

محور مقاله: پیدایش و رده‌بندی خاک

کمی کردن شاخص‌های ژئوشیمیایی و استفاده از آنها به عنوان معیار در تشکیل و طبقه‌بندی خاک

احمد حیدری^{۱*}، مریم اوسط^۲^{۱*} استاد گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران^۲ استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان.

چکیده

شاخص‌های ژئوشیمیایی ابزارهای قدرتمندی در ارزیابی وضعیت توسعه و کیفیت بیوفیزیکی و شیمیایی خاک هستند. مقادیر شاخص‌های ژئوشیمیایی می‌توانند در تفسیر جنبه‌های مختلف کشاورزی، مهندسی و محیط زیستی خاک استفاده شوند. یکی از مهمترین کاربردهای شاخص‌های ژئوشیمیایی، استفاده از آنها در تفکیک رده‌های خاک بر اساس مرحله هوادیدگی آنها است. شاخص‌های ژئوشیمیایی بر اساس اینکه از چه عناصری در محاسبات آنها استفاده شده باشد به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. از جمله شاخص‌های موجود، ۱- نسبت عناصر متحرک به عناصر متحرک، ۲- نسبت عناصر غیرمتحرک به عناصر متحرک، ۳- نسبت عناصر متحرک قلیایی به عناصر غیرمتحرک و ۴- نسبت عناصر متحرک سیلیسی به عناصر غیرمتحرک قادر هستند درجه هوادیدگی و کلاس‌های رده، تحت رده، گروه‌های بزرگ و زیرگروه‌های خاک را با دقت قابل قبولی از هم تفکیک نمایند. با توجه به شرایط اقلیمی و هوادیدگی کم تا متوسط، شاخص‌های ژئوشیمیایی شاخص‌های کارآمدی برای شناسایی خاک‌های مورد مطالعه رده‌های مختلف نشان دادند. مطالعه حاضر نشان داد که شاخص‌های وگت (V)، نسبت بازها به آلومینیم (B/R)، نسبت پتاسیم به سدیم (a) و حاصل شاخص هوادیدگی (PWI) بهترین قابلیت را در شناسایی کلاس‌های مختلف خاک و تشخیص وضعیت هوادیدگی آنها دارا می‌باشند.

کلمات کلیدی: ژئوشیمی خاک، هوادیدگی خاک، پیدایش خاک، طبقه‌بندی خاک

مقدمه

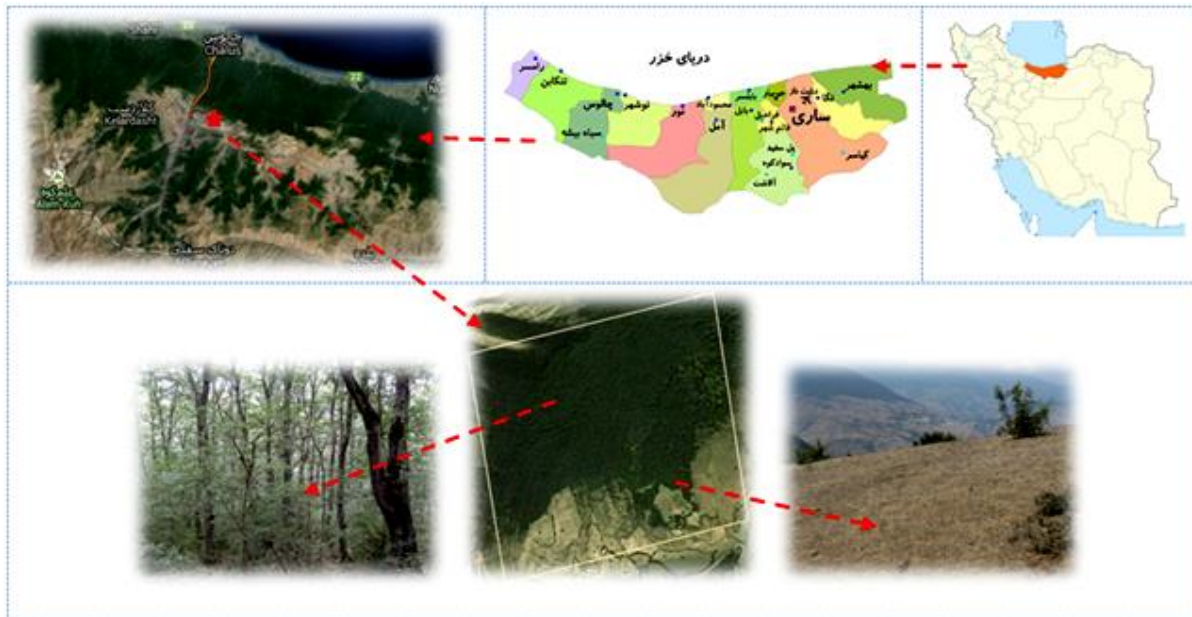
بسیاری از حیطه‌های علمی مرتبط با محیط زیست، از جمله علوم خاک در ابتدا به عنوان حیطه‌های توصیفی و کیفی آغاز به کار کردند. با وجود این روش‌های کمی مطالعات در صورت توسعه، برای همه زمینه‌های علمی مطلوب و ایده‌آل هستند. از ابتدای توسعه پدولوژی، روش‌های نیمه کمی و کمی متعددی در رابطه با مورفولوژی خاک، تشریح و طبقه‌بندی خاک‌ها ارائه شده است (Osat و همکاران، ۲۰۱۶). روش‌های کمی کاربرد دانش را در تجزیه و تحلیل گذشته، حال و آینده تحقیقات را در حیطه دانش مورد نظر افزایش می‌دهد. روش‌های توصیفی، نیمه کمی (Harden، ۱۹۸۲) و معیارهای کمی در زمینه زمین‌نما، اقلیم، میکرو (مورفولوژی، فیزیکو-شیمیایی، بیولوژیکی، توپوگرافی و سنجش از دور ارائه شده است (Jenny، ۱۹۴۱). همچنین در حال حاضر شاخص‌های مورفولوژیکی، شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیکی، ژئوشیمیایی و سایر انواع شاخص‌ها در علوم خاک کاربرد دارند (Bockheima و همکاران، ۲۰۱۴). تاکنون بیش از ۳۰ شاخص ژئوشیمیایی برای ارزیابی وضعیت هوادیدگی خاک‌ها ارائه شده است (Souri و همکاران، ۲۰۰۶). شاخص‌های ژئوشیمیایی بر اساس نحوه محاسبه در دو دسته کلی قرار می‌گیرند. یک دسته بر اساس نسبت اتمی عناصر محاسبه می‌شود که شاخص هوادیدگی پارکر (WIP) از آن جمله است (Parker، ۱۹۷۰). دسته دوم شامل شاخص‌های ژئوشیمیایی محاسبه شده بر اساس نسبت اکسیدهای عناصر است که خود به چهار زیرکلاس قابل تقسیم هستند و شامل ۱- نسبت عناصر متحرک به عناصر متحرک، ۲- نسبت عناصر غیرمتحرک به عناصر متحرک، ۳- نسبت عناصر متحرک قلیایی به عناصر غیرمتحرک و ۴- نسبت عناصر متحرک سیلیسی به عناصر غیرمتحرک می‌باشند (جدول ۱). تعداد ۲۵ شاخص ژئوشیمیایی در گروه‌های مختلف مذکور مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که معرفی آنها در جدول ۱ صورت گرفته است. هدف از این مطالعه بررسی امکان استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی در تعیین درجه هوادیدگی و تعیین کلاس خاک‌های مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۱۰۰ هکتار در روستای باندر از توابع بخش کلاردشت شهرستان چالوس در استان مازندران و در مرزهای $40^{\circ}51' N$ و $36^{\circ}26' - 36^{\circ}26' 2/17' E$ و $51^{\circ}19' 40/97' - 51^{\circ}18' 52/86'$ واقع شده است. روستای باندر قسمتی از منطقه حفاظت شده البرز میانی

