

## Micromorphological Evidences of Basalt and Volcanic Glass Weathering in Semi-arid Soils of Middle Alborz

ALIREZA RAHEB<sup>1\*</sup>, AHMAD HEIDARI<sup>1</sup>, BAHAREH KARIMZADEH<sup>1</sup>

1. Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resource, University of Tehran, Karaj-Iran.  
(Received: Oct. 24, 2020- Revised: Dec. 17, 2020- Accepted: Jan. 2, 2021)

### ABSTRACT

Regards that Iran is covered by many arid and semi-arid regions, the formation of soil-pedogenic features are very important and effective to have a better understanding of the topics of the soil sciences in these regions. Parent material is one of the main factors controlling soil properties in arid and semiarid regions. Basalt and volcanic glass are among igneous rocks that contain minerals susceptible to weathering minerals. Their weathering products are deposited as secondary minerals and different cations in the soil and the consumption of weathering products accelerate the weathering, soil formation and evolution during these processes. In this study, morphological and physicochemical properties of eight soil profiles formed on basalt rocks in semiarid region of middle Alborz were investigated and micromorphological properties were studied in six thin sections. Micromorphological observations showed different evidences of the occurrence of weathering processes. Formation of hypocoating and nodules of iron oxide and manganese, cubic microstructure and its evolution in different soils from semi-angular to angular cubic, layered clayey clusters indicating periodic deposition of these. Also, the layers were in favorable conditions, and the formation of a variety of pedogenic carbonate effects such as nodules, coating and hypocoating, cavities filled by micritic and sparite crystals were suggested alternating dry and wet periods, and the effect of these periods on progresses in weathering processes. One of the unanticipated consequences in the micromorphological study was the large volume of clay produced in some soil profiles due to the greater weathering intensity of volcanic glass.

**Keywords:** Basalt, Soil Formation, Pedogenic Carbonate Effects, Micromorphology.

## شواهد میکرومورفولوژیکی هوازدهی بازالیت و شیشه آتشفشان در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک البرز میانی

علیرضا راهب<sup>\*</sup>، احمد حیدری<sup>۱</sup>، بهاره کریم‌زاده<sup>۱</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳)

### چکیده

با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک فرا گرفته است، چگونگی تشکیل عوارض خاک‌ساخت موجود در خاک در فهم بهتر مباحث علوم خاک در این مناطق بسیار مهم و تاثیرگذار است. مواد مادری یکی از عوامل اصلی کنترل‌کننده خصوصیات خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. بازالیت و شیشه آتشفشانی از جمله سنگ‌های آذرین حاوی کانی‌های حساس به هوازدهی هستند. محصولات هوازدهی آنها به صورت کانی‌های ثانویه و کاتیون‌های مختلف در خاک انباشته می‌شوند و مصرف این محصولات طی فرآیندهای مختلف به تشدید هوازدهی و تشکیل و تکامل خاک خواهد انجامید. در این تحقیق ویژگی‌های مورفولوژی و فیزیکوشیمیایی خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ مادر بازالیت در هشت خاکرخ در منطقه نیمه‌خشک البرز میانی مورد مطالعه قرار گرفت و سپس خصوصیات میکرومورفولوژیکی در شش مقطع نازک مطالعه شد. مشاهدات میکرومورفولوژی شواهد مختلفی از وقوع فرآیندهای هوازدهی را نشان داد. تشکیل پوشش‌های زیرسطحی و گرهک‌های اکسید آهن و منگنز، ساختمان میکروسکوپی مکعبی و تحول آن در خاکرخ‌های مختلف از مکعبی نیمه‌زاویه‌دار به مکعبی زاویه‌دار، پوشش‌های رسی لایه لایه که نشان از رسوب دوره‌ای این لایه‌ها در شرایط مساعد داشت، و تشکیل انواع عوارض خاک‌ساخت کربناتی مانند گرهک‌ها، پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی، پرشدگی حفرات با کریستال‌های میکریتی و اسپاریتی همگی حاکی از وجود دوره‌های متناوب خشک و مرطوب و اثر این دوره‌ها در پیشرفت فرآیندهای هوازدهی دارد. از دیگر نتایج جالب توجه در مطالعه میکرومورفولوژی خاک‌های منطقه مورد مطالعه، حجم زیاد رس تولید شده در برخی از خاکرخ‌ها به علت شدت هوازدهی بیشتر شیشه آتشفشان بود.

واژه‌های کلیدی: بازالیت، تشکیل خاک، عوارض ساخت، میکرومورفولوژی.

### مقدمه

شدت و نوع هوازدهی تا حد زیادی به زمین‌شناسی منطقه و ترکیب مواد مادری خاک بستگی دارد. در مراحل ابتدایی تشکیل خاک، ترکیب شیمیایی به شدت به وسیله ماده مادری کنترل می‌شود، در حالی که در خاک‌های بالغ منعکس‌کننده اثرات محیط هوازدهی است (Thanachit et al, 2006). کانی‌های سازنده سنگ و خاک بسته به ترکیب شیمیایی، سختی، شرایط تبلور و محیط هوازدهی دارای شرایط پایداری و مقاومت به هوازدهی خاص خود می‌باشند. شدت هوازدهی سنگ‌ها و محصولات حاصل از آن در اقلیم‌های مختلف متفاوت است. در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که بخش گسترده‌ای از ایران، در آن واقع شده است، درجه حرارت محیط نسبتاً بالا است، ولی بارندگی کمتر از تبخیر است، لذا آب کافی جهت هوازدهی شیمیایی سنگ‌ها و رسوبات وجود ندارد. بنابراین، سنگ‌ها غالباً به صورت فیزیکی هوازده می‌شوند (Caspari et al, 2006) و درجه تخریب کانی‌ها پایین است (Abbasnejad, 2005)، البته باید در نظر داشت که بسته به نوع

سنگ و ترکیبات موجود در آن نیز شرایط متفاوت خواهد بود. بازالیت یک سنگ آذرین ریزدانه و بازی است که سریع‌تر از سایر سنگ‌های اسیدی هوازده می‌شوند (Buol et al, 2011). شیشه آتشفشان و بازالیت حاوی کانی‌های سیلیکاتی غنی از آلومینیوم، آهن و منیزیم (کانی‌های مافیک) می‌باشند که به سرعت هوازده شده و ضمن آزادسازی عناصر سازنده خود مقدار زیادی رس ایجاد می‌کنند. در مقیاس جهانی بازالیت‌ها و تشکیلات آذرآواری  $10^6 \times 6/8$  کیلومتر مربع، تقریباً معادل ۵ درصد مساحت زمین را تشکیل می‌دهند (Dessert et al, 2003).

هوازدهی بازالیت شامل حذف سریع مقدار قابل‌توجهی از کاتیون‌های بازی مانند  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  در محلول خاک و در مقابل حفظ و نگهداری  $Si^{4+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  در قالب کانی‌های ثانویه است (Chorover et al, 2004; Chen et al, 2020). از هوازدهی بازالیت مقدار زیادی کاتیون‌های  $Ca^{2+}$  و  $Mg^{2+}$  و  $Fe^{2+}$  مقدار کمتری یون‌های سدیم و پتاسیم آزاد می‌شود که این کاتیون‌ها باعث تغییرات زیادی در کانی‌شناسی خاک‌ها می‌شوند.

میکرومورفولوژی برای مطالعه رده‌بندی و مدیریت خاک به منظور تکمیل مطالعات مورفولوژی و تکامل خاکها، ضروری است (Stoops, 2003). اطلاعات مربوط به هوازدهی مواد معدنی اطلاعات مهمی را هم در مورد محیط (نوع کانی‌های تشکیل‌شده) و هم در مورد درجه هوازدهی (مقدار محصولات هوازدهی) در اختیار می‌گذارد (Heidari and Sahebjalal, 2011).

تشکیل افق‌های آرجیلیک ضخیم با درصد رس بالا در مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره مورد تردید بوده است. فرایند کند تشکیل رس و به تبع آن تکامل خاک نشان‌دهنده مدت زمانی طولانی است که در نهایت منجر به تشکیل عوارض مورفولوژیکی، میکرومورفولوژیکی خاص در کنار خصوصیات فیزیکی و شیمیایی می‌شود که گاهی بدون تجهیزات آزمایشگاهی قابل شناسایی و اندازه‌گیری نمی‌باشند. وجود پوشش‌های رسی و تعیین فرایندهای دخیل در تشکیل آنها، که موید وجود افق آرجیلیک می‌باشند در بسیاری از موارد به راحتی در صحرا قابل تشخیص نمی‌باشند. میکرومورفولوژی و مطالعه مقاطع نازک ابزاری بسیار کارآمد در شناسایی اینگونه عوارض و تعیین فرایندهای دخیل در پیدایش آنها و همچنین تفسیر نتایج حاصله است. با مطالعه میکرومورفولوژی عوارض موجود در افق‌های تشکیل‌دهنده خاک-هایی که به صورت درجا و مستقیماً از سنگ بستر توسعه یافته‌اند می‌توان بخش اعظم فرایندهای دخیل در تبدیل سنگ بستر به خاک را شناسایی نموده و میزان سنگ هوازده، میزان خاک تشکیل شده و میزان و نحوه تشکیل بسیاری از عوارض را مشخص نمود (Stoops et al, 2010).

Raheb (2017) در بررسی خصوصیات میکرومورفولوژی خاک‌های مشتق شده از بازالت در منطقه رودبار استان گیلان مقادیر نسبتاً زیاد بخش درشت (بیشتر از ۳۰ درصد) در نسبت c/f که گویای وجود ذرات اولیه شیشه آتشفشانی، کوارتز و فلدسپار و قطعات سنگی ناشی از هوازدهی است، را گزارش داد. از طرف دیگر شرایط اقلیمی مساعد و مقدار بارندگی بالا سبب شده که هوازدهی زیاد از نوع خطی نامنظم و متقاطع، نقطه‌ای و کمپلکس با درجه متوسط و زیاد مشاهده شود و وجود قطعات سنگی و کانی‌های اولیه در ریز توده این خاک‌ها، باعث ایجاد بی-فابریک خرده بلوری<sup>۱</sup> در مقاطع مورد بررسی شده است. مقایسه نتایج آنالیز تصویر بازالت و شیشه‌های آتشفشانی در مقاطع نازک دو منطقه نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب نشان داد که در منطقه نیمه-خشک اندازه و درصد فراوانی شیشه‌های آتشفشانی بیشتر از منطقه نیمه‌مرطوب است در حالیکه در منطقه نیمه‌مرطوب به

تغییرات بار الکتریکی ناشی از کاتیون‌های حاصل از هوازدهی در فاز محلول معمولاً توسط یون بی‌کربنات ( $\text{HCO}_3^-$ ) موجود متعادل می‌شود. مجموع این فرایندها منجر به نرخ بالای مصرف  $\text{CO}_2$  در طی هوازدهی بازالت‌ها می‌شود (Abbasnejad, 2005). اکثر مطالعات با موضوع بررسی فرایندهای خاکسازي در خاک‌های آتشفشانی، بر روی خاک‌های عمیق تکامل‌یافته و تشکیل شده بر روی مواد آتشفشانی نرم صورت گرفته است و اطلاعات کمی در مورد خاک-های به وجود آمده بر روی سنگ‌های سخت آتشفشانی مانند گرانیت و بازالت نسبت به سایر سنگها در مطالعات رسوب‌شناسی موجود است (Birkeland, 1999).

