



دانشگاه گوارز و منابع طبیعی گوارز

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره چهارم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

بررسی شدت آبگریزی خاک و تغییرات زمانی آن پس از آتش‌سوزی تجویزی در مناطق جنگلی آبخیز توشن استان گلستان

کهزاد حیدری^۱، *علی نجفی‌نژاد^۲، مجید اونق^۳ و علی محمدیان بهبهانی^۴

دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشیار گروه آبخیزداری و

مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستاد گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم

کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۱۱

چکیده

سابقه و هدف: آب‌گریزی خاک (SWR) یکی از خصوصیات پویای خاک است که نفوذ آب در خاک را کاهش داده و یا از آن جلوگیری می‌کند. در مناطق جنگلی شمال کشور، آتش‌سوزی یکی از نگرانی‌های محیطی بسیار مهم و از عوامل اصلی تغییر در پدیده آب‌گریزی خاک است. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی اثر آتش‌سوزی تجویزی بر خاک مناطق جنگلی آبخیز توشن استان گلستان و همچنین بررسی تغییرات زمانی و برهم‌کنش آن بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد.

مواد و روش‌ها: خاک مناطق جنگلی در طبقه شیب ۳۰-۱۵ درصد و عمق ۵-۰ سانتی‌متری سطح خاک، در قالب ۳۰ تکرار در محیط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی اثر آتش بر روی آب‌گریزی خاک در شرایط آزمایشگاهی، آتش‌سوزی تجویزی اعمال شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله اجزای بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن)، درصد مواد آلی خاک، pH، EC و پایداری خاکدانه (MWD) قبل و پس از آتش‌سوزی بررسی شدند. آب‌گریزی خاک قبل و پس از آتش‌سوزی با دو آزمون زمان نفوذ قطره آب (WDPT) و روش مولاریته محلول آب و الکل (MED) تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج دو آزمون WDPT و MED نشان داد که، قبل از آتش‌سوزی ۱۰۰٪ نمونه‌ها آب‌دوست بودند (به ترتیب کلاس ۱ و ۰). همچنین مطابق با آزمون WDPT یک روز پس از آتش‌سوزی تمام کرت‌ها کلاس آب‌گریزی جزئی از خود نشان دادند (کلاس‌های ۲ و ۳) اما نتایج آزمون MED پس از آتش‌سوزی قدری متفاوت بود و یک روز پس از آتش‌سوزی شدت آب‌گریزی افزایش یافت؛ به طوری که ۳۰٪ کرت‌ها آب‌گریزی جزئی (کلاس ۱)، ۵۰٪ کرت‌ها آب‌گریزی متوسط (کلاس ۲) و ۲۰٪ کرت‌ها آب‌گریزی نسبتاً قوی (کلاس ۳) را نشان دادند. بررسی روند تغییرات زمانی هر دو شاخص آب‌گریزی نیز نشان داد که کلاس آب‌گریزی پس از آتش‌سوزی به صورت موقتی بود و تا یک ماه پس از آن

* مسئول مکاتبه: najafinejad@gmail.com

سطح آن به میزان بسیار زیادی کاهش پیدا نمود. نتایج نشان داد که دو آزمون آبگریزی پس از آتش‌سوزی همبستگی خوبی با هم داشتند. نتایج نشان داد که همبستگی متوسطی بین دو آزمون آبگریزی WDPT و MED با برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله pH، EC، MWD و درصد مواد آلی خاک وجود دارد. همچنین مشخص شد که بین دو آزمون آبگریزی و اجزای بافت خاک همبستگی ضعیف وجود دارد. مقادیر همبستگی نسبتاً ضعیف آبگریزی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نشان می‌دهد که این تغییرات احتمالاً نمی‌توانند عامل اصلی تغییرات آبگریزی خاک باشد. بخشی از این تغییرات را می‌توان با تغییرات پایداری خاکدانه پس از آتش‌سوزی تبیین کرد. این تغییرات در پایداری مکانیکی ساختمان خاک می‌تواند در اثر دو مکانیسم اصلی ایجاد شود: (۱) تغییر ترکیبات بافت خاک و افزایش نیروهای هم‌چسبی بین ذرات در خاکدانه‌ها که نتیجتاً موجب پایداری ساختمان خاک در مقابل نیروهای مخرب فیزیکی شود. (۲) تغییر در برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مثل افزایش EC که موجب جلوگیری از پراکنش ذرات رس شده و مانع تخریب فیزیکی خاکدانه‌های ریز می‌شود.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که با وجود آبدوستی خیلی زیاد در خاک‌های لسی، آتش‌سوزی می‌تواند به‌عنوان یک عامل خارجی موجب افزایش ضعیف و آنی در کلاس آبگریزی شود. کلاس آبگریزی ضعیف احتمالاً می‌تواند به دلایل زیر باشد: اولاً آبگریزی بیش‌تر در خاک‌های درشت دانه با مواد آلی بالا رخ می‌دهد. دوم این‌که نمونه‌های مطالعه شده از لایه سطحی خاک (۵-۰ سانتی‌متری) برداشت شده‌اند در حالی‌که آتش‌سوزی می‌تواند موجب تراکم برخی مواد آلی در لایه‌های زیرسطحی شده و موجب ایجاد آبگریزی در افق‌های پایین‌تر شود.

واژه‌های کلیدی: آبخیز توشن، آبگریزی خاک، آتش‌سوزی تجویزی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

مقدمه

در نیمه قرن ۱۱، وقتی‌که زمین‌های پست ساحلی به کمک سدبندی برای زراعت استفاده شدند، آبگریزی خاک در خاک‌های پیت^۱ در هلند مشاهده شد (۱۲). به‌طور طبیعی، خاک‌های خشک به سهولت آب جذب می‌کنند و اشباع می‌شوند. در واقع یک کشش قوی بین ذرات معدنی خاک و آب وجود دارد. نیروی کشش بین ذرات خاک و آب باعث می‌شود که مولکول‌های آب پیوستگی خود را از دست بدهند یعنی گرایش به آن‌که به شکل قطره آب باقی بمانند از بین می‌رود و آب در امتداد سطح ذرات حرکت و خاک را خیس می‌کند (۲۶). یک خاک آب‌گریز این ویژگی (قابلیت خیس شدن) را به‌طوری متفاوت نشان

می‌دهد. اگر نیروهای کششی بین آب و خاک به‌دلیل حضور پوشش آبگریز روی دانه‌های شن یا یک خاکدانه، بسیار کم شود و یا از بین برود، آب به‌صورت قطره کروی روی سطح خاک باقی می‌ماند و خاک آب‌گریز نامیده می‌شود (۲۲). خاصیت آبگریزی از چند ثانیه تا ساعت‌ها یا روزها می‌تواند باقی بماند (۱ و ۱۸). این موضوع آثار زیان‌آوری بر رشد گیاه و فرآیندهای هیدرولوژیکی دارد (۱۴). آبگریزی سبب کاهش نفوذپذیری و افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود (۳۴). همچنین توسعه جریان انگشتی یا گذرگاه‌های جریان ترجیحی^۲، تلفات عناصر غذایی، ایجاد ناپایداری در جریان و جبهه رطوبتی نامنظم خاک نیز از جمله پدیده‌هایی هستند

کردند. همچنین طول مدت آتش‌سوزی را عامل دیگری در ایجاد آبرگریزی عنوان کردند که این عامل در رسیدن دمای لازم به لایه‌های مستعد آبرگریزی نقش بسیار مهمی دارد. البته در موارد بسیار نادری برخی پژوهشگران گزارش کرده‌اند که آتش‌سوزی اثر محسوسی در آبرگریزی خاک نداشته است. باس و همکاران (۲۰۰۵) اثر آتش‌سوزی را بر ۲۴ پلات ۹۰×۹۰×۱۰ سانتی‌متری خاک مناطق جنگلی کالیفرنیا بررسی کردند (۶). نتایج آن‌ها نشان داد که آتش‌سوزی منجر به آسیب‌های بیولوژیکی و مکانیکی به خاک شده ولی تأثیر معنی‌داری بر پدیده آبرگریزی خاک نداشته است. آن‌ها بیان کردند با این‌که معمولاً آتش‌سوزی در دماهای ۲۶۰ تا ۳۴۰ درجه سانتی‌گراد باعث تأثیر بر آبرگریزی می‌شود اما حتی در این دماها نیز ممکن است بسته به شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، آتش‌سوزی تأثیر بر پدیده آبرگریزی نداشته باشد (۶).

آتش‌سوزی همواره یکی از خطرناک‌ترین عوامل تخریب منابع مختلف انسانی و محیط زیستی به‌شمار می‌رود. در سال‌های اخیر این پدیده در استان گلستان چه از نظر سطح تحت‌تأثیر و چه از نظر فراوانی، روند افزایشی داشته به‌طوری‌که در سال ۲۰۰۱، تعداد ۴۵ آتش‌سوزی با سطح تأثیر ۲۵۴ هکتار ثبت شده و این مقدار در سال ۲۰۱۰ به ۲۰۰ آتش‌سوزی با سطح ۱۶۱۸۰ هکتار افزایش یافته است (۱). این آمار به‌صورت رسمی بوده و با توجه به تعداد آتش‌سوزی‌های ثبت نشده، می‌توان آتش‌سوزی را یکی نگرانی‌های مهم استان برشمرد. از این رو با توجه به روند رو به افزایش آتش‌سوزی در استان و همچنین اهمیت آتش‌سوزی بر پدیده آبرگریزی و متغیر بودن رفتار آن در حالت‌ها و خاک‌های مختلف لازم است تا مطالعات بیش‌تری در این زمینه صورت گیرد. بنابراین

که در اثر آبرگریزی خاک به وجود می‌آیند (۲۸). به‌طورکلی آبرگریزی در نتیجه پوشش مواد آبرگریز روی ذرات سطح خاک یا در نتیجه تجمع مواد آبرگریز در افق‌های خاک رخ می‌دهد. منبع آبرگریزی ممکن است از مواد ترشح‌شده از گیاهان (روغن آروماتیک، رزین‌ها یا سایر ترکیبات آبرگریز) هیفا^۱ قارچ و میکروارگانسیم‌ها (۲۹)، اسیدهای هومیک (۷)، مواد گیاهی تجزیه‌شده و آتش‌سوزی (۳۰) و هیدروکربن‌ها باشد.

