

## اثر آتش سوزی جنگل و سوزاندن پسمان زراعی بر تغییرات کانی‌های رسی و برخی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی لایه‌های سطحی خاک

رویا مولوی<sup>۱</sup>، مجید باقرنژاد<sup>۱</sup> و ابراهیم ادهمی<sup>۲\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۲/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۰/۲۹)

### چکیده

آتش به صورت گسترده برای تمیز کردن مزارع در ایران استفاده می‌شود در حالی که اطلاعات کمی از اثر آن بر خصوصیات خاک به ویژه خصوصیات مینرالوژیکی خاک در دسترس می‌باشد. تحقیق حاضر به منظور (۱) مقایسه برخی از ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک سوخته و نسوخته (۲) بررسی امکان تحول کانی‌های موجود در لایه سطحی خاک بر اثر افزایش دما صورت گرفت. نمونه‌ها از عمق ۰-۵ و ۱۵-۵ سانتی متری قسمت سوخته و نسوخته یک خاک زراعی در منطقه تخت جمشید و خاک جنگل بمو که در آنها آتش‌سوزی رخ داده بود با ۴ تکرار برداشته شدند. تجزیه‌های فیزیکی-شیمیایی روی نمونه‌های نسوخته و سوخته صورت گرفت. هم‌چنین کانی‌های موجود در جزء رس خاک‌ها در عمق ۰-۵ سانتی متری خاک نسوخته و سوخته و نمونه‌های خاک تیمار شده در دماهای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲، ۴، ۸ و ۱۲ ساعت در آزمایشگاه، توسط دستگاه پراش پرتو ایکس مطالعه گردید. در ناحیه جنگلی پهاش و شن در عمق ۰-۵ سانتی متری خاک سوخته افزایش یافت در صورتی که مقدار فسفر و پتاسیم قابل جذب در هر دو عمق نمونه‌برداری خاک جنگلی افزایش نشان داد. در خاک زراعی تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی در اثر آتش‌سوزی از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس کاهش شدت پیک‌های کلریت و ایلیت در نمونه خاک‌های زراعی و جنگلی سوخته را نشان داد. در تیمار دمایی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد اعمال شده در مدت زمان‌های متفاوت کلریت و ایلیت با مقدار نسبی کمتر نسبت به خاک نسوخته در هر دو منطقه نمونه‌برداری شده مشاهده شد در حالی که در تیمار دمایی ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد با زمان‌های ۸ و ۱۲ ساعت، پیک‌های مربوط به کلریت و ایلیت بر خلاف زمان‌های ۲ و ۴ ساعت مشاهده نشد. پیک کوارتز در خاک جنگلی و زراعی سوخته و تیمارهای دمایی ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد بدون تغییر مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: مینرالوژی، دمای آتش، کانی‌های رس، خاک جنگل، خاک زراعی

### مقدمه

تاریخی رومی‌ها و سایر مردم مدیترانه بیش از ۲۰۰۰ سال پیش این کار را انجام می‌دادند (۱۲). سرخ پوستان ساکن آمریکا نیز گاهی برای به دست آوردن محصول بیشتر، چمنزارها را آتش می‌زدند (۱۲). پراکندگی نامناسب خاکستر در زمین‌هایی که در معرض سوزاندن هستند تغییرات بسیاری را در خصوصیات

اخیراً آتش به‌طور وسیع برای تمیز کردن جنگل‌ها و مزارع استفاده می‌شود زیرا این کار یک روش آسان و اقتصادی برای افزایش دسترسی به سطح مزارع و جنگل می‌باشد (۱۲). سوزاندن بقایای گیاهان از قدیم مرسوم بوده است. از نظر

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. استادیار علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: eadhami@gmail.com

هیدروکسیل را در کلریت، (Chlorite-vermiculite) Ch-V، ورمیکولیت و میکا (Hydroxy-interlayered-vermiculite) HIV، ورمیکولیت و میکا را به وسیله Mossbauer spectra و کاهش فاصله لایه‌ها را توسط XRD نشان دادند. آنها نتیجه گرفتند که تغییرات کانی‌ها در اثر دماهای زیاد حاصل از سوزاندن بقایای جنگلی در قسمتی از خاک که تمرکز بار سوختی در آنجا زیاد است و خاک قرمز رنگ می‌باشد متداول است. ایگل‌سیاس (۹) با استفاده از دیفراکتوگرام‌های پرتو اشعه ایکس وجود کانی‌هایی چون میکا - اپلیت، ورمیکولیت، کائولینیت، کوآرتز، فلدسپار و گوتیت را در لایه سطحی ۵-۵ سانتی متری خاک‌های جنگلی مادرید شناسایی کردند. دو ماه بعد از آتش‌سوزی تغییرات مینرالوژیکی در این خاک‌ها به این صورت بود که ورمیکولیت رمبش یافته بود و در کائولینیت یک تغییر جزئی مشاهده می‌شد به گونه‌ای که پیک ۰/۷۲ نانومتر در آن دیده نمی‌شد.

شدت سوختن مواد به سه طبقه کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی شده‌اند. شدت‌های کم با خاکستر سیاه رنگ، بقایای گیاهی به صورت سطحی سوخته و حداکثر دما ۲۵۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در طی سوختن مشخص می‌شود. شدت‌های متوسط سوختن، دمای ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد را در سطح ایجاد می‌کند و بیشتر مواد گیاهی را می‌سوزاند و در نتیجه لایه خاک زیر را در معرض تغییرات قرار می‌دهد. در سوختن‌های شدید دمای بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌شود و با قرمز شدن خاک و خاکستر سفید رنگ حاصل از سوختن کامل بقایای گیاهی مشخص می‌شود. قرمز شدن خاک ممکن است بر اثر تغییر شکل اکسیدهای آهن در طی سوختن باشد (۱۹). شدت‌های کم آتش‌سوزی تأثیر کمی بر خصوصیات شیمیایی و بیولوژی خاک دارند ولی دماهای زیاد حاصل از آتش‌سوزی ممکن است خصوصیات اساسی و بنیادی خاک مثل بافت، مینرالوژی و ظرفیت تبادل کاتیونی را تغییر دهند (۱۰). آتش سرعت فرایندهای شیمیایی مورد بحث در هوادیدگی کانی‌ها را افزایش می‌دهد. از این رو در دراز مدت عناصر غذایی چون کلسیم، منیزیم و پتاسیم آزاد می‌شوند. هم‌چنین افزایش مقدار