* ایمیل نویسنده مسئول: ahaidari@ut.ac.ir

بوده و از پوشش گیاهی و جانوری متنوعی برخوردار است. شکل ۱ نمایی از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار (۲۰۱۲) JNSM به ترتیب زیریک و ترمیک برآورد گردید (USDA-NRCS, 2012b). تاثیر جهت شیب در منطقه باعث به وجود آمدن تغییرات مشخص در خرد اقلیم‌ها و پوشش گیاهی گردیده و بنابراین خاک‌های متنوعی در این وسعت کم به چشم می‌خورد.



شکل ۱. نمایی از موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه دو پوشش گیاهی عمده در منطقه (جنگل و مرتع)

ارتفاع این منطقه حدود ۱۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا و ۵۰۰ متر بالاتر از مرزن آباد است. اختلاف ارتفاع ۵۰۰ متری از مرزن آباد باعث می‌شود که این روستا گاهی بالاتر از ابرها قرار گیرد و یا از مه پوشیده شود. بارندگی این منطقه برای تأمین نیاز آبی پوشش جنگلی به‌خصوص در شیب‌های جنوبی که آفتاب بیش‌تری دریافت می‌کنند، کافی نیست. به‌همین دلیل است که شیب‌های جنوبی بیشتر حالت مرتعی و بوته‌زار دارد. در حالی که شیب‌های شمالی معمولاً دارای پوشش جنگلی هستند که بخشی از آب مورد نیاز خود را از طریق مه دریافت می‌کنند. نمونه‌برداری از ۵۶ پروفیل و ۴۴ مته به‌صورت شبکه‌ای نسبتاً منظم با فواصل ۱۰۰ متر انجام شد. تشریح پروفیل‌ها بر اساس روش استاندارد (USDA-NRCS, 2012a) و طبقه‌بندی خاک‌ها مطابق با سیستم جامع رده‌بندی امریکایی (Soil Survey Staff, 2014) صورت گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری درصد عناصر اصلی نمونه‌های خاک و سنگ منطقه از روش طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) استفاده گردید. در آنالیز XRF نمونه‌های پودر شده با یک ماده چسبنده بی اثر مخلوط شده و تحت فشار به قرص‌هایی تبدیل می‌گردد که می‌توان آن‌ها را در دستگاه قرار داد. قرص‌های تهیه شده در دستگاه XRF (مدل SPECTRO XEPOS) قرار گرفت و درصد عناصر تعیین گردید. شاخص‌های ژئوشیمیایی محاسبه شده برای خلاصه سازی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. همانگونه که ملاحظه می‌شود ۲۵ شاخص از شاخص‌های ارائه شده در زمینه تعیین وضعیت هوادیدگی در دو دسته کلی نسبت اتمی (درصد اتم‌های تشکیل دهنده یا شاخص هوادیدگی پارکر (WIP) و نسبت اکسیدهای عناصر به هم که خود شامل پنج زیر مجموعه (نسبت عناصر متحرک به عناصر متحرک؛ نسبت عناصر غیرمتحرک به عناصر متحرک؛ نسبت عناصر متحرک بر پایه عناصر قلبیایی؛ نسبت عناصر متحرک به عناصر غیرمتحرک بر پایه سیلیس؛ و نسبت عناصر غیرمتحرک به عناصر غیرمتحرک) می‌باشند که هر کدام شاخص‌های مختلفی را شامل می‌شوند (جدول ۱). جدول ۱ ضمن ارائه دسته‌بندی شاخص‌ها، سرنام‌ها، فرمول‌های محاسبه و منابع مورد استفاده شاخص‌های مورد استفاده را بیان نموده است.

