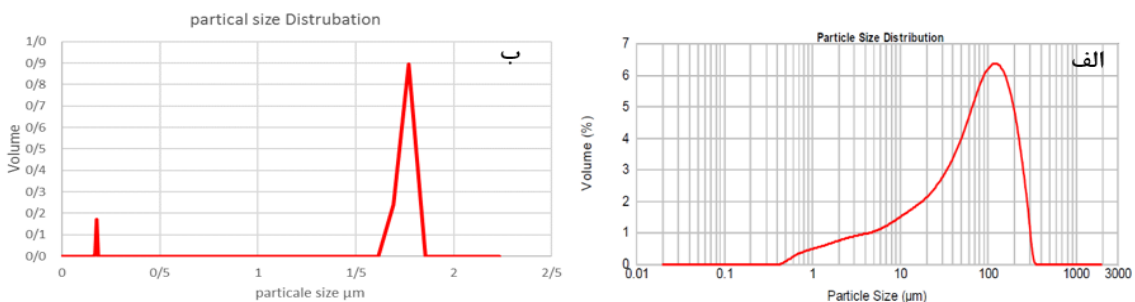
نانو ذرات رس: به‌منظور تهیه نانو ذرات رس از رسوبات سیلابی نهشته شده در بستر رودخانه هیرمند (بازه سیستان رود) استفاده شد. بدین‌منظور، پس از جاری شدن سیلاب و خشک شدن آن از رسوبات

توجه به نتایج اندازه ذرات نمونه‌های پودر شده در حد نانو می‌باشد. همچنین، به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های پودر شده آزمایش‌های BET و Zeta نیز برای نمونه‌ها انجام شد (جدول ۲). برای تعیین عناصر موجود در ذرات پودر شده نیز از روش XRF استفاده شد (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات پودر شده و مطابق با اطلاعات ارائه شده از سوی شرکت سی‌ما-الدریج ۱ کشور آمریکا، که در مطالعات صورت گرفته همچون Yazarloo و همکاران (۲۰۲۰) نیز به آن اشاره شده، این رسوبات دارای شرایط مشابه با نانو رس مونت‌موریلونیت می‌باشد که شامل اکسیدهای TiO_2 , Fe_2O_3 , Li , Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O و CaO در ساختار خود است (ذکر این نکته حائز اهمیت است که بهره‌برداری از این رسوبات در قالب مواد افزودنی به خاک با توجه به از بین رفتن مواد مغذی و کاهش حاصلخیزی خاک در اراضی زراعی تحت تأثیر فرسایش بادی، ضمن حاصلخیز نمودن این اراضی، باعث کنترل یکی از کانون‌های برداشت با ورزش بادی ۱۲۰ روزه سیستان می‌شود).

در ادامه، اقدام به تهیه ذرات نانو از این رسوبات سیلابی شد. از آن‌جا که روش‌های متفاوتی برای تهیه ذرات در حد نانو ارائه شده است، لذا، با توجه به حفظ ماهیت اصلی نمونه‌ها و همچنین، صرفه‌جویی در مدت زمان و هزینه‌های آزمایشگاهی، برای تهیه ذرات نانو از روش مکانیکی استفاده شد (Majdi و همکاران، ۲۰۱۸). بدین‌منظور، پس از انتقال نمونه‌های رسوب به پژوهشگاه علوم و فناوری پیشرفته و علوم محیطی شهرستان کرمان از آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای مدل NARYA MPM-2*250 H برای پودرسازی نمونه‌های رسوب استفاده شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌های رسوب، نمونه‌ها درون آسیاب قرار داده شد و با تنظیم سانتریفوژ، نمونه‌های برداشتی پودر شد (شکل ۴). شرایط مطلوب برای تهیه پودر با استفاده از آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای در جدول ۱ ارائه شده است. در ادامه، به‌منظور تعیین اندازه ذرات نمونه‌های پودر شده از روش (Dynamic Light Scattering) DLS استفاده شد (Malm و Corbett، ۲۰۱۹). در این روش، تحلیل اندازه ذرات بر اساس تفریق مکانیکی نوری صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از تجزیه اندازه ذرات نمونه‌ها در شکل ۵ ارائه شده است که با



شکل ۴- نمایی از دستگاه آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای مورد استفاده (الف) و نمونه‌های پودر شده (ب)



شکل ۵- نتایج تجزیه توزیع اندازه ذرات رسوبات سیلابی قبل و بعد از پودرسازی نمونه‌ها با استفاده از روش مکانیکی (الف): تجزیه اندازه ذرات قبل از پودرسازی با استفاده از روش SLS و ب: تجزیه اندازه ذرات بعد از پودرسازی با استفاده از روش DLS

جدول ۱- شرایط بهینه عملکرد دستگاه آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای مورد استفاده برای تهیه پودر نانو ذرات

پارامتر	سرعت چرخش	مدت زمان	اندازه گلوله‌ها	جنس گلوله‌ها و کاپ
کمیت پارامتر	۲۵۰ Rpm	ساعت ۱۳	۱۰ عدد گلوله ۱۰ mm و ۱۰ عدد گلوله ۱۵ mm	فولاد با سختی ۶۰ راکون سی

جدول ۲- مشخصات فیزیکی نانو ذرات تهیه شده

ویژگی‌ها	مقادیر پارامترها
دانسیته ذرات (gcm^{-3})	۲/۳۵
سطح ویژه (m^2g^{-1})	۲۲۰-۲۷۰
مقدار هدایت الکتریکی (mScm^{-1})	۴/۶۱
رطوبت (درصد)	<۲
پتانسیل زتا	-۱۴/۶

جدول ۳- درصد اکسیدهای تشکیل دهنده شیمیایی ذرات نانو مورد استفاده

اکسیدهای اصلی	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	LOI
درصد	۴۶/۷۲	۱۵/۶۱	۷/۲۶	۷/۷۵	۰/۵۸	۲/۸۹	۴/۵۲	۰/۶۲	۱۳/۳۲

به دلیل خشک‌سالی‌های متناوب و فقر پوشش گیاهی، همواره تحت تأثیر فرسایش بادی می‌باشد و دلیل انتخاب این محدوده قابل اجرا بودن دستاوردهای حاصل از این پژوهش، با توجه به عدم وجود الگوی مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی در منطقه سیستان است. مشخصات فیزیکی خاک مزرعه قبل از انجام آزمایش در جدول ۴ ارائه شده است.

برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای طی عملیات میدانی، در ابتدا با تعیین واحدهای آزمایشی به ابعاد ۳×۳ متر در مرکز هر یک چاله‌هایی به قطر ۴۵ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر در یکی از اراضی کشاورزی واقع در روستای نور محمد از توابع شهرستان نیمروز حفر شد. قابل ذکر است که محدوده مورد مطالعه جزء کانون‌های بحرانی منطقه سیستان بشمار می‌رود که

جدول ۴- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه

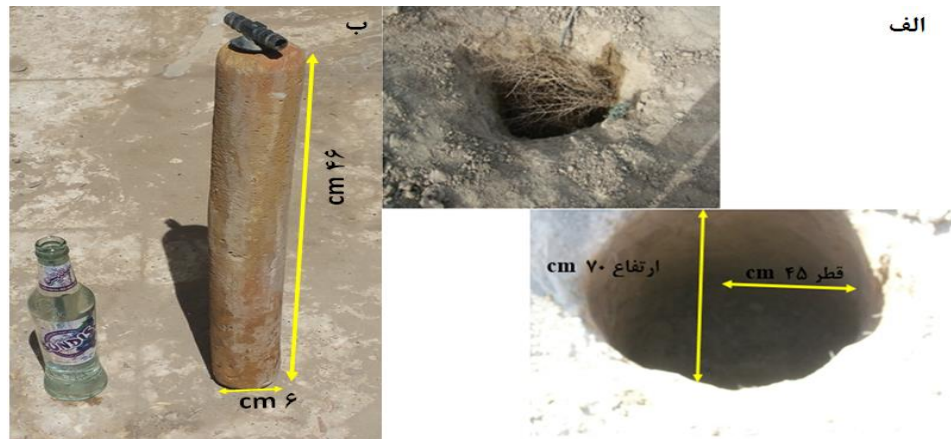
بافت (درصد ذرات)		درصد محلول سدیم	نسبت جذب سدیم	پتاسیم قابل جذب	مجموع کاتیون‌ها	Na ⁺ (Meqlit ⁻¹)	Ca ²⁺ Mg ²⁺ (Meqlit ⁻¹)	کربن (درصد)	شوری	اسیدیته	رس	سیلت	شن
رس	سیلت												
۳۸	۴۲	۴۸	۶/۴	۸۲	۳۷/۷	۱۴/۵	۱۷	۰/۱۵	۲/۸	۸/۳	۲۰	۴۲	۳۸
۲۴	۵۹	۵۷	۸/۶	۱۰۶	۴۹/۵	۲۴/۵	۲۸	۰/۲	۳/۸	۸/۵	۱۷	۵۹	۲۴
۶۶	۱۹	۴۴	۷/۴	۹۲	۴/۳۸	۱۶/۸	۲۳	۰/۱	۲/۶	۸/۴	۱۵	۱۹	۶۶
۵۷	۲۸	۴۲	۷/۲	۷۹	۴/۳۸	۱۶/۳	۲۳	۰/۱	۲/۵	۸/۲	۱۵	۲۸	۵۷

خاک‌برداری، نانو ذرات رس به آن اضافه و بعد از هم‌زدن اولیه با روش دستی، عمل اختلاط با کمک همزن ماشینی با سرعت کم به‌طوری‌که سبب جداسازی نمونه‌های افزودنی نشود، به‌منظور حصول یک نمونه همگن و یکنواخت صورت گرفت و در ادامه، نمونه‌ها پس از انتقال به عرصه درون چاله‌های حفر شده قرار داده شد (Baziar و همکاران، ۲۰۱۰).

