



شدت تکامل خاک های حاصل از برخی از سنگ های آذرین و شاخص های مناسب هوایدگی شیمیایی در شمال غرب ایران

مریم یوسفی فرد. شمس اله ایوبی. احمد جلالیان. حسین خادمی

به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استاد و استاد خاکشناسی. آدرس: دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشکده
کشاورزی - گروه خاکشناسی - کد پستی: 84156-83111

آدرس پست الکترونیکی مکاتبه کننده: yousefi_1359@yahoo.com

چکیده

شدت هوایدگی به مقدار زیادی به زمین شناسی و ترکیب ماده مادری بستگی دارد. این مطالعه جهت ارزیابی شاخص های هوایدگی شیمیایی متفاوت و بررسی شدت هوایدگی خاک روی مواد مادری آذرین متفاوت در منطقه شمال غرب ایران انجام شده است. از خصوصیات معمول خاک (درصد رس، آهن پدوژنیک و جرم مخصوص ظاهری) برای ارزیابی شاخص های هوایدگی استفاده شده است. شاخص های WR، PIA، CIW، CIA، WPI، Imob، B، LOI، B/R، Ba در این منطقه نیمه خشک می باشند. شدت هوایدگی خاک های روی سنگ های آذرین بیرونی هورنبلند آندزیت < پیروکسن آندزیت < داسیت < سنگ های آذرین درونی با شدت هوایدگی تقریباً یکسان می باشد.

کلمات کلیدی: تکامل خاک، سنگ آذرین، شاخص هوایدگی، هوایدگی شیمیایی.

مقدمه

هوایدگی خاک ترکیبی از فرآیندهای فیزیکی و واکنش های شیمیایی است که کانی های اولیه را به فرم های پایدارتر تبدیل می کند (Aide and Smith-Aide, 2003). در ابتدای تشکیل خاک، ترکیب شیمیایی خاک به شدت بوسیله ماده مادری کنترل می شود، در حالیکه این ترکیب در خاک های بالغ منعکس کننده اثرات محیط هوایدگی است (Thanachit et al., 2006). شاخص های هوایدگی شیمیایی در ارتباط با تغییر مواد مادری می باشند و معمولاً برای خصوصیات پروفیل های هوایدگی استفاده می شوند. تغییر در شاخص های هوایدگی با عمق به عنوان فرآیند هوایدگی، معمولاً تدریجی یا پیوسته و ثابت و یا سیستماتیک برای سنگ های مادری همگن می باشد (Price and Velbel, 2003). بیشتر این شاخص ها نسبت های مولکولی بین گروه های متفاوت اکسیدهای اصلی است. فرض اصلی در فرمول کردن این شاخص ها رفتار عنصرهای شیمیایی است که به تنهایی به وسیله درجه هوایدگی کنترل می شود. انتظار می رود که با افزایش شدت هوایدگی، اکسیدهای اصلی Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، TiO_2 که به عنوان اکسیدهای غیرمتحرک هستند باقی بمانند، CaO ، MgO ، Na_2O ، K_2O که متحرک هستند کاهش یابند و مقدار آب ساختاری (Loss on Ignition) افزایش یابد (Duzgoren-Aydin, 2002). هوایدگی شیمیایی کانی های اولیه باعث هدررفت عناصر متحرک و تجمع کانی های رسی ثانویه متفاوت مانند گروه کائولن، ورمی کولایت، اسمکتایت و ... می شود (Schroeder et al., 2000). بنابراین تجمع آلومینوسیلیکاتها در بخش رس خاک می تواند به عنوان شاخصی از هوایدگی باشد (Burt et al., 2003 and Caspari et al 2006). همچنین اکسیداسیون باعث افزایش آهن فرو نسبت به آهن فریک در خاک می شود و بعد از رها شدن از ترکیب کانی های اولیه به عنوان آهن پدوژنیک (قابل



عصاره گیری با سیترات-بیکربنات-دیتیونات (Fe_d) رسوب می یابد (Caspari et al 2006 and Schroeder et al., 2000). نسبت بین اکسید آهن با کریستالیته خوب (قابل عصاره گیری با اگزالات آمونیوم) ($Fe_d - Fe_o$) و مقدار آهن کل (Fe_t) به عنوان یک اندازه گیری نسبی از شدت هوازدگی استفاده می شود (3). جرم مخصوص ظاهری نیز به صورت سیستماتیک با افزایش هوازدگی کاهش می یابد و در مطالعات جهت تعیین کمی شدت هوازدگی سنگ و خاک بکار می رود (Guan et al., 2001 and Price et al., 2003).

