نشانه‌های آتش‌سوزی بر ریخت‌های گوناگون کربن آلی در خاک یک چراگاه در همدان

علی اکبر صفری سنجانی[1]، مونا فرجی، محسن نایل و محسن شکل آبادی

استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا؛ aa-safari@basu.ac.ir

دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا؛ mona_faraji_mf@yahoo.com

استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا؛ moh_nael@yahoo.com

دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا؛ mohsen.sheklabadi@yahoo.com

دریافت: 98/9/20 پذیرش: 99/2/15

چکیده

این پژوهش با هدف شناخت دگرگونی بخش‌های گوناگون کربن آلی در خاک چراگاه‌های سوخته و نسوخته انجام شد. جایگاه نمونه‌برداری شده یک بالاپی (توپوسکوئنس) در چراگاهی در دامنه الوند و در نزدیکی روستای حیدره همدان بود که در ماه مهر سال 94 دچار آتش‌سوزی با شدت کم شده بود. نمونه‌های خاک از دو بخش سوخته و نسوخته، در دو فصل: پاییز (آذر 1394؛ دو ماه پس از آتش‌سوزی) و بهار (خرداد 1395؛ نه ماه پس از آتش‌سوزی)، از 3 جایگاه: بالا، پایین و میان تپه، از 2 جای: زیرسایه‌انداز بوته و میان بوته‌ها، از دو لایه: 0 تا 5 و 5 تا 10 سانتی‌متری و در 3 تکرار گردآوری شد. از هر جایگاه سوخته و نسوخته نمونه‌های لاشبرگ رویه خاک نیز در چهارگوشی به اندازه 30×30 سانتی‌متر مربع در 3 تکرار گردآوری شد. همه کربن آلی، مواد آلی بخش سبک، کربن آلی زیست‌توده، کربن آلی محلول در آب سرد و گرم اندازه‌گیری شد. داده‌های بدست آمده برای هر ویژگی در لایه رویین و زیرین در هر زمان نمونه‌برداری (بهار و پاییز) به گونه چهار آزمایش جداگانه در چارچوب کرت‌های دوبار خرد شده آنالیز آماری شد. برای هر آزمایش جایگاه نمونه‌برداری در طول شیب (بالا، میان و پایین تپه) کرت اصلی، سوختن (سوخته و نسوخته) کرت فرعی و جدایش از گیاه (سایه‌انداز و دور از گیاه) کرت فرعی-فرعی بود. تنفس خاک و ریخت‌های گوناگون کربن آلی در لایه رویین خاک بیشتر از لایه زیرین و در بخش سایه‌انداز بیشتر از بخش دورتر از گیاه بودند. روهمرفته در دو لایه خاک سوخته همه کربن آلی خاک 42%، بخش سبک مواد آلی 41% و کربن زیست‌توده 52% بیشتر از آنها در خاک نسوخته بود. در برابر، کربن آلی محلول در آب سرد 61%، کربن آلی محلول در آب گرم 52% و تنفس پایه خاک 48% در خاک‌های سوخته کمتر از خاک‌های نسوخته بود. اگر چه لاشبرگ در پاییز بر رویه خاک‌های سوخته 50 درسد کمتر از خاک‌های نسوخته بود ولی در بهار در خاک‌های سوخته 4/5 برابر و در خاک‌های نسوخته 2 برابر افزایش یافت. این پژوهش نشان داد که آتش‌سوزی و سوزاندن پوشش گیاهی با رهاسازی زغال زیستی آنها در چراگاه-ها می‌تواند مایه بهبود کربن اندوزی در خاک شود.

واژه‌های کلیدی: بخش‌بندی کربن آلی،تنفس پایه، زغال زیستی،سایه‌انداز گیاه، کربن اندوزی

---

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی

مقدمه

گرما، اکسیژن و سوخت برای آغاز آتش‌سوزی نیاز هستند. گرمایاآتش‌سوزی از آذرخش می‌تواند پدید آید و یا می‌تواند مردم-زادباشد، مانند آتش زدن بابرنامه یا آتش زدن بی‌برنامه و بختانه با هر چیزی چون شیشه‌ها که در زیستگاه انداخته شود. آتش‌سوزی دربوم‌سازه‌های جنگل، گوَن‌زار[1] و چمن‌زار[2] (چراگاه ها) پدیدهای به هنجار می‌تواند باشد که در نگه‌داری بیشتر بوم‌سازه‌ها مانند چراگاه‌ها و ساواناها[3]کارایی دارد. هجوم و چیره شدن گونه‌های وابسته به آتش یا پایدار به آتش پس از آتش‌سوزی در بیشتر بوم‌سازه‌ها، نشان‌دهنده‌ی کارکرد ویژه و یک‌پارچه‌ی آتش در پیایی جانداران در این بوم-سازه‌ها است (سردا و روبیچاود، 2009). نزدیک 95 درسد آتش‌سوزی در جنگل‌ها و چراگاه‌ها مردم‌زاد هستند که نزدیک 15 درسد آن خواسته و 85 درسد آن ناخواسته می‌باشد. آمار سال 93 و 94 نشان می‌دهد که شمار رخ-دادن آتش‌سوزی در جنگل‌ها و چراگاه‌ها دو درسد افزایش داشته است ولی بزرگی پهنه سوخته شده 6 درسد کاهش داشته است (آمیتاوا و همکاران، 2017).

کربن اندوزی[4] و اندازه مواد آلی انباشته شده در خاک افزون بر پنج فاکتور خاکسازی و ویژگی‌های خاک، به روش‌های کشاورزی (شیوه کشت، خاک ورزی، و کوددهی) و آتش‌سوزی بستگی دارد (صفری سنجانی 1394). کربن در خاک به ریخت‌های گوناگونی است که پاسخ‌دهی هر ریخت به دگرش ویژگی‌های یاد شده بسته به جایگاه آن در خاک و پیوندش به کانی‌ها و همچنین سرشت آن ناهمانند است. پاسخ دهنده‌ترین بخش مانده-های گیاهی و لاشبرگ‌های روی خاک است. همچنین بخش سبک کربن آلی (کربن آلی دانه ای آزاد (FPOM[5]) و کربن آلی محلول در آب گرم و سرد نیز از بخش‌های واکنش‌دهنده هستند (صفری سنجانی و افضل پور 1393). نگهداری کربن آلی در خاک بستگی به بافت خاک و رس‌های آن دارد. هر چه بافت خاک ریزتر و رس‌های اسمکتیتی در آنها فراوانتر باشد توان اندوزش کربن در خاک بیشتر است (فتحی گردلیدانی و رحیم‌زاده، 1395؛ صفری سنجانی و طاهری قهریزجانی، 1396؛ کوبل و کوگل-کنابنر، 2004).

آتش می‌تواند پوشش گیاهی زنده و مواد آلی نازنده که در گام‌های گوناگون فروزینگی در رویه خاک یا لایه بالایی خاک هستند را بسوزاند، به دوده دگرگون کند، و یا همگی آن را از میان ببرد (سرتینی، 2005). آتش‌سوزی می‌تواند پیامدهای زیان‌بار بر ماده آلی و درپی آن بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک داشته باشد. در آتش‌سوزی، پوشش گیاهی و لایه لاش‌برگ می‌سوزد و از میان می‌روند و با سوختن مواد آلی و گرم شدن خاک رویین، ماده آلی خاک نیز کاهش می‌یابد و اندوخته‌ی کربن آلی کم می‌شود. کاهش اندوخته‌ی کربن آلی خاک با دگرگونی و نشان بر ساختمان، بخت فرسایش‌پذیری را افزایش می‌دهد (ابراهیمی محمدی و همکاران، 1394). از دیگر سو، آتش‌سوزی پوشش گیاهی مایه فرورفتن خاکستر در خاک، بسته شدن سوراخ‌ها و افزایش ویژگی آب‌گریزی شده و در پی آن فروروی آب به خاک کاهش می‌یابد (دبانو، 2000). گزارش‌هایی بسیاری به ویژه از بومسازهای جنگلی شده است که اندوخته کربن آلی خاک در پی آتش‌سوزیبه اندازه چشم‌گیری کاهش یافته است (گنزالس پرز و همکاران،2004). همچنین نقی‌پور برجو فرخ‌نیا (1395) با بررسی نشانه آتش بر کربن اندوزی در نیمه استپ‌های زاگرس میانی گزارش کردند که آتش‌سوزی مایه کاهش کربن اندوزی و اندوخته کربن آلی خاک شده است.

در برابر این گزارش‌ها، پژوهش‌های بسیاری نشان داده است که آتش‌سوزی بویژه در چراگاه‌ها مایه افزایش کربن آلی خاک می‌شود (غلامی و همکاران، 1393؛ داودی و همکاران، 1395؛ محمودی و بوستانی، 1396). گزارش شده است که پس از آتش‌سوزی در چراگاه‌های شهرستان داراب به گونه چشم‌گیریاندازه مواد آلی، گنجایش تبادل کاتیونی، شوری خاک افزایش و اندازه کربنات کلسیم معادل و پی-اچ خاک کاهش داشته است. همچنین اندازه نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منگنز و روی فراهم خاک پس از آتش‌سوزی به گونه چشم‌گیری افزایش داشته است (محمودی و بوستانی، 1396). گفته شده که در چند سال آغازین پس از آتش‌سوزی، فراوانی گونه‌های گیاهی چوبی کاهش و گیاهان خوش‌خوراک چراگاهی افزایش می‌یابند که این پدیده برای دامداران خوب است. جگروند (1394) سودمند بودن آتش‌سوزی در چراگاه‌ها نیمه استپی نهاوند در استان همدان را وابسته به همین پدیده یادآور شده است.

پهنه زمین‌های استان همدان 905000 هکتار است که 822000 هکتار آن چراگاه، 42566 هکتار جنگل طبیعی و جنگل‌کاری‌های دست کاشت و 26372 هکتار نیز زمین

---

1. Scrubland
2. Grassland
3. Savannahs
4. Carbon sequestration
5. Free particulate organic matter

شور بیابانی و بدون پوشش است. سوزاندن کاه و کلش پس از برداشت گیاه را برخی از کشاورزان انجام می‌دهند که افزون بر آسیب رساندن به خاک و آلوده کردن هوا، بخت گسترش آتش به دیگر زیستگاه‌های چراگاه‌ها و جنگل‌ها را افزایش می‌دهد. کربن آلی در خاک به ریخت‌های گوناگونی است و هر یک از ریخت‌های آن پاسخ ویژه‌ای به آتش‌سوزی پوشش گیاهی می‌دهد (صفری سنجانی، 1394). به هر گونه، شمار پژوهش‌ها بر دگرگونی ریخت‌های گوناگون کربن آلی درخاک پس از آتش‌سوزی بسیار اندک است. آتش‌سوزی‌هایی که در چراگاه‌ها پیرامون شهر همدان هر ساله رخ می‌دهد که افزون بر آسیب‌های سهمگینی که بر خاک و بوم‌سازه دارد، چشم‌انداز پیرامون شهر را نیز زشت می‌کند. هدف از این پژوهش، بررسی پیامد آتش‌سوزی بر برخی از ریخت‌های واکنش‌دهنده کربن آلی خاک در یک زمین چشم‌انداز تپه در روستای حیدره در غرب شهر همدان است. شناختی که از این پژوهش‌ها بدست می‌آید، می‌تواند در بهره‌گیری درست از چراگاه‌ها و مهار رها شدن گازهای گلخانه‌ای با کربن‌اندوزی در خاک سودمند باشد.

