Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Soil Science Society of Iran

(OPEN ACCESS)

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

Zahra Mehni[1], Mohammad Hady Farpoor[*2], Masoomeh Sarmast[*3]

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

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 04.23.2025
Revised: 06.30.2025
Accepted: 09.20.2025

Keywords:
Alluvial fan,
Alluvial plain,
Anhydrite,
Micromorphology,
Soil classification

ABSTRACT

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 (Pedon 1), (2) mid-alluvial fan with young alluvium (Pedon 2), (3) mid-alluvial fan with older sediments, and (4) base of the alluvial fan with recent alluvium (Pedon 4). The Jiroft alluvial plain was categorized into upland (Pedon 5) and lowland (Pedon 6) positions based on elevation. The Bulok mid-alluvial fan (Pedon 7) and Faryab alluvial plain (Pedon 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.

Results: Based on WRB classification, Fluvisols (alluvial soils), Calcisols (calcareous soils), Gypsisols (gypsiferous soils), and Solonchaks (saline soils) were identified. Corresponding Soil Taxonomy classifications included Aridisols (Salids, Gypsids, 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 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 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, Masoomeh. 2026. Soil-geomorphology relationship in semi-arid desert lands of southern Kerman Province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 15 (4), 89-111.



© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejsms.2026.23573.2190
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲
انجمن علوم خاک ایران

ارتباط خاک- ژئومورفولوژی در برخی اراضی بیابانی نیمه‌خشک جنوب استان کرمان

زهرا مهنی[۱]، محمدهادی فرپور*[۲]، معصومه سرمست*[۳]

۱. دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد 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

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۹

واژه‌های کلیدی:
انهیدریت،
دشت آبرفتی،
رده‌بندی خاک،
مخروط‌افکنه،
میکرومورفولوژی

چکیده

سابقه و هدف: ژئومورفولوژی به آرایش، تفکیک، فرآیندهای تشکیل و تکامل اشکال اراضی می‌پردازد و پدولوژی فرآیندهای تشکیل و تکامل خاک را بررسی می‌نماید. ژئومورفولوژی خاک اساساً یک ارزیابی از روابط ژنتیکی خاک‌ها و اشکال اراضی برای تفسیر حال و گذشته زمین‌نما است. با در نظر گرفتن اهمیت مطالعات خاک- ژئومورفولوژی روی درک فرآیندهای ژئومورفیکی و خاکسازی و مدیریت اراضی بیابانی، این پژوهش با هدف بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکرومورفولوژیکی خاک‌ها، بررسی نحوه پیدایش و تکامل خاک در ارتباط با سطوح ژئومورفیک و بررسی نحوه اثرگذاری رده‌بندی خاک‌ها در انعکاس ویژگی‌های آن‌ها با استفاده از جدیدترین ویرایش‌های سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی (ویرایش سیزدهم) و جهانی (ویرایش چهارم) صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در بخشی از فلات مرکزی ایران در شهرستان‌های جیرفت و فاریاب به‌ترتیب واقع در جنوب و جنوب‌غربی استان کرمان، ایران انجام شد. منطقه مورد مطالعه در قالب یک برش طولی (شمال- جنوب‌غربی) از منطقه خاتون‌آباد شهرستان جیرفت شروع و تا دشت فاریاب امتداد داشت. اقلیم منطقه مطالعاتی بیابانی نیمه‌خشک با رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک به‌ترتیب اریدیک ضعیف و هایپرترمیک است. در چشم‌انداز این برش طولی اشکال اراضی کوه، مخروط‌افکنه و دشت آبرفتی مشاهده می‌شود. مخروط‌افکنه منطقه خاتون‌آباد 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 پایین‌دست (پدون شش) تفکیک گردید. سطح میانی مخروط‌افکنه منطقه بلوک با رسوبات جوان (پدون هفت) و دشت آبرفتی فاریاب (پدون هشت) به‌دلیل 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 نمونه‌برداری 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 عکس‌برداری قرار گرفتند.

یافته‌ها: در چشم‌انداز مورد مطالعه بر اساس سامانه رده‌بندی جهانی گروه‌های مرجع فلووی‌سولز (خاک‌های رسوبی رودخانه‌ای)، کلسی‌سولز (خاک‌های آهکی)، ژیپسی‌سولز (خاک‌های گچی) و سولونچاک (خاک‌های شور) و بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی رده‌های انتی‌سولز و اریدی‌سولز (زیررده‌های سالیدز، ژیپسیدز و کلسیدز) مشاهده شدند. در مطالعات صحرایی توده‌های نرم کلسیت، پندانت‌های گچ بلورین و انهیدریت غیربلورین (پودری) در دیواره خاکرخ‌ها به وضوح قابل‌رؤیت بودند. کانی تبخیری سولفات کلسیم به دو فرم گچ ($CaSO_4.2H_2O$) 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 به‌صورت بلورهای منفرد بی‌شکل، عدسی‌شکل و صفحه‌ای و صفحات در هم‌قفل‌شده و عوارض خاک‌ساخت انهیدریت به‌صورت بلورهای بی‌شکل در زمینه خاک و درون خلل‌وفرج 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 انهایدریتیک) 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.

استناد: مهنی، زهرا، فرپور، محمدهادی، سرمست، معصومه (۱۴۰۴). ارتباط خاک- ژئومورفولوژی در برخی اراضی بیابانی نیمه‌خشک جنوب استان کرمان. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۵ (۴)، ۱۱۱-۸۹.
DOI: 10.22069/ejsms.2026.23573.2190

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

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 خاکسازی (حرکت مواد محلول و معلق) را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین، عوامل و فرآیندهای خاکسازی ارتباط نزدیکی با اشکال اراضی و فرآیندهای ژئومورفیک دارند (۳). از این‌رو، بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی خاک‌ها تحت‌تأثیر موقعیت ژئومورفیک آن‌ها می‌باشد. علاوه‌بر این، طبیعت خاک به‌شدت فرآیندهای ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (٤). در نتیجه، نه تنها ژئومورفولوژی به درک فرآیندهای خاکسازی کمک می‌کند، بلکه پدولوژی نیز در بررسی فرآیندهای ژئومورفیک مهم می‌باشد (۵، ٦، 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 (شمال‌شرق 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-کینگ‌های تکامل زمین‌نما را مدل‌سازی نمودند. آن‌ها مشاهده نمودند که خاک‌های متنوع در واکنش به نوع رسوبات و شرایط اقلیمی تحت‌تأثیر 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 (۲۰۲٤) 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 تحت‌تأثیر 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 پشتی و پای شیب استفاده نمودند. آن‌ها مشاهده نمودند که خاک‌های واقع بر شیب پشتی

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 (١٤). گروه‌بندی خاک‌ها در سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی (۱۵) و جهانی (١٦) 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 شبه‌جزیره والدس، آرژانتین مطالعه یکپارچه‌ای روی رابطه خاک- ژئومورفولوژی و تکامل زمین‌نما 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 پوشش‌گیاهی مشاهده نمودند (۱۸). کاماچو و همکاران (۲۰۲۰) با مطالعه رابطه خاک- ژئومورفولوژی روی مخروط‌افکنه‌های جنوب‌شرق کاستاریکا دریافتند که منشأ مخروط‌افکنه‌ها و سن آن‌ها، درجه تکامل خاک‌ها را کنترل می‌نماید. خاک‌های هوادیده (التی‌سول‌ها و اکسی‌سول‌ها) در مخروط‌افکنه‌های قدیمی‌تر و خاک‌هایی با تکامل کم‌تر (انتی‌سول‌ها و این‌سپتی‌سول‌ها) روی مخروط‌افکنه‌های جوان‌تر توسعه یافته‌اند (۷).

