

تأثیر سطوح مختلف ژئومرفولوژیک بر تکامل خاک‌ها با استفاده از تغییرات پدوژنیک و شکل‌های مختلف آهن در منطقه مرند، آذربایجان شرقی

آیدا عباسی کلو^{1*}، علی اصغر جعفرزاده²، مصطفی کریمیان اقبال³، شاهین اوستان⁴
و احمد جهانگیری⁵

تاریخ دریافت: 92/02/04 تاریخ پذیرش: 92/03/26

¹ دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

² استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

³ دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

⁴ دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

⁵ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: goly_abasi@yahoo.com و g-abbasi@tabrizu.ac.ir

چکیده

تکامل خاک‌ها در یک منطقه تحت تأثیر نوع، شدت تأثیر عوامل و فرآیندهای خاکسازي بوده و می‌تواند با استفاده از برخی ویژگی‌های خاک همانند میزان آهن پدوژنیک افق‌های A و B و تغییر شکل آن با زمان و شاخص تجمع اکسیدهای آهن مورد مطالعه قرار گیرد. در این تحقیق، شکل‌های مختلف اکسیدهای آهن نه خانواده از یازده پروفیل خاک در منطقه مرند مورد بررسی قرار گرفت. واحدهای ژئومرفولوژیک غالب در منطقه کوه، پدیمنت سنگی، پدیمنت پوشیده، دشت دامنه‌ای و دشت آبرفتی بوده که بر اساس روابط خاک-ژئومرفولوژی درون آنها، هشت سطح ژئومرفولوژیک تعیین گردید. بر اساس مطالعه خصوصیات مرفولوژیکی و فیزیکوشیمیایی خاک و شکل‌های آهن، بین میزان رس با مقادیر آهن کل (Fe_t)، آهن پدوژنیک (Fe_d) و آهن بی‌شکل (Fe_o) و همینطور بین شکل‌های آهن با یکدیگر ارتباط معنی‌داری مشاهده گردید. تغییرات مربوط به شکل‌های مختلف آهن تابع واحدهای ژئومرفولوژیک بوده و از واحد کوه به دشت آبرفتی افزایش می‌یابد اما تغییرات مقادیر Fe_d ، Fe_t و Fe_o در درون هر واحد وابسته به پایداری سطح ژئومرفولوژیک می‌باشد. بیشترین مقدار Fe_d (11/42 گرم بر کیلوگرم خاک) و کمترین مقدار آن (1/53 گرم بر کیلوگرم خاک) به ترتیب در افق آرچلیک دفن شده دشت آبرفتی و واحد کوه مشاهده شد که نشان‌دهنده ناپایداری واحد کوه می‌باشد. خاک‌های سطح پایدار واحد پدیمنت پوشیده (Smp) در اثر فعالیت مستمر فرآیندهای خاکسازي بیشترین تکامل و خاک‌های کوه به دلیل قرار گیری در شیب زیاد و محدودیت پیشروی فرآیندهای خاکسازي، تکامل کمتری نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: اکسیدهای آهن، پدوژنیک، تکامل، سطوح ژئومرفولوژیک، مرند

Effect of Different Geomorphologic Surfaces on Soil Evolution Using Pedogenic Changes and Various Forms of Iron in Marand Region, East Azarbaijan

A Abbasi-Kalo¹, AA Jafarzadeh², MK Eghbal³, SH Ustan⁴ and A Jahangiri⁵

Received: 24 April 2013 Accepted: 16 June 2013

¹ Ph.D Student, Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Tabriz Univ., Iran

² Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Tabriz Univ., Iran

³ Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Tarbiat Modares Univ., Iran

⁴ Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Tabriz Univ., Iran

⁵ Prof., Dept. of Geology, Faculty of Natural Sci., Tabriz Univ., Iran

*Corresponding Author Email: goly_abasi@yahoo.com and g-abbasi@tabrizu.ac.ir

Abstract

The soil evolution of a region is function of type and intensity of soil forming factors and processes and can be studied using some soil properties such as pedogenic Iron (Fe_d) content in A and B horizons and its transformation with time and accumulation index of Iron oxides. In this research work different forms of Iron oxides were studied in nine soil families from eleven soil profiles of Marand region. The dominant geomorphologic units in the study area were rock pediment, mantled pediment, piedmont plain and alluvial plain and according to soil-geomorphology relationships, eight geomorphologic surfaces were diagnosed inside the units. Based on soil morphological and physico-chemical properties and different forms of Iron oxides significant correlation were observed between total Iron (Fe_t), pedogenic Iron (Fe_d) and noncrystalline Iron (Fe_o) as well as Iron forms with each other. The variations of different Iron forms followed the geomorphologic units and increased from mountain to alluvial plain units. But Fe_t , Fe_d and Fe_o changes in each unit depended on stability of geomorphologic surfaces. The highest (11.24 g/kg) and lowest (1.53 g/kg) Fe_d were observed at buried argillic horizon in alluvial plain and mountain, respectively, which showed instability of mountain unit. The soils of stable surface of mantled pediment (Smp) surface were more developed by continuity of soil forming processes and the soils of mountain showed less development due to high slope and limited soil forming processes progressing.

Keywords: Evolution, Geomorphologic surfaces, Iron oxides, Marand, Pedogenic

مقدمه
 خصوصیات زمین‌نما مرتبط کرده (ینی 1941) و از نظر
 شیمیایی تا حدی بیانگر مفهوم هواپدگی می‌باشد
 (بوهن و همکاران 1985). همچنین در مناطق مختلف

ارتباط موجود بین متغیرهای خاکساز و
 فرآیندهای ژئومرفولوژیک، تکامل خاک را با

آزاد (دتیر و همکاران 2012) و آهن بی‌شکل یا فعال (Fe_0) می‌باشند که هرکدام به روشهای ویژه‌ای اندازه‌گیری می‌شوند. بنابراین (Fe_d-Fe_0) نشان‌دهنده ترکیبات بلوری آهن، Fe_0/Fe_d بیانگر درجه تبلور اکسیدهای آهن و $(Fe_d-Fe_0)/Fe_t$ نشان‌دهنده نسبت آهن بلوری می‌باشد (شاتزل و آندرسون 2005). اکسالات آمونیوم برای Fe_0 انتخابی عمل می‌کند در حالی که دی تیونات سدیم، کل اکسیدهای آهن را استخراج می‌کند. مقدار کم Fe_0 نشان می‌دهد که اغلب اکسیدهای آهن به شکل بلوری هستند.

دتیر و همکاران (2012) از آهن قابل استخراج با سیترات دی‌تیونات و میزان رس برای تخمین سن خاک‌های تشکیل شده بر روی سطوح مختلف استفاده کردند. در این مطالعه، میزان آهن پدوژنیک (Fe_d) در سنگ تازه، ساپرولیت، رسوبات یخچالی و رسوبات ثقلی و همینطور افق‌های خاک در سطوح پایدار اندازه‌گیری و گزارش گردید که میزان آهن پدوژنیک و رس موجود در پروفیل‌های خاک با افزایش سن خاک در روی سطوح پایدار افزایش می‌یابد. در شرایط مناطق پایدار به طور متوسط $0/6 \times 10^5$ سال طول می‌کشد تا 10 گرم بر سانتی‌متر مربع رس تشکیل شود. با افزایش سن خاک و تبدیل ماده مادری به فازهای پایدارتر در اثر هوازدگی، غلظت Fe_d و رس افزایش می‌یابد.

رضاپور و همکاران (2010) با بررسی شکل‌های مختلف اکسیدهای آهن و توزیع آنها بر روی واحدهای فیزیوگرافی متفاوت خاک‌های آهکی شمال غرب ایران، ضمن بررسی ارتباط بین مقادیر اکسیدهای آهن و شرایط تشکیل خاک‌ها، گزارش کردند که در واحد فلات با شرایط ژئومرفولوژیکی پایدار و هوازدگی درجای خاک‌ها، بالاترین مقدار Fe_d و کمترین مقدار Fe_0/Fe_d وجود دارد. بعلاوه مقدار Fe_d در خاک‌های با میزان رس کمتر، به طور معنی‌داری متفاوت از خاک‌های دارای رس بیشتر بود.

حتی در جاهایی که فرآیندهای ناشی از فرسایش و تکنونیک فعال می‌باشد تکامل خاک با سن خاک همبستگی نشان می‌دهد (اسکارسیگلیا و همکاران 2006 و ساور و همکاران 2010).

