



Soil-geomorphology relationship in semi-arid desert lands of southern Kerman Province

Zahra Mehni¹, Mohammad Hady Farpoor^{*2}, Masoomeh Sarmast^{*3}

1. Former MSc Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: payizam@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: farpoor@uk.ac.ir
3. Corresponding Author, Assistant Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran. E-mail: masoomeh.sarmast@saadi.shirazu.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper Article history: Received: 02.12.2023 Revised: 05.29.2023 Accepted: 05.31.2023 Keywords: Anhydrite, Alluvial plain, Soil classification, Alluvial fan, Micromorphology	Background and Objectives: Geomorphology concerns the arrangement, differentiation, formation, and evolution of landforms, while pedology focuses on the processes of soil formation and development. Geomorphological studies provide insights into the genetic relationships between soils and landforms, enabling interpretation of landscapes both past and present. Given the significance of soil-geomorphology studies for understanding geomorphic and pedogenic processes, as well as for effective management of desert lands, this research aimed to investigate the physical, chemical, and micromorphological properties of soils. Specifically, the objectives were to examine soil genesis and evolution in relation to geomorphic surfaces and to assess the influence of soil characteristics on classification using the latest editions of Soil Taxonomy (Thirteenth edition) and the World Reference Base for Soil Resources (Fourth edition). Materials and Methods: This study was conducted in a section of the Central Iranian Plateau (Jazmurian sub-watershed), encompassing parts of Jiroft and Faryab counties in southern and southwestern Kerman Province, Iran. The study area extended along a north-southwest transect from the Khatunabad area of Jiroft to the Faryab plain. The region features a semi-arid desert climate, with weak aridic moisture and hyperthermic temperature regimes. Landforms investigated include mountains, alluvial fans, and alluvial plains. The Khatunabad alluvial fan was divided into four geomorphic surfaces: (1) mid-alluvial fan with recent alluvium (Pedin 1), (2) mid-alluvial fan with young alluvium (Pedin 2), (3) mid-alluvial fan with older sediments, and (4) base of the alluvial fan with recent alluvium (Pedin 4). The Jiroft alluvial plain was categorized into upland (Pedin 5) and lowland (Pedin 6) positions based on elevation. The Bulok mid-alluvial fan (Pedin 7) and Faryab alluvial plain (Pedin 8) were not subdivided due to geomorphic uniformity. One pedon was excavated, described, and sampled on each geomorphic surface, resulting in a total of eight pedons. Physical and chemical analyses were conducted, and soils were classified according to both Soil Taxonomy (Thirteenth edition) and the WRB (Fourth edition). For micromorphological studies, undisturbed soil clods were used to prepare thin sections, which were subsequently analyzed and photographed.

(calcareous soils), Gypsisols (gypsiferous soils), and Solonchaks (saline soils) were identified. Corresponding Soil Taxonomy classifications included Aridisols (Salids, Gypsid, and Calcids suborders) and Entisols. Field observations revealed the presence of calcite soft masses, gypsum pendants, and anhydrite pendants in soil profiles. Evaporative calcium sulfate minerals-gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and anhydrite (CaSO_4)-were identified in field studies of the Jiroft alluvial plain uplands and micromorphological analysis of the Boluk mid-alluvial fan. Micromorphological features observed included amorphous forms, lenticular and plate-like gypsum crystals, interlocked gypsum plates, and interlocked plates of amorphous anhydrite crystals. These pedofeatures were noted in both the soil matrix and pore infillings.

Conclusion: A strong relationship between soils and geomorphic surfaces was evident. Pedons situated on river alluvium in the Khatunabad alluvial fan were younger, with recent deposits exhibiting calcareous properties and older deposits showing calcareous-gypsiferous characteristics. The origin and type of alluvial fan deposits influenced the rate of soil evolution, as observed in the contrast between the non-gravelly, saline, and sodic soils of Boluk and the gravelly, non-saline, non-sodic soils of Khatunabad. Saline and sodic soils were prevalent in the alluvial plain. Both Soil Taxonomy (down to sub-group level) and WRB (reference soil groups with principal and supplementary qualifiers) systems successfully classified the soils of the area. Soil Taxonomy provided a more detailed reflection of field realities, including identification of anhydritic diagnostic horizon. A significant correlation was observed between soil classification (under both systems) and geomorphic surfaces. Micromorphological evidence supported both the morphological and chemical properties of the soils and their corresponding classifications. Overall, soil-geomorphology studies are strongly recommended for informed decision-making in land use planning and soil management, particularly in the context of sustainable agricultural production.

Cite this article: Mehni, Zahra, Farpoor, Mohammad Hady, Sarmast, Masoomah. 2025. Soil-geomorphology relationship in semi-arid desert lands of southern Kerman Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 13 (1), 1-25.



© The Author(s).

DOI: -----

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارتباط خاک- ژئومورفولوژی در برخی اراضی بیابانی نیمه خشک جنوب استان کرمان

زهره مهنی^۱، محمدهادی فرپور^۲، معصومه سرمست^۳

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: payiizam@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: farpoor@uk.ac.ir
۳. نویسنده مسئول، استادیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. رایانامه: masoomeh.sarmast@saadi.shirazu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: ژئومورفولوژی به آرایش، تفکیک، فرآیندهای تشکیل و تکامل اشکال اراضی می پردازد و پدولوژی فرآیندهای تشکیل و تکامل خاک را بررسی می نماید. ژئومورفولوژی خاک اساساً یک ارزیابی از روابط ژنتیکی خاک ها و اشکال اراضی برای تفسیر حال و گذشته زمین نما است. با در نظر گرفتن اهمیت مطالعات خاک- ژئومورفولوژی روی درک فرآیندهای ژئومورفیک و خاکساز و مدیریت اراضی بیابانی، این پژوهش با هدف بررسی ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و میکرومورفولوژیکی خاک ها، بررسی نحوه پیدایش و تکامل خاک در ارتباط با سطوح ژئومورفیک و بررسی نحوه اثرگذاری رده بندی خاک ها در انعکاس ویژگی های آن ها با استفاده از جدیدترین ویرایش های سامانه های رده بندی آمریکایی (ویرایش سیزدهم) و جهانی (ویرایش چهارم) صورت پذیرفت.
واژه های کلیدی: انهیدریت، دشت آبرفتی، رده بندی خاک، مخروط افکنه، میکرومورفولوژی	مواد و روش ها: این پژوهش در بخشی از فلات مرکزی ایران در شهرستان های جیرفت و فاریاب به ترتیب واقع در جنوب و جنوب غربی استان کرمان، ایران انجام شد. منطقه مورد مطالعه در قالب یک برش طولی (شمال- جنوب غربی) از منطقه خاتون آباد شهرستان جیرفت شروع و تا دشت فاریاب امتداد داشت. اقلیم منطقه مطالعاتی بیابانی نیمه خشک با رژیم های رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب اریدیک ضعیف و هایپرترمیک است. در چشم انداز این برش طولی اشکال اراضی کوه، مخروط افکنه و دشت آبرفتی مشاهده می شود. مخروط افکنه منطقه خاتون آباد در مجموع به چهار سطح ژئومورفیک میانی با رسوبات اخیر (پدون یک)، میانی با رسوبات جوان (پدون دو)، میانی با رسوبات قدیم (پدون سه) و پایه با رسوبات اخیر (پدون

چهار) تفکیک گردید. دشت آبرفتی جیرفت با توجه به ارتفاع به دو سطح ژئومورفیک اراضی بالادست (پدون پنج) و پایین دست (پدون شش) تفکیک گردید. سطح میانی مخروطافکنه منطقه بلوک با رسوبات جوان (پدون هفت) و دشت آبرفتی فاریاب (پدون هشت) به دلیل یکنواختی و عدم وجود تمایز به لحاظ ژئومورفولوژی به سطوح مختلف تقسیم نگردیدند. در هر سطح ژئومورفیک یک پدون و در مجموع هشت پدون حفر، تشریح و نمونه برداری شدند. پس از انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی، خاک‌ها با استفاده از دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (ویرایش سیزدهم) و جهانی (ویرایش چهارم) رده‌بندی گردیدند. مقاطع نازک از کلوخه‌های دست‌نخورده خاک برای انجام مطالعات میکرومورفولوژی تهیه، مورد مطالعه، تشریح و عکس-برداری قرار گرفتند.

یافته‌ها: در چشم‌انداز مورد مطالعه بر اساس سامانه رده‌بندی جهانی گروه‌های مرجع فلووی-سولز (خاک‌های رسوبی رودخانه‌ای)، کلسی سولز (خاک‌های آهکی)، ژپسی سولز (خاک‌های گچی) و سولونچاکز (خاک‌های شور) و بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی رده‌های انتی سولز و ایدی سولز (زیررده‌های سالدیز، ژپسیدز و کلسیدز) مشاهده شدند. در مطالعات صحرایی توده‌های نرم کلسیت، پندانت‌های گچ بلورین و انهیدریت غیربلورین (پودری) در دیواره خاکرخ‌ها به وضوح قابل رؤیت بودند. کانی تبخیری سولفات کلسیم به دو فرم گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) و انهیدریت (CaSO_4) در مطالعات صحرایی اراضی بالادست دشت جیرفت و مطالعات میکرومورفولوژیک سطح میانی مخروطافکنه منطقه بلوک مشاهده شد. در مطالعات میکرومورفولوژیک عوارض خاک‌ساخت گچ به صورت بلورهای منفرد بی‌شکل، عدسی‌شکل و صفحه‌ای و صفحات در هم قفل‌شده و عوارض خاک‌ساخت انهیدریت به صورت بلورهای بی‌شکل در زمینه خاک و درون خلل و فرج مشاهده شدند.

نتیجه‌گیری: ارتباط خاک-ژئومورفولوژی در این پژوهش به‌خوبی مشاهده گردید. در مخروطافکنه منطقه خاتون‌آباد، پدون‌های واقع بر میانه مخروطافکنه با رسوبات اخیر دارای خاک رسوبی رودخانه‌ای، پدون واقع بر رسوبات جوان دارای خاک آهکی و پدون واقع بر رسوبات قدیم دارای خاک گچی-آهکی بودند. منشأ و نوع رسوبات مخروطافکنه روی درجه تکامل خاک‌ها نقش مؤثری دارد (خاک‌های فاقد سنگریزه و شور و سدیمی منطقه بلوک در مقابل خاک‌های سنگریزه‌دار و غیرشور و غیرسدیمی منطقه خاتون‌آباد). در دشت آبرفتی خاک‌های شور و سدیمی مشاهده شدند. هر دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (تا سطح زیرگروه) و جهانی (گروه مرجع و توصیف‌کننده‌های اصلی و مکمل) در توصیف خاک‌های منطقه مطالعاتی موفق عمل نمودند. سامانه رده‌بندی آمریکایی نگاه دقیق‌تری به واقعیت صحرایی خاک‌ها (افق مشخصه انهیدریتیک) داشته است. ارتباط معناداری بین نام خاک‌ها در سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی و جهانی و سطوح ژئومورفیک مشاهده شد. مطالعات میکرومورفولوژیک ویژگی‌های مورفولوژیکی، شیمیایی و رده‌بندی خاک‌ها را تأیید نمودند. در کل، مطالعات خاک-ژئومورفولوژی برای تصمیم‌گیری در ارتباط با کاربری اراضی و مدیریت خاک برای تولید پایدار کشاورزی توصیه می‌گردد.

ارتباط خاک-شئیم: فصل دوم، در بخش اراضی مساحات نیمهخشک ... / نهاد مهندسی همکاران

جواب استان درمان. سریه مدیریت حات و تولید پایدار، ۱۱ (۱)، ۱۵-۱۰.

