



## بررسی اثر مشخصات شیببر تشکیل خاک روی سنگ گرانیات در منطقه نیمه خشک غرب اصفهان

### سمیه زاگر حقیقی<sup>۱</sup> و \* جواد گیوی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۵

#### چکیده

**سابقه و هدف:** کانی‌های اولیه تشکیل‌دهنده سنگ گرانیات و کانی‌های رسی که از هواپدیدی این کانی‌ها به وجود می‌آیند، تعیین‌کننده مشخصات خاک‌هایی می‌باشند که از سنگ گرانیات منشأ می‌گیرند. مشخصات شیب از طریق تأثیر بر میزان رطوبت و دمای خاک، باعث تغییر و تحول در خاک می‌شوند. میزان هواپدیدی در خاک را می‌توان با مناسب‌ترین شاخص‌های هواپدیدی بیان کرد. این مطالعه جهت بررسی تشکیل خاک روی سنگ گرانیات در جهات، موقعیت‌ها و شکل‌های مختلف شیب، با استفاده از مناسب‌ترین شاخص هواپدیدی صورت گرفت.

**مواد و روش‌ها:** توده گرانیاتی قره بل طاق در غرب استان اصفهان که دارای اقلیم نیمه‌خشک است، قرار دارد. در هر جهت شمالی و جنوبی شیب، سه خاک‌رخ در شیب پستی و سه خاک‌رخ در پای شیب حفر، تشریح و از آن‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت. مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگ و خاک‌ها اندازه‌گیری شد. از بین هشت شاخص هواپدیدی، آن شاخص که بیش‌ترین ضریب همبستگی را با نسبت آهن پدوژنیک به آهن کل، درصد رس و وزن مخصوص ظاهری نشان داد، به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب گردید. در راستای بررسی میزان هواپدیدی از عمق به طرف سطح خاک و در جهات، موقعیت‌ها و شکل‌های مختلف شیب، از این شاخص استفاده شد.

**یافته‌ها:** همبستگی بین شاخص‌های هواپدیدی و نسبت آهن پدوژنیک به آهن کل و وزن مخصوص ظاهری معنی‌دار، ولی همبستگی بین این شاخص‌ها و درصد رس معنی‌دار نشد. از بین این شاخص‌ها، شاخص WR مناسب‌ترین شاخص برای بیان شدت هواپدیدی انتخاب شد. در فرمول این شاخص از عناصر Ca، Na و Mg به‌عنوان عناصر متحرک استفاده شده است. کلسیم و سدیم در ساختار پلاژیوکلاز و منیزیم در ساختمان بیوتیت حضور دارند. متوسط مقدار WR برای سنگ گرانیات، ۱۵/۸ و برای رگولیت حاصل از هواپدیدی این سنگ، ۱۰/۸۷ به‌دست آمد. در شیب‌های محدب، متوسط مقدار WR، ۱۴/۸۲ و متوسط ضخامت رگولیت، ۳۱ سانتی‌متر و در شیب‌های مقعر، متوسط مقدار WR، ۱۳/۲۸ و متوسط ضخامت رگولیت، ۹۰ سانتی‌متر محاسبه گردید. در پشته شیب‌ها، متوسط WR، ۱۳/۹ و متوسط ضخامت رگولیت، ۸۰ سانتی‌متر و در پای شیب‌ها، متوسط مقدار WR، ۱۴/۳۰ و متوسط ضخامت رگولیت، ۳۲/۵ سانتی‌متر به‌دست آمد. علت بیش‌تر شدن WR و کم‌تر شدن ضخامت رگولیت در پای شیب، وجود یک رخنمون سنگی در پای شیب شمالی می‌باشد. متوسط WR در شیب جنوبی ۱۴/۳ و متوسط ضخامت رگولیت، ۴۳/۷ سانتی‌متر و در شیب شمالی، این مقادیر به‌ترتیب ۱۴/۰ و ۶۹/۲ سانتی‌متر محاسبه شد.

\* مسئول مکاتبه: [javgivi@gmail.com](mailto:javgivi@gmail.com)

**نتیجه‌گیری:** با توجه به این که منطقه مورد مطالعه نیمه‌خشک است، میزان بارندگی در حدی است که در اثر هوادیدگی سنگ گرانیت، کاتیون‌های بازی آزاد و از خاک خارج می‌شوند. بنابراین شاخص‌هایی که فرمول آن‌ها به صورت نسبت اکسیدهای کاتیون‌های بازی به اکسید یا اکسیدهای عناصر غیرمتحرک است، به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها انتخاب شدند. علاوه بر درجه و جهت شیب، شکل شیب نیز بر هوادیدگی سنگ مادر اثرگذار است. نظر به این که در شیب‌های محدب، آب کم‌تر می‌تواند در خاک نفوذ کند، هوادیدگی در این نوع شیب‌ها حداقل و در شیب‌های مقعر، حداکثر به دست آمد. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، در پشته شیب جنوبی، نسبت به پای آن، هوادیدگی کم‌تر شد. بر خلاف انتظار، در شیب شمالی، عکس این پدیده اتفاق افتاد زیرا یک رخنمون سنگی در پای این شیب وجود دارد. در پای شیب، مقدار شیب کم‌تر و در نتیجه آب بیش‌تری در خاک نفوذ می‌کند و هوادیدگی بیش‌تر می‌شود. در شیب جنوبی، میزان هوادیدگی کم‌تر از شیب شمالی به دست آمد.

#### واژه‌های کلیدی: مشخصات شیب، گرانیت، شاخص هوادیدگی

#### مقدمه

تفاوت بین ویژگی‌های خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ گرانیت و مشخصات سایر خاک‌ها می‌تواند مستقیماً به تفاوت در نوع کانی‌های این سنگ و همچنین انواع مختلف کانی‌های رسی که به واسطه هوادیدگی این کانی‌ها به وجود می‌آیند، مربوط باشد. سنگ گرانیت، گونه‌ای سنگ آذرین درونی متوسط تا درشت‌بافت است و کانی‌های غالب آن کوارتز، فلدسپات (پلاژیوکلاز و فلدسپات قلیائی)، میکا (بیوتیت و موسکویت) و آمفیبول می‌باشند (۱۰).

کوارتز، فلدسپات قلیائی و موسکویت به هوادیدگی مقاوم و پلاژیوکلاز و بیوتیت مقاومت کم‌تری در مقابل هوادیدگی از خود نشان می‌دهند. حاصل هوادیدگی گرانیت، کانی رسی کائولینیت و گاهی ورمیکولیت و اسمکتیت می‌باشد. هوادیدگی گرانیت به تشکیل خاک‌هایی نفوذپذیر، با مقدار رس و ظرفیت نگهداری آب کم، ظرفیت تبادل کاتیونی پایین و قابلیت کم برای تشکیل خاکدانه‌های پایدار منجر می‌شود (۱۰). کامپتون و همکاران (۲۰۰۳)، کانی‌ها و عناصر کمیاب خاک یک بیرون‌زدگی گرانیتی را در

جنوب شرقی آفریقای جنوبی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که این بیرون‌زدگی شامل فلدسپات پتاسیم (۵۰٪)، پلاژیوکلاز (۱۵٪)، کوارتز (۲۵٪) و بیوتیت (۱۰٪) است و ناخالصی‌های آن، ذرات آپاتیت، زیرکن و هورن بلند می‌باشند. عناصر کمیاب و به خصوص نوع سبک آن در این خاک‌های گرانیتی دیده شد. مقدار عناصر کمیاب همبستگی مثبتی با جزء رس ( $< 2 \mu\text{m}$ ) خاک نشان داد. در این پژوهش همچنین گزارش گردید که عناصر کمیاب توسط کانی‌های رسی (کائولینیت) و اکسیدهای آهن بی‌شکل در pH بالا جذب می‌شوند (۹).

عامل پستی و بلندی به دلیل تأثیر بر مقدار و سرعت رواناب سطحی، مقدار نفوذ آب به درون زمین، سرعت آبشویی، زهکشی زیرسطحی، شدت فرسایش و همچنین سرعت انجام واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی، عامل مهمی در چگونگی تشکیل و تکامل خاک‌ها به شمار می‌رود. معمولاً شیب‌های شمالی کم‌تر در معرض تابش خورشید قرار می‌گیرند و در نتیجه گیاهان با رطوبت کافی خاک رشد نموده و تبخیر و تعرق کم می‌شود. ولی عمق فرسایش در

شیب‌های جنوبی (شیب‌های آفتاب‌گیر) بیش‌تر دیده می‌شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط بخش فرسایش اداره حفاظت خاک ارتش آمریکا، میزان فرسایش دامنه‌های رو به آفتاب حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد بیش‌تر از دامنه‌های پشت به آفتاب می‌باشد (۵). توکلی و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی اثر توپوگرافی بر شاخص‌های کیفیت خاک نشان دادند که قسمت‌های پایین شیب شامل پای و پنجه شیب حداکثر مقدار کربن آلی، هدایت الکتریکی، فعالیت آکالین و اسید فسفاتاز، معدنی شدن نیتروژن و معدنی شدن کربن را دارا می‌باشند. حداکثر مقدار رس و معدنی شدن کربن در موقعیت انتهایی شیب شمالی مشاهده شد. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که خصوصیات خاک، وابسته به موقعیت‌های زمین‌نما است و این موقعیت‌ها ویژگی‌های خاک و تکامل تدریجی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۳۴). پارسونز (۲۰۰۲) اثر چهار نوع شیب یکنواخت، مقعر، محدب و مرکب را در حوضه‌های آبخیز با شیب ۱۰ درصد مورد مطالعه قرار داد. کم‌ترین فرسایش در شیب‌های مقعر، بیش‌ترین آن در شیب‌های محدب و حد متوسط آن در شیب‌های یکنواخت و مرکب مشاهده گردید. میزان فرسایش در شیب‌های مرکب کم‌تر از یکنواخت گزارش شد (۲۶).