برای تعریف درجه تکامل خاک معمولاً از صفاتی استفاده می‌شود که در اثر هوازدگی ایجاد شده یا تغییر می‌کنند. برخی از این ویژگی‌ها عبارتند از: شاخص تجمع رس (سینگ و همکاران 1998)، تغییر شکل‌های آهن و آلومینیوم پدوژنیک (بیرکلند 1999)، شاخص تجمع اکسیدهای آهن (سیمون و همکاران 2000)، pH خاک و روبیفیکاسیون (پوپه و همکاران 2008)، ضخامت سالوم و افق B (شریف حسین خان و همکاران 2005)، افزایش مقدار رس در افق‌های B (بیرکلند 1989، هوارد و همکاران 2010، تورنت و همکاران 2010 و دتیر و همکاران 2012) و تجمع اکسیدهای آهن در افق‌های A و B نسبت به افق‌های C (شریف حسین خان و همکاران 2005، پوپه و همکاران 2008 و دامس و همکاران 2012).

در اغلب خاک‌ها خصوصیات مرفولوژیکی، آهن پدوژنیک و میزان رس اساس تخمین سن خاک‌ها می‌باشد (کاستانتینی و دومینی 2004). شرایط اقلیم‌های مدیترانه‌ای باعث تسهیل آزادسازی آهن از کانی‌های اولیه آهن‌دار، اکسیداسیون و تبلور آن به شکل هیدروکسیدها و اکسی‌هیدروکسیدها می‌گردند (شورتمن 1984). کاستانتینی و همکاران (2006) ثابت کردند که افزایش آهن کل (Fe_t) و آهن آزاد (Fe_d) نتیجه غیرقابل انکار افزایش سن و تکامل خاک‌هاست.

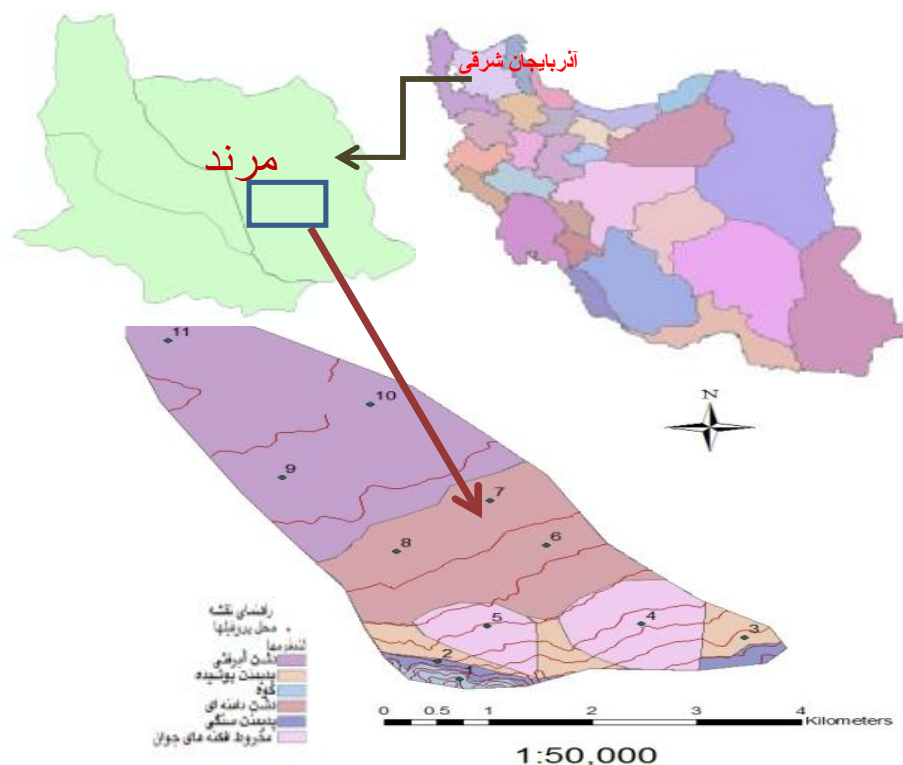
در مناطق مدیترانه‌ای، خاک‌های واقع بر روی سطوح ژئومرفولوژیکی پایدار دارای زهکشی خوب، متوسط تا شدید هوازیده و هماتیت بوده و خاصیت مغناطیسی آنها (نسبت به خاک‌های مناطق سردتر یا مرطوب‌تر) افزایش یافته است (تیت و لینگتون 1975). مهمترین شکل‌های آهن که در بررسی میزان تکامل خاک جلب توجه کرده است آهن کل، آهن پدوژنیک یا

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، منطقه‌ای به وسعت 1650 هکتار در جنوب شرقی شهرستان مرند و در موقعیت جغرافیایی $38^{\circ} 23'$ تا $38^{\circ} 27'$ عرض شمالی و $45^{\circ} 49'$ تا $45^{\circ} 51'$ طول شرقی انتخاب گردید (شکل 1). ارتفاع از سطح دریای آزاد در آن حداکثر 1436 و حداقل 1293 متر، میانگین باران سالیانه 356/72 میلی‌متر در سال (اطلاعات اقلیمی 10 سال اخیر ایستگاه سینوپتیک مرند) و رژیم‌های حرارتی و رطوبتی آن به ترتیب مزیک و زیریک می‌باشد (بنایی 1377). مواد مادری پروفیل‌ها متشکل از رسوبات کواترنری شامل کنگلومرای نسبتاً متراکم، تراس‌های جوان و مخروط‌افکنه‌های سنگریزه‌دار و دشت سنگریزه‌ای می‌باشد (بی‌نام 1373).

علمداری و همکاران (2010) با مطالعه توزیع اکسیدهای آهن در ترانسکتی از دشت تبریز مقادیر آن را در واحدهای فیزیوگرافیک به صورت زیر گزارش کردند: در همه خاک‌ها مقادیر بیشتر Fe_d در مقایسه با مقادیر کم Fe_o نشان‌دهنده حضور بخش اعظم آهن به شکل بلوری می‌باشد. همین‌طور مقدار آن در افق‌های B همه خاک‌ها و در مالی‌سول‌ها بیش از سایر خاک‌ها گزارش شده است. واحد دشت دامنه‌ای با رژیم رطوبتی اریدیک کمترین مقدار Fe_d و بالاترین مقدار Fe_o/Fe_d را به خود اختصاص داده است.

هدف از این مطالعه بررسی تکامل پروفیل‌های خاک واقع در سطوح مختلف ژئومرفولوژیک با استفاده از توزیع شکل‌های مختلف اکسیدهای آهن می‌باشد.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی و نقشه واحدهای ژئومرفولوژیک به همراه توزیع پروفیل‌ها.

دلیل سطوح مختلف با توجه به میزان تکامل پروفیل‌ها تفکیک شد. بر این اساس در واحد دشت دامنه‌ای، دو سطح مربوط به خاک‌های فاقد آهک در پروفیل خاک⁸ (پروفیل‌های 6 و 8) و خاک‌های دارای آهک⁹ (پروفیل 7) مشخص گردید. همچنین در واحد دشت آبرفتی نیز دو سطح خاک‌های کم عمق با افق آرجیلیک دفن شده¹⁰ و خاک عمیق ریزبافت دارای افق آرجیلیک¹¹ مشخص شد (جدول 1). بعد از تعیین محل پروفیل‌ها بر روی نقشه توپوگرافی، موقعیت جغرافیایی آنها با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جغرافیایی¹² در منطقه، مشخص و حفر گردید. بعد از تشریح خصوصیات مرفولوژیکی آنها بر اساس روش استاندارد (بی‌نام 2006) و تعیین افق‌های خاک، 29 نمونه از افق‌های خاک تهیه شد.

نمونه‌های خاک در آزمایشگاه هوا خشک شده و پس از عبور از الک دو میلی متری، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها شامل بافت خاک به روش هیدرومتر (گی و بادر 1986)، pH گل اشباع و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (ECe) توسط دستگاه‌های pH متر و هدایت سنج الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) با روش استات سدیم (ریچاردز 1954)، کربنات کلسیم معادل (CCE) با روش تیتراسیون معکوس یا برگشتی اسید کلریدریک (ریچاردز 1954) و کربن آلی به روش والکلی و بلک اصلاح شده (نلسون و سامرز 1986) اندازه گیری شد.