آماده‌سازی تیمارهای مورد مطالعه: به‌منظور آماده‌سازی تیمار همراه با خاکپوش، لایه ۱۰ سانتی‌متری خاکپوش ماسه بادی به‌صورت یکنواخت روی سطح خاک چاله‌های حفر شده پاشیده شد. برای آماده‌سازی تیمار مخلوط خاک با نانو ذرات رس در ابتدا، حجم خاک‌برداری شده از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و در ادامه، پنج درصد وزنی حجم

سفال‌های مورد استفاده در این پژوهش از یکی از کارگاه‌های تولیدی در شهرستان فردوس تهیه شد. در ادامه، ضمن اطمینان از سالم بودن سفال‌ها در محل چاله‌های احداثی تعبیه و از طریق لوله پلاستیکی به مخزن آب متصل شد (Sival و همکاران، ۲۰۱۵). نمایی از چاله‌های حفر شده در محدوده مورد مطالعه در شکل ۶- الف و خصوصیات سفال‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر در شکل ۶- ب و جدول ۴ ارائه شده است.

این پژوهش، به‌منظور آبیاری تیمارهای مورد مطالعه از روش آبیاری سفالی استفاده شده است. با توجه به بحران کم‌آبی و نظر به اهمیت موضوع برای ارائه راهکارهای کاربردی برای حفاظت از منابع آب و خاک در منطقه سیستان از روش آبیاری سفالی با توجه به توزیع نسبتاً یکنواخت رطوبت در پروفیل خاک که نقش بسزایی نیز در کاهش مصرف آب و بهبود عملکرد گیاه در مقایسه با روش‌های آبیاری سنتی و مرسوم در منطقه سیستان دارد، استفاده شد.



شکل ۶- نمایی از چاله‌های حفر شده (الف) و سفال‌های مورد استفاده (ب) در منطقه مورد مطالعه

جدول ۵- متوسط خصوصیات سفال‌های مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

هدایت هیدرولیکی اشباع جداره کوزه (day ⁻¹ cm)	جرم مخصوص ظاهری (grcm ⁻³)	حجم تراوش (cm ³ day ⁻¹)	حجم سفال (cm ³)	ضخامت جداره حجم سفال (cm)	سطح جانبی حجم سفال (cm ²)
۱/۲	۱/۶۱	۳۸۷	۴۲۸/۳۷	۱/۲	۸۶۷/۰۸

عمق توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر) است (قابل ذکر است که در این پژوهش، پارامتر D متناسب با بیشینه عمق لوله‌های تعبیه شده برای اندازه‌گیری رطوبت خاک با TDR در نظر گرفته شد). به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک با نصب پروب‌هایی در اعماق ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری خاک و اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه TDR برای بررسی تغییرات رطوبت خاک در تیمارهای مورد مطالعه استفاده شد. همچنین، به‌منظور اندازه‌گیری دمای خاک در تیمارهای مورد مطالعه با نصب ترمومترهایی در اعماق ذکر شده، دمای خاک در سه زمان در طول روز (ساعت ۶:۳۰، ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰) نیز اندازه‌گیری شد. در پایان دوره آزمایش، با توجه به نقش بسزایی پایداری خاکدانه‌ها بر تغییرات رطوبت و دمای خاک،

تیمارهای آزمایشی در این پژوهش عبارتند از: آبیاری سفالی بدون پوشش (شاهد)، آبیاری سفالی با خاکپوش ماسه بادی، آبیاری سفالی با نانو ذرات رس که در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار و ۳۶ نمونه انجام شد. مدت آبیاری در تیمارهای مورد مطالعه تا حد رسیدن رطوبت به ظرفیت زراعی صورت گرفت. میزان حجم آب مورد استفاده در تیمارهای مورد بررسی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$d = (FC - \emptyset) \times P_b \times D / 100 \quad (1)$$

که در آن، d عمق آب آبیاری (mm) برای رسیدن رطوبت در عمق مورد نظر به حد ظرفیت زراعی، FC رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی (درصد)، \emptyset رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری (درصد)، P_b وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و D بیشینه

روش آماری تحلیل واریانس و برای مقایسه میانگین تیمار از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در نرم‌افزار SPSS و همچنین، برای رسم نمودارها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر خاکپوش ماسه بادی و نانو ذرات رس بر رطوبت خاک: نتایج حاصل از بررسی تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک در تیمارهای مورد مطالعه در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس نتایج تأثیر زمان، نوع تیمار و عمق خاک بر مقدار رطوبت حجمی خاک در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین، یافته‌ها بیانگر آن است که اثرات متقابل نوع تیمار با عمق خاک و زمان با نوع تیمار بر مقادیر رطوبت خاک نیز به لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد (در سطح پنج درصد).

نتایج مقایسه میانگین رطوبت خاک در تیمارهای مورد بررسی در شکل ۸ ارائه شده است. در بررسی میانگین اثر متقابل نوع تیمار و عمق (شکل ۸-الف)، یافته‌ها بیانگر آن است که در همه سطوح عمق خاک، تفاوتی معنی‌دار بین رطوبت حجمی خاک وجود دارد (در سطح پنج درصد). همچنین، در هر تیمار با افزایش عمق، مقدار رطوبت حجمی خاک نیز افزایش یافته است (در سطح یک درصد). بیشترین میزان رطوبت حفظ شده در اعماق ۵۰ و ۳۰ سانتی‌متری خاک تیمارهای مورد مطالعه اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین میزان رطوبت ذخیره شده در لایه‌های فوق‌الذکر مربوط به تیمار نانو رس می‌باشد. وجود نانو ذرات در میان ذرات خاک نقش بسزایی در افزایش سطح ویژه، میزان جذب آب و در نتیجه، افزایش ذخیره رطوبت خاک دارد (Suresh و Murugaiyan، ۲۰۱۸). از این‌رو، در تیمار نانو ذرات رس با اضافه نمودن ذرات نانو با سطح ویژه ۲۷۰-۲۲۰ $(\text{gm}^{-2}\text{g}^{-1})$ ، سطح ویژه ذرات خاک افزایش یافته که این فرایند با افزایش جذب آب باعث افزایش ذخیره رطوبت خاک می‌شود.

نمونه‌برداری از تیمارهای آزمایشی انجام شد. بدین‌منظور سه نمونه از عمق صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر با استفاده از اوگر برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. در ادامه، به‌منظور اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها تعیین شاخص میانگین وزنی (MWD)، قطر هندسی (GMD) با استفاده از روش الک خشک صورت گرفت. این روش بر مبنای اندازه‌گیری وزن خاکدانه‌ها با اندازه مشخص استوار است. بدین‌منظور ۳۰۰ گرم از نمونه‌های برداشت شده بر روی سری الک‌هایی با اندازه‌های ۰/۰۵۳، ۰/۰۹، ۰/۱۲۵، ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۸۵، ۱/۱۸، ۱/۷، ۲/۳، ۲/۸، ۳/۳۵ و چهار میلی‌متر قرار داده و به مدت پنج دقیقه تکان داده شد و سپس، خاک باقی‌مانده بر روی هر الک با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شد (Vaezi و همکاران، ۲۰۰۸). به‌منظور برآورد میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و میانگین قطر هندسی (GMD) به‌ترتیب از رابطه‌های (۲) و (۳) استفاده شد (Mahmoodabadi و Arjmand Sajjadi، ۲۰۱۶؛ Karami و همکاران، ۲۰۱۷).

$$MWD = \sum_{i=1}^n XiWi \quad (2)$$

$$GMD = \exp\left[\frac{\sum_{i=1}^n Wi \cdot \log(di)}{\sum_{i=1}^n Wi}\right] \quad (3)$$

که در آن‌ها، MWD میانگین وزنی قطر ذرات خاک، Xi متوسط قطر خاکدانه‌ها در هر طبقه یا متوسط قطر سوراخ الک‌های بالا و پایین، Wi مقدار نسبی خاکدانه‌های با قطر Xi ، n تعداد طبقات اندازه‌ای خاکدانه‌ها و GMD میانگین قطر هندسی خاکدانه‌ها می‌باشد. در شکل ۷، نمایی از آماده‌سازی تیمارهای مورد مطالعه و نحوه اندازه‌گیری پارامترهای مورد مطالعه ارائه شده است.