خاک‌های تشکیل‌شده در مواد مادری متفاوت به‌دلیل اختلاف در نوع کانی‌های موجود در ساختار سنگ‌های مادری‌شان و تفاوت در میزان مقاومت کانی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها در مقابل هوازدگی، ویژگی‌های متفاوتی خواهند داشت (۵). شاخص‌های هوازدگی برای توصیف شدت تغییرات هوازدگی خاک‌رخ‌ها و برای کمی کردن تغییرات شیمی خاک در حین هوازدگی استفاده می‌شوند (۲۷). این شاخص‌ها بر اساس ترکیب عناصر تشکیل‌دهنده سنگ و خاک بنا

شده‌اند. بیش‌تر این شاخص‌ها نسبت‌های مولکولی و درصد وزنی بین گروه‌های متفاوت اکسیدهای عناصر اصلی هستند (۱۱، ۲۷). کمی کردن وضعیت هوازدگی، یک مرحله مهم برای تعیین مراحل تکامل خاک می‌باشد. فرض اصلی در فرموله کردن این شاخص‌ها رفتار عنصرهای شیمیایی است که به‌تنهایی به‌وسیله درجه هوازدگی کنترل می‌شوند (۱۱). از این شاخص‌ها برای اندازه‌گیری شدت توسعه خاک (۱۱، ۱۸، ۳۶)، هوازدگی شیمیایی رسوبات (۱۷، ۲۴) و تفسیر تاریخچه هوازدگی آن‌ها (۳۷، ۱۲)، سیر تکاملی حاصلخیزی خاک (۱۵) و تعیین اثرات اقلیم روی هوازدگی سنگ استفاده شده است (۴۰). وزن مخصوص ظاهری خاک به‌عنوان یک شاخص وابسته به هوازدگی می‌تواند تغییرات در شاخص هوازدگی را مشخص نماید. این مشخصه به‌صورت سیستماتیک با افزایش شدت هوازدگی کاهش می‌یابد (۱۴، ۲۷). پرایس و ولبل (۲۰۰۳) برخی از شاخص‌های هوازدگی را با کاهش وزن مخصوص ظاهری به‌عنوان معیاری برای بررسی شدت هوازدگی خاک‌های تشکیل‌شده روی سنگ‌های مادری اسیدی دگرسان شده مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه شاخص WIP<sup>۱</sup> با بیش‌ترین ضریب همبستگی (۰/۷۱۶) به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای بیان شدت هوازدگی این خاک‌رخ‌ها معرفی شد. آن‌ها علت این تناسب بالا را به‌کار رفتن عناصر قلیایی و قلیایی خاکی در فرمول این شاخص ذکر کردند (۲۷). مطالعات دزگرون-آیدین و همکاران (۲۰۰۲) نشان داد، شاخص‌های هوازدگی که به‌صورت نسبت مولکولی گروهی از اکسیدهای عناصر متحرک به یک یا چند اکسید عناصر غیرمتحرک فرموله می‌شوند، بهترین شاخص‌های هوازدگی برای نشان دادن تغییرات هوازدگی می‌باشند. مطالعات ذکرشده

شکل‌های مختلف شیب صورت گرفته است. مطالعه حاضر با اهداف تعیین مناسب‌ترین شاخص هوادیدگی جهت برآورد شدت هوادیدگی سنگ گرانیت در مناطق نیمه‌خشک و بررسی تشکیل خاک‌ها روی این سنگ در جهات، موقعیت‌ها و شکل‌های مختلف شیب کوه با استفاده از مناسب‌ترین شاخص هوادیدگی انجام شد.

### مواد و روش‌ها

**توصیف منطقه مطالعاتی:** توده گرانیتی قره بل طاق با موقعیت طول جغرافیایی  $28^{\circ} 10' 50''$  و عرض جغرافیایی  $56^{\circ} 07' 33''$ ، به‌عنوان بخشی از مجموعه ماگمایی- دگرگونی در شمال بوبین میاندشت از توابع شهرستان فریدن در غرب استان اصفهان قرار دارد. خاک‌های مورد مطالعه در دامنه‌های این توده گرانیتی (تپه‌ای به نام "کک قیله‌لی") واقع شده‌اند. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۲۳۲۶ متر می‌باشد (شکل ۱). از نظر سنگ‌شناسی، این توده متشکل از گرانیت با بافت متوسط تا ریزپلور بوده و از کانی‌های اصلی کوارتز، آلکالی فلدسپات، پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول و کانی‌های فرعی اپیدوت، زیرکن، اسفن، آپاتیت، تورمالین، آلانیت و اوپاک تشکیل شده است (۳۱). میزان متوسط بارندگی سالیانه منطقه بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی داران، ۳۲۱ میلی‌متر و میانگین سالیانه دما  $10/8$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۲۱). رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه به ترتیب زیریک و مزیک است (۳۸).

**مطالعات صحرائی و نمونه‌برداری:** در بازدید صحرائی، محل شش خاک‌رخ در شیب شمالی و شش خاک‌رخ در شیب جنوبی توده گرانیتی و در هر جهت شیب سه خاک‌رخ در شیب پستی و سه خاک‌رخ در پای شیب و مجموعاً ۱۲ خاک‌رخ مشخص شد. بعد از

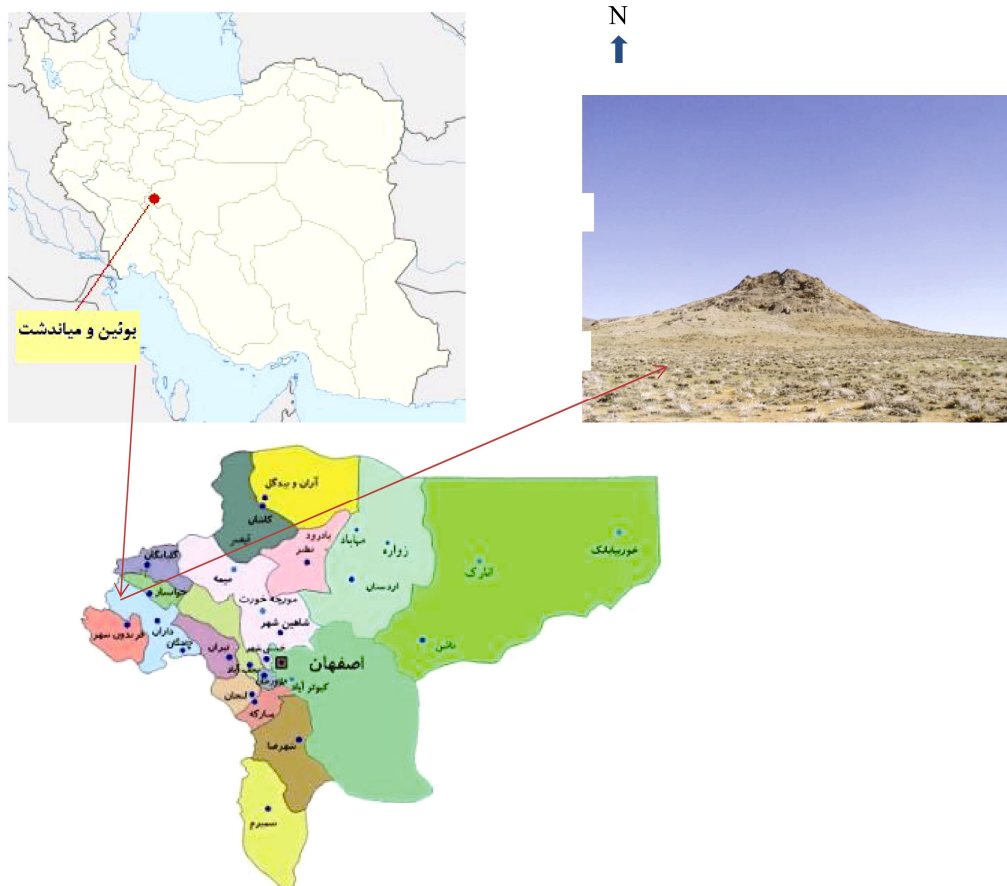
نشان دادند که بیش‌تر شاخص‌های هوادیدگی توانائی نشان دادن پیچیدگی‌های خاک‌رخ‌های هوادیده‌شده را ندارند و لازم است شاخص یا شاخص‌های هوادیدگی مناسب برای هر منطقه، مورد بررسی قرار گیرند (۱۱). هوادیدگی کانی‌های اولیه باعث هدررفت عناصر متحرک (Ca, Mg, K و Na) و تجمع کانی‌های رسی ثانویه مختلف مانند کائولینیت، ورمیکولیت و مونتوریلونیت می‌شود (۳۰). به‌عنوان مثال بلوم و استیلینگز (۱۹۹۵) رسوب کانی‌های کائولینیت و دیگر کانی‌های ثانویه را در اثر هوادیدگی ذرات فلدسپات گزارش کردند (۴). تجمع کانی‌های رسی آلومینوسیلیکاتی در بخش رس خاک می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای بیان شدت هوادیدگی محسوب شود (۷، ۸). با هوادیدگی کانی‌های اولیه آهن‌دار مثل بیوتیت، آهن فرو از داخل بلوره این کانی‌ها خارج و به شکل رسوب آهن فریک که با سیترات- بیکربنات- دیتیونیت ( $Fe_4$ )، قابل عصاره‌گیری است، سطح ذرات خاک را پوشش می‌دهد. نسبت بین اکسید آهن آزاد، با بلوره خوب ( $Fe_4-Fe_0$ ) به آهن کل ( $Fe_t$ ) نیز از دیگر معیارهای به‌کار برده شده جهت برآورد شدت هوادیدگی در بسیاری از مطالعات بوده است (۱، ۸، ۳۰).

