

در دامنه‌ای از دیم‌زارهای رهاشده و در قالب کرت‌های استاندارد مدل جهانی تلفات خاک در مدت دو سال متوالی به بررسی گذاشته است.

### مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر اثر افزودنی زغال‌زیستی بر تغییرات ساختمان خاک در محدوده سد نوروزلو، شهرستان میاندوآب استان آذربایجان غربی و در مقیاس شش کرت استاندارد USLE ارزیابی شد. در همین راستا، زغال‌زیستی در اثر فرایند گرماکافت از سرشاخه‌های گونه درخت صنوبر تیریزی (*Populus nigra*) تهیه شد. برای انجام آزمایش، دو تیمار شاهد و زغال‌زیستی و هر کدام با سه تکرار مدنظر قرار گرفت. پس از تهیه و انتقال زغال‌زیستی به منطقه، اقدام به اعمال و پخش آن در سطح کرت‌ها به میزان ۳۲/۵ تن بر هکتار شد. جهت بررسی تغییرات ساختمان خاک در اثر اعمال زغال‌زیستی در چهار زمان متوالی به فواصل شش ماه بعد از اعمال زغال‌زیستی نمونه‌برداری از خاک کرت‌ها انجام شد. در این فواصل زمانی توزیع اندازه ذرات و پایداری خاک‌دانه‌ها با استفاده از روش سری الک خشک اندازه‌گیری شدند. از نتایج الک خشک برای اندازه‌گیری پایداری خاک‌دانه‌ها استفاده شد و برای تعیین اندازه خاک‌دانه‌ها و تشخیص سطح پایداری ذرات دو شاخص میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها و میانگین هندسی قطر خاک‌دانه‌ها محاسبه شدند. سپس آزمون همگنی واریانس‌ها به عنوان یکی از ملزومات اولیه تجزیه و تحلیل داده‌ها، آزمون GLM برای بررسی تأثیر جداگانه و تعاملی تیمارها و زمان و آزمون T مستقل برای مقایسه میانگین مؤلفه‌های مورد بررسی بین تیمارها انجام گرفت.

### نتایج و بحث

به منظور بررسی پایداری خاک‌دانه‌ها تحت تیمار زغال‌زیستی در شرایط طبیعی و کرت‌های استاندارد مؤلفه‌های میانگین وزنی قطر خاک‌دانه (MWD) و میانگین هندسی قطر خاک‌دانه‌ها (GMD) برای تیمار شاهد و زغال‌زیستی در چهار زمان متوالی اندازه‌گیری شده است. نمایه‌های MWD و GMD در کرت‌های شاهد دارای مقادیر میانگین به ترتیب ۰/۸۵، ۰/۶۸، ۰/۶۴ و ۰/۸۱ و ۰/۸، ۰/۶۹، ۰/۷ و ۰/۷۶ میلی‌متر و در کرت‌های زغال‌زیستی نیز به ترتیب ۰/۸۶، ۰/۸۲، ۰/۷۵ و ۰/۸۴ و ۰/۷۹، ۰/۷۸، ۰/۷۵ و ۰/۷۷ میلی‌متر بود. روند تغییرات متغیرهای  $D_{10}$ ،  $D_{50}$  و  $D_{90}$  مربوط به توزیع اندازه ذرات در بازه زمانی دوم به ترتیب دارای درصد تغییرات ۴۳/۸، ۲۶/۷ و ۱۵/۲ درصد و در بازه زمانی سوم نیز به ترتیب دارای درصد تغییرات ۱۴/۲، ۱۴/۲ و ۱۶/۸ درصد بوده که نشان‌دهنده روند تغییرات افزایشی در رقوم تیمار زغال‌زیستی نسبت به شاهد در بازه‌های زمانی نام‌برده است. افزودنی زغال‌زیستی در ترکیب

## تغییرات خاک‌دانه‌ها در اثر کاربرد زغال‌زیستی حاصل از سرشاخه‌های صنوبر

گیلدا معافی<sup>۱</sup>، لایلا غلامی<sup>۲</sup>، عطاله کاویان<sup>۳</sup>، حسین خیرفام<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۹/۰۱/۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۰۳/۰۳/۱۴۰۳

<https://doi.org/10.22034/18.66.26>

### چکیده مبسوط

#### مقدمه

حفاظت از منابع خاک به منظور حفظ امنیت غذایی جهان و بهبود کیفیت محیطی ضروری است. ساختمان خاک از ویژگی‌های فیزیکی و فعال خاک است که می‌توان آن را با معیار پایداری ارزیابی نمود. پایداری خاک‌دانه‌ها در بحث کیفیت فیزیکی خاک اهمیت داشته و بهبود آن منجر به بهبود عملکرد خاک می‌شود. استفاده از انواع افزودنی‌های خاک در شرایطی که امکان مدیریت زیستی وجود نداشته باشد، راه‌حلی مفید برای حفاظت و اصلاح ساختمان خاک است. افزودنی زغال‌زیستی از منابع زیستی مختلف تهیه و به عنوان روش حفاظتی غیرسازهای در سال‌های اخیر معرفی شده است؛ لذا آگاهی از رفتارها، واکنش‌ها و تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت آن در خاک از اهمیت زیادی به منظور مدیریت پایدار برخوردار است. تأثیر افزودنی زغال‌زیستی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک تحت شرایط آزمایشگاهی حاکی از ایجاد تغییرات مثبت در معیارها و شاخص‌های فیزیکی خاک بوده است. این جنبه از کاربردهای زغال‌زیستی ضرورت مطالعه و شناسایی هر چه بیشتر آن را در عرصه‌های منابع طبیعی با محوریت کنترل فرسایش نمایان می‌سازد. از آنجایی که کاربرد زغال‌زیستی حاصل از ضایعات و سرشاخه‌های درخت صنوبر به منظور حفاظت از خاک در عرصه و در شرایط طبیعی آب و هوایی تاکنون گزارش نشده است، بنابراین پژوهش حاضر تأثیر افزودنی زغال‌زیستی بر ساختمان خاک در شرایط طبیعی را

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
- ۲- نویسنده مسئول و دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. ایمیل: l.gholami@sanru.ac.ir
- ۳- استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
- ۴- استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

خاک کرت‌های USLE بر شاخص‌های پایداری خاک‌دانه‌ها تأثیر داشته است به طوری که اثر جداگانه زغال‌زیستی و زمان در هر دو شاخص و اثر تعاملی آن‌ها برای شاخص GMD در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار بوده است. در مقایسه میانگین مؤلفه‌های مورد بررسی بین تیمارها در هر دوره زمانی هر دو متغیر MWD و GMD در بازه زمانی دوم اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان داده‌اند. از این رو می‌توان گفت زغال‌زیستی بعد از گذشت یک‌سال برای بهبود پایداری خاک‌دانه مفید و مؤثر است.

### نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه حاکی از تأثیر مثبت افزودنی زغال‌زیستی بر شاخص‌های پایداری خاک‌دانه است که افزایش محدودی در میانگین‌های وزنی و هندسی قطر خاک‌دانه‌ها و تغییرات ۴۰ درصدی در مؤلفه‌های اندازه ذرات ایجاد کرده است. به طور کلی بررسی شاخص‌های MWD و GMD در تیمارهای شاهد و زغال‌زیستی در چهار زمان متوالی به فواصل شش ماهه حاکی از معنی‌داری اثر جداگانه زغال‌زیستی و زمان در هر دو شاخص و اثر تعاملی زغال‌زیستی و زمان در شاخص GMD در سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده است. بازه زمانی دوم دارای بیش‌ترین درصد تغییرات در مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات بوده است. همچنین بین میانگین‌های شاهد و زغال‌زیستی در بازه زمانی دوم در هر دو شاخص اختلاف معنی‌داری مشاهده شده است، لذا براساس یافته‌های این آزمایش بهترین عملکرد زغال‌زیستی در زمینه بهبود پایداری خاک‌دانه و ساختمان خاک بعد از گذشت یک سال از اعمال آن به خاک بود. مطابق با نتایج این پژوهش پایداری خاک‌دانه عاملی تأثیرپذیر از گذر زمان و تغییرات آب و هوایی فصلی است. میدانی بودن مقیاس آزمایش و همچنین فرارگیری کرت‌ها در معرض آب و هوای طبیعی بر پیچیدگی‌های حاکم بر چنین فرآیندهایی افزوده و لذا طراحی مطالعات جزئی و در مقیاس زمانی مناسب‌تر و بازه‌های زمانی کوچک‌تر به منظور کسب نتایج دقیق‌تر ضروری است.