شیشه آتشفشانی یک فیلسیلیکات آمورف است که در اثر خنک شدن سریع ماگما ایجاد می‌شود و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی شیشه‌های آتشفشانی رابطه مستقیمی با ترکیب شیمیایی آنها دارد. شیشه‌های آتشفشانی در هر پنج قاره پراکنش دارند و وجود آنها در کشورهای مختلف از جمله ایران گزارش شده و به اثبات رسیده است (Cecilia et al, 2018). هوازدهی شیشه‌های آتشفشانی فرآیندی است که از اهمیت ویژه‌ای در مراحل اولیه هوازدهی بازالت برخوردار است، چرا که شیشه‌های آتشفشانی در خاک به دلیل سطح ویژه بالا، منافذ زیاد و بی‌ثباتی ترمودینامیکی شیشه می‌تواند از طریق هیدرولیز حتی با سهولت بیشتری نسبت مواد کریستالی و سنگی هوازده شوند (Churchman and Lowe, 2012; de Melo et al, 2020) و به این ترتیب سیلیسیم و آلومینیوم و سایر عناصر را برای نئوزن مواد معدنی آزاد می‌کند (Taylor et al, 2016). سنگ‌های با منشا آتشفشانی می‌توانند برای بهبود عملکرد گیاه و حاصلخیزی خاک استفاده شوند (Ramos et al, 2017). مطالعات Tetsopgang and Fonyuy (2019) نشان داد که استفاده از ذرات ریز پودر شده سنگ‌های آتشفشانی به عنوان کود بر روی رشد کمی و کیفی گیاه کلم و همچنین خصوصیات شیمیایی خاک از جمله مقدار کربن آلی اثر معنی‌دار داشته است.

شناسایی کمی، کیفی و ترکیب ساختمانی کانی‌های رسی اطلاعات ارزشمندی از وضعیت جذب، تثبیت و رهاسازی کاتیون-ها در اختیار قرار می‌دهد (Torabi Gelsefidi et al, 2001) و یکی از مهمترین روش‌های تعیین توانایی ذاتی خاک است (Hassannezhad et al, 2007). از طرف دیگر دانش میکرومورفولوژی یا شناخت میکروسکوپی خاک در کنار مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی قادر است بسیاری از مشکلات پیچیده تشکیل و طبقه‌بندی خاک را پاسخگو باشد. بهره‌گیری از مطالعات

قزوین در جهت شمالی واحدهای ژئومورفولوژی تپه انتخاب، حفر، تشریح و نمونه‌برداری گردید (شکل ۱). تشریح خاک‌ها براساس روش‌های استاندارد (USDA-NRCS, 2012) و رده‌بندی خاک‌ها نیز براساس رده‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2014) صورت گرفت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های دست‌خورده پس از هواخشک کردن و عبور دادن نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متری تعیین شدند. بافت به روش هیدرومتر، pH و ECE در عصاره اشباع (Carter and Gregorich, 2008)، کربن آلی بر مبنای روش والکلی-بلاک و درصد کربنات کلسیم معادل (CCE)<sup>۱</sup> با استفاده از روش کلسیمتری انجام گردیدند (Sparks, 1996). برای بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی پس از حذف املاح محلول، آهک، کربن آلی و اکسیدهای آهن آزاد به ترتیب توسط آب مقطر، استات سدیم (pH=۵/۲)، آب اکسیژنه ۳۰ درصد و سترات دی‌تیونات بی‌کربنات (CDB) (Kunze and Dixon, 1986) از دستگاه تفرق اشعه ایکس زمینس مدل D5۰۰۰ با اشعه  $\lambda = 1/54.09$  (آنگستروم) CuK $\alpha$  در ولتاژ ۳۰ کیلو ولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر استفاده شد. میکرومورفولوژی نمونه‌های دست‌نخورده (۱۷ عدد) با هدف مطالعه هوازدهی بازالت و شیشه آتشفشان، انواع عوارض خاک‌ساخت، خلل و فرج، ساختمان میکروسکوپی و سایر مشخصات انجام گرفت. نمونه‌های دست‌نخورده را هوا خشک نموده و سپس با مخلوط رزین پلی‌استر با نسبت ۶۰ به ۴۰، با اضافه نمودن سخت‌کننده و کاتالیست، در دسیکاتور خلاء تلقیح گردید. پس از سخت‌شدن، نمونه‌ها برش داده شد و بر روی اسلایدهای شیشه‌ای چسبانده شده و تا حد ۳۰ میکرون نازک گردیدند. مقاطع نازک تهیه شده از نمونه‌ها توسط میکروسکوپ پلاریزان Olympus (BX51) در دو حالت نور صفحه‌ای (PPL<sup>۲</sup>) و نور متقاطع پلاریزه (XPL<sup>۳</sup>) مورد بررسی قرار گرفتند و براساس واژگان استوپس (2003) تشریح و تفسیر نتایج بر اساس استوپس و همکاران (2010) انجام شد (Stoops, 2003; Heidari and Sahebjalal, 2011).

دلیل مساعد بودن شرایط برای هوازدهی و همچنین مقاومت کمتر شیشه‌های آتشفشانی، اندازه و درصد فراوانی بازالت بیشتر از شیشه‌های آتشفشانی است (Raheb, 2017).

در سال‌های گذشته مطالعاتی در سطح جهان در ارتباط با هوازدهی بازالت و شیشه آتشفشانی و خصوصیات کانی‌شناسی خاک صورت پذیرفته است (Caner et al, 2014; Mirabella et al, 2005) اما به طور کلی مطالعات هوازدهی خاک‌های تشکیل شده بر روی بازالت و شیشه آتشفشان در ایران محدود است و می‌توان این پژوهش را از اولین موارد مطالعاتی در این زمینه دانست. سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در استان قزوین، بخشی از نوار آتشفشانی ائوسن البرز را تشکیل می‌دهند. رخداد آتشفشانی ائوسن در البرز به عنوان بخشی از ماگماتیسیم گسترده سنوزوئیک در ایران، دارای پیچیدگی‌های زیادی به ویژه در ارتباط با نوع فورانها، محصولات آتشفشانی، جایگاه تکتونیکی، فرآیندهای صعود و جایگزینی ماگما و بالاخره دگرسانی و دگرشکلی است (Ghasemi et al, 2012). تمام خاک‌های مورد مطالعه دارای زمین‌شناسی یکسان با سنگ مادر بازالت آمیخته به شیشه آتشفشان متعلق به دوره زمین‌شناسی ائوسن (بازالت خاکستری تیره، تراکی‌بازالت و آندزی‌بازالت) می‌باشند (Sahandi and Soheili, 2005). با در نظر گرفتن مطالب فوق، هدف از این پژوهش بررسی نقش هوازدهی در تشکیل خاک‌های توسعه یافته بر روی سنگ مادری بازالت و شیشه آتشفشان با استفاده از نتایج حاصل از نمونه‌های دست‌نخورده و شواهد میکرومورفولوژیکی و مطالعه عوارض خاک‌ساخت ناشی از آن است.

## مواد و روش‌ها

پس از شناسایی مناطق گسترش سنگ مادری بازالت براساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، و تطبیق صحرائی نقشه‌ها، و با در نظر گرفتن خصوصیات اقلیمی (جدول ۱) و پوشش گیاهی، هشت خاک‌رخ (۲۸ نمونه) تشکیل شده به صورت درجا و بر روی سنگ بستر بازالت و شیشه آتشفشان در منطقه آلولاک استان

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی، خصوصیات اقلیمی و رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در منطقه مورد مطالعه

عرض شمالی	طول شرقی	رژیم رطوبتی	رژیم حرارتی	ارتفاع (m a.s.l)	میانگین بارندگی (mm)	میانگین دما (°C)	تبخیر و تعرق (mm)
۳۶° ۲۷' تا ۳۶° ۲۶'	۵۰° ۳' تا ۵۰° ۲'	زریک خشک	ترمیک	۲۰۸۰-۲۲۰۰	۳۱۱/۲	۱۳/۹	۸۱۰/۱

<sup>۳</sup> Cross polarized light

<sup>۱</sup> Calcium Carbonate Equivalent

<sup>۲</sup> Plane polarized light



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران و محدوده نقاط نمونه برداری (ارتفاع از سطح دریای آزاد ۲۲۰۰-۲۰۸۰ متر)

## نتایج و بحث

### خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

جدول (۲) خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. خاک‌های مورد مطالعه در رده‌های مالی‌سول، اینسپتی‌سول و آلفی‌سول طبقه‌بندی شدند. سنگ‌های بازالتی در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن و سیاه دیده می‌شوند و در بافت میکروولیتی پورفیری آنها، پلاژیوکلاز، پیروکسن و گاهی الیوین، کانی‌های اصلی را تشکیل می‌دهند. خاک‌های مطالعه شده در اثر هوازدگی سنگ مادر بازالت (بازالت خاکستری) تشکیل شده و دارای عمق توسعه متوسط (حداکثر ۱۳۰ سانتیمتر) و با میانگین درصد سنگریزه حدود ۱۶٪ است (شکل ۲). تمامی خاک‌ها دارای بافت متوسط تا سنگین می‌باشند و درصد سنگریزه در افق‌ها و لایه‌های خاک

بین ۴ تا ۳۳ درصد متغیر است. رنگ خاک‌های این منطقه در حالت خشک از (10YR 7/3) تا (2.5YR 4/6) و در حالت مرطوب از (10YR 4/6) تا (2.5YR 3/3) متغیر است. در افق‌های آرچلیک (خاک‌های ۳ و ۵)، رنگ خاک‌ها متفاوت از سایر افق‌ها است. درصد رس بالاتر، مقدار مواد آلی بیشتر و همچنین آهکی بودن اکثر خاک‌های مورد مطالعه در این منطقه از مهمترین عوامل موثر بر رنگ خاک است. تجمع کربنات کلسیم خاک‌ساخت به شکل پودری ولی با تباین واضح در برخی از خاک‌ها (۵-۱۵ درصد) مشاهده گردید. ساختمان مکعبی ضعیف تا قوی با اندازه‌های کوچک تا متوسط از دیگر مشخصه مورفولوژی منطقه است که با افزایش درصد رس ساختمان با درجه وضوح قوی نیز مشاهده گردید (خاک‌های دارای تجمع رس). در مشاهدات صحرایی منطقه پوسته‌های رسی به صورت پوشش‌های نازکی روی سطوح خاکدانه‌های خاک‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ مشاهده گردیدند.

