

تأثیر سیلاب و آتش‌سوزی بر پایداری خاکدانه: یک مطالعه موردی در خاک نهالستان لاکان در استان گیلان

مهدی نوروزی، حسن رمضانپور^{1*}، بابک ربیعی و حسین اسدی

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ mehdi_uni2000@yahoo.com

استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ hasramezanpour@yahoo.com

دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ rabiei@guilan.ac.ir

استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان؛ hossein_asadi52@yahoo.com

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثرات سیلاب و آتش‌سوزی بر وضعیت پایداری خاکدانه و ساختمان خاک در جنگل لاکان در استان گیلان انجام شد. نمونه‌های خاک از سه عمق 0-3، 3-6، 6-9 سانتی‌متری سطح خاک با سه تکرار از مناطق تحت تأثیر سیلاب، سوخته و شاهد جمع‌آوری شد. پایداری خاکدانه با نمایه‌های GMD، MWD و بُعد فرکتال حاصل از آزمایش الک خشک و تر محاسبه شد. نتایج نشان داد که در خاک سیلابی، مقدار رس و سیلت (در تمام عمق‌ها)، کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص خاکدانه (در عمق اول) به طور معنی‌داری افزایش یافت. ولی جرم مخصوص خاکدانه (در عمق دوم) و مقدار شن (در همه‌ی عمق‌ها) به طور معنی‌داری در مقایسه با خاک شاهد کاهش یافت. در خاک سوخته، مقدار سیلت (در عمق دوم)، مقدار جرم مخصوص ظاهری (در عمق اول) به طور معنی‌داری افزایش و مقادیر رس و کربن آلی (در عمق اول)، و CEC به طور معنی‌داری در مقایسه با خاک شاهد کاهش یافت. بررسی نمایه‌های پایداری خاکدانه نشان داد که پایداری خاکدانه در تمام عمق‌های خاک سیلابی افزایش و در عمق اول خاک سوخته نسبت به خاک شاهد کاهش یافت. این وضعیت احتمالاً به علت تغییرات در مقدار رس و ماده آلی خاک بود. همچنین نمایه‌های پایداری خاکدانه در الک تر ارتباط بهتری با ویژگی‌های خاک داشت. به طور کلی اثرات پدیده‌های سیلاب و آتش‌سوزی بر ویژگی‌های خاک کاملاً متفاوت بود و سیلاب باعث بهبود پایداری خاکدانه شد در حالی که آتش‌سوزی اثرات نامطلوبی بر پایداری خاکدانه داشت.

واژه‌های کلیدی: آتش‌سوزی، بُعد فرکتال، پایداری خاکدانه، خاک جنگلی، رسوب گذاری

مقدمه

چه قطر خاکدانه‌های خاک درشت‌تر باشد، فضای خالی بین ذرات بزرگتر بوده و قابلیت نفوذ آب در خاک بیشتر است. غالباً ذرات رس همراه سیلاب در فضای خالی و خلل و فرج بین ذرات درشت‌تر قرار گرفته و موجب کاهش نفوذپذیری می‌شود (مهدیان و همکاران، 1382).

سیلاب و آتش‌سوزی را می‌توان در شمار عوامل تخریب خاک دانست. تخریب خاک دربرگیرنده تخریب ساختمان و افزایش تراکم خاک می‌باشد. سیلاب‌ها تغییراتی را در بافت، ساختمان، رطوبت اولیه و ماده آلی خاک به وجود آورده و در تخریب خاک نیز مؤثرند. هر

¹ نویسنده مسئول، آدرس: رشت، کیلومتر 5 جاده رشت، تهران، پردیس دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی علوم خاک،

صندوق پستی: 1314-41635

* دریافت: 90/9/16 و پذیرش: 91/12/9

تأثیرگذار بر نمایه‌های پایداری خاکدانه در وضعیت‌های مختلف خاک نیز بررسی شود.

مواد و روش‌ها

تشریح منطقه مطالعاتی و نمونه‌برداری

منطقه مورد مطالعه به وسعت 45 هکتار در نهالستان لاکان در 5 کیلومتری جنوب غربی شهرستان رشت در استان گیلان با طول جغرافیایی 49 درجه و 36 دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی 37 درجه و 11 دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل 1). ارتفاع متوسط منطقه برابر با 41 متر از سطح دریا می‌باشد. اطلاعات اقلیمی منطقه از ایستگاه سینوپتیک رشت دریافت شد. بر این اساس میانگین سالانه بارندگی و درجه حرارت به ترتیب 1359 میلی‌متر و 16 درجه سلسیوس است. بنابراین منطقه دارای رژیم رطوبتی یودیک⁵ و رژیم حرارتی ترمیک⁶ است. منطقه مورد مطالعه با کاج⁷ پوشیده شده است که جهت مصارف تجاری کاشت و برداشت می‌شوند. نهالستان لاکان در تاریخ‌های 11 و 12 تیر ماه 1388 دچار حریق شد، که در طی آن 5 هکتار از جنگل آسیب دید. آتش‌سوزی از نوع سطحی بوده اما صدمات زیادی به نهال‌ها و درختان منطقه وارد کرد. شواهد سیلاب نیز در مجاورت کانال‌هایی که از آن برای آبیاری نهال‌های کاج در فصل تابستان استفاده می‌شود، مشاهده شد. خاک منطقه در زیرگروه Oxyaquic Hapludalfs (USDA, 2010) و Gleyic Cutanic Luvisols (Clayic) (IUSS, Working Group WRB, 2010) قرار دارد. نمونه‌برداری خاک یک ماه پس از آتش‌سوزی از عمق‌های 0-3، 3-6 و 6-9 سانتی‌متر با سه تکرار از منطقه تحت تأثیر سیلاب، سوخته و شاهد انجام شد. نمونه‌برداری برای هر تکرار به صورت تصادفی و به طور مرکب از نمونه‌های اطراف هر تکرار انجام شد. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن در فضای آزاد و خارج کردن ذرات سنگریزه و ریشه‌ها به صورت دستی، به دو دسته تقسیم شد. بخشی از آن جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد و بخش دیگر نیز از الک 9/5 میلی‌متری عبور داده شد و آزمایش پایداری خاکدانه‌ها روی آن‌ها انجام شد.

آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی

آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی از جمله توزیع اندازه ذرات پس از قرائت در زمان‌های 0/5، 1، 3، 10،

تخریب ساختمان خاک در اثر آتش‌سوزی، به طور معمول در ارتباط با کاهش ماده‌آلی و تشکیل خاکستر می‌باشد (وازکویز، 1996). افزایش دما ممکن است باعث تغییراتی در خصوصیات رس شود ولی به طور عمده باعث تغییر در فعالیت بیولوژیکی خاک می‌شود. به علت هدایت حرارتی پایین کانی‌های خاک، اثرات آتش‌سوزی بر عمق خاک فقط محدود به چند سانتیمتر بالایی خاک است (ماتیکس - سولیرا و همکاران، 2011). اثر آتش‌سوزی جنگل بر پایداری خاکدانه‌ها بستگی به عامل‌های مهمی از قبیل شدت آتش‌سوزی (أباد، 1999)، کانی‌شناسی بخش رس خاک (جیوانی و همکاران، 1988)، تغییر در مقدار ماده‌آلی (گاریسا - کورونا و همکاران، 2004) و تشکیل مواد آبریز (ماتیکس - سولیرا و دور، 2004) دارد. بر این اساس برخی از پژوهش‌گران افزایش پایداری خاکدانه‌ها را در مطالعات خود گزارش کردند (گیورو و همکاران، 2001)، برخی دیگر نیز روند مخالف با آن و کاهش پایداری خاکدانه‌ها در اثر آتش‌سوزی را گزارش کردند (گاریسا - کورونا و همکاران، 2004).