**کلیدواژه‌ها:** افزودنی آلی، پایداری خاک‌دانه، حفاظت خاک، کرت‌های فرسایشی استاندارد

### مقدمه

خاک سطحی‌ترین بخش پوسته جامد و قشر بسیار نازکی بین جو و بخش سخت زمین است که به سبب حاصل‌خیزی و منبع درآمد و تولید بودن، محل زندگی تمامی موجودات زنده در سطح کره خاکی بوده و بنابراین اساس تمامی تمدن‌ها است [۲۳]. در مقیاس زمانی عمر انسان خاک منبعی پویا، تجدیدنابذیر و مستعد تخریب در اثر استفاده‌های نادرست از زمین است. تخریب گسترده منابع محدود خاک می‌تواند به شدت امنیت غذایی جهان را به خطر بیندازد و کیفیت محیطی را تهدید کند از این رو حفاظت از خاک فواید زراعی، محیط‌زیستی و اقتصادی فراوانی دارد [۴۸]. هزینه‌های تخمینی فرسایش درون و برون‌منطقه‌ای برای جایگزینی مواد مغذی از دست‌رفته، لایروبی و پاک‌سازی مخازن آب و جلوگیری از فرسایش، بسیار زیاد است و مزایای حفاظت از خاک از جمله برآورده کردن

نیازهای روزافزون غذا، افزایش عملکرد محصول، کاهش آلودگی آب‌ها و کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو ارزیابی شده است [۵]. وضعیت، حرکت مواد و جابجایی انرژی در خاک از موضوعات مورد بحث در فیزیک خاک است [۱]. ساختمان خاک از ویژگی‌های فیزیکی و فعال خاک است که می‌توان آن را با معیار شکل یا پایداری ارزیابی نمود [۲۰]. افزایش تخریب خاک‌دانه‌ها و در واقع افزایش ذرات فرسایش‌پذیر، تولید رواناب و هدررفت بیشتر خاک را در پی دارد [۵۵]. لذا پایداری خاک‌دانه‌ها<sup>۱</sup> به منظور ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک مهم بوده و بهبود آن منجر به بهبود عملکرد خاک می‌شود [۴۳]. معیار پایداری خاک‌دانه‌ها یک شاخص ارزشمند برای سلامت خاک است زیرا از نظر مفهومی با عملکرد هیدرولوژیکی خاک و از نظر تجربی با کاهش فرسایش‌پذیری و افزایش نفوذ و همچنین با عملکرد زراعی مرتبط است [۴۷]. از نظر ساختمانی، اندازه خاک‌دانه‌ها مهم‌ترین اثر را بر استحکام خاک دارد به طوری که مقدار تنش در درز و ترک‌ها با افزایش اندازه قطر خاک‌دانه‌ها و کلوخه‌ها به صورت نمایی کاهش پیدا می‌کند. برای توصیف اندازه و پایداری خاک‌دانه‌ها نمایه‌های زیادی ارائه شده که معمول‌ترین آن‌ها نمایه میانگین وزنی قطر<sup>۲</sup> و میانگین هندسی قطر ذرات<sup>۳</sup> است [۱]. نمایه کمی توزیع اندازه ذرات<sup>۴</sup> نیز تفسیر جامع‌تری از ویژگی‌های اساسی فیزیک خاک را ارائه می‌کند [۵۱]. سیستم‌های بسیاری برای گروه‌بندی ذرات خاک وجود دارد که در طی اندازه‌گیری پایداری خاک‌دانه‌ها از نتایج الگ خشک تعیین می‌شود و به وسیله آن می‌توان تشخیص داد ذرات خاک دارای چه اندازه‌هایی هستند [۶۱].

در بین روش‌های حفاظت خاک و در شرایطی که مدیریت زیستی و استقرار پوشش گیاهی وجود نداشته و شرایط بحرانی باشد، استفاده از انواع افزودنی‌ها و مواد مقاوم‌کننده خاک راه حلی مفید برای حفاظت و اصلاح ساختمان خاک محسوب می‌شوند [۱۷].<sup>۳</sup> به طور کلی در استفاده از آن‌ها اهدافی از قبیل حفاظت خاک و آب در برابر فرسایش و رواناب، کاهش هدررفت خاک، افزایش نفوذپذیری، افزایش فعالیت‌های موجودات ریز و درشت خاک، بهبود ویژگی‌ها و افزایش حاصل‌خیزی آن، افزایش ماده آلی خاک، کاهش آلاینده‌ها، افزایش عملکرد و رشد بهتر گیاه، جلوگیری از آب‌شویی مواد مغذی و بهبود کیفیت آب دنبال می‌شود [۳۷]. امروزه تحقیقات زیادی در رابطه با ترکیبات بهبوددهنده کیفیت خاک و کاهش فرسایش در حال انجام است [۴۹، ۱۴]. این ترکیبات متنوع با نام کلی افزودنی‌ها یا اصلاح‌کننده‌های خاک<sup>۵</sup> که به دو دسته آلی و غیرآلی تقسیم‌بندی می‌شوند، مانند افزودنی‌های شیمیایی [۵۸]، گچ [۲۸]، زئولیت [۶۰، ۴]، انواع پلیمرها [۴۹، ۱۲]، سوپرجاذب‌ها [۵۰]، قارچ‌ها [۶۲]، ورمی‌کمپوست

1. Aggregate Stability
2. Mean Weight Diameter (MWD)
3. Geometric Mean Diameter (GMD)
4. Particle Size Distribution
5. Soil Conditioners / Amendments

و کود دامی [۱۸، ۳۵، ۳۹ و ۱۵]، کاه و کلش [۱۷، ۵۹]، زغال‌زیستی<sup>۱</sup> [۱۱]، ۶۳، ۱۴، ۴۵ و ۷] و ریزموجودات [۲۷] شناخته شده‌اند. اصلاح و بهبود شرایط خاک از طریق افزودنی های آلی روشی کارآمد، اقتصادی و چند جانبه در راستای بهبود و کنترل فرسایش شناخته شده است [۹، ۱۸] و استفاده از آن‌ها به سبب قابلیت دسترسی و اطمینان از عملکرد سریع برای مدیریت آب و خاک توصیه شده است [۱۶]. در این بین افزودنی آلی زغال‌زیستی از منابع زیستی مختلف تهیه شده و به‌عنوان یک محصول جانبی فرایند گرماکافت<sup>۲</sup> برای بهبود شرایط خاک به‌کار می‌رود [۳۰، ۱۴ و ۲۴]. ایجاد تغییرات در ویژگی‌های خاک، ترسیب کربن و کاهش غلظت گازهای گلخانه‌ای اثرات عمده افزودن زغال‌زیستی به خاک است [۳۲]. استفاده از زغال‌زیستی به عنوان یک تیمار آلی و روش حفاظتی غیرسازهای در سال‌های اخیر معرفی شده است؛ لذا آگاهی از رفتارها، واکنش‌ها و تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت آن در خاک از اهمیت بسیار زیادی به منظور مدیریت پایدار برخوردار است [۳۶]. تاکنون مطالعات انجام‌یافته در زمینه تأثیر افزودنی زغال‌زیستی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک تحت شرایط آزمایشگاهی حاکی از ایجاد تغییرات مثبت در معیارها و شاخص‌های فیزیکی خاک بوده است [۴۱، ۴۰، ۴۳، ۲۵، ۴۴ و ۱۹]. این جنبه از کاربردهای زغال‌زیستی ضرورت مطالعه و شناسایی هر چه بیشتر آن را در عرصه‌های منابع طبیعی با محوریت کنترل فرسایش نمایان می‌سازد. از آنجاکه کاربرد افزودنی زغال‌زیستی حاصل از ضایعات و سرشاخه‌های درخت صنوبر به‌منظور حفاظت از خاک در عرصه و در شرایط طبیعی آب‌وهوایی تاکنون گزارش نشده است، بنابراین پژوهش حاضر تأثیر افزودنی زغال‌زیستی بر ساختمان خاک در شرایط طبیعی را در دامنه‌ای از دیم‌زارهای رهاشده و در قالب کرت‌های استاندارد مدل جهانی تلفات خاک (USLE<sup>3</sup>) در مدت دو سال متوالی به آزمون گذاشته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