نتایج و بحث

خاک‌های مورد مطالعه در چهار رده Entisols، Inceptisols، Mollisols و Alfisols طبقه‌بندی شدند. جدول ۲ نتایج طبقه‌بندی خاک‌ها تا سطح زیرگروه و مقادیر شاخص‌های ژئوشیمیایی به دست آمده را نشان می‌دهد. رنگ‌های مختلف در هر ستون از حداکثر با تندترین رنگ قرمز تا رنگ آبی برای کمترین مقادیر متغیر است. همانگونه که ملاحظه می‌شود شاخص‌های وگت (V)، نسبت بازها به آلومینیم (B/R)، نسبت پتاسیم به سدیم (a) و حاصل شاخص هوادیدگی (PWI) بهترین قابلیت را در شناسایی کلاس‌های مختلف خاک و تشخیص وضعیت هوادیدگی آنها دارا می‌باشند.

جدول ۱- گروه‌های مختلف شاخص‌های ژئوشیمیایی، سرنام‌ها، فرمول‌های محاسبه و منابع مورد استفاده

| No. | Index class | Index subclass | Chemical Weathering Index (Symbol) | Formula | Reference |
|-----|--------------|---|---|---|--------------------------------|
| 1 | Atomic Ratio | Atomic Proportion | Weathering Index of Parker (WIP) | $(2K_2O/0.25+2Na_2O/0.35+CaO/0.7+MgO/0.9)\times 100$ | (Parker, 1970) |
| 2 | Oxides ratio | (Mobile/Mobile) | Potassium/Sodium (a) | K_2O/Na_2O | (Ruxton, 1968) |
| 3 | | Alkaline Ratio (AR) | $K_2O/(K_2O+Na_2O)\times 100$ | (Hamois and Moore, 1988) | |
| 4 | | (Immobile/Mobile) | Chemical Index of Weathering (CIW) | $Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O)\times 100$ | (Hamois, 1988) |
| 5 | | | Chemical Index of Alteration (CIA) | $Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+K_2O+Na_2O)\times 100$ | (Nesbitt and Young, 1984) |
| 6 | | | Vogt Ratio (V) | $(Al_2O_3+K_2O)/(MgO+CaO+Na_2O)$ | (Roaldset, 1972) |
| 7 | | | Plagioclase Index of Alteration (PIA) | $(Al_2O_3-K_2O)/(Al_2O_3+CaO+Na_2O-K_2O)\times 100$ | (Fedo et al., 1995) |
| 8 | | | Chemical Proxy of Alteration (CPA) | $Al_2O_3/(Al_2O_3+Na_2O)\times 100$ | (Cullers, 2000) |
| 9 | | | Wethering Index (WI) | $Al_2O_3/(CaO+Na_2O)$ | (Zhang et al., 2007) |
| 10 | | | (Mobile/Immobile) Alkali Element based | (Potassium-Sodium) Aluminum (ba1) | $(K_2O+Na_2O)/Al_2O_3$ |
| 11 | | (Calcium-Magnesium) Aluminum (ba2) | | $(CaO+MgO)/Al_2O_3$ | (Rocha-Filho et al., 1985) |
| 12 | | (Potassium-Sodium-Calcium) Aluminum (Ba) | | $(K_2O+Na_2O+CaO)/Al_2O_3$ | (Rocha-Filho et al., 1985) |
| 13 | | Bases/Alumina (B/A) | | $(K_2O+Na_2O+CaO+MgO)/Al_2O_3$ | (Birkeland, 1999) |
| 14 | | Bases/R ₂ O ₃ (B/R) | | $(K_2O+Na_2O+CaO+MgO)/(Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2)$ | (Birkeland, 1999) |
| 15 | | Bases/(Alumina+Bases) (B) | | $(K_2O+Na_2O+CaO)/(Al_2O_3+K_2O+Na_2O+CaO)$ | (Birkeland, 1999) |
| 16 | | (Mobile/Immobile) Silica based | Silica/Alumina (R) | SiO_2/Al_2O_3 | (Ruxton, 1968) |
| 17 | | | Product of Weathering Index (PWI) | $[SiO_2/(TiO_2+Fe_2O_3+SiO_2+Al_2O_3)]\times 100$ | (Souri et al., 2006) |
| 18 | | | Silica-Titanium Index (STI) | $(SiO_2/TiO_2)/[(SiO_2/TiO_2)+(SiO_2/Al_2O_3)+(Al_2O_3/TiO_2)]\times 100$ | (Jayawardena and Izawa, 1994b) |
| 19 | | | Silica/R ₂ O ₃ (Si/R) | $SiO_2/(Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2)$ | (Birkeland, 1999) |
| 20 | | | Silica/Iron | $SiO_2/(Fe_2O_3)$ | (Ruxton, 1968) |
| 21 | | | Weathering Index 1 (WI-1) | $(SiO_2+CaO)/(Fe_2O_3+TiO_2)$ | (Damody et al., 2005) |
| 22 | | | Weathering index 2 (WI-2) | $SiO_2/(Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2)$ | (Birkeland, 1999) |
| 23 | | | Silica/Sesquioxides (Si/Ses) | $SiO_2/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$ | (Birkeland, 1999) |
| 24 | | | Silica/Iron (Si/R-2) | $(SiO_2+CaO)/(Al_2O_3+Fe_2O_3+TiO_2)$ | (Damody et al., 2005) |
| 25 | | (Immobile/Immobile) | Titanium Zirconum | $TiO_2/ZrO_2\times 100$ | (Sudom and Amaud, 1971) |

شکل ۲ قابلیت و توانمندی شاخص‌های منتخب و کارآمد در تفکیک افق‌های خاک با درجات مختلف هوادیدگی را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود این شاخص‌های منتخب همگی توانایی تمایز بین افق‌های خاک را دارا هستند و بهترین شاخص در تفکیک افق‌ها شاخص حاصل هوادیدگی می‌باشد که در افق A حداکثر بوده و با افزایش عمق کاهش پیدا می‌کند. شکل ۳ نشان دهنده قابلیت شاخص‌های منتخب ژئوشیمیایی را در تفکیک زیرگروه‌های خاک نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود شاخص وگت (V) و شاخص نسبت پتاسیم به سدیم (a) قابلیت بیشتری نسبت به سایر شاخص در تفکیک زیرگروه‌ها دارا می‌باشند. شکل ۴ نیز قابلیت شاخص‌های منتخب را در تفکیک زیرگروه‌های مربوط به رده‌های مختلف مورد مطالعه در منطقه را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود شاخص‌ها با توانمندی مناسبی توانسته‌اند زیرگروه‌های رده‌های مالی‌سول، آلفی‌سول، اینسپتی-سول و انتی‌سول را از هم تفکیک نمایند.

