

آثار باقی‌مانده آتش‌سوزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در یک مرتع در زاگرس مرکزی

محمد داودی¹، محمدعلی حاج‌عباسی، محمدرضا مصدقی و مجید ایروانی

کارشناس ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ Mohammad.davoudi@ag.iut.ac.ir

استاد، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ Hajabbas@cc.iut.ac.ir

دانشیار، دانشگاه صنعتی اصفهان؛ Mosaddeghi@cc.iut.ac.ir

استادیار، کارگاه آموزشی علوم خاک آلی‌تا؛ Meiravany@yahoo.com

دریافت: 94/8/9 و پذیرش: 95/3/9

چکیده

آتش مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک خطرناک‌ترین عامل نابودکننده جنگل‌ها و مراتع به حساب می‌آید و بسته به شرایط آن پیامدهای متفاوتی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارد. این پژوهش به منظور بررسی آثار باقی‌مانده آتش‌سوزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی در بخش‌هایی از مراتع شهرستان فریدن که قبلاً دچار حریق شده بودند، انجام شد. آتش‌سوزی در این مناطق عمدتاً به دلیل دخالت‌های انسانی بوده است. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل با تکرارهای نامساوی اجرا گردید. کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول و فسفر، آهن، منگنز و روی قابل جذب خاک با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که آتش‌سوزی تأثیر معنی‌داری بر برخی ویژگی‌های شیمیایی نظیر ماده آلی، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول، آهن، منگنز و روی قابل جذب داشته است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که درصد ماده آلی خاک از 2/10 در خاک نسوخته به 4/12 در خاک سوخته، مقادیر پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول به ترتیب از 6/42، 0/45 و 1/19 در خاک نسوخته به 9/91، 0/95 و 2/22 میلی‌اکی‌والان بر لیتر در خاک سوخته و مقادیر فسفر، آهن و منگنز قابل جذب به ترتیب از 31/30، 18/22 و 37/29 در خاک نسوخته به 34/17، 20/39 و 55/64 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در عرصه سوخته افزایش پیدا کرده است. به طور کلی تأثیر آتش‌سوزی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در نخستین سال‌های پس از آتش‌سوزی بیش‌تر بوده و این روند با گذشت زمان کاهش پیدا نمود.

واژه‌های کلیدی: آتش در مراتع، مرتع سوخته، مواد آلی خاک

¹ نویسنده مسئول، آدرس: دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی کشاورزی، گروه خاک‌شناسی

مقدمه

خاک یکی از ارکان منابع طبیعی و شاید مهم‌ترین زیربنای تمدن هر کشور است و در واقع مسیر پیشرفت یا سیر قهقرائی هر جامعه را اصول و چگونگی بهره‌برداری از خاک تعیین می‌کند (بای‌وردی، 1378). مراتع جزو زیست‌بوم‌های طبیعی و پویای کره زمین بوده که بیش‌ترین سطح خشکی‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه از مراتع باید شناخت دقیقی از اجزای آن‌ها داشت و واکنش آن‌ها در مقابله با دخالت‌ها و تغییرات گوناگون بررسی شود (شریفی و ایمانی، 1385). از بین عوامل مختلف نابودکننده جنگل‌ها و مراتع، آتش خطرناک‌ترین عامل به حساب می‌آید (خسروی، 1391). بر اساس گزارش سازمان جنگل‌ها، مراتع و آب‌خیزداری از سال 1379 تا سال 1389، 14960 فقره آتش‌سوزی با مجموع مساحت 157121 هکتار در جنگل‌ها و مراتع کشور روی داده است (بی‌نام، 1391). تأثیر آتش‌سوزی بر عناصر غذایی در یک زیست‌بوم به عوامل زیادی بستگی دارد که عبارتند از: نوع و شدت آتش‌سوزی، منابع قابل اشتعال، زمان و فصل آتش‌سوزی، نوع گونه‌های گیاهی، توپوگرافی و هم‌چنین شرایط آب و هوایی منطقه. بنابراین بسته به نوع آتش‌سوزی فراهمی عناصر غذایی برای گیاهان می‌تواند افزایش یابد و یا اینکه به واسطه تبخیر و تصعید از محیط خارج شود (کومار و همکاران، 2013).

ماده آلی نقش مهمی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک ایفا می‌کند (نری و همکاران، 2005). این مواد به عنوان یک مخزن اولیه برای برخی از عناصر غذایی عمل می‌کند (بیرد و همکاران، 2000). مکان‌های فعال تبادل کاتیونی را نیز مواد آلی فراهم می‌کنند که این کار سبب می‌شود بسیاری از کاتیون‌های مهم حفظ شوند. هم‌چنین آن‌ها می‌توانند به عنوان یک عامل قوی خاکدانه‌سازی عمل کرده و در ایجاد و پایداری یک خاک با ساختمان خوب، نقش مهمی ایفا کنند (دبانو، 1991). فعالیت ریزجانداران خاک نیز به مواد آلی وابسته است زیرا مواد آلی محیط مناسب و ترکیبات کربن‌دار (منبع انرژی برای ریزجانداران خاک) را فراهم می‌کنند (هاروی و همکاران، 1987). در حین سوختن، ماده آلی دست‌خوش تغییرات فیزیکی و شیمیایی می‌شود. در ابتدا رطوبت موجود در ماده آلی به صورت بخار آزاد می‌شود سپس لیگنین و همی‌سلولز شروع به تجزیه شدن کرده و سلولز در دمای 280 درجه سلسیوس دهیدراته می‌شود (دبانو، 1991. نف و همکاران، 2005).