مواد و روش‌ها

جایگاه نمونه‌برداری

روستای حیدره در 5/2 کیلومتری بخش باختری شهر همدان در میان دره‌ی عباس آباد و دره‌ی گسترده و پهنی به نام فخرآباد است. جایگاه پژوهش و نمونه‌برداریاز خاک چراگاه دامنه الوند در نزدیکی روستای حیدره همدان بود که در شهریور سال 94 دچار آتش‌سوزی شده بود. جایگاه نمونه‌برداری یک بالاپی (توپوسکوئنس) تپه ای بود که بیش از نیمی از آن دچار آتش‌سوزی شده بود. جایگاه این بالاپی در′48 °34 شمالی و′27 °48 شرقی تا ′26 °48 شرقی و ′48 °34 شمالی با میانگین بلندی از رویه دریای 2016 متر است.

نمونه‌برداری در راستایی که شیب آن رو به شمال شرقی بود، انجام شد. این بالاپی برای آن گزینش شد که از بالا تا پایین شیب آن آتش‌سوزی رخ داده بود و نیمی از تپه سوخته و نیمه دیگر نسوخته بود. بنابراین جایگاه سوخته و نسوخته در کنار هم بودند و جایگاهی ویژه برای بررسی پیامد آتش‌سوزی و در برابر بخش نسوخته فراهم کرده بود (فرتور 1).

فرتور 1- نمایی از بالاپی و جایگاه‌های نمونه‌برداری که در آن زمین‌های سوخته و نسوخته در یک شیب و در کنار هم با مرزی آشکار نمایان است.

نمونه‌برداری از خاک در دو فصل پاییز (در آغاز آذرماه 1394؛ سه ماه پس از آتش‌سوزی) و بهار (نیمه خردادماه 1395؛ نه ماه پس از آتش‌سوزی) انجام شد. برای بررسی پیامد شیب روی بخش‌های کربن آلی، بالاپی (توپوسکوئنس) به 3 بخش (جایگاه) شد. از دیدگاه زمین شناسی مواد مادری و سنگ‌های تیره این سرزمین از هورنفلس[1]ها یا سنگ‌های دگرگونی مجاورتی است که در آن کانی‌های کوردیریت، گارنت، آندالوزیت، گارنت-شیست با کمی بیوتیت و کوارتز یافت می‌شود (ایزدی کیان و همکاران، 1393؛ سپاهی‌گرو و همکاران، 1393؛ طالع‌فاضل و یوسفی، 1397) و همان‌گونه که در فرتور 1 نمایان است، مواد مادری خاک این جایگاه‌ها یکسان و همانند هم است. جایگاه یکم- بالادست شیب با بیشترین بلندی، جایگاه دوم- میانه شیب با بلندی میانه و جایگاه سوم- پایین دست شیب با کمترین بلندی که خاک از دو بخش، یکی زیر سایه‌انداز بوته گیاهی (بخشی که زیر پوشش تاج گوَن‌های چند ساله بود) و دوم در میان بوته‌ها (که بدون پوشش گیاهی بود و یا زیر پوشش گراس‌های

[1] Hornfels

یک ساله بود)، از دو لایه 0 تا 5 و 5 تا 10 سانتی‌متر خاک در 3 تکرار نمونه‌برداری شد. به‌گونه‌ای که 72 نمونه خاک در پاییز و 72 نمونه‌ی دیگر در فصل بهار گردآوری گردید. از هر جایگاه سوخته و نسوخته نمونه‌های لاشبرگ رویین خاک نیز بنام بخش لاشبرگ یا Litter به کمک چهارگوشی به بزرگی 30*30 سانتی‌متر مربع در 3 تکرار گرد آوری شد. به‌گونه‌ای که 18 نمونه‌ی لاشبرگ در پاییز (از سه جایگاه با پوشش گیاهی سوخته و نسوخته در سه تکرار) و 18 نمونه در فصل بهار گردآوری شد. نمونه‌ها هواخشک شدند و برای انجام آزمایش‌های شیمیایی از الک 2 میلیمتر گذرانده شدند. دانه بندی و بافت خاک‌های نمونه‌برداری شده در جدول 1 آورده شده است. همانگونه که دیده می‌شود در جایگاه 1 و 2 بافت خاک لوم شنی بوده ولی هر دو لایه جایگاه سوم که پایین دست تر است، دانه بندی خاک رس بیشتری داشته و بافت خاک لومی است.

جدول 1- دانه بندی و بافت خاک‌های نمونه‌برداری شده

جایگاه نمونه‌برداری	لایه خاک (سانتی‌متر)	شن %	لای %	رس %	بافت خاک
یکم- بالا تپه	5-0	54/17	31/25	14/58	Sandy Loam
	10-5	52/08	31/25	16/67	Sandy Loam
دوم- میان تپه	5-0	53/19	28/06	18/75	Sandy Loam
	10-5	43/75	41/67	14/58	Sandy Loam
سوم- پایین تپه	5-0	51/06	21/85	27/08	Loam
	10-5	48/94	19/81	31/25	Loam

بخش‌بندی و اندازه‌گیری کربن آلی خاک

همه کربن آلی خاک (TOC) و بخش های گوناگون کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (والکی و بلک، 1934) اندازه‌گیری شدند. نمونه‌های لاشبرگ پس از هوا خشک شدن، وزن شده و به دانه‌های ریزتر خرد شدند. سپس برای 48 ساعت در آون در دمای 120 درجه سلسیوس، آون خشک شدند. 5 گرم از آنها برای 24 ساعت در دمای 420 درجه‌ی سلسیوس در کوره الکتریکی گذاشته تا همه لاشبرگ بسوزد و به خاکستر دگرگون شود. وزن خاکستر از 5 گرم وزن آون خشک لاشبرگ کم شد و اندازه‌ی ماده آلی این بخش بدست آمد. در پایان اندازه‌ی مواد آلی بخش لاشبرگ بر پایه کیلوگرم در هکتار برآورد و گزارش گردید (نلسون و سامرز، 1996)

برای جداسازی بخش سبک مواد آلی خاک که بسیار پاسخ‌دهنده‌تر از بخش سنگین است، از روش بهبود یافته استریکلند و سولینز (1987) و کامپتان و بون (2000) بهره گیری گردید که در آن از نمک یدید سدیم (NaI) با چگالی 1/3 گرم بر سانتی متر مکعب برای ساخت محلول چگال بهره‌گیری شد (صفری سنجانی، 1394). در این روش 20 میلی‌لیتر از محلول یدید سدیم به 10 گرم خاک افزوده می‌شود، نمونه‌ها با دست تکان داده شده و سپس سانتریفیوژ می‌شوند و مواد شناور در محلول (با چگالی کمتر از 1/3 گرم برسانتی متر مکعب) با یک کاغذ پالایه شیشه‌ای جدا می‌شوند. این کار برای چندبار تکرار شد و مواد روی کاغذ پاله بخش سبک ماده آلی است که با آب مقطر چندین بار شسته شده و سپس در آون در دمای 50 درجه سانتی گراد خشک شد. پس از وزن کردن، ماده آلی آن بر پایه گرم برکیلوگرم خاک گزارش شد.

برای جداسازی بخش کربن آلی محلول در آب سرد و گرم از سوسپانسیون 5 به 1 آبه خاک و 30 دقیقه تکان دادن بهره‌گیری شد. سپس 20 دقیقه سانتریفوژ شده (4000 دور در دقیقه) و از پاله شیشه‌ای (شسته شده با آب مقطر سرد)، گذرانده شد و کربن آلی عصاره (کربن آلی محلول در آب سرد) به روش اکسیداسیون تر یا اکسیداسیون با دی‌کرومات پتاسیم در اسید سولفوریک اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری کربن آلی محلول در آب گرم، به خاک در ته لوله‌ی سانتریفوژ از گام پیشین 25 میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و برای 16 ساعت در گرمابه (بن ماری) با دمای 80 درجه سلسیوس گذاشته شد، سپس مانند پیش سانتریفوژ و از پاله شیشه‌ای گذرانده شد و کربن آلی عصاره (کربن آلی محلول در آب گرم) به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد (گریگوریچ و همکاران، 2003).

تنفس پایه و تنفس برانگیخته خاک به روش دام‌اندازی دی‌اکسید کربن پدید آمده از خاک در محلول هیدروکسید سدیم و سپس تیتراسیون هیدروکسید سدیم مانده (صفری سنجانی و همکاران، 1389) اندازه‌گیری شد و کربن

زیست‌توده با اندازه‌گیری تنفس برانگیخته و به کمک فرمول زیر برآورد شد (اندرسون و دامش، 1978).

$MBC^{1} = 40.04\ SIR^{2} + 0.37$

که در آن MBC کربن آلی زیست‌توده خاک (میلی‌گرم کربن آلی در 100 گرم خاک خشک) و SIR تنفس برانگیخته خاک (میلی‌لیتر دی‌اکسید کربن آلی در ساعت در 100 گرم خاک خشک) می‌باشد.

نتایج و بحث

بررسی پیامد جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایی از گیاه بر کربن آلی خاک و بخش‌های آن

پیامد جایگاه نمونه‌برداری و سوختن بر بخش لاشبرگ

لاشبرگ‌ها از رویه خاک گردآوری می‌شوند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در پاییز، تنها سوختن پیامد چشم‌گیر بر اندازه لاشبرگ رویه خاک داشت ولی در بهار سوختن و جایگاه نمونه‌برداری هر دو پیامد چشم‌گیری بر این بخش از مواد آلی خاک داشتند (P<0/01). با نگاه به آزمون میانگین‌های بخش لاشبرگ دیده شد که در پاییز، تیمار نسوخته با 1174/2 کیلوگرم در هکتار بیش‌تر و در تیمار سوخته با 662/3 کیلوگرم در هکتار کمتر است و ناهمانندی آماری آن دو باهم چشم‌گیر بود. آتش‌سوزی در رویه خاک نزدیک نیمی از (50 درصد) لاشبرگ ریخته شده در رویه خاک را از میان برده است (جدول 2). این یافته در نمونه‌برداری بهار وارونه بود. اندازه لاشبرگ در فصل بهار در خاک‌های سوخته 2774/3 کیلوگرم در هکتار و در خاک‌های نسوخته 2524/3 کیلوگرم در هکتار بود که باهم از دید آمار ناهمانندی چشم‌گیری داشتند (جدول 2). زمان آتش سوزی و خشک نبودن گیاهان در چراگاه‌ها بر شدت آتش پیامد چشم‌گیری دارد. شدت آتش‌سوزی در پاییز کم و به گونه‌ای بود که لاشبرگ‌های خشک سوخته و برگ‌های تر گیاهان به گونه نیم سوخته یا زغالی بر خاک افتاده و خرد ریز شده و بخشی از مواد آلی خاک بویژه در لایه رویین (0-5 سانتی متر) شده است.

اندازه لاشبرگ در هنگام نمونه‌برداری در پایان فصل بهار در خاک سوخته نزدیک 4/5 برابر و در خاک نسوخته نزدیک 2 برابر شده بود که نشان از رشد خوب گیاهان علفی در خاک چراگاه سوخته دارد. این گونه گیاهان در خاک سوخته شده که دارای عناصر غذایی رهاشده در پی سوختن هستند (داودی و همکاران، 1395)، به تندی رشد نموده و روی خاک را می‌پوشانند. این گیاهان دوره رشد کوتاهی داشته و در پایان فصل بهار (زمان نمونه‌برداری در این پژوهش) لاشبرگ فراوانی را پدید آورده اند. دیده شد که در فصل بهار در پایین تپه اندازه لاشبرگ با 2910/9 کیلوگرم در هکتار بیشترین و در بالای تپه با 2498/6 کیلوگرم در هکتار کمترین اندازه بود که با هم ناهمانندی چشم‌گیری از دیدگاه آماری داشتند (P<0/05) (شکل 1).

