

تأثیر مالچ رسی بر پایه رس بنتونایت در تثبیت طوفان گرد و غبار در منطقه بحرانی سجزی (شرق اصفهان)

الناز جاویز^۱، احمد جلالیان^{۱*}، محمدرضا مصدقی^۲، الهام چاوشی^۱ و ناصر هنرجو^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۴)

چکیده

یکی از مهم‌ترین بحران‌های زیست‌محیطی در مناطق خشک، نیمه‌خشک، نیمه‌مرطوب و حتی مرطوب پدیده مخرب بیابان‌زایی و در مناطق خشک و نیمه‌خشک فرسایش بادی است. برای رفع این مشکل که در بخش عمده‌ای از کشور ایران وجود دارد، نیاز به استفاده از روشی محیط زیست دوست و اقتصادی است. در این پژوهش برای اولین بار در کشور و شاید در دنیا در منطقه بحرانی سجزی در وسعت ۶۵ هکتار، از رس بنتونیت کلسیم‌دار استفاده شد. آزمایش‌ها بر روی سله تشکیل شده در سطوح مالچ‌پاشی شده با مالچ رسی با ماندگاری بیش از یک سال انجام شد. نتایج نشان داد که فرسایش بادی با پارامترهای میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه، خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر، مقاومت برشی و مقاومت فروری همبستگی منفی و معنی‌داری دارد. از طرف دیگر نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری با استفاده از روش استوانه مضاعف و توسط سه مدل (کاستیاکوف، هورتون و فیلیپ) نشان داد که در نمونه‌های مالچ‌پاشی شده و شاهد، کمترین میانگین مربعات خطا (SSE) و بیشترین ضریب تبیین (R^2) مربوط به مدل کاستیاکوف است که بیانگر برتری این مدل در مقایسه با مدل‌های هورتون و فیلیپ بود. همچنین شدت فرسایش بادی به صورت درجا و با استفاده از یک دستگاه تونل باد قابل حمل در ۲۰ نقطه از منطقه سجزی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مالچ‌پاشی بیشتر از ۹۵ درصد از فرسایش خاک را کنترل کرده است.

واژه‌های کلیدی: مالچ رسی، فرسایش خاک، مدل‌های نفوذپذیری، مقاومت برشی، مقاومت فروری

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: a.jalalian@khuisf.ac.ir

مقدمه

فرسایش خاک به عنوان یک معضل بزرگ زیست محیطی و کشاورزی شناخته شده است. این مشکل به دلیل آثار درون مکانی و برون مکانی به مشکل اقتصادی، اجتماعی و سیاسی تبدیل شده است. اگرچه در ایران پژوهشی جامع در مورد میزان فرسایش خاک انجام نگرفته است ولی پژوهش های انجام گرفته نشان می دهد که شدت فرسایش خاک در ایران زیاد است و هر ساله خسارت های جبران ناپذیری به کشور وارد می شود.

یکی از مهم ترین بحران های زیست محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک پدیده مخرب بیابان زایی و فرسایش بادی است که وقوع طوفان های گرد و غبار و حرکت ریزگردها از پیامدهای آن محسوب می شود (۲۰).

ایران با قرار گرفتن روی کمربند خشک نیم کره شمالی (۲۴)، ۸۵ درصد مساحت خود را به مناطق خشک و نیمه خشک اختصاص داده است (۵ و ۲۳). طبق آخرین آمار ۱۱/۹ درصد از سطح کشور ایران متأثر از فرسایش بادی بوده و ۱۴ استان در مناطق حساس به فرسایش بادی هستند (۲۴).

روش های مختلفی برای کنترل فرسایش بادی و در نتیجه کاهش گرد و غبار وجود دارد، یکی از شیوه های کنترل ماسه های روان، مالچ پاشی بر سطح آنها است. تخریب محیط زیست به وسیله مالچ های نفتی و همچنین هزینه های زیاد استفاده از این نوع مالچ ها، باعث فعال شدن مراکز علمی و پژوهشی کشور در زمینه تحقیق روی تغییر در نوع و شیوه های مالچ پاشی شده است.

افزایش مقاومت لایه سطحی خاک در مقابل تنش برشی جریان باد، عاملی کلیدی در کنترل فرسایش بادی است. از این رو، اساس بسیاری از روش های کنترل فرسایش خاک مورد استفاده در حال حاضر، مبتنی بر تثبیت و تقویت سطح خاک است. در این رابطه، شکل گیری پوسته فیزیکی به شدت می تواند خطر فرسایش باد را کاهش دهد. در سال های اخیر فناوری بیولوژیکی سبز و سازگار با محیط زیست توسعه داده شده است (۸). از مالچ رسی نیز به عنوان تیماری در جهت کاهش

فرسایش بادی استفاده کرده اند. نتایج آنها بیانگر نقش مثبت مالچ رسی در کاهش فرسایش بادی است (۲۲).

بتونیت کلسیم یا سدیم باعث بهبود خصوصیات مهندسی از قبیل مقاومت نفوذی استاتیک، مقاومت نفوذی دینامیک و حداکثر تأثیر بر سرعت باد در تپه های شنی می شود (۱).

با توجه به بررسی پارامترهای اصلی تأثیرگذار بر فرسایش بادی، منطقه سجزی به عنوان یکی از مهم ترین مراکز برداشت و حمل رسوبات بادی و یکی از اصلی ترین کانون های بحرانی فرسایش بادی فلات مرکزی به عنوان محدوده مورد مطالعه تعیین شده است، این منطقه با میانگین بارندگی سالانه ۱۱۶ میلی متر دارای اقلیم خشک است (۱۷).

با توجه به شرایط خاص منطقه، اولین قدم در تثبیت فرسایش استفاده از سازگارترین روش های موجود در منطقه است. در این خصوص مالچ پاشی با مالچ رسی (بتونیت) یکی از اصلی ترین گزینه های جایگزین موجود است که در این پژوهش به مقایسه بستر مالچ پاشی شده با بستر طبیعی عرصه، بر اساس ویژگی های فیزیکی و مکانیکی سله و ارزیابی تأثیر مالچ های رسی بر اساس مدل های مربوطه پرداخته می شود. یکی از پارامترهای تأثیرگذار در پارامترهای سله خاک شاخص نفوذ پذیری خاک است. سرعت نفوذ در ابتدای وارد شدن آب به خاک زیاد بوده و سپس به تدریج تقلیل یافته و به مقدار ثابتی که تنها نتیجه عمل نیروی ثقل است می رسد (۶). فرسایش بادی همچنین به طور مستقیم به ویژگی های فیزیکی خاک بستگی دارد (۱۳). توزیع اندازه ذرات خاک سطحی یکی از عوامل مهم مرتبط با فرسایش پذیری خاک است که در مهار فرسایش بادی نقش اساسی دارد (۳ و ۱۲). علاوه بر ذرات اولیه خاک، توزیع اندازه خاکدانه نیز اثر معنی داری بر شدت فرسایش بادی دارد. میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) و خاکدانه های بزرگ تر از ۰/۲۵ میلی متر (DSA) به عنوان شاخصی از توزیع اندازه خاکدانه از طریق رابطه ای توانی باعث کاهش شدت فرسایش بادی می شود (۳۱). با افزایش مقاومت برشی سطح خاک میزان فرسایش خاک کاهش می یابد. علاوه بر این پوشش شن سطحی

مالچ رسی (بتونیت کلسیم دار) و بستر طبیعی به عنوان شاهد انجام شد، تعیین مکان‌های نمونه برداری بر اساس شبکه بندی یک هکتاری در دستور کار قرار گرفت. از مرکز شبکه و از دو لایه ۵-۰ و ۲۰-۵ سانتی متر نمونه برداری خاک برای اندازه گیری های آزمایشگاهی (شکل ۳) انجام شد.

