



دانشگاه گواران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹

۱۶۷-۱۸۴

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

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17875.3345

مقاله کامل علمی - پژوهشی

## بررسی مقایسه‌ای تأثیر آتش‌سوزی و تغییر کاربری زمین بر تجزیه کربن آلی خاک در بخش اندازه خاکدانه در جنگل‌های بلوط زاگرس شمالی

ناهید آزادی<sup>۱</sup> و \* زاهد شریفی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان، آستادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵

### چکیده

**سابقه و هدف:** آتش‌سوزی و تغییر کاربری جنگل‌ها به دلیل نقش قابل توجه در تخریب محیط‌زیست و تغییرات اقلیمی به یکی از نگرانی‌های قابل توجه جهانی تبدیل شده است. در این میان، خاک جنگل‌ها به دلیل دارا بودن ماده آلی نسبتاً بالا و ساختمان مناسب همواره مورد توجه بوده است. اما آتش‌سوزی و تغییر در مدیریت کاربری این زیست‌بوم‌ها و اعمال خاک‌ورزی اثرات زیان‌بار زیادی بر ساختمان خاک و از دست رفتن ماده آلی آن‌ها داشته است. بنابراین این پژوهش اثر آتش‌سوزی و تغییر کاربری زمین به تاکستان بر میزان کربن آلی خاک و نرخ تجزیه آن در بخش اندازه خاکدانه در یک جنگل بلوط در زاگرس شمالی را مورد بررسی قرار می‌دهد.

**مواد و روش‌ها:** برای انجام این پژوهش خاک (عمق ۵-۰ سانتی‌متری) از یک جنگل دست‌نخورده از زیر تاج و بیرون تاج درختان برداشته شد، تیمار دوم بخش دیگری از این جنگل بود که سه سال پیش آتش‌سوزی در آن رخ داده بود، نمونه‌های خاک از محل‌های با شدت سوختگی ضعیف، متوسط و شدید برداشته شد. تیمار سوم بخش دیگری از این جنگل بود که ۳۰ سال قبل به تاکستان تبدیل شده بود که در این کاربری نیز نمونه‌های خاک از زیر تاج و بیرون تاج درختان برداشته شد. نمونه‌های خاک هوا خشک شدند و به روش الک خشک به خاکدانه‌های ۸-۲، ۲-۱، ۱-۰/۲۵ و ۰/۲۵ < میلی‌متر تفکیک شدند و مقدار کربن آلی هر بخش از خاکدانه‌ها تعیین شد. سپس هر اندازه خاکدانه در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت زراعی در چرخه‌های دمایی از ۵ °C تا ۳۵ °C با فاصله دمایی ۵ °C انکوباسیون شد و میزان تنفس پایه خاک پس از گذشت ۲ روز از انکوباسیون در هر نقطه دمایی اندازه‌گیری شد. سپس میزان نرخ تجزیه کربن آلی در هر اندازه خاکدانه از شیب معادله میزان دی‌اکسید کربن متصاعد شده در مقابل دمایی متناظر با آن در هر چرخه دمایی به دست آمد.

**یافته‌ها:** نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر کاربری و آتش‌سوزی به‌ویژه نوع شدید آن سبب تخریب چشم‌گیر خاکدانه‌های درشت و افزایش خاکدانه‌های ریز می‌شود. به‌گونه‌ای که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان خاکدانه‌های درشت

\* مسئول مکاتبه: z.sharifi@uok.ac.ir

(۲-۸ mm) به‌ترتیب در کاربری‌های زیر تاج جنگل (۶۱/۶٪) و زیر تاج تاکستان (۱۱/۱٪) به دست آمد، درحالی‌که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان خاکدانه‌های ریز ( $0/25 <$  میلی‌متر) به‌ترتیب در تیمارهای زیر تاج تاکستان (۱۲/۴٪) و زیر تاج جنگل (۵/۷٪) به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در همه تیمارهای موردبررسی با کاهش اندازه خاکدانه‌ها میزان کربن آلی خاک افزایش یافت. در مقایسه با جنگل دست‌نخورده، تغییر کاربری سبب کاهش چشم‌گیر کربن آلی خاک شده بود، درحالی‌که تغییراتی در میزان این شاخص در تیمارهای آتش‌سوزی مشاهده نشد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در همه تیمارهای موردبررسی با کاهش اندازه خاکدانه میزان نرخ تجزیه کربن آلی افزایش یافت و این شاخص در کاربری‌های موردبررسی از روند مقابل پیروی کرد: زیر تاج جنگل ( $7/2 <$  آتش‌سوزی شدید ( $5/4 <$  بیرون تاج جنگل ( $5/2 <$  آتش‌سوزی متوسط ( $4/7 <$  آتش‌سوزی ضعیف ( $2/9 <$  زیر تاج تاکستان ( $1/4 <$  بیرون تاج تاکستان ( $0/4 <$ )).

**نتیجه‌گیری:** درمجموع نتایج این پژوهش نشان داد که اثر ۳۰ سال تغییر کاربری در تخریب خاکدانه‌های خاک بیش‌تر از یک بار آتش‌سوزی حتی از نوع شدید آن است، اما اثر یک بار آتش‌سوزی در تخریب خاکدانه‌های خاک بسیار بیش‌تر از یک سال تغییر کاربری است. هم‌چنین نتایج این پژوهش نشان داد که کاربری‌های با مقدار ماده آلی فراهم و قابل تجزیه بیش‌تر (زیر تاج جنگل و آتش‌سوزی شدید) نسبت به تغییر کاربری (زیر تاج و بیرون تاج تاکستان) در مقابل تغییرات اقلیم آسیب‌پذیرتر بوده و گرمایش زمین را بیش‌تر تشدید می‌کنند.

**واژه‌های کلیدی:** آتش‌سوزی، تغییر کاربری، خاکدانه، نرخ تجزیه کربن آلی

## مقدمه

خاک، افزایش اکسیداسیون کربن در قالب تولید دی‌اکسیدکربن ( $CO_2$ ) و کاهش میزان کیفیت مواد آلی خاک می‌شود. در فاصله سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۸ میزان تنفس خاک سالانه در حدود ۰/۱ درصد افزایش یافته است. در سال ۲۰۰۸ میزان  $CO_2$  آزاد شده از خاک به اتمسفر به ۹۸ گیگا تن رسید که در حدود ۱۰ برابر بیش‌تر از میزان  $CO_2$  است که سالانه از احتراق سوخت‌های فسیلی ناشی از فعالیت‌های بشر وارد اتمسفر می‌شود (۴۶)؛ بنابراین حفاظت و مدیریت پایدار زیست‌بوم‌ها برای حفظ کربن خاک و کاهش گاز گلخانه‌ای  $CO_2$  بسیار مهم است (۳، ۱۸ و ۲۵). آتش‌سوزی نیز به‌عنوان یکی دیگر از عوامل کلیدی دگرگونی در اکوسیستم‌های خاکی ناشی از فعالیت‌های بشر به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم سبب تغییر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و

خاک به‌عنوان جزئی از طبیعت، هم‌دارای تغییرات درونی است که در نتیجه تأثیر متقابل عوامل تشکیل‌دهنده آن است و هم‌دارای تغییرات ناشی از عوامل بیرونی است که حاصل نوع مدیریت حاکم بر آن است. مدیریت‌های نامناسب کشاورزی، تبدیل مراتع و جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی و آتش‌سوزی سبب بر هم زدن تعادل اکوسیستم خاک از طریق تغییرات نامطلوب در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن می‌شود (۱۰، ۱۶، ۴۸، ۴۹ و ۵۰). از آنجایی‌که میزان کربن آلی خاک (SOC) وابسته به ورودی مواد آلی از پیکره گیاهان و بازگشت آن‌ها به خاک است، تخریب پوشش گیاهی یا کاهش ورودی‌ها از طریق تغییر کاربری زمین به‌عنوان یکی از دخالت‌های مهم بشر در طبیعت باعث فرسایش سطح

سبب افزایش نرخ تجزیه آن می‌شود؛ بنابراین اطلاعات با جزئیات بیش‌تر در مورد نرخ تجزیه کربن آلی خاک (SDR) و عوامل کنترل‌کننده آن برای درک پاسخ خاک‌ها به مدیریت و تغییرات جهانی اقلیم ضروری است (۴۳).