میکرومورفولوژی خاک می‌تواند به‌عنوان 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. به‌عنوان نمونه، در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک عوارض خاک‌ساخت حاصل از کانی‌های تبخیری مانند 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 به‌دلیل شرایط جغرافیایی (آب‌وهوا، 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، به‌عنوان 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، پدیمنت، 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)،

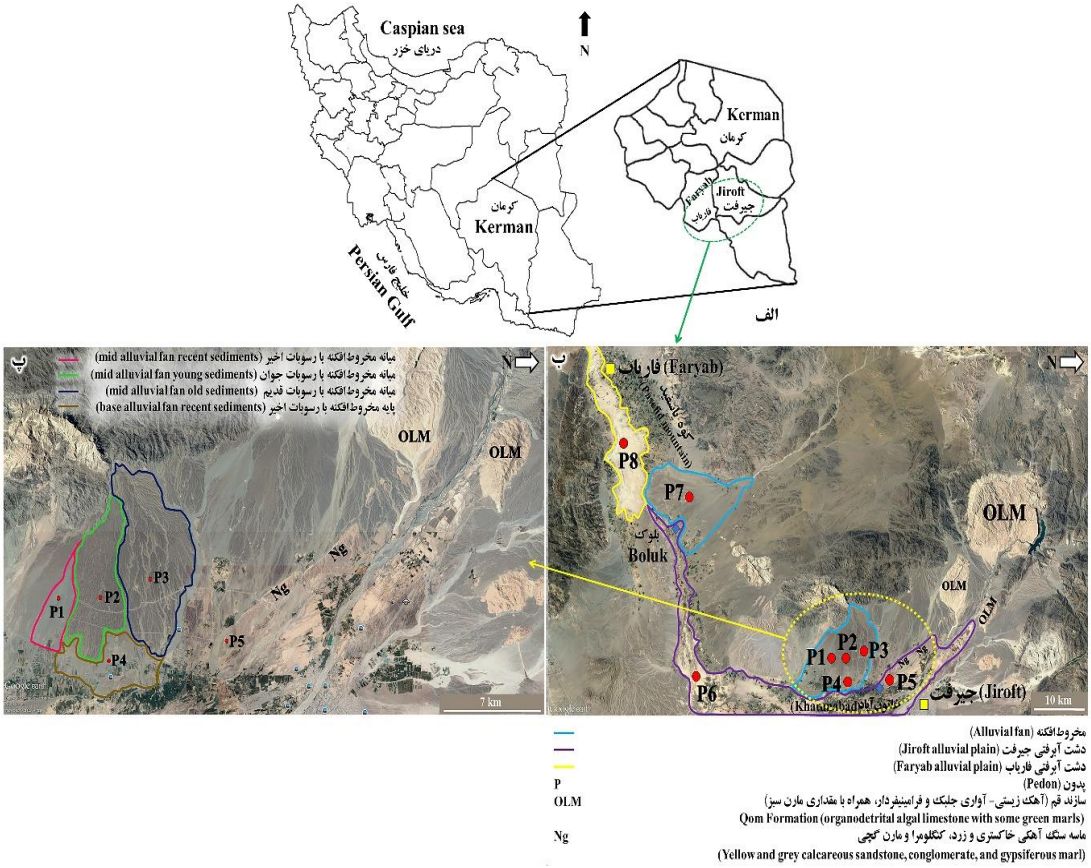
۳- بررسی نحوه اثرگذاری رده‌بندی خاک‌ها در انعکاس ویژگی‌های آن‌ها با استفاده از جدیدترین ویرایش‌های سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی (۲۰۲۲) و جهانی (۲۰۲۲).

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی: این پژوهش در بخشی از فلات مرکزی ایران (حوزه آبریز فرعی جازموریان) در شهرستان‌های جیرفت (مساحت تقریبی ۱۳۷۹۸ کیلومترمربع) و فاریاب (مساحت تقریبی ۱٤۰ کیلومترمربع) به‌ترتیب واقع در جنوب و جنوب‌غربی استان کرمان انجام شد (شکل ۱ الف). منطقه مورد مطالعه در قالب یک برش طولی (شمال- جنوب‌غربی) 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 به‌هم‌پیوسته غرب جیرفت (باهادا) و مقایسه آن‌ها با خاک‌های واقع بر مخروط‌افکنه‌های به‌هم 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 نیمه‌خشک با رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک به‌ترتیب اریدیک ضعیف و هایپرترمیک است (۲۳). از نظر زمین‌شناسی سازندهای مارن آهکی و گچی مربوط به دوره الیگو- میو- پلیوسن در این منطقه به‌صورت پراکنده وجود دارند (شکل ۱ ب و پ) (۲٤).

مطالعات صحرایی: در این پژوهش ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰۰)، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و مطالعات صحرایی، 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 به‌هم 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 جنوب‌غرب تا منطقه بلوک در مرز شهرستان فاریاب امتداد دارد (شکل ۱ ب). رشته کوه‌های بالای این مخروط‌افکنه از لحاظ زمین‌شناسی به‌طور عمده از سازندهای دوران پالئوزوئیک (فیلیت، ماسه‌سنگ دگرگونه، میکاشیست، آمفیبولیت، مرمر، کوارتزیت و آهک بلورین)، دوران مزوزوئیک (توف برش اسپیلیتی، ماسه سنگ، چرت و آهک) و کمی دوره ائوسن (ماسه‌سنگ آهکی زرد و خاکستری، کنگلومرا و مارن گچ‌دار) تشکیل شده‌اند (۲٤). مخروط‌افکنه منطقه خاتون‌آباد در مجموع به ٤ 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 آبراهه‌ای (بازدیدهای میدانی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰) به سه سطح ژئومورفیک میانی با رسوبات اخیر (حاصل از رسوب‌گذاری آبرفت‌های اخیر 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 ۱ پ) (۲٤). بخش میانی مخروط‌افکنه منطقه بلوک تمایز خاصی نشان نداده و بنابراین تنها به‌صورت یک سطح ژئومورفیک با رسوبات جوان (پدون هفت) جدا گردید (شکل ۱ ب). رشته‌کوه‌های بالای این مخروط‌افکنه به لحاظ زمین‌شناسی از سازندهای دوران پالئوزوئیک (آهک مرمری‌شده همراه با آمفیبولیت و شیست 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 آبرفتی فاریاب (پدون هشت) نیز با توجه به یکنواختی به لحاظ ژئومورفولوژی، به سطوح مختلف تقسیم نگردید (شکل ۱ ب). 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، ١٦).



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.

بررسی‌های آزمایشگاهی: درصد ذرات درشت خاک به روش حجمی (۱۵)، توزیع اندازه ذرات خاک به روش پی‌پت (۲٦)، pH گل اشباع توسط دستگاه pHمتر[1] و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع با استفاده از دستگاه ECمتر[2] تعیین گردیدند. کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۲۷)، گچ+ انهیدریت به روش استون (۲۷)، گچ به روش آون (۲۸) و انهیدریت به‌وسیله تفاضل میزان گچ+ انهیدریت از گچ (۲۱) اندازه‌گیری شدند. مقدار عددی SAR با استفاده از مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم محلول محاسبه شد که برای آن سدیم محلول با روش شعله‌سنجی (۲۹) و کلسیم و منیزیم محلول با استفاده از روش کمپلکسومتری (۳۰) اندازه‌گیری گردیدند.