آهن کل (Fe) به طریق هضم با اسیدنیتریک 4 نرمال (بی‌نام 2004)، آهن پدولوژیک (Fe_d) (شامل آهن بلوری و ضعیف بلور به همراه آهن متصل به ترکیبات آلی) با روش سیترا-دی تیونیت-بیکربنات (CDB) (مهر و جکسون 1960) و آهن بی‌شکل (Fe_o) (شامل آهن بی‌شکل و ضعیف بلور و آهن متصل به ترکیبات

به منظور تشخیص و جداسازی سطوح مختلف ژئومرفولوژیک از نرم‌افزار Google Earth، نقشه‌های توپوگرافی 1:50000 و نقشه زمین‌شناسی 1:100000 استفاده و پنج واحد کوه¹، پدیمت سنگی²، پدیمت پوشیده³ (با دو سطح ژئومرفولوژیک)، دشت دامنه‌ای⁴ و دشت آبرفتی⁵ (هرکدام با دو سطح ژئومرفولوژیک) تفکیک شد (جدول 1). در مرحله بعدی برای تعیین محل پروفیل‌ها، روش نمونه‌برداری ژئوپدولوژی (زینک 1988) اعمال و یازده پروفیل تعیین گردید. توزیع پروفیل‌ها به گونه‌ای است که همه سطوح ژئومرفولوژیک را در برمی‌گیرد بدین ترتیب پروفیل 1 در واحد کوه، پروفیل 2 در واحد پدیمت سنگی، پروفیل‌های 3 تا 5 در واحد پدیمت پوشیده، پروفیل‌های 6، 7 و 8 نماینده واحد دشت دامنه‌ای و پروفیل‌های 9، 10 و 11 در واحد دشت آبرفتی پوشیده انتخاب گردید. در واحدهای کوه و پدیمت سنگی به دلیل یکنواختی خاک‌ها تفکیک سطوح ژئومرفولوژیک صورت نگرفت. در واحد پدیمت پوشیده دو سطح ژئومرفولوژیک متأثر از فرآیندهای فعال فرسایش و رسوب در منطقه تشخیص داده شد. سطح پدیمت پوشیده پایدار⁶ مربوط به قسمت‌های پایدار پدیمت بوده و دور از دسترس آبراهه‌های فعال، نشأت گرفته از واحد کوه می‌باشد که پروفیل 3 نماینده این سطح است. سطح پدیمت پوشیده ناپایدار سنگریزه‌دار⁷ تحت تأثیر آبراهه‌های فعال هستند که در حال گسترش و توسعه به آبراهه‌های جوان بوده و پروفیل‌های 4 و 5 نماینده این سطوح هستند. در واحد دشت دامنه‌ای و دشت آبرفتی به دلیل فعالیت‌های زراعی امکان جداسازی سطوح ژئومرفولوژیکی از روی عکس‌های هوایی و نقشه امکان‌پذیر نبوده و به همین

¹ Mountain

² Rock pediment

³ Mantled pediment

⁴ Piedmont plain

⁵ Alluvial plain

⁶ Stable mantled pediment (Smp)

⁷ Gravelly unstable mantled pediment (Gump)

⁸ Non-calcic piedmont plain (Ncpp)

⁹ Calcitic piedmont plain (Cpp)

¹⁰ Buried Horizon alluvial plain (Bhap)

¹¹ Argillic alluvial plain (Aap)

¹² GPS: Geographic position system

خاکها عمدتاً با توجه به تغییرات افق‌های B و شدت تمایز آنها از افق C بررسی می‌شود و از طرفی سطح خاک هر از گاهی توسط رسوب یا فرسایش تجدید می‌شود لذا شکل‌های آهن در افق‌های B و C (بدون دخالت دادن افق A) اندازه‌گیری گردید (دیترو و همکاران، 2012). رده‌بندی خاکها براساس سیستم جامع آمریکایی (بی‌نام 2010) انجام شد (جدول 2).

آلی) با استفاده از اگزالات آمونیم اسیدی با pH برابر 3 و با عصاره‌گیری در تاریکی (مک کیگو و دی 1966) استخراج شد و مقدار آهن موجود در عصاره با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید.

اختلاف بین آهن استخراج شده به روش CDB و آهن استخراج شده با اگزالات آمونیم (Fe_d-Fe_o) و همینطور نسبت بین شکل‌های اندازه‌گیری شده بعنوان معیار تکامل خاکها محاسبه گردید. از آنجا که تکامل

جدول 1- واحدها و سطوح ژئومرفولوژیک تفکیک شده در منطقه مورد مطالعه.

واحد	سطح ژئومرفولوژیک	شماره پروفیل	علامت نمایش
کوه	Mountain	1	Mount
پدیمت سنگی	Rock pediment	2	Rp
پدیمت پوشیده	Stable mantled pediment	3	Smp
	Gravelly unstable mantled pediment	4 و 5	Gump
دشت دامنه‌ای	Non- calcic piedmont plain	6 و 8	Ncpp
	Calcitic piedmont plain	7	Cpp
دشت آبرفتی	Alluvial plain with buried Argillic	9 و 10	Apba
	Alluvial plain with Argillic	11	Apa

جدول 2- رده‌بندی خاک‌های مورد مطالعه بر اساس سیستم طبقه بندی آمریکایی.

شماره پروفیل	واحد	رده‌بندی براساس سیستم جامع آمریکایی
1	کوه	Sandy, mixed, mesic Typic Calcixerpts
2	پدیمت سنگی	Sandy-skeletal, mixed, mesic Fluventic Haploxerepts
3	پدیمت پوشیده	Fine, illitic, mesic, Calcic Haploxeralfs
4	پدیمت پوشیده	Sandy, mixed, mesic, Typic Xeropsamments
5	پدیمت پوشیده	Sandy-skeletal, mixed, mesic Fluventic Haploxerepts
6	دشت دامنه‌ای	Fine-loamy, mixed, superactive, mesic Fluventic Haploxerepts
7	دشت دامنه‌ای	Fine, mixed, superactive, mesic Typic Calcixerpts
8	دشت دامنه‌ای	Fine-loamy, mixed, superactive, mesic Typic Haploxeralfs
9	دشت آبرفتی	Fine-loamy, mixed, superactive, mesic Typic Haploxerepts
10	دشت آبرفتی	Fine-loamy, mixed, active, mesic Typic Haploxerepts
11	دشت آبرفتی	Fine-loamy, mixed, superactive, mesic Typic Haploxeralfs

نتایج و بحث

رو به کاهش می‌گذارد به جز پروفیل‌های دارای افق آرچلیک دفن شده (پروفیل‌های 2، 9 و 10) که مقدار کربن آلی آنها بیشتر از افق‌های رویی است. بیشترین مقدار کربن آلی 1/08 درصد در افق سطحی پروفیل 4 (تحت پوشش مرتع) و حداقل مقدار آن در حد صفر در

بررسی نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی پروفیل‌ها (جدول 3) در سطوح ژئومرفولوژیک، نشان می‌دهد که بیشترین مقدار کربن آلی در همه پروفیل‌ها مربوط به افق سطحی بوده و با روندی نامنظم با عمق

انقطاع‌های سنگی و دفن شدن افق آرجیلیک قدیمی می‌باشد. میزان رس و CEC پروفیل 2 به جز در افق آرجیلیک دفن شده، کم می‌باشد. دو احتمال برای تشکیل افق آرجیلیک در این پروفیل وجود دارد: 1) از آنجا که این پروفیل درشت‌بافت بوده و به تبع آن نفوذپذیری بالایی دارد، رس می‌تواند از افق سطحی شسته شده و در این قسمت انباشته شود و 2) این افق مربوط به یک خاک قدیمی است که با توجه به قرارگیری آن در مسیر آبراهه، افق سطحی آن توسط فرآیند فرسایش آبی حذف شده و مواد جدید آن را دفن کرده‌اند. احتمال اول برای تشکیل این افق ضعیف می‌باشد زیرا مقدار آهک موجود در افق‌های A و B مانع تحرک‌پذیری و احتمالاً حرکت رس می‌شود. از طرف دیگر با توجه به حضور انقطاع لیتولوژیکی در این پروفیل و مقادیر کم رس در افق‌های بالایی و تشکیل پوشش‌های آهکی بر روی پوسته‌های رسی، مسیر دوم برای تشکیل این افق معقول بوده و نشان‌دهنده قدیمی بودن آن افق می‌باشد (خرمالی و همکاران، 2003). این پروفیل در مقایسه با پروفیل 1 تکامل کمتری دارد.

پروفیل 3 در واحد پدیمنت پوشیده و در لنداسکیپ پایدار دور از دسترس فرآیندهای فرسایش و رسوب (سطح Smp) قرار دارد. در مقایسه با پروفیل قبلی میزان رس این پروفیل بیشتر بوده و باعث توسعه افق مشخصه آرجیلیک در عمق 34 سانتی‌متری از سطح و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی آن شده است. در کنار این مشخصه، میزان بالای آهک در افق‌های B باعث تشکیل افق‌های مشخصه کلسیک شده است. در عمق 60 سانتی‌متری از سطح خاک یک انقطاع بافتی مشاهده می‌شود که به نظر می‌رسد خود تحت تأثیر فرآیندهای خاکسازای خاک رویی بوده و افق مشخصه کلسیک در آن تشکیل شده است زیرا با افزایش عمق تجمع آهک نیز بیشتر شده است. پروفیل‌های 4 و 5 در واحد پدیمنت پوشیده، سطح Gump سنگریزه‌دار را که تحت

افق C پروفیل 9 اندازه‌گیری شد. در سایر پروفیل‌ها میزان کربن آلی اندک بوده و تفاوت زیادی بین افق‌های مختلف مشاهده نگردید. دامنه تغییرات pH زیاد نبوده (7/07 تا 8/26) و این مقادیر در خاک‌های آهکی قابل انتظار است. افق آرجیلیک دفن شده پروفیل 9 با 48/76 درصد رس و افق C پروفیل 2 با 3/76 درصد رس به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی را به خود اختصاص داده‌اند که نشان‌دهنده تبعیت ظرفیت تبادل کاتیونی از تغییرات رس می‌باشد (سیمون و همکاران 2000).