DOI: -----



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

ژئومورفولوژی به آرایش، تفکیک، فرآیندهای تشکیل و تکامل اشکال اراضی می‌پردازد و پدولوژی فرآیندهای تشکیل و تکامل خاک را بررسی می‌نماید (۱). ژئومورفولوژی و پدولوژی بسیار به هم وابسته هستند و با یکدیگر اثر متقابل دارند. ارتباط ژئومورفولوژی و پدولوژی در این است که خاک‌ها، بخش اصلی همه اجزاء یک زمین‌نما و همه سطوح ژئومورفیک را تشکیل می‌دهند. هم‌چنین، تشکیل خاک تابعی از سنگ مادر، اقلیم، پوشش گیاهی، سن زمین و توپوگرافی است (۲). به‌علاوه، مورفولوژی سطح زمین اساساً الگوهای حرکت آب را در زمین‌نما کنترل می‌نماید. این الگوها نیز به نوبه خود فرآیندهای خاکساز (حرکت مواد محلول و معلق) را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین، عوامل و فرآیندهای خاکساز ارتباط نزدیکی با اشکال اراضی و فرآیندهای ژئومورفیک دارند (۳). از این‌رو، بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی خاک‌ها تحت تأثیر موقعیت ژئومورفیک آن‌ها می‌باشد. علاوه بر این، طبیعت خاک به شدت فرآیندهای ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۴). در نتیجه، نه تنها ژئومورفولوژی به درک فرآیندهای خاکساز کمک می‌کند، بلکه پدولوژی نیز در بررسی فرآیندهای ژئومورفیک مهم می‌باشد (۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰).

رابطه خاک-ژئومورفولوژی در مطالعه ویلاز و همکاران (۲۰۲۰) روی دو مورد از پهناورترین چمن‌زارهای کوهستانی اروپا واقع در پیرنه مرکزی (شمال شرق اسپانیا) به خوبی اثبات گردید. آن‌ها روی سطوح مختلف ژئومورفیک با سن متفاوت، خاک‌هایی با ویژگی‌های متفاوت مشاهده نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که خاک‌های واقع بر موقعیت

ژئومورفیک مرتفع‌تر با رده‌بندی Orthoeutric Cambisol (Clayic, Humic) دارای عمق، ظرفیت نگهداری آب و اسیدیته بیش‌تر و میزان یون‌های محلول و کلسیم قابل تبادل کم‌تر نسبت به خاک‌های واقع بر موقعیت ژئومورفیک پست‌تر (جوان‌شدن خاک در اثر فرسایش خندقی) با رده‌بندی Hypereutric Leptosol (Loamic, Ochric) هستند (۱۱). یانگ و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از اثر متقابل بین ژئومورفولوژی، توزیع رسوب و توسعه خاک، در مناطق مرتفع شمال‌شرق فلات تبت-کینگ-های تکامل زمین‌نما را مدل‌سازی نمودند. آن‌ها مشاهده نمودند که خاک‌های متنوع در واکنش به نوع رسوبات و شرایط اقلیمی تحت تأثیر موقعیت ژئومورفیکی (مخروط‌افکنه، تپه شیب‌دار و دشت سیلابی) که روی آن قرار دارند، تشکیل شده‌اند. آن‌ها در نهایت بیان داشتند که با ادغام مطالعات ژئومورفولوژی، رسوب‌شناسی، اکولوژی و پدولوژی درک بهتری از تکامل زمین‌نما و اکوسیستم مطالعاتی حاصل می‌گردد (۱۲).

یکی از نمونه‌های بارز رابطه خاک-ژئومورفولوژی را می‌توان در تپه‌های شیب‌دار مشاهده نمود. سن‌انایاک و همکاران (۲۰۲۴) ارتباط بین عمق خاک با برخی از شاخص‌های توپوگرافی سطحی و زیرسطحی را در اکوسیستم نیمه‌خشک یک تپه شیب‌دار در جنوب‌شرقی استرالیا بررسی نمودند. آن‌ها بیان نمودند که افزایش کلی عمق خاک در پایین شیب، نشان‌دهنده پتانسیل فرآیندهای انتقال رودخانه‌ای شامل فرسایش و رسوب‌گذاری می‌باشد (۸). در واقع فرآیندهای انتقال رسوب، بر اساس موقعیت ژئومورفیک خاک‌ها روی اشکال اراضی، توزیع مکانی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۵). لیزیکا و همکاران (۲۰۲۲) از رابطه خاک-ژئومورفولوژی برای تعیین مناطق مستعد فرسایش و پتانسیل بالقوه خاک‌ها

در سه شکل اراضی فلات، شیب پستی و پای شیب استفاده نمودند. آن‌ها مشاهده نمودند که خاک‌های واقع بر شیب پستی مستعد فرسایش هستند و خاک‌های با پتانسیل بالقوه زیاد در پای شیب قرار دارند (۱۳).

رده‌بندی خاک ابزاری برای توصیف خاک می‌باشد. سامانه‌های رده‌بندی خاک، اطلاعات پایه‌ای علمی سیستماتیک خاک‌ها و نحوه پیدایش آن‌ها را منعکس می‌نمایند و نیز باعث وحدت ارتباطات بین‌المللی می‌گردند (۱۴). گروه‌بندی خاک‌ها در سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی (۱۵) و جهانی (۱۶) براساس ویژگی‌های پیدایشی و مورفولوژیکی آن‌ها انجام می‌شود (۱۷). بنابراین، کاربرد رده‌بندی خاک در مطالعات خاک- ژئومورفولوژی برای انعکاس بهتر ویژگی‌های خاک‌ها بسیار رایج است. ریوس و همکاران (۲۰۱۸) در مرداب نمکی پلایای فراکاسو واقع در شبه جزیره والدس، آرژانتین مطالعه یکپارچه‌ای روی رابطه خاک- ژئومورفولوژی و تکامل زمین-نما همراه با تجزیه‌های رسوب‌شناسی و تغییرات پوشش گیاهی انجام دادند. آن‌ها در سطح گروه بزرگ ارتباط نزدیک مشخصی بین شکل اراضی غالب، نوع خاک همراه و واحد پوشش گیاهی مشاهده نمودند (۱۸). کاماچو و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه رابطه خاک- ژئومورفولوژی روی مخروط‌افکنه‌های جنوب شرق کاستاریکا دریافتند که منشأ مخروط‌افکنه‌ها و سن آن‌ها، درجه تکامل خاک‌ها را کنترل می‌نماید. خاک‌های هوادیده (ال‌تی سول‌ها و اکسی سول‌ها) در مخروط‌افکنه‌های قدیمی‌تر و خاک‌هایی با تکامل کم‌تر (ان‌تی سول‌ها و این سیتی سول‌ها) روی مخروط‌افکنه‌های جوان‌تر توسعه یافته‌اند (۷).

میکرومورفولوژی خاک می‌تواند به عنوان یک ابزار تکمیلی بسیار مهم در مطالعات خاک- ژئومورفولوژی مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات میکرومورفولوژی

خاک، اطلاعات بسیار ارزشمندی در رابطه با فرآیندهای خاک‌سازی و اقلیم حال و گذشته یک منطقه فراهم می‌نماید. به عنوان نمونه، در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک عوارض خاک‌ساخت حاصل از کانی‌های تبخیری نظیر کلسیت، گچ، انهیدریت و هالیت که دال بر خشکی محیط در زمان تشکیل آن‌ها است، رایج می‌باشند (۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲).

شهرستان‌های جیرفت و فاریاب واقع در استان کرمان، نقش مهمی در کشاورزی این استان ایفا می‌نمایند. این شهرستان‌ها به دلیل شرایط جغرافیایی (آب و هوا، ژئومورفولوژی و خاکشناسی) خاص خود، ظرفیت چشمگیری برای تولید انواع محصولات کشاورزی (زراعی، باغی و گلخانه‌ای) دارا می‌باشند. شناخت دقیق و همه‌جانبه محیط این شهرستان‌ها و عوامل مؤثر بر آن، بدون شک پیش‌نیاز مدیریت صحیح منابع طبیعی و بهره‌برداری پایدار در این مناطق مستعد کشاورزی است. بنابراین، مطالعه دقیق چگونگی تشکیل و تکامل خاک‌ها، به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی و زیربنایی‌ترین عامل کشاورزی پایدار (بستر کشت)، در مدیریت مؤثر چشم‌اندازهای جیرفت و فاریاب نقش مهم و کلیدی دارد. در این راستا، استفاده از رابطه خاک-ژئومورفولوژی نیز در مطالعه دقیق این چشم‌اندازها حائز اهمیت می‌باشد. مطالعه دقیق شکل‌های اراضی و خاک‌های واقع بر آن‌ها اجازه می‌دهد که این چشم‌اندازها متناسب با محدودیت‌های موجود، به صورت پایدار مدیریت گردند. از لحاظ ژئومورفولوژی شکل‌های اراضی کوه، مخروط‌افکنه، پدیمت، دشت آبرفتی، دشت سیلابی و اراضی پست در این مناطق مشاهده شده‌اند. مخروط‌افکنه و دشت آبرفتی از شکل‌های اراضی غالب این دو شهرستان هستند. بنابراین، در کل می‌توان گفت با توجه به اهمیت این دو منطقه در کشاورزی استان کرمان، مطالعه اندک و عدم وجود

اطلاعات پایه‌ای در ارتباط با خاک‌های واقع بر مخروط‌افکنه‌های غرب دشت جیرفت و نیز عدم مقایسه ویژگی‌های خاک‌های دشت آبرفتی جیرفت با دشت آبرفتی فاریاب که در امتداد یکدیگر قرار دارند، پژوهش حاضر برای دستیابی به اهداف زیر صورت پذیرفت.

۱- بررسی و مقایسه ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکرومورفولوژیکی خاک‌ها در مناطق جیرفت و فاریاب،

۲- بررسی نحوه پیدایش و تکامل خاک در ارتباط با سطوح ژئومورفیک (رابطه خاک-ژئومورفولوژی)،

۳- بررسی نحوه اثرگذاری رده‌بندی خاک‌ها در انعکاس ویژگی‌های آن‌ها با استفاده از جدیدترین ویرایش‌های سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی (۲۰۲۲) و جهانی (۲۰۲۲).