کربنات‌ها از اجزاء اصلی خاک‌های آهکی هستند. این

ترکیبات می‌توانند به عنوان عامل سیمانی‌کننده عمل کرده و از ذرات درون خاکدانه‌ها در برابر انرژی واردشده از طرف قطرات باران و خیس شدن سریع محافظت کرده و سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها شوند (اینبار و همکاران، 2014). این ترکیبات در برابر افزایش دما تا 1000 درجه سلسیوس مقاومت می‌کنند. بنابراین در اثر آتش‌سوزی‌های رایج به ندرت تغییری در ساختار آنها رخ می‌دهد (سرتینی، 2005). پس از آتش‌سوزی افزایش عناصر غذایی در دسترس، عمدتاً در ترکیبات خاکستر محلول در آب مشاهده می‌شود. خاکستری که در نتیجه سوختن پوشش گیاهی به وجود می‌آید، دربرگیرنده کاتیون‌های بازی بوده که سبب می‌شود به طور موقت پ-هاش خاک افزایش یافته و در نتیجه سبب افزایش قابلیت دسترسی برخی عناصر غذایی نظیر پتاسیم، کلسیم و منیزیم برای گیاهان می‌شود (پیولو، 2010).

غالباً پس از آتش‌سوزی مقادیر عناصر غذایی کم مصرف مانند منگنز، روی، آهن، بُر و مس افزایش می‌یابد (گومس ری و همکاران، 2013). فسفر بخشی از ماده مادری معدنی خاک بوده و به آسانی تبخیر نمی‌شود. هدررفت فسفر بیش‌تر از طریق تبخیر، تصعید و آب‌شویی می‌باشد. با این حال، آتش‌سوزی مسبب تغییرات مؤثری بر چرخه بیژئوشیمیایی فسفر است (سرتینی، 2005). تشکیل کربنات کلسیم که حلالیت کمی دارد می‌تواند قابلیت دسترسی فسفر را پس از آتش‌سوزی با محدودیت روبرو کند (دبانو و همکاران، 1998). پژوهش آلوزیس و همکاران (2004) نشان داد که دو ماه پس از آتش‌سوزی مقدار فسفر قابل عصاره‌گیری با اسید آسکوربیک خاک سوخته نسبت به خاک نسوخته بیش‌تر می‌باشد. آنان هم‌چنین گزارش کردند که دو سال پس از آتش‌سوزی مقدار فسفر قابل عصاره‌گیری به طور چشم‌گیری افزایش یافته که احتمالاً به دلیل ظرفیت جذب فسفر زیاد ماده مادری (خاک‌های آتشفشانی) بوده است.

برای تبخیر کلسیم و منیزیم دماهای بیشتر از 1000 درجه سلسیوس نیاز می‌باشد (پیولو و همکاران، 2010). رایسون و همکاران (1990) گزارش کردند در حالی‌که سدیم، پتاسیم و منیزیم نسبتاً محلول هستند و می‌توانند درون خاک شسته شوند، کلسیم به احتمال زیاد در مکان‌های تبدالی کاتیون‌ها باقی می‌ماند. پتاسیم طی آتش‌سوزی به صورت گاز در اتمسفر رها می‌شود. اما این عنصر سریعاً از لاشبرگ‌های موجود در سطح خاک آزاد می‌شود که ممکن است دلیلی بر این باشد که چرا در آتش‌سوزی‌های مکرری که انجام می‌شود، مقدار پتاسیم موجود در خاک کم نمی‌شود (همت‌بلند و

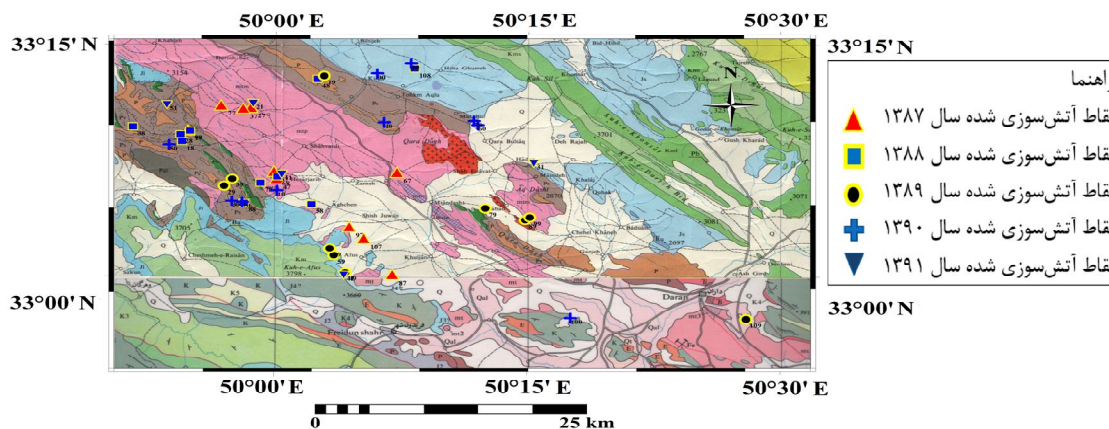
همکاران، 1389).

کیلومتری غرب استان اصفهان، واقع در زاگرس مرکزی می‌باشد (شکل 1). میانگین ارتفاع منطقه از سطح دریا 2760 متر و میانگین سالانه دما و بارندگی به ترتیب 9/4 درجه سلسیوس و 450 میلی‌متر است. مراتع این منطقه هر ساله به دلایل مختلفی دچار حریق شده که دلیل عمده آن دخالت‌های انسانی بوده است. به همین دلیل در این پژوهش تصمیم گرفته شد که از اطلاعات مربوط به آتش‌سوزی‌هایی که قبلاً در سال‌های 1387 تا 1391 در اثر دخالت‌های انسانی و یا رخدادهای طبیعی صورت گرفته، برای انتخاب نقاط نمونه‌برداری استفاده شود. به همین منظور با استفاده از اطلاعات موجود در اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان اصفهان و شهرستان فریدن در مورد آتش‌سوزی‌های صورت گرفته، برای سال‌های 1387 تا 1390، به ازاء هر سال تعداد 10 ایستگاه و برای سال 1391 به دلیل کم بودن رخدادهای آتش‌سوزی، 5 ایستگاه انتخاب شد.