پس از نمونه برداری خاک از لایه سطحی و انتقال به آزمایشگاه و هواخشک شدن خاک از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و برای آزمایش های فیزیکی و شیمیایی (بافت، توزیع اندازه ذرات ثانویه، اندازه گیری pH در گل اشباع، اندازه گیری هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک، اندازه گیری ظرفیت تبادل کاتیونی، اندازه گیری Mg^{+2} و Ca^{+2} ، محاسبه نسبت جذب سدیم (SAR)، اندازه گیری سدیم و پتاسیم محلول، اندازه گیری آهنک، اندازه گیری گچ، اندازه گیری کربن (ماده) آلی بر اساس روش های استاندارد) مورد استفاده قرار گرفت. توزیع اندازه ذرات در حالت خشک با استفاده از دستگاه شیکر الک تعیین شد. به منظور تعیین توزیع اندازه ذرات ثانویه، ۱۰۰ گرم از هر نمونه خاک، مورد دانه بندی قرار گرفت. برای تفکیک کلاس های مختلف اندازه ذرات از الک های ۱، ۲، ۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۰/۱، ۰/۰۷۵، ۰/۰۵۳ میلی متر استفاده شد. مدت هر آزمایش ۱۰ دقیقه بود. بسته به جرم کل و جرم ذرات جمع شده در هر کلاس اندازه ذرات درصد در هر کلاس اندازه تعیین شد. بر اساس نتایج حاصل از توزیع اندازه ذرات خاک فرسایش یافته، میانگین وزنی قطر ذرات ثانویه (MWD) و میانگین هندسی قطر ذرات ثانویه (GMD) از طریق روابط مربوطه برحسب میلی متر محاسبه شد. در این پژوهش برای به دست آوردن مقاومت برشی لایه رویین خاک از پره برشی (مدل-BS1377) و فروسنج جیبی در شرایط زهکشی نشده (اشباع) استفاده شد (۴). روش کار با پره برشی بدین صورت است که پره برشی در داخل خاک تا جایی که پره ها کاملاً در خاک قرار بگیرند وارد می شود. سپس شروع به دوران پره برشی در جهت عقربه های ساعت کرده و تا برش (گسیختگی) خاک ادامه می دهیم که حدود ۵ تا ۱۰ ثانیه طول می کشد. حداکثر مقدار تنش وارده

بیش از ۵ درصد در کاهش فرسایش بادی مؤثرتر است که به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک با پوشش گیاهی ضعیف اهمیت دارد (۳۲).

در این پژوهش با استفاده از آزمایش تونل باد قابل حمل، شدت فرسایش بادی در قسمت های مختلف دشت سجزی اندازه گیری می شود. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی ارتباط بین پارامترهای میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه، خاکدانه های بزرگ تر از ۰/۲۵ میلی متر، مقاومت برشی و مقاومت فروری با شدت فرسایش بادی از طریق ایجاد روابط همبستگی ساده، رگرسیون تک و چندمتغیره و تعیین اثرگذارترین ویژگی ها در قسمت های مختلف دشت سجزی انجام شد.

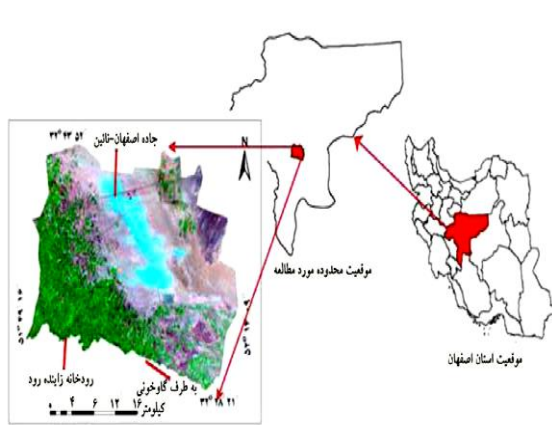
مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

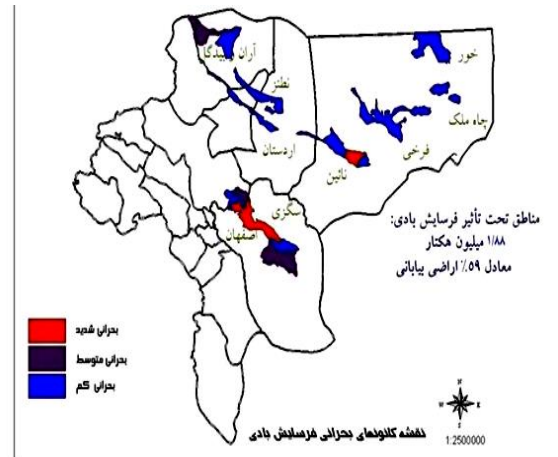
منطقه سجزی به وسعت ۴۳۰۰۰ هکتار مهم ترین کانون از ۱۶ کانون فرسایش بادی استان اصفهان است (شکل ۱). سجزی دشتی است وسیع در ۲۵ کیلومتری شرق اصفهان در محدوده شهرستان کوهپایه که در مختصات ۵۶' و ۵۱° و ۷۵' و ۵۲° طول شرقی و ۲۳' و ۳۲° تا ۵۵' و ۳۲° عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۲).

بر اساس بررسی های آماری بلندمدت (۲۰۱۵-۱۹۷۷) ایستگاه هواشناسی شرق اصفهان، میانگین سالانه دمای منطقه ۱۵/۳ درجه سانتی گراد (درجه سلسیوس) است. میانگین ماهانه رطوبت نسبی هوا طبق آمار بلندمدت (۲۰۱۵-۱۹۷۷) در شرق اصفهان ۳۸/۸ درصد است.

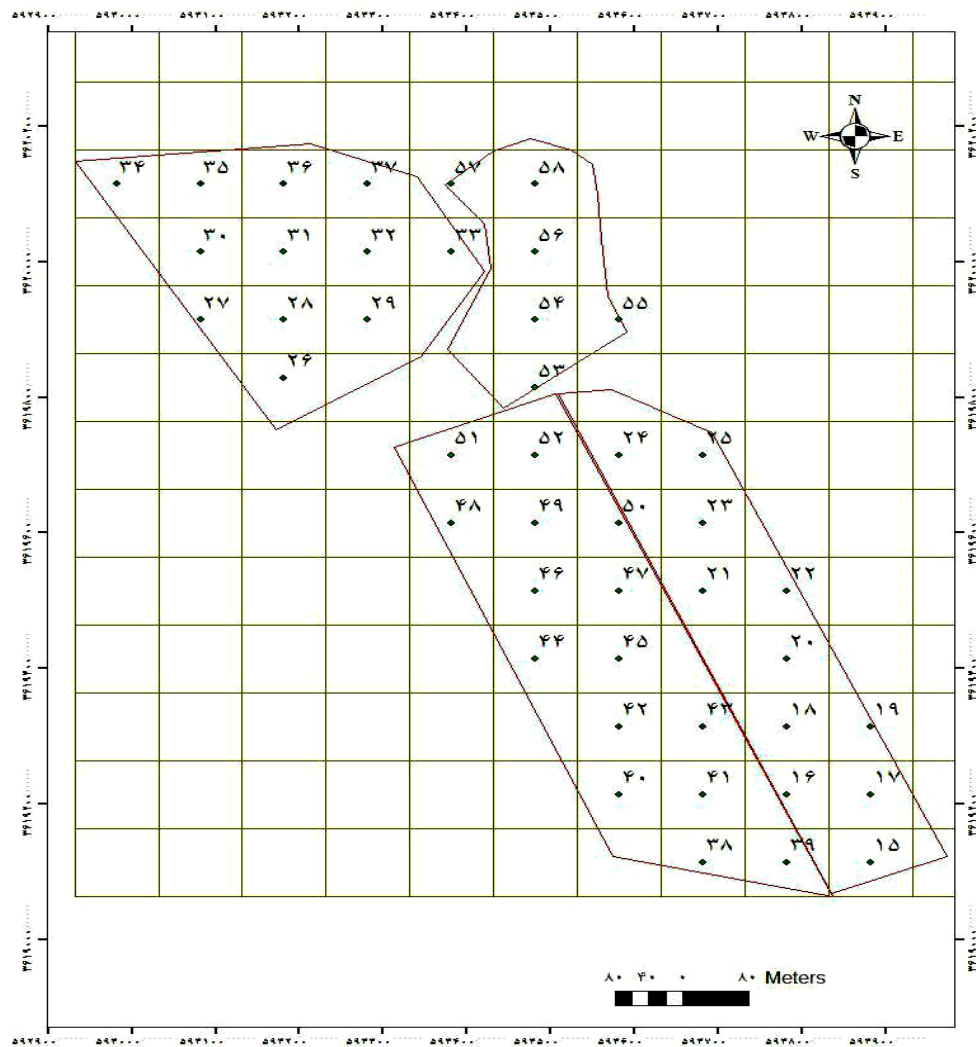
مالچ پاشی محدوده مورد مطالعه با استفاده از رس بتونایت کلسیم دار ۲۰ میکرون خالص سازی شده به مقدار ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سوسپانسیون با استفاده از تانکرهای ۱۰۰۰۰ لیتری با نازل هایی ۱۸ متری به روش گان در اردیبهشت ماه سال ۹۵ در سطح ۵۲ هکتار انجام شد. این پژوهش در قالب طرح آماری بلوک های کامل تصادفی با دو تیمار اصلی: پوشش با