پژوهش‌گران بسیاری مانند سرتینی (2005) کاهش اندازه مواد آلی و ستبری لایه لاشبرگ روی خاک در پی آتش‌سوزی را گزارش کرده‌اند که این خود مایه کاهش چشم‌گیر شمار جانوران خاک (آرتروپودا) نیز شده است. یافته این پژوهش با آنها هم‌سو است و آتش در پاییز مایه کاهش چشم‌گیر لاشبرگ‌ها شده است ولی در بهار پیامد این رخداد از میان رفته و لاشبرگ در خاک‌های سوخته به اندازه چشم‌گیری افزایش یافته است.

پیامد جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایی از گیاه بر همه کربن آلی خاک

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که پیامد جایگاه نمونه‌برداری (در پایه آماری 0/05)، سوختن و جدایش از گیاه (در پایه آماری 0/01) در هر دو زمان و هر دو لایه نمونه‌برداری پیامد چشم‌گیری بر همه کربن آلی خاک داشتند. پیامد برهمکنش‌های دوگانه و سه گانه (جایگاه نمونه‌برداری در سوختن در جدایش از گیاه) بر همه کربن آلی خاک در آزمایش هر دو لایه خاک در فصل بهار پیامد چشم‌گیر داشت (P< 0/01). ولی پیامد برهمکنش‌های سه گانه بر همه کربن آلی خاک در فصل پاییز از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود (P> 0/05).

در بررسی و آزمون کربن آلی لایه رویین خاک در پاییز، دیده شد که جایگاه پایین تپه-سوخته، بیشترین اندازه کربن آلی را داشت و ناهمانندی آن با دیگر جایگاه-های تپه چشم‌گیر بود (جدول 3). ولی در همه جایگاه‌ها اندازه همه کربن آلی در تیمارهای سوخته با نسوخته ناهمانندی چشم‌گیری نداشت.

کمترین اندازه همه کربن آلی در پاییز در لایه رویین، در جایگاه بالای تپه نسوخته بود که آن نیز با دیگر جایگاه‌ها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر نداشت. روهمرفته در لایه رویین خاک در پاییز اندازه همه کربن آلی از بالا به پایین تپه افزایش یافته و در خاک سوخته بسیار بیشتر از نسوخته بود. به گونه‌ای که بیشترین اندازه همه کربن آلی در تیمار پایین تپه-سوخته با 30 گرم کربن بر کیلوگرم خاک و کمترین آن در بالای تپه-نسوخته با 13/13 گرم کربن بر کیلوگرم خاک بدست آمد.

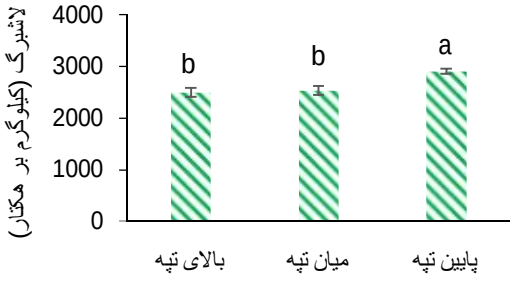
---

1. Microbial biomass carbon
2. Substrate induced respiration

جدول 2- آزمون میانگین لاشبرگ خاک (کیلوگرم در هکتار) در دو فصل پاییز و بهار در بخش‌های سوخته و نسوخته به روش دانکن

زمان نمونه برداری	پاییز		بهار	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
سوخته	662/3b	163/2	2774/3a	171/4
نسوخته	1174/2a	80/3	2524/3b	238/2

بودن دست کم یک واژ یکسان در هر ستون نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است (P<0/05).



شکل 1- آزمون میانگین لاشبرگ خاک در فصل بهار در جایگاه‌های نمونه‌برداری به روش دانکن. بودن حرف یکسان در بالای ستون‌ها نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است (P<0/05). نوارهای خطا (ErrorBars) انحراف معیار می باشند.

در پاییز لایه زیرین نیز جایگاه پایین تپه- سوخته، بیشترین اندازه کربن آلی را داشت و ناهمانندی آن با دیگر جایگاه‌ها، چشم‌گیر نبود، ولی در جایگاه‌های نسوخته بیشترین اندازه همه کربن آلی را جایگاه پایین تپه داشت و ناهمانندی آن با دیگر جایگاه‌های نسوخته، چشم‌گیر بود. کمترین اندازه همه کربن آلی خاک در لایه زیرین پاییز در تیمار میان تپه-نسوخته دیده شد و با همه تیمارهای دیگر گذشته از جایگاه بالای تپه-نسوخته از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر داشت. روهمرفته، در پاییز لایه زیرین اندازه همه کربن آلی کمتر از لایه رویین بود و این ناهمانندی در خاک های نسوخته بزرگ تر بود (جدول 3). روهمرفته بیشترین اندازه همه کربن آلی در تیمار پایین تپه-سوخته با 14/01 گرم کربن بر کیلوگرم خاک و کمترین آن در میان تپه-نسوخته با 5/27 گرم کربن بر کیلوگرم خاک بدست آمد.

جدول 3- آزمون میانگین همه کربن آلی (گرم بر کیلوگرم خاک) در پاییز در لایه رویین و زیرین خاک در جایگاه‌های نمونه‌برداری سوخته و نسوخته به روش دانکن

جایگاه نمونه برداری	پاییز لایه رویین		پاییز لایه زیرین	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
بالای تپه-سوخته	26/29 ab	9/75	13/91 a	2/65
میان تپه-سوخته	26/03 ab	11/25	12/74 a	3/01
پایین تپه-سوخته	30/00 a	11/07	14/01 a	3/94
بالای تپه-نسوخته	13/13 b	9/23	6/70 b	2/74
میان تپه-نسوخته	16/38 ab	10/72	5/27 b	0/95
پایین تپه-نسوخته	21/32 ab	10/43	11/83 a	1/67

بودن دست کم یک واژ یکسان در هر ستون نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است (P<0/05).

از سوی دیگر آزمون میانگین همه کربن آلی خاک در برهمکنش جایگاه نمونه‌برداری و جدایش از گیاه (جدول 4) نشان داد که در پاییز در لایه رویین همه کربن آلی خاک در جایگاه پایین تپه-بخش سایه انداز گیاه بیشترین بود ولی ناهمانندی آن با دیگر جایگاه‌های تپه چشم‌گیر نبود. همه کربن آلی در همه جایگاه‌ها، در بخش سایه انداز گیاه به اندازه چشم‌گیری بیشتر از خاک دور از گیاه بود. کمترین اندازه همه کربن آلی در پاییز در لایه رویین،

در خاک بالای تپه و بخش دور از گیاه بود که آن نیز با دیگر جایگاه‌ها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر نداشت. روهمرفته، همه کربن آلی خاک در پاییز در لایه رویین از بالا به پایین تپه افزایش و در بخش سایه‌انداز بسیار بیشتر از خاک دورتر از گیاه هر جایگاه بود (جدول 4). بیشترین اندازه همه کربن آلی در تیمار پایین تپه-نزدیک گیاه با 34/52 گرم کربن بر کیلوگرم خاک و کمترین آن در بالای تپه-دور از گیاه با 11/21 گرم کربن بر کیلوگرم خاک بدست آمد.

جدول 4- آزمون میانگین همه کربن آلی (گرم بر کیلوگرم خاک) در پاییز در لایه رویین و زیرین خاک در جایگاه‌های نمونه‌برداری نزدیک و دور از گیاه به روش دانکن.

جایگاه نمونه برداری	پاییز لایه رویین		پاییز لایه زیرین	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
بالای تپه-نزدیک گیاه	28/21 a	7/79	12/41 ab	3/97
میان تپه-نزدیک گیاه	30/81 a	6/45	10/14 ab	5/25
پایین تپه-نزدیک گیاه	34/52 a	4/72	14/17 a	2/93
بالای تپه-دور از گیاه	11/21 b	7/08	8/19 b	4/40
میان تپه-دور از گیاه	11/60 b	5/86	7/86 b	3/58
پایین تپه-دور از گیاه	16/80 b	8/12	11/67 ab	2/98

بودن دست کم یک واژ یکسان در هر ستون نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است (P<0/05).

در پاییز لایه زیرین نیز جایگاه پایین تپه-سایه انداز گیاه، بیشترین اندازه همه کربن آلی را داشت ولی ناهمانندی کربن آلی آن با دیگر جایگاه‌ها گذشته از بالا و میان تپه-دور از گیاه، چشم‌گیر نبود. کمترین اندازه همه کربن آلیدر پاییز لایه زیرین، در تیمار میان تپه-دور از گیاه دیده شد که آن تنها با پایین تپه-سایه انداز گیاه از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر داشت. روهمرفته، همه کربن آلی خاک در لایه رویین و زیرین در بخش سایه‌انداز گیاه بیشترین بود (جدول 4) و بیشترین اندازه همه کربن آلی در تیمار پایین تپه-نزدیک گیاه با 14/17 گرم کربن بر کیلوگرم خاک و کمترین آن در میان تپه-دور از گیاه با 7/86 گرم کربن بر کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شد.

در بهار و لایه رویین اندازه همه کربن آلی در جایگاه میان تپه با میانگین 19/79، بیش ترین و در بالای تپه با 11/44 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک) کمترین بود. اندازه این فراسنجه (پارامتر)در خاک‌های سوخته با 18/00 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک)، بیشتر از خاک‌های نسوخته با 15/95، و در بخش سایه‌انداز گیاه با 21/19 بسیار بیشتر از دور از گیاه با 12/76 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بود. در نمونه‌های برداشت شده از لایه زیرین در بهار، اندازه همه کربن آلی خاک در جایگاه پایین تپه با 8/84 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بیشترین و در بالای تپه با 5/95 کمترین بود. اندازه این فراسنجه در پاسخ به تیمار آتش‌سوزی ، روندی همانند با لایه رویین داشت و خاک‌های سوخته با میانگین 8/49(گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بسیار بیشتر از خاک‌های نسوخته با میانگین 6/65 بود. همچنین همه کربن آلی با میانگین 8/75 در بخش سایه‌انداز بیشتر از دور از گیاه با میانگین 6/39 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بود.

در جدول 5 آزمون میانگین همه کربن آلی در بهار در دو لایه رویین و زیرین خاک‌ها در برهم‌کنش سه گانه تیمارها (جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایش از گیاه) آورده شده است.در لایه رویین بیشترین اندازه همه کربن آلی خاک در جایگاه پایین تپه-سوخته-سایه‌انداز بود که با دیگر تیمارها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر داشت. کمترین اندازه همه کربن آلی خاک هم در جایگاه بالای تپه-سوخته-دور از گیاه بود که با خاک سایه‌انداز همین تیمار (s3b1d2) و میان تپه-نسوخته-دور از گیاه از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری نداشت (P<0/05). در لایه زیرین فصل بهار نیز بیشترین اندازه همه کربن آلی خاک در جایگاه پایین تپه-سوخته-سایه‌انداز بدست آمد (s3b1d1) که با تیمار میان تپه- سوخته-سایه‌انداز (s2b1d1) از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری نداشت. کمترین اندازه همه کربن آلی خاک در تیمار میان تپه-نسوخته-سایه‌انداز به دست آمد که با جایگاه بالای تپه-سوخته-سایه‌انداز از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری نداشت (P<0/05). روهمرفته همه کربن آلی خاک در بهار و لایه رویین در تیمار پایین تپه- سوخته- سایه‌انداز با 31/85 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بیش ترین، و در تیمار بالای تپه-سوخته-دور از گیاه با 6/50 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک) کمترین بود. در بهار و لایه زیرین بیشترین اندازه همه کربن آلی همانند لایه رویین، در تیمار

پایین تپه- سوخته- سایه‌انداز گیاه با 14/30 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بود و کمترین آن در تیمار میان تپه- نسوخته- سایه‌انداز گیاه با 4/16 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بدست آمد.