در سال‌های اخیر با توجه به دوره‌های خشک‌سالی حاکم بر منطقه و همچنین رشد جمعیت که به تبع آن مشکلات فزاینده‌ای بوجود آمده، تخریب عرصه‌های منابع طبیعی اعم از جنگل‌ها و مراتع نیز افزایش پیدا کرده است. در منطقه فریدن نیز که مراتع آن شرایط مساعدی برای آتش‌سوزی دارند، این چالش به یک معضل و مشکل بزرگ تبدیل شده است. لذا با توجه به اهمیت مسئله آتش‌سوزی مراتع در ایران و همچنین کمبود پژوهش در این زمینه، پژوهش حاضر با هدف مطالعه آثار باقی‌مانده آتش‌سوزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مراتع شهرستان فریدن واقع در غرب اصفهان (زاگرس مرکزی) انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی 50° 51' و 49° 52' شرقی و عرض‌های جغرافیایی 32° 31' و 33° 21' شمالی واقع در 200



شکل 1- منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری

ماده آلی خاک به روش والکی-بلاک (والکی و بلاک، 1934)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی اسید باقی‌مانده به وسیله سود نیم نرمال (نلسون، 1982)، پتاسیم محلول در نمونه‌های خاک به روش نشر اتمی شعله (اسپارکس و همکاران، 1996)، کلسیم و منیزیم محلول خاک به روش تیتراسیون (soil survey staff, 2004)، فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن (اولسن، 1954) و آهن، روی و منگنز قابل جذب خاک به روش عصاره‌گیری با DTPA اندازه‌گیری شد (لیانگ و کارامانوس، 1993). آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی نامتعادل

در هر ایستگاه یک نقطه به عنوان تیمار آتش‌سوزی و یک نقطه به عنوان شاهد انتخاب شد. در انتخاب محل نقاط تیمار و شاهد در هر ایستگاه سعی شد که نقاط تا حد امکان به هم نزدیک باشند (حدود 2-3 متر) و اختلاف دو نقطه تیمار و شاهد تنها آتش‌سوزی باشد و از لحاظ سایر ویژگی‌ها کاملاً مشابه باشند تا اثر تغییرپذیری مکانی و محیطی بر ویژگی‌های خاک به حداقل برسد. نمونه‌برداری خاک از لایه 0-5 سانتی‌متری و به روش تصادفی انجام شد و برای هر نقطه سه نمونه تصادفی برداشته شد و پس از مخلوط‌شدن یک نمونه مرکب از آن تهیه شد.

و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که آتش سوزی بر کربنات کلسیم معادل و فسفر قابل جذب خاک اثر معنی داری نداشت اما این اثر بر درصد ماده آلی، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول خاک و روی و منگنز قابل جذب در سطح آماری 1 درصد و آهن قابل جذب خاک در سطح پنج درصد از لحاظ آماری معنی دار بود (جدول 1).

اثر زمان (سال) بر کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، فسفر قابل جذب، پتاسیم و کلسیم محلول خاک و هم چنین اثر متقابل آتش سوزی و زمان (سال) بر کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، فسفر، آهن، منگنز و روی قابل جذب و پتاسیم محلول خاک معنی دار نبود. اثر زمان بر منیزیم محلول، آهن، منگنز و روی قابل جذب خاک و هم چنین برهم کنش زمان و آتش سوزی بر کلسیم و منیزیم محلول و آهن، منگنز و روی قابل جذب خاک از لحاظ آماری معنی دار بود (جدول 1).

جدول 1- نتایج تجزیه واریانس اثر آتش سوزی و زمان وقوع آن بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه

میانگین مربعات									درجه	منابع
Zn ²⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	P _{av}	OM	CCE	آزادی	تغییرات
6/54**	18903**	105/34*	33/51**	302/54**	6/34**	185/78 ^{ns}	96/28**	18/60 ^{ns}	1	آتش سوزی
1/04**	2350/7*	134/16**	3/19**	4/24 ^{ns}	0/47 ^{ns}	28/57 ^{ns}	4/65 ^{ns}	56/89 ^{ns}	4	سال
0/16 ^{ns}	2237/7 ^{ns}	4/04 ^{ns}	5/52**	14/52*	0/46 ^{ns}	59/41 ^{ns}	5/02 ^{ns}	9/57 ^{ns}	4	آتش سوزی × سال
0/35	986/46	26/03	0/67	4/67	0/21	64/42	2/76	57/52	80	خطا
52/16	73/89	25/46	48/01	26/49	65/00	24/51	51/93	102/8	(%)	ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب بیانگر اثر معنی دار در سطوح آماری 5 و 1 درصد و ^{ns} بیانگر اثر غیر معنی دار می باشد.

CCE: کربنات کلسیم معادل (%), OM: ماده آلی خاک (%), P_{av}: فسفر قابل جذب خاک (mg.kg⁻¹), K⁺: پتاسیم محلول خاک (meq.l⁻¹), Ca²⁺: کلسیم محلول خاک (meq.l⁻¹), Mg²⁺: منیزیم محلول خاک (meq.l⁻¹), Fe²⁺, Mn²⁺ و Zn²⁺ به ترتیب، آهن، منگنز و روی قابل استخراج با DTPA. (mg kg⁻¹)

که کربن آلی خاک بلافاصله پس از آتش سوزی افزایش یافته است.