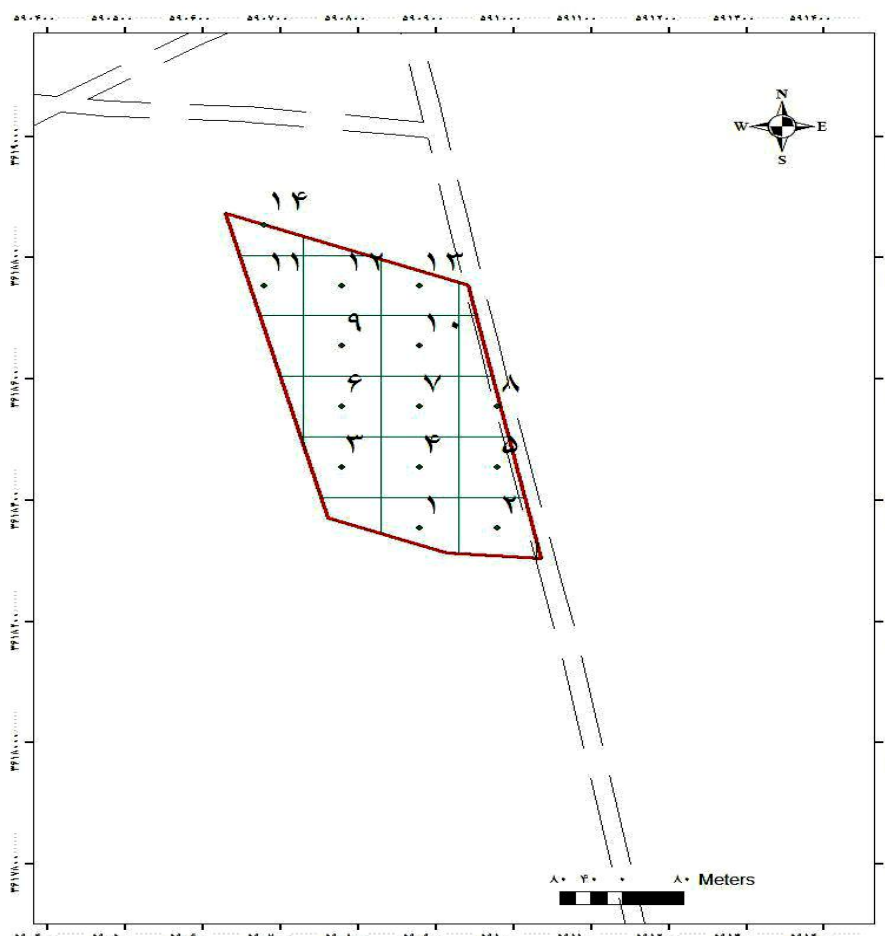
شکل ۲. نقشه منطقه سجزی اصفهان



شکل ۱. نقشه کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در استان اصفهان



شکل ۳. نقشه تقسیم منطقه به شبکه‌های یک هکتاری (رنگی در نسخه الکترونیکی)



ادامه شکل ۳

۹۸ تا ۱۳۸ دقیقه طول کشید، از ۲۰ ثانیه شروع و تا ۲۰ دقیقه بازه زمانی ادامه پیدا کرد. در منطقه مالچ‌پاشی شده ۱۵ نقطه و در منطقه شاهد (بدون مالچ) ۱۱ نقطه زده شد. سپس بر اساس مدل‌های کوستیاکوف اصلاح شده، هورتون و فیلیپ مدل‌سازی انجام و مدل‌ها برآزش داده و بهترین مدل انتخاب شد.

برای تعیین میزان نفوذ و عمق رواناب در خاک با استفاده از باران‌ساز پروتابل در شدت‌های مختلف داده‌های هواشناسی بررسی شده و داده‌های پرت به کمک آزمون‌های مربوطه تفکیک شد (شکل ۴). بعد از برآزش اطلاعات هواشناسی، نمودار شدت - مدت و فراوانی بارندگی ترسیم شد که بر اساس نمودارهای مربوطه حداکثر شدت بارش وقوع‌یافته را به‌عنوان

روی صفحه مدرج در بالای پره برشی ثبت می‌شود. همچنین از فروسنج جیبی برای مقاومت برشی غیرمحصور خاک استفاده شد. روش کار بدین صورت بود که دستگاه فروسنج روی سطح خاک قرار داده شده، با اعمال نیرو تا خط نشان (تقریباً ۵/۰ سانتی‌متر) در خاک فرو برده شده و عدد دستگاه قرائت شد. این دستگاه مقاومت برشی غیرمحصور خاک سطحی را اندازه‌گیری می‌کند. در هر بلوک پنج تکرار انجام شد.

نفوذ آب به خاک با استفاده از روش استوانه‌های مضاعف در بافت‌های Loam, Silt loam, Clay loam, Sandy loam بر اساس گسترش بافت با سه یا چهار تکرار انجام شد. مدت آزمایش بر اساس حصول شرایط ماندگار جریان بین

میلی‌متر ($DSA > 0.25 \text{ mm}$) (۲۷) تعیین شدند.

آنالیزهای آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. همبستگی ساده بین ویژگی‌های خاک با شدت فرسایش بادی تعیین شد. همچنین، برای تعیین اثر ویژگی‌های خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل بر شدت فرسایش بادی به‌عنوان متغیر وابسته، از طریق ایجاد رگرسیون تک‌متغیره بهترین روابط (از بین خطی و غیرخطی) مشخص شد.

نتایج

جدول ۱ توصیف آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مناطق مالچ‌پاشی شده را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌شود حداقل $EC \ 9/63$ و حداکثر آن $53/76$ با میانگین 29 دسی‌زیمنس بر متر و میانگین $SAR \ 67/81$ و میانگین $pH \ 7/6$ است. لذا خاک منطقه بیشتر در کلاس خاک‌های شور و سدیمی طبقه‌بندی شدند. میانگین گچ 18 و میانگین آهک 23 درصد در منطقه مورد مطالعه بوده است. میانگین شن، سیلت و رس نیز به ترتیب $46/12$ ، $40/1$ و $13/78$ درصد است و بافت خاک بیشتر در کلاس‌های $Loam$ ، $Silt Loam$ و $Sandy Loam$ قرار می‌گیرند.

بررسی مقاومت برشی سله‌های مصنوعی ایجاد شده و سله

طبیعی

مطابق شکل ۳ در هر بلوک در پنج تکرار با استفاده از پره برشی $Vane Shear$ مقاومت سله مصنوعی ایجاد شده اندازه‌گیری شد. در حقیقت با این دستگاه نیروی کوهسیون (C) که باعث برش خاک می‌شود را اندازه‌گیری کرده است. جدول ۲ تجزیه واریانس اثر تیمار بر مقاومت برشی و شکل ۶ مقاومت برشی را در قطعات مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود قطعات ۱، ۲ و ۳ مقاومت برشی تفاوت معنی‌داری نداشته و با قطعه ۴ تفاوت معنی‌داری دارند. این تفاوت احتمالاً مربوط به بافت ریزتر، درصد رس، ماده آلی و درصد آهک بیشتر در این قطعه است. مقاومت برشی سله مصنوعی حدود ۳ برابر سله طبیعی است.