پارامترهای مورد بررسی طی دو فصل بهار و تابستان در تیمارهای مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۸۶ روزه اندازه‌گیری شد. دلیل انتخاب این بازه زمانی بنا به گزارش‌های ارائه شده با توجه به بیشترین دمای ماهیانه و تغییر در شرایط آب و هوایی و در نتیجه، افزایش میزان تبخیر و کاهش رطوبت خاک در طول سال در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (Jahantigh و Jahantigh، ۲۰۱۹). برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از



شکل ۷- نمایی از آماده‌سازی تیمارهای مورد بررسی و اندازه‌گیری دما و رطوبت در خاک تیمارهای مورد بررسی، الف) جداسازی ذرات ماسه بادی با استفاده از الک، ب) قبل از آماده‌سازی تیمار (خاکپوش ماسه بادی)، پ) بعد از آماده‌سازی تیمار (خاکپوش ماسه بادی)، ج) نحوه اندازه‌گیری رطوبت خاک و دما با استفاده از TDR و ترمومتر، چ) نحوه آبیاری در تیمارها و مخزن آب و د) اندازه‌گیری وزن ذرات نمونه‌های خاک برداشتی بر اساس روش الک خشک

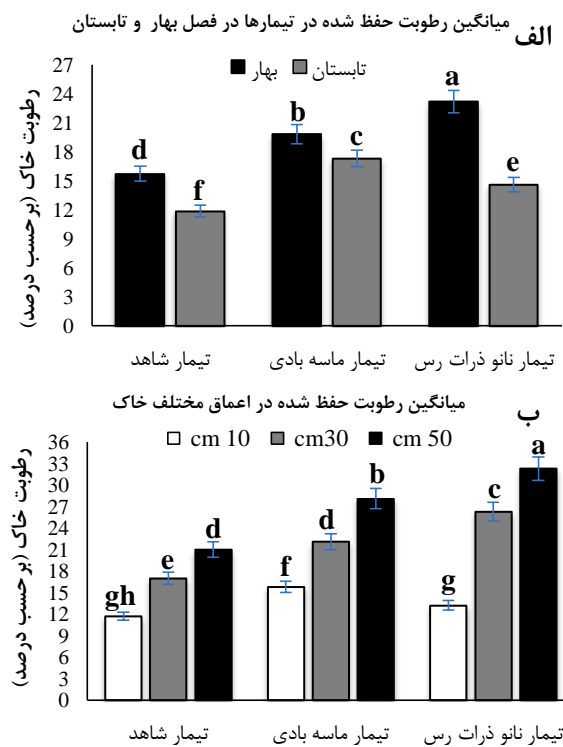
جدول ۶- تجزیه واریانس اثر تیمارها و زمان بر رطوبت و درجه حرارت خاک

میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییر
درجه حرارت خاک	رطوبت		
۵۲/۵ ^{**}	۸۲/۳۱ ^{**}	۱	زمان
۱۱۴/۷۷ [*]	۲۱۷/۳۱ ^{**}	۲	تیمارها
۱۷/۱۵ ^{**}	۱۰۲/۱۳ ^{**}	۲	عمق
۲۷/۴۳ ^{**}	۴۱/۲ ^{**}	۴	عمق × نوع تیمار
۳۹/۲ ^{**}	۲۶/۲۷ ^{**}	۲	زمان × نوع تیمار
۲۶/۳ ^{ns}	۱۹/۳ ^{ns}	۳	تکرار
۰/۴۴ ^{ns}	۲/۲۱ ^{ns}	۱۲	خطا

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار است

به ترتیب ۱/۲ و ۱/۴ برابر بیشتر از میزان رطوبت ذخیره شده در تیمارهای نانو رس و شاهد می باشد. پوشش ماسه بادی در سطح خاک به عنوان یک عایق مانع از تابش مستقیم خورشید به سطح خاک و در نتیجه خنک ماندن آن می شود (Youa, ۲۰۰۹). این فرایند ضمن کاهش تبخیر آب از خاک سطحی باعث افزایش ذخیره آب و در نتیجه، حفظ رطوبت آب در خاک می شود که با نتایج مطالعات Dlamini و همکاران (۲۰۱۷) و Asghari (۲۰۱۸) مبنی بر اثر خاکپوش و مالچ بر کاهش تبخیر و افزایش رطوبت خاک همخوانی دارد. بررسی مقادیر میانگین اثر متقابل زمان و نوع تیمار نیز بیانگر آن است که تغییرات رطوبت خاک در دو فصل بهار و تابستان محسوس می باشد که به لحاظ آماری اختلاف معنی دار دارد.

به طوری که افزایش به ترتیب ۱/۲ و ۱/۶ برابری رطوبت خاک در تیمار نانو ذرات رس در لایه های فوق الذکر نسبت به تیمارهای خاکپوش ماسه بادی و شاهد دال بر این مهم است. در نتایج مشابه، George و Kannan (۲۰۲۰) و Jili و همکاران (۲۰۲۱) افزایش رطوبت خاک با افزودن نانو ذرات رس در خاک را گزارش کرده اند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. آنان افزودن نانو ذرات رس را موجب افزایش سطح ویژه کل و افزایش جذب رطوبت در خاک را گزارش کرده اند که این فرایند را با توجه به خاصیت آبدوستی و جذب رطوبت بالای رس و به تبع آن افزایش ضخامت آب لایه دوگانه در خاک گزارش کرده اند. در بررسی میزان رطوبت ذخیره شده در عمق ۱۰ سانتی متر نیز یافته ها بیانگر آن است که مقدار رطوبت ذخیره شده در تیمار خاکپوش ماسه بادی



شکل ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل زمان و نوع تیمار (الف) و عمق و نوع تیمار (ب) بر رطوبت حجمی خاک (میانگین های دارای حروف غیرمشترک، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی داری دارند)

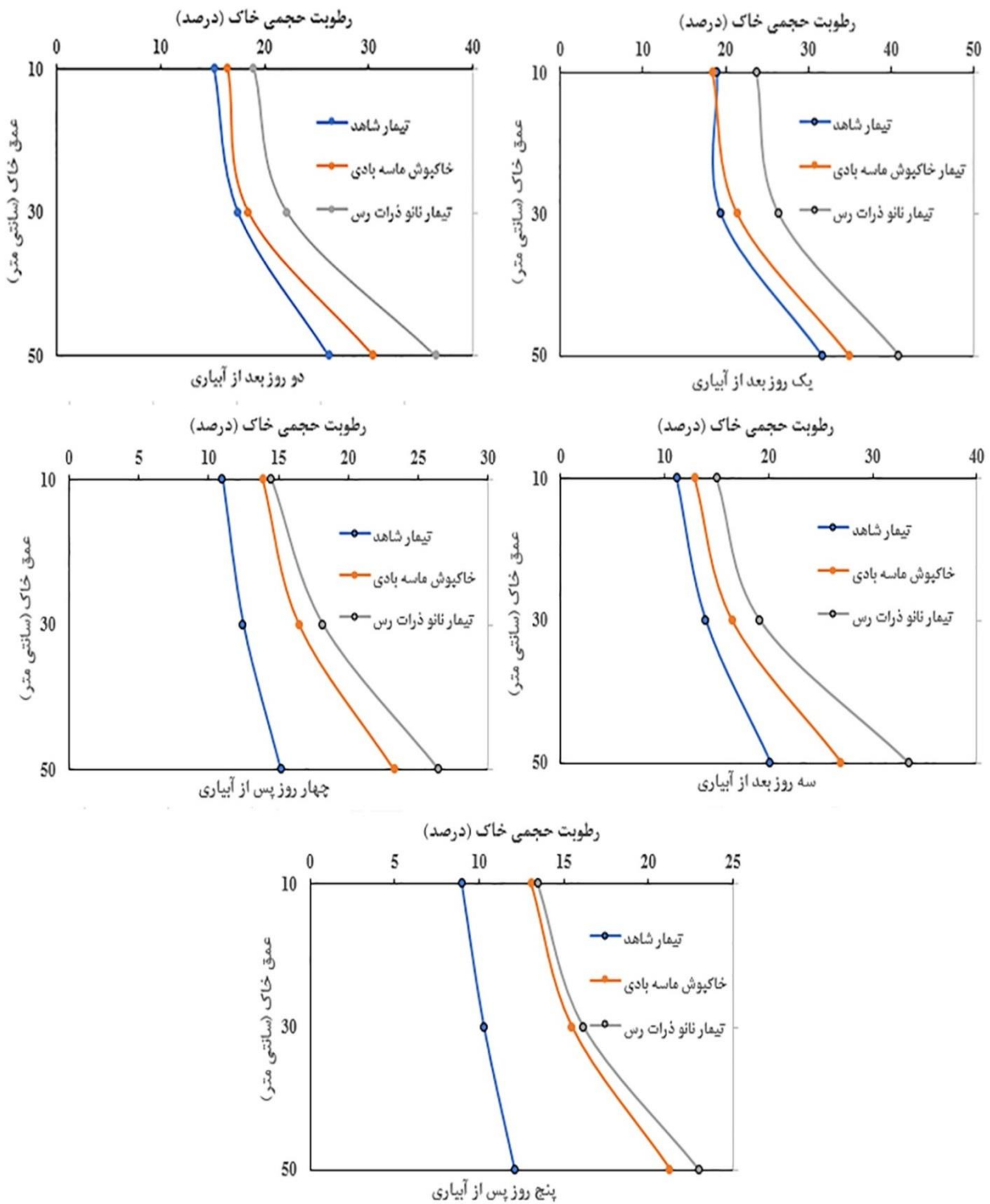
تغییرات رطوبت خاک در فصول مختلف در عمق های ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی متر، تسریع در روند تخلیه رطوبتی خاک در فصل تابستان را نشان داد که برای مقایسه این تغییرات در فصل بهار بازه زمانی پنج روز و در فصل تابستان بازه زمانی سه روز در نظر گرفته شد

با افزایش دما در فصل تابستان میزان تبخیر از سطح خاک نیز افزایش می یابد که این فرایند باعث تسریع در روند تخلیه رطوبتی خاک و در نتیجه، کاهش رطوبت در اعماق مختلف می شود (Ghaemina و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش نیز، بررسی