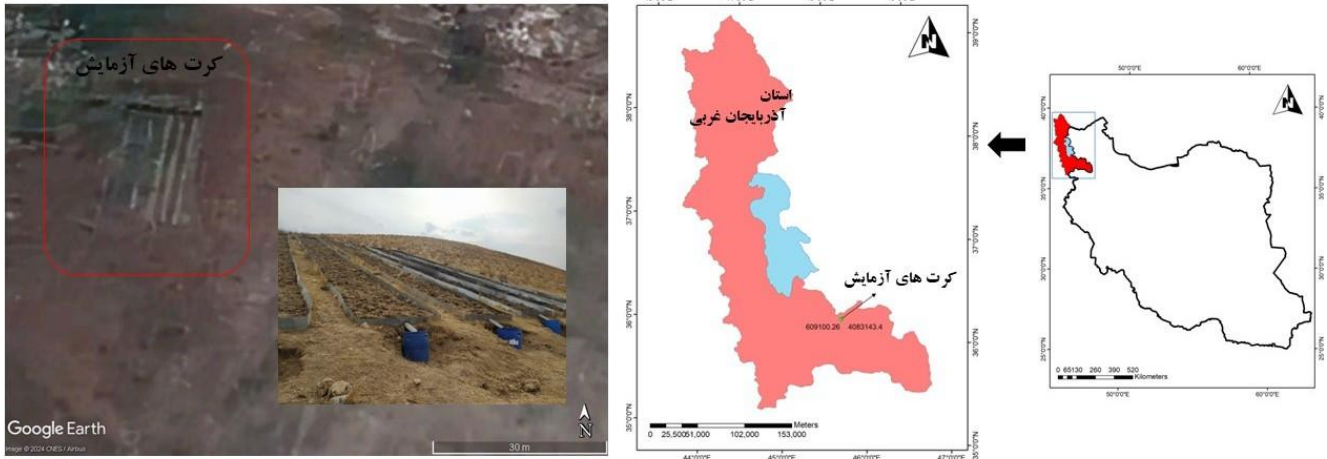
این پژوهش در دیم‌زارهای رهاشده بالادست سد انحرافی نوروزلو در شهرستان میاندوآب استان آذربایجان‌غربی واقع در زیرحوزه آبخیز زرينه‌رود با مساحت ۱۲۰۰۰ کیلومترمربع که یکی از زیرحوزه‌های آبخیز بزرگ دریاچه ارومیه است انجام شده است. منطقه مذکور با توجه به اهمیت دریاچه ارومیه، گسترش کشاورزی، تبدیل کاربری‌های مرتع در شیب‌های زیاد به کشاورزی دیم انتخاب شد. این نوع از تبدیل اراضی در این منطقه موجب تشدید هدررفت گسترده کمی و کیفی خاک و آب شده است [۲۶]. استان آذربایجان‌غربی در بخش‌های شمالی، مرکزی و جنوبی با میانگین فرسایشی با مقادیر به ترتیب ۱۳/۹، ۱۶/۳ و ۱۵/۵ تن در هکتار و میانگین رسوب با مقادیر به ترتیب ۵/۳، ۵/۶ و شش تن بر هکتار

1. Biochar
2. Pyrolysis
3. Universal Soil Loss Equation

است. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار فرسایش و رسوب آن نیز به‌ترتیب ۷۳/۳، ۱/۴۷، ۴۶/۱ و ۰/۲ تن بر هکتار است [۳۸]. منطقه مورد مطالعه و محل استقرار کرت‌های صحرایی و نمونه‌برداری رواناب و خاک در حد واسط طول جغرافیایی ۴۰° ۳۵ تا ۳۷° ۲۸ شرقی و عرض ۴۵° ۴۵ تا ۲۳° ۴۷ شمالی قرار دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع به ترتیب ۱۲۷۶ و ۳۳۳۲ متر از سطح دریا است. رودخانه زرينه‌رود و شاخه اصلی آن با نام جیغاتوچای با طول ۳۰۰ کیلومتر از به‌هم پیوستن سه رودخانه ساروق‌چای، خرخره‌چای و سفرچای تشکیل شده و آب این رودخانه وارد سد بوکان با حجم مفید ۶۵۴ میلیون مترمکعب می‌شود. طبق تجزیه و تحلیل آمار ایستگاه هواشناسی مستقر در سد نوروزلو و سایر ایستگاه‌های مجاور اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن از نوع نیمه‌خشک سرد و براساس روش آمبرژه، خشک سرد و نیمه‌خشک سرد تعیین شده است. متوسط بارندگی سالانه منطقه، ۲۵۴ میلی‌متر بوده که بیش‌ترین میزان بارندگی ماهانه در فروردین و آبان (به‌ترتیب ۳۸/۷ و ۳۴/۹ میلی‌متر) و عمده بارش‌ها در فصل زمستان ثبت شده است. این منطقه ۹۷ روز از سال را در شرایط یخبندان به‌سر می‌برد. در این راستا بیش‌ترین مقدار یخبندان در دی‌ماه و با تعداد ۲۴/۶ روز ثبت شده است [۲۶]. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و کرت‌های آزمایش را در استان آذربایجان‌غربی نمایش می‌دهد.

### کرت‌های آزمایش، تهیه زغال‌زیستی و اجرای آزمایش

برای انجام پژوهش حاضر از کرت‌های استاندارد USLE مستقر شده در محدوده سد نوروزلو، در شهرستان میاندوآب استان آذربایجان‌غربی استفاده شد. شش کرت صحرایی با ورقه‌های گالوانیزه به ابعاد ۱/۸۳ × ۲۲/۱ مترمربع که در محل یک دامنه یکنواخت با شیب متوسط ۲۵ تا ۳۰ درصد و با فاصله یک متر از یکدیگر مستقر شده‌اند. در انتهای هر کرت مخازن ۲۰۰ لیتری و هم‌چنین لوله‌هایی به منظور هدایت و جمع‌آوری رواناب و رسوب از سطح کرت‌ها در هنگام وقوع بارش تعبیه شده است [۲۶]. برای تهیه زغال‌زیستی، ابتدا اقدام به شناسایی و جمع‌آوری ضایعات چوبی گونه درخت صنوبر تبریزی (*Populus nigra*) که در استان‌های شمال‌غرب کشور به مقدار زیاد در دسترس بوده، استفاده شد. ابتدا در کارگاه نجاری به براده‌های چند میلی‌متری تبدیل شده و پس از کاهش حداکثری رطوبت آن‌ها در دمای اتاق، در کوره طی فرایند گرماکافت در دمای ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت سه ساعت به نسبت ۴۴ درصد وزن اولیه به زغال‌زیستی تبدیل [۴۹، ۱۴] و در نهایت زغال‌زیستی تولید شده از الک دو میلی‌متری عبور داده شده است [۴۶]. برای انجام آزمایش، دو تیمار شاهد و زغال‌زیستی و هر کدام با سه تکرار مدنظر قرار گرفت. پس از تهیه و انتقال زغال‌زیستی به منطقه، اقدام به اعمال و پخش زغال‌زیستی در سطح کرت‌ها به‌میزان ۳۲/۵ تن بر هکتار [۳۳] و اختلاط آن در سطح صفر تا پنج سانتی‌متری خاک انجام شد (شکل ۲).



شکل ۱- موقعیت قرارگیری کرت های آزمایش در استان آذربایجان غربی  
Fig 1. Location of test plots in West Azerbaijan province



شکل ۲- کرت های استاندارد USLE (الف) و اعمال تیمار حفاظتی در کرت ها (ب)  
Fig 2. USLE standard plots (a) and application of protection treatment in plots (b)

با استفاده از روش سری الک خشک با اندازه قطر منافذ مشخصی اندازه گیری شد. برای این منظور ابتدا خاک هوا خشک شده از الک هشت میلی متری عبور داده شد، سپس ۵۰ گرم از خاک الک شده روی یک سری الک (به ترتیب از بالا به پایین دو، یک، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱، ۰/۰۵۳ میلی متر) به طور یکنواخت ریخته و لرزانده شده است [۲]. سپس وزن خاک باقی مانده روی هر یک از الک ها جمع آوری و توزین شد. از نمایه های متداول ارزیابی اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات است که به وسیله آن می توان تشخیص داد ذرات خاک دارای چه اندازه ای هستند [۱]. از نتایج الک خشک برای توزیع اندازه ذرات خاک نیز در طی اندازه گیری پایداری خاک دانه ها استفاده می شود [۶۱]. برای تجزیه و تحلیل سریع آماری اندازه ذرات که از طریق روش های اندازه گیری استاندارد مانند سری الک ها به دست آمده اند، تمامی مؤلفه های دانه بندی و توصیفات آماری مربوطه به صورت حسابی، هندسی و لگاریتمی از طریق صفحه گسترده گرادیات ۱

#### 1. GRADISTAT

#### نمونه برداری و اندازه گیری

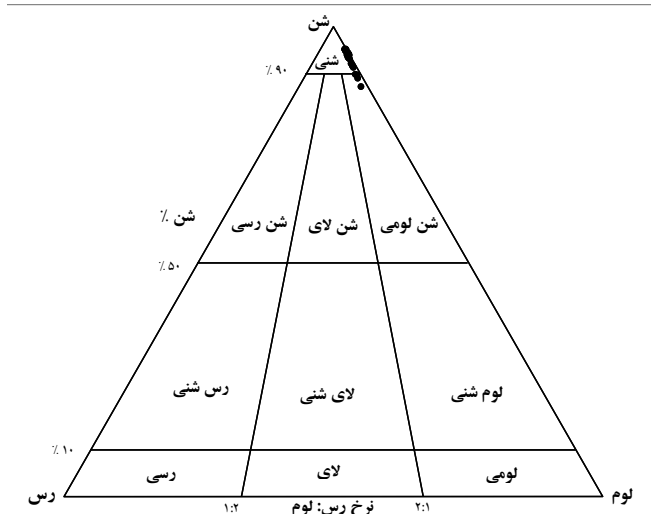
بعد از تهیه زغال زیستی و آماده سازی کرت های آزمایش، زغال زیستی در آبان سال ۱۴۰۰ به خاک کرت های مربوطه تحت شرایط طبیعی آب و هوایی اعمال شد، سپس چهار مرتبه نمونه برداری از خاک در ماه های اردیبهشت و آذر طی دو سال متوالی ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ صورت گرفت. به منظور شناخت خاک منطقه، بافت خاک از طریق تحلیل داده های توزیع اندازه ذرات، تخلخل خاک با تعیین جرم ویژه ظاهری و حقیقی و با استفاده از روش پیشنهادی کارتر [۸]، مقادیر pH و هدایت الکتریکی توسط دستگاه Multi meter HI 9811-5، کربن آلی براساس روش والکی-بلک [۵۷]، نیتروژن به روش کلدال [۲۹] و فسفر به روش اولسن [۴۲] اندازه گیری شده است. جدول (۱) برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