شاخص های شیمیایی هوازدگی زیادی برای ارزیابی شدت هوازدگی ارائه شده است (جدول 1). نیاز است که اهمیت و کاربرد این شاخص ها در مناطق متفاوت جهت استفاده مناسب شناخته شود. مطالعات زیادی در ارتباط با هوازدگی خاک های توسعه یافته روی سنگ های آذرین در دنیا انجام شده است، اما توجه بسیار کمی به توسعه این خاک ها و شاخص های هوازدگی مناسب برای آنها در مناطق خشک و نیمه خشک شده است. بنابراین این تحقیق با هدف ارزیابی شاخص های هوازدگی متفاوت و بررسی شدت هوازدگی خاک روی مواد مادری آذرین متفاوت در منطقه شمال غرب ایران انجام شده است.

جدول 1- خلاصه ای از شاخص های هوازدگی شیمیایی استفاده شده در این مطالعه

شاخص هوازدگی	فرمول	منبع*
Silica/Alumina (Si/Al) (Mehrotra et al. 2007)	$SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$	Ruxton (1968) * منابع Birkeland (1999)
Silica/sesquioxides (Si/Ses)	$SiO_2 / (Fe_2O_3 + Al_2O_3)$	Birkeland (1999) موجود
Silica/Iron (Si/Fe)	$SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2)$	Birkeland (1999)
Silica/R ₂ O ₃ (Si/R)	K_2O / Na_2O	Ruxton (1968)
Potassium/Sodium (a)	Al_2O_3 / Fe_2O_3	Jenny (1941)
Aluminum/Iron (b)	Al_2O_3 / TiO_2	Rocha Filho et al. (1985)
Aluminum/Titanium (b1)	$(K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$	Rocha Filho et al. (1985)
(Potassium-Sodium)/Aluminum (ba ₁)	$(CaO + MgO) / Al_2O_3$	Rocha Filho et al. (1985)
(Calcium-Magnesium) / Aluminum (ba ₂)	$(K_2O + Na_2O + MgO) / Al_2O_3$	Rocha Filho et al. (1985)
(Potassium-Sodium- Magnesium)/Aluminum (ba ₃)	$(K_2O + Na_2O + CaO) / Al_2O_3$	Rocha Filho et al. (1985)
(Potassium-Sodium-Calcium) / Aluminum (Ba)	$(K_2O + Na_2O + CaO + MgO) / Al_2O_3$	Birkeland (1999)
Bases/Alumina (B/A)	$(K_2O + Na_2O + CaO + MgO) / (Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2)$	Birkeland (1999)
Bases/R ₂ O ₃ (B/R)	$K_2O / (K_2O + Na_2O) 100$	Harnois and Moore (1988)
Alkaline Ratio	$H_2O + H_2O^+$	Sueoka et al. (1985)
Loss on Ignition (LOI)	$I_{weathered} / I_{sound} = [(K_2O + Na_2O + CaO) / Al_2O_3]$	Rocha Filho et al. (1985)
Parent normalized Ba Ratio (B)	$I_{weathered} / I_{fresh} = [(K_2O + Na_2O) / SiO_2]$	Jenny (1941)
Leaching Factor	$(I_{fresh} - I_{weathered}) / I_{fresh} = K_2O + Na_2O + CaO$	Irfan (1996)
Mobility Index (Imob)	$100[(K_2O + Na_2O + CaO + H_2O) / (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O)]$	Reiche (1943)
Weathering Potential Index (WPI)	$100SiO_2 / (SiO_2 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + Al_2O_3)$	Reiche (1943)
Reiche's Product Index (RPI)	$100Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$	Nesbitt and Young (1982)
Chemical Index of Alteration (CIA)	$100Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O + CaO)$	Harnois (1988)
Chemical Index of Weathering (CIW)	$CWI = ((Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2 + LOI) / \text{all chemical components}) 100$	Sueoka (1988)
Chemical Weathering Index (CWI)	$(100)[(2Na_2O/0.35) + (MgO/0.9) + (2K_2O/0.25) + (CaO/0.7)]$	Parker (1970)
Parker's Weathering Index (PWI)	$(Al_2O_3 + K_2O) / (MgO + CaO + Na_2O)$	Vogt (1927)
Vogt's Residual Index (V)	$(100)[(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)]$	Fedo et al. (1995)
Plagioclase Index of Alteration (PIA)	$(100)[(SiO_2 / TiO_2) / ((SiO_2 / TiO_2) + (SiO_2 / Al_2O_3) + (Al_2O_3 / TiO_2))]$	De Jayawardena and Izawa (1994)
Silica-Titanium Index (STI)	$(CaO + MgO + Na_2O) / TiO_2$	Chittleborough (1991)
Weathering Ratio (WR)	$(SiO_2 + CaO) / (Fe_2O_3 + TiO_2)$	Darmody et al. (2005)
Weathering Index 1 (WI-1)	$(SiO_2 + CaO) / (Al_2O_3 + Fe_2O_3 + TiO_2)$	Darmody et al. (2005)
Weathering Index 2 (WI-2)		