جدول 5- آزمون میانگین همه کربن آلی خاک (گرم بر کیلوگرم خاک) در بهار و بخش سبک مواد آلی (گرم بر کیلوگرم خاک) در پاییز و بهار در هر دو لایه خاک در برهم کنش سه گانه (جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایش از گیاه).

تیمارها	همه کربن آلی				مواد آلی بخش سبک							
	لایه رویین		لایه زیرین		پاییز-لایه رویین		پاییز-لایه زیرین		بهار-لایه رویین		بهار-لایه زیرین	
	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD
s1b1d1	7/9 g	0/596	5/2 ef	0/225	83/3 a	2/578	17/0 a	1/629	9/3 d	0/351	8/1 cd	0/781
s1b1d2	6/5 g	0/981	5/6 c-f	0/780	21/7 ef	1/115	16/8 a	0/265	9/2 d	0/379	7/4 de	0/306
s1b2d1	20/9 c	0/596	7/3 b-d	0/812	31/2 de	0/954	10/3 cd	0/802	30/9 a-c	7/258	9/7 c	0/513
s1b2d2	10/4 f	1/191	5/5 d-f	1/406	4/6 g	0/569	0/80 g	0/458	13/5 d	1/069	8/7 cd	0/300
s2b1d1	24/6 b	0/780	12/6 a	0/596	36/7 cd	1/836	13/8 b	3/716	38/9 a	1/531	13/2 b	2/639
s2b1d2	23/7 b	0/981	8/6 b	1/406	19/7 f	0/872	10/7 c	1/127	38/1 ab	2/359	12/1 b	1/054
s2b2d1	23/1 b	1/759	4/2 f	1/759	45/2 bc	4/571	6/1 f	0/569	23/9 c	5/552	5/6 e	0/702
s2b2d2	7/8 g	0/780	6/4 c-e	0/812	32/1 de	2/055	1/4 g	0/208	11/9 d	0/351	5/2 e	1/976
s3b1d1	31/8 a	0/596	14/3 a	0/981	55/1 b	2/173	8/4 c-f	0/458	38/7 a	3/460	18/8 a	1/332
s3b1d2	13/5 e	0/981	4/4 f	0/596	32/2 de	3/371	8/6 c-e	0/416	30/2 bc	1/375	9/8 c	0/850
s3b2d1	18/7 d	1/700	9/0 b	1/170	23/5 ef	1/002	7/5 ef	0/513	36/7 ab	9/544	9/8 c	0/907
s3b2d2	14/7 e	1/191	7/7 bc	0/812	12/7 fg	0/473	8/0 d-f	0/306	32/7 ab	4/727	9/2 cd	1/124

s- نشان‌دهنده‌ی جایگاه نمونه‌برداری (1، 2، 3، به ترتیب بالا، میان و پایین تپه)، b- سوختن (1 و 2 به ترتیب سوخته و نسوخته)، و d- جدایش از گیاه (1 و 2 به ترتیب سایه‌انداز و دور از گیاه) است. بودن دست کم یک واژ یکسان در کنار میانگین‌ها در هر لایه و هر فصل (جداگانه) نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است (P<0/05) و SD انحراف از معیار است (n=3).

این بخش از پژوهش نشان داد کهخاک‌های سوخته کربن آلی بیشتری در لایه‌های رویین و سایه‌انداز گیاه در پاییز داشتند و در لایه‌های رویین فصل بهار این افزایش کم‌تر شده بود. شاید تندی سوختگی بسیار پایین بوده و این دگرگونی پیامدی از افزوده شدن اندام هوایی نیم‌سوز شده بوته‌های گون به رویه‌ی خاک باشد. بررسی خاک در زمان نمونه‌برداری هم به این گمان کمک می‌کرد زیرا مانده‌های گیاهی سوخته شده رنگ سیاه داشتند و بیشتر بر رویه خاک انباشته شده بودند که این رنگ سیاه نشان از دمای پایین هنگام سوختن پوشش گیاهی دارد (سوتوودیاز-فیروس 1993).

ماده آلی یا کربن آلی خاک یکی از مهم‌ترین ویژگی-های آن است که بردگرگونی ویژگی‌های لایه رویین و زیرین خاک نشانه گذار است. بویژه فراوانی و کارکرد ریزجانداران و تغذیه گیاه به کربن آلی خاک وابسته است (صفری سنجانی، 1394). اندازه کربن آلی بکاررفته در آتش‌سوزی پیوند مستقیم با ساختمان خاک دارد و ساختمان خاک و خاکدانه‌ها کربن آلی خاک را از سوختن دور می‌کند. به هر روی گارسیا-کورونا و همکاران (2004) گزارش کردند که در آتش‌سوزی‌های زیر 220 درجه سلسیوس، ساختمان خاک پایدار می‌ماند و می‌تواند جلوی سوختن کربن آلی خاک را بگیرد. در این پژوهش کربن آلی خاک در لایه رویین بیشتر از زیرین بود که پیش‌بینی می‌شد ولی در پاییز و پس از آتش‌سوزی بیش از فصل بهار بود. از این گذشته در خاک‌های سوخته نیز بیشتر از خاک نسوخته بود. شاید آمیخته شدن مواد نیم سوز شده با خاک رویین در نمونه‌برداری و اکسید شدن آن در اندازه‌گیری مایه این افزایش در اندازه کربن آلی خاک‌های سوخته باشد. چرا که روش اندازه‌گیری کربن آلی با اکسیداسیون تر همه گونه‌های کربن آلی اکسید شدنی به دی‌کرومات را به دست می‌دهد. مونلئون و همکاران (1997) نیز دیدند که پس از زمان کوتاهی از سوختگی (4 ماه)، کربن آلی در لایه رویین خاک (0-5 سانتیمتر) بیشتر شد ولی پس از 5 ماه کربن آلی در این لایه کاهش یافت.

پیامد جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایی از گیاه بر بخش سبک مواد آلی خاک

تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری بخش سبک مواد آلی خاک نشان داد که پیامد جایگاه نمونه‌برداری در همه آزمایش‌ها گذشته از نمونه‌های پاییز- لایه رویین، پیامد سوختن در همه آزمایش‌ها گذشته از نمونه‌های بهار- لایه رویین و پیامد جدایش از گیاه در نمونه‌های هردو لایه در هر دو فصل بر این بخش از کربن آلی خاک چشم‌گیر است (P<0/01). در هر چهار آزمون، پیامد

بر هم‌کنش‌های دوگانه و سه گانه تیمارها بر بخش سبک مواد آلی خاک چشم‌گیر بود ($P<0/05$). ولی در نمونه‌های بهار-لایه رویین تنها پیامد برهم کنش جایگاه نمونه‌برداری در جدایش از گیاه بر این بخش از کربن آلی خاک چشم‌گیر نبود.

در جدول 5 آزمون میانگین بخش سبک مواد آلی خاک در نمونه‌های خاک دو لایه رویین و زیرین در پاییز و بهار در برهم‌کنش سه تایی تیمارها (جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایش از گیاه) آورده شده است. در پاییز لایه رویین میانگین اندازه مواد آلی بخش سبک در جایگاه بالای تپه با میانگین 34/94، بیش تر از پایین تپه با میانگین 30/86 (گرم بر کیلوگرم خاک) بود. اندازه این فراسنجه در خاک‌های سوخته با میانگین 41/26 (گرم بر کیلوگرم خاک)، بسیار بیشتر از خاک‌های نسوخته با میانیگن 24/88 بوده و در بخش سایه‌انداز گیاه با میانگین 45/66 بسیار بیشتر از دور از گیاه با میانگین 20/48 (گرم بر کیلوگرم خاک) بود.

در نمونه‌های برداشت شده از لایه زیرین در پاییز نیز، میانگین اندازه بخش سبک مواد آلی خاک در جایگاه بالای تپه (11/22 گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بیشترین و در میان تپه (8/02) کمترین بود. اندازه این فراسنجه در پاسخ به تیمار آتش‌سوزی، روندی همانند با لایه رویین داشت و مواد آلی بخش سبک خاک‌های سوخته با میانگین 12/56(گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بسیار بیشتر از خاک‌های نسوخته با میانگین 5/68 بود. در لایه زیرین هم تیمار دوری از گیاه پیامدی همانند با لایه رویین داشت و بخش سبک مواد آلی آن با میانگین 10/52 در سایه‌انداز بیشتر از دور از گیاه با 7/72 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بود.

در نمونه‌های هر دو لایه در پاییز بیشترین اندازه مواد آلی بخش سبک در جایگاه بالای تپه-سوخته-سایه‌انداز بدست آمد که در نمونه‌های لایه رویین بسیار فراوان بود و با دیگر تیمارها از دیدگاه آماری در پایه 5 درسد ناهمانندی چشم‌گیر داشت. مواد آلی بخش سبک در خاک لایه زیرین نیز در جایگاه بالای تپه-سوخته- سایه‌انداز بیشتر بود که با همه تیمارها (گذشته از آن در خاک بالای تپه-سوخته-دور از گیاه) ناهمانندی چشم‌گیری داشت. بنابراین خاک بالای تپه سوخته در پاییز کربن آلی سبک بیشتری داشته است. در برابر آن کمترین اندازه این فراسنجه در هر دو لایه در پاییز در جایگاه بالای تپه-نسوخته- دور از گیاه بدست آمد که با آن در دیگر خاک‌ها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری داشت ($P<0/05$).

در نمونه‌های بهار لایه رویین خاک، بیشترین و کمترین اندازه مواد آلی بخش سبک به ترتیب (38/9 و 9/2 گرم در کیلوگرم)در تیمار میان تپه-سوخته-سایه‌انداز و بالای تپه-سوخته-دور از گیاه بود که هر دو (گذشته از همدیگر)، با بیشتر تیمارها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری داشتند. بنابراین پیامد پوشش گیاهی بر بخش سبک کربن آلی در بهار نمایان شده است. در نمونه‌های خاک لایه زیرین فصل بهار بیشترین اندازه این فراسنجه در جایگاه پایین تپه- سوخته-سایه‌انداز بود (18/8 گرم در کیلوگرم) که با دیگر تیمارها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری داشت. کمترین اندازه آن نیز در تیمار میان تپه-نسوخته-دور از گیاه به دست آمد (5/2 گرم در کیلوگرم). در این لایه نیز پیامد سودمند سوختن بر رشد گیاه و سپس افزایش بخش سبک نمایان شده است.

بیشتر بودن بخش سبک کربن آلی در نمونه‌های خاک در تیمار سوخته بویژه در بخش سایه‌انداز گیاه نشان از پیامد بد سوختگی بر پوشش گیاهی رویه خاک دارد که مایه افزایش زغال در بخش سبک در خاک شده است. زغال چوب، دوده و کربن آلی سیاه، سه ماده کربنه‌ی سیاه رنگ هستند که از سوختن نادرست مواد آلی پدید می‌آیند (کوهلبوش، 1998). سوختن نادرست و ریزش زغال زیستی پدید آمده در بخش سایه‌انداز گیاه مایه افزایش این بخش در خاک می‌شود که بهبود ویژگی‌های خاک را در پی خواهد داشت. ولی دایی و همکاران (2005) در پژوهش بر روی آتش‌سوزی با چهار تندی گوناگون در منطقه معتدله با پوشش ساوانا-گراس ناهمانندی چشم-گیری میان کربن آلی سیاه در خاک‌های سوخته و نسوخته پیدا نکردند.