نمونه خاک های برداشت شده جهت بررسی تغییرات ساختمان آن در اثر اعمال زغال زیستی، توزیع اندازه ذرات و پایداری خاک دانه ها

Table 1. Characteristics of the studied soil

فسفر Phosphorus	نیتروژن Nitrogen	کربن آلی Organic carbon	هدایت الکتریکی Electrical conductivity	pH	تخلخل کل Totl Porosity	جرم ویژه ظاهری Bulk density	بافت Soil texture
(Mg/kg <sup>-1</sup> )	(درصد)	(درصد)	(μs/cm)		(درصد)	(g/cm <sup>-3</sup> )	
17.6	0.31	0.53	176.6	9.2	60	1.04	شنی لومی sand Lomay

ترتیب نتایج این بررسی به تفکیک زمان‌های متوالی که در فواصل تقریبی شش ماهه انجام شده است، در کرت‌های دارای تیمار زغال‌زیستی و شاهد مطابق با جدول (۲) نمایش داده شده است، روند تغییرات متغیرهای  $D_{90}$  و  $D_{50}$ ,  $D_{10}$  در این جدول قابل مشاهده است بر این اساس این متغیرها در بازه زمانی دوم به ترتیب دارای درصد تغییرات ۴۳/۸، ۲۶/۷ و ۱۵/۲ درصد و در بازه زمانی سوم نیز به ترتیب دارای درصد تغییرات ۱۴/۲، ۱۴/۲ و ۱۶/۸ درصد بوده که نشان‌دهنده روند تغییرات افزایشی در رقوم متغیرهای  $D_{50}$ ,  $D_{10}$  و  $D_{90}$  تیمار زغال‌زیستی نسبت به شاهد در بازه‌های زمانی نام‌برده است. شکل (۳) پراکنش گروه‌بندی بافت نمونه‌های خاک را روی مثلث بافت خاک نمایش می‌دهد، پیداست که در کرت‌های آزمایش به‌طور کلی فراوانی بافت شنی و شن‌لومی بیشتر است.



شکل ۳- گروه‌بندی بافت نمونه‌های خاک روی مثلث بافت خاک

Fig 3. Texture grouping of soil samples on the soil texture triangle

به منظور بررسی پایداری خاک‌دانه‌ها تحت تیمار زغال‌زیستی در شرایط طبیعی و کرت‌های استاندارد دو مؤلفه میانگین وزنی قطر خاک‌دانه (MWD) و میانگین هندسی قطر خاک‌دانه‌ها (GMD) برای تیمار حفاظتی شاهد و زغال‌زیستی در چهار زمان متوالی طی گذشت دو سال اندازه‌گیری شده است. انجام آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که کلیه داده‌های به‌دست‌آمده دارای توزیع نرمال در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند. نتایج آمار توصیفی مؤلفه‌های مورد بررسی

بررسی می‌شود [۶، ۲۰]. برای تعیین اندازه خاک‌دانه‌ها و تشخیص سطح پایداری ذرات از دو شاخص میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (رابطه ۱) و میانگین هندسی قطر خاک‌دانه‌ها (رابطه ۲) استفاده می‌شود [۶۱].

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i w_i \quad (1)$$

$$GMD = \exp[\sum_{i=1}^n w_i \log \bar{X}_i / \sum_{i=1}^n w_i] \quad (2)$$

که در آن‌ها MWD و GMD به ترتیب میانگین وزنی و هندسی قطر خاک‌دانه‌ها (میلی‌متر)،  $\bar{X}_i$  میانگین حسابی قطر خاک‌دانه‌ها در هر کلاس اندازه منافذ الک‌ها،  $w_i$  نسبت وزن خاک‌دانه‌های خشک باقی‌مانده در هر الک به وزن کل خاک‌دانه‌ها و  $n$  نیز تعداد الک‌های مورد استفاده برای روش الک خشک است.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوطه، به منظور انجام مقایسه‌های آماری، ابتدا نرمال و یا عدم نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک<sup>۱</sup> بررسی شد [۱۳]. هم‌چنین آزمون همگنی واریانس<sup>۲</sup> نیز به‌عنوان یکی از ملزومات اولیه تجزیه و تحلیل داده‌ها بررسی شد. برای این منظور از آزمون لون<sup>۳</sup> استفاده شد [۵۶]. آزمون‌های آماری GLM<sup>۴</sup> برای بررسی تأثیر تیمارها و اثر تعاملی تغییرات زمانی انجام پذیرفت [۳۴]. مقایسه میانگین‌های مؤلفه‌های مورد بررسی بین تیمارها با استفاده از آزمون T مستقل انجام شد [۵۳]. آزمون‌های آماری فوق برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS 27 انجام شد. هم‌چنین به منظور استخراج مؤلفه‌های دانه‌بندی و متغیرهای مربوط به اندازه ذرات از نرم‌افزار گرادیاستات استفاده شده است.

### نتایج

تجزیه و تحلیل آماری اندازه ذرات خاک، کلیه متغیرهای قطر ذرات و مؤلفه‌های دانه‌بندی شامل میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی، داده‌های سری الک‌های خشک بررسی شدند. به این

1. Shapiro-Wilk
2. Homogeneity of Variance
3. Levene
4. General Linear Model

جدول ۲- متغیرهای توزیع اندازه ذرات به تفکیک بازه‌های زمانی متوالی در کرت‌های شاهد و زغال‌زیستی (واحد: میکرومتر)

Table 2. Variables of particle size distribution in consecutive time intervals in control and biochar plots (unit: micrometer)

Time intervals بازه‌های زمانی												
چهارم (۱۴۰۲/۰۹/۳۰)			سوم (۱۴۰۲/۰۲/۱۲)			دوم (۱۴۰۱/۰۹/۰۸)			اول (۱۴۰۱/۰۲/۱۰)			
Fourth			Third			Second			First			
درصد تغییرات	میانگین زغال‌زیستی	میانگین شاهد	درصد تغییرات	میانگین زغال‌زیستی	میانگین شاهد	درصد تغییرات	میانگین زغال‌زیستی	میانگین شاهد	درصد تغییرات	میانگین زغال‌زیستی	میانگین شاهد	متغیر
Percentage of changes	Mean of biochar	Mean of control	Percentage of changes	Mean of biochar	Mean of control	Percentage of changes	Mean of biochar	Mean of control	Percentage of changes	Mean of biochar	Mean of control	Variable
3.52	849.4	820.5	15.5	842.45	729.42	21.65	833.2	684.88	1.74	868.83	853.96	میانگین Mean
5.47	794.12	752.94	8.9	761.7	699.46	0.34	683.7	681.4	7.09	741.01	691.95	انحراف معیار Std. Deviation
-4.14	1.43	1.49	-13.47	1.52	1.75	-16.18	1.5	1.78	-0.77	1.51	1.52	چولگی Skewness
-10.1	4.71	5.24	-19.99	5.08	6.34	-14.32	5.7	6.66	-7.45	5.24	5.67	کشیدگی Kurtosis
-3.68	76.5	79.5	14.21	96.5	84.5	43.8	101.9	70.84	-0.39	114.81	115.25	D <sub>10</sub>
0.94	640	634.06	14.25	639.4	559.6	26.75	674.2	531.9	-1.51	676.65	687.09	D <sub>50</sub>
6.87	1862.1	1742.3	16.88	1783.6	1526	15.25	1662.3	1442.35	4.75	1769.86	1689.66	D <sub>90</sub>
10.45	24.27	21.9	2.76	18.51	18.02	-19.24	16.4	20.35	4.9	15.43	14.71	(D <sub>10</sub> /D <sub>90</sub> )
7.38	1785.5	1662.8	17.04	1687.8	1441.4	13.77	1560.4	1371.5	5.12	1655.05	1574.4	(D <sub>10</sub> /D <sub>90</sub> )
1.82	6.63	6.51	-7.48	5.67	6.13	-28.4	4.9	6.84	8.83	5.01	4.61	(D <sub>25</sub> /D <sub>75</sub> )
3.57	924.7	892.9	9.84	875.59	797.17	7.25	839.7	783.08	3.83	865.57	833.66	(D <sub>25</sub> /D <sub>75</sub> )