روابط ژئومرفولوژیک خاک‌ها در منطقه

موقعیت پروفیل‌های مطالعه شده و توزیع آنها در سطوح مختلف ژئومرفولوژیک در شکل 1 آورده شده است. پروفیل 1 در واحد کوه و بر روی کنگلومرای نیمه مترام دوره کواترنری تشکیل شده است. این واحد دور از فرآیندهای رسوب‌گذاری بوده و فرآیند فرسایش ورقه‌ای در آن شدید می‌باشد به همین دلیل یک خاک تکامل نیافته می‌باشد. همان‌طور که جدول 3 نشان می‌دهد این پروفیل دارای EC و کربن آلی پایین و بافت درشت، رس کم و به تبع آن CEC کم می‌باشد. مشخصه بارز این پروفیل تشکیل افق‌های مشخصه کلسیک در عمق کم خاک، مقادیر زیادی آهک در افق‌های زیرین و مقادیر قابل توجه ذرات درشت‌تر از شن است.

با حرکت به طرف پایین شیب، پروفیل 2 در پدیمنت سنگی و بر روی رسوبات اخیر قرار دارد. این پروفیل درشت‌بافت و دارای مقادیر قابل توجهی ذرات درشت‌تر از شن می‌باشد که باعث ایجاد انقطاع سنگی شده است. به اعتقاد کاستانتینی و دامیانو (2004) تغییرات سنگ‌شناسی در مواد مادری خاک‌ها ناشی از رسوبگذاری در زمان‌های مختلف می‌باشد. قرارگیری این پروفیل در مسیر آبراهه اصلی نشأت گرفته از واحد کوه، باعث ناپایداری سطح شده است که نتیجه آن

تأثیر آبراهه‌های فعال می‌باشند، تشکیل داده‌اند و به علت جوان و سنگلاخی بودن سطح، فاقد پوشش گیاهی هستند. هر دو پروفیل مملو از ذرات درشت‌تر از شن بوده و دارای انقطاع‌های متوالی می‌باشند که نشان

جدول 3- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

ذرات درشت‌تر از شن %	بافت	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	CEC (cmol ⁺ /kg)	CCE (%)	EC (dS/m)	OC (%)	pH	عمق (cm)	افق	پروفیل
15	لوم شنی	76/93	13/00	10/07	10/37	8/46	0/64	0/39	7/61	0-27	A	1
36	شن لومی	77/88	12/07	9/05	11/32	10/84	1/02	0/40	7/53	27-60	Bk1	
3	شن لومی	85/78	7/95	6/27	7/74	13/35	0/47	0/35	7/87	60-90	Bk2	
21	شن لومی	84/42	8/00	7/58	10/57	17/55	0/39	0/30	8/26	90-125	C1	
16	شن لومی	80/52	14/40	5/08	13/24	10/08	0/53	0/30	8/12	125-150	C2	
18	لوم شنی	62/88	19/40	17/72	12/95	4/64	0/53	0/5	7/55	0-18	Ap	2
20	شن لومی	84/52	7/95	7/53	8/83	6/17	0/68	0/4	7/42	18-60	Bw	
55	شن	92/06	4/18	3/76	6/69	2/35	0/68	0/30	7/88	60-90	C1	
42	شن لومی	79/77	8/85	11/38	9/43	3/95	0/6	0/3	7/68	90-128	C2	
30	لوم رسی شنی	50/58	24/70	24/72	18/02	6/49	0/5	0/51	7/58	128-160	2Btk b	
20	لوم شنی	56/36	26/80	16/84	14/00	11/17	0/71	0/60	7/77	0-15	Ap	3
13	لوم	50/06	29/81	20/13	16/77	11/37	0/45	0/50	7/56	15-34	Bw	
14	لوم رسی	34/25	28/87	36/88	21/04	27/67	0/42	0/40	8/01	34-60	Btk	
28	لوم شنی	74/81	14/52	10/67	12/94	32/33	0/38	0/3	8/1	60-78	2Bkb	
18	لوم شنی	82/54	11/93	5/53	11/42	16/78	0/48	0/1	8/2	78-110	2C	
32	لوم شنی	70/43	14/87	14/70	12/40	1/29	1/08	1/08	7/07	0-17	A	4
10	لوم شنی	67/75	17/48	14/77	12/60	1/01	0/39	0/49	7/38	17-37	BC	
30	شن	90/60	4/79	4/61	7/75	1/29	0/36	0/39	7/41	37-47	C1	
35	لوم شنی	77/91	9/87	12/22	9/26	1/29	0/38	0/39	7/25	47-60	C2	
38	شن لومی	4/79	88/08	7/13	8/19	1/30	0/35	0/2	7/25	60-95	2C	
16	شن لومی	87/40	10/09	2/51	8/45	0/80	0/87	0/60	7/46	0-15	A	5
22	شن	85/13	9/84	5/03	6/77	3/06	0/44	0/50	7/53	15-50	Bw	
55	شن لومی	81/96	10/49	7/55	10/74	4/28	0/42	0/30	7/61	66-103	C1	
25	شن	89/50	2/93	7/56	8/19	4/56	0/47	0/1	7/7	103-120	C2	
65	شن	95/83	1/67	2/50	7/30	2/04	0/31	0/2	7/8	120-150	C3	
5	لوم	48/46	31/75	19/79	25/57	2/23	1/25	0/74	7/35	0-20	Ap	6
3	لوم	43/36	33/04	23/60	26/6	2/83	0/55	0/70	7/72	20-52	Bw1	
4	لوم	40/15	33/42	26/43	27/98	3/04	0/92	0/58	7/9	52-101	Bw2	
5	لوم رسی	37/92	34/37	27/71	29/02	7/67	3/01	0/52	7/76	101-150	Bw3	
3	لوم رسی شنی	32/59	32/41	35/00	23/71	3/94	0/93	0/61	7/9	0-30	Ap	
4	لوم رسی	33/49	26/85	39/66	25/15	6/49	1/23	0/40	7/62	30-90	Bw	7
4	لوم شنی	62/42	20/73	16/85	15/06	13/16	2/15	0/30	8/07	90-110	Bk	
9	لوم شنی	70/47	17/97	11/56	17/91	11/32	2/47	0/20	7/88	110-150	C	

جدول 3 (ادامه) - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

ذرات درشت‌تر از شن %	بافت	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	CEC (cmol ⁺ /kg)	CCE (%)	EC (dS/m)	OC (%)	pH	عمق cm	افق	پروفیل
4	لوم رسی	35/11	32/44	32/45	23/52	7/66	0/56	0/71	7/8	0-30	Ap	8
3	لوم رسی	35/47	31/61	32/92	22/83	6/68	0/65	0/51	7/88	30-85	Bw	
1	رسی	23/73	33/61	42/66	29/54	4/94	0/77	0/30	7/87	85-150	Bt	
-	لوم رسی	42/00	29/00	29/00	17/48	4/81	1/08	0/40	7/84	0-36	Ap	9
-	لوم رسی شنی	52/05	26/50	21/45	15/47	3/80	1/39	0/30	7/52	36-65	Bw	
-	شن لومی	88/72	2/50	8/78	6/25	2/27	0/7	0	8/09	65-86	2C	
-	رسی	24/90	26/34	48/76	26/96	4/01	0/85	0/40	7/87	86-120	3Btb	
-	لوم رسی	36/17	23/28	40/55	18/63	3/31	0/87	0/36	7/95	120-150	3C	
5	لوم رسی	46/52	24/42	29/06	14/8	5/5	1/42	0/8	7/67	0-25	Ap	
8	لوم رسی شنی	31/56	30/77	37/67	19/2	6/3	0/91	0/68	7/65	25-70	Bw	
7	شن لومی	75/55	9/38	14/07	8/7	3/2	0/94	0/64	8/1	70-112	2C	
3	رسی	38/77	24/49	36/74	19/6	5/1	1/35	0/43	7/84	112-150	3Btb	
5	رسی	18/10	35/64	46/26	43/5	9/47	1/61	0/72	7/74	0-25	Ap	11
0	لوم رسی شنی	52/76	20/24	27/00	40/23	8/3	0/44	0/38	7/64	25-98	Bw	
0	رسی	20/48	34/44	45/08	49/37	4/48	2/44	0/29	8/12	98-170	Bt	

(Ncpp) و حضور افق مشخصه آرجیلیک در پروفیل 8، نشان‌دهنده تکامل آنها است و از آنجا که آثاری از جابجایی آهک در این پروفیل‌ها دیده نمی‌شود لذا آهک موجود در پروفیل آنها موروثی است. پروفیل 7 (سطح Cpp) به دلیل داشتن افق مشخصه کلسیک با پروفیل‌های 6 و 8 متفاوت است.