در اکوسیستم‌های گرم و مرطوب، آتش‌سوزی یکی از عوامل اکولوژیکی تأثیرگذار مهم بر آبرگریزی است (۱۸). آتش‌سوزی مناطق جنگلی باعث تغییرات شدیدی بر روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک می‌شود. پژوهشگران مختلفی گزارش کرده‌اند که پس از آتش‌سوزی در خاک‌های جنگلی آبرگریزی ایجاد و یا توسعه پیدا می‌کند (۳، ۶، ۱۰ و ۱۱). البته همیشه آتش‌سوزی منجر به آبرگریزی نمی‌شود و بسته به شرایط آتش‌سوزی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ممکن است آبرگریزی تخریب و یا کاهش پیدا کند. جوردن و همکاران (۲۰۱۱) اثر آتش‌سوزی بر خاک جنگل‌های کاج آبخیز Michoacán، مکزیک را بررسی کردند (۲۰). نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که دمای آتش‌سوزی نقش بسیار مهمی در تخریب، ایجاد و یا توسعه آبرگریزی در خاک مناطق جنگلی بررسی شده دارد. آن‌ها نشان دادند که خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از ۰/۵ میلی‌متر نقش اصلی را در پدیده آبدوستی و یا آبرگریزی خاک‌ها دارند. دوور و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهشی به بررسی اثر آتش‌سوزی بر خاک مناطق جنگلی آکالیپتوس استرالیا پرداختند (۱۱). آن‌ها بازه حرارتی ۲۶۰ تا ۳۴۰ درجه سانتی‌گراد را به‌عنوان دمای آستانه برای تخریب و ایجاد آبرگریزی در این خاک‌ها معرفی

اهداف این مطالعه عبارت بودند از: ۱- بررسی آبگریزی در خاک‌های سوخته‌شده مناطق جنگلی آبخیز توشن استان گلستان، ۲- تعیین تأثیر برخی خصوصیات خاک، مانند مقدار مواد آلی و درصد شن و رس بر شدت آبگریزی.

اهداف این مطالعه عبارت بودند از: ۱- بررسی آبگریزی در خاک‌های سوخته‌شده مناطق جنگلی آبخیز توشن استان گلستان، ۲- تعیین تأثیر برخی خصوصیات خاک، مانند مقدار مواد آلی و درصد شن و رس بر شدت آبگریزی.

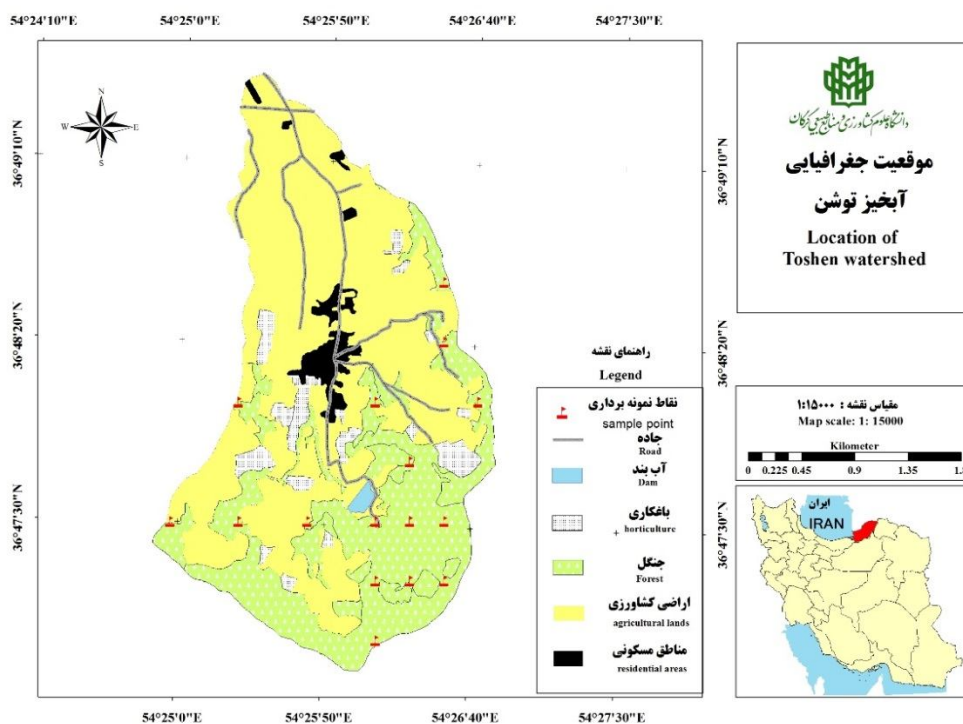
زراعت بوده که کشت غالب آن گندم و سویا می‌باشد و پوشش غالب مناطق جنگلی (جنگل پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) به‌طور عمده شامل درختان منطقه بلوط (*Quercu.sp*)، ممرز (*Carpinus betulus*)، انجیلی (*Parratia sp.*) و کاج می‌باشند. با توجه به اهداف پژوهش که بررسی اثر آتش‌سوزی بر لایه آبگریز خاک در کاربری‌های جنگل بود، نسبت به تهیه نقشه شیب و کاربری اراضی آبخیز توشن با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی با ابعاد سلولی ۳۰ در ۳۰ متر در سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام شد. پس از آنالیز نقشه‌های مورد نظر، کلاس شیب ۳۰-۱۵ درصد با توجه به وجود سطح کافی برای نمونه‌برداری به‌عنوان کلاس شیب مورد مطالعه در این پژوهش در نظر گرفته شد (شکل ۱). در هر سری از عملیات نمونه‌برداری، خاک در دو عمق ۵-۰ سانتی‌متری سطح خاک و به تعداد ۲۰ نمونه در اطراف منطقه مورد نظر برداشت شد. سپس این خاک‌ها وارد کیسه‌های پلاستیکی گردیده و به محیط آزمایشگاه منتقل شدند. پس از خشک کردن نمونه‌ها، آن‌ها از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شده (۱۷) و به داخل پلات (۱۳×۱۰/۲×۰ متر) منتقل شدند. در مجموع برای این کاربری، تعداد ۵ تکرار در ۴ منطقه و از هر نمونه، مقداری خاک برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در نظر گرفته شد. در این پژوهش بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۶)، کربن آلی به روش والکلی-بلاک (۲۴)، pH و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع خاک با استفاده از pH متر و EC متر (۳۶)، MWD^۱ با استفاده از سری الک‌های تر (۱۷) به قطر ۱، ۲، ۵/۰ و ۲۵/۰ میلی‌متری به مدت زمان ۳ دقیقه اندازه‌گیری شد.

اهداف این مطالعه عبارت بودند از: ۱- بررسی آبگریزی در خاک‌های سوخته‌شده مناطق جنگلی آبخیز توشن استان گلستان، ۲- تعیین تأثیر برخی خصوصیات خاک، مانند مقدار مواد آلی و درصد شن و رس بر شدت آبگریزی.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، طرح آزمایش‌ها، مقیاس مطالعه و نمونه‌برداری: حوزه آبخیز توشن یکی از زیرحوضه‌های قره‌سو در استان گلستان بوده و در جنوب غرب شهر گرگان قرار دارد. این حوضه در مختصات "۵۰' ۲۴' ۵۴° تا "۵۰' ۲۶' ۵۴° طول شرقی و "۳۴' ۳۴' ۳۶° عرض شمالی حد واسط حوزه آبخیز زیارت و انجیرآب واقع شده است (شکل ۱). حداقل ارتفاع حوضه ۱۴۷ متر، حداکثر آن ۶۰۷ متر، مساحت حوضه ۸۴۷ هکتار، میانگین سالانه دما و بارش آبخیز توشن به ترتیب ۱۶ درجه سانتی‌گراد و ۶۲۰ میلی‌متر، رژیم رطوبتی خاک زریک و رژیم حرارتی آن ترمیک است. شیب متوسط آن ۲۰ درصد بوده که کم‌ترین سطح آن مربوط به طبقه شیب ۶-۰ درصد (معادل ۱۱/۷ درصد) و بیش‌ترین سطح آن مربوط به طبقه شیب ۳۵-۲۰ درصد (معادل ۳۵/۱ درصد) از سطح حوضه می‌باشد. وجود افق‌های قهوه‌ای رنگ در اعماق گوناگون رسوبات لسی در آبخیز توشن بیانگر این است که شرایط جوی در این گستره همواره یکنواخت نبوده است، به طوری که در زمان رسوب گذاری این رسوبات بادی- یخچالی، این گستره سرزمین استپی و خالی از پوشش جنگلی بوده و تشکیل این افق‌های قهوه‌ای در شرایط مرطوب همانند شرایط فعلی و یا مرطوب‌تر و همراه با پوشش جنگلی صورت گرفته است. کاربری عمده منطقه (۵۸ درصد)

1- Mean Weight Diameter



شکل ۱- موقعیت و نقاط نمونه برداری حوزه آبخیز توشن استان گلستان.
 Figure 1. Location and sampling points of Toshen watershed, Golestan province.