روش‌های بسیار زیادی برای توصیف پایداری خاکدانه‌ها بیان شده است که از جمله مهم‌ترین آن‌ها روش‌های چند الکی بوده که در نهایت از نمایه‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها¹ (MWD)، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها² (GMD) و در این چند دهه اخیر نمایه بُعد فرکتال هندسی³ (D) برای توصیف پایداری خاکدانه‌ها استفاده می‌شود. هندسه فرکتال عبارت از هندسه پدیده‌ها و سامانه‌های ناهموار با مرز ناصاف و شکل نااقیدسی است (محمدی و رئیسی گهرویی، 1382). یکی از ویژگی‌های اساسی فرکتال‌ها، که پایه و اساس تجزیه و تحلیل‌های فرکتالی است، خاصیت خود همانندی⁴ می‌باشد، که در صورت بزرگ‌نمایی هر قطعه می‌تواند ویژگی‌های کل شی را نیز حفظ کند. لذا شکل‌های فرکتالی با تغییر مقیاس، پایا می‌مانند. پدیده‌های بسیار نامنظمی در طبیعت وجود دارند که دارای خاصیت فرکتالی می‌باشند، که از جمله مهم‌ترین آن‌ها خاکدانه‌ها می‌باشند (سپاس‌خواه و همکاران، 1379).

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر سیلاب و آتش‌سوزی بر وضعیت پایداری خاکدانه‌ها در خاک جنگل لاکان می‌باشد. همچنین سعی شده است که عوامل

1. Mean weight diameter

2. Geometric mean diameter

3. Fractal dimension

4. Self-similarity

5. Udic

6. Thermic

7. *Pinus taeda*

پایداری خاکدانه‌ها استفاده شد. بر این اساس (X_i) میانگین قطر خاکدانه‌های باقیمانده بر روی هر الک و (W_i) نسبت وزن خاکدانه‌های باقیمانده در هر الک به وزن کل می‌باشد.

$$MWD = \sum_{i=1}^n X_i W_i \quad (2)$$

$$GMD = \exp \left(\sum_{i=1}^n W_i \ln X_i \right) \quad (3)$$

نمایه بُعد فرکتال (D) نیز از معادله اندازه-تعداد تورکارت (1986) محاسبه شد (معادله 4).

$$N_i = c \bar{x}_i^{-D} \quad (4)$$

در این رابطه، X_i همان تعریف معادله قبل را دارد، c یک ثابت می‌باشد و D بُعد فرکتال است که از طریق رگرسیون بین $\log N_i$ و $\log X_i$ به دست می‌آید. مقدار N_i نیز از داده‌های توزیع اندازه خاکدانه‌های پایدار در آب تعیین می‌شود، که بعد از الک کردن به صورت زیر محاسبه می‌شود (رابطه‌های 5 و 6). که w_i و ρ ترتیب تعداد خاکدانه‌ها، جرم مخصوص خاکدانه‌ها و جرم خاکدانه‌های باقیمانده بر روی هر الک است.

(5)

$$N_i = \sum_{i=1}^n n_i$$

(6)

$$n_i = w_i \rho^{-1} \bar{x}_i^{-3}$$

تجزیه‌های آماری

این آزمایش به صورت فاکتوریل 3×3 با دو عامل وضعیت خاک (تحت تأثیر آتش‌سوزی، تحت تأثیر سیلاب و شاهد) و عمق (3-0، 3-6 و 6-9 سانتی‌متر) و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای انجام تجزیه‌های آماری شامل تجزیه واریانس و مقایسه میانگین از نرم افزار SAS نسخه 9/1 (SAS, 2002) استفاده شد. مقایسه میانگین بین تیمارها نیز با آزمون توکی در سطح احتمال 5 درصد انجام شد. ضرایب همبستگی بین ویژگی‌های خاک و نمایه‌های پایداری

30، 60، 90، 120 و 1440 دقیقه توسط هیدرومتر (گی و آر، 2002) انجام شد، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه (بلک و هارتج، 1986)، جرم مخصوص حقیقی خاک نیز به روش پیکنومتر (فلینت و فلینت، a 2002) انجام شد و سپس درصد تخلخل کل نمونه خاک (فلینت و فلینت، 2002b) از رابطه 1 به دست آمد.

$$\emptyset = \left[\frac{1 - \rho_b}{\rho_s} \right] \times 100 \quad (1)$$

که در آن، \emptyset تخلخل کل بر حسب درصد، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک و ρ_s جرم مخصوص حقیقی خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. جرم مخصوص خاکدانه نیز پس از کلاس‌بندی خاکدانه‌ها و ریختن آن‌ها در داخل سیلندری به ارتفاع 18 و قطر 3/25 سانتی‌متر و وارد کردن 40 ضربه به قسمت فلزی انتهایی آن‌ها و پس از میانگین گرفتن از کلاس‌های اندازه‌ای خاکدانه، تعیین شد (روش چیپل، 1950).

ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات آمونیوم در pH = 7 (سامنر و میلر، 1996). اندازه‌گیری شد. مقدار کربن آلی (OC) خاک نیز با استفاده از روش والکلی و بلک (نلسون و سومر، 1996) به دست آمد.

اندازه‌گیری پایداری خاکدانه

جهت بررسی پایداری خاکدانه‌ها (نیمو و پرکینز، 2002) مقدار 50 گرم از نمونه خاک (عبور داده شده از الک 9/5 میلی‌متری) در یک شیکر الک¹ با سری الک‌های با اندازه‌های 4/75، 4، 2، 1، 0/5، 0/25، 0/125 و 0/075 میلی‌متری² به مدت 10 دقیقه عبور داده شد و توزین شد، سپس نمونه خاک از کلیه الک‌ها جمع‌آوری شد و نمونه به صورت مؤئینه‌ای به مدت یک شب در هوای آزاد خیس شد. سپس در داخل دستگاه الک‌تر (با حرکت بالا و پایین در دقیقه) با همان سری الک‌ها به مدت 10 دقیقه الک (الک‌تر) شد و نهایتاً پس از خشک شدن در آون توزین شد.

از داده‌های حاصله میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، برگرفته از معادله ارایه شده توسط وان‌باول (1949) (معادله 2)، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD)، برگرفته از معادله ارایه شده توسط مازورا (1950) (معادله 3) و نمایه بُعد فرکتال (D) جهت بررسی

¹ مدل N.V. Tema

² به ترتیب برابر با 4، 5، 10، 18، 35، 60، 120 و 200 مش (mesh)

خاکدانه و رگرسیون چند متغیره گام به گام¹ با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه 16 (SPSS, 2007) اجرا شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مورد مطالعه در خاک‌های سیلابی، سوخته و شاهد در عمق‌های مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر اغلب ویژگی‌های مورد مطالعه وجود داشت (جدول 1). این اختلاف‌ها ناشی از اثر اصلی وضعیت خاک (سیلابی، سوخته و شاهد) در تمامی ویژگی‌ها به غیر از جرم مخصوص و تخلخل خاک، اثر اصلی عمق در تمامی ویژگی‌ها و اثر متقابل وضعیت \times عمق در تمامی ویژگی‌ها به غیر از تخلخل و CEC خاک بود. مقایسه میانگین اثرات متقابل وضعیت \times عمق خاک نشان داد که مقدار رس (شکل 2- الف) در عمق‌های اول و دوم خاک سیلابی اختلاف معنی‌داری با مقدار رس در عمق‌های سایر خاک‌ها داشت و آن بیشتر از رس سایر خاک‌ها در عمق‌های مختلف بود.