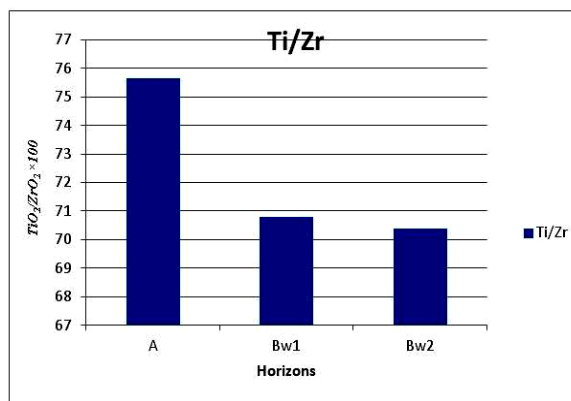
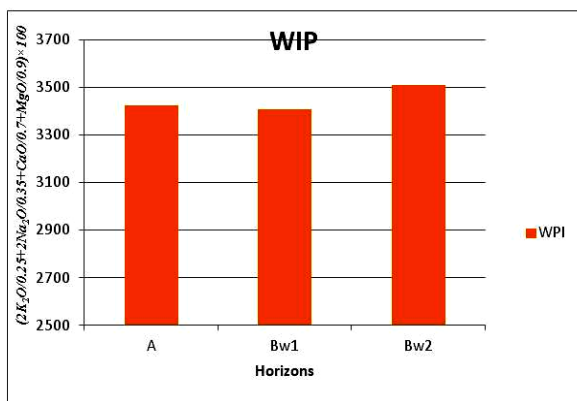
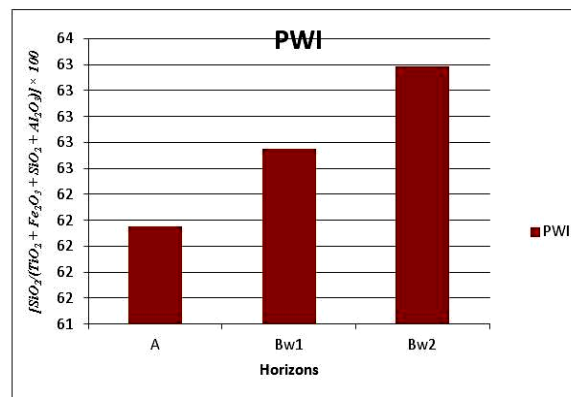
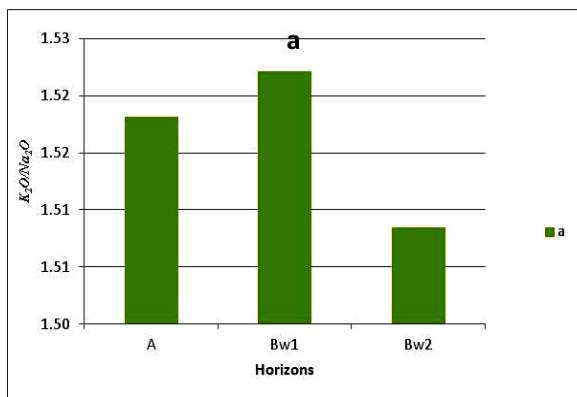
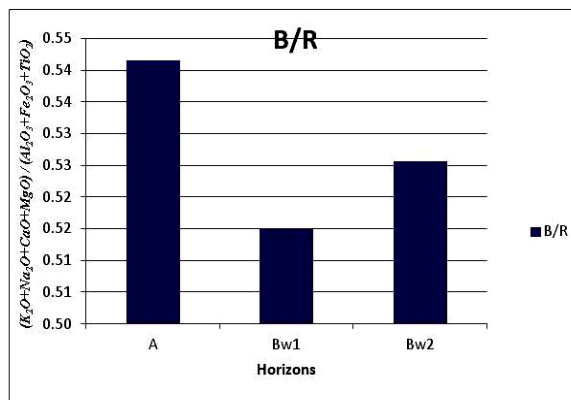
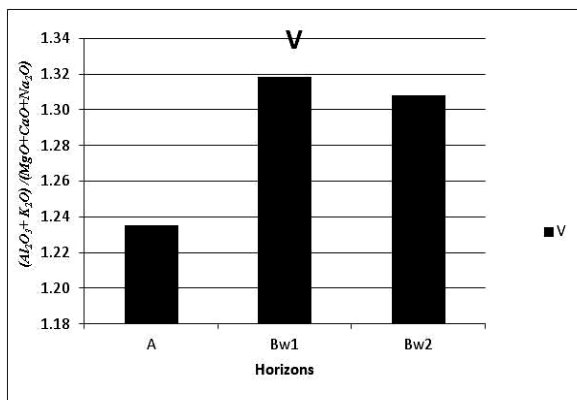
نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی در تفکیک و شناسایی افق‌ها و لایه‌های خاک، رده‌ها، تحت‌رده‌ها، گروه‌های بزرگ و زیرگروه‌های متعلق به رده‌های مختلف کمک شایان توجهی دارند و می‌توانند به عنوان معیاری در تفکیک کاتگوری‌های مختلف در سیستم‌های رده‌بندی