شاخص‌های هوادیدگی زیادی برای ارزیابی رفتار ژئوشیمیایی سنگ‌های هوادیده‌شده ارائه شده است و لازم است جهت بررسی مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین آن‌ها، مناطق متفاوت با شرایط اقلیمی و سنگ مادری متفاوت مورد بررسی قرار گیرند. مطالعات زیادی نیز در مورد خاک‌های تشکیل‌شده روی سنگ‌های آذرین در دنیا انجام شده است، اما پژوهش‌های اندکی برای ارزیابی شدت هوادیدگی و شاخص‌های هوادیدگی در مورد خاک‌های تشکیل‌شده روی سنگ گرانیت در مناطق نیمه‌خشک و در جهات، موقعیت‌ها و

(۳۵)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون با اسید (۲۳)، واکنش خاک در سوسپانسیون ۱:۱ با عصاره‌گیر آب (۲۰)، شوری خاک در عصاره اشباع خاک (۲۸)، آهن آزاد با استفاده از عصاره‌گیر سترات- بیکربنات- دیتیونات (۱۶) و آهن بی‌شکل به روش اگزالات آمونیوم (۲) اندازه‌گیری شدند. مقدار کل عناصر اصلی (K, Mg, Ca, Fe, Al) و غیرمتحرک (Ti) با دستگاه ICP-ES و عناصر کمیاب Zr و Y با دستگاه ICP-MS در نمونه‌های خاک و سنگ (۳۲) به روش هضم در اسید نیتریک اندازه‌گیری شد (۳۳).

حفر، خاک‌رخ‌ها طبق دستورالعمل تشریح و نمونه‌برداری خاک (۲۹) تشریح شدند. از هر یک از افق‌های خاک‌رخ‌ها، نمونه‌های خاک و سنگ و از کوه گرانیتی نیز نمونه سنگ به منظور اندازه‌گیری مشخصات فیزیکی و شیمیایی جمع‌آوری گردید.

**مطالعات آزمایشگاهی:** نمونه‌های خاک ابتدا هوا خشک‌شده و سپس از الک ۲ میلی‌متر جهت انجام آزمایش‌ها عبور داده شدند. تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی معمول شامل اندازه‌گیری بافت خاک به روش پیپت (۱۳)، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه (۳)، مقدار مواد آلی به روش سوزاندن تر (۳۹)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در غرب استان اصفهان به همراه توده گرانیتی که به صورت کوهی در منطقه بوئین- میانداشت دیده می‌شود.

Figure 1. Location of the study area in the west of Isfahan province (Buin-Miandasht region), with masses of granite which can be seen as a mountain.

پدوژنیک به آهن کل، درصد رس و وزن مخصوص ظاهری) و شاخص‌های هواپدیدی به‌دست آورده شد (۴۰). از بین هشت شاخص هواپدیدی اشاره‌شده، آن شاخص که بیش‌ترین ضریب همبستگی را با سه خصوصیت خاک نشان داد، انتخاب گردید.

محاسبات: ابتدا مقادیر عددی هشت شاخص Ba, B/A, B/R, CIA, CIW, PIA, PWI و WR (جدول ۱) برای گرانیتهای هواپدیده‌نشده، گرانیتهای هواپدیده‌شده و خاک افق‌های خاک‌رخ‌ها محاسبه شد. سپس برای به‌دست آوردن مناسب‌ترین شاخص، ضریب همبستگی بین خصوصیات خاک (نسبت آهن

جدول ۱- شاخص‌های هواپدیدی شیمیایی.

Table 1. Chemical weathering indices.

شاخص هواپدیدی Weathering index	فرمول Formula	منبع* Reference*
Ba	$(K_2O+Na_2O+CaO)/Al_2O_3$	Rocha Filho et al. 1985
B/A	$(K_2O+Na_2O+CaO+MgO)/Al_2O_3$	Birkeland 1999
B/R	$(K_2O+Na_2O+CaO+MgO)/(Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2)$	Birkeland 1999
CIA	$100 Al_2O_3/(Al_2O_3+K_2O+Na_2O+CaO)$	Nesbitt and Young 1989
CIW	$100 Al_2O_3/(Al_2O_3+Na_2O+CaO)$	Harnois 1988
PIA	$100\{(Al_2O_3-K_2O)/Al_2O_3+CaO+Na_2O-K_2O\}$	Fedo et al. 1995
PWI	$100\{(2 Na_2O/0.35)+(MgO/0.9)+(2 K_2O/0.25)+(CaO/0.7)\}$	Parker 1970
WR	$(CaO+MgO+Na_2O)/TiO_2$	Chittleborough 1991

\* منابع مربوط به شاخص‌های مطالعه شده در منابع ۱۱ و ۲۷ موجود می‌باشند.

\* Sources of the studied indices are available in the references 11 and 27.

خاک‌رخ به‌عنوان مقدار WR آن خاک‌رخ منظور گردید. با هدف بررسی اثر شکل شیب، مقدار WR و ضخامت رگولیت خاک‌رخ‌ها، واقع در شیب‌های مقعر، مسطح و محدب با یکدیگر مقایسه شد. متوسط WR و ضخامت رگولیت خاک‌رخ‌های هر موقعیت شیب به‌عنوان معیار میزان هواپدیدی آن موقعیت در نظر گرفته شد. برای نشان دادن میزان هواپدیدی در هر جهت شیب، WR و ضخامت رگولیت موقعیت‌های شیب پستی و پای شیب هر جهت متوسط‌گیری گردید.

در راستای بررسی میزان هواپدیدی از عمق به طرف سطح خاک و در جهات، موقعیت‌ها و شکل‌های مختلف شیب، از مناسب‌ترین شاخص هواپدیدی استفاده شد. در هر خاک‌رخ، به‌منظور مقایسه میزان هواپدیدی سنگ مادر و رگولیت حاصل از این هواپدیدی (موادی که بیش از ۵۰٪ ساختمان سنگی خود را از دست داده‌اند) در افق‌های بالاتر، متوسط وزنی مقدار WR در افق‌های A, C و Cr (رگولیت) و در افق R (سنگ مادر) به‌طور جداگانه محاسبه و با یکدیگر مقایسه گردید. در هر موقعیت شیب، متوسط وزنی مقدار WR افق‌های مختلف هر

## نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و سنگ در افق‌های خاک‌رخ‌های مورد مطالعه: برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌های مطالعه شده در جدول ۲ ارائه شده‌اند. مقدار کربن آلی خاک‌ها کم و بین ۰/۸۵ و ۱/۵۱ درصد متغیر می‌باشد. بافت خاک‌ها اغلب شنی و شنی لومی و در تعداد کمی از افق‌ها، لومی شنی است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از ۱/۸۹ تا ۱۱/۴۸ سانتی‌مول بر کیلوگرم و واکنش خاک در تمامی خاک‌رخ‌های مطالعه شده خنثی تا کمی قلیایی است. مقدار کربنات کلسیم در خاک‌رخ‌های منطقه ناچیز و از ۰/۱ تا ۵/۸۵ درصد متغیر است. مقادیر نسبت آهن پدوژنیک به آهن کل که برای تمام افق‌های خاک‌های مورد مطالعه به دست آمد، در جدول ۲ ملاحظه می‌گردند. وزن مخصوص ظاهری افق‌های مختلف خاک بین ۱/۱۷ و ۲/۲۹ تغییر می‌کند.

**منشأیابی افق‌های خاک‌رخ‌ها:** قبل از این که روند هوادیدگی سنگ مادر از عمق به طرف سطح خاک مورد مطالعه قرار گیرد، اثبات به وجود آمدن خاک از سنگ مادر زیر یک ضرورت به حساب می‌آید (۱۸). نسبت‌های بین عناصر غیرمتحرک روش مناسبی برای تأیید یکنواختی و یا حضور انقطاع در خاک‌رخ‌ها می‌باشد (۲۲). با مطالعات صحرایی خاک‌رخ‌ها، هیچ شاهدهی دال بر انقطاع سنگی مشاهده نشد و خاک‌رخ‌های مورد مطالعه روی مواد مادری یکنواختی از نظر زمین‌شناسی توسعه یافته‌اند. جهت اثبات مشاهدات صحرایی و درجا بودن خاک‌ها از نسبت‌های اکسیدهای غیرمتحرک ( $Y_2O_3 / ZrO_2$  و  $ZrO_2 / TiO_2$ ) استفاده شد (جدول ۳). شباهت و نزدیکی این نسبت‌ها در افق‌های خاک و در سنگ مادر، منشأ گرفتن خاک از سنگ مادر زیر را تأیید می‌کند (۱۹). مقادیر این نسبت‌ها در محدوده باریکی برای هر خاک‌رخ و هر

نسبت اکسیدی متغیر است. برای مثال نسبت‌های  $ZrO_2 / TiO_2$  و  $Y_2O_3 / ZrO_2$  به ترتیب از ۱۹۰/۶۳ تا ۲۱۲/۷۹ و ۵۴/۱۰ تا ۶۰/۳۱ برای افق‌های خاک‌رخ P4B که بیش‌ترین تنوع افق‌ها را دارد، تغییر می‌کند. نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی در این مطالعه نشان‌دهنده یکنواختی مواد مادری و هوادیدگی درجای سنگ‌های مادری می‌باشد. از نسبت‌های عناصر غیرمتحرک در مطالعات متعددی جهت منشأیابی افق‌های خاک‌رخ‌ها استفاده شده است (۶، ۱۸، ۱۹).