برای همه کرت‌ها ارتفاع سرشاخه‌ها و تنه‌ها تا ۳۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک در نظر گرفته شد. جهت شروع آتش‌سوزی و تنها برای شعله‌ور کردن آن، از مشعل گازی استفاده شد. طول مدت آتش‌سوزی ۳۵ دقیقه بوده و با استفاده از دماسنج لیزری (شکل ۳) حداقل، میانگین حداکثر دما به ترتیب ۱۳۵، ۲۵۰ و ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد به دقت اندازه‌گیری شد.

آتش‌سوزی تجویزی^۱: جهت بررسی اثر آتش بر روی آبگریزی خاک در شرایط آزمایشگاهی، آتش‌سوزی تجویزی اعمال شد. برای این کار ابتدا اقدام به جمع‌آوری و انبار سرشاخه، تنه‌های کوچک و لاشبرگ کف جنگل از نوع پوشش منطقه مورد مطالعه گردید. از تنه و سرشاخه‌های گونه‌های درختی بلوط (*Quercus castanifolia*)، ممرز (*Carpinus*) و کاج تدا (*Pinus nigra*) استفاده شده است.

پس از آماده‌سازی کرت‌های فرسایشی و پر کردن آن‌ها از خاک، بر روی سطح خاک هر پلات مقدار کافی سرشاخه و تنه‌های کوچک قرار داده و در نهایت کف پلات تا ارتفاع ۵ سانتی‌متری بالای آن از لاشبرگ کف جنگل پر شد (شکل ۲).

1- Prescribed fire



شکل ۲- مراحل انجام شبیه‌سازی آتش سوزی تجویزی.

Figure 2. Steps to prescribed fire simulations.



شکل ۳- دماسنج لیزری استفاده‌شده برای ثبت دمای آتش تجویزی.

Figure 3. A laser thermometer used to record the prescribed fire temperature.

(۱۸) (جدول ۱). روش WDPT شامل قرار دادن سه قطره آب حدود ۵ میلی‌لیتری به‌وسیله قطره‌چکان بر روی سطح صاف خاک و اندازه‌گیری زمان نفوذ قطره‌های آب در خاک است (۹).

پایداری و عمق آب‌گریزی خاک: پایداری و عمق آب‌گریزی با استفاده از آزمون زمان نفوذ قطره آب (WDPT^۱) و روش مولاریته محلول آب و الکل (MED^۲) بررسی و از روش بیسدم و همکاران (۱۹۹۳) برای طبقه‌بندی آب‌گریزی خاک استفاده شد

1- Water Drop Penetration Time
2- Molarity of an Ethanol Droplet

جدول ۱- دامنه و طبقه‌بندی‌های WDPT (اقتباس از منبع ۵).

Table 1. Range and Classification of WDPT (5).

کلاس آبریزی Classification of SWR	کلاس WDPT WDPT class	(s) WDPT	آبریزی Water repellency
1	≤ 5	≤ 5	آبدوست Wettable
2	10	6-10	آبریزی جزئی Slightly water repellent
3	60	11-60	
4	180	61-180	
5	180	181-300	
6	300	301-600	آبریزی زیاد Strongly water repellent
7	900	601-900	
8	3600	901-3600	آبریزی شدید Severely water repellent
9	>3600	>3900	آبریزی بی‌نهایت Extremely water repellent

متفاوت دارند. با نازل بر روی خاک قرار داده شده و میزان غلظت الکلی که در آن قطره محلول حاصل در خاک نفوذ نکند به‌عنوان شاخص مورد سنجش برای تعیین شدت آبریزی استفاده می‌شود. طبقه‌بندی شدت آبریزی با استفاده از این روش در جدول ۲ بیان شده است (۳۲).

آزمون MED، روش دیگر تعیین شدت آبریزی خاک است. واتسن و لتی (۱۹۷۰) کشش سطح محلولی را که خاک با آن خیس می‌شود به منزله شاخص آبریزی خاک پیشنهاد کردند (۳۶). در این روش یک سری از محلول‌های آب و اتانول با درصد حجمی صفر تا ۴۰ درصد الکلی، که کشش سطحی

جدول ۲- غلظت‌های آب- اتانول و طبقه‌بندی میزان آبریزی خاک با استفاده از روش MED.

Table 2. Ethanol-water concentrations and descriptive labels used to categorize the level of soil water repellency in the MED test.

آبریزی Water repellent							توصیف Descriptive label
بی‌نهایت Extremely	شدید Very strongly	قوی More strongly	نسبتاً قوی Less strongly	متوسط Moderately	جزئی Slightly	آبدوست Wettable	
36	24	18	13	5.8	5	0	درصد اتانول (%) Ethanol concentration (%)
6	5	4	3	2	1	0	کلاس آبریزی SWR Class

مکرر^۱ ANOVA برای آنالیز داده‌ها استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن بررسی شد. به‌منظور بررسی همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری

در این پژوهش برای مقایسه ویژگی‌های خاک در مناطق مختلف از طرح نمونه‌برداری کاملاً تصادفی استفاده شد. در این پژوهش از آزمون اندازه‌گیری

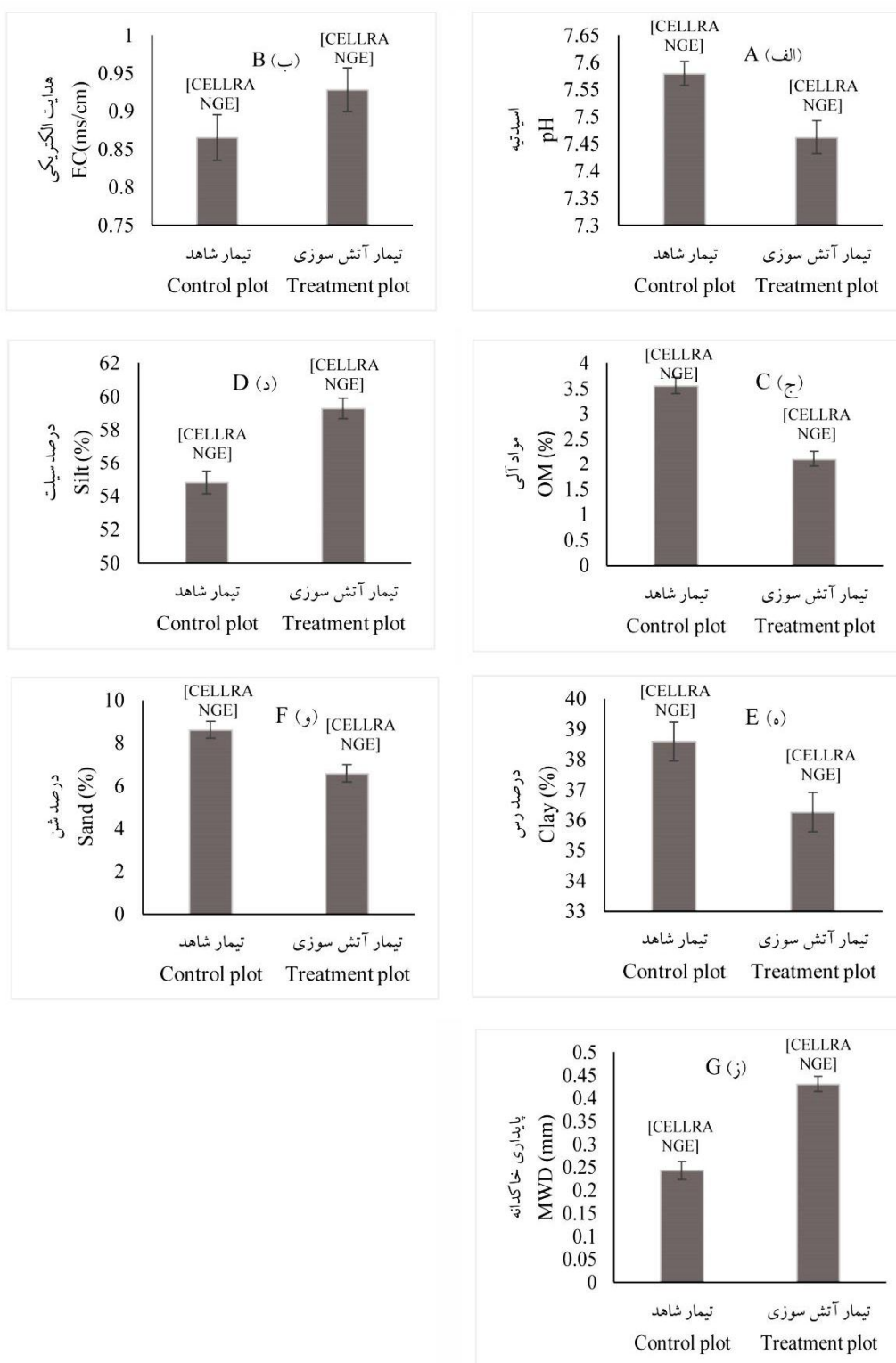
1- Repeated measure ANOVA

شده فیزیکی و شیمیایی و پدیده آبگریزی از آزمون پیرسون استفاده شد. تمام آزمون‌ها در محیط نرم‌افزار R انجام گرفت.