پیامد جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایی از گیاه بر کربن آلی محلول در آب سرد خاک

پیامد جایگاه نمونه‌برداری و برهم‌کنش جایگاه در سوختن بر کربن الی محلول در آب سرد در نمونه‌های خاک لایه رویین- پاییز و لایه زیرین- بهار چشم‌گیر بود و پیامد سوختن بر این بخش از کربن آلی در همه آزمایش‌ها چشم‌گیر و تنها در لایه رویین- بهار چشم‌گیر نبود ($P<0/05$). در برابر آنها پیامد جدایش از گیاه بر این بخش کربن در همه نمونه‌ها چشم‌گیر نبود و آن تنها در نمونه‌های خاک لایه زیرین- بهار در پایه 5 درسد چشم-گیر بود. همچنین پیامد برهم‌کنش‌های جایگاه نمونه‌برداری در جدایش از گیاه، سوختن در جدایش از گیاه و جایگاه در سوختن در جدایش از گیاه بر این بخش کربن آلی خاک در هیچ‌کدام از نمونه‌های آزمایش شده چشم‌گیر نبود. بنابراین بخش محلول در آب سرد چندان

به پوشش گیاهی وابسته نیست و بیشتر به ویژگی خاک و سوختگی مواد آلی آن وابسته است.

آزمون میانگین‌ها نشان داد که روهمرفته خاک‌های نسوخته کربن آلی محلول در آب سرد بیشتری داشتند. در نمونه‌های خاک پایین لایه رویین بیشترین اندازه کربن آلی محلول در آب سرد در جایگاه بالای تپه- نسوخته اندازه‌گیری شد (3/38 گرم کربن بر کیلوگرم خاک) و ناهمانندی آماری آن با دیگر تیمارها چشم‌گیر بود. کمترین اندازه آن در نمونه‌های خاک لایه رویین- پایین نیز در تیمار میان تپه-سوخته بود (0/65 گرم کربن بر کیلوگرم خاک) که با جایگاه‌های نسوخته از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر داشت (جدول 6).

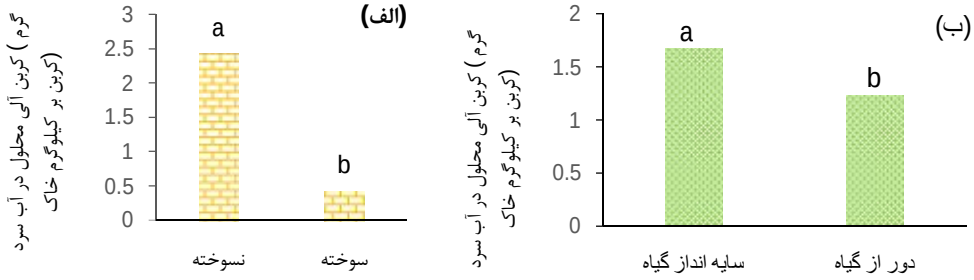
اندازه کربن آلی محلول در آب سرد در بهار در خاک‌های سوخته بیشتر از پاییز همان خاک‌ها و در خاک‌های نسوخته کمتر از پاییز همان خاک‌ها بود. به هر گونه، این ریخت از کربن آلی در نمونه‌های بهاری مانند نمونه‌های پاییزی در خاک سوخته کمتر از نسوخته بود (جدول 6). در نمونه‌های خاک لایه زیرین بهار اندازه کربن آلی بخش محلول در آب سرد در جایگاه بالای تپه- نسوخته بیشترین بود (2/62 گرم کربن بر کیلوگرم خاک) و گذشته از جایگاه پایین تپه—نسوخته، با دیگر تیمارها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر داشت. کمترین اندازه کربن آلی محلول در آب سرد نیز در جایگاه بالای تپه- سوخته دیده شد که با تیمارهای بالا و پایین تپه-نسوخته از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر داشت.

جدول 6- آزمون میانگین کربن آلی بخش محلول در آب سرد خاک (گرم بر کیلوگرم خاک) در جایگاه‌های سوخته و نسوخته در پاییز لایه رویین و در بهار- لایه رویین خاک به روش دانکن

جایگاه نمونه برداری	پاییز لایه رویین		بهار لایه زیرین	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
بالای تپه-سوخته	0/872 d	0/0001	0/654 c	0/436
میان تپه-سوخته	0/654 d	0/436	1/090 c	0/436
پایین تپه-سوخته	0/872 d	0/0001	1/526 bc	0/436
بالای تپه-نسوخته	3/375 a	0/433	2/616 a	0/712
میان تپه-نسوخته	1/875 c	0/433	0/872 c	0/712
پایین تپه-نسوخته	2/625 b	0/433	1/962 ab	0/436

بودن دست کم یک واژ یکسان در بالای ستون‌ها نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است ($P<0/05$).

افزون بر لایه رویین، سوختن پیامد چشم‌گیری بر کربن آلی بخش محلول در آب سرد خاک‌های لایه زیرین در پاییز داشت. خاک‌های نسوخته با میانگین 2/437 گرم کربن بر کیلوگرم خاک بیشترین و خاک‌های سوخته با میانگین 0/436 گرم کربن بر کیلوگرم خاک کمترین اندازه این ریخت از کربن آلی را داشتند (شکل 2-الف). کمتر بودن کربن آلی محلول در اب سرد در خاک‌های سوخته می‌تواند وابسته به فرایند سوختن آن نباشد. شاید فراوان شدن مواد نیم سوخته و زغال در این گونه خاک‌های سوخته با جذب این ترکیب‌ها از عصاره‌گیر آن در آب سرد جلوگیری کرده باشد. به هر گونه، این یافته نیاز به بررسی بیشتر دارد.



شکل 2- آزمون میانگین کربن آلی محلول در آب سرد الف- در خاک‌های سوخته و نسوخته در پاییز لایه زیرین خاک. ب- در خاک‌های سایه‌انداز و دور از گیاه در بهار لایه زیرین خاک. بودن دست کم یک واژ یکسان در بالای ستون‌ها نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است (P<0/05).

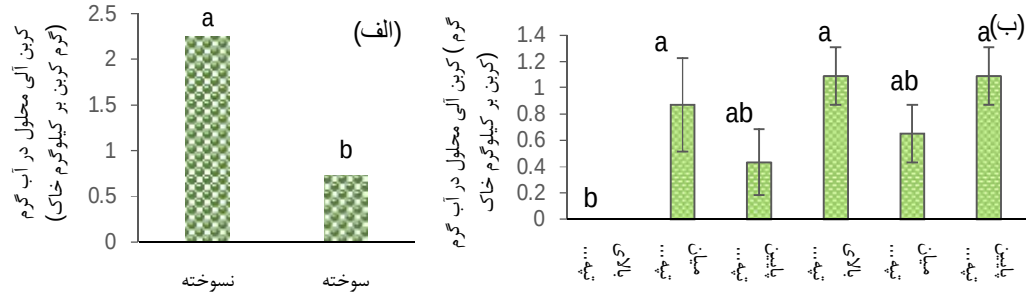
جدایش از گیاه، پیامد چشم‌گیری بر کربن آلی بخش محلول در آب سرد در خاک‌های لایه زیرین بهار داشته است. کربن آلی محلول در آب سرد در این نمونه‌ها در بخش سایه‌انداز گیاه به اندازه چشم‌گیری بیشتر از آن در دور از گیاه بود و در تیمار سایه‌انداز گیاه با میانگین 1/671 گرم کربن بر کیلوگرم خاک بیشترین و در تیمار دور از گیاه با میانگین 1/235 گرم کربن بر کیلوگرم خاک کمترین اندازه را داشت (شکل2-ب). این نشان از کارکرد بهتر گیاهان در بهار در افزایش این بخش از کربن آلی با تراوش مواد آلی محلول از ریشه دارد که توانسته است بر پیامد کاهشی کربن زغال شده در خاک چیره شود.

پیامد جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایی از گیاه بر کربن آلی محلول در آب گرم خاک

کربن آلی محلول در آب گرم در خاک‌های نمونه‌برداری شده از لایه رویین در بهار به هیچ یک از فاکتورها پاسخ چشم گیر نداشت. از میان فاکتورهای جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایی از گیاه، تنها پیامد سوختن بر کربن آلی محلول در آب گرم چشم‌گیر بود. از میان برهم‌کنش‌های آنها نیز تنها پیامد جایگاه در سوختن در خاک‌های زیرین-بهار و پیامد برهم کنش سه گانه تنها در خاک‌های زیرین-پاییز بر این ریخت از کربن آلی خاک چشم‌گیر بود (P<0/05).

همانند آنچه که از بررسی کربن آلی محلول در آب سرد دیده شد، اندازه کربن آلی محلول در آب گرم در همه خاک‌های بررسی شده در تیمار نسوخته بیشتر از آن در خاک‌های سوخته بود (شکل 3-الف) این بخش از کربن در خاک‌های پاییز لایه رویین در تیمار نسوخته، با میانگین 2/250 گرم کربن بر کیلوگرم خاک به اندازه چشم‌گیری بیشتر از آن در تیمار سوخته با میانگین 0/726 گرم کربن بر کیلوگرم خاک بود.

در نمونه‌های خاک لایه زیرین بهار اندازه کربن آلی بخش محلول در آب گرم در تیمارهای بالای تپه و پایین تپه-نسوخته، برابرهم و بیشترین (1/1 گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بود و با تیمار بالای تپه- سوخته از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر داشت. روهمرفته میانگین کربن آلی محلول در آب گرم در نمونه‌های برداشت شده از لایه زیرین بهار نسوخته (0/945 گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بیشتر از آن در خاک های سوخته (0/436 گرم کربن بر کیلوگرم خاک) بود.کربن آلی محلول در آب گرم در جایگاه بالای تپه-سوخته به اندازه‌ای کم بود که در روش بکاررفته داده‌ای بدست نداد (شکل 3-ب).



شکل 3- آزمون میانگین کربن آلی محلول در آب گرم خاک الف- در پاییز لایه زیرین در زمین‌های سوخته و نسوخته. ب- در بهار لایه زیرین در جایگاه‌های سوخته و نسوخته. بودن دست کم یک واژ یکسان در بالای ستون‌ها نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است ($P<0/05$).

در پاییز در لایه زیرین خاک بیشترین اندازه کربن آلی محلول در آب گرم خاک در تیمار میان تپه- نسوخته- سایه‌انداز گیاه (s2b2d1) با میانگین 3/0 (گرم کربن بر کیلوگرم خاک)بود که گذشته از تیمارهای (s1b2d2) و (s3b2d2)، با دیگر تیمارها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر داشت (جدول 7). کمترین اندازه کربن آلی محلول در آب گرم خاک هم در دو تیمار میان تپه- سوخته-دور از گیاه (s2b1d2) و پایین تپه-سوخته-دور از گیاه ((s3b1d2، بودکه با دیگر تیمارها ناهمانندی چشم‌گیر داشت.