**شاخص‌های هوادیدگی:** هشت شاخص هوادیدگی در نظر گرفته شده در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. مقادیر این شاخص‌ها با استفاده از غلظت عناصر اصلی و کمیاب (جدول ۴) و فرمول‌های شاخص هوادیدگی (جدول ۱) محاسبه گردید. همبستگی بین شاخص‌های هوادیدگی و نسبت آهن پدوژنیک به آهن کل و وزن مخصوص ظاهری در سطح ۱٪ معنی‌دار، ولی همبستگی بین این شاخص‌ها و درصد رس معنی‌دار نشد (جدول ۵). کم بودن مقدار رس در خاک‌های مورد مطالعه (جدول ۲)، شاید دلیل معنی‌دار نشدن این همبستگی باشد. از بین هشت شاخص در نظر گرفته شده، شاخص هوادیدگی WR بیش‌ترین ضریب همبستگی را با درصد رس، نسبت مقدار آهن پدوژنیک به آهن کل و وزن مخصوص ظاهری نشان داد و بنابراین به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب گردید. گرچه همبستگی بین شاخص هوادیدگی WR و درصد رس معنی‌دار نشد، ولی ضریب این همبستگی از سایر ضرایب همبستگی بین بقیه شاخص‌های هوادیدگی و درصد رس بیش‌تر بود (جدول ۵).

در مناطق نیمه‌خشک، بارندگی در حدی است که فقط کاتیون‌های بازی (Ca, Mg, K و Na) که جزو

بررسی شدت هواپدگی از عمق به طرف سطح خاک و در جهات، موقعیت‌ها و شکل‌های مختلف شیب  
 بررسی شدت هواپدگی از عمق به طرف سطح خاک:  
 در هر خاک‌رخ وقتی که از عمق به طرف سطح، سنگ به رگولیت و سولوم تبدیل می‌شود (تبدیل R به C و A)، مقدار WR کاهش می‌یابد (جدول ۶). علت این کاهش این است که در اثر تخریب سنگ و تبدیل آن به رگولیت، همان‌گونه که در بخش شاخص‌های هواپدگی گفته شد، کانی‌های گروه پلاژیوکلاز تخریب و کلسیم و سدیم آن‌ها آزاد و از خاک شسته می‌شوند. با این شسته شدن، مقدار  $CaO + Na_2O$  در صورت کسر فرمول WR کاهش و با توجه به افزایش مقدار  $TiO_2$  در مخرج این کسر، مقدار WR نیز کاهش می‌یابد.

**بررسی تغییرات WR و ضخامت رگولیت در شکل‌های مختلف شیب:** علاوه بر اثر موقعیت و جهت شیب، WR هر خاک‌رخ تحت تأثیر شکل شیب نیز قرار می‌گیرد. به این دلیل، در جدول ۷، در زیر WR هر خاک‌رخ، شکل شیب نیز نوشته شد. اگر شیب مقعر باشد، آب بیشتری در خاک نفوذ می‌کند، هواپدگی بیشتری صورت می‌گیرد و در نتیجه مقدار WR کم‌تر می‌گردد. برعکس در شیب‌های محدب، آب بیشتر روی سطح زمین جاری می‌شود و کم‌تر می‌تواند در خاک نفوذ کند. بنابراین انتظار می‌رود در این نوع شیب، هواپدگی کم‌تر و مقدار WR خاک‌رخ بیشتر شود. در شکل شیب مسطح، مقدار WR خاک‌رخ در محدوده بین WR شیب‌های محدب و مقعر قرار می‌گیرد. ضمناً هرچه هواپدگی در یک خاک‌رخ بیشتر شود، جمع ضخامت‌های رگولیت و افق A که از سنگ مادر زیر به وجود می‌آید (جمع ضخامت‌های افق‌های Ct، C و A)، بیشتر می‌شود. به‌منظور نشان دادن این موضوع، ضخامت رگولیت نیز برای هر خاک‌رخ در جدول ۷ درج گردید.

عناصر متحرک محسوب می‌شوند از داخل ساختمان کانی‌های هواپدیده شده خارج و بعضاً از خاک شسته می‌شوند (۲۵). بنابراین در چنین مناطقی آن دسته از شاخص‌های هواپدگی برای نشان دادن شدت هواپدگی مناسب خواهند بود که فرمول آن‌ها از نسبت یک یا بیش از یک اکسید کاتیون بازی به اکسید یک یا بیش از یک عنصر غیرمتحرک به دست آید. با توجه به اهمیت دو عنصر Ca و Na به‌عنوان عناصر متحرک در فرمول شاخص‌های هواپدگی، از جمله WR که همبستگی بالائی با نسبت میزان آهن پدوژنیک به آهن کل و جرم مخصوص ظاهری نشان دادند، می‌توان هواپدگی ذرات کانی‌های گروه پلاژیوکلاز را مهم‌ترین فرآیند در خاک‌های مطالعه شده در منطقه دانست. یوسفی‌فرد و همکاران (۲۰۱۳) نیز شاخص‌های هواپدگی متفاوتی را با فرمول‌های معین بر اساس ترکیب کانی‌های افق‌های هواپدیده شده منشأ گرفته از چند سنگ آذرین در شمال غرب ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نیز نشان داد که شاخص‌های هواپدگی که بر اساس نسبتی از اکسیدهای متحرک به یک یا چند اکسید غیرمتحرک فرموله شده‌اند، برای بیان شدت هواپدگی خاک‌رخ‌های مناطق نیمه‌خشک مناسب‌تر هستند. در این پژوهش نیز از بین هشت شاخص Ba، B/A، B/R، CIA، CIW، PIA، PWI و WR که بالاترین ضرایب همبستگی را با درصد رس، نسبت میزان آهن پدوژنیک به آهن کل و جرم مخصوص ظاهری نشان دادند، شاخص WR به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای بیان میزان هواپدگی در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک انتخاب شد. در این پژوهش، نظر به این‌که مقدار رس خاک از مقدار رس خاک‌های پژوهش حاضر بیشتر بود، همبستگی بین شاخص هواپدگی WR و درصد رس نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (۴۰).



جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک و سنگ مطالعه‌شده.  
**Table 2. Selected physical and chemical characteristics of the studied soil and rock samples.**

خاک رخ Soil profile	افق Horizon	عمق Depth (cm)	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	بافت Texture	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	pH (1:1)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	کربن آلی خاک		کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent (%)	CEC (cmol+ kg <sup>-1</sup> )	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub> -Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>t</sub>
										(%)	(%)						
P1	A	0-30	2.60	3.80	93.60	S	1.31	7.48	0.067	1.35	0.50	2.22	3.98	0.71	26.71	0.12	
	R	30-130	2.80	6.40	90.80	S	2.05						3.61	0.48	22.65	0.14	
P1A	A	0-20	4.50	4.41	91.10	S	1.63	7.03	0.165	1.35	0.60	2.30	4.00	0.70	26.42	0.12	
	Cr	20-70	6.50	5.75	87.70	LS	1.75	7.38	0.100	1.28	0.70	1.89	4.80	0.77	28.54	0.14	
	R	70-180	4.00	4.40	95.20	S	2.14	-	-	-	-	-	3.61	0.33	24.85	0.13	
P1B	A	0-20	4.00	5.74	90.28	S	1.28	7.01	0.159	1.31	0.50	2.33	0.71	0.71	26.83	0.12	
	C	20-140	3.40	12.28	84.32	LS	1.36	7.35	0.060	1.32	0.50	1.97	0.79	0.79	28.53	0.15	
	Cr	140-200	7.25	9.20	83.60	LS	1.54	7.20	0.180	1.19	2.50	5.79	0.76	0.76	28.82	0.14	
P1C	A	0-20	4.00	4.11	91.92	S	1.21	7.04	0.149	1.32	0.60	2.24	4.00	0.73	26.63	0.12	
	C	20-110	4.00	7.52	88.48	S	1.56	7.41	0.130	1.23	0.50	1.90	4.01	0.71	25.81	0.13	
	Cr	110-200	10.00	7.65	82.32	LS	1.56	7.25	0.150	1.10	3.00	5.67	4.60	0.74	27.81	0.14	
P2	A	0-15	7.50	7.80	84.72	LS	1.38	7.03	0.129	1.19	5.85	3.57	4.00	0.73	24.68	0.13	
	R1	15-110	0.40	2.00	97.60	S	2.19	-	-	-	-	-	3.83	0.47	20.81	0.16	
	R2	>110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P2A	A	0-15	5.50	6.74	87.81	LS	1.59	7.25	0.160	1.14	5.65	3.42	4.02	0.70	24.81	0.13	
	R	15-100	0.60	6.00	93.40	S	1.96	-	-	-	-	-	3.80	0.46	20.64	0.16	
P2B	A	0-10	5.60	6.68	87.52	LS	1.49	7.30	0.180	1.17	5.35	3.43	4.01	0.71	23.98	0.14	
	R1	10-60	2.70	9.32	87.96	S	2.24	-	-	-	-	-	3.67	0.48	20.83	0.15	
	R2	60-120	2.72	7.72	89.56	S	2.29	-	-	-	-	-	3.63	0.46	20.79	0.15	

ادامه جدول ۲-  
Continue Table 2.