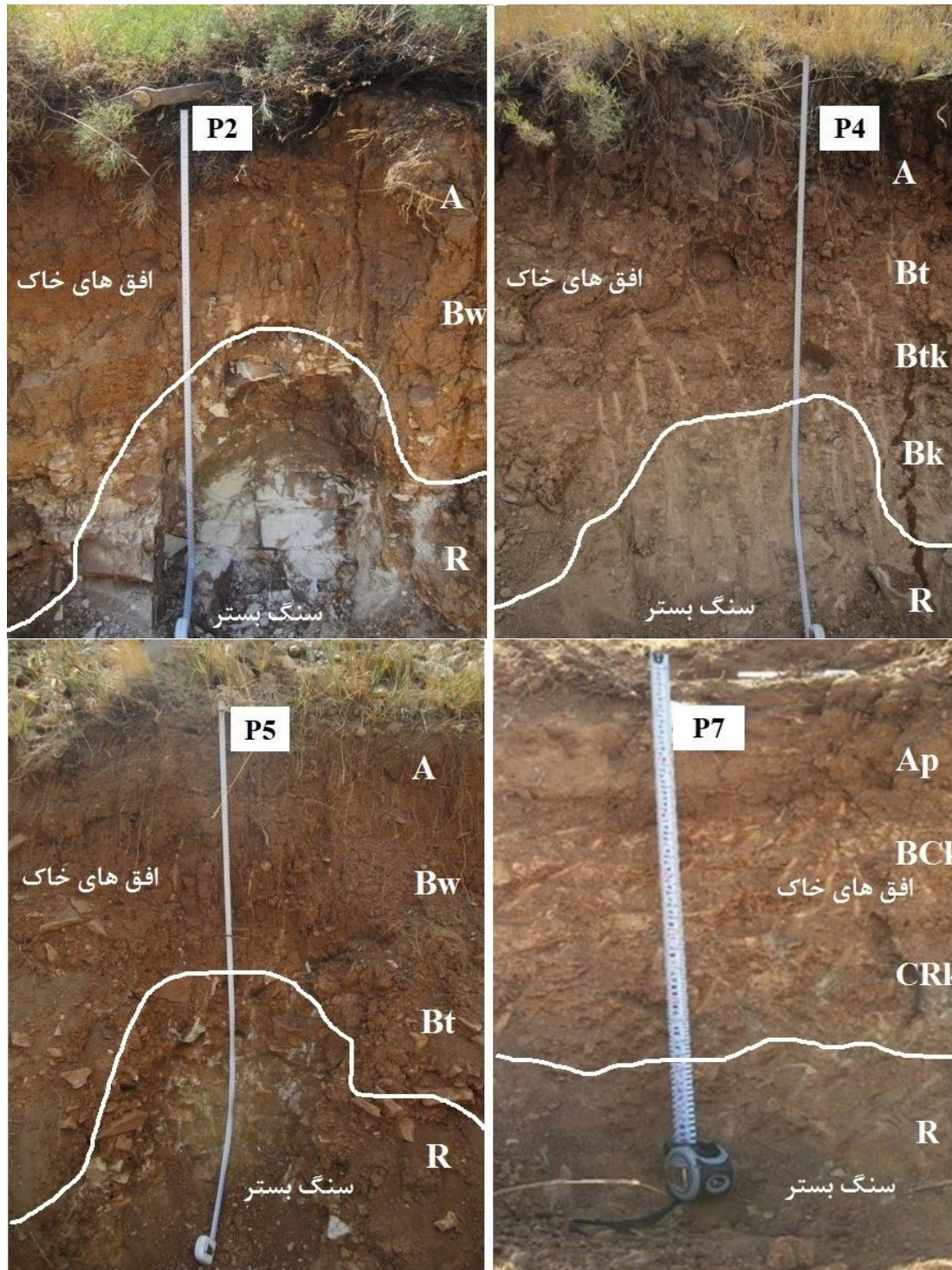
جدول ۲- برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

افق	عمق (cm)	ساختمان*	رنگ		تجمع کربنات*	تجمع رس	درصد ذرات			بافت خاک	سنگریزه (%)	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	*OC (%)	*CCE (%)
			خشک	مرطوب			شن	سیلت	رس						
خاکرخ شماره ۱- Fine, smectitic, thermic Calcic Haploxerolls															
A	۰-۲۶	۱ f sbk	۱۰ YR۴/۵	۵YR۳/۳	-	-	۲۶	۲۹	۴۵	C	۱۹	۸/۱	۱/۰۸	۱/۴۹	۲/۱
Bk	۲۶-۵۷	۲ m sbk	۱۰ YR۶/۶	۵YR۳/۴	۲m f SS	-	۲۵	۲۹	۴۶	C	۲۰	۸/۱	۳/۳۸	۰/۸۲	۹/۲
Crk	۱۲۰-۵۷	Massive	۷/۵YR۸/۳	۷/۵YR۵/۸	۳m SS	-	۴۳	۲۸	۲۹	C.L	۱۴	۸/۳	۰/۳۸	۰/۵۱	۴۸
R	>۱۲۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
خاکرخ شماره ۲- Fine, smectitic, thermic Lithic Haploxerepts															
A	۰-۱۲	۱ f sbk	۱۰ YR۴/۳	۵YR۳/۲	-	-	۲۴	۲۶	۵۰	C	۱۸	۸/۳	۰/۵۱	۱/۳۲	Trace
Bw	۱۲-۴۵	۱ f sbk	۱۰ YR۵/۶	۵YR۴/۴	-	-	۳۰	۳۴	۳۶	C.L	۸	۸/۳	۰/۴۹	۰/۷۶	Trace
R	>۴۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
خاکرخ شماره ۳- Fine, mixed, active, thermic Typic Haploxeralfs															
A	۰-۱۸	۱ f sbk	۱۰ YR۴/۳	۵YR۳/۴	-	-	۳۸	۳۲	۳۰	C.L	۱۹	۸/۳	۰/۸۰	۱/۵۷	Trace
Bw	۱۸-۲۵	۱f sbk	۷/۵YR۵/۶	۲/۵YR۳/۳	-	-	۲۲	۳۰	۴۸	C	۱۷	۸/۴	۰/۴۸	۰/۷۳	Trace
Bt	۲۵-۹۰	۳ c sbk	۲/۵YR۴/۶	۲/۵YR۳/۳	۳d c	-	۱۸	۲۶	۵۶	C	۱۱	۸/۴	۰/۲۷	۰/۴۴	Trace
خاکرخ شماره ۴- Fine, mixed, active, thermic Calcic Argixerolls															
A	۰-۱۹	۱ m sbk	۱۰ YR۴/۳	۷/۵YR۳/۳	-	-	۲۶	۳۲	۴۲	C	۱۹	۸/۵	۰/۵۹	۱/۹۳	Trace
Bt	۱۹-۴۵	۲ m sbk	۲/۵YR۴/۶	۷/۵YR۳/۳	۳d c	-	۱۷	۲۵	۵۸	C	۱۵	۸/۵	۰/۵۷	۰/۸۴	۲/۱
Btk	۴۵-۸۰	۲ m sbk	۱۰ YR۶/۴	۷/۵YR۴/۶	۲dm	۲m SS	۱۸	۳۰	۵۲	C	۲۲	۸/۵	۰/۵۸	۰/۳۹	۱۸
Bk	۱۱۰-۸۰	۱ f sbk	۱۰ YR۷/۳	۵YR۵/۸	۲m SS	-	۱۹	۳۲	۴۹	C	۱۸	۸/۶	۰/۳۳	۰/۳۷	۲۴
R	>۱۱۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
خاکرخ شماره ۵- Fine, mixed, active, thermic Typic Argixerolls															
A	۰-۱۵	۱ f sbk	۱۰ YR۴/۳	۵YR۳/۲	-	-	۲۸	۳۰	۴۲	C	۱۲	۸/۴	۰/۶۵	۱/۷۲	۴/۴
Bw	۱۵-۴۰	۱ f sbk	۷/۵YR۴/۴	۵YR۳/۲	-	-	۲۶	۳۰	۴۴	C	۱۸	۸/۴	۰/۵۹	۱/۴۴	Trace
Bt	۴۰-۷۰	۳ m,c sbk	۵YR۴/۶	۵YR۳/۳	۲dm	-	۲۰	۲۲	۵۸	C	۱۴	۸/۴	۰/۵۲	۰/۵۸	Trace
R	>۷۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
خاکرخ شماره ۶- Fine, mixed, active, thermic Typic Argixerolls															
A	۰-۱۷	۳ Vffgr	۱۰ YR۲/۴	۱۰ YR۴/۴	-	-	۳۴	۲۸	۲۸	C.L	۱۵	۷/۵۷	۱/۲۵	۱/۱۵	Trace
B	۱۷-۲۵	۳Mfgr	۱۰ YR۳/۴	۱۰ YR۴/۴	-	-	۲۷	۲۷	۴۶	C	۱۴	۷/۵۳	۰/۶۷	۰/۶	Trace
Bt1	۳۵-۶۵	۳msbk,abk	۱۰ YR۳/۴	۱۰ YR۳/۳	۲dm	-	۱۷	۲۹	۵۴	C	۵	۷/۵۱	۱/۱۷	۰/۶	Trace
Bt2	۶۵-۹۰	۳cpr	۱۰ YR۲/۴	۱۰ YR۳/۳	۲dm	-	۱۶	۲۸	۵۶	C	۴	۷/۲	۰/۵۸	۰/۵۵	Trace
BC	۱۱۰-۹۰	۳ mepr	۱۰ YR۲/۴	۱۰ YR۳/۳	-	-	۱۷	۳۳	۵۰	C	۴	۷/۱۴	۱/۱۳	۰/۵	۱/۹
C	۱۳۰-۱۱۰	۲mpr	۱۰ YR۳/۶	۱۰ YR۳/۴	-	-	۳۵	۳۱	۳۴	C.L	۲۳	۶/۹۴	۰/۵۲	۰/۳	۱۱/۹
R	>۱۳۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
خاکرخ شماره ۷- Fine-loamy, mixed, active, thermic Typic Haploxerepts															
Ap	۰-۲۸	۱f sbk	۱۰ YR۳/۶	۱۰ YR۳/۴	-	-	۴۳	۳۱	۲۶	L	۸	۷/۸۲	۰/۵۸	۰/۸۸	۳/۹
BCK	۲۸-۴۸	۱f sbk	۱۰ YR۴/۶	۱۰ YR۴/۴	۲m ss	-	۲۹	۳۹	۳۲	C.L	۵	۷/۷۱	۰/۶۱	۰/۲۸	۵/۱
CRk	۴۸-۷۵	۱m sbk	۱۰ YR۳/۶	۱۰ YR۴/۶	۳c, m ss	-	۳۹	۳۵	۲۶	L	۱۰	۷/۵	۰/۴۵	۰/۲	۶/۵
R	>۷۵	۱f sbk	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
خاکرخ شماره ۸- Fine-loamy, mixed, thermic Haploxerepts															
Ap	۰-۲۵	۱f sbk	۱۰ YR۵/۳	۱۰ YR۴/۳	-	-	۳۱	۲۹	۴۰	C	۳۳	۷/۸۷	۰/۵۹	۱/۹	۳/۷۵
Bw	۲۵-۴۵	۱m sbk	۱۰ YR۵/۴	۱۰ YR۴/۳	-	-	۳۳	۲۷	۴۰	C	۲۱	۷/۷۶	۰/۷۴	۰/۶۵	۴/۱۹
BC	۴۵-۶۰	۱m sbk	۱۰ YR۵/۴	۱۰ YR۴/۴	-	-	۳۸	۲۷	۳۵	C.L	۲۸	۷/۵۴	۰/۸۱	۰/۶۵	۷/۸۸
C/R	۶۰-۸۰	-	-	-	-	-	۴۷	۳۳	۲۰	L	۳۳	۷/۵۱	۰/۸۰	۰/۵	۱۵/۶۳

\* کربنات کلسیم معادل (CCE)، کربن آلی خاک (OC)

\* کلاسهای ساختمان خاک: درجه وضوح: ۱: ضعیف، ۲: متوسط، ۳: واضح-اندازه: vf: خیلی کوچک، f: کوچک، m: متوسط، c: بزرگ-نوع: abk: بلوکی زاویه‌دار، sbk: بلوکی بدون زاویه، gr: دانه‌ای، pt: منشوری. کلاسهای تجمعات کربنات: اندازه: ۱: کوچک، ۲: متوسط، ۳: بزرگ- فراوانی: f کم (کمتر از ۲٪)، c متوسط (۲۰-۲٪)، m زیاد (بیشتر از ۲۰٪)- شکل: SS: آهک پودری، SF: آهک میسلیمومی، N: گرهک. کلاسهای تجمعات رس: اندازه: ۱: کوچک، ۲: متوسط، ۳: بزرگ- فراوانی: f کم (کمتر از ۲٪)، c متوسط (۲۰-۲٪)، m زیاد (بیشتر از ۲۰٪)- وضوح: F: ضعیف، D: مشخص، P: واضح