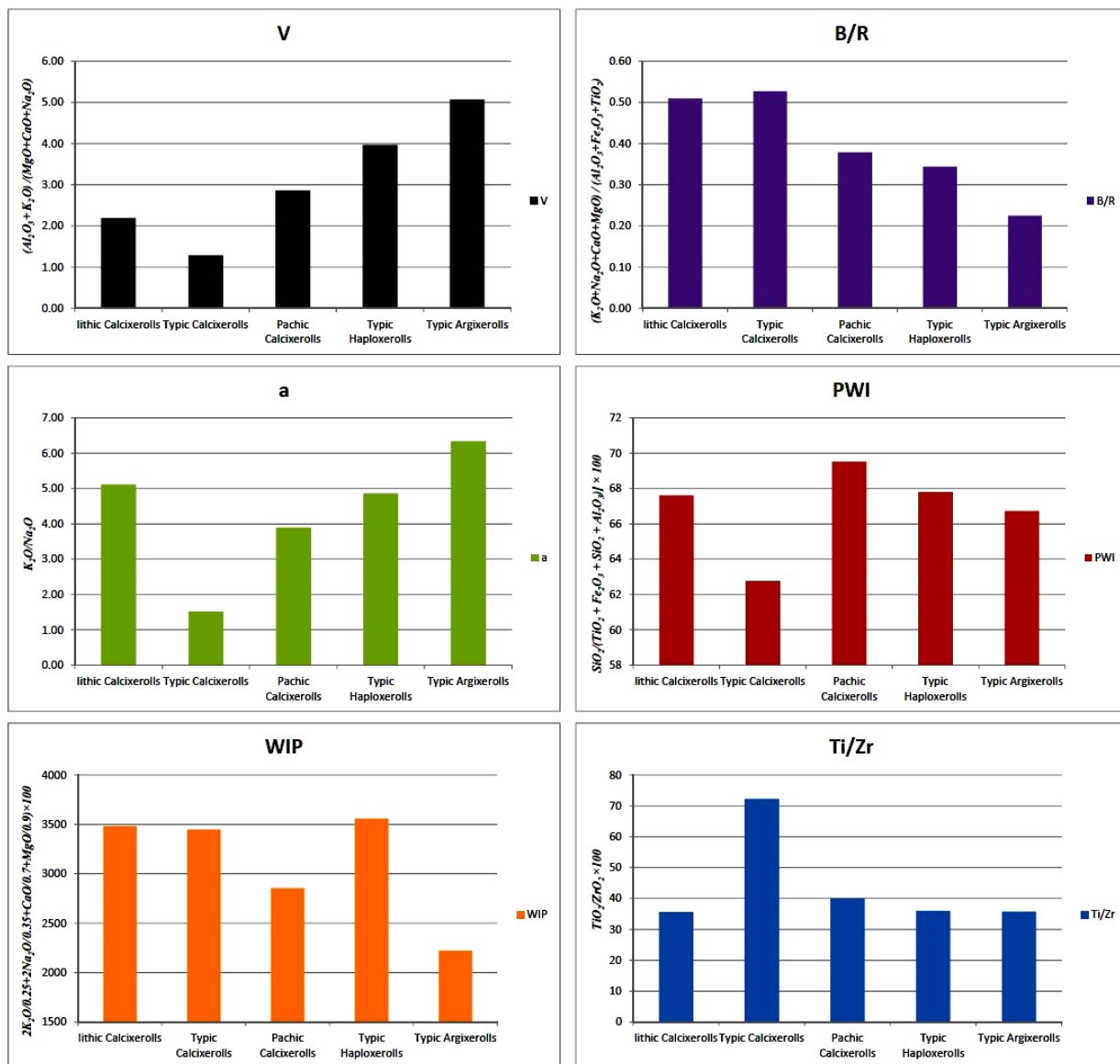
مورد استفاده قرار بگیرند. استفاده از این شاخص‌ها می‌تواند در کمی‌سازی معیارهای مطالعات تشریح، طبقه‌بندی و مدیریت خاک تحولی اساسی ایجاد نماید. بسته به درجه پیشرفت هوازدگی ممکن است شاخص‌های متفاوتی برای شرایط مختلف اقلیمی، انواع مختلف مواد مادری، و شرایط تشکیل خاک قابل استفاده باشند. حسن این روش این است که می‌توان با یک آنالیز کامل از عناصر با روش XRF یا ICP یا سایر روش‌ها کلیه شاخص‌ها را مورد محاسبه قرار داد و متناسب با شرایط موجود شاخص‌های با کارکرد مطلوب را به دست آورد. در منطقه مورد مطالعه که اقلیم نیمه خشک تا نیمه مرطوب را دارد شاخص‌های مناسب شاخص وگت (V)، نسبت بازها به آلومینیم (B/R)، نسبت پتاسیم به سدیم (a) و حاصل شاخص هوازدگی (PWI) بودند.

جدول ۲- نتایج رده‌بندی خاک‌های مورد مطالعه و مقادیر به دست آمده برای شاخص‌های ژئوشیمیایی

