تأثیر بلند مدت خاک‌پوش ماسه بادی و نانو رس بر خصوصیات فیزیکی ـ شیمیایی و برخی از شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک در مناطق خشک (مطالعه موردی: منطقهٔ نیمروز سیستان)

معین جهانتیغ*: *دانشجوی دکتری گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان*
علی نجفی‌نژاد: *دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان*
منصور جهانتیغ: *دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران*
محسن حسینعلی‌زاده: *دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گرگان*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۸ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۷/۲۴)
DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر خاک‌پوش ماسه بادی و نانو رس بر خصوصیات و شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک است. با آماده‌سازی تیمارهایی متشکل از خاک‌پوش ماسه‌بادی، نانو رس و شاهد در قالب طرح بلوک تصادفی با چهار تکرار، اثرات اقدامات حفاظتی بر ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی و برخی شاخص‌های فرسایش در سه عمق ۱۰-۰، ۳۰-۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر آزمایش شد. یافته‌ها نشان دادکه درصد رس، سیلت و شن، در لایهٔ سطحی تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی و نانو رس نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). همچنین نتایج بیانگر افزایش ۵۶/۴ درصدی رطوبت خاک در تیمار نانو رس و در مقابل، کاهش ۴۳/۷ درصدی آن در خاک‌پوش ماسه‌بادی بود. مقدار اسیدیته، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، سدیم، مجموع کلسیم و منیزیم و کاتیون‌های خاک در تیمارهای نانو رس و خاک‌پوش ماسه‌بادی نسبت به شاهد نیز در اعماق مختلف به‌طور معنی‌دار (P <۰/۰۵) کاهش ولی ماده آلی آنها افزایش یافت. شاخص دلینهیر و دبوت (DDI) در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر، در تیمار نانو رس و خاک‌پوش ماسه‌بادی نسبت به شاهد به‌ترتیب ۶۲/۲ و ۷۹/۴ درصد کاهش یافت. در اعماق ۳۰ -۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر، مقادیر این شاخص در تیمار نانو رس به‌طور محسوس کاهش یافت ولی در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی تفاوت معنی‌داری نداشت. بررسی تغییرات شاخص پراکنش میدلتون (DR) در لایهٔ سطحی بیانگر کاهش به‌ترتیب ۵۴ و ۵۰ درصدی در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی و نانو رس نسبت به شاهد بود که به تغییر توان واگرایی خاک از کلاس واگرایی زیاد به کلاس معتدل منجر شد. در اعماق ۳۰-۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر، مقادیر این شاخص در تیمار نانو رس به‌طور معنی‌دار کاهش یافت و در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی بدون تغییر بود. بر اساس نتایج این تحقیق، کاربرد خاک‌پوش ماسه‌بادی و نانو رس به بهبود مشخصه‌های فیزیکی- شیمیایی خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌ها و در مقابل، کاهش شاخص ناپایداری خاکدانه در خاک منجر شد.

واژگان کلیدی: خاک‌پوش ماسه‌بادی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، شاخص میدلتون (DR)، نانو رس، نیمروز.

* نویسنده مسئول: **moienja23@yahoo.com**

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

۱ـ مقدمه

خاک به‌عنوان بستر حیات در تأمین نیاز غذایی جوامع انسانی نقش به‌سزایی دارد که امروزه تخریب آن در عرصه‌های طبیعی و کشاورزی، از مهم‌ترین چالش‌های ساکنان مناطق خشک است (Sehgal and Abrol, 1994). عواملی از جمله بهره‌برداری نامعقول از اراضی، مصرف بیش از اندازهٔ کودهای شیمیایی، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و شور و سدیمی شدن خاک‌ها، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پدیدهٔ تخریب خاک به شمار می‌رود که وقوع این فرآیندها در مناطق خشک ضمن کاهش حاصلخیزی خاک به کاهش تولید محصولات کشاورزی و محدودیت در استقرار پوشش گیاهی در این مناطق منجر شده‌است (Eslami and Farzamnia, 2009)؛ به‌طوری‌که امروزه بخش قابل‌توجهی از خاک این مناطق، توان سودآوری خود را از دست داده‌اند و از نظر عملی برای کشاورزی و بهره‌برداری مناسب نیستند. علاوه بر این با تخریب ساختمان خاک، شرایطی برای جابه‌جایی ذرات آن به وسیلهٔ باد فراهم می‌شود که از آثار مخرب آن می‌توان به تخریب محیط‌زیست و اکوسیستم در این مناطق اشاره کرد؛ از این رو، با توجه به اینکه خاک تنها منبع تأمین نیاز غذایی بشر است، حفاظت از آن ضمن کاهش تبخیر، از شور شدن خاک جلوگیری می‌کند و با افزایش حاصلخیزی به بهبود عملکرد و رشد گیاه منجر می‌شود (Yang et al, 2020 & Li et al, 2018). بنابراین، بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش مقاومت آن در برابر عوامل فرساینده (آب و باد)، امری ضروری و راهکاری مؤثر برای دستیابی به هدف توسعهٔ پایدار است (Dlamini et al, 2017). از جمله روش‌های مهم و کارآمد برای بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، استفاده از مالچ (قرار دادن مواد آلی یا غیرآلی در سطح خاک) است که به کنترل فرآیندهایی از جمله تخریب فیزیکی ـ شیمیایی و بیولوژیکی خاک منجر می‌شود و ضمن افزایش تولید محصول، به افزایش میزان بهره‌وری از آب نیز می‌انجامد (Zhao et al, 2014 & Parmanik et al, 2015 & Kamal and Singh, 2008).

مطالعات متعددی در زمینهٔ بررسی تأثیر خاک‌پوش بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک صورت گرفته‌است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود: Yang و همکاران (2014) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر بلند مدت مالچ سنگریزه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های لسی پلاتیو در کشور چین پرداختند. آنان با اندازه‌گیری پارامترهای کربن آلی، اسیدیته، فسفر، منیزیم، آهن، منگنز، روی، چگالی ظاهری و بافت خاک طی یک دورهٔ شانزده ساله دریافتند که در تیمارهای همراه با مالچ، مقادیر پارامترهای چگالی ظاهری، درصد شن، اسیدیته، کربن آلی و فسفر به‌طور معنی‌دار افزایش و در مقابل، مقادیر آهن، منیزیم و روی کاهش یافته‌است. همچنین مقادیر کلسیم و مس نیز در طول دورهٔ مورد مطالعه بدون تغییر بوده‌است. در تحقیقی دیگر، Qu و همکاران (2019) اثر چند مالچ را بر تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و رشد گیاه سوفورا در اعماق ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متر بررسی کردند و این امر در گلدان‌های خیابانی در مسیر جادهٔ زیژین منطقهٔ حیدیان در کشور چین انجام شد. آنان با اندازه‌گیری میزان تخلخل، میکروپوزیته، مواد آلی، ازت کل، نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب در اعماق مختلف دریافتند که در تیمارهای همراه با مالچ، میزان تخلخل کل، میکروپوزیته، مواد آلی، ازت کل، نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب در اعماق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت؛ اما مقادیر این پارامترها در عمق ۴۰-۲۰ سانتی‌متر تفاوت معنی‌داری نداشت.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

در مطالعات صورت گرفته در کشور، Sepahvand (2010) به بررسی اثر مالچ سنگریزه بر خصوصیات فیزیکی خاک پرداخت که این امر بر روی دو قطعه زمین در تراس‌های رودخانه‌ای اطراف رودخانهٔ کشکان واقع در جنوب استان لرستان صورت گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از مالچ سنگریزه و شن در قطعه زمین زیر کشت خیار به مدت سی سال در مقایسه با قطعه زمین شاهد (بدون مالچ‌پاشی)، به افزایش معنی‌دار سنگریزه از ۱۹/۸ به ۲۶/۹ درصد، شدت نفوذ آب از ۰/۷۵ به ۸/۷۵ سانتیمتر بر ساعت، کاهش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها از ۱/۶۴ به ۱/۰۲ میلی‌متر و تغییر کلاس بافت خاک از لوم رسی (شاهد) به لوم شنی منجر شده‌است. در تحقیقی دیگر، Ascarzadeh و همکاران (2017) به بررسی نقش مقادیر مختلف درصد شن بر برخی از شاخص‌های فیزیکی خاک لوم سیلتی در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه کشاورزی ارومیه پرداختند. نتایج بیانگر آن بود که بیشترین مقدار رطوبت خاک، در تیمارهای همراه با ده و بیست درصد سنگریزه صورت گرفت و به‌ترتیب برابر با ۰/۳۲۲ و ۰/۲۶۹ cm^3/cm^3 بود. همچنین افزایش مقادیر سنگریزه از مقدار طبیعی پنج درصد به سی درصد، به ترتیب به افزایش ۱۱ و ۲۵۴ درصدی چگالی ظاهری (BD) و مدت زمان نفوذ آب در خاک (T_I) منجر شد. Asghari (2019) نیز در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر مالچ سنگریزه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در اراضی بایر شندآباد از توابع شهرستان شبستر پرداخت. وی با اندازه‌گیری ویژگی‌های اسیدیته، هدایت الکتریکی، درصد آهک، ماده آلی و شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها دریافت که در بالاترین سطح، استفاده از سنگریزه به افزایش معنی‌دار پایداری خاکدانه (٪ ۴۶/۵) و رطوبت خاک مزرعه (۴۲/۹٪) و در مقابل، کاهش معنی‌دار آهک (۱۵/۱٪) و مقاومت فروروی خاک (۵۹/۳٪) در مقایسه با تیمار شاهد منجر شده؛ این در حالی است که سطوح کاربردی سنگریزه بر اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک تأثیر معنی‌داری نداشته‌است. علاوه بر کاربرد مالچ از دیگر روش‌های حفاظت خاک، استفاده از نانو ذرات است که با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد از جمله مساحت سطح ویژهٔ بسیار بالا و بارهای سطحی، به تغییر در رفتار فیزیکی ـ شیمیایی، بهبود خصوصیات مهندسی و پایداری خاکدانه منجر می‌شود. در طی سال‌های اخیر، استفاده از این روش در زمینهٔ مهندسی و بهسازی خاک کاربرد زیادی داشته‌است (Rizehbandi et al, 2020 & Khalid et al, 2015 & Ghazavi et al, 2009 & Patricia et al, 2007). Taha و Taha (2016) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر نانو آلومینا و نانو مس بر هدایت هیدرولیکی و اسیدیتهٔ خاک پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر کاهش معنی‌دار مقدار هدایت هیدرولیکی و در مقابل، افزایش اسیدیتهٔ خاک بود. نتایج مطالعات Song و همکاران (2019) در بررسی اثر پلیمر پلی وینیل‌استات حاوی نانو ذرات بر مقاومت برشی و میزان نگهداشت آب در خاک نسبت به تیمار شاهد نشان داد که افزایش غلظت پلیمر ضمن بهبود پایداری خاکدانه‌ها در خاک، به افزایش معنی‌دار میزان ذخیرهٔ آب نیز منجر شده‌است. همچنین با افزایش چسبندگی ذرات در خاک، مقاومت برشی خاک نیز به‌طور معنی‌دار افزایش داشته‌است. در تحقیقی دیگر، George و Kannan (2020) 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 (۱، ۲ و ۳/۵ درصد وزنی) به خاک رس، شاخص‌های مقاومت برشی و حداکثر ذخیرهٔ آب افزایش و در مقابل، حداکثر تراکم خشک و شاخص حد خمیری به‌طور محسوسی کاهش یافته‌است. نتایج پژوهش Asakereh و Avaze (2017) در بررسی تأثیر نانو رس بر خصوصیات شیمیایی و برخی شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک‌های واگرا در

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

شهرستان میناب هرمزگان، بیانگر آن بود که با افزودن نانو رس به خاک، مقادیر سدیم و نسبت جذب سدیم خاک کاهش و در مقابل، مقادیر مجموع کلسیم و منیزیم افزایش یافته‌است. آنان همچنین گزارش کردند که افزودن نانو رس به خاک، به کنترل پدیدهٔ واگرایی خاک و تغییر آن از کلاس واگرایی شدید به کلاس واگرایی معتدل منجر می‌شود. Rizehbandi و همکاران (2020) در تحقیقی به ارزیابی اثرات مواد آلی و معدنی نوترکیب بر ویژگی‌های رطوبتی خاک‌های فرسایش‌پذیر در یکی از کانون‌های بحرانی 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 نانوسیلیس (در سه سطح ۱، ۳ و ۵ 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 غلظت مقادیر مواد اصلاحی به خاک به‌صورت معنی‌داری افزایش یافته و بیشترین میزان ظرفیت نگهداشت آب و پایداری خاکدانه‌ها، مربوط به تیمار ترکیب خاک‌پوش آلی ـ زغال زیستی و خاک‌پوش هیدروژل تقویت شده با نانوسیلیس است. در مطالعه‌ای دیگر، Daraei و همکاران (2020) به بررسی تأثیر نانو ذرات آهن و منیزیم بر خصوصیات شیمیایی و پایداری خاکدانه‌ها طی یک دورهٔ سه ساله در استان همدان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از نانو ذرات، مقادیر شاخص‌های اسیدیته، هدایت الکتریکی و درصد کربنات کلسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی در تیمارهای حاوی نانو ذرات نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته‌است. همچنین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای نانو اکسید منیزیم و نانو اکسید آهن نسبت به تیمار شاهد، به‌ترتیب ۱۲۴۲ و ۱۷۳ درصد افزایش یافته‌است.