شکل ۲- تصاویر هوازدگی سنگ بستر از عمق تا سطح خاک در برخی از خاک‌های مطالعه شده

می‌یابد و دامنه تغییرات آن در نمونه‌های مورد مطالعه بین حداقل ۰/۲ تا ۱/۹۳ درصد است و حداکثر مقدار آن در افق سطحی خاکرخ ۳ (رده مالی سول) و حداقل آن در افق‌های تحت‌الارضی خاکرخ ۷ منطقه (رده اینسپتی سول) مشاهده شد. مقدار کربن غیرآلی (کربنات کلسیم معادل) در منطقه مورد مطالعه برخلاف تغییرات کربن آلی در افق‌های سطحی کمتر از افق‌های زیرین بوده و با افزایش عمق افزایش می‌یابد و دامنه تغییرات آن در

خاک‌های مورد مطالعه دارای دامنه تغییرات قابل توجهی از نظر بافت خاک بودند. pH اندازه‌گیری شده در عصاره اشباع در تمام نمونه‌های مورد مطالعه قلیایی و در محدوده ۸/۶-۶/۹۴ بوده و مقادیر EC عصاره اشباع نیز از حداقل ۰/۲۷ dSm<sup>-1</sup> در افق Bt خاکرخ ۳ تا ۳/۳۸ dSm<sup>-1</sup> در افق Bk خاکرخ ۱ متغیر است. مقدار کربن آلی در تمامی خاک‌های منطقه مورد مطالعه در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های زیرین بوده و با افزایش عمق کاهش

خصوصیات کانی‌شناسی

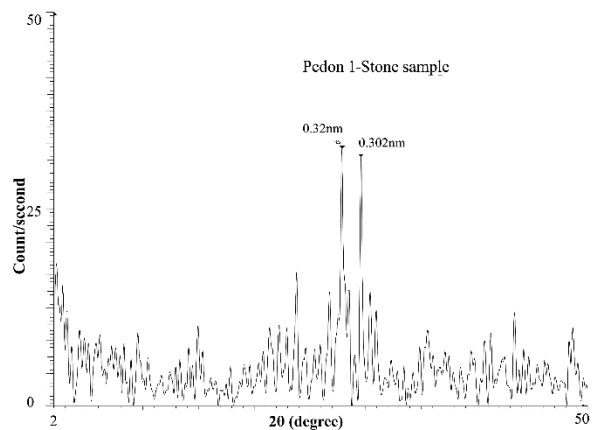
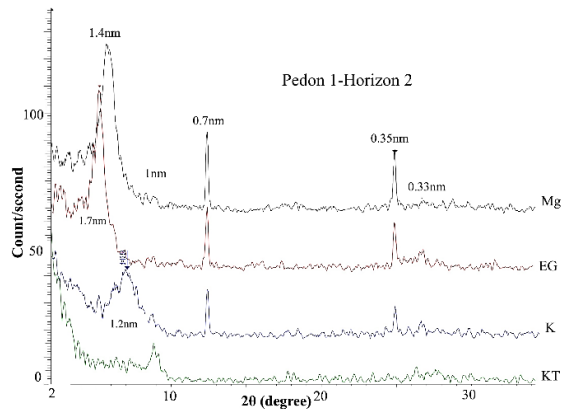
مطالعات کانی‌شناسی در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک حاکی از این است که علیرغم رطوبت کم و هوادیدگی جزئی خاک‌های این مناطق، کانی‌های رسی موجود در آن‌ها دارای تنوع کمی و کیفی می‌باشند. بر طبق نتایج کانی‌شناسی حاصله در برخی نمونه‌های مورد مطالعه، به طور کلی کانی اسمکتایت، کانی رسی غالب و کانی‌های مخلوط (اسمکتایت-ایلیت)، کائولینایت، ورمی کولایت، ایلیت و کلرایت کانی‌های مغلوب منطقه مورد مطالعه بودند (جدول ۳). به احتمال زیاد مکانیسم نوتشکیلی در اثر وجود pH بالا، فراوانی عنصر Mg و فراوانی نسبت عنصر Si نسبت به Al در نتیجه هوازگی سنگ مادر بازالت شرایط را برای تشکیل خاک-ساخت اسمکتایت فراهم و مساعد می‌نماید. علاوه بر این مکانیسم، تشکیل اسمکتایت از طریق تغییر شکل کانی‌های دیگر به ویژه ایلیت در این مطالعه بسیار مهم است. زیرا که با توجه به مطالعه دقیق صحرایی منطقه، نه شرایط توپوگرافی و نه شرایط زهکشی نمی‌توانند دلیل فراوانی اسمکتایت‌ها در این خاک‌ها باشند. از طرف دیگر حضور کانی مختلط اسمکتایت-ایلیت در خاک‌های مطالعه شده می‌تواند نشان‌دهنده مرحله واسطه تغییر شکل ایلیت به اسمکتایت باشد. نتایج کانی‌شناسی پودری سنگ مادر بازالت نیز مؤید منشا خاک‌ساخت ایلیت و ورمی کولایت بوده در حالی که کائولینایت و کلرایت دارای منشا موروثی هستند (شکل ۳).

نمونه‌های مورد مطالعه بین مقادیر ناچیز (صفر) تا ۴۸ درصد متغیر است (جدول ۲). وجود آثار و بقایای کربنات کلسیم و مشاهده تجمع آن در خاک یکی از روش‌های پی‌بردن به سن خاک و تکامل و توسعه خاک است. Moradi and (2005) Manafi and Ahmoodi و Heidari (2011) نیز تجمع ترکیبات کربنات کلسیم را یکی از معیارهای مهم در ارزیابی درجه تحول و قدمت خاک دانسته‌اند. در اثر تنفس ریشه‌های زنده و موجودات خاکزی، فشار دی-اکسید کربن در محیط خاک بسیار افزایش یافته و در واکنش با آب موجود در خاک تبدیل به اسید کربنیک و در نهایت بی‌کربنات می‌گردد. از طرف دیگر تولید اسید کربنیک باعث کاهش pH شده و شرایط را برای هوازگی سنگ مادر بازالت فراهم می‌آورد. نتیجه هوازگی آزاد شدن کاتیون‌های قلیایی مثل کلسیم و منیزیم است که در واکنش با بی‌کربنات سبب رسوب و انباشت کربنات خاک-ساخت می‌گردند. علاوه بر انحلال کانی‌های کلسیم‌دار، معدنی شدن مواد آلی می‌تواند سبب افزایش یون‌های کلسیم و کربنات در خاک شود. در خاک‌های دارای افق مالیک وجود ماده آلی بالا سبب افزایش فعالیت موجودات خاکزی شده و در نتیجه آن تبدیل ماده آلی به CO<sub>2</sub> سریعتر صورت پذیرفته و می‌تواند در کنار تنفس سبب افزایش بیشتر فشار دی‌اکسید کربن در خاک گردد. مقدار بالای کربنات کلسیم معادل در افق تحتانی خاک‌های با رده‌بندی مالی سول مؤید مکانیسم فوق است.

جدول ۳- نتایج نیمه کمی کانی‌شناسی رس و سنگ مادر برخی خاک‌های مطالعه شده

افق	فراوانی کانی‌ها	کانی‌های رسی			
		اسمکتایت	ایلیت	ورمی‌کولایت	کلرایت
خاک‌رخ شماره ۱					
A	Smc. >> Kao > Mix. > Illi.	*****	*	-	*
Bk	Smc. >> Kao > Ver. = Mix. = Illi.	*****	*	*	*
Cr	Smc. >> Kao > Ver. = Mix. = Illi.	*****	*	*	*
R	کانی‌شناسی پودری: کانی‌های آهن‌دار = فلدسپار (میکروکلین) < کوارتز				
خاک‌رخ شماره ۴					
A	Smc. = Mix. > Illi. > Kao. > Chl.	***	***	-	**
Bt	Smc. = Mix. > Ver. > Kao. > Illi. > Chl.	***	***	**	**
Btk	Smc. = Mix. > Kao. > Ver. > Illi. > Chl.	***	***	**	**
Bk	Smc. = Mix. > Kao. > Illi. > Chl. = Ver.	***	***	*	*
R	کانی‌شناسی پودری: کوارتز << سایر کانی‌ها				
Illite, Illite, Mix.: Mixed Minerals, Smc.: Smectite, Kao.: Kaolinite, Ver.: Vermiculite, Chl.: Chlorite					
>۷۰ *****      ۵۰-۷۰ *****      ۳۰-۵۰ *****      ۲۰-۳۰ *****      ۱۰-۲۰ *****      < ۱۰ *****					





شکل ۳- پراش نگاشت اشعه X نمونه خاک (افق Crk) و سنگ مادر خاکر شماره ۱

آتشفشان است. هوازگی پوسته‌ای نیز از سطح بازالت و شیشه‌های آتشفشانی شروع شده و به سمت مرکز ادامه می‌یابد، به گونه‌ای که هسته مرکزی ماده اولیه باقی‌مانده است (شکل ۴). انواع مختلف هوازگی با درجه متوسط و زیاد، قطعات سنگی و کانی‌های اولیه و حضور مقدار زیادی کلسیت میکریتی (بیش از ۵ درصد سطح) در ریز توده این خاک‌ها، باعث ایجاد بی-فابریک خرده بلوری<sup>۵</sup> در مقاطع مورد بررسی شده است. ولی در برخی نمونه‌ها بی-فابریک‌های لکه‌ای منقوطة‌ای<sup>۶</sup> و نامتمایز و خطی حفره محور<sup>۷</sup> نیز تشخیص داده شد.

پوشش‌های تیپیک و پوشش‌های زیرسطحی آهن و کربنات‌ها در اطراف حفرات، در متن خاک و در اطراف ذرات هوازده کانی و سنگ از مهمترین عارضه‌های خاک ساخت می-باشند. گرهک‌های اکسید آهن و منگنز به مقدار کم و در اندازه-های کوچک با تفکیک ضعیف تا متوسط و گرهک‌های کربناته با مقادیر و تفکیک متفاوت نیز در نمونه مورد مطالعه تشخیص داده شد. (Tangari *et al.*, ۲۰۱۸). فراوانی تجمعات اکسیدهای آهن و منگنز در برخی خاکرخواها را به شدت هوازگی ارتباط دادند و بیان نمودند که شدت هوازگی تحت تاثیر تشکیل افق آرچیلیک<sup>۸</sup> و اکسید شدن درجا<sup>۹</sup> بیشتر خواهد بود. مناطق زردرنگ ناشی از تجمع رس در برخی از نمونه‌ها و همچنین پرشدگی سست منقطع حفرات توسط ذرات آهن و ذرات کانی‌های هوادیده از دیگر مشخصات ویژه میکروسکوپی در نمونه‌های مورد مطالعه است. به طور خلاصه می‌توان دو شاهد میکرومورفولوژیکی عمده ناشی از هوازگی بازالت و شیشه آتشفشان در خاک‌های مورد مطالعه، تجمع اشکال مختلف کربنات کلسیم و اشکال مختلف رس است.