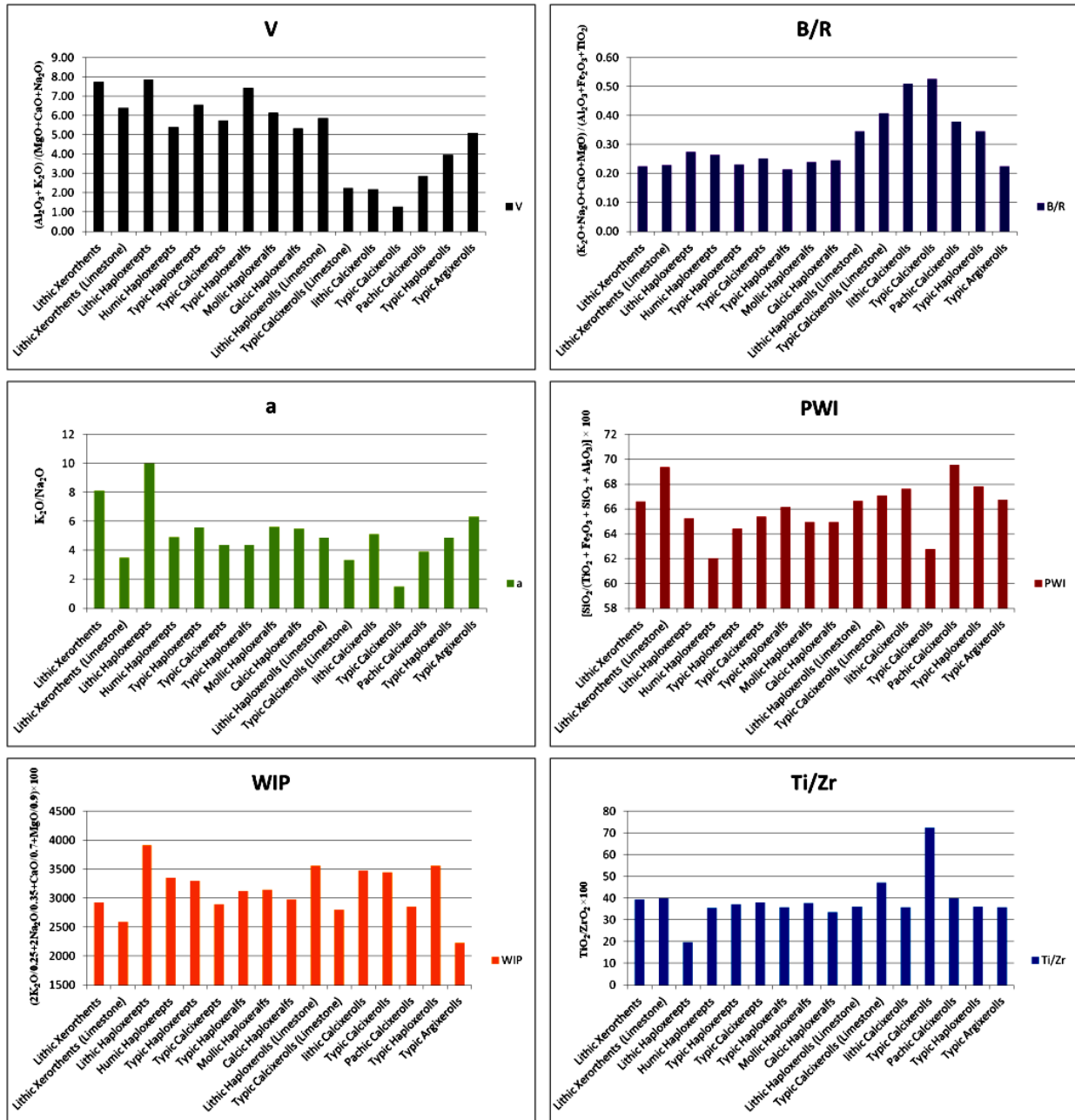
| Subgroup | (Immobile/Mobile) | | | | | (Mobile/Immobile) Alkali Element based | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-----------------|-------|--------------------------------|-------|--|------|-------|------|------|------------------------------------|------------------------|
| | CIW | CIA | V | PIA | CPA | WI | bal | ba2 | Ba | B/A | B/R | B |
| Lithic Xerorthents | ۹۳/۳۷ | ۹۷/۷۴ | ۷/۷۵ | ۹۲/۲۰ | ۹۷/۷۴ | ۱/۲۷ | -/۱۸ | -/۱۵ | -/۲۳ | -/۲۴ | -/۲۲ | -/۱۹ |
| Lithic Xerorthents (Limestone) | ۹۱/۷۱ | ۹۶/۰۰ | ۶/۳۹ | ۹۰/۴۳ | ۹۶/۰۰ | ۱/۵۲ | -/۱۹ | -/۱۴ | -/۲۴ | -/۲۲ | -/۲۳ | -/۱۹ |
| Lithic Haploxerepts | ۹۴/۷۸ | ۹۷/۵۷ | ۷/۸۷ | ۹۳/۴۴ | ۹۷/۵۷ | -/۶۴ | -/۲۴ | -/۱۴ | -/۲۷ | -/۲۸ | -/۲۸ | -/۲۱ |
| Humic Haploxerepts | ۹۴/۷۸ | ۹۶/۴۶ | ۵/۴۰ | ۹۱/۳۴ | ۹۶/۴۶ | -/۹۶ | -/۲۱ | -/۱۸ | -/۲۵ | -/۴۰ | -/۲۷ | -/۲۰ |
| Typic Haploxerepts | ۹۴/۷۲ | ۹۷/۰۱ | ۶/۵۶ | ۹۳/۷۴ | ۹۷/۰۱ | ۱/۶۸ | -/۲۰ | -/۱۵ | -/۲۲ | -/۲۵ | -/۲۳ | -/۱۸ |
| Typic Calcixerepts | ۹۰/۴۶ | ۹۶/۴۶ | ۵/۷۵ | ۸۸/۹۵ | ۹۶/۴۶ | -/۹۳ | -/۱۹ | -/۱۸ | -/۲۴ | -/۲۸ | -/۲۵ | -/۲۱ |
| Typic Haploxeralfs | ۹۶/۱۰ | ۹۶/۳۰ | ۷/۴۴ | ۹۵/۳۶ | ۹۶/۳۰ | ۱/۴۹ | -/۲۰ | -/۱۲ | -/۲۱ | -/۲۲ | -/۲۱ | -/۱۷ |
| Mollic Haploxeralfs | ۹۴/۹۰ | ۹۶/۹۳ | ۶/۱۵ | ۹۳/۹۰ | ۹۶/۹۳ | -/۳۴ | -/۲۰ | -/۱۶ | -/۲۳ | -/۲۷ | -/۲۴ | -/۱۸ |
| Calcic Haploxeralfs | ۹۲/۷۰ | ۹۷/۲۷ | ۵/۳۳ | ۹۱/۴۹ | ۹۷/۲۷ | -/۷۸ | -/۱۸ | -/۱۹ | -/۲۳ | -/۲۷ | -/۲۵ | -/۱۹ |
| Lithic Haploxerolls (Limestone) | ۸۷/۷۰ | ۹۵/۸۳ | ۵/۸۵ | ۹۱/۲۴ | ۹۶/۴۶ | ۱/۰۵ | -/۲۵ | -/۲۷ | -/۲۵ | -/۵۳ | -/۳۴ | -/۲۶ |
| Typic Calcixerolls (Limestone) | ۷۹/۵۰ | ۹۵/۶۶ | ۲/۲۳ | ۷۶/۷۴ | ۹۵/۶۶ | -/۰۷ | -/۲۰ | -/۴۷ | -/۴۱ | -/۶۷ | -/۴۱ | -/۲۹ |
| lithic Calcixerolls | ۷۲/۰۹ | ۹۵/۸۳ | ۲/۲۰ | ۶۷/۸۸ | ۹۵/۸۳ | -/۳۶ | -/۲۷ | -/۵۱ | -/۵۹ | -/۷۸ | -/۵۱ | -/۳۷ |
| Typic Calcixerolls | ۶۸/۷۹ | ۹۲/۶۰ | ۱/۲۹ | ۶۵/۹۶ | ۹۲/۶۰ | -/۴۰ | -/۲۰ | -/۷۹ | -/۵۸ | -/۹۹ | -/۵۳ | -/۳۷ |
| Pachic Calcixerolls | ۸۲/۷۶ | ۹۵/۶۸ | ۲/۸۷ | ۸۱/۰۴ | ۹۵/۶۸ | -/۸۷ | -/۲۲ | -/۳۸ | -/۳۷ | -/۵۹ | -/۲۸ | -/۲۷ |
| Typic Haploxerolls | ۸۷/۷۰ | ۹۵/۸۳ | ۲/۹۷ | ۸۵/۰۱ | ۹۵/۸۳ | ۱/۱۲ | -/۲۵ | -/۲۷ | -/۳۵ | -/۵۳ | -/۳۴ | -/۲۶ |