مواد و روش‌ها

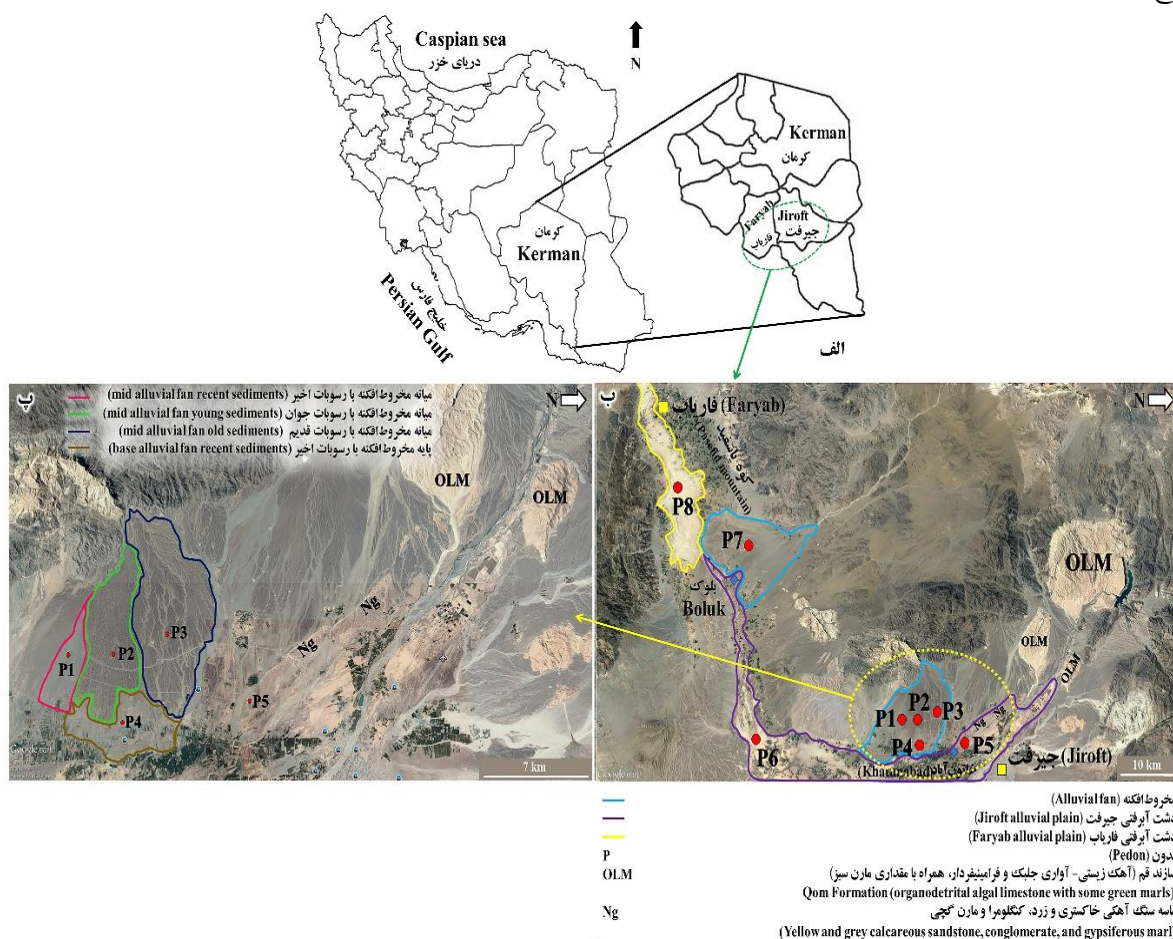
منطقه مطالعاتی: این پژوهش در بخشی از فلات مرکزی ایران (حوزه آبریز فرعی جازموریان) در شهرستان‌های جیرفت (مساحت تقریبی ۱۳۷۹۸ کیلومتر مربع) و فاریاب (مساحت تقریبی ۱۴۰ کیلومتر مربع) به ترتیب واقع در جنوب و جنوب‌غربی استان کرمان انجام شد (شکل ۱ الف). منطقه مورد مطالعه در قالب یک برش طولی (شمال- جنوب- غربی) از منطقه خاتون‌آباد شهرستان جیرفت شروع و تا دشت فاریاب امتداد دارد (شکل ۱ ب). علت انتخاب این برش طولی بررسی ویژگی‌های خاک‌های واقع بر مخروط‌افکنه‌های به هم پیوسته غرب جیرفت (باهادا) و مقایسه آن‌ها با خاک‌های واقع بر مخروط‌افکنه‌های به هم پیوسته (باهادا) شرق جیرفت که توسط سایر پژوهشگران بررسی شده‌اند (۳۷، ۳۸، ۳۹) و نیز مقایسه ویژگی‌های خاک‌های دشت آبرفتی جیرفت با دشت آبرفتی فاریاب که در امتداد یکدیگر

قرار دارند، بود. اقلیم منطقه مطالعاتی بیابانی نیمه-خشک با رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب اریدیک ضعیف و هایپرترمیک است (۲۳). از نظر زمین‌شناسی سازندهای مارن آهکی و گچی مربوط به دوره الیگو-میو-پلیوسن در این منطقه به صورت پراکنده وجود دارند (شکل ۱ ب و پ) (۲۴).

مطالعات صحرائی: در این پژوهش ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰۰)، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و مطالعات صحرائی، اشکال اراضی منطقه مطالعاتی شناسایی شدند. در چشم‌انداز این برش طولی اشکال اراضی کوه، مخروط‌افکنه و دشت آبرفتی مشاهده می‌شود (شکل ۱ ب). دشت جیرفت توسط یکسری مخروط‌افکنه به هم پیوسته (باهادا) در نتیجه رسوب‌گذاری لایه‌های ضخیم آبرفت‌ها در دو جهت شرق و غرب احاطه شده‌است. مخروط‌افکنه غرب آن از شمال (منطقه خاتون‌آباد) شروع و در جهت جنوب غرب تا منطقه بلوک در مرز شهرستان فاریاب امتداد دارد (شکل ۱ ب). رشته کوه‌های بالای این مخروط‌افکنه از لحاظ زمین‌شناسی به طور عمده از سازندهای دوران پالئوزوئیک (فیلیت، ماسه سنگ دگرگونه، میکاشیست، آمفیبولیت، مرمر، کوارتزیت و آهک بلورین)، دوران مزوزوئیک (توف برش اسپیلیتی، ماسه سنگ، چرت و آهک) و کمی دوره ائوسن (ماسه سنگ آهکی زرد و خاکستری، کنگلومرا و مارن گچ‌دار) تشکیل شده‌اند (۲۴). مخروط‌افکنه منطقه خاتون‌آباد در مجموع به ۴ سطح ژئومورفیک تقسیم شد. ابتدا با توجه به شیب زمین به دو سطح ژئومورفیک میانی (پدون‌های یک تا سه) و پایه (پدون چهار) تفکیک گردید (شکل ۱ پ). در ادامه، سطح میانی آن با توجه به نوع رسوبات و تراکم شبکه‌های آبراه‌ای (بازدیدهای میدانی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰) به سه سطح ژئومورفیک میانی با رسوبات اخیر (حاصل از رسوب‌گذاری آبرفت‌های اخیر

آبرفتی فاریاب (پدون هشت) نیز با توجه به یکنواختی به لحاظ ژئومورفولوژی، به سطوح مختلف تقسیم نگردید (شکل ۱ب). در هر سطح ژئومورفیک یک پدون و در مجموع هشت پدون حفر و بر اساس راهنمای سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا (۲۰۱۲) تشریح و نمونه‌برداری شدند (۲۵). نمونه‌های خاک برداشته شده ابتدا هوا خشک، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور و سپس تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی روی آن‌ها انجام گردید. در نهایت خاک‌ها با استفاده از دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (۲۰۲۲) و جهانی (۲۰۲۲) طبقه‌بندی گردیدند (۱۵، ۱۶).

رودهای فصلی فعال روی سطح مخروط‌افکنه در زمان کنونی، پدون یک)، میانی با رسوبات جوان (قدیمی‌تر از رسوبات اخیر، پدون دو) و میانی با رسوبات قدیم (پدون سه) تقسیم شد (شکل ۱پ). بخش میانی مخروط‌افکنه منطقه بلوک تمایز خاصی نشان نداده و لذا تنها به صورت یک سطح ژئومورفیک با رسوبات جوان (پدون هفت) جدا گردید (شکل ۱ب). رشته‌کوه‌های بالای این مخروط‌افکنه به لحاظ زمین‌شناسی از سازندهای دوران پالئوژئیک (آهک مرمری‌شده همراه با آمفیبولیت و شیبست سبز رنگ) تشکیل شده‌اند. دشت آبرفتی جیرفت با توجه به ارتفاع به دو سطح ژئومورفیک اراضی بالادست (پدون پنج) و پایین‌دست (پدون شش) تفکیک گردید. دشت



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی، اشکال اراضی، سطوح ژئومورفیک و پدون‌های مورد بررسی.

Figure 1. Location of the study area, landforms, geomorphic surfaces and studied pedons.

استفاده از پودر سایش کاربراندوم (به ترتیب با اندازه مش های ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰) ضخامت نمونه به کمک سایش تا رسیدن به ۳۰-۲۵ میکرومتر کم شد. در نهایت، مقاطع تهیه شده با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان^۳، زیر نور پلاریزه ساده و متقاطع بر اساس راهنمای استوپس (۲۰۰۳) مورد مطالعه، تشریح و عکس برداری قرار گرفتند (۳۲).

نتایج و بحث

در جدول ۱ برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک ها آورده شده است. رده بندی خاک ها بر اساس دو سامانه رده بندی آمریکایی و جهانی در جدول ۲ ارائه شده است (۱۵، ۱۶). شکل ۲ تصویر شماتیک توالی افق های هر پدون و فرآیندهای خاک سازی آنها را نشان می دهد.

مخروط افکنه: پدون های ۱ تا ۴ به ترتیب روی سطوح ژئومورفیک میانی با رسوبات اخیر (پدون ۱)، میانی با رسوبات جوان (پدون ۲)، میانی با رسوبات قدیم (پدون ۳) و پایه با رسوبات اخیر (پدون ۴) شکل اراضی مخروط افکنه در منطقه خاتون آباد (شهرستان جیرفت) واقع شده اند که هر کدام از آنها خاک هایی با خصوصیات خاص خود را شامل می شوند (شکل ۱پ).

پدون ۱ در رسوبات اخیر میانه مخروط افکنه قرار دارد (شکل ۱ب و پ). این پدون در سامانه رده بندی جهانی به صورت Eutric Skeletic Orthofluvic (Arenic) Fluvisol و در سامانه رده بندی آمریکایی در زیرگروه Typic Torriorthents رده بندی شد (جدول ۲) که هر دو سامانه به خوبی بیان گر ویژگی های این پدون هستند. در مطالعات صحرایی لایه بندی هایی از توزیع اندازه ذرات متفاوت قطعات

بررسی های آزمایشگاهی: درصد ذرات درشت خاک به روش حجمی (۱۵)، توزیع اندازه ذرات خاک به روش پی پت (۲۶)، pH گل اشباع توسط دستگاه pH متر^۱ و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با استفاده از دستگاه EC متر^۲ تعیین گردیدند. کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۲۷)، گچ + انهدریت به روش استون (۲۷)، گچ به روش آون (۲۸) و انهدریت به وسیله تفاضل میزان گچ + انهدریت از گچ (۲۱) اندازه گیری شدند. مقدار عددی SAR با استفاده از مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم محلول محاسبه شد که برای آن سدیم محلول با روش شعله سنجی (۲۹) و کلسیم و منیزیم محلول با استفاده از روش کمپلکسومتری (۳۰) اندازه گیری گردیدند.

مطالعات میکرومورفولوژی: برای انجام مطالعات میکرومورفولوژی، کلوخه های دست نخورده از افق های ژنتیکی خاکرخوا برداشته شد. مقاطع نازک از کلوخه های دست نخورده مطابق راهنمای مورفی (۱۹۸۶) تهیه شدند (۳۱). بدین منظور، کلوخه های دست نخورده بعد از هوا خشک شدن، توسط رزین سه جزئی (۷۰ سی سی رزین، ۳۰ سی سی استایرین، ۲ قطره کبالت و ۵ قطره اسید استایریک) اشباع گردیدند. پس از سخت شدن نمونه ها و تهیه برش، یکی از وجوه نمونه با پودر سایش کاربراندوم (به ترتیب با اندازه مش های ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰) صیقل داده شد و سپس به وسیله رزین روی لام شیشه ای مات شده چسبانده شد. در مرحله بعد مجدداً با

درشت (ذرات بزرگتر از ۲ میلی متر) در سرتاسر خاکرخ مشاهده شد که تأییدکننده رده بندی این پدون می باشد. لایه های تشکیل شده در این پدون همان گونه که نوع رسوبات آن نشان می دهد، بیان گر این واقعیت هستند که عامل اصلی در جابجایی ذرات، آب بوده است که در اثر تغییر شدت جریان (قدرت حمل ذرات توسط آب) یا تغییر خصوصیات اندازه ذرات منع برداشت، ایجاد شده اند. با توجه به موقعیت ژئومورفیک این پدون و نوع رسوبات آن (رسوبات اخیر)، می توان گفت این لایه بندی در طی توسعه و تکامل مخروط افکنه توسط جریان های آبی فصلی سطح آن حاصل گردیده است. از لحاظ ذرات ریز (کوچکتر از ۲ میلی متر) بافت خاک در سرتاسر این پدون به صورت یکنواخت شن لومی (توصیف کننده آرنیک) می باشد (جدول ۱). پدون ۴ نیز در رسوبات اخیر پایه مخروط افکنه (شکل ۱ ب و پ) مشابه پدون ۱ دارای یک خاک رسوبی رودخانه ای (رده انتی سول، گروه مرجع فلووی سول)، فاقد تکامل و سنگریزه ای (توصیف کننده اسکلتیک) می باشد (جدول های ۱ و ۲). تفاوت پدون های ۱ و ۴ در بافت خاک آن ها می باشد. به نظر می رسد در بخش های پایینی مخروط افکنه به علت متمرکز شدن جریان آب و رسوبات و دریافت پیوسته رسوبات بالادست، تجمع ذرات ریز در پایه آن منجر به تشکیل بافت لوم شنی (توصیف کننده اپی لومیک) در افق های سطحی (A, C1) و بافت شن لومی (توصیف کننده کاتوآرنیک) در افق های زیرین (C2, C3) گردیده است (جدول ۱).

