

## بررسی تأثیر آتش‌سوزی جنگل بر پایداری خاکدانه‌ها و عوارض قابل مشاهده سطحی در مقیاس‌های مختلف

علی اکبرزاده<sup>۱</sup>، شجاع قربانی‌دشتکی<sup>۲</sup>، مهدی نادری‌خوراسگانی<sup>۳</sup>،  
جهانگرد محمدی<sup>۴</sup> و روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد، استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد،

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد، <sup>۳</sup> استادیار گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشگاه اردکان

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۲۷

### چکیده

**سابقه و هدف:** تخریب اراضی جنگلی در اثر آتش‌سوزی یکی از بزرگ‌ترین مشکلات زیست‌محیطی شمال کشور است که به‌طور معنی‌داری پوشش گیاهی و عوارض قابل مشاهده سطح خاک را تغییر داده و بنابراین بر میزان پایداری خاکدانه‌ها در برابر نیروهای فرساینده تأثیرگذار می‌باشد. با داشتن اطلاعات کامل از میزان پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد و نوع عوارض مرتبط با فرسایش خاک در مقیاس‌های کرت و حوضه آبخیز بهتر می‌توان در مورد خطر فرسایش در منطقه قضاوت کرد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر آتش‌سوزی بر پایداری خاکدانه‌ها، عوارض قابل مشاهده سطحی و ویژگی‌های پوشش گیاهی در مقیاس‌های خرد، کرت و حوضه آبخیز در بخش‌هایی از اراضی جنگلی واقع در شمال‌غرب استان گیلان انجام گرفت.

**مواد و روش‌ها:** در قطعاتی در داخل محدوده ۱۵ ناحیه آسیب‌دیده در اثر آتش‌سوزی و ۱۵ منطقه نسوخته مجاور آن‌ها، در پنج واحد ژئومورفولوژی مختلف، شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد و اشکال میکروتوپوگرافی فرسایش و درصد لاشبرگ در مقیاس کرت اندازه‌گیری شدند. همچنین برخی ویژگی‌های پوشش گیاهی، شاخص تراکم آبراهه‌ها و برخی از اشکال مورفودینامیکی فرسایش مورد بررسی قرار گرفتند.

**یافته‌ها:** نتایج آنالیز واریانس نشان داد که شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، درصد لاشبرگ و شاخص تراکم آبراهه‌ها اختلاف معنی‌داری بین نقاط آتش‌سوزی و شاهد (داخل گروه‌ها) داشتند. در بین واحدهای ژئومورفولوژی (بین گروه‌ها) نیز تنها از نظر درصد لاشبرگ اختلاف معنی‌دار وجود داشت. نتایج همچنین مشخص کرد که حدود چهار تا پنج سال طول کشید تا میزان شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها به شرایط قبل از آتش‌سوزی برسد. همچنین افزایش شدت آتش‌سوزی از کم به زیاد و تغییر نوع آتش‌سوزی از سطحی به تاجی بیش‌ترین تأثیر را بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها داشت. نتایج بررسی اشکال میکروتوپوگرافی فرسایش در مقیاس کرت نشان داد که برخی از آن‌ها در نقاط آتش‌سوزی نسبت به شاهد دچار تغییر شده بودند. در مقیاس حوضه آبخیز نیز شیارها، لغزش‌های رخ داده و خندق‌ها بیش‌تر در نواحی آتش‌سوزی وجود داشتند. ضرایب همبستگی ایجاد شده بین ویژگی‌های مربوط به مقیاس‌های مختلف مشخص کرد که همبستگی معنی‌داری بین برخی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در مقیاس‌های مختلف وجود دارد.

\* مسئول مکاتبه: [ghorbani-sh@agr.sku.ac.ir](mailto:ghorbani-sh@agr.sku.ac.ir)

**نتیجه‌گیری:** از شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها می‌توان در مقیاس خرد به‌عنوان یک معیار ارزیابی مفید در بررسی میزان قدرت شکل‌گیری اشکال مختلف میکروتوپوگرافی و مورفودینامیکی فرسایش خاک در مقیاس‌های کرت و حوضه آبخیز استفاده کرد. نتایج این بررسی می‌تواند در ارزیابی خطر فرسایش خاک‌های اراضی جنگلی و مدیریت جنگل به‌کار رود.

**واژه‌های کلیدی:** پایداری خاکدانه، تراکم آبراهه، خندق، شیار، لغزش

### مقدمه

در بین کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا، کشور ایران در رتبه چهارم از لحاظ وقوع آتش‌سوزی در جنگل‌ها قرار دارد (۱۰). به‌گونه‌ای که تخریب اراضی جنگلی یکی از بزرگ‌ترین معضلات زیست‌محیطی در شمال کشور است (۲۸). این افزایش خطر آتش‌سوزی، نگرانی‌های زیادی در ارتباط با اثرات منفی و مخرب آن بر کیفیت آب و خاک، زیستگاه‌های آبی و سیستم‌های فراهم‌کننده آب ایجاد کرده است (۲۰). آتش‌سوزی در جنگل‌ها به‌طور معنی‌داری پوشش گیاهی، پوشش خاک و خواص خاک را تغییر داده و بنابراین بر فرآیندهای فرسایش و رواناب تأثیرگذار می‌باشد (۲۴). در نتیجه پس از آتش‌سوزی آب کم‌تری در بالادست رودخانه‌ها به زمین نفوذ کرده و سریع‌تر به‌طرف دشت جریان پیدا می‌کند و در نتیجه میزان رواناب افزایش و خطر فرسایش شدید نیز بیش‌تر می‌شود (۶). پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که پس از آتش‌سوزی، پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه فرسایش خاک بسته به خصوصیات منطقه و حوضه آبخیز با درجات مختلفی تغییر می‌یابد (۲۰).

تمام فاکتورهای مؤثر در فرسایش خاک را می‌توان در چندین مقیاس مورد مطالعه قرار داد. دامنه این مقیاس‌ها بین یک میلی‌مترمربع تا سطح یک حوضه آبخیز می‌باشد (۳، ۸، ۳۱). مقیاس یک مسأله بسیار مهم در پژوهش‌های فرسایش خاک می‌باشد. زیرا فاکتورها و فرآیندهای تأثیرگذار در فرسایش خاک

وابسته به مقیاس می‌باشند. علاوه بر این، دانستن مقیاسی که در آن فرسایش اتفاق می‌افتد می‌تواند خط‌مشی و روش ما را در جلوگیری از فرسایش تحت‌تأثیر قرار دهد. زیرا بسیاری از نهادها و سازمان‌هایی که درگیر این مسأله هستند، نوع سیاست خود را بر اساس وسعت خطرات فرسایش تعیین می‌کنند. فهم تمام فرآیندهای فرسایشی خاک که در مقیاس‌های وسیع به‌وقوع می‌پیوندند بدون مطالعه آن‌ها در مقیاس‌های کوچک‌تر بسیار دشوار است. زیرا در یک مقیاس خرد یا کوچک، پایداری خاکدانه‌ها اثر بسیار مهمی بر فرسایش‌پذیری خاک دارد و بنابراین به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای سایر ویژگی‌های خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. با این وجود، در مقیاس‌های بزرگ‌تر مانند کرت و حوضه آبخیز این ارتباطات کم‌تر شناخته شده هستند (۸).

بررسی پیشینه پژوهش نشان داد که قبلاً پژوهش‌های مشابهی درباره تغییر پایداری خاکدانه‌ها در مناطق پس از آتش‌سوزی در مقیاس خرد انجام گرفته است. با این وجود، مطالعات محدودی به بررسی ارتباط بین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد با ویژگی‌های پوشش گیاهی و تراکم آبراهه‌ها در مقیاس‌های کرت و حوضه آبخیز در مناطق پس از آتش‌سوزی پرداخته‌اند. بارتز و روز (۲۰۰۲) گزارش کردند که کاهش پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد در نهایت به افزایش رواناب و هدررفت خاک در مقیاس‌های وسیع‌تر منجر خواهد شد (۳). هوبرت و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که آتش‌سوزی باعث

علاوه بر این، بررسی ارتباط بین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد با ویژگی‌های پوشش گیاهی و تراکم آبراهه‌ها در مقیاس‌های کرت و حوضه آبخیز از دیگر اهداف این پژوهش بود.

### مواد و روش‌ها

**معرفی منطقه مورد مطالعه:** برای انجام این پژوهش، منطقه جنگلی کانرود به مساحت ۲۱/۵۴ کیلومترمربع در شمال‌غربی استان گیلان انتخاب شد (شکل ۱). اقلیم این منطقه بر اساس روش آمبرژه از نوع مدیترانه‌ای مرطوب معتدل است. میانگین بارندگی و دمای سالانه این منطقه (با میانگین ارتفاع حدود ۶۴۵ متر از سطح دریا)، به ترتیب حدود ۹۱۴ میلی‌متر و ۱۳/۱ درجه سلسیوس است. همچنین رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک این منطقه به ترتیب یودیک و مزیک می‌باشد (۱).