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه در نوار آذرین اهر - ارسباران در شمال غرب ایران می باشد. هشت پروفیل خاک توسعه یافته روی سنگ های آذرین درونی منزودیوریت، آلکالی گرانیت، گرانودیوریت، سینییت و پیروکسن دیوریت و آذرین بیرونی هورنبلند آندزیت، پیروکسن آندزیت و داسیت مورد مطالعه قرار گرفت. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب زیرک و



مزیک می باشد. خاکرخ هایی که نماینده خاک درجا بوده و انقطاع سنگی نداشت روی هر ماده مادری انتخاب شد و مطالعات مورفولوژیک صحرایی بر روی پروفیل ها انجام گرفت. پروفیل های توسعه یافته روی هورنلند آندزیت، پیروکسن آندزیت و داسیت تحت عنوان Calcixerepts و بقیه پروفیل ها تحت عنوان Haploxerepts به روش

آمریکایی طبقه بندی شدند. تجزیه های فیزیکی و شیمیایی معمول شامل توزیع اندازه ذرات به روش پیت، جرم مخصوص ظاهری برای افق های خاک و سنگ، آهن پدوژنیک کریستالی با استفاده از سترات-بیکربنات-دیتینونات و آمورف به روش آمونیوم اگزالات اندازه گیری شدند. برای تعیین Si نمونه های خاک و سنگ به روش سدیم پراکسید و برای بقیه عناصر اصلی به روش ترکیبی از اسیدها شامل هیدروفلوئوریک اسید با استفاده از دستگاه میکرو ویو هضم انجام شد. مقدار کل عناصر اصلی (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Ti, Mn, P) در افق های پدوژنیک، و سنگ بستر با دستگاه ICP-OES مدل Perkin-Elmer Optima 7300DV، در کشور استرالیا اندازه گیری شد. ضرایب همبستگی به روش Pearson و Spearman به ترتیب برای داده های نرمال و غیر نرمال با استفاده از نرم افزار SPSS بین خصوصیات خاک با شاخص های هوادیدگی شیمیایی محاسبه شد.

نتایج و بحث

شاخص های هوادیدگی با استفاده از غلظت عناصر اصلی محاسبه شد و ضریب همبستگی بین شاخص های هوادیدگی و خصوصیات خاک در جدول 2 نشان داده شده است. مقدار رس و آهن پدوژنیک برای نمونه های سنگ صفر فرض شدند. ضرایب همبستگی بالا ($< 0/80^{**}$) و معنی داری بین شاخص های CIA, WPI, Imob, B, LOI, B/R, Ba شدند. PIA, CIW و WR و خصوصیات خاک وجود دارد. بیشترین ضریب همبستگی با درصد رس و آهن پدوژنیک برای شاخص Imob به ترتیب با مقادیر $0/95^{**}$ و $0/90^{**}$ مشاهده شد. این شاخص ها بر اساس نسبت بین گروهی از اکسیدهای متحرک و غیر متحرک در خاک می باشند به جزء شاخص Imob که مجموعی از عناصر متحرک و LOI که مقدار آب ساختاری در دمای 1050°C می باشد.