خاک رخ Soil profile	افق Horizon	عمق Depth (cm)	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	بافت Texture	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	pH (1:1)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	کربن آلی خاک Soil organic carbon (%)	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent (%)	CEC (cmol+ kg <sup>-1</sup> )	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub> +Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>t</sub>
P3	A	0-20	5.80	12.79	81.40	LS	1.61	7.12	0.115	1.25	0.50	3.38	4.50	1.01	31.68	0.11
	C	20-35	15.25	9.80	74.90	LS	1.50	7.29	0.105	1.51	0.50	6.84	4.80	0.79	33.00	0.12
	Cr	35-65	4.60	3.80	91.60	S	1.68	7.42	0.103	0.85	0.50	6.39	4.30	0.70	26.53	0.14
	R	65-170	2.20	3.60	94.20	S	2.04	-	-	-	-	-	3.56	0.45	20.64	0.15
P3A	A	0-20	12.00	27.40	60.60	SL	1.68	7.15	0.120	1.10	3.50	3.61	4.60	1.00	32.58	0.11
	R1	20-60	6.00	12.80	81.20	LS	2.19	-	-	-	-	-	4.20	0.67	21.32	0.17
	R2	60-180	3.00	8.20	88.80	S	2.23	-	-	-	-	-	3.64	0.47	20.81	0.15
P3B	A	0-20	6.25	17.40	76.39	SL	1.50	7.42	0.200	1.07	4.00	5.25	4.60	1.03	33.51	0.11
	R1	20-60	19.00	12.60	68.40	SL	1.89	-	-	-	-	-	7.30	0.89	34.62	0.19
	R2	60-120	4.72	8.72	86.56	LS	2.25	-	-	-	-	-	4.50	0.74	21.82	0.17
P4	A	0-15	8.00	16.13	75.88	SL	1.51	7.24	0.129	1.30	0.70	3.17	4.80	1.00	31.56	0.12
	Cr	15-40	7.50	5.68	86.86	LS	1.69	7.34	0.121	1.45	0.70	6.39	4.60	0.70	28.61	0.14
	R	40-140	2.80	4.60	92.60	S	2.21	-	-	-	-	-	4.10	0.51	21.76	0.16
P4A	A	0-15	6.75	14.01	79.20	LS	1.17	7.24	0.256	1.46	0.10	5.46	4.70	1.03	32.40	0.11
	R1	15-60	9.60	9.00	81.40	LS	1.97	-	-	-	-	-	5.10	0.70	28.82	0.15
	R2	60-160	4.52	7.92	87.56	S	2.23	-	-	-	-	-	4.80	0.66	26.80	0.15
P4B	A	0-20	6.40	13.22	77.40	LS	1.69	7.50	0.155	1.22	0.50	3.24	4.50	1.01	31.43	0.11
	C	20-70	12.00	8.13	79.88	SL	1.74	7.25	0.111	1.42	0.50	11.48	5.10	0.76	33.00	0.13
	Cr	70-100	10.00	9.11	80.88	LS	1.75	7.27	0.059	0.94	0.50	6.46	4.70	0.70	28.51	0.14
	R	>100	4.52	6.92	88.56	S	2.28	-	-	-	-	-	4.40	0.71	21.71	0.17

جدول ۳- نسبت اکسیدهای غیرمتحرک در افق‌های خاک‌رخ‌های مطالعه شده.

Table 3. The ratio of immobile oxides in horizons of the studied soil profiles.

خاک‌رخ Soil profile	افق Horizon	عمق Depth (cm)	1000 (Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ZrO <sub>2</sub> )	1000(ZrO <sub>2</sub> /TiO <sub>2</sub> )
P1	A	0-30	215.4	70.1
	R	30-130	190.4	70.7
P1A	A	0-20	215.3	72.0
	Cr	20-70	197.5	67.9
	R	70-180	189.7	67.5
P1B	A	0-20	217.5	70.0
	C	20-140	198.6	66.1
	Cr	140-200	171.9	65.0
P1C	A	0-20	215.4	68.5
	C	20-110	199.2	64.6
	Cr	110-200	172.7	67.9
P2	A	0-15	213.3	69.6
	R1	15-110	192.8	68.8
	R2	>110	-	-
P2A	A	0-15	210.8	71.7
	R	15-100	191.8	68.8
P2B	A	0-10	210.6	72.4
	R1	10-60	191.3	79.7
	R2	60-120	190.4	72.8
P3	A	0-20	213.9	55.7
	C	20-35	191.4	55.1
	Cr	35-65	190.0	53.1
	R	65-170	190.7	63.0
P3A	A	0-20	212.8	59.7
	R1	20-60	204.3	67.5
	R2	60-180	191.9	66.0
P3B	A	0-20	213.1	57.3
	R1	20-60	205.3	70.8
	R2	60-120	191.5	64.6
P4	A	0-15	212.6	59.6
	Cr	15-40	191.8	54.7
	R	40-140	191.1	64.6
P4A	A	0-15	212.5	60.9
	R1	15-60	204.5	49.4
	R2	60-160	191.8	62.8
P4B	A	0-20	212.8	57.3
	C	20-70	191.5	55.1
	Cr	70-100	190.9	54.1
	R	>100	190.6	60.3

جدول ۴- مقدار عناصر اصلی و کمیاب اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خاک و سنگ مورد مطالعه.

Table 4. The measured major and rare elements in the studied soil and rock samples.

خاک‌رخ Soil profile	عمق Depth (cm)	افق Horizon	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Zr	Y
			(%)							(ppm)	
P1	0-30	A	13.63	0.65	0.74	4.68	4.40	3.42	0.40	207.65	23.79
	30-130	R	14.89	1.10	0.45	3.82	4.50	3.54	0.36	188.34	19.07
P1A	0-20	A	13.64	0.70	0.72	4.70	4.42	3.41	0.39	208.00	23.82
	20-70	Cr	14.35	0.79	0.80	4.73	4.40	3.32	0.42	211.22	22.19
	70-180	R	14.9	1.04	0.49	4.12	4.60	3.56	0.38	189.92	19.17
P1B	0-20	A	13.65	0.67	0.75	4.69	4.41	3.43	0.40	207.20	23.97
	20-140	C	14.37	0.83	0.80	4.72	4.39	3.38	0.43	210.56	22.24
	140-200	Cr	14.57	0.91	0.81	4.84	4.10	3.26	0.44	211.68	19.36
P1C	0-20	A	13.64	0.65	0.74	4.67	4.43	3.44	0.41	208.02	23.84
	20-110	C	14.39	0.82	0.79	4.68	4.38	3.38	0.44	210.53	22.30
	110-200	Cr	14.58	0.89	0.82	4.82	4.09	3.27	0.42	211.14	19.39
P2A	0-15	A	13.64	0.77	0.73	4.56	4.38	3.41	0.40	212.18	23.79
	15-100	R	14.79	1.50	0.44	2.86	4.72	3.75	0.37	188.38	19.22
P2	0-15	A	13.60	0.76	0.71	4.50	4.40	3.43	0.41	211.22	23.97
	15-110	R	14.71	1.51	0.45	2.82	4.74	3.77	0.37	188.45	19.33
P2B	0-10	A	13.63	0.75	0.72	4.55	4.40	3.41	0.40	214.37	24.02
	10-60	R1	14.74	1.49	0.41	2.84	4.70	3.71	0.32	188.82	19.22
	60-120	R2	14.78	1.51	0.45	2.87	4.72	3.75	0.35	188.59	19.10
P3	0-20	A	13.75	0.78	0.74	4.76	4.43	3.46	0.51	210.40	23.94
	20-35	C	14.56	0.82	0.79	4.72	4.41	3.29	0.54	220.16	22.42
	35-65	Cr	14.58	0.92	0.81	4.48	4.14	3.26	0.56	220.22	22.26
	65-170	R	14.93	1.51	0.43	2.91	4.86	4.71	0.41	191.36	19.41
P3A	0-20	A	13.64	0.77	0.71	4.75	4.44	3.42	0.48	211.97	24.00
	20-60	R1	14.57	1.46	0.48	3.01	4.78	4.68	0.38	189.92	20.64
	60-180	R2	14.87	1.50	0.45	2.97	4.89	4.70	0.39	190.62	19.46
P3B	0-20	A	13.65	0.78	0.73	4.80	4.45	3.44	0.50	212.02	24.03
	20-60	R1	14.55	1.41	0.46	2.99	4.75	4.64	0.36	188.59	20.59
	60-120	R2	14.91	1.52	0.47	2.98	4.88	4.73	0.40	191.18	19.47
P4	0-15	A	13.65	0.77	0.71	4.75	4.43	3.41	0.48	211.94	23.97
	15-40	Cr	14.37	0.52	0.80	4.51	4.21	3.26	0.54	218.64	22.30
	40-140	R	14.89	1.53	0.45	2.96	4.71	4.74	0.40	191.38	19.46
P4A	0-15	A	13.65	0.76	0.72	4.78	4.42	3.40	0.47	211.92	23.95
	15-60	R1	14.86	1.51	0.79	2.98	4.70	4.69	0.52	190.05	20.67
	60-160	R2	14.87	1.52	0.47	2.99	4.73	4.71	0.41	190.67	19.46
P4B	0-20	A	13.79	0.79	0.73	4.79	4.44	3.48	0.50	212.16	24.02
	20-70	C	14.57	0.83	0.80	4.71	4.40	3.01	0.54	220.21	22.43
	70-100	Cr	14.58	0.92	0.82	4.50	4.11	3.27	0.55	220.29	22.37
	>100	R	14.94	1.53	0.45	2.98	4.70	4.75	0.43	192.02	19.47
سنگ تخریب‌نشده گرانیتی <sup>۱</sup>			14.88	1.81	0.67	3.78	4.51	3.93	0.56	228.70	35.80

جدول ۵- میزان همبستگی بین سه مشخصه خاک (نسبت آهن پدوژنیک به آهن کل، رس و وزن مخصوص ظاهری) و شاخص هوادیدگی، محاسبه شده با استفاده از هر یک از ۸ فرمول مربوطه.