شدت ورودی دستگاه باران‌ساز تعیین کرده و بر اساس آن نفوذپذیری و عمق رواناب بررسی شد.

برای اندازه‌گیری میزان فرسایش بادی با استفاده از تونل باد ۲۰ نقطه در منطقه سجزی اصفهان انتخاب و مطالعه فرسایش بادی در آنها انجام شد. پس از تعیین نقاط مناسب آزمایش، تونل باد در جهت باد غالب هر منطقه روی خاک دست نخورده قرار داده شد. همه آزمایش‌های تونل باد با شرایط یکنواخت و با حداکثر سرعت ثابت 14 متر بر ثانیه در ارتفاع 10 متری و در مدت زمان ثابت 5 دقیقه انجام شد (شکل ۵). این مدت زمان بر اساس مدت لازم برای رسیدن به شرایط پایدار انتخاب شد (۳۳). سطح مورد آزمایش به ابعاد 100 سانتی‌متر در 30 سانتی‌متر است که روی نمونه‌های خاک دست نخورده طبیعی قرار می‌گیرد. در قسمت انتهای دستگاه، نمونه گیر متشکل از یک محفظه پلاستیکی دو جداره به طول 10 متر نصب شده است. از یک طرف با جریان رفت و برگشتی باد، ذرات خاک حاصل از فرسایش در آن جمع‌آوری شده و از طرف دیگر مانع افت فشار هوا می‌شود (۱۲). پس از پایان هر آزمایش، رسوب به‌طور کامل از محفظه پلاستیکی جمع‌آوری و برای توزین به آزمایشگاه منتقل شد. با توجه به جرم رسوب اندازه‌گیری شده هر نقطه، سطح مورد آزمایش خاک و مدت زمان هر رخداد، شدت فرسایش بادی محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی خاک از مجاور محل نصب تونل باد و از عمق 5 سانتی‌متر سطحی، یک نمونه خاک تهیه شد. نمونه‌های خاک به‌منظور اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های فیزیکی به آزمایشگاه منتقل و سپس برخی از خصوصیات فیزیکی بر اساس روش‌های استاندارد تعیین شد. روش الک خشک به‌منظور تعیین توزیع اندازه ذرات ثانویه استفاده شد (۱۷). بر اساس نتایج حاصل از توزیع اندازه ذرات خاک، پارامترهای توصیف‌کننده توزیع اندازه ذرت خاک از قبیل میانگین وزنی قطر ذرات ثانویه (MWD) (۲۳) و درصد خاکدانه‌های بزرگ‌تر از $0/25$



شکل ۴. باران‌ساز (۹)



شکل ۵. تونل باد به‌کار برده شده در صحرا روی نمونه خاک‌های دست‌نخورده (۱۰)

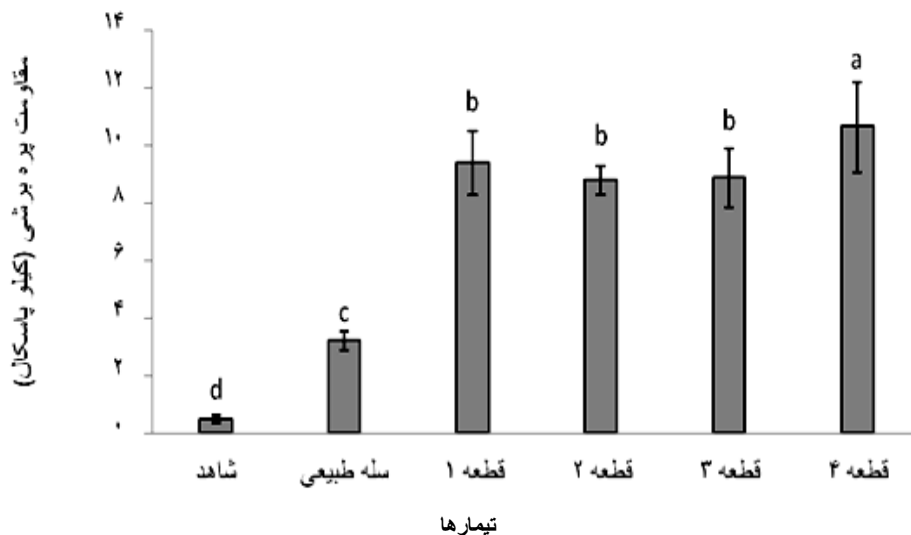
جدول ۱. توصیف آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مناطق مالچ‌پاشی شده

ویژگی	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
EC	dS/m	۹/۶۳	۵۳/۷	۲۹	۱۰/۶	۱۱۴	۰/۲۸	-۰/۶۷
pH	—	۶/۹۴	۹/۱۱	۷/۶۸	۰/۵۶	۰/۳۱	۰/۷۱	-۰/۴۳
K	mg/kg	۲۷	۲۲۵	۱۰۵	۴۳/۴	۱۸۹۰	۰/۵۴	۰/۳۳
OM	%	۰/۵۶	۱/۱۲	۰/۸۳	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۲۶	-۰/۴۶
CaCO ₃	%	۱۰	۴۳	۲۳/۷	۷/۰۷	۵۰	-۰/۳۶	۱/۲۸
CaSO ₄	%	۱/۰۵	۶۷/۴	۱۸/۸	۱۷/۵	۳۰۸	۱/۱۷	۰/۵۴
Cl	meq/l	۵۷	۵۲۸	۲۸۱	۱۱۹	۱۴۲۰۰	۰/۳۱	-۰/۶۸
Ca	meq/l	۱۳	۳۲	۱۹/۷	۴/۰۶	۱۶/۴	۰/۴۹	۰/۲۶
Na	meq/l	۲۰/۸	۸۷۰	۳۹۹	۲۰۳	۴۱۴۸۰	۰/۳۲	-۰/۶۱
Ca+Mg	meq/l	۱۷/۶	۷۳	۳۳/۸	۱۲/۵	۱۵۶	۱/۵۲	۲/۲۰
SAR	(meq/l) ^{0.5}	۴/۹۷	۱۳۳	۶۷/۸	۳۰/۴	۹۲۴	۰/۲۲	۰/۲۹
Sand	%	۱۷	۷۷	۴۶/۱	۱۲/۴	۱۵۵	۰/۳۸	۰/۰۰۶
Silt	%	۱۰	۵۹/۱	۴۰/۱	۱۱/۲	۱۲۶	-۰/۸۶	۰/۳۳
Clay	%	۵	۳۰	۱۳/۷	۶/۵۳	۴۲/۷	۰/۹۳	-۰/۰۳
MWD	mm	۰/۲۰	۰/۹۲	۰/۶۰	۰/۱۸	۰/۰۳	-۰/۱۵	-۰/۶۱
GMD	mm	۰/۳۷	۰/۶۴	۰/۵۳	۰/۰۶	۰/۰۰۵	-۰/۶۰	-۰/۲۱

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمار بر مقاومت برشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات مقاومت برشی
تیمار	۵	۸/۳۰**
خطا	۲۴	۰/۸۴

** : در سطح آماری ۱ درصد معنی دار است.



میانگین‌هایی که حروف متفاوتی دارند، در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی داری دارند. علامت‌ها انحراف معیار هستند.

شکل ۶. مقاومت برشی در قطعات مختلف و مقایسه آن با سله طبیعی

تثبیت شده و مناطق مالچ‌پاشی رشد کرده‌اند.

مقاومت فروری (مقاومت نفوذی) (Penetration Resistance)

سله

توزیع اندازه ذرات ثانویه

جدول ۴، جدول تجزیه واریانس اثر تیمار بر MWD و GMD و شکل ۸ فاکتور میانگین وزنی قطر ذرات ثانویه در قطعات مختلف و شکل ۹ فاکتور میانگین هندسی قطر ذرات ثانویه را نشان می‌دهد.