همچنین با افزایش عمق، مقدار رس در وضعیت‌های مختلف کاهش یافت، به غیر از خاک سیلابی که در آن مقدار رس از عمق اول به دوم اندکی افزایش یافت که البته این افزایش معنی‌دار نبود. در کل بیشترین و کمترین مقدار رس به ترتیب در عمق دوم خاک سیلابی و عمق سوم خاک‌های سوخته و غیرسوخته مشاهده شد (شکل 2- الف). قضاوی و ولی (1381) نیز مقدار رس بیشتری را در خاک‌های سیلابی گزارش کردند. افزایش مقدار رس در عمق‌های خاک سیلابی، می‌تواند به علت ته‌نشینی رس از نقاط دیگر باشد. همچنین رس‌ها حساس‌ترین ذرات بافت خاک در مقابل حرارت هستند و اکثر رس‌ها در دمای حدود 400 درجه سلسیوس شروع به متلاشی شدن می‌کنند (دی بانو و همکاران 2005)، از این‌رو کاهش آن در خاک سوخته منطقی به نظر می‌رسد. مقایسه میانگین اثرات متقابل وضعیت \times عمق خاک بر مقدار سیلت (شکل 2- ب) نشان داد که مقدار سیلت در تمامی عمق‌های مورد مطالعه در خاک سیلابی بیشتر از خاک‌های سوخته و شاهد بود. بیشترین مقدار سیلت در عمق اول خاک سیلابی و کمترین مقدار آن در عمق دوم خاک شاهد مشاهده شد. همان‌طور که در شکل 2- ب نشان داده شده است، سیلاب و آتش‌سوزی در کل موجب افزایش مقدار سیلت نسبت به خاک شاهد شدند، به طوری که آتش‌سوزی موجب افزایش نسبی سیلت در عمق‌های

اول و دوم و سیلاب موجب افزایش بسیار زیاد سیلت در تمامی عمق‌ها به ویژه در عمق اول شد. ذرات سیلت با توجه به قطرشان حساس‌ترین ذرات در مقابل انتقال هستند و به راحتی توسط جریان سیلاب انتقال می‌یابند (مورگان، 2005). تغییرات مقدار سیلت در خاک سوخته را نیز می‌توان به تغییرات مقدار رس نسبت داد. مقایسه میانگین اثرات متقابل وضعیت \times عمق خاک بر مقدار شن (شکل 2- پ) نشان داد که بر خلاف مقدار رس و سیلت که خاک سیلابی بالاترین مقدار را در عمق‌های مختلف داشت، از نظر مقدار شن نتیجه کاملاً بر عکس بود و خاک سیلابی کمترین مقدار شن را در تمامی عمق‌ها دارا بود. بر خلاف مقدار رس که یک روند کاهشی با عمق را نشان می‌دهد، در مورد شن این روند افزایشی بود و در تمامی خاک‌ها با افزایش عمق مقدار شن افزایش یافت، به طوری که کمترین مقدار شن در عمق اول خاک سیلابی و بیشترین مقدار شن در عمق سوم خاک سوخته و شاهد مشاهده شد (شکل 2- پ). نتایج نشان داد که آتش‌سوزی هیچ تأثیری بر مقدار شن خاک نداشت. باید توجه داشت که آتش‌سوزی در دماهای بسیار بالا (1414 درجه سلسیوس) بر مقدار شن خاک تأثیر می‌گذارد (دی بانو و همکاران، 2005) و احتمالاً این حرارت در منطقه ایجاد نشده بود. به طور کلی تمام خاک‌ها در سه گروه بافتی لوم رس سیلتی (خاک‌های عمق اول و دوم خاک سیلابی)، لوم رسی (خاک‌های عمق اول خاک شاهد) و لومی (خاک‌های سوخته، عمق دوم و سوم خاک‌های شاهد و عمق سوم خاک‌های سیلابی) طبقه‌بندی شدند (شکل 3). مقایسه میانگین اثرات متقابل وضعیت \times عمق خاک بر جرم مخصوص ظاهری خاک (شکل 2- ت) نشان داد که هر دو عامل سیلاب و آتش‌سوزی تنها در عمق اول باعث تغییر معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری خاک نسبت به خاک شاهد شدند و در این عمق مقدار جرم مخصوص ظاهری در خاک‌های سوخته و سیلابی بیشتر از خاک شاهد بود. اما هیچ یک از این عوامل نتوانستند جرم مخصوص ظاهری را در عمق دوم و سوم به طور معنی‌داری تغییر دهند (شکل 2- ت). آتش‌سوزی با تخریب ساختمان و منافذ در افق‌های سطحی خاک، عامل اصلی افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک سوخته (دی بانو، 2005) می‌باشد. افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک سیلابی می‌تواند به علت رسوب ذرات ریز در منافذ خاک باشد. مقایسه میانگین اثرات متقابل وضعیت \times عمق خاک بر جرم مخصوص خاکدانه (شکل 2- ث) نشان داد که سیلاب در عمق اول و دوم باعث تغییر معنی‌دار بر جرم مخصوص خاکدانه نسبت به خاک شاهد شد. بر این

¹ Stepwise

این دو عامل بود. اُسوالد و همکاران (1999) گزارش کردند که مقدار CEC در خاک سوخته کاهش می‌یابد.

پایداری خاکدانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس نمایه‌های پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های سیلابی، سوخته و شاهد در عمق‌های مختلف نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین تیمارها از نظر نمایه‌های پایداری خاکدانه وجود دارد (جدول 2). این اختلاف‌ها ناشی از اثر اصلی وضعیت خاک (سیلابی، سوخته و شاهد) در تمام نمایه‌های پایداری خاکدانه، اثر اصلی عمق در تمامی نمایه‌ها و اثر متقابل وضعیت \times عمق، در تمام نمایه‌های پایداری خاکدانه در الک خشک بود.

مقایسه میانگین اثرات متقابل وضعیت \times عمق خاک بر مقدار MWD در الک خشک (شکل 4-الف) نشان داد که سیلاب باعث افزایش معنی‌دار MWD در عمق اول و دوم نسبت به خاک شاهد شده است. آتش-سوزی باعث کاهش معنی‌دار MWD تنها در عمق اول نسبت به خاک شاهد شده است، اما در عمق‌های دوم و سوم اختلاف آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین اثرات متقابل وضعیت \times عمق خاک بر مقدار GMD در الک خشک (شکل 4-ب) نیز روندی مشابه با MWD در الک خشک نشان داد. مقایسه میانگین اثرات متقابل وضعیت \times عمق خاک بر الک خشک (شکل 4-پ) نشان داد که سیلاب باعث کاهش معنی‌دار بُعد فرکتال در عمق اول و دوم خاک نسبت به سایر خاک شده است. همچنین آتش‌سوزی تنها در عمق اول اختلاف معنی‌داری در بُعد فرکتال خاک شده ولی در دو عمق دیگر این اختلاف معنی‌دار نبود.