خاک ایجاد می‌کند. تحقیقات گذشته در مورد تأثیر آتش‌سوزی بر خاک عمدتاً درباره خصوصیات شیمیایی خاک بود (۶) و به طور کلی فرض می‌شد که سوزاندن بقایا کمتر باعث تخریب فیزیکی لایه سطحی و کانی‌های خاک می‌شود (۶). تأثیر آتش‌سوزی بر چرخه عناصر غذایی، توالی بوم‌شناختی (هر بخش یا وضعیتی از محیط که بر زندگی یک یا چند جاندار تأثیر داشته باشد) و جامعه گیاهان به خوبی شناخته شده است (۲۲)، ولی اطلاعات کمی در ارتباط با تأثیر آتش بر کانی‌های خاک وجود دارد. در حالی که به طور کلی شرایط برای تجزیه، از دست رفتن آب و ویران شدن لایه‌های فیلوسیلیکات‌ها در طی آتش‌سوزی فراهم می‌شود (۱۹). بیشتر مطالعات پایداری کانی‌ها در برابر حرارت در آزمایشگاه با سنتزکانی‌ها یا تصفیه کانی‌های طبیعی صورت می‌گیرد. اما در شرایط مزرعه نیز متلاشی شدن برخی فیلوسیلیکات‌های ۲:۱ و تخریب کائولینیت بر اثر آتش‌سوزی‌های شدید گزارش شده است (۱۱). دوریسکو و ولز (۵) کاهش قابل توجه و سریع مقدار رس‌ها در دماهای بالاتر از ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد را گزارش کردند. آنان دمای بالا را علت دهیدارته شدن رس‌ها عنوان کردند. آرسنا و اپیو (۲) مشاهده کردند که مقدار رس‌های انبساط‌پذیر ۲:۱ (ورمیکولیت) در بخش رسی افق E<sub>b</sub> و B<sub>m</sub> بر اثر سوزاندن بقایای جنگل‌ها، با دمای کمتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. اولری و همکاران (۲۱) در خاک‌های جنگلی کالیفرنیا مشاهده کردند که دمای زیاد در طی سوزاندن بقایای جنگل‌ها، فیلوسیلیکات‌های خاک را درحد زیادی تغییر داده، تجزیه و ویران می‌کند. آنان هم‌چنین تجزیه کائولین را در دماهای زیاد توسط XRD و تجزیه‌های جرمی-گرمایی نشان دادند. پتاسیم رها شده از سوزاندن بقایای گیاهی سبب رمبش (Collapse) ساختمان بین لایه‌ای ورمیکولایت می‌گردد (۱۹). ولز و همکاران (۲۲) معتقدند که پتاسیم رها شده بر اثر سوزاندن بقایا باعث رمبش ساختمانی ورمیکولایت می‌شود و این پدیده در خاک‌های مناطق زیریک (تابستان‌های گرم و خشک) که اغلب در معرض سوختن متوالی هستند بیشتر اتفاق می‌افتد. اولری و همکاران (۲۱) از بین رفتن گروه‌های

کلسیم، منیزیم و پتاسیم و خاکستر در دراز مدت می‌توانند pH خاک را با جانشین کردن هیدروژن و آلومینیوم جذب شده بر کلوئیدهای خاک افزایش دهند. این افزایش pH احتمالاً یکی از اثرات سودمند آتش می‌باشد زیرا قابلیت دسترسی عناصر غذایی به ویژه در خاک‌هایی با pH کم را افزایش می‌دهد (۲ و ۲۰). آتش نقش قابل توجهی را در تعدیل و تنظیم حاصل‌خیزی بعضی اکوسیستم‌ها ایفا می‌کند (۲۲). دوره‌های کوتاه مدت آتش‌سوزی نیتروژن قابل استفاده و هم‌چنین سایر عناصر ضروری را بعد از آتش‌سوزی افزایش می‌دهد که رشد گیاهان را تحریک می‌کنند. بیشتر از ۵۰ درصد فسفر موجود در مواد آلی ممکن است طی آتش‌سوزی آزاد شود. هر چند بعضی از مکان‌هایی که مکرراً سوزانده می‌شوند به دلیل افزایش سطح ویژه کانی‌ها و میل ترکیبی آنها برای جذب فسفر ممکن است به فقر فسفر دچار شوند. به گونه‌ای که در طولانی مدت تثبیت فسفر مقدار فسفر اضافه شده در دوره‌های کوتاه مدت آتش‌سوزی‌های سالیانه را کاهش می‌دهد و سبب کاهش تدریجی حاصل‌خیزی خاک در دوره‌های طولانی مدت آتش‌سوزی می‌شود (۱۳). پتاسیم نیز در طی آتش‌سوزی به صورت گازی شکل در اتمسفر رها می‌شود اما پتاسیم سریعاً از لاشبرگ‌های موجود در سطح خاک آزاد می‌شود که ممکن است دلیلی بر این باشد که چرا در آتش‌سوزی‌های مکرری که صورت می‌گیرد مقدار پتاسیم موجود در خاک کم نمی‌شود (۲۲).

