



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources



## Soil evolution affected by climate and topography in Sardooeyeh-Bam Region (South of Kerman)

Najmeh Rasooli<sup>1</sup>, Mohammad Hady Farpoor<sup>\*2</sup>, Majid Mahmoodabadi<sup>3</sup>,  
Isa Esfandiarpour-Boroujeni<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: [najmehrasooli@gmail.com](mailto:najmehrasooli@gmail.com)
2. Corresponding Author, Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: [farpoor@uk.ac.ir](mailto:farpoor@uk.ac.ir)
3. Dept. of Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: [mahmoodabadi@uk.ac.ir](mailto:mahmoodabadi@uk.ac.ir)
4. Dept. of Soil Science and Engineering, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: [esfandiarpour@vru.ac.ir](mailto:esfandiarpour@vru.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 10.06.2021

Revised: 12.21.2021

Accepted: 12.22.2021

#### Keywords:

Clay mineralogy,  
Micromorphology,  
Polygenetic soils,  
Soil classification

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Climate and topography are two important soil-forming factors that affect the genesis, evolution, and classification of soils. Topography may influence soil evolution through attributes such as the direction, shape, and percentage of the slope, the amount of precipitation, penetration, and runoff, the rate of erosion, as well as the difference in the drainage conditions. On the other hand, organic carbon, the amount and type of clay, soil color, calcium carbonate, base saturation, leaching depth, and solubility of salts in the soil are closely related to the climate. Hence, this study aimed to investigate the effect of climate and topography on changing physicochemical, mineralogical, and micromorphological properties of soil.

**Materials and Methods:** This research focused on two regions including, Sardooeyeh and Bam. The Sardooeyeh region, with the soil moisture-temperature regime of xeric-mesic, is about 3500m above sea level. However, the mean elevation in the Bam region, with the aridic-thermic regime, is 900m. Eight representative pedons on the extrusive igneous parent material with an intermediate composition were selected, sampled, and described. Physicochemical, mineralogical, and micromorphological analyses performed on the soil samples, and the soils were classified using Soil Taxonomy and World Reference Base for Soil Resources (WRB). Soil pH, texture, electrical conductivity, equivalent calcium carbonate, cation exchangeable capacity, and gypsum were measured, then eight samples were selected for clay mineralogy investigations. A Bruker Dh8 Advance X-ray diffractometer at 30 mA and 40 kW was used to analyze the samples. Scanning electron microscopy was performed. The undisturbed soil samples from horizons were selected for micromorphological observations.

**Results:** The results revealed the increase in the clay percentage, cation-exchange capacity, organic carbon, and equivalent calcium carbonate in the elevations with the xeric regime. On the other hand, an increase in the amount of electrical conductivity and gypsum percentage in the aridic regime was determined. Thus, changes in soil properties caused different soils, including a range of Mollisols and Alfisols (xeric regime) to Aridisols (aridic regime) in the Soil Taxonomy and the Chernozems, Luvisols, and Calcisols (xeric regime) to Solonchaks, Gypsisols and

---

Cambisols (aridic regime) in the WRB system to be classified. One of the strengths of the WRB system compared to the Soil Taxonomy is the classification of buried soils and the use of the "Raptic" qualifier to indicate the lithologic discontinuity within the pedon. The results of clay mineralogy elucidate the presence of illite, palygorskite, chlorite, smectite, kaolinite, vermiculite, smectite-vermiculite interstratified minerals, and quartz. In the xeric regime, the illite mineral decreased, and vermiculite and smectite increased. However, the amount of illite increased in the aridic climate. Furthermore, the simultaneous presence of palygorskite and smectite-vermiculite interstratified minerals can be the result of the presence of polygenetic soils in this region. Calcite infilling, nodule, and calcite internal hypo-coating, with clay coatings, clay bridges, and link clay capping were among the dominant micromorphological pedofeatures observed in the xeric moisture. On the other hand, the simultaneous presence of calcite and clay coatings and infillings together with gypsum infillings and the interlocked gypsum plates prove the role of paleoclimate in soil formation.

**Conclusion:** Results of this study showed that the current climate, the paleoclimate prevailing in the region, and topography have key roles on the intensity of weathering, the amount of clay minerals, and the type of pedofeatures in the region. Besides, due to the lack of carbonate in the parent material, it seems that the increase of weathering in the xeric regime part of the area significantly influenced on the alteration of plagioclase mineral which in turn, increased secondary calcium carbonate.

---

Cite this article: Rasooli, Najmeh, Farpoor, Mohammad Hady, Mahmoodabadi, Majid, Esfandiarpour-Boroujeni, Isa. 2022. Soil evolution affected by climate and topography in Sardooeyeh-Bam Region (South of Kerman). *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12 (2), 1-22.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.19561.2041

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## مطالعه تکامل خاک متأثر از اقلیم و توپوگرافی در منطقه ساردوئیه- بم (جنوب استان کرمان)

نجمه رسولی<sup>۱</sup>، محمد هادی فرپور<sup>۲\*</sup>، مجید محمودآبادی<sup>۳</sup>، عیسی اسفندیارپور بروجنی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: [najmehrasooli@gmail.com](mailto:najmehrasooli@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: [farpoor@uk.ac.ir](mailto:farpoor@uk.ac.ir)
۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: [mahmoodabadi@uk.ac.ir](mailto:mahmoodabadi@uk.ac.ir)
۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: [esfandiarpour@vru.ac.ir](mailto:esfandiarpour@vru.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله:</p> <p>مقاله کامل علمی- پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۴</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱</p>	<p>سابقه و هدف: اقلیم و توپوگرافی دو عامل مهم خاکسازي محسوب می‌شوند که پیدایش، تکامل و طبقه‌بندی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. توپوگرافی با تأثیرگذاری بر ویژگی‌هایی از جمله جهت شیب، شکل شیب، درصد شیب، میزان دریافت نزولات و نفوذ در خاک، میزان رواناب، میزان فرسایش و اختلاف در شرایط زهکشی بر تکامل خاک اثرگذار است. از سوی دیگر، درصد کربن آلی، مقدار و نوع رس، رنگ خاک، مقدار کربنات کلسیم، درصد اشباع بازی، عمق آبشویی و حلالیت نمک‌ها در خاک ارتباط تنگاتنگی با اقلیم دارد. از این رو، هدف این پژوهش بررسی تأثیر اقلیم و توپوگرافی در تغییر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی خاک است.</p>
<p>واژه‌های کلیدی:</p> <p>خاک‌های پلی ژنتیک، طبقه‌بندی خاک، کانی‌شناسی رس، میکرومورفولوژی</p>	<p><b>مواد و روش‌ها:</b> این پژوهش در دو منطقه ساردوئیه و بم انجام شد. منطقه ساردوئیه با میانگین ارتفاع ۳۵۰۰ متر از سطح دریا در رژیم رطوبتی و حرارتی زیریک و مزیک قرار گرفته است؛ در حالی که منطقه بم با میانگین ارتفاع ۹۰۰ متر در رژیم اریدیک- ترمیک واقع گردیده است. تعداد ۸ خاک‌رخ شاهد بر روی مواد مادری از نوع آذرین بیرونی با ترکیب حدواسط انتخاب، نمونه‌برداری و تشریح گردید. آنالیزهای فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی بر روی نمونه‌های خاک انجام شد. و خاک‌ها براساس سامانه طبقه‌بندی آمریکایی و سامانه جهانی طبقه‌بندی گردیدند. مقادیر pH، بافت خاک، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی و گچ اندازه‌گیری شد. ۸ نمونه برای مطالعات کانی‌شناسی انتخاب شد. نمونه‌ها تحت ۴ تیمار اشباع‌سازی با کلرومنیزیم، کلروپتاسیم، تیمار با بخار اتیلن‌گلیکول روی نمونه‌های اشباع از منیزیم و تیمار حرارتی ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد روی نمونه‌های اشباع از</p>

پتاسیم قرار گرفتند. نمودارهای پراش پرتو ایکس تیمارهای مختلف هر نمونه به وسیله دستگاه اشعه ایکس مدل بروکر با ولتاژ ۴۰ کیلوولت و شدت جریات ۳۰ آمپر تهیه گردید. آنالیز میکروسکوپ الکترونی نیز صورت گرفت. نمونه‌های دست‌نخورده از برخی افق‌ها برای مطالعات میکرومورفولوژی انتخاب گردید.

**یافته‌ها:** نتایج بیانگر آن است که درصد رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل در رژیم زیریک افزایش یافته؛ در مقابل در رژیم اریدیک میزان هدایت الکتریکی و درصد گچ افزایش نشان می‌دهد. از این رو تغییر در خصوصیات خاکی سبب تغییر در طبقه‌بندی خاک‌ها از مالی‌سول و آلفی‌سول (رژیم زیریک) به اریدی‌سول (رژیم اریدیک) در سامانه آمریکایی و چرنوزم، لویسول و کلسی‌سول (رژیم زیریک) به سولونچاک، ژپسی‌سول و کمبی‌سول (رژیم اریدیک) در سامانه جهانی گردیده است. از نقاط قوت سامانه جهانی نسبت به سامانه آمریکایی توجه به طبقه‌بندی خاک‌های مدفون و استفاده از توصیف‌کننده راپتیک برای نشان دادن انقطاع سنگی است. نتایج کانی‌شناسی رسی، وجود کانی‌های ایلیت، پالیگورسکیت، کلرایت، اسمکتیت، کائولینیت، ورمیکولیت، کانی مخلوط ورمیکولیت-اسمکتیت و کوارتز را نشان می‌دهد. نتایج بیانگر کاهش کانی ایلیت و افزایش مقادیر کانی ورمیکولیت و اسمکتیت در رژیم زیریک بود؛ در حالی که در اقلیم اریدیک مقدار کانی ایلیت افزایش نشان می‌دهد. علاوه بر این حضور هم‌زمان کانی پالیگورسکیت و کانی مخلوط ورمیکولیت-اسمکتیت را می‌توان به وجود خاک‌های پلی‌ژنتیک در منطقه نسبت داد. پدوفیچرهای غالب در مطالعات میکرومورفولوژی در رژیم زیریک بیانگر پرشدگی، نادول و پوشش‌های زیرسطحی کلسیت و تشکیل پوشش رسی، پل رسی بین ذرات و کلاهدک رسی متصل است. از سوی دیگر حضور توأم پوشش و پرشدگی کلسیت و رس همراه با کریستال‌های منفرد گچ و صفحات درهم قفل شده نشان‌دهنده نقش اقلیم گذشته در تشکیل خاک است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش نشان داد که اقلیم کنونی، اقلیم مرطوب‌تر حاکم در گذشته منطقه و توپوگرافی نقش کلیدی در شدت هواپدگی، مقدار کانی‌های رسی و نوع عوارض خاک‌ساخت موجود در منطقه داشته‌اند. هم‌چنین با توجه به عدم وجود کربنات در ماده مادری، افزایش هواپدگی در رژیم زیریک تأثیر به‌سزایی در دگرسانی کانی پلاژیوکلاز و افزایش کربنات کلسیم ثانویه داشته است.