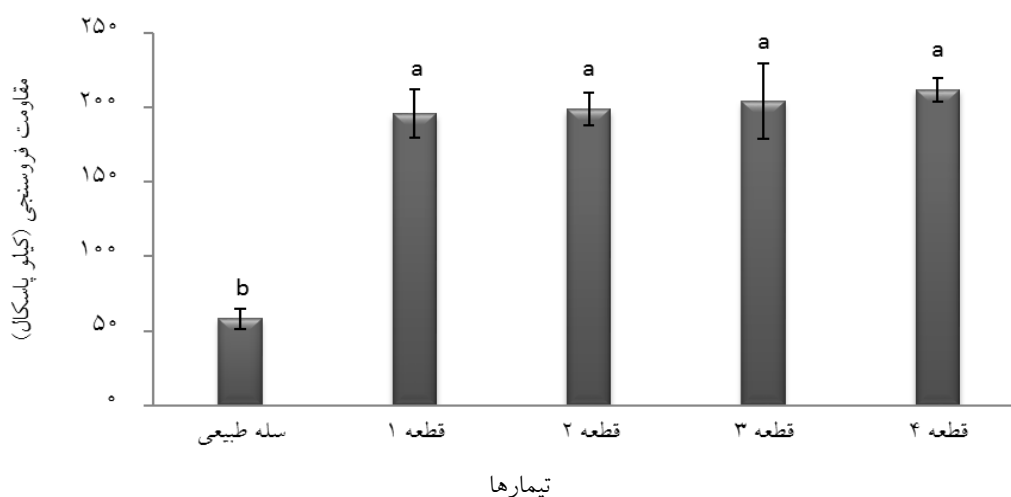
بر اساس نتایج این جدول در مقایسه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در محدوده مالچ پاشی شده (تیمار) و خاک عرصه در سطح ۹۹ درصد اختلاف معنی داری مشاهده می‌شود. میانگین وزنی قطر ذرات ثانویه (MWD) در قطعات عرصه طبیعی ۰/۶ میلی‌متر و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) ۰/۵۳ میلی‌متر است.

جدول ۳ تجزیه واریانس اثر تیمار بر مقاومت فروری و شکل ۷ مقاومت فروری در سله‌های مصنوعی نشان می‌دهد. حد بحرانی مقاومت فروری را ۲ مگاپاسکال در نظر می‌گیرند. حد بحرانی مقاومت فروری بسته به بافت و رطوبت خاک متفاوت خواهد بود (۲۶). حد بحرانی را ۲ مگاپاسکال در نظر می‌گیرند. با توجه به اینکه حداکثر مقاومت فروری اندازه گیری شده در منطقه مورد مطالعه ۲۰۰ کیلوپاسکال است لذا می‌توان نتیجه گرفت که برای رشد هیچ‌گونه گیاه زراعی و مرتعی مشکلی ایجاد نمی‌کند و این عملاً در مناطق مالچ‌پاشی شده مشاهده شد که گیاهان بومی به‌طور خودرو در تپه‌های

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمار بر مقاومت فروری

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات مقاومت فروسنجی
تیمار	۴	۲۱۱۲۶/۵**
خطا	۲۰	۲۲۸/۸

** در سطح آماری ۱ درصد معنی دار است.

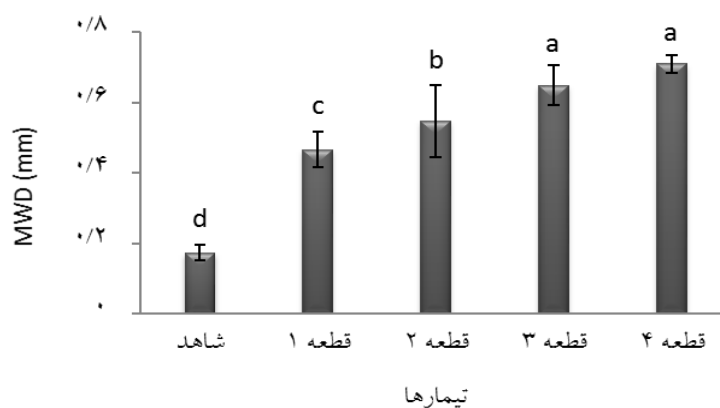


شکل ۷. مقاومت فروری در سله‌های مصنوعی و مقایسه آن با سله طبیعی

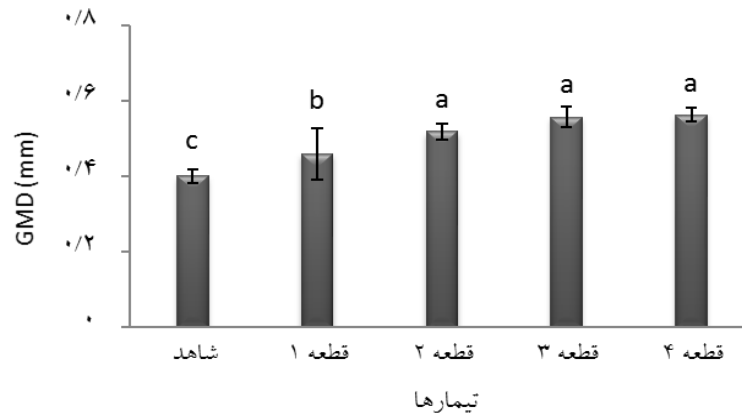
جدول ۴. تجزیه واریانس اثر تیمار بر GMD و MWD

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
GMD	MWD		
۰/۰۲۴**	۰/۲۲۰**	۴	تیمار
۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۲۰	خطا

** در سطح آماری ۱ درصد معنی دار است.



شکل ۸. فاکتور میانگین وزنی قطر ذرات ثانویه (MWD) در قطعات مختلف



شکل ۹. فاکتور میانگین هندسی قطر ذرات ثانویه (GMD) در قطعات مختلف

تست باران‌ساز

در این تحقیق در چهار بافتی که روی آنها تست نفوذپذیری انجام شد تست باران‌ساز پروتابل نیز انجام شد. تکرارها بر اساس مساحت بافت‌های خاک در بلوک‌های یک هکتاری مطابق جدول ۵ انجام شد. شدت باران‌ساز با استفاده از منحنی های شدت-مدت در تناوب ۵۰ سال یک‌بار و در مدت نیم ساعت در نظر گرفته شد.

قطر متوسط باران ایجاد شده در تناوب ۵۰ سال یک‌بار با چهار تکرار ۴/۳۶ میلی‌متر که انرژی سینتیک قطرات باران برای تناوب ۵۰ سال یک‌بار ۲۶ ژول در مترمربع در میلی‌متر باران بوده است. لوچ (۲۰) در تحقیقات خود اعلام کرد که انرژی جنبشی باران برای بیشتر مناطق دنیا ۲۵ تا ۲۹ ژول در مترمربع در میلی‌متر باران است.

با توجه به قطر متوسط قطرات باران که ۴/۳۶ میلی‌متر بوده است می‌توان چنین فرض کرد که سرعت قطرات باران به سرعت حد که ۹ متر در ثانیه است نزدیک است. باران‌سازهای پروتابل قطرات درشت‌تری از باران‌های طبیعی ایجاد می‌کنند که تا حدودی قطر قطرات به سرعت حد نزدیک شده و انرژی کافی برای فرسایش پاشمانی و در نهایت رواناب ایجاد کند. قطرات باران با قطر ۴/۵ تا ۵ میلی‌متر دارای سرعت حد ۹ متر در ثانیه هستند.

نتایج تست باران‌ساز در منطقه مطالعاتی در تمامی بافت ها و تکرارها نشان داد که سله تشکیل شده قابلیت نفوذ خوبی داشته و هیچ گونه رواناب تولید نکرده است که بتوان

جمع‌آوری کرد.

مدل‌های نفوذ آب در خاک

داده‌های نفوذپذیری که با استفاده از استوانه مضاعف به‌دست آمد مدل‌سازی شد و برازش داده شد و بهترین مدل، کوستیاکوف اصلاح شده، سپس مدل هورتون و در نهایت مدل فیلیپ بود.