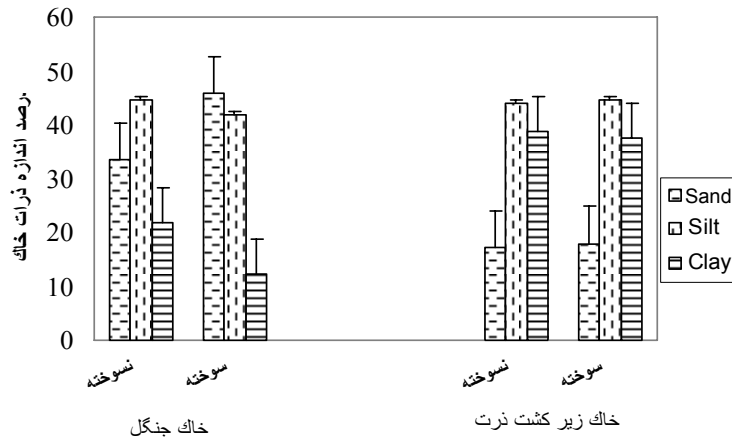
اگرچه در ایران سالیانه چندین هزار هکتار اراضی زیر کشت گندم و ذرت بعد از برداشت محصول در معرض آتش‌سوزی قرار می‌گیرد، اطلاعات کمی در ارتباط با اثر آتش‌سوزی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیکی خاک‌ها وجود دارد. تحقیق حاضر به منظور مقایسه برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های نسوخته و سوخته و بررسی امکان تحول کانی‌های موجود در لایه سطحی خاک بر اثر افزایش دما صورت گرفت.

## مواد و روش‌ها

به این منظور بررسی تأثیر سوزاندن بقایای گیاهی بر خصوصیات

فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیکی خاک، مزرعه‌ای به وسعت ۱۰ هکتار در منطقه تخت‌جمشید واقع در ۴۵ کیلومتری شمال شرقی شیراز با رژیم رطوبتی زیریک و رژیم حرارتی ترمیک دارای پوشش زراعی ذرت آبی و جنگل بامو در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شیراز با رژیم رطوبتی زیریک و رژیم حرارتی مزیک دارای پوشش درختان بادام زمینی انتخاب گردیدند. در منطقه زراعی آتش‌سوزی در کشت ذرت توسط مالکان زمین صورت گرفته بود. در حالی که در ناحیه جنگلی آتش‌سوزی به صورت اتفاقی و در اثر بی‌احتیاطی رخ داده بود. هر چند دمای آتش‌سوزی در دو ناحیه در زمان آتش‌سوزی ثبت نگردیده بود، در ناحیه جنگلی رنگ سفید خاکستر باقی‌مانده حاکی از شدت زیاد آتش‌سوزی و در ناحیه زراعی رنگ تیره خاکستر و بقایای گیاهی موجود حاکی از شدت کم تا متوسط آتش‌سوزی بود. نمونه‌برداری پس از کنار زدن خاکستر از دو عمق ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متری با ۴ تکرار به صورت شبکه‌بندی شده از قسمت‌های سوخته شده و از نواحی مجاور همین خاک‌ها که تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار نگرفته بودند (نمونه‌های شاهد) صورت گرفت. در مجموع ۳۲ نمونه تهیه گردید. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. در نمونه‌های مورد آزمایش خصوصیات فیزیکوشیمیایی شامل توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتر (۱۵)، pH در خمیر اشباع توسط دستگاه پ‌هاش‌سنج، کربن آلی به روش سوزاندن تر (۱۵)، پتاسیم قابل عصاره‌گیری توسط استات آمونیوم یک نرمال (۱۶)، نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کلدال اتوماتیک و فسفر قابل دسترس به روش اولسن (۱۴) تعیین گردید. اثر آتش‌سوزی بر خصوصیات اندازه‌گیری شده توسط برنامه آماری MSTATC مورد ارزیابی قرار گرفت.

به منظور مقایسه تأثیر زمان و دمای احتراق بر خواص مینرالوژیکی خاک در شرایط کنترل شده و شرایط طبیعی، ۳۰ گرم از نمونه‌های شاهد از عمق ۵-۰ سانتی‌متری خاک‌ها در کوره قرار داده شد. بر روی این نمونه‌ها دماهای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب به عنوان شدت دمای متوسط و



شکل ۱. تغییرات مقدار ذرات خاک در اثر سوختن در عمق ۵-۰ سانتی متری خاک

نسوخته و سوخته تفاوت معنی داری با یکدیگر داشتند ( $P < 0/01$ ). رس در عمق ۵-۰ سانتی متری خاک جنگلی نسوخته ۲۱/۸۴ درصد بود و در خاک سوخته به ۱۲/۲۸ درصد رسید (شکل ۱). کاهش میزان رس در خاک جنگلی سوخته هماهنگ با کم شدن شدت پیک‌هاست. اما میزان شن در همین عمق خاک سوخته ۱۵ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱). کتیرینگ و بیگهام (۱۰) نیز افزایش مقدار شن در عمق ۵-۰ سانتی متری خاک بر اثر حرارت‌های کم ایجاد شده را گزارش کردند. دوریسکو و ولز (۵) دیرنس و یونگبرگ (۶) با مطالعات آزمایشگاهی و سرنی‌واسان و اروانگاباکار (۱۸) و اولری و گراهام (۱۹) با مطالعات صحرائی افزایش شن را بعد از آتش‌سوزی گزارش کرده‌اند. اولری و گراهام (۱۹) اکسیدها و هیدروکسیدهای Al و Si را که در طی تخریب کائولین ایجاد می‌شوند، عامل سیمانی شدن ذرات و تشکیل خاکدانه‌هایی به اندازه شن بیان کردند. در مطالعه حاضر حذف پیک ۰/۷۲ نانومتر در تیمار KT در منطقه جنگلی بیانگر احتمال حضور کائولینیت در بخش رس خاک و تخریب آن در اثر سوختن (شکل ۴ و ۵) و در نتیجه سیمانی شدن ذرات خاک و تولید خاکدانه‌هایی به اندازه شن است. در عمق ۱۵-۵ سانتی متری خاک جنگلی و هر دو عمق نمونه‌برداری

شدید در زمان‌های ۲، ۴، ۸ و ۱۲ ساعت اعمال گردید. شناسایی کیفی کانی‌های رس بر نمونه‌های طبیعی و نمونه‌های تحت تیمار دمایی انجام پذیرفت. این کار به روش XRD با تهیه ۴ پلاک اشباع با منیزیم به منظور تکمیل شبکه ساختمانی کلریت و تثبیت منحنی‌های آن، پلاک اشباع با منیزیم و گلیسرول به منظور شناسایی کانی‌های قابل انبساط و تشخیص آنها از کلریت، پلاک اشباع از پتاسیم در دمای معمولی به منظور شناسایی میکا و پلاک اشباع از پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت؛ به منظور تشخیص کلریت و جداسازی آن از کائولینیت صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