**استناد:** رسولی، نجمه، فرپور، محمد هادی، محمودآبادی، مجید، اسفندیارپور بروجنی، عیسی (۱۴۰۱). مطالعه تکامل خاک متأثر از اقلیم و توپوگرافی در منطقه ساردوئیه-بم (جنوب استان کرمان). *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۲ (۲)، ۱-۲۲.

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.19561.2041



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

اقلیم و توپوگرافی دو عامل اساسی در تشکیل و تحول خاک به شمار می‌روند (۱). تغییرپذیری طبیعی خاک‌ها حاصل اثر متقابل میان شرایط زمین‌شناسی، اقلیم و توپوگرافی است. در اوایل مراحل خاکسازي، ترکیب شیمیایی خاک‌ها به وسیله ترکیب زمین‌شناسی مواد مادری کنترل می‌شود اما با گذشت زمان ترکیب خاک به تدریج تحت تأثیر فرآیندهای پدوژنیک ناشی از فاکتورهای توپوگرافی و اقلیم تغییر می‌کند (۲). اقلیم به دلیل نقشی که در تولید مواد آلی، تخریب کانی‌ها و ساخته شدن رس، انتقال کلئیدها درون خاک و خارج نمودن مواد محلول از خاک دارد در تشکیل و تکامل خاک نقش به‌سزایی دارد. از سوی دیگر، پستی و بلندی به‌صورت مستقیم (جهت و درجه شیب، موقعیت شیب و ارتفاع نسبت به سطح دریا) و غیرمستقیم (از طریق تأثیر بر سایر عوامل خاکسازي مانند اقلیم و پوشش گیاهی) بر تشکیل و تکامل خاک اثرگذار است (۳). از این رو، اقلیم و توپوگرافی تأثیر به‌سزایی در تغییر ویژگی‌های ژئوشیمیایی، میکروفابریک و کانی‌شناسی خاک دارند (۴).

کانی‌های خاک شاخصی از میزان هوادیدگی و نیز درجه پیشرفت فرآیندهای پدوژنز محسوب می‌گردند (۴). از آن‌جا که کانی‌های مختلف تحت شرایط محیطی ویژه‌ای پایدار هستند بنابراین، می‌توان براساس نوع و فراوانی کانی‌ها در خاک‌های قدیمی شرایط محیط گذشته را بازسازی نمود (۵). حامد و همکاران (۲۰۱۸) در بیابان تار در هند از مطالعات کانی‌شناسی رس برای درک تغییرات فرآیندهای پدوژنز در طی نوسانات اقلیمی این منطقه استفاده کردند (۶). اگلی و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند که هوادیدگی زیاد سبب تبدیل کانی‌های تری‌اکتاهدرال (مانند میکا و کلریت) به کانی‌های دی‌اکتاهدرال (مثل

اسمکتیت) می‌گردد (۷). باقرنژاد (۲۰۰۲) ضمن بررسی کانی‌های رسی خاک‌های واحدهای فیزیوگرافی مختلف در استان فارس با اقلیم خشک، بیان نمود که کانی‌های رسی در واحدهای فیزیوگرافی مختلف از نظر نوع، کم و بیش مشابه می‌باشند؛ اما به لحاظ میزان نسبی متفاوت هستند؛ بدین‌صورت که خاک‌های اراضی مرتفع، حاوی مقدار زیادی ایلیت و کلریت می‌باشند و با حرکت به سمت دشت‌ها و اراضی پست بر مقدار مونت‌موریلونیت و پالیگورسکیت افزوده می‌شود (۸).

یکی دیگر از روش‌های مهم و ضروری در مطالعه خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، مطالعات میکرومورفولوژی است. از آن‌جا که بسیاری از پدیده‌ها و فرآیندهای تشکیل خاک با چشم غیرمسلح دارای وضوح کافی نیست، از این‌رو میکرومورفولوژی مطمئن‌ترین روش برای شناسایی فرآیندهای پیچیده در خاک است. حامد و همکاران (۲۰۱۸) از مطالعات میکرومورفولوژی برای توصیف فرآیندهای پدوژنیک و تکامل خاک در بیابان تار استفاده کردند (۶). خرمالی و عجمی (۲۰۱۱) وجود افق آرجیلیک با بی‌فابریک نقطه‌ای و افق کلسیک با بی‌فابریک خرده بلوری را شاهدی از پایداری سطح ژئومورفیک عنوان کردند (۹). کمپ (۲۰۱۳) از مطالعات میکرومورفولوژی در کنار سایر اطلاعات خاکی برای بازسازی اقلیم گذشته و خاک‌های با خصوصیات پلی‌ژنتیک بهره گرفت (۱۰). هم‌چنین، پژوهشگران با استفاده از این تکنیک، اطلاعات با ارزشی در رابطه با فرآیندهای خاکسازي و هم‌چنین اقلیم حال و گذشته ایران مرکزی به‌دست آورده‌اند (۱۱ و ۱۲). آن‌ها بیان کردند که وجود پوشش‌های رسی قوی در افق‌های آرجیلیک پیشرفته، وجود یک دوره مرطوب‌تر در گذشته منطقه را تداعی می‌کند.

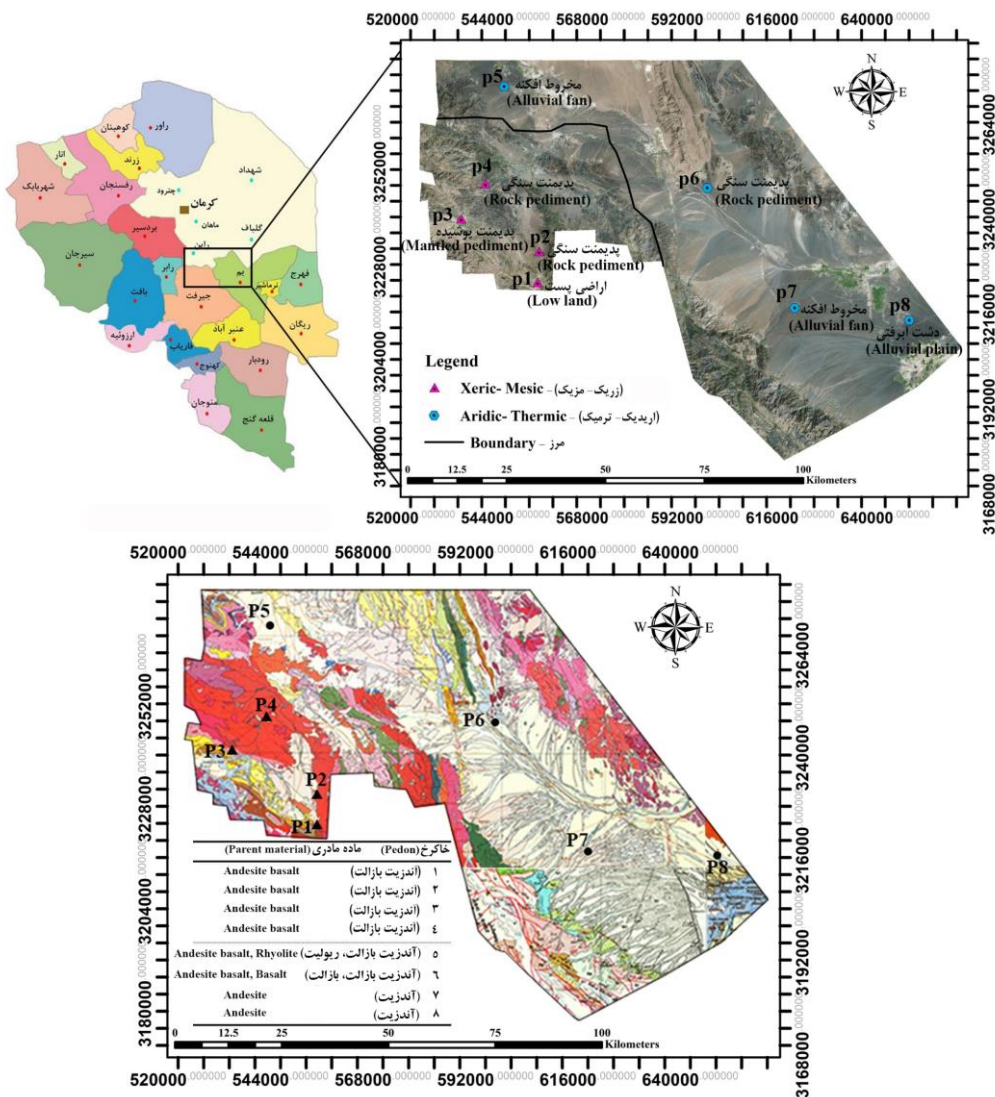
نرم‌افزار <sup>1</sup>NSM، محدودده مورد مطالعه در منطقه ساردوئیه، دارای رژیم‌های رطوبتی و حرارتی به ترتیب زیریک و مزیک (میانگین بارندگی و دمای سالانه ۴۵۰ میلی‌متر و ۱۰ درجه سلسیوس) و در منطقه بم، به ترتیب اریدیک و ترمیک (میانگین بارندگی و دما سالانه ۹۸ میلی‌متر و ۲۲ درجه سلسیوس) است.

**مطالعات ستادی، صحرایی و آزمایشگاهی:** پس از بررسی نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰۰)، زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰۰)، نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی، تصاویر گوگل ارث و مطالعات صحرایی، محدوده مطالعاتی تعیین گردید. تعداد هشت خاک‌رخ شامل چهار خاک‌رخ در رژیم رطوبتی زیریک (ساردوئیه) و چهار خاک‌رخ در رژیم رطوبتی اریدیک (بم) با ماده مادری، از جنس سنگ‌های آذرین بیرونی با ترکیب حدواسط در موقعیت اراضی پست، پدیمت پوشیده، پدیمت سنگی، مخروط‌افکنه و دشت آبرفتی حفر گردید (شکل ۱). از راهنمای تشریح شوئبرگر (۲۰۱۲) برای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌رخ‌ها استفاده شد (۱۵) (شکل ۲).