در سطح میانه مخروط افکنه روی رسوبات جوان (پدون ۲، شکل ۱ ب و پ) بر اساس سامانه رده بندی آمریکایی یک خاک Typic Haplocalcids مشاهده گردید و به صورت Skeletic Calcisol (Katoarenic, Fluvic, Protogypsic, Epiloamic) در سامانه رده بندی جهانی نام گذاری

شد (جدول ۲). این پدون به لحاظ مورفولوژیک دارای توده های نرم کلسیت و پندانت های کوچک گچ بلورین در دیواره خاکرخ بود (شکل ۳ الف و ب). میزان گچ در دامنه ۲/۳-۰/۴ درصد متغیر بود و بر اساس سامانه های رده بندی آمریکایی و جهانی امکان تعریف افق مشخصه ژئوپسیک وجود نداشت (۱۵)، اما، سامانه رده بندی جهانی با تعریف توصیف-کننده اصلی پروتوژئوپسیک در بیان ویژگی های این پدون موفق تر عمل نموده است (۱۶). دامنه تغییرات کربنات کلسیم در این پدون ۱۵-۶/۲۵ درصد بود (جدول ۱). سازندهای مارنی آهکی نزدیک این پدون به عنوان منشأ کربنات کلسیم این خاک می باشند (شکل ۱ ب و پ). احتمالاً با توجه به ارتفاع سازندهای آهکی منطقه نسبت به پدون و توپوگرافی منطقه، می توان گفت که کربنات کلسیم اولیه موجود در سازندهای بالادست توسط باد یا آب به این سطح ژئومورفیک منتقل و سپس همراه با جریان آب به صورت محلول و ذرات معلق به قسمت های پایین دست منتقل و ضمن نفوذ آب در خاک و رسوب مجدد به فرم توده های نرم تجمع و فرم ثانویه کربنات کلسیم معادل را در خاک تشکیل داده اند. افق های سطحی این پدون دارای بافت متوسط (توصیف کننده اپی لومیک) و افق های زیرین (توصیف کننده کاتوآرنیک) دارای بافت سبک بودند (جدول ۱). میزان هدایت الکتریکی در افق C این خاکرخ به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است که احتمالاً به دلیل آب شویی نمک های محلول توسط آبراهه های سطحی مخروط افکنه در طی زمان به اعماق خاک بوده است (جدول ۱).

خاک Skeletic Calcic Gypsisol (Fluvic, Loamic) سطح میانی مخروط افکنه با رسوبات قدیم (پدون ۳) (جدول ۲) دارای مقادیر فراوانی از پندانت های بزرگ گچ بلورین بود (شکل ۳ پ).

نزدیکی این پدون به سازندهای مارن گچی همراه با بافت متوسط درشت (بافت لومشنی، توصیف‌کننده لومیک) و فراوانی سنگریزه (توصیف‌کننده اسکلتیک)، آب‌شویی گچ را در طی زمان توسط جریان‌های سطحی تا اعماق تسهیل و منجر به ته‌نشینی آن به فرم ثانویه پندانت (گچ بلورین، $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) در طی دوره‌های خشک در افق Bky گردیده‌است (شکل ۳پ).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مطالعاتی.

Table 1. Selected physical and chemical properties of the studied pedons.

افق Horizon	عمق Depth (cm)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	سنگریزه Gravel (%)	کلاس بافتی Textural class	EC (dSm^{-1})	pH	گچ Gypsum (%)	انهیدریت Anhydrite (%)	CCE (%)	SAR (meq L^{-1}) ^{0.5}
پدون ۱- میانه مخروط‌افکنه- رسوبات اخیر												
A	0-10	81	13	6	60	LS	0.8	8.2	ng	-	6	0.74
C1	10-30	85	7	8	70	LS	0.5	8.0	ng	-	4	0.95
C2	30-45	85	8	7	82	LS	0.7	8.1	ng	-	5	1.89
C3	45-85	85	8	7	80	LS	1.7	8.0	ng	-	5.75	2.09
C4	85-125	87	4	9	70	LS	0.4	8.0	1.3	-	2.5	1.02
پدون ۲- میانه مخروط‌افکنه- رسوبات جوان												
A	0-5	25	61	14	20	SiL	0.8	8.2	ng	-	9	1.05
Bk1	5-40	61	26	13	49	SL	0.5	8.0	1.3	-	15	2.76
Bk2	40-70	85	8	7	80	LS	0.3	8.2	2.3	-	7	1.55
Bk3	70-100	85	8	7	70	LS	0.9	8.0	2.3	-	6.25	2.26
C	100-120	69	22	9	79	SL	5.8	8.2	0.4	-	9.5	2.25
پدون ۳- میانه مخروط‌افکنه- رسوبات قدیم												
A	0-5	39	52	9	60	SiL	2.9	8.2	0.3	-	15	1.09
Bky1	5-30	67	26	7	65	SL	0.5	7.4	6.61	-	18.5	1.5
Bky2	30-60	71	20	9	60	SL	0.7	7.3	4.2	-	11.5	5.8
Bky3	60-90	73	20	7	70	SL	1.7	7.3	2.3	-	9.5	8.93
Ck	90-120	69	24	7	70	SL	0.4	7.7	0.4	-	16	6.6
پدون ۴- پایه مخروط‌افکنه- رسوبات اخیر												
A	0-10	63	26	11	55	SL	1.1	8.1	ng	-	6.5	0.88
C1	10-40	77	14	9	80	SL	1.3	7.8	ng	-	7.25	1.99
C2	40-70	85	7	8	75	LS	1.5	8.0	ng	-	3	1.63
C3	70-110	79	14	7	75	LS	2.2	7.9	1.3	-	5	2.24
پدون ۵- اراضی بالادست دشت آبرفتی جیرفت												
Az	0-10	23	70	7	40	SiL	10.4	7.4	ng	5	16.25	24.42
Bkyzn1	10-40	49	41	10	65	L	63.8	7.4	ng	16	18.75	62.91
Bkyzn2	40-70	61	32	7	65	SL	71.9	7.4	ng	13.4	11.25	32.1
Czn	70-110	73	18	9	78	SL	22.7	7.7	ng	3	8	40.55
پدون ۶- اراضی پایین‌دست دشت آبرفتی جیرفت												
Az	0-10	29	62	9	0	SiL	29.8	8.7	ng	-	7.75	182.52
Byzn	10-40	3	50	47	0	SiC	20.6	8.9	12.07	-	6	88.69
Bkyzn1	40-70	3	50	47	0	SiC	27.5	8.9	7	-	14.25	78.62
Bkyzn2	70-100	5	48	47	0	SiC	31.6	8.7	7	-	15	80.89
Bkyzn3	100-135	3	44	53	0	SiC	30.3	8.5	7	-	18.75	266.53
پدون ۷- میانه مخروط‌افکنه با رسوبات جوان												
A	0-10	3	84	13	0	SiL	14.6	8.1	ng	ng	19.5	27.81
Bkyzn1	10-40	3	89	8	0	Si	25.9	8.2	10	ng	21	118.08
Bkyzn2	40-70	9	84	7	0	Si	27.8	8.5	6	ng	20	55.35
Bkzn1	70-110	9	80	11	0	SiL	28.2	8.4	2	ng	14.25	79.00
Bkzn2	110-140	17	71	12	0	SiL	37.8	8.3	ng	ng	14.25	13.40

پدون ۸- دشت آبرفتی فاریاب												Pedon 8- Faryab alluvial plain
182.22	14.75	-	ng	8	38	L	20	8	41	51	0-10	Az
48.49	9.5	-	13	8	27.8	SL	65	9	24	67	10-40	Bkz1
84.21	8.25	-	7	8	27.6	SL	60	9	16	75	40-70	Bkz2
51.51	10.75	-	6.5	8.1	21.6	SL	70	9	15	76	70-110	Bkz3
52	3.5	-	6.5	8.6	20	LS	60	7	14	79	110-140	Byzn

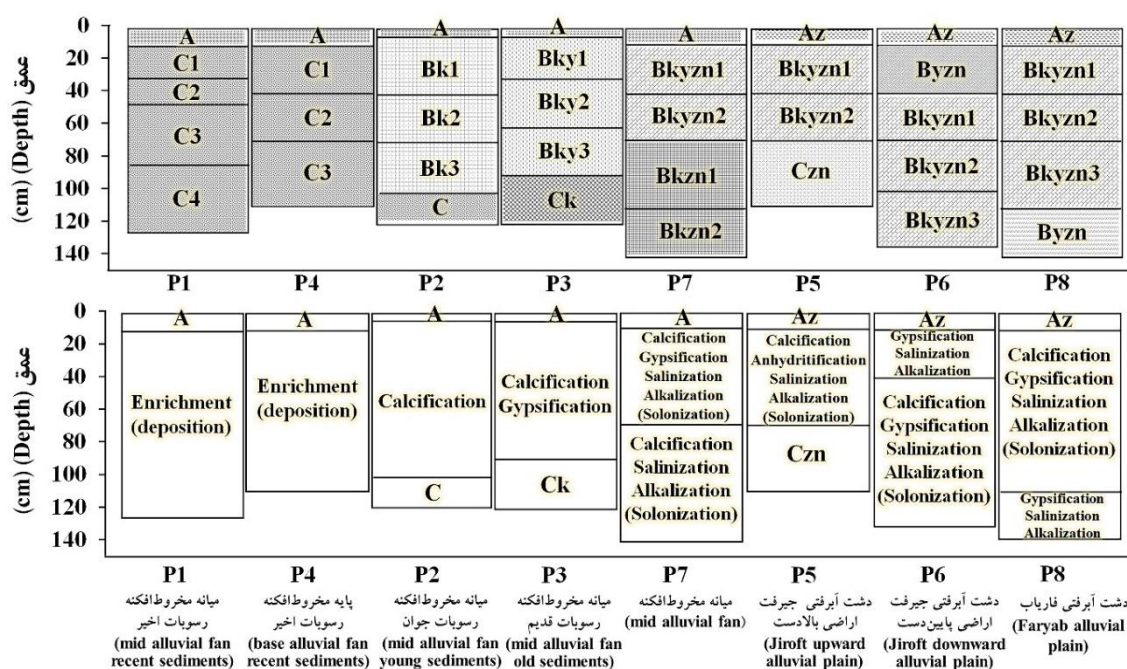
CCE: کرنات کلسیم معادل، ng: ناچیز

جدول ۲- رده بندی پدون های مورد مطالعه.

Table 2. Classification of the studied pedons.