جنگل‌های زاگرس با توانایی زیاد در ذخیره SOC، پالایش هوا و تعدیل دمای آن سهم به‌سزایی در حفظ زیست‌بوم این منطقه دارند. متأسفانه این جنگل‌ها در طی دهه‌های اخیر به دلایل گوناگون مورد بهره‌برداری‌های منفعت‌طلبانه انسانی قرار گرفته است که سبب شده از سطح جنگل‌های این مناطق کاسته شود. تغییر این جنگل‌ها به زمین‌های کشاورزی، چرای مفرط و آتش‌سوزی از عوامل اصلی تخریب این جنگل‌ها به شمار می‌رود که افزون بر اثر نامطلوب بر گرمایش زمین، تشدید سیلاب‌ها و افزایش میزان فرسایش سالانه خاک را سبب شده است. از آنجایی که در منطقه زاگرس در رابطه با تغییر کاربری زمین و آتش‌سوزی و سهم آن‌ها در تخریب این زیست‌بوم، پژوهش‌هایی صورت گرفته است اما بررسی شاخص SDR در بخش اندازه خاکدانه ناشی از این آشفستگی‌ها (تغییر کاربری و آتش‌سوزی) کم‌تر مورد توجه و مطالعه قرار گرفته است. بنابراین این پژوهش با هدف برآورد اثر آتش‌سوزی و تغییر کاربری زمین به تاکستان بر SOC و شاخص SDR در بخش اندازه خاکدانه در یک جنگل بلوط در زاگرس شمالی در بازه زمانی سال‌های ۹۳ تا ۹۶ انجام شد.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه در این پژوهش بخشی از جنگل‌های بلوط زاگرس شمالی در اطراف روستای نژمار، واقع در شهرستان مریوان در استان

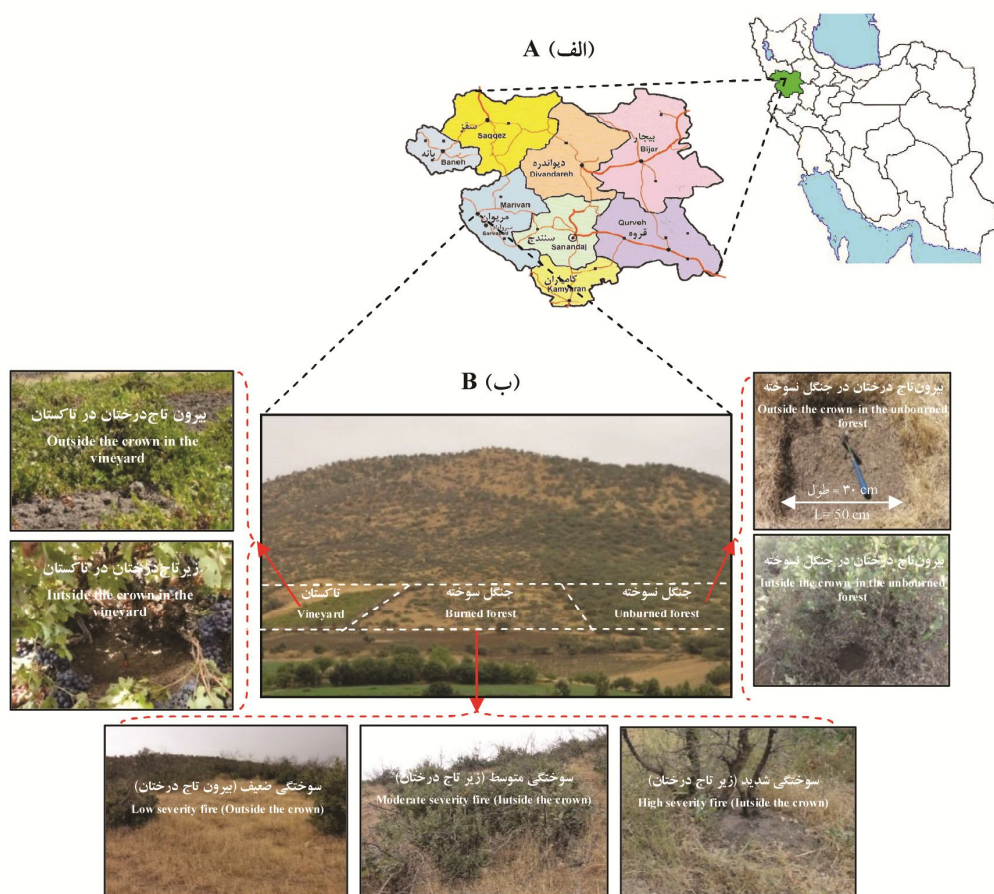
کانی‌شناسی اکوسیستم خاک و ترکیب پوشش گیاهی می‌شود (۴، ۶، ۲۷، ۲۸ و ۴۶). از طرفی گرمایش زمین و تغییرات اقلیم ناشی از فعالیت‌های بشر به‌عنوان یکی از مشکلات عمده زیست‌محیطی از مهم‌ترین چالش‌ها در راه توسعه پایدار محسوب می‌گردد (۱۷)، به‌طوری‌که معضل گرمایش زمین در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از محافل علمی و سیاسی را به خود جلب کرده است.

اکوسیستم‌های خاکی نقش حیاتی را در چرخه جهانی کربن ایفا می‌کنند (۲۱)، زیرا این اکوسیستم‌ها به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع کربن حاوی حدود ۱۵۰۰ میلیارد تن کربن در عمق یک متری و حدود ۶۰۰ میلیارد تن کربن در پوشش گیاهی می‌باشند که این دو منبع کربن در مجموع سه برابر مقدار کربن موجود در اتمسفر است (۳۸)؛ بنابراین هر تغییری در ذخیره کربن گیاهان یا خاک به‌طور قابل‌توجهی بر میزان CO<sub>2</sub> اتمسفر تأثیر می‌گذارد (۳۸). تغییر اقلیم بر مبنای تغییرات دما، رطوبت و طول فصول چرخه کربن و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۴۲ و ۴۳). از طرفی میزان تجزیه مواد آلی خاک در پاسخ به عوامل تغییرات اقلیمی به کمیت و کیفیت ماده آلی خاک و هم‌چنین میزان در دسترس بودن آن برای حمله میکروبی وابسته است. نوع مدیریت حاکم بر خاک و یا آشفستگی‌هایی مانند آتش‌سوزی می‌توانند اثر عوامل اقلیمی و به‌تبع آن تجزیه مواد را نیز تحت‌تأثیر قرار دهند (۹، ۲۳، ۲۹، ۳۰ و ۳۴). مواد آلی در خاکدانه‌های درشت در برابر تجزیه میکروبی محافظت فیزیکی می‌شوند (۴۰). با فروپاشی خاکدانه‌های درشت در اثر تغییر کاربری و آتش‌سوزی، این بخش از مواد آلی خاک آزاد شده که سبب افزایش قابلیت دسترسی SOC و در نهایت

کردستان می‌باشد. این منطقه از نظر موقعیت جغرافیایی حدفاصل عرض جغرافیایی  $35^{\circ}26'16''$  تا  $35^{\circ}26'24''$  شمالی و طول جغرافیایی  $46^{\circ}13'21''$  تا  $46^{\circ}21'26''$  شرقی و با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح آزاد دریا قرار گرفته است. اقلیم منطقه بر اساس روش کوپن معتدل گرم با تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. متوسط بارندگی، دمای هوا و رطوبت نسبی سالیانه آن نیز به ترتیب ۹۹۱/۲ میلی‌متر، ۱۲/۸ درجه سلسیوس و ۵۱ درصد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه مورد مطالعه به ترتیب زیریک و مزیک است (۲۸ و ۴۵). این جنگل دارای پوشش متراکم بلوط با زیراشکوب گندمیان و پهن‌برگان است. همچنین فرم رویشی این جنگل اکثراً شاخه‌زاد بوده و گونه‌های درختی غالب این جنگل شامل مازو (*Quercus infectoria* Oliv.)، وی‌ول (*Quercus*) و (*Pistacia atlantica* Desf.)، بنه (*libani* Oliv.)، زالزالک (*Crataegus* sp.) است.

**تیمارهای مورد بررسی:** بعد از بازدید صحرایی سه تیمار انتخاب شدند که تیمار اول شامل جنگل بلوط دست‌نخورده که در این مطالعه به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد و نمونه‌برداری در زیر تاج (Forest inside the sprout clumps, FI) و بیرون تاج (Forest outside the sprout clumps, FO) درختان انجام شد. تیمار دوم نیز بخشی از این جنگل است که آتش‌سوزی در آن سه سال قبل با عامل انسانی و به تعداد یک بار رخ داده بود. شدت آتش‌سوزی با توجه به اندازه خاکستر برجای‌مانده بر

سطح خاک، شدت سوختگی درختان و میزان پوشش گیاهی استقرار یافته در محل آتش‌سوزی در سال‌های بعد از آن تعیین شد. بدین‌صورت که هرچه اندازه ماده سوخته‌شده با رنگ سفید برجای‌مانده و سوختگی درختان بیش‌تر و استقرار پوشش گیاهی در سال‌های بعد کم‌تر بود شدت آتش‌سوزی بیش‌تر در نظر گرفته شد (۳۶ و ۳۷). براساس این شاخص‌ها سوختگی با شدت ضعیف در فاصله بین درختان (Forest burned with low severity outside sprout clumps, BLO) که دارای پوشش علفی بود انتخاب شد، همچنین سوختگی با شدت متوسط (Forest burned with moderate severity fire the inside sprout clumps, BMI) و شدید (Forest burned with high severity fire inside the sprout clumps, BHI) در زیر تاج درختان انتخاب گردید؛ بنابراین، تیمار دوم یعنی جنگل سوخته‌شده خود دارای سه تیمار آتش‌سوزی با شدت‌های مختلف (شدید، متوسط و ضعیف) بود. تیمار سوم نیز قسمت دیگری از این جنگل دست‌نخورده بود که ۳۰ سال پیش به تاکستان تبدیل شده بود. در این کاربری نیز زیر (Vineyard inside sprout clumps, VI) و بیرون تاج (Vineyard outside sprout clumps, VO) درختان به‌عنوان تیمارهای آزمایشی انتخاب شدند. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و تیمارهای مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است.