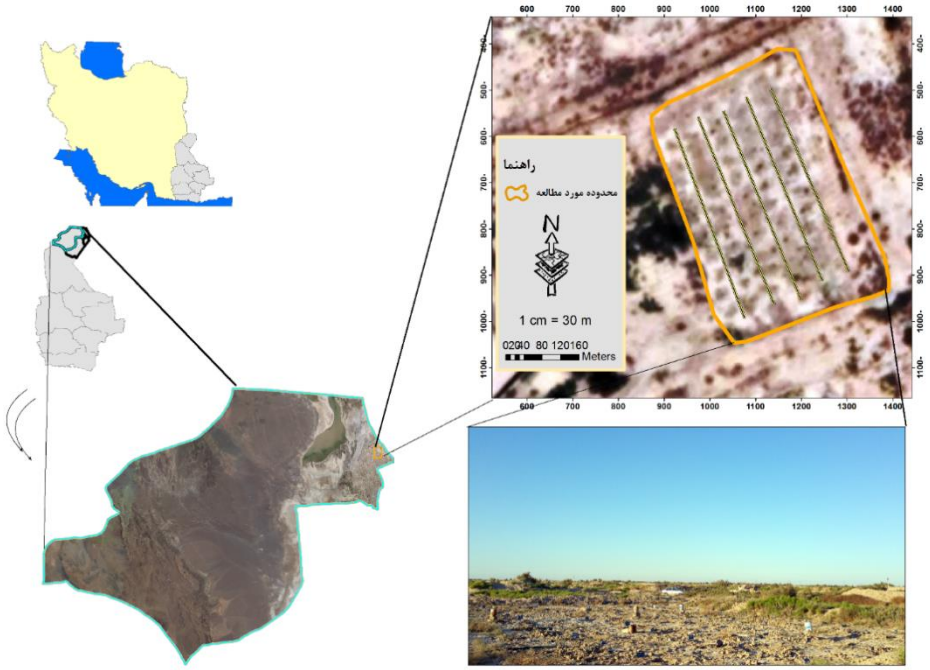
بررسی پیشینهٔ تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از مالچ و نانو ذرات، از جمله مهم‌ترین روش‌های حفاظتی کارآمد است که بیشترین تأثیر را بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و پایداری خاکدانه‌ها در خاک دارد و به‌طور عمده، بیشتر مطالعات نیز در این زمینه متمرکز می‌باشد ولی تاکنون مطالعات جامعی به‌منظور مقایسهٔ میزان اثرگذاری این اقدامات حفاظتی بر خصوصیات فیزیکی ـ شیمیایی و شاخص‌های فرسایشی خاک صورت نگرفته‌است. اجرای مطالعات در این زمینه ضمن بررسی میزان اثرگذاری هر یک از اقدامات حفاظتی بر خصوصیات خاک، قابلیت اجرایی و سازگاری این روش‌ها را متناسب با شرایط محیطی تبیین می‌کند که توجه به آن به‌منظور ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب برای بهره‌برداری پایدار از منابع آب و خاک در مناطق خشک، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. از جمله مناطق خشک و بیابانی کشور ـ که امروزه از بین رفتن عرصه‌های طبیعی در آن، به تخریب محیط‌زیست و گسترش کانون‌های فرسایشی منجر شده ـ منطقهٔ سیستان است که تخریب خاک در آن، تحت‌تأثیر فرسایش بادی و فقر پوشش گیاهی به دلیل کمبود آب و رطوبت خاک قرار دارد و این امر ضمن گسترش مناطق بیابانی، به تشدید و گسترش طوفان‌های ماسه‌ای و پدیدهٔ گرد و غبار منجر می‌شود و علاوه بر سیر قهقرایی محیط‌زیست، حیات ساکنان این منطقه را نیز با تهدید مواجه می‌سازد؛ از این رو، با توجه به موارد ذکر شده و با توجه به اهمیت بررسی روش‌های حفاظتی خاک و نیاز مبرم به ارائه الگوی مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی در منطقهٔ سیستان، همچنین برای دستیابی به مدیریت اصولی و کارآمد برای بهره‌برداری پایدار از منابع خاک در این منطقه، این تحقیق با هدف بررسی اثرات بلند مدت استفاده از خاک‌پوش ماسه‌بادی و نانو ذرات رس بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک در یکی از کانون‌های فرسایشی شهرستان نیمروز در منطقهٔ سیستان صورت گرفت.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

۲ـ مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد پژوهش

منطقهٔ مورد پژوهش، در شمال استان سیستان و بلوچستان و در محدودهٔ شهرستان نیمروز و از توابع روستای نورمحمد با مختصات جغرافیایی ۶۱ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقهٔ عرض شمالی با متوسط ارتفاع ۴۸۰ متری از سطح دریا واقع شده‌است (شکل ۱). این منطقه، مسطح و یک واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی ـ رودخانه‌ای است که تغییرات شیب در آن حدود ۱/۴۰۰۰ می‌باشد. از لحاظ شرایط اکولوژیکی، این محدوده جزء مناطق خشک و بحرانی کشور به شمار می‌رود و در حد فاصل دو کانون بحرانی نیاتک و شندک قرار دارد. متوسط بارندگی این منطقه، حدود ۵۶ میلی‌متر است که بیشترین درصد ریزش در فصل زمستان صورت می‌گیرد. میانگین درجه حرارت گرم‌ترین و سردترین ماه سال نیز به‌ترتیب برابر با ۳۴ (تیر ماه) و ۹/۲ (دی ماه) درجهٔ سانتی‌گراد است. این ناحیه از کشور، رطوبت پایینی دارد ولی میزان تبخیر آن بالا و در حدود پنج متر در سال است که بخش عمدهٔ آن در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد اتفاق می‌افتد. از خصوصیات بارز این منطقه، وزش بادهای شدید از جمله بادهای ۱۲۰ روزهٔ سیستان است؛ به طوری که هر ساله به‌طور متوسط ۱۶۰/۷ روز از سال در آن باد به‌همراه طوفان و گرد و غبار می‌وزد که متلاشی شدن زیست‌بوم آن را در پی داشته‌است (Jahantigh et al, 2019). سازندهای منطقهٔ سیستان، مربوط به دوران نئوژن ـ کواترنری، هالئوسن ـ پلیستوسن است و ساختار زمین‌شناسی آن، مربوط به آبرفت‌های ریز، رسوبات رودخانه‌ای، تپه‌ها و میدان‌های ماسه‌ای، مخروط افکنهٔ جوان، پهنه‌های گراولی و پادگانه.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

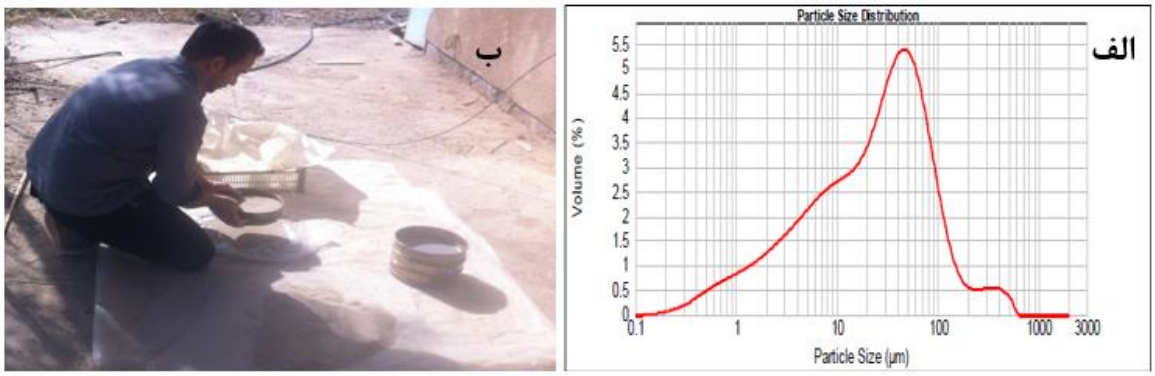
روش پژوهش

اجرای این پژوهش با توجه به هدف تحقیق در چهار مرحله انجام شد: تهیهٔ مواد مورد استفاده، عملیات میدانی، کارهای آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل داده‌ها که در ادامه به هر یک از آنها پرداخته خواهد شد (Asakereh and Avaze, 2017 & Majdi et al, 2014 & Jahantigh, 2013 & SinkoviCova et al, 2017)

الف تهیهٔ مصالح مورد استفاده

۱ـ خاک‌پوش ماسه بادی

ماسه بادی مورد نیاز برای اجرای این پژوهش، از یکی از کانون‌های فرسایشی در حد فاصل پنج کیلومتری شهرستان زابل با مختصات ″۳۰′۱۴ °۳۰ و ″۴۴′۲۹ °۶۱ درجه برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. در ادامه پس از آماده‌سازی نمونه‌های برداشت شده، آنالیز اندازه ذرات بر اساس روش sls[1] صورت گرفت (Sinkovi Cova et al, 2017). در این روش، اندازهٔ ذرات براساس الگوی پراکندگی استاتیک نور لیزر تعیین شد. پس از تعیین اندازه ذرات به‌منظور تهیهٔ خاک‌پوش ماسه‌بادی، نمودار توزیع اندازه ذرات برای نمونه‌های مورد مطالعه تهیه و در ادامه برای جداسازی بزرگ‌ترین اندازه ذرات (برابر با ۳۱۶ میکرون)، از الک شمارهٔ پنجاه مش (برابر با ۰/۳ میلی‌متر) استفاده شد (شکل ۲). پس از جداسازی اندازه ذرات با تهیهٔ گل اشباع ویژگی‌های اسیدیته، هدایت الکتریکی، ماده آلی، فسفر و مجموع کلسیم و منیزیم اندازه‌گیری شد. با توجه به میزان بالای هدایت الکتریکی در نمونه‌های مورد بررسی به‌منظور حذف ذرات نمک، نمونه‌های برداشت شده با استفاده از آب مقطر آبکشی شد. در جدول ۱، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌پوش ماسه‌بادی تهیه شده ارائه شده‌است.



شکل۲: منحنی توزیع اندازه ذرات رسوبات بادی برداشتی با استفاده از روش SLS (الف) و جداسازی بزرگ‌ترین اندازه ذرات رسوبات بادی با استفاده از الک (ب)

[1] Static light scattering

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی ـ شیمیایی خاک‌پوش ماسه بادی مورد استفاده در آزمایش

نمونه برداشتی	مجموع کلسیم و منیزیم	فسفر	درصد وزنی رطوبت	هدایت الکتریکی ا (dS/m)	اسیدیته	ماده آلی (%)	وزن خصوص (g/cm^3)	ذرات بافت			بافت خاک
								شن	سیلت	رس	
ماسه بادی	۰	۰	۸	۰/۳	۷/۲	۰	۱/۶۱	۱۰۰	–	–	Sand

۲ـ نانو ذرات رس

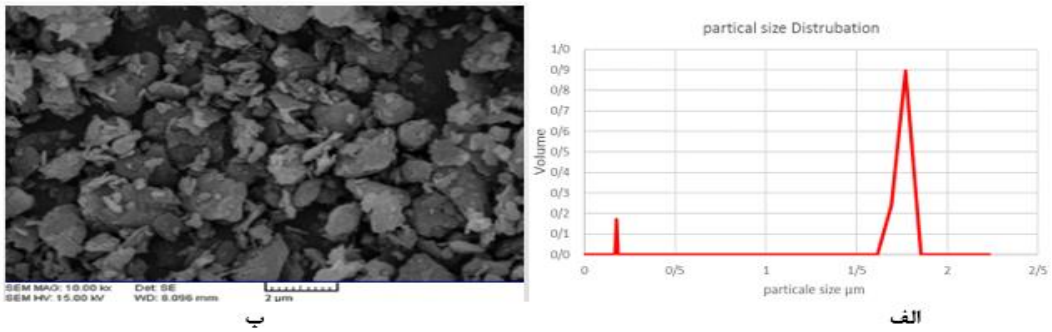
به‌منظور تهیهٔ نانو ذرات رس، پس از جاری شدن سیلاب و خشک شدن آن از رسوبات سطحی انباشته شده در بستر رودخانه به‌صورت دستی نمونه‌برداری و اندازهٔ این ذرات بر اساس روش SLS انجام شد. در ادامه، نانو ذرات از این رسوبات سیلابی تهیه شد. برای تهیهٔ ذرات در حد نانو روش‌های متفاوتی ارائه شده‌است که با توجه به حفظ ماهیت اصلی نمونه‌ها و صرفه‌جویی در مدت زمان و هزینه‌های آزمایشگاهی، برای تهیهٔ این ذرات از روش مکانیکی استفاده شد (Majdi et al, 2018)؛ بدین منظور، نمونه‌های رسوب به پژوهشگاه علوم و فنّاوری پیشرفته و علوم محیطی شهرستان کرمان منتقل و برای پودرسازی آنها از آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای مدل NARYA MPM-2*250 H استفاده شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌های رسوب، این نمونه‌ها درون آسیاب قرار گرفت و با تنظیم سانتریوفوژ، پودر شد (شکل ۳).