وقوع آتش‌سوزی در خاک جنگلی pH، رس، شن، عناصر غذایی پر مصرف و کربن آلی را در عمق ۵-۰ سانتی متری تغییر داد در حالیکه در خاک زراعی وقوع آتش‌سوزی اثری بر این خصوصیات نداشت (جدول ۱). تفاوت تأثیر آتش‌سوزی در خاک جنگلی و زراعی احتمالاً به دلیل تفاوت بار سوختی و گرمای حاصل از آن می‌باشد. مقدار رس خاک جنگلی

جدول ۱. برخی خواص فیزیکی‌شیمیایی خاک‌های نسوخته و سوخته

مکان	عمق (cm)	نیترژن کل (%)		فسفر به روش اولسن (mg/kg)		پتاسیم قابل استفاده (mg/kg)		pH		کربن آلی (%)	
		سوخته	نسوخته	سوخته	نسوخته	سوخته	نسوخته	سوخته	نسوخته	سوخته	نسوخته
جنگل (بمبو)	۵-۵	۰/۲۱۲±۰/۰۴	۰/۲۵۲±۰/۰۸	۱۴۰/۶۲±۲۷	۱۸۱/۱۷±۴۷۷	۴۵±۸۲	۱۲۱±۱۶۴	۷/۵۸±۰/۱۶	۸/۶۳±۰/۷۷	۲/۴۸±۰/۶۸	۸/۶۳±۰/۷۷
	۵-۱۵	۰/۱۴۷±۰/۰۲	۰/۱۹۰±۰/۰۵	۵۱/۲۳±۳/۴۱	۱۰/۸۷±۷/۹۸	۳۵±۶۰	۸۴۵±۱۲۰	۷/۵۸±۰/۰۷	۷/۹۳±۰/۵۲	۱/۷۰±۰/۴۷	۷/۹۳±۰/۵۲
ذرت (تخت جمشید)	۵-۵	۰/۰۸۲±۰/۰۱	۰/۰۷۷±۰/۰۱	۱۱/۱۳±۴/۳۸	۹/۵۵±۳/۸۹	۳۲۵±۱۷	۴۶۵±۴۲	۷/۹۱±۰/۱۲	۷/۸±۰/۳۷	۰/۷۸±۰/۰۲	۷/۸±۰/۳۷
	۵-۱۵	۰/۰۸۵±۰/۰۱	۰/۰۷۷±۰/۰۱	۸/۲۷±۲/۹۱	۶/۶۸±۱/۶۳	۳۱۳±۲۷	۴۲۵±۳۱	۸/۰۸±۰/۰۳	۸/۰۳±۰/۲۰	۰/۹۲±۰/۰۷	۸/۰۳±۰/۲۰

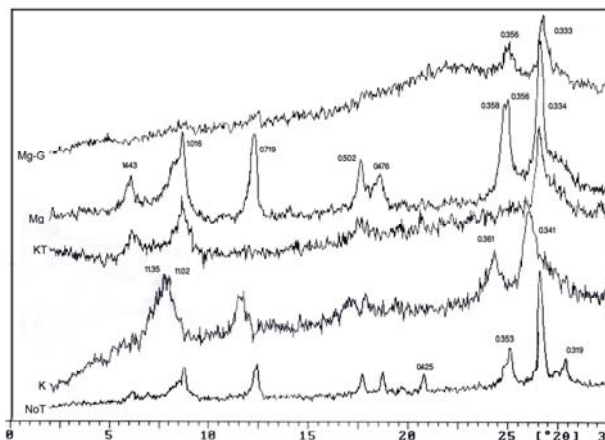
برای نیترژن کل، فسفر به روش اولسن، پتاسیم قابل جذب، pH و کربن آلی در خاک جنگلی به ترتیب ۰/۰۸، ۰/۴۶/۵۹، ۰/۳۷، ۰/۳۷، ۰/۶۳ و ۰/۵۱، ۰/۴۹۸، ۰/۶۲ و ۰/۹۵ است.

کم ایجاد شده، مشاهده نگردید. تأثیر آتش بر مواد آلی خاک بسیار متغیر است و بستگی به چند عامل دارد که شامل نوع آتش (شاخه‌ها یا قسمت‌های زیرزمینی)، شدت و حتی شیب می‌باشد. این اثرات ممکن است از تخریب کامل ماده آلی تا افزایشی در حدود ۳۰ درصد مقدار اولیه ماده آلی، تغییر کند (۷). افزایش ماده آلی در لایه‌های سطحی در نتیجه ورود از منابع خارجی، اساساً از برگ‌های خشک شده و قسمتی از مواد سوخته گیاهی می‌باشد (۷). اینگلسیاس و همکاران (۹) نیز در بررسی اثر آتش‌سوزی در دو ناحیه جنگلی مشاهده کردند که کربن آلی از حدود ۳ درصد در قسمت نسوخته به حدود ۶ درصد در قسمت سوخته رسید. در حالی که آلندروس و همکاران (۱) تغییر را در کربن آلی خاک در اثر آتش‌سوزی مشاهده نکردند.