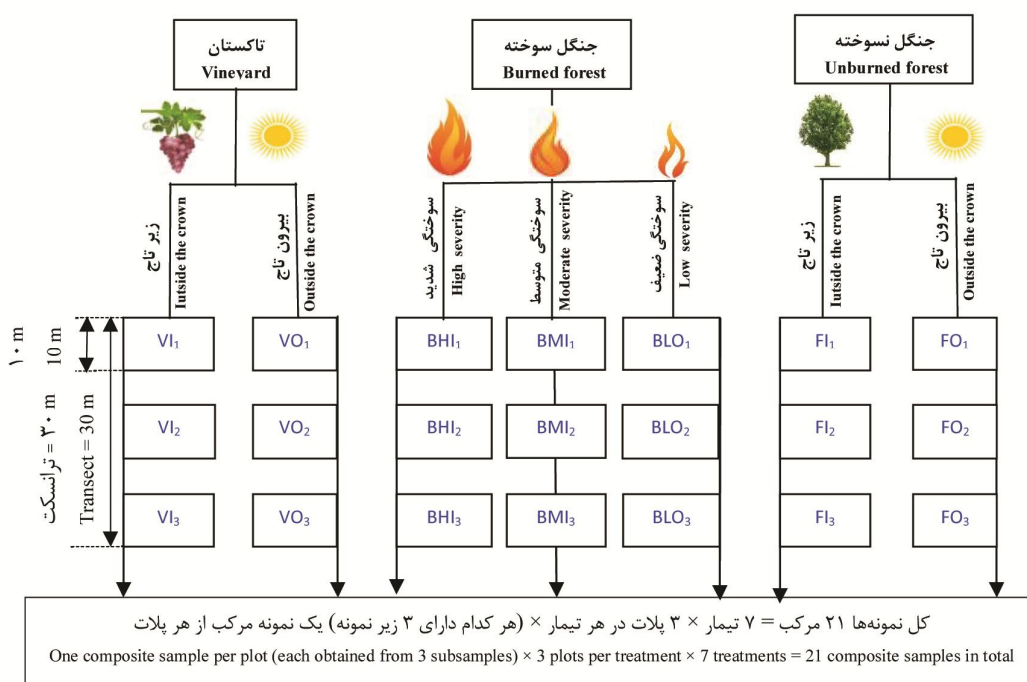


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کردستان (الف) و تیمارهای مورد بررسی (ب).

Figure 1. Location of study area in the Kurdistan province (A), and studied treatments (B).

زیر پلات با ابعاد  $10 \times 10$  متر تقسیم شدند و از هر زیر پلات یک نمونه خاک در ابعاد  $50 \times 50$  با عمق ۵ سانتی متری خاک برداشت شد، سپس این زیر نمونه‌ها (۳ عدد) با هم مخلوط گردید تا یک نمونه مرکب از هر پلات به دست آید. در مجموع در این پژوهش در تمامی تیمارهای مورد بررسی ۲۱ نمونه خاک مرکب که هر کدام دارای ۳ زیرنمونه بود جمع‌آوری گردید. در شکل ۲ نمودار توصیفی روش نمونه‌برداری خاک فقط برای یک پلات از سه پلات در هر تیمار به‌عنوان نمونه نشان داده شده است.

نمونه‌برداری خاک: نمونه‌برداری به روش تصادفی در داخل ترانسکت‌های طراحی شده انجام شد. به این صورت که در ابتدا یک کیلومتر عمود بر شیب مناطق مورد پژوهش به‌گونه‌ای انتخاب گردید که تفاوت‌های فیزیوگرافی، توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع) و مواد مادری در مناطق مورد پژوهش وجود نداشته باشد. برای رفع اثر حاشیه‌ای نمونه‌برداری از هر تیمار با فاصله ۲۵ متر از مرز تیمار مجاور انجام شد. در ادامه در هر تیمار ۳ پلات در امتداد شیب با مختصات  $10 \times 30$  متر پیاده شد، سپس هر کدام از پلات‌ها به ۳



شکل ۲- نمودار توصیفی نمونه‌برداری خاک در منطقه مورد بررسی. زیر تاج جنگل (FI)، بیرون تاج جنگل (FO)، آتش‌سوزی با شدت ضعیف (BLO)، آتش‌سوزی با شدت متوسط (BMI)، آتش‌سوزی با شدت بالا (BHI)، زیر تاج تاجکستان (VI) و بیرون تاج تاجکستان (VO).  
**Figure 2. Schematic diagram of soil sampling and preparation of the analyzed specimens (Note that only one plot is shown as an example of the three plots in each treatment). Unburned oak forest inside (FI), outside sprout clumps (FO), forest undergone high severity fire inside sprout clumps (BHI), moderate severity fire inside sprout clumps (BMI) and low severity fire outside sprout clumps (BLO), vineyard under (VI) and outside (VO) the canopy.**

درصد حداکثر ظرفیت نگهداشت آب خاک) تحت چرخه‌های دمایی مختلف به‌طور افزایشی و کاهش‌ی از ۵ °C تا ۳۵ °C (با فاصله دمایی ۵ °C) قرار داده شد و میزان تنفس پایه خاک (۱۹) پس از گذشت ۲ روز از انکوباسیون در هر نقطه دمایی اندازه‌گیری شد (۴۷). سپس میزان شاخص SDR در هر اندازه خاکدانه از شیب معادله میزان CO<sub>2</sub> متصاعد شده در مقابل دمای متناظر با آن در هر چرخه دمایی به‌دست آمد. این چرخه دمایی ۴ بار تکرار شد. یادآوری می‌شود برای جلوگیری از تلاطم تنفسی و پایدار نمودن فعالیت ریزجانداران خاک، قبل از شروع چرخه اول، نمونه‌ها به مدت ۳ روز در دمای ۲۵ °C انکوباسیون شدند؛ بنابراین با احتساب کل نمونه‌ها (۲۱)، تعداد اندازه خاکدانه‌ها (۴)، تعداد چرخه‌های

روش تجزیه نمونه‌ها: در آزمایشگاه ابتدا نمونه‌های خاک به خاکدانه‌های با اندازه ۲-۸، ۱-۲، ۱-۲۵/۰ و کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر به روش الک خشک بر اساس روش کمپر و رزونا (۱۹۸۶) جداسازی شدند (۲۴). بدین‌صورت نمونه‌های خاک هوا خشک‌شده (بدون کوبیدن) از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شدند، سپس ۱۰۰ گرم از هر کدام از آن‌ها بر روی سری الک شیکردار دوار (به‌ترتیب از بالا به پایین ۲، ۱ و ۰/۲۵ میلی‌متر به همراه سینی) ریخته و به مدت دو دقیقه (۱۵۰ دور در دقیقه) تکان داده شدند. پس از تفکیک فیزیکی خاک بر اساس اندازه خاکدانه میزان کربن آلی هر کدام از اندازه خاکدانه‌های تفکیک‌شده به روش اکسیداسیون خشک (۵۱) اندازه‌گیری شد. سپس هر بخش از اندازه خاکدانه‌ها در شرایط رطوبت بهینه (۷۰

دمایی (۴) و تعداد تنفس اندازه‌گیری شده در هر چرخه دمایی (۱۳)، در این پژوهش ۴۳۶۸ بار تنفس خاک اندازه‌گیری شده است.