پروفیل‌های 9 و 10 واحد دشت آبرفتی، با مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا، سطح Apba را تشکیل می‌دهند. در این پروفیل‌ها بر روی افق آرجیلیک دفن شده، یک لایه C وجود دارد که ویژگی‌های این لایه در هر دو پروفیل تقریباً شبیه هم بوده و در عین حال با افق B خاک جدید رویی متفاوت هستند. خاک جدید هر دو پروفیل شبیه هم بوده و تفاوت آنها صرفاً در میزان بالای رس افق‌های پروفیل 10 می‌باشد که می‌توان آن را به کاهش انرژی نیروی انتقال‌دهنده مواد در شیب یک درصدی پروفیل 10 و حمل رسوبات ریز ارتباط داد و نتیجه گرفت که این دو سطح در شرایط یکسان بوجود

مقایسه پروفیل 3 واقع در سطح Smp با پروفیل‌های 4 و 5 واقع در سطح Gump آن واحد نشان‌دهنده این است که پروفیل 3 تکامل یافته‌تر بوده و دارای افق آرجیلیک می‌باشد. به علاوه از نظر سایر ویژگی‌ها، مثل ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد رس هم نسبت به پروفیل‌های 4 و 5 متکامل‌تر می‌باشد. این در حالی است که در دو پروفیل اخیر حداکثر پیشرفت خاکسازی محدود به ظهور افق مشخصه کمبیک بوده و در قسمت‌های زیرین پروفیل اثری از فرآیندهای خاکسازی مشاهده نمی‌شود.

پروفیل‌های 6، 7 و 8 در واحد دشت دامنه‌ای قرار داشته و نسبت به پروفیل‌های واقع شده در بالادست خود دارای میزان رس و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر و بافت ریزتر هستند. همه این خاک‌ها عمیق ولی با تکامل پروفیلی متفاوت می‌باشند که دو سطح Ncpp و Cpp (جدول 2) را بوجود آورده‌اند. میزان پایین آهک در پروفیل‌های 6 و 8 (به ترتیب 4/3 و 6/12 و سطح

مادری یکنواختی برخوردار هستند کم می باشد (تورنت و همکاران 2010) و در پروفیل‌های 2، 3، 9 و 10 که دارای انقطاع لیتولوژیکی هستند تغییرات آن نامنظم و در بقیه پروفیل‌ها با ماده مادری یکنواخت، این تغییر کم می باشد.

$$Fe_d(g/kg) = 0.19Clay(\%) + 6/65 \quad r=0.87 \quad [1]$$

مقدار آهن کل از واحد کوه به طرف دشت آبرفتی افزایش یافته است که به طور کلی با افزایش میزان رس مرتبط می باشد. تفاوت آهن کل در سطوح مختلف ژئومرفولوژیک بیشتر تحت تأثیر تفاوت در میزان رس خاک در مقایسه با موقعیت فیزیوگرافی آن است.

میزان آهن پدوژنیک یا آهن آزاد (Fe_d) در افق‌های A و B خاک‌ها با افزایش پیشرفت هوازدگی، افزایش می یابد (سیمون و همکاران 2000). در خاک‌های مطالعه شده نیز Fe_d در افق‌های B (شامل افق‌های B دفن شده) به مراتب بیش از افق‌های C بود (جدول 4). در اغلب خاک‌های مناطق مدیترانه‌ای فرآیند آزادسازی و تجمع آهن از آب‌شویی و تجمع رس تبعیت می کند و میزان بالای Fe_d در افق‌های B با میزان رس در این افق‌ها (تورنت و همکاران 2010) و افزوده شدن اکسیدهای آهن در اثر هوازدگی کانی‌های رسی حاوی آهن در افق‌های B (دیتز و همکاران 2012) مرتبط می باشد.

حداکثر مقدار آهن پدوژنیک ($11/42 \text{ g/kg}$) در افق آرچلیک دفن شده پروفیل 10 و حداقل آن ($1/53 \text{ g/kg}$) در افق C پروفیل 1 مشاهده شد. بررسی روند تغییر آهن پدوژنیک با میزان رس افق‌ها (رابطه 2، شکل 3 و جدول 5) نشان‌دهنده وجود ارتباط مثبت بین مقدار این دو پارامتر می باشد (رابطه 2، شکل 3 و جدول 5).

$$Fe_d(g/kg) = 0.190Clay(\%) + 1/95 \quad r=0.90 \quad [2]$$

تغییرات این شکل آهن با عمق در پروفیل‌های یکنواخت کمتر از پروفیل‌های دارای انقطاع لیتولوژیکی می باشد (ماهانی و همکاران 2009).

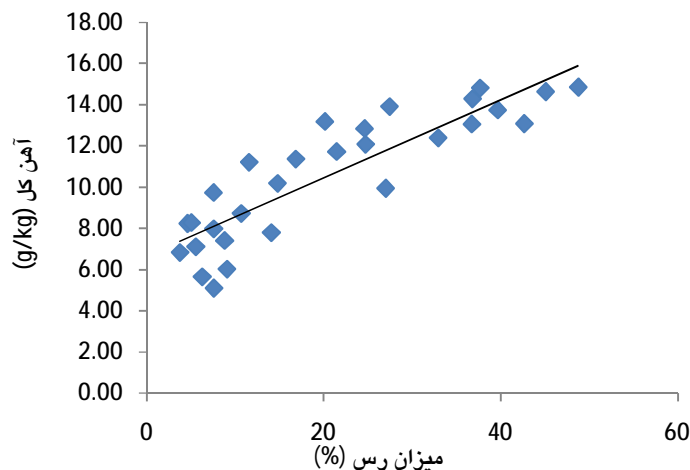
آمده‌اند. پروفیل 11 که سطح Apa واحد دشت آبرفتی را ایجاد کرده است، در پست‌ترین نقطه منطقه، مورد مطالعه قرار گرفته و در عمق 100 سانتی‌متری به یک افق مشخصه آرچلیک با بالاترین ظرفیت تبادل کاتیونی ختم می‌شود. مقدار بالای CEC این افق احتمالاً با نوع رس آن مرتبط است. بالای افق آرچلیک یک افق مشخصه کمبیک قرار دارد که دارای ویژگی‌های متفاوت با افق زیرین می باشد. هر سه پروفیل واقع در واحد دشت آبرفتی وضعیت تقریباً یکسانی داشته و تنها تفاوت موجود در آنها حضور افق آرچلیک در پروفیل 11 می باشد. در این واحد علیرغم بالابودن درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی نسبت به خاک‌های پدیمنت، عمق آنها کم بوده و پروفیل‌های 9 و 10 هرکدام یک افق آرچلیک قدیمی را دفن کرده‌اند که این نشان‌دهنده تأثیرپذیری این واحد از فرآیندهای رسوب مواد ریز بافت است.

توزیع شکل‌های آهن در سطوح مختلف ژئومرفولوژیک

جدول 4 مقادیر شکل‌های مختلف آهن در سطوح ژئومرفولوژیک را نشان می‌دهد. آهن کل (Fe_t) از $5/10$ گرم بر کیلوگرم خاک در افق C پروفیل 1 تا $14/87$ گرم بر کیلوگرم خاک در افق آرچلیک دفن شده پروفیل 6 تغییر می‌کند (جدول 4). در همه پروفیل‌های مطالعه شده آهن کل افق‌های B بیش از افق‌های C بوده و دلیل آن درصد رس بیشتر در افق‌های B است. ارتباط بین میزان رس و آهن کل را می‌توان با مقایسه مقدار این دو پارامتر در افق‌های آرچلیک خاک‌های مطالعه شده دریافت (رابطه 1، شکل 2 و جدول 5). ضریب رگرسیون نسبتاً پایین این رابطه، نشان‌دهنده عدم تبعیت آهن کل از مقدار رس در برخی افق‌های خاک است. به عبارتی برخی از کانی‌های آهن‌دار از قبیل بیوتیت و ایلمنیت در بخش سیلت و شن حضور دارند (تورنت و همکاران 2010) که باعث می‌شوند میزان آهن کل، علاوه بر میزان رس تحت کنترل این کانیها نیز باشد. تغییر آهن کل با عمق در پروفیل‌هایی که از ماده

جدول 4- شکل‌های مختلف آهن در خاک‌های مطالعه شده.