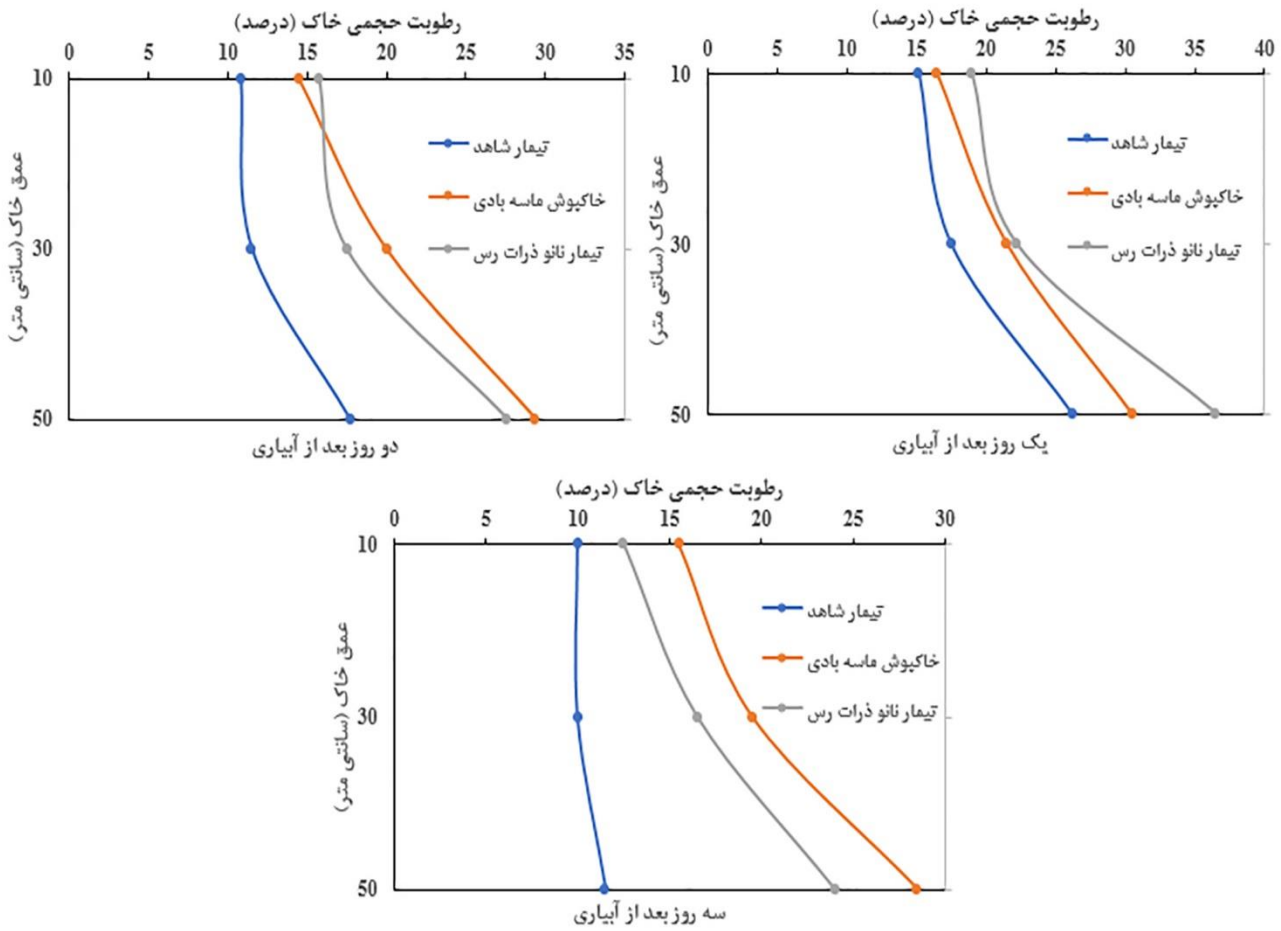
روز از ۲۵/۵ درصد به ۱۱/۹۸ درصد رسیده است که ۶۴ درصد کاهش در میزان رطوبت ذخیره شده در خاک این تیمار را نشان می‌دهد. میانگین رطوبت خاک در تیمارهای خاکپوش ماسه بادی و نانو ذرات رس نیز پس از شروع آزمایش به ترتیب با گذشت نه و ۱۱ روز از ۲۹/۳ و ۳۴/۲ درصد به حد ظرفیت مزرعه کاهش یافته است. با بررسی مدت زمان حفظ رطوبت بین دو آبیاری متوالی (شکل ۱۱-ب)، یافته‌ها گویای این مهم است که نوع تیمار، تأثیر معنی‌داری بر مدت زمان حفظ رطوبت در خاک را دارد که به لحاظ آماری نیز تفاوت معنی‌داری را در سطح پنج درصد نشان می‌دهد. بیشترین مدت زمان حفظ رطوبت خاک در فصل بهار و در تیمار نانو ذرات رس با میانگین هشت روز و کمترین زمان حفظ رطوبت خاک در فصل تابستان و در تیمار شاهد با میانگین حدود ۲/۳ روز مشاهده شد. با مقایسه مدت زمان حفظ رطوبت طی دو فصل بهار و تابستان یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین تغییرات مربوط به تیمار نانو ذرات رس و در رتبه بعدی تیمار شاهد می‌باشد که با کاهش به ترتیب ۶۲ و ۵۳ درصدی مدت زمان حفظ رطوبت همراه می‌باشد. کاهش در میزان رطوبت در تیمار نانو رس را می‌توان به خصوصیات نانو ذرات رس مربوط دانست. به طوری که Gonk و همکاران (۲۰۱۶) عوامل طبیعی از جمله تابش خورشید و بشینه ساعات آفتابی (بیش از ۱۴ ساعت در منطقه مورد مطالعه)، افزایش دما (بیش از ۴۰ درجه در منطقه مورد مطالعه)، اکسیداسیون و شستشو را با گذشت زمان از جمله عوامل مؤثر بر کاهش کارایی نانو ذرات رس بر میزان جذب و ذخیره آب در خاک گزارش کرده‌اند که با نتایج مطالعات Majidi و همکاران (۲۰۱۸) مبنی بر کاهش عملکرد خواص نانو ذرات متأثر از عوامل محیطی نیز هم‌خوانی دارد. در مقابل تیمار همراه با خاکپوش ماسه بادی کاهش کمتری (۲۶ درصد) نسبت به سایر تیمارهای مورد مطالعه داشته است. نتایج نشان می‌دهد که تیمار همراه با خاکپوش ماسه بادی، تأثیرپذیری کمتری نسبت به شرایط آب و هوایی و قابلیت سازگاری بالایی با شرایط اقلیمی در منطقه مورد مطالعه را دارد.

(شکل‌های ۹ و ۱۰). بر اساس نتایج به‌دست آمده، در فصل بهار در فاصله یک روز پس از آبیاری، رطوبت خاک در تیمارهای مورد بررسی تفاوت محسوسی را نشان می‌دهد. به طوری که بیشینه تفاوت رطوبتی در عمق ۱۰ سانتی‌متر در حدود ۶/۵ و ۳/۵ درصد، در عمق ۳۰ سانتی‌متری ۸/۵ و پنج درصد و در عمق ۵۰ سانتی‌متری ۱۰ و شش درصد حجمی است. در لایه سطحی بیشترین کاهش حجمی رطوبت مربوط به تیمار خاکپوش ماسه بادی و در عمق ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد می‌باشد. با بررسی منحنی‌های رطوبتی یافته‌ها بیانگر این مهم است که با گذشت زمان آبیاری، اختلاف رطوبتی لایه‌های مختلف خاک در تیمارهای نانو رس نسبت به تیمار شاهد (بدون مواد اصلاحی) کمتر و در مقابل این اختلاف رطوبتی نسبت به خاکپوش ماسه بادی بیشتر است (شکل ۹). در بررسی تغییرات منحنی‌های رطوبتی تیمارها در فصل تابستان نیز یافته‌ها بیانگر آن است که بیشینه تفاوت رطوبتی در عمق ۵۰ و ۳۰ سانتی‌متر و به ترتیب حدود ۱۰ و ۴/۵ درصد می‌باشد. در عمق ۱۰ سانتی‌متر نیز بیشترین اختلاف رطوبتی برابر با ۷/۴ درصد اندازه‌گیری شد. همچنین، یافته‌ها گویای این مهم است که با گذشت زمان آبیاری، رطوبت حجمی در تیمارهای نانو ذرات رس و تیمار شاهد (بدون مواد اصلاحی) کاهش بیشتری نسبت به تیمار خاکپوش ماسه بادی داشته است. به طوری که میزان رطوبت در عمق‌های ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر با گذشت سه روز در تیمار نانو ذرات رس به ترتیب ۳۴، ۲۶ و ۳۶ درصد و در تیمار شاهد به ترتیب ۳۶، ۴۴ و ۵۶ درصد کاهش یافته است. اما میزان کاهش رطوبت در تیمار خاکپوش ماسه در لایه‌های فوق‌الذکر به ترتیب برابر ۱۵/۵، ۱۹/۵ و ۲۶/۵ درصد می‌باشد (شکل ۱۰).