### خصوصیات میکرومورفولوژی

براساس مشاهدات میکرومورفولوژیکی الگوی توزیع نسبی ذرات درشت به ذرات ریز (c/f) در بیشتر مقاطع مورد مطالعه پورفیریک<sup>۱</sup> و انولیک<sup>۲</sup> می‌باشد. ساختمان میکروسکوپی در افق‌های سطحی مکعبی نیمه‌زاویه‌دار و در برخی دانه‌ای و اسفنجی است در حالی-که در افق‌های زیرین اکثراً مکعبی زاویه‌دار و در برخی نمونه‌ها کانالی هست. حفرات از نوع کانالی، آرایشی پیچیده، حجره‌ای<sup>۳</sup> و وگی<sup>۴</sup> هستند. حفرات کانالی بیشتر در افق‌های بالایی خاکر مشاهده گردید و با افزایش عمق مقدار حفرات کانالی کمتر می-شود. مقادیر نسبتاً زیاد بخش درشت در نسبت c/f نیز گویای وجود ذرات اولیه شیشه آتشفشانی، کوارتز و فلدسپار و قطعات سنگی ناشی از هوازگی است. در نمونه‌های مطالعه شده حدود ۲۰-۱۵ درصد سطح مقطع به وسیله کانی‌های اولیه نظیر شیشه آتشفشانی با اندازه‌های مختلف (قطر متوسط حدود ۱۲۴۲ میکرومتر) و اندکی کوارتز، فلدسپار و پلاژیوکلاز و حدود ۴۰-۵ درصد سطح توسط قطعات سنگی عمدتاً بازالت با اندازه‌های مختلف (قطر متوسط حدود ۲۳۰۲ میکرومتر) اشغال شده است که شیشه آتشفشانی (هوازگی خطی نامنظم با درجه متوسط، خطی متقاطع با درجه متوسط، کمپلکس با درجه متوسط) و بازالت (از نوع خطی نامنظم و متقاطع، نقطه‌ای، پوسته‌ای و کمپلکس با درجه متوسط و زیاد) دارای درجات مختلف هوازگی با شدت متوسط و زیاد می‌باشند. غالب هوازگی در افق‌های سطحی مقاطع مشاهده شده، به علت فعال بودن هوازگی فیزیکی و شیمیایی و تاثیر بیشتر شرایط اقلیمی در سطح خاک نسبت به اعماق، هوازگی کمپلکس بوده که شامل ترکیب دو یا چند الگو از الگوهای مختلف هوازگی در هوازگی بازالت و یا شیشه‌های

۶ Stipple Speckled b-fabric

۷ Porostriated b-fabric

۸ argillification

۹ In situ oxidation

۱ Porphyric

۲ Enaulic

۳ Chamber

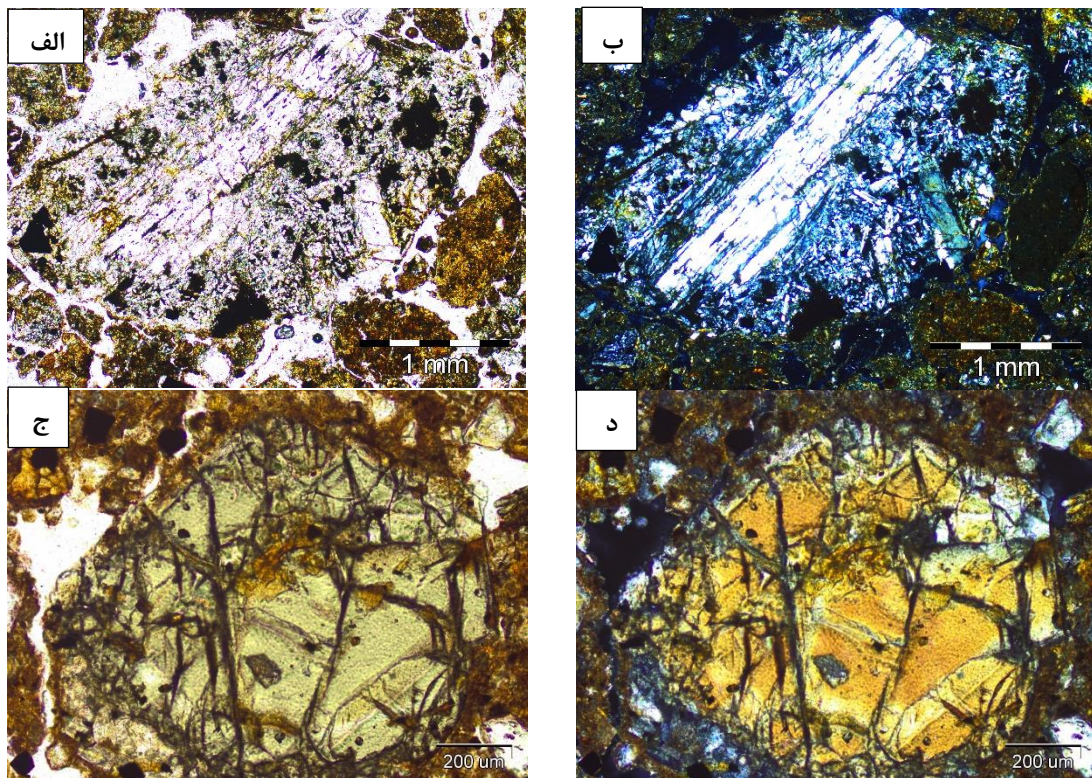
۴ Vugh

۵ Crystalitic b-Fabric

جدول ۴- برخی خصوصیات میکرومورفولوژیک مقاطع نازک منتخب خاک‌های مورد مطالعه

عوارض خاک ساخت	بی- فابریک*	قطعات سنگی (هوازدهی <sup>۰</sup> )	الگوی توزیع نسبی (C/f 10 <sub>g</sub> )*	نوع حفرات*	ساختمان میکروسکوپی*	عمق (cm)	افق
خاکرخ شماره ۱							
های کربناته- پرشدگی متراکم کامل حفرات پوشیده شدن گرهک کربناته توسط آهن-گرهک توسط آهن میکریتی	ssp	Ba, VG (E3-E4)	en (30/70)	pv, pln, chm	sp, sbk	۱۵-۲۰	A
پوشش زیرسطحی آهن در اطراف سنگ بازالت، پوشش زیرسطحی آهن در اطراف حفرات- گرهک‌های کربناته- پرشدگی سست منقطع حفرات توسط آهن میکریتی و ذرات هوا دیده پوشش، پوشش زیرسطحی، کلاهدک و آویزه آهن در اطراف حفرات، پوشش تیپیک آهن در متن خاک-گرهک‌های کربناته و اکسید آهن- پرشدگی متراکم کامل، متراکم ناقص، سست منقطع حفرات توسط آهن میکریتی و اسپاریتی	ssp, cry	Ba, VG (A0-E0-E1)	po (35/65)	pv, pln, chm	abk	۴۱-۴۹	Bk
	ssp, cry	Ba, VG (B0-E1)	po (15/85)	chn, chm	abk, chn	۱۰۵-۱۱۵	Crk
خاکرخ شماره ۲							
متن و در اطراف گرهک کربناته و در اطراف سنگ- پوشش و پوشش زیرسطحی آهن در گرهک‌های اکسید آهن و منگنز و کربناته- پرشدگی متراکم ناقص حفرات توسط بقایای آلی	und, cry	Ba, VG (B0-E1)	po (2/80)	pln, chm, chn, vu	sbk, ch, sp	۵-۱۲	A
پوشش اکسید آهن در متن خاک، در اطراف شیشه آتشفشانی- گرهک‌های هسته‌دار اکسید آهن و منگنز و کربناته به مقدار کم	und	Ba, VG (B0-E0-E1)	po, en (15/85)	pln, chm	abk, chm, sp	۳۲-۴۰	Bw
خاکرخ شماره ۴							
پوشش زیرسطحی آهن در اطراف حفرات و شیشه‌های آتشفشانی- گرهک‌های اکسید آهن و منگنز- پرشدگی سست منقطع حفرات توسط خرده بلورهای ذرات اولیه	cry	Ba, VG (D1,2-E2)	po (30/70)	pln, pv, chn	sbk, chn	۸-۱۵	A
پوسته رسی واضح، پوشش آهن در متن خاک، پوشش، پوشش زیرسطحی، کراست، کلاهدک و کلاهدک متصل آهن در متن خاک، در اطراف حفرات- گرهک بزرگ کربناته و گرهک به مقدار ناچیز اکسید آهن و منگنز- پرشدگی کامل متراکم و سست منقطع حفرات توسط آهن	ssp, pos	Ba, VG (E0)	po (35/65)	pln, chn	abk, chn	۶۰-۷۰	Btk
متن و در اطراف حفرات- پوشش زیرسطحی و آویزه پوشش و پوشش زیرسطحی آهن در آهن در اطراف حفرات و ذرات اولیه- گرهک‌های بزرگ کربناته و گرهک ناچیز اکسیدی- پرشدگی سست منقطع حفرات توسط آهن میکریتی و کمی اسپاریتی	und	Ba, VG (E0)	po (30/70)	pln, chn	abk, chn	۸۷-۹۵	Bk
خاکرخ شماره ۵							
تلقیح آهن در- متن و در اطراف حفرات و ذرات اولیه پوشش و پوشش زیرسطحی آهن در متن خاک- گرهک‌های کربناته و اکسید آهن و منگنز- پرشدگی سست منقطع حفرات توسط آهن میکریتی و ذرات هوا دیده	cry	Ba, VG (E2-E3)	en (20/80)	pv, pln, chm	sp, sbk	۸-۱۲	A
متن و در اطراف کانی‌های اولیه- گرهک‌های کربناته- پوشش و پوشش زیرسطحی آهن در گرهک اکسید آهن و منگنز	und	VG (E1)	po, en (30/70)	pv, pln	sp, abk	۲۵-۳۰	Bw
پوشش، پوشش زیرسطحی رسی، کلاهدک و آویزه آهن در اطراف حفرات، پوشش تیپیک آهن در در متن خاک- گرهک‌های کربناته و اکسید آهن- پرشدگی متراکم کامل، متراکم ناقص، سست منقطع حفرات توسط آهن	cry	Ba, VG (E1)	po (20/80)	chn, pln	abk, ch, sp	۵۵-۶۵	Bt
خاکرخ شماره ۶							
گرهک‌های کربناته میکریتی و گرهک‌های جا به جا شده کربناته، پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی از نوع رس‌های توجیه نشده و اکسیدهای آهن و منگنز	ssp, pos	VG, Gr, Ba (A1, C1.1, D1)	po (35/65)	pv, chm	sbk, sp	۳۵-۶۰	Bt1
پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی از نوع کربناتی، رسی و اکسید آهن و منگنز، گرهک‌های آهنی، گرهک‌های جا به جا شده آهنی	ssp, pos	VG, Gr, Ba (A2, C2, D1)	po (25/75)	pv, chm, chn, vu	abk, sp	۹۵-۱۰۰	BC
پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی از نوع کربناتی، رسی و اکسید آهن و منگنز، گرهک‌های آهنی، گرهک‌های جا به جا شده آهنی	ssp, pos, cry	VG, Gr, Ba (A2, C2, D1)	po (25/75)	pv, chm, chn, vu	abk, sp	۱۱۰-۱۲۰	C
خاکرخ شماره ۷							
تجمع کلسایت سینتومورفیک، گرهک‌های آهنی و گرهک‌های هسته‌دار آهنی و گرهک‌های جا به جا شده آهنی، پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی از نوع رسی، آهنی، اکسید آهن و مواد آلی	ssp, cry	Ba, Gr (C1.1, C2.1)	po (35/65)	pv, chn, pln	sbk, gr	۰-۵	Ap
تجمع کربنات کلسیم به اشکال مختلف میکریتی و اسپاریتی بیشتر و سینتومورفیک کلسایت، پوسته‌های رسی، پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی از نوع آهنی، رسی، اکسید آهن و مواد آلی	ssp, pos	Ba, Gr, VG (A2, C2, D1)	po (25/75)	pln, chn, pv	abk	۴۰-۴۵	Bck1
تجمع کربنات کلسیم به اشکال مختلف میکریتی و اسپاریتی بیشتر و سینتومورفیک کلسایت، پوسته‌های رسی، پوشش‌ها و پوشش‌های زیرسطحی از نوع آهنی، رسی، اکسید آهن و مواد آلی	ssp, pos	Ba, Gr, VG (A2, C2, D1)	po (25/75)	pln, chn, pv	abk	۷۰-۷۵	CRk