فرایند آتش سوزی باعث تولید دو نوع مواد می شود اول مواد نیم سوخته و دیگری خاکستر، که در هر دو صورت چون این دو تولیدات با خاک اولیه محیط مقایسه می شوند دارای میزان بسیار بالاتری از مواد آلی می باشند. مطالعات زیادی در این خصوص شده است که نشان می دهد که سوزاندن پوشش گیاهی و تبدیل آن به خاکستر و مواد نیم سوز که کربن زیادی دارد، می تواند باعث افزایش مقدار ماده آلی خاک شود. از طرفی هم آتش سوزی شدید باعث شکل گیری برخی ترکیبات آلی آبریز می شود که موجب آبریز شدن زیاد خاک می شود (ورما و جایاکومار، 2012). رایسون (1979) بیان داشت که مخلوط کردن خاکستر با خاک باعث افزایش ماده آلی خاک می شود. نیچر و همکاران (1996) بیان کردند که آتش سوزی منجر به تولید خاکستری شده که دارای مقداری کربن و نیتروژن است و برگرداندن این خاکستر به خاک موجب افزایش کربن و نیتروژن خاک می گردد. گارسیا-کورون و همکاران (2004) بیان کردند که افزودن خاکستر به خاک مقدار کربن آلی خاکدانه های ریز را

مقایسه میانگین داده ها نشان داد که اثر اصلی آتش سوزی بر درصد ماده آلی و مقدار منگنز قابل جذب خاک از لحاظ آماری در سطح 5 درصد معنی دار بود (جدول 2). همان گونه که در شکل 2 (ب) نشان داده شده است، مقدار ماده آلی خاک در تیمار آتش سوزی شده افزایش یافته است. این افزایش در نمونه های مربوط به سال 1387، 1389 و 1391 معنی دار اما در نمونه های مربوط به سال های 1388 و 1390 معنی دار نبود. احتمالاً دلیل معنی دار بودن این اثر در سال های فوق الذکر تراکم زیاد پوشش گیاهی پیش از آتش سوزی و هم چنین شدت زیاد آتش سوزی بوده و دلیل معنی دار نبودن اثر در سال های 1388 و 1390 احتمالاً علاوه بر تراکم کم تر پوشش گیاهی و در نتیجه شدت کم تر آتش سوزی، انتقال مواد نیم سوز به جا مانده از آتش سوزی به واسطه بارندگی و یا تردد بیش از حد دام می باشد. در واقع آتش سوزی با سوزاندن پوشش گیاهی و تبدیل آن به مواد نیم سوز و بیوچار احتمالی که کربن زیادی دارد، می تواند باعث افزایش مقدار ماده آلی خاک شود. گارسیا-کورون و همکاران (2004)، خسروی (1391)، اوجیما و همکاران (1994) و ایگلسیاس و همکاران (1997)، مشاهده کردند

دمای بیشتر از 350 درجه سانتی‌گراد قرار گیرد 100 درصد کربن آلی آن از بین می‌رود (فرناندز و همکاران، 1999). فین و هاینس (2003) بیان کردند که سوزاندن بقایا در فصل بهار با باقی گذاشتن بقایای گیاهی سوزانده نشده و مخلوط شدن آن‌ها با خاک روپین مانع از کاهش کربن آلی خاک شده، در حالی که سوزاندن در زمستان به واسطه‌ی سطح لخت خاک و از دست رفتن بقایای سوزانده نشده در اثر فرسایش، منجر به کاهش معنی‌دار کربن آلی خاک می‌شود. نتایج نف و همکاران (2005)، نشان داد که خاک‌های سوزانده شده نسبت به خاک‌های شاهد کربن آلی کمتری دارند. آنان بیان کردند که آتش‌سوزی باعث تغییر در ساختمان مواد آلی شده است به طوری که بیشتر ترکیبات غنی از لیگنین روی سطح خاک باقی می‌ماند.

افزایش می‌دهد که این افزایش با فرایندهای میکروبی در ارتباط می‌باشد. اوجیما و همکاران (1994) با سوزاندن و باقی گذاشتن ریشه گیاهان مرده در مراتع، افزایش کربن آلی را در لایه 0-10 سانتی‌متری خاک سطحی گزارش دادند. ایگلسیاس و همکاران (1997) نیز با بررسی اثر آتش‌سوزی در جنگل مشاهده کردند که کربن آلی خاک از حدود 3 درصد در قسمت نسوخته به حدود 6 درصد در قسمت سوخته افزایش پیدا کرده است.

البته پژوهش‌هایی هم کاهش کربن آلی خاک را پس از آتش‌سوزی گزارش نموده‌اند (خسروی، 1391). این کاهش زمانی صورت گرفته که آتش‌سوزی شدیدی رخ دهد. اگر دمای آتش‌سوزی در حین سوزاندن بین 350-220 درجه سانتی‌گراد باشد، باعث هدر رفت بیش از 50 درصد از مقدار کربن آلی می‌شود و هنگامی که خاک در

جدول 2- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی آتش‌سوزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک مورد مطالعه