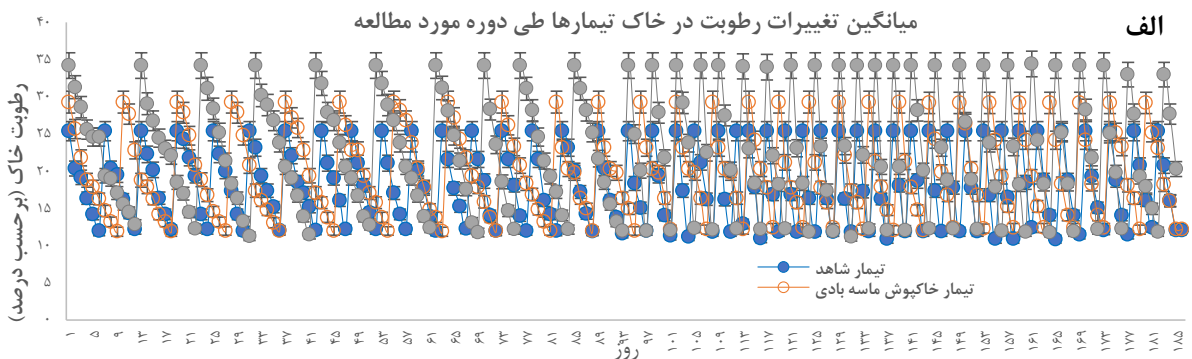
نتایج حاصل از برآورد رطوبت تجمعی خاک در تیمارهای مورد مطالعه برای بازه زمانی ۱۸۶ روزه در شکل ۱۱ ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان رطوبت خاک در تیمارهای مورد مطالعه در فاصله دو آبیاری متوالی تغییرات محسوسی را نشان می‌دهد. در فصل بهار، رطوبت حجمی خاک در تیمار شاهد، پس از شروع آزمایش با گذشت شش



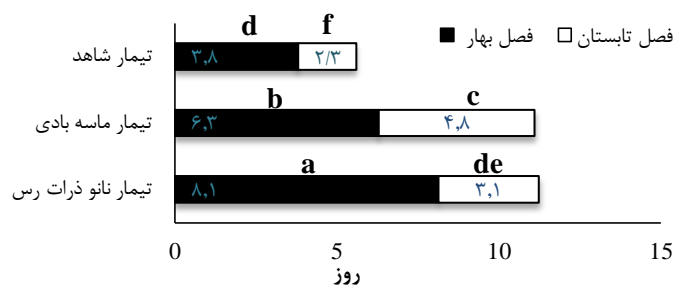
شکل ۹- میانگین تغییرات رطوبت حجمی خاک در تیمارهای مختلف در فاصله بین دو آبیاری متوالی در فصل بهار



شکل ۱۰- میانگین تغییرات رطوبت حجمی خاک در تیمارهای مختلف در فاصله بین دو آبیاری متوالی در فصل تابستان



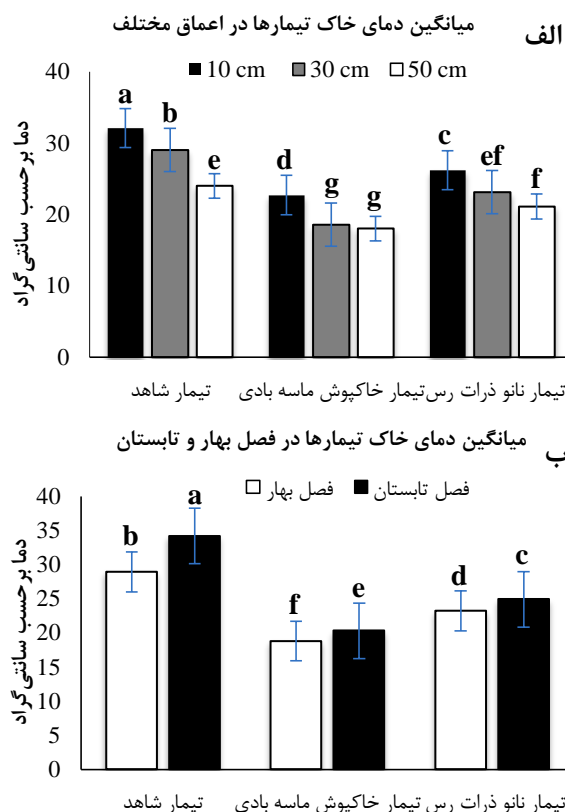
مدت زمان حفظ رطوبت در فاصله دو آبیاری متوالی



شکل ۱۱- تغییرات میانگین رطوبت خاک طی دوره‌های آبیاری در تیمارهای مورد مطالعه (الف)، مدت زمان حفظ رطوبت در فاصله دو آبیاری متوالی در دو فصل بهار و تابستان (ب)

اثر خاکپوش ماسه بادی و نانو ذرات رس بر تغییرات دمای خاک: نتایج تجزیه واریانس اثر سه عامل تیمار، عمق و زمان بر دمای خاک در جدول ۶ ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده یافته‌ها بیانگر آن است که اثر نوع تیمار، عمق و زمان و همچنین، اثر متقابل نوع تیمار با عمق و نوع تیمار با زمان بر دمای خاک معنی‌دار است. به طوری که نوع

تیمار در سطح یک درصد و عوامل عمق و زمان و همچنین، اثر متقابل نوع تیمار با عمق و نوع تیمار با زمان در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری بر دمای خاک دارد. نتایج آزمون مقایسه میانگین تأثیر عمق‌های مختلف و زمان بر میانگین دمای خاک در شکل ۱۲ ارائه شده است.



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر متقابل عمق و تیمار (الف) و زمان و نوع تیمار (ب) بر دمای خاک در فاصله بین دو آبیاری متوالی (میانگین‌های دارای حروف غیرمشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار دارند)

در سطح خاک و در نتیجه، حفظ رطوبت می‌شود که این نتیجه مطابق با نظر Yusefi و همکاران (۲۰۱۹) نقش بسزایی بر تعدیل دمای خاک در پروفیل خاک دارد. به طوری که با ایجاد لایه ۱۰ سانتی‌متری ماسه بادی در سطح خاک یافته‌ها بیانگر آن است که دمای خاک نسبت به تیمارهای شاهد و نانو ذرات رس به ترتیب ۳۳ و ۱۷/۲ درصد کاهش یافته است. در پژوهش‌های مشابه Kader و همکاران (۲۰۱۷) و Aliabadi و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر استفاده از خاکپوش و مالچ نقش را بر کاهش دمای خاک معنی‌دار گزارش کرده‌اند که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. در بررسی اثر

در مقایسه میانگین دمای خاک در اعماق مورد بررسی نیز یافته‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار دمای خاک در سطح پنج درصد در عمق‌های اندازه‌گیری شده است. با توجه به نتایج بیشترین و کمترین میزان دما خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متری به ترتیب برابر با ۳۲/۱۱ و ۲۱/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که مربوط به تیمارهای شاهد و خاکپوش ماسه بادی است. در عمق‌های ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر نیز مطابق با لایه سطحی بیشترین و کمترین مقدار مربوط به تیمارهای شاهد و خاکپوش ماسه بادی است. با توجه به نتایج بخش قبل وجود ماسه بادی باعث کاهش تبخیر از

تیمارهای خاکپوش ماسه بادی و نانو ذرات در ماه فروردین برابر با ۱۸/۶، ۱۹/۶ و در اردیبهشت ماه ۲۱/۳ و ۲۲/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که تقریباً روند مشابهی دارد، ولی طی ماه‌های بحرانی (خرداد، تیر و مرداد) دما در نیمرخ خاک تیمار نانو ذرات رس با تأثیرپذیری بیشتر نسبت به دمای هوا باعث افزایش به‌ترتیب ۱۵/۲، ۱۵/۴ و ۱۹/۵ درصد دمای خاک در تیمار نانو ذرات رس نسبت به تیمار خاکپوش ماسه بادی شده است. این فرایند گویایی این مهم است که با انجام فعالیت‌های پوزولانی (فعالیت‌های متأثر از واکنش‌های ناشی از حضور نانو ذرات در مجاورت خاک) در تیمار نانو ذرات رس و بهبود خواص مکانیکی و مقاومتی خاک (نظیر مقاومت در برابر دما و حرارت) دمای خاک کاهش محسوسی نسبت به تیمار شاهد داشته، در مقابل با توجه به این‌که در تیمار خاکپوش ماسه بادی از یک لایه سطحی خاکپوش در سطح خاک استفاده شده دمای خاک نسبت به سایر تیمارها کمتر است (Amiri و همکاران، ۲۰۱۹؛ Mahdavi و همکاران، ۲۰۱۷). از این‌رو، می‌توان این‌گونه بیان کرد که خاکپوش سطحی و در رتبه بعد تیمار نانو رس عملکرد بهتری نسبت به تغییرات جوی در ماه‌های بحرانی نسبت به تغییرات دمای خاک دارد. از طرفی، در تیمار شاهد نیز با توجه به این‌که هیچ اقدام اصلاحی-حفاظتی در آن انجام نشده، علاوه بر این‌که سطح خاک کاملاً در معرض تغییرات جوی قرار دارد، نبود نانو رس که تأثیر بسزایی بر خواص مقاومتی خاک نسبت به دما دارد، باعث شده تغییرات دمای هوا مستقیماً منجر به تغییرات دمای خاک شود. در همین راستا، Ghaemini و همکاران (۲۰۱۱) بیان داشتند که تغییرات دما در خاک‌های لخت و بدون پوشش سطحی با دمای هوا طی فصول مختلف رابطه مستقیم دارد.