جدول ۳- نتایج میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های میانگین وزنی و میانگین هندسی قطر خاک‌دانه‌ها در تیمار شاهد و حفاظتی

Table 3. Results of the mean and standard deviation of the mean weight and geometric mean diameter of soil grains in control and protection treatments

Time intervals بازه‌های زمانی							
چهارم	سوم	دوم	اول	متغیر	مؤلفه	تیمار	
Fourth	Third	Second	First	Variable	Component	Treatment	
0.820	0.647	0.680	0.851	میانگین Mean	MWD	شاهد	
				انحراف معیار Std. Deviation		Control	
0.142	0.056	0.049	0.042	میانگین Mean		زغال‌زیستی	
0.842	0.751	0.827	0.862	انحراف معیار Std. Deviation		Biochar	
0.072	0.050	0.027	0.064	میانگین Mean		GMD	
0.766	0.704	0.697	0.801	انحراف معیار Std. Deviation		شاهد	
0.049	0.028	0.018	0.017	میانگین Mean		Control	
0.773	0.758	0.789	0.799	انحراف معیار Std. Deviation		زغال‌زیستی	
0.015	0.027	0.021	0.020	میانگین Mean		Biochar	

میانگین وزنی قطر خاک‌دانه (MWD)، میانگین هندسی قطر خاک‌دانه (GMD)

اول تا چهارم بر میانگین مقادیر MWD و GMD به صورت جداگانه و تعاملی با عامل گذشت زمان از طریق تحلیل واریانس چندمتغیره ارائه شده است. مقایسه میانگین مؤلفه‌های مورد بررسی بین تیمارها در هر دوره زمانی با استفاده از آزمون T مستقل انجام گرفت و نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است. تأثیر جداگانه عامل گذشت زمان بر شاخص‌های پایداری خاک‌دانه بدون در نظر گرفتن تیمار حفاظتی در شکل (۴) ارائه شده است.

به شرح جدول (۳) است. بیش‌ترین میانگین در شاخص MWD در برداشت اول تیمار زغال‌زیستی (۰/۸۶ میلی‌متر) و کم‌ترین آن در برداشت سوم تیمار شاهد (۰/۶۴ میلی‌متر) مشاهده شده است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر میانگین در شاخص GMD نیز به ترتیب برداشت اول تیمار زغال‌زیستی و شاهد (۰/۸ میلی‌متر) و برداشت دوم تیمار شاهد (۰/۶۹ میلی‌متر) به دست آمد. (۴) در جدول مقایسه تأثیر تیمار زغال‌زیستی در برداشت‌های

جدول ۴- نتایج تحلیل واریانس مؤلفه‌های میانگین وزنی و میانگین هندسی قطر خاک‌دانه‌ها در تیمارهای زغال‌زیستی و شاهد در بازه‌های زمانی مربوطه

Table 4. The results of variance analysis of the mean weight and geometric mean of soil grain diameter components in biochar and control treatments in the respective time periods

منبع	متغیر وابسته	مجموع مربعات نوع سوم	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری*
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean of Square		Sig.
زغال‌زیستی	MWD	0.093	3	0.031	6.236	0.005
Biochar	GMD	0.017	3	0.006	8.016	0.002
زمان	MWD	0.03	1	0.03	6.045	0.026
Time	GMD	0.009	1	0.009	12.111	0.003
زغال‌زیستی × زمان	MWD	0.019	3	0.006	1.287	0.313
Biochar×Time	GMD	0.009	3	0.003	4.21	0.023

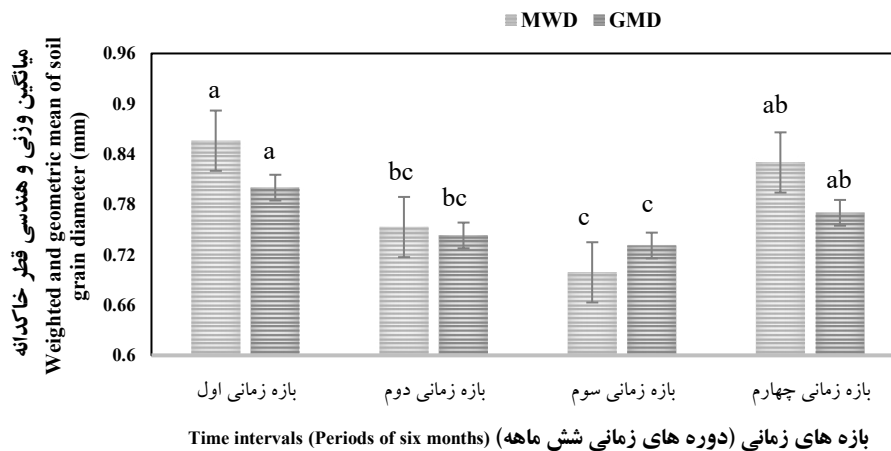
میانگین وزنی قطر خاک‌دانه (MWD)، میانگین هندسی قطر خاک‌دانه (GMD)، \* معنی‌داری در سطح پنج درصد

جدول ۵- نتایج آزمون T مستقل برای برابری میانگین‌ها در دو متغیر میانگین وزنی (MWD) و هندسی (GMD) قطر خاک‌دانه‌ها در بازه‌های زمانی

Table 5. The results of the independent T test for the equality of means in the two variables of mean weight (MWD) and geometric mean (GMD) of the diameter of soil grains in time intervals

متغیر	تفکیک دوره‌های زمانی	آزمون T (سطح معنی‌داری پنج درصد)
Variable	Separation of time intervals	T-Test (5 percent significance level)
MWD	بازه زمانی اول The first time interval	0.82
	بازه زمانی دوم The second time interval	0.011
	بازه زمانی سوم The third time interval	0.073
	بازه زمانی چهارم The Fourth time interval	0.823
GMD	بازه زمانی اول The first time interval	0.853
	بازه زمانی دوم The second time interval	0.004
	بازه زمانی سوم The third time interval	0.073
	بازه زمانی چهارم The Fourth time interval	0.875

میانگین وزنی قطر خاک‌دانه (MWD)، میانگین هندسی قطر خاک‌دانه (GMD)



شکل ۴- نتایج آزمون مقایسه میانگین دانکن در خصوص پایداری خاکدانه در بازه‌های زمانی مربوطه  
MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه و GMD: میانگین هندسی قطر خاکدانه

Fig 4. The results of Duncan's average comparison test for aggregate stability in the relevant time intervals  
MWD: mean weight diameter, and GMD: geometric mean diameter

از گذشت شش ماه دوم در پاییز سال ۱۴۰۱ تیمار حفاظتی نسبت به شاهد با درصد تغییراتی بین ۱۵ تا ۲۰ درصد در شاخص‌های مذکور افزایش یافته است. در بازه زمانی سوم یعنی پس از گذشت یک و نیم سال از اجرای تیمارها اندازه‌گیری‌ها حاکی از تغییرات کمتر از ۱۵ درصدی تیمار حفاظتی نسبت به شاهد است. در متغیرهای توزیع اندازه ذرات نیز در بازه‌های دوم و سوم روند مشابهی مشاهده شده است. در نهایت بعد از گذشت دو سال از اعمال افزودنی (پاییز ۱۴۰۲) مقادیر تیمار حفاظتی و شاهد همانند بازه زمانی اول میانگین‌های مشابهی در شاخص‌های MWD و GMD نشان دادند. در مقایسه میانگین مؤلفه‌های مورد بررسی بین تیمارها در هر دوره زمانی که با استفاده از آزمون T مستقل انجام گرفت (جدول ۵) هر دو متغیر MWD و GMD در بازه زمانی دوم یعنی پس از گذشت یک سال از اعمال زغال‌زیستی بر خاک کرت‌های آزمایشی نسبت به تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان داده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که زغال‌زیستی بعد از گذشت یک‌سال برای بهبود پایداری خاکدانه مفید و مؤثر بوده و پس از آن دوباره به رقمی نزدیک به رقم تیمار شاهد رسیده و کارایی خود را در امر بهبود عملکرد خاک در افزایش اندازه ذرات و پایداری خاکدانه‌ها از دست می‌دهد.