شکل ۳: نمایی از دستگاه آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای و نمونه‌های پودر شدهٔ مورد استفاده در تحقیق حاضر

در ادامه به‌منظور تعیین اندازه ذرات نمونه‌های پودر شده، از روش DLS یا تفریق مکانیکی نوری و روش میکروسکوپی الکترونی (SEM) استفاده شد که نتایج حاصل از آنالیز اندازه ذرات بیانگر تبدیل اندازه ذرات در حد نانو است (شکل ۴). به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی نمونه‌های پودر شدهٔ آزمایش‌های Zeta و BET و برای تعیین عناصر موجود در ذرات پودر شده، از روش XRF استفاده شد (جدول ۲ تا ۳). با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوبات پودر شده و مطابق با گزارش‌های ارائه شده از سوی شرکت سی ما ـ الدریچ کشور آمریکا، نمونه‌های پودر شده شرایط مشابهی با نانو رس مونت موریلونیت دارد که در ساختار خود اکسیدهای KO_2،SiO_2 ، Al_2O_3، MgO، Na_2O، Li وFe_2O_3، TiO_2 و CaO دارد و در مطالعات صورت گرفته از سوی Yarzlo و همکاران (۲۰۲۰) نیز به آن اشاره شده‌است.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]



شکل ۴: نتایج آنالیز توزیع اندازه ذرات رسوبات سیلابی بعد از پودرسازی نمونه‌ها با استفاده از روش مکانیکی (الف: آنالیز اندازه ذرات بعد از پودرسازی با استفاده از روش DLS، ب: نتایج آنالیز میکروسکوپی SEM نمونه‌های پودر شده)

جدول۲: مشخصات فیزیکی نانو ذرات تهیه شده

ویژگی‌ها	مقادیر پارامترها
g/cm^3(دانسیته ذرات)	۲/۳۵
اندازه ذرات	کوچک‌تر از ۱/۷۷ µm
سطح ویژه (m^2/g)	۲۷۰-۲۲۰
مقدار هدایت الکتریکی mS/cm	۴/۶۱
رطوبت (٪)	٪ <۲
پتانسیل زتا	-۱۴/۶

جدول۳: درصد اکسیدهای تشکیل دهندهٔ شیمیایی ذرات نانو مورد استفاده

اکسیدهای اصلی	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	LOI
درصد	۴۶/۷۲	۱۵/۶۱	۷/۲۶	۷/۷۵	۰/۵۸	۲/۸۹	۴/۵۲	۰/۶۲	۱۳/۳۲

عملیات میدانی

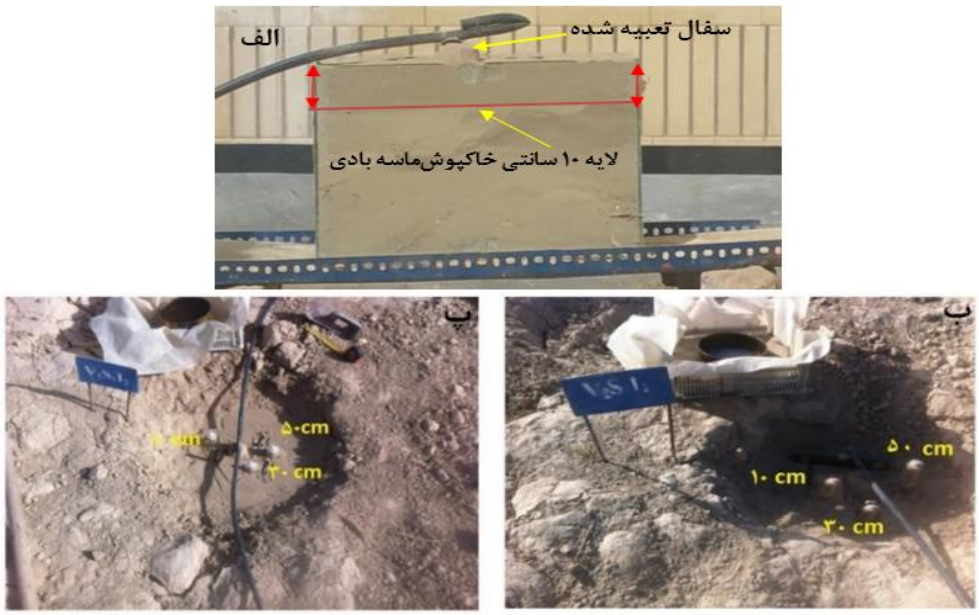
پژوهش حاضر از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۰ و به مدت یک سال و نیم، در یکی از اراضی کشاورزی رها شده واقع در روستای نورمحمد از توابع شهرستان نیمروز اجرا شد. طی عملیات میدانی، پلات‌هایی به ابعاد ۳ × ۳ متر و با فاصلهٔ ۳ متر از یکدیگر تعیین و در مرکز هر پلات چاله‌هایی به طول ۴۵ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر حفر شد (Jahantigh, 2013). منطقهٔ مورد مطالعه به دلیل خشکسالی‌های متناوب و فقر پوشش گیاهی، همواره تحت‌تأثیر فرسایش بادی است و دلیل انتخاب این محدوده، قابل اجرا بودن دستاوردهای حاصل از این پژوهش با توجه به فقدان الگوی مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی، برای بهسازی و حفاظت خاک در منطقهٔ سیستان است.

آماده‌سازی تیمارهای مورد مطالعه

برای آماده‌سازی تیمارها، در ابتدا حجم خاک‌برداری برای هر چالهٔ حفر شده از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برای تهیهٔ خاک‌پوش ماسه‌بادی، لایه‌ای ده سانتی‌متری از خاک‌پوش تهیه و به‌صورت یکنواخت روی سطح خاک

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

چاله‌های حفر شده پاشیده شد. برای آماده‌سازی تیمار مخلوط خاک با نانو ذرات رس، پنج درصد وزنی (پنج درصد وزنی از حجم خاک‌برداری شده) نانو رس به صورت دستی با خاک مخلوط شد. عمل مخلوط کردن به منظور دستیابی به یک نمونهٔ همگن و یکنواخت به مدت سی دقیقه ادامه یافت. سپس نمونه‌ها پس از انتقال به عرصه، درون چاله‌های حفر شده قرار گرفت. ذکر این امر لازم است که به منظور کاهش اثر عوامل محیطی از جمله وزش بادهای ۱۲۰ روزه بر تیمارهای مورد مطالعه، سطح خاک جایگزین شده در تیمارها بعد از عملیات خاک‌برداری، بیست سانتی‌متر پایین‌تر از سطح زمین در نظر گرفته شد. آبیاری تیمارهای مورد مطالعه با استفاده از روش سفالی انجام شد. ارتفاع و قطر سفال‌های مورد استفاده در این تحقیق نیز به‌ترتیب ۴۶ و ۶ سانتی‌متر بود. سپس در کنار این سفال‌ها گیاه چای ترش کشت شد. تیمارهای آزمایشی در این پژوهش عبارتند از: تیمار بدون پوشش (شاهد)، با خاک‌پوش ماسه بادی و نانو ذرات رس که در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. در شکل ۵، نمایی از نحوهٔ آماده‌سازی تیمارهای مورد مطالعه در محیط آزمایشگاهی و محدودهٔ اجرای طرح ارائه شده‌است.



شکل ۵: الف) نمایی از تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی شبیه‌سازی شده در پلان شیشه‌ای در محیط آزمایشگاهی، ب) قبل از آماده‌سازی تیمار (خاک‌پوش ماسه بادی) در محدودهٔ اجرای طرح ، پ) بعد از آماده‌سازی تیمار (خاک‌پوش ماسه بادی) در محدودهٔ اجرای طرح

آنالیز آزمایشگاهی

در پایان دورهٔ آزمایش به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی ـ شیمیایی و شاخص‌های پایداری خاکدانه، از عمق‌های ۰ تا ۱۰، ۱۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر با استفاده از آوگر برداشت و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها اندازه‌گیری شد. برای تعیین بافت خاک، از روش چگالی‌سنجی با قرائت ۹ زمانه استفاده شد (Gee and Or, 2002)؛ بدین منظور با جداسازی ذرات (با مخلوط کردن مقدار مشخصی از محلول هگزا متافسفات‌سدیم با نمونه‌ها و قرار دادن آن در دستگاه همزن برقی) و قرار دادن چگال‌سنج (ASTM -۱۵۲H)، درصد شن، سیلت و رس مشخص شد (شکل ۶-الف). همچنین به‌منظور افزایش دقت نتایج، تصحیحات لازم با توجه به متفاوت بودن وزن مخصوص خاک نمونه‌ها و تغییر شرایط دمایی در محیط آزمایشگاهی صورت گرفت (Anders et al, 2014). در بررسی خصوصیات شیمیایی

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

خاک، پس از تهیهٔ گل اشباع با استفاده از دستگاه pH سنج، اسیدیتهٔ نمونه خاک اندازه‌گیری و عصارهٔ نمونه‌ها توسط پمپ خلأ استخراج (شکل ۶- ب)، سپس میزان هدایت الکتریکی این عصاره‌ها توسط دستگاه هدایت‌سنج برحسب دسی‌زیمنس بر متر (dS/m) قرائت شد (Miller and Curtin, 2006). برای تعیین غلظت عنصر سدیم و پتاسیم در عصارهٔ اشباع، از دستگاه طیف‌سنج نوری استفاده شد (Bagheri et al, 2018). شاخص‌های مجموع کلسیم و منیزیم عصارهٔ اشباع بر اساس روش تیره کردن با ورسین، فسفر خاک به روش اولسن[1] (Olsen and Sommer, 1982) و ماده آلی بر اساس روش والکلی ـ بلاک (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد. برای محاسبهٔ نسبت جذب سدیم (SAR) نیز از رابطهٔ ۱ استفاده شد:

$$SAR= Na^{+} / \sqrt{[(Ca^{+} Mg^{+}) /۲]}$$ رابطهٔ ۱

برای بررسی درصد سدیم محلول (SSP) از رابطهٔ ۲ استفاده شد:

$$SSP = (Na / Ca^{+2} + Mg^{+2} + k^{+} + Na^{+}) \times 100$$ رابطهٔ ۲

و برای درصد رطوبت خاک (SP) از رابطهٔ ۳ استفاده شد (Jahantigh et al, 2018 & Moqbeli et al, 2014).

$$SP = (Wmoist – Wdry / Wdry) \times 100$$ رابطهٔ ۳

در معادلات بالا غلظت عناصر سدیم، کلسیم و منیزیم بر حسب میلی اکی والان بر لیتر است.



شکل۶: نمایی از انجاجرایام آزمایش هیدرومتری (الف) و عصاره‌گیری از نمونه‌های گل اشباع تهیه شده (ب).

برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک در تیمارهای مورد مطالعه، از شاخص‌های دلینهیر و دبوت (DDI) و شـاخص میدلتون (DR) استفاده شد. در شاخص دلینهیر و دبوت (DDI)، مبنای ارزیابی پایداری ساختمان خاک بر پایهٔ تفاوت

[1] Olsen

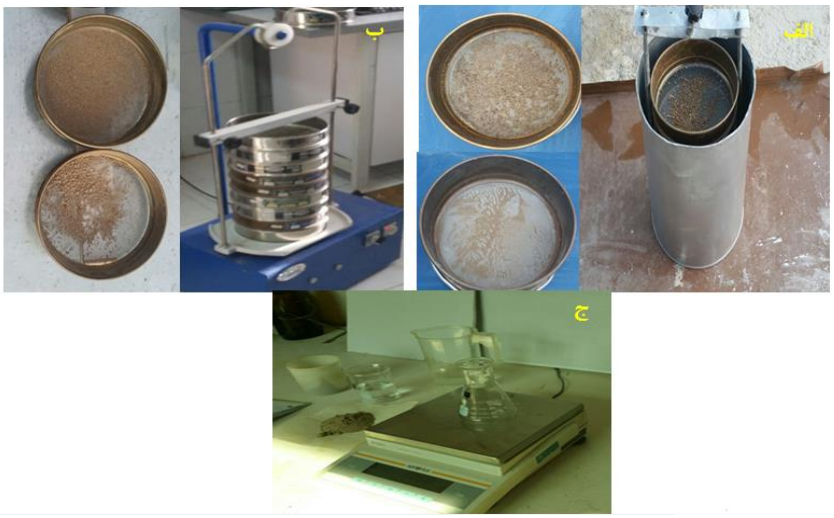
[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

شاخص میانگین وزنی (MWD) خاکدانه‌ها در دو حالت الک خشک و الک تر است. در این پژوهش، این شاخص بر اساس رابطهٔ ۴ محاسبه شد:

$$DDI=1/MWDdry-MWDwet$$ رابطهٔ ۴

که در آن، MWDdry و MWDwet به‌ترتیب میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در روش‌های الک خشک و تر است. بررسی پایداری خاکدانه‌ها در روش الک خشک با استفاده از سری الک‌هایی به قطر ۱، ۰/۴۲۵، ۰/۳، ۰/۲۵، ۰/۱۰۶، ۰/۰۷۵، ۰/۰۳۲ و ظرف جمع‌آوری ذرات کوچک‌تر ۰/۰۳۲ میلی‌متر صورت گرفت (هشت طبقه‌بندی). علت انتخاب الک‌های مذکور با توجه به نوع دانه‌بندی متفاوت خاک تیمارهای مورد مطالعه ــ که از ذرات ماسهٔ درشت با اندازهٔ بزرگ‌تر از یک میلی‌متر تا مواد سیلتی و ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۳۲ میلی‌متر تشکیل شده‌است ــ صورت گرفت. برای تعیین اندازه ذرات نمونه‌ها در حالت تر نیز از یک لیتر آب مقطر و پنج درصد محلول هگزا متافسفات‌سدیم استفاده شد. پس از پایان مرحلهٔ الک کردن و خشک کردن (برای اندازه‌گیری ذرات در حالت تر)، خاک باقی‌مانده بر روی هر الک با ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم وزن شد. در شکل ۷، مراحل اندازه‌گیری وزن ذرات در حالت الک خشک و تر نمایش داده شده‌است. به‌منظور برآورد میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) از رابطهٔ ۵ استفاده شد (Karami et al, 2017& Mahmoodabadi and Arjmand Sajjadi, 2016).

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} Xi\ Wi$$ رابطهٔ ۵



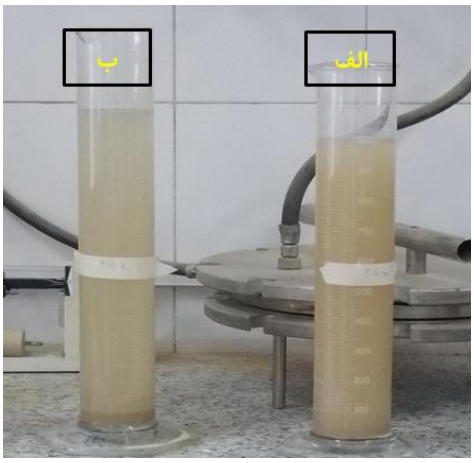
شکل۷: الف) اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها در حالت تر، ب) اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها در حالت خشک، ج) اندازه‌گیری وزن ذرات نمونه‌های خاک برداشتی

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

در بررسی مقاومت خاکدانه‌ها به شکستگی و پراکندگی، از شاخص پراکنش میدلتون (۱۹۳۰) استفاده شد. این شاخص بیانگر پایداری خاکدانه‌ها تحت استرس رطوبتی است که بر اساس رابطهٔ ۶ برآورد شد.

$$DR=(\%silt+\%clay)w/(\%silt+\%clay)c$$ رابطهٔ ۶

که در رابطهٔ بالا w و c بیانگر پراکندگی در آب مقطر و کالگون است. در این پژوهش برای تعیین شاخص میدلتون، از روش هیدرومتری دوگانه استفاده شد. در این آزمایش، دانه‌بندی ذرات خاک با روش هیدرومتری استاندارد در دو حالت تعیین شد و نتایج حاصل شده، با یکدیگر مقایسه و پتانسیل واگرائی بر اساس این مقایسه ارزیابی شد (شکل ۸). در یک مرحله، آزمایش هیدرومتری طبق روش استاندارد و با کمک مادهٔ شیمیایی پراکنده ساز (محلول هگزا متافسفات‌سدیم) و با استفاده از همزن مکانیکی صورت گرفت. در مرحلهٔ بعدی، این آزمایش بدون استفاده از محلول شیمیایی پراکنده‌ساز (فقط استفاده از آب مقطر) و همزن مکانیکی انجام شد (Gee and Bauder, 1986 & Rasheed, 2016). برای طبقه‌بندی شاخص پراکنش میدلتون نیز از روش طبقه‌بندی ارائه شده توسط Walker (1997) استفاده شد (جدول ۴). ذکر این امر مهم است که با توجه به افزایش میزان شوری و کاهش حاصلخیزی خاک در منطقهٔ سیستان، بخش قابل توجهی از اراضی این منطقه از مرحلهٔ سودآوری خارج شده و وقوع فرسایش بادی و تخریب خاک در این اراضی، به گسترش کانون‌های فرسایشی در این منطقه منجر شده‌است. انتخاب متغیرهای مورد بررسی در این پژوهش با توجه به نقش به‌سزایی که آنها بر حاصلخیزی و شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک ایفا می‌کنند، صورت گرفته‌است.