سطح ژئومورفیک	شماره پدون	رده بندی آمریکایی	رده بندی جهانی
Geomorphic Surface	Pedon number	ST (2022)	WRB (2022)
میانۀ مخروط افکنه با رسوبات اخیر	1	Typic Torriorthents	Eutric Skeletic Orthofluvic Fluvisol (Arenic)
mid alluvial fan- recent sediments			
پایه مخروط افکنه با رسوبات اخیر	4	Typic Torriorthents	Eutric Skeletic Orthofluvic Fluvisol (Katoarenic, Epiloamic)
base alluvial fan- recent sediments			
میانۀ مخروط افکنه با رسوبات جوان	2	Typic Haplocalcids	Skeletic Calcisol (Katoarenic, Fluvisol, Protogypsic, Epiloamic)
mid alluvial fan- young sediments			
میانۀ مخروط افکنه با رسوبات قدیم	3	Typic Calcigypsid	Skeletic Calcic Gypsisol (Fluvisol, Loamic)
mid alluvial fan- old sediments			
میانۀ مخروط افکنه با رسوبات جوان	7	Typic Calcigypsid	Calcic Gypsic Sodic Solonchak (Siltic)
mid alluvial fan- young sediments			
اراضی بالادست دشت آبرفتی جیرفت	5	Anhydritic Haplosalids	Calcic Gypsic Sodic Solonchak (Loamic, Hypersalic, Skeletic)
Jiroft upward alluvial plain			
اراضی پایین دست دشت آبرفتی جیرفت	6	Gypsic Haplosalids	Calcic Gypsic Sodic Solonchak (Hypersalic, Clayic)
Jiroft downward alluvial plain			
دشت آبرفتی فاریاب	8	Sodic Haplogypsid	Gypsic Sodic Solonchak (Loamic, Skeletic)
Faryab alluvial plain			

ST: سامانه رده بندی آمریکایی (Soil Taxonomy, 2022)، WRB: سامانه طبقه بندی جهانی (World Reference Base for Soil Resources, 2022)



شکل ۲- تصویر شماتیک از توالی افق‌های پدون‌ها و فرآیندهای خاکسازای آن‌ها.

Figure 2. Schematic image showing sequence of horizons in pedons and soil forming processes involved.

خاک یا درون خلل و فرج مشاهده شدند. این در حالی است که در افق‌های زیرسطحی (۹۰-۶۰ سانتی‌متر)، بلورهای صفحه‌ای گچ به صورت صفحات درهم قفل شده در خلل و فرج (پرشدگی منافذ) مشاهده گردید. در این موقعیت ژئومورفیک بلورهای منفرد گچ همراه با جریان آب به صورت محلول به اعماق خاک منتقل شده و به صورت صفحات درهم قفل شده مجدداً رسوب نموده‌اند. این مشاهدات با نتیجه مطالعه تومانیان و همکاران (۲۰۰۱) که تکامل افق‌های ژپسیک را به لحاظ میکرومورفولوژی روی فیزیوگرافی‌های مختلف بررسی نمودند، هم‌خوانی دارد (۳۳). آن‌ها این گونه عنوان کردند که در افق‌های ژپسیک در مراحل اولیه تکامل مخروطافکنه (بخش-های بالا) بلورهای گچ به صورت مجزا و یا خوشه‌ای در داخل خلل و فرج دیده شدند. در بخش‌های وسط و پایین مخروطافکنه، گچ به صورت پوشش‌های داخلی و یا پرشدگی مشاهده گردید (۳۳).

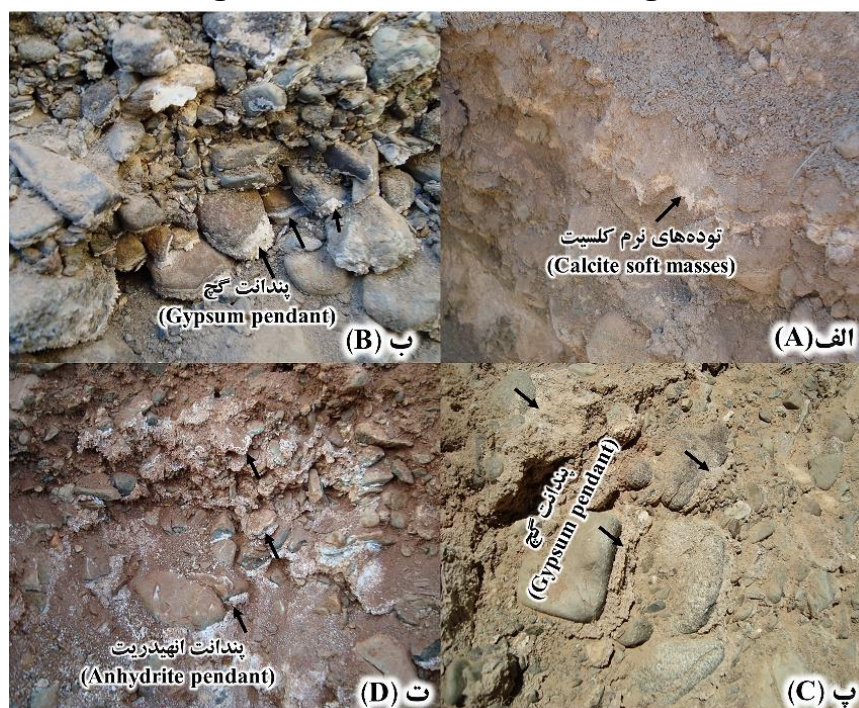
خاک واقع در سطح میانه مخروطافکنه منطقه بلوک روی رسوبات جوان دوره کواترنری (پدون ۷) برخلاف خاک‌های واقع بر مخروطافکنه منطقه خاتون‌آباد (پدون‌های ۱ تا ۴) فاقد سنگریزه و خاک آن دارای بافت سیلتی (توصیف‌کننده سیلتیک) است (جدول‌های ۱ و ۲) که حاکی از تفاوت در منشأ و نوع رسوبات این دو مخروطافکنه است. همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها به تفصیل بیان شده‌است؛ رسوبات این مخروطافکنه از سنگ‌های دگرگون‌شده دوران پالئوزوئیک منشأ می‌گیرند. این در حالی است که رسوبات مخروطافکنه منطقه خاتون‌آباد از سنگ‌های رسوبی و دگرگونی دوران‌های پالئوزوئیک و مزوزوئیک و دوره اتوسن ناشی می‌شوند (۲۴). به-

تومانیان و همکاران (۲۰۰۱) نیز در افق‌های متکامل دشت‌های سیلابی فرسایش‌یافته و فلات‌ها بلورهای به هم متصل فیبری گچ را به طور عمودی نسبت به سنگریزه‌ها و سطح خاک مشاهده نمودند (۳۳). با توجه به عدم حضور مواد مادری غنی از پیریت در منطقه، سازندهای مارن گچی تنها منشأ ممکن برای سولفات کلسیم در این پدون می‌باشند (شکل ۱ب). ضمناً "محققین دیگر نیز حضور گچ در ایران مرکزی را از منشأ تبخیری می‌دانند (۳۴). هر دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (Typic Calcigypsis) و جهانی به خوبی ویژگی‌های بارز این پدون را که رخ دادن فرآیندهای خاکسازای calcification و gypsification و در نتیجه تشکیل افق‌های مشخصه ژپسیک و کلسیک است (جدول ۲، شکل ۲) را منعکس نمودند (۱۵، ۱۶).

مطالعات میکرومورفولوژی این پدون به خوبی ویژگی‌های مورفولوژیکی (پندانت‌های گچ بلورین)، شیمیایی (حداکثر میزان گچ ۶/۶۱ درصد) و رده‌بندی (افق مشخصه ژپسیک، گروه مرجع ژپسی-سول و زیررده ژپسیدز) آن را تأیید نمودند. عارضه خاک-ساخت گچ به صورت بی‌شکل، عدسی‌شکل و صفحه-ای در زمینه خاک و درون خلل و فرج (پرشدگی منافذ) مشهود بود (شکل ۴الف و ب). در شرایط اقلیمی خشک با رسوب‌گذاری گچ موجود در محلول خاک در داخل خلل و فرج، این پرشدگی‌ها تشکیل گردیده‌اند. نکته قابل توجه این است که افق‌های پدون ۳ از توالی تکاملی متفاوتی به لحاظ میکرومورفولوژی از بلورهای گچ برخوردار هستند. بدین گونه که در افق‌های سطحی (۳۰-۵ سانتی‌متر) بلورهای گچ به صورت منفرد (عدسی‌شکل و بی‌شکل) در زمینه

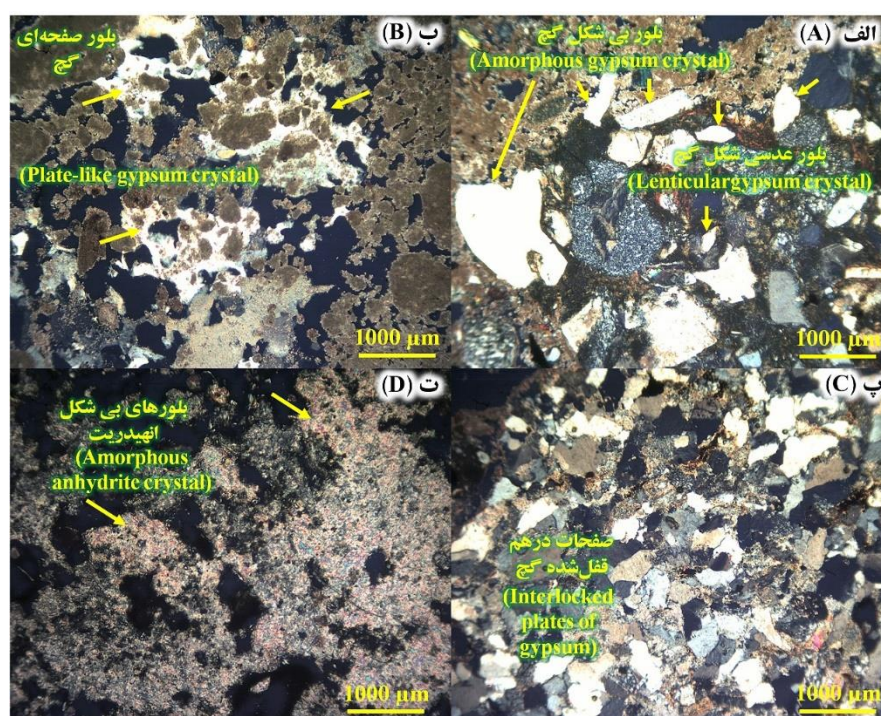
میزان آن با افزایش عمق کاهش یافت (جدول ۱). میزان کربنات کلسیم معادل نیز روند کاهشی با افزایش عمق دارا می باشد (جدول ۱). روند کاهشی کربنات کلسیم و گچ و روند افزایشی هدایت الکتریکی با عمق حاکی از این است که شست و شوی نمک های محلول تر در طی زمان و تجمع آنها در افق های زیرین رخ

علاوه، در این سطح ژئومورفیک بر اساس سامانه رده بندی جهانی (۱۶) به علت زیاد بودن میزان هدایت الکتریکی یک خاک Calcic Gypsic Sodic Solonchak (Siltic) تشکیل شده است (جدول ۲). میزان هدایت الکتریکی این خاک رخ روند افزایشی با عمق را نشان می دهد (جدول ۱). در مقابل، گچ در عمق ۷۰-۱۰ سانتی متر خاک تجمع یافته است که



شکل ۳- توده های نرم کلسیت و پندانت های گچ بلورین در دیواره خاکرخ دو (الف و ب)، پندانت های گچ بلورین در دیواره خاکرخ سه (پ) و پندانت های انهدریت پودری در دیواره خاکرخ پنج (ت).

Figure 3. Calcite soft masses and gypsum pendants in pedon 2 (A, B), gypsum pendants in pedon 3 (C), and Anhydrite pendants in pedon 5 (D).



شکل ۴- عوارض خاک ساخت گچ و انهدریت در پدون‌های سه (الف: افق Bky1، ب: افق Bky3) و هفت (پ: افق Bkz1، ت: افق Bkz2).

Figure 4. Gypsum and anhydrite pedofeatures in pedons 3 (A: Bky horizon, B: Bk horizon) and 7 (C: Bkz1 horizon, D: Bkz2 horizon).

مقدار زیاد نسبت جذب سدیم ($SAR \geq 13$) این پدون اشاره نموده‌است. دکرز و همکاران (۲۰۰۲) وسیع بودن تعریف‌های ارائه‌شده برای برخی از افق‌های مشخصه مشابه (نظیر افق سالیك) در دو سامانه مذکور را دلیل تشابه کم بین دو سامانه در چنین مواردی ذکر نموده‌اند (۳۵). اسفندیارپور و همکاران (۲۰۱۳) نیز به تفاوت تعریف برخی از خصوصیات خاک‌ها در دو سامانه مذکور اشاره نموده‌اند (۳۶).