Fe _t -Fe _d (g/kg)	(Fe _d -Fe _o) /Fe _t	Fe _o /Fe _d	Fe _d -Fe _o (g/kg)	Fe _o (g/kg)	Fe _d (g/kg)	Fe _t (g/kg)	افق	سطح
2/99	0/37	0/26	2/24	0/79	3/03	6/02	Bk1	Mount
2/95	0/33	0/32	1/84	0/86	2/70	6/65	Bk2	
3/57	0/17	0/44	0/85	0/68	1/53	5/10	C1	
4/73	0/48	0/08	4/64	0/38	5/02	9/75	Bw	Rp
3/14	0/49	0/09	4/35	0/34	3/69	6/83	C	
6/05	0/44	0/13	5/26	0/78	6/04	12/09	2Btkb	
6/39	0/49	0/04	6/51	0/30	6/81	13/20	Bw	Smp
7/62	0/44	0/05	6/35	0/33	6/68	14/30	Btk	
4/33	0/47	0/06	4/13	0/27	4/40	8/73	2Bkb	
4/92	0/28	0/08	2/02	0/17	2/19	7/11	2C	
6/54	0/20	0/45	2/02	1/63	3/65	10/19	BC	Gump
5/70	0/22	0/29	1/80	0/74	2/54	8/24	C1	
6/07	0/16	0/41	1/31	0/90	2/21	8/28	Bw	Gump
5/78	0/21	0/25	1/64	0/56	2/20	6/98	C1	
5/66	0/43	0/23	5/56	1/64	7/20	12/86	Bw1	Ncpp
7/25	0/38	0/21	5/26	1/42	6/68	13/93	Bw2	
6/13	0/34	0/38	4/72	2/91	7/63	13/76	Bw	Cpp
5/17	0/37	0/32	4/20	2/01	6/21	11/38	Bk	
6/14	0/34	0/24	3/85	1/23	5/08	11/22	C	
3/36	0/57	0/22	7/03	2/01	9/04	12/40	Bw	Ncpp
3/48	0/61	0/17	7/97	1/65	9/62	13/10	Bt	
4/02	0/52	0/22	6/05	1/67	7/72	11/74	Bw	Apba
4/04	0/37	0/19	2/72	0/65	3/37	7/41	2C	
4/97	0/59	0/12	8/70	1/20	9/90	14/87	3Btb	
3/86	0/56	0/25	8/28	2/69	10/97	14/83	Bw	Apba
3/63	0/44	0/17	3/47	0/70	4/17	7/80	2C	
1/66	0/82	0/06	10/71	0/71	11/42	13/08	3Btb	
1/17	0/80	0/10	7/92	0/86	8/78	9/95	Bw	Apa
4/53	0/63	0/09	7/17	0/95	10/12	14/65	Bt	



شکل 2- تغییرات آهن کل با میزان رس خاکها

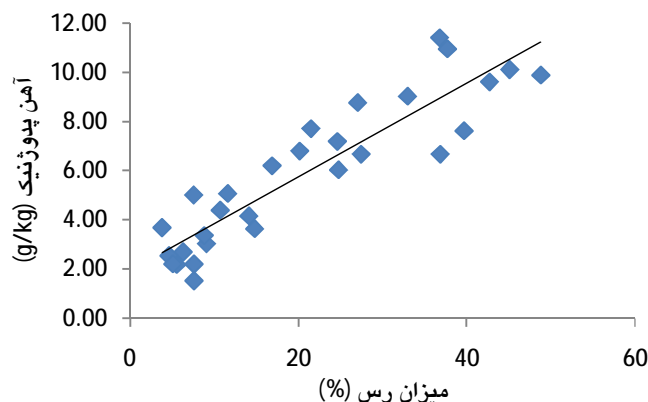
جدول 5- ضرایب همبستگی خطی بین شکل‌های مختلف آهن و رس

	Fe _t	Fe _d	Fe _o	Fe _d -Fe _o	Fe _o /Fe _d
Fe _t					
Fe _d	۰/۸۶۲**				
Fe _o	۰/۵۱۰**	۰/۴۹۱**			
Fe _d -Fe _o	۰/۸۱۶**	۰/۹۷۳**	۰/۲۷۹		
Fe _o /Fe _d	-۰/۲۸۷	-۰/۳۸۷*	۰/۴۹۹**	-۰/۵۵۹**	
Clay	۰/۸۷۷**	۰/۹۰۸**	۰/۵۰۱**	۰/۸۶۹**	-۰/۲۶۳

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال 0/05 و 0/01

بیشترین و کمترین مقدار آن به ترتیب مربوط به افق کمبیک پروفیل 7 و افق C پروفیل 3 بوده و مقدار آن در افق‌های B بیشتر از افق‌های C می‌باشد (جدول 4). اگرچه ارتباط Fe_o با میزان رس معنی‌دار می‌باشد اما ضریب همبستگی آن ضعیف است که نشان می‌دهد این شکل از آهن علاوه بر مقدار رس به مرحله هوادیدگی خاک نیز بستگی داشته و سن سطوح در میزان آن موثر می‌باشد. توزیع آن با عمق نسبت به Fe_t و Fe_d نامنظم و بدون روند خاص می‌باشد که دلیل آن می‌تواند ناهمگنی ماده مادری و اختلاف در سرعت هوادیدگی باشد.

میزان Fe_d در واحد کوه، کمترین مقدار بوده و به طرف دشت آبرفتی افزایش می‌یابد که این افزایش با افزایش مقدار رس از واحد کوه به طرف واحد دشت همخوانی دارد. از طرف دیگر پایداری سطوح ژئومرفولوژیک بر مقدار آن مؤثر بوده است بطوری که در دو سطح Mount و Gump که سطوح ناپایدار می‌باشند مقادیر Fe_d در مقایسه با سطح پایدار Smp کم بوده و در دشت دامنه‌ای و دشت آبرفتی مقادیر آن رو به افزایش گذاشته است. ارتباط Fe_d با رس و دور بودن سطوح دشت دامنه‌ای و آبرفتی از فرآیندهای فرسایش و رسوب عامل عمده این افزایش می‌باشد. دامنه تغییرات آهن بی‌شکل (Fe_o) در خاک‌های مطالعه شده نسبتاً کم (0/17 تا 2/91 g/kg) می‌باشد.



شکل 3- تغییرات آهن پدوژنیک با میزان رس خاک‌ها

بیشترین مقادیر Fe_d-Fe_o مترادف با بیشترین مقادیر رس خاک نیست.

$$Fe_d \text{ (g/kg)} = 0.165 \text{ Clay(\%)} + 1.41 \quad r = 0.87 \quad [3]$$

Fe_o

تغییرات Fe_d-Fe_o با پایداری و قدمت سطوح ژئومرفولوژیکی ارتباط نزدیکی و مقدار بالای آن در افق‌های آرچلیک دفن شده و سطوح پایدار دشت دامنه‌ای و پدیمنت پوشیده مؤید این ارتباط است. در سطوح Mount و Gump که در اثر فرآیندهای فرسایش و رسوب ناپایدار هستند مقدار Fe_d-Fe_o در آنها کمتر بوده و در سطوح پایدار و دور از فرآیندهای فرسایش و رسوب Smp, Apa و Apba مقدار آن بیشتر می‌باشد.

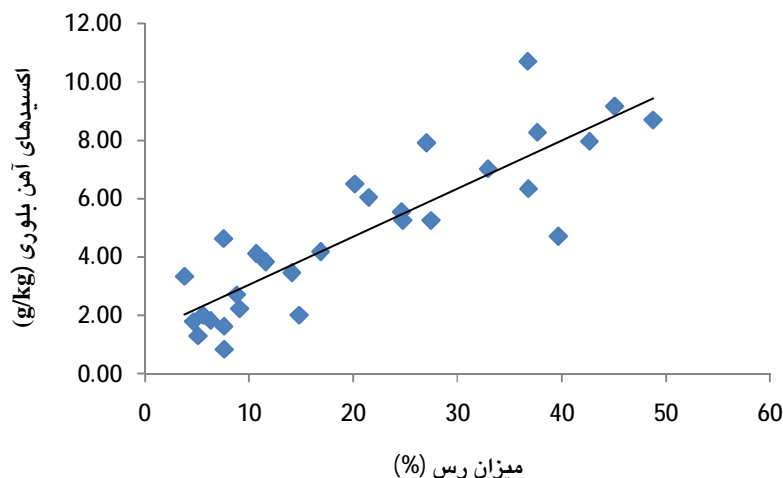
درجه بلوری شدن اکسیدهای آهن (Fe_o/Fe_d) نشان‌دهنده سهم ترکیبات بی‌شکل آهن پدوژنیک می‌باشد. مقدار آن در سطوح جوان، بالا بوده و با افزایش تکامل خاک کاهش می‌یابد (سیمون و همکاران 2000). بیشترین و کمترین مقدار Fe_o/Fe_d به ترتیب در افق BC پروفیل 4 و افق‌های کمبیک پروفیل 3 گزارش شده است. عبارت $Fe_o/Fe_d \times 100$ بیانگر درصد اکسیدهای آهن غیربلوری بوده و بدین ترتیب اکسیدهای آهن بی‌شکل افق BC پروفیل 4 و افق‌های کمبیک شماره 3 به ترتیب 45 و 4 درصد می‌باشد.