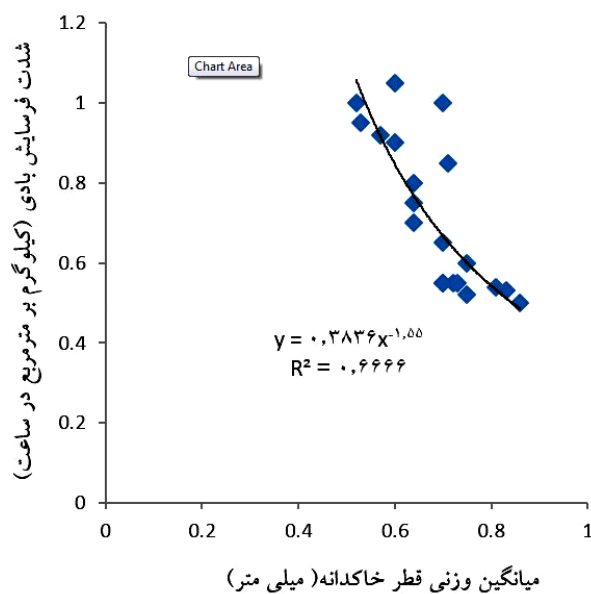
اثر ویژگی‌های خاک

توزیع اندازه خاکدانه اثر معنی‌داری بر شدت فرسایش بادی داشت. میانگین وزنی قطر خاکدانه به‌عنوان شاخصی از توزیع اندازه خاکدانه از طریق رابطه‌ای توانی باعث کاهش شدت فرسایش بادی شد ($R^2=0.66$, $P<0.01$) (شکل ۱۰). میانگین هندسی قطر خاکدانه از طریق رابطه توانی باعث کاهش شدت فرسایش بادی شد ($R^2=0.68$, $P<0.01$) (شکل ۱۱). درصد خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر باعث کاهش معنی‌دار شدت فرسایش بادی از طریق تابع توانی ($R^2=0.86$, $P<0.01$) (شکل ۱۲) شد.

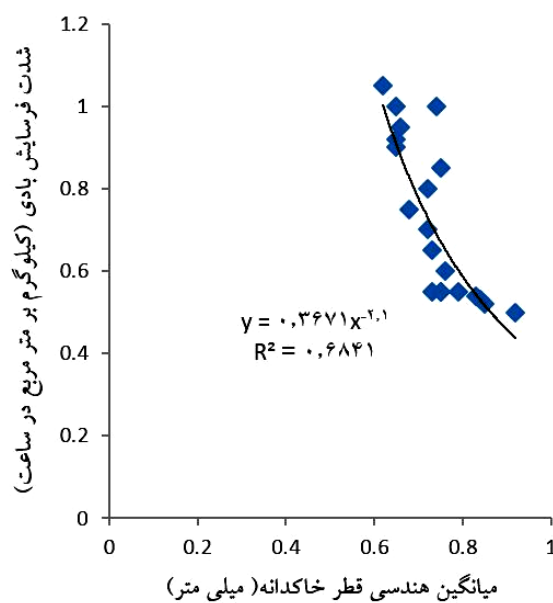
در خاک‌های مورد مطالعه، با افزایش مقاومت برشی شدت‌های کمتر فرسایش بادی (تابع توانی) مشاهده شد ($R^2=0.6$, $P<0.01$) (شکل ۱۳). همچنین با افزایش مقاومت فروری شدت‌های فرسایش بادی کمتری مشاهده شد ($R^2=0.55$, $P<0.01$) (شکل ۱۴).

جدول ۵. مشخصات بافت خاک در بلوک یک هکتاری

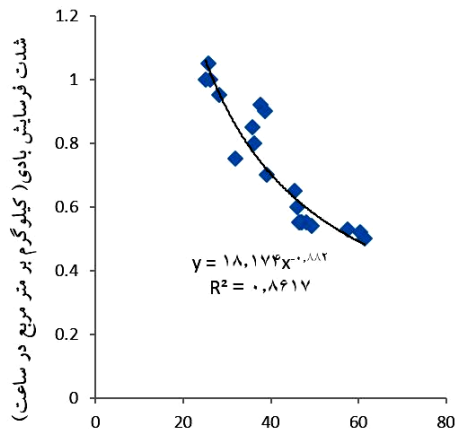
بافت	تکرار	شماره بلوک‌های تست باران‌ساز
Silt loam	۳	۱۴۵، ۱۲۱، ۱۰۴
Sandy loam	۴	۱۴۹، ۱۳۶، ۱۱۷، ۱۰۹
Loam	۶	۱۲۵، ۱۵۲، ۱۴۱، ۱۲۶، ۱۲۹، ۱۰۲
Sandy clay loam	۱	۱۳۰



شکل ۱۰. نمودار رابطه شدت فرسایش بادی با میانگین وزنی قطر خاکدانه

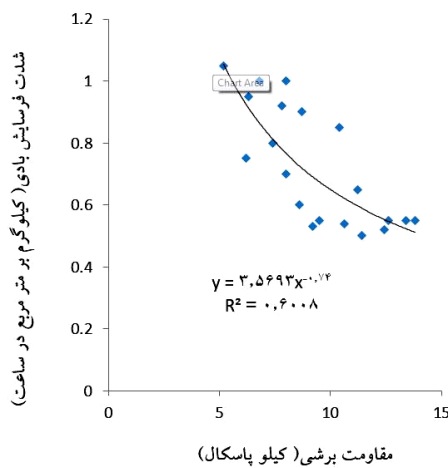


شکل ۱۱. نمودار رابطه شدت فرسایش بادی با میانگین هندسی قطر خاکدانه



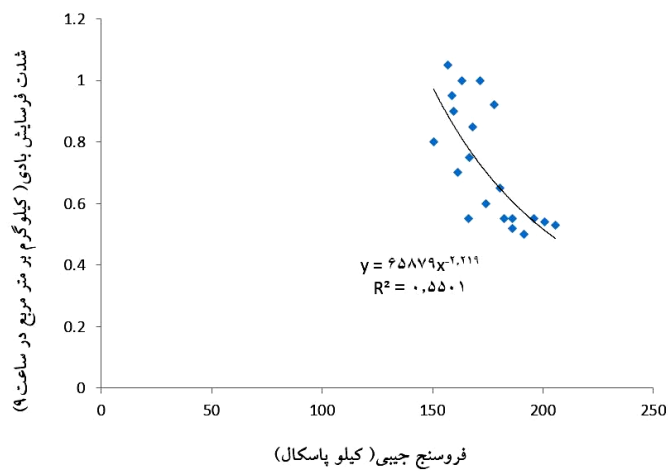
خاکدانه های بزرگتر از ۲۵/ میلی متر (درصد)

شکل ۱۲. نمودار رابطه شدت فرسایش بادی با خاکدانه های بزرگ تر از ۲۵/ میلی متر



مقاومت برشی (کیلو پاسکال)

شکل ۱۳. نمودار رابطه شدت فرسایش بادی با مقاومت برشی خاک



فروسنج جیبی (کیلو پاسکال)