۱۳ نقطه دمایی  $4 \times$  اندازه خاکدانه  $3 \times$  نمونه مرکب  $7 \times$  تیمار ۴۳۶۸ آزمایش تنفس = ۴ چرخه دمایی  $\times$  در هر چرخه

نرخ تجزیه کربن آلی خاک (SDR): میزان شاخص SDR در دماهای عنوان شده براساس معادله زیر محاسبه شد (۱۲ و ۳۰).

$$R_T = Ae^{KT}$$

که در آن،  $R_T$  نرخ تجزیه کربن آلی خاک (میلی‌گرم  $CO_2-C$  بر کیلوگرم خاکدانه در روز) در دمای اعمال شده است.  $T$  دما بر اساس درجه سلسیوس، پارامتر  $A$  نرخ تجزیه‌پذیری کربن آلی خاک در مقابل دما را نشان می‌دهد به گونه‌ای که هرچه تجزیه‌پذیری کربن آلی خاک بیشتر باشد، مقدار پارامتر  $A$  نیز بیشتر خواهد بود (۱۲ و ۳۱) و  $K$  پارامتر تکمیلی می‌باشد.

**تجزیه و تحلیل داده‌ها:** به منظور مطالعه و بررسی نتایج حاصل از داده‌های پژوهش، ابتدا داده‌ها وارد محیط نرم‌افزار Excel 2013 گردید، سپس برای تجزیه آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ بهره گرفته شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از ANOVA و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه دانکن در سطح معنادار ۵ درصد تجزیه و تحلیل گردید. برای بررسی اثر تیمارها، اندازه خاکدانه و چرخه‌های دمایی از آزمایش فاکتوریل ( $7 \times 4 \times 4$ ) شامل ۱۱۲ تیمار در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در ۳ تکرار استفاده شد.

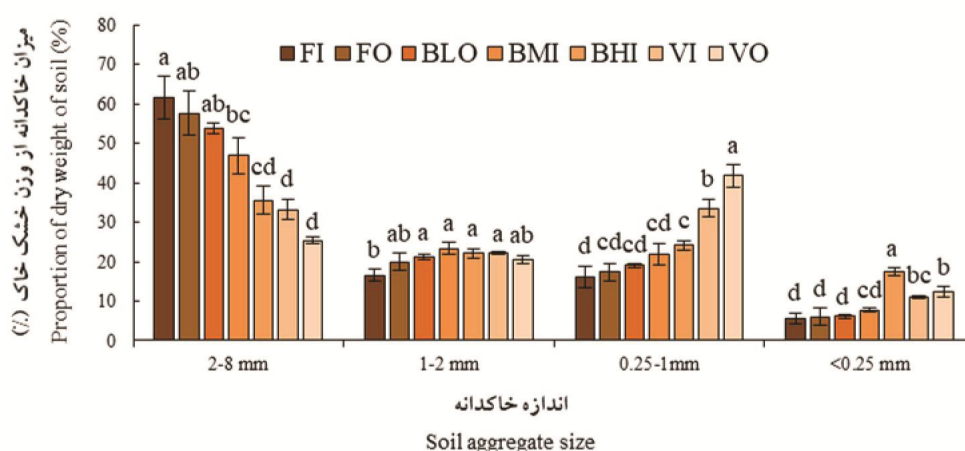
**نتایج و بحث**

**توزیع اندازه خاکدانه:** نتایج ارائه شده در شکل ۳ نشان می‌دهد که درصد خاکدانه‌های درشت (۲-۸

میلی‌متر) در تیمارهای FO، FI و BLO به‌طور معناداری نسبت به تیمارهای BMI، BHI، VI و VO بیش‌تر است ( $P < 0.05$ ). به‌عبارت دیگر درصد خاکدانه با اندازه ۲-۸ میلی‌متر در بین تیمار موردپژوهش به‌ترتیب روند کاهشی مقابل را نشان دادند:  $VO (61/3\%) < FI (57/7\%) < FO (53/7\%) < BHI (35/5\%) < BMI (46/9\%) < BLO (33/2\%) < VI (25/3\%) < VO$ . در این اندازه خاکدانه (۲-۸ میلی‌متر) بیش‌ترین کاهش معنادار در تیمارهای VO (۵۶/۱٪)، VI (۴۶/۱٪) و BHI (۴۲/۳٪) نسبت جنگل دست‌نخورده به‌دست آمد. درحالی‌که توزیع خاکدانه‌های در اندازه ۱-۲ میلی‌متر در بین تیمارهای موردبررسی تفاوت معناداری در پایه آماری ۵ درصد باهم نداشتند. همچنین بخش اندازه ۱-۲۵ میلی‌متر نسبت به ۲-۸ میلی‌متر روند معکوسی را نشان داد و همان‌طور که انتظار می‌رفت تیمار VO دارای بیش‌ترین مقدار (۴۱/۸٪) و تیمار FI دارای کم‌ترین میزان (۱۶/۲٪) این اندازه خاکدانه بودند. نتایج همچنین نشان داد، خاکدانه‌های با اندازه کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر در تیمارهای BHI (۱۷/۴٪)، VO (۱۲/۴٪) و VI (۱۱/۱٪) نسبت به سایر تیمارها بیش‌ترین درصد این اندازه خاکدانه را دارا بودند. درمجموع نتایج شکل ۳ نشان می‌دهد که کاربری جنگل دست‌نخورده (FI و FO) و آتش‌سوزی با شدت ضعیف بیش‌ترین درصد خاکدانه‌های درشت را دارا بودند. درحالی‌که تغییر کاربری (VI و VO) و آتش‌سوزی از نوع شدید نسبت به سایر تیمارهای موردبررسی خاکدانه‌های درشت (۲-۸ میلی‌متر) را تخریب کرده و به‌طور قابل‌توجهی موجب افزایش درصد خاکدانه‌های ریز (کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) شده‌اند. بوردوکویسی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش نمودند که عوامل پیونددهنده در خاکدانه‌های درشت از مواد آلی موقت و ناپایدار مانند پلی‌ساکاریدها، ریشه‌های گیاهی و هیف‌های

تبخیر رطوبت درون خاکدانه و فشردگی ذرات به هم موجب تخریب خاکدانه‌های درشت و افزایش میزان خاکدانه‌های ریز می‌شود (۲). هم‌چنین بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کشاورزی با روش‌های مرسوم و چرای مداوم در مقایسه با کشت و کار با سیستم بدون خاک‌ورزی و کاربری‌های بکر دارای خاکدانه‌های درشت ( $2 < \text{میلی‌متر}$ ) کم‌تر و خاکدانه‌های ریز بیش‌تری می‌باشند (۳، ۷، ۳۲ و ۳۹).

قارچی تشکیل شده‌اند؛ بنابراین خاکدانه‌های درشت‌تر نسبت به خاکدانه‌های ریزتر حساسیت بیش‌تری به تغییرات مدیریت خاک و تنش‌های محیطی از خود نشان می‌دهند. درحالی‌که خاکدانه‌های ریز توسط عوامل اتصال‌دهنده قوی‌تر و دائمی‌تری مانند پلیمرهای آلی، اکسیدها و کاتیون‌های چندظرفیتی به هم متصل شده‌اند (۵). در هماهنگی با یافته‌های این پژوهش جیان و همکاران (۲۰۱۸) چنین گزارشی نمودند که دمای بالای ناشی از آتش‌سوزی با



شکل ۳- توزیع اندازه خاکدانه در حالت خشک در بین تیمارهای مورد پژوهش. حروف متفاوت بیانگر معنادار بودن میانگین‌ها در هر اندازه خاکدانه به روش دانکن در سطح ۵ درصد می‌باشد (زیر تاج جنگل (FI)، بیرون تاج جنگل (FO)، آتش‌سوزی با شدت ضعیف (BLO)، آتش‌سوزی با شدت متوسط (BMI)، آتش‌سوزی با شدت بالا (BHI)، زیر تاج تاکستان (VI)، بیرون تاج تاکستان (VO).

**Figure 3. Size distribution of dry soil aggregates in different study treatments (Mean±SE). Forest inside sprout clumps (FI), Forest outside sprout clumps (FO), Forest burned with high severity-inside sprout clumps (BHI), Forest burned with moderate severity inside sprout clumps (BMI), Forest burned with low severity outside sprout clumps (BLO), Vineyard under the canopy (VI), Vineyard outside the canopy (VO).**

تیمارهای مورد پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از این جدول نشان می‌دهد که در همه تیمارها، خاکدانه‌های بزرگ‌تر (۸-۲ و ۲-۱ میلی‌متر) دارای میزان SOC کم‌تری نسبت به خاکدانه‌های کوچک‌تر (۱-۰/۲۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر) می‌باشند. هر چند که اختلاف بین برخی از تیمارها از نظر آماری معنادار نشده است. در هماهنگی با یافته‌های این پژوهش سایر پژوهندگان نیز افزایش مقدار SOC را با کاهش اندازه خاکدانه‌ها در

هم‌چنین بسیاری از پژوهندگان گزارش نموده‌اند که عملیات خاک‌ورزی و تردد ماشین‌آلات کشاورزی با از بین بردن عوامل اتصال‌دهنده بین خاکدانه‌ها موجب تخریب خاکدانه‌های درشت و ایجاد خاکدانه‌های کوچک‌تر و ضعیف‌تر شده که با کاهش پایداری ساختمان خاک نرخ فرسایش‌پذیری خاک را نیز افزایش می‌دهند (۱ و ۴۱).