کربن آلی محلول در آب سرد و گرم فراهم‌ترین بخش کربن آلی برای بهره‌گیری ریزجانداران است و بیشتر از کربوهیدرات‌ها پدید آمده است. در این پژوهش روهمرفته اندازه این بخش‌ها در خاک‌های نسوخته بیشتر از خاک‌های سوخته بود. این یافته با یافته‌های گوئررو و همکاران (2005) و بادیا و مارتی (2003) هم‌سو نبود. این پژوهش‌گران دیدند که در خاک‌هایی که زیست‌توده قارچی بیش از باکتریایی باشد، گرما کربن آلی کل را کاهش داده و می‌سوزاند ولی بخش کربن آلی محلول را افزایش می‌دهد. آنها گزارش کردند که این اندوخته به آسانی در دسترس ریزجانداران است و مایه افزایش فراوانی آن‌ها به ویژه باکتری‌های دگرپرور در خاک‌های سوخته می‌شود. هم‌چنین گوئررو و همکاران (2005) دیدند که پس از 8 روز انکوباسیون خاک سوخته در دمای 400 °C، زیست‌توده میکروبی بیش‌تر از خاک سوخته در 200 تا 300 °C شد و دلیل آن را اندازه بیش‌تر کربن آلی محلول در خاک نخستین یادآور شدند. گزارش شده است که اندوخته کربن آلی محلول پایداری چندانی ندارد و به تندی ریزجانداران انها را فروزینه کرده و خاک سوخته از آن تهی می‌گردد (گوئررو و همکاران، 2005). در این پژوهش کمتر بودن کربن آلی محلول در خاک‌های سوخته شاید به فراوان شدن مواد نیم سوخته و زغال در این گونه خاک‌ها وابسته باشد که با جذب این ترکیب‌ها از عصاره‌گیری آن در آب جلوگیری کرده باشد. ناگفته نماند که در این پژوهش زمان نمونه‌برداری از خاک‌ها بی‌درنگ پس از سوختگی نبوده و دست کم 30 روز از رخداد سوختگی خاک در پاییز گذشته بود که نمونه‌برداری انجام شد. ناهمانندی زمان نمونه‌برداری پس از آتش‌سوزی می‌تواند مایه ناهمخوانی این یافته‌ها با گزارش دیگران شده باشد که خود نیاز به بررسی ویژه دارد.

پیامد جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایی از گیاه بر کربن آلی بخش زیست‌توده خاک

پیامد جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایی از گیاه و همچنین برهم‌کنش‌های جایگاه در سوختن، جایگاه در جدایی از گیاه و جایگاه در سوختن در جدایی از گیاه در هر دو زمان و هر دو لایه بر کربن آلی زیست‌توده چشم‌گیر بود. پیامد برهم‌کنش سوختن در جدایی از گیاه نیز تنها در نمونه‌های بهار لایه رویین چشم‌گیر نبود. بنابراین در این پژوهش همراستا با پژوهش‌های پیشین نگارنده دیده شد که پاسخدهی کربن زیست‌توده به تیمارها بیشتر از کربن آلی محلول در آب سرد و گرم بود.

آزمون میانگین کربن زیست‌توده خاک‌ها در برهم‌کنش سه گانه تیمارها در جدول 7 گزارش شده است. در پاییز لایه رویین بیشترین اندازه کربن آلی بخش زیست‌توده در جایگاه بالای تپه- سوخته- سایه‌انداز گیاه با میانگین 2/15 (میلی گرم کربن در 100 گرم خاک) بدست آمد که با دیگر تیمارها از دیدگاه آماری در پایه 5 درسد ناهمانندی چشم‌گیر داشت. کمترین اندازه این فراسنجه در پاییز لایه رویبندر تیمار پایین تپه-نسوخته-دور از گیاه با 0/90 (میلی گرم کربن در 100 گرم خاک) بود که گذشته از تیمار میان تپه-نسوخته-دور از گیاه، با دیگر تیمارها ناهمانندی چشم‌گیری داشت.

در نمونه‌های پاییز لایه زیرین بیشترین اندازه کربن آلی بخش زیست‌توده در تیمار میان تپه-سوخته-دور از گیاه با 2/409 (میلی گرم کربن در 100 گرم خاک) بدست آمد که با دیگر تیمارها از دیدگاه آماری در پایه 5 درسد ناهمانندی چشم‌گیر داشت. کمترین اندازه این فراسنجه در لایه زیرین پاییز در تیمار بالای تپه- نسوخته-دور از گیاه با 0/890 (میلی‌گرم کربن در 100 گرم خاک) بود که گذشته از تیمار میان تپه-نسوخته-دور از گیاه، با دیگر تیمارها ناهمانندی چشم‌گیری داشت.

در نمونه‌های خاک لایه رویین در بهار بیشترین و کمترین اندازه کربن آلی بخش زیست‌توده به ترتیب در تیمار پایین تپه-سوخته-سایه‌انداز گیاه با میانگین 3/004 (میلی گرم کربن در 100 گرم خاک)، و در میان تپه-نسوخته-دور از گیاه با 2/105 (میلی‌گرم کربن در 100 گرم خاک) بود که هر دو با دیگر تیمارها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری داشتند.

در نمونه‌های خاک لایه زیرین در بهار نیز بیشترین اندازه کربن زیتوده در تیمار پایین تپه-سوخته-سایه‌انداز گیاه با میانگین 3/066 (میلی گرم کربن در 100 گرم خاک) اندازه‌گیری شد و کمترین اندازه آن در تیمار بالای تپه-نسوخته-دور از گیاه با میانگین 1/739 (میلی گرم کربن در 100 گرم خاک) به دست آمدکه هر دو با دیگر تیمارها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری داشتند.

هر چند پیامد پوشش گیاهی بر بخش زیست‌توده کربن آلی در نمونه‌های پاییزی نمایان نشد ولی در بهار با پاگرفتن گیاهان بؤیژه در خاک‌های سوخته، پیامد جدایش از گیاه بر این بخش از کربن آلی نمایان شده است. از سوی دیگر در هر دو زمان و هردو لایه نمونه‌برداری پیامد سوختن بر کربن زیست‌توده خاک چشم‌گیر و نمایان است. این بخش از کربن آلی در برابر بخش محلول در آب سرد و گرم در خاک‌های سوخته بیشتر از خاک‌های نسوخته بود و این نشان از فراوانی و کارکرد بهتر ریزجانداران در خاک‌های سوخته دارد.

جدول 7- آزمون میانگین کربن آلی محلول در آب گرم در پاییز لایه رویین خاک و کربن آلی زیست‌توده در همه نمونه‌های خاک در تیمارهای جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایش از گیاه.

تیمارها	کربن آلی محلول در آب گرم (گرم در کیلوگرم خاک)		کربن آلی بخش زیست‌توده (میلی گرم کربن در 100 گرم خاک)							
	پاییز- لایه زیرین		پاییز-لایه رویین		پاییز-لایه زیرین		بهار-لایه رویین		بهار-لایه زیرین	
	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD
s1b1d1	0/87 ed	0/000	2/148 a	0/066	2/026 b	0/046	2/402 d	0/017	2/236 d	0/038
s1b1d2	0/44 e	0/617	1/771 c	0/036	1/632 c	0/058	2/188 f	0/015	1/905 g	0/022
s1b2d1	1/875 bc	0/530	2/020 ab	0/113	1/582 c	0/035	2/298 e	0/022	2/123 e	0/035
s1b2d2	2/250 ab	0/000	1/097 e	0/176	0/890 e	0/062	2/191 f	0/024	1/739 i	0/016
s2b1d1	0/436 e	00/617	1/945 b	0/085	1/554 c	0/086	2/590 b	0/039	2/567 b	0/039
s2b1d2	0/000 e	0/000	2/087 ab	0/040	2/409 a	0/187	2/553 cb	0/018	2/469 c	0/038
s2b2d1	3/000 a	0/000	2/070 ab	0/111	1/346 d	0/102	2/614 b	0/061	2/143 e	0/050
s2b2d2	1/875 bc	0/530	1/017 fe	0/078	1/008 e	0/053	2/105 g	0/008	1/954 g	0/043
s3b1d1	0/872 ed	0/000	2/007 ab	0/054	1/569 c	0/052	3/004 a	0/071	3/066 a	0/031
s3b1d2	0/000 e	0/000	1/958 b	0/117	1/359 d	0/059	2/393 d	0/036	2/259 d	0/030
s3b2d1	1/500 cd	0/000	1/397 d	0/079	1/286 d	0/103	2/495 c	0/036	2/029 f	0/042
s3b2d2	2/625 abc	0/530	0/903 f	0/036	1/582 c	0/044	2/284 e	0/041	1/810 h	0/034

s- نشان‌دهنده‌ی جایگاه نمونه‌برداری (1، 2، 3، به ترتیب بالا، میان و پایین تپه)، b- سوختن (1 و 2 به ترتیب سوخته و نسوخته)، و d- جدایش از گیاه (1 و 2 به ترتیب سایه‌انداز و دور از گیاه) است. بودن دست کم یک واژ یکسان در کنار میانگین‌ها برای هر فصل-لایه نمونه‌برداری از خاک نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است (P<0/05) و SD انحراف از معیار است (n=3).

زیست‌توده میکروبی خاک بیشتر زیست‌توده ریزجانوران (نماتدها) و ریزگیاهان (باکتری‌ها و قارچ‌ها) است. کم شدن کربن زیست‌توده پس از آتش‌سوزی در بسیاری از پژوهش‌ها مانند مابوهای و همکاران (a,b2006)، باسانتا و همکاران (2002)، پریتو-فرناندز و همکاران (1998) و دیاز-راوینا و همکاران (1992) گزارش شده است ولی یافته‌های این پژوهش با آن‌ها هم-سو نیست. به هر گونه، در فصل بهار با پاگرفتن پوشش گیاهی زنده بویژه گونه‌های علفی، فراوانی و کارکردهای زیستی بیشتر از فصل پاییز خواهد شد. در پیرامون ریشه

گیاهان شرایط برای فعالیت‌های میکروبی بسیار شایسته‌تر از دور از گیاه است. همچنین تراوش‌های ریشه‌ای زیستگاه شایسته تری برای باکتری‌ها و قارچ‌های هم-زیست و آزادزی فراهم می‌آورد. بنابراین کربن آلی بخش زیست‌توده در سایه‌انداز گیاهان و در فصل بهار، به گونه چشم‌گیری بیشتر از فصل پاییز است. پاگیری دوباره زیست‌توده میکروبی به سهمگینی آتش‌سوزی، دگرگونی در خاک، درجه بازیابی پوشش گیاهی و اقلیم پس از آتش‌سوزی وابسته است. بیشتر پژوهش‌گران بازیابی زیست‌توده میکروبی را با پاگیری قارچ‌ها یکی می‌دانند (فرناندز و همکاران، 1998). به هر گونه، در این پژوهش پیامد سوختن بر کربن زیست‌توده سودمند و مایه افزایش آن شده بود. این شاید به کم سوختن و سوختگی نادرست مانده‌های گیاهی وابسته باشد که به پیدایش زغال زیستی نارس انجامیده است. افزایش این بخش از کربن پایدار (زغال زیستی) بویژه در خاک‌های خشک و نیمه خشک پیامد چشم‌گیری بر فراوانی و کارکرد ریزجانداران خاک دارد (صفری سنجانی، 1394).

آنچه که از بررسی کربن آلی محلول در آب سرد و گرم بدست آمد، ناهمانند با گزارش‌های دیگران بود و این بخش در خاک‌های سوخته کمتر از خاک‌های نسوخته بود. صفری سنجانی و افضل پور (1393) گزارش کردند که در خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی کربن محلول خاک و بویژه بخش محلول در آب گرم وابستگی نیرومندی به کربن زیست‌توده خاک دارد. ولی در این پژوهش خاک‌های سوخته که کربن زیست‌توده بیشتری داشتند کربن محلول در آب سرد و گرم کمتری داشتند. این ناهمخوانی یافته‌ها شاید وابسته به فراوانی زغال در خاک‌های سوخته و توان جذب آن وابسته باشد که کربن محلول خاک را روی خود نگهداشته و از محلول شدن آن جلوگیری کرده است.