شکل ۱۴. نمودار رابطه شدت فرسایش بادی با فروسنج جیبی

مؤثرترین ویژگی‌های خاک

به منظور تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های خاک که قادر به کنترل بهتر شدت فرسایش بادی در خاک‌های مورد مطالعه باشد، از رگرسیون خطی چندمتغیره به روش گام به گام استفاده شد. نتایج نشان داد که از بین ویژگی‌های مورد مطالعه در این پژوهش، خاکدانه‌های بزرگ‌تر از 0.25 میلی‌متر (DSA) و مقاومت برشی مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر شدت فرسایش بادی (WE)، $E=1.569-0.017 DSA -0.016$ Shear Strenght، هستند. در این رابطه که در سطح یک درصد معنی‌دار بود، مقادیر ضریب تعیین (R^2)، خطای استاندارد برآورد (SE) به ترتیب برابر با 0.87 و 0.073 تعیین شد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد با وجود قرار گرفتن خاک‌های منطقه در کلاس خاک‌های شور و سدیمی به دلیل بالا بودن میزان آهک و گچ، در محدوده عرصه طبیعی تشکیل سله مناسب مشاهده می‌شود که از لحاظ تجربی در مقایسه با محدوده مالچ‌پاشی شده تأثیر مالچ رسی بتونایت روی پارامترهای شیمیایی خاک اهمیت چندانی نداشته است. لیکن در خصوص تأثیرگذاری مالچ رسی روی خصوصیات فیزیکی خاک موضوع متفاوت است به نحوی که اگر چه بتونایت روی بافت خاک تأثیر ملموسی نداشته است ولی از لحاظ آماری باعث ایجاد تفاوت معنی‌داری در سطح 99 درصد در تشکیل خاکدانه شده است. به بیان دیگر تغییرات توزیع اندازه ذرات خاک در محدوده مالچ‌پاشی شده باعث ایجاد تفاوت معنی‌دار در پارامترهای MWD و GMD شده است. به نحوی که میانگین وزنی قطر ذرات ثانویه (MWD) در قطعات عرصه طبیعی و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) در مقایسه با محدوده مالچ‌پاشی شده در مقادیر پایین‌تری قرار دارد، به عبارت دیگر رس بتونایت توانسته خاکدانه‌سازی کند که با توجه به ارتباط فرسایش بادی با اندازه ذرات خاک (۳۴) که با پارامترهای قطر میانه و میانگین وزنی قطر (MWD) (۱۵) و توزیع اندازه ذرات

که به وسیله میانه هندسی قطر (GMD) بیان می‌شود (۱۹) به دلیل بالا رفتن اندازه ذرات خاک در محدوده مالچ‌پاشی شده کاهش میزان فرسایش بادی قابل انتظار خواهد بود، به نحوی که با بیشتر شدن اندازه خاکدانه‌ها و افزایش مقاومت در برابر جدا شدن، فرسایش‌پذیری کاهش می‌یابد (۲۸) این نتایج با مطالعات هی و همکاران در سال ۲۰۱۱ (۱۶) مطابقت دارد.

پارامتر دیگر تعیین کننده در استفاده از مالچ‌های رسی، نقش مالچ در ایجاد مقاومت سطحی و کاهش فرسایش بادی است در این راستا نتایج نشان می‌دهد میزان مقاومت برشی قطعات مالچ پاشی شده به صورت معنی‌داری نسبت به محدوده طبیعی عرصه بالاتر است به نحوی که مقاومت برشی سله مصنوعی سه برابر سله طبیعی است که این نتایج با سایر تحقیقات نظیر نتایج ادوارد سون در سال ۲۰۱۰ مطابقت دارد.

در ادامه تحقیق با توجه به تأثیر مالچ بر میزان نفوذ و ظرفیت نگهداشت آب مشخص شد مالچ رسی با وجود کاهش میزان نفوذ ابتدایی به دلیل جلوگیری از تبخیر نقش بسزایی در روش‌های مکمل تثبیت بیولوژیک دارد به نحوی که در این راستا نتایج بیانگر این است که در مقایسه سرعت نفوذ محدوده مالچ‌پاشی شده با محدوده شاهد (مالچ‌پاشی نشده) مشخص شد که سرعت نفوذ تجمعی در منطقه مالچ‌پاشی شده بیشتر است. نتایج تست باران‌ساز در منطقه مطالعاتی در تمامی بافت‌ها و تکرارها نشان داد که سله تشکیل شده با وجود کمتر بودن قابلیت نفوذ نسبت به عرصه شاهد قابلیت نفوذ خوبی داشته و هیچ‌گونه رواناب تولید نکرده است که بتوان جمع‌آوری کرد. نتایج تست باران‌ساز با نتایج نفوذ و مطالعات هیدرولوژی و بررسی‌های میدانی همخوانی دارد. در ضمن نتایج نشان می‌دهد، در نمونه‌های مالچ‌پاشی شده و شاهد، کمترین میانگین مربعات خطا (SSE) و بالاترین ضریب تبیین (R^2) مربوط به مدل کاستیاکوف است که بیانگر برتری این مدل در مقایسه با مدل‌های هورتون و فیلیپ است. این نتایج با تحقیقی که توسط فرید (۱۱) در پاکستان انجام شده است مطابقت دارد.

فرسایش بادی با پارامترهای میانگین وزنی قطر خاکدانه

فرسایش بادی می‌شود (۳). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، در اثر برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک، خاکدانه‌های موجود در سطح خرد شده که باعث تشکیل سله سطحی با مقاومت برشی بیشتر نسبت به لایه زیرین می‌شود (۷). این موضوع اهمیت دست‌خوردگی خاک سطحی در تشدید فرسایش بادی به‌ویژه در مناطق فاقد پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. آزمایش‌های تست تونل باد مؤید این است که مالچ پاشی توانسته بالای ۹۵ درصد فرسایش خاک را کنترل کند که با نتایج آل طیب و همکاران در سال ۲۰۲۱ (۲) مطابقت دارد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مرکز تحقیقات بیابان‌زایی و بیابان‌زدایی و مبارزه با گردوغبار دانشگاه آزاد اصفهان که هزینه‌ها و امکانات این تحقیق را فراهم کرده‌اند تشکر به‌عمل می‌آید.

(MWD)، میانگین هندسی قطر خاکدانه (GMD)، خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر (DSA)، مقاومت برشی و مقاومت فروروی ارتباط منفی و معنی‌داری دارد. با افزایش این ویژگی‌ها به‌عنوان پارامترهای مستقل، فرسایش بادی کاهش می‌یابد. نتایج رضایی ارشد و همکاران (۲۹) مؤید این مطلب بودند که اندازه خاکدانه نقش مهمی در کاهش شدت فرسایش خاک ایفا می‌کند.

از بین این ویژگی‌ها پارامترهای مقاومت برشی و خاکدانه‌های بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر (DSA)، بیشترین تأثیر را روی کاهش فرسایش بادی داشته و به‌عنوان مؤثرترین ویژگی شناخته شدند که این نتایج با مطالعات شهابی و همکاران در سال ۲۰۲۰ (۳۳) همخوانی دارد. در برخی پژوهش‌ها (۲۷، ۳۰ و ۳۶) اندازه خاکدانه ۰/۲۵ میلی‌متر به‌عنوان مرز خاکدانه‌های ریز و درشت گزارش شده است. با افزایش مقاومت برشی به واسطه افزایش میزان رس خاک، حد روانی و همچنین نیروهای چسبندگی بین ذرات افزایش یافته که منجر به کاهش

منابع مورد استفاده

- 1- Aboushook, M., M. N. Al-Maghrabi, G. S. Abdelhaffez and A. Fadol. 2012. Different methods for stabilization of sand dunes using calcium bentonite. *Journal of Environmental Engineering* 4 (1/2): 79-91.
- 2- Aletayeb, S., M. Jiryaei Sharahi and A. Karimi. 2021. Dust stabilization using biological method against wind erosion. *Arabian Journal of Geosciences* 14(15): 07-29.
- 3- Asensio, C., F. J. Lozano, E. Ortega and Z. Kikvidze. 2015. Study on the effectiveness of an agricultural technique based on Aeolian deposition, in a semiarid environment. *Journal of Environmental Engineering and Management* 14: 1143-1150.
- 4- Bachman, J., K. Contreras, K. H. Hartage and R. MacDonald. 2006. Comparison of soil strength data obtained insitu with penetrometer and with vane shear test. *Journal of Soil and Tillage Research* 87: 112-118.
- 5- Banae, M., H. Baybordi, M. Momeni, A and M. J, Malakouti. 2005. Iranian Soils (New Developments in Identification, Management and Exploitation of Soil and Water Research Institute. Sana publication, Tehran.
- 6- Barzgar, A., 2001. Soil Physics, Shahid Chamran University of Ahvaz Publications, Ahvaz.
- 7- Blanco-Canqui, H. and S. J. Ruis. 2018. No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* 326: 164-200.
- 8- DeJong, J. T., B. M. Mortensen, B. C. Martinez and D. C. Nelson. 2010. Bio-mediated soil improvement. *Journal of Ecological Engineering* 36: 197-210.
- 9- Ekhtesasi, M. 2013. Faculty of Natural Resources and Desertology, Yazd University.
- 10-Farid, H.U., Z. Mahmoodkhan, I. Ahmad, A. Shkoor, M. N. Anjom, M. M. Iqbal, M. Mubeem and M. Asghar. 2019. Estimation of infiltration models parameters and their comparison to simulate the onsite soil infiltration characteristics. *International of Journal of Agricultural and Biological Engineering* 12(3).
- 11-Fattahi, M. M., M. M. Darwish, H. R. Javidkia and S. M. Adnani. 2010. Evaluation and preparation of total desertification risk map by FAO UNEP method (Case study: Qamroud watershed) , Iranian Rangeland and Desert Research Quarterly, Volume 17,4: 588-575. Report on the Geographical Culture of the Settlements of Kerman province. 2003. Volume One.
- 12-Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, hydrometer method. PP. 404-408. In: A. Klute (Eds.),