مطالعات میکرومورفولوژی: برای انجام مطالعات میکرومورفولوژی، کلوخه‌های دست‌نخورده از افق‌های ژنتیکی خاکرخ‌ها برداشته‌شد. مقاطع نازک از کلوخه‌های دست‌نخورده مطابق راهنمای مورفی (۱۹۸٦) تهیه شدند (۳۱). بدین‌منظور، کلوخه‌های دست‌نخورده بعد از هوا خشک‌شدن، توسط رزین سه‌جزئی (۷۰ سی‌سی رزین، ۳۰ سی‌سی استایرین، ۲ قطره کبالت و ۵ قطره اسید استاریک) اشباع گردیدند. پس از سخت‌شدن نمونه‌ها و تهیه برش، یکی از وجوه نمونه با پودر سایش کاربراندوم (به‌ترتیب با اندازه مش‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ٤۰۰، ٦۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰) صیقل داده‌شد و سپس به‌وسیله رزین روی لام شیشه‌ای مات‌شده چسبانده شد. در مرحله بعد مجدداً با استفاده از پودر سایش کاربراندوم (به‌ترتیب با اندازه مش‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ٤۰۰، ٦۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰) ضخامت نمونه به کمک سایش تا رسیدن به ۳۰-۲۵ میکرومتر کم شد. در نهایت، مقاطع تهیه‌شده با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان[3]، زیر نور پلاریزه ساده و متقاطع بر اساس راهنمای استوپس (۲۰۰۳) مورد مطالعه، تشریح و عکس‌برداری قرار گرفتند (۳۲).

نتایج و بحث

در جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها آورده شده‌است. رده‌بندی خاک‌ها بر اساس دو سامانه رده‌بندی آمریکایی و جهانی در جدول ۲ ارائه شده‌است (۱۵، ۱٦). شکل ۲ تصویر شماتیک توالی افق‌های هر پدون و فرآیندهای خاکسازی آن‌ها را نشان می‌دهد.

مخروط‌افکنه: پدون‌های ۱ تا ٤ به‌ترتیب 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 ٤) شکل اراضی مخروط‌افکنه در منطقه خاتون‌آباد (شهرستان جیرفت) واقع شده‌اند که هر کدام از آن‌ها خاک‌هایی با خصوصیات خاص خود را شامل می‌شوند (شکل ۱ پ).

پدون ۱ در رسوبات اخیر میانه مخروط‌افکنه قرار دارد (شکل ۱ ب و پ). این پدون در سامانه رده‌بندی جهانی به‌صورت Eutric Skeletic Orthofluvic Fluvisol (Arenic) و در سامانه رده‌بندی آمریکایی در زیرگروه Typic Torriorthents رده‌بندی شد (جدول ۲) که هر دو سامانه به‌خوبی بیانگر ویژگی‌های این پدون هستند. در مطالعات صحرایی لایه‌بندی‌هایی از توزیع اندازه ذرات متفاوت قطعات درشت (ذرات بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر) در سرتاسر خاکرخ مشاهده شد که تأییدکننده رده‌بندی این پدون می‌باشند. لایه‌های تشکیل‌شده در این پدون همان‌گونه که نوع رسوبات آن نشان می‌دهد، بیانگر این واقعیت هستند که عامل اصلی در جابجایی ذرات، آب بوده‌است که در اثر تغییر شدت جریان (قدرت

1, 2- Jenway model
3- BK-POLTD model

حمل ذرات توسط آب) یا تغییر خصوصیات اندازه ذرات منبع برداشت، ایجاد شده‌اند. با توجه به موقعیت ژئومورفیک این پدون و نوع رسوبات آن (رسوبات اخیر)، می‌توان گفت این لایه‌بندی در طی توسعه و تکامل مخروط‌افکنه توسط جریان‌های آبی فصلی سطح آن حاصل گردیده‌است. از لحاظ ذرات ریز (کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر) بافت خاک در سرتاسر این پدون به‌صورت یکنواخت شن‌لومی (توصیف‌کننده آرنیک) می‌باشد (جدول ۱). پدون ٤ نیز در رسوبات اخیر پایه مخروط‌افکنه (شکل ۱ ب و پ) مشابه پدون ۱ دارای یک خاک رسوبی رودخانه‌ای (رده انتی‌سول، گروه مرجع فلووی‌سول)، فاقد تکامل و سنگریزه‌ای (توصیف‌کننده اسکلتیک) می‌باشد (جدول‌های ۱ و ۲). تفاوت پدون‌های ۱ و ٤ در بافت خاک آن‌ها می‌باشد. به‌نظر می‌رسد در بخش‌های پایینی مخروط‌افکنه به‌علت متمرکزشدن جریان آب و رسوبات و دریافت پیوسته رسوبات بالادست، تجمع ذرات ریز در پایه آن منجر به تشکیل بافت لوم‌شنی (توصیف‌کننده اپی‌لومیک) در افق‌های سطحی (A، C1) و بافت شن‌لومی (توصیف‌کننده کاتوآرنیک) در افق‌های زیرین (C2، C3) گردیده است (جدول ۱).

در سطح میانه مخروط‌افکنه روی رسوبات جوان (پدون ۲، شکل ۱ ب و پ) بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی یک خاک Typic Haplocalcids مشاهده گردید و به‌صورت Skeletic Calcisol (Katoarenic, Fluvic, Protogypsic, Epiloamic) در سامانه رده‌بندی جهانی نام‌گذاری شد (جدول ۲). این پدون به لحاظ مورفولوژیک دارای توده‌های نرم کلسیت و پندانت‌های کوچک گچ بلورین در دیواره خاکرخ بود (شکل ۳ الف و ب). میزان گچ در دامنه ۲/۳-۰/٤ درصد متغیر بود و بر اساس سامانه‌های رده‌بندی آمریکایی و جهانی امکان تعریف افق مشخصه ژیپسیک وجود نداشت (۱۵، ١٦). اما، سامانه رده‌بندی جهانی با تعریف توصیف‌کننده اصلی پروتوژیپسیک در بیان ویژگی‌های این پدون موفق‌تر عمل نموده‌است (١٦). دامنه تغییرات کربنات کلسیم در این پدون ۱۵-٦/۲۵ درصد بود (جدول ۱). سازندهای مارنی آهکی نزدیک این پدون به‌عنوان منشأ کربنات کلسیم این خاک می‌باشند (شکل ۱ ب و پ). احتمالاً با توجه به ارتفاع سازندهای آهکی منطقه نسبت به پدون و توپوگرافی منطقه، می‌توان گفت که کربنات کلسیم اولیه موجود در سازندهای بالادست توسط باد یا آب به این سطح ژئومورفیک منتقل و سپس همراه با جریان آب به‌صورت محلول و ذرات معلق به قسمت‌های پایین‌دست منتقل و ضمن نفوذ آب در خاک و رسوب مجدد به فرم توده‌های نرم تجمع و فرم ثانویه کربنات‌کلسیم معادل را در خاک تشکیل داده‌اند. افق‌های سطحی این پدون دارای بافت متوسط (توصیف‌کننده اپی‌لومیک) و افق‌های زیرین (توصیف‌کننده کاتوآرنیک) دارای بافت سبک بودند (جدول ۱). میزان هدایت الکتریکی در افق C این خاکرخ به مقدار قابل‌توجهی افزایش یافته‌است که احتمالاً به دلیل آب‌شویی نمک‌های محلول توسط آبراهه‌های سطحی مخروط‌افکنه در طی زمان به اعماق خاک بوده‌است (جدول ۱).