ایبراهیم و همکاران [۲۲] طی یک آزمایش در مقیاس گلدان، کاربرد سطوح مختلف زغال‌زیستی ضایعات نخل خرما را در بهبود MWD و GMD و در نهایت پایداری خاکدانه مثبت ارزیابی نمودند. سان و همکاران [۵۲] در آزمایش صحرايي شش ساله زغال‌زیستی ذرت را عاملی مؤثر در افزایش پایداری خاکدانه‌ها به سبب افزایش MWD و GMD اعلام داشتند. در مقابل هاردی و همکاران [۲۱] در بررسی

## بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر به منظور بررسی آثار افزودنی زغال‌زیستی بر پایداری خاکدانه‌ها در بازه زمانی دو ساله تحت شرایط طبیعی و در مقیاس کرت‌های استاندارد انجام گرفت. نمایه‌های توزیع اندازه ذرات و شاخص‌های میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک به فواصل شش ماه اندازه‌گیری شدند. از نظر تاپ و همکاران [۵۴] حاکی که سهم خاکدانه‌های درشت در آن بیش‌تر باشد پایدارتر است لذا مطابق با تعریف سطوح بحرانی پایداری خاک توسط لال [۳۱] که آن را براساس شاخص MWD از خیلی شدید تا بدون خطر درجه‌بندی نموده است، خاک منطقه مورد بررسی در کرت‌های شاهد و زغال‌زیستی در محدوده سطح بحرانی شدید قرار دارد. از نظر ایشان ذرات خاکدانه بیش از ۲/۵ میلی‌متر در سطح بحرانی بدون خطر و ذرات کمتر از ۰/۵ میلی‌متر در شدیدترین سطح بحرانی پایداری خاکدانه قرار دارند و ذرات بین یک تا دو میلی‌متر هم در سطح بحرانی متوسط هستند. در این مطالعه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر دو تیمار شاهد و زغال‌زیستی در بازه بین ۰/۶۴ و ۰/۸۶ میلی‌متر قرار دارند که مطابق با تعریف فوق در سطح بحرانی شدید هستند.

همان‌طور که جدول (۴) نشان می‌دهد افزودنی زغال‌زیستی در ترکیب خاک کرت‌های USLE بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها تأثیر داشته است و بیان‌گر تفاوت‌های معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد است. نتایج ارزیابی تغییرات پایداری خاکدانه‌ها در اثر افزودنی زغال‌زیستی مطابق با جدول (۳ و ۴) نشان داد که شش ماه پس از اعمال افزودنی زغال‌زیستی، در بهار سال ۱۴۰۱، MWD و GMD در تیمار حفاظتی و شاهد رقمی نزدیک به یک‌دیگر داشتند و پس



با هدف تعیین اثرات زغال‌زیستی ضایعات درخت افاقیا برخواص فیزیکی خاک، مصرف زغال‌زیستی را در افزایش و بهبود پایداری خاک‌دانه مؤثر ندانستند. در بررسی نتایج اصولی و همکاران [۴۳] نیز افزایش معنی‌دار MWD در تعداد معدودی از تیمارهای مورد بررسی از سطوح مختلف انواع زغال‌زیستی کاه گندم، ورمی‌کمپوست و چوب زردآلو نسبت به شاهد یافت می‌شود، به طوری که بیش‌ترین افزایش آن در تیمار زغال‌زیستی کاه گندم به میزان ۴۰ درصد بود. در تحقیقات نسیمی و همکاران [۴۰] از اثرات متفاوت زمان در استفاده از زغال‌زیستی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک نتایجی مطرح شده است. ایشان بیش‌ترین میانگین وزنی قطر ذرات خاک در الک خشک را پس از گذشت نه ماه بیان داشتند.

بررسی تأثیر جداگانه زمان‌های برداشت و اندازه‌گیری طی ماه‌های اردیبهشت و آذر در دو سال متوالی بر شاخص‌های نام‌برده نیز حاکی از تفاوت‌های معنی‌دار در سطح پنج درصد است ( $\text{Sig}=0/026$ ،  $F=6/04$  برای متغیر MWD و  $\text{Sig}=0/003$ ،  $F=12/11$  برای متغیر GMD) به طوری که براساس آزمون مقایسه میانگین دانکن هر دو شاخص MWD و GMD در سه گروه تقسیم‌بندی شده و روند مشابه یک‌دیگر را داشته‌اند، در بازه زمانی اول دارای بیش‌ترین مقدار میانگین و پس از آن در بازه زمانی دوم و سوم به کم‌ترین مقدار رسیده و در بازه زمانی چهارم به رقمی نزدیک به بازه زمانی اول بازگشته است. گفتنی است که هر بازه زمانی حاکی از گذشت شش ماه است. تغییرات و نوسانات پایداری خاک‌دانه در گذر زمان تحت شرایط طبیعی آب و هوایی می‌تواند مطابق با تغییرات آب و هوایی فصلی بوده و همگام بودن نوسانات پایداری خاک‌دانه‌ها با نوسانات بارندگی و دما به عنوان دو عامل غالب آب و هوایی در مطالعه دیمویانیس [۱۰] تأیید شده است.

براساس نتایج ارائه شده در جدول (۴) اثر تعاملی تیمار حفاظتی و گذر زمان بر مؤلفه‌های MWD و GMD به ترتیب غیرمعنی‌دار ( $\text{Sig}=0/313$  و  $F=1/28$ ) و معنی‌دار ( $\text{Sig}=0/023$  و  $F=4/21$ ) است. یافته‌های این مطالعه حاکی از تأثیر مثبت زغال‌زیستی بر شاخص‌های پایداری خاک‌دانه در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد است که افزایش محدودی در میانگین‌های وزنی و هندسی قطر خاک‌دانه‌ها و تغییرات ۴۰ درصدی در مؤلفه‌های اندازه ذرات ایجاد کرده است.

به‌طورکلی در تحلیل واریانس شاخص‌های MWD و GMD در تیمارهای شاهد و زغال‌زیستی در چهار زمان متوالی به فواصل شش ماه نتایج حاکی از معنی‌داری اثر جداگانه زغال‌زیستی و زمان در هر دو شاخص و اثر تعاملی زغال‌زیستی و زمان در شاخص GMD در سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده است. بازه زمانی دوم دارای بیش‌ترین درصد تغییرات در مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات است. هم‌چنین نتایج آزمون T مستقل معنی‌داری و وجود اختلاف میانگین‌ها بین شاهد و زغال‌زیستی در بازه زمانی دوم در هر دو شاخص پایداری خاک‌دانه را نشان داده است، لذا براساس یافته‌های این آزمایش بهترین عملکرد

زغال‌زیستی در زمینه بهبود پایداری خاک‌دانه و ساختمان خاک بعد از گذشت یک سال از اعمال آن به خاک است. مطابق با نتایج این پژوهش پایداری خاک‌دانه عاملی تأثیرپذیر از گذر زمان و تغییرات آب و هوایی فصلی است. میدانی بودن مقیاس آزمایش و هم‌چنین قرارگیری کرت‌ها در معرض آب و هوای طبیعی بر پیچیدگی‌های حاکم بر چنین فرآیندهایی افزوده و لذا طراحی مطالعات جزئی و در مقیاس زمانی مناسب‌تر و بازه‌های زمانی کوچک‌تر به منظور کسب نتایج دقیق‌تر ضروری است.

### • سپاسگزاری

این پژوهش در قالب رساله دکتری نویسنده اول مقاله و تحت حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و در قالب رساله دکتری انجام شده است. هم‌چنین نویسندگان مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از دانشکده منابع طبیعی دانشگاه ارومیه بابت همکاری و مساعدت در روند پژوهش بیان می‌دارند.

### • تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

### • دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

### • مشارکت نویسندگان

گیلدا معافی: اجرای آزمایش، اندازه‌گیری و آماده‌سازی داده، انجام محاسبات و تحلیل‌های آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله  
لیلا غلامی: مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، راهنمایی و نظارت بر روند پژوهش، کنترل نتایج، ویرایش و بازبینی مقاله  
عطاله کاویان: راهنمایی و نظارت بر روند پژوهش، مفهوم‌سازی، کنترل نتایج حسین خیرفام: کمک در طرح تحقیق، کمک در اجرای آزمایش، مفهوم‌سازی، کنترل نتایج

### منابع

1. Alizadeh, A. 2016. Soil Physics (4th Ed.) Imam Reza International University Press, 615 p. (In Persian)
2. Amirahmadi, E. Ghorbani, M. and Moudry, J. 2022. Effects of zeolite on aggregation, nutrient availability, and growth characteristics of corn (*Zea mays* L.) in cadmium-contaminated soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 233(11): 436-451.
3. Balvaieh, A. Gholami, L. Shokrian, F. and Kaviani, A. 2022. Effects Study of Individually and Combined of Soil Conditioners on Response of Soil Loss and Surface Runoff. *Journal of Watershed Management Research*, 13(25): 21-29. (In Persian)
4. Behzadfar, M. Sadeghi, S.H.R. Khanjani, M. J. and Hazbavi, Z. 2017. Effects of rates and time of zeolite application on controlling runoff generation and soil loss from a soil subjected to a freeze-thaw cycle. *International Soil and Water Conservation Research*,