| Typic Argixerolls | ۹۰/۵۲ | ۹۸/۰۳ | ۵/۰۸ | ۸۹/۲۹ | ۹۸/۰۳ | -/۸۶ | -/۱۵ | -/۲۰ | -/۲۳ | -/۲۵ | -/۲۳ | -/۱۹ |
| Subgroup | Atomic Ratio | (Mobile/Mobile) | | (Mobile/Immobile) Silica based | | | | | | | TiO ₂ /ZrO ₂ | |
| | WIP | a | AR | SA=R | PWI | STI | Si/R | Si/Fe | WI-1 | WI-2 | | Sa _f =Si/se |
| Lithic Xerorthents | ۲۹۲۴/۵۱ | ۸/۱۲ | ۸۷/۵۵ | ۳/۰۹ | ۶۶/۵۸ | ۷۰/۵۳ | ۲/۰۸ | ۷/۵۵ | ۶/۴۵ | ۲/۱۱ | ۲/۱۹ | ۳۹/۲۰ |
| Lithic Xerorthents (Limestone) | ۲۵۹۲/۷۶ | ۳/۴۸ | ۷۷/۶۷ | ۳/۲۱ | ۶۹/۳۶ | ۷۱/۷۶ | ۲/۲۶ | ۹/۵۴ | ۷/۷۸ | ۲/۲۰ | ۲/۴۰ | ۴۰/۰۰ |
| Lithic Haploxerepts | ۳۹۱۵/۲۸ | ۱/۰۰ | ۸۷/۷۸ | ۲/۶۱ | ۶۵/۲۴ | ۶۹/۲۰ | ۱/۸۸ | ۷/۹۲ | ۶/۸۳ | ۱/۹۰ | ۱/۹۶ | ۱۹/۷۶ |
| Humic Haploxerepts | ۳۳۴۸/۸۳ | ۴/۸۹ | ۸۲/۹۰ | ۲/۵۷ | ۶۲/۰۴ | ۶۷/۲۰ | ۱/۷۲ | ۶/۰۸ | ۵/۲۵ | ۱/۷۴ | ۱/۸۱ | ۳۵/۴۴ |
| Typic Haploxerepts | ۳۲۰۲/۶۱ | ۵/۵۷ | ۸۴/۴۴ | ۲/۷۲ | ۶۶/۲۹ | ۶۹/۴۶ | ۱/۸۱ | ۶/۳۶ | ۵/۴۸ | ۱/۸۳ | ۱/۹۱ | ۳۷/۰۴ |
| Typic Calcixerepts | ۲۸۹۵/۵۷ | ۴/۳۷ | ۸۱/۰۰ | ۲/۸۱ | ۶۵/۳۶ | ۶۹/۸۳ | ۱/۸۹ | ۶/۸۶ | ۵/۹۴ | ۱/۹۴ | ۱/۹۹ | ۳۷/۹۷ |
| Typic Haploxeralfs | ۳۱۲۸/۰۷ | ۴/۲۵ | ۸۱/۱۸ | ۲/۹۵ | ۶۶/۱۵ | ۷۰/۵۹ | ۱/۹۵ | ۶/۸۴ | ۵/۸۰ | ۱/۹۶ | ۲/۰۶ | ۳۵/۷۸ |
| Mollic Haploxeralfs | ۳۱۴۶/۹۱ | ۵/۶۱ | ۸۴/۵۷ | ۲/۸۵ | ۶۶/۹۶ | ۶۹/۸۳ | ۱/۸۶ | ۶/۲۹ | ۵/۳۹ | ۱/۸۷ | ۱/۹۶ | ۳۷/۸۲ |
| Calcic Haploxeralfs | ۲۹۷۸/۹۴ | ۵/۵۰ | ۸۴/۶۰ | ۲/۸۰ | ۶۶/۹۲ | ۶۹/۹۹ | ۱/۸۵ | ۶/۳۶ | ۵/۵۷ | ۱/۸۸ | ۱/۹۴ | ۳۳/۷۰ |
| Lithic Haploxerolls (Limestone) | ۳۵۵۹/۸۹ | ۴/۸۷ | ۸۲/۸۵ | ۳/۰۱ | ۶۶/۶۴ | ۷۲/۱۰ | ۲/۰۱ | ۷/۲۳ | ۶/۲۷ | ۲/۱۷ | ۲/۲۲ | ۳۶/۰۹ |
| Typic Calcixerolls (Limestone) | ۲۸۰۵/۵۲ | ۲/۳۲ | ۷۶/۷۹ | ۳/۲۴ | ۶۷/۱۰ | ۷۲/۱۷ | ۲/۰۴ | ۶/۰۵ | ۵/۵۷ | ۲/۱۷ | ۲/۱۵ | ۴۷/۲۰ |
| lithic Calcixerolls | ۳۴۸۱/۹۸ | ۵/۱۳ | ۸۳/۶۴ | ۲/۲۰ | ۶۷/۶۲ | ۷۱/۸۴ | ۲/۰۹ | ۷/۰۹ | ۶/۶۵ | ۲/۲۰ | ۲/۲۰ | ۳۵/۶۶ |
| Typic Calcixerolls | ۳۴۴۶/۸۷ | ۱/۵۲ | ۶۰/۲۴ | ۲/۱۷ | ۶۲/۷۶ | ۶۹/۵۱ | ۱/۶۹ | ۴/۱۸ | ۴/۰۲ | ۱/۸۸ | ۱/۸۰ | ۷۲/۲۸ |
| Pachic Calcixerolls | ۲۸۵۶/۱۳ | ۲/۹۰ | ۷۹/۲۳ | ۲/۵۲ | ۶۹/۵۲ | ۷۲/۹۶ | ۲/۲۸ | ۷/۲۷ | ۶/۶۰ | ۲/۲۸ | ۲/۲۹ | ۴۰/۰۴ |
| Typic Haploxerolls | ۳۵۵۹/۸۹ | ۴/۸۷ | ۸۲/۸۵ | ۳/۰۱ | ۶۶/۶۴ | ۷۲/۱۰ | ۲/۰۱ | ۷/۲۳ | ۶/۲۷ | ۲/۱۷ | ۲/۲۲ | ۳۶/۰۹ |
| Typic Argixerolls | ۲۲۲۳/۵۶ | ۶/۳۴ | ۸۶/۳۱ | ۳/۱۱ | ۶۶/۷۴ | ۷۲/۰۵ | ۲/۰۱ | ۶/۴۳ | ۵/۸۱ | ۲/۰۶ | ۲/۱۰ | ۳۵/۷۸ |