خاک Skeletic Calcic Gypsisol (Fluvic, Loamic) سطح میانی مخروط‌افکنه با رسوبات قدیم (پدون ۳) (جدول ۲) دارای مقادیر فراوانی از پندانت‌های 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، $CaSO_4.2H_2O$) در طی دوره‌های خشک در افق Bky گردیده‌است (شکل ۳ پ).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های مطالعاتی.

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

SAR ($meq\ L^{-1})^{0.5}$	CCE (%)	انهیدریت Anhydrite (%)	جیپسم Gypsum (%)	pH	EC (dSm^{-1})	کلاس بافتی Textural class	سنگریزه Gravel (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	عمق Depth (cm)	افق Horizon
پدون ۱- میانه مخروط‌افکنه- رسوبات اخیر												
Pedon 1- mid alluvial fan- recent sediments												
0.74	6	-	ng	8.2	0.8	LS	60	6	13	81	0-10	A
0.95	4	-	ng	8.0	0.5	LS	70	8	7	85	10-30	C1
1.89	5	-	ng	8.1	0.7	LS	82	7	8	85	30-45	C2
2.09	5.75	-	ng	8.0	1.7	LS	80	7	8	85	45-85	C3
1.02	2.5	-	1.3	8.0	0.4	LS	70	9	4	87	85-125	C4
پدون ۲- میانه مخروط‌افکنه- رسوبات جوان												
Pedon 2- mid alluvial fan- young sediments												
1.05	9	-	ng	8.2	0.8	SiL	20	14	61	25	0-5	A
2.76	15	-	1.3	8.0	0.5	SL	49	13	26	61	5-40	Bk1
1.55	7	-	2.3	8.2	0.3	LS	80	7	8	85	40-70	Bk2
2.26	6.25	-	2.3	8.0	0.9	LS	70	7	8	85	70-100	Bk3
2.25	9.5	-	0.4	8.2	5.8	SL	79	9	22	69	100-120	C
پدون ۳- میانه مخروط‌افکنه- رسوبات قدیم												
Pedon 3- mid alluvial fan- old sediments												
1.09	15	-	0.3	8.2	2.9	SiL	60	9	52	39	0-5	A
1.5	18.5	-	6.61	7.4	0.5	SL	65	7	26	67	5-30	Bky1
5.8	11.5	-	4.2	7.3	0.7	SL	60	9	20	71	30-60	Bky2
8.93	9.5	-	2.3	7.3	1.7	SL	70	7	20	73	60-90	Bky3
6.6	16	-	0.4	7.7	0.4	SL	70	7	24	69	90-120	Ck
پدون ٤- پایه مخروط‌افکنه- رسوبات اخیر												
Pedon 4- base alluvial fan-recent sediments												
0.88	6.5	-	ng	8.1	1.1	SL	55	11	26	63	0-10	A
1.99	7.25	-	ng	7.8	1.3	SL	80	9	14	77	10-40	C1
1.63	3	-	ng	8.0	1.5	LS	75	8	7	85	40-70	C2
2.24	5	-	1.3	7.9	2.2	LS	75	7	14	79	70-110	C3
پدون ۵- اراضی بالادست دشت آبرفتی جیرفت												
Pedon 5- Jiroft upward alluvial plain												
24.42	16.25	5	ng	7.4	10.4	SiL	40	7	70	23	0-10	Az
62.91	18.75	16	ng	7.4	63.8	L	65	10	41	49	10-40	Bkyzn1
32.1	11.25	13.4	ng	7.4	71.9	SL	65	7	32	61	40-70	Bkyzn2
40.55	8	3	ng	7.7	22.7	SL	78	9	18	73	70-110	Czn
پدون ٦- اراضی پایین‌دست دشت آبرفتی جیرفت												
Pedon 6- Jiroft downward alluvial plain												
182.52	7.75	-	ng	8.7	29.8	SiL	0	9	62	29	0-10	Az
88.69	6	-	12.07	8.9	20.6	SiC	0	47	50	3	10-40	Byzn
78.62	14.25	-	7	8.9	27.5	SiC	0	47	50	3	40-70	Bkyzn1
80.89	15	-	7	8.7	31.6	SiC	0	47	48	5	70-100	Bkyzn2
266.53	18.75	-	7	8.5	30.3	SiC	0	53	44	3	100-135	Bkyzn3
پدون ۷- میانه مخروط‌افکنه با رسوبات جوان												
Pedon 7- mid alluvial fan- young sediments												
27.81	19.5	ng	ng	8.1	14.6	SiL	0	13	84	3	0-10	A
118.08	21	ng	10	8.2	25.9	Si	0	8	89	3	10-40	Bkyzn1
55.35	20	ng	6	8.5	27.8	Si	0	7	84	9	40-70	Bkyzn2
79.00	14.25	ng	2	8.4	28.2	SiL	0	11	80	9	70-110	Bkzn1
13.40	14.25	ng	ng	8.3	37.8	SiL	0	12	71	17	110-140	Bkzn2
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	Bkyzn1
84.21	8.25	-	7	8	27.6	SL	60	9	16	75	40-70	Bkyzn2
51.51	10.75	-	6.5	8.1	21.6	SL	70	9	15	76	70-110	Bkyzn3
52	3.5	-	6.5	8.6	20	LS	60	7	14	79	110-140	Byzn

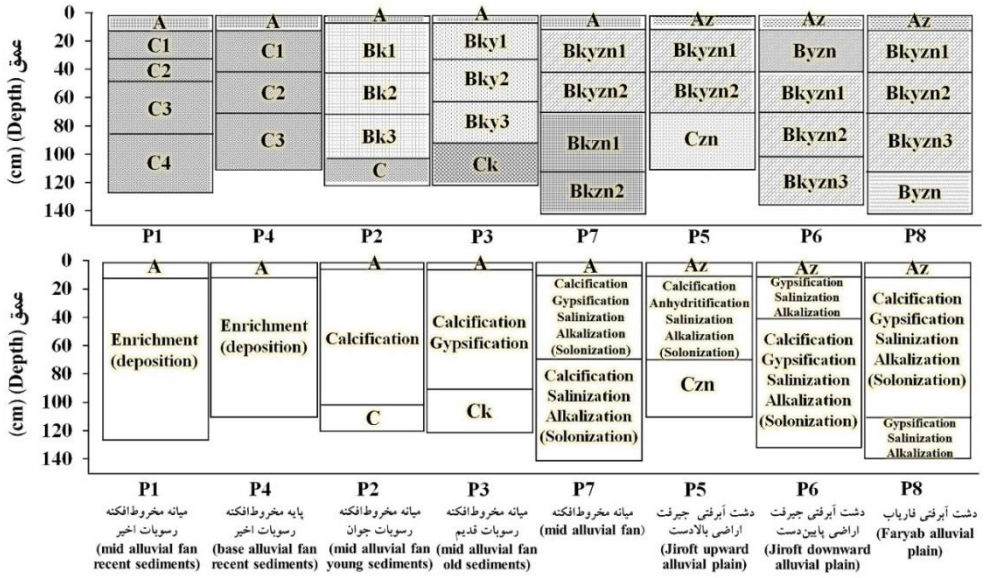
CCE: کربنات کلسیم معادل، ng: ناچیز

جدول ۲- رده‌بندی پدون‌های مورد مطالعه.