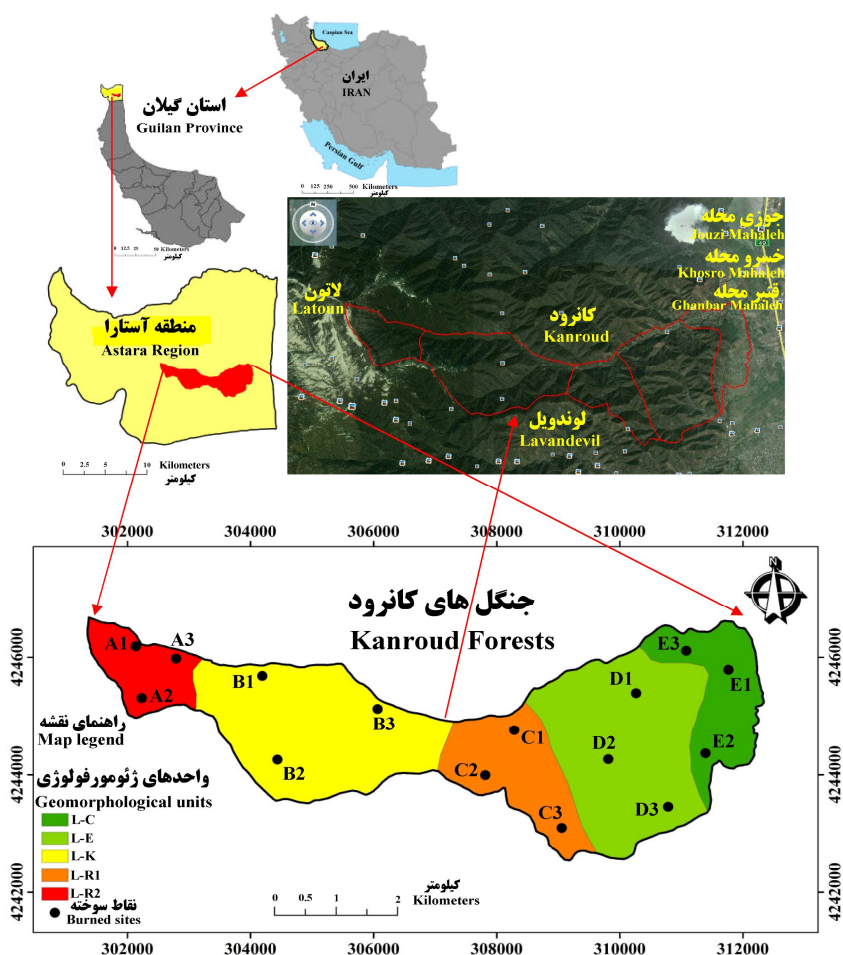
**شناسایی نقاط مورد مطالعه:** از روش ارایه شده توسط زینک (۱۹۸۸) برای جداسازی واحدهای ژئومورفولوژی استفاده شد (۳۹). بر این اساس، پنج واحد ژئومورفولوژی مختلف شامل L-R2، L-K، L-R1، L-E و L-C توسط بازدیدهای صحرائی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و همه نقشه‌های موجود شناسایی شدند (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه از نظر زمانی و دیرینه‌شناسی شامل رسوبات دوران دوم و سوم زمین‌شناسی است. رسوبات این منطقه در دوران دوم زمین‌شناسی متعلق به دوره کرتاسه با نوع سنگ‌های غالب توف‌های کرتاسه با لایه‌بندی ماسه‌سنگ، سیلت‌استون و آهک است (زمین‌های L-C). رسوبات این منطقه در دوران سوم زمین‌شناسی متعلق به دوره اتوسن با نوع سنگ‌های غالب توف‌های آندزیتی، رسوبات توفی و گدازه‌های آتشفشانی است (زمین‌های L-E، L-K، L-R1 و L-R2). واحد ژئومورفولوژی L-E شامل ارتفاعات کوتاه با شیب نسبتاً زیاد، عمق کم خاک و بیرون‌زدگی‌های سنگی با فرسایش خاک می‌باشد. واحد ژئومورفولوژی L-K دارای ارتفاعات متوسط با شیب زیاد، عمق

از بین رفتن لایه لاشبرگ و تخریب ساختمان سطح خاک در مقیاس کوچک شد. نتایج همچنین نشان داد که آتش‌سوزی در نهایت باعث افزایش جریان‌های سطحی و فرسایش خاک در مقیاس‌های وسیع گردید (۱۶). کاتلر و اورنگا- لاروسا (۲۰۰۶) در ارزیابی فرسایش خاک در مقیاس‌های مختلف در مکزیک نشان دادند که ارتباط معنی‌داری بین تخریب خاکدانه‌ها در مقیاس خرد و افزایش اشکال میکروتوپوگرافی فرسایش در مقیاس کرت و اشکال مورفودینامیکی فرسایش در مقیاس حوضه آبخیز وجود داشت (۸). لارسن و همکاران (۲۰۰۹) در ارزیابی فرسایش خاک در اراضی شیب‌دار در کولرادوی آمریکا مشاهده کردند که آتش‌سوزی جنگل تأثیر معنی‌داری در کاهش پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد و افزایش میزان رواناب و رسوب در مقیاس کرت بزرگ داشت (۲۰). نوروزی و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که از بین رفتن ماده آلی و لاشبرگ سطح خاک عامل اصلی کاهش پایداری خاکدانه‌ها در مناطق پس از آتش‌سوزی در مقیاس خرد بود (۲۹).

هنوز ارتباط بین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، عوارض مرتبط با فرسایش خاک و ویژگی‌های پوشش گیاهی در مقیاس‌های مختلف به‌خوبی مشخص نشده است. همچنین اطلاعات زیادی در رابطه با اثر نوع و شدت آتش‌سوزی و اثر گذشت زمان بر برگشت‌پذیری شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها در دست نیست. بنابراین، هدف اصلی از انجام این پژوهش بررسی تأثیر آتش‌سوزی بخشی‌هایی از اراضی جنگلی واقع در شمال‌غرب استان گیلان بر پایداری خاکدانه‌ها، عوارض قابل مشاهده سطحی و ویژگی‌های پوشش گیاهی در مقیاس‌های خرد، کرت و حوضه آبخیز بود. همچنین در این پژوهش تلاش بر این بود تا تأثیر نوع و شدت آتش‌سوزی و اثر گذشت زمان بر التیام‌پذیری شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها بررسی شود.

در اثر آتش‌سوزی تخریب شده بود، شناسایی شدند. برخی ویژگی‌های مکانی نقاط آتش‌سوزی در جدول ۱ ارائه شده است. شدت آتش‌سوزی بر اساس روش ارائه شده توسط رویچاد (۲۰۰۰) تعیین شد (۳۲). زمان مبنای بر اساس زمان شروع آزمایش‌ها، ۲۱ مارس سال ۲۰۱۵ میلادی انتخاب شد. در مجاور مناطق سوخته، مناطق بدون آتش‌سوزی نیز وجود داشت که به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. نقاط شاهد طوری انتخاب شدند که از نظر توپوگرافی، پوشش گیاهی و دیگر عوامل مؤثر بر ویژگی‌های خاک شرایط یکسانی با مناطق سوخته مجاور خود دارا بودند.

خاک متوسط، نفوذپذیری کم و حساس به واریزه خاک و روانه گل است. واحد ژئومورفولوژی L-R1 شامل ارتفاعات کوتاه تا متوسط با شیب زیاد، بیرون‌زدگی‌های سنگی، عمق خاک کم و فرسایش شدید خاک و حمل رسوب می‌باشد. واحد ژئومورفولوژی L-R2 دارای ارتفاعات متوسط تا بلند با شیب زیاد، بیرون‌زدگی‌های سنگی، عمق خاک کم و حساس به فرسایش خاک و ریزش سنگ در دهانه آبخیز است. واحد ژئومورفولوژی L-C شامل ارتفاعات کوتاه با شیب کم، عمق خاک زیاد و اراضی زیر کشت می‌باشد (۱). پس از بازدیدهای میدانی، در هر کدام از واحدهای ژئومورفولوژی سه ناحیه (در مجموع ۱۵ ناحیه) که در زمان‌های مختلف



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط سوخته همراه با نقشه واحدهای ژئومورفولوژی و نقشه گوگل ارث.

Figure 1. Location of the study area and the burned sites along with the geomorphological units and the Google-earth map.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های نقاط سوخته در منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Some properties of the burned sites in the study area.

فاصله تا زمان مینا (سال)	مساحت حریق (مترمربع)	شدت حریق	نوع حریق	متوسط دمای سالانه (درجه سلسیوس)	متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)	شیب (درصد)	ارتفاع (متر)	مکان Site
Interval to basis time (yr)	Fire area (m <sup>2</sup> )	Fire intensity	Fire type	Average annual temperature (°C)	Average annual precipitation (mm)	Slope (%)	Elevation (m)	
9.17	5000	کم Low	سطحی Surface	12.5	826	36.62	815	A <sub>1</sub>
8.33	8000	کم Low	سطحی Surface	11.75	740	71.75	997	A <sub>2</sub>
5.5	6000	کم Low	سطحی Surface	13.25	938	35.07	603	A <sub>3</sub>
2.58	50000	زیاد High	تاجی Canopy	14	1087	23.61	356	B <sub>1</sub>
5.5	10000	زیاد High	تنه‌ای Trunk	13.75	973	47.10	542	B <sub>2</sub>
6.5	6000	کم Low	سطحی Surface	14.75	1224	36.11	159	B <sub>3</sub>
1.33	33000	زیاد High	تاجی Canopy	15	1264	45.52	105	C <sub>1</sub>
2.5	30000	زیاد High	تاجی Canopy	14.5	1129	66.59	293	C <sub>2</sub>
6.33	7000	کم Low	تنه‌ای Trunk	14.5	1111	23.59	320	C <sub>3</sub>
5.5	20000	زیاد High	تاجی Canopy	14.75	1215	44.64	171	D <sub>1</sub>
3.58	21000	زیاد High	تاجی Canopy	15	1235	30.84	144	D <sub>2</sub>
4.92	15000	زیاد High	تاجی Canopy	15.5	1323	18.69	29	D <sub>3</sub>
9.42	9500	کم Low	سطحی Surface	15.5	1321	17.54	32	E <sub>1</sub>
6.42	7500	کم Low	سطحی Surface	15.75	1325	27.28	26	E <sub>2</sub>
4.17	27500	زیاد High	تاجی Canopy	15.5	1340	13.28	8	E <sub>3</sub>

استفاده شد (۲۷). در این روش ۵۰ گرم از هر نمونه خاک (عبور داده شده از الک ۹/۵ میلی‌متری) تحت شرایط مویینه‌ای به مدت یک شب در هوای آزاد خیس گردید تا از تخریب خاکدانه‌ها در اثر تنش آب جلوگیری شود. روز بعد هر نمونه خاک روی سری الک‌های با اندازه‌های ۴/۷۵، ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۲۵ و ۰/۰۷۵ میلی‌متری قرار داده شد و به مدت