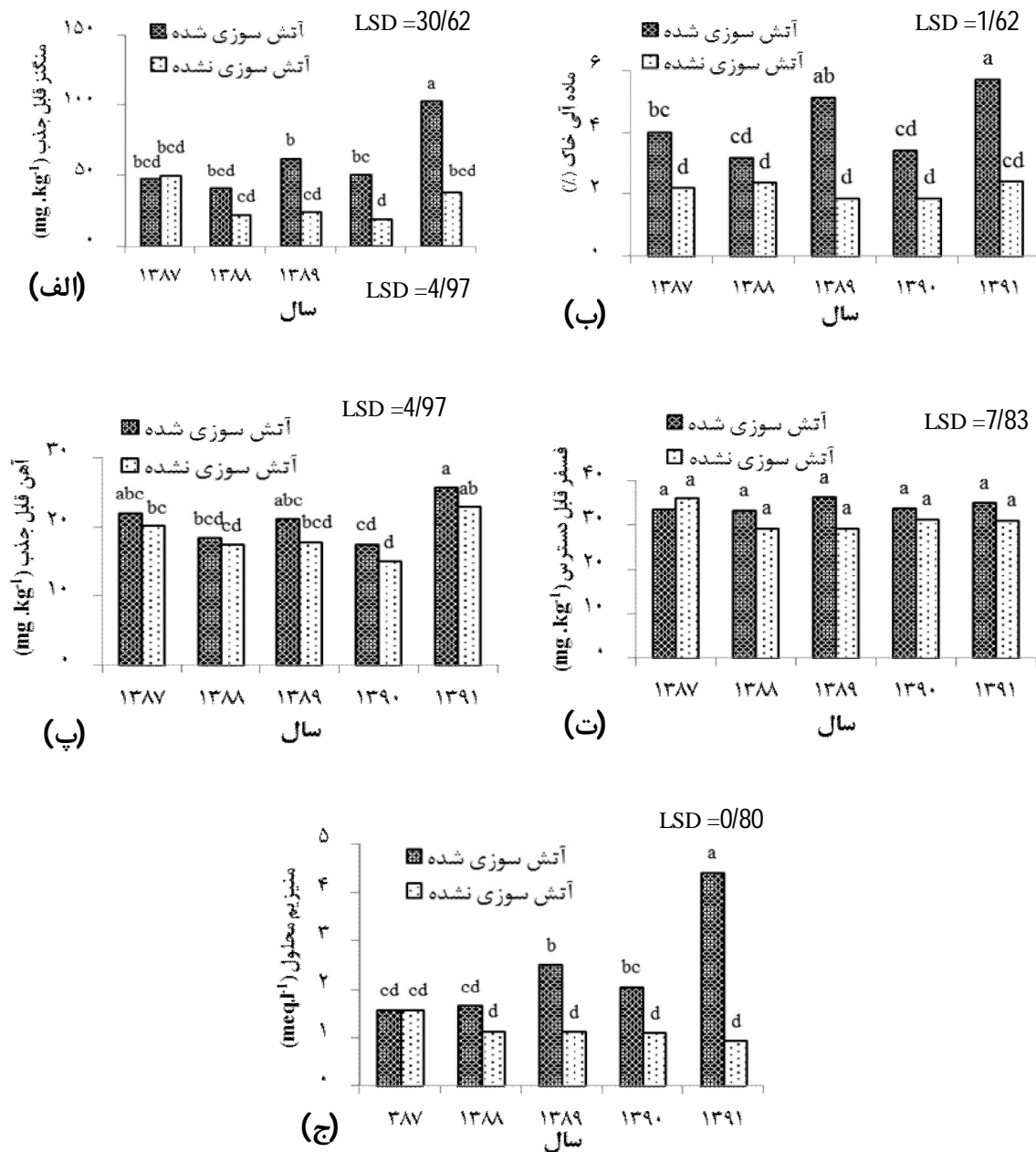
ویژگی شیمیایی								تیمار	
Zn ²⁺ (mg.kg ⁻¹)	Mn ²⁺ (mg.kg ⁻¹)	Fe ²⁺ (mg.kg ⁻¹)	Mg ²⁺ (meq.l ⁻¹)	Ca ²⁺ (meq.l ⁻¹)	K ⁺ (meq.l ⁻¹)	P _{av} (mg.kg ⁻¹)	OM (%)		CCE (%)
0/87 ^b	29/37 ^b	18/22 ^b	1/19 ^b	6/42 ^b	0/45 ^b	31/30 ^a	2/10 ^b	6/40 ^a	آتش‌سوزی نشده
1/39 ^a	55/64 ^a	20/39 ^a	2/22 ^a	9/91 ^a	0/95 ^a	34/17 ^a	4/12 ^a	7/08 ^a	آتش‌سوزی شده
0/25	13/17	2/14	0/34	0/91	0/19	3/36	0/70	3/18	LSD

آزمون مقایسه میانگین به روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) بوده و در هر ستون حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری در سطح 5 درصد می‌باشد.

CCE: کربنات کلسیم معادل، OM: ماده آلی خاک، P_{av}: فسفر قابل جذب خاک، K⁺: پتاسیم محلول خاک، Ca²⁺: کلسیم محلول خاک، Mg²⁺: منیزیم محلول خاک، Fe²⁺، Mn²⁺ و Zn²⁺ به ترتیب، آهن، منگنز و روی قابل استخراج با DTPA.

کوتاه‌مدت، آتش‌سوزی میزان عناصر غذایی ضروری خاک را افزایش می‌دهد که این عمل سبب تحریک رشد گیاه می‌شود (منوت و همکاران، 1992). گارسیا ماکرو و گنزالس پریو (2008) افزایش فراهمی منگنز خاک در اثر آتش‌سوزی را گزارش نمودند.

با توجه به شکل 2 (الف)، اختلاف بین عرصه سوخته و نسوخته از لحاظ مقدار منگنز خاک در نمونه‌های مربوط به سال 1391 بیش‌تر از سایر سال‌ها بود. دلیل آن نیز عدم وجود پوشش گیاهی برای مصرف عناصر آزاد شده و هم‌چنین عدم بارندگی در فاصله زمانی بین آتش‌سوزی و نمونه‌برداری بوده است. در دوره‌های



شکل 2- اثر متقابل آتش سوزی و سال بر ویژگی‌های شیمیایی خاک، (الف)-منگنز قابل استخراج با DTPA، (ب)-ماده آلی، (پ)-آهن قابل استخراج با DTPA، (ت)-فسفر قابل دسترس، (ث)- کلسیم محلول، (ج)-منیزیم محلول و (ج)-پتاسیم محلول. (میانگین‌های دارای حروف مشابه از لحاظ آماری با استفاده از آزمون LSD، در سطح احتمال 5 درصد تفاوت معنی دار ندارند).

عناصر غذایی علاوه بر اینکه به واسطه آب‌شویی از خاک خارج می‌شوند، به همان اندازه هم ممکن است در طول آتش سوزی به صورت ذرات ریز درون ستون دود ایجاد شده، از محیط خارج شده و یا در اثر فرسایش بادی منتقل شوند (سرتینی، 2005). آتش سوزی با شدت کم به

اثر اصلی آتش سوزی بر آهن قابل جذب خاک در سطح 5 درصد معنی دار بود (جدول 2). آتش سوزی باعث افزایش اندکی در مقدار آهن قابل جذب خاک شده است اما این اختلاف در هیچ کدام از سال‌ها معنی دار نبود (شکل 2 (پ)).

والان بر لیتر بود (جدول 2). هم‌چنین نتایج جدول تجزیه واریانس معنی‌دار بودن اثر متقابل آتش‌سوزی و زمان بر مقدار کلسیم و منیزیم محلول خاک به ترتیب در سطوح 5 و 1 درصد را نشان داد (جدول 1).