بررسی اثر عوامل مورد مطالعه بر نمایه‌های پایداری خاکدانه در الک تر نشان داد که فقط اثرات ساده عمق و وضعیت خاک بر نمایه‌های پایداری خاکدانه در الک تر معنی‌دار بود و در هیچ یک، اثر متقابل وضعیت \times عمق خاک معنی‌دار نشد (جدول 2). مقایسه میانگین بین وضعیت‌های خاک از نظر MWD در الک تر (شکل 4-4) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سایر خاک‌ها نشان داد ولی خاک‌های شاهد و سوخته از نظر نمایه MWD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. همچنین مقایسه میانگین بین عمق‌های خاک از نظر MWD در الک تر (شکل 4-ث) نشان داد که کمترین مقدار MWD در عمق سوم مشاهده شد و اختلاف معنی‌داری با خاک‌های عمق اول و دوم نشان داد. نتایج مقایسه میانگین بین وضعیت‌ها و عمق خاک از نظر نمایه GMD در الک تر

اساس در عمق اول جرم مخصوص خاکدانه در خاک سیلابی از خاک شاهد و سوخته بیشتر ولی در عمق دوم مقدار آن در خاک سیلابی کمتر از مقدار آن در خاک سوخته و شاهد بود. اما آتش‌سوزی تغییرات معنی‌دار در جرم مخصوص خاکدانه در هیچ عمقی ایجاد نکرد. بررسی اثر عوامل مورد مطالعه بر تخلخل کل خاک نشان داد که تنها اثر عمق خاک بر تخلخل کل خاک معنی‌دار بود و اثر متقابل وضعیت \times عمق خاک و اثر وضعیت خاک معنی‌دار نشد (جدول 1). فخری و همکاران (1384) نیز اختلاف معنی‌داری از نظر تخلخل کل در خاک سیلابی مشاهده نکردند. مقایسه میانگین اثر عمق خاک بر تخلخل کل نشان داد که تخلخل خاک در عمق اول و دوم بیشتر از عمق سوم بوده و اختلاف معنی‌داری با آن داشت.

مقایسه میانگین اثرات متقابل وضعیت \times عمق خاک بر مقدار کربن آلی (OC) (شکل 2-ج) نشان داد، بیشترین مقدار OC در عمق اول خاک شاهد مشاهده شد و اختلاف معنی‌داری با سایر خاک‌ها نشان داد، همچنین کمترین مقدار OC در عمق سوم خاک سوخته مشاهده شد. آتش‌سوزی باعث کاهش معنی‌دار مقدار OC در عمق اول نسبت به خاک شاهد شد، در حالی که در دو عمق دیگر این اختلاف با خاک شاهد معنی‌دار نبود. همچنین در خاک سیلابی مقدار OC در عمق دوم و سوم به طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های سوخته و شاهد بود. مواد آلی از جمله موادی است که در اثر جریان می‌تواند انتقال یابد. سررشته‌داری (1383) نیز گزارش کرد افزایش رسوبات ناشی از سیلاب باعث افزایش معنی‌دار در مقدار OC خاک شده است. سرتینی (2005) کاهش ماده آلی را پس از آتش‌سوزی گزارش کرد که احتمالاً به علت سوختن این مواد در اثر احتراق بوده است.

بررسی اثر عوامل مورد مطالعه بر مقدار CEC نشان داد که اثر وضعیت و اثر عمق خاک بر مقدار CEC معنی‌دار بود و اثر متقابل وضعیت \times عمق خاک معنی‌دار نشد (جدول 1). مقایسه میانگین بین وضعیت‌های مورد مطالعه خاک بر مقدار CEC (شکل 3-ح) نشان داد که بیشترین مقدار CEC در خاک شاهد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با خاک سوخته داشت ولی اختلاف آن با خاک سیلابی معنی‌دار نبود. همچنین، مقایسه میانگین بین عمق‌های مورد مطالعه خاک بر مقدار CEC (شکل 3-خ) نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار CEC در عمق‌های اول و سوم خاک مشاهده شد. مقدار CEC در عمق اول و دوم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان ندادند. مقدار CEC در خاک به دو عامل ماده آلی و رس بستگی دارد، احتمالاً علت کاهش CEC در خاک سوخته، کاهش

خاک‌های سوخته، سیلابی و شاهد است. در خاک سوخته تنها نمایه‌های پایداری خاکدانه در الکتربارتباط خوبی با ویژگی‌های این خاک نشان داد (معادله‌های 7، 8 و 9 در جدول 3). در معادله‌های ارایه شده برای خاک سوخته تنها ویژگی‌های رس و سیلت ارتباط خوبی با نمایه‌های پایداری خاکدانه نشان داد (جدول 3). نمایه‌های پایداری خاکدانه در الکتربارتباط خوبی و همبستگی مثبت و معنی‌دار با رس و همبستگی منفی و معنی‌دار با سیلت دارند، در حالی‌که نمایه بُعد فرکتال همبستگی منفی و معنی‌دار با رس و همبستگی مثبت و معنی‌دار با سیلت نشان داد (جدول 4).

در خاک شاهد، MWD تنها نمایه پایداری خاکدانه در الکتربارتباط بود که با ویژگی کربن‌آلی ارتباط نشان داد (معادله 10 در جدول 3). در معادله‌های ارایه شده برای خاک شاهد در الکتربارتباط (معادله‌های 11، 12 و 13 در جدول 3) تنها ویژگی‌های رس و کربن‌آلی با نمایه‌های پایداری خاکدانه ارتباط نشان داد (جدول 3). نمایه MWD در الکتربارتباط و ترهمبستگی مثبت و معنی‌دار با کربن‌آلی و MWD در الکتربارتباط همبستگی مثبت و معنی‌دار با رس نشان داد. نمایه GMD در خاک شاهد هیچ همبستگی معنی‌داری با ویژگی‌های خاک شاهد نشان نداد. نمایه بُعد فرکتال نیز همبستگی منفی و معنی‌دار با رس و کربن‌آلی در خاک شاهد نشان داد (جدول 4).

در خاک سیلابی همه‌ی نمایه‌های پایداری خاکدانه در الکتربارتباط (معادله‌های 14، 15، 16 و 17 در جدول 3) و الکتربارتباط (معادله‌های 18، 19، 20، 21 و 22 در جدول 3) روابط معنی‌داری با ویژگی‌های مورد مطالعه خاک داشت. نمایه MWD در الکتربارتباط تنها رابطه رگرسیونی با CEC نشان داد (معادله 14 در جدول 3). این که ویژگی‌های دیگری از جمله رس و کربن‌آلی علی‌رغم داشتن ضریب همبستگی (جدول 4) در معادله وارد نشده‌اند، احتمالاً بیانگر این نیست که این ویژگی‌ها این نمایه را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند، زیرا ویژگی CEC تحت تأثیر ویژگی‌های رس و کربن‌آلی تغییر می‌کند. نمایه GMD در الکتربارتباط هم معادله رگرسیونی خطی و هم معادله رگرسیونی چندمتغیره بود، که دو ویژگی رس و کربن‌آلی نقش مهمی در این نمایه داشتند. نمایه بُعد فرکتال در الکتربارتباط نیز همبستگی منفی و معنی‌دار با رس در خاک سیلابی نشان داد (جدول 4). نمایه‌های پایداری خاکدانه در الکتربارتباط معنی‌دار خطی و چندمتغیره با ویژگی‌های مورد مطالعه نشان داد که بر این