اندازه‌گیری‌های مربوط به مقیاس خرد (میکرو): از ۳۰ تیمار مورد بررسی (۱۵ تیمار تحت تأثیر آتش‌سوزی و ۱۵ تیمار شاهد) با ۳ تکرار (۳×۳۰)، در مجموع ۹۰ نمونه خاک از ۱۵ سانتی‌متری سطح خاک برداشت شد. قبل از انجام نمونه‌برداری، هر گونه خاکپوش، لاشبرگ یا خاکستر با دقت توسط برس کنار زده شد. برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها از روش الک تر

اندازه‌گیری‌های مربوط به مقیاس کرت (پلات): در مقیاس کرت که در یک محدوده به مساحت حدود ۲ مترمربع در اطراف نقاط نمونه‌برداری انتخاب شد، عوارض قابل مشاهده سطح خاک شامل اشکال میکروتوپوگرافی فرسایش که در نتیجه تخریب خاکدانه‌ها در اثر نیروهای فرساینده مانند برخورد قطرات باران و جریان‌های سطحی (رواناب) به‌وجود آمده بودند، بررسی شدند. در هر یک از مناطق آتش‌سوزی و شاهد، چهار میکروپلات در چهار جهت اصلی جغرافیایی (در مجموع ۱۲۰ میکروپلات) اجرا گردید. نتایج به‌دست آمده برای هر ناحیه به‌صورت میانگینی از چهار میکروپلات اجرا شده در آن ناحیه گزارش شد. بدین‌صورت که ارتفاع فرسایش پاستنگی یا ستونی و نسبت شیب تراست‌های باریک و صیقلی با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. همچنین وجود کلوخه‌های فرسایش‌یافته، سله سطحی، آثار جریان‌های سطحی، پستی و بلندی‌های کوچک، هر نوع مواد معدنی (مانند سنگریزه یا کلوخه‌های کوچک) کشیده (جابجا) شده در خاک لخت و لاشبرگ سطحی کمی کشیده شده در صورت مشاهده گزارش شد. همچنین در این مقیاس درصد لاشبرگ نیز برای مناطق سوخته و شاهد تعیین گردید (۱۷ و ۳۵).

اندازه‌گیری‌های مربوط به مقیاس حوضه آبخیز: در داخل محدوده نقاط آتش‌سوزی و شاهد با کمک عوارض طبیعی داخل جنگل مانند یال، دره و جاده‌های موجود و استفاده از متر لیزری مدل پرکسیس<sup>۱</sup> و شیب‌سنج سونتو<sup>۲</sup>، برای تبدیل فاصله شیب‌دار به فاصله افقی شیب در مسیر هر اندازه‌گیری فاصله (پس از تصحیح شیب)، در مجموع ۳۰ قطعه یا پارسل با اشکال مختلف مورد مساحی قرار گرفتند. به‌طورکلی وسعت هر کدام از ۳۰ قطعه جدا شده طوری انتخاب شد که مطالعات در مقیاس حوضه آبخیز بر

۱۰ دقیقه در داخل دستگاه الک تر (با ۴۰ حرکت بالا و پایین در دقیقه) الک شد. سپس نمونه‌های خاک از الک‌ها جمع‌آوری و پس از خشک شدن در آن توزین شد. از داده‌های حاصله شاخص‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، برگرفته از معادله (مدل) تجربی (کلاسیک) ارایه شده توسط وان باول (۱۹۵۰) (رابطه ۱)، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها، برگرفته از معادله تجربی ارایه شده توسط مازوراک (۱۹۵۰) (رابطه ۲) و بعد فرکتالی خاکدانه‌ها، برگرفته از مدل تعداد - اندازه ارایه شده توسط مندلبروت (۱۹۸۲) (رابطه ۳) محاسبه شد (۲۱، ۲۳ و ۳۶).

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (1)$$

$$GMD = \exp \left[ \frac{\sum_{i=1}^n W_i \log x_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right] \quad (2)$$

$$N(r > R) = kR^{-D} \quad (3)$$

که در آن‌ها، MWD میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، GMD میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها، D بعد فرکتالی خاکدانه‌ها،  $x_i$  متوسط (میانگین حسابی) قطر یا اندازه خاکدانه‌های باقی مانده بر روی هر الک (کلاس اندازه)،  $w_i$  نسبت وزن خشک خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک به وزن کل خاکدانه‌ها،  $W_i$  وزن خاکدانه‌ها در هر یک از کلاس‌های مربوطه، n تعداد الک‌های به‌کار رفته، r اندازه قطر نرمال شده خاکدانه‌ها در هر بخش اندازه‌ای،  $N(r > R)$  مقدار تجمعی خاکدانه‌های با اندازه r که از مقیاس اندازه‌گیری R بزرگ‌تر است و R به‌وسیله قطر الک تعیین می‌شود و k مقدار ثابت می‌باشد و برابر است با N در R مساوی با یک.

1- Prexiso P50

2- Suunto clinometer PM5/360PC

مشخص بودن مساحت هر قطعه در مقیاس حوضه آبخیز (جدول ۲) میزان فرسایش‌های شیباری و خندقی و لغزش توده‌های خاک بر حسب مترمکعب در هکتار گزارش شد. علاوه بر این، طول تمامی مسیل‌های (آبراهه‌های) اصلی و فرعی (به‌جز شیارهای حاصل از ذوب برف یا شیارهای ابتدایی در بالادست حوضه) موجود در هر قطعه به‌صورت مجموع از طریق بازدیدهای صحرائی به دقت محاسبه گردید. سپس شاخص تراکم آبراهه‌ها از طریق تقسیم مجموع طول آبراهه‌ها در هر قطعه بر مساحت آن قطعه تعیین شد.

با روش آماربرداری ۱۰۰ درصد<sup>۱</sup> تمام گونه‌های درختی و درختچه‌ای زنده (خشک‌نشده) سالم و ناسالم (آسیب‌دیده) موجود در هر قطعه (پارسل) که از حد شمارش عبور کرده بودند، اندازه‌گیری شدند. در این روش، قطر برابر سینه همه درختانی که از حد شمارش (۷/۵ سانتی‌متر) بزرگ‌تر بود در طبقات قطری یک سانتی‌متری اندازه‌گیری شدند. با شمارش تعداد (فراوانی) درختان موجود در هر قطعه و با مشخص بودن مساحت قطعات، تعداد درخت در واحد سطح محاسبه گردید. درصد تاج پوشش درختان با اندازه‌گیری دو قطر بزرگ و کوچک تاج درختان و محاسبه سطح تاج درختان تعیین شد. در این روش ابتدا با استفاده از متر نواری بر روی زمین دو قطر بزرگ و کوچک درختان برداشت شد. سپس از اشکال دایره و بیضی برای تعیین مساحت تاج درختان استفاده شد. قطر برابر سینه درختان با استفاده از نوار قطرسنج (کالیپر) اندازه‌گیری شد. ارتفاع کامل درختان با استفاده از شیب‌سنج سونتو و دستگاه بلندیاب<sup>۲</sup> اندازه‌گیری گردید. ضخامت لاشبرگ به‌صورت تصادفی در چندین نقطه اندازه‌گیری شد (۲۵). نتیجه اندازه‌گیری هر یک از ویژگی‌های مذکور در یک قطعه به‌صورت میانگینی از آن ویژگی برای آن قطعه گزارش شد (جدول ۲).

اساس اهداف این پژوهش قابل اجرا باشد (مساحت هر قطعه بیش از ۱۰۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد). در جدول ۲ مساحت قطعات جدا شده در داخل محدوده نقاط آتش‌سوزی و شاهد و برخی ویژگی‌های پوشش گیاهی آن‌ها ارائه شده است. قطعات جدا شده در واحدهای ژئومورفولوژی L-E, L-R1, L-K, L-R2 و L-C به‌ترتیب با حروف A, B, C, D و E نام‌گذاری شدند. همچنین حروف F و O درج شده در کنار حروف مذکور به‌ترتیب نشان‌دهنده قطعات آتش‌سوزی و شاهد کنار آن‌ها می‌باشند. اعداد ۱، ۲ و ۳ نیز هر یک متعلق به یک قطعه آتش‌سوزی یا شاهد در یک واحد ژئومورفولوژی است (شکل ۱ و جدول ۲).

در مقیاس حوضه آبخیز، فرآیندهای دینامیک شیب و مورفودینامیک‌ها مانند شیارها، خندق‌ها (آبکندها) و لغزش توده‌های خاک در بازدیدهای صحرائی از قطعات جدا شده با توجه به علائم شاخص آن‌ها با روش‌های مشاهداتی شناسایی و اندازه‌گیری شدند. مقدار (حجم) فرسایش‌های شیباری و آبکندی در صورت مشاهده در هر قطعه با استفاده از خط‌کش، ژالن و متر نواری و با لحاظ کردن وضعیت هندسی آن‌ها اندازه‌گیری شد. لغزش‌های موجود در قطعات جدا شده نیز با استفاده از دوربین نقشه‌برداری (تئودولیت) برداشت و حجم آن‌ها با توجه به سطح اشغال و عمق هر یک تعیین شد (۳۴). بدین‌صورت که ابتدا برای اندازه‌گیری مساحت شکل نامنظم، زمین‌لغزش به اشکال منظم هندسی تبدیل و مجموع مساحت این اشکال منظم به‌عنوان مساحت کل زمین‌لغزش محاسبه گردید. برای محاسبه عمق زمین‌لغزش، با توجه به اندازه زمین‌لغزش در چندین نقطه چاهک‌هایی که تا لایه غیرقابل نفوذ زیرین ادامه داشت حفر گردید و در نهایت از میانگین عمق آن‌ها به‌عنوان عمق میانگین زمین‌لغزش استفاده شد. حجم زمین‌لغزش نیز از حاصل‌ضرب عمق میانگین در مساحت آن محاسبه گردید (۳۰). سپس با توجه به

1- 100% Inventory or Full callipering  
2- Ultrasonic Vertex III hypsometer

جدول ۲- برخی ویژگی‌های پوشش گیاهی و مساحت قطعات مورد مطالعه.