- Methods of Soil Analysis, Part I, 3th Ed., American Society Agronomy, Madison, WI.
- 13-Giuffrida, F., C. Carla, M. Angelo and L. Cherubino. 2016. Effects of salt stress imposed during two growth phases on cauliflower production and quality. *The Science of Food and Agriculture* 97: 1552-1560.
 - 14-Goossens, D. and Z. Y. Offer. 2005. Long-term accumulation of atmospheric dust in rocky deserts. *Zeitschrift fur Geomorphologie* 49: 335-352.
 - 15-He, Q., X. Hua, A. Mamtimin and Sh. Tang. 2011. Impact factors of soil wind erosion in the center of Taklimakan Desert. *Journal of Arid Land* 3(1): 9-14.
 - 16-Jalalian, A. 2019. Additional measures regarding the stabilization of fine dust by bentonite clay methd. Desertification and Dust Control Research Center, Islamic Azad University, Isfahan Branch (Khorasgan).
 - 17-Kheirabadi, H., M. Mahmoodabadi, V. R. Jalali and H. Naghavi. 2018. Sediment flux, I wind erosion and net erosion influenced by soil bed length, wind velocity and aggregate size distribution. *Geoderma* 323: 22-30.
 - 18-Kohak, D. J., L. J. Hagen and E. L. Skidmore. 2010. Wind erodibility of organic soil. *Soil and Water Management and Conservation* 74(1): 250-257.
 - 19-Leys Saffar, Y. 2015. Prevent soil erosion by using 0.25 micron bentonite clay. Master thesis, Islamic Azad University, Isfahan Branch (khorasgan), Isfahan, I.R. Iran.
 - 20-Loach, R. J. 1994. A Method for measurement aggregate water stability of dryland soil with relevance to surface seal development. *Australian Journal of Soil Research* 32(4): 687-700.
 - 21-Majdi, H., M. Karimian-Eghbal, H. Karimzadeh and A. Jalalian. 2006. Effect of Different Clay Mulches on the Amount of Wind Eroded Materials. *Water and Soil Sciences* 10(3): 137-148.
 - 22-Mahmoodabadi, M. and E. Heydarpour. 2014. Sequestration of organic carbon influenced by the application of straw residue and farmyard manure in two different soils. *International Agrophysics* 28(2): 169-176.
 - 23-Maleki P., A. R. Karimi and H. Hashemi. 2010. Wind erosion and its control in Gonabad. Proceedings of the Second National Conference on Wind Erosion, Yazd, Scientific Association for Management and Control of Desert Areas of Iran, February 17-18.
 - 24-Mirzamustafa, N., D. Khalili, M. J. Nazim Sadat and Gh. Haderbadi. 2008. Hourly forecast of speed and direction of erosive winds using three- hour data. *Iranian Rangeland and Desert Research* 15(1):85-69.
 - 25-Moradi, F., B. Khalili Moghadam, S. Jafari and Sh. Ghorbani Dashtaki. 2014. Evaluation of a number of soil subsidence resistance models in some sugarcane crops and industries of Khozestan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 4(2): 89-71.
 - 26-Puget, P., C. Chenu and J. Balasdent. 2000. Dynamics of soil organic matter associated with particle- size fractions of water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science* 51: 595-605.
 - 27-Rajabpur, H. and M. Mahmoud Abadi. 2013. Investigation of wind erosion intensity in two soils with different sizes. The Second International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling in Kerman, Iran, May 86-92.
 - 28-Rezaei Arshad, R., M. Mahmoodabadi, H. Farpoor and M. Fekri. 2019. Experimental investigation of rain-induced splash and wash processes under wind-driven rain. *Geoderma* 337: 1164-1174.
 - 29-Six, J., G. Guggenberger, K. Paustian, L. Haumaier, E. T. Elliott and W. Zech. 2001. Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. *Soil Science* 52: 607-618.
 - 30-Shahabi Nejad, N., M. Mahmoudabadi, A. Jalalian and E. Chavoshi. 2019. The fractionation of soil aggregates associated with primary particles influencing wind erosion rates in arid to semiarid environments. *Geoderma* 356: 113936.
 - 31-Shahabi Nejad, N., M. Mahmoudabadi, A. Jalalian and E. Chavoshi. 2019. In situ field measurement of wind erosion and threshold velocity in relation to soil properties in arid and semiarid environments. *Journal of Environmental Earth Sciences* 78: 501.
 - 32-Shahabi Nejad, N., M. Mahmoudabadi, A. Jalalian and E. Chavoshi. 2020. The influence of soil properties on the wind erosion rate at different regions of Kerman province. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 24(3): 209-222.
 - 33-Shao, Y. 2008. Physics and Modelling of Wind Erosion, 2nd Ed. Springer.
 - 34-Van Pelt, R. S., M. C. Baddock, T. M. Zobeck, V. Acosta-Martinez, A. J. Schlegel and M. F. Vigil. 2013. Fieldwind tunnel testing of two silt loam soil on the North American Central High plains. *Aeolian Research* 10: 53-59.
 - 35-Zamani, S. and M. Mahmoodabadi. 2013. Effect of particle-size distribution on wind erosion rate and soil erodibility. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59(12): 1743-1753.

The Effect of Clay Mulch based on Bentonite Clay in the Dust Storm Stabilization in the Sajzi Critical Region (East of Isfahan)

E. Javiz¹, A. Jalalian^{1*}, M. R. Mosaddeghi², E. Chavoshi¹ and N. Honarjoo¹

(Received: April 23-2022; Accepted: June 25-2022)

Abstract

One of the most significant environmental crises in arid, semi-arid, sub-humid, and even humid regions is the destructive phenomenon of desertification and in the arid and semi-arid regions is wind erosion. These problems exist in large areas of Iran and it is necessary to use an environmentally friendly and economic method to solve this problem. In this study, calcium bentonite clay was used for the first time in Iran and perhaps in the worlds in the critical region of Sajzi, which covers an area of 65 hectares. Experiments were performed on the crusts after one year of mulching with bentonite clay. The results showed that wind erosion has a negative and significant correlation with the mean weight diameter and geometric weight diameter of aggregate, aggregates with diameters greater than 0.25 mm, shear strength, and penetration resistance. On the other hand, the results of the permeability test using double-ring and by three models (Kostiakov, Horton, and Philip) showed that the lowest mean square error (SSE) and the highest coefficient of determination (R^2) belonged to the Kostiakov model in the mulch-applied and control samples. This result indicated the superiority of the Kostiakov model compared to Horton and Philip's models. Wind erosion intensity was also measured in situ using a portable wind tunnel at 20 points in the Sajzi region. The findings showed that mulch application has controlled more than 95% of soil erosion.

Keywords: Clay mulch, Soil erosion, Permeability models, Shear strength, Penetration resistance.

1. Department of Soil Science, College of Agriculture, Islamic Azad University, Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran.

2. Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding author, Email: a.jalalian@khuisf.ac.ir