(شکل‌های 4-ج و 4-چ) مشابه با نتایج MWD در الکتربارتباط بود. مقایسه میانگین بین وضعیت‌های خاک از نظر بُعد فرکتال در الکتربارتباط (شکل 4-ح) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین هر سه وضعیت مورد مطالعه وجود دارد. بر این اساس بیشترین مقدار بُعد فرکتال در خاک سوخته و کمترین مقدار بُعد فرکتال در خاک سیلابی مشاهده شد. مقایسه میانگین بین عمق‌های خاک از نظر بُعد فرکتال در الکتربارتباط (شکل 4-خ) نشان داد بیشترین مقدار بُعد فرکتال در عمق سوم وجود دارد که اختلاف معنی‌داری با سایر خاک‌ها نشان می‌دهد ولی مقدار بُعد فرکتال در عمق‌های اول و دوم اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان نداد. در نهایت کاهش پایداری خاکدانه در اثر آتش‌سوزی و افزایش آن در اثر رسوب‌گذاری ناشی از سیلاب از جمله نتایج بود که آتش‌سوزی و سیلاب بر وضعیت خاکدانه‌ها داشتند. نتایج گارسیا-کورونا و همکاران (2004) نیز نشان داد که آتش‌سوزی در دمای 170-220 درجه سلسیوس اثر معنی‌داری بر پایداری خاکدانه نداشت، در حالی‌که در دماهای بالاتر (380-460 درجه سلسیوس) پایداری خاکدانه کاهش می‌یابد. احتمالاً با توجه به وسعت آتش‌سوزی در منطقه (حدود 5 هکتار)، چنین دمایی در منطقه سوخته ایجاد شده است. که در این دما با از بین رفتن کربن‌آلی پایداری خاکدانه کاهش یافته است. مطالعات اندرو و همکاران (2001) نشان داد که آتش‌سوزی‌های با شدت بالا اساساً بر خاک‌دانه‌های با قطر 2 میلی‌متر تأثیر می‌گذارد و این امر باعث افزایش خاکدانه‌های با قطر کوچکتر می‌شود. بنابراین کاهش خاکدانه‌های با قطر بزرگتر می‌تواند باعث افزایش MWD و GMD و همچنین کاهش بُعد فرکتال شود. جیوانی و همکاران (1988) نیز بهم خوردگی فیزیکی خاک در طی فرآیند سوختگی را یک عامل مهم برای کاهش اندازه خاکدانه و در نتیجه کاهش نمایه‌های پایداری خاکدانه دانستند. افزایش پایداری در خاک سیلابی را می‌توان در ارتباط با مقادیر بالاتر رس در هر سه عمق مورد مطالعه (شکل 2-الف) و مقادیر کربن‌آلی در عمق دوم و سوم (شکل 2-چ) دانست.

معادلات رگرسیونی نمایه‌های پایداری خاکدانه

معادلات رگرسیونی ساده و چندمتغیره بین نمایه‌های پایداری خاکدانه و ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه در جدول 3 ارایه شده است. این معادلات در واقع مقدار تأثیرپذیری نمایه‌های پایداری خاکدانه را از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک‌های سوخته، شاهد و سیلابی را نشان می‌دهند. هر یک از این معادلات نماینده 9 خاک از عمق‌های مختلف در وضعیت‌های مختلف

نتیجه‌گیری کلی

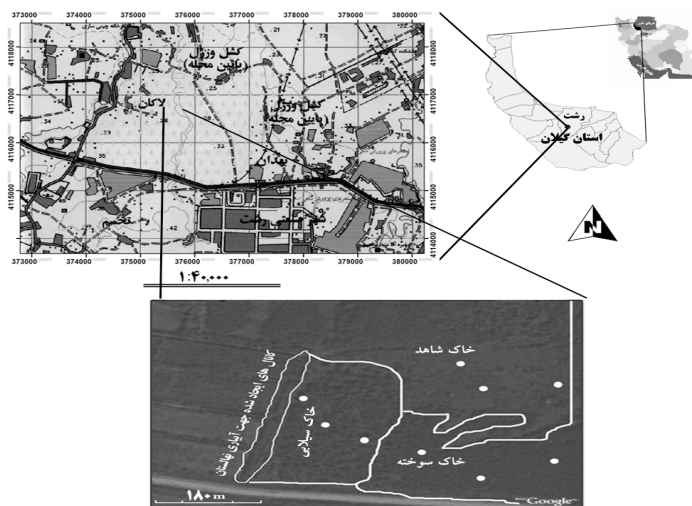
به طور کلی نتایج آزمایش‌ها نشان داد که سیلاب و آتش‌سوزی اثرات معنی‌داری و متفاوتی بر پایداری خاکدانه‌ها داشتند. سیلاب باعث افزایش پایداری خاکدانه شد که این امر را می‌توان از افزایش نمایه‌های MWD و GMD و کاهش بُعد فرکتال در الگ خشک و تر استنباط کرد. بنابراین سیلاب باعث بهبود ویژگی‌های خاک منطقه شد. اما آتش‌سوزی باعث کاهش پایداری خاکدانه شد. کاهش نمایه‌های MWD و GMD و افزایش بُعد فرکتال در الگ خشک و تر نشان دهنده کاهش پایداری خاکدانه در خاک سوخته بود. با توجه به معادلات ارائه شده (جدول 3) این امر را می‌توان بیشتر در ارتباط با تغییرات رس و کربن آلی در خاک‌ها دانست. همچنین نمایه‌های ارائه شده در الگ تر ارتباط بهتری با ویژگی‌های خاک داشت و روابط بیشتری از آن استخراج شد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله از جناب آقایان مهندس انصاری و مهندس زینلی کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی دانشگاه گیلان و همچنین از جناب آقای زنجانی نژاد مدیریت محترم نهالستان لاکان تقدیر و تشکر می‌نمایند.

اساس نمایه‌های MWD و GMD در الگ تر دارای هم معادله رگرسیونی خطی و هم معادله رگرسیونی چند متغیره بود که دو ویژگی رس و کربن آلی نقش مهمی در این نمایه‌ها داشتند. همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز بین ویژگی‌های رس و کربن آلی با این نمایه‌ها مشاهده شد (جدول 4). نمایه بُعد فرکتال در الگ تر نیز رابطه معنی‌داری با مقدار رس دارد (معادله 22 در جدول 3). همبستگی منفی و معنی‌داری نیز بین بُعد فرکتال و مقدار رس مشاهده شد (جدول 4).

فیلهو و همکاران (2002)، غلظت کربن آلی و بهم خوردگی خاک را دو عامل مهم و تأثیر گذار در مقدار GMD مؤثر دانستند. GMD در الگ تر و خشک در خاک سیلابی ارتباط خوبی را با کربن آلی برقرار نمود (جدول 3). البته در خاک سوخته به علت از دست رفتن کربن آلی در اثر آتش‌سوزی این ارتباط وجود ندارد. در خاک سوخته شاخص‌های پایداری خاکدانه تنها با ویژگی بافت خاک (رس و سیلت) ارتباط برقرار کرد. افزایش رس در خاک سیلابی عامل مهمی در پایداری خاکدانه و حتی خاکدانه سازی بود. تقریباً همه روابط ارائه شده در خاک سیلابی ارتباط خوبی با مقدار رس نشان دادند. بنابراین آن می‌تواند عامل مهمی در پایداری خاکدانه‌ها در خاک سیلابی باشد. افزایش رس و کربن آلی نقش بسیار مهمی در افزایش پایداری خاکدانه دارد (مورگان، 2005).