با توجه به این‌که در منطقه مورد مطالعه، از سمت ساردوئیه به طرف شهرستان بم از ارتفاع منطقه کاسته گردیده و متعاقباً اقلیم منطقه نیز خشک‌تر می‌گردد. بنابراین نظر به این‌که اقلیم و پستی-بلندی از عوامل مؤثر بر فرآیندهای خاکسازي هستند؛ بنابراین با تغییر این فاکتورها نحوه تشکیل و تکامل خاک می‌تواند تغییر یابد و این مطلب، در منطقه مورد بررسی قابل ارزیابی است. از این‌رو، در این پژوهش نقش دو فاکتور اقلیم و توپوگرافی در تکوین و تکامل خاک‌ها در منطقه ساردوئیه-بم با مرکز بر مطالعات فیزیکی و شیمیایی، کانی‌شناسی رس و میکرومورفولوژی مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین میزان کارایی دو سامانی طبقه‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) و جهانی (۲۰۱۵) در توصیف خاک‌های منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مطالعاتی:** این پژوهش در محدوده مناطق ساردوئیه و بم، واقع در جنوب شهرستان کرمان، در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی  $29^{\circ}09'$  و  $28^{\circ}05'$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $58^{\circ}03'$  و  $57^{\circ}02'$  شرقی انجام گرفت (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه بخشی از کمربند آتشفشانی-نفوذی ارومیه-دختر است که مهم‌ترین و گسترده‌ترین واحدهای زمین‌شناسی در آن واحدهای آتشفشانی ائوسن شامل آندزیت، آندزیت-بازالت، ریولیت و توف است (۱۳). ارتفاع منطقه از سطح دریا از ۳۵۰۰ متر در ارتفاعات ساردوئیه تا ۹۰۰ متر در منطقه بم متغیر است. بر اساس نقشه رایج رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (۱۴) و منحنی تغییرات بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل ترسیم‌شده در



شکل ۱- موقعیت خاک‌رخ‌های شاهد در منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of representative pedons in the study area.

اکسایش تر (۱۹) و گچ به روش ترسیب با استون (۱۹) و ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از استات سدیم تعیین گردید (۲۰).  
 به‌منظور مطالعات کانی‌شناسی رس، پس از انجام پیش‌تیمارهای لازم و حذف عوامل سیمانی‌کننده به روش جکسون (۱۹۷۵) و کیتریک و هوپ (۱۹۶۳)، جداسازی بخش رس انجام شد (۲۱ و ۲۲). تیمارهای اشباع‌سازی با کلرور منیزیم، کلرور پتاسیم، تیمار با بخار اتیلن‌گلیکول روی نمونه‌های اشباع از منیزیم و

نمونه‌های انتقال‌یافته به آزمایشگاه، هوا خشک، کوبیده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شدند. سپس مقدار ذرات درشت (بزرگ‌تر از دو میلی‌متر) خاک به روش حجمی (۱۶)، بافت خاک به روش پیپت (۱۷)، مقدار pH در گل اشباع با استفاده از دستگاه pH متر Jenway، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج مدل BPTC-500 PrismaTech، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۱۸)، کربن آلی به روش

کلوخه‌های دست‌نخورده با چسب کربن روی پایه‌های آلومینیمی چسبانده و با لایه‌ای از طلا پوشش داده شدند؛ سپس با میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل VEGA\TESCAN-XMU در ولتاژ ۱۵ کیلو ولت مورد مطالعه قرار گرفتند.

تیمار حرارتی  $550^{\circ}\text{C}$  روی نمونه‌های اشباع از پتاسیم مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت نمودارهای پراش پرتو ایکس به وسیله دستگاه پراش پرتو ایکس مدل Bruker در زاویه  $2\theta$  با ولتاژ ۴۰ کیلو ولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر تهیه گردید. برای مشاهده ریخت‌شناسی پالیگورسکیت،



شکل ۲- نمایی از خاک‌های مورد مطالعه.

Figure 2. View of the studied pedons.

صفحه‌ای (PPL) و متقاطع (XPL) بر اساس راهنمای استویس (۲۰۰۳) مورد مطالعه قرار گرفتند (۲۴). در نهایت رده‌بندی خاک‌ها مطابق با کلید رده‌بندی آمریکایی (۱۶) و سامانه طبقه‌بندی جهانی (۲۵) انجام شد.

هم‌چنین، برای مطالعات میکرومورفولوژی، کلوخه‌های دست‌نخورده بعد از هواخشک شدن، با استفاده از رزین سه جزئی در دستگاه دسیکاتور اشباع گردیدند و پس از سخت شدن، مقاطع نازک از آنها تهیه شد (۲۳). مقاطع با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل (BK-POLTD)، زیر نور پلاریزه

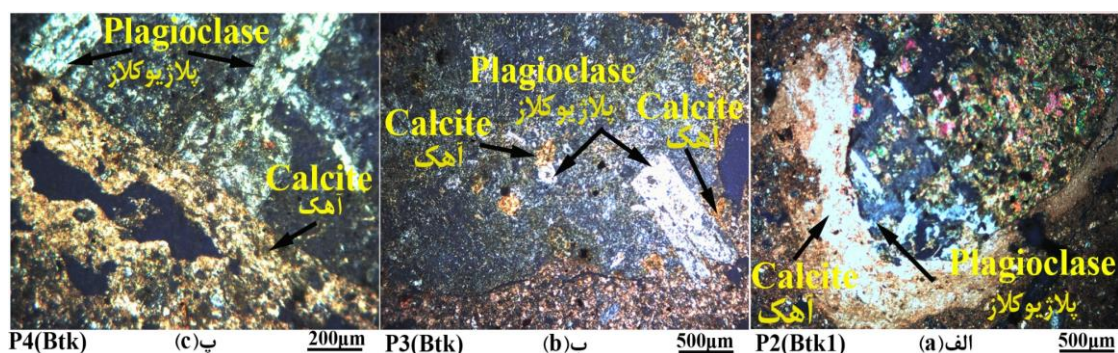


## نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها: جدول ۱  
 ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و رده‌بندی خاک‌رخ‌ها را نشان می‌دهد. قابلیت هدایت الکتریکی در رژیم زیریک از  $0/3$  تا  $3/4$  دسی‌زیمنس بر متر و در رژیم اریدیک از  $2/5$  تا  $29/2$  دسی‌زیمنس بر متر متغیر است. بیش‌ترین میزان کربن آلی در رژیم زیریک در خاک‌رخ ۱ و در موقعیت ژئومورفیک اراضی پست به‌میزان  $11/1$  درصد بوده؛ و رنگ خاک در افق A این خاک‌رخ در حالت خشک  $2.5Y 4/2$  و در حالت مرطوب  $2.5Y 3/2$  است. دامنه تغییرات pH خاک‌رخ‌های مورد مطالعه از  $6/7$  تا  $7/9$  تغییر نموده است (جدول ۱). چنان‌چه ملاحظه می‌شود حداکثر میزان کربنات کلسیم معادل در رژیم زیریک، به میزان ۱۹ درصد می‌باشد. علاوه بر این افزایش بارندگی در رژیم زیریک نسبت به رژیم اریدیک سبب شده تا کربنات‌ها تا عمق بیش‌تری از خاک نفوذ کنند. افزایش کربنات کلسیم در اقلیم زیریک را می‌توان با چندین عامل مرتبط دانست: اولاً تجمع کربنات کلسیم ثانویه در خاک به شرایط رطوبتی کافی برای رهاسازی کلسیم از کانی‌های موجود در سنگ‌های آذرین و به‌طور متوالی شرایط خشکی کافی برای رسوب کربنات کلسیم نیاز دارد. از این لحاظ اقلیم‌های

نیمه‌خشک محیط‌های ایده‌الی برای رسوب کربنات کلسیم خاکساز می‌باشند، زیرا کربنات‌ها در طی فصل‌های مرطوب زمستان و پاییز حل شده و در شرایط خشک تابستان رسوب می‌یابند (۲۶). ثانیاً سنگ‌های آذرین غیراسیدی مانند آندزیت و بازالت غنی از پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار هستند که در محیط مرطوب به سرعت هوادیده می‌شوند (۴). در پژوهش حاضر نیز هوادیدگی و دگرسان شدن کانی پلاژیوکلاز به کلسیت و تشکیل لایه ضخیم از کربنات کلسیم در اطراف این کانی در شکل ۳-الف و وجود تجمعات کلسیت در مجاورت پلاژیوکلاز در شکل ۳-ب و ۳-ج شاهدهی بر این مدعا است. بنابراین افزایش میزان کربنات‌ها در رژیم زیریک را می‌توان به توسعه فرایندهای پدوژنز و جایگزین شدن کانی‌های سیلیکاته موجود در سنگ‌های آذرین با کربنات‌ها در اثر فرایندهای هوادیدگی (مانند هیدرولیز) مرتبط دانست (۴).

البته افزایش درجه شیب و بارندگی در رژیم زیریک و افزایش احتمال آبشویی و انتقال یون‌های کلسیم از برخی سازندهای آهکی پراکنده موجود در منطقه نیز می‌تواند در این افزایش تأثیرگذار باشد.



شکل ۳- تصویر مقطع نازک از تجمع کربنات کلسیم در مجاورت کانی پلاژیوکلاز.

Figure 3. Thin section images of calcium carbonate accumulation in the vicinity of plagioclase mineral.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌رخ‌ها.

**Table 1. Selected physical and chemical properties of pedons.**

ظرفیت تبادل کاتیونی	کربن آلی	گچ	کربنات کلسیم معادل	قطعات سنگی	کلاس بافت*	رس	شن	واکنش خاک	هدایت الکتریکی	عمق	افق
CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	OC (%)	Gypsum (%)	CCE (%)	RF (%)	Textural Class*	Clay (%)	Sand (%)	pH	EC (dSm <sup>-1</sup> )	Depth (cm)	Horizon
(Xeric-Mesic) رژیم رطوبتی - حرارتی خاک؛ (Soil moisture-temperature regime): زیریک - مزیک؛ (Xeric-Mesic)											
خاک‌رخ (۱) (Pedon 1) - اراضی پست (Low land) - موقعیت (Location): 29° 06' N; 57° 32' E - ارتفاع (Elevation): 2885 asl											
53	11.1	ng	13.0	ng	SIL	17	21	7.0	3.4	0-30	A
50.7	6.8	ng	10.5	ng	SIL	23	28	7.0	1.3	30-50	AB
44	4.2	ng	15.0	ng	L	19	44	7.1	1.1	50-80	Bkg
39.2	3.7	ng	2.5	ng	CL	30	29	6.7	0.8	80-95	Cg1
28.4	1.1	ng	1.2	ng	SIC	46	12	6.9	0.5	95-110	Cg2
WRB: Katogleyic Endohypocalcic Chernozems (Endoclayic, Anoloamic)											
ST: Fine-silty, Mixed, Superactive, Mesic Typic Calciaquolls											
خاک‌رخ (۲) (Pedon 2) - پدیمنت سنگی (Rock pediment) - موقعیت (Location): 29° 10' N; 57° 32' E - ارتفاع (Elevation): 2793 asl											
22.8	0.75	ng	19.0	25	L	21	46	7.8	0.4	0-15	A
28.3	0.52	ng	18.0	20	CL	34	31	7.8	0.4	15-45	Btk1
23.8	0.33	ng	18.0	50	L	27	41	7.6	0.3	45-75	Btk2
WRB: Endoskeletal Luvic Calcisols (Amphihypocalcic, Pantoloamic)											
ST: Fine-loamy, Mixed, Superactive, Mesic Calcic Haploxeralfs											
خاک‌رخ (۳) (Pedon 3) - پدیمنت پوشیده (Mantled pediment) - موقعیت (Location): 29° 14' N; 57° 20' E - ارتفاع (Elevation): 2629 asl											
29	0.5	ng	8.5	10	L	18	45	7.5	0.3	0-40	A
27.2	0.3	ng	10.5	35	SL	14	65	7.5	0.4	40-65	Bw
30.1	0.3	ng	10.5	5	L	19	49	7.7	0.4	65-95	Bt
32.6	0.3	ng	15.0	20	L	17	48	7.6	0.5	95-130	Btk
32.6	0.2	ng	15.5	25	SL	15	68	7.6	0.4	130-170	Bk1
32.6	0.1	ng	15	25	SL	15	71	7.6	0.7	170-200	Bk2
WRB: Endohypocalcic Luvisols (Endocutanic, Pantoloamic)											
ST: Fine-silty, Smectitic, Mesic Calcic Haploxeralfs											
خاک‌رخ (۴) (Pedon 4) - پدیمنت سنگی (Rock pediment) - موقعیت (Location): 29° 19' N; 57° 24' E - ارتفاع (Elevation): 2421 asl											
15	0.8	ng	7	15	L	17	39	7.8	0.4	0-15	A
26.5	0.5	ng	15	45	L	22	47	7.8	0.4	15-55	Btk
14.2	0.3	ng	10	48	SL	14	53	7.8	0.4	55-100	Ck
13	0.1	ng	9	60	SL	12	61	7.9	0.3	100-125	C1
13.2	0.1	ng	8	55	SL	10	72	7.9	0.4	125-150	C2
10	0.1	ng	8	62	SL	10	77	7.8	0.5	150-175	C3
WRB: Katoskeletal Amphiluvic Calcisols (Amphihypocalcic, Pantoloamic)											
ST: Fine-loamy, Mixed, Superactive, Mesic Calcic Haploxeralfs											

ادامه جدول ۱ -

Continue Table 1.

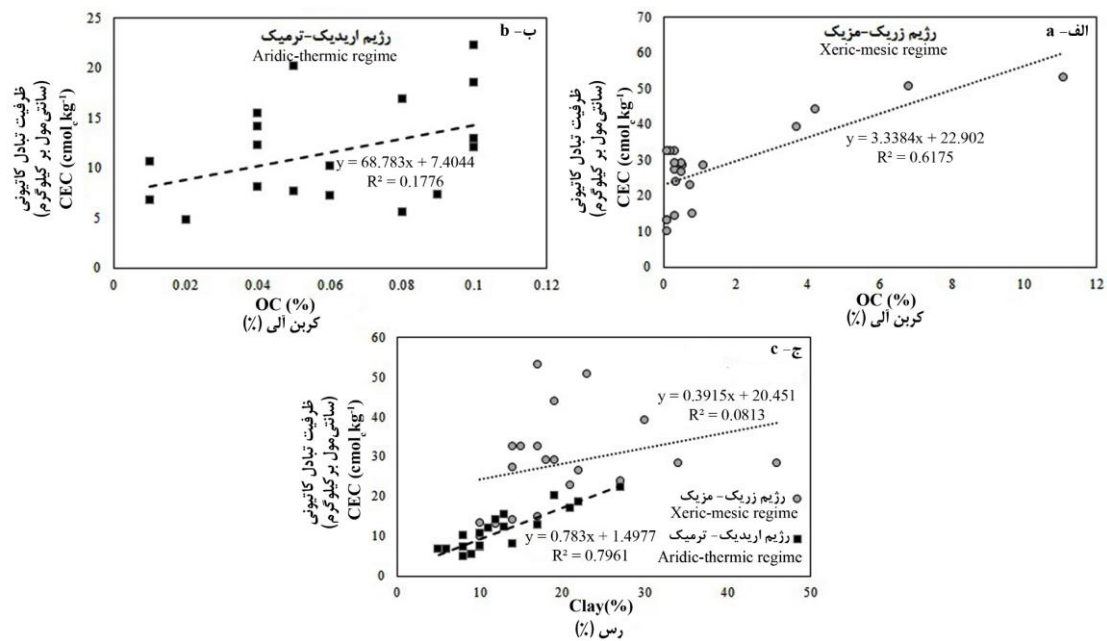
ظرفیت تبادل کاتیونی	کربن آلی	گچ	کربنات کلسیم معادل	قطعات سنگی	کلاس بافت*	رس	شن	واکنش خاک	هدایت الکتریکی	عمق	افق
CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	OC (%)	Gypsum (%)	CCE (%)	RF (%)	Textural Class*	Clay (%)	Sand (%)	pH	EC (dSm <sup>-1</sup> )	Depth (cm)	Horizon
رژیم رطوبتی - حرارتی خاک: (Soil moisture-temperature regime): اریدیک - ترمیک; (Aridic-Thermic)											
خاک رخ (ه) (Pedon 5) - مخروط افکنه (Alluvial fan) - موقعیت (Location): 29° 32' N; 57° 27' E - ارتفاع (Elevation): 2223 asl											
12.9	0.1	ng	16.7	12	SL	17	53	7.8	4.0	0-15	A
18.5	0.1	0.8	15.0	17	L	22	49	7.5	29.2	15-50	Btk
22.2	0.1	8.5	7.5	25	SCL	27	63	7.5	25.7	50-70	Bty
12	0.1	2.2	7.5	45	SL	11	76	7.5	26.4	70-100	Bw
7.3	0.09	2.3	7.0	55	LS	10	86	7.7	17.1	100-130	C
16.9	0.08	0.7	11.0	35	SCL	21	64	7.7	15.2	130-150	2Btb
WRB: Epihypocalcic Endohypogypsic Solonchaks (Pantoloamic, Endoskeletal) over Haplic Luvisols (Loamic)											
ST: Fine-loamy, Mixed, Superactive, Thermic Calcic Argigypsis											
خاک رخ (و) (Pedon 6) - پدیمنت سنگی (Rock pediment) - موقعیت (Location): 29° 18' N; 57° 58' E - ارتفاع (Elevation): 1557 asl											
10.2	0.06	ng	8.0	40	SL	8	76	7.5	2.5	0-3	A
10.6	0.01	5.0	15.0	55	LS	10	82	7.6	4.4	3-35	Btky
6.8	0.01	0.5	9.5	60	S	5	93	7.9	9.1	35-90	2C1
6.8	0.01	0.18	9.5	60	S	6	90	7.9	16.6	90-150	2C2
WRB: Skeletic Epihypocalcic Gypsisols (Pantoarenic, Epihypogypsic, Amphiraptic)											
ST: Sandy-skeletal, Mixed, Thermic Typic Argigypsis											
خاک رخ (ز) (Pedon 7) - مخروط افکنه (Alluvial fan) - موقعیت (Location): 29° 02' N; 58° 12' E - ارتفاع (Elevation): 1440 asl											
12.2	0.04	ng	14.7	15	L	13	46	7.8	2.9	0-10	A
20.2	0.05	14.3	15.0	52	SL	19	63	7.7	3.0	10-40	Btky
15.4	0.04	15.5	5.5	58	SL	13	77	7.7	3.4	40-100	By1
14.1	0.04	14.4	5.7	65	SL	12	79	7.7	2.9	100-140	By2
WRB: Skeletic Luvic Epihypocalcic Gypsisols (Katohypogypsic, Pantoloamic)											
ST: Fine-loamy, Mixed, Superactive, Thermic Typic Argigypsis											
خاک رخ (ح) (Pedon 8) - دشت آبرفتی (Alluvial plain) - موقعیت (Location): 29° 00' N; 58° 30' E - ارتفاع (Elevation): 915 asl											
5.5	0.08	1.0	7.0	40	LS	9	84	7.5	15.5	0-10	A
4.8	0.02	0.5	7.5	42	LS	8	87	7.8	5.3	10-35	C
7.6	0.05	0.6	8.0	55	LS	10	83	7.7	5.1	35-60	2Bw1
8.1	0.04	0.1	11.5	75	SL	14	76	7.7	5.0	60-75	2Bw2
7.2	0.06	0.3	11.5	70	LS	8	81	7.7	4.9	75-90	2Bw3
7.2	0.06	0.5	9.5	60	S	8	87	7.7	5.1	90-110	3Bw4
WRB: Endocalcaric Skeletic Cambisols (Anoarenic, Amphiraptic)											
ST: Sandy-skeletal, Mixed, Thermic Typic Haplocambids											

\* کلاس بافت: SIL - لوم سیلتی، L - لوم، CL - لوم رسی، SIC - رس سیلتی، SL - لوم شنی، SCL - لوم رسی شنی، LS - شن لومی، S - شن  
 \* Textural Class: SIL - silt loam, L - loam, CL - clay loam, SIC - silty clay, SL - sandy loam, SCL - sandy clay loam, LS - loamy sand, S - sand

تبادل کاتیونی مؤثر است (۳). تأثیر دیگر توپوگرافی جهت شیب است که تعیین‌کننده مقدار انرژی خورشیدی است که خاک دریافت می‌کند. در نیم‌کره شمالی، شیب‌های رو به شمال مرطوب‌تر و سردتر از شیب‌های جنوبی و شیب‌های شرقی هم نسبت به شیب‌های غربی سردتر و مرطوب‌تر هستند که سبب تغییر در خصوصیات خاکی می‌گردد (۳). سوفی و همکاران (۲۰۱۶)، جکسیک و همکاران (۲۰۲۱) درصد رس و ماده آلی بیش‌تر در شیب‌های شمالی نسبت به شیب‌های جنوبی را گزارش کردند (۲۸) و (۲۹). سولی و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که درصد رس و ماده آلی خاک به علت سطح ویژه زیاد و باردار بودن، نقش مهمی در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی دارند (۳۰).