Table 2. Some vegetation attributes and the area of the studied parcels.

نام قطعه Parcel name	مساحت قطعه (مترمربع) Parcel area (m <sup>2</sup> )	تعداد درخت در هکتار (اصله) Number of tree per hectare (tree)	ارتفاع درختان (متر) Height of trees (m)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) Diameter at breast height (cm)	تاج پوشش آسمانه (درصد) Canopy cover (%)	ضخامت لاشبرگ (سانتی‌متر) Thickness of litter (cm)
AO1	3900	402.6	14.5	20.9	68	4.6
AF1	3225	179.8	15.8	21.7	51	3.4
AO2	2800	417.9	14.3	21.4	71	4.8
AF2	3050	180.3	16.0	22.7	50	2.9
AO3	3500	388.6	14.1	20.6	68	4.8
AF3	2555	101.8	16.2	25.3	41	2.4
BO1	3775	360.3	13.1	19.2	63	4.3
BF1	4025	19.9	20.0	30.5	15	0.0
BO2	2900	379.3	13.9	20.5	66	4.5
BF2	3100	77.4	17.9	26.0	36	2.0
BO3	4225	343.2	12.7	18.5	62	4.0
BF3	3750	112.0	14.4	22.0	42	2.7
CO1	9125	321.1	11.2	17.9	60	4.0
CF1	7450	28.2	17.2	26.7	15	0.0
CO2	4875	344.6	11.5	18.5	62	4.1
CF2	5300	34.0	16.6	27.9	13	0.0
CO3	4850	350.5	12.8	18.9	63	4.3
CF3	3125	96.0	16.6	22.9	37	2.0
DO1	6200	282.3	10.8	17.4	58	3.7
DF1	6825	74.7	14.3	22.8	34	1.8
DO2	5025	300.5	13.2	19.0	57	3.8
DF2	4575	37.2	19.0	28.3	19	1.0
DO3	7625	254.4	9.1	15.8	57	3.5
DF3	6650	58.6	12.0	22.6	26	1.2
EO1	4550	219.8	8.6	14.3	54	3.3
EF1	5150	217.5	8.8	15.0	51	3.5
EO2	6225	141.4	8.2	12.7	45	3.0
EF2	4400	109.1	8.9	14.5	42	2.6
EO3	6750	69.6	6.0	12.3	33	1.5
EF3	7075	53.7	8.3	17.2	23	1.2

اندازه‌گیری شده با روش مدل خطی عام<sup>۱</sup> و تحت سنجش‌های تکرار شده<sup>۲</sup> انجام گرفت. همچنین برای مقایسه میانگین‌ها در هر واحد ژئومورفولوژی منحصر به فرد نیز، هر تیمار مربوط به آتش‌سوزی به‌طور جداگانه با مناطق شاهد خود مورد آزمون t نمونه‌های

تجزیه و تحلیل‌های آماری: داده‌های به‌دست آمده در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل نهایی قرار گرفت. برای بررسی تفاوت ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بین واحدهای ژئومورفولوژی و نقاط آتش‌سوزی و شاهد از طرح آزمایشی کرت‌های خردشده در مکان استفاده شد. در این روش، تجزیه واریانس ویژگی‌های

1- General linear model

2- Repeated measures define factors



جفت شده<sup>۱</sup> در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت. ارتباط بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در مقیاس‌های مختلف در ۳۰ منطقه مورد مطالعه، با ایجاد ضرایب همبستگی پیرسون بررسی شد. برای دستیابی به معادلاتی جدید در تخمین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها از رگرسیون چندمتغیره با روش گام به گام<sup>۲</sup> استفاده شد. همچنین برای بررسی نوع و شدت آتش‌سوزی بر ویژگی‌های مختلف اندازه‌گیری شده از روش تجزیه و تحلیل توصیفی یا تشریحی<sup>۳</sup> و تحت کراس‌تیب<sup>۴</sup> استفاده شد. در این روش برای شدت آتش‌سوزی سه سطح شامل صفر (بدون آتش‌سوزی)، یک (سوختگی با شدت کم) و دو (سوختگی با شدت زیاد) و برای نوع آتش‌سوزی چهار سطح شامل صفر (بدون آتش‌سوزی)، یک (آتش‌سوزی سطحی)، دو (آتش‌سوزی تنه‌ای) و سه (آتش‌سوزی تاجی) در نظر گرفته شد.

### نتایج و بحث

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که همه شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، درصد لاشبرگ و شاخص تراکم آبراهه‌ها اختلاف معنی‌داری (در سطح احتمال یک درصد) بین نقاط آتش‌سوزی و شاهد (داخل گروه‌ها) داشتند. در بین واحدهای ژئومورفولوژی (بین گروه‌ها) نیز تنها از نظر درصد لاشبرگ اختلاف معنی‌دار (در سطح احتمال پنج درصد) وجود داشت و سایر ویژگی‌های مورد مطالعه (شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها) اختلاف معنی‌داری در بین واحدهای ژئومورفولوژی نداشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده نشان داد که شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد

لاشبرگ در تمامی واحدهای ژئومورفولوژی در تیمارهای آتش‌سوزی کاهش معنی‌داری در مقایسه با منطقه شاهد مجاور خود داشتند. همچنین شاخص میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها تنها در نواحی B و C در تیمارهای آتش‌سوزی کاهش معنی‌داری در مقایسه با شاهد نشان داد. شاخص بعد فرکتالی خاکدانه‌ها نیز در مکان‌های B، C و D در نقاط آتش‌سوزی افزایش معنی‌داری در مقایسه با شاهد داشت. علاوه بر این، هر منطقه آتش‌سوزی از نظر شاخص تراکم آبراهه‌ها افزایش معنی‌داری نسبت به ناحیه شاهد مجاور خود در تمام واحدهای ژئومورفولوژی، به جز ناحیه E، داشت (جدول ۴).

بهم‌خوردگی فیزیکی و از دست رفتن ماده آلی خاک در اثر آتش‌سوزی در نهایت باعث کاهش شاخص‌های میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها و افزایش شاخص بعد فرکتالی خاکدانه‌ها می‌شود. کاهش شاخص‌های میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها و افزایش شاخص بعد فرکتالی خاکدانه‌ها نیز سرانجام به کاهش میزان پایداری خاکدانه‌ها در برابر نیروهای فرساینده آب و باد می‌انجامد (۲، ۱۱ و ۱۲). بنابراین کاهش درصد لاشبرگ در مقیاس کرت، که ارتباط مستقیمی با میزان ماده آلی خاک دارد، احتمالاً باعث کاهش پایداری خاکدانه‌ها (۲۲، ۳۳) در برخی از مناطق آسیب‌دیده در اثر آتش‌سوزی شد. علاوه بر این، احتمالاً در حین آتش‌سوزی نیز ماده آلی خاک از بین رفت و باعث کاهش پایداری خاکدانه‌ها در مناطق سوخته شد.

- 1- Paired-samples t test
- 2- Stepwise method
- 3- Descriptive statistics
- 4- Crosstabs

جدول ۳- خلاصه نتایج آنالیز واریانس شاخص‌های خاکدانه‌سازی و برخی ویژگی‌های مربوط به مقیاس کرت و حوضه آبخیز.

**Table 3. Analysis of variance of aggregation indices and some properties related to the plot and watershed scales.**

میانگین مربعات Mean of squares (MS)					درجه آزادی	منبع
تراکم آبراهه Drainage density	درصد لاشبرگ Litter percentage	بعد فرکتالی Fractal dimension	میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها GMD	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD	Degree of freedom	Source
2.277 <sup>ns</sup>	301.117*	0.005 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>	0.022 <sup>ns</sup>	4	بین گروه‌ها Between subjects
16.710**	5964.300**	0.058**	0.020**	0.383**	1	داخل گروه‌ها Within subjects
18.987	6265.417	0.063	0.022	0.405	5	کل Total

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ می‌باشند.

<sup>ns</sup>, \*, \*\* are not significant and significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های خاکدانه‌سازی و برخی ویژگی‌های مربوط به مقیاس کرت و حوضه آبخیز.

**Table 4. The mean comparison of aggregation indices and some properties related to the plot and watershed scales.**

تراکم آبراهه (کیلومتر بر کیلومتر مربع) Drainage density (km km <sup>-2</sup> )	لاشبرگ (درصد) Litter (%)	بعد فرکتالی خاکدانه‌ها (بدون واحد) Fractal dimension (dimensionless)	میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر) GMD (mm)	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر) MWD (mm)	مکان Site
6.63(0.57) <sup>a</sup>	63.00(2.08) <sup>a</sup>	2.69(0.02) <sup>a</sup>	0.83(0.01) <sup>a</sup>	1.60(0.05) <sup>a</sup>	AO
8.01(0.95) <sup>b</sup>	30.00(6.11) <sup>b</sup>	2.76(0.03) <sup>a</sup>	0.79(0.03) <sup>a</sup>	1.41(0.05) <sup>b</sup>	AF
7.09(0.25) <sup>a</sup>	57.00(2.31) <sup>a</sup>	2.71(0.04) <sup>a</sup>	0.81(0.03) <sup>a</sup>	1.54(0.05) <sup>a</sup>	BO
9.16(0.77) <sup>b</sup>	18.00(8.62) <sup>b</sup>	2.84(0.06) <sup>b</sup>	0.74(0.04) <sup>b</sup>	1.24(0.11) <sup>b</sup>	BF
7.50(1.26) <sup>a</sup>	52.00(3.00) <sup>a</sup>	2.72(0.02) <sup>a</sup>	0.81(0.02) <sup>a</sup>	1.53(0.05) <sup>a</sup>	CO
9.47(1.26) <sup>b</sup>	14.00(6.35) <sup>b</sup>	2.85(0.03) <sup>b</sup>	0.72(0.02) <sup>b</sup>	1.21(0.07) <sup>b</sup>	CF
7.45(0.77) <sup>a</sup>	44.00(1.73) <sup>a</sup>	2.75(0.02) <sup>a</sup>	0.79(0.01) <sup>a</sup>	1.47(0.06) <sup>a</sup>	DO
9.34(0.57) <sup>b</sup>	16.00(3.00) <sup>b</sup>	2.85(0.03) <sup>b</sup>	0.73(0.03) <sup>a</sup>	1.24(0.07) <sup>b</sup>	DF
7.09(1.13) <sup>a</sup>	30.00(11.50) <sup>a</sup>	2.78(0.04) <sup>a</sup>	0.77(0.02) <sup>a</sup>	1.41(0.09) <sup>a</sup>	EO
7.25(1.17) <sup>a</sup>	27.00(12.00) <sup>b</sup>	2.79(0.06) <sup>a</sup>	0.77(0.03) <sup>a</sup>	1.32(0.10) <sup>b</sup>	EF

ویژگی‌های دارای حروف غیرمشترک در سطح احتمال ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار دارند. اعداد داخل پرانتز انحراف معیار می‌باشند.