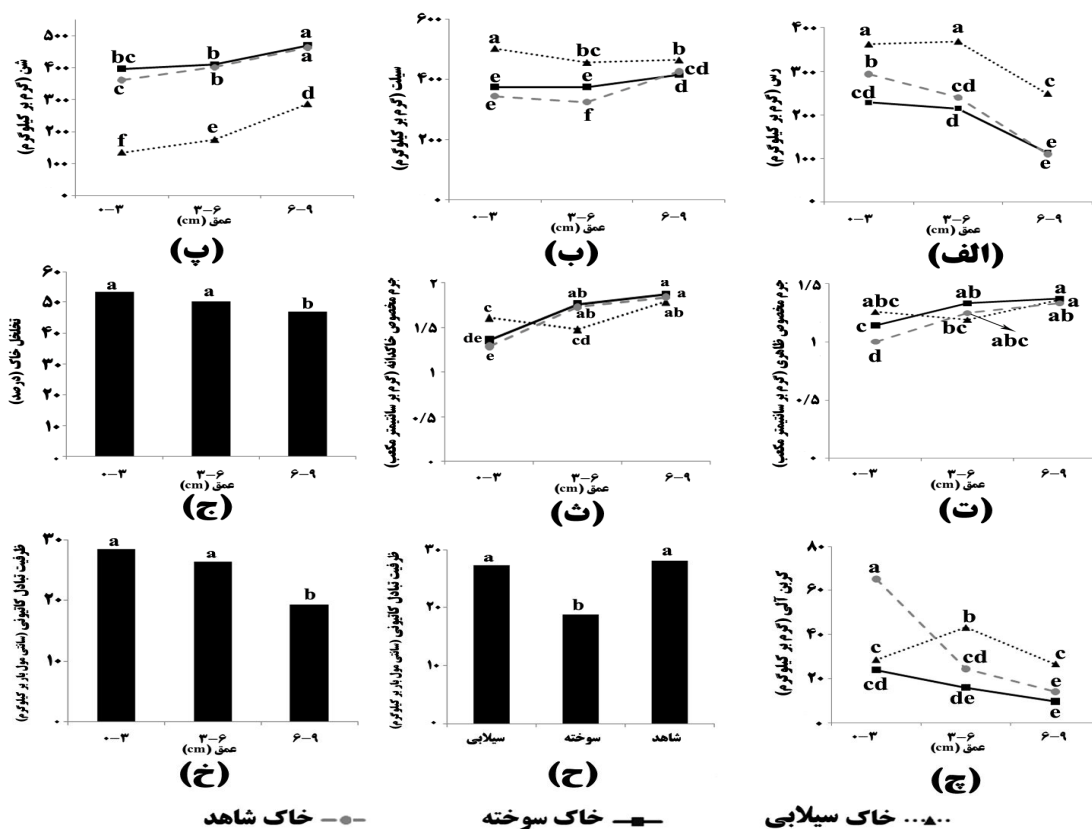
شکل 1- منطقه مورد مطالعه در نهالستان لاکان در استان گیلان

جدول 1- خلاصه تجزیه واریانس اثرات وضعیت خاک منطقه (سیلابی، سوخته و شاهد) و عمق بر ویژگی‌های مورد مطالعه خاک

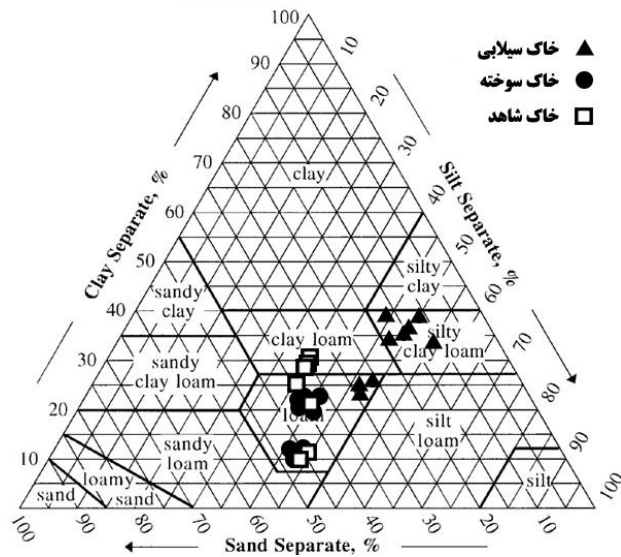
میانگین مربعات (MS) ویژگی‌های مورد مطالعه					توزیع اندازه ذرات			درجه آزادی	منبع تغییرات
CEC	OC	Φ	جرم مخصوص		شن	سیلت	رس		
			ρ_a	ρ_b					
2/47**	7/98**	ns/0/1	ns/0/4	ns/0/00	126/98*	15/25**	51/42**	2	وضعیت خاک
2/21**	9/81**	0/4**	0/06**	0/02**	24/21**	2/42**	60/78**	2	عمق
ns/0/4	4/51**	ns/0/07	0/01**	0/01*	2/83**	1/68**	2/21**	4	وضعیت خاک × عمق
0/16	0/17	0/044	0/002	0/003	0/27	0/19	0/25	18	اشتباه آزمایشی
8/06	8/09	2/98	3/58	3/66	2/88	2/15	3/25	-	ضریب تغییرات (درصد)

ns و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال 0/05 و 0/01 - Φ تخلخل خاک، ρ_b - جرم مخصوص ظاهری، ρ_a - جرم مخصوص