از دیگر نکات دارای اهمیت در منطقه، وجود خاک‌های قدیمی در رژیم رطوبتی اریدیک است. از آن‌جا که امکان تشکیل افق آرجیلیک در اقلیم خشک کنونی امکان‌پذیر نیست، بنابراین حضور این افق تابع رطوبت قابل دسترس بیش‌تر در گذشته منطقه است. حضور افق آرجیلیک در اعماق زیرین خاک (خاک‌رخ ۵) و همچنین توزیع آشکار گچ ثانویه قابل رؤیت به‌ویژه از نوع آویزه‌ای (پندانت) در کنار تجمعات رس (خاک‌رخ ۶ و ۷) نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی باعث تفاوت در نوع فرآیندهای خاک‌سازی غالب در منطقه و ایجاد خاک‌های پلی‌ژنتیک گردیده است. انواع خاک‌های قدیمی مدفون (خاک‌رخ ۵)، ظاهر شده (خاک‌رخ ۶) و باقی‌مانده (خاک‌رخ ۷) در منطقه مشاهده شد.

از سوی دیگر حداکثر مقادیر گچ در خاک‌های مورد مطالعه در رژیم رطوبتی اریدیک (۱۵/۵ درصد) مشاهده گردید. هم‌چنین نتایج بیانگر آن است که در مناطق مرتفع با رژیم رطوبتی زیریک، افزایش مقدار کربن آلی در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی تأثیرگذار بوده و حداکثر میزان آن در بخش سطحی خاک‌رخ ۱ با بیش‌ترین مقدار کربن آلی مشاهده شد (شکل ۴-الف). البته نتایج، روند افزایشی ظرفیت تبادل کاتیونی با کربن آلی در رژیم اریدیک را نیز نشان داد (شکل ۴-ب). علاوه بر این، نتایج بیانگر کاهش درصد رس و مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی از رژیم رطوبتی زیریک به اریدیک بوده و روند افزایشی ظرفیت تبادل کاتیونی با افزایش درصد رس در هر دو رژیم رطوبتی را نشان می‌دهد (شکل ۴-ج). به‌نظر می‌رسد توپوگرافی، اقلیم کنونی و اقلیم مرطوب‌تر حاکم در گذشته منطقه در افزایش درصد رس و متعاقباً ظرفیت تبادل کاتیونی تأثیر به‌سزایی دارند. بیرکلند (۱۹۹۹) با استفاده از توابع اقلیمی در خاک نشان داد که با افزایش مقدار بارندگی، مقدار رس در خاک افزایش می‌یابد (۲۷). در ارتباط با توپوگرافی قدر مسلم هرچه ارتفاع منطقه‌ای از سطح آب‌های آزاد بیش‌تر می‌شود درجه حرارت کم‌تر و میزان بارندگی افزایش می‌یابد که این امر موجب افزایش پوشش گیاهی و تکامل خاک می‌گردد (۳). توسعه پوشش گیاهی سبب افزایش مقدار مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و حاصلخیزی خاک می‌گردد. هم‌چنین با افزایش مواد آلی، خلل و فرج خاک نیز افزایش یافته و در نتیجه آب بهتر در خاک نفوذ نموده و حجم بیش‌تری از سنگ به خاک تبدیل می‌شود که در افزایش میزان رس و ظرفیت

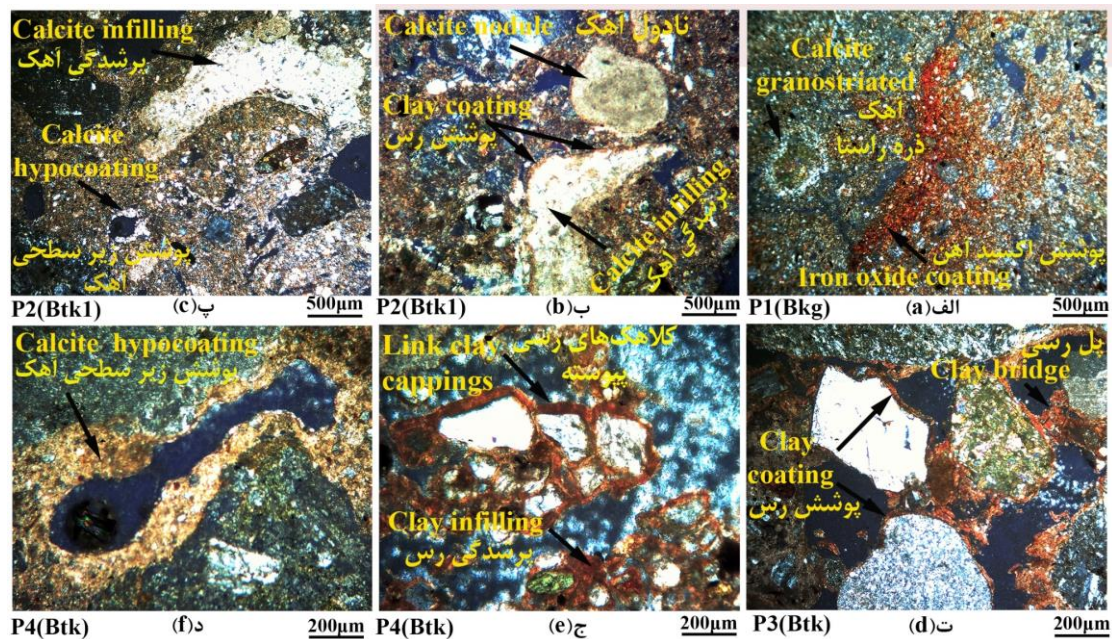


شکل ۴- ارتباط ظرفیت تبادل کاتیونی با کربن آلی و رس.

Figure 4. Relationship of cation exchangeable capacity with organic carbon and clay.

عمق بیش از ۹۰ سانتی متری به صورت پوشش‌های زیرسطحی داخلی می‌باشند (شکل ۵-د). پوشش‌های Hypo و Quasi ترکیبی از کربنات‌های میکریتیک و میکرواسپاریتیک هستند که از محلول خاک تشکیل شده و به اطراف حفرات، شیارها و درون متن خاک نفوذ می‌کنند (۳۲). خرمالی و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که فرآیند حل شدن- رسوب و تبلور مجدد کلسیت (به‌ویژه داخل کانال‌ها) با افزایش رطوبت از رژیم رطوبتی اریدیک به زیریک تشدید می‌شود و مجدد به سمت رژیم رطوبتی یوستیک کاهش می‌یابد (۱۲).

میکرومورفولوژی خاک‌ها: مطالعه مقاطع نازک در خاک‌رخ ۱ واقع در سطح اراضی پست، نشان‌دهنده تجمعات آهن و نادل‌های منگنز است که بیانگر شرایط اکسید و احیایی در خاک است (شکل ۵-الف). حضور تجمعات آهن در زمینه خاک به فاصله کمی از حفرات می‌تواند به دلیل شرایط احیایی تر در فضای خلل و فرج و شرایط اکسیدی تر در زمینه خاک باشد (۳۱). مطالعه مقاطع نازک در رژیم رطوبتی زیریک، نشان داد که عوارض خاک‌ساخت کلسیت در افق‌های بالایی خاک‌رخ‌ها عمدتاً به صورت پرشدگی و نادل کلسیت هستند (شکل ۵-ب، پ). در حالی‌که در خاک‌رخ ۴ تجمعات کلسیت در



شکل ۵- مقاطع نازک (XPL) از برخی افق‌های انتخابی در رژیم رطوبتی زیریک.  
**Figure 5. Thin sections (XPL) of selected horizons in xeric moisture regime.**

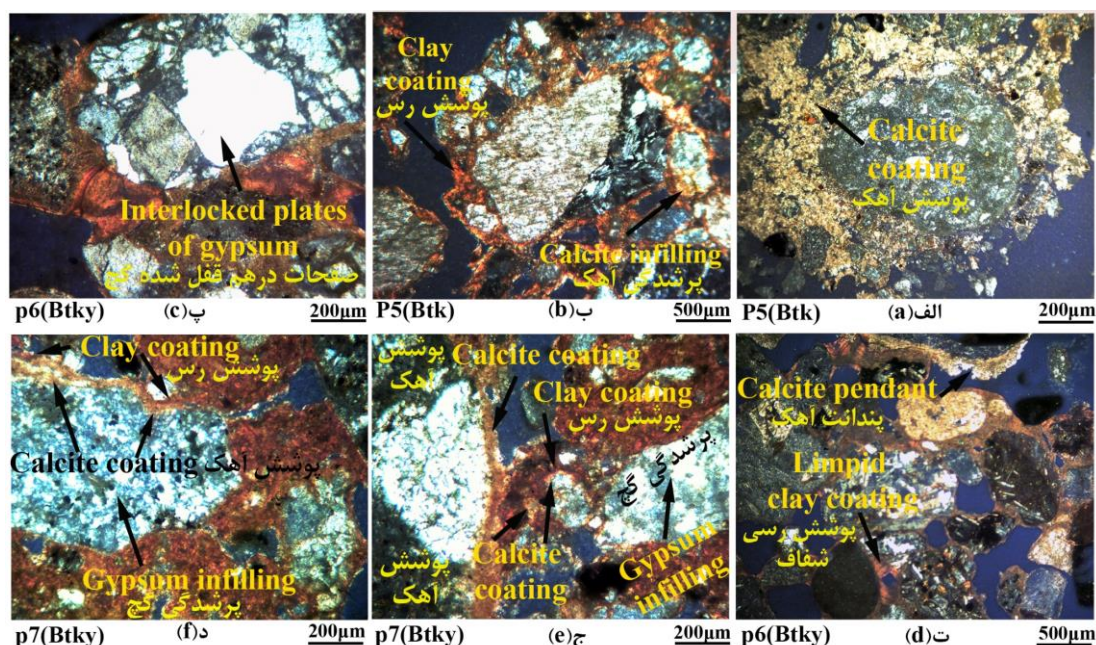
در خاک‌رخ‌های واقع در رژیم رطوبتی اریدیک، عوارض خاک‌ساخت گچ نیز در مقاطع نازک مشاهده گردیدند (شکل ۶). تجمعات گچ در منطقه عمدتاً به صورت پرشدگی و صفحات درهم قفل‌شده گچ است (شکل ۶- پ، ج، د). تشکیل صفحات درهم قفل‌شده را می‌توان به حل شدن و رسوب مجدد بلورهای عدسی‌شکل گچ نسبت داد (۳۴). هم‌چنین تجمعات توأم گچ، کربنات‌ها و رس در مقاطع نازک مشاهده گردید (شکل ۶). به‌طور معمول، انتظار حضور کربنات‌ها و گچ همراه با یکدیگر به دلیل تفاوت در حلالیتشان در یک افق وجود ندارد؛ اما در پژوهش حاضر، هر دو کانی به‌طور هم‌زمان مشاهده شدند. اگر گچ قبل از کربنات‌ها تجمع یافته بود، با توجه به حلالیت بیشتر گچ نسبت به کربنات‌ها، در هنگام تجمع کربنات‌ها، گچ شسته و از داخل خاک‌رخ خارج می‌گردید. بنابراین این مطلب نشان‌دهنده قدیمی‌تر بودن کربنات‌های تجمع‌یافته نسبت به عوارض خاک‌ساخت گچ است. به‌نظر می‌رسد که ابتدا

راهب و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که عمق شستشو و رسوب کربنات کلسیم در خاک‌رخ به مقدار کربنات اولیه، شیمی آب (pH)، فشار جزئی CO<sub>2</sub> و نفوذپذیری آب در خاک وابسته است (۳۳). از دیگر عوارض خاک‌ساخت مشاهده شده، وجود پوشش، پل‌های رسی و کلاهایک رسی متصل در امتداد پرشدگی‌های کلسیت است (شکل ۵- ت، ج). این مطلب نشان می‌دهد که بارندگی کافی موجب حرکت کربنات‌ها از خاک سطحی، متعاقب آن شستشوی رس و در نهایت تشکیل افق آرجیلیک شده است. همین مطلب سبب ایجاد عوارض خاک‌ساخت با بی‌فابریک خرد‌بلوری، حفره‌محور و ذره‌محور در این افق‌ها شده است. در خاک‌رخ ۲ واحدهای بزرگ‌تر در زمینه‌ای متراکم از واحدهای کوچک‌تر قرار گرفته‌اند و توزیع ذرات به صورت پورفیریک بسته است. به نظر می‌رسد که افزایش میزان رس در این خاک‌رخ در کاهش انتقال ذرات رس از سطح خاک تأثیرگذار است.