به دلیل اختلاف مواد مادری در سطوح مختلف و به تبع آن اختلاف در سرعت هوازدگی، تغییرات Fe_o در واحدهای مختلف واضح و مشخص نمی‌باشد. از آنجا که مقادیر مطلق ترکیبات آهن علاوه بر فرآیندهای خاکسازي تابع ماده مادری نیز می‌باشد، لذا شاخص‌های Fe_d-Fe_o (ترکیبات بلوری آهن)، Fe_o/Fe_d (درجه بلوری شدن اکسیدهای آهن)، $(Fe_d-Fe_o)/Fe_t$ (نسبت آهن بلوری) و Fe_t-Fe_d (آهن شبکه‌ای) برای مقایسه تکامل خاک‌ها به کار می‌رود.

Fe_d-Fe_o نشان‌دهنده میزان اکسیدهای آهن بلوری می‌باشد (شورتمن 1985) که هوازدگی پیش رونده و تشکیل خاک منجر به کاهش آن می‌گردد (لایر و همکاران 2009). بالا بودن مقدار Fe_d-Fe_o نشان‌دهنده این است که بیشتر ترکیبات آهن به صورت بلوری می‌باشد (هاوارد و همکاران 2012). بیشترین مقدار Fe_d-Fe_o در افق آرچلیک دفن شده پروفیل 9 و کمترین آن در افق C پروفیل 1 و بین میزان رس و مقدار Fe_d-Fe_o همبستگی مثبت مشاهده گردید (رابطه 3، شکل 4 و جدول 5) که از این نظر تمایزی بین افق‌های آرچلیک با سایر افق‌های حاوی رس وجود نداشت. به علاوه به نظر می‌رسد نوع رس تعیین کننده‌تر از مقدار رس بوده (تورنت و همکاران 2010) و

در آن ادامه می‌یابد. به همین دلیل میزان اکسیدهای آهن غیربلوری آن بالا می‌باشد. در سطح Cpp حضور آهک مانع پیشرفت تشکیل خاک و باعث کاهش سرعت هوادیدگی شده است.

در سطوح و واحدهای مطالعه شده درجه بلوری شدن اکسیدهای آهن نسبتاً یکنواخت بوده و سه سطح Mount، Gump و Cpp مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. ناپایداری دو سطح Mount و Gump باعث تجدید آن شده و هوادیدگی پیش رونده



شکل 4- ارتباط بین رس و میزان اکسیدهای آهن بلوری (Fe_t-Fe_o) خاک‌ها.

(Fe_t-Fe_o) مقدار آهن موجود در شبکه کانی‌هاست (ماهانی و همکاران 2009) که در افق‌های غنی از آهن و یا کانی‌های آهن‌دار مثل پیروکسن مقادیر بالایی دارد. از آنجا که مقدار Fe_t با گذشت زمان در خاک‌ها افزایش پیدا کرده (پوپه و همکاران 2008) و آهن کل ثابت باقی می‌ماند لذا بالابودن مقدار Fe_t-Fe_o نشان‌دهنده یک خاک جوان است و به عبارت دیگر هرچه این مقدار بیشتر باشد ذخیره کانی‌های قابل هوادیدگی خاک بیشتر بوده و خاک تکامل نیافته‌تر محسوب می‌شود. در خاک‌های مطالعه شده بین این پارامتر و درصد رس هیچ رابطه‌ای مشخص نگردید و این امر نشان‌دهنده تبعیت مقادیر Fe_t-Fe_o از نوع کانی‌های موجود در خاک در مقایسه با میزان رس می‌باشد. بیشترین مقدار آن در پروفیل سوم و کمترین آن در افق کمبیک پروفیل 11 مشاهده شد.

عبارت $(Fe_t-Fe_o)/Fe_t$ نشان‌دهنده نسبت آهن بلوری به آهن کل بوده و بین 0/16 در افق کمبیک پروفیل 5 تا 0/82 در افق آرچلیک دفن شده پروفیل 10 تغییر می‌کند. با توجه به ثابت بودن مقدار آهن کل در یک خاک، افزایش این نسبت نشان‌دهنده بالا بودن سهم اکسیدهای آهن بلوری در آن خاک می‌باشد. از طرف دیگر با گذشت زمان مقدار Fe_o کاهش (سیمون و همکاران 2000) و مقدار Fe_t افزایش (پوپه و همکاران 2008) می‌یابد. بنابراین انتظار می‌رود مقدار این نسبت در خاک‌های مسن بیشتر از خاک‌های جوان باشد. در خاک‌های مطالعه شده مقدار آن از کوه به طرف دشت آبرفتی افزایش یافته است که دلیل آن را می‌توان وابستگی بالای Fe_t به مقدار رس دانست. به طور مشابه، ناپایداری سطوح Mount و Gump و پایداری سایر سطوح عامل تغییرات نسبت آهن بلوری در سطوح ژئومورفیک می‌باشد.

Fe_d بین سطوح مختلف کم بوده و افزایش کمی نسبت به واحد دشت دامنه‌ای نشان می‌دهد. تغییرات Fe_d-Fe_o با شیب و در سطوح مختلف ژئومورفیک روندی مشابه با تغییرات Fe_d دارد.

در حرکت از واحد کوه به طرف دشت آبرفتی تغییرات Fe_o/Fe_d تابع شیب نبوده و با توجه به مساعد بودن یا نبودن شرایط پیشرفت فرآیندهای خاکسازی تغییر می‌کند. یکنواختی آن در یک واحد نشان‌دهنده شرایط نسبتاً یکنواخت خاکسازی برای سطوح می‌باشد. مقدار Fe_o/Fe_d در سطح Mount بیشترین مقدار را داشته و گویای این است که این سطح در مقایسه با سطح Rp هوادیدگی کمتری دارد (هاوارد و همکاران 2012). می‌توان نتیجه گرفت که حضور آهک در پروفیل سطح Mount و قرارگیری در شیب مانع هوادیدگی کانی‌های آهن‌دار آن شده است. در مقابل در سطح Rp بافت درشت خاک‌ها به تسریع هوادیدگی کانیها کمک کرده و باعث کاهش Fe_o/Fe_d شده است. این نسبت در سطح Gump واحد پدیمنت پوشیده (پروفیل 4) بالاترین مقدار و در سطح Smp کمترین مقدار را داراست. این امر نشان‌دهنده هوادیدگی بیشتر سطح Smp نسبت به سطح Gump است که با توجه به پایداری لنداسکیپ سطح Smp، این نتیجه قابل توجیه می‌باشد. در واحد دشت دامنه‌ای مقدار Fe_o/Fe_d در سطح Cpp بالا بوده و در سطح Ncpp کاهش پیدا کرده است. این نتیجه بیانگر آن است که سطح Cpp جوان بوده و هوادیدگی کمتری در آن صورت گرفته است و دلیل آن را می‌توان در حضور مقدار نسبتاً بالایی آهک در پروفیل خاک و ممانعت آن از پیشروی فرآیندهای خاکسازی دانست. در واحد دشت آبرفتی مقادیر Fe_o/Fe_d یکنواختی بیشتری بین سطوح نشان می‌دهد که به مفهوم شرایط هوادیدگی یکسان در هر دو سطح درون واحد دشت آبرفتی می‌باشد.

به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که قضاوت در مورد تکامل خاک‌ها بر اساس توزیع اکسیدهای آهن، درک بهتری از خاک‌ها و شرایط خاکسازی حاکم بر

بررسی این پارامتر در سطوح مختلف ژئومرفولوژیک روشن می‌سازد که روند مشخصی بین مقادیر آن و ویژگی‌های سطوح وجود ندارد. این امر اثبات می‌کند که در خاک‌های مورد مطالعه علاوه بر رس، کانی‌های آهن‌دار در اندازه شن و سیلت شکلهای آهن را کنترل نموده و برخی ناهماهنگی‌ها را در روند تغییر این ترکیبات با ویژگی‌های سطوح ایجاد می‌نمایند.