شکل ۸: نمایی از آزمایش هیدرومتری دوگانه، الف) پراکنش ذرات در حالت استفاده از مادهٔ شیمیایی پراکنده‌ساز (محلول هگزا متافسفات‌سدیم)، ب)پراکنش ذرات در حالت بدون استفاده از مادهٔ شیمیایی پراکنده‌ساز (فقط محلول آب مقطر) در قرائت زمانی یکسان

جدول ۴: طبقه‌بندی شاخص میدیلتون بر اساس طبقه‌بندی Walker (1997)

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

مقدار	طبقهٔ واگرایی
٪ ۵۰ <	واگرایی زیاد
۳۰ تا ۵۰ ٪	واگرایی معتدل
۱۵ تا ۳۰ ٪	تا حدی واگرا
۱۵<	غیر واگرا

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در ادامه به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS 23 استفاده شد؛ بدین منظور، در ابتدا با بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف ـ اسمیرنوف استفاده شد (Tamamrtash et al, 2016). مقایسهٔ میانگین پارامترهای مورد بررسی نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد انجام شد (Pichand, 2017 & Vahabzadeh Kebria et al, 2016).

نتایج

خصوصیات فیزیکی خاک

نتایج حاصل از مقایسهٔ آماری خصوصیات فیزیکی خاک، در جدول ۵ ارائه شده‌است. بر اساس نتایج به دست آمده از توزیع اندازه ذرات، یافته‌ها بیانگر آن است که درصد رس، سیلت و شن در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر خاک تیمارهای نانو رس و خاک‌پوش ماسه بادی، در سطح پنج درصد تفاوت معنی‌داری با خاک تیمار شاهد داشت؛ به‌طوری‌که بیشترین درصد شن به‌ترتیب در تیمارهای خاک‌پوش ماسه بادی و نانو رس مشاهده شد و بیشترین درصد سیلت مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین بیشترین مقادیر درصد رس در تیمار نانو رس و کمترین آن در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی اندازه‌گیری شد (P<۰/۰۵). در بررسی توزیع اندازهٔ ذرات در لایهٔ سطحی، یافته‌ها بیانگر تغییرات قابل توجه مقادیر درصد سیلت و رس در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی است؛ چنان که با تهیهٔ خاک‌پوش ماسه‌بادی، اندازهٔ ذرات به‌طور عمده در حد اندازهٔ ماسه متوسط (۰/۳ میلی‌متر) بود که طی دورهٔ مورد مطالعه، به‌ترتیب ۱۲/۱ و ۷/۹ درصد ذرات در حد سیلت متوسط (۰/۰۳۱ میلی‌متر) و رس (< ۰/۰۰۳۹ میلی‌متر) به لایه سطحی اضافه شد. در بررسی مقادیر پارامترهای ذکر شده در عمق‌های ۳۰ - ۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متری خاک نیز یافته‌ها بیانگر فقدان تفاوت معنی‌دار این متغیرها در تیمارهای خاک‌پوش ماسه بادی و شاهد بود؛ در حالی که مقادیر این پارامترها در تیمار نانو رس تفاوت معنی‌داری را نسبت به سایر تیمارهای مورد مطالعه نشان داد. در تیمارهای شاهد با افزایش عمق، روند تغییرات درصد شن، سیلت و رس کاهشی بود؛ اما در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی به‌جز درصد شن، روند تغییرات درصد سیلت و رس افزایشی بود. این در حالی است که در تیمار نانو رس، پارامترهای مورد مطالعه بدون تغییر بود و به‌طورکلی توزیع اندازه ذرات، ساختار یکسانی در لایه‌های مورد مطالعه را به همراه داشت. در بررسی درصد رطوبت اشباع خاک در تیمارها، یافته‌ها بیانگر بالا بودن میزان این پارامتر در تیمار نانو رس نسبت به دو تیمار شاهد و خاک‌پوش ماسه بادی بود. مقادیر میانگین این پارامتر در تیمارهای ذکر شده نیز به‌ترتیب برابر با ۳۳/۹، ۱۸/۹ و ۸/۶ درصد بود که در سطح احتمال ۹۵ درصد، معنی‌دار بود. روند تغییرات این پارامتر در سایر عمق‌های نمونه‌برداری نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری را نشان داد و به‌طورکلی، مقادیر آن در تیمارهای نانو رس و

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

خاک‌پوش ماسه‌بادی بیش از تیمار شاهد بود. در بررسی توزیع بافت نمونه‌های برداشت شده، یافته‌ها بیانگر آن بود که در لایهٔ سطحی (۰ تا ۱۰ سانتی‌متر)، بافت خاک در تیمار خاکپوش‌ماسه‌بادی در کلاس لومی شنی قرار دارد؛ این در حالی است که در تیمار نانو رس و شاهد به‌طور عمده در کلاس بافتی لومی قرار گرفته‌است. در بررسی تغییرات بافت خاک در سایر عمق‌های نمونه‌برداری، یافته‌ها بیانگر فقدان تغییر بافت خاک در تیمارهای مورد مطالعه بود. با توجه به نتایج این بخش، اقدامات حفاظتی خاک بر تغییر خصوصیات فیزیکی آن در تیمارهای مورد مطالعه تأثیر قابل توجهی داشت.

جدول ۵: مقایسهٔ میانگین (اشتباه معیار± میانگین) برخی از خصوصیات فیزیکی خاک در کاربری‌های مختلف

عمق (cm)	تیمار / متغیر	شاهد	نانو رس	خاکپوش‌ماسه بادی	مقدار F	معنی‌داری
عمق ۱۰-۰	شن (٪)	c** a* ۴۹/۰۱(±۰/۴۸)	۵۲/۱(±۲/۳۷)^{ba}	۸۰/۲(± ۱/۹۲)^{aa}	۶۲/۹۱	۰/۰۰۰
	سیلت (٪)	۳۹/۷(± ۱/۷۶)^{aa}	۳۰ /۱(±۱/۰۹)^{bb}	۱۲/۰۹(± ۰/۸۲)^{cc}	۲۹/۲۵	۰/۰۰۴
	رس (٪)	۱۳/۵(±۱/۱۸)^{bb}	۱۶/۹(±۱/۱۹)^{aa}	۷/۹(± ۱/۱۳)^{cc}	۱۱/۸۱	۰/۰۰۷
	رطوبت	۱۸/۸(±۴/۶۸)^{bb}	۳۳/۹(±۴/۰۳)^{ab}	۸/۶(± ۳/۶۳)^{ac}	۲۴/۷۲	۰/۰۰۰
	اشباع (٪)					
	بافت خاک	لومی	لومی	شنی ـ لومی	-	-
عمق ۳۰-۱۰	شن (٪)	۴۸/۲ (± ۲/۱۱)^{bb}	۵۲/۳ (±۱/۲)^{aa}	۴۸/۸(±۰/۸۲)^{bb}	۴۴/۴۱	۰/۰۲۷
	سیلت (٪)	۳۷ /۶(± ۲/۲۷)^{bb}	۳۲ /۹(±۱/۰۸)^{cb}	۴۰/۲ (± ۳/۴۲)^{aa}	۳۴/۱۳	۰/۰۰۰
	رس (٪)	۱۳/۱(±۱/۴۸)^{bb}	۱۶/۲(±۱/۳۹)^{ac}	۱۳/۸(± ۱/۸۴)^{bb}	۷/۲۱	۰/۰۰۰
	رطوبت	۲۱/۱(±۲/۳۱)^{ca}	۳۱ (±۳/۶۲)^{ab}	۲۴/۷(±۱/۲۳)^{ba}	۱۹/۳۲	۰/۰۷۲
	اشباع (٪)					
	بافت خاک	لومی	لومی	لومی	-	-
عمق ۵۰-۳۰	شن (٪)	۴۷/۱(±۰/۴۸)^{ba}	۵۲/۱۲ (±۱/۸۲) ^{ab}	۴۶/۴(±۱/۲۲)^{ba}	۳۹/۱۱	۰/۰۹۴
	سیلت (٪)	۳۶/۹(±۰/۱۸)^{bb}	۳۲/۶ (±۰/۹۳) ^{ba}	۳۶/۶ (±۰/۱۵) ^{ab}	۲۹/۱۱	۰/۰۵۲
	رس (٪)	۱۲/۱(± ۰/۴۴)^{bc}	۱۵/۸ (±۰/۹۳) ^{ac}	۱۲/۸ (±۰/۶۴) ^{bc}	۱۳/۳	۰/۰۶۱
	رطوبت	۱۸/۶(±۲/۳۱)$^{c\ bc}$	۳۰/۱۱ (±۳/۶۲)^{ac}	۲۳/۹(±۰/۲۱)^{ba}	۲۵/۱۲	۰/۰۱۷
	اشباع (٪)					
	بافت خاک	لومی	لومی	لومی	-	-

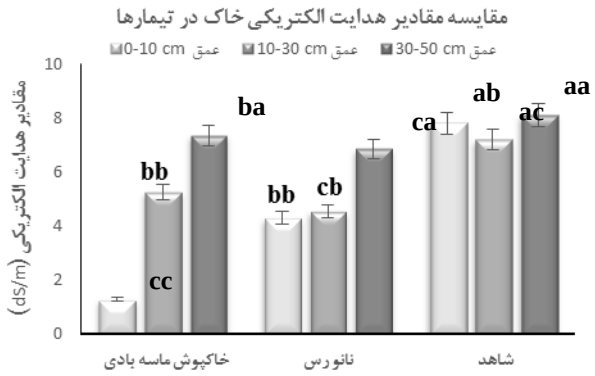
حروف مختلف بالای هر عدد (و*) به‌ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها بین تیمارها و اعماق مختلف بر اساس روش دانکن در سطح ۵ درصد**

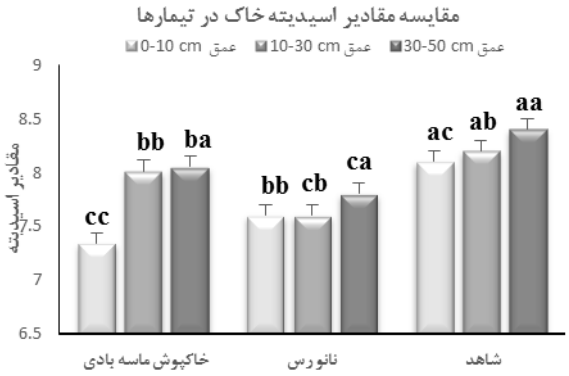
خصوصیات شیمیایی خاک

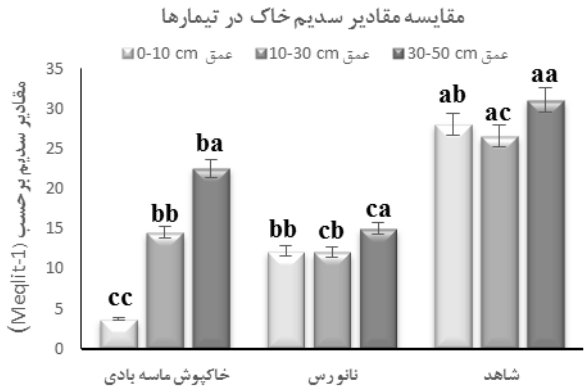
[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