\* ساختمان میکروسکوپی (Microscopic structure): gr: دانه‌ای، abk بلوکی زاویه‌دار (angular blocky)، sbk بلوکی نیمه زاویه‌دار (sub angular blocky)، sp اسفنجی (spongy)، ch کانالی (channel)، chm حجره‌ای (Chamber)، (Voids): Chn کانالی (Channel)، chm حجره‌ای (Chamber)، pln صفحه‌ای (Planar)، vu وگی (Vugh)، (Packing void) - الگوی توزیع نسبی ذرات (C/f related distribution pattern): po پورفیری (porphyric)، en آنولیک (enaulic) - بی- فابریک (b-Fabric) ssp: لکه‌های منقوطة‌ای (stipple Speckled)، pos خطی حفره محور (poro striated)، und نامتمایز (Undifferentiated)، cry خرده بلوری (crystallitic) - قطعات سنگی (Rock fragments): Ba: بازالت، Gr: گرانیت، VG: شیشه آتشفشانی - هوازدهی (alteration): الگوی هوازدهی: A: پوسته‌ای (Pellicular)، B: خطی نامنظم (Irregular linear)، C.1: خطی موازی (Parallel linear)، C.2: خطی متقاطع (Cross linear)، D: منقوطة ای (Dotted)، E: کمپلکس (Complex)، درجه هوازدهی: ۱: ۲۵-۲۵ درصد، ۲: ۲۵-۷۵ درصد، ۳: ۷۵-۹۷/۵ درصد، ۴: ۹۷/۵-۱۰۰ درصد.



شکل ۴- اشکال مختلف هوازدگی سنگ بازالت و شیشه آتشفشانی در مقاطع نازک: الف و ب: هوازدگی مختلط شیشه آتشفشان -افق Crk خاکرخ شماره ۱ در دو حالت PPL و XPL، ج و د: هوازدگی خطی نامنظم سنگ مادر بازالت -افق C خاکرخ شماره ۶ در دو حالت PPL و XPL

است. از مهمترین عوارض ناشی از هوازدگی سنگ بازالت و شیشه‌های آتشفشان که در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده گردید، انواع پوشش‌های کربناته، پوشش‌های رسی و تجمعات همزمان این دو عارضه بود. انواع پوشش‌های کربنات کلسیم شامل پوشش‌های تیپیک، پوشش زیرسطحی، کراست، آویزه و کلاهک در متن خاک، خاکدانه و بر روی سطوح ذرات اولیه و همچنین در اطراف حفرات و قطعات سنگی مشاهده شد. نتایج نشان داد که پوشش‌های تیپیک کربناتی در مقاطع نازک اکثر خاکرخ‌های مورد مطالعه و در تمامی اعماق مشاهده شدند. فراوانی این پوشش‌ها با افزایش عمق افزایش یافته است (جدول ۴). منافعی و کربنات خاک‌ساخت خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک البرز جنوبی همچنین روندی را مشاهده نمودند (Manafi et al., 2008). به طور کلی در محدوده واکنش خنثی تا کمی قلیایی خاک، بی‌کربنات از انحلال دی‌اکسید کربن اتمسفری و یا حاصل از فعالیت‌های زیستی حاصل می‌گردد. کلسیم مورد نیاز نیز از انحلال کربنات‌ها و یا هوازدگی سیلیکات‌های کلسیم‌دار و همچنین گاهی اوقات از منابع بیرونی مثل باران و رسوبات تامین

شواهد میکرومورفولوژی ناشی از هوازدگی بازالت و شیشه آتشفشانی: ۱- تجمع اشکال مختلف کربنات

غالبیت عوارض خاک‌ساخت میکروسکوپی در نمونه‌های مطالعه شده، تجمع اشکال مختلف کربنات‌ها بوده است. در مطالعات میکروسکوپی تجمعات کربنات ثانویه در مقاطع نازک تهیه شده از تمام خاکرخ‌ها به جز برخی افق‌های سطحی خاکرخ‌ها مشاهده شدند. عوارض خاک‌ساخت کربنات ثانویه براساس خصوصیات میکرومورفولوژیک موجود در مقاطع نازک مناطق مورد مطالعه نشان داد که تجمعات کربنات موجود در این مقاطع غالباً به صورت انواع پوشش (پوشش تیپیک، پوشش زیرسطحی<sup>۱</sup>، کلاهک<sup>۲</sup>، آویزه<sup>۳</sup>، کراست<sup>۴</sup>)، انواع گرهک‌های میکریتی و اسپاریتی در ابعاد مختلف و انواع پرشدگی‌های حفرات توسط اشکال میکروسکوپی کربنات (میکریت و ماکریت) است (شکل ۵).

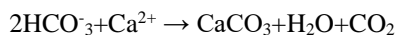
هوازدگی معمولاً یک فرآیند چندفازی است که در اثر آن سایر محصولات تشکیل شده از هوازدگی اولیه ناپایدار می‌شوند و به فازهای جدید تغییر شکل می‌یابند (Stoops, 2003). در تشریح قطعات سنگی هوازده مهمترین نکته بررسی حفرات ایجاد شده و پرشدگی آنها با مواد نوتشکیل و یا عوارض اطراف قطعات سنگی

۱ Hypo-coating

۲ Capping

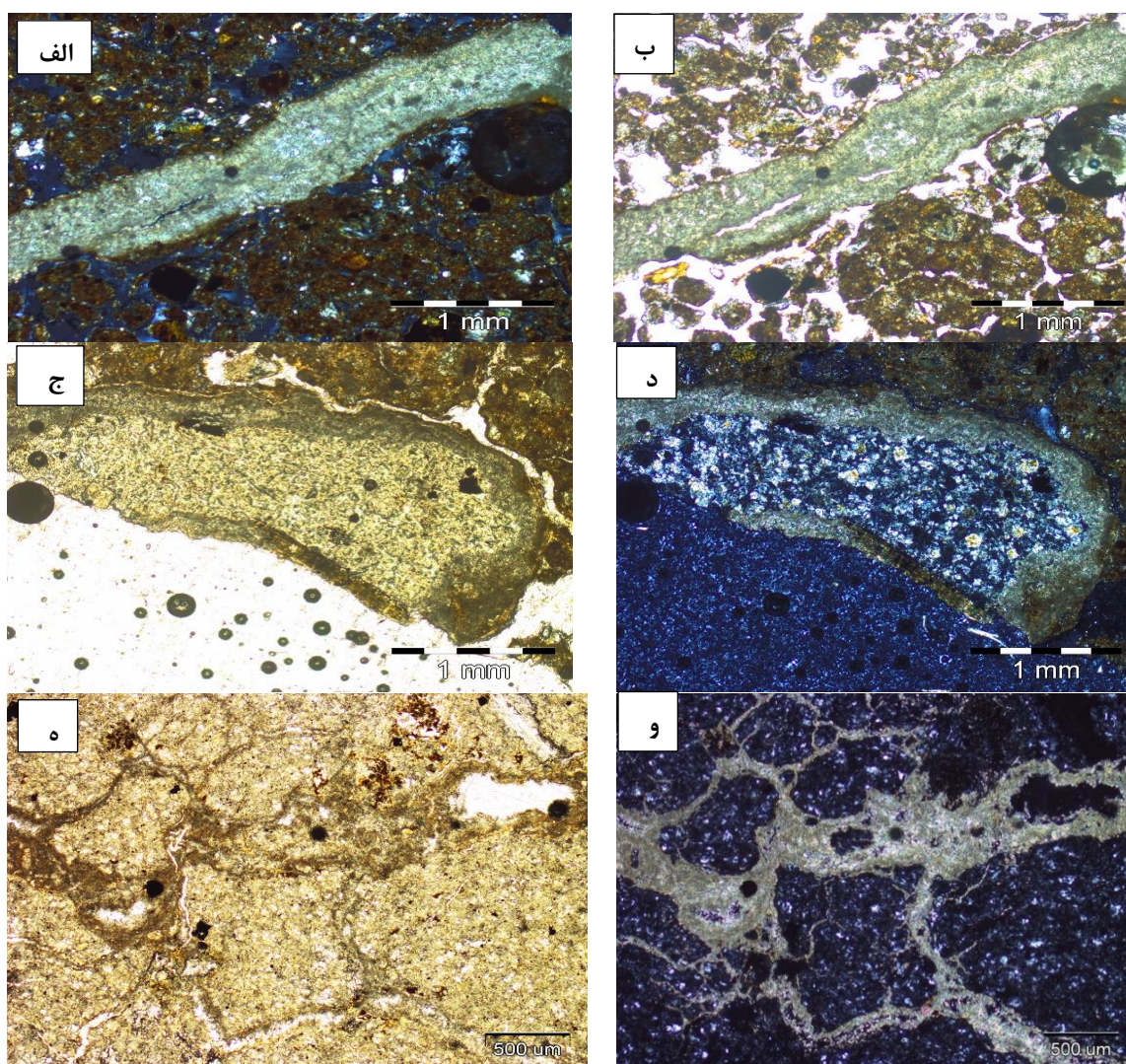
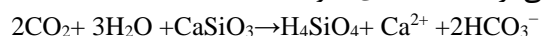
۳ Pendant





گرهک‌های کربناتی موجود در مقاطع مورد مطالعه گرهک‌های برج‌ها بوده که دارای مرز واضح و پخشیده می‌باشند که موید منشا خاک‌ساخت این عوارض است. گرهک‌های کربناتی میکربیتی به طور معمول از نوع کلسیت خاک‌ساخت می‌باشند. تشکیل و مورفولوژی این گرهک‌ها توسط فاکتورهای زیادی از قبیل فرآیندهای حل‌شدن و تبلور مجدد، غلظت نمک، هیدرومورفیسیم، بافت خاک و سرعت رسوب‌گذاری کربنات تعیین می‌گردد. آویزه یکی دیگر از اشکال تجمع کربنات‌ها در مقاطع نازک هر دو منطقه مورد بررسی بود. طول آویزه‌ها در خاک‌های مختلف متغیر بوده و با افزایش عمق به صورت نامنظم به مقدار آن‌ها افزوده شده است. *Khormali et al.* (2006) وجود آویزه‌های موجود در اقلیم خشک را به آثار یک اقلیم مرطوب‌تر گذشته نسبت داده‌اند.