پیامد جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایی از گیاه بر تنفس پایه خاک (BR)

پیامد سوختن، جدایش از گیاه، برهم‌کنش‌های دوگانه و سه گانه تیمارهای بررسی شده در این پژوهش بر تنفس پایه (BR) لایه زیرین خاک‌ها در هر دو زمان نمونه‌برداری چشم‌گیر نبود و تنها پیامد جایگاه نمونه‌برداری از تپه بر این ویژگی در خاک لایه زیرین چشم‌گیر بود. در برابر آن تنفس لایه رویین خاک در هردو زمان نمونه برداری، افزون بر جایگاه نمونه برداری، به سوختن، جدایی از گیاه، برهم‌کنش‌های جایگاه در سوختن و سوختن در جدایی از گیاه پاسخ چشم‌گیری داشت. پیامد تیمارهای بررسی شده بر تنفس پایه خاک در بهار لایه رویین نمایان‌تر بود. به گونه‌ای که پیامد همه تیمارها و برهم-کنش‌های دوگانه و سه گانه آنها بر تنفس این نمونه‌ها در پایه آماری 1 درسد چشم‌گیر بود.

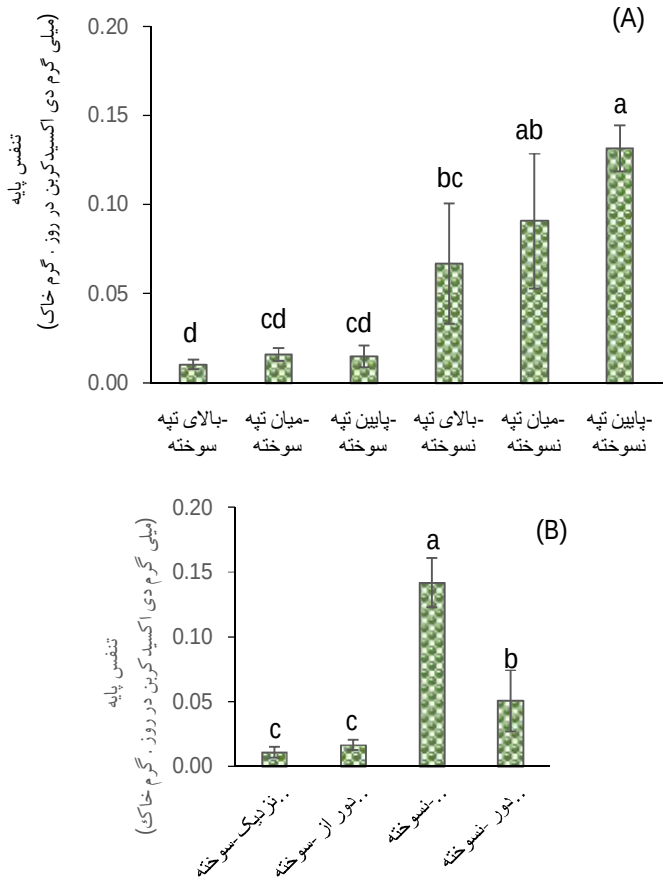
آزمون میانگین تنفس خاک در لایه زیرین نشان داد که خاک‌های نمونه برداری شده از جایگاه میان تپه در هر دو زمان بیشترین (بیش از 0/027 میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) و خاک بالا تپه کمترین تنفس (کمتر از 0/023 میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) را دارد.

در شکل 4-الف آزمون میانگین تنفس پایه خاک لایه رویین در پاییز در تیمارهای جایگاه نمونه‌برداری و سوختن آمده است. در نمونه‌های خاک لایه رویین پاییز بیشترین اندازه تنفس در جایگاه پایین تپه-نسوخته با میانگین 0/132 (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) بود که با همه تیمارها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر داشت. کمترین اندازه تنفس پایه در این لایه نیز در جایگاه بالای تپه- سوخته با میانگین 0/011 (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) بود که با تیمارهای نسوخته از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری داشت. بنابر این تنفس پایه خاک از سوختن مانده‌های گیاهی روی آن آسیب دیده و در خاک‌های سوخته بسیار کمتر از خاک‌های نسوخته است. تنفس پایه خاک بیشتر وابسته به فراوانی و فراهمی کربن آلی ساده برای ریزجانداران است که سوختن مانده‌های گیاهی رویه خاک در پاییز مایه کاهش آن شده است. از سوی دیگر شاید فراوان شدن زغال در خاک‌های سوخته با جذب مواد آلی ساده از تنفس پایه خاک بکاهد (صفری سنجانی، 1394).

جدول 8- آزمون میانگین تنفس لایه زیرین خاک در پاییز و بهار (میلی‌گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز) در جایگاه‌های گوناگون به روش دانکن.

جایگاه نمونه برداری	پاییز لایه زیرین		بهار لایه زیرین	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
بالای تپه	0/011 b	0/008	0/023 b	0/012
میان تپه	0/027 a	0/016	0/044 a	0/019
پایین تپه	0/017 ab	0/012	0/039 ab	0/011

بودن دست کم یک واژ یکسان در بالای ستون‌ها نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است (P<0/05).



شکل 4- آزمون میانگین تنفس پایه لایه رویین خاک در پاییز در تیمارهای الف) جایگاه نمونه‌برداری و سوختن و ب) سوختن و جدایی از گیاه. بودن دست کم یک واژ یکسان در بالای ستون‌ها نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است ($P<0/05$). نوارهای خطا (Error Bars) انحراف از معیار هستند.

در شکل 7- ب آزمون میانگین تنفس پایه لایه رویین خاک در پاییز در تیمارهای سوختن و جدایی از گیاه آمده است. تنفس پایه در تیمار نسوخته- سایه‌انداز گیاه با میانگین 0/142 (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) بیشترین بود و با دیگر تیمارها ناهمانندی چشم‌گیر داشت. کمترین اندازه تنفس در این لایه در تیمار سوخته- سایه‌انداز گیاه با میانگین 0/011 (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) به دست آمد که با تیمارهای نسوخته از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیر داشت. در این بخش دوباره پیامد سودمند گیاه بر کربن آلی فراهم برای ریزجانداران و پیامد بد سوختن بر از دست رفتن کربن آلی فراهم نمایان می‌شود.

بررسی و آزمون میانگین تنفس پایه خاک در نمونه‌های خاک لایه رویین فصل بهار (جدول 9) در تیمارهای گوناگون نشان داد که بیشترین اندازه این فراسنجه در تیمار میان تپه-نسوخته-سایه‌انداز گیاه با میانگین 0/212 (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) بود که با دیگر تیمارها از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری داشت. کمترین اندازه این فراسنجه در جایگاه بالای تپه-سوخته-دور از گیاه با میانگین 0/027 (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) بود که با تیمارهای بالای تپه و میان تپه- نسوخته- دور از گیاه از دیدگاه آماری ناهمانندی چشم‌گیری نداشت ($P<0/05$). بنابراین در این نمونه‌ها نیز روهمرفته تنفس پایه در خاک‌های نسوخته و نزدیک به گیاه در همه جایگاه‌های نمونه‌برداری شده از تپه به اندازه چشم‌گیری بیشتر از خاک‌های سوخته و دور از گیاه است و این بیشتر وابسته به فراوانی کربن فراهم برای ریزجانداران در این نمونه‌ها است.

جدول 9- آزمون میانگین تنفس پایه خاک (میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن بر گرم خاک در روز) در تیمارهای جایگاه نمونه‌برداری، سوختن و جدایش از گیاه در لایه رویین بهار.

تیمار	میانگین	انحراف معیار
s1b1d1	0/044 e	0/013
s1b1d2	0/027 e	0/006
s1b2d1	0/180 b	0/020
s1b2d2	0/041 e	0/013
s2b1d1	0/098 d	0/008
s2b1d2	0/102 d	0/006
s2b2d1	0/212 a	0/016
s2b2d2	0/052 e	0/008
s3b1d1	0/136 c	0/014
s3b1d2	0/088 d	0/010
s3b2d1	0/173 b	0/024
s3b2d2	0/132 c	0/021

S - نشان‌دهنده‌ی جایگاه نمونه‌برداری (1، 2، 3، به ترتیب بالا، میان و پایین تپه)، b- سوختن (1 و 2 به ترتیب سوخته و نسوخته)، و d- جدایش از گیاه (1 و 2 به ترتیب سایه‌انداز و دور از گیاه) است. بودن دست کم یک واژ یکسان در کنار میانگین‌ها نشان دهنده‌ی نبود ناهمانندی چشم‌گیر از دیدگاه آماری است ($P<0/05$)(n=3).

نتیجه‌گیری پایانی

همسو با بسیاری از پژوهش‌ها اندازه همه کربن آلی خاک، کربن آلی محلول در آب گرم و سرد، مواد آلی بخش سبک،کربن زیتوده و تنفس پایه ریزجانداران در لایه رویین خاک‌ها بیشتر از لایه زیرین آنها و در بخش سایه انداز بیشتر از بخش دورتر از گیاه بود. با اینکه در بیشتر گزارش‌هاآمده است که آتش‌سوزی مایه کاهش لاشبرگ‌ها و ریخت‌های گوناگون کربن آلی در خاک می‌شود، این پژوهش نشان داد که همه کربن آلی، مواد آلی بخش سبک، کربن زیتوده در لایه رویین خاک‌های سوخته هتا در پاییز بیش از آنها در خاک‌های نسوخته است. از سوی دیگر اگرچه آتش‌سوزی در چراگاه‌های همدان در پاییز مایه کاهش لاشبرگ‌های رویه خاک شده است ولی در بهار با پاگرفتن پوشش گیاهی این بخش در خاک‌های سوخته بیش از خاک‌های نسوخته شده است. این یافته در برابر گزارش‌های دیگران است. بنابراین اگر در پدیده آتش‌سوزی چراگاه‌ها بخش‌هایی از مانده‌های گیاهی به گونه نیم سوخته یا زغال روی خاک بماند، این بخش از کربن پایدار می‌تواند پس از رسیدن به لایه رویین (0-5 سانتی متری) با پیامد سودمندی که بر ویژگی‌های خاک دارد، مایه رشد بهتر گیاهان در زمان کوتاهی شود و پیامد بد آتش را بپوشاند و این در بررسی بخش‌های پاسخ دهنده کربن آلی (لاشبرگ و کربن زیتوده) به خوبی نمایان شده است زیرا آنها در بهار در خاک‌های سوخته به اندازه چشم‌گیری افزایش داشته‌اند.به هر گونه، اندازه‌گیری تنفس پایه خاک آن را نشان نداد و در هر دو زمان در خاک‌های نسوخته بیشتر از خاک‌های سوخته بود. این نشان می‌دهد که سوختن مایه کاهش کربن آلی ساده و فراهم برای ریزجانداران خاک می‌شود.

کربن آلی محلول در آب سرد و همچنین کربن آلی محلول در آب گرم در این پژوهش رفتار ویژه‌ای داشتند. این ریخت‌ها در خاک‌های سوخته کمتر از خاک‌های نسوخته بود. در بیشتر گزارش‌ها آمده است که آتش‌سوزی مایه افزایش این ریخت‌های کربن آلی در خاک می‌شود ولی در این پژوهش وارونه آن دیده شد. این شاید به چگونگی سوختن مانده‌های گیاهی وابسته باشد. فراوانی مانده‌های گیاهی نیم سوخته و زغال شده و کمبود خاکستر در این آتش‌سوزی شاید مایه این ناهمانندی‌ها شده باشد که می‌تواند در آینده بیشتر بررسی گردد. از آنجایی که کربن زیتوده در خاک‌های سوخته بیشتر از خاک‌های نسوخته است، پیش بینی می‌شد این ریخت‌ها و بؤیژه کربن آلی محلول در آب گرم در خاک‌های سوخته بیشتر باشد. شاید فراوانی زغال مانده‌های گیاهی جلوی گشودگی و جداشدن کربن‌های الی محلولاز دانه‌های جامد در خاک‌های سوخته را گرفته باشد. همچنین این فرایند شاید مایه کاهش کربن آلی ساده و فراهم برای ریزجانداران شده و مایه افزایش نیافتن تنفس پایه در بهار در خاک‌های سوخته شده باشد.به هر گونه، این یافته نوینی است و نیاز به بررسی بیشتر دارد.