Table 2. Classification of the studied pedons.

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

ST: سامانه رده‌بندی آمریکایی (Soil Taxonomy, 2022)، WRB: سامانه طبقه‌بندی جهانی (World Reference Base for Soil Resources, 2022)



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

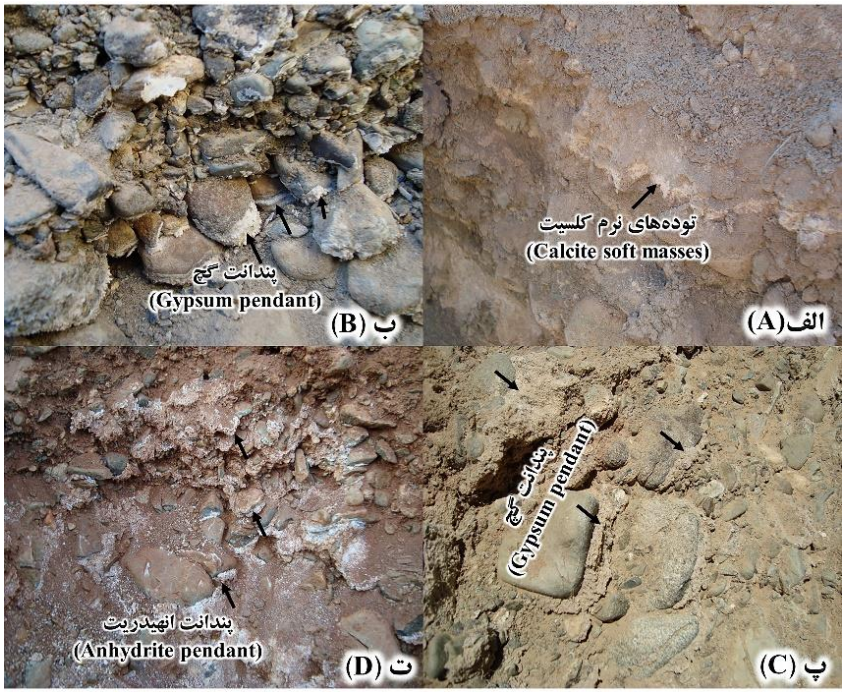
Figure 2. Schematic image showing sequence of horizons in pedons and soil forming processes involved.

تومانیان و همکاران (۲۰۰۱) نیز در افق‌های متکامل دشت‌های سیلابی فرسایش‌یافته و فلات‌ها بلورهای به‌هم متصل فیبری گچ را به‌طور 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 ۱ ب). ضمناً پژوهش‌گران دیگر نیز حضور گچ

در ایران مرکزی را از منشأ تبخیری می‌دانند (۳٤). هر دو سامانه رده‌بندی آمریکایی (Typic Calcigypsids) و جهانی به خوبی ویژگی‌های بارز این پدون را که رخ دادن فرآیندهای خاکسازی calcification و gypsification و در نتیجه تشکیل افق‌های مشخصه ژیپسیک و کلسیک است (جدول ۲، شکل ۲) را منعکس نمودند (۱۵، ۱٦).

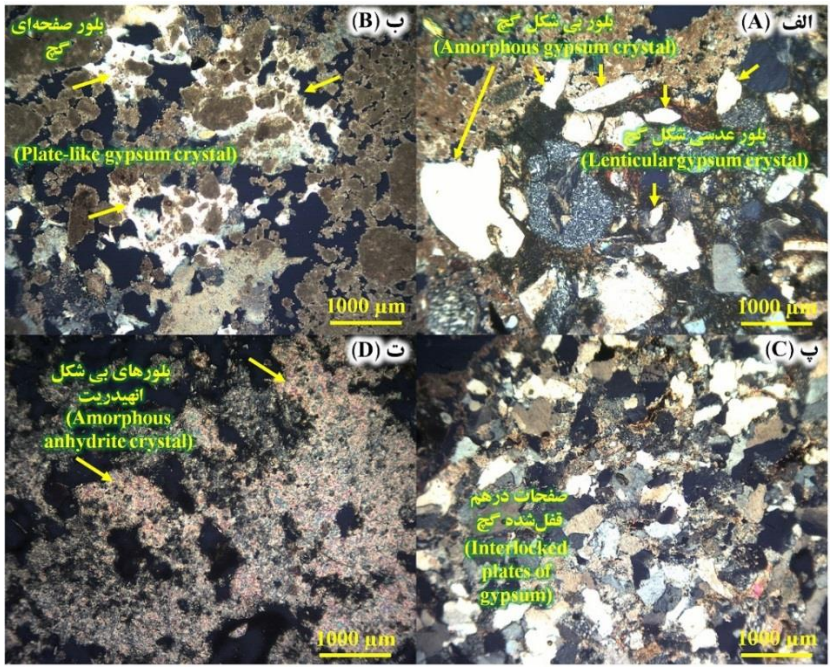
مطالعات میکرومورفولوژی این پدون به‌خوبی ویژگی‌های مورفولوژیکی (پندانت‌های گچ بلورین)، شیمیایی (حداکثر میزان گچ ٦/٦۱ درصد) و رده‌بندی (افق مشخصه ژیپسیک، گروه مرجع ژیپسی‌سول و زیررده ژیپسیدز) آن را تأیید نمودند. عارضه خاک‌ساخت گچ به‌صورت بی‌شکل، عدسی‌شکل و صفحه‌ای در زمینه خاک و درون خلل‌وفرج (پرشدگی منافذ) مشهود بود (شکل ٤ الف و ب). در شرایط اقلیمی خشک با رسوب‌گذاری گچ موجود در محلول خاک در داخل خلل‌وفرج، این پرشدگی‌ها تشکیل گردیده‌اند. نکته قابل توجه این است که افق‌های پدون ۳ از توالی تکاملی متفاوتی به‌لحاظ میکرومورفولوژی از بلورهای گچ برخوردار هستند. بدین‌گونه که در افق‌های سطحی (۳۰- ۵ سانتی‌متر) بلورهای گچ به‌صورت منفرد (عدسی‌شکل و بی‌شکل) در زمینه خاک یا درون خلل‌وفرج مشاهده شدند. این در حالی است که در افق‌های زیرسطحی (۹۰- ٦۰ سانتی‌متر)، بلورهای صفحه‌ای گچ به‌صورت صفحات درهم‌قفل‌شده در خلل‌وفرج (پرشدگی منافذ) مشاهده گردید. در این موقعیت ژئومورفیک بلورهای منفرد گچ همراه با جریان آب به‌صورت محلول به اعماق خاک منتقل شده و به‌صورت صفحات درهم‌قفل‌شده مجدداً رسوب نموده‌اند. این مشاهدات با نتیجه مطالعه تومانیان و همکاران (۲۰۰۱) که تکامل افق‌های ژیپسیک را به لحاظ میکرومورفولوژی روی فیزیوگرافی‌های مختلف بررسی نمودند، هم‌خوانی دارد (۳۳). آن‌ها این‌گونه عنوان کردند که در افق‌های ژیپسیک در مراحل اولیه تکامل مخروط‌افکنه (بخش‌های بالا) بلورهای گچ به‌صورت مجزا و یا خوشه‌ای در داخل خلل‌وفرج دیده شدند. در بخش‌های وسط و پایین مخروط‌افکنه، گچ به‌صورت 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 ٤) فاقد سنگریزه و خاک آن دارای بافت سیلتی (توصیف‌کننده سیلتیک) است (جدول‌های ۱ و ۲) که بیانگر 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 ائوسن ناشی می‌شوند (۲٤). به‌علاوه، در این سطح ژئومورفیک بر اساس سامانه رده‌بندی جهانی (۱٦) به‌علت زیاد بودن میزان هدایت الکتریکی یک خاک Calcic Gypsic Sodic Solonchak (Siltic) تشکیل شده‌است (جدول ۲). میزان هدایت الکتریکی این خاکرخ روند افزایشی با عمق را نشان می‌دهد (جدول ۱). در مقابل، گچ در عمق ۷۰-۱۰ سانتی‌متر خاک تجمع یافته‌است که میزان آن با افزایش عمق کاهش یافت (جدول ۱). میزان کربنات کلسیم معادل نیز روند کاهشی با افزایش عمق دارا می‌باشد (جدول ۱). روند کاهشی کربنات کلسیم و گچ و روند افزایشی هدایت الکتریکی با عمق بیانگر این است که شست‌وشوی نمک‌های محلول‌تر در طی زمان و تجمع آن‌ها در افق‌های زیرین رخ داده‌است. در مقابل نمک‌های با محلولیت کم در افق‌های بالاتر رسوب یافته‌اند (شکل ۲).