نتیجه گیری کلی

با توجه به روابط ژئومرفولوژیک موجود در منطقه، خاک‌های مورد مطالعه در درون پنج واحد گروه‌بندی شدند (جدول 2). بررسی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی پروفیل‌ها (جدول 3) نشان می‌دهد که روند تغییرات این ویژگی‌ها به طور کامل تابع شیب نمی‌باشد. به همین دلیل در درون هر واحد سطوح ژئومرفولوژیک که متأثر از فرآیندهای فرسایش و رسوب در زمانهای متفاوت هستند، تفکیک گردیدند. در این مفهوم پایداری لنداسکیپ عامل مهمی در تکامل خاک می‌باشد.

توزیع شکل‌های مختلف آهن به درک بهتر خاک‌ها و تکامل آنها کمک می‌کند. در حرکت از واحد کوه به واحد دشت آبرفتی مقدار Fe_d روند افزایشی را طی کرده و به بالاترین مقدار خود در واحد دشت دامنه‌ای رسیده است. مقدار Fe_d سطح Mount (واحد کوه) در مقایسه با سطح Rp (واحد پدیمنت سنگی) کمتر بوده و به عبارت دیگر مقدار آن به طرف پایین شیب بیشتر شده است (دیتز و همکاران 2012). در واحد پدیمنت پوشیده مقدار Fe_d در سطح Smp بیشتر از سطح Gump بوده و نشان‌دهنده پایداری سطح Smp و امکان پیشرفت هوادیدگی در آن است. در واحد دشت دامنه‌ای مقدار Fe_d در همه سطوح تقریباً یکسان بوده و بیانگر مشابهت سطوح می‌باشد. در عین حال این مقدار در مقایسه با هر دو سطح واحد پدیمنت پوشیده بیشتر می‌باشد که دلیل آن مقدار بالای رس در واحد پدیمنت پوشیده می‌باشد. در واحد دشت آبرفتی نیز تغییرات

می‌شود که تعداد افق‌های بیشتر در واحد اول به علت تکامل یافتگی آن نبوده بلکه به دلیل مساعد نبودن شرایط برای پیشرفت فرآیندهای خاکساختی می‌باشد و واحد دوم هر چند تمایز پروفیلی زیادی ندارد به لحاظ هوادیدگی شیمیایی متکامل‌تر است.

آنها را ارائه می‌دهد. به عنوان مثال از مقایسه دو واحد Mount و Rp بر اساس خواص فیزیکی-شیمیایی این نتیجه حاصل می‌شود که واحد اول به علت وجود افق‌های بیشتر متکامل‌تر از دومی می‌باشد، اما اگر قضاوت بر مبنای اکسیدهای آهن باشد کاملاً روشن

منابع مورد استفاده

- بنایی م ح، 1377. نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاکهای ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب ایران، وزارت کشاورزی، تهران، ایران.
- بی‌نام، 1994. مطالعه زمین‌شناسی ایران. نقشه زمین‌شناسی ایران، برگه مرند شماره 5166.
- Alamdari P, Jafarzadeh AA, Oustan Sh and Toomanian N, 2010. Iron oxide forms and distribution in a transect of Dasht-e-Tabriz soils, Northwest Iran. *JFAE*, 8(3&4): 976-979.
- Anonymous, 2004. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Rep. 42. USDA-NRCS, Washington, DC.
- Anonymous, 2006. Soil Survey Manual. University press of pacific. Honolulu. Hawaii.
- Anonymous, 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11th ed. Soil Survey Staff, US Department Of Agriculture, eleventh USA.
- Birkeland P, Burke RM, and Benedict JB, 1989. Pedogenic gradients for iron and aluminum accumulation and phosphorus depletion in arctic and alpine soils as a function of time and climate. *Quaternary Research* 32: 193-204.
- Birkeland PW, 1999. Soils and Geomorphology, 3rd edition. Oxford University Press, New York.
- Bohn H.L., McNeal B.L., O'Connor G, 1985. Soil Chemistry. Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, New York.
- Costantini EAC, Lessovaia S and Vodyanitskii Yu, 2006. Using the analysis of iron and iron oxides in paleosols (TEM, geochemistry and iron forms) for the assessment of present and past pedogenesis. *Quaternary International* 156-157: 200-211.
- Costantini I AC and Damiani D, 2004. Clay minerals and the development of Quaternary soils in central Italy. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 21: 144-159.
- Dahms D, Favilli F, Krebs R and Egli M, 2012. Soil weathering and accumulation rates of oxalate-extractable phases derived from alpine chronosequences of up to 1 Ma in age. *Geomorphology* 151-152: 99-113.
- Dethier DP, Birkeland PW and McCarth JA, 2012. Using the accumulation of CBD-extractable iron and clay content to estimate soil age on stable surfaces and nearby slopes, Front Range, Colorado. *Geomorphology* 173:174: 17-29.
- Gee WG and Bauder JW, 1986. Particle-size analysis. Pp. 383-412. In: Klute, A (ed). *Methods of Soil Analysis. Part I*. Madison: American Society of Agronomy.
- Howard JL, Clawson, CR and Daniels LW, 2012. A comparison of mineralogical techniques and potassium adsorption isotherm analysis for relative dating and correlation of Late Quaternary soil chronosequences. *Geoderma* 179: 180, 81-95.
- Jenny H, 1941. *Factors of Soils Formation*. McGraw-Hill, New York.
- Khormali F, Abtahi A, Mahmoodi S and Stoops G, 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. *Catena* 53: 273-301.
- Lair GJ, Zehetner F, Hrachowitz M, Franz N, Maringer FJ and Gerzabek MH, 2009. Dating of soil layers in a young floodplain using iron oxide crystallinity. *Quaternary Geochronology* 4: 260-266.
- Mahaney WC, Dohm J, Kapran B, Hancock RGV and Milner MW, 2009. Secondary Fe and Al in Antarctic paleosols: Correlation to Mars with prospect for the presence of life. *Icarus* 203: 320-330.
- McKeague JA and Day JH, 1966. Dithionate and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.* 46:13-23.
- Mehra OP and Jackson ML, 1960. Iron oxides removed from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Minerals* 7: 317-327.
- Nelson DW and Sommers LE, 1986. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Pp. 539-579. In: Klute, A (ed). *Methods of Soil Analysis. Part II*. ASA, SSSA, Madison, USA.
- Pope R, Wilkinson K, Skourtos E, Triantaphyllou M and Ferrier G, 2008. Clarifying stages of alluvial fan evolution along the Sfakian piedmont, Southern Crete: New evidence from analysis. *Adv. Soil Science* 1: 172-200.
- Rezapour S, Jafarzadeh A. A, Samadi A and Oustan S, 2009. Distribution of iron oxides forms on a transect of calcareous soils, north-west of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science* 56(2): 165-182).

- Richards LA, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Handbook 60 USDA, US Gov. Print. Office, Washington, DC.
- Sauer D, Wagner S, Brückner H, Scarciglia F, Mastronuzzi G and Stahr K, 2010. Soil development on marine terraces near Metaponto (Gulf of Taranto, southern Italy). *Quaternary International* 222: 48–63.
- Scarciglia F, Pulice I, Robustelli G and Vecchio G, 2006. Soil chronosequences on Quaternary marine terraces along the northwestern coast of Calabria (Southern Italy). *Quaternary International* 156–157:133–155.
- Schaetzl RJ and Anderson S, 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, U.K.
- Schwertmann U, 1984. The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. *Advances in Soil Sciences* 1: 171–200.
- Sharif Hossain Khan Md, Parkash B, and Kumar S, 2005. Soil-Landform development of fold belt along East Coast of Bangladesh. *Geomorphology* 71: 310– 327.
- Simon M, Sanchez S, and Garcia I, 2000. Soil-landscape evolution on a Mediterranean high mountain. *Catena* 39: 211–231.
- Singh LP, Parkash B, and Singhvi AK, 1998. Evolution of the Lower Gangetic Plain landforms and soils in West Bengal, India. *Catena* 33: 75-104.
- Tite MS and Linington RE, 1975. Effect of climate on the magnetic susceptibility of soils. *Nature* 256: 565–566.
- Torrent J, Liu QS, and Barron V, 2010. Magnetic minerals in Calcic Luvisols (Chromic) developed in a warm Mediterranean region of Spain: Origin and paleoenvironmental significance. *Geoderma* 154: 465–472.
- Zinck JA, 1988. *Physiography and Soils, Soil Survey Course*. ITC, Enschede. The Netherlands.