نتایج و بحث

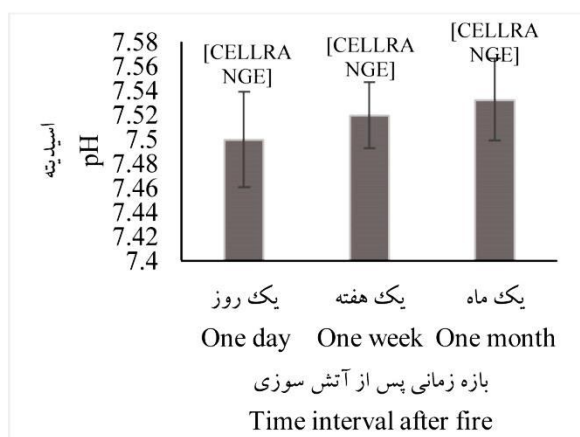
تغییرات برخی متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خاک
 پس از آتش‌سوزی: تغییرات pH در کاربری جنگل برای کرت‌های شاهد به‌طور متوسط بین $7/56 \pm 0/02$ بود که بین دامنه $7/32$ و $7/7$ متغیر است و این مقدار برای کرت‌های تیمار آتش‌سوزی به‌طور متوسط $7/46 \pm 0/16$ و بین دامنه $7/05$ و $7/77$ متغیر بود. نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها نیز نشان می‌دهد که پس از آتش‌سوزی میانگین مقادیر pH کرت‌های تیمار آتش‌سوزی نسبت به کرت‌های شاهد کاهش پیدا کرده و این کاهش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است ($t = -3/08$ و $P\text{-Value} = 0/003$) (شکل ۴). آتش‌سوزی موجب افزایش اسیدیته خاک می‌شود و این نتایج همراستا با بیش‌تر مطالعات انجام‌شده است (۱۷). یکی از دلایل اصلی آن، سوختن مواد آلی تجمع‌یافته در لایه سطحی خاک است که موجب آزاد شدن مقدار زیادی کاتیون بازی شده و منجر به افزایش اسیدیته خاک می‌شود. تغییرات زمانی pH با استفاده از آزمون اندازه‌گیری مکرر ANOVA نشان می‌دهد که تغییرات ایجاد شده پس از آتش‌سوزی، از روز پس از آتش‌سوزی تا یک ماه پس از آن، روند رو به افزایشی نشان می‌دهد و این تغییرات از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است ($F = 5/16$ و $P\text{-Value} = 0/012$) (شکل ۵) که همراستا با یافته‌های اینبار و همکاران (۲۰۱۴) است (۱۷). تغییرات هدایت الکتریکی (EC) در کاربری جنگل برای کرت‌های شاهد به‌طور متوسط بین $0/86 \pm 0/03$ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر و بین دامنه $0/7$ و $1/39$ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر متغیر بود، این مقدار برای کرت‌های تیمار آتش‌سوزی به‌طور متوسط $0/92 \pm 0/02$ میلی‌زیمنس

بر سانتی‌متر و بین دامنه $0/69$ و $1/26$ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر متغیر بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که آتش‌سوزی باعث افزایش EC شده ولی این تغییرات از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند ($t = 1/05$ و $P\text{-Value} = 0/13$) (شکل ۲). این نتایج همراستا با یافته‌های پژوهشگران دیگر است (۲۷ و ۳۱). مقدار تغییرات EC پس از آتش‌سوزی به‌شدت آتش بستگی دارد. بررسی تغییرات زمانی EC با استفاده از آزمون اندازه‌گیری مکرر ANOVA نشان می‌دهد که تغییرات در کرت‌های تیمار آتش‌سوزی از روز پس از آتش‌سوزی تا یک ماه پس از آن روند رو به کاهشی نشان می‌دهد و همواره نسبت به نمونه شاهد مقدار بیش‌تری از خود نشان می‌دهد ولی این تغییرات نیز از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نیستند ($F = 0/84$ و $P\text{-Value} = 0/43$). تغییرات درصد مواد آلی در کاربری جنگل برای کرت‌های شاهد به‌طور متوسط بین $3/55 \pm 0/15$ درصد و بین دامنه ۲ و $4/65$ درصد متغیر بود، این مقدار برای کرت‌های تیمار آتش‌سوزی به‌طور متوسط $2/10 \pm 0/15$ درصد و بین دامنه $0/86$ و $3/93$ درصد متغیر بود. نتایج مقایسه میانگین‌های درصد مواد آلی نشان می‌دهد که پس از آتش‌سوزی این میزان کاهش پیدا کرده و این کاهش در سطح خطای یک درصد از نظر آماری معنی‌دار است ($t = -6/5$ و $P\text{-Value} < 0/001$) که با یافته‌های بادیا- ویلاس و همکاران (۲۰۱۴) و اینبار و همکاران (۲۰۱۴) همراستا است (۱۷ و ۴) (شکل ۴). تغییرات زمانی درصد مواد آلی با استفاده از آزمون اندازه‌گیری مکرر ANOVA نشان می‌دهد که تغییرات ایجاد شده پس از آتش‌سوزی تا یک ماه پس از آن هم‌چنان به حالت قبل بازنگشته و همواره نسبت به کرت شاهد در سطح پایین‌تری قرار دارد اما این تغییرات از نظر آماری در سطح خطای ۵ درصد معنی‌دار نیستند ($F = 0/07$ و $P\text{-Value} = 0/93$).



شکل ۴- مقایسه میانگین‌های برخی متغیرهای فیزیکی- شیمیایی خاک پس از آتش‌سوزی: اسیدیته (الف)، هدایت الکتریکی (ب)، درصد مواد آلی (ج)، درصد سیلت (د)، درصد رس (ه)، درصد شن (و) و پایداری خاکدانه (ز).

Figure 4. Compare means of some physical-chemical variables of soil after the fire: pH (A), Electrical conductivity (EC) (B), Organic matter (OM) (C), Silt (D), Clay (E), Sand (F), mean weight diameter of aggregates (MWD) (G).



شکل ۵- تغییرات اسیدیتته خاک پس از آتش‌سوزی (تغییرات با استفاده از آزمون معنی‌داری توکی در سطح خطای ۵ درصد انجام شده است).

Figure 5. Changes in pH of soil after fire (Tukey's test with $P < 0.05$).

آتش‌سوزی در ذرات ریز شن که در نهایت منجر به شکسته شدن آن‌ها و کاهش درصد ذرات شن و افزایش ذرات در اندازه سیلت می‌شود (۳). تغییرات بافت خاک در طول بازه‌های زمانی مورد بررسی نیز نشان می‌دهد که از روز پس از آتش‌سوزی تا یک ماه پس از آن در هیچ کدام از مؤلفه‌ها در سطح خطای ۵ درصد معنی‌دار نیستند.

نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های پایداری خاکدانه (MWD) نشان می‌دهد که سطح پایداری خاکدانه در پلات تیمار (پس از آتش‌سوزی) نسبت به پلات شاهد (قبل از آتش‌سوزی) افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند ($t=7/39$ و $P\text{-Value} < 0/001$) (شکل ۴) و روند تغییرات زمانی کرت‌های تیمار نیز بیانگر آن است که به‌رغم روند کاهشی مقادیر آن از روز پس از آتش‌سوزی ولی تا یک ماه پس از آن، هم‌چنان سطح پایداری خاکدانه نسبت به پلات شاهد مقادیر پایین‌تری را نشان می‌دهد، هم‌چنین تغییرات زمانی در تمام موارد در سطح خطای ۵ درصد معنی‌دار نیستند ($F=1/63$ و $P\text{-Value} = 0/2$). نتایج نشان می‌دهد که آتش‌سوزی با وجود کاهش دادن درصد مواد آلی، موجب افزایش پایداری خاک شده است. حرارت بالای آتش‌سوزی (دمای تا ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد)،

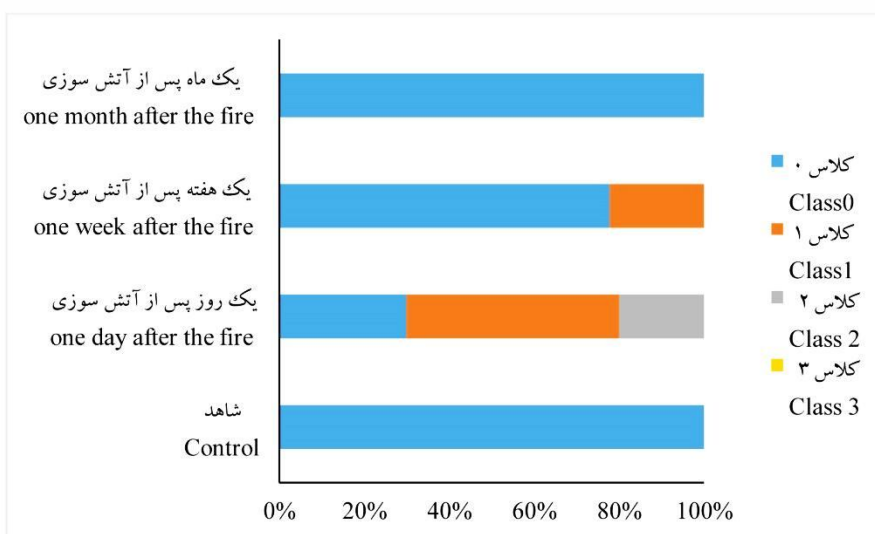
بر اساس نتایج و با توجه به مثلث بافت خاک، در منطقه مورد بررسی بافت خاک رسی سیلتی و لومی رسی سیلتی تشخیص داده شد. نتایج تحلیل میانگین‌های اجزای بافت خاک نشان می‌دهد که درصد رس ($t = -2/57$ و $P\text{-Value} = 0/002$) و شن ($t = -3/59$) پس از آتش‌سوزی نسبت به کرت‌های شاهد کاهش پیدا کرده ولی درصد سیلت ($t = 4/88$ و $P\text{-Value} < 0/001$) افزایش یافته است. تغییرات در هر سه مؤلفه بافت خاک از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار هستند (شکل ۲). این نتایج با یافته‌های اورسنا و همکاران (۲۰۰۳) هم‌راستا است (۳). تغییرات ایجاد شده در اجزای بافت خاک ممکن است در اثر عوامل زیر باشد: (۱) آبگریزی ناشی از آتش‌سوزی کانی‌های رسی ۲:۱ در نمونه‌های خاک که موجب برهم‌کنش میان ذرات رس شده که به نوبه خود موجب کاهش ذرات رس و افزایش ذرات سیلت در خاک می‌شود (۲ و ۳) جداسازی ناشی از حرارت آتش‌سوزی برخی ترکیبات خاک مثل آلومینواکسیدها و آهن که عامل سیمانی در بین ذرات رس هستند و سپس مشارکت آن‌ها در تشکیل ذرات با اندازه‌های سیلت در اثر فرایندهای خاکزایی (۳ و ۳۱) ترک‌های ناشی از