بررسی مقاطع نازک این پدون صفحات درهم قفل‌شده بلورهای گچ و پرشدگی منافذ توسط بلورهای بی‌شکل انهدریت را نشان دادند (شکل ۴پ و ت). با تغییر رژیم رطوبتی خاک در طی اقلیم‌های متفاوت در اثر حل و رسوب مجدد بلورهای منفرد، عارضه خاک‌ساختی به نام صفحات درهم قفل‌شده بلورهای گچ تشکیل گردیده‌است. بلورهای بی‌شکل کانی تبخیری انهدریت در این محیط شور با درجه-حرارت زیاد به مقدار کم از دهیدراسیون گچ تشکیل

داده‌است. در مقابل نمک‌های با محلولیت کم در افق‌های بالاتر رسوب یافته‌اند (شکل ۲).

پدون ۷ بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی (۱۵) جزء خاک‌های گچی-آهکی (Typic Calcigypsis) محسوب می‌گردد (جدول ۲)؛ لیکن در سامانه رده‌بندی جهانی (۱۶) یک خاک سولونچاک نام‌گذاری شد (جدول ۲). تفاوت در رده‌بندی این پدون در دو سامانه مزبور، به تعریف دو سامانه از افق مشخصه سالیك باز می‌گردد. در این پدون بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی (۱۵) امکان تفکیک افق مشخصه سالیك (به دلیل $EC < 30 \text{ dSm}^{-1}$ در 100 cm از سطح خاک معدنی) وجود ندارد. این در حالی است که سامانه رده‌بندی جهانی (۱۶) برای پدونی با این ویژگی‌ها $EC \geq 15 \text{ dSm}^{-1}$ را برای تفکیک افق مشخصه سالیك ذکر نموده‌است. هم‌چنین، سامانه رده‌بندی جهانی (۱۶) علاوه بر انعکاس شوری زیاد این پدون، با استفاده از توصیف‌کننده اصلی سدیک به

و در محیط باقی مانده است. نتیجه مطالعات سایر پژوهشگران نیز مؤید این مطلب است (۳۷، ۲۱).

نکته جالب توجه این است که مخروطافکنه‌های این برش طولی همانند بسیاری از مخروطافکنه‌های متکامل موجود در ایران مرکزی که دارای خاک قدیمی هستند، دارای تکامل می‌باشند. در مقابل، نتایج مطالعات سایر پژوهشگران روی خاک‌های واقع بر مخروطافکنه‌های شرق جیرفت حاکی از این است که این خاک‌ها به دلیل منشأ و نوع متفاوت مواد مادری (رشته‌کوه جبال‌بارز متشکل از سنگ‌های آذرین) و دوری از سازندهای آهکی و گچی منطقه فاقد تکامل هستند (۳۷، ۳۸، ۳۹).

دشت آبرفتی: پدوهای ۵، ۶ و ۸ در دشت آبرفتی جیرفت و فاریاب واقع شده‌اند (شکل ۱ب). پدون ۵ واقع در اراضی بالادست دشت جیرفت در مجاورت سازندهای مارن گچی (شکل ۱پ) در سامانه رده‌بندی جهانی (۱۶) به صورت Calcic Gypsic Sodic Solonchak (Loamic, Hypersalic, Skeletic) نام‌گذاری شد (جدول ۲). در طی مشاهدات صحرایی پندانه‌های انهیدریت پودری به مقدار زیاد در دیواره خاک‌رخ مشاهده گردیدند (شکل ۳ت). این سطح ژئومورفیک، برجای‌مانده از دریاچه‌های قدیمی حاصل از فعالیت‌های کوه‌زایی اواخر کرتاسه تا میوسن در ایران مرکزی می‌باشد (۳۷، ۳۸، ۴۰، ۴۱). مقادیر زیاد کانی تبخیری انهیدریت (CaSO_4) در خاک این سطح ژئومورفیک که احتمالاً در طی آب-وهوای گرم و خشک ترشیری بخشی از آن به صورت مستقیم و بخشی از آن از دگرگونی گچ تشکیل گردیده و در محیط گرم و شور کنونی پایدار باقی‌مانده است، این فرضیه را به اثبات رسانیده است (۳۷، ۳۸). فرآیند دگرگونی گچ به انهیدریت در مطالعات میکرومورفولوژی این سطح ژئومورفیک با رشد بلورهای انهیدریت درون بلورهای گچ توسط سایر

محققین گزارش شده است (۳۷). به علاوه، وجود سازند میوسن مارن گچی در نزدیکی این پدون، به عنوان یکی دیگر از منابع گچ در خاک این سطح ژئومورفیک به شمار می‌رود.

نکته جالب توجه در مورد خاک این سطح ژئومورفیک (پدون ۵) مقایسه نام‌گذاری (Anhydritic Haplosalids) آن در سامانه رده‌بندی آمریکایی (۱۵) با جهانی (۱۶) است (جدول ۲). سامانه رده‌بندی آمریکایی با تعریف افق مشخصه انهایدریتیک قادر به انعکاس بهتر نوع کانی تبخیری سولفات کلسیم در این پدون می‌باشد. این در حالی است که افق مشخصه انهایدریتیک در سامانه رده‌بندی جهانی تعریف نشده است و این سامانه قادر به ذکر این ویژگی در نام‌گذاری این پدون نمی‌باشد و تنها با استفاده از توصیف‌کننده‌های مختلف در انعکاس سایر ویژگی‌های این پدون نظیر وجود افق مشخصه کلسیک (توصیف‌کننده کلسیک)، میزان هدایت الکتریکی زیاد (توصیف‌کننده هایپرسالیک) و سدیمی (توصیف‌کننده سدیک) و سنگریزه‌ای (توصیف‌کننده اسکلتیک) بودن بهتر عمل نموده است. در اینجا لازم به ذکر است که عدم وجود افق مشخصه انهایدریتیک (CaSO_4) در مقابل افق مشخصه ژئوپسیک ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) در سامانه رده‌بندی جهانی، یکی از نقایص این سامانه می‌باشد. سامانه رده‌بندی جهانی برخلاف مدنظر قرار دادن افق ژئوپسیک و مواد ژئوپسیریک، وجود انهایدریت را در افق‌ها، خصوصیات و مواد مشخصه و در نتیجه در دو سطح رده‌بندی (گروه‌های مرجع و توصیف‌کننده‌ها) خود نادیده گرفته است. از این رو، در پدون ۵ با توجه به فرآیند تجزیه‌ای بیان‌شده برای اندازه‌گیری گچ (انحلال در آب/ ترسیب با استون) در سامانه رده‌بندی جهانی، افق‌های Bkz1 و Bkz1 این پدون به عنوان افق مشخصه ژئوپسیک تفکیک شدند و

توصیف‌کننده اصلی ژئوپسیک در رده‌بندی این پدون وارد گردید. همچنین، لازم به توضیح تکمیلی است که سامانه رده‌بندی جهانی در ویرایش جدید چهارم (۲۰۲۲) خود در بخش تجزیه‌های آزمایشگاهی به وضوح عنوان نموده‌است که روش اندازه‌گیری استون علاوه بر گچ، انهیدریت را نیز استخراج می‌نماید و آن را به‌عنوان کانی اولیه در نظر گرفته‌است (۱۶). بنابراین، اضافه نمودن افق، خصوصیات یا مواد مشخصه انهیدریت در گروه‌های مرجع یا در مجموع توصیف‌کننده‌های آن‌ها در سامانه رده‌بندی جهانی پیشنهاد می‌شود. سایر پژوهشگران نیز این مورد را ضروری دانستند (۳۹). همچنین، در سامانه رده‌بندی آمریکایی برای نشان دادن تجمع گچ و انهیدریت پسوندهای y و yy ارائه گردیده‌است. توصیه می‌شود برای تفکیک بهتر این دو کانی تبخیری از یکدیگر پسوند an برای نشان دادن تجمع انهیدریت به سامانه رده‌بندی آمریکایی اضافه گردد (۱۵).

پدون ۶ در اراضی پایین‌دست دشت آبرفتی جیرفت واقع شده‌است (شکل ۱ب). این پدون نیز مشابه پدون ۵ دارای یک خاک شور با رده‌بندی $Calcic\ Gypsic\ Sodich\ Solonchak$ (Hypersalic, Clayic) در سامانه رده‌بندی جهانی (۱۶) می‌باشد (جدول ۲)، با این تفاوت که این پدون به دلیل واقع شدن در پست‌ترین بخش دشت آبرفتی و فاصله از کوه فاقد سنگریزه، دارای بافت سنگین رسی (توصیف‌کننده Clayic) و کانی تبخیری سولفات کلسیم از نوع گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) است (جدول‌های ۱ و ۲). در مورد پدون ۶ هر دو سامانه رده‌بندی به خوبی افق‌های سالیک و ژئوپسیک را در نظر گرفته‌اند. اما، حضور توأمان سه افق مشخصه سالیک، ژئوپسیک و کلسیک، یکی از مشخصات مهم پدون ۶ می‌باشد که سامانه رده‌بندی آمریکایی قادر به بیان آن نیست (۱۵). در مقابل سامانه رده‌بندی جهانی

این مشخصه را کاملاً توصیف می‌نماید (۱۶). سامانه رده‌بندی جهانی از یک سو در سطح اول خود با قرار دادن این پدون در گروه مرجع سولونچاک وجود افق سالیک را در ۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک نشان می‌دهد و از سوی دیگر در سطح دوم خود با استفاده از توصیف‌کننده‌های اصلی ژئوپسیک و کلسیک، افق کلسیک و ژئوپسیک را در محدوده ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک نشان می‌دهد (جدول ۲). به‌علاوه، با توجه به رده‌بندی این خاک در سامانه رده‌بندی آمریکایی مشخص می‌گردد که این سامانه مشابه با سامانه رده‌بندی جهانی (بالا تر بودن گروه مرجع ژئوپسی‌سول‌ها نسبت به کلسی‌سول‌ها)، درجه اهمیت بالاتری را برای افق ژئوپسیک نسبت به کلسیک در نظر گرفته‌است که این موضوع را در رده اریدی‌سول می‌توان از طریق مطرح شدن افق ژئوپسیک در سطح بالاتری (زیررده Gypsid) نسبت به افق کلسیک (زیررده Calcids) در سطح زیررده از یک سو و از طریق قرارگیری زیرگروه Gypsic Haplosalids در سطح بالاتری نسبت به زیرگروه Calcic Haplosalids از سوی دیگر اثبات نمود.