Properties having dissimilar letters are significantly different at 0.05 probability level. Numbers in brackets are standard deviations.

مقدار ماده آلی خاک و پایداری خاکدانه‌ها احتمالاً باعث افزایش شاخص تراکم آبراهه‌ها در مقیاس حوضه آبخیز شد. همچنین عوامل دیگری مانند افزایش نیروی فرساینده (رواناب) و شیب زمین نیز

افزایش فراوانی آبراهه‌ها در جنگل‌های تخریب‌شده در اثر آتش‌سوزی در مقایسه با جنگل‌های دست‌نخورده ثابت شده است (۵ و ۸). بنابراین کاهش درصد لاشبرگ در مقیاس کرت به دلیل تأثیر آن در

احتمالاً در افزایش فراوانی آبراهه‌ها مؤثر می‌باشند. بررسی میزان شیب متوسط زمین در مناطق مورد مطالعه (جدول ۱) مشخص کرد که قطعات واقع در قسمت‌های غربی (مکان‌های A و B)، از میزان شیب تندتری نسبت به قطعات واقع در بخش‌های شرقی (مکان‌های D و E) برخوردار بودند. بنابراین آتش‌سوزی احتمالاً تأثیر بیشتری در افزایش تراکم آبراهه‌ها در بخش‌های غربی نسبت به مناطق شرقی داشت. عدم معنی‌دار بودن میزان تراکم آبراهه‌ها بین تیمارهای آتش‌سوزی و شاهد مجاور آن‌ها در مکان E (جدول ۴) نیز تأیید کرد که آتش‌سوزی در مناطق با شیب کم تأثیری در افزایش تراکم آبراهه‌ها نسبت به مناطق شاهد نداشت.

تأثیر افزایش شدت آتش‌سوزی یا تغییر از شرایط بدون آتش‌سوزی به آتش‌سوزی کم و زیاد بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها در جدول ۵ ارایه شده است. در این جدول همچنین تأثیر نوع آتش‌سوزی یا تغییر از شرایط بدون آتش‌سوزی به آتش‌سوزی سطحی، تنه‌ای و تاجی بر ویژگی‌های مذکور مورد مطالعه قرار گرفته است. در این جدول میزان عددی Eta نشان‌دهنده شدت و ضعف تأثیر افزایش شدت و نوع آتش‌سوزی (افزایش ارتفاع آتش از سطحی به تاجی) بر یک ویژگی مورد مطالعه است. بالاتر بودن میزان عددی Eta بیان‌کننده تأثیر بیشتر افزایش شدت و ارتفاع آتش‌سوزی بر یک ویژگی می‌باشد. همچنین با مطالعه ضرایب همبستگی به دست آمده می‌توان به معنی‌دار بودن تأثیر افزایش شدت و ارتفاع آتش‌سوزی بر یک ویژگی پی برد. نتایج نشان داد که در بین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و

تراکم آبراهه‌ها افزایش شدت و ارتفاع آتش‌سوزی بیش‌ترین تأثیر را بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها داشت. همچنین با توجه ضرایب همبستگی به دست آمده، افزایش شدت و ارتفاع آتش‌سوزی تأثیر معنی‌داری بر همه ویژگی‌های مذکور داشت (جدول ۵). به‌طور مشابه جردن و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که افزایش شدت آتش‌سوزی (سه سطح بدون آتش‌سوزی، آتش‌سوزی با شدت کم و آتش‌سوزی با شدت زیاد) در اراضی جنگلی کاج در مکزیک، تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی خاک و پایداری خاکدانه‌ها داشت (۱۸). حیدری و همکاران (۲۰۱۲) نیز سه سطح شدت آتش‌سوزی (بدون آتش‌سوزی، آتش‌سوزی با شدت کم و آتش‌سوزی با شدت زیاد) را بر ویژگی‌های مختلف خاک در جنگل‌های زاگرس بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش شدت آتش‌سوزی تأثیر معنی‌داری بر ماده آلی و چگالی ظاهری سطح خاک داشت (۱۵).

اثر گذشت زمان بر التیام‌پذیری (برگشت‌پذیری) شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است. نتایج نشان داد که حدود ۴ تا ۵ سال طول کشید تا میزان شاخص‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها، بعد فراکتالی خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها به شرایط قبل از آتش‌سوزی برسد (شکل ۲). حیدری و قربانی‌دشتکی (۲۰۱۳) گزارش کردند که زمان برگشت‌پذیری میزان پایداری خاکدانه‌های سطح خاک در مراتع نیمه‌استپی کرسنک (استان چهارمحال و بختیاری) دو سال بود (۱۴).

جدول ۵- اثر نوع و شدت آتش‌سوزی بر شاخص‌های پایداری خاکدانه و تراکم آبراهه.

**Table 5. Effect of type and intensity of fire on aggregate stability indices and drainage density.**

نوع آتش‌سوزی Fire type			
پیش‌بینی‌های متقارن Symmetric measures		پیش‌بینی‌های جهت‌دار Directional measures	
ضریب همبستگی اسپیرمن Spearman correlation coefficient	ضریب همبستگی پیرسون Pearson correlation coefficient	Eta	ویژگی Property
-0.858**	-0.872**	0.877	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD
-0.747**	-0.802**	0.806	میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها GMD
0.814**	0.839**	0.840	بعد فرکتالی خاکدانه‌ها Fractal dimension
0.660**	0.709**	0.711	تراکم آبراهه Drainage density
شدت آتش‌سوزی Fire intensity			
پیش‌بینی‌های متقارن Symmetric measures		پیش‌بینی‌های جهت‌دار Directional measures	
ضریب همبستگی اسپیرمن Spearman correlation coefficient	ضریب همبستگی پیرسون Pearson correlation coefficient	Eta	ویژگی Property
-0.843**	-0.859**	0.859	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها MWD
-0.721**	-0.754**	0.759	میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها GMD
0.795**	0.800**	0.803	بعد فرکتالی خاکدانه‌ها Fractal dimension
0.667**	0.716**	0.727	تراکم آبراهه Drainage density

\*\* نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ می‌باشد.

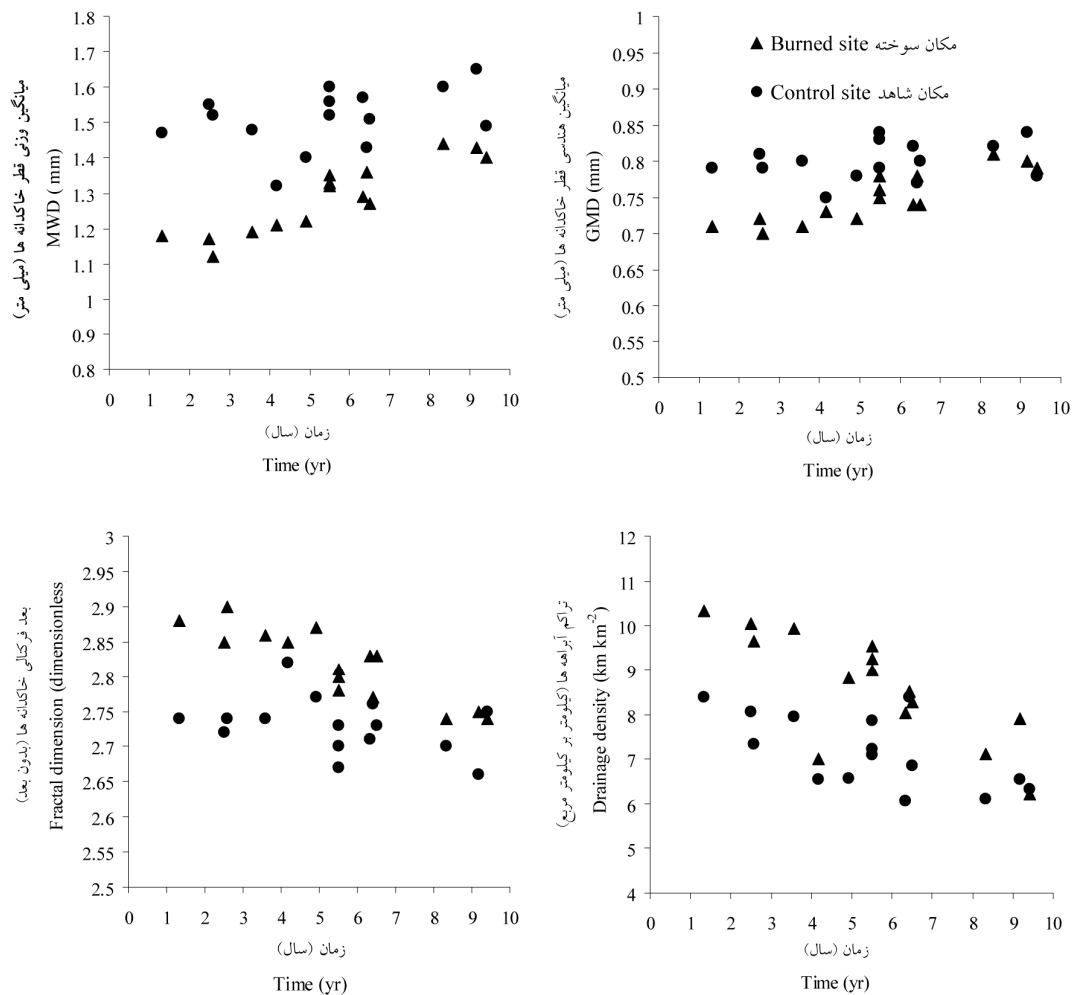
\*\* significant at 0.01 probability level, respectively.