کرت‌ها آبدوست هستند. یک روز پس از آتش‌سوزی سطح آبگریزی افزایش یافته به طوری که ۳۰٪ کرت‌ها آبگریزی کلاس ۱، ۵۰٪ آبگریزی کلاس ۲ و ۲۰٪ آبگریزی کلاس ۳ را نشان می‌دهند (شکل ۶). یک هفته پس از آتش‌سوزی سطح آبگریزی کاهش پیدا کرده؛ به طوری که ۷۰٪ کرت‌ها کلاس آبگریزی ۱ و ۳۰٪ کلاس آبگریزی ۲ را نشان دادند و هیچ‌یک از کرت‌ها آبگریزی کلاس ۳ را نشان ندادند. این روند کاهش سطح آبگریزی ادامه داشته تا یک ماه پس از آتش‌سوزی که تمام کرت‌ها آبگریزی کلاس ۱ را نشان می‌دهند. پژوهشگران مختلفی آبگریزی خاک پس از آتش‌سوزی را یکی از عوامل اصلی تغییرات در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌دانند (۱۳).

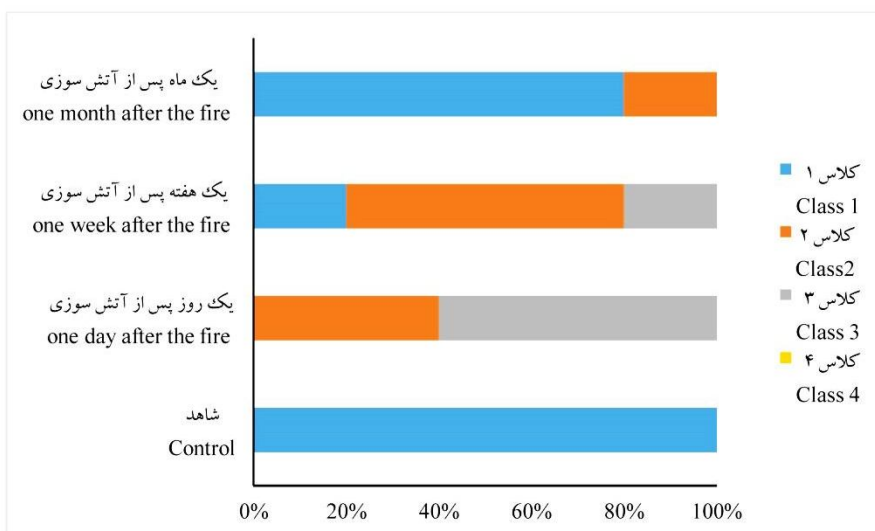
در پژوهش حاضر مقادیر آزمون آبگریزی WDPT و MED در ۲۰ کرت مورد بررسی مقادیر کمی (< 5) از خود نشان دادند که نشان‌دهنده آبگریزی ضعیف در نمونه‌های بررسی شده پس از آتش‌سوزی است. این آبگریزی ضعیف احتمالاً می‌تواند به دلایل زیر باشد: (۱) آبگریزی بیش‌تر در خاک‌های درشت‌دانه با مواد آلی بالا رخ می‌دهد (۱۶) حال آن‌که میزان رس و مواد آلی در خاک‌های مورد مطالعه، به‌صورت نسبتاً بالا بودند. (۲) نمونه‌های مطالعه شده از لایه سطحی خاک (۵-۰ سانتی‌متری) برداشت شده بودند در حالی‌که آتش‌سوزی می‌تواند موجب تراکم برخی مواد آلی در لایه‌های زیرسطحی شده که خود ممکن است آبگریزی در لایه‌های پایین‌تر از سطح را نیز به همراه داشته باشد (۱۲). بررسی تغییرات زمانی آبگریزی و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز نشان می‌دهد که این پدیده به دلیل ضعیف بودن تنها یک ماه پس از آتش‌سوزی به میزان زیادی از بین رفته ولی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پس از این مدت هم‌چنان به سطح قبل از آتش‌سوزی بازنگشته‌اند.

احتمالاً موجب افزایش دی‌هیدراسیون کانی‌های رسی ۲:۱ و جابجایی یون‌های آهن و اکسیدهای آلومینیوم شده و پایداری ساختمان خاک را افزایش می‌دهد (افزایش مکانیسم سیمانی شدن) (۳۱). این عامل خود موجب کاهش جداسازی و پراکنش ذرات خاک در کرت‌های سوخته شده نسبت به خاک‌های شاهد (سوخته‌نشده) می‌شود. یکی دیگر از دلایل آن احتمالاً افزایش EC در کرت‌های سوخته شده نسبت به کرت‌های سوخته نشده است (۱۷).

تغییرات آبگریزی پس از آتش‌سوزی: در این پژوهش آبگریزی خاک در نمونه‌های بررسی شده به‌وسیله دو آزمون WDPT و MED مورد سنجش قرار گرفت. کلاس‌های دسته‌بندی WDPT و MED نمونه‌های مورد بررسی (مطابق با جدول‌های ۱ و ۲) در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود مطابق با آزمون WDPT، قبل از آتش‌سوزی ۱۰۰٪ نمونه‌ها کلاس آبگریزی ۱ (≤ 5 ثانیه) داشتند اما یک روز پس از آتش‌سوزی ۴۰٪ کرت‌ها کلاس ۲ و ۶۰٪ کلاس ۳ آبگریزی را نشان دادند. با گذشت زمان یک هفته‌ای، سطح آبگریزی کاهش پیدا کرد به طوری که ۲۰٪ کرت‌ها آبگریزی کلاس ۱، ۶۰٪ آبگریزی کلاس ۲ و ۲۰٪ آبگریزی کلاس ۳ را نشان دادند. روند کاهش آبگریزی تا یک ماه پس از آتش‌سوزی ادامه داشت به طوری که تنها ۲۰٪ از کرت‌ها آبگریزی کلاس ۲ را نشان دادند و بقیه کرت‌ها آبگریزی کلاس ۱ (عدم آبگریزی) را نشان دادند. روند آزمون آبگریزی WDPT نشان می‌دهد که به‌طورکلی پس از آتش‌سوزی آبگریزی تا کلاس ۳ (آبگریزی جزئی) افزایش پیدا کرد اما با گذر زمان سطح آبگریزی کاهش پیدا کرد اما تا یک ماه پس از آتش‌سوزی به حالت قبل از آتش‌سوزی بازنگشته است. بررسی آبگریزی کرت‌ها با آزمون MED نشان می‌دهد که قبل از آتش‌سوزی تمام



A (الف)



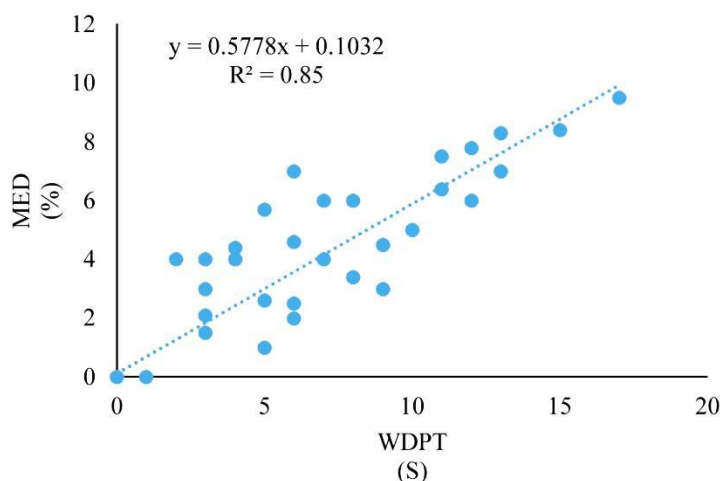
B (ب)

شکل ۶- کلاسه‌بندی آزمون MED (الف) و WDPT (ب) در کرت‌های شاهد و تیمار یک روز، یک هفته و یک ماه پس از آتش‌سوزی.

Figure 6. Classification of the MED (A) and WDPT (B) tests in control and treatment plots after a day, a week and a month of fire.