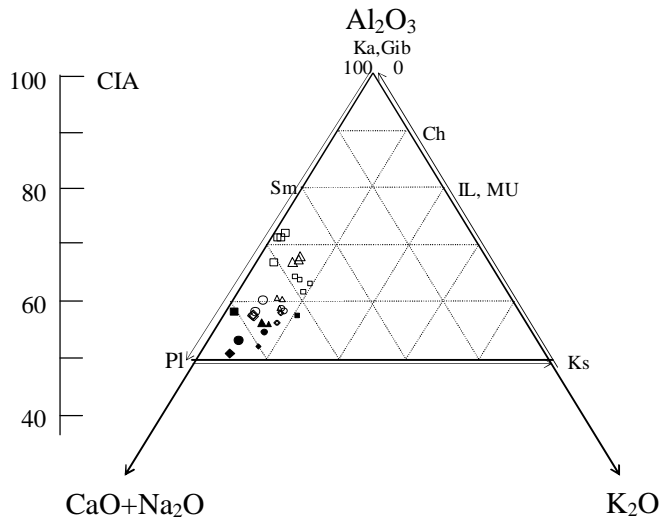
جدول 2- همبستگی بین خصوصیات خاک و شاخص های هوادیدگی شیمیایی برای پروفیل های خاک مطالعه شده.

شاخص هوادیدگی	جرم مخصوص ظاهری	درصد رس	(Fe _t -Fe _o)/Fe _t
Silica/Alumina (Si/Al)	-0/019	-0/387*	-0/171
Silica/Sesquioxides (Si/Ses)	-0/016	-0/357*	-0/168
Silica/Iron (Si/Fe)	-0/031	0/208	0/002
Silica/R ₂ O ₃ (Si/R)	-0/006	-0/365*	-0/175
Potassium/Sodium (a)	-0/367*	0/279	0/376*
Aluminum/Iron (b)	-0/051	-0/091	0/074
Aluminum/Titanium (b1)	0/267	-0/377*	-0/234*
(Potassium-Sodium)/Aluminum (ba ₁)	0/259	-0/624**	-0/492*
(Calcium-Magnesium) / Aluminum (ba ₂)	0/468*	-0/544**	-0/603**
(Potassium-Sodium- Magnesium)/Aluminum (ba ₃)	0/378	-0/622**	-0/570**
(Potassium-Sodium-Calcium) / Aluminum (Ba)	0/623**	-0/865**	-0/834**
Bases/Alumina (B/A)	0/555**	-0/776**	-0/764**
Bases/R ₂ O ₃ (B/R)	0/568**	-0/885**	-0/846**
Alkaline Ratio	-0/373*	0/385*	0/291
Loss on Ignition (LOI)	-0/744**	0/921**	0/817**
Parent normalized Ba Ratio (B)	0/598**	-0/952**	-0/884**
Leaching Factor	0/464**	-0/332*	-0/440*
Mobility Index (Imob)	-0/607**	0/953**	0/903**
Weathering Potential Index (WPI)	0/766**	-0/898**	-0/899**
Reiche's Product Index (RPI)	-0/007*	-0/312*	-0/136*
Chemical Index of Alteration (CIA)	-0/612**	0/875**	0/815**
Chemical Index of Weathering (CIW)	-0/628**	0/834**	0/829**
Chemical Weathering Index (CWI)	-0/464**	0/833**	0/680**
Parker's Weathering Index (PWI)	0/499**	-0/787**	-0/728**
Vogt's Residual Index (V)	-0/574**	0/670**	0/689**
Plogioclase Index of Alteration (PIA)	-0/627**	0/865**	0/830**
Silica-Titanium Index (STI)	0/063	-0/450**	-0/237
Weathering Ratio (WR)	0/729**	-0/893**	-0/884**
Weathering Index 1 (WI-1)	0/040	-0/361*	-0/141
Weathering Index 2 (WI-2)	0/097	-0/482**	-0/301