می‌شود (Zamanian *et al*, 2016). نظر می‌رسد کربنات خاک-ساخت تشکیل یافته تحت تأثیر دی‌اکسیدکربن اتمسفری و یا حاصل از تنفس موجودات زنده و هوازدگی سنگ مادر بازالت در افق‌های فوقانی توسط آب‌های نفوذی انحلال یافته و آب محتوی کربنات کلسیم در اثر تماس با قطعات سنگی به دلیل کاهش هدایت هیدرولیکی متوقف شده و به تدریج با افزایش غلظت کربنات‌ها تا مقادیر بیش از حاصل‌ضرب حلالیت کربنات کلسیم، رسوب آهک به شکل انواع پوشش‌ها در این مکان‌ها صورت می‌گیرد. نتیجه هوازدگی سنگ مادر بازالت و شیشه‌های آتشفشانی آزاد شدن کاتیون‌های قلیایی مثل کلسیم و منیزیم بوده که در واکنش کلسیم آزاد شده از هوازدگی سنگ مادر با بی‌کربنات سبب رسوب و انباشت کربنات خاک‌ساخت در خاک‌های مورد مطالعه می‌گردد (معادله‌های ۱ و ۲).



شکل ۵- اشکال مختلف کربنات کلسیم در مقاطع نازک میکرومورفولوژی: الف و ب: پرشدگی کامل حفرات توسط آهک میکربیتی-افق Bk خاکرخ شماره ۱ در دو حالت PPL و XPL، ج و د: پوشش زیرسطحی کربنات بر روی سطح شیشه آتشفشانی-افق Bk خاکرخ شماره ۴ در دو حالت PPL و XPL، ه و و: آهک میکربیتی

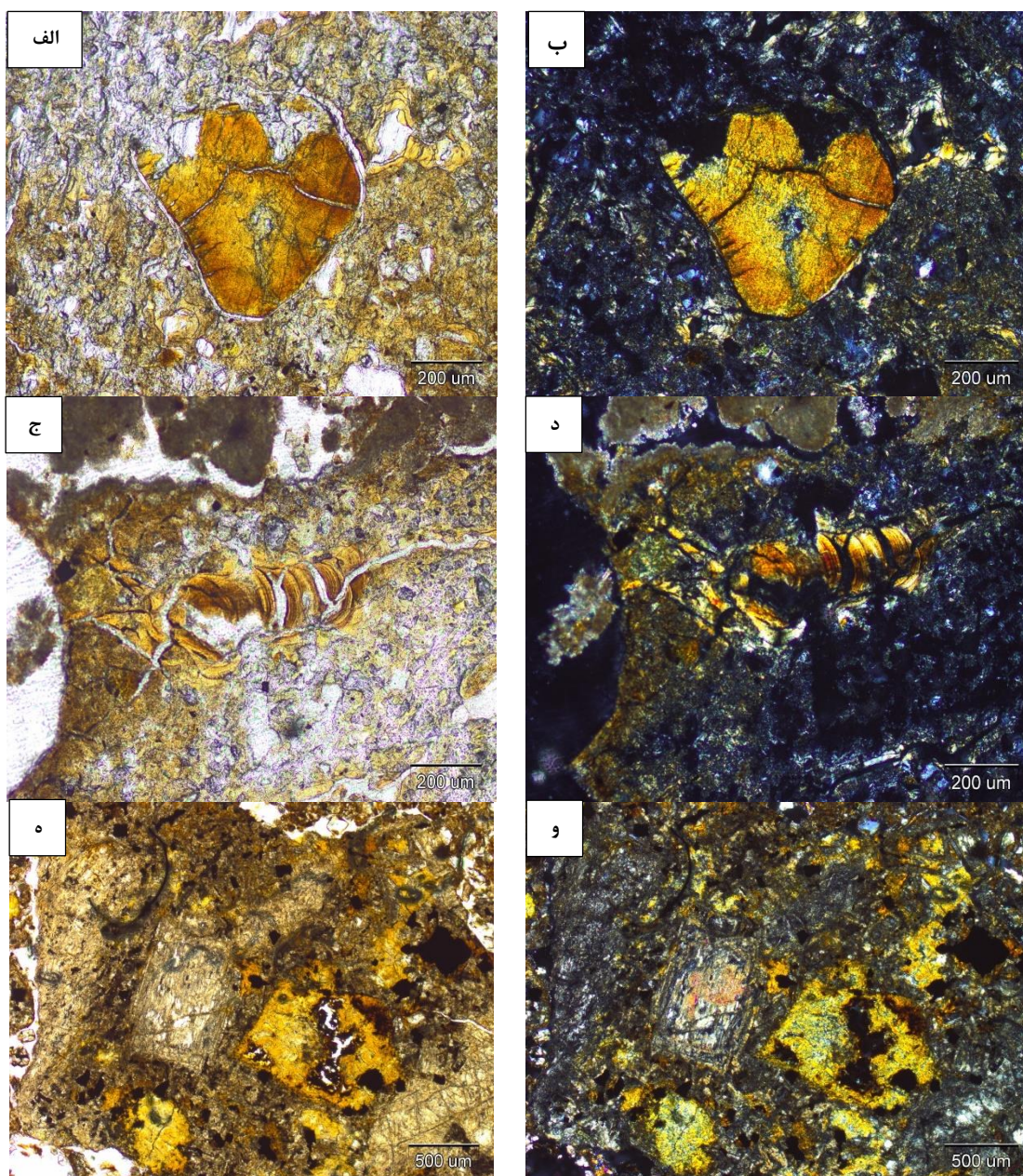


در متن خاک و درون حفرات-افق BCK1 خاکرخ شماره ۷ در دو حالت PPL و XPL

میکروسکوپی مطمئن‌ترین وسیله تشخیص رس تجمع یافته است. مطالعات میکروسکوپی می‌تواند شرایط تشکیل پوسته‌های رسی، ماهیت آن‌ها و روابط آن‌ها با سطح را آشکار نماید. تشخیص اینکه چه مقدار از رس مربوط به انتقال و چه مقدار از آن مربوط به هوازدگی است در صحرا مشکل است، اما با نمونه‌برداری دقیق نمونه‌های دست‌نخورده و ارزیابی صحیح و منطقی می‌توان مقدار رس انتقال یافته را مشخص نمود (Stoops et al, 2010).

شواهد میکرومورفولوژی ناشی از هوازدگی بازالت و شیشه آتشفشانی: ۲- تجمع اشکال مختلف رس

در این مطالعه علیرغم اینکه مشاهدات پوسته رسی در مطالعات صحرایی بسیار ضعیف بود و حتی در بعضی خاکرخ‌ها و افق‌ها اصلاً مشاهده نشد، اما در مقاطع نازک به فراوانی پوسته‌های رسی مشاهده شدند (شکل ۶). چرا که مقطع نازک و مطالعات



شکل ۶- اشکال مختلف پوسته رسی در مقاطع نازک میکرومورفولوژی: الف و ب: تجمع رس توجیه شده در اثر هوازدگی شیشه آتشفشانی در متن خاک-افق Bt خاکرخ شماره ۵ در دو حالت PPL و XPL، ج و د: توجیه شدگی پوشش‌های رسی ناشی از هوازدگی بازالت-افق Bt1 خاکرخ شماره ۶ در دو حالت PPL و XPL، ه و و: رس‌های توجیه نشده حاصل از هوازدگی سنگ بازالت-افق BCK1 خاکرخ شماره ۷ در دو حالت PPL و XPL

فرآیند انتقال و تجمع رس در خاک‌هایی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک با توجه به شرایط اقلیمی کنونی این نوع خاک‌ها



دارای اهمیت فراوانی است. به عقیده Gunal and Ransom (2006) و Karlstrom *et al* (2008) آبشویی رس تحت شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک به علت کمبود آب و ماهیت آهکی بودن اغلب این خاک‌ها که به عنوان عوامل بازدارنده عمل می‌کنند؛ بسیار به ندرت اتفاق می‌افتد و بعضاً ناپیوسته است. Kemp *et al* (2003) پوشش‌های رسی در زمینه خاک، روی خاکدانه‌ها و بعضاً روی ذرات اولیه خاک را یکی از شواهد میکرومورفیک در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌دانند؛ که به عنوان ابزاری جهت تفسیر شرایط اکولوژیکی گذشته قابل استفاده است. در این باره Khademi and Mermut (2003) این گونه نتیجه‌گیری کردند که پوسته‌های رسی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک قطعاً در یک اقلیم مرطوب‌تری نسبت به اقلیم کنونی تشکیل شده‌اند و یک عارضه باقی‌مانده از اقلیم مرطوب‌تر پیشین (دوره مرطوب کواترنر و یا پلیستوسن) می‌باشند. همچنین Scarciglia *et al* (2008) تجمع همزمان رس و فرآیند رنگین شدن<sup>۱</sup> می‌تواند به مربوط به دوره‌های بین یخچالی گذشته باشد.

Tangari *et al* (2018) در بررسی نقش هوازگی بازالت و سنگ‌های آتشفشانی در تشکیل برخی خاک‌ها در ایتالیا، وجود سنگ‌های هوازده بازالتی و کربناته در اجزای درشت و همچنین ساختمان میکروسکوپی بلوکی نیمه‌زاویه‌دار، حفرات صفحه‌ای ناشی از نفوذ ریشه گیاهان، تجمعات آهن و منگنز به تنهایی و در اطراف پوشش‌های رسی را گزارش نمودند. از مهمترین عوارض مشاهده‌شده در مطالعه حاضر وجود مقادیر فراوان پوشش‌های رسی درون حفرات و یا در اطراف ذرات درشت بازالت و شیشه‌های آتشفشان به رنگ‌های زرد تا زرد متمایل به قرمز (ناشی از وجود آهن) و گاهی اوقات در مناطق با هوازگی بیشتر به رنگ زرد متمایل به قهوه‌ای بود. تجمع همزمان پوشش‌های رس و تجمعات آهن و منگنز در اطراف سنگ بازالت نشان‌دهنده منشا خاک-ساخت آن بوده و تحت تاثیر فرآیند رسوب<sup>۲</sup> در اعماق پایین پروفیل است.

### نتیجه‌گیری

خاک‌های تشکیل‌شده تحت تأثیر سنگ‌های آتشفشانی دارای خصوصیات متمایز بسیاری هستند که بندرت در خاک‌های حاصل از سایر مواد اصلی یافت می‌شوند. تفاوت‌های اساسی مشاهده‌شده در خصوصیات خاک‌ساخت خاک‌های مطالعه شده می‌تواند مرتبط با طول دوره در معرض قرار گرفتن فرآیندهای تشکیل