شکل ۳- توده‌های نرم کلسیت و پندانت‌های گچ بلورین در دیواره خاکرخ دو (الف و ب)، پندانت‌های گچ بلورین در دیواره خاکرخ سه (پ) و پندانت‌های انهیدریت 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 ٤- عوارض خاک‌ساخت گچ و انهیدریت در پدون‌های سه (الف: افق **Bky1**، ب: افق **Bky3**) و هفت (پ: افق **Bkyzn1**، ت: افق **Bkyzn2**).

Figure 4. Gypsum and anhydrite pedofeatures in pedons 3 (A: Bky horizon, B: Bk horizon) and 7 (C: Bkyzn1 horizon, D: Bkyzn2 horizon).

پدون ۷ بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی (۱۵) جزء خاک‌های گچی-آهکی (Typic Calcigypsids) محسوب می‌گردد (جدول ۲)؛ ولی در سامانه رده‌بندی جهانی (۱٦) یک خاک سولونچاک نام‌گذاری شد (جدول ۲). تفاوت در رده‌بندی این پدون در دو سامانه مزبور، به تعریف دو سامانه از افق مشخصه سالیک باز می‌گردد. در این پدون بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی (۱۵) امکان تفکیک افق مشخصه سالیک (به‌دلیل $EC < ۳۰\ dSm^{-1}$ در ۱۰۰ cm از سطح خاک معدنی) وجود ندارد. این در حالی است که سامانه رده‌بندی جهانی (۱٦) برای پدونی با این ویژگی‌ها $EC \geq ۱۵\ dSm^{-1}$ را برای تفکیک افق مشخصه سالیک ذکر نموده‌است. هم‌چنین، سامانه رده‌بندی جهانی (۱٦) علاوه‌بر انعکاس شوری زیاد این پدون، با استفاده از توصیف‌کننده اصلی سدیک به مقدار زیاد نسبت جذب سدیم (SAR≥۱۳) این پدون اشاره نموده‌است. دکرز و همکاران (۲۰۰۲) وسیع بودن تعریف‌های ارائه‌شده برای برخی از افق‌های مشخصه مشابه (مانند افق سالیک) 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 (۳٦).

بررسی مقاطع نازک این پدون صفحات درهم‌قفل‌شده بلورهای گچ و پرشدگی منافذ توسط بلورهای بی‌شکل انهیدریت را نشان دادند (شکل ٤ پ و ت). با تغییر رژیم رطوبتی خاک در طی اقلیم‌های متفاوت در اثر حل و رسوب مجدد بلورهای منفرد، عارضه خاک‌ساختی به نام صفحات درهم‌قفل‌شده بلورهای گچ تشکیل گردیده‌است. بلورهای بی‌شکل کانی تبخیری انهیدریت در این محیط شور با درجه حرارت زیاد به مقدار کم از دهیدراسیون گچ تشکیل و در محیط باقی مانده است. نتیجه مطالعات سایر پژوهش‌گران نیز بیانگر این مطلب است (۲۱، ۳۷).

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: پدون‌های ۵، ٦ و ۸ در دشت آبرفتی جیرفت و فاریاب واقع شده‌اند (شکل ۱ ب). پدون ۵ واقع در اراضی بالادست دشت جیرفت در مجاورت سازندهای مارن گچی (شکل ۱ پ) در سامانه رده‌بندی جهانی (۱٦) به‌صورت Calcic Gypsic Sodic Solonchak (Loamic, Hypersalic, Skeletic) نام‌گذاری شد (جدول ۲). در طی مشاهدات صحرایی پندانت‌های انهیدریت پودری به مقدار زیاد در دیواره خاکرخ مشاهده گردیدند (شکل ۳ ت). این سطح ژئومورفیک، برجای‌مانده از دریاچه‌های قدیمی حاصل از فعالیت‌های کوه‌زایی اواخر کرتاسه تا میوسن در ایران مرکزی می‌باشد (۳۷، ۳۸، ٤۰، ٤۱). مقادیر زیاد کانی تبخیری انهیدریت ($CaSO_4$) در خاک این سطح ژئومورفیک که احتمالاً در طی آب‌وهوای گرم و خشک ترشیاری بخشی از آن به‌صورت 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 رسانیده‌است (۳۷، ۳۸). فرآیند دگرگونی گچ به انهیدریت در

مطالعات میکرومورفولوژی این سطح ژئومورفیک با رشد بلورهای انهیدریت درون بلورهای گچ توسط سایر پژوهش‌گران گزارش شده‌است (۳۷). به‌علاوه، وجود سازند میوسن مارن گچی در نزدیکی این پدون، به‌عنوان 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 (١٦) 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 نشده‌است 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 مانند وجود افق مشخصه کلسیک (توصیف‌کننده کلسیک)، میزان هدایت الکتریکی زیاد (توصیف‌کننده هایپرسالیک) و سدیمی (توصیف‌کننده سدیک) و سنگریزه‌ای (توصیف‌کننده اسکلتیک) بودن بهتر عمل نموده‌است. در اینجا لازم به ذکر است که عدم وجود افق مشخصه انهایدریتیک ($CaSO_4$) در مقابل افق مشخصه ژیپسیک ($CaSO_4.2H_2O$) در سامانه رده‌بندی جهانی، یکی از نقایص این سامانه می‌باشد. سامانه رده‌بندی جهانی برخلاف مدنظر قرار دادن افق ژیپسیک و مواد ژیپسیریک، وجود انهایدریت را در افق‌ها، خصوصیات و مواد مشخصه و در نتیجه در دو سطح رده‌بندی (گروه‌های مرجع و توصیف‌کننده‌ها) خود نادیده گرفته‌است. 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 Bkyzn1 و Bkyzn1 این پدون به‌عنوان افق مشخصه ژیپسیک تفکیک شدند و توصیف‌کننده اصلی ژیپسیک 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 علاوه‌بر گچ، انهیدریت را نیز استخراج می‌نماید و آن را به‌عنوان کانی اولیه در نظر گرفته‌است (١٦). 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 ٦ در اراضی پایین‌دست دشت آبرفتی جیرفت واقع شده‌است (شکل ۱ ب). این پدون نیز مشابه پدون ۵ دارای یک خاک شور با رده‌بندی Calcic Gypsic Sodic Solonchak (Hypersalic, Clayic) در سامانه رده‌بندی جهانی (١٦) می‌باشد (جدول ۲)، با این تفاوت که این پدون به دلیل واقع‌شدن 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 ($CaSO_4.2H_2O$) است (جدول‌های ۱ و ۲). در مورد پدون ٦ هر دو سامانه رده‌بندی به خوبی افق‌های سالیک و ژیپسیک را در نظر گرفته‌اند.