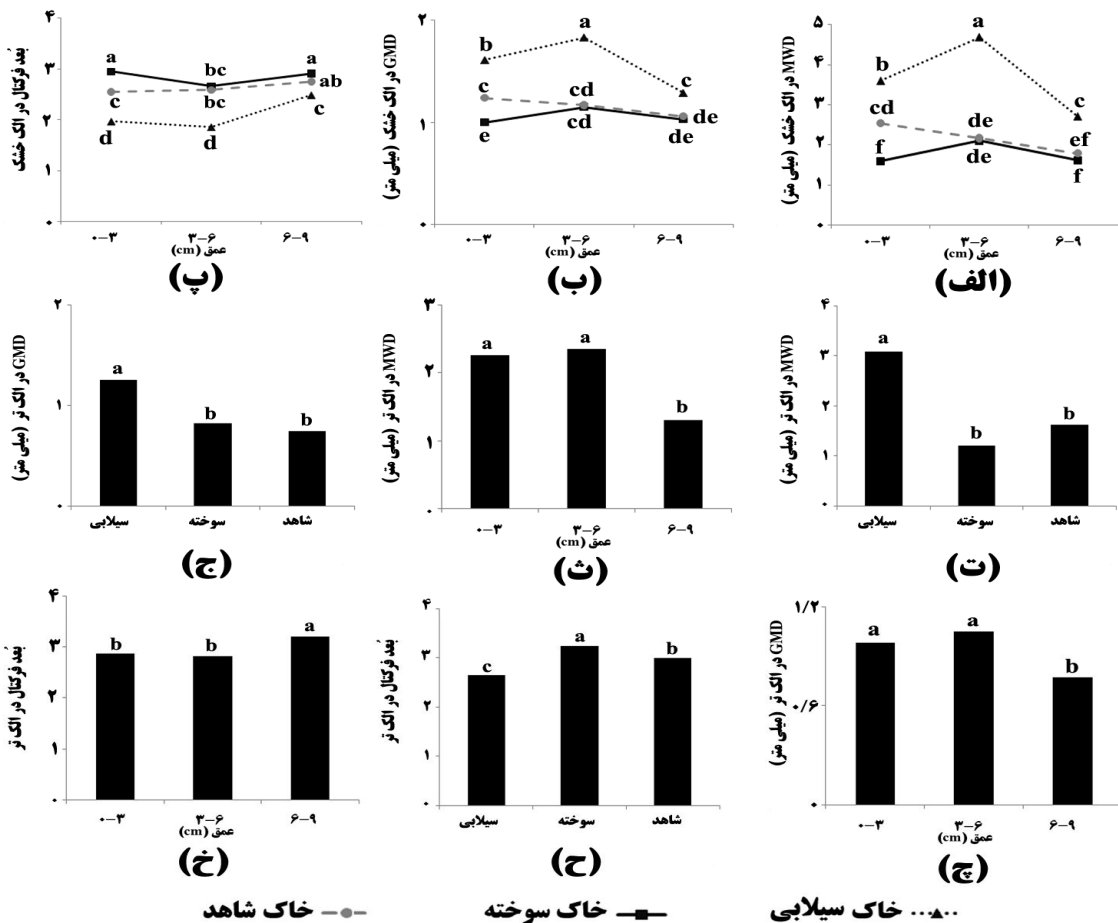
خاکدانه، OC - کربن آلی و CEC - ظرفیت تبادل کاتیونی



شکل 2- تغییرات الف - مقدار رس، ب- مقدار سیلت، پ- مقدار شن، ت- جرم مخصوص ظاهری، ث- جرم مخصوص خاکدانه، ج- تخلخل، چ- کربن آلی در عمق‌ها و وضعیت‌های مورد مطالعه، ح- ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌ها و خ- ظرفیت تبادل کاتیونی در عمق‌های مورد مطالعه



شکل 3- توزیع خاک‌های مورد مطالعه در کلاس‌های مختلف بافتی



شکل 4- تغییرات نمایه‌های پایداری خاکدانه در آزمایش الک خشک و تر در عمق‌ها و خاک‌های مورد مطالعه

جدول 2- تجزیه واریانس اثرات وضعیت منطقه و عمق بر نمایه‌های پایداری خاکدانه‌ها

میانگین مربعات (MS) نمایه‌های پایداری خاکدانه‌ها						درجه آزادی	منبع تغییرات
الک تر			الک خشک				
D	GMD	MWD	D	GMD	MWD		
0/07**	0/17**	1/04**	0/13**	0/13**	0/80**	2	وضعیت خاک
0/03**	0/05**	0/42**	0/03**	0/03**	0/18**	2	عمق
^{ns} 0/001	^{ns} 0/003	^{ns} 0/02	0/01**	0/01**	0/05**	4	وضعیت خاک × عمق
0/01	0/003	0/017	0/001	0/01	0/01	18	اشتباه آزمایشی
1/90	5/54	9/73	2/20	3/78	5/60	-	ضریب تغییرات (درصد)

^{ns} و ^{**} به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال 0/05 و 0/01، MWD- میانگین وزنی خاکدانه‌ها، GMD- میانگین هندسی خاکدانه‌ها

و D-بُعد فرکتال

جدول 3- معادلات رگرسیون ساده و چند متغیره بین نمایه‌های پایداری خاکدانه و ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه

خاک سیلابی		خاک شاهد		خاک سوخته	
معادله	شماره R ² _{adj}	معادله	شماره R ² _{adj}	معادله	شماره R ² _{adj}
MWD _d = 0/278 CEC+0/465	0/68** 14	MWD _d = 0/058 OC+ 1/144	0/52* 10	MWD _w = 0/084 C-0/051	0/68** 7
GMD _d = 0/05 C+0/357	0/75** 15	MWD _w = 0/08 OC+ 0/815	0/66** 11	GMD _w = -0/096 Si + 2/751	0/55* 8
GMD _d = 0/038 C+0/053 OC+0/274	0/90** 16	GMD _w = 0/012 C +0/738	0/40* 12	D _w = -0/029 C+ 2/191	0/90** 9
D _d = -0/054 C+2/413	0/84** 17	D _w = -0/013 C + 1/917	0/60** 13		
MWD _w = 0/126 C-0/534	0/66** 18				
MWD _w = 0/089 C+0/166 OC-0/796	0/84** 19				
GMD _w = 0/05 C+0/212	0/60** 20				
GMD _w = 0/035 C+0/067 OC+0/105	0/78** 21				
D _w = -0/029 C+2/151	0/69** 22				

جدول 4- همبستگی بین نمایه‌های پایداری خاکدانه و ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک‌های سوخته، شاهد و سیلابی

CEC	OC	Ø	ρ	ρ _a	ρ _b	شس	سیلت	رس	نمایه‌های پایداری خاکدانه	وضعیت خاک
-0/32	-0/17	-0/01	0/24	0/22	0/11	-0/23	-0/41	0/33	MWD _d	سوخته
-0/49	0/32	0/16	0/19	0/30	0/2	-0/00	-0/28	0/13	GMD _d	
0/44	0/25	0/15	-0/16	-0/25	-0/18	0/06	0/38	-0/21	D _d	
0/55	0/62	0/45	-0/41	-0/54	-0/48	-0/76*	-0/8*	0/83**	MWD _w	
0/43	0/5	0/34	-0/44	-0/47	-0/4	-0/59	-0/8*	0/73*	GMD _w	
-0/51	-0/58	-0/39	0/30	0/47	0/39	0/79*	0/8*	-0/86**	D _w	
-0/51	0/78*	0/67*	-0/66	-0/65	-0/73*	-0/72*	-0/57	0/66	MWD _d	شاهد
0/72*	0/65	0/57	-0/54	-0/50	-0/61	-0/58	-0/45	0/53	GMD _d	
0/62	-0/65	-0/57	0/47	0/51	0/59	0/61	0/56	-0/6	D _d	
-0/49	0/8**	0/75*	-0/65	-0/75*	-0/78*	-0/81**	-0/77*	0/81**	MWD _w	
0/57	0/55	0/52	-0/32	-0/46	-0/51	-0/62	-0/68*	0/66	GMD _w	
0/35	-0/77*	-0/75*	0/59	0/70*	0/76*	0/80**	0/77*	-0/81**	D _w	
0/85**	0/82**	0/9**	-0/33	-0/7*	-0/8**	-0/62	-0/18	0/8**	MWD _d	سیلابی
0/85**	0/77*	0/92**	-0/32	-0/7*	-0/8**	-0/7*	-0/06	0/87**	GMD _d	
-0/8*	-0/61	-0/9**	0/16	0/55	0/7*	0/9**	-0/17	-0/9**	D _d	
0/73*	0/8*	0/8*	-0/28	-0/44	-0/72*	-0/63	-0/11	0/78*	MWD _w	

0/74*	0/8**	0/7*	-0/36	-0/45	-0/74*	-0/63	-0/14	0/79*	GMD _w
-0/77*	-0/74*	-0/83**	0/22	0/46	0/72*	0/72*	0/06	-0/85**	D _w

*، **، *** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال 0/05 و 0/01. MWD_w - میانگین وزنی خاکدانه‌ها در الک خشک، GMD_w - میانگین هندسی خاکدانه‌ها در الک خشک، D_w - بُعد فرکتال در الک خشک، MWD_w - میانگین وزنی خاکدانه‌ها در الک تر، GMD_w - میانگین هندسی خاکدانه‌ها در الک تر و D_w - بُعد فرکتال در الک تر. ρ_b - جرم مخصوص ظاهری، ρ_a - جرم مخصوص خاکدانه، ρ_s - جرم مخصوص حقیقی، Ø - تخلخل خاک، OC - کربن آلی و CEC - ظرفیت تبادل کاتیونی.