خاک، شرایط اقلیمی و در برخی موارد فرسایش احتمالی باشد. وجود و مشاهده پوسته‌های رسی لایه لایه با خطوط خاموشی واضح و رسوب کربنات‌ها بر روی این پوشش‌ها در مقاطع نازک تهیه‌شده، نشان‌دهنده وجود دوره‌های مرطوب‌تر در گذشته نسبت به اقلیم کنونی و مساعد بودن شرایط اقلیمی برای وقوع آبشویی است. بر این اساس می‌توان انتظار داشت که در تمامی خاک‌های منطقه مورد مطالعه افق آرچیلیک تشخیص داده شود، اما به علت مساعد نبودن شرایط اقلیمی برای وقوع پدیده هوازگی، تحول و تکامل خاک‌ها در این منطقه کم است و شرایط اولیه مورد نیاز برای تشکیل افق آرچیلیک از جمله عمق تشکیل افق و ضخامت مورد نیاز افق در بیشتر خاک‌ها وجود ندارد و تنها در خاک‌های ۳ و ۶ تمام شرایط لازم برای تشخیص و تعیین افق آرچیلیک مشاهده شده است. به طور خاص فرآیند رنگین شدن در افق‌های آرچیلیک نشان‌دهنده مدت زمان طولانی فرآیندهای خاکساز، و یا گرم و مرطوب بودن شرایط اقلیمی در دوره‌های گذشته با زهکشی مناسب و تغییرات فصلی سطح آب ایستایی است. در مقاطع نازک مطالعه شده نیز شواهد و عوارض هوازگی به شکل نودول‌های هوازده شده از جنس رس، کربنات و اکسیدهای آهن و منگنز، عوارض اکسیدی تشکیل‌شده بر روی سنگ‌ها ناشی از هوازگی و پوشش‌های رسی توجیه نشده مشاهده شده است. در مقاطع نازک تهیه‌شده از خاک‌های این منطقه به خصوص در خاک‌های شماره ۳ و ۶ پوسته‌های رسی با خطوط خاموشی واضح و قوی و گرهک‌های رسی بزرگ به وفور در زمینه خاک مشاهده شدند. میزان بارندگی متوسط در این منطقه سبب آبشویی کربنات‌ها و انتقال و تجمع آن‌ها در افق‌های تحتانی شده است. اما هنوز شرایط لازم برای تشخیص و شناسایی افق کلسیک از جمله مقدار آهک تجمع یافته و ضخامت کافی برای این افق در برخی از خاک‌ها وجود ندارد. اما در مقاطع نازک مطالعه شده از این خاک‌ها بخصوص در اعماق پایین‌تر عوارض تجمعات کربناتی به شکل پوشش‌ها، پوشش‌های زیرسطحی و گرهک‌ها به وفور مشاهده شده است. وجود انواع عوارض خاک‌ساخت رسی مانند پوشش‌ها، پوشش‌های زیرسطحی و پرشدگی‌ها در مقاطع نازک شواهدی از وجود شرایط مناسب برای آبشویی و انتقال رس و همچنین شدت هوادیدگی بیشتر شیشه آتشفشان است. این امر همچنین نشان‌دهنده ثبات تقریباً طولانی سطح زمین تحت شرایط اقلیمی مناسب برای تجمع رس‌ها است. وجود پوشش‌ها و گرهک‌های شکسته رسی می‌تواند شواهدی برای انقباض و انبساط در نتیجه خشک و خیس شدن متوالی، همچنین شواهدی برای

<sup>۲</sup> Illuviation

<sup>۱</sup> Rubification

مطالعه گردیده است. برای درک بیشتر این مطلب می‌توان به گرهک‌های کلسیاتی تکه تکه شده و گرهک‌های آهکی هسته‌دار که هسته از جنس سنگ بازالت است (گرهک‌های اورتیک)؛ اشاره نمود. گرهک‌ها منشا پدوژنیک دارند و در پی رسوب‌گذاری تدریجی کربنات در منافذ ریز تشکیل می‌شوند. این نوع از گرهک-ها در اثر فرآیندهای خاکسازي و به صورت درجا تشکیل شده‌اند و به واسطه داشتن مرز پخشیده و فابریک مشابه با ماتریکس خاک شناسایی می‌شوند. از عوارض خاک‌ساخت جالب‌توجه در این مطالعه وجود عوارض مرکب شامل پوشش‌های رس و کربنات کلسیم به اشکال مختلف بوده که نشان‌دهنده پشت سر گذراندن این خاک‌ها در چندین سیکل تکامل در نتیجه تغییر شرایط آب و هوایی است به همین دلیل می‌توان خاک‌های منطقه مورد مطالعه را پلی ژنتیک نامید.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Abbasnejad, A. (2005) *Soil science for geologists*. Shahid Bahonar University publication, Kerman.
- Birkeland, P. W. (1999) *Soils and Geomorphology* (3<sup>th</sup> ed.). New York: Oxford University Press.
- Buol, S. W., Southard, R. J., Graham, R. C. and McDaniel, P. A. (2011) *Soil Genesis and Classification* (6<sup>th</sup> ed.). New York: Wiley.
- Caner, L., Radtke, L. M., Vignol-Lelarge, M. L., Inda, A. V., Bortoluzzi, E. C. and Mexias, A. S. (2014). Basalt and rhyo-dacite weathering and soil clay formation under subtropical climate in southern Brazil. *Geoderma*. 235-236: 100-112.
- Carter, M. R., and Gregorich, E. G. (2008) *Soil Sampling and Methods of Analysis* (2nd ed.). Canadian Society of Soil Science.
- Caspari, T., Bäumler, 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.
- Cecilia, J. A., Autie-Pérez, M. A., Labadie-Suarez, J. M., Castellón, E. R., and Molina, A. I. (2018) Volcanic Glass and its Uses as Adsorbent. *Volcanoes: Geological and Geophysical Setting, Theoretical Aspects and Numerical Modeling, Applications to Industry and Their Impact on the Human Health*, 239.
- Chen, H., Liu, X. M., and Wang, K. (2020). Potassium isotope fractionation during chemical weathering of basalts. *Earth and Planetary Science Letters*, 539, 116192.
- Chorover, J., Amistadi, M. K., and Chadwick, O. A. (2004). Surface charge evolution of mineral-organic complexes during pedogenesis in Hawaiian basalt. *Geochimical Cosmochimistry Acta*. 68(23): 4859-4876.
- Churchman, G. J., and Lowe, D. J. (2012) Alteration, formation, and occurrence of minerals in soils (pp. 1-72). CRC press.
- De Melo, M. T. C., Shandilya, R. N., Silva, J. B. P., and Postma, D. (2020). Volcanic glass leaching and the groundwater geochemistry on the semi-arid Atlantic island of Porto Santo. *Applied Geochemistry*. 114, 104470.
- Dessert, C., Dupre, B., Gaillardet, J., Francois, L. M. and Allegre, C. J. (2003). Basalt weathering laws and the impact of basalt weathering on the global carbon cycle. *Chemical Geology*. 202(3-4), 257-273.
- Ghasemi, H., Teymouri S. and Asiabanha, A. (2012). Geochemistry, Tectonic setting and Petrogenesis of Jirandeh Volcanic Rocks, North-West of Qazvin, *Quarterly Iranian Journal of Geology*. 22: 17-33.
- Gunat, H., and Ransom, M. D. (2006). Clay illuviation and calcium carbonate accumulation along a precipitation gradient in Kansas. *Catena*. 68(1), 59-69.
- Hassannezhad, H., Pashae, A., Khormali, F., and Mohammadian, M. (2007). The effect of soil moisture regime conditions and rice plantation on mineralogical properties of paddy soils in Amol region, Mazandaran province. *10<sup>th</sup> Iranian Soil Science congress*, Karaj. (In Farsi).
- Heidari, A., and Sahebjalal, E. (2011) *Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith thin Section*, (by Stoops, G), University of Tehran Press, 278p. (In Farsi)
- Karlstrom, E. T., Oviatt, C. G., and Ransom, M. D. (2008). Paleoenvironmental interpretation of multiple soil-loess sequence at Milford Reservoir, northeastern Kansas. *Catena*. 72(1), 113-128.
- Kemp, R. A., Toms, P. S., Sayago, J. M., Derbyshire, E., King, M. and Wagoner, L. (2003). Micromorphology and OSL Dating of the basal part of the loessosol sequence at La Mesada in

- Tucuman province, Northwest Argentina, *Quaternary International*. 106: 111- 117.
- Khademi, H. and A.R. Mermut, (2003). Micromorphology and classification of Argids and associated gypsiferous Aridisols from central Iran. *Catena*. 54: 439-455.
- Khormali, F., Abtahi, A., and Stoops, G. (2006). Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. *Geoderma*. 132: 31-46.
- Kunze, G.W., and Dixon, J.B. 1986. Pretreatments for Mineralogical Analysis. P91-100, In: Klute, A. (ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Manafi, Sh., and Mahmoodi, Sh. (2005). Micromorphology of pedogenic calcium carbonate accumulation in the part of lands, around Lake Urmia. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 36: 6. 1399-1411. (In Farsi)
- Manafi, Sh., Mahmoodi, Sh., Sarmadian, F., Heidari, A., and Mariapoch, R. (2008). Micromorphology of Secondary Calcium Carbonate Coatings in Some Arid and Semiarid Soils in Southern Alborz, Takestan-Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 39(1): 57-75. (In Farsi)
- Mirabella, A., Egli, M., Raimondi, S., and Giaccai, D. (2005). Origin of clay minerals in soils on pyroclastic deposits in the island of Lipari (Italy). *Clays and clay minerals*. 53(4), 409-421.
- Moradi, Z. and Heidari, A. (2011). Micromorphological and Mineralogical Properties of Carbonates in Some Aridisols and Inceptisols. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 42(2): 279-289. (In Farsi)
- Pal, D. K., Srivastava, P., and Bhattacharyya, T. (2003). Clay illuviation in calcareous soils of the semiarid part of the Indo-Gangetic Plains, India. *Geoderma*. 115(3-4), 177-192.
- Raheb, A. R. (2017). The effects of bioclimatological factors on soil organic and inorganic carbon contents in basaltic geological formations. Ph.D. Thesis, College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran. (In Farsi)
- Ramos, C. G., Querol, X., Dalmora, A. C., De Jesus Pires, K. C., Schneider, I. A. H., Oliveira, L. F. S., and Kautzmann, R. M. (2017). Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer. *Journal of Cleaner Production*. 142, 2700-2706.
- Sahandi, M. R. and Soheili, M. (2005) *Geological map of Iran: scale 1:1000000*. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Scarciglia, F., De Rosa, R., Vecchio, G., Apollaro, C., Robustelli, G., and Terrasi, F. (2008). Volcanic soil formation in Calabria (southern Italy): the Cecita Lake geosol in the late Quaternary geomorphological evolution of the Sila uplands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 177(1): 101-117.
- Soil Survey Staff. (2014) *Keys to Soil Taxonomy* (12<sup>nd</sup> ed.). United States Department of Agriculture. NRCS.
- Sparks, D. L. (1996) *Method of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods. American Society of Agronomy.
- Stoops, G. (2003) Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. Soil Science Society of America Inc.
- Stoops, G., Marcelino, V. and Mees, F. (2010) *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Soil Science Society American Madison, WI.
- Taylor, M. D., Lowe, D. J., Hardi, P., Smidt, G. A., and Schnug, E. (2016). Comparing volcanic glass shards in unfertilised and fertilised Andisols derived from rhyolitic tephra, New Zealand: evidence for accelerated weathering and implications for land management. *Geoderma*. 271, 91-98.
- Tetsopgang, S., and Fonyuy, F. (2019). Enhancing growth quality and yield of cabbage (*Brassica oleracea*) while increasing soil pH, chemicals and organic carbon with the application of fines from volcanic pyroclastic materials on a tropical soil in Wum, Northwest Cameroon, Africa. *Scientific African*, 6, e00199.
- Thanachit, S., Suddhiprakarn, A., Kheoruenromne, I. and Gilkes, R. J. (2006). The geochemistry of soils on a catena on basalt at Khon Buri, northeast Thailand. *Geoderma*. 135: 81-96.
- Torabi Gelsefidi, H., Karimian Eghbal, M., Givi, M.J., and Khademi, H. (2001). Clay mineralogy of paddy soils developed on different landforms in the east of Guilan province, Northern Iran. *Water Soil Science Journal*. 15:1.122-139. (In Farsi).
- USDA-NRCS. (2012) *Field Book for Describing and Sampling Soils*. Version 3.0, National Soil Survey Center.
- Zamanian, K., Pustovoytov, K., and Kuzyakov, Y. (2016). Pedogenic carbonates: Forms and formation processes. *Earth-Science Reviews*, 157, 1-17.