کربن آلی خاک (SOC): داده‌های حاصل از ارزیابی توزیع SOC در بین خاکدانه‌های با اندازه مختلف در



در هماهنگی با یافته‌های این پژوهش بیش‌ترین و کم‌ترین میزان خاکدانه‌های درشت را به‌ترتیب در جنگل دست‌نخورده و زمین زراعی گزارش کردند، این پژوهندگان میزان SOC در خاکدانه‌های ریز و متوسط را بیش‌تر از خاکدانه‌های درشت گزارش نمودند (۲۰).

اکوسیستم‌های جنگلی و سیستم‌های تحت کشت و کار را گزارش نموده‌اند (۱۱). درحالی‌که برخی پژوهندگان میزان SOC در خاکدانه‌های متوسط (۱-۲۵ میلی‌متر) را بیش‌تر از خاکدانه‌های درشت و ریز به‌ترتیب در خاک‌های زراعی و غیرزراعی گزارش نموده‌اند (۳۳ و ۳۹). همچنین سینق و همکاران

جدول ۱- مقایسه میانگین کربن آلی کل خاک (بر اساس تن بر هکتار) و توزیع کربن آلی خاک (بر اساس درصد) در بخش اندازه خاکدانه در منطقه موردبررسی (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد)<sup>۱</sup>.

**Table 1. Total soil organic carbon (Mg h<sup>-1</sup>) and soil organic carbon content (% of total weight) in the soil aggregate size fractions in different study treatments (mean  $\pm$  standard error)<sup>1</sup>.**

اندازه خاکدانه (mm)				کربن کل SOC	تیمار Treatment
Aggregate size (mm)					
< 0.25	1-0.25	2-1	8-2		
11.2 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	10.0 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	7.9 $\pm$ 0.5 <sup>b</sup>	6.3 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	48.6 $\pm$ 0.5 <sup>ab</sup>	زیرتاج جنگل Forest inside sprout clumps
7.7 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	7.2 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	6.6 $\pm$ 0.5 <sup>ab</sup>	5.9 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	41.5 $\pm$ 1.0 <sup>c</sup>	بیرون تاج جنگل Forest outside sprout clumps
9.3 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	9.1 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	7.3 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	7.0 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	39.3 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	آتش‌سوزی با شدت ضعیف خارج تاج درختان Forest burned with low severity outside sprout clumps
9.1 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	7.6 $\pm$ 0.7 <sup>ab</sup>	6.0 $\pm$ 0.5 <sup>b</sup>	5.8 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	42.1 $\pm$ 2.8 <sup>bc</sup>	آتش‌سوزی با شدت متوسط زیر تاج درختان Forest burned with moderate severity inside sprout clumps
6.4 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	6.5 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	5.4 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	6.1 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	51.7 $\pm$ 5.0 <sup>a</sup>	آتش‌سوزی با شدت بالا زیر تاج درختان Forest burned with high severity inside sprout clumps
4.1 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	3.9 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	3.7 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	3.0 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	23.2 $\pm$ 0.6 <sup>d</sup>	زیر تاج تاکستان Vineyard inside the canopy
3.5 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	3.3 $\pm$ 0.04 <sup>ab</sup>	2.9 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	3.2 $\pm$ 0.2 <sup>ab</sup>	20.8 $\pm$ 0.3 <sup>d</sup>	بیرون تاج تاکستان Vineyard outside the canopy

۱- در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت نشانه تفاوت در سطح آماری ۵ درصد بر اساس روش چند دامنه دانکن است.

1. Different superscripts indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) among mean values in each column according to Duncan Multiple Range Test.

شده است تا میزان SOC به نصف میزان اولیه خود در جنگل دست‌نخورده کاهش یابد. پژوهندگان زیادی دلیل کاهش مواد آلی در زمین‌های تحت کشت و کار را مواردی هم‌چون کاهش ورود ماده آلی به خاک، کاهش حفاظت فیزیکی SOC بر اثر عملیات شخم، تغییر رژیم رطوبتی و حرارتی خاک، افزایش سرعت تجزیه و در نهایت فرسایش خاک بیان کرده‌اند (۱۴ و ۳۵). میزان بیش‌تر SOC کل در تیمارهای آتش‌سوزی

کربن آلی کل حاصل از مجموع کربن در کل اندازه خاکدانه‌ها در تیمارهای موردپژوهش در جدول ۱ نشان داد که تغییر کاربری در کاربری تاکستان بیش‌تر از آتش‌سوزی کربن آلی کل خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. به‌گونه‌ای که تیمارهای VI و VO به‌ترتیب دارای ۵۲/۳ و ۴۹/۹ درصد کربن آلی کم‌تر از جنگل دست‌نخورده بودند، به سخن دیگر ۳۰ سال تغییر کاربری جنگل دست‌نخورده به تاکستان سبب

شاخصی است که عوامل مؤثر بر تجزیه ماده آلی خاک اعم از میزان ماده آلی و قابلیت تجزیه و دسترسی آن، میزان کارایی ریزجانداران تجزیه‌کننده آن و عوامل محیطی اعم از رطوبت، دما و میزان اکسیژن را در خود جای داده است و به میزانی که نرخ تجزیه کربن آلی خاک بیش‌تر باشد، مقدار پارامتر A نیز بیش‌تر خواهد بود (۱۲ و ۳۱). نتایج تجزیه واریانس در این پژوهش نشان داد که اثر تیمار، چرخه‌های دمایی، اندازه خاکدانه و اثرات متقابل آن‌ها بر شاخص SDR در سطح ۵ درصد آماری ( $P < 0.05$ ) دارای اختلاف معنادار می‌باشند (جدول ۲).

هر چند از نظر آماری نسبت به شاهدهای خود در جنگل دست‌نخورده معنادار نشده است (جدول ۱)، می‌تواند به دلایلی هم‌چون برگشت پس‌ماندهای گیاهی نیمه‌سوخته و ریشه‌های مرده ناشی از درختان، گیاهان کف جنگل پس از آتش‌سوزی به خاک و هم‌چنین سوختن لایه آلی (افق O) سطح خاک و در نهایت تلفیق همه آن‌ها با افق معدنی سطحی خاک باشد که همگی موجب افزایش SOC پس از آتش‌سوزی می‌شود (۶ و ۱۵).

نرخ تجزیه کربن آلی خاک (SDR): پارامتر A در معادله ( $R_T = Ae^{KT}$ ) نرخ تجزیه‌پذیری کربن آلی خاک در مقابل دما را نشان می‌دهد، به سخن دیگر A

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس نرخ تجزیه کربن آلی خاک (فاکتور A).

Table 2. Analysis of variance of soil organic carbon decomposition (A).

میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی df	منابع تغییرات Sources of variation
433.9*	6	تیمار Treatment
1165.1*	3	چرخه دمایی Temperature cycle
416.5*	3	اندازه خاکدانه Aggregate size
87.9*	18	تیمار × چرخه دمایی Treatment × Temperature cycle
24.1*	18	تیمار × اندازه خاکدانه Treatment × Aggregate size
74.9*	9	چرخه دمایی × اندازه خاکدانه Aggregate size × Temperature cycle
8.2*	54	تیمار × چرخه دمایی × اندازه خاکدانه Treatment × Temperature cycle × Aggregate size

\* معنادار بودن در پایه آماری ۵ درصد

\* Significance in  $P < 0.05$  level

(جدول ۳). با توجه به این‌که میزان SOC یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در نرخ تجزیه کربن آلی خاک می‌باشد (۱۴ و ۳۶)، بنابراین همان‌گونه که در بخش‌های پیشین آمد خاکدانه‌های کوچک‌تر با داشتن میزان SOC بیش‌تر و حفاظت فیزیکی کم‌تر، نرخ

بررسی شاخص SDR در بین خاکدانه با اندازه‌های مختلف نشان داد که با کاهش اندازه خاکدانه‌ها و افزایش میزان کربن آلی خاک تیمارهای موردبررسی، مقدار شاخص SDR افزایش یافته است که در بیش‌تر موارد از نظر آماری معنادار است

در دو تیمار یادشده نسبت به سایر تیمارهای موردبررسی باشد. به سخن دیگر میزان مواد آلی ناپایدار بیش‌تر در ابتدای انکوباسیون میزان شاخص SDR را در این تیمارها بالا برده و در ابتدای انکوباسیون (چرخه‌های اول) مقادیر بالای این شاخص را سبب شده است (۱۳، ۲۲ و ۲۶)، در حالی‌که با افزایش چرخه‌های دمایی میزان این مواد کاهش یافته و در مقابل میزان ترکیبات سخت و پایدار آلی خاک که در مقابل تجزیه میکروبی مقاوم بوده و دارای زمان ماندگاری بالاتری هستند افزایش یافته و در چرخه‌های آخر دمایی میزان شاخص SDR به شدت افت پیدا می‌کند (۸ و ۴۷).