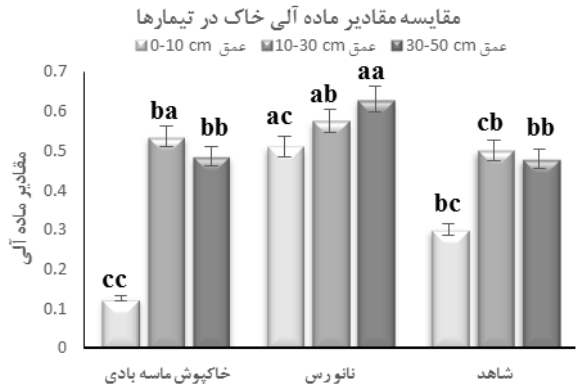
نتایج حاصل از تجزیهٔ واریانس برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک، در شکل ۹ ارائه شده‌است. با توجه به نتایج به دست آمده، میانگین اسیدیته خاک در تیمارهای مورد بررسی بین ۷/۳۴ و ۸/۱ در لایهٔ سطحی (۱۰ – ۰ سانتی‌متر) متغیر است. کمترین مقدار اسیدیته خاک در تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی (۷/۶۶) و بیشترین مقدار آن در تیمار شاهد (۸/۱) اندازه‌گیری شد. میزان اسیدیته در تیمار نانو رس به‌طور معنی‌دار کمتر از تیمار شاهد و بیش از خاک‌پوش ماسه‌بادی است ($P < ۰/۰۵$). در بررسی هدایت الکتریکی نیز یافته‌ها بیانگر تفاوت معنی‌دار این پارامتر در تیمارهای مورد مطالعه است. بیشترین مقدار این متغیر در تیمار شاهد و برابر با ۸/۱ و کمترین آن مربوط به تیمار خاکپوش‌ماسه بادی و برابر با ۱/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر است. میزان ماده آلی خاک نیز در بین تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که بیشترین و کمترین درصد آن به‌ترتیب در تیمار نانو رس (۰/۶۳ درصد) و خاک‌پوش ماسه بادی (۰/۱۲۷ درصد) مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان سدیم در تیمار شاهد (۲۸/۰۲) و کمترین آن در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی (۳/۶۵) اندازه‌گیری شد. میزان سدیم نیز در تیمار نانو رس (۱۲/۱۵ $Meqlit^{-1}$) به‌طور معنی‌دار کمتر از تیمار شاهد و بیش از خاک‌پوش ماسه‌بادی است. تغییرات مقادیر جذب سدیم نیز بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مورد مطالعه است ($P < ۰/۰۵$)؛ به طوری که بیشترین میزان این پارامتر در تیمار شاهد (۴۳/۲) و کمترین مقدار آن در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی (۲/۳) اندازه‌گیری شد. نتایج مقادیر سدیم محلول نیز تغییرات قابل توجهی را در بین تیمارها نشان می‌دهد؛ بیشترین مقادیر این پارامتر در تیمار نانو رس و برابر با ۴۱/۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و کمترین مقدار آن در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی و برابر با ۲۷/۶۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر است. با توجه به نتایج حاصل از شکل ۹ می‌توان دریافت که بین تیمارها از نظر مجموع کلسیم و منیزیم نیز اختلاف معنی‌داری وجود دارد؛ به‌طوری‌که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد (۲۸ $Meqlit^{-1}$) و خاک‌پوش ماسه‌بادی (۱۱/۵۵ $Meqlit^{-1}$) است. یافته‌ها همچنین بیانگر آن است که در مقادیر فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای مورد مطالعه نیز تغییرات محسوسی وجود دارد. میزان این پارامتر در خاک تیمار حاوی نانو رس، برابر با ۱۷/۱ پی پی ام است که به‌طور قابل توجهی بیش از تیمارهای شاهد (۸/۸ ppm) و خاک‌پوش ماسه‌بادی (۲/۳۵ ppm) است. تغییرات مقادیر مجموع کاتیون‌ها نیز بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار در مقادیر این متغیر در بین تیمارهای مورد مطالعه است. بیشترین میزان کاتیون در خاک تیمار شاهد (۴۱/۷ $Meqlit^{-1}$) و کمترین آن در تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی (۱۷/۷ $Meqlit^{-1}$) مشاهده شد. در تیمار حاوی نانو رس (۲۰/۴۵ $Meqlit^{-1}$) نیز مقدار این متغیر به‌طور معنی‌دار بیش از تیمار خاک‌پوش ماسه بادی است. با بررسی مقادیر متغیرهای در اعماق نمونه‌برداری، یافته‌ها بیانگر آن است که در تیمار شاهد همهٔ مشخصه‌های اندازه‌گیری شده به‌جز اسیدیته، هدایت الکتریکی و ماده آلی در عمق‌های ۳۰ –۱۰ و ۵۰-۳۰ سانتی‌متر خاک کاهش یافته، اما در تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی، با افزایش عمق به‌طورکلی مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری شده افزایش یافته‌است. روند تغییرات مقادیر پارامترهای مورد مطالعه در تیمار نانو رس تقریباً یکسان است و تفاوت معنی‌داری را در لایه‌های مختلف خاک نشان نمی‌دهد.

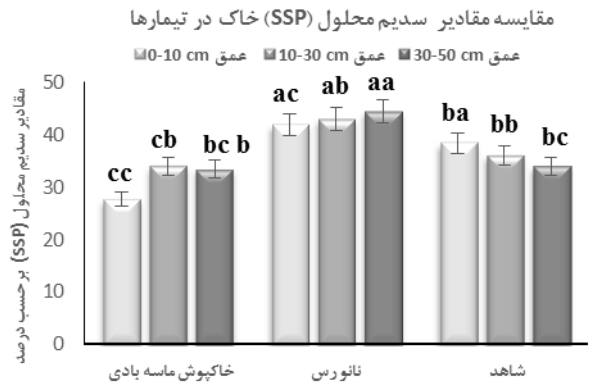
[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

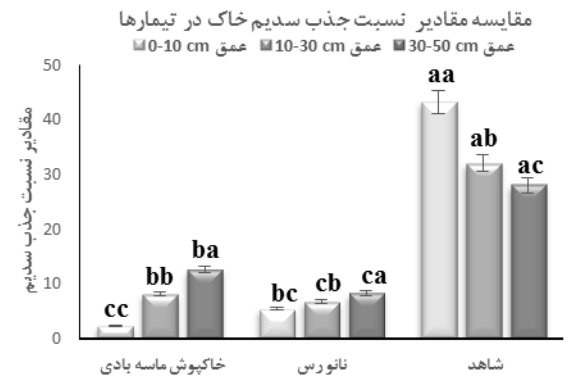


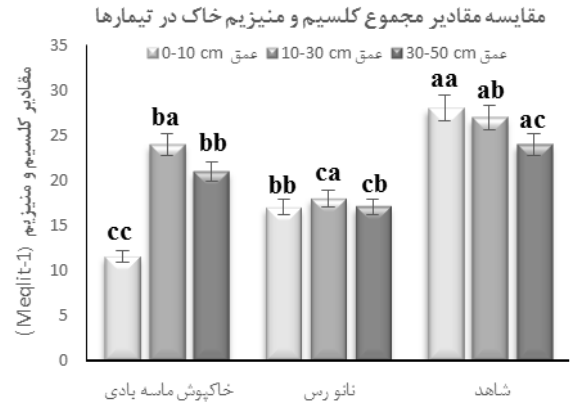


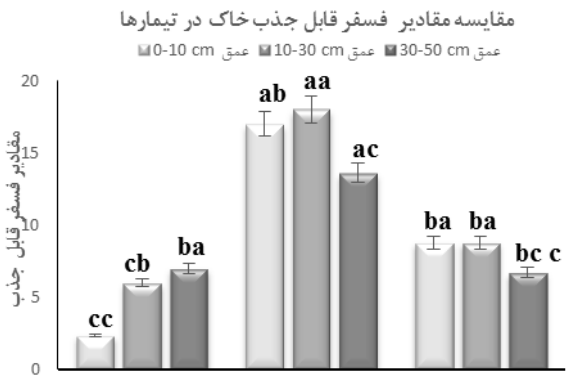




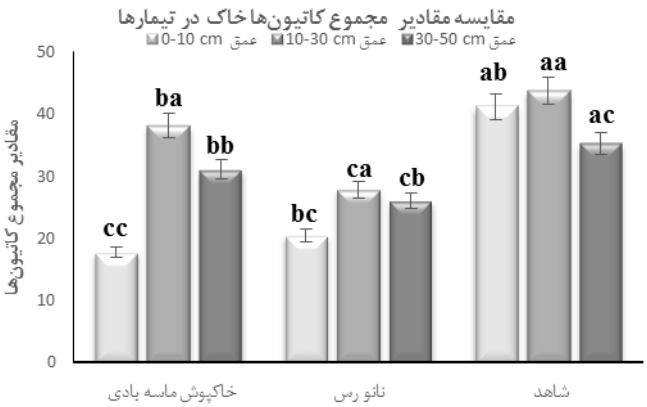








[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]



شکل ۹: مقایسهٔ میانگین مقادیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تیمارها در اعماق مختلف (حروف مختلف در هر ستون به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها بین تیمارها و اعماق مختلف بر اساس روش دانکن در سطح پنج درصد است)

ارزیابی شاخص‌های پایداری خاک‌دانه‌ها

نتایج حاصل از برآورد مقادیر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر و خشک و مقادیر شاخص دلینهیر و دبوت (DDI)، به ترتیب در جدول ۶ و شکل ۱۰ ارائه شده‌است. بر اساس نتایج به دست آمده، مقایسهٔ شاخص‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک (MWDdry) و تر (MWDwet) اختلاف معنی‌داری را در بین تیمارها نشان می‌دهد ($P < ۰/۰۵$)؛ به‌طوری‌که بیشترین مقادیر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای مورد مطالعه، در حالت خشک و با جذب رطوبت به‌طور محسوسی کاهش یافته‌است. در عمق ۱۰ -۰ سانتی‌متر، بیشترین مقدار شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت خشک مربوط به تیمار نانو رس (۰/۹۱ میلی‌متر) و کمترین آن، در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی (۰/۴۵ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. در بررسی مقادیر شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر نیز یافته‌ها بیانگر آن است که بیشترین و کمترین مقادیر این شاخص مربوط به تیمارهای نانو رس و شاهد بود. با توجه به نتایج با افزایش عمق، روند تغییرات مقادیر شاخص مورد مطالعه در حالت‌های اندازه‌گیری شده، مشابه با لایهٔ سطحی است و بیشترین و کمترین مقادیر این شاخص مربوط به تیمار نانو رس و شاهد است. با مقایسهٔ مقادیر میانگین وزنی قطر ذرات در حالت خشک و تر در اعماق نمونه‌برداری، یافته‌ها بیانگر آن است که پایداری خاکدانه‌ها (پایداری خاکدانه‌ها در حالت تر نسبت به حالت خشک) در تیمار شاهد ۴۶/۱ درصد کاهش یافته‌است؛ در حالی که در تیمارهای خاک‌پوش ماسه بادی و نانو رس با افزایش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش کمتری (به‌ترتیب برابر با ۲۸/۲ و ۱۹/۲ درصد) در میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دیده می‌شود. در بررسی تغییرات شاخص دلینهیر و دبوت (DDI) که تفاوت پایداری خاکدانه‌ها در دو حالت الک خشک و تر را نشان می‌دهد، نتایج بیانگر آن است که بیشترین مقادیر این شاخص در لایهٔ سطحی (۱۰ – ۰ cm) برابر با ۸/۲۳ و کمترین مقدار این شاخص برابر با ۱/۶۹ است که به‌ترتیب در تیمار شاهد و خاک‌پوش ماسه‌بادی اندازه‌گیری شد. بیشترین و کمترین مقادیر این شاخص در عمق ۳۰ -۱۰ سانتی‌متر نیز برابر با ۵/۸ و ۲/۶۲ است که به‌ترتیب به تیمارهای شاهد و نانو رس بازمی‌گردد و به لحاظ آماری نیز اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد. در تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی با وجود اینکه مقادیر این شاخص کاهش یافته‌است، ولی تفاوت معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد نشان نمی‌دهد و نسبت به تیمار نانو رس در سطح پنج درصد معنی‌دار است.

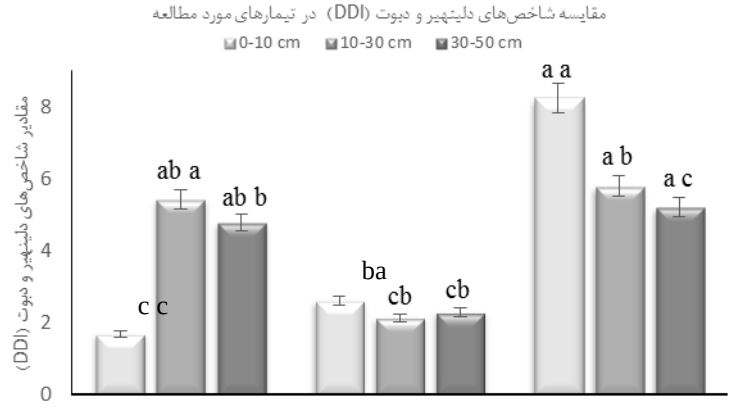
[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

در عمق ۵۰ – ۳۰ نیز بیشترین و کمترین مقادیر این شاخص، مشابه با لایهٔ فوق مربوط به تیمارهای شاهد و نانو رس است (P<۰/۰۵). با بررسی تغییرات شاخص توزیع اندازه ذرات ثانویهٔ خاکدانه‌ها در حالت خشک و تر در تیمارهای مورد مطالعه این‌گونه استنباط می‌شود که با افزودن خاک‌پوش ماسه‌بادی، بیشترین پایداری خاکدانه‌ها در لایهٔ سطحی و در سایر اعماق، پایداری کمتری ایجاد شده‌است ولی با افزودن نانو رس، پایداری خاکدانه‌ها در همهٔ اعماق نمونه‌برداری نسبت به تیمار شاهد و خاک‌پوش ماسه بادی افزایش یافته‌است.

جدول ۶: مقایسهٔ میانگین (اشتباه معیار±میانگین) شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در تیمارهای مورد مطالعه

عمق (cm)	متغیر / تیمار	میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت خشک (MWDdry)	میانگین وزنی قطر خاکدانه در حالت تر (MWDwet)	مقدار F	معنی‌داری
عمق ۱۰-۰	شاهد	۰/۵۴۷(± ۰/۱۶) $^{a**\ b*}$	۰/۲۶(± ۰/۰۸)^{bc}	۰/۳۱	۰/۰۰۰
	نانو رس	۰/۹۱(± ۰/۰۲)^{aa}	۰/۷۴(± ۰/۱۱)^{ba}	۰/۷۴	۰/۰۴۱
	خاک‌پوش ماسه بادی	۰/۴۵(± ۰/۱۹)^{ac}	۰/۳۲(± ۰/۰۴)^{bb}	۰/۳۶	۰/۰۴۷
عمق ۳۰-۱۰	شاهد	۰/۵۴(± ۰/۰۹)^{ab}	۰/۲۹(± ۰/۰۳)^{bb}	۰/۲۷	۰/۰۰۰
	نانو رس	۰/۹۵۶(± ۰/۰۶)^{aa}	۰/۸۰(± ۰/۰۸)^{ba}	۰/۷۹	۰/۰۴۴
	خاک‌پوش ماسه بادی	۰/۵۴(± ۰/۱۱)^{ab}	۰/۲۹۴(± ۰/۰۴)^{bb}	۰/۳۳	۰/۰۰۰
عمق ۵۰-۳۰	شاهد	۰/۵۲(± ۰/۱۵)$^{a\ b}$	۰/۳۱(± ۰/۱۱)^{bb}	۰/۳۶	۰/۰۱۱
	نانو رس	۰/۹۷(± ۰/۰۴)^{aa}	۰/۸۱(± ۰/۰۵)^{ba}	۰/۸۵	۰/۰۴۸
	خاک‌پوش ماسه بادی	۰/۵۵(± ۰/۰۲)$^{a\ b}$	۰/۳۲(± ۰/۱۹)^{bb}	۰/۲۸	۰/۰۱۷

حروف بالای هر عدد (و*) به‌ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها بین تیمارها و اعماق مختلف بر اساس روش دانکن در سطح پنج درصد**