خاک‌ها نسبت دادند (۳۵). علاوه بر این، حضور پوشش رس با بی‌رفرنژانس واضح (شکل ۶-ت) در اقلیم خشک کنونی میسر نبوده و احتمالاً به رطوبت قابل‌دسترس بیشتر در اقلیم گذشته حاکم در منطقه مرتبط است. سرمست و همکاران (۲۰۱۹) نیز منطقی‌ترین توضیح برای وجود پوشش‌های رسی شفاف با بی‌رفرنژانس واضح در منطقه جیرفت را وجود اقلیم گذشته مرطوب‌تر در منطقه عنوان کردند (۳۶).

کربنات‌ها و سپس رس در دوره‌های مرطوب گذشته تجمع یافته‌اند و سبب تشکیل عوارض خاک‌ساخت مرکب پوشش رس و کربنات‌ها گردیده‌اند (شکل ۶-ب، ج، د). سپس با انتقال به دوره‌های خشک‌تر، اشکال ثانویه گچ نیز به صورت پرشدگی و صفحات درهم قفل شده در خاک تشکیل شده‌اند (شکل ۶).

مقیسه و حیدری (۲۰۱۲) با مطالعه خاک‌های گچی منطقه بم حضور توأم نمک‌ها با حلالیت مختلف در یک افق را بیانگر افزوده شدن آن‌ها به یک افق در دوره‌های مختلف یا به عبارتی پلی‌ژنتیک بودن



شکل ۶- مقاطع نازک (XPL) از برخی افق‌های انتخابی در رژیم رطوبتی اریدیک.

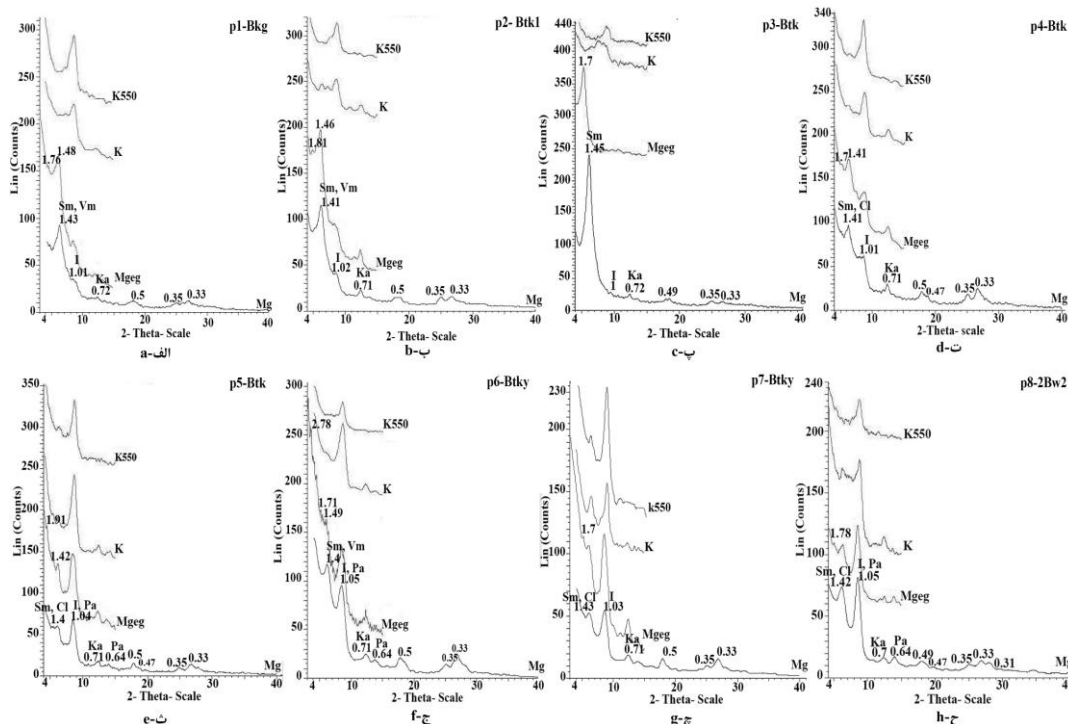
Figure 6. Thin sections (XPL) of selected horizons in aridic moisture regime.

زیادی (۳۷، ۳۸ و ۳۹) گزارش گردیده است. اما مقدار و نوع کانی‌های رسی به ترکیب ماده مادری و نیز شدت فرآیندهای هواپدگی در خاک وابسته است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش میزان بارندگی در ارتفاعات، کانی‌های رسی غالب به طور عمده شامل اسمکتیت و ورمی‌کولیت هستند؛ در حالی که پیک کانی ایلیت کاهش یافته یا پوشانده شده

کانی‌شناسی رس خاک‌ها: پراش‌نگارهای پرتو ایکس نشان‌دهنده حضور کانی‌های ایلیت، کلریت، ورمی‌کولیت، اسمکتیت، کائولینیت، پالیگورسکیت، کانی‌های مخلوط منظم اسمکتیت- ورمی‌کولیت و کوارتز در نمونه‌ها بودند (شکل ۷). مقادیر نیمه‌کمی این کانی‌ها نیز در جدول ۲ نشان داده شده است. حضور این کانی‌ها در خاک‌های مناطق خشک در پژوهش‌های

۴۱ و ۴۲). یوسفی فرد و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه خاک‌های تشکیل شده بر روی ماده مادری آذرین در شمال غرب ایران منشأ کانی ورمی کولیت را به هوادیدگی میکا نسبت دادند (۴). معاذلهی و فرپور (۲۰۰۹) نیز تشکیل کانی ورمی کولیت را در رژیم رطوبتی زیرک در اراضی پست منطقه لاله‌زار استان کرمان گزارش کردند (۳۸). در خاک‌رخ ۳ مقادیر کانی اسمکتیت به میزان قابل توجهی بیشتر از سایر کانی‌های فیلسیلیکاته است. احتمالاً کانی‌های حدواسط ایلیت و ورمی کولیت که طی هوادیدگی کانی‌های اولیه ایجاد می‌شوند در این خاک‌رخ به اسمکتیت تبدیل شده‌اند. هالدار (۲۰۲۰) بیان کرد که کانی‌های اولیه بیوتیت و مسکویت در مراحل ابتدایی هوادیدگی به ایلیت و ورمی کولیت و در مرحله آخر به اسمکتیت هوادیده می‌شوند (۴۳).

است (شکل ۷). یوسفی فرد و همکاران (۲۰۱۵) و تانگری و همکاران (۲۰۲۰) عنوان کردند که اسمکتیت و ورمی کولیت در سنگ‌های آذرین غیراسیدی می‌تواند از هوادیدگی پلاژیوکلاز کلسیم‌دار، آمفیبول‌ها و پیروکسن‌ها تشکیل شوند (۴ و ۴۰). در خاک‌رخ‌های شماره ۱ و ۲ که به ترتیب در سطوح اراضی پست و پدیمت سنگی قرار گرفته‌اند میزان ورمی کولیت افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد؛ در مقابل، مقدار ایلیت کاهش یافته است (جدول ۲). به نظر می‌رسد که افزایش رطوبت دریافتی سبب افزایش هوادیدگی و سیر تکاملی خاک و تبدیل ایلیت به ورمی کولیت گردیده است. خرمالی و همکاران (۲۰۰۶)، اسکیا و همکاران (۲۰۱۴) و آندراده و همکاران (۲۰۲۰) تشکیل کانی ورمی کولیت را در خاک‌هایی با رطوبت بالا گزارش کردند (۱۲).



شکل ۷- پراش‌نگارهای پرتو ایکس بخش رس (Mg): اشباع با منیزیم؛ Mgeg: اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول؛ k: اشباع با پتاسیم، ۵۵۰ °C: اشباع با پتاسیم و حرارت؛ Sm: اسمکتیت؛ Vm: ورمیکولیت؛ I: ایلیت؛ Ka: کائولینیت؛ Pa: پالیگورسکیت؛ Cl: کلریت).

Figure 7. X-Ray diffractograms of the clay fraction. (Mg: Mg saturated; Mgeg: Mg saturated treated with ethylene glycol; K: K saturated; K550: K saturated and heated up to 550 °C, Sm: Smectite, Vm: Vermiculite, I: Illite, K: Kaolinite, Pa: Palygorskite, Ch: Chlorite).