شکل 2 (ث) بیان‌گر کاهش اختلاف مقدار کلسیم محلول خاک بین عرصه‌های سوخته و نسوخته با گذشت زمان می‌باشد که روند مشابه برای منیزیم محلول خاک نیز در شکل 2 (ج) دیده می‌شود. محتویات غذایی خاک هنگامی که در معرض دماهای زیاد قرار می‌گیرند، به سرعت تغییر می‌یابند. اگرچه برخی از عناصر غذایی مانند کلسیم، منیزیم و سدیم تنها در سطح خاک رها و ذخیره می‌شوند، عناصر دیگر مانند نیتروژن و پتاسیم عمدتاً تبخیر شده و از دست می‌روند. از دست رفتن این عناصر هنگام آتش‌سوزی، به دمای خاک و شدت آتش‌سوزی بستگی دارد (خسروی، 1391). در کل خاک سوخته نسبت به خاک نسوخته مقدار کلسیم محلول بیش‌تری دارد (ورما و جایاکومار، 2012). آلوزیس و همکاران (2004) گزارش نمودند که دو ماه پس از آتش‌سوزی مقدار منیزیم محلول خاک در عرصه سوخته افزایش یافت. خسروی (1391) گزارش کرد که آتش‌سوزی اثر معنی‌داری بر کلسیم محلول خاک در هر دو مرحله نمونه‌برداری دارد. آلوزیس و همکاران (2004) به بررسی پیامدهای آتش‌سوزی بر خاک‌های مناطق جنگلی آرژانتین پرداخته و گزارش نمودند که دو ماه پس از آتش‌سوزی مقدار منیزیم خاک در عرصه سوخته افزایش یافت.

تفاوت پتاسیم محلول خاک بین عرصه سوخته و شاهد از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و در خاک سوخته به مراتب بیش‌تر از خاک نسوخته بود. اما اثر زمان و هم‌چنین اثر متقابل آتش‌سوزی و زمان بر مقدار پتاسیم محلول خاک از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول 1). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان می‌دهد که آتش‌سوزی سبب افزایش بیش از دو برابری مقدار پتاسیم محلول خاک شده که این اختلاف از لحاظ آماری در سطح 5 درصد معنی‌دار بود (جدول 2). الگوی تغییرات مقدار پتاسیم محلول خاک تحت تأثیر آتش‌سوزی در سال‌های مختلف تا حدود زیادی مشابه یکدیگر بود (شکل 2 (چ)). همان‌گونه که در شکل 2 نشان داده شده است، الگوی تغییرات پتاسیم محلول مشابه با کلسیم و منیزیم محلول خاک می‌باشد. به عبارت دیگر با گذشت زمان به دلیل بارندگی و به دنبال آن آب‌شویی و هم‌چنین مصرف پتاسیم آزادشده به وسیله‌ی گونه‌های گیاهی یک-ساله که پس از آتش‌سوزی رشد می‌کنند، اختلاف به وجود آمده کاهش می‌یابد.

واسطه سوختن لاشبرگ و ماده آلی خاک، مقادیر عناصر قابل دسترس گیاه را افزایش داده و سبب رشد سریع گیاهان علفی و هم‌چنین افزایش معنی‌دار ذخیره عناصر غذایی گیاه می‌شود. در مقابل آتش‌سوزی شدید سبب از بین رفتن ماده آلی، تبخیر نیتروژن، پتاسیم، گوگرد و فسفر و هم‌چنین مرگ ریزسازوهاره‌ها می‌شود (ورما و جایاکومار، 2012). کومار و همکاران (2013)، اثر آتش‌سوزی بر عناصر غذایی را مورد بررسی قرار داده و بیان کردند که آتش‌سوزی نقش مهمی در وضعیت عناصر غذایی ایفا می‌کند.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اثر اصلی آتش‌سوزی بر مقدار فسفر قابل دسترس خاک از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول 2). اختلاف مقدار فسفر قابل جذب خاک بین عرصه سوخته با عرصه شاهد غیر از سال نخست یک روند مشابه را نشان داد، به گونه‌ای که این مقدار در عرصه سوخته با افزایش همراه بود (شکل 2 (ت)).

خسروی (1391) گزارش کرد که اثر آتش‌سوزی بر فسفر قابل جذب خاک در مرحله اول یعنی بلافاصله پس از آتش‌سوزی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بوده، در حالی که این اثر در مرحله دوم یعنی یک سال پس از آتش‌سوزی معنی‌دار نشده است. پژوهش‌های مختلف حاکی از آن است که سوزاندن بقایای گیاهی سبب افزایش فسفر خاک (به ویژه در لایه 0-5 سانتی‌متری) می‌شود (فین و همکاران، 2003). در پژوهش دورمار و اسکابر (1985)، مقدار فسفر قابل استفاده در لایه 0-5 سانتی‌متری خاک در تیمارهای بقایای سوخته‌شده و بقایای حفظ‌شده به ترتیب 44/4 و 23/3 میکروگرم بر گرم خاک بود. آنان بیان کردند سوزاندن بقایای گیاهی از طریق تسریع در تبدیل عناصر غذایی مانند فسفر از شکل آلی به معدنی می‌تواند نقش موثری در خاک ایفا کند. منوت و همکاران (1992) بیان کردند که بیش از 50 درصد از فسفر موجود در مواد آلی ممکن است در زمان آتش‌سوزی آزاد شود. همت بلند و همکاران (1389)، بانج شفیعی و همکاران (1389)، مولوی و همکاران (1388)، پارلاک (2011) و اکیسی (2006) نیز افزایش مقدار فسفر قابل جذب خاک در عرصه سوخته را گزارش کردند.