**Table 5. The correlation between three soil characteristics (the ratio of pedogenic iron to total iron, clay and bulk density) and weathering index, calculated using each of the eight related formulas.**

شاخص هوادیدگی Weathering index	ضریب همبستگی (r) Correlation coefficient		
	(Fe <sub>d</sub> -Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>t</sub> )	رس Clay (%)	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (gr cm <sup>-3</sup> )
Ba	0.65**	-0.19 <sup>ns</sup>	0.67**
B/A	0.60**	-0.14 <sup>ns</sup>	0.59**
B/R	0.76**	-0.20 <sup>ns</sup>	0.76**
CIA	-0.64**	0.20 <sup>ns</sup>	-0.66**
CIW	-0.74**	0.18 <sup>ns</sup>	-0.74**
PIA	-0.69**	0.19 <sup>ns</sup>	-0.70**
PWI	0.73**	-0.19 <sup>ns</sup>	0.75**
WR	0.80**	-0.33 <sup>ns</sup>	0.80**

\*\* با احتمال ۹۹ درصد همبستگی معنی دار است

\*\* The correlation is significant with the probability of 99%

<sup>ns</sup> همبستگی معنی دار نیست

<sup>ns</sup> The correlation is not significant

جدول ۶- مقایسه متوسط وزنی شاخص WR افق‌های سنگی (R) و تشکیل شده از رگولیت و افق (A و C, Cr) A برای هر یک از خاک‌رخ‌های مورد مطالعه.

**Table 6. Comparison between the weighted average of WR of the lithic horizons (R) and that of the regolith and A horizon (A, C & Cr) for each of the studied soil profiles.**

خاک‌رخ Soil profile	متوسط وزنی شاخص WR Weighted average of WR index	
	سنگ Rock (R)	رگولیت و افق A Regolith + A (A و C, Cr)
P3	16.22	9.20
P3A	17.14	10.21
P3B	17.31	9.90
P4	16.80	9.12
P4A	15.44	10.38
P4B	15.65	9.02
P1	14.14	12.03
P1A	13.39	11.88
P1B	----	11.59
P1C	----	11.61
P2A	15.38	12.28
P2	15.49	11.95
P2B	16.86	12.20
Average	15.80	10.87

گرانیت به طول ۷ متر و به عرض ۵ متر در ۶ متری غرب خاک‌رخ P<sub>2</sub> وجود دارد. این رخنمون نشان داد که در موقعیت پای شیب، سنگ مادر در نزدیکی سطح خاک قرار دارد. با وجودی که شکل شیب سه خاک‌رخ P<sub>2A</sub>، P<sub>2</sub> و P<sub>2B</sub> مقعر است، WR آن‌ها به ترتیب ۱۴/۹، ۱۵ و ۱۶/۵ و ضخامت رگولیت آن‌ها به ترتیب ۱۵، ۱۰ و ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. دو خاک‌رخ P<sub>2A</sub> و P<sub>2</sub> از نظر مقدار WR و ضخامت رگولیت، اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند. در مطالعات تشریح خاک‌رخ، اختلافی که بین سنگ مادرهای این دو خاک مشاهده شد این بود که در خاک‌رخ P<sub>2A</sub>، سنگ گرانیت به صورت پوسته پیزی هوادیده شده بود. این شکل هوادیدگی که در دو خاک‌رخ دیگر دیده نشد، بیانگر آن است که در خاک‌رخ P<sub>2A</sub> با WR ۱۴/۹، مقدار هوادیدگی از هوادیدگی خاک‌رخ P<sub>2</sub> با WR ۱۵، کمی بیش‌تر است (جدول ۷).

**بررسی تغییرات WR و ضخامت رگولیت در موقعیت‌های مختلف شیب:** میانگین WR و میانگین ضخامت رگولیت در پشته شیب جنوبی به ترتیب ۱۵/۴ و ۳۵ سانتی‌متر است. این میانگین‌ها در پای شیب جنوبی به ترتیب ۱۳/۱ و ۵۱/۷ سانتی‌متر می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهند که در پای شیب به‌خاطر شیب کم‌تر، آب بیش‌تری در خاک نفوذ کرده و در نتیجه هوادیدگی بیش‌تری صورت گرفته و تکامل خاک تسریع می‌شود (جدول ۷).

بر خلاف انتظار، در شیب شمالی، خاک‌رخ‌های پای شیب از خاک‌رخ‌های پشته شیب کم‌عمق‌تر و هوادیدگی در آن‌ها کم‌تر صورت گرفته است. همان‌گونه که قبلاً گفته شد در موقعیت پای شیب شمالی، یک رخنمون سنگ گرانیت وجود دارد که نشان می‌دهد در این موقعیت، سنگ مادر در نزدیکی سطح خاک قرار دارد. متوسط WR و متوسط ضخامت رگولیت در پشته شیب شمالی به ترتیب ۱۲/۴ و ۱۲۵ سانتی‌متر و در پای این شیب به ترتیب ۱۵/۵ و ۱۳/۳ سانتی‌متر می‌باشد (جدول ۷).

در پشته شیب جنوبی، WR خاک‌رخ P<sub>3</sub> که در شیب مسطح قرار دارد، ۱۳/۵ و ضخامت رگولیت آن ۶۵ سانتی‌متر می‌باشد (جدول ۷). دو خاک‌رخ P<sub>3A</sub> و P<sub>3B</sub> که روی شیب محدب واقع شده‌اند، مقدار WR آن‌ها به ترتیب ۱۶/۴ و ۱۶/۲ و مقدار ضخامت رگولیت هر دو آن‌ها ۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. کاهش WR و افزایش ضخامت رگولیت در خاک‌رخ P<sub>3</sub>، نسبت به دو خاک‌رخ دیگر، اثر شکل شیب را بر شدت هوادیدگی نشان می‌دهد. در پای شیب جنوبی، WR خاک‌رخ P<sub>4B</sub> که در شیب مقعر قرار دارد، نسبت به دو خاک‌رخ دیگر حداقل و مقدار آن برابر ۱۰/۱ و ضخامت رگولیت آن‌ها حداکثر است، ۱۰۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار WR خاک‌رخ P<sub>4A</sub> که دارای شیب محدب است، حداکثر و مقدار آن ۱۵ به‌دست آمد. ضخامت رگولیت این خاک‌رخ که نسبت به دو خاک‌رخ دیگر کم‌ترین است، ۱۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید. WR خاک‌رخ P<sub>4</sub> با شیب مسطح، ۱۴/۶ (بین ۱۰/۱ و ۱۵) و ضخامت رگولیت آن ۴۰ سانتی‌متر (بین ۱۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر) تعیین گردید. در پشته شیب شمالی، شکل شیب‌های خاک‌رخ‌های P<sub>1</sub> و P<sub>1A</sub> محدب و خاک‌رخ‌های P<sub>1B</sub> و P<sub>1C</sub> دارای شیب مقعر می‌باشند. به‌طورکلی از طرف خاک‌رخ P<sub>1</sub> به‌طرف خاک‌رخ P<sub>1C</sub> که به ترتیب در شرق و غرب شیب شمالی قرار دارند، از تحدب شیب کاسته و به تقعر آن افزوده می‌شود. مقدار WR برای خاک‌رخ‌های P<sub>1</sub> و P<sub>1A</sub> که روی شیب محدب واقع شده‌اند، به ترتیب ۱۳/۷ و ۱۲/۸ و برای هر یک از خاک‌رخ‌های P<sub>1B</sub> و P<sub>1C</sub> که دارای شیب مقعر می‌باشند، ۱۱/۶ به‌دست آمد. سنگ مادر در خاک‌رخ P<sub>1</sub> در عمق ۳۰ سانتی‌متر (ضخامت رگولیت ۳۰ سانتی‌متر) و در خاک‌رخ P<sub>1A</sub> در عمق ۷۰ سانتی‌متری (ضخامت رگولیت ۷۰ سانتی‌متر) مشاهده گردید. خاک‌رخ‌های P<sub>1B</sub> و P<sub>1C</sub> بسیار عمیق و تا عمق ۲۰۰ سانتی‌متر، سنگ مادر در آن‌ها دیده نشد (ضخامت رگولیت حداقل ۲۰۰ سانتی‌متر). در پای شیب شمالی، یک رخنمون سنگ

جدول ۷- WR برای هر افق، WR و ضخامت رگولیت برای هر خاک‌رخ، هر موقعیت شیب و هر جهت شیب.