است. حجتی و همکاران (۲۰۱۳)، با بررسی رسوبات ترشیاری در ایران مرکزی بیان کردند با حرکت از دوران پالئوسن به پلیوسن، طی از بین رفتن دریای قدیمی تتیس و آغاز فرآیندهای کوهزایی و تشکیل دریاچه‌های کم‌عمق، شرایط برای تشکیل پالیگورسکیت در این منطقه فراهم گردیده است (۴۴). داسیلوا و همکاران (۲۰۱۸) و رسولی و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که رسوب و تبلور کلسیت و افزایش نسبت  $Mg/Ca$  در محلول خاک شرایط را برای تشکیل نوفریم پالیگورسکیت فراهم می‌نماید (۴۵ و ۴۶). تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، بیانگر تشکیل رشته‌های پالیگورسکیت روی سطوح یا در فضای بین اشکال پدوژنیک کربنات است (شکل ۸- الف، ب) و به‌نوعی نشان‌دهنده آن است که توسعه قشر آهکی، شرایط محلول خاک را برای تشکیل درجای پالیگورسکیت فراهم نموده است. حجتی و همکاران (۲۰۱۰) عنوان کردند که خاک‌های قدیمی که دارای تمایز شدید بافتی هستند می‌توانند دارای کانی پالیگورسکیت با منشأ پدوژنیک باشند در این شرایط کانی پالیگورسکیت در ارتباط نزدیک با کربنات‌های ثانویه است (۴۷). تشکیل پدوژنیک پالیگورسکیت می‌تواند در اثر تبدیل سایر کانی‌های سیلیکاته مانند اسمکتیت به پالیگورسکیت و یا ترسیب از محلول خاک باشد. در شرایطی که کانی پالیگورسکیت از محلول خاک ایجاد شده باشد مقادیر قابل‌توجهی از کانی‌های تبخیری مانند گچ و کلسیت نیز همراه با این کانی دیده می‌شود. در این شرایط با ترسیب کلسیم به شکل گچ و/یا کلسیت فعالیت منیزیم محلول زیادتر می‌شود و شرایط برای تشکیل این کانی مهیا می‌گردد (۴۷). علاوه بر این، نتایج نشان‌دهنده بیش‌ترین مقدار کانی پالیگورسکیت در

تشکیل کانی کلریت در خاک‌رخ ۴، منشأ وراثتی داشته؛ زیرا شرایط مناسب برای تشکیل کانی کلریت شامل آبشویی شدید، اسیدیته کم‌تر از ۶، دمای زیاد و خارج شدن هیدروکسیدهای بین لایه‌ای در منطقه فراهم نیست. براساس نتایج به‌دست آمده (شکل ۷ و جدول ۲) با حرکت از رژیم رطوبتی زیریک به اریدیک در تمامی خاک‌رخ‌ها کانی ایلیت به مقدار قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد با توجه به شدت پایین هواپدگی در رژیم رطوبتی اریدیک، تبدیل کانی ایلیت به سایر کانی‌های فیلسیلیکاته کاهش یافته است. همچنین با توجه به اقلیم خشک منطقه، احتمالاً منشأ ایلیت عمدتاً زمین‌ساختی باشد. یوسفی‌فرد و همکاران (۲۰۱۵) کانی ایلیت را به‌عنوان محصول معمول هواپدگی فلدسپات‌ها و همچنین هواپدگی میکا گزارش کردند (۴). در ارتباط با حضور کانی کائولینیت و عدم شرایط اقلیمی لازم برای تشکیل این کانی، منشأ توارثی و یا تشکیل آن در طی اقلیم مرطوب‌تر گذشته در خاک‌های منطقه مورد انتظار است. در خاک‌رخ ۶ حضور کانی‌های مخلوط منظم ورمیکولیت- اسمکتیت را می‌توان به وجود خاک‌های قدیمی در این موقعیت و اقلیم مرطوب‌تر گذشته حاکم در منطقه نسبت داد. به دیگر سخن، تشکیل این کانی را می‌توان محصول مراحل حدواسط هواپدگی دانست. آندراده (۲۰۲۰) نیز به این نکته اشاره نموده و تشکیل کانی ورمیکولیت و کانی‌های مختلط را در بخش رس خاک در اقلیم‌های نیمه‌خشک گزارش کرده است (۴۲). البته منشأ زمین‌ساخت نیز می‌تواند در تشکیل کانی ورمیکولیت نقش داشته باشد. از سوی دیگر، تشکیل کانی پالیگورسکیت در افق Btky خاک‌رخ ۶ (شکل ۷) حاکی از شرایط اقلیمی خشک کنونی حاضر در منطقه

خاک‌رخ ۸ (افق 2Bw2) بود. با توجه به این‌که خاک‌رخ مزبور در موقعیت دشت آبرفتی واقع شده، انتقال کانی پالیگورسکیت در دوره‌های مختلف رسوبی در افزایش مقدار این کانی در این سطح می‌تواند مؤثر بوده باشد. وجود برخی فیبرهای کوچک و شکسته در تصاویر میکروسکوپ الکترونی می‌تواند بیانگر این مطلب باشد (شکل ۸-ب).

**مطالعه رده‌بندی خاک‌ها:** طبقه‌بندی خاک‌ها در رژیم رطوبتی زیریک در سامانه رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴)، مالی‌سول و آلفی‌سول و در سامانه طبقه‌بندی جهانی (۲۰۱۵) چرنوزم، لوویسول و کلسی‌سول بودند. در مقابل در رژیم رطوبتی اریدیک، طبقه‌بندی خاک‌ها در سامانه آمریکایی (۲۰۱۴) اریدی‌سول و در سامانه جهانی (۲۰۱۵) سولونچاک، ژپسی‌سول و کمبی‌سول بودند. بررسی نتایج دو سامانه طبقه‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) و جهانی (۲۰۱۵) بیانگر آن است که سامانه طبقه‌بندی جهانی در توصیف خاک‌های مدفون موفق‌تر عمل نموده است. هر چند سامانه طبقه‌بندی آمریکایی با استفاده از پسوند **b** در نامگذاری افق‌های ژنتیکی به وجود خاک‌های مدفون اشاره کرده است؛ لیکن در هیچ‌کدام از سطوح شش‌گانه این سامانه، وجود خاک‌های مدفون مدنظر قرار نگرفته است. بنابراین با توجه به این‌که هر دو سامانه، با تأکید بر نقش فاکتورهای خاک‌سازی و توجه به نوع افق‌ها و خصوصیات مشخصه، سعی بر انعکاس فرآیندهای پدوژنیک رایج در گذشته و حال در خاک‌های مناطق مختلف دارند؛ طبقه‌بندی خاک‌های مدفون دارای اهمیت است. نکته‌ای که سامانه طبقه‌بندی جهانی به آن توجه نموده و با اضافه کردن واژه **over** بین نام

خاک مدفون و خاک رویین، باعث شده که خاک مدفون هم با جزئیات کامل طبقه‌بندی شود. هم‌چنین سامانه طبقه‌بندی جهانی با کاربرد توصیف‌کننده "Raptic" به حضور انقطاع سنگی در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری خاک‌رخ اشاره نموده است؛ در حالی‌که در طبقه‌بندی آمریکایی در هیچ‌کدام از سطوح طبقه‌بندی اریدی‌سول‌ها مشخصه‌ای برای بیان این ویژگی تا سطح زیرگروه ارائه نگردیده است. در مقابل، از مزایای سامانه طبقه‌بندی آمریکایی، تعریف کلاس کانی‌شناسی در فامیل خاک در راستای اهداف مدیریتی است. در نهایت به نظر می‌رسد سامانه طبقه‌بندی جهانی با کاربرد توصیف‌کننده‌های مختلف، واقعیت موجود در منطقه را بهتر پوشش داده است.

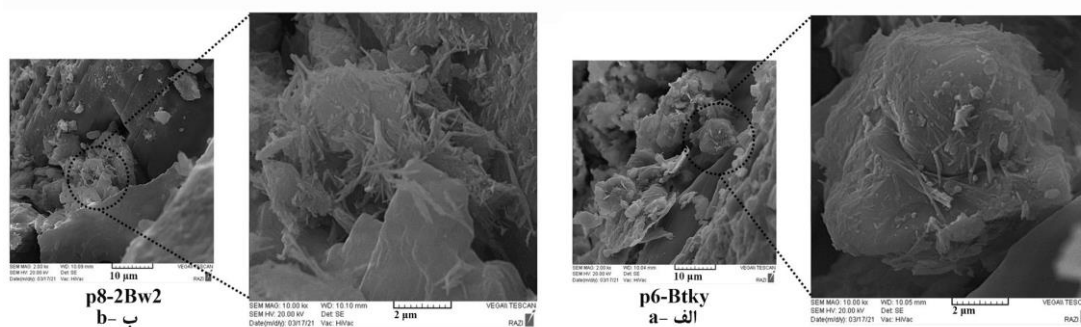
به‌طورکلی نتایج بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی به وضوح نقش اقلیم کنونی، اقلیم مرطوب‌تر گذشته و توپوگرافی را در تغییر خصوصیات خاکی و تکامل خاک نشان می‌دهد. به گونه‌ای که افزایش شدت هوادیدگی در رژیم زیریک سبب افزایش کانی اسمکتیت و ورمی‌کولایت گردیده است. از طرف دیگر با توجه به فقدان کربنات‌ها در ماده مادری افزایش شدت هوادیدگی سنگ‌های آذرین (آذرین بیرونی با ترکیب حدواسط) سبب افزایش دگرسانی کانی پلاژیوکلاز و افزایش میزان کربنات کلسیم ثانویه گردیده است. در بخش اریدیک نیز وجود عوارض خاک‌ساخت مرکب و وجود کانی‌های مخلوط اسمکتیت-ورمیکولیت در کنار کانی پالیگورسکیت نشان از اقلیم مرطوب‌تر در گذشته منطقه است.

جدول ۲- فراوانی نسبی کانی‌های رسی در برخی از خاک‌های مطالعه شده.

Table 2. Relative frequency of clay minerals in selected soils under study.

Sample no.	Horizon	Smectite (%)	Chlorite (%)	Vermiculite (%)	Illite (%)	Kaolinite (%)	Palygorskite (%)	Quartz (%)	Smectite / Vermiculite (%)
P1	Bkg	++	-	++++	+++	+	-	+	-
P2	Btk1	+++	-	++++	++	+	-	+	-
P3	Btk	+++++	-	-	++	++	-	tr	-
P4	Btk	+++	+++	-	+++	++	-	++	-
P5	Btk	++	+	-	++++	++	tr	++	-
P6	Btky	+++	-	+++	++++	tr	+	++	++
P7	Btky	+	++	-	++++	+	-	+	-
P8	2Bw2	++	++	-	++++	tr	++	+	-

= وجود ندارد، tr: جزئی، +: ۵ تا ۱۰٪، ++: ۱۰ تا ۲۰٪، +++: ۲۰ تا ۳۰٪، ++++: ۳۰-۵۰٪، +++++: ۵۰ تا ۷۰٪، ++++++: بیش از ۷۰٪  
 (- وجود ندارد، tr: trace, -: negligible)



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از رشته‌های پالیگورسکیت بر روی بلورهای کلسیت.

Figure 8. SEM micrographs of fibrous palygorskite on calcite crystals.