شکل ۲- قابلیت شاخص‌های ژئوشیمیایی منتخب در تفکیک افق‌های خاک در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- قابلیت شاخص‌های منتخب در تفکیک زیرگروه‌های متعلق به رده مالی سول



شکل ۴- قابلیت شاخص‌های منتخب در تفکیک زیرگروه‌های متعلق به رده‌های مختلف خاک



منابع

- Bockheima, J.G., Gennadiyevb, A.N., Harteminka, A.E., Brevik E.C, 2014. Soil-forming factors and Soil Taxonomy. *Geoderma* 226-227, 231-237.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986. Particle-size analysis, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 383-411.
- Harden, J.W., 1982. A quantitative index of soil development from field descriptions: Examples from a chronosequence in central California. *Geoderma* 28, 1-28.
- Jenny, H., 1941a. *Factors of soil formation : a system of quantitative pedology*. McGraw-Hil, , New York.
- Osat, M., Ahmad Heidari, Mostafa Karimian Eghbal, Mahmoodi, S., 2016. Impacts of topographic attributes on Soil Taxonomic Classes and weathering indices in a hilly landscape in Northern Iran. *Geoderma* 281, 90-101.
- Parker, A., 1970. An index of weathering for silicate rocks. *Geol. Mag.* 107, 501-504.
- Rasmussen, C., Dahlgren, R.A., Southard, R.J., 2010. Basalt weathering and pedogenesis across an environmental gradient in the southern Cascade Range, California, USA. *Geoderma*. 154, 473-485.
- Ruxton, B.P., 1968. Measures of the degree of chemical weathering of rocks. *J. Geol.* 76, 518-527.
- Soil Survey Staff, 1999. *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
- Soil Survey Staff, 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12nd ed ed. United States Department of Agriculture, NRCS., Washington, DC.
- Souri, B., Watanabe, M., Sakagami, K., 2006. Contribution of Parker and Product indexes to evaluate weathering condition of Yellow Brown Forest soils in Japan. *Geoderma*. 130, 346-355.



16th Iranian Soil Science Congress

University of Zanjan, Iran, August 27-29, 2019



Topic for submission: Soil Genesis and Classification

Quantifying geochemical indices and their use as criteria in soil development and classification

Heidari^{*1}, A., Osat², M.,

¹ Professor, Soil Science Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology University of Tehran, Iran

² Assistant Professor, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran

Abstract

The quantitative geochemical indices are powerful tools in evaluating soil development state and the biophysical and chemical quality of soils for different uses. The magnitude of geochemical indices can be used for interpretation different aspects of agricultural, engineering and environmental of soils. One of the most relevant applications of geochemical indices is their use in differentiating soil classes based on their weathering stage. The geochemical indices were grouped as atomic proportion (WIP), mobile/mobile, immobile/mobile, mobile/immobile alkaline elements based, mobile/immobile silica based and immobile/immobile elements. Among several indices existing in each subclass of indices, the Voget (V) index from immobile/mobile, the Bases/Alumina (B/R) from mobile/immobile alkaline elements based, the Potassium/Sodium (a) from mobile/mobile, the Product of Weathering Index (PWI) mobile/immobile silica based, the Titanium/Zirconium ratio from immobile/immobile, and Atomic Proportion (WIP) subclasses were effectively differentiate the soils subgroups. Taking into account the climatic condition and low to moderate stage of weathering, the immobile/mobile and mobile/immobile alkaline elements based indices, were the most efficient indices to distinguish between the studied soils at different taxonomic classes.

Keywords: Soil geochemistry, Soil weathering, Soil formation, Soil Classification

* Corresponding author, Email: ahaidari@ut.ac.ir