**Table 7. WR for each horizon, WR and regolith thickness for each profile, each slope position and each slope aspect.**

خاک‌رخ Soil profile	عمق Depth (cm)	افق Horizon	WR	Wt. Av. of WR	Wt. Av. of WR	Wt. Av. of WR
				(متوسط وزنی ضخامت رگولیت) (Wt. av. of reg. thickness) (شکل شیب)(Slope shape)	(متوسط وزنی ضخامت رگولیت) (Wt. av. of reg. thickness) (موقعیت شیب)(Slope position)	(متوسط وزنی ضخامت رگولیت) (Wt. av. of reg. thickness) (جهت شیب)(Slope aspect)
P3	0-20	A	9.76	13.5 (65 cm) (Flat)	15.4 (35 cm) (Backslope)	
	20-35	C	9.07			
	35-65	Cr	8.91			
	65-170	R	16.22			
P3A	0-20	A	10.21	16.4 (20 cm) (Convex)	15.4 (35 cm) (Backslope)	
	20-60	R1	17.42			
	60-180	R2	17.05			
P3B	0-20	A	9.90	16.2 (20 cm) (Convex)	15.4 (35 cm) (Backslope)	14.3 (43.4 cm) (Southern)
	20-60	R1	18.08			
	60-120	R2	16.80			
P4	0-15	A	10.19	14.6 (40 cm) (Flat)	15.4 (35 cm) (Backslope)	14.3 (43.4 cm) (Southern)
	15-40	Cr	8.48			
	40-140	R	16.80			
P4A	0-15	A	10.38	15.0 (15 cm) (Convex)	13.1 (51.7 cm) (Footslope)	
	15-60	R1	13.44			
	60-160	R2	16.34			
P4B	0-20	A	10.00	10.1 (100 cm) (Concave)	13.1 (51.7 cm) (Footslope)	
	20-70	C	8.59			
	70-100	Cr	9.11			
	>100	R	15.65			
P1	0-30	A	12.03	13.7 (30 cm) (Convex)	15.4 (35 cm) (Backslope)	
	30-130	R	14.14			
P1A	0-20	A	12.38	12.8 (70 cm) (Convex)	12.4 (125 cm) (Backslope)	
	20-70	Cr	11.69			
	70-180	R	13.39			
P1B	0-20	A	12.13	11.6 (200 cm) (Concave)	12.4 (125 cm) (Backslope)	
	20-140	C	11.65			
	140-200	Cr	11.32			
P1C	0-20	A	11.78	11.6 (200 cm) (Concave)	15.4 (35 cm) (Backslope)	14.0 (69.2 cm) (Northern)
	20-110	C	11.34			
	110-200	Cr	11.86			
P2A	0-15	A	12.28	14.9 (15 cm) (Concave)	15.4 (35 cm) (Backslope)	
	15-100	R	15.38			
P2	0-15	A	11.95	15 (15 cm) (Concave)	15.5 (13.3) (Footslope)	
	15-110	R	15.49			
P2B	0-10	A	12.20	16.5 (10 cm) (Concave)	15.4 (35 cm) (Backslope)	
	10-60	R1	17.53			
	60-120	R2	16.31			

جنوبی (۱۵/۴) از متوسط WR در پشته شیب شمالی  
(۱۲/۴) بیش‌تر و متوسط ضخامت رگولیت در پشته  
شیب جنوبی (۳۵ سانتی‌متر) از متوسط ضخامت

مقایسه متوسط WR و ضخامت رگولیت در  
موقعیت‌های شیب پستی و پای شیب دو جهت  
شیب شمالی و جنوبی: متوسط WR در پشته شیب

آن‌ها به صورت نسبت اکسیدهای کاتیون‌های بازی (عناصر متحرک) به اکسید یا اکسیدهای عناصر غیرمتحرک است، به عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای برآورد شدت هوادیدگی سنگ گرانیت انتخاب شدند. علاوه بر درجه و جهت شیب، شکل شیب نیز بر هوادیدگی سنگ مادر اثرگذار است. نظر به این‌که در شیب‌های محذب، آب کم‌تر می‌تواند در خاک نفوذ کند، هوادیدگی حداقل و در شیب‌های مقعر، حداکثر به دست آمد. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، در پشته شیب جنوبی، نسبت به پای آن، هوادیدگی کم‌تر شد. بر خلاف انتظار، در شیب شمالی، عکس این پدیده اتفاق افتاد. علت این امر، وجود یک رخنمون سنگی در پای شیب شمالی و مقعر بودن سطح زیادی از شیب شمالی می‌باشد. در پای شیب، مقدار شیب کم‌تر و در نتیجه آب بیش‌تری در خاک نفوذ می‌کند. پس قاعدتاً باید در چنین موقعیتی هوادیدگی بیش‌تر شود. در شیب جنوبی، میزان هوادیدگی کم‌تر از شیب شمالی به دست آمد.

### پیشنهاد

با توجه به این‌که عوامل پنج‌گانه مؤثر در تشکیل و تکامل خاک تعیین‌کننده میزان هوادیدگی خاک می‌باشند، پیشنهاد می‌شود تا در یک منطقه وسیع‌تر از منطقه مورد مطالعه حاضر، با تشکیل پایگاه‌های داده‌های خاک و داده‌های محیطی و با استفاده از مدل اسکورپن<sup>۱</sup> و سامانه‌های استنتاج مناسب، نقشه رقومی میزان هوادیدگی خاک تهیه گردد.

رگولیت در پشته شیب شمالی (۱۲۵ سانتی‌متر) کم‌تر شده است. این نشان می‌دهد که در شیب شمالی وقتی موقعیت شیب یکسان باشد، هوادیدگی بیش‌تر می‌شود. متوسط WR در پای شیب جنوبی (۱۳/۱) از متوسط WR در پای شیب شمالی (۱۵/۵) کم‌تر و متوسط ضخامت رگولیت در پای شیب جنوبی (۵۱/۷) سانتی‌متر) از متوسط ضخامت رگولیت در پای شیب شمالی (۱۳/۳ سانتی‌متر) بیش‌تر شده است. انتظار این بود که متوسط WR و متوسط ضخامت رگولیت در پای شیب شمالی به ترتیب کم‌تر و بیش‌تر از پای شیب جنوبی شود. علت این‌که چنین انتظاری برآورده نشد، همان وجود رخنمون سنگی در پای شیب شمالی می‌باشد (جدول ۷).

**مقایسه متوسط WR و ضخامت رگولیت در دو جهت شیب‌های شمالی و جنوبی:** متوسط WR در شیب شمالی (۱۴/۰) از متوسط WR در شیب جنوبی (۱۴/۳) کم‌تر شد. متوسط ضخامت رگولیت نیز در شیب شمالی (۶۹/۲ سانتی‌متر) از متوسط ضخامت رگولیت در شیب جنوبی (۴۳/۴ سانتی‌متر) بیش‌تر گشت. این نشان می‌دهد که در شیب شمالی هوادیدگی سنگ مادر و تکامل خاک بیش‌تر صورت گرفته است. این در حالی است که رخنمون سنگی در پای شیب شمالی تأثیر منفی بر این مقایسه دارد. به عبارت دیگر اگر این رخنمون وجود نداشت، اختلاف بین متوسط‌های فوق در دو جهت شیب بیش‌تر می‌شد (جدول ۷).

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به این‌که منطقه مورد مطالعه نیمه‌خشک است، میزان بارندگی در حدی است که در اثر هوادیدگی سنگ گرانیت، کاتیون‌های بازی آزاد و از خاک خارج می‌شوند. بنابراین شاخص‌هایی که فرمول