در مورد مقدار کلسیم و منیزیم محلول خاک، تجزیه آماری در سطح احتمال یک درصد نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین عرصه سوخته با عرصه شاهد بود. مقادیر میانگین کلسیم و منیزیم در عرصه سوخته به ترتیب 6/42 و 1/19 میلی اکی بر لیتر بوده و این مقادیر در عرصه سوخته به ترتیب برابر با 9/91 و 2/22 میلی اکی

غذایی در زیست بوم‌ها درجات مختلفی از تأثیر را بر سیستم کره زمین اعمال کرده و علاوه بر آن سبب انتشار گازها و ذرات معلق در اتمسفر می‌شود. بلافاصله پس از آتش سوزی، افزودن بقایای نیم‌سوز شده گیاهان سبب افزایش قابل توجه ماده آلی خاک شد ولی در کوتاه مدت (یعنی پس از یک سال)، به واسطه بارندگی و انتقال ذرات خاکستر و هم‌چنین بقایای نیم‌سوز شده گیاهان، کاهش ماده آلی خاک رخ داد. در درازمدت (یعنی دو یا بیش از دو سال پس از آتش سوزی) به دلیل از بین رفتن گونه‌های خشبی و مهیاشدن شرایط برای رویش گیاهان علفی که عمر کوتاهی نیز دارند و معمولاً یک‌ساله می‌باشند، مقدار ماده آلی خاک دوباره افزایش یافت.

پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های بعدی اثر شدت آتش سوزی و هم‌چنین تراکم و نوع پوشش گیاهی منطقه بر ویژگی‌ها و کیفیت خاک مورد بررسی قرار گرفته و به منظور مقایسه بهتر پیامدهای آتش سوزی، نمونه برداری در عمق‌های متفاوت خاک انجام شود تا عمق نفوذ گرما و اثر آن بر ویژگی‌های خاک نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. برای تعیین تغییرات حاصل از آتش سوزی در فصول مختلف سال پیشنهاد می‌شود نمونه برداری خاک در فصول مختلف پس از آتش سوزی نیز انجام شود تا تغییرات زمانی (فصلی) ویژگی‌های خاک به طور دقیق‌تری بررسی شود. بررسی اثر مواد مادری به عنوان یکی از عوامل مهم در تغییرات حاصل از آتش سوزی نیز می‌تواند به درک بهتر اثر آتش سوزی بر ویژگی‌ها و کیفیت خاک کمک کند.

نتایج مولوی و همکاران (1388)، همت بلند و همکاران (1389)، پارلاک (2011) و اکینسی (2006)، افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم خاک سطحی در عرصه سوخته را نشان دادند. آلوئیس و همکاران (2004) نیز گزارش نمودند که دو ماه پس از آتش سوزی مقدار پتاسیم خاک در عرصه سوخته افزایش یافت. هرناندز و همکاران (1997) دریافتند که در اثر آتش سوزی، فراهمی عناصر غذایی از جمله پتاسیم در لایه‌ی رویین خاک افزایش می‌یابد. این افزایش از طریق احتراق مواد آلی، سوختن گیاهان و تبدیل آن‌ها به خاکستر حاصل می‌شود. البته این افزایش رابطه مستقیمی با شدت آتش سوزی داشته و با افزایش شدت آتش سوزی فراهمی پتاسیم خاک نیز افزایش خواهد یافت (ورما و جایاکومار، 2012).

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که آتش سوزی پیامدهای چشم‌گیری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه داشت. از بین ویژگی‌های شیمیایی اندازه‌گیری شده، ماده آلی، منگنز قابل جذب، کلسیم، منیزیم و پتاسیم محلول خاک بیش‌ترین افزایش را در اثر آتش سوزی نشان دادند. مواد آلی بیشتر به خاطر نیم سوز و بیوچار شدن احتمالی پوشش گیاهی و متراکم شدن در مواد باقی مانده افزایش نشان داده‌اند و افزایش عناصر یاد شده احتمالاً به دلیل مقاومت کمتر آن‌ها در برابر حرارت نسبت به عناصر دیگر بوده است. به طور کلی تأثیر آتش سوزی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در نخستین سال‌های پس از آتش سوزی بیش‌تر بوده و این روند با گذشت زمان کاهش یافت. آتش سوزی به واسطه تنظیم چرخه عناصر

فهرست منابع:

1. بانج شفیعی، ع. اکبری‌نیا، م. عزیزی، پ. و اسحاقی راد، ج. 1389. تأثیر آتش سوزی بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک جنگل در شمال ایران (مطالعه موردی: جنگل خیرودکنار). فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران. 18(3): 365-379.
2. بای‌بوردی، م. 1378. خاک: پیدایش و رده بندی، انتشارات دانشگاه تهران.
3. بی نام. 1391. طرح جامع مدیریت پیشگیری و اطفای حریق. سازمان جنگل‌ها مراتع و آبخیزداری کشور، دفتر حفاظت و حمایت منابع طبیعی.
4. خسروی، ا. 1391. ارزیابی پیامدهای کوتاه‌مدت آتش سوزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مراتع در منطقه فریدن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
5. شریفی، ج. ایمانی، ع. ا. 1385. بررسی تأثیر آتش سوزی در تغییرات پوشش گیاهی و ترکیب گونه در مراتع نیمه استپی استان اردبیل (مطالعه موردی در قرق تحقیقاتی خلخال). مجله منابع طبیعی ایران. 59(2): 517-526.