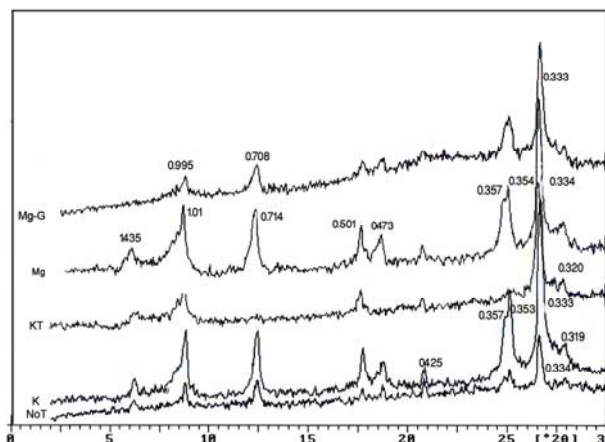
#### تغییرات مینرالوژیکی

نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس نشان می‌دهد که در بخش رس خاک زراعی نسوخته، کانی‌های کلریت و ایلیت با ضخامت واحد بلور ۱/۴۴ و ۱/۰۱ نانومتر قابل شناسایی هستند (شکل ۲). در خاک سوخته نیز این پیک‌ها به وضوح ولی با شدت کمتر مشاهده می‌شوند (شکل ۳). در خاک جنگلی نیز روند مشابهی مشاهده گردید (شکل ۴ و ۵). اعمال تیمار دمایی ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد شدت پیک‌ها را در عمق ۵-۰ سانتی‌متری خاک جنگلی کاهش داد (شکل ۶). کاهش شدت پیک‌ها با دمای ایجاد شده و مدت زمان اعمال آن ارتباط داشت و دماهای بالاتر شدت پیک‌ها را بیشتر از دماهای پایین‌تر کاهش دادند. در خاک جنگلی کم شدن شدت پیک‌ها با گذشت زمان افزایش یافت؛ یعنی بر اثر دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت کم شدن مقدار نسبی (شدت پیک‌ها) کانی‌های کلریت و ایلیت نسبت به زمان‌های ۴، ۸ و ۱۲ ساعت کمتر بود (شکل ۷). کم شدن شدت پیک‌ها بر اثر گرما و آتش‌سوزی‌های ایجاد شده می‌تواند در اثر تجزیه کانی‌ها یا دهیدراته شدن آنها باشد (۲). گروه‌های

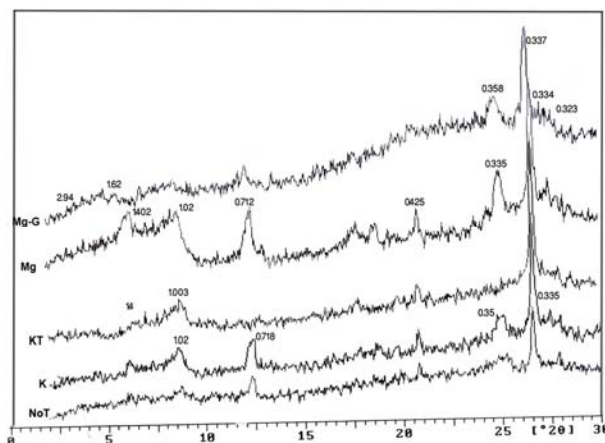
خاک زراعی تغییری در میزان شن و سیلت خاک مشاهده نشد. pH خاک جنگلی نسوخته در عمق ۵-۰ سانتی‌متری خاک در حدود ۷/۵ بود اما در خاک سوخته این مقدار به ۸/۶ رسید که در حدود یک واحد افزایش نشان می‌دهد. این افزایش در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. در حالی که در خاک زراعی و عمق ۱۵-۵ سانتی‌متری خاک جنگلی تغییری در pH مشاهده نشد (جدول ۱). اولری و همکاران (۲۰) بیان کردند که افزایش pH در افق‌های سطحی خاک‌های سوخته احتمال دارد در اثر تشکیل اکسیدها، هیدروکسیدها و کربنات‌های سدیم و پتاسیم باشد. مقدار نیتروژن کل خاک ذرت سوخته و نسوخته تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۱). مقدار فسفر خاک عصاره‌گیری شده به روش اولسن در عمق‌های ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متری خاک جنگلی سوخته افزایش یافت، ولی در خاک زراعی تغییری در مقدار فسفر خاک در اثر آتش‌سوزی مشاهده نشد (جدول ۱). در دماهای ۱۷۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد فسفر آلی خاک با از بین رفتن مواد آلی به فسفر معدنی تبدیل می‌شود. این فسفر به صورت محلول می‌باشد که یا توسط گیاهان جذب می‌شود و یا به صورت فسفات‌های Al, Fe و Ca رسوب می‌کند (۸). تغییر نکردن مقدار فسفر در خاک زراعی احتمالاً به سبب دمای کم ایجاد شده بر اثر سوزاندن بقایای ذرت می‌باشد. آتش‌سوزی سبب افزایش معنی‌دار مقدار پتاسیم قابل عصاره‌گیری توسط استات آمونیوم یک نرمال در هر دو عمق خاک زراعی و جنگلی گردید. مقدار پتاسیم از ۴۵۰ و ۳۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در عمق‌های ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتی‌متری خاک جنگلی نسوخته به ترتیب به ۱۲۱۰ و ۸۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک سوخته افزایش یافت. در خاک زراعی نیز روند مشابهی دیده شد. این افزایش احتمالاً در اثر آزاد شدن پتاسیم از کانی‌ها یا خاکستر مواد آلی صورت گرفته است (جدول ۱). مقدار کربن آلی در هر دو عمق نمونه‌برداری خاک جنگلی سوخته نسبت به خاک نسوخته افزایش نشان داد. در حالی که در خاک زراعی تغییری در میزان کربن آلی خاک در اثر آتش‌سوزی، احتمالاً به دلیل دمای



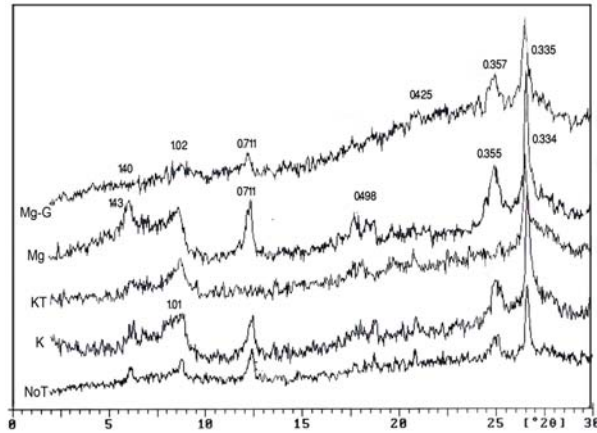
شکل ۲. منحنی پراش پرتو ایکس ذرات رس خاک زراعی نسوخته در عمق ۵-۰ سانتی متری. NOT: بدون تیمار، K: تیمار با پتاسیم، Mg-G: تیمار با منیزیم و گلیسرول، Mg: تیمار با منیزیم، KT: تیمار با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد



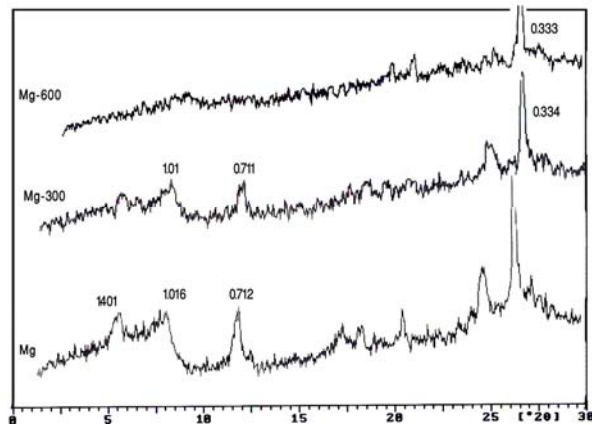
شکل ۳. منحنی پراش پرتو ایکس ذرات رس خاک زراعی سوخته در عمق ۵-۰ سانتی متری NOT: بدون تیمار، K: تیمار با پتاسیم، Mg-G: تیمار با منیزیم و گلیسرول، Mg: تیمار با منیزیم، KT: تیمار با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد



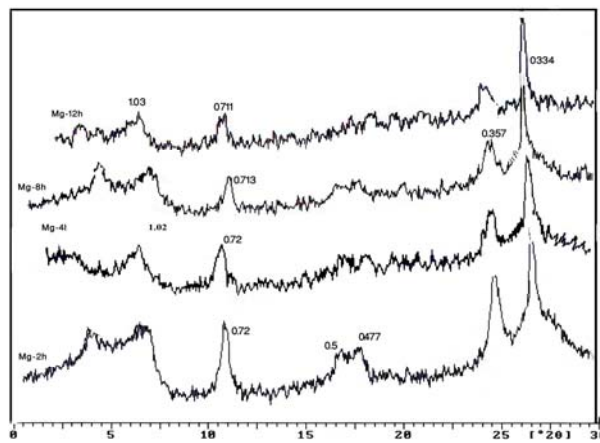
شکل ۴. منحنی پراش پرتو ایکس ذرات رس خاک جنگلی نسوخته در عمق ۵-۰ سانتی متری. NOT: بدون تیمار، K: تیمار با پتاسیم، Mg-G: تیمار با منیزیم و گلیسرول، Mg: تیمار با منیزیم، KT: تیمار با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۵. منحنی پراش پرتو ایکس ذرات رس خاک جنگلی سوخته در عمق ۵-۰ سانتی متری. NOT: بدون تیمار K: تیمار با پتاسیم، Mg- G: تیمار با منیزیم و گلیسرول. Mg: تیمار با منیزیم، KT: تیمار با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد

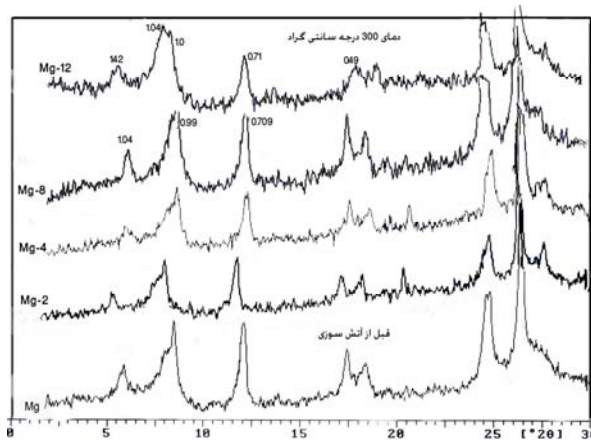


شکل ۶. اثر تیمارهای دمایی ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد (به مدت ۱۲ ساعت) بر منحنی پراش پرتو ایکس ذرات رس خاک جنگلی



شکل ۷. اثر تیمار دمایی ۳۰۰ درجه سانتی گراد با زمان‌های مختلف بر منحنی پراش پرتو ایکس ذرات رس خاک جنگلی





شکل ۸. اثر تیمار دمایی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با زمان‌های مختلف بر منحنی پراش پرتو ایکس ذرات رس خاک زراعی

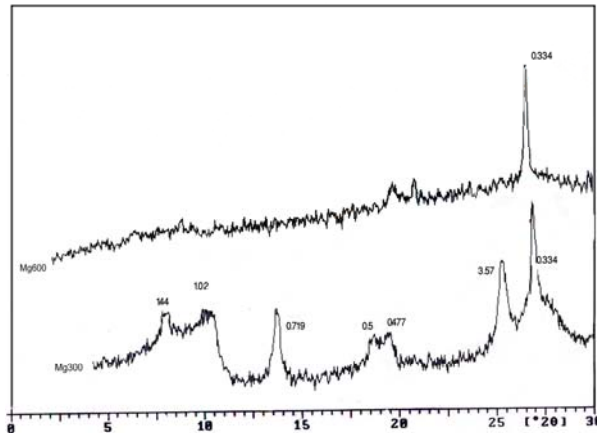
تخریب ورمیکولیت گزارش کرد. در تحقیق حاضر دلیل مشاهده پیک ۱/۴۴ نانومتری در خاک سوخته را می‌توان چنین بیان کرد که این پیک مربوط به رده اول کلریت می‌باشد و پیک ۱/۴۴ نانومتری مربوط به ورمیکولیت از بین رفته است. در دماهای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد هم پیک‌های ۱/۶۱ و ۱/۴۴ نانومتری مربوط به ورمیکولیت از بین رفته و مشاهده نمی‌شود.

دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، شدت پیک کانی‌های کلریت و ایلیت را در خاک‌های جنگلی نسبت به خاک نسوخته کاهش داد و مقدار کاهش شدت پیک‌ها متناسب با مدت زمان حرارت دیدن خاک بود. شدت پیک‌های ۱/۴ و ۱/۰۱ نانومتر تیمار شده با منیزیم خاک زراعی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به خاک نسوخته کم شدند ولی با افزایش زمان حرارت شدت پیک‌ها افزایش یافت هر چند دلیلی برای توجیه این مشاهده نیافتیم و قبلاً نیز گزارش نشده است (شکل ۸).

در خاک جنگلی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد پیک‌های ۱/۴۴ و ۱/۰۲ نانومتر که در خاک نسوخته مشاهده شده بود، رویت شد، اما در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد با گذشت ۲ ساعت این پیک‌ها مشاهده نشد (شکل ۹). از سوی دیگر در خاک زراعی پیک‌های ۱/۰۳ و ۱/۴۴ نانومتر در زمان‌های ۲ و ۴ ساعت با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد با شدت کم قابل

هیدروکسیلی رس‌ها در دماهای بیشتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌رود و در مواردی در دمای بیشتر از ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد به رس‌های بی‌آب تبدیل می‌شوند (۲). در تحقیق حاضر پیک‌های ۱/۴۴ و ۱/۰۱ نانومتر در خاک جنگلی سوخته و بعد از دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان‌های متفاوت مشاهده گردید. احتمالاً کانی‌های ایلیت و کلریت دهیدراته شده‌اند و ساختمان آنها به دلیل کم بودن دماهای ایجاد شده تخریب نشده‌اند.

پیک ۱/۴۴ نانومتری که مربوط به رده اول کلریت و ورمیکولیت می‌باشد در خاک جنگلی نسوخته مشاهده شد (شکل ۴). ورمیکولیت تحت تأثیر تیمار گلیسرول تا ۱/۶۱ نانومتر منبسط می‌شود. بنابراین وجود پیک ۱/۶۱ نانومتری در خاک نسوخته جنگل در نمونه اشباع شده با گلیسرول وجود ورمیکولیت را نشان می‌دهد. در خاک سوخته پیک ۱/۶۱ نانومتری از بین رفته ولی پیک ۱/۴۴ نانومتری هنوز مشاهده می‌شود (شکل ۵). از بین رفتن پیک ۱/۶۱ نانومتری در نمونه اشباع شده با منیزیم نشان می‌دهد که ورمیکولیت در نتیجه آتش‌سوزی منقبض شده و به شکل غیر قابل انبساط (ایلیت) تبدیل شده است. این تغییرات در ورمیکولیت در نتیجه دهیدراته شدن کاتیون بین لایه‌ای می‌باشد. دوگلاس (۴) نیز از بین رفتن پیک ۱/۴۴ نانومتری را بعد از آتش‌سوزی بر اثر



شکل ۹. اثر تیمارهای دمایی ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد (به مدت ۲ ساعت) بر منحنی پراش پرتو ایکس ذرات رس خاک جنگلی

در دماهای ۵۰۰ تا ۸۶۰ درجه سانتی گراد به دلیل این که ورقه‌های بین لایه‌ای (حاوی منیزیم، آلومینیم و آهن) کلریت بی‌ثبات هستند این کانی با از دست دادن گروه‌های هیدروکسیل تخریب می‌شود. از این رو تفاوت‌های مشاهده شده در شدت پیک ۱/۴ نانومتری خاک جنگلی و زراعی با دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد احتمالاً مربوط به تفاوت کاتیون بین لایه‌ای ورقه هیدروکسیل و ورقه هشت وجهی ۲:۱ می‌باشد.

در تیمار دمایی ۳۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۲ ساعت در خاک جنگلی پیک ۰/۵ نانومتر که مربوط به صفحه (۰۰۲) ایلیت می‌باشد مشاهده شد. حضور این پیک به احتمال زیاد نشان‌دهنده یک میکای غنی از آهن (احتمالاً بیوتیت) است. اولری و همکاران (۲۱) نیز نتیجه مشابهی را گزارش کردند.

در تیمار منیزیم-گلیسرول در خاک جنگلی پیک ۲/۹۴ نانومتر با شدت جزئی مشاهده شد که احتمالاً نشان دهنده Ch-V می‌باشد. در حالی که در خاک جنگلی سوخته پیک ۱/۴۳ نانومتر مشاهده گردید که دلیلی بر احتمال تخریب این کانی می‌باشد. احتمالاً پیک ۱/۴۳ مربوط به پیک رده اول کلریت می‌باشد و ورمیکولیت تخریب یافته است. اولری و همکاران (۲۱) نیز تجزیه کانی Ch-V را بعد از آتش‌سوزی گزارش کرده‌اند. در دمای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد نیز روندی مشابه مشاهده شد. تغییرات در کوارتز تنها در شدت دماهای

تشخیص بود، ولی در زمان‌های ۸ و ۱۲ ساعت هیچ یک از این دو پیک دیده نشد. ایلیت در دمای حدود ۲۰۰-۱۰۰ درجه سانتی گراد آب بین لایه‌ای خود را از دست می‌دهد و در دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد گروه هیدروکسیل را از دست می‌دهد. در حالی که ساختمان کریستالی آن تا دمای حدود ۹۰۰ درجه سانتی گراد تا حدودی مقاومت می‌کند و در دمای بالاتر تجزیه می‌شود (۳). در تحقیق حاضر عدم مشاهده پیک‌های ۱/۰۳ و ۱/۴۴ نانومتر در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد در هر دو خاک در زمان ۸ و ۱۲ ساعت نشان می‌دهد که در این شرایط مقدار نسبی ایلیت به حدی کم شده است که قابل شناسایی توسط دستگاه پراش پرتو ایکس نمی‌باشد. کلریت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد کاهش وزن خیلی کمی را نشان می‌دهد و در دمای ۵۵۰-۵۰۰ درجه سانتی گراد کاهش وزن آن در نتیجه از بین رفتن گروه هیدروکسیل ورقه اکتاهدرال ۲:۱ و ورقه هیدروکسیل بین لایه‌ای است (۳). دمای از دست رفتن آب ساختمانی کلریت به کاتیون بین لایه‌ای ورقه هیدروکسید و ورقه ۲:۱ هشت وجهی وابسته است. این دما برای کاتیون‌های بین لایه‌ای  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  به ترتیب ۴۶۰، ۵۰۰، ۴۳۰ و ۲۵۰ درجه سانتی گراد در ورقه هیدروکسیل و ۷۵۰ و ۵۳۰ درجه سانتی گراد به ترتیب در ورقه هشت وجهی ۲:۱ گزارش شده است (۳). اسمیکاتز-کلوس (۱۷) بیان کرد که

### نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر بیانگر این واقعیت می‌باشد که علاوه بر خصوصیات شیمیایی خاک‌ها، خصوصیات فیزیکی و مینرالوژیکی خاک‌ها نیز تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار می‌گیرند. این تغییرات ممکن است به تغییرات خواصی مانند ظرفیت تبادل کاتیونی منجر گردد. هم‌چنین تغییرات ساختار کانی‌ها ممکن است بر واکنش‌های جذب و واجذب عناصر غذایی به ویژه فسفر تأثیر گذارند و در ادامه قابلیت جذب آن‌را متاثر کنند.

خیلی زیاد مشاهده می‌شود و دماهای کم فقط پوشش کوارتز را از بین می‌برد. به طوری که در دماهای حدود ۵۳۷ درجه سانتی‌گراد کوارتز از فرم  $\alpha$  به فرم  $\beta$  تبدیل می‌شود. از این‌رو دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف بر کوارتز تأثیری نداشته است و شدت پیک ۰/۳۳ نانومتر که مربوط به کوارتز می‌باشد، تقریباً بدون تغییر در خاک‌های نسوخته و سوخته و نمونه‌هایی که در مدت زمان‌های متفاوت در دماهای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته بودند مشاهده شدند.

### منابع مورد استفاده

1. Almendros, G., F. J. González-Vila and F. Martin. 1990. Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effects of fire on humic substances. *Soil Sci.* 149: 158-168.
2. Arocena, J. M. and C. Opio. 2003. Prescribed fire-induced changes in properties of sub-boreal forest soils. *Geoderma* 113:1-16.
3. Dixon, J. B. and S. B. Weed. 1986. Minerals in soil environments. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, WI.
4. Douglas, L. A. 1986. Vermiculites. PP. 635-647. *In: Dixon, J. B. and S. B. Weed (Eds.), Minerals in Soil Environments.* SSSA Book Ser. No. 1. SSSA, Madison, WI.
5. Duriscoe, D. M. and W. G. Wells II. 1982. Effects of fire on certain physical properties of selected Chaparral soils. *In: C. E. Conrad and W. C. Dechel (Eds.), Proc. Symp. Dynamics and management of Mediterranean-type ecosystems.* U.S. For. Serv. Gen. Tech. Rep. PSW-58. Pac. Southwest For. Range Exp. Stn., Berkeley, CA.
6. Dyrness, C. T. and C. T. Youngberg. 1957. The effect of logging and slash burning on soil structure. *Soil Sci. Soc. Am. Porc.* 21:444-447.
7. González-Pérez J.A., F. J. González-Vila, G. Almendros and H. Knicker. 2004. The effect of fire on soil organic matter— A review. *Environ. Inter.* 30: 855– 870.
8. Giovannini, G., S. Lucchesi and M. Giachetti. 1990. Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth. *Soil Sci.* 149:344-350.
9. Iglesias, T., V. Cala and J. González. 1997. Mineralogical and chemical modifications in soils affected by a forest fire in the Mediterranean area. *Sci. Total Environ.* 204: 89-96.
10. Ketterings, Q. M. and J. M. Bigham. 2000. Soil color as an indicator of slash-and-burn fire severity and soil fertility in Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1826-1833.
11. Ketterings, Q. M., J. M. Bigham and V. Laperche. 2000. Changes in soil mineralogy and texture caused by slash-and-burn fires in Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1108-1117.
12. Ketterings, Q. M., T. Tri Wibowo, M. van Noordwijk and E. Penot. 1999. Farmers' perspectives on slash-and-burn as a land clearing method for small-scale rubber producers in Sepunggur, Jambi province, Sumatra, Indonesia. *Forest Ecol. Manag.* 120:157-169.
13. Ketterings, Q. M., M. V. Noordwijk and J. M. Bigham. 2002. Soil phosphorus availability after slash- and – burn fires of different inrubber agroforests in Sumatra, Indonesia. *Agric. Ecosys. Environ.* 92: 37- 48.
14. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extracting with sodium bicarbonate. *USDA Cric.* 939. U. S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
15. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. *Methods of Soil Analysis.* Part 2, 2<sup>nd</sup> ed., Am. Soc. Agron. Madison, WI.
16. Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* USDA Handbook. No. 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC.
17. Smykatz-Kloss, W. 1974. *Differential Thermal Analysis: Application and Results in Mineralogy.* Springer-Verlag, New York.
18. Sreenivasan, A. and R. K. Aurangabadkar. 1940. Effect of fire heating on the properties of black cotton soil in comparison with those of gray and humus-treated soils. *Soil Sci.* 51:449-462.

19. Ulery, A. L. and R. C. Graham. 1993. Forest fire effects on soil color and texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:135-140.
20. Ulery, A. L., R. C. Graham and C. Amrhein. 1993. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Sci.* 156:358-364.
21. Ulery, A. L., R. C. Graham and L. H. Bowen. 1996. Forest fire effects on soil phyllosilicates in California. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:309-315.
22. Wells, C. G., R. E. Campbell, L. F. DeBano, C. E. Lewis, R. L. Fredriksen, E. C. Franklin, R. C. Froelich and P. H. Dunn. 1979. Effects of fire on soil. U.S. For. Serv. Gen. Tech. Rep. Wo-7 U.S. For. Serv., Washington, DC.