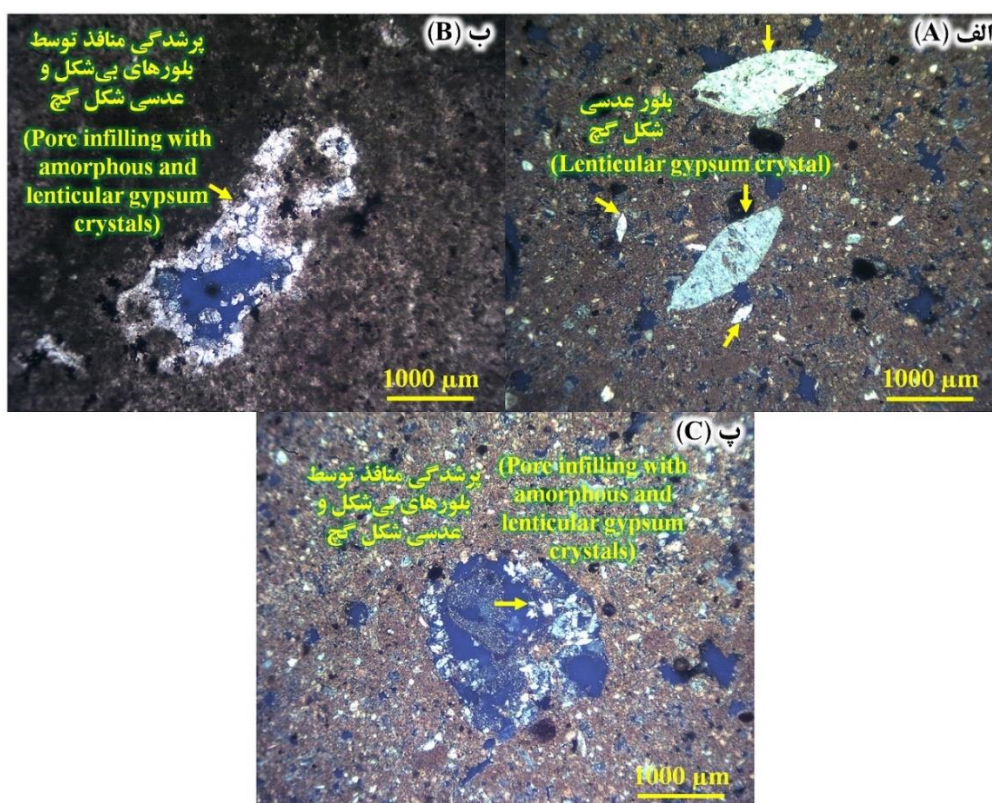
مطالعات میکرومورفولوژی افق‌های این پدون بلورهای بی‌شکل و عدسی‌شکل گچ را به‌صورت منفرد در زمینه خاک و پرشدگی منافذ نشان داد (شکل ۵). بلورهای عدسی‌شکل، معمولی‌ترین شکل گچ در خاک می‌باشند که در تمامی شرایط امکان تشکیل آن‌ها وجود دارد (۴۲). بلورهای عدسی‌شکل گچ در افق‌های این پدون فاقد جهت‌گیری خاصی هستند که این امر حاکی از منشأ پدورژنیک این کانی می‌باشد (۴۳). محققان بر این باور هستند که اشباع بودن محلول خاک از سولفات کلسیم (۴۳)، نسبت بالای یون کلسیم در مقابل سولفات در محلول خاک، دمای زیاد (۴۴) از عوامل تأثیرگذار در تشکیل بلورهای عدسی‌شکل هستند. همچنین، فرپور و همکاران

(۲۰۰۳) کم شدن سنگریزه، ریزتر شدن خلل و فرج و ریزتر شدن بافت را در تشکیل گچ عدسی شکل مؤثر دانستند (۱۹). علاوه بر این ها، وجود سدیم کلرید در خاک به عنوان ناخالصی شرایط را برای تشکیل بیش تر این نوع از بلورهای گچ فراهم می کند (۴۵). بنابراین، در این پدון به دلیل عدم وجود سنگریزه، بافت رسی و SAR زیاد شرایط برای تشکیل پدوژنیک بلورهای عدسی شکل گچ فراهم بوده است.

در دشت آبرفتی فاریاب (پدون ۸) یک خاک شور- سدیمی- گچی سنگریزه دار تشکیل شده است (جدول ۲). این پدون برخلاف پدون ۶ دارای بافت متوسط سبک (توصیف کننده لومیک) همراه با سنگریزه (توصیف کننده اسکلتیک) است (جدول های ۱ و ۲). بر اساس سامانه رده بندی آمریکایی وجود افق مشخصه ژپسیک و میزان SAR زیاد این پدون باعث گردیده است که در زیر گروه Sodid Haplogypsid قرار گیرد (جدول ۲). بنابراین، در سامانه رده بندی آمریکایی شوری لایه های متفاوت پدون ۸ مشخص نشده است؛ این در حالی است که قرار گرفتن این پدون در گروه مرجع سولونچاک در سامانه رده بندی جهانی (Gypsic Sodid Solonchak (Loamic, Skeletic)) نه تنها وجود افق سالیک را در ۵۰ سانتی متری از سطح خاک نشان می دهد، بلکه دو توصیف کننده ژپسیک و سدیک، دو ویژگی مهم دیگر این پدون را به خوبی نشان می دهند (۱۶). دلیل این امر تعریف متفاوت افق سالیک در این دو سامانه

می باشد (۱۵، ۱۶). از یک سو برخلاف این واقعیت که شوری خاک یکی از ویژگی مهم و بارز می باشد که هر دو سامانه در سطوح مختلف رده بندی خود آن را نسبت به سایر ویژگی های خاک در الویت قرار داده و آن را عامل محدود کننده در نظر می گیرند. از سوی دیگر، توجه به رشد گیاه، یکی از اهداف اصلی سامانه رده بندی آمریکایی است و شوری خاک در مواردی نظیر رشد گیاه، مسائل زیست محیطی، اصول مهندسی خاک و غیره اهمیت دارد. اما، به نظر می رسد که تعریف افق سالیک در سامانه رده بندی جهانی نسبت به سامانه رده بندی آمریکایی بهتر در نظر گرفته شده است (۱۵، ۱۶).

مطالعات میکرومورفولوژی افق های Bkzn و Byzn این پدون بلورهای عدسی شکل گچ را به صورت صفحات درهم قفل شده که منافذ را پر نموده بودند، نشان داد (شکل ۶). برخلاف شرایط پدون ۶ به اعتقاد برخی دیگر از پژوهشگران بلورهای عدسی- شکل گچ در شرایط بافت سبک، محدود نبودن فضای خلل و فرج و ناخالصی یونی زیاد (کلرید سدیم) نیز تشکیل می شوند (۴۵، ۴۶). با توجه به بافت سبک و SAR زیاد این پدون از یک سو و نیز به دلیل انحلال- پذیری نسبتاً زیاد گچ از سوی دیگر، تغییر اندک در رطوبت محیط منجر به انحلال بلورهای عدسی شکل و رسوب آن ها به صورت صفحات درهم قفل شده شده است (۱۹).



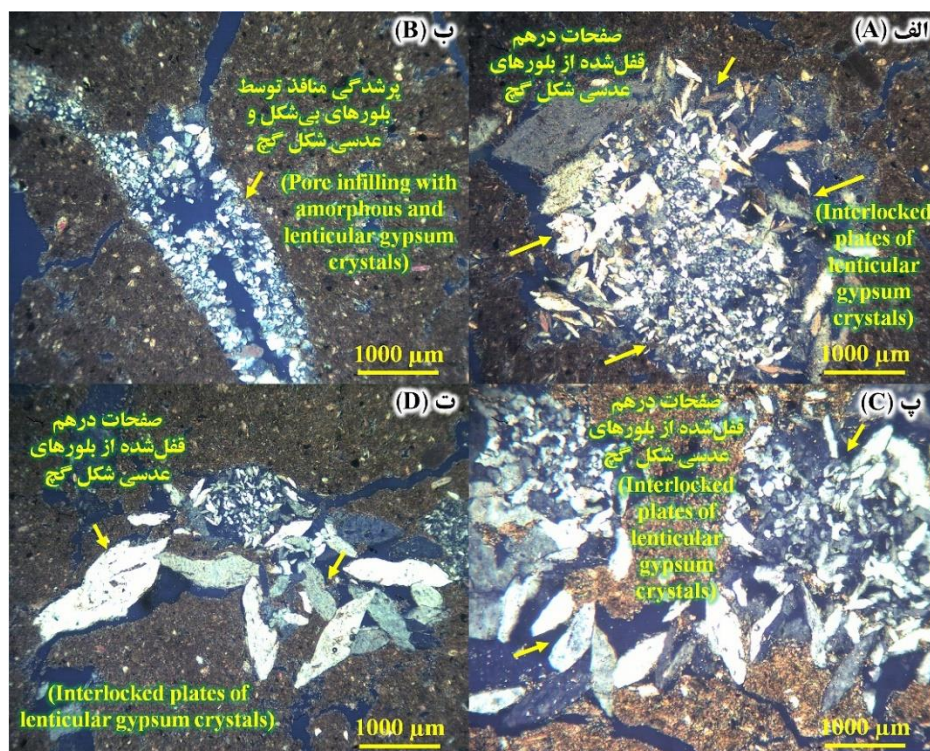
شکل ۵- عوارض خاکساخت گچ در پدون شش (الف: افق Bkyzn2، ب: افق Bkyzn1، پ: افق Bkyzn2).

Figure 5. Gypsum pedofeatures in pedon 6 (A: Bkyzn2 horizon, B: Bkyzn1 horizon, C: Bkyzn2 horizon).

نتیجه گیری کلی

خاکسازی آهکی و گچی شدن) بودند. بنابراین، همان گونه که مشاهده می شود با افزایش قدمت رسوبات (نشان گر پایدار بودن سطح ژئومورفیک) فرایندهای خاکسازی منجر به تشکیل افق های تجمعی مشخصه و تکامل خاک ها شدند. منشأ و نوع رسوبات مخروط افکنه روی نوع و درجه تکامل خاک های واقع بر آن نقش مؤثری دارد. خاک های واقع بر مخروط افکنه منطقه بلوک فاقد سنگریزه و شور و سدیمی بودند. در مقابل خاک های واقع بر مخروط افکنه منطقه خاتون آباد دارای سنگریزه و غیرشور و غیرسدیمی بودند. در دشت های آبرفتی

در این پژوهش، ارتباط خاک- ژئومورفولوژی به خوبی مشاهده گردید. در مخروط افکنه منطقه خاتون آباد، پدون های واقع بر رسوبات اخیر دارای خاک رسوبی رودخانه ای (گروه مرجع فلووی سول، رده انتی سول، فرآیند خاکسازی رسوب گذاری)، پدون واقع بر رسوبات جوان دارای خاک آهکی (گروه مرجع کلسی سول و توصیف کننده پروتوزپسیک، گروه بزرگ هاپلوکلسیدز، فرآیند خاکسازی آهکی- شدن) و پدون واقع بر رسوبات قدیم دارای خاک گچی-آهکی (گروه مرجع ژپسی سول و توصیف- کننده کلسیک، گروه بزرگ کلسی ژپسیدز، فرایندهای



شکل ۶- عوارض خاک ساخت گچ در پدون هشت (الف و ب: افق Bkyn3، پ و ت: افق Byzn).

Figure 6. Gypsum pedofeatures in pedon 8 (A and B: Bkyn3 horizon, C and D: Byzn horizon).

انعکاس و توصیف خاک‌های شور باشد. در مقابل، سامانه رده‌بندی آمریکایی با تعریف افق مشخصه انهیدریتیک نگاه دقیق‌تری به واقعیت صحرایی خاک‌ها داشته‌است. در کل، ارتباط معناداری بین نام خاک‌ها در سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی (سطح زیرگروه) و جهانی (سطح گروه مرجع و توصیف‌کننده‌های اصلی و مکمل) و سطوح ژئومورفیک مشاهده شد. عوارض خاک ساخت مشاهده شده در مقاطع نازک (بلورهای عدسی شکل، بی شکل، صفحه‌ای و صفحات درهم قفل شده گچ و بلورهای بی شکل انهیدریت) به خوبی ویژگی‌های مورفولوژیکی، شیمیایی و رده‌بندی خاک‌ها را تأیید نمودند. از این رو، مطالعات میکرومورفولوژی به عنوان یک ابزار مکمل اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با نحوه تشکیل و تکامل خاک‌ها و در نتیجه مطالعات خاک- ژئومورفولوژی فراهم می‌نماید.