شاخص های هواپدگی $PWI, CWI, B/A$ و V همبستگی کمتر ولی معنی داری با خصوصیات خاک در مقایسه با شاخص های ذکر شده داشتند. ضریب همبستگی بالا در مورد شاخص هایی مشاهده شد که Ca و Na به عنوان عناصر متحرک در فرمول شاخص می باشد. در مواردی که یکی از این دو عنصر در فرمول شیمیایی حضور نداشته باشد مانند

ba_1, ba_2 و ba_3 ضریب همبستگی پایین است. همبستگی بین شاخص های هواپدگی $Si/R, Si/Ses, Si/Fe, Si/Al$ ، STI, RPI و $WI-1$ و $WI-2$ با خصوصیات خاک معنی دار نمی باشد، زیرا در فرمول این شاخص ها SiO_2 به عنوان عنصر متحرک است. خاک ها در مراحل اولیه تکامل می باشند تخلیه Si از پروفیل خاک رخ نداده است و Si طی هواپدگی در کانی های ثانویه آلومینوسیلیکاتی ذخیره شده است. شاخص های هواپدگی که به صورت نسبتی از اکسیدهایی که رفتار ژئوشیمی مشابهی (متحرک / متحرک یا غیر متحرک / غیر متحرک) در طی هواپدگی دارند برای بیان پیشرفت هواپدگی مناسب نمی باشند. منحنی $A(Al_2O_3) - CN (CaO+Na_2O) - K (K_2O)$ روشی جهت کمی کردن درجه هواپدگی شیمیایی (CIA) است و نشان دهنده هواپدگی ذرات فلدسپار که غالب ترین کانی در ترکیب سطح زمین است، می باشد. با توجه به این منحنی بیشترین مقدار هواپدگی برای پروفیل توسعه یافته روی هورنبلند آندزیت و سپس پیروکسن آندزینت و داسیت مشاهده می شود، که نشان دهنده تشکیل کانی های رسی ثانویه بیشتری مانند اسمکتایت می باشد. مابقی پروفیل ها (روی سنگ های آذرین درونی) نیز حداقلی از هواپدگی شیمیایی را نشان می دهند و در مرحله اولیه توسعه خاک هستند.



- | | | | |
|----------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| • Alkali granite | ◊ S-Alkali granite | ▲ Granodiorite | ◈ S-Granodiorite |
| ▪ Dacite | ◻ S-Dacite | ● Monzodiorite | ◊ S-Monzodiorite |
| ■ Homblende Andesite | ◻ S-Hornbelende Andesite | ▲ Pyroxene Andesite | △ S-Pyroxene Andesite |
| ● Syenite | ◊ S-Syenite | ◆ Pyroxene Diorite | ◊ S-Pyroxene Diorite |

شکل 1- منحنی A-CN-K پروفیل های مطالعه شده در شمال غرب ایران. S به معنی خاک روی ماده مادری مرتبط.



منابع

- 1) Aide M and Smith-Aide C, 2003. Assessing soil genesis by rare-earth elemental analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67(5): 1470-1476.
- 2) Burt R, Wilson MA, Keck TJ, Dougherty BD, Strom DE and Lindahl JA, 2003. Trace element speciation in selected smelter-contaminated soils in Anaconda and Deer Lodge Valley, Montana, USA. *Adv. Environ. Res.* 51-67.
- 3) 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: 436-458.
- 4) Duzgoren-Aydin NS, 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.
- 5) Guan P, Ng CWW, Sun M and Tang W, 2001. Weathering indices for rhyolitic tuff and granite in Hong Kong. *Eng. Geol.* 59(1-2): 147-159.
- 6) Munroe JS, Farrugia G and Ryan PC, 2007. Parent material and chemical weathering in alpine soils on Mt. Mansfield, Vermont, USA. *Catena* 70: 39-48.
- 7) Price JR and Velbel MA, 2003. Chemical weathering indices applied to weathering profiles developed on heterogeneous felsic metamorphic parent rocks. *Chem. Geol.* 202(3-4): 397-416.
- 8) Schroeder PA, Melear ND, West LT and Hamilton DA, 2000. Meta-gabbro weathering in the Georgia Piedmont, USA: implications for global silicate weathering rates. *Chem. Geol.* 163: 235-245.
- 9) Thanachit S, Suddhiprakarn A, Kheoruenromne I and Gilkes RJ, 2006. The geochemistry of soils on a catena on basalt at Khon Buri, northeast Thailand. *Geoderma* 135: 81-96.