این پژوهش نشان می‌دهد که اگر پیش از خشک شدن گیاهان آتش سوزی با شدت کم رخ دهند، مانده‌های نیم-سوزی در خاک بجا می‌ماند که زیانبار نیستند و می توانند

پیامد های سودمندی بر اندوخته مواد آلی خاک و ویژگی-های گوناگون آن داشته باشند و این نگاه نوینی در گردانش چراگاه‌ها و زمین‌های کشاورزی بویژه برای کاهش گیاهان هرز و افزایش کربن آلی در کشاورزی پایدار می تواند باشد.

فهرست منابع:

1. ابراهیمی محمدی، ش.،م. آذری و ا. منوچهری. 1394. اثرات آتش‌سوزی بر خصوصیات خاک، فرسایش و رژیم هیدرولوژی حوضه آبخیز دریاچه زریبار. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) 30(2): 631-618.
2. ایزدی‌کیان، ل.، م. محجلو س.ا. علوی. 1393. مراحل دگریختی در سنگ‌های دگرگونی منطقه همدان و ارتباط آنها با توده نفوذی الوند. علوم زمین 92: 187-198.
3. جگروند، ب. 1392. تأثیر کوتاه مدت آتش‌سوزی بر فرانسجه‌های کیفیت خاک مراتع نیمه استپی نهاوند. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بوعلی سینا. دانشکده کشاورزی. 126 صفحه.
4. داودی، م.، م.ع. حاج عباسی، م.ر. مصدقی و م. ایروانی. 1395. آثار باقیمانده آتش‌سوزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در یک مرتع در زاگرس مرکزی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) 30(2): 227-236.
5. سپاهی‌گروه، ع.ا.، ن. اسدی و ص. سلامی. مطالعه پتروژنز، شیمی کانیها و دما- فشارسنجی سنگهای دگرگونی مجاورتی حاشیه توده الوند، همدان. پتـــــرولوژی 19: 67-86.
6. صفری سنجانی، ع.ا.1394. مواد آلی خاک. چاپ نخست. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا. 364 صفحه.
7. صفری سنجانی، ع.ا. و م.افضل پور. 1393. پیامد کاربرد کودهای آلی گیاهی بر بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک. مدیریت خاک و تولید پایدار 4(3): 33-60.
8. صفری سنجانی، ع.ا.،ز. شریفی و م.صفری سنجانی.1389. روش‌های آزمایشگاهی در میکروبیولوژی. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا. 525 صفحه.
9. صفری سنجانی، ع.ا. و س. طاهری قهریزجانی. 1396.بخشبندی فیزیکی کربن آلی در خاک‌های شنی و رسی تیمار شده با کود جانوری و زئولیت. مهندسی زراعی40 (1): 37-56.
10. طالع‌فاضل؛ ا.، م. یوسفی. 1397. زمین‌شناسی عمومی و معرفی جاذبه های گردشگری دامنه‌های شمالی کوهستان الوند، استان همدان. یافته‌های نوین زمین شناسی کاربردی 12(23): 21-37.
11. غلامی، پ.، ج. قربانی و ح.عباسی. 1393. تأثیر آتش‌سوزی پوشش گیاهی بر برخی از ویژگی‌های خاک در مراتع پارک ملی بمو شیراز. فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران 5(2):41-50.
12. فتحی گردلیدانی، ا. و ب. رحیم‌زاده. 1395. نقش جزء رس در نگهداشت کربن آلی محلول در خاک. نشریه دانش آب و خاک26(2/2): 273- 285.
13. محمودی، ع.، و ح. بوستانی. 1396. بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر فراهمی برخی عناصر غذایی و خصوصیات شیمیایی خاک مرتعی مطالعه موردی: مراتع مروارید، منطقه داراب. مجله مهندسی اکوسیستم بیابان 16: 35-48.
14. نقی‌پور برج، ع.ا. وس. فرخ‌نیا. 1396. اثر آتش‌سوزی بر ترسیب کربن خاک و زیتوده گیاهی در مراتع نیمه استپی زاگرس مرکزی. نشریه حفاظت زیست بوم گیاهان 5(10):39-51.
15. Amitava, R., P.C. Abhilash, H.B. Singh and S. Ghosh. 2017. Adaptive Soil Management: From Theory to Practices. Springer Nature. Singapore Pte Ltd . DOI 10.1007/978-981-10-3638-5

16. Anderson, J.P.E. andK.H. Domsch, 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. Soil Biology and Biochemistry 10: 215–221.
17. Badia, D. and C. Marti. 2003. Plant ash and heat intensity effects on chemical and physical properties of two contrasting soils. Arid Land Research and Management 17:23-41.
18. Basanta, M.R., M. Díaz-Raviña and S.J. González-Prieto. 2002. Biochemical properties of forest soils as affected by a fire retardant. Biology and Fertility of Soils 5:377-383.
19. Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. Oecologia 143: 1-10.
20. Compton, J.E, and R.D. Boone. 2000. Long-term impacts of agriculture on soil carbon and nitrogen in New England forests. Ecology 81(8): 2314-2330.
21. Dai, X., T.W. Boutton, B. Glaser, R.J. Ansley and W. Zech. 2005. Black carbon in a temperate mixed-grass savanna. Soil Biology and Biochemistry 37: 1879-1881.
22. DeBano, L.F. 2000. The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a revie. Journal of Hydrology 231–232: 195–200.
23. Díaz-Raviña, M., A. Prieto, M.J. Acea and T. Carballas. 1992. Fumigation–extraction method to estimate microbial biomass in heated soils. Soil Biology and Biochemistry 24: 259-264.
24. Fernández, I,A., C. Cabaneiro and T. Carballas. 1997. Organic matter changes immediately after a wildfire in an Atlantic forest soil and comparison with laboratory soil heating. Soil Biology and Biochemistry 29(I): 1-11.
25. Garcia-Corona, R., E. Benito, E. de Blas and M.E. Varela. 2004. Effects of heating on some soil physical properties related to its hydrological behavior in two northwestern Spanish soils. Intnational Journal of Wildland Fire 13: 195-199.
26. González-Pérez, J.A., F.J. González-Vila, G. Almendros and H. Knicker. 2004. The effect of fire on soil organic matter – a review. Environment International 30: 855-870.
27. Gregorich, E.G., M.H. Beare, U. Stoklas andP. St-Georges. 2003. Biodegradibility of soluble organic matter in maize-cropped soils. Geoderma 113: 237-252.
28. Guerrero, C., J. Mataix-Solera, I. Gómez, F. García-Orenes and M.M. Jordán. 2005. Microbial recolonization and chemical changes in a soil heated at different temperatures. Intnational Journal of Wildland Fire 14: 385-400.
29. Kölbl, A. and I. Kögel-Knabner. 2004. Content and composition of free and occluded particulate organic matter in a differently textured arable Cambisol as revealed by solid-state 13C NMR spectroscopy. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 167: 45–53.
30. Kuhlbusch, T.A.J. 1998. Black carbon in soils, sediments, and ice cores. In R.A. Meyers [eds.]. Encyclopedia of Environmental Analysis and Remediation. Wiley, New York, New York, USA.
31. Mabuhay, J.A., N. Nakagoshi and Y. Isagi. 2006a. Soil microbial biomass, abundance, and diversity in a Japanese red pine forest: first year after fire. Journal of ForestResearch 11: 165-173.
32. Mabuhay, J.A., Y. Isagi and N. Nakagoshi. 2006b. Wildfire effects on microbial biomass and diversity in pine forest at three topographic positions. Ecology Research 21: 54-63.
33. Monleon, V.J., K. Cromack Jr. and J.D. Landsberg. 1997. Short and long-term effects of prescribed underburning on nitrogen availability in ponderosa pine stands in central Oregon. Canadian Journal of Forest Research 27: 369-378.
34. Nelson, D. W., andL.E. Somers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. PP. 961-1010. Madision, Wisconsin. USA.
35. Prieto-Fernández, A., M.J. Acea and T. Carballas. 1998. Soil microbial and extractable C and N after wildfire. Biology and Fertility of Soils 27: 132-142.

36. Soto, B. and F. Diaz-Fierros. 1993. Interactions between plant ash leachates and soil. InternationalJournal of Wildland Fire 3(4): 207-216.
37. Strickland, C., and P. Sollins. 1987. Improved method for separating light and heavy fraction organic material from soil. Soil Science Society Amrican Journal 51: 1391-1392.
38. Walkley, A., and I.A. Black. 1934. An examination of the digestion method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37:29-38.

Effect of wildfire on organic carbon fractions in the pasture soils of Alvand hillslope

A. A. Safari Sinegani[1], M. Faraji, M. Nael and M. Sheklabadi
Professor, Soil Science Department, Bu Ali Sina University; E-mail: aa-safari@basu.ac.ir
M. Sc. Graduated, Bu Ali Sina University; E-mail: mona_faraji_mf@yahoo.com
Assistant Professor, Soil Science Department, Bu Ali Sina University; E-mail: moh_nael@yahoo.com
Associate Professor, Soil Science Department, Bu Ali Sina University;
E-mail: mohsen.sheklabadi@yahoo.com
Received: December, 2019 & Accepted: May, 2020

Abstract

The aim of this study was to recognize the transformation of soil organic matter fractions in burned and unburned pasture lands. The study area was a pasture land located in Alvand hillslope (toposequence), near the village of Haidara, Hamadan. The low-intensity wildfire occurred in the hillslope in autumn (October) 2015, in such a way that half the toposequence was burned up to the bottom symmetrically. Soil samples were gathered from three locations (up, mid, and down) of burned and unburned parts of toposequence 2 (December, 2015-autumn) and 9 months (June, 2016-spring) after wildfire occurrence. In each location, soil sampling was carried out in two parts; between the bushes and under their canopies and in two depths; 0-5 (upper) and 5-10 cm (lower) layers, respectively. Litter samples were also gathered in a 30*30 cm^2 plot for each burnt and unburnt parts of toposequence. All sampling was carried out in three replications. The light fraction of organic matter (LF), cold and hot water extractable organic carbons (CWEOC and HWEOC), biomass carbon (BC), total organic carbon (TOC), and basal respiration (BR) were measured. The data analyzed in split-split plot design for each layer (upper and lower) and each season (autumn and spring) of sampling separately. In the mentioned statistical design, sampling location on toposequence (up, mid, and down) was regarded as the main plot, fire impacted area (burnt and unburnt) as a subplot, and sampling location related to bushes (between and under canopy) as sub-sub plot. Soil OC and BR were higher in the upper layer and under the bush's canopy rather than the lower layer and between bushes. In general wildfire increased TOC (42%), LF (41%), and BC (52%) in the sampled soils. In contrast, CWEOC, HWEOC, and BR in burnt soils were 61, 52, and 48% lower compared to those in unburnt soils, respectively. Although in autumn the litter content was lower on burnt soils compared to those in unburnt soils (50%), in spring it significantly increased on burnt soils. The increases in litter on burnt and unburnt soils were 4.5 and 2 times, respectively. The study showed that wildfire and burning of plant cover by producing biochar on the pastures can improve carbon sequestration in soil.

Keywords: Basal respiration, Biochar, Carbon sequestration, Organic carbon fractionation, Plant canopy.

[1]. Corresponding author: Soil Science Department, Faculty of Agricultural, Bu-Ali Sina University.