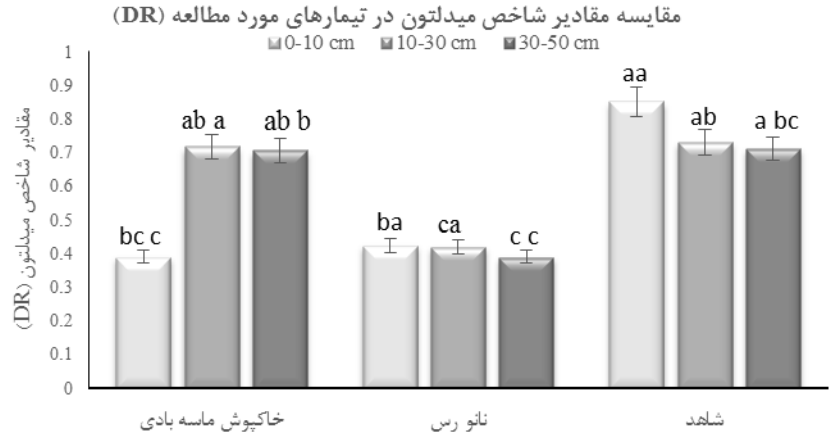


[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

شکل ۱۰: مقایسهٔ میانگین مقادیر شاخص دلینهیر و دبوت (DDI) خاک تیمارها در اعماق مختلف (حروف مختلف بالای هر عدد (راست و چپ) به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها بین تیمارها و اعماق مختلف بر اساس روش دانکن در سطح پنج درصد)

شاخص میدلتون (DR)

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص پراکنش میدلتون در تیمارهای مورد مطالعه، در شکل ۱۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین مقادیر این شاخص در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر برابر با ۰/۸۵ و ۰/۳۹ است که به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد و خاک‌پوش ماسه‌بادی است و به لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد. در بررسی مقادیر این شاخص در عمق ۳۰ -۱۰ سانتی‌متر، بیشترین و کمترین مقادیر به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد (۰/۸۵) و تیمار نانو رس (۰/۴۱) است. مقادیر این شاخص در تیمار خاکپوش‌ماسه بادی نیز مشابه با تیمار شاهد و به‌طور معنی‌دار بیش از تیمار نانو رس می‌باشد. تغییرات مقادیر این شاخص در عمق ۵۰ – ۳۰ سانتی‌متر نیز مشابه با لایهٔ فوق است و کمترین و بیشترین مقادیر این شاخص به‌ترتیب مربوط به تیمار شاهد و نانو رس است. با توجه به نتایج در تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی، پتانسیل واگرایی خاک نسبت به تیمار شاهد در اعماق ۱۰-۰، ۱۰-۳۰ و ۳۰- ۵۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۵۴/۲، ۴ و ۵ درصد و با اضافه کردن نانو رس به خاک به‌ترتیب ۵۱/۱، ۴۸/۲ و ۴۹/۹ درصد کاهش یافت. نتایج حاصل از طبقه‌بندی شاخص پراکنش میدلتون، در جدول ۷ ارائه شده‌است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بر اساس طبقه‌بندی صورت گرفته، توان واگرایی خاک در تیمار شاهد در کلاس واگرایی زیاد قرار دارد که با استفاده از خاک‌پوش ماسه بادی در لایهٔ سطحی و افزودن نانو رس به خاک، کلاس واگرایی خاک به ردهٔ واگرایی معتدل کاهش یافته‌است. در سایر اعماق نمونه‌برداری نیز کلاس واگرایی خاک در تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی علی‌رغم کاهش شاخص ناپایداری خاکدانه‌ها نسبت به تیمار شاهد بدون تغییر بوده ولی در تیمار نانو رس به کلاس واگرایی معتدل تغییر یافته‌است. از نتایج این قسمت چنین بر می‌آید که استفاده از خاک‌پوش ماسه‌بادی و نانو رس، بر کاهش ناپایداری خاکدانه‌ها و کنترل توان واگرایی خاک منطقهٔ مورد مطالعه نقش به‌سزایی دارد.



شکل ۱۱: مقایسهٔ میانگین مقادیر شاخص میدلتون (DR) خاک تیمارها در اعماق مختلف حروف مختلف بالای هر عدد (و*) به ترتیب بیانگر معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها بین تیمارها و اعماق مختلف بر اساس روش دانکن در سطح پنج درصد**

جدول ۷: مقایسهٔ طبقه‌بندی شاخص میدیلتون برای تیمارهای مورد مطالعه

عمق (cm)	تیمار	شاهد	خاک‌پوش ماسه	نانو رس

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

متغیر		بادی		
عمق ۱۰-۰	طبقه واگرایی	واگرایی زیاد	واگرایی معتدل	واگرایی معتدل
عمق ۳۰-۱۰	طبقه واگرایی	واگرایی زیاد	واگرایی زیاد	واگرایی معتدل
عمق ۵۰-۳۰	طبقه واگرایی	واگرایی زیاد	واگرایی زیاد	واگرایی معتدل

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق که برای اولین بار در شهرستان نیمروز و در شمال منطقهٔ سیستان صورت گرفت، تأثیر بلند مدت نانو رس و خاک‌پوش ماسه بادی بر خصوصیات فیزیکی ـ شیمیایی و برخی شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک در یکی از اراضی کشاورزی رها شده بعد از گذشت یک و نیم سال بررسی شد. در بررسی خصوصیات فیزیکی خاک، یافته‌ها نشان داد که درصد رس، سیلت و شن متأثر از نوع اقدامات حفاظتی خاک در تیمارهای مورد مطالعه متفاوت است. در لایهٔ سطحی، مقادیر متغیرهای مورد مطالعه در تیمارهای شاهد، نانو رس و خاک‌پوش ماسه بادی تفاوت معنی‌داری داشت ($P<0/05$)؛ به‌طوری‌که با استفاده از خاک‌پوش ماسه بادی در سطح خاک با اندازه ذرات ۰/۳۱۶ میلی‌متر، بافت خاک از کلاس لومی به لومی شنی تغییر یافت و در سایر عمق‌های نمونه‌برداری ـ که از خاک‌پوش ماسه‌بادی استفاده نشده‌است ـ نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری دیده نشد. در تیمار نانو رس نیز اگرچه تغییرات مقادیر متغیرهای فوق‌الذکر تأثیری بر بافت خاک نداشت، تفاوت معنی‌داری را در توزیع اندازه ذرات نسبت به تیمار شاهد و خاک‌پوش ماسه بادی در همهٔ اعماق نمونه‌برداری به همراه داشت. با توجه به خصوصیات نانو ذرات از جمله سطح ویژهٔ بالا که تأثیر به‌سزایی بر اتصال ذرات خاک با گل و لای آزاد در خاک دارد (Bahari and & Yakupoglu et al, 2015 Shahnazari, 2015)، با اضافه کردن ذرات نانو با سطح ویژهٔ ۲۷۰-۲۲۰ ($g/m^2/g$)، سطح ویژهٔ ذرات خاک در تیمار حاوی نانو رس افزایش یافت. این فرآیند مطابق با نظر Amiri (2019) و همکاران و Oleszczuk و همکاران (۲۰۱۹) با هم‌آوری ذرات خاک متأثر از واکنش‌های پوزولانی ذرات خاک با یکدیگر تحت‌تأثیر حضور نانو ذرات، به افزایش قطر این ذرات و تشکیل خاکدانه‌های بزرگ‌تر در خاک منجر می‌شود که تفاوت معنی‌دار مقادیر درصد شن و سیلت در اعماق مختلف تیمار نانو رس نسبت به تیمار شاهد و خاک‌پوش ماسه‌بادی، بیانگر این امر است. وجود نانو ذرات در میان ذرات خاک علاوه بر افزایش سطح ویژه، بر میزان جذب آب و در نتیجه افزایش رطوبت خاک نیز تأثیر به‌سزایی دارد (Murugaiyan and Suresh, 2018)؛ چنان که افزایش به‌ترتیب ۱/۲ و ۱/۶ برابری رطوبت خاک در تیمار نانو رس نسبت به تیمارهای خاک‌پوش ماسه بادی و شاهد بر این امر دلالت دارد که اختلاف معنی‌داری را در سطح احتمال ۹۵ درصد نیز نشان می‌دهد. George و Kannan (2020) و Jili و همکاران (2021) گزارش دادند که افزایش رطوبت خاک متأثر از حضور نانو ذرات رس در خاک است که به افزایش سطح ویژهٔ کل و به‌تبع آن افزایش جذب رطوبت با توجه به خاصیت آب‌دوستی و جذب رطوبت بالای رس در خاک منجر می‌شود و با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در بررسی خصوصیات خاک نیز یافته‌ها نشان داد که مقدار اسیدیته، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و سدیم خاک در تیمارهای نانو رس و خاک‌پوش ماسه بادی به‌طور معنی‌دار کاهش یافته‌است. اسیدیته مهم‌ترین ویژگی پایه خاک است که در تفسیر سایر شاخص‌ها نقش به‌سزایی دارد. با توجه به نتایج این تحقیق، یافته‌ها بیانگر کاهش محسوس اسیدیتهٔ خاک در تیمار نانو رس و خاک‌پوش ماسه‌بادی نسبت به تیمار شاهد است. در تیمار حاوی نانو رس

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

با توجه به افزایش فرآیند جذب سطحی و یونیزاسیون، واکنش‌های پوزلانی ذرات خاک با نانو رس تسریع می‌یابد که این فرآیند با استفاده از یون هیدروکسید در تیمار حاوی نانو رس به کاهش اسیدیتهٔ خاک منجر می‌شود (Al-Mukhtar et al, 2010). می‌توان گفت در تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی نیز مهم‌ترین عامل در کاهش اسیدیتهٔ خاک نسبت به تیمار شاهد، کاهش اثر صعود املاح متأثر از نیروی کاپیلاریته از لایه‌های عمقی به لایه‌های سطحی در پروفیل خاک است. این فرآیند از این منظر در تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی قابل توجیه است که علاوه بر اسیدیتهٔ تغییرات مقادیر پارامترهای هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و سدیم خاک نیز نسبت به تیمار شاهد در همهٔ عمق‌های نمونه‌برداری کاهش محسوسی داشته‌است. در مطالعات صورت گرفته همچون Jahantigh و Jahantigh (2020)، این امر با توجه به بالا بودن سطح آب زیرزمینی در منطقهٔ سیستان و فقدان زهکش، مهم‌ترین عامل در افزایش هدایت الکتریکی در پروفیل خاک است که علاوه بر آن، با افزایش میزان سدیم در خاک به افزایش چشمگیر نسبت جذب سدیم نیز منجر می‌شود. بنابراین، با افزایش اندازهٔ ذرات در لایه سطحی خاک ــ که به افزایش خلل و فرج در لایه سطحی منجر می‌شود ــ خیز مویینگی تقلیل یافته و صعود املاح به لایه‌های سطحی کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که مقادیر پارامترهای مورد مطالعه در لایهٔ عمقی (نزدیک به سطح آب زیرزمینی) به‌طور محسوس نسبت به لایه‌های نزدیک به سطح زمین افزایش یافته‌است. در بررسی میزان هدایت الکتریکی، سدیم و نسبت جذب سدیم در تیمار نانو رس، یافته‌ها بیانگر کاهش قابل‌توجه مقادیر این متغیرها نسبت به تیمار شاهد و خاک‌پوش ماسه بادی (به‌جز عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر) است. این امر را می‌توان به تغییر ماهیت شیمیایی خاک در اثر تبادل کاتیونی و آنیونی در خاک نسبت داد. با توجه به بالا بودن سطح ویژه در نانو ذرات رس، ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک افزایش می‌یابد که این فرآیند متأثر از حضور عناصر موجود در ترکیبات نانو رس تهیه شده‌است که در ساختار خود ۲/۸۹ درصد KO_2، ۴/۵۲ درصد MgO، ۰/۵۸ درصد Na_2O و ۷/۷۵ درصد CaO دارد و به افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و جایگزینی سریع یون سدیم با سایر کاتیون‌های تشکیل دهندهٔ نانو رس منجر می‌شود. در مطالعات صورت گرفته همچون Sparks (2000)، Nanda و همکاران (۲۰۰۳) و Abbasi و Farjad (2017) بیان کردند که این فرآیند به خارج شدن سدیم از فاز تبادلی نسبت به سایر کاتیون‌ها و در نتیجه، کاهش نسبت جذب سدیم (SAR) منجر می‌شود. با کاهش میزان جذب سدیم، غلظت سدیم محلول خاک (SSP) نیز افزایش می‌یابد که افزایش معنی‌دار میزان غلظت سدیم محلول نسبت به تیمارهای شاهد و خاک‌پوش ماسه‌بادی بر این امر دلالت دارد. در بررسی ماده آلی نیز در همهٔ اعماق نمونه‌برداری، بیشترین مقدار این پارامتر در تیمار نانو رس اندازه‌گیری شد که به‌طور معنی‌دار بیش از سایر تیمارها است. نانو رس مصرفی، از رسوبات حاصل از جریان‌های سیلابی ورودی از کشور افغانستان تهیه شد که این رسوبات به‌طور متوسط ۱/۵ تا ۰/۲ درصد ماده آلی همراه خود دارد که هر ساله همراه جریان‌های سیلابی به منطقهٔ سیستان وارد می‌شود. بنابراین، افزایش معنی‌دار ماده آلی در خاک تیمار همراه با نانو رس را می‌توان به ماهیت رسوبات مورد استفاده برای تهیهٔ نانو رس مصرفی در این تحقیق مربوط دانست. مهم‌ترین عوامل موثر بر جذب فسفر در خاک، ترکیب شیمیایی، شکل و اندازه ذرات است که با حضور نانو ذرات به دلیل داشتن سطح ویژهٔ بالا و افزایش فرآیند تبادل کاتیونی و آنیونی در خاک ارتباط مستقیمی دارد (Monajjem et al, 2016 & Moiandi et al, 2015 & Mohtasham, 2014). با توجه به ترکیب شیمیایی نانو رس تهیه شده (جدول۳) که در ساختار خود تعداد زیادی از گروه‌های عاملی با بار مثبت دارد، تمایل به جذب یون‌هایی با