- eroded plots. *Soil Science Society of America Journal*. 77(1): 268-278.
18. Gholami, L. Sadeghi, S.H.R. and Homae, M. 2016. Different effects of sheep manure conditioner on runoff and soil loss components in eroded soil. *Journal of Catena*. 139: 99-104.
  19. Ghorbani, M., Amirahmadi, E. Konvalina, P. Moudry, J. Bárta, J., Kopecký, M. and Bucur, R. D. 2022. Comparative influence of biochar and zeolite on soil hydrological indices and growth characteristics of corn (*Zea mays* L.). *Water*, 14(21): 3506.
  20. Haghjoo, Z. Gholami, L. Kavian, A. Mosavi, S R. 2019. Changes study of soil splash and stability of soil aggregates using polyvinyl acetate. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. (In Persian)
  21. Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G., and Close, D. (2014). Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? *Plant and soil*, 376, 347-361.
  22. Ibrahim, A. Marie, H. A. M. and Elfaki, J. 2021. Impact of biochar and compost o aggregate stability in loamy sand soil. *Agricultural Research Journal*. 58(1).
  23. Kardavani, P. 2014. *Soil Conservation* (11th Ed.). University of Tehran Press, 264 p. (In Persian)
  24. Karimi, N. Gholami, L. Kavian, A. 2019. Protective Role of Biochar in Different Soil Moisture for Prevent Soil Loss in Laboratory Conditions. *Jwss*. 23 (3): 223-235. (In Persian)
  25. Karimian Shamsabadi, N. Ghorbani Dashtaki, Sh, Motaghian, H. Iranipour, R. Khalili Moghadam, B. 2023. Effect of Application of Biochar and Wood Vinegar on Penetration Resistance and Structure Stability of Soil under Forage Corn Cultivation. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12 (4): 99-116. (In Persian)
  26. Kheirfam, H. Sadeghi, S.H.R. and Zarei Darki, B. 2020. Soil conservation in an abandoned agricultural rain-fed land through inoculation of cyanobacteria. *Catena*, 187: 104341.
  27. Kheirfam, H. Sadeghi, S.H.R. Zarei Darki, B. and Homae, M. 2017. Controlling rainfall-induced soil loss from small experimental plots through inoculation of bacteria and cyanobacteria. *Catena*, 152: 40-46.
  28. Kumar, A. and Saha, A. 2011. Effect of polyacrylamide and gypsum on surface runoff, sediment yield and nutrient losses from steep slopes. *Agricultural water management*, 98(6): 999-1004.
  29. Kjeldahl, J. 1883. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Journal of Zeitschrift für Analytische Chemie*; 22: 366-382.
  30. Laird, D. A. Brown, R.C. Amonette, j.E. and Lehmann, 5(2): 95-101.
  5. Blanco, H. And Lal, R. 2023. *Soil Conservation and Management*. Springer Nature, 617 p.
  6. Blott, S. J. and Pye, K. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and Landforms*, 26(11): 1237-1248.
  7. Bolan, N. Hoang, S.A. Beiyuan, J. Gupta, S. Hou, D.mKarakoti, A. and Van Zwieten, L. 2022. Multifunctional applications of biochar beyond carbon storage. *International Materials Reviews*, 67(2): 150-200.
  8. Carter, M. R. and B.C. Ball. 1993. *Soil porosity. Soil sampling and methods of analysis*: 1:58PP.
  9. Chen, X. Zhou, B. Wang, Q. Tao, W. and Lin, H. 2020. Nano-biochar reduced soil erosion and nitrate loss in sloping fields on the Loess Plateau of China. *Catena*, 187: 104346.
  10. Dimoyiannis, D. 2009. Seasonal soil aggregate stability variation in relation to rainfall and temperature under Mediterranean conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(6): 860-866.
  11. Ding, Y. Liu, Y. Liu, S. Li, Z. Tan, X. Huang, X. and Zheng, B. 2016. Biochar to improve soil fertility. A review. *Journal of Agronomy for sustainable development*. 36(2): 1-18.
  12. Feizi, Z. Ayoubi, S. Mosaddeghi, M. R. Besalatpour, A. A. Zeraatpisheh, M. and Rodrigo-Comino, J. 2019. A wind tunnel experiment to investigate the effect of polyvinyl acetate, biochar, and bentonite on wind erosion control. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 65(8): 1049-1062.
  13. Ghasemi, A. and Zahediasl, S. 2012. Normality tests for statistical analysis: A guide for non-statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*. 10(2): 486-489.
  14. Gholami, L. Karimi, N. and Kavian, A. 2019. Soil and water conservation using biochar and various soil moisture in laboratory conditions. *Catena*, 182:104151.
  15. Gholami, L. Khaledi Darvisan, A. and Karimi, N. 2021. Variability of Sediment Components with Application of Vermicompost and Nano-manure and Various Moisture Levels. *JWSS-Isfahan University of Technology*. 25(3): 131-143. (In Persian)
  16. Gholami, L. Khaledi Darvishan, A. and Kavian, A. 2016. Wood chips as soil conservation in field conditions. *Journal of Geosciences*. 9, 729.
  17. Gholami, L. Sadeghi, S.H.R. and Homae, M. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from

43. Osooli, H. Karimi, A. Shirani, H. and Tabatabaei, S. H. 2021. The effect of type, particle size and amount of biochar on some physical and mechanical properties of calcareous soil. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 11(1): 113-128. (In Persian)
44. Ouyang, L. Wang, F. Tang, J. Yu, L. and Zhang, R. 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *Journal of soil science and plant nutrition*, 13(4): 991-1002.
45. Palansooriya, K. N. Ok, Y.S Awad, Y.M. Lee, S.S. Sung, J.K. Koutsospyros, A. and Moon. D.H 2019. Impacts of biochar application on upland agriculture: A review. *Journal of Environmental management*: 234:52-64.
46. Peter, P.Ch. 2018. Biochar and conservation agriculture nexus: synergy and research gaps for enhanced sustainable productivity in degraded soils-review. *Journal of Communications in soil science and plant analysis*: 49(3): 389-403.
47. Rieke, E. L. Bagnall, D. K. Morgan, C. L. Flynn, K. D. Howe, J. A., Greub, K. L., ... and Honeycutt, C. W. 2022. Evaluation of aggregate stability methods for soil health. *Geoderma*. 428: 116156.
48. Sadeghi, SHR. Hazbavi, Z. Gholami, L. and Khaledi Darvishan, A. 2020. *Soil and Water Conservation using Amendments (2th Ed.)*. Tarbiat modares university press, 468 p. (In Persian)
49. Sadeghi, S. H. Hazbavi, Z. Younesi, H. and Bahramifar, N. 2016. Trade-off between runoff and sediments from treated erosion plots and polyacrylamide and acrylamide residues. *Catena*. 142, 213-220.
50. Sadeghi, S. H. R. Gholami, L. Homace, M. and Khaledi Darvishan, A. 2015. Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. *Journal of Solid earth*. 6(2): 445-455.
51. Shabani S. Zeinalzadeh, K. and Rezaei, E. 2021. The performance of fractal models in estimating soil particle size distribution. *Applied Soil Research*. 8(4): 158-168
52. Sun, Q. Meng, J. Lan, Y. Shi, G. Yang, X. Cao, D. Chen, W and Han, X. 2021. Long-term effects of biochar amendment on soil aggregate stability and biological binding agents in brown earth. *Catena*. 205: 105460.
53. Tabachnick, B. G. and Fidell, L. S. 2013. *Using multivariate statistics*, (6th ed.). Boston: Pearson, 1024 p.
54. Topp, G. C. Reynolds, W. D. and Carter, M. R. 1997. Physical attributes of soil quality. In: Gregorich, E. G. and M. R. Carter, (Eds), *Soil quality for crop production and ecosystem health*, PP. J. 2009. Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. *Journal of Biofuels, bioproducts and biorefining*: 3(5): 547-562.
31. Lal R. 1998. *Soil quality and agricultural sustainability*. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, 3-12.
32. Lehmann, J. and Joseph, S. (Eds.). 2015. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. Routledge.
33. Luo, S. Wang, S. Tian, L. Li, S. Li, X. Shen, Y. and Tian, C. 2017. Long-term biochar application influences soil microbial community and its potential roles in semiarid farmland. *Journal of Applied soil ecology*: 117: 10-15.
34. McDonald J.H. 2015. *Handbook of biological statistics*, (3rd ed.). Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland. 305 p.
35. Miao, S. Qiao, Y. Yin, Y. Jin, J. Martin, B Liu, X. and Tang, C. 2019. Ten-year application of cattle manure contributes to the build-up of soil organic matter in eroded Mollisols. *Journal of Soils and Sediments*, 19, 3035-3043.
36. Moezzi, A. Khademalrasoul, A. and Biria, M. 2017. *Biochar and its application to soil*. Shahid Chamran University of Ahvaz press, 257 p. (In Persian)
37. Morgan, R. P. 2005. *Soil Erosion and Conservation* Blackwell Science Ltd.
38. Najafi, S. Nazarnejad, H. and Mohammadnezhad, H. 2022. Investigation of the results of soil erosion and sediment yield studies over the past three decades in the watersheds of West Azerbaijan Province. *Watershed Engineering and Management*, 14(1): 17-25. (In Persian)
39. Najafi-shiri, M. Razeghizadeh, T. Taghizadeh, M. S. and Boostani, H. R. 2019. Effect of sheep manure and its produced vermicompost and biochar on the properties of a calcareous soil after barley harvest. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(20): 2610-2625.
40. Nasimi, P. Karimi, A. and Gerami, Z. 2020. Long-term effects of palm leaf biochar on the porosity and structure stability of a sandy clay loam soil. *Iranian Journal of Soil Research*, 34(2): 199-214. (In Persian)
41. Nooralivand F. and FarrokhanFirouzi A. 2020. Investigation the Effect of Polyvinyl Acetate Polymer, Acid Biochar and Wheat Straw Cellulose Hydrogel on Water Retention Capacity in a Sandy Soil. *Applied Soil Research*, 8(3): 144-159. (In Persian)
42. Olsen, S. R. and L.E. Sommers. 1982. Phosphorus in AL Page, (Ed). *Methods of Soil Analysis. Part2. Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Mongraphs: 9(2).