فهرست منابع:

1. سپاس‌خواه، ع.، س.ع. موسوی، و ی. لاری. 1379. ارزیابی ابعاد فرکتالی برای تعیین ثبات خاکدانه. تحقیقات کشاورزی ایران. 19: 99-114.
2. سررشته‌داری، ا. 1383. اثرات طرح پخش سیلاب بر نفوذپذیری و حاصلخیزی خاک. مجله پژوهش و سازندگی. 62: 93-83.
3. فخری، ف.، م. جعفری، م.ح. مهدیان و ح. آذرینوند. 1384. تأثیر پخش سیلاب بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ایستگاه تحقیقاتی تنگستان - استان بوشهر. فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران. 3: 233-248.
4. قضاوی، غ.، ر.، و ع.ع. ولی. 1381. اثرات پخش سیلاب بر روی بعضی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی پخش سیلاب فتح آباد داراب). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. 9: 17-25.
5. محمدی، ج.، و ف. رئیسی‌گهروی. 1382. توصیف فرکتالی اثرات قرق دراز مدت و چرای مفرط بر الگوی تغییرات مکانی شماری از ویژگی‌های شیمیایی خاک. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. 4: 25-36.
6. مهدیان، م. ح.، ا. حسینی چگینی، م.ح. شریعتی، و ک. خاکسار. 1382. بررسی تأثیر پخش سیلاب در تغییرات فیزیکی-شیمیایی خاک (مطالعه موردی طرح پخش سیلاب قوشه دامغان در استان سمنان). مجله پژوهش و سازندگی. 61: 39-44.
7. Andreu, V., A. Imeson, and J.L. Rubio. 2001. Temporal changes in soil macro and microaggregation induced by forest fires and its incidence on water erosion. *Catena* 44:69-84.
8. Blake, G.R., and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, p. 363-375. In: A. Klute (ed.), *Methods of Soil Analysis*, 2nd ed. Part 1- Physical and mineralogical methods, Agronomy Monograph, Vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
9. Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 143: 1-10.
10. Chepil, W.S. 1950. Methods of estimating apparent density of discrete soil grains and aggregates. *Soil Sci.* 70:351-362.
11. DeBano, L.F., D. Neary, and P.F. Folliott. 2005. Soil physical properties. In: D. Neary, K.C. Ryan and L.F., DeBano (ed.). *Wildland fire in ecosystems, effects of fire on soil and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-Vol.4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 250 pp.
12. Filho, C.C., A. Lourenco, M. Guimaraes, F. de and I.C.B. Fonseca. 2002. Aggregate stability under different soil management systems in red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil Till. Res.* 65, 45-51.
13. Flint, A., and L. Flint. 2002a. Particle density. p. 229-240. In: J.H. Dane, and G. C. Topp, (ed.), *Methods of soil analysis*, Part 4- Physical methods. Agronomy Monograph, Vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
14. Flint, A., and L. Flint. 2002b. Porosity. p. 241-254. In: J. H. Dane, and G. C. Topp, (ed.), *Methods of soil analysis*, Part 4- Physical methods. Agronomy Monograph, Vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

15. García-Corona, R., E. Benito, E. DeBlas, and M.E. Varela. 2004. Effects of heating on some soil physical properties related to its hydrological behaviour in two northwestern Spanish soils. *International Journal of Wildland Fire* 13:195–199.
16. Gee, G.W., and D. Or. 2002. Particle-size analysis. p. 255-293. *In*: J. H. Dane, and G. C. Topp (ed.), *Methods of soil analysis, Part 4- Physical methods*. Agronomy Monograph, Vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
17. Giovannini, G., S. Lucchesi, and M. Giachetti. 1988. Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Sci.* 146:255–262.
18. Guerrero, C., J. Mataix-Solera, F. García-Orenes, I. Gómez, and J. Navarro-Pedreño. 2001. Different patterns of aggregate stability in burned and restored soils. *Arid Land Research and Management* 15: 163–171.
19. IUSS, Working Group WRB. 2006. World reference base for soil Resources: 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
20. Mataix-Solera, J., and S.H. Doerr. 2004. Hydrophobicity and aggregate stability in calcareous topsoils from fire-affected pine forest in southeastern Spain. *Geoderma* 118:77–88.
21. Mataix-Solera, J., A. Cerdà, V. Arcenegui, A. Jordán, and L.M. Zavala. 2011. Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews* 109: 44–60.
22. Mazurak, A.P. 1950. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. *Soil Sci.* 69:135-148.
23. Morgan, R.P.C. 2005. *Soil erosion and conservation*. 3rd edition. Blackwell Publishing, 304 pp.
24. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1996. Total carbone, organic carbone, and organic matter. p. 961-1010. *In*: D. L. Sparks, (ed.), *Methods of soil analysis, Part 3- Chemical methods*. Agronomy Monograph, Vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
25. Nimmo, J.R., and K.S. Perkins. 2002. Aggregate stability and size distribution. p. 317-328. *In*: J. H. Dane and G. C. Topp (ed.), *Methods of soil analysis, Part 4- Physical methods*. Agronomy Monograph, Vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
26. Oswald, B.P., D. Davenport, and L.F. Neuenschwander. 1999. Effects of slash pile burning on the physical and chemical soil properties of Vassar soils. *J Sustainable For.* 8:75–86.
27. SAS Institute, 2002. *SAS/STAT User's Guide*. *In*: Version 9.1., SAS Institute Cary, NC.
28. SPSS. 2007. *SPSS for Windows, Version 16.0*. SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA.
29. Sumner, M.E., and W.P. Miller. 1996. Cations exchange capacity and Exchange Coefficients. p. 1201-1230. *In*: D.L. Sparks. (Ed.), *Methods of soil analysis, Part 3- chemical methods*. Agronomy Monograph, Vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
30. Turcotte, D.L. 1986. Fractals and fragmentation. *J. Geophys. Res.* 91 (B2):1921–1926.
31. Úbeda, X. 1999. Structural changes on soils after forest fires. *In*: J. Bech, (ed.), *Extended Abstracts of 6th International Meeting of Soils with Mediterranean Type of Climate*. Universitat de Barcelona, Spain.
32. USDA, Soil Survey Staff. 2010. *Keys to soil taxonomy*, (11th ed.), U.S. Dep. Agric., Soil Conserv. Serv., Washington, DC.
33. Van Bavel, C.H.M. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14:20-23.
34. Vázquez, F.J., V. Petrikova, MC. Villar, and T. Carballas. 1996. Use of poultry manure and plant cultivation for the reclamation of burnt soils. *Biol Fertil. Soils* 22:265–271.