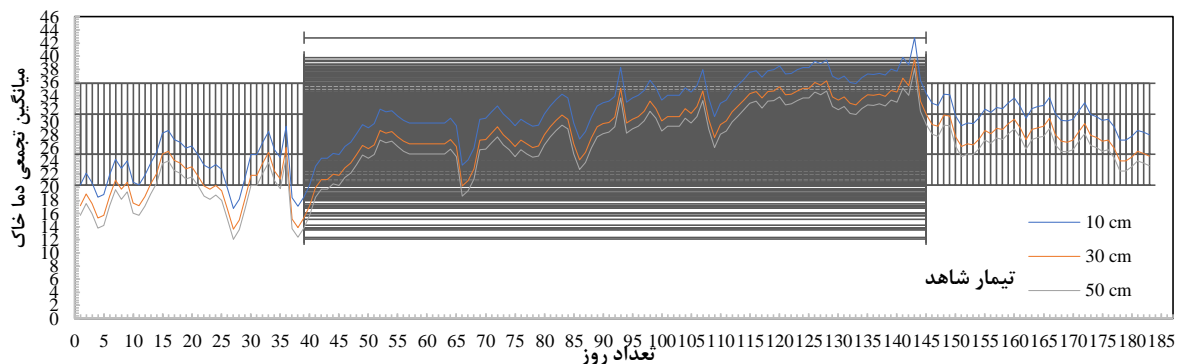
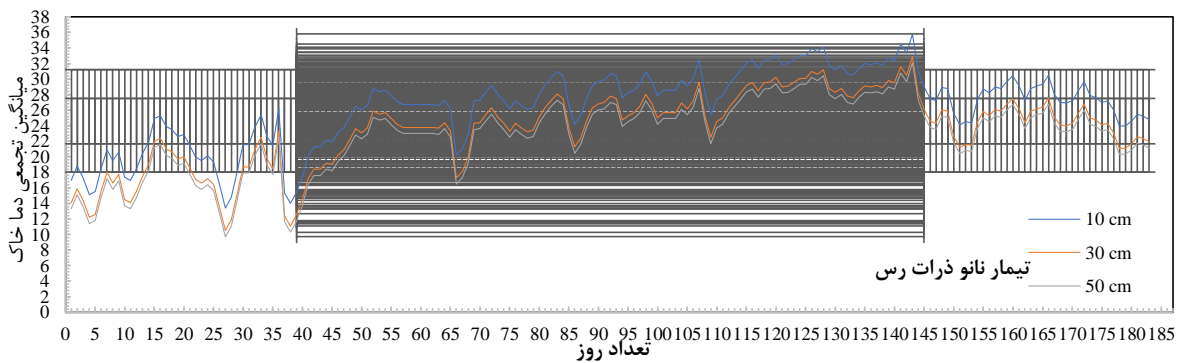
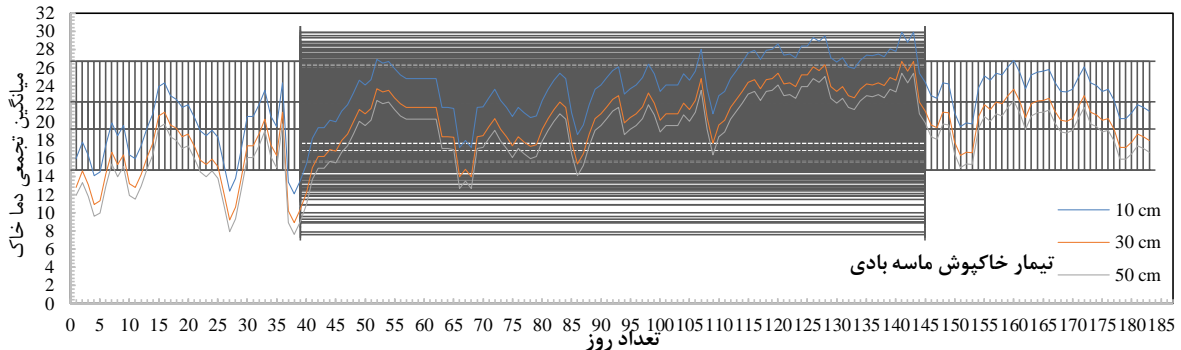
اثر خاکپوش ماسه بادی و نانو ذرات رس بر پایداری خاکدانه‌ها: به‌منظور بررسی تأثیر ساختمان خاک بر توزیع اندازه ذرات و همچنین، خلل و فرج در خاک که اثر قابل توجهی بر میزان تبخیر و در نتیجه، تغییرات رطوبت در خاک دارد، شاخص‌های میانگین وزنی قطر (MWD) و میانگین هندسی قطر (GMD) خاکدانه‌ها برای هر یک از تیمارهای مورد بررسی،

نانو ذرات رس بر دمای خاک نیز یافته‌ها بیانگر کاهش ۱۸/۵ درصدی دمای خاک نسبت به تیمار شاهد می‌باشد. داشتن مساحت سطح ویژه بسیار بالا و بارهای سطحی در ذرات نانو تأثیر بسزایی بر رفتار فیزیکی- شیمیایی و بهبود خصوصیات مهندسی و در نتیجه، بهبود خواص گرمایی و مقاومتی در برابر دما دارد (Patricia و همکاران، ۲۰۰۷؛ Ghazavi و همکاران، ۲۰۰۹؛ Khalid و همکاران، ۲۰۱۵؛ Rizehbandi و همکاران، ۲۰۲۰). از این‌رو، کاهش دمای خاک در تیمار نانو ذرات شاهد را می‌توان به خصوصیات منحصر به فرد این نانو رس و مقاومت آن‌ها در برابر تغییرات دمایی مربوط دانست.

با اندازه‌گیری دمای خاک در اعماق ۱۰، ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر میانگین تجمعی روزانه دمای خاک برای هریک از تیمارها در بازه زمانی مورد مطالعه برآورد شد (شکل ۱۳). بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده طی دوره مورد مطالعه روند تغییرات دمای خاک طی ماه‌های مورد بررسی در تیمارها تغییرات محسوسی را نشان می‌دهد. بیشینه مقدار دما در روز ۲۰ مرداد ماه (۴۳/۸ درجه سانتی‌گراد) رخ داد که میانگین تجمعی دما در تیمارهای شاهد، نانو ذرات رس و خاکپوش ماسه بادی به‌ترتیب ۴۰/۲، ۳۸/۲ و ۳۲/۱ درجه سانتی‌گراد است. همچنین، کمینه دما (۱۹ درجه سانتی‌گراد) در روز یکم فروردین ماه مشاهده شد که دمای خاک در تیمارهای مورد ذکر شده به‌ترتیب برابر با ۱۸/۴، ۱۷/۶ و ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. در طی دوره مورد مطالعه، بیشترین تنش دمایی با دامنه تغییرات بیش از مقادیر میانگین دمای خاک در هر تیمار متأثر از نوسانات جوی در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد و کمترین درصد تغییرات مربوط به ماه‌های فروردین و اردیبهشت مشاهده شد. از این‌رو، در این بازه زمانی (فروردین تا مرداد) بیشترین دامنه تغییرات دمای خاک مربوط به تیمار شاهد (برابر با ۱۰/۲ درجه سانتی‌گراد) و کمترین مقدار درصد تغییرات مربوط به تیمار خاکپوش ماسه بادی (برابر با ۳/۹ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. دامنه تغییرات دمای خاک در دوره مشابه در تیمار نانو ذرات رس نیز برابر با ۶/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین، یافته‌ها گویایی این مهم است که دما در نیمرخ خاک

هندسی (GMD) قطر خاکدانه‌ها، یافته‌ها بیانگر آن است که نوع تیمار اثر معنی‌دار بر شاخص‌های مورد مطالعه در سطح پنج درصد داشته است.

برآورد شد که نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در جدول ۷ ارائه شده است. در بررسی اثر نوع تیمار بر مقادیر شاخص‌های میانگین وزنی (MWD) و میانگین



شکل ۱۳- میانگین دمای خاک در تیمارهای مختلف در طول بازه زمانی ۱۸۶ روزه

جدول ۷- تجزیه واریانس اثر تیمارها و عمق بر پایداری خاکدانه

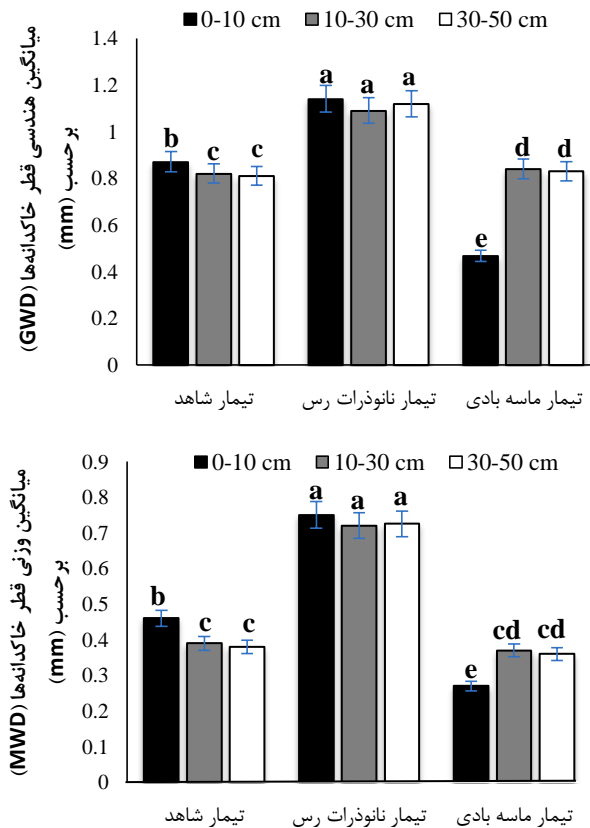
میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییر
میانگین هندسی قطر خاکدانه	میانگین وزنی قطر خاکدانه		
۰/۷۲۷ ^{**}	۰/۵۲ ^{**}	۲	تیمارها
۰/۷۵ ^{ns}	۰/۶۷ ^{ns}	۲	عمق
۰/۵۶ ^{**}	۰/۴۹ ^{**}	۴	عمق × نوع تیمار
۰/۰۴۸ ^{ns}	۳/۲ ^{ns}	۵	خطا

** معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و ^{ns} غیرمعنی‌دار است.

خاکدانه‌ها (MWD) در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری خاک تفاوت معنی‌دار بین خاک تیمارهای مورد

مقایسه مقادیر میانگین شاخص‌های مورد مطالعه بیانگر آن است که شاخص میانگین وزنی قطر

مطالعه را نشان می‌دهد ($P < 0.05$). بیشترین و کمترین مقدار این شاخص برابر با ۰/۷۵ و ۰/۲۷ میلی‌متر می‌باشد که به ترتیب مربوط به تیمارهای نانو رس و خاکپوش ماسه بادی می‌باشد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع تیمار و عمق بر میانگین وزنی قطر (MWD) و میانگین هندسی قطر (GWD) خاکدانه (حروف غیرمشترک نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است)

آن خاکدانه‌های بزرگ‌تر نیز تشکیل نمی‌شود. از این‌رو، شاخص‌های میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در لایه سطحی نسبت به تیمار نانو ذرات رس و شاهد کمتر می‌باشد. این فرایند باعث افزایش خلل و فرج و در نتیجه، افزایش نفوذ در لایه سطحی خاکپوش ماسه بادی می‌شود (Liu و همکاران، ۲۰۰۹). از این‌رو، طی دوره‌های آبیاری با توجه به مکانیسم روش آبیاری سفالی که در آن آب به‌صورت تراوشی در میان ذرات خاک نفوذ می‌یابد، لذا، با افزایش خلل و فرج فرایند نفوذ با گذشت زمان بهبود یافته که به تبع آن باعث افزایش رطوبت در لایه‌های زیرسطحی می‌شود. علاوه بر آن، با افزایش قطر منافذ خاک و به تبع آن کاهش پیوستگی و در نتیجه، کاهش نیروی موئینگی لازم برای صعود آب به سطح خاک، میزان تبخیر از سطح خاک کاهش می‌یابد که این

تغییرات مقادیر شاخص‌های مورد مطالعه در عمق‌های ۳۰-۵۰ و ۱۰-۳۰ سانتی‌متر نیز مشابه با لایه سطحی و مربوط به تیمارهای فوق‌الذکر است. از آنجا که توزیع اندازه ذرات نقش بسزایی در پایداری خاکدانه‌ها در خاک دارد، لذا، با اضافه کردن مواد اصلاحی با اندازه ذرات متفاوت، شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در خاک نیز تغییر می‌یابد (Li و همکاران، ۲۰۰۷؛ Chuai و همکاران، ۲۰۱۳). به‌طوری‌که با اضافه کردن ماسه بادی با میانگین قطر ۰/۲۷ میلی‌متر، شاخص‌های مورد مطالعه در لایه سطحی نسبت به تیمار شاهد ۶۴ درصد کاهش و با اضافه کردن نانو رس (با اندازه ذرات $1/4 \mu\text{m}$) ۳۹ درصد افزایش یافته است. با توجه به یکسان بودن اندازه ذرات ماسه بادی در لایه سطحی به دلیل نبود ذرات ریزدانه، چسبندگی بین ذرات به‌وجود نمی‌آید و به تبع

خاک و بهبود شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها که تأثیر مثبت بر بیلان هیدرولوژیکی داشته، باعث افزایش ۳۰ تا ۴۵ درصدی رطوبت حجمی خاک در لایه‌های زیرسطحی و همچنین، افزایش زمان حفظ رطوبت در خاک و در نتیجه، صرفه‌جویی در مصرف آب در مقایسه با تیمار شاهد شده است. طی ماه‌های بحرانی (خرداد، تیر و مرداد) تیمار خاکپوش ماسه بادی با تقلیل و کاهش تبخیر از سطح خاک باعث افزایش دو برابری مدت زمان حفظ رطوبت در خاک نسبت به تیمارهای نانو ذرات و شاهد شده است که کاربرد قابل توجه آن با توجه به فقر پوشش گیاهی و نقش مؤثر آن در حفاظت از خاک و کنترل فرسایش با تأمین رطوبت مورد نیاز برای استقرار پوشش گیاهی در کانون‌های فرسایشی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همچنین، نتایج نشان داد که مواد مورد استفاده در این پژوهش، به‌منظور تهیه خاکپوش ماسه بادی و همچنین، نانو رس، رسوبات حمل شده طی جریان‌های سیلابی ورودی از کشور افغانستان و رسوبات حاصل از فرسایش بادی در منطقه سیستان است که تأثیر معنی‌داری بر رطوبت، دما و شاخص‌های فرسایشی خاک دارد که در این پژوهش، یکی از کاربردهای این رسوبات به‌منظور اجرای اقدامات حفاظتی خاک نشان داده شد. از این‌رو، با توجه به خشک‌سالی‌های متناوب در منطقه سیستان و همچنین، چالش‌های زیست‌محیطی در این منطقه با استفاده از روش‌های آبیاری زیرسطحی از جمله آبیاری سفالی ضمن اجرای اقدامات حفاظتی با افزایش مدت زمان نگهداری رطوبت در خاک، بستری مناسب برای احیاء پوشش گیاهی و همچنین، مدیریت اصولی منابع آب با توجه به بحران کمبود آب در منطقه سیستان را می‌توان فراهم نمود. همچنین، توصیه می‌شود که با توجه به قابلیت‌های این رسوبات در بهسازی و بهبود ویژگی‌های خاک، مطالعات دیگر برای بهره‌برداری و فرآوری این رسوبات به‌منظور تولید محصولات جانبی از این منابع که یکی از کانون‌های برداشت با وزش بادهای ۱۲۰ روزه در منطقه سیستان و بروز پدیده طوفان‌های شنی و همچنین، پدیده گرد و غبار در منطقه سیستان است، صورت گیرد تا ضمن بهره‌برداری بهینه از این منابع، بستری مناسب برای

روند باعث حفظ رطوبت در لایه زیرسطحی خاک و همچنین، کاهش دما می‌شود (Zhongkui, ۲۰۰۶؛ Asghari, ۲۰۱۸). به‌طوری‌که افزایش معنی‌دار رطوبت ذخیره شده در لایه سطحی و همچنین، کاهش دما در تیمار خاکپوش ماسه بادی نسبت به سایر تیمارها دال بر این مهم است (شکل ۹). اما در بررسی مقادیر شاخص میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها در تیمار نانو ذرات رس، با توجه به عواملی از جمله ریزدانه بودن اندازه ذرات نانو رس، سطح ویژه و خاصیت چسبندگی بالا در آن‌ها، اتصال خاکدانه‌ها به یکدیگر بیشتر است که این امر باعث تشکیل خاکدانه‌های بزرگ‌تر و در نتیجه، افزایش شاخص‌های مورد بررسی در تیمار نانو ذرات رس شده است (Yakupoglu و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به خاصیت آبدوستی در نانو ذرات رس و جذب آب برای تشکیل خاکدانه‌های بزرگ‌تر، لذا، با افزایش جذب آب، رطوبت خاک نیز افزایش می‌یابد. این فرایند بنا به نظر مطالعات صورت گرفته، همچون، Amiri و همکاران (۲۰۱۹) به‌دلیل نیاز رطوبتی بالا برای اتصال نانو رس با توجه به سطح ویژه زیاد آن‌ها به گل و لای آزاد و ذرات درشت خاک است که ضمن افزایش شاخص‌های مورد مطالعه باعث افزایش رطوبت خاک در تیمار نانو رس نیز می‌شود.

نتیجه‌گیری

کمبود نزولات جوی و بروز خشک‌سالی‌های متناوب در مناطق خشک با توجه به بالا بودن میزان تبخیر در این مناطق، ضمن اثر نامطلوب بر بیلان هیدرولوژیکی، باعث کاهش رطوبت خاک می‌شود که این فرایند استقرار پوشش گیاهی در کانون‌های فرسایشی را که عاملی بسیار مهم در حفاظت از خاک و همچنین، کنترل فرسایش بادی بشمار می‌رود را با محدودیت همراه کرده است. از این‌رو، برای تعدیل عوامل فوق‌الذکر در این پژوهش، برای اولین مرتبه در منطقه سیستان به بررسی اثر خاکپوش ماسه بادی و نانو رس در آبیاری سفالی بر تغییرات رطوبت، دما و شاخص‌های فرسایشی در یکی از کانون‌های فرسایشی شهرستان نیمروز پرداخته شد. یافته‌ها نشان داد که خاکپوش ماسه بادی و نانو ذرات رس با کاهش دمای

کنترل این منابع برداشت و جلوگیری از فرسایش آن‌ها به‌وسیله باد در منطقه سیستان نیز فراهم شود.