به خوبی منعکس شده است (۲۳). پژوهشگران مختلفی به این موضوع اشاره کرده‌اند که آبگریزی ناشی از آتش‌سوزی پس از گذشت زمانی که بسته به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی خاک و شدت و مدت آتش‌سوزی دارد به سطحی پایین‌تر از حالت قبل از آتش‌سوزی رسیده و تغییرات آن متوقف می‌شود.

آزمون آبگریزی MED نیز مشابه آزمون WDPT نشان داد که پس از آتش‌سوزی خاک‌های آبدوست لسی، حالت آبگریز به خود گرفته ولی این حالت موقتی بوده و با گذشت زمان سطح آن کاهش پیدا می‌کند. نتایج دو آزمون تطابق نسبتاً خوبی از آبگریزی را خود نشان می‌دهند (شکل ۷). این تطابق در پژوهش‌های مارتینز-زاوالا و همکاران (۲۰۰۹) نیز



شکل ۷- رابطه بین آزمون آبگریزی WDPT و MED.

Figure 7. Relationship between WDPT and MED of SWR tests.

به منظور بررسی اثر متغیرهای فیزیکی- شیمیایی خاک بر روی آبگریزی ضریب تعیین بین این متغیرها شد (جدول ۳).

جدول ۳- رابطه بین آزمون آبگریزی MED و درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، pH، EC، پایداری خاکدانه (MWD)، درصد مواد آلی خاک در ۲۰ نمونه مورد بررسی در خاک جنگلی آبخیز توشن استان گلستان.

Table 3. Relationship between MED test and clay%, silt%, sand%, pH, EC, aggregate stability (MWD), %soil organic matter in 20 samples in forest soil of Toshen watershed, Golestan province.

ضریب تعیین (R ²) Coefficient of determination	روابط رگرسیونی Regression equations	
0.43	$y = -5.14 + 7.89 x$	درصد مواد آلی و آزمون MED % organic matter and MED test
0.44	$y = 1.442 - 4.213 x + 18.49 x^2$	پایداری خاکدانه (MWD) و آزمون MED Aggregate stability and MED test
0.40	$y = 24.98 - 10.34 x + 0.97 x^2$	pH و آزمون MED pH and MED test
0.45	$y = -24.980 - 10.34 x + 0.97 x^2$	MED و آزمون EC EC and MED test

همبستگی بین اجزای بافت خاک و آبگریزی نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار نشد. از دلایل اصلی پایین بودن ضریب همبستگی اجزای بافت خاک با آبگریزی می‌تواند تغییرات ناچیز این اجزا پس از آتش‌سوزی باشد.

مطابق با جدول ۳ رابطه بین آزمون آبگریزی MED و اجزای بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن) به صورت خطی بوده و ضریب تعیین بین آنها بسیار پایین است همچنین رابطه بین اجزای بافت خاک و آزمون WDPT نیز به طور مشابه آزمون MED بسیار پایین است (شکل ۸). همچنین رابطه

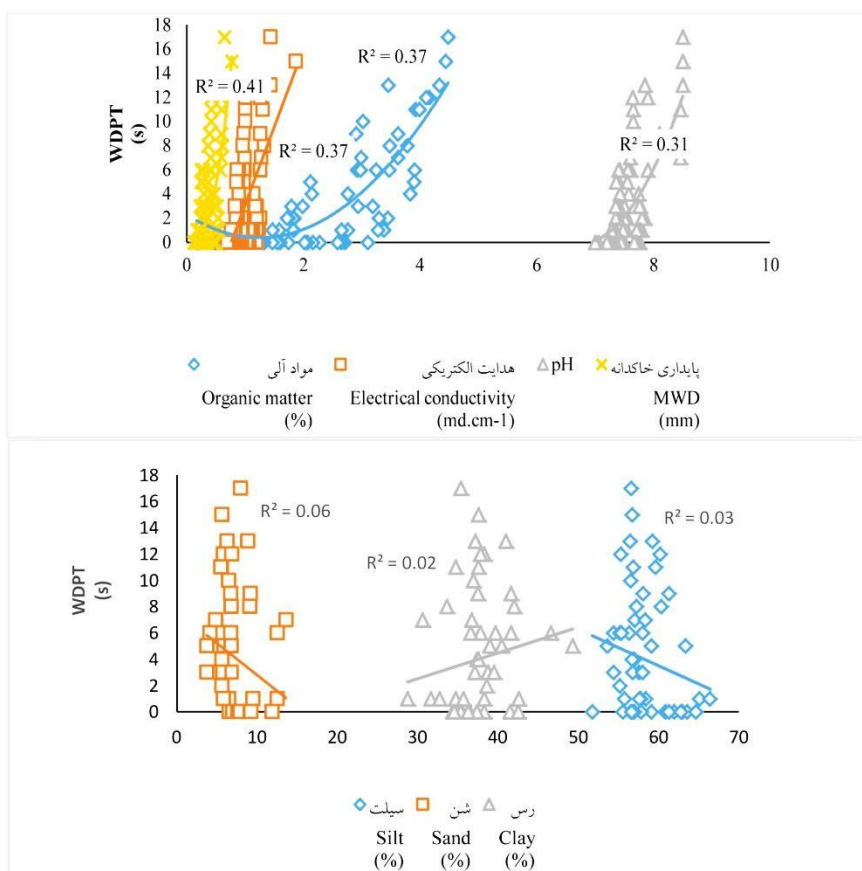
جدول ۴- همبستگی بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با ضرایب آبریزی خاک.

Table 4. Correlation between physical and chemical properties of soil with SWR coefficients.

پایداری خاکدانه MWD (mm)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (ms.cm ⁻¹)	مواد آلی OM (%)	رس Clay (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	MED (%)	WDPT (s)
0.001**	0.04*	0.06*	0.01**	0.23 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.65 ^{ns}	0.001**	WDPT (s)
0.04*	0.01**	0.03*	0.04*	0.27 ^{ns}	0.06 ^{ns}	0.89 ^{ns}	0.001**	MED (%)

* معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد، ** معنی‌داری در سطح احتمال ۱۰ درصد و ^{ns} عدم معنی‌داری.

^{ns}, *, ** not significant, significant at P<0.05 and significant at P<0.01, respectively. OM: Organic Matter; MED: Molarity of an Ethanol Droplet test; WDPT: Water Drop Penetration Time test; MWD: Mean weight diameter of aggregates; EC: Electrical connectivity.



شکل ۸- رابطه بین آزمون آبریزی WDPT و درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، pH، EC، پایداری خاکدانه (MWD) و درصد مواد آلی خاک در خاک جنگلی آبخیز توشن استان گلستان.

Figure 8. Relationship between WDPT test, clay %, silt %, sand %, pH, EC, aggregate stability (MWD), % soil organic matter in forest soil of Toshen watershed, Golestan province.

در سطح خطای ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۴). یکی از دلایل اصلی آن می‌تواند تغییرپذیری پایین بین این متغیرها در زمان پس از آتش‌سوزی باشد. همچنین رابطه بین MWD، pH و EC با آزمون

نتایج نشان می‌دهد که رابطه بین دو آزمون آبریزی WDPT و MED و متغیرهای pH، EC و درصد مواد آلی خاک، MWD نسبتاً ضعیف است اما آزمون همبستگی نشان می‌دهد که همبستگی بین آن‌ها

پس از بررسی همبستگی بین ضرایب آبگریزی WDPT و MED با برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مشخص شد که رابطه بین ضرایب آبگریزی MED و WDPT با اجزای بافت خاک ضعیف است ولی رابطه بین این ضرایب با درصد مواد آلی، pH، هدایت الکتریکی (EC) و پایداری خاکدانه (MWD) قوی‌تر به دست آمد و رابطه همبستگی بین آن‌ها نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است و بنابراین از این متغیرها برای به دست آوردن رابطه رگرسیونی چندمتغیره استفاده می‌شود. در این پژوهش جهت به دست آوردن رابطه رگرسیونی چندمتغیره بین ضرایب آبگریزی و این متغیرها از روش گام به گام استفاده شد (رابطه‌های ۱ و ۲). این معادلات نشان می‌دهد که اثر مواد آلی بر ضریب آبگریزی WDPT منفی بوده و اثر پایداری خاکدانه (MWD) به صورت مثبت است. همچنین اثر مواد آلی، پایداری خاکدانه (MWD) و اسیدیته بر شاخص آبگریزی MED اثر منفی دارند.