EF2 تنها برخی از اشکال میکروتوپوگرافی فرسایش از جمله تراست‌ها، کلوخه‌های فرسایش یافته، پستی و بلندی‌های کوچک، مواد معدنی جابجا شده و بقایای گیاهی کمی جابجا شده مشاهده شد. در ۱۹ نقطه دیگر نیز یا شواهدی از اشکال مذکور مشاهده نشد یا تنها آثار بقایای گیاهی کمی جابجا شده در سطح

نتایج همچنین نشان داد که از ۳۰ نقطه مورد مطالعه در مکان‌های شاهد و آتش‌سوزی در مقیاس کرت تنها در سه ناحیه آتش‌سوزی شامل CF1، CF2 و DF2 تمام اشکال میکروتوپوگرافی فرسایش وجود داشت (جدول ۶). علاوه بر این، در هشت نقطه AF3، BF1، BF2، BF3، DF1، DF3، EO2 و

فرسایش در مناطق تخریب شده بود. به طور مشابه وینرایت و همکاران (۲۰۰۰) درصد تراکم پوشش گیاهی را به عنوان اصلی ترین فاکتور محدودکننده میزان فرسایش خاک در مقیاس کرت اعلام کردند (۳۸). کاتلر و اورتگا- لاروسا (۲۰۰۶) نیز گزارش کردند که کاهش ماده آلی در اثر آتش سوزی باعث کاهش پایداری خاکدانه ها در مقیاس خرد و افزایش اشکال میکروتوپوگرافی فرسایش در مقیاس کرت خواهد شد (۸).

خاک وجود داشت (جدول ۶). بنابراین احتمالاً فرآیندهای فرسایش سطح خاک در مقیاس کرت در نواحی تخریب شده در اثر آتش سوزی بیش از جنگل دست نخورده بود. کم ترین میزان درصد لاشبرگ در مقیاس کرت نیز مربوط به مناطق آتش سوزی بود (جدول ۴). در نتیجه، از بین رفتن پوشش سطح خاک در اثر آتش سوزی، کاهش میزان درصد لاشبرگ در سطح خاک و کاهش پایداری خاکدانه ها احتمالاً اصلی ترین دلایل وجود بیش تر اشکال میکروتوپوگرافی



شکل ۲- اثر گذشت زمان بر برگشت پذیری شاخص های پایداری خاکدانه و تراکم آبراهه.

Figure 2. Effect of passing of time on reversibility of aggregate stability indices and drainage density.

جدول ۶-۱- اشکال میکرو توپوگرافی فرسایش و مورفودینامیکها در مقیاس کرت و حوزه آبخیز.  
 Table 6. Microtopographic features of soil erosion and morphodynamics at the plot and watershed scales.

مکان	ارتفاع ستون‌های پاشمان (سانتی‌متر)	نسبت شیب تراست‌ها (سانتی‌متر)	شمار دره‌ها (مترمکعب)	شیب دره‌ها (مترمکعب)	خندق (مترمکعب)	لغزش (مترمکعب)	کلوخه‌های فرسایش‌یافته	سله سطحی	آثار جریان‌های سطحی	پستی و بلندی‌های کوچک	ذرات معدنی چابجا شده در خاک بیابان	بقایای گیاهی کمی
Site	Height of splash pedestals (cm)	Gradient of slight terraces (cm)	Rills (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Gullies (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Landslides (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Eroding clods	Crusting of surface	Flow surfaces	Microrelief	Drag particles in bare soil	Surface litter dragged slightly	
AO1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AF1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AF2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AO3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AF3	-	1-5	-	16.50	-	-	-	-	-	-	-	-
BO1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BF1	-	1-5	0.32	19.37	-	-	-	-	-	-	-	-
BO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BF2	-	1-5	-	15.16	-	-	-	-	-	-	-	-
BO3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BF3	-	1-5	-	11.54	-	-	-	-	-	-	-	-
CO1	-	-	-	10.13	-	-	-	-	-	-	-	-
CF1	3	3-12	1.58	40.60	8.15	-	-	-	-	-	-	-
CO2	-	-	-	8.23	-	-	-	-	-	-	-	-
CF2	3	3-12	1.07	32.74	-	-	-	-	-	-	-	-
CO3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF3	-	-	-	3.16	-	-	-	-	-	-	-	-
DO1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF1	-	1-5	-	22.29	-	-	-	-	-	-	-	-
DO2	-	-	-	6.31	-	-	-	-	-	-	-	-
DF2	3	3-12	0.82	24.57	30.58	-	-	-	-	-	-	-
DO3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DF3	-	1-5	-	18.91	-	-	-	-	-	-	-	-
EO1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF1	-	-	-	-	-	27.79	-	-	-	-	-	-
EO2	-	1-5	-	23.49	33.60	-	-	-	-	-	-	-
EF2	-	1-5	-	-	71.25	-	-	-	-	-	-	-
EO3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EF3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

علامت - و - به ترتیب نشان‌دهنده وجود، مقدار ناچیز و عدم وجود یک مورد مطالعه می‌باشد.

■ and - demonstrate the presence, negligible amount and absence of a studied property, respectively.

بیان نمود که تخریب جنگل باعث افزایش امکان وقوع لغزش توده‌های خاک خواهد شد (۱۳).  
ارتباط بین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد با ویژگی‌های پوشش گیاهی و تراکم آبراهه‌ها در مقیاس‌های کرت و حوضه آبخیز، با ایجاد ضرایب همبستگی بین نتایج به‌دست آمده از ۳۰ منطقه مورد مطالعه بررسی شد (جدول ۷). نتایج نشان داد که بین تمام شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد با درصد لاشبرگ در مقیاس کرت و شاخص تراکم آبراهه‌ها در مقیاس حوضه آبخیز همبستگی وجود داشت. همچنین بین درصد لاشبرگ در مقیاس کرت با شاخص تراکم آبراهه‌ها در مقیاس حوضه آبخیز نیز همبستگی مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد که همبستگی بالایی بین بیش‌تر ویژگی‌های پوشش گیاهی مانند تعداد درختان در هکتار، تاج پوشش آسمانه درختان و درصد و ضخامت لاشبرگ با شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها وجود دارد. بنابراین تخریب پوشش گیاهی در اثر آتش‌سوزی احتمالاً تأثیر بسیار زیادی بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها خواهد داشت (۸).  
مطالعات مختلف نیز همبستگی بالای بین پوشش گیاهی و فرسایش خاک را ثابت کرده‌اند (۴، ۳۷ و ۳۸).  
وجود همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده مربوط به سه مقیاس ثابت کرد که کاهش در پایداری خاکدانه‌ها ارتباط مستقیمی با کاهش درصد لاشبرگ در مقیاس کرت و افزایش شاخص تراکم زهکش‌ها و تعداد خندق‌ها و شیارها در مقیاس حوضه آبخیز داشت. همچنین بررسی اشکال میکروتوپوگرافی و مورفودینامیکی فرسایش در مقیاس کرت و حوضه آبخیز نشان داد که بیش‌تر این اشکال در نواحی آتش‌سوزی شکل گرفته بودند. همچنین در هر منطقه‌ای که تعداد اشکال مختلف کوچک مربوط به فرسایش خاک در مقیاس کرت بیش‌تر بود، احتمال مشاهده اشکال بزرگ فرسایش مانند شیار و خندق نیز

نتایج اندازه‌گیری تعداد مورفودینامیک‌ها نشان داد که از ۳۰ قطعه مورد مطالعه در مقیاس حوضه آبخیز در مکان‌های شاهد و آتش‌سوزی، تنها چهار ناحیه آتش‌سوزی شامل BF1، CF1، CF2 و DF2 دارای شیار بودند. در این مقیاس، در پنج ناحیه شامل CF1، DF2، EF1، EO2 و EF2 نیز لغزش توده‌های خاک مشاهده شد. خندق نیز در ۱۴ ناحیه شاهد و آتش‌سوزی شامل CO1، CO2، DO2، EO2، AF3، BF1، BF2، BF3، CF1، CF2، CF3، DF1، DF2 و DF3 مشاهده گردید (جدول ۶). بنابراین تعداد خندق‌های مشاهده شده به مراتب بیش از تعداد شیارها یا لغزش‌های رخ داده در منطقه بود. زیرا مجموع میزان فرسایش‌های شیار، خندقی و لغزش توده‌های خاک در قطعات مورد مطالعه به‌ترتیب ۳/۷۹، ۲۵۳ و ۱۷۱/۳۷ مترمکعب در هکتار بود. دلیل این امر احتمالاً این است که در اراضی جنگلی به‌دلیل جریان زیر قشری و آبشویی زیرین، شرایط ایجاد خندق مهیا است (۳۴). همچنین این احتمال وجود دارد که تعداد زیاد خندق مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه به‌دلیل افتادن و ریشه‌کن شدن درختان در اثر آتش‌سوزی، بیماری و غیره باشد. در طی عمل ریشه‌کن شدن، درخت همراه با حجم بزرگی از ریشه‌هایش روی زمین می‌افتد بنابراین این ریشه‌ها از خاک بیرون می‌آیند. ریشه‌کن شدن درختان در نهایت باعث ایجاد شرایط ناهمگن و غیریکنواخت در اکوسیستم خاکی می‌گردد و میکروتوپوگرافی‌هایی به اشکال مختلف در سطح خاک ایجاد می‌کند (۱۹).  
عبور و مرور مکرر انسان و دام از این مکان‌ها احتمالاً باعث تشدید ایجاد خندق و آبراهه خواهد شد. به‌طور مشابه نیری و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که در اثر آتش‌سوزی جنگل تعداد خندق‌ها و شیارها به‌ویژه در اراضی که سطح زمین و مواد مادری (ژئومورفولوژی) آن‌ها حساسیت بیش‌تری به فرسایش داشت، افزایش یافت (۲۶). همچنین گلید (۲۰۰۳)