منابع مورد استفاده

1. Abisha, M.R., S. Anushia, J. Jenitha-Singh, S. Dynisha, and S.A. Lavanya. 2017. Stabilization of weak clay soil using nanoclay. *International Journal Ijariie*, 3(5): 1476-1482.
2. Aliabadi, U.M., A. Vaezi. and J. Jafar Nikbakht. 2019. Temporal variations of soil moisture in relation to precipitation and temperature under fallow and planted conditions in rainfed land. *Journal of Soil and Water Conservation*, 8(2): 135-148 (in Persian).
3. Amiri, M., A. Asakereh and A.H. Farokhdeld. 2019. The effect of combined nanosilica and lime on the improvement of the marl soil engineering properties. *Civil Engineering*, 31(1): 35-53 (in Persian).
4. Baziar, M.H., H. Ghazi and S.M. Mirkazemi. 2010. Effect of nanoclay on engineering properties of soil. 4th International Congress of Geotechnical Engineering and Soil Mechanics, Tehran, Iran.
5. Chen, J., X. Xie, X. Zheng, J. Xue, C. Miao, Q. Du and Y. Xu. 2020. Effects of sand-mulch thickness on soil evaporation during the freeze-thaw period. *Hydrological Processes*, 34: 2830-2842.
6. Chuai, X., X. Huang, L. Lai, W. Wang, J. Peng and R. Zhao. 2013. Land use structure optimization based on carbon storage in several regional terrestrial ecosystems across China. *Journal of Environmental Science and Policy*, 25: 50-61.
7. Cui, H., Z. Jin, X. Bao, W. Tang and B. Dong. 2018. Effect of carbon fiber and nanosilica on shear properties of silty soil and the mechanisms. *Construction and Building Materials*, 189: 286-295.
8. Dlamini, P., I.B. Ukoh. L.D. Van-Rensburg and C.C. du-Preez. 2017. Reduction of evaporation from bare soil using plastic and gravel mulches and assessment of gravel mulch for partitioning evapotranspiration under irrigated canola. *Soil Research*, 55(3): 222-233.
9. Edy, N., B. Suminarti, A. Buyut, S. Pamungkas, S. Fajriani and A. Nur-Fajrin. 2021. Effect of size and thickness of mulch on soil temperature, soil humidity, growth and yield of red beetroot (*Beta vulgaris* L.) In Jatikerto Dry Land, Indonesia. *Asian Journal of Plant Sciences*, 20(1): 33-43.
10. Eslami, A. and M. Farzamnia. 2009. Effect of mulch material on increasing soil water holding capacity and Pistachio yield. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 3: 79-87 (in Persian).
11. George, A. and K. Kannan. 2020. Investigation on the geotechnical properties of nanoclay treated clayey soil. *Science and Management*, 3(2): 453-455.
12. Ghaemini, A.M., H.R. Azimzadeh and M.H. Mobin. 2011. Simulating temperature variations of soil different depths and study of some effective atmospheric parameters, case study: Yazd Synoptic Station. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 18(1): 42-57 (in Persian).
13. Ghazi, H., M.H. Baziar and S.M. Mirkazemi. 2011. Assess of the improvement of the behavior of soil strength in the presence of nanoscale additive. *Assas Journal of Science and Technology*, 1: 45-50 (in Persian).
14. Gong, W., Y. Zang, B. Liu, H. Chen, F. Wu, R. Huang and S.H. Wang. 2016. Effect of using polymeric materials in ecological sand-fixing of Kerqin Sandy Land of China. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(43): 1-7.
15. Herath, H.M.S.K., M. Camps-Arbestian and M. Hedley. 2013. Effect of biochar on soil properties in two contrasting soils: an alfisol and an andisol. *Geoderma*, 210: 188-197.
16. Jahantigh, M. and M. Jahantigh. 2019. Investigating of land use change effect on some soil physicalchemistry characteristics and erosion in arid areas, case study: Hirmand of Sistan. *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 36(4): 92-118 (in Persian).
17. Jahantigh, M., A. Najafinejad, M. Jahantigh and M. Hosseinalizadeh. 2020. Investigating the effect of hydrological drought and traditional utilization (distribution and transmission) of water resources (flood streams) on land degradation and desertification in drylands: a case study of Sistan Plain. *Desert Ecosystem Engineering*, 9(27): 25-46 (in Persian).
18. Jahantigh, M. 2021. Monitoring changes in erosion areas using remote sensing data in three years of wet, normal and drought, case study: Nimroz region of Sistan. *Environmental Engineering Research*, 11(2): 1-26.
19. Jahantigh, M. and M. Jahantigh. 2021. Investigation of wind erosion status and identification of suitable species for soil conservation, case study: Gharghari region, Sistan, Iran. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1(2): 59-68.
20. Jili, Q., Y. Zhang, Q. Weiqing, X. Zhou, H. Lingqing and J. Cheng. 2021. Nano titanium oxide for modifying water physical property and acid-resistance of alluvial soil in Yangtze River Estuary. *Science and Engineering of Composite Materials*, 28: 169-179.
21. Kader, M.A., M. Senge and M. Mojid. 2017. Mulching type-induced soil moisture and temperature regimes and water use efficiency of soybean under rain-fed condition in central Japan. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(4): 302-308.

22. Karami, A., R. Zara and V.A. Jahandideh-Mahjen-Abadi. 2017. Application of fractal theory to quantify structure from some soil orders in Fars Province. *Journal of Water and Soil*, 31(4): 1171-1186 (in Persian).
23. Khalid, N., M. Mukri, F. Kamarudin, A.H. Abdul Ghani, M. Fadzil Arshad, N. Sidek, A.Z. Ahmad-Jalani and B. Bilong. 2015. Effect of nanoclay in soft soil stabilization. *Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference 2014*, Springer, Singapore, 905-914.
24. Liu, J., H. Jiang, S. Bae and H. Huang. 2009. Improvement of water-stability of clay aggregates admixed with aqueous polymer soil stabilizers. *Catena*, 77(3): 175-179.
25. Mahdavi, S.M., M.R. Neyshabouri, H. Fujimaki and A.M. Heris. 2017. Coupled heat and moisture transfer and evaporation in mulched soils. *Catena*, 151: 34-48 (in Persian).
26. Mahmoodabadi, M. and S. Arjmand Sajjadi. 2016. Effects of rain intensity, slope gradient and particle size distribution on the relative contributions of splash and wash loads to rain-induced erosion. *Journal of Geomorphology*, 253: 159-167 (in Persian).
27. Majdi, M., A. Ouromiei and M.R. Nikodel. 2014. Improvement the soil geotechnical charactristical by using nano silica and nano Kaolinite. *Geology and Geotechnic Journal*, 10(3): 231-243 (in Persian).
28. Majdi, M., A. Ouromiei and M.R. Nikodel. 2018. Improve the soil geotechnical charactristical by using nano particale of Kaolinite. *Scientific Quarterly Journal*, 28(109): 221-228 (in Persian).
29. Majeed, Z.H., M.R. Taha and I.T. Jawad. 2014. Stabilization of soft soil using nanomaterials. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8: 503-509.
30. Noor-Alivand, F. and A. Farrokhian-Firouzi. 2020. Investigation of modified biochar, nanoclay and polyvinyl acetate on soil stabilization and wind erosion control of sandy and loamy sand soils. *Reaserch of Water and Soil*, 51(4): 923-935 (in Persian).
31. Patricia, M., L. Yuanzhi and P. Gallagher. 2007. Meter column testing of colloidal silica transport through porous medium. *Innovations in Grouting and Soil Improvement (GSP 136)*, Proceedings of the Sessions of the Geo-Frontiers, Austin, Texas, USA.
32. Rizehbandi, E., A. Khademalrasoul and M. Taghavi Zahedi. 2020. Production of organic and mineral recombinant mulches and their effects on volumetric moisture of erodible soils. *Reaserch of Water and Soil*, 51(8): 2023-2037 (in Persian).
33. Sharifnasab, H. and N. Abbasi. 2016. Effect on nanoclay particles on some physical and mechanical properties of soils. *Journal of Agricultural Machinery*, 6(1): 250-258 (in Persian).
34. Sinkovicova, M., D. Igaz, E. Kondrlova and M. Jarosova. 2017. Soil Particle size analysis by laser diffractometry: result comparison with Pipette Method. *Materials Science and Engineering*, 245: 1-14.
35. Song, Z., J. Liu, Y. Bai, J. Wei, D. Li, Q. Wang, Zh. Chen, D.P. Kanungo and W. Qian. 2019. Laboratory and field experiments on the effect of Vinyl Acetate Polymer-Reinforced Soil. *Applied Sciences*, 9(1): 208-219.
36. Suresh, R. and V. Murugaiyan. 2018. Improvement of clay soil using natural fibers and nano silica: a review. *Indian Journal of Scientific Research*, 17(2): 252-256.
37. Tabarsa, A., N. Latifi, C.L. Meehan and K.N. Manahiloh. 2018. Laboratory investigation and field evaluation of loess improvement using nanoclay, a sustainable material for construction. *Construction and Building Materials*, 158: 454-463 (in Persian).
38. Taha, M.R. and O.M.E. Taha. 2012. Influence of nano-material on the expansive and shrinkage soil behavior. *Journal of Nanopart Research*, 14(10): 1190-1198.
39. Taipodia, J., J. Dutta and A.K. Dey. 2011. Effect of nano particles on properties of soil. *Proceedings of Indian Geotechnical Conference*, December, 15-17.
40. Yakupoglu, T., T. Oztas, F. Kiray and B. Demirkol. 2015. Effect of some polymers on soil-water losses and sediment size depending on initial aggregate size under sequential simulated rainfall. *Procedia Environmental Sciences*, 1: 21-29.
41. Yuan, C., T. Lei, L. Mao, H. Liu and Y. Wu. 2009. Soil surface evaporation processes under mulches of different sized gravel. *Catena*, 78: 117-121.
42. Yusefi, A., A. Farrokhian Firouzi and M. Aminzadeh. 2019. Effect of mulch on soil moisture, temperature and heat flux variation in the presence of shallow groundwater. *Research of Water and Soil*, 50(9): 2213-2225 (in Persian).
43. Vaezi, A.R., S.H.R. Sadeghi, H.A. Bahrami and H.A. Mahdian. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology*, 97(3-4): 414-423.