تجزیه کربن آلی بیش‌تری را از خود نشان دادند؛ اما در طول چرخه‌های دمایی مختلف، میزان شاخص SDR در تمامی اندازه خاکدانه‌ها با افزایش تعداد چرخه‌های دمایی کاهش یافته است که میزان شدت این کاهش در خاکدانه‌های با اندازه کوچک‌تر بیش‌تر بود. یادآوری می‌شود که مقدار شدت این کاهش (در طول چرخه‌های دمایی) در کاربری جنگل دست‌نخورده (FO و FI) و آتش‌سوزی با شدت بالا نسبت به سایر تیمارهای مورد پژوهش چشم‌گیرتر بود (جدول ۳). این نتیجه شاید به دلیل وجود مواد آلی ناپایدار (قابل دسترس و قابل تجزیه) بیش‌تر که همان مانده‌های گیاهی و جانوری تازه افزوده شده به خاک می‌باشند،

جدول ۳- مقایسه میانگین نرخ تجزیه کربن آلی خاک (شاخص A) در بخش اندازه خاکدانه در چرخه‌های دمایی مختلف (میانگین  $\pm$  خطای استاندارد).

Table 3. The soil organic carbon decomposition (A) in aggregate size over different incubation change cycles (Mean  $\pm$  SE).

اندازه خاکدانه (میلی‌متر)				چرخه Cycle	تیمار Treatment
Aggregate size (mm)					
< 0.25	1-0.25	2-1	8-2		
23.4 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	21.5 $\pm$ 1.6 <sup>a</sup>	15.5 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	14.7 $\pm$ 4.1 <sup>a</sup>	1	زیر تاج جنگل Forest inside sprout clumps
16.1 $\pm$ 2.1 <sup>b</sup>	12.1 $\pm$ 1.9 <sup>b</sup>	8.6 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	6.6 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	2	
5.6 $\pm$ 0.2 <sup>c</sup>	4.6 $\pm$ 1.5 <sup>c</sup>	5.0 $\pm$ 1.3 <sup>c</sup>	2.2 $\pm$ 1.1 <sup>c</sup>	3	
4.4 $\pm$ 0.2 <sup>c</sup>	2.3 $\pm$ 0.2 <sup>c</sup>	1.6 $\pm$ 0.1 <sup>d</sup>	1.0 $\pm$ 0.7 <sup>d</sup>	4	
24.6 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	20.2 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	9.5 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	6.7 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	1	بیرون تاج جنگل Forest outside sprout clump
12.7 $\pm$ 0.8 <sup>b</sup>	7.8 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	5.2 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	3.3 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	2	
4.3 $\pm$ 0.5 <sup>c</sup>	2.6 $\pm$ 0.5 <sup>c</sup>	2.2 $\pm$ 0.6 <sup>bc</sup>	1.1 $\pm$ 0.2 <sup>c</sup>	3	
1.0 $\pm$ 0.1 <sup>d</sup>	0.7 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	0.6 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	0.2 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	4	
15.5 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	8.9 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	3.8 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	2.8 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	1	آتش‌سوزی با شدت ضعیف بیرون تاج درختان Forest burned with low severity outside sprout clumps
6.7 $\pm$ 1.0 <sup>b</sup>	4.4 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	2.8 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	1.2 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	2	
4.4 $\pm$ 0.8 <sup>b</sup>	2.8 $\pm$ 0.3 <sup>bc</sup>	2.5 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	2.9 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	3	
5.2 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>	0.5 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	0.4 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	0.2 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	4	
13.7 $\pm$ 1.5 <sup>a</sup>	14.7 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	6.2 $\pm$ 1.2 <sup>a</sup>	3.0 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	1	آتش‌سوزی با شدت متوسط زیر تاج درختان Forest burned with moderate severity inside sprout clumps
11.0 $\pm$ 0.5 <sup>b</sup>	10.2 $\pm$ 0.6 <sup>b</sup>	8.4 $\pm$ 2.4 <sup>a</sup>	4.7 $\pm$ 0.8 <sup>a</sup>	2	
6.1 $\pm$ 0.5 <sup>c</sup>	4.8 $\pm$ 0.8 <sup>c</sup>	3.9 $\pm$ 0.7 <sup>ab</sup>	3.1 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	3	
1.5 $\pm$ 0.2 <sup>d</sup>	0.6 $\pm$ 0.2 <sup>d</sup>	0.4 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	3.2 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	4	
22.5 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	15.6 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	6.6 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	3.5 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	1	آتش‌سوزی با شدت بالا زیر تاج درختان Forest burned with high severity inside sprout clumps
11.8 $\pm$ 1.6 <sup>b</sup>	7.8 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>	4.0 $\pm$ 0.8 <sup>b</sup>	4.0 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	2	
8.4 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>	6.3 $\pm$ 0.8 <sup>b</sup>	5.9 $\pm$ 0.6 <sup>ab</sup>	3.8 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	3	
2.1 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>	0.8 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>	0.6 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	0.5 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	4	
3.7 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	3.5 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>	3.0 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	2.4 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	1	زیر تاج تاکستان Vineyard inside the canopy
2.9 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup>	2.4 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	1.8 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	2.4 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	2	
0.8 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	0.9 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.4 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	0.3 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	3	
0.7 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	0.6 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	0.4 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	0.2 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	4	
3.2 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	0.6 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	0.8 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.3 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	1	بیرون تاج تاکستان Vineyard outside the canopy
0.7 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	0.3 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.2 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.1 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	2	
0.4 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	0.2 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.1 $\pm$ 0.0 <sup>bc</sup>	0.1 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	3	
0.4 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	0.1 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.1 $\pm$ 0.0 <sup>bc</sup>	0.1 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	4	

۱- در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت نشانه تفاوت در سطح آماری ۵ درصد بر اساس روش چند دامنه دانکن می‌باشد.

1. Different superscripts indicate significant differences ( $P < 0.05$ ) among mean values in each column according to Duncan Multiple Range Test.

در راستای یافته‌های این پژوهش فولت و همکاران (۲۰۰۷) و زو و همکاران (۲۰۱۲) میزان کاهش شاخص SDR نسبت به چرخه اول در طول ۴ چرخه انکوباسیون را به ترتیب ۶۲/۹، ۷۰/۶ و ۷۴/۰ درصد گزارش نمودند (۱۳ و ۴۴). این پژوهندگان کاهش میزان کربن آلی قابل دسترس و ناپایدار خاک و کاهش فعالیت جمعیت میکروبی خاک را به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاهش شاخص SDR با افزایش تعداد چرخه‌های دمایی عنوان نموده‌اند (۸ و ۲۶). نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که با در نظر گرفتن تمامی عوامل مورد بررسی شاخص SDR از روند مقابل پیروی کرد:  $FI (۷/۲) < (۵/۴) < BHI \leq FO (۵/۲) < BMI (۴/۷) < BLO (۲/۹) < VO (۰/۴) < VI (۱/۴)$ . این نتایج به خوبی نشان می‌دهند در مناطقی که کربن آلی قابل تجزیه بیشتری وجود داشته باشد مانند کاربری جنگل دست‌نخورده تأمین رطوبت و افزایش دما می‌تواند انتشار کربن آلی خاک را با سرعت بیشتری نسبت به زمین‌های زراعی افزایش دهد. همچنین در روندی مشابه با افزایش شدت آتش‌سوزی، با تأمین رطوبت و افزایش گرمایش زمین میزان رهاسازی کربن آلی خاک نیز افزایش می‌یابد. در واقع آتش‌سوزی نه تنها در هنگام وقوع آتش میزان کربن زیادی را به صورت  $CO_2$  به داخل اتمسفر آزاد می‌کند، بلکه در سال‌های بعد از آتش‌سوزی نیز نرخ تجزیه‌پذیری کربن آلی باقی‌مانده در این مناطق آسیب‌دیده قابل توجه است.

### نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این پژوهش تغییر کاربری جنگل به تاکستان و رخداد آتش‌سوزی موجب کاهش معنی‌دار خاکدانه‌های درشت (۲-۸ میلی‌متر) ۲۴ تا ۴۶ درصد می‌گردد. همچنین بیش‌ترین حفظ خاکدانه‌های درشت خاک در زیر تاج درختان به دلیل میزان

قابل توجه ماده آلی آن است. در کل تیمارهای مورد بررسی از نظر میزان خاکدانه‌های درشت (۲-۸ میلی‌متر) روند مقابل را نشان دادند:  $FI (۶۱/۶\%) < BMI (۴۶/۹\%) < BLO (۵۳/۷\%) < FO (۵۷/۷\%) < BHI (۳۵/۵\%) < VI (۳۳/۲\%) < VO (۲۵/۳\%)$ . همچنین نتایج حاصل از توزیع میزان SOC در میان اندازه خاکدانه‌ها نشان داد که در همه تیمارهای مورد بررسی با کاهش اندازه خاکدانه‌ها میزان SOC افزایش یافت. نتایج نشان داد که در مقایسه با جنگل دست‌نخورده تغییرات معناداری در میزان کربن کل خاک پس از آتش‌سوزی مشاهده نشد، در حالی که ۳۰ سال کشت و کار در تاکستان سبب کاهش در حدود ۵۰ درصدی SOC نسبت به جنگل دست‌نخورده شد. همچنین تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شاخص SDR نشان داد که در تمامی تیمارهای مورد بررسی با کاهش اندازه خاکدانه‌ها و افزایش میزان SOC، میزان این شاخص افزایش یافت؛ اما در یک اندازه خاکدانه خاص با افزایش چرخه‌های دمایی میزان شاخص SDR کاهش یافت؛ بنابراین در مناطقی که کربن آلی قابل تجزیه بیشتری وجود داشته باشد مانند کاربری جنگل دست‌نخورده و مناطق آتش گرفته تأمین رطوبت و افزایش دما می‌تواند انتشار کربن آلی خاک را با سرعت بیشتری نسبت به زمین‌های تحت کشت افزایش دهد. در واقع آتش‌سوزی نه تنها در هنگام وقوع آتش میزان کربن زیادی را به صورت دی‌اکسید کربن وارد اتمسفر می‌کند، بلکه در سال‌های بعد از آتش‌سوزی نیز نرخ تجزیه‌پذیری کربن در این مناطق آسیب‌دیده قابل توجه است. به سخن دیگر کاربری‌های با میزان ماده آلی قابل تجزیه بیشتر (زیر تاج جنگل و آتش‌سوزی شدید) نسبت به تغییر کاربری (زیر تاج و بیرون تاج تاکستان) در مقابل تغییرات اقلیم آسیب‌پذیرتر بوده و گرمایش زمین را بیش‌تر تشدید می‌کنند.

### تقدیر و تشکر

بدین وسیله نویسندگان از اهالی روستای نژمار از توابع شهرستان مریوان که با مساعدت و همکاری خود زمینه انجام این پژوهش را فراهم نمودند، نهایت سپاس و تشکر را دارند.

دینامیک تجزیه کربن آلی خاک در آتش‌سوزی و کاربری‌های مختلف زمین که در سال ۹۶ در گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان انجام شده است، استخراج گردیده است.

### تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

### داده‌ها و اطلاعات

این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خانم ناهید آزادی با موضوع "حساسیت دمایی و رطوبتی

### منابع

1. An, S., Mentler, A., Mayer, H., and Blum, W.E. 2010. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau. China. *Catena*. 81: 3. 226-33.
2. Jian, M., Berli, M., and Ghezzehei, T.A. 2018. Soil structural degradation during low-severity burns. *Geophysical Research Letters*. 45: 11. 5553-5561.
3. Ayoubi, Sh., Mokhtari, P., Mosaddeghi, M.R., and Honarjoo, N. 2012. Soil aggregation and organic carbon as affected by topography and land use change in western Iran. *Soil Tillage Researcher*. 121: 18-26.
4. Riahi, Z., Bazgir, M., Valizadeh Kakheki, F., and Rostaminy, M. 2019. Impact of fire on soil physical and chemical properties in the pastures of Badreh area in Ilam province. *J. Water Soil Cons.* 25: 25-46.
5. Burdukovskii, M., Kiseleva, I., Perepelkina, P., and Kosheleva, Y. 2019. Impact of different fallow durations on soil aggregate structure and humus status parameters. *Soil and Water Research*. 15: 1. 1-8.
6. Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 143: 1. 1-10.
7. Ciric, V., Manojlovic, M., Nestic, L., and Belic, M. 2012. Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 12: 4. 689-703.
8. Conant, R.T., Drijber, R.A., Haddix, M.L., Parton, W.J., Paul, E.A., Plante, A.F., Six, J., and Steinweg, J.M. 2008. Sensitivity of organic matter decomposition to warming varies with its quality. *Global Change Biological*. 14: 4. 868-877.
9. Khaledian, Y., Kiani, F., Ebrahimi, S., and Movahedi Naeni, A. 2011. Impact of forest degradation, changing land use and building villas on some indicators of soil quality in the watershed, Golestan province. *J. Water Soil Cons.* 17: 167-183.
10. Rahimi, Sh., Sharifi, Z., and Mastrolonardo, G. 2020. A Comparison Study of the Effects of Wildfire and Cultivation on Topsoil Properties in the Zagros Forest, Iran. *Eurasian Soil Science*. In press.
11. Fang, X.M., Chen, F.S., Wan, S.Z., Yang, Q.P., and Shi, J.M. 2015. Topsoil and deep soil organic carbon concentration and stability vary with aggregate size and vegetation type in Subtropical China. *PLoS ONE*. 10: 9. p.e0139380.
12. Fierer, N., Craine, J.M., McLaughlan, K., and Schimel, J. 2005. Litter quality and the temperature sensitivity of decomposition. *Ecology*. 86: 2. 320-326.
13. Follett, R.F., Paul, E.A., and Pruessner, E.G. 2007. Soil carbon dynamics during a long-term incubation study involving <sup>13</sup>C and <sup>14</sup>C measurements. *Soil Science*. 172: 3. 189-208.

14. Garcia-Diaz, A., Allas, R.B., Gristina, L., Cerda, A., Pereira, P., and Novara, A. 2016. Carbon input threshold for soil carbon budget optimization in eroding vineyards. *Geoderma*. 271: 144-149.
15. Granged, A.J.P., Jordan, A., Zavala, L.M., Munoz-Rojas, M., and Mataix-Solera, J. 2011. Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia). *Geoderma*. 167: 125-134.
16. Sharifi, Z., Azadi, N., and Certini, G. 2017. Fire and tillage as degrading factors of soil structure in Northern Zagros oak forest, west Iran. *Land Degradation and Development*, 28: 3. 1068-1077.
17. Hamburg, D.R., and Reed, D.C. 1997. Patent and Trademark office. U.S Patent Washington. 55: 1-3.
18. Haghverdi, K. 2017. The effect of tree covers on soil microbiological indices and CO<sub>2</sub> emission. *J. Water Soil Cons.* 24: 63-81.
19. Jaggi, W. 1976. Die Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Bildung als Maß der Bodenatmung unter Carbonate im Boden. *Z. Pflanzenernähr Bodenkd.* 56: 26-38.
20. Singh, M.K., Singh, S., and Ghoshal, N. 2017. Impact of land use change on soil aggregate dynamics in the dry tropics. *Restoration Ecology*. 25: 6. 962-971.
21. Jobbagy, E., and Jackson, R. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecology*. APPLIED. 10: 2. 423-436.
22. Joergensen, R.G., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. 1990. Survival of the soil microbial biomass at elevated-temperatures. *Soil Biology and Biochemistry*. 22: 2. 1129-1136.
23. Khatirpasha, N., Hojjati, S.M., Pourmajidiyan, M.R., and Asadiyan, M. 2018. Impact of land use change on physical, chemical and biological soil properties in the Qalek forest-Ghaemshahr city. *J. Water Soil Cons.* 24: 211-225.
24. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Madison, WI. Pp: 425-442.
25. Haghian, I., and Salari A. 2018. Investigation of environmental factors controlling soil organic carbon in rangelands of arid regions (Case study: Yansi region of Gonabad). *J. Water Soil Cons.* 25: 281-289.
26. Kirschbaum, M.U.F. 2006. The temperature dependence of organic-matter decomposition - still a topic of debate. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 9. 2510-2518.
27. Sadeghifar, M., Beheshti Ale Agha, A., and Pourreza, M. 2017. The recovery of soil physical and chemical properties in years after fire in Zagros oak woodlands in Kermanshah province. *J. Water Soil Cons.* 24: 289-302.
28. Sharifi, Z., Nazari, Ch., Mohammadi Samani, K., and Shabanian, N. 2015. Effect of three successive years of fire on some physicochemical properties of a forest soil around Zarivar Lake in Marivan. Iran. *J. Soil Water Res.* 46: 555-565.
29. Lavorel, S., Flannigan, D.M., Lambin, E.F., and Schole, M.C. 2007. Vulnerability of land systems to fire: interactions among humans, climate, the atmosphere, and ecosystems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 12: 1. 33-53.
30. Liu, W., Zhang, Z., and Wan, S. 2009. Predominant role of water in regulating soil and microbial respiration and their responses to climate change in a semiarid grassland. *Glob. Change Biology*. 15: 1. 184-195.
31. Mikan, C., Schimel, J., and Doyle, A. 2002. Temperature controls of microbial respiration in arctic tundra soils above and below freezing. *Soil Biology and Biochemistry*. 34: 11. 1785-1795.
32. Mikha, M.M., and Rice, C.W. 2004. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 68: 3. 809-816.