اصلی پوشش گیاهی مؤثر بر آن‌ها با روش گام به گام مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در بین ویژگی‌های اصلی پوشش گیاهی، تنها تاج پوشش آسمانه درختان اثر معنی‌داری بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها داشت. همچنین در بین ویژگی‌های اصلی پوشش گیاهی، تاج پوشش آسمانه و ارتفاع درختان اثر معنی‌داری بر شاخص تراکم آبراهه‌ها داشتند. بنابراین تاج پوشش آسمانه به‌عنوان مهم‌ترین ویژگی در تخمین شاخص پایداری خاکدانه‌ها و تاج پوشش آسمانه و ارتفاع درختان نیز به‌عنوان مهم‌ترین متغیرها در تخمین شاخص تراکم آبراهه‌ها برگزیده شدند (جدول ۸). به‌طور مشابه صادقی و همکاران، (۲۰۰۶) نیز همبستگی زیادی بین برخی ویژگی‌های پوشش گیاهی جنگل مانند درصد تاج پوشش و لاشبرگ سطحی با ویژگی‌های مرتبط با فرسایش خاک مشاهده نمودند (۳۴). دوران و رودریگوئز (۲۰۰۸) نیز درصد تاج پوشش آسمانه گیاهان در اراضی جنگلی و مرتع را به‌عنوان بهترین پارامتر در تخمین میزان فرسایش خاک معرفی کردند (۹).

افزایش یافت (جدول ۶). کم‌ترین میزان شاخص میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها و بیش‌ترین مقدار بعد فرکتالی خاکدانه‌ها نیز به مکان‌های آتش‌سوزی تعلق داشت (جدول ۴). ارتباط بین از هم‌پاشیدگی خاکدانه‌ها و تشکیل شیار توسط مطالعات مختلف ثابت شده است (۸). بنابراین افزایش پایداری خاکدانه‌ها در داخل واحدهای ژئومورفولوژی احتمال از هم‌پاشیدگی خاکدانه‌ها و انتقال ذرات را کم‌تر می‌کند و فرسایش کم‌تری را در مقیاس کرت و حوضه آبخیز نشان می‌دهد. بارتز و روز (۲۰۰۲) نیز تأیید کرده‌اند که حساسیت خاک به رواناب و فرسایش مرتبط با پایداری خاکدانه‌های سطح خاک به فروپاشی است (۳). بنابراین از شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها می‌توان به‌عنوان یک شاخص مناسب و آشکار برای فرسایش خاک استفاده کرد (۷).

به‌منظور استخراج معادلاتی برای تخمین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و تراکم آبراهه‌ها، رابطه‌های رگرسیونی چندمتغیره خطی بین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و شاخص تراکم آبراهه‌ها با ویژگی‌های

جدول ۷- ضریب همبستگی پیرسون بین خصوصیات اندازه‌گیری شده.

Table 7. Pearson correlation coefficient among measured properties.

	No	He	Di	Ca	TL	PL	DD	MWD	GMD	FD
No	1									
He	-0.211 <sup>ns</sup>	1								
Di	-0.380*	0.951**	1							
Ca	0.951**	-0.305 <sup>ns</sup>	-0.505**	1						
TL	0.941**	-0.312 <sup>ns</sup>	-0.513**	0.993**	1					
PL	0.994**	-0.249 <sup>ns</sup>	-0.426*	0.968**	0.962**	1				
DD	-0.675**	0.579**	0.682**	-0.729**	-0.716**	-0.706**	1			
MWD	0.943**	-0.289 <sup>ns</sup>	-0.485**	0.968**	0.958**	0.954**	-0.697**	1		
GMD	0.891**	-0.235 <sup>ns</sup>	-0.437*	0.934**	0.927**	0.903**	-0.678**	0.957**	1	
FD	-0.912**	0.271 <sup>ns</sup>	0.471**	-0.947**	-0.945**	-0.925**	0.676**	-0.978**	-0.984**	1

No: تعداد درخت در هکتار، He: ارتفاع درختان، Di: قطر برابر سینه درختان، Ca: تاج پوشش آسمانه درختان، TL: ضخامت لاشبرگ، PL: درصد لاشبرگ، DD: تراکم آبراهه، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، GMD: میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها و FD: بعد فرکتالی خاکدانه‌ها می‌باشند.

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ می‌باشند.

No: Number of trees per hectare; He: Height of trees, Di: Diameter at breast height of trees, Ca: Canopy cover of trees, TL: Thickness of litter, PL: Percentage of litter, DD: Drainage density, MWD: Mean weight diameter of aggregates, GMD: Geometric mean diameter of aggregates and FD: Fractal dimension of aggregates.

<sup>ns</sup>, \*, \*\* are not significant and significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.



### نتیجه گیری کلی

بررسی شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها، وضعیت پوشش گیاهی و عوارض قابل مشاهده سطح خاک، در جنگل‌های کانرود در شمال غرب استان گیلان، نشان داد که آتش‌سوزی علاوه بر افزایش میزان شیار، لغزش، آب‌کند و تراکم آبراهه‌ها در مقیاس حوضه آبخیز باعث کاهش پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد شد. همچنین همبستگی معنی‌داری بین شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد با درصد لاشبرگ در مقیاس کرت و شاخص تراکم آبراهه‌ها در مقیاس حوضه آبخیز وجود داشت. بنابراین تخریب پوشش گیاهی در اثر آتش‌سوزی احتمالاً با کاهش پایداری خاکدانه‌ها در مقیاس خرد نقش به‌سزایی در افزایش اشکال میکروتوپوگرافی و مورفودینامیکی فرسایش در مقیاس‌های کرت و حوضه آبخیز دارد. در نتیجه از شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها می‌توان به‌عنوان یک شاخص مناسب برای مطالعه فرآیندهای فرسایش خاک در مقیاس‌های وسیع‌تر استفاده کرد. از این‌رو با داشتن اطلاعات بیشتر از ویژگی‌ها و عوارض خاک

و پوشش گیاهی در مقیاس‌های مختلف بهتر می‌توان درباره خطر فرسایش در منطقه قضاوت کرد. نتایج این بررسی می‌تواند در ارزیابی خطر فرسایش خاک‌های اراضی جنگلی و مدیریت آن به‌کار گرفته شود. با توجه به مشکلات و کمبودهای مشاهده شده در مسیر اجرای این پژوهش، برای ارتقا سطح کیفی این نوع مطالعات در آینده پیشنهاد می‌گردد که ویژگی‌های دیگر مربوط به خاک، فرسایش و پوشش گیاهی مانند میزان ناهمواری و مقاومت مکانیکی سطح خاک، رسوب تولیدی (با ایجاد تله‌های رسوب‌گیر و یا ایستگاه‌های رسوب‌سنجی) و شاخص سطح برگ گیاهان نیز مورد اندازه‌گیری قرار گیرد. همچنین احیا و بازسازی مناطق تخریب‌شده جنگلی با کاشت گونه‌های بومی توصیه می‌شود. اجرای طرح‌های حفاظتی و مدیریتی (خاک) و بازسازی مناطق تخریب‌شده با گونه‌های بومی قطعاً باعث جلوگیری از هدررفت خاک و اثرات مخرب آن خواهد شد.

جدول ۸- نتایج رگرسیون چندمتغیره خطی با روش گام به گام در برآورد شاخص‌های پایداری خاکدانه و تراکم آبراهه.

**Table 8. Results of multiple linear regressions by stepwise method to estimate the aggregate stability indices and drainage density.**

معادله رگرسیونی خطی Linear regression equation	خطای استاندارد Standard error	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	F
MWD = 0.008Ca + 1.027	0.03731	0.938	421.893**
GMD = 0.002Ca + 0.677	0.01466	0.872	190.391**
FD = -0.003Ca + 2.931	0.02091	0.897	242.930**
DD = -0.053Ca + 10.318	0.88583	0.531	31.669**
DD = -0.044Ca + 0.141Hi + 8.055	0.75556	0.671	27.509**

MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر)، GMD: میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (میلی‌متر)، FD: بعد فرکتالی خاکدانه‌ها (بدون واحد)، DD: تراکم آبراهه‌ها (کیلومتر بر کیلومتر مربع) Ca: تاج پوشش آسمانه درختان (درصد) و Hi: ارتفاع درختان (متر) می‌باشند.

\* و \*\* به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ می‌باشند.

MWD: Mean weight diameter of aggregates (mm), GMD: Geometric mean diameter of aggregates (mm), FD: Fractal dimension of aggregates (dimensionless), DD: Drainage density (km km<sup>-2</sup>), Ca: Canopy cover of trees (%) and Hi: Height of trees (m).