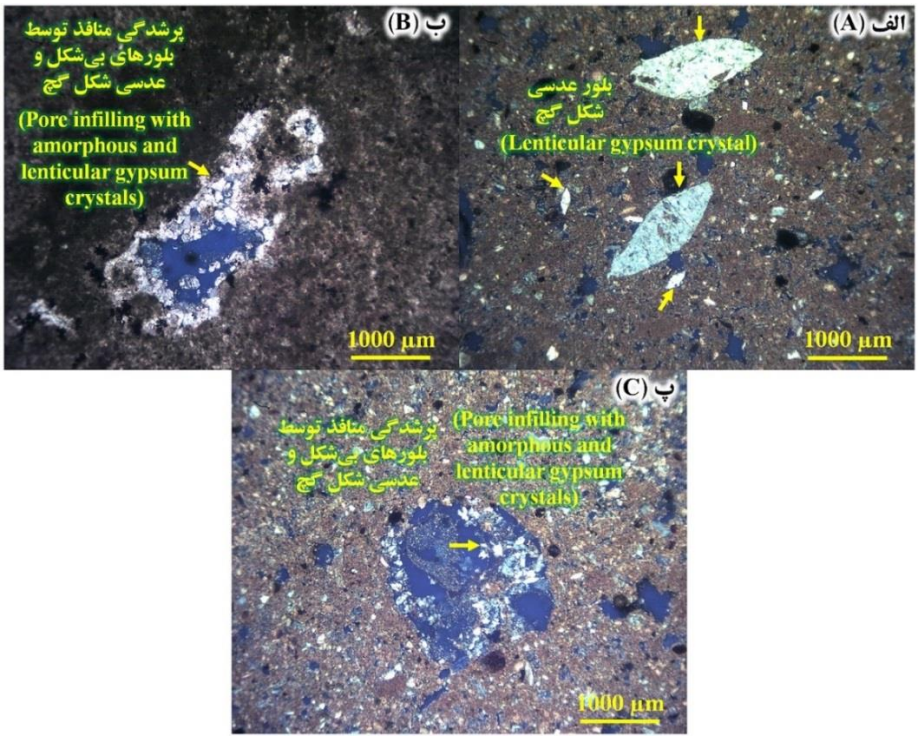
اما، حضور توأمان سه افق مشخصه سالیک، ژیپسیک و کلسیک، یکی از مشخصات مهم پدون ٦ می‌باشد که سامانه رده‌بندی آمریکایی قادر به بیان آن نیست (١٥). در مقابل سامانه رده‌بندی جهانی این مشخصه را کاملاً توصیف می‌نماید (١٦). سامانه رده‌بندی جهانی از یک‌سو در سطح اول خود با قرار دادن این پدون در گروه مرجع سولونچاک وجود افق سالیک را در ٥٠ سانتی‌متری از سطح خاک نشان می‌دهد و از سوی دیگر در سطح دوم خود با استفاده از توصیف‌کننده‌های اصلی ژیپسیک و کلسیک، افق کلسیک و ژیپسیک را در محدوده ١٠٠ سانتی‌متری از سطح خاک نشان می‌دهد (جدول ٢). به‌علاوه، با توجه به رده‌بندی این خاک در سامانه رده‌بندی آمریکایی مشخص می‌گردد که این سامانه مشابه با سامانه رده‌بندی جهانی (بالاتر بودن گروه مرجع ژیپسی‌سول‌ها نسبت به کلسی‌سول‌ها)، درجه اهمیت بالاتری را برای افق ژیپسیک نسبت به کلسیک در نظر گرفته‌است که این موضوع را در رده اریدی‌سول می‌توان از طریق مطرح شدن افق ژیپسیک در سطح بالاتری (زیررده Gypsids) نسبت به افق کلسیک (زیرده 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 ٥). بلورهای عدسی‌شکل، معمولی‌ترین شکل گچ در خاک می‌باشند که در تمامی شرایط امکان تشکیل آن‌ها وجود دارد (٤٢). بلورهای عدسی‌شکل گچ در افق‌های این پدون فاقد جهت‌گیری خاصی هستند که این امر بیانگر منشأ پدوژنیک این کانی می‌باشد (٤٣). پژوهش‌گران بر این باور هستند که اشباع بودن محلول خاک از سولفات کلسیم (٤٣)، نسبت بالای یون کلسیم در مقابل سولفات در محلول خاک، دمای زیاد (٤٤) از عوامل تأثیرگذار در تشکیل بلورهای عدسی‌شکل هستند. هم‌چنین، فرپور و همکاران (٢٠٠٣) کم‌شدن سنگریزه، ریزتر شدن خلل‌وفرج و ریزتر شدن بافت را در تشکیل گچ عدسی‌شکل مؤثر دانستند (١٩). علاوه‌بر این‌ها، وجود سدیم کلرید در خاک به‌عنوان ناخالصی شرایط را برای تشکیل بیش‌تر این نوع از بلورهای گچ فراهم می‌کند (٤٥). بنابراین، در این پدون به‌دلیل عدم وجود سنگریزه، بافت رسی و SAR زیاد شرایط برای تشکیل پدوژنیک بلورهای عدسی‌شکل گچ فراهم بوده‌است.

در دشت آبرفتی فاریاب (پدون ٨) یک خاک شور- سدیمی- گچی سنگریزه‌دار تشکیل شده‌است (جدول ٢). این پدون برخلاف پدون ٦ دارای بافت متوسط سبک (توصیف‌کننده لومیک) همراه با سنگریزه (توصیف‌کننده اسکلتیک) است (جدول‌های ١ و ٢). براساس سامانه رده‌بندی آمریکایی وجود افق مشخصه ژیپسیک و میزان SAR زیاد این پدون باعث گردیده است که در زیرگروه Sodic Haplogypsids قرار گیرد (جدول ٢). بنابراین، در سامانه رده‌بندی آمریکایی شوری لایه‌های متفاوت پدون ٨ مشخص نشده‌است؛ این در حالی است که قرار گرفتن این پدون در گروه مرجع سولونچاک در سامانه رده‌بندی جهانی (Gypsic Sodic Solonchak (Loamic, Skeletic)) نه تنها وجود افق سالیک را در ٥٠ سانتی‌متری از سطح خاک نشان می‌دهد، بلکه دو توصیف‌کننده ژیپسیک و سدیک، دو ویژگی مهم دیگر این پدون را به خوبی نشان می‌دهند (١٦). دلیل این امر تعریف متفاوت افق سالیک در این دو سامانه می‌باشد