$$WDPT = -1.22 OM + 8.12 MWD - 3.32 \quad (1)$$

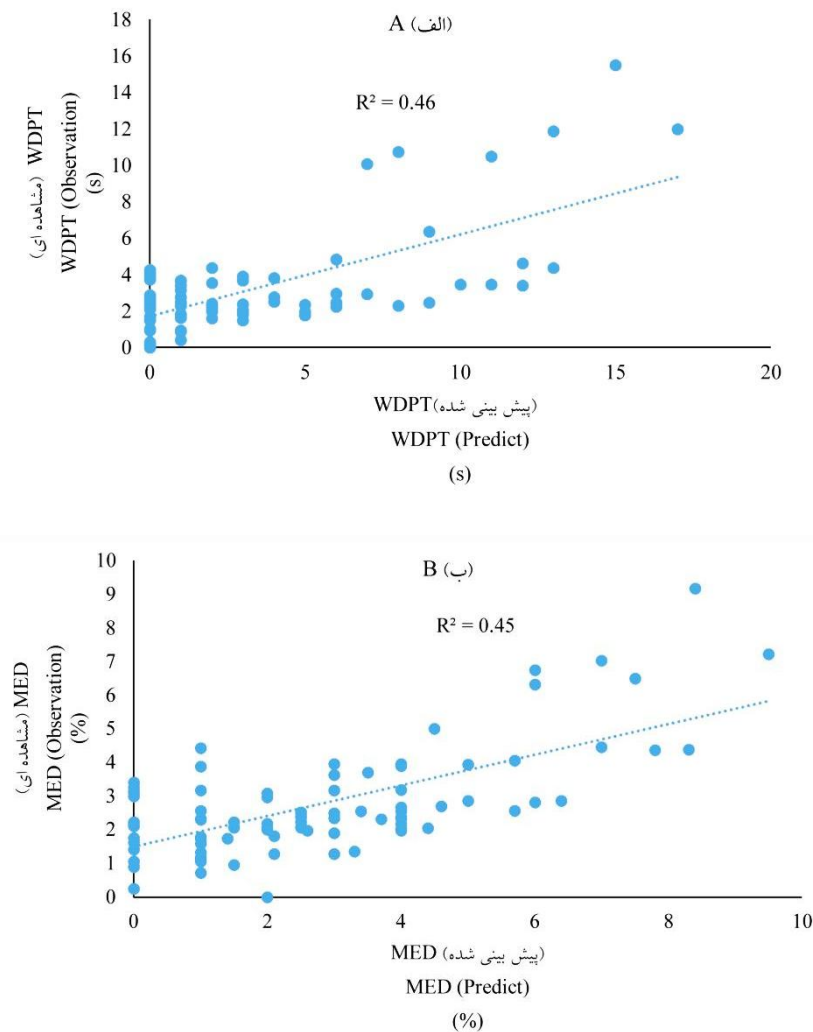
$$P\text{-Value} = 0.02$$

$$MED = -2.37 OM - 5.3 MWD - 6.22 \text{ pH} - 5.59 \quad (2)$$

$$P\text{-Value} = 0.04$$

رابطه بین شاخص‌های آبگریزی مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده با استفاده از روابط بالا ترسیم شد (شکل ۹). ضریب تعیین بین شاخص‌های آبگریزی MED و WDPT مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۴۶ به دست آمد که نشان می‌دهد که روابط بالا با دقت کمی قادر به پیش‌بینی آبگریزی پس از آتش‌سوزی در خاک‌های مورد مطالعه هستند.

آبگریزی MED به صورت درجه دوم بوده اما در آزمون آبگریزی WDPT تنها رابطه بین MWD و pH درجه دوم است و با سایر متغیرها رابطه خطی است. برخی از پژوهشگران کیفیت مواد آلی را مهم‌تر از مقدار مواد آلی در ایجاد آبگریزی ذکر کرده‌اند (۳۴) و بنابراین این عامل ممکن است یکی از دلایل رابطه ضعیف بین آبگریزی و درصد مواد آلی در نمونه‌های بررسی شده باشد. همچنین پژوهشگران در پژوهش‌های بسیاری رابطه غیرخطی و معکوس بین آبگریزی و pH را گزارش کرده‌اند (۲۱) یکی از دلایل اصلی آن می‌تواند قابلیت انحلال اسیدهای هومیک در خاک‌های اسیدی باشد. رابطه نسبتاً قوی بین ضرایب آبگریزی WDPT و MED با پایداری خاکدانه (MWD) وجود دارد (R^2 به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۴۱) که بالاترین ضریب تبیین بین متغیرهای مورد بررسی و شاخص‌های آبگریزی است که با یافته‌های والرا و همکاران (۲۰۱۰) همراستا است (۳۳). به طور کلی مقادیر همبستگی ضعیف آبگریزی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نشان می‌دهد که آبگریزی نمی‌تواند عامل اصلی تغییرات جزئی در این خصوصیات باشد. برخی از تغییرات ایجاد شده در این خصوصیات فیزیکی و شیمیایی می‌تواند با تغییرات پایداری خاکدانه پس از آتش‌سوزی تبیین شود. این تغییرات در پایداری مکانیکی ساختمان خاک می‌تواند در اثر دو مکانیسم اصلی ایجاد شود: (۱) تغییر ترکیبات بافت خاک و افزایش نیروهای هم‌چسبی بین ذرات در خاکدانه‌ها که در نتیجه موجب پایداری ساختمان خاک در مقابل نیروهای مخرب فیزیکی شود. (۲) تغییر در برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مثل افزایش برخی کاتیون‌ها که موجب جلوگیری از متلاشی شدن ذرات رس شده و مانع تخریب فیزیکی میکرو خاکدانه‌ها می‌شود (۱۷).



شکل ۹- رابطه شاخص‌های آبگریزی WDPT مشاهده‌ای و پیش‌بینی (الف) و MED مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده (ب)

Figure 9. Relationship between MED (A) and WDPT (B) observed and predicted.

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش آبگریزی خاک در خاک جنگلی آبخیز توشن استان گلستان با دو آزمون WDPT و MED مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که خاک برخی از مناطق جنگلی آبخیز توشن استان گلستان دارای آبگریزی اولیه‌ای نمی‌باشند (لس‌ها آبدوست هستند). با آتش‌سوزی تا دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد انتظار بر این بود حتی اگر آبگریزی اولیه‌ای وجود داشت، پس از آتش‌سوزی از بین می‌رفت. یکی از پارامترهای بسیار مهم در تأثیر

نکته قابل‌توجه این است که آبگریزی خاک، علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، به عواملی چون شرایط آب و هوایی، پوشش گیاهی و نوع و شرایط آتش‌سوزی، مقدار رطوبت خاک، زمان تر و خشک شدن خاک، دما، رطوبت نسبی هوا، کیفیت مواد آلی و غیره نیز بستگی دارد. علاوه بر آن آبگریزی در یک فاصله چند سانتی‌متری تغییر می‌کند، بنابراین، به‌نظر می‌رسد معادله رگرسیونی مذکور تنها در خاک‌های مورد مطالعه و در شرایط آزمایشگاهی خاص قابل استفاده باشد.

میزان قابل ملاحظه‌ای از بین رفت. با توجه به هم‌زمانی اکثر رخداد‌های آتش‌سوزی در آبخیز مورد مطالعه با وقوع رخداد‌های بارشی شدید (در اواخر تابستان و اوایل فصل پاییز)، و همچنین اثر احتمالی آبگریزی ناشی از آتش‌سوزی بر تغییر رفتار مکانیسم‌های تولید رواناب و رسوب، ضرورت دارد تا مطالعات جامعی از تست‌های آبگریزی در افق‌های مختلف سطحی و زیرسطحی پروفیل خاک در منطقه صورت پذیرد.

آتش‌سوزی طول مدت آتش‌سوزی است. به طوری که برخی پژوهشگران تأکید کرده‌اند که حتی در دماهای بالای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد (آتش‌سوزی شدید) به مدت بیش‌تر از ۳۰ دقیقه، تخریبی در لایه آبگریزی ایجاد نشد (۸). بنابراین می‌توان دلیل اصلی ایجاد آبگریزی آبی در سطح خاک کرت‌های مورد مطالعه، آتش‌سوزی دانست. همچنین مشخص شد که اثر آبگریزی پس از آتش‌سوزی تنها پس از یک ماه به

منابع

1. Abdi, O., Kamkar, B., Shirvani, Z., Teixeira da Silva, J.A., and Buchroithner, M.F. 2016. Spatial-statistical analysis of factors determining forest fires: a case study from Golestan, Northeast Iran. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Pp: 1-14.
2. Abrantes, J.R., de Lima, J.L., Prats, S.A., and Keizer, J.J. 2017. Assessing soil water repellency spatial variability using a thermographic technique: An exploratory study using a small-scale laboratory soil flume. *Geoderma*. 287: 98-104.
3. Arocena, J.M., and Opio, C. 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma*. 113: 1. 1-16.
4. Badía-Villas, D., González-Pérez, J.A., Aznar, J.M., Arjona-Gracia, B., and Martí-Dalmau, C. 2014. Changes in water repellency, aggregation and organic matter of a mollic horizon burned in laboratory: soil depth affected by fire. *Geoderma*. 213: 400-407.
5. Bisdom, E.B.A., Dekker, L.W., and Schoute, J.T. 1993. Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure. *Geoderma*. 56: 1-4. 105-118.
6. Busse, M.D., Hubbert, K.R., Fiddler, G.O., Shestak, C.J., and Powers, R.F. 2005. Lethal soil temperatures during burning of masticated forest residues. *Inter. J. Wildland Fire*. 14: 3. 267-276.
7. Chen, Y., and Schnitzer, M. 1978. The surface tension of aqueous solutions of soil humic substances. *Soil Science*. 125: 1. 7-15.
8. Debrano, L.F., and Krammes, J.S. 1966. Water repellent soils and their relation to wildfire temperatures. *Hydrol. Sci. J.* 11: 2. 14-19.
9. Dekker, L.W., and Ritsema, C.J. 2000. Wetting patterns and moisture variability in water repellent Dutch soils. *J. Hydrol.* 231: 148-164.
10. Dlapa, P., Simkovic, I., Doerr, S.H., Kanka, R., and Mataix-Solera, J. 2008. Application of thermal analysis to elucidate water-repellency changes in heated soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 72: 1. 1-10.
11. Doerr, S.H., Blake, W.H., Shakesby, R.A., Stagnitti, F., Vuurens, S.H., Humphreys, G.S., and Wallbrink, P. 2004. Heating effects on water repellency in Australian eucalypt forest soils and their value in estimating wildfire soil temperatures. *Inter. J. Wildland Fire*. 13: 2. 157-163.
12. Doerr, S.H., Shakesby, R.A., and MacDonald, L.H. 2009. Soil water repellency: A key factor in post-fire erosion? In A. Cerdà and P.R. Robichaud (ed.) *Fire effects on soils and restoration strategies*. Science Publ., Enfield, NH.
13. Doerr, S.H., Shakesby, R.A., and Walsh, R. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydrogeomorphological significance. *Earth-Science Reviews*. 51: 1. 33-65.