جیرفت و فاریاب همان گونه که از این شکل اراضی انتظار می‌رفت خاک‌های شور و سدیمی با افق‌های تجمعی مشخصه سالیک، انهیدریتیک، ژپسیک و کلسیک مشاهده شد. هر دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (تا سطح زیرگروه) و جهانی (گروه مرجع و توصیف‌کننده‌های اصلی و مکمل) در توصیف خاک‌های منطقه مطالعاتی موفق عمل نمودند؛ اما در این پژوهش به دلیل استفاده از سامانه رده‌بندی آمریکایی تا سطح زیرگروه، نتایج قابل قبول‌تری در رابطه با رده‌بندی خاک‌های شور و سدیمی توسط سامانه رده‌بندی جهانی که تا سطح توصیف‌کننده (اصلی و مکمل) مورد استفاده قرار گرفت، مشاهده شد. بنابراین، کاملاً بدیهی است که چنانچه خاک‌های مورد مطالعه تا سطوح پایین‌تر (فامیل و سری) در سامانه رده‌بندی آمریکایی نیز طبقه‌بندی می‌گردیدند، این سامانه نیز احتمالاً می‌توانست به خوبی قادر به

منابع

1. Gkouma, M. (2024). P. 620- 630. In: E. Nikita & T. Rehren (Eds.). Encyclopedia of archaeology, Second edition, Part 2B: Geomorphology. Academic Press. doi:10.1016/B978-0-323-90799-6.00119-1.
2. Bockheim, J. G., Gennadiyev, A. N., Hartemink, A. E., & Brevik, E. C. (2014). Soil-forming factors and soil taxonomy. *Geoderma*, 226, 231-237. doi:10.1016/j.geoderma.2014.02.016.
3. Zinck, J. A., Metternicht, G., Bocco, G., & Valle, H. F. D. (2016). Geopedology, an integration of geomorphology and pedology for soil and landscape studies. Springer Cham. 550p. doi:10.1007/978-3-319-19159-1.
4. Bryan, R. B. (2000). Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, 32 (3-4), 385-415. doi:10.1016/S0169-555X(99)00105-1.
5. Sharmeen, S. (2000). Modelling the long-term evolution of mine spoils, soil erosion and soil development. The University of Newcastle, Australia.
6. Welivitiya, W. D. D. P., Willgoose, G. R., & Hancock, G. R. (2019). A coupled soilscape-landform evolution model: model formulation and initial results. *Earth Surface Dynamics*, 7, 591-607. doi:10.5194/esurf-7-591-2019.
7. Camacho, M. E., Quesada-Román, A., & Mata, R. (2020). Soil geomorphology relationships of alluvial fans in Costa Rica. *Geoderma Regional*, 21, 1-12. doi:10.1016/j.geodrs.2020.e00258.
8. Senanayake, I. P., Hancock, G. R., & Welivitiya, W. D. D. P. (2024). Soil depth and catchment geomorphology: a field, vegetation and GIS based assessment. *Geoderma Regional*, 38, 1-12. doi:10.1016/j.geodrs.2024.e00824.
9. Curtis Monger, H., & Hawley, J. W. (2025). P. 1-67. In: D. L. Sparks (Ed.). Advances in agronomy, No. 192, Chapter 1: The USDA desert soil-geomorphology project (1957-1972). Academic Press. doi:10.1016/bs.agron.2025.03.002.
10. Monger, C., & Bronnikova, M. (2025). Soil memory of bioclimatic changes in the northern Chihuahuan Desert, USA. *Catena*, 254, 1-12. doi:10.1016/j.catena.2025.108944.
11. Villas, D. B., García, L. B., Aladrén, L. A. L., Dalmau, C. M., Monné, J. L. P., Pérez, J. A. G., & García, D. G. (2020). Soil-geomorphology relationships determine the distribution of the main subalpine grasslands in the Central Pyrenees (NE-Spain). *Science of the Total Environment*, 734, 1-13. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139121.
12. Yang, F., Zhang, G. L., Sauer, D., Yang, F., Yang, R. M., Liu, F., Song, X. D., Zhao, Y. G., Li, D. C., & Yang, J. L. (2020). The geomorphology-sediment distribution-soil formation nexus on the northeastern Qinghai-Tibetan plateau: implications for landscape evolution. *Geomorphology*, 354, 1-13. doi:10.1016/j.geomorph.2020.107040.
13. Leizica, E., Buss, M. E. F., & Noellemeier, E. (2022). Geomorphology as a tool to digitize homogeneous management zones based on soil properties in the semiarid central Argentinean Pampas. *Geoderma Regional*, 28, 2-7. doi:10.1016/j.geodrs.2021.e00458.
14. Smolentseva, E. N. (2013). P. 229-241. In: S. A. Shahid, F. K. Taha, & M. A. Abdelfattah (Eds.). Advances in soil classification, land use planning and policy implications-innovative thinking of resource inventory for sustainable use and management of land resources, Chapter 10: Assessment of soil diversity in Western Siberia using WRB 2006. Springer SBM Publishing. Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-5332-7.
15. Soil Survey Staff. (2022). Keys to soil taxonomy, 13th edition. USDA-Natural Resources Conservation Service. 410p.
16. IUSS Working Group WRB. (2022). World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS). Vienna, Austria. 234p.
17. Gerasimova, M. I. (2010). Chinese soil taxonomy: between the American and the international classification systems. *Eurasian Soil Science*, 43 (8), 945-949. doi:10.1134/S1064229310080120.
18. Ríos, I., Bouza, P. J., Bortolus, A., & Alvarez, M. D. P. (2018). Soil-geomorphology relationships and landscape evolution in a southwestern Atlantic tidal salt marsh in Patagonia, Argentina. *Journal*

- of South American Earth Sciences*, 84, 385-398. doi:10.1016/j.jsames.2018.04.015.
19. Farpour, M. H., Eghbal, M. K., & Khademi, H. (2003). Genesis and micromorphology of saline and gypsiferous Aridisols on different geomorphic surfaces in Nough area, Rafsanjan. *Journal of Crop Production and Processing*, 7 (3), 71-93. doi:10.1001.1.22518517.1382.7.3.6.9. [In Persian]
20. Khormali, F., Abtahi, A., & Stoops, G. (2006). Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, southern Iran. *Geoderma*, 132, 31-46. doi:10.1016/j.geoderma.2005.04.024.
21. Wilson, M. A., Shahid, S. A., Abdelfattah, M. A., Kelley, J. A., & Thomas, J. E. (2013). P. 175-201. In: S. A. Shahid, F. K. Taha, & M. A. Abdelfattah (Eds.). *Developments in soil classification, land use planning and policy implications: innovative thinking of soil inventory for land use planning and management of land resources*, Chapter 8: Anhydrite formation on the Coastal Sabkha of Abu Dhabi, United Arab Emirates. Springer SBM Publishing. Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-5332-7_8.
22. Mees, F., & Tursina, T. V. (2010). P. 441-461. In: G. Stoops, V. Marcelino, & F. Mees (Eds.). *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*, Chapter 20: Salt minerals in saline soils and salt crusts. Elsevier. Amsterdam, Netherlands. doi:10.1016/C2009-0-18081-9.
23. Van Wambeke, A. (1986). Newhall simulation model, a basic program for the IBM PC [floppy disk computer file]. Department of Agronomy, Cornell University. Ithaca, New York, USA.
24. Babakhani, A., Alavi Tehrani, N., Sabzehei, M., & Ohanian, F. (1992). Geological Map of Iran, Sabzevaran (1:250000). Geological Organization of Iran. Tehran. [In Persian]
25. Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., & Soil Survey Staff. (2012). *Field book for describing and sampling soils*, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Lincoln, Nebraska. 300p.
26. Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). P. 388-409. In: A. Klute (Ed.). *Methods of soil analysis*, Agronomy No. 9, Part 1, Chapter 15: Particle size analysis. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. doi:10.2136/sssabookser5.1.2ed.
27. Nelson, R. E. (1982). P. 181-197. In A. L. Page (Ed.). *Methods of soil analysis*, Agronomy No. 9, Part 2, Chapter 12: Carbonate and gypsum. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. doi:10.2134/agronmonogr9.2.2ed.
28. Artieda, O., Herrero, J., & Drohan, P. J. (2006). Refinement of the differential water loss method for gypsum determination in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 70 (6), 1932-1935. doi:10.2136/sssaj2006.0043N.
29. Gammon, N. J. (1951). Determination of total potassium and sodium in sandy soils by flame photometer. *Soil Science*, 71 (3), 211-214. doi:10.1097/00010694-195103000-00009.
30. Ringbom, A., Pensar, G., & Wänninen, E. (1958). A complexometric titration method for determining calcium in the presence of magnesium. *Analytica Chimica Acta*, 19, 525-531. doi:10.1016/S0003-2670(00)88213-6.
31. Murphy, C. P. (1986). *Thin section preparation of soils and sediments*. AB Academic Publishers. Berkhamsted, Herts, UK. 149p. doi:10.1111/j.1365-2818.1987.tb02834.x.
32. Stoops, G. (2003). *Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, USA. 200p. doi:10.1002/9780891189763.
33. Toomanian, N., Jalalian, A., & Eghbal, M. K. (2001). Genesis of gypsum enriched soils in north-west Isfahan, Iran. *Geoderma*, 99 (3-4), 199-224. doi:10.1016/S0016-7061(00)00058-6.
34. Farpoor, M. H., Khademi, H., Eghbal, M. K., & Krouse, H. R. (2004). Mode of gypsum deposition in southeastern Iranian soils as revealed by isotopic composition of crystallization water. *Geoderma*, 121 (3), 233-242. doi:10.1016/j.geoderma.2003.11.013.
35. Deckers, J., Driessen, P. M., Nachtergaele, F. O., Spaargaren, O. C., & Berding, F. (2002). P. 245-256. In: H. Eswaran, T. Rice, R. Ahrens, & B. A. Stewart (Eds.). *Soil classification: a global desk reference*, Chapter 19: Anticipated developments of the world reference base for soil resources. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. doi:10.1201/9781420040364-19.
36. Esfandiarpour, I., Salehi, M. H., Karimi, A., & Kamali, A. (2013). Correlation between soil taxonomy and world reference base for

- soil resources in classifying calcareous soils: a case study of arid and semi-arid regions of Iran. *Geoderma*, 197, 126-136. doi:10.1016/j.geoderma.2013.01.002.
37. Sarmast, M., Farpoor, M. H., Jafari, A., & Esfandiarpour Boroujeni, I. (2019). Tracing environmental changes and paleoclimate using micromorphology of soils and desert varnish in central Iran. *Journal of Desert*, 24 (2), 331-353. doi:10.1016/j.catena.2016.05.026.
38. Sarmast, M., Farpoor, M. H., & Esfandiarpour Boroujeni, I. (2017). Soil and desert varnish development as indicators of landform evolution in central Iranian deserts. *Catena*, 149, 98-109. doi:10.1016/j.catena.2016.09.003.
39. Sarmast, M., Farpoor, M. H., & Esfandiarpour Boroujeni, I. (2016). Comparing soil taxonomy (2014) and updated WRB (2015) for describing calcareous and gypsiferous soils, Central Iran. *Catena*, 145, 83-91. doi:10.1016/j.catena.2016.05.026.
40. Krinsley, D. B. (1970). A geomorphological and paleoclimatological study of the playas of Iran. Geological Survey, United States Department of the Interior Washington, D.C., USA. 486p.
41. Sengör, A. M. C., Altiner, D., Cin, A., Ustaömer, T., & Hsü, K. J. (1988). Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land. *Geological Society*, 37 (1), 119-181. doi:10.1144/GSL.SP.1988.037.01.09.
42. Jafarzadeh, A. A., & Burnham, C. P. (1992). Gypsum crystals in soils. *Journal of Soil Science*, 43 (3), 409-420. doi:10.1111/j.1365-2389.1992.tb00147.x.
43. Owliaie, H. R., Abtahi, A., & Heck, R. J. (2006). Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, southwestern Iran. *Geoderma*, 134 (1), 62-81. doi:10.1016/j.geoderma.2005.08.015.
44. Cody, R. D. (1979). Lenticular gypsum: occurrences in nature, and experimental determinations of effects of soluble green plant material on its formation. *Journal of Sedimentary Petrology*, 49 (3), 1015-1028. doi:10.1306/212F78A6-2B24-11D7-8648000102C1865D.
45. Amit, R., & Yaalon, D. H. (1996). The micromorphology of gypsum and halite in reg soils-the Negev Desert, Israel. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21 (12), 1127-1143. doi:10.1002/(SICI)1096-9837(199612)21:12<1127: AID-ESP656>3.0.CO;2-G.
46. Ayoubi, S., Karimian Eghbal, M., & Jalalian, A. (2006). Study of micromorphological evidences of climate change during quaternary recorded in paleosols from Isfahan. *Journal of Crop Production and Processing*, 10 (1), 137-151. dor:20.1001.1.22518517.1385.10.1.10.0. [In Persian]