\*, \*\* are significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

### منابع

1. Abbasian, A. 2012. Notebook for revised silviculture project in 7 series of Kanroud. The Company of Tarrahan Alborz Sabz, 342p. (In Persian)
2. Andreu, V., Imeson, A., and Rubio, J.L. 2001. Temporal changes in soil macro and microaggregation induced by forest fires and its incidence on water erosion. *Catena*. 44: 1. 69-84.
3. Barthes, B., and Roose, E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena*. 47: 2. 133-149.
4. Battany, M.C., and Grismer, M.E. 2000. Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope, cover and surface roughness. *Hydrol. Process*. 14: 7. 1289-1304.
5. Benda, L., Miller, D., Bigelow, P., and Andras, K. 2003. Effects of post-wildfire erosion on channel environments, Boise River, Idaho. *Forest Ecol. Manag.* 178: 1-2. 105-119.
6. Brath, A., Montanari, A., and Moretti, G. 2006. Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation (with uncertainty). *J. Hydrol.* 324: 1-4. 141-153.
7. Cammeraat, L.H., and Imeson, A.C. 1998. Deriving indicators of soil degradation from soil aggregation studies in southeastern Spain and southern France. *Geomorphology*. 23: 2-4. 307-321.
8. Cotler, H., and Ortega-Larrocea, M.P. 2006. Effects of land use on soil erosion in a tropical dry forest ecosystem, Chamela watershed, Mexico. *Catena*. 65: 2. 107-117.
9. Durán, Z.V.H., and Rodríguez, P.C.R. 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28: 1. 65-86.
10. Garavand, S., Yaralli, N., and Sadeghi, H. 2013. Spatial pattern and mapping fire risk occurrence at natural lands of Lorestan province. *Iran. J. Forest Poplar Res.* 21: 2. 231-242. (In Persian)
11. García-Corona, R., Benito, E., DeBlas, E., and Varela, M.E. 2004. Effects of heating on some soil physical properties related to its hydrological behaviour in two northwestern Spanish soils. *Int. J. Wildland Fire*. 13: 2. 195-199.
12. Giovannini, G., Lucchesi, S., and Giachetti, M. 1988. Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility. *Soil Sci.* 146: 4. 255-262.
13. Glade, T. 2003. Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand. *Catena*. 51: 3-4. 297-314.
14. Heidary, J., and Ghorbani Dashtaki, Sh. 2013. The effect of fire on soil quality in semi-steppe rangelands of Karsanak, Chaharmahal and Bakhtiari. *J. Water Soil Cons.* 20: 2. 125-142.
15. Heydari, M., Salehi, A., Mahdavi, A., and Adibnejad, M. 2012. Effects of different fire severity levels on soil chemical and physical properties in Zagros forests of western Iran. *Folia Forestalia Polonica, Series A*. 54: 4. 241-250.
16. Hubbert, K.R., Preisler, H.K., Wohlgemuth, P.M., Graham, R.G., and Narog, M.G. 2006. Prescribed burning effects on soil physical properties and water repellency in a steep chaparral watershed, Southern California, USA. *Geoderma*. 130: 284-298.
17. Hudson, N.W. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. *FAO Soils Bulletin* 68.
18. Jordán, A., Zavala, L.M., Mataix-Solera, J., Nava, A.L., and Alanís, N. 2011. Effect of fire severity on water repellency and aggregate stability on Mexican volcanic soils. *Catena*. 84: 136-147.
19. Kooch, Y., Hosseini, S.M., Mohammadi, J., and Hojjati, S.M. 2011. Variability of soil qualitative indicators in relation to created microtopography of forest trees uprooting. *J. Water Soil. Sci.* 15: 58. 271-283. (In Persian)
20. Larsen, I.J., MacDonald, L.H., Brown, E., Rough, D., Welsh, M.J., Pietraszek, J.H., Libohova, Z., and Benavides-Solorio, J.D.D. 2009. Causes of post-fire runoff and erosion: water repellency, cover, or soil sealing? *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73: 4. 1393-1407.
21. Mandelbrot, B.B. 1982. *The fractal geometry of nature*. W.H. Freeman, San Francisco, CA.

22. Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., and Zavala, L.M. 2011. Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Sci. Rev.* 109: 1-2. 44-60.
23. Mazurak, A.P. 1950. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. *Soil Sci.* 69: 2. 135-148.
24. Moffet, C.A., Pierson, F.B., Robichaud, P.R., Spaeth, K.E., and Hardegee, S.P. 2007. Modeling soil erosion on steep sagebrush rangeland before and after prescribed fire. *Catena.* 71: 2. 218-228.
25. Namiranian, M. 2007. Measurement of trees and forest biometry. Tehran Univ. Press, 574p. (In Persian)
26. Neary, D.G., Koestner, K.A., Youberg, A., and Koestner, P.E. 2012. Post-fire rill and gully formation, Schultz Fire 2010, Arizona, USA. *Geoderma.* 191: 97-104.
27. Nimmo, J.R., and Perkins, K.S. 2002. Aggregate stability and size distribution. P 317-328, In: J.H. Dane and G.C. Topp (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 4.* 2<sup>nd</sup> ed. In: *Agron. Monogr.* 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
28. Norouzi, M., and Ramezanpour, H. 2012. Effects of flooding and fire on some of soil properties in Lakan forest in Guilan province. *J. Water Soil Sci.* 16: 61. 291-300. (In Persian)
29. Norouzi, M., Ramezanpour, H., Rabiei, B., and Asadi, H. 2013. Effect of flooding and fire on aggregate stability: a case study in Lakan forest in Guilan province. *Iran. J. Soil Res.* 27: 3. 415-426. (In Persian)
30. Omidvar, E., and Kavian, A. 2011. Landslide volume estimation based on landslide area in a regional scale (case study: Mazandaran province). *Iran. J. Natur. Resour.* 63: 4. 439-455. (In Persian)
31. Poesen, J.W., Boardman, J., Wilcox, B., and Valentin, C. 1996. Water erosion monitoring and experimentation for global change studies. *J. Soil Water Cons.* 51: 5. 386-390.
32. Robichaud, P.R. 2000. Fire effects on infiltration rates after prescribed fire in Northern Rocky Mountain forests, USA. *J. Hydrol.* 231-232: 220-229.
33. Rodríguez, A., Arbelo, C.D., Guerra, J.A., Mora, J.L., Notario, M.S., and Armas, C.M. 2006. Organic carbon stocks and soil erodibility in Canary Islands Andosols. *Catena.* 66: 3. 228-235.
34. Sadeghi, S.H.R., Safaeian, N.A., and Ghanbari, S.A. 2006. Study on the effect of land uses on type and intensity of soil erosion. *J. Agr. Eng. Res.* 7: 26. 85-98. (In Persian)
35. Shakesby, R.A. 1993. The soil erosion bridge: a device for micro-profiling soil surfaces. *Earth Surf. Proc. Land.* 18: 9. 823-827.
36. van Bavel, C.H.M. 1950. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 14: C. 20-23.
37. Vrieling, A., Steven, M., Sterk, G., and Rodrigues, C.S. 2008. Timing of erosion and satellite data: A multi-resolution approach to soil erosion risk mapping. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 10: 3. 267-281.
38. Wainwright, J., Parsons, A.J., and Abrahams, A.D. 2000. Plot-scale studies of vegetation, overland flow and erosion interactions: case studies from Arizona and New Mexico. *Hydrol. Process.* 14: 16-17. 2921-2943.
39. Zinck, A. 1988. Soil survey courses. International Institute for Geobservation Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands. *Physiography and Soils Lecture Notes SOL* 41.



---

## Study the effect of forest fire on aggregate stability and surface visible features at the different scales

A. Akbarzadeh<sup>1</sup>, \*Sh. Ghorbani Dashtaki<sup>2</sup>, M. Naderi Khorasgani<sup>3</sup>,  
J. Mohammadi<sup>2</sup> and R. Taghizadeh Mehrjardi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Shahrekord, <sup>2</sup>Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Shahrekord, <sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Shahrekord, <sup>4</sup>Assistant Prof., Dept. of Desert Management, University of Ardakan

Received: 05/17/2016; Accepted: 10/18/2016

---

### Abstract

**Background and Objectives:** Degradation of forest lands by fire is one of the major bioenvironmental problems in northern Iran that significantly changes the vegetation attributes and visible features at the soil surface and therefore, affects aggregate stability against erosive forces. The complete information from aggregate stability at the micro scale and type of features related to soil erosion at the plot and watershed scales leads to a perfect judgment about erosion risk in an area. The objective of this study was to evaluate the effect of fire on aggregate stability, surface visible features and vegetation cover at the micro, plot and watershed scales in some parts of forest lands in west northern zone of the Guilan province.

**Materials and Methods:** In parcels separated in 15 fire-affected forests and 15 unburned forests adjacent to the fire-affected forests, in five geomorphological units, aggregate stability indices at the micro scale and microtopographic erosion features and litter percentage at the plot scale were measured. In addition, some vegetation attributes, drainage density index and the presence of some morphodynamics features of soil erosion were evaluated at the watershed scale.

**Results:** The results of analysis of variance showed that all aggregate stability indices as well as litter percentage and drainage density had significant differences within subjects (within burned and unburned forests). Among studied parameters, only litter percentage showed significant differences between subjects (geomorphological units). Results also revealed that the time reversibility for aggregate stability indices and drainage density to condition before fire was about four to five years. Also, increasing the fire severity from low to high and changing of fire type from surface to canopy had the most effect on mean weight diameter of aggregates. Assessment of microtopographical erosion features at the plot scale revealed that some of them had variations in burned sites compared with the control sites. At the watershed scale, the rills, gullies and landslides were more abundant in the burned sites than the unburned sites. The correlation coefficients between measured properties related to different scales showed that there were significant correlations between some of them at the various scales.

**Conclusion:** The soil aggregate stability indices are very useful to evaluate the power of formation of many microtopographic and morphodynamics features of soil erosion at the plot and watershed scales. The results of this study can be used for assessment of soil erosion risk in forest lands and can be useful for management of woodlands.

**Keywords:** Aggregate stability, Drainage density, Gully, Landslide, Rill

---

\* Corresponding Author; Email: [ghorbani-sh@agr.sku.ac.ir](mailto:ghorbani-sh@agr.sku.ac.ir)