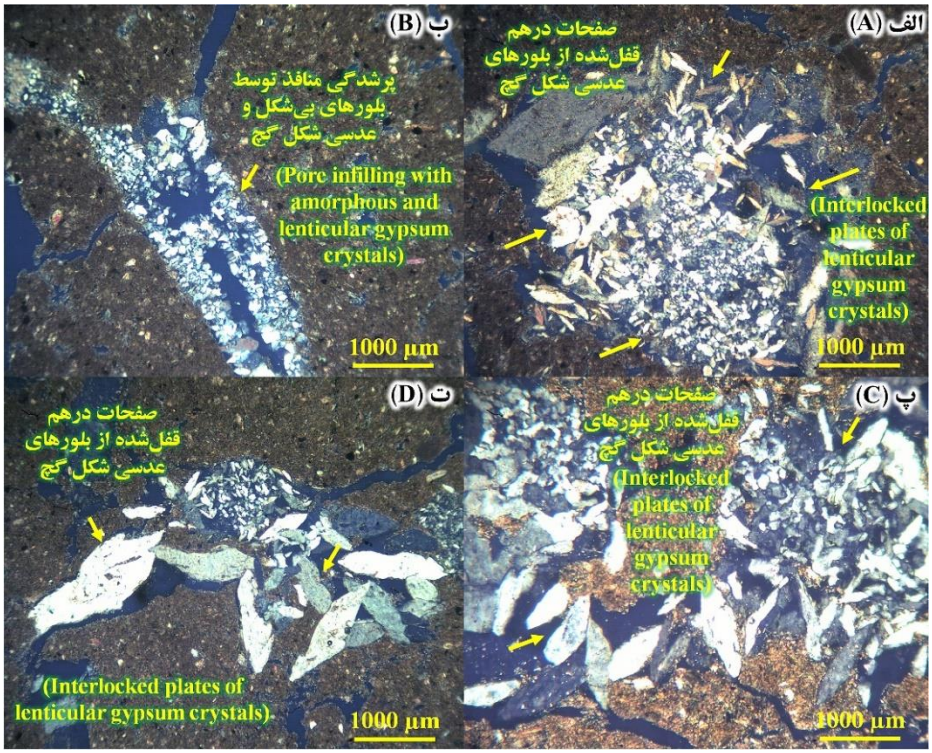
(۱۵، ١٦). از یک سو برخلاف این واقعیت که شوری خاک یکی از ویژگی مهم و بارز می‌باشد که هر دو سامانه در سطوح مختلف رده‌بندی خود آن را نسبت به سایر ویژگی‌های خاک در الویت قرار داده و آن را عامل محدودکننده در نظر می‌گیرند. از سوی دیگر، توجه به رشد گیاه، یکی از اهداف اصلی سامانه رده‌بندی آمریکایی است و شوری خاک در مواردی مانند رشد گیاه، مسائل زیست محیطی، اصول مهندسی خاک و غیره اهمیت دارد. اما، به نظر می‌رسد که تعریف افق سالیک در سامانه رده‌بندی جهانی نسبت به سامانه رده‌بندی آمریکایی بهتر در نظر گرفته شده‌است (۱۵، ١٦).

مطالعات میکرومورفولوژی افق‌های Bkyzn و Byzn این پدون بلورهای عدسی‌شکل گچ را به‌صورت صفحات درهم قفل‌شده که منافذ را پر نموده بودند، نشان داد (شکل ٦). برخلاف شرایط پدون ٦ به اعتقاد برخی دیگر از پژوهش‌گران بلورهای عدسی‌شکل گچ در شرایط بافت سبک، محدود نبودن فضای خلل‌وفرج و ناخالصی یونی زیاد (کلرید سدیم) نیز تشکیل می‌شوند (٤٥، ٤٦). با توجه به بافت سبک و SAR زیاد این پدون از یک‌سو و نیز به‌دلیل انحلال‌پذیری نسبتاً زیاد گچ از سوی دیگر، تغییر اندک در رطوبت محیط منجر به انحلال بلورهای عدسی‌شکل و رسوب آن‌ها به‌صورت صفحات درهم‌قفل‌شده شده‌است (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).



شکل ٦- عوارض خاک‌ساخت گچ در پدون هشت (الف و ب: افق Bkyzn3، پ و ت: افق Byzn).

Figure 6. Gypsum pedofeatures in pedon 8 (A and B: Bkyzn3 horizon, C and D: Byzn horizon).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، ارتباط خاک- ژئومورفولوژی به‌خوبی مشاهده گردید. در مخروط‌افکنه منطقه خاتون‌آباد، پدون‌های واقع بر رسوبات اخیر دارای خاک رسوبی رودخانه‌ای (گروه مرجع فلووی‌سول، رده انتی‌سول، فرآیند خاکسازی رسوب‌گذاری)، پدون واقع بر رسوبات جوان دارای خاک آهکی (گروه مرجع کلسی‌سول و توصیف‌کننده پروتوژیپسیک، گروه بزرگ هاپلوکلسیدز، فرآیند خاکسازی آهکی‌شدن) و پدون واقع بر رسوبات قدیم دارای خاک گچی-آهکی (گروه مرجع ژیپسی‌سول و توصیف‌کننده کلسیک، گروه بزرگ کلسی‌ژیپسیدز، فرآیندهای خاکسازی آهکی و گچی‌شدن) بودند. بنابراین، همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش قدمت رسوبات (نشان‌گر پایدار بودن سطح ژئومورفیک) فرآیندهای خاکسازی منجر به تشکیل افق‌های تجمعی مشخصه و تکامل خاک‌ها شدند. منشأ و نوع رسوبات مخروط‌افکنه روی نوع و درجه تکامل خاک‌های واقع بر آن نقش مؤثری دارد. خاک‌های واقع بر مخروط‌افکنه منطقه بلوک فاقد سنگریزه و شور و سدیمی بودند. در مقابل خاک‌های واقع بر مخروط‌افکنه منطقه خاتون‌آباد دارای سنگریزه و غیرشور و غیرسدیمی بودند. در دشت‌های آبرفتی جیرفت و فاریاب همان‌گونه که از این شکل اراضی انتظار می‌رفت خاک‌های شور و سدیمی با افق‌های تجمعی مشخصه سالیک، انهایدریتیک، ژیپسیک 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 به‌دلیل 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 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 خاک‌ساخت مشاهده شده در مقاطع نازک (بلورهای عدسی‌شکل، بی‌شکل، صفحه‌ای و صفحات درهم‌قفل‌شده گچ و بلورهای بی‌شکل انهیدریت) به‌خوبی ویژگی‌های مورفولوژیکی، شیمیایی و رده‌بندی خاک‌ها را تأیید نمودند. از این‌رو، مطالعات میکرومورفولوژی به‌عنوان یک ابزار مکمل اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با نحوه تشکیل و تکامل خاک‌ها و در نتیجه مطالعات خاک- ژئومورفولوژی فراهم می‌نماید.

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., & Noellemeyer, 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. **dor:20.1001.1.22518517.1382.7.3.6.9.** [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/ agronmonogr 9.2.2ed.**
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. Esfandiarpoor, 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:10.1306/212F78 A6-2B24-11D7-8648000102C1865D.**
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]