60. Xiubin, H. E. and Zhanbin, H. 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Resources, conservation and recycling*, 34(1): 45-52.
61. Xue, S. Y. Ye, F. Zhu, Q. Wang, J. Jiang and W. Hartley. 2019. Changes in distribution and microstructure of bauxite residue aggregates following amendments addition. *Journal of Environmental sciences*. 78: 276-286.
62. Zhang, X. Fan, X. Han, C. Wang, C. and Yu, X. 2020. Improving soil surface erosion resistance by fungal mycelium. In *Geo-Congress 2020* (pp. 523-531). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
63. Zhi-guo, L. Chi-ming, G. Run-huab, Z. Mohameda, I. Guo-shia, Z. Li, W. Run-qina, Z. Fanga, D. and Yia. L. 2017. The benefic effect induced by biochar on soil erosion and nutrient loss of slopping land under natural rainfall conditions in central China. *Journal of Agricultural water management*. 185 :145–150.
- 81-114, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
55. Vaezi, A. R. Rahmati, S. and Bayat, H. 2018. Evaluating the susceptibility of aggregate sizes to interrill erosion using aggregate stability indices. *Journal of Water and Soil Conservation*. 25(2): 169-185. (In Persian)
56. Vorapongsathorn, Th. Taejaroenkul, S. and Viwatwongkasem, Ch. 2004. A comparison of type I error and power of Bartlett's test, Levene's test and Cochran's test under violation of assumptions. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 26(4): 537-547.
57. Walkley, A. and 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*. 37(1): 29-38.
58. Wang, H. Q. Zhao, Q. Zeng, D. H. Hu, Y. L. and Yu, Z. Y. 2015. Remediation of a magnesium-contaminated soil by chemical amendments and leaching. *Land Degradation and Development*. 26(6): 613-619.
59. Wang, J. Shi, X. Li, Z. Zhang, Y. Liu, Y. and Peng, Y. 2021. Responses of runoff and soil erosion to planting pattern, row direction, and straw mulching on sloped farmland in the corn belt of northeast China. *Agricultural Water Management*. 253:106935.

## The Changes in Aggregates due to the Use of Biochar Obtained from *Populus Nigra* Branches

Gilda Moafi<sup>1</sup>, Leila Gholami<sup>\*2</sup>, Ataollah Kaviani<sup>3</sup> and Hossien Kheirfam<sup>4</sup>

Received: 07-04-2024

Accepted: 28-05-2024

### Extended Abstract

#### Introduction

Protection of soil resources is necessary the maintenance of world food security and the improvement of environmental quality. Soil structure is one of the physical and active characteristics of soil that it can be evaluated with the stability. Aggregate stability is important in the discussion of the physical quality of the soil, and its improvement leads to improvement of soil performance. Usage of different types of soil amendments in conditions where there is not the possibility of biological management, it is a useful solution to conservation and improvement of soil structure. Biochar amendment is prepared from the various biological sources, and has been introduced as a non-structural conservation method in recent years. Therefore, the knowledge of its behaviors, reactions, and short-term and long-term changes in the soil is very important for sustainable management. The effect of biochar amendment on the physical characteristics of the soil under laboratory conditions has shown the positive changes in the criteria and physical indices of the soil. This aspect of biochar applications shows the study and its identification necessity in the natural resource fields with the focus on erosion control. Since the application of biochar amendment obtained from the *Populus nigra* branches in order to the soil conservation has not been reported in the field and in natural weather conditions, therefore, the current research has investigated the biochar effect on the soil structure in natural conditions in abandoned rain-fed and USLE plots for two continuous years.

#### Material and Methods

In the present study, the effect of biochar amendment on soil structure changes in the area of Noruzlu dam, Miandoab city, West Azarbaijan province was evaluated at the scale of six USLE plots. Biochar is prepared by the pyrolysis process from the branches of *Populus nigra* species. To the experiment performance, two treatments of control and biochar were considered each with three replications. After preparing and transferring biochar to the region, it was applied and spread on the plots with the rate of 32.5 t ha<sup>-1</sup>. Plots sample was conducted to changes the investigation of the soil structure due to the biochar application in four continuous times at intervals of six months after the biochar. Particle size distribution and aggregate stability were measured

1. Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2. Associate Professor (corresponding author), Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: l.gholami@sanru.ac.ir

3. Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4. Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

using the dry sieve series method at these time intervals. The results of dry sieving were used to the measurement of the aggregate stability and for the determination of the particles size, and distinction of the stability level of particles were calculated from two indicators of the mean weight diameter (MWD) and the geometric mean diameter (GMD). Then, homogeneity of variances tests as one of the basic requirements of data analysis, the GLM test to investigate the separate and interactive effects of treatments and time, and the independent T-test to averages comparison of the investigated components between treatments were performed.

### Results and discussion

In order to investigate the aggregate stability under biochar treatment in natural weather conditions at USLE plots, the mean weight diameter (MWD) and the geometric mean diameter (GMD) were measured for the control and biochar treatments in four continuous times. The MWD and GMD indices in control plots have the average values of 0.85, 0.68, 0.64, and 0.81, and 0.8, 0.69, 0.7, and 0.76 mm, and in biochar plots with rates of 0.86, 0.82, 0.75, and 0.84, and 0.79, 0.78, 0.75, and 0.77 mm, respectively. The changes trend in the variables  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ , and  $D_{90}$  related to the distribution particle size in the second time period were the rates of 43.8, 26.7 and 15.2 percent, and in the third time period also were with the rates of 14.2, 14.2, and 16.8 percent, respectively, which showed in the mentioned time periods, the changes trend of these variables increased in biochar treatment compared to the control treatment. Biochar amendment in combination with the soil of USLE plots had an effect on the aggregate stability indicators so that the separate effect of biochar and time and the interactive effect of biochar and time on the GMD index were significant at the level of 95 percent. In comparing the average of the investigated components between the treatments in each time period, both MWD and GMD variables in the second time period showed the significant difference at the level of five percent. Therefore, it can be said that the biochar is the useful and effective for improving soil stability after one year.

### Conclusion

The findings of this study indicated the biochar amendment had the positive effect on aggregate stability indicators, which has caused a limited increase in the weight and geometric mean of the aggregate diameter and changes of 40 percent in the particle size components. In general, the examination of MWD and GMD indices in the control and biochar treatments in four continuous times at six-month intervals indicated the separate effect of biochar and time for both indicators and the interactive effect of biochar and time for the GMD index were significance at level of 95 percent. The second period had the maximum percentage of changes in the component of particle size distribution. Also, in the second period in both indicators, there was the significant difference between the averages of control and biochar treatment. Therefore, based on the observed results in the current research, it can be stated that the best biochar performance to improve the aggregate stability and soil structure was after one year of biochar application on soil surface. According to the results of this research, the aggregate stability is affected by the time passage and seasonal climate changes. Due to the field scale of the experiment and also the exposure of the plots to the natural weather added to the complexities governing such processes, and in order to obtain more accurate results, it is necessary to design detailed studies with a more appropriate time scale and smaller time intervals.

**Keywords:** *Aggregate stability, Organic amendment, Soil conservation, Standard erosion plots*



#### Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU) for the financial and logistical supports in Ph.D. thesis that significantly contributed during the research project. Also, the authors are grateful to the Faculty of Natural Resources, Urmia University, for their cooperation in the research.

#### Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

#### Data availability statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

#### Authors contribution

Gilda Moafi: Experiment implementation, data measurement and preparation, performing calculations and statistical analysis, original draft preparation

Leila Gholami: Conceptualization, methodology, guidance and supervision of the research process, control of results, editing and revision of the article

Ataollah Kavian: Guidance and supervision on the research process, conceptualization, results control

Hossein Kheirfam: Helping in research design, experiment implementation, conceptualization, results control