14. Fér, M., Leue, M., Kodešová, R., Gerke, H.H., and Ellerbrock, R.H. 2016. Droplet infiltration dynamics and soil wettability related to soil organic matter of soil aggregate coatings and interiors. *J. Hydrol. Hydromech.* 64: 2. 111-120.
15. Gee, G.W., and Or, D. 2002. 2.4 Particle-size analysis. *Methods of soil analysis. Part. 4:* 598. 255-293.
16. González-Peñaloza, F.A., Zavala, L.M., Jordán, A., Bellinfante, N., Bárcenas-Moreno, G., Mataix-Solera, J., Granged, A.J., Granja-Martins, F.M., and Neto-Paixão, H.M. 2013. Water repellency as conditioned by particle size and drying in hydrophobized sand. *Geoderma.* 209: 31-40.
17. Inbar, A., Lado, M., Sternberg, M., Tenau, H., and Ben-Hur, M. 2014. Forest fire effects on soil chemical and physicochemical properties, infiltration, runoff, and erosion in a semiarid Mediterranean region. *Geoderma.* 221: 131-138.
18. Jiménez-Pinilla, P., Doerr, S.H., Ahn, S., Lozano, E., Mataix-Solera, J., Jordán, A., Zavala, L.M., and Arcenegui, V. 2016. Effects of relative humidity on the water repellency of fire-affected soils. *Catena.* 138: 68-76.
19. Jordán, A., Zavala, L.M., Mataix-Solera, J., and Doerr, S.H. 2013. Soil water repellency: origin, assessment and geomorphological consequences. *Catena.* 108: 1-5.
20. Jordán, A., Zavala, L.M., Mataix-Solera, J., Nava, A.L., and Alanís, N. 2011. Effect of fire severity on water repellency and aggregate stability on Mexican volcanic soils. *Catena.* 84: 3. 136-147.
21. Lebron, I., Robinson, D.A., Oatham, M., and Wuddivira, M.N. 2012. Soil water repellency and pH soil change under tropical pine plantations compared with native tropical forest. *J. Hydrol.* 414: 194-200.
22. Leue, M., Gerke, H.H., and Godow, S.C. 2015. Droplet infiltration and organic matter composition of intact crack and biopore surfaces from clay-illuvial horizons. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 178: 2. 250-260.
23. Martínez-Zavala, L., and Jordán-López, A. 2009. Influence of different plant species on water repellency in Mediterranean heathland soils. *Catena.* 76: 3. 215-223.
24. Morgan, R.P.C. 2005. *Soil Erosion and Conservation*, 3rd. edition. Blackwell Publishing, Oxford.
25. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. *Methods of soil analysis part 3-chemical methods, (methods of soil an 3).* Pp: 961-1010.
26. Oostindie, K., Dekker, L.W., Wesseling, J.G., Ritsema, C.J., and Geissen, V. 2013. Development of actual water repellency in a grass-covered dune sand during a dehydration experiment. *Geoderma.* 204: 23-30.
27. Pardini, G., Gispert, M., and Dunjó, G. 2004. Relative influence of wildfire on soil properties and erosion processes in different Mediterranean environments in NE Spain. *Science of the total Environment.* 328: 1. 237-246.
28. Pierson, F.B., and Williams, C.J. 2016. Ecohydrologic impacts of rangeland fire on runoff and erosion: A literature synthesis.
29. Schaumann, G.E., Braun, B., Kirchner, D., Rotard, W., Szewzyk, U., and Grohmann, E. 2007. Influence of biofilms on the water repellency of urban soil samples. *Hydrological processes.* 21: 17. 2276-2284.
30. Shakesby, R.A., Coelho, C.D.A., Ferreira, A.D., Terry, J.P., and Walsh, R.P.D. 1993. Wildfire impacts on soil-erosion and hydrology in wet Mediterranean forest, Portugal. *Inter. J. Wildland Fire.* 3: 2. 95-110.
31. Terefe, T., Mariscal-Sancho, I., Peregrina, F., and Espejo, R. 2008. Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study. *Geoderma.* 143: 3. 273-280.
32. Urbanek, E., Hallett, P., Feeney, D., and Horn, R. 2007. Water repellency and distribution of hydrophilic and hydrophobic compounds in soil aggregates from different tillage systems. *Geoderma.* 140: 1. 147-155.

33. Varela, M.E., Benito, E., and Keizer, J.J. 2010. Effects of wildfire and laboratory heating on soil aggregate stability of pine forests in Galicia: The role of lithology, soil organic matter content and water repellency. *Catena*. 83: 2. 127-134.
34. Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., Consensa, C.O.B., Oliveira, A.É., Awe, G.O., and Mataix-Solera, J. 2013. Threshold water content beyond which hydrophobic soils become hydrophilic: The role of soil texture and organic matter content. *Geoderma*. 209: 177-187.
35. Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Reinert, D.J., Mentges, M.I., Vieira, D.A., de Barros, C.A.P., and Fasinmirin, J.T. 2010. Water repellency in soils of humid subtropical climate of Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil and Tillage Research*. 110: 126-133.
36. Watson, C.L., and Letey, J. 1970. Indices for characterizing soil-water repellency based upon contact angle-surface tension relationships. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 34: 6. 841-844.
37. Wijewardana, N.S., Müller, K., Moldrup, P., Clothier, B., Komatsu, T., Hiradate, S., de Jonge, L.W., and Kawamoto, K. 2016. Soil-water repellency characteristic curves for soil profiles with organic carbon gradients. *Geoderma*. 264: 150-159.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(4), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.14361.2910

Assessment of soil water repellency intensity and its temporal variability after prescribed fire in forest areas of Toshen watershed, Golestan province

K. Heidary¹, *A. Najafi Nejad², M. Ownegh³ and A. Mohammadian Behbahani⁴

¹Ph.D. Student, Dept. of. Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), ²Associate Prof., Dept. of. Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), ³Professor, Dept. of. Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), ⁴Assistant Prof., Dept. of. Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR)

Received: 02.05.2018; Accepted: 10.03.2018

Abstract

Background and Objectives: Soil Water Repellency (SWR) is one of the dynamic soil characteristics that either reduce water penetration in the soil or prevent it. In the northern forest areas of Iran, fire is one of the most important environmental concerns and is one of the main causes of the change in soil water repellency phenomenon. Therefore, this study aims to investigate prescribed fire effect on the soil of forest areas of Toshen's watershed, temporal variability and its interaction with physical and chemical properties of soil in Golestan Province.

Materials and Methods: Soil of forest areas in the slope class of 15-30% and depth of 0-5 cm of soil surface was studied in 30 replications in laboratory. Physical and chemical properties of soil, including percent of clay, silt and sand, soil organic matter, pH, EC and aggregate stability (MWD) were investigated before and after fire. In order to study the effects of fire on soil water repellency in laboratory conditions, prescribed fire was applied. SWR was determined with Water Drop Penetration Time and Molarity of an Ethanol Droplet tests, before and after fire.

Results: According to the WDPT test, before the fire, 100% of plots were wettable (class 1), but one day after the fire, 100% of the plots were showed slightly water repellent (class 2 and 3). The MED test showed that all plots were wettable (class 0) before the fire. One day after the fire, the intensity of SWR increased, so that 30, 50 and 20% of the plots were slightly water repellent (class 1), moderately water repellent (class 2) and less strongly water repellent (class 3), respectively. Investigating the process of temporal variability of both SWR indices showed that the SWR class after the fire is temporary and up to one month after that, the SWR classes is greatly reduced. The results showed that there are good correlations between two post-fire hydrophobic tests. ($R^2=0.85$). There was a moderate correlation between two WDPT and MED SWR tests with pH, EC, MWD and soil organic matter, but as for soil texture components, there was poor correlation. Relatively poor SWR correlations with soil physical and chemical characteristics indicate that these changes are not likely to be the main cause of SWR changes. Some of these changes can be explained by the variability of aggregate stability after the fire. These changes in the mechanical stability of the soil structure can be caused by two main mechanisms: (1) Changes in the composition of the solid components in the soil that increase the cohesion forces between the particles in the aggregates. Consequently, the stability of the soil structure against the physically destructive forces increases. (2) Changes in the physicochemical properties of the soil solution (an increase in the EC) that prevent clay dispersion and microaggregate destruction (physicochemical mechanism).

* Corresponding Author; Email: najafinejad@gmail.com

Conclusion: Finally, the results of this study showed that despite the high wettability in loess soils, fire can be an external factor that causes a weak and immediate increase in SWR. The slightly soil water repellent may be due to the following: (i) SWR often occur in coarse soils with high organic matter. (ii) The samples were taken from the soil surface layer (0-5 cm), while the fire can cause some organic matter to accumulate in the subsurface layers and cause SWR on lower horizons.

Keywords: Physical and chemical properties of soil, Prescribed fire, Soil water repellency, Toshen's watershed