33. Motaghian, H.R., and Mohammadi, J. 2012. Statistical and geostatistical appraisal of spatial variability of aggregate stability and aggregate-associated organic carbon content on a catchment scale in a semi-arid region, Central Iran. *Desert*. 17: 1. 27-39.
34. Moyano, F.E., Vasilyeva, N., Bouckaert, L., Cook, F., Craine, J., Curiel-Yuste, J., Don, A., Epron, D., Formanek, P., Franzluebbers, A., Ilstedt, U., Kätterer, T., Orchard, V., Reichstein, M., Rey, A., Ruamps, L., Subke, J.A., Thomsen, I.K., and Chenu, C. 2012. The moisture response of soil heterotrophic respiration, interaction with soil properties. *Biogeoscience*. 9: 3. 1173-1182.
35. Novara, A., Cerdà, A., Carmelo, D., Giuseppe, L.P., Antonino, S., and Luciano, G. 2015. Effectiveness of Carbon Isotopic Signature for Estimating Soil Erosion and Deposition Rates in Sicilian Vineyards. *Soil and Tillage Research*. 152: 1-7.
36. Parsons, A., Robichaud, P.R., Lewis, S.A., Napper, C., and Clark, J.T. 2010. Field Guide for Mapping Post-Fire Soil Burn Severity. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-243. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO. 49p.
37. Pourreza, M., Hosseini, S.M., Safari Sinegani, A.A., Matinizadeh, M., and Warren, A. 2014. Soil microbial activity in response to fire severity in Zagros oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests, Iran, after one year. *Geoderma*. 213: 95-102.
38. Schuman, G.E., Janzen, H., and Herrick, J.E. 2002. Soil carbon information and potential carbon sequestration by rangelands. *Environment Pollution*. 116: 3. 391-396.
39. Shrestha, B.M., Singh, B.R., Sitaula, B.K., Lal, R., and Bajracharya, R.M. 2007. Soil aggregate and particle-associated organic carbon under different land uses in Nepal. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 71: 4. 1194-1203.
40. Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., and Doran, J.W. 1998. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 62: 5. 1367-1377.
41. Six, J., Paustian, K., Elliott, E.T., and Combrink, C. 2000. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 64: 2. 681-689.
42. Smith, P., Fang, C., Dawson, J.J.C., and Moncrieff, J.B. 2008. Impact of global warming on soil organic carbon. *Adv. Agronomy*. 97: 1-43.
43. Weltzin, J.F., Loik, M.E., Schwinning, S., Williams, D.G., Fay, P.A., Haddad, B.M., Harte, J., Huxman, T.E., Knapp, A.K., Lin, G.H., Pockman, W.T., Shaw, M.R., Small, E.E., Smith, M.D., Smith, S.D., Tissue, D.T., and Zak, J.C. 2003. Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. *Bioscience*. 53: 10. 941-952.
44. Xu, X., Luo, Y.Q., and Zhou, J.Z. 2012. Carbon quality and the temperature sensitivity of soil organic carbon decomposition in a tallgrass prairie. *Soil Biology Biochemistry*. 50: 142-148.
45. Sharifi, Z., Nazari, Ch., Mohammadi Samani, K., and Shabaniyan, N. 2017. Effects of a wildfire on some soil properties in northeran Zagros Oak Forest (case study: Marivan Region). *Water and Soil Science*. 27: 1. 1-16.
46. Fletcher, Ch. 2018. *Climate Change: What The Science Tells Us*. Published by John Wiley & Sons. 352p.
47. Ding, F., Huang, Y., Sun, W., Jiang, G., and Chen, Y. 2014. Decomposition of organic carbon in fine soil particles is likely more sensitive to warming than in coarse particles: an incubation study with temperate grassland and forest soils in Northern China. *PLoS One*. 9: e95348.
48. Shamsi Mahmoudabadi, S., Khormali, F., Ghorbani Nasrabadi R., and Pahlavani M.H. 2011. Effect of vegetation cover and the type of land use on the soil quality indicators in loess derived soils in Agh-Su area (Golestan province). *J. Water Soil Cons.* 17: 4. 167-184.

49. Sharifi, Z., Azadi, N., Rahimi, Sh., and Certini, G. 2018. The response of glomalin-related soil proteins to fire or tillage. *Geoderma*. 329: 65-72.
50. Varasteh Khanlari, Z., Golchin A., Mousavi Kupaar, S.A., and Alamdari, P. 2019. The change of the biological properties of a forest soil after converting to the paddy field and determination of the most sensitive properties to land use change. *J. Water Soil Cons.* 26: 269-282.
51. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. *Laboratory methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA book ser. 5*, SSSA: Madison, WI. Pp: 961-1010.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation*, Vol. 27(4), 2020  
<http://jwsc.gau.ac.ir>  
DOI: 10.22069/jwsc.2020.17875.3345

Research Full Paper

## Comparative study of the effects of wildfire and land use change on soil organic carbon decomposition rate in aggregate size fraction of the Northern Zagros Oak Forest

N. Azadi<sup>1</sup> and \*Z. Sharifi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate Student, Dept. of Soil Science, University of Kurdistan,

<sup>2</sup>Assistant Professor, Dept. of Soil Science, University of Kurdistan

Received: 04.02.2020; Accepted: 08.26.2020

### Abstract

**Background and Objectives:** Forest fires and land use change have become a major global concern due to their significant role in environmental degradation and climate change. Meanwhile, the soil of forests and pastures has always been considered due to its relatively high organic matter and suitable structure. However, fires and changes in the management of these ecosystems and the application of tillage have had detrimental effects on soil structure and loss of organic matter of the natural ecosystems. Therefore, this study investigates the effect of wildfires and land use change to vineyard on soil organic carbon (SOC) content and its soil organic carbon decomposition rate (SDR) in aggregate size fraction of the Oak Forest in Northern Zagros.

**Materials and Methods:** For this purpose, topsoil (0-5 cm depth) was sampled in a natural oak forest from both inside (FI) and outside (FO) sprout clumps, a portion of the forest burned three years earlier from areas undergone high (BHI), moderate (BMI), or low (BLO) severity and a vineyard planted thirty years earlier in place of the forest from both under the foliage of vines (VI) and outside it (VO). All soil samples were air-dried and sieved to obtain four aggregate size fractions (8-2, 2-1, 1-0.25 and <0.25 mm in diameter). The SOC was determined in all fractions. Then, each aggregate size fraction was incubated at 70% water holding capacity in temperature cycles from 5 to 35 °C, with an interval of 5 °C, then the basal soil respiration was measured at each temperature point after 2 days incubation. Then, the amount of SDR index in each aggregate size fractions was obtained from the slope of the equation of the amount of CO<sub>2</sub> emitted against the corresponding temperature in each temperature cycle.

**Results:** The results of this study showed that cultivation and fire, especially its severe type, cause significant damage to large aggregates and increase the fine aggregates. So that, the highest and lowest amounts of coarse aggregates (2-8 mm) were obtained in FI (61.6%) and VI (11.1%) treatments, respectively. Whereas, the highest and lowest amounts of fine aggregates (< 0.25 mm) were obtained in VI (12.4%) and FI (5.7%) treatments, respectively. The results also showed that in all the studied treatments, the amount of SOC increased with decreasing of the soil aggregates size. Furthermore, in compared to the virgin forest, cultivation in the vineyard resulted in a significant reduction in SOC, while no changes in this parameter were observed in the fire treatments. The results also showed that in all the studied treatments, the amount of SDR index increased with decreasing of the soil aggregates size and this index followed the trend: FI (7.2) > BHI (5.4) > FO (5.2) > BMI (4.7) > BLO (2.9) > VI (1.4) > VO (0.4).

\* Corresponding Author; Email: z.sharifi@uok.ac.ir

**Conclusion:** Overall, the effect of 30 years of land use change in the destruction of soil aggregates is more than one fire even of its severe type, but the effect of a fire once in the destruction of soil aggregates is much greater. The results also showed that the SDR in soils that are rich in organic matter (FI and BHI) could be more vulnerable to warming and intensify global warming more strongly than arable lands (VI and VO).

**Keywords:** Aggregates, Land use changes, Organic carbon decomposition rate, Wildfire