منابع

1. Arduino, E., Barberis, E., Ajmone Marsan, F., Zanini, E., and Franchini, M. 1986. Iron oxides and clay minerals within profiles as indicators of soil age in Northern Italy. *Geoderma*. 37: 1. 45-55.
2. Blackmore, L.C., Searl, P.L., and Daly, B.K. 1987. Methods for chemical analysis of soils. New Zealand Soil Bureau, Lower Hutt, New Zealand, 103p.
3. Blake, G.R. 1965. Bulk density. P 374-390, In: C.A. Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
4. Blum, A.E., and Stillings, L.L. 1995. Feldspar dissolution kinetics. *Rev. Mineral. Geochem.* 31: 1. 291-351.
5. Boul, S.W., Southard, R.J., Graham, R.C., and McDaniel, P.A. 2003. *Soil Genesis and Classification*. 5<sup>th</sup> ed., Iowa State University Press, Ames, Iowa 50010, 494p.
6. Brimhall, G.H., and Dietrich, W.E. 1987. Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: results on weathering and pedogenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 51: 3. 567-587.
7. Burt, R., Wilson, M.A., Keck, T.J., Dougherty, B.D., Strom, D.E., and Lindahl, J.A. 2003. Trace element speciation in selected smelter-contaminated soils in Anaconda and Deer Lodge Valley, Montana, USA. *Adv. Environ. Res.* 8: 1. 51-67.
8. Caspari, T., Bäuml, R., Norbu, C., Tshering, K., and Baillie, I. 2006. Geochemical investigation of soils developed in different lithologies in Bhutan, Eastern Himalayas. *Geoderma*. 136: 1-2. 436-458.
9. Compton, J.S., White, R.A., and Smith, M. 2003. Rare earth element behavior in soils and salt pan sediments of a semi-arid granitic terrain in the Western Cape, South Africa. *Chem. Geol.* 201: 3-4. 239-255.
10. De Paepe, P. 1992. *Principles of Petrology*. International Training Center for Post-graduate Soil Scientists, Gent University, Gent, Belgium, 122p.
11. Duzgoren-Aydin, N.S., Aydin, A., and Malpas, J. 2002. Re-assessment of chemical weathering indices: case study on pyroclastic rocks of Hong Kong. *Eng. Geol.* 63: 1-2. 99-119.
12. Eisenhauer, A., Meyer, H., Rachold, V., Tütken, T., Wiegand, B., Hansen, B.T., Spielhagen, R.F., Lindemann, F., and Kassens, H. 1999. Grain size separation and sediment mixing in Arctic Ocean sediments: evidence from the strontium isotope systematic. *Chem. Geol.* 158: 3-4. 173-188.
13. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P 383-411, In: A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 1*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
14. Guan, P., Ng, C.W.W., Sun, M., and Tang, W. 2001. Weathering indices for rhyolitic tuff and granite in Hong Kong. *Eng. Geol.* 59: 1-2. 147-159.
15. Hamdan, J., and Bumham, C.P. 1996. The contribution of nutrients from parent material in three deeply weathered soils of Peninsular Malaysia. *Geoderma*. 74: 3-4. 219-233.
16. Jackson, M.L. 1965. Free oxides, hydroxides, and amorphous aluminosilicates. P 578-603, In: C.A. Black (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 1*, American Society of Agronomy, Madison, WI.
17. Kautz, C.Q., and Martin, C.E. 2007. Chemical and physical weathering in New Zealand's Southern Alps monitored by bedload sediment major element composition. *Appl. Geochem.* 22: 8. 1715-1735.
18. Lee, Y.I., Lim, H.S., and Yoon, H.I. 2004. Geochemistry of soils of King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica: implications for pedogenesis in cold polar regions. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 68: 21. 4319-4333.
19. Marsan, F.A., Bain, D.C., and Duthie, D.M.L. 1988. Parent material uniformity and degree of weathering in a soil chronosequence, northwestern Italy. *Catena*. 15: 6. 507-517.

20. Mc Lean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. P 199-224, In: A.L. Page (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2, 2<sup>nd</sup> ed., American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
21. Meteorological administration of Isfahan province. 2013. Climatic Data. Meteorological administration of Isfahan province, Isfahan. Available at [http://www.esfahanmet.ir/DorsaPax/Data/Sub\\_0/File/92.09.03-mean.pdf](http://www.esfahanmet.ir/DorsaPax/Data/Sub_0/File/92.09.03-mean.pdf).
22. Muhs, D.R., and Benedict, J.B. 2006. Eolian additions to late Quaternary alpine soils, Indian Peaks Wilderness Area, Colorado Front Range. *Arctic, Antarctic and Alpine Res.* 38: 120-130.
23. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. P 181-197, In: A.L. Page (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2, 2<sup>nd</sup> ed., American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
24. Nesbitt, H.W., and Young, G.M. 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 48: 7. 1523-1534.
25. Oh, N.H., and Richter, D.D. 2005. Elemental translocation and loss from three highly weathered soil-bedrock profiles in the southeastern United States. *Geoderma.* 126: 1-2. 5-25.
26. Parsons, A.J. 2002. Hillslope Form. Routledge, Kentucky, USA, 232p.
27. Price, J.R., and Velbel, M.A. 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chem. Geol.* 202: 3-4. 397-416.
28. Roades, J.D. 1982. Soluble salts. P 167-178, In: A.L. Page (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2, 2<sup>nd</sup> ed., American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
29. Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Broderson, W.D. 2012. Field book for describing and sampling soils. Version 3.0, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 228p.
30. Schroeder, P.A., Melear, N.D., West, L.T., and Hamilton, D.A. 2000. Meta-gabbro weathering in the Georgia Piedmont, USA: implications for global silicate weathering rates. *Chem. Geol.* 163: 235-245.
31. Shabaniyan Boroujeni, N., Davoudian Dehkordi, A., and Panahdar, F. 2012. Geochemistry of Ghareh Boltagh granitoidic mass, Buin-Miandasht, south-east Aligudarz. *Petrology.* 3: 11. 59-76. (In Persian)
32. Sharp, B.L. 1991. Inductively coupled plasma spectrometry. P 63-109, In: K.A. Smith (Ed.), *Soil analysis.* 2<sup>nd</sup> ed., Marcel Dekker, New York.
33. Sposito, G., Lund, L.J., and Chang, A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid zone field soils amended sewage sludge: I. fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in solid phases. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 260-264.
34. Tavakoli, M. 2006. Investigation about impact of slope aspect and position on biological indices of soil quality in the lands under almond cultivation, Saman area, Chaharmahal va Bakhtiari province. Soil science M.Sc. Thesis, Shahrekord University, Shahrekord, 108p. (In Persian)
35. Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cations. P 159-164, In: A.L. Page (Ed.), Methods of soil analysis. Part 2, 2<sup>nd</sup> ed., American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
36. Tijani, M.N., Okunlola, O.A., and Abimbola, A.F. 2006. Lithogenic concentrations of trace metals in soils and saprolites over crystalline basement rocks: a case study from SW Nigeria. *J. Afr. Earth Sci.* 46: 5. 427-438.
37. Tripathi, J.K., and Rajamani, V. 1999. Geochemistry of the loessic sediments on Delhi ridge, eastern Thar desert, Rajasthan: implications for exogenic processes. *Chem. Geol.* 155: 3-4. 265-278.
38. Van Wambeke, A., and Tolomeo, M. 1988. Newhall Simulation Model. Department of Agronomy, Bradfield Hall, Cornell University, Ithaca, NY 14853.

39. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid method in soil analysis. *Experimental. Soil Science.* 79: 459-465.
40. Yousefifard, M., Ayoubi, Sh., and Jalalian, A. 2013. Weathering intensity and investigation about weathering indices in some soils developed on igneous rocks in west-north of Iran. *J. Water Soil.* 27: 2. 266-281. (In Persian)



## **Investigation about the effect of slope characteristics on soils, forming from granite, using the most appropriate weathering index in semi-arid west of Isfahan province**

**S. Zakerhaghighi<sup>1</sup> and \*J. Givi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, University of Shahrekord,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Shahrekord

Received: 02/15/2016; Accepted: 09/05/2016

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Granite forming primary minerals and the clay minerals that are formed from weathering of these minerals, determine characteristics of the soils that originate from the granite. Slope characteristics through their effect on soil moisture and temperature, cause changes in soil. The weathering in the soil can be expressed with the most appropriate weathering indices. This study aimed to investigate the soil formation on granite in various aspects, situations and forms of slope, using the most appropriate indices.

**Materials and Methods:** Gharreh–Boltagh granitic mass is located in semi-arid west of Isfahan province. In each of the northern and southern aspects of the slope, three profiles on the backslope and three profiles on the footslope were excavated, described and soil and rock samples were taken from their horizons. Physical and chemical properties of the samples were measured. Of the eight weathering indices, the index with the highest correlation with the ratio of pedogenic iron to total iron, the clay content and bulk density, was selected as the most appropriate index. In order to assess the degree of chemical weathering from subsoil towards topsoil and in various aspects, positions and shapes of the slopes, this index was used.

**Results:** Significant correlations between the weathering indices and the ratio of pedogenic iron to total iron and bulk density and non-significant correlations between these indices and the clay content were observed. Of the indices, the index of WR was the best index to express the intensity of weathering. The elements Ca, Na and Mg have been used as mobile elements in the formula of this index. Calcium and sodium in the plagioclase and magnesium in the biotite are present. The average value of WR for granite and for regolith, derived from the weathering of this rock were calculated as 15.8 and 10.9, respectively. On convex slopes, the average values of WR and the regolith thickness were determined as 14.8 and 31 cm, respectively. These values for the concave slopes, were calculated as 13.3 and 90 cm, respectively. The average values of WR and the regolith thickness were obtained as 13.9 and 80 cm on the backslopes and as 14.3 and 32.5 cm for the footslopes, respectively. The reason for the higher average value of WR and the lower average value of regolith thickness in the footslopes is presence of a granitic rock outcrop at the northern footslope. On the southern slope, the average values of WR and the regolith thickness were calculated as 14.3 and 43.7 cm and on the northern slope, these values were determined as 14.0 and 69.2 cm, respectively.

**Conclusion:** Given that the studied area is semi-arid, the amount of rain is at a level that as a result of granite weathering, basic cations are released and leached from the soil. This is the reason why the indices which are determined by the ratio of basic cations oxides to immobile elements oxides, were selected as the most appropriate weathering indices. In addition to degree and aspect, shape of the slope also affects parent rock weathering. Since less water can penetrate the soil on convex slopes, weathering in this type of slope and in concave one was minimum and maximum, respectively. As it was expected, weathering was less on back of the southern slope, relative to its foot. Unexpectedly, on the northern slope, contrary to this phenomenon happened, because there is a rock outcrop at the footslope. At the footslope, the slope is less. As a result, more water penetrates the soil and more weathering occurs. In the southern slope, weathering was less than the northern slope.

**Keywords:** Slope characteristics, Granite, Weathering index

\* Corresponding Author; Email: javgivi@gmail.com