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

بار منفی همانند فسفر در خاک افزایش می‌یابد؛ به‌طوری‌که یافته‌ها در بررسی تغییرات مقادیر فسفر قابل جذب نشان داد که مقادیر این پارامتر در تیمار حاوی نانو رس (۱۷/۲ ppm) به‌ترتیب ۲/۲ و ۳/۲ برابر بیش از مقادیر این پارامتر در تیمارهای شاهد (۸/۸ ppm) و خاک‌پوش ماسه‌بادی (۵/۲۵ ppm) است. در مطالعات دیگر Wang و همکاران (2011)، Hadj و همکاران (2014) و Hoseini و همکاران (2018)، در گزارشی به افزایش مقادیر فسفر قابل جذب با افزودن نانو رس به خاک اشاره کردند که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. در بررسی مقادیر مجموع کلسیم و منیزیم در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر نیز یافته‌ها نشان داد که مقادیر این متغیر در تیمارهای خاک‌پوش ماسه‌بادی و نانو رس نسبت به تیمار شاهد کاهش داشته‌است و به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهد. کاهش مقادیر این شاخص در تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی را می‌توان به رفتار فیزیکی خاک‌پوش تهیه شده مرتبط دانست. با عنایت به موارد ذکر شده در بخش قبل و با توجه به نتایج جدول ۱، خاک‌پوش مصرفی فاقد مقادیری از پارامتر مورد بررسی است که اضافه شدن این مقادیر در طی دورهٔ مورد مطالعه تأییدی بر غالب بودن پدیدهٔ صعود املاح همراه با آب زیرزمینی به سطح خاک است که از نیروی کاپیلاریته در منطقهٔ مورد مطالعه تأثر می‌پذیرد و استفاده از خاک‌پوش ماسه‌بادی با کاهش این مکانیسم نسبت به تیمار شاهد، به کاهش مقادیر این پارامتر در لایهٔ سطحی منجر می‌شود. این فرآیند علاوه بر کاهش در لایهٔ سطحی، در سایر اعماق نمونه‌برداری در مقایسه با تیمار شاهد نیز کاهش نسبی داشته‌است. اما در تیمار نانو رس، کاهش مقادیر این پارامتر را می‌توان به رفتار شیمیایی نانو رس در خاک نسبت داد. با توجه به افزایش فرآیند تبادل کاتیون‌ها در حضور نانو رس، کاهش مقادیر این پارامتر در تیمار نانو رس را می‌توان به ترکیب با سایر آنیون‌ها از جمله یون سدیم در خاک نسبت داد؛ بنابراین با ترکیب این کاتیون‌ها ـ کلسیم و منیزیم ـ سدیم خاک کاهش می‌یابد که با توجه به نتایج، یافته‌ها نشان داد که در تیمار نانو رس، مقادیر سدیم خاک نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار کاهش یافته‌است. در مطالعات صورت گرفته همچون Ascareh و Avazeh (2017) نیز کاهش میزان کلسیم و منیزیم با افزودن نانو رس به خاک متأثر از فرآیند تبادل کاتیون‌ها و آنیون‌ها تأیید شده‌است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. تغییرات مقادیر مجموع کاتیون‌ها نیز نشان داد که در مقادیر این متغیر در بین تیمارهای مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار وجود دارد و مطابق با موارد ذکر شده، مقادیر این پارامتر در تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی و نانو رس نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته‌است ($P<0/05$). مشابه با بررسی سایر پارامترهای مورد مطالعه، تغییرات مقادیر این متغیر نیز تبیین‌کنندهٔ رفتار هر یک از اقدامات اصلاحی در خاک است. در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی، این خاک‌پوش به‌طور عمده متأثر از رفتار فیزیکی (با کاهش صعود املاح تحت‌تأثیر نیروی کاپیلاریته در پروفیل خاک) و نانو رس با تأثیر بر خصوصیات شیمیایی (افزایش سطح ویژه و بالا رفتن ظرفیت تبادل کاتیونی در نانو ذرات)، به کاهش مقادیر این پارامتر در خاک منجر شده‌است. به‌طور مشابه در مطالعات صورت گرفته همچون Troeh و Thompson (2005)، Zhongkui (2006) و Baraca و همکاران (2011)، تأثیر هر یک از اقدامات اصلاحی مورد استفاده در این تحقیق بر متغیرهای مورد بررسی با توجه به رفتار فیزیکی و شیمیایی آنها در خاک تأیید شده‌است. در بررسی پایداری خاکدانه‌ها، نتایج گویای این امر است که اختلاف معنی‌داری در مقادیر شاخص دلینهیر و دبوت (DDI) در لایه سطحی (۱۰-۰ سانتی‌متر) تیمارهای مورد مطالعه وجود دارد؛ به‌طوری‌که مقادیر این شاخص در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی و نانو رس نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۷۹/۵ و ۶۸/۲ درصد کاهش یافته‌است. با توجه به اینکه در خاک‌پوش سطحی،

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

ذرات تشکیل‌دهندهٔ خاک درشت‌دانه هستند؛ به دلیل کم بودن میزان ذرات ریزدانه در این لایه، خاکدانه‌های بزرگ‌تر تشکیل نمی‌شود. بنابراین، تفاوت قابل توجهی در میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حالت تر و خشک وجود ندارد و بدیهی است که پایداری خاکدانه‌ها در این لایهٔ خاک تیمار خاک‌پوش ماسه‌بادی بیش از سایر تیمارها باشد. در تیمار نانو رس نیز با اضافه شدن نانو ذرات ضمن افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، پایداری خاکدانه‌ها در همهٔ اعماق نمونه‌برداری نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌دار افزایش یافته‌است. از آنجا که نانو ذرات سطح ویژهٔ بالایی دارد، بنابراین با ایجاد خاصیت هم‌آوری بسیار بالا به تشکیل ذرات درشت دانه و در نتیجه، افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها منجر می‌شود. این نتیجه با نتایج مطالعات Moradi و همکاران (2016) مبنی بر اثر نانو ذرات بر افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و پایداری ساختمان خاک مطابقت دارد. آنان علت این افزایش را بروز واکنش شیمیایی و ایجاد پیوند سیلیکاتی بین نانو ذرات و ذرات خاک گزارش کرده‌اند. همچنین با توجه به اینکه پایداری خاکدانه علاوه بر مقادیر درصد رس تحت‌تأثیر ویژگی‌هایی از جمله مواد آلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم نیز است (Batris et al, 2008)؛ بنابراین، مقادیر قابل توجه اکسید آهن (۷/۲۶ درصد) و آلومینیوم (۱۵/۷ درصد) در نانو رس مصرفی نیز از دیگر عوامل مؤثر بر افزایش پایداری خاکدانه‌ها در تیمار نانو رس است. نتایج بررسی شاخص نسبت پراکنش میدلتون نشان داد که ناپایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای مورد مطالعه متفاوت و به لحاظ آماری معنی‌دار بوده‌است. با طبقه‌بندی شاخص میدیلتون، توان واگرایی خاک در تیمار شاهد در کلاس واگرایی زیاد قرار دارد که با استفاده از خاک‌پوش ماسه بادی و نانو رس، توان ناپایداری آن به کلاس واگرایی معتدل تغییر یافته‌است. علت کاهش ناپایداری خاکدانه‌ها در تیمار خاک‌پوش ماسه بادی، به‌طور عمده متأثر از توزیع اندازهٔ ذرات در این خاک‌پوش است که در طی دورهٔ مورد مطالعه تغییر زیادی نداشته‌است. اما در تیمار نانو رس کاهش واگرایی خاک را می‌توان متأثر از رفتار فیزیکی و شیمیایی نانو رس در خاک مربوط دانست. در توجیه رفتار فیزیکی نانو رس باید به خصوصیاتی از جمله اندازهٔ نانومتری ذرات رس اشاره کرد که با افزایش سطح ویژه، به‌راحتی در تمام حجم خاک نفوذ می‌کند و عمل جابه‌جایی با دیگر عناصر موجود در خاک را انجام می‌دهد. اما از نظر شیمیایی، علت بروز این رفتار را می‌توان به تغییر ماهیت شیمیایی خاک در اثر تبادل کاتیونی و آنیونی در خاک در حضور نانو رس نسبت داد؛ به‌طوری‌که ذرات نانو رس به دلیل نسبت سطح به حجم بالا و در نتیجه ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، به انسجام و چسبندگی خاک منجر می‌شود. در این زمینه، نتایج مطالعات صورت گرفته همچون Mohammadzadeh Sani و همکاران (2010)، Majeed and Taha (2013)، Majeed و همکاران (2014)، Zomorodian و Moghispour (2017)، Tabarsa (2017) و Ascareh و همکاران (2019) نشان می‌دهد که افزودن نانو رس به خاک رس، تغییر قابل ملاحظه‌ای بر روی رفتار فیزیکی ـ شیمیایی، خواص مهندسی خاک و افزایش سختی و بهبود مقاومت آن دارد که با نتایج این تحقیق همخوان است.

در مجموع، بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق نتیجه‌گیری می‌شود که کاربرد خاک‌پوش ماسه‌بادی و نانو رس متأثر از نوع رفتار آنها در خاک، به بهبود مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌ها و در مقابل، کاهش شاخص ناپایداری خاکدانه در خاک منجر شده‌است. ولی با برآیندی از نتایج آزمایش‌ها می‌توان گفت که استفاده از نانو رس به‌طور عمده با اثرگذاری بیشتر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، در بهبود خصوصیات آن عملکرد بهتری داشته‌است. همچنین ذکر این نکته اهمیت دارد که در این تحقیق به‌منظور تهیهٔ

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

خاک‌پوش ماسه بادی و نانو رس، از رسوبات حمل شده طی جریان‌های سیلابی ورودی از کشور افغانستان و رسوبات حاصل از فرسایش بادی در منطقهٔ سیستان استفاده شد و نتایج این تحقیق نشان داد که خاک‌پوش ماسه بادی و نانو رس، تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و شاخص‌های فرسایشی خاک دارد که به یکی از کاربردهای این رسوبات به‌منظور اجرای اقدامات حفاظتی خاک پرداخته شد؛ از این رو، با توجه به قابلیت‌های این رسوبات در بهسازی و بهبود ویژگی‌های خاک، پیشنهاد می‌شود تا مطالعات دیگری برای بهره‌برداری و فرآوری این رسوبات به‌منظور تولید محصولات جانبی از این منابع ـ که یکی از کانون‌های برداشت با وزش بادهای ۱۲۰ روزه در منطقهٔ سیستان صورت گیرد ـ انجام شود تا ضمن بهره‌برداری بهینه از این منابع، بستری مناسب برای کنترل این منابع برداشت و جلوگیری از فرسایش آنها در منطقهٔ سیستان نیز فراهم شود.

منابع

1. Asghari, A., 2019. Effects of Gravel and Poultry Manure on some Growth Indices of Cucumber and Soil Properties in the North West of Urmia Lake, *Applied Soil Research*, 7(3), 98-109 (In Persian).
2. Bahari, M., & A. Shahnazari., (2015). Experimental study of the fine- grained earthen bed stabilization using nanoclay. *Journal of Water and Soil Science*. 19(72), 107-114. (In Persian).
3. Bagheri, N.; Yazdanpanah, N.; & N. Sedaghati, 2018. The effect of different concentrations of magnesium in irrigation water on vegetative indices, some chemical properties of soil and nutrient elements of pistachio seedlings of Badami Zarand and Ghazvini, J. of Water and Soil Conservation, 24(6), 1-24.
4. Moqbeli, M.; Farahbakhsh, M.; & N. Broomand, 2014. Adsorption Isotherms of Boron by Soil under Different Sodium Absorption Ratios (SAR), *Journal of soil reserch*, 28(4), 713-721.
5. Sehgal, J., & I. P. Abrol., (1994). *Soil Degradation in India: Status and Impact.* Oxford & IBH, New Delhi.
6. Eslami, A., & M. Farzamnia., (2009). Effect of mulch material on increasing soil water holding capacity and Pistachio yield. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 3(2), 79-87. (In Persian).
7. Yang, H.; Wu, G.; Mo, P.; Chen, S.; Wang, S.; Xiao, Y.; & G. Fan, 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.
8. Li, M.; Tian, X.; Jin, R.; & D. Li, 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
9. Dlamini, P.; Ukoh, I. B.; Van-Rensburg, L. D.; & 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.
10. Kamal, S., & A. K. Singh., (2011). Effect of black plastic mulch on soil temperature and tomato yield, *Progressive Horticulture*, 43(2), 337-339.
11. Zhao, H.; Wang, R. Y.; Ma, B. L.; Xiong, Y. C.; Qiang, S. C.; & C. L. Wang, 2014. Ridge-furrow with full plastic film mulching improves water use efficiency and tuber yields of potato in a semiarid rain-fed ecosystem, *Field Crop Research*, 161, 137-148.
12. Pramanik, P.; Bandyopadhyay, K.; Bhaduri, D.; & R. Bhattacharyya, 2015. Effect of mulch on soil thermal regimes-a review, *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 8(3), 667-681.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

13. Yang Q.; Wang, Y.; & X. Zhongkui, 2014. Long-term gravel–sand mulch affects soil physicochemical properties, microbial biomass and enzyme activities in the semi-arid Loess Plateau of North-western China, Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, 64(4), 294-303.
14. Qu, B.; Liu, Y.; Sun, X.; Li, S.; Wang, X.; Xiong, K.; et al, 2019. Effect of various mulches on soil physico—Chemical properties and tree growth (Sophora japonica) in urban tree pits, *PLoS ONE*, 14 (2), e0210777.
15. Sepahvand, M., 2010. Effect of sand mulch in cucumber cultivation on some physicochemical properties of soils in southern regions of Lorestan province, *National Congress of Water, Soil, Plant Sciences and Agricultural Mechanization. The second and third of March, Islamic Azad University of Dezfool, Iran.* (In Persian)
16. Patricia, M.; Yuanzhi, L.; & 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.
17. Ghazavi, M., & M. Boulhasani., (2009). Design and construction of grout using lime and nanosilica for stabilization of kaolinite and study of its parameters for application in trash burying sites. 2nd International Symposium of Environment (In Persian).
18. Khalid, N.; Mukri, M.; Kamarudin, F.; Abdul Ghani, A. H.; Fadzil Arshad, M.; Sidek, N.; Ahmad-Jalani, A. Z.; & B. Bilong, 2015. Effect of Nanoclay in Soft Soil Stabilization. Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference 2014, Springer, Singapore: 905-914 (In Persian).
19. Rizehbandi, E.; Khademalrasoul, A.; & 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).
20. Taha, O. M. E., & M. R. Taha., (2016). Soil-water characteristic curves and hydraulic conductivity of nanomaterial-soil-bentonite mixtures. *Arabian Journal of Geosciences. 9*(1), 12.
21. Song, Z.; Liu, J.; Bai, Y.; Wei, J.; Li, D.; Wang, Q.; Chen, ZH.; Kanungo, D. P.; & W. Qian, 2019. Laboratory and Field Experiments on the Effect of Vinyl Acetate Polymer-Reinforced Soil, *Applied. Sciences*, 9(1)**,** 208-219.
22. George, A., & K. Kannan., (2020). Investigation on the Geotechnical Properties of Nanoclay Treated Clayey Soil, *Science and Management*, 3(2), 453-455.
23. Asakereh, A., & A. Avazeh., (2017). The Effects of Nano Clay on Dispersive Soils Behavior (Case Study of Minab City), *Amirkabir J. Civil Eng*., 49(3), 497-505.
24. Daraei, E.; Bayat, H.; & Zamani, 2020. Three years effect of iron and magnesium nano-particles on the stability of aggregates and some soil chemical properties, *Soil and water conservation*, 10, 1, 79-91.
25. Jahantigh, M., & 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).
26. Jahantigh. M., 2013. Studying and Recognition of Characteristics of Erosion Rivers in Sistan region, *Soil conservation and watershed management institute*, 51. (in Persian).
27. Gee, G., & D. Or., (2002). Particle-size analysis. Pp. 255–293. In: Dane JH and Topp GC (eds). Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. SSSA Book Series No. 5. Soil Science Society of America, Madison, WI.
28. Mahmoodabadi, M., & 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)
29. Mohtasham, F., 2014. The role of mineralogical properties of nanoclays on the phosphate retention of Andisols. A thesis submitted to the degree of Master of Science. in Soil Science. University of Tehran. (in Persian with English abstract).