پوشش رسی، پل رسی بین ذرات و کلاهیک رسی متصل در رژیم رطوبتی زیرک است. هم‌چنین حضور توأم عوارض خاک‌ساخت صفحات درهم قفل‌شده گچ، پوشش رس و کربنات‌ها در رژیم رطوبتی اریدیک، تأییدکننده وجود خاک‌های پلی‌ژنتیک در منطقه است. نتایج کانی‌شناسی رسی حاکی از کاهش کانی ایلیت و افزایش مقادیر کانی ورمی‌کولیت و اسمکتیت در رژیم زیرک بود؛ در حالی‌که در رژیم رطوبتی اریدیک، مقدار کانی ایلیت افزایش نشان می‌دهد. علاوه بر این، حضور هم‌زمان کانی پالیگورسکیت و کانی مخلوط ورمی‌کولیت-اسمکتیت

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که فاکتورهای اقلیم و توپوگرافی تأثیر به‌سزایی در تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه داشته است؛ به این معنی که درصد رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل در ارتفاعات با رژیم رطوبتی زیرک افزایش یافته است؛ در مقابل در رژیم رطوبتی اریدیک، مقدار قابلیت هدایت الکتریکی و درصد گچ افزایش نشان می‌دهد. نتایج مطالعات میکرومورفولوژی نشان‌دهنده وجود پرشدگی، نادول و پوشش‌های زیرسطحی کلسیت و تشکیل

ارتفاعی منطقه (دشت آبرفتی) سبب افزایش مقدار این کانی در این سطح گردیده است. نتایج این پژوهش به وضوح تأثیر دو فاکتور خاکسازی اقلیم و توپوگرافی را در تغییر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، طبقه‌بندی، میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی رس خاک‌های منطقه را نشان می‌دهد.

را می‌توان به وجود خاک‌های پلی‌ژنتیک در منطقه نسبت داد. تشکیل رشته‌های پالیگورسکیت بر روی اشکال پدوژنیک کربنات، نشان‌دهنده پایداری این کانی در مجاورت کربنات‌ها است. هم‌چنین با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، وجود رشته‌های شکسته کانی پالیگورسکیت و منشأ آواری این کانی همراه با منشأ خاکساز در پایین‌ترین موقعیت

### منابع

- Jenny, H. 2011. Factors of Soil Formation-A System of Quantitative Pedology. Dover Inc, New York. 281p.
- 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.
- Salehi, M.H., Karimi, A.L., Esfandiarpour boroujeni, I., and Mosleh, Z. 2016. Fundamental of soil genesis and classification. Shahrekord Univ. Press, 267p. (In Persian)
- Yousefifard, M., Ayoubi, Sh., Pochc, R., Jalalian, A., Khademi, H., and Khormali, F. 2015. Clay transformation and pedogenic calcite formation on a lithosequence of igneous rocks in northwestern Iran. *Catena*. 133: 186-197.
- Rostasi, A., Raucsik, B., and Varga, A. 2011. Palaeoenvironmental controls on the clay mineralogy of Carnian sections from the Transdanubian Range (Hungary). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 300: 101-112.
- Hameed, A., Raja, P., Ali, M., Upreti, N., Kumar, N., Tripathic, J.K., and Srivastava, P. 2018. Micromorphology, clay mineralogy, and geochemistry of calcic-soils from western Thar Desert: Implications for origin of palygorskite and southwestern monsoonal fluctuations over the last 30ka. *Catena*. 163: 378-398.
- Egli, M., Mirabella, A., Sartori, G., Giacciai, D., Zanelli, R., and Plotze, M. 2007. Effects of slope aspect on transformation of clay minerals in Alpine soils. *Clay Minerals*. 42: 375-401.
- Baghernejad, M. 2002. Variation in soil clay minerals of semiarid regions of Fars province in southern Iran. *Iran Agricultural Research*. 19: 165-180. (In Persian)
- Khormali, F., and Ajami, M. 2011. Pedogenetic investigation of soil degradation on a deforested loess hillslope of Golestan Province, Northern Iran. *Geoderma*. 167: 274-283.
- Kemp, R.A. 2013. Paleosols and wind-blown sediments/ soil micromorphology. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. 2: 381-391.
- Khademi, H., and Mermut, A.R. 2003. Micromorphology and classification of Argids and associated gypsiferous Aridisols from central Iran. *Catena*. 54: 430-455.
- 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.
- Aghanabati, A. 2004. The Geology of Iran. Tehran. Ministry of Industries and Mines. Press, 582p. (In Persian)
- Banaie, M.H. 1998. Soil Moisture and Temperature Regimes Map of Iran. Soil and Water Research Institute of Iran, Iran.
- Schoeneberger, P.J., Wysocki, D.A., Benham, E.C., and Soil Survey Staff. 2012. Field Book for Describing and Sampling Soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska.

16. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12<sup>th</sup> edition. United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C., USA.
17. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis. P 388-409, In: A. Klute (ed.), Methods of soil analysis. SSSA, Madison, WI.
18. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. P181-196, In: A.L. Page (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
19. Nelson, D.W., and Sommers, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 539-579, In: A.L. Page (ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
20. Bower, C.A., and Hatcher, J.T. 1966. Simultaneous determination of surface area and Cation-exchange capacity. Soil Science Society of America Journal. 30: 525-527.
21. Jackson, M.L. 1975. Soil Chemical Analysis-advanced Course. Univ. of Wisconsin College of Agric., Dept of Soils Science, Madison, WI. 929p.
22. Kittrick, J.A., and Hope, E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soil for x-ray diffraction analysis. Soil Science Society of America Journal. 96: 312-325.
23. Murphy, C.P. 1986. Thin Section Preparation of Soils and Sediments. AB Academic Publishers, Berkhamsted, Herts, UK. 149p.
24. Stoops, G. 2003. Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
25. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. In: World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
26. Durand, N., Gunnell, Y., Curmi, P., and Ahmad, S.M. 2007. Pedogenic carbonates on Precambrian silicate rocks in South India: Origin and paleoclimatic significance. Quaternary International. 162-163: 35-49.
27. Birkeland, P.W. 1999. Soils and Geomorphology. Oxford University Press, New York. 430p.
28. Soofi, M.B., Emami, H., Karimi Karoyeh, A.R., and Hagh Nia, Gh.H. 2016. Investigation the effects of aspect and degree of slope on soil quality in the South East of Mashhad. J. of Water and Soil Conservation. 23: 2. 300-310.
29. Jakšić, S., Ninkov, J., Milić, S., Vasin, J., Živanov, M., Jakšić, D., and Komlen, V. 2021. Influence of Slope Gradient and Aspect on Soil Organic Carbon Content in the Region of Niš, Serbia. Sustainability. 13, 8332. <https://doi.org/10.3390/su13158332>.
30. Solly, E.F., Weber, V., Zimmermann S., Walthert L., Hagedorn F., and Schmidt M.W.I. 2020. A critical evaluation of the relationship between the effective cation exchange capacity and soil organic carbon content in Swiss forest soils. Frontiers in Forests and Global Change. 3:98. doi: 10.3389/ffgc.2020.00098.
31. Zarate, M.A., Kemp, R.A., and Blasi, A.M. 2002. Identification and differentiation of Pleistocene paleosols in northern Pampas of Buenos Aires, Argentina. Journal of South American Earth Sciences. 15: 303-310.
32. Durand, N., Monger, H.C., and Canti, M.G. 2010. Calcium carbonate features. P 149-194, In: G. Stoops, V. Marcelino, and F. Mees (eds.), Interpretation of micromorphological features of foils and regoliths, Elsevier. Amsterdam. Netherlands.
33. Raheb, A., Heidari, A., and Mahmoodi, S. 2017. Organic and inorganic carbon storage in soils along an arid to dry sub-humid climosequence in northwest of Iran. Catena. 153: 66-74.
34. Farpoor, M.H., Khademi, H., and Eghbal, M.K. 2002. Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surface. Iran Agriculture Research. 21: 39-60.

35. Moghiseh, E., and Heidari, A. 2012. Polygenetic saline gypsiferous soils of the Bam region, Southeast Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 12: 4. 729-746.
36. Sarmast, M., Farpoor, M.H., Jafari, A., and Esfandiarpour Boroujeni, I. 2019. Tracing environmental changes and paleoclimate using the micromorphology of soils and desert varnish in central Iran. *Desert*. 24: 2. 331-353.
37. Farpoor, M.H., Neyestani, M., Eghbal, M.K., and Esfandiarpour Boroujeni, I. 2012. Soil-geomorphology relationships in Sirjan playa, south central Iran. *Geomorphology*. 138: 1. 223-230.
38. Moazallahi, M., and Farpoor, M.H. 2009. Soil micromorphology and genesis along a climotoposequence in Kerman Province, central Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3: 4. 4078-4084.
39. Moghbeli, Z., Owliaie, H.R., Sanjari, S., and Adhami, E. 2019. Genetic study of soil-landscape relationship in arid region of faryab, Kerman province. *Journal of Water and Soil*. 33: 2. 333-347. (In Persian)
40. Tangari, A.C., Marinangeli, L., Scarciglia, F., Pompilio, L., and Piluso, E., 2020. Volcanic holocrystalline bedrock and hydrothermal alteration: a terrestrial analogue for Mars. *Minerals*. 10: 12.1082. <https://doi.org/10.3390/min10121082>.
41. Skiba, M., Maj-Szeliga, K., Szymański, W., and Błachowski, A. 2014. Weathering of glauconite in soils of temperate climate as exemplified by a Luvisol profile from Góra Puławska, Poland. *Geoderma*. 235-236: 212-226.
42. Andrade, G.R.P., Furquim, S.A.C., Nascimento, T.T.V., Brito, A.C., Camargo, G.R., and Souza, G.C. 2020. Transformation of clay minerals in salt-affected soils, Pantanal wetland, Brazil. *Geoderma* 371: 114380.
43. Haldar, S.K. 2020. Basic mineralogy (Chapter 3). P 109-143, In: S.K. Haldar (ed.), *Introduction to Mineralogy and Petrology (Second Edition)*. Elsevier. Oxford.
44. Hojati, S., Khademi, H., Faz cano, A., Ayoubi, S., and Landi, A. 2013. Factors affecting the occurrence of palygorskite in central Iranian soils developed on Tertiary sediments. *Pedosphere*. 23: 3. 359-371.
45. da Silva, M.L., Batezelli, A., and Ladeira, F.S.B. 2018. Genesis and paleoclimatic significance of palygorskite in the cretaceous paleosols of the Bauru Basin, Brazil. *Catena*. 168: 110-128.
46. Rasooli, N., Farpoor, M.H., Mahmoodabadi, M., and Esfandiarpour Boroujeni, I. 2021. Genesis and distribution of different mineral assemblages controlled by environmental factors in soils and evaporitic deposits of Lut Desert, central Iran. *Environmental Earth Sciences*. 80: 779.
47. Hojati, S., Khademi, H., and Faz Cano, A. 2010. Palygorskite formation under the influence of a saline and alkaline groundwater in central Iranian soils. *Soil Science*. 175: 6. 303-312.