6. مولوی، ر. باقر نژاد، م. ادهمی، ا. 1388. اثر آتش‌سوزی جنگل و سوزاندن پسمان زراعی بر تغییرات کانی‌های رسی و برخی ویژگی‌های فیزیکو-شیمیایی لایه‌های سطحی خاک. مجله علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). 13(49): 110-99.
7. همت بلند، ا. اکبری‌نیا، م. بانج شفیعی، ع. 1389. اثر آتش‌سوزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در جنگل‌های بلوط مریوان. فصلنامه علمی-پژوهشی جنگل و صنوبر ایران. 18(2): 218-205.
8. Alauzis, M. A. V., M. A. J. Mazzarino, E. Raffaele and L. A. Roselli. 2004. Wildfires in NW Patagonia: long-term effects on a *Nothofagus* forest soil. *Forest Ecol. Manag.* 192: 131-142.
9. Bird, M., E. Veenendaal, C. Moyo, J. Lloyd and P. Frost. 2000. Effect of fire and soil texture on soil carbon in a sub-humid savanna (Matopos, Zimbabwe). *Geoderma*. 94: 71-90.
10. Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia*. 143: 1-10.
11. DeBano, L. F. 1991. The effect of fire on soil properties. *Proceedings of Management and Productivity of Western-Montane Forest Soils*, PP. 151-155.
12. DeBano, L. F., D. G. Neary and P. F. Folliott. 1998. *Fire Effects on Ecosystems*, John Wiley & Sons Incorporated, 91-100.
13. Dormaar, J. and B. Schaber. 1985. Chemical properties of soil as affected by a single burn of alfalfa stubble to control insects. *Can. J. Soil Sci.* 65: 357-361.
14. Ekinci, H. 2006. Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Çanakkale, Turkey. *Int. J. Agric. Biol.* 8: 102-106.
15. Fernández, I., A. Cabaneiro and T. Carballas. 1999. Carbon mineralization dynamics in soils after wildfires in two Galician forests. *Soil Biol. Biochem.* 31: 1853-1865.
16. Fynn, R., R. Haynes and T. O'Connor. 2003. Burning causes long-term changes in soil organic matter content of a South African grassland. *Soil Biol. Biochem.* 35: 677-687.
17. García-Corona, R., E. Benito, E. De Blas and M. Varela. 2004. Effects of heating on some soil physical properties related to its hydrological behaviour in two north-western Spanish soils. *Int. J. Wildland Fire*. 13: 195-199.
18. García-Marco, S. and S. González-Prieto. 2008. Short-and medium-term effects of fire and fire-fighting chemicals on soil micronutrient availability. *Sci. Total Environ.* 407: 297-303.
19. Gómez-Rey, M. X., A. Couto-Vázquez, S. García-Marco and S. J. González-Prieto. 2013. Impact of fire and post-fire management techniques on soil chemical properties. *Geoderma*. 195: 155-164.
20. Harvey, A. E., M. F. Jurgensen, M. J. Larsen and R. T. Graham. 1987. Decaying organic materials and soil quality in the Inland Northwest: a management opportunity. *General Technical Report INT*. 20p.
21. Hernández, T., C. Garcia and I. Reinhardt. 1997. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biol. Fert. Soils*. 25: 109-116.
22. Iglesias, T., V. Cala and J. Gonzalez. 1997. Mineralogical and chemical modifications in soils affected by a forest fire in the Mediterranean area. *Sci. Total Environ.* 204: 89-96.
23. Inbar, A., M. Lado, M. Sternberg, H. Tenau and M. Ben-Hur. 2014. Forest fire effects on soil chemical and physicochemical properties, infiltration, runoff, and erosion in a semiarid Mediterranean region. *Geoderma*. 221/222: 131-138.

24. Knicker, H., G. Almendros, F. J. González-Vila, F. Martin and H.-D. Lüdemann. 1996. ¹³C- and ¹⁵N-NMR spectroscopic examination of the transformation of organic nitrogen in plant biomass during thermal treatment. *Soil Biol. Biochem.* 28: 1053–1060.
25. Kumar, M., M. A. Sheikh, J. A. Bhat and R. W. Bussmann. 2013. Effect of fire on soil nutrients and under storey vegetation in Chir pine forest in Garhwal Himalaya, India. *Acta Ecol. Sin.* 33: 59–63.
26. Liang, J. and R. Karamanos. 1993. DTPA-extractable Fe, Mn, Cu and Zn. PP 87–90 In: M.R. Carter (Eds.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Chapter 11. Taylor & Francis, London.
27. Menaut, J., L. Abbadie and P. Vitousek. 1992. Nutrient and organic matter dynamics in tropical ecosystems. pp. 215-231. In: P. J. Crutzen and J. G. Goldammer (Eds), *Fire in the environment.- The ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires*. Vol. 13 Dahlem Workshop Reports Berlin (Alemania).
28. Neary, D. G., K. C. Ryan and L. F. DeBano. 2005. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 4*: 250.
29. Neff, J., J. Harden and G. Gleixner. 2005. Fire effects on soil organic matter content, composition, and nutrients in boreal interior Alaska. *Can. J. Forest. Res.* 35: 2178–2187.
30. Nelson, R. 1982. Carbonate and gypsum. In: D. R. Buxton, Ed., *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical Methods, Vo1. Agronomy Handbook No 9*. ASA and SSSA, Madison, WI, PP. 181–197.
31. Ojima, D. S., D. Schimel, W. Parton and C. Owensby. 1994. Long- and short-term effects of fire on nitrogen cycling in tallgrass prairie. *Biogeochemistry.* 24: 67–84.
32. Olsen, S. R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department Of Agriculture, Washington. Circular 939.
33. Parlak, M. 2011. Effect of heating on some physical, chemical and mineralogical aspects of forest soil. *J. Fac. For. Istanbul U.* 13: 143–152.
34. Pivello, V. R., I. Oliveras, H. S. Miranda, M. Haridasan, M. N. Sato and S. T. Meirelles. 2010. Effect of fires on soil nutrient availability in an open savanna in Central Brazil. *Plant Soil.* 337: 111–123.
35. Raison, R., H. Keith and P. Khanna. 1990. Effects of fire on the nutrient-supplying capacity of forest soils. *FRI bulletin-Forest Research Institute, New Zealand Forest Service.*
36. Soil Survey Staff. 2004. *Soil survey laboratory methods manual*, USDA-NRCS, US Government, Printing Office: Washington, DC. 700p.
37. Sparks, D. L., A. Page, P. Helmke, R. Loeppert, P. Soltanpour, M. Tabatabai, C. Johnston and M. Sumner. 1996. *Methods of Soil Analysis. Part 3- Chemical Methods*, SSSA/ASA. Madison, WI, Inc.
38. Verma, S. and S. Jayakumar. 2012. Impact of forest fire on physical, chemical and biological properties of soil: A review. *Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci.* 2: 168–176.
39. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29–38.