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

30. Monajjem, M. A.; Heidari, A.; & Gh. Bagheri Marandi, 2016. Comparison the Ability of Nano-Clays and Clays separated from Different Soils in Retention of Some Heavy Metals, *J. of Water and Soil Conservation*, 23(3), 189-205.
31. Mohammadzadeh Sani, A.; Arabani, M.; khodaparast haghi, A.; & R. Jamshidi Chenari, 2010. The Effect of Nanoclay on Geotechnical Properties of Clay Sand. The Fourth International Conference on Geotechnical (In T . ehran, Iran Engineering and Soil Mechanics of Iran, Persian).
32. Miller, J. J., & D. Curtin., (2006). Electrical conductivity and soluble ions. In: Carter M.R., Gregorich E.G. (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Boca Raton, pp. 161-171.
33. Nanda, K. K.; Maisels, A.; Kruis, F. E.; Fissan, H.; & S. Stapper, 2003. Higher surface energy of free nanoparticles, *Physical Review Letters*, 91(10), 106102.
34. Karami, A.; Zara, R.; & 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)
35. Rasheed, S. M. K., 2016. The Effect of Clay Content and Land Use on Dispersion Ratio at Different Locations in Sulaimani Governorate Kurdistan Region Iraq, *Open Journal of Soil Science*, 6, 1-8.
36. Gu, B., & H. E. Doner., (1993). Dispersion and Aggregation of Soils as Influence by Organic and Inorganic Polymers. *Soil Science Society of America Journal*. 57, 709-716. http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700030014x
37. Tamamrtash, R.; Tatian, M. R.; Yousefian, M.; & S. J. Nabavi, 2016. Investigation of the Fire Effect on Some Edaphic Factors in Plain Ecosystem (Case Study: Winter Rangelands of Behshahr), *Journal of natural Environment sience*, 69(1), 21-33. (In Persian)
38. Vahabzadeh Kebria, Gh.; Riahi, M. R.; & S. Roshun, 2016. Investigation of Land Use Change on Physicochemical Characteristics and Soil Erosion in Kaftargar Basin of Behshahr, *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 22(2), 75-88. (In Persian)
39. Pachand, M., 2017. study of the effect of pasture conversion to other agricultural land use on soil physical and chemical properties, *Journal of natural ecosystems*, 8(1), 99-122. (In Persian)
40. Yakupoglu, T.; Oztas, T.; Kiray, F.; & 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*, 29-21.
41. Amiri, M.; Asakereh, A.; & A. H. Farokhdel, 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).
42. Suresh, R., & V. Murugaiyan., (2018). Improvement of clay soil using natural fibers and nano silica: a review, Indian J. *Sci.Res*. 17(2), 252 - 256.
43. Jili, Q.; Zhang, Y.; Weiqing, Q.; Zhou, X.; Lingqing, H.; & 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.
44. Al-Mukhtar, M.; Lasledj, A.; & J. Alcover, 2010. "Behaviour and mineralogy changes in lime-treated expansive soil at 20 °C", *Applied Clay Science*, 50(2), 191-198.
45. Jahantigh, M., & M. Jahantigh., (2020). 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(4:9), 92-118.
46. Hosseini, M.; Fekri, M.; Farpoor, H.; & M. Mahmoodabadi, 2019. Effects of Organic Carbon, Active Calcium Carbonate, and Clay on Phosphorus Sorption Properties in Some Calcareous Soils of Kerman Province, *Resecrch of soil and water since*, 33(2), 181-196.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

47. Wang, L.; Liang, T.; Kleinman, P. J. A.; & H. Cao, 2011. An experimental study on using rare earth elements to trace phosphorous losses from nonpoint sources, *Chemosphere Journal*, 85, 1075-1079.
48. Walkley, A., & I. A. Black., (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Journal of Soil Science*. 34, 29-38.
49. Zhongkui, X.; Yajun, W.; Wenlan, J.; & W. Xinghu, 2006. Evaporation and evapotranspiration in a watermelon field mulched with gravel of different sizes in northwest China, *Agricultural water Management*, 81(1-2), 173-184.
50. Zomorodian, S. M. A., & Sh. Moghispour., (2017). The effect of nanoclay on internal erosion in soil dams, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 48 (1), 187-194. (In Persian).
51. Tabarsa, A., 2017. The effect of nanoclay on the geotechnical behavior of fine-grained soft soils, *Journal of Engineering Geology*, 11(2), 21-35 (In Persian).
52. Troeh, F., & L. Thompson., (2005). Soils and Soil Fertility (Vol. 489). New York, USA: Blackwell.
53. Majeed, Z. H.; Taha, M. R.; & I. T. Jawad, 2014. Stabilization of soft soil using nanomaterials, *Australian J. Basic and Appl. Sci*, 8, 503-509.
54. Oleszczuk, P.; Czech, B.; Kończak, M.; Bogusz, A.; Siatecka, A.; Godlewska, P.; & M, Wiesner, 2019. Impact of ZnO and ZnS nanoparticles in sewage sludge-amended soil on bacteria, plant and invertebrates, *Chemosphere*, 237, 124359.
55. Olsen, S. R., & L. E. Sommer., (1982). Phophorus. In Methods of soil Analysis: Chemical and microbiological Properties, American. *Sociological Association and Soil Science Society of America Journal*. 9, 403-430.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

The Long Term Effects of Sand Mulch and Nanoclay on Physicochemical Properties and some Erodibility Index in Arid Areas (Case Study: Nimroze of Sistan Area)

Moien Jahanthigh[1]: *P. h.D Candidate in Watershed Management, Watershed Management Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources, University of Gorgan*

Ali Najafinejad: *Associate Professor, Dept of Watershed Management, Faculty of Rangeland & Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.*

Mansour Jahantigh: *Associate Professor, Department Soil Conservation and Water Management, Sistan Agriculture and edition Natural Resources Research Center, AREEO, Zabol, Iran.*

Mohsen Hosseinalizadeh: *Associate Professor, Dept of Arid Zone Management, Faculty of Rangeland & Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.*

Article History (Received: 2021/08/30 **Accepted:** 2021/10/16**)**

Extended Abstract

1- Introduction

Soil as a bed of life plays an important role in meeting the nutritional needs of human societies. But due to unscientific poisoning, it is eroding and causing problems for humans, especially in arid areas. Today, a significant part of the soil of these areas is out of use and is practically not suitable for agriculture and exploitation. In addition, by destroying the soil structure, conditions are provided for the movement of soil particles under the influence of wind and water, one of the destructive effects of which is the destruction of the environment. Therefore, since soil is the only source of nutrients, its protection not only reduces evaporation, but also prevents salinization of the soil and also improves plant yield and growth. Therefore, improving the physical and chemical properties of soil and increasing its resistance to corrosive agents (water and wind) is essential. One of the important and efficient methods to improve the physical and chemical properties of soil is the use of mulch, which controls the physic-chemical and biological degradation of soil. Numerous studies have been conducted to investigate the effect of mulch on the physical and chemical properties of soil in and outside the country. One of the arid and desert areas of the country where the decline of natural areas today has caused environmental degradation and also the expansion of erosion centers is Sistan region which has been exposed to soil degradation due to wind erosion and poor vegetation due to lack of water and soil moisture, which in turn has expanded desert areas. This phenomenon has intensified and spread sandstorms and dust. Therefore, due to the importance of studying soil conservation methods and also the urgent need to provide a suitable model compatible with climatic conditions in Sistan region and achieve a principled and efficient management for sustainable use of soil resources in this region, some research studies are needed. Accordingly, the aim of this study was to investigate the long-term effects of using sandy loam and clay nanoparticles on some physical and chemical properties and soil erodibility indices in one of the erosion centers of Nimroz city in Sistan region.

2- Methodology

The experiment had been conducted in a randomized complete block design with 3 treatments in 4 replications. The treatments included: nano-clay, sand mulch and witness. In this study, the sand mulch was prepared from windy sediments deposits of the Sistan plain. Also, to prepare nano-clay, sediments from floods that entered Sistan River were used (to pulverize the flood sediments, ball mill were used and to determine the particle size and main elements, DLS and xrf methods were used, respectively). By sampling from each treatment, the physical chemistry characteristics were measured. To study the physical properties of soil, hydrometer method was used and the soil texture was determined. To investigate the chemical characteristics, the soil properties such as organic carbon, acidity (PH), electrical conductivity (EC), sodium absorption ratio (SAR), Na and available P were measured in laboratory. Irrigation of the studied treatments was done by clay method. The pottery used in this

[1]- **Corresponding Author: moienja23@yahoo.com**

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]

research is about 40 cm high and 5 cm in diameter. Sour tea was the plant cultivated in this study. Experimental treatments in this study included: Control treatment, with aerated sand and clay nanoparticles, was coducted in a randomized complete block design with four replications. Statistical analysis of data was performed using SPSS 23 software. The means of the studied parameters were compared using Duncan's multiple range test at the level of 5%.

3- Results

Based on the results obtained from the particle size distribution, the findings indicated that the percentage of clay, silt and sand at a depth of 0 to 10 cm in the soil of nano-clay treatments and wind sand cover at 5% level significantly differed with the control soil. The highest percentage of sand was in the sandy and nano-clay soil cover treatments, respectively, and the highest percentage of silt was related to the control treatment. Also, the highest values of clay percentage were measured in the nano-clay treatment and the lowest in the wind-blown sandy soil treatment ($p<0.05$). Particle size in the surface layer of the findings indicated significant changes in the percentage of silt and clay in the treatment of aeolian sand cover. In the same vein, with the preparation of sandy loam soil, the particle size was mainly in the average sand size (0.3 mm), which during the study period was 12.1 and 7.9% of the particles in the average silt (0.031 mm) and clay with > 0.0039 mm, respectively. In analyzing the amount of the above-mentioned parameters in the depths of 10-30 and 30-30 cm of the soil, the findings showed no significant differences between these variables in the treatments of wind-blown sand and control condition. However, the values of these parameters in the nano-clay treatment showed a significant difference compared to other treatments. In control treatments, the percentage of sand, silt and clay decreased by increasing depth of the trend. However, in the treatment of aeolian sand cover, except for the percentage of sand, the trend of changes in the percentage of silt and clay increased. Moreover, in the nano-clay treatment, the studied parameters remained unchanged and, in general, the particle size distribution had the same structure in the studied layers. In the study of the percentage of soil saturation moisture in the treatments, the findings indicated that the rate of this parameter is higher in the nano-clay treatment compared to the two treatments and aerated sand cover. The mean values of this parameter in the mentioned treatments were 33.9, 18.9 and 8.6%, respectively, which are significant at the 95% probability level. The trend of changes in this parameter in other sampling depths compared to the control treatment showed a significant difference. In general, its values in nano-clay and sandy loam treatments are higher than the control treatment. In examining the texture distribution of the collected samples, the findings indicated that in the surface layer (0 to 10 cm) the soil texture was in sandy loam sandy loam treatment.

4-Discussion & Conclusion

In this research, which was conducted for the first time in Nimroz city in the north of Sistan region, the long-term effects of nano-clay and aeolian sand cover on physicochemical properties and some soil erodibility indices were investigated. In examining soil physical properties, the results showed that the percentage of clay, silt and sand under the protective effect of soil in the studied treatments are different. In the surface layer, the values of the studied variables in control, nano-clay and aeolian sand cover treatments were significantly different ($P <0.05$). In fact, with the use of aeolian sand cover on the soil surface with a particle size of 0.316 mm, the soil texture was changed from loamy to sandy loam class and in other sampling depths that did not use sandy loam underwent no significant difference compared to the control treatment. In nano-clay treatment, although changes in the values of the above variables had no effect on soil texture, there was a significant difference in particle size distribution compared to control and aeolian sand cover at all sampling depths. In addition, the presence of nanoparticles among soil particles for increasing the specific surface area had a significant effect on water absorption and thus increased soil moisture. The increase of 1.2 and 1.6 times soil moisture in nano-clay treatment compared to wind-blown sandy soil and control treatments showed a significant difference in the 95% probability level. It has already been found that increasing soil moisture due to the presence of clay nanoparticles in the soil increases the total specific surface area and this in turn increases moisture absorption due to hydrophobicity and high moisture absorption of clay in the soil, which is consistent with the results of this study.

Key Words: Aeolian sand, Surface layer, Soil moisture, Nanoclay.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1400.11.4.7.1]