

بررسی تشکیل و تکامل خاک‌های گچی مناطق جیرفت و عنبرآباد، جنوب استان کرمان

سهیلا افرا^۱، ناصر برومند^۲، محمدهادی فرپور^۳، صالح سنجرى^{۴*}

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹)

چکیده

جهت مدیریت بهتر خاک‌های گچی، آگاهی از پراکنش و ویژگی‌های مختلف آن‌ها ضروری می‌باشد. پژوهش حاضر به منظور مطالعه نحوه تشکیل، طبقه‌بندی، میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی خاک‌های گچی در مناطق جیرفت و عنبرآباد، جنوب استان کرمان انجام گرفت. برای این منظور هفت خاکرخ، جانمایی، تشریح و نمونه‌برداری شدند. نمونه‌های خاک تحت آزمایش‌های مرسوم فیزیکوشیمیایی، میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی رس قرار گرفتند و در نهایت خاک‌های منطقه بر اساس دو سیستم رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) و طبقه‌بندی جهانی (۲۰۱۵) نام‌گذاری و مقایسه شدند. سازندهای مارن گچی در ارتفاعات، منشأ گچ در خاک‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد. خاک‌های منطقه بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی در دو زیررده جیپسیدز و سالیدز و بر اساس سیستم طبقه‌بندی جهانی در سه گروه مرجع جیپسی سولز، سولونچاک و سلونتر قرار گرفتند. بررسی مقاطع نازک نشان‌دهنده وجود پوشش و بلورهای عدسی شکل گچ و پوشش رس می‌باشد. بلورهای عدسی شکل گچ در خاک‌هایی با بافت ریز مشاهده شدند. پوشش‌های رس مشاهده شده در دو افق ناتریک و آرچلیک، به ترتیب به دلیل نقش پراکندگی سدیم و اقلیم مرطوب‌تر گذشته می‌باشد. مطالعه کانی‌شناسی رس نشان‌دهنده وجود کانی‌های ایلیت، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت، سپیولیت و پالیگورسکیت در خاک‌های منطقه می‌باشد. وجود گچ در خاک و نیز سازندهای تبخیری موجود در منطقه باعث تشکیل کانی‌های پالیگورسکیت و سپیولیت در خاک شده بود. بین میزان پالیگورسکیت و سپیولیت با میزان اسمکتیت ارتباط معکوسی مشاهده شد، به طوری که به دلیل هوادیدگی بیشتر طی اقلیم مرطوب‌تر گذشته و با کاهش میزان گچ، بر میزان اسمکتیت افزوده شده و از میزان کانی‌های پالیگورسکیت و سپیولیت کاسته شده است.

واژه‌های کلیدی: سپیولیت، میکرومورفولوژی، اقلیم گذشته، تکامل خاک، طبقه‌بندی خاک

افرا س.، برومند ن.، فرپور م.ه.، سنجرى ص. ۱۴۰۲. بررسی تشکیل و تکامل خاک‌های گچی مناطق جیرفت و عنبرآباد، جنوب استان کرمان. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۱، شماره ۱. صفحه: ۴۳-۵۷.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان

۳- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان

۴- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت

* پست الکترونیک: sanjari@ujiroft.ac.ir

مقدمه

گچ از غالب‌ترین کانی‌های سولفات‌ها در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Doner & Warren, 1989). خاک‌های گچی در حدود دویست میلیون هکتار از اراضی سطح زمین را پوشش می‌دهند (Nettleton, 1991). ایران با دارا بودن حدود ۲۸ میلیون هکتار خاک گچی، بیشترین گسترش این نوع خاک‌ها را در میان سایر کشورها دارد (Mahmoodi, 1994; Mahmoodi & Haidari, 1998). با توجه به ویژگی‌های خاص خاک‌های گچی از جمله فرسایش‌پذیری زیاد و حاصلخیزی کم، برای استفاده از این اراضی مدیریت خاصی نیازمند است.

منابع مختلفی از جمله هوادیدگی در جای مواد مادری (Carter & Inskeep, 1988)، منابع دریایی غنی از سولفات (Taimah, 1992)، رسوبات بادرفتی و آبرفتی (Taimah, 1992; Buck & Van Hoesen, 2002) و اکسیداسیون پیریت (Mermut & Arshad, 1987) برای گچ در خاک ارائه شده است. طی مطالعه‌ای در منطقه اصفهان خادمی و همکاران (Khademi et al., 1997) با استفاده از روش ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد و اکسیژن، رسوبات تبخیری میوسن را منشأ گچ گزارش کردند. فرپور و همکاران (Farpoor et al., 2003) منشأ گچ را در منطقه رفسنجان در نتیجه فعالیت‌های کوهزایی اواخر کرتاسه تا میوسن بیان کردند.

فرپور و همکاران (Farpoor et al., 2003) در مطالعه‌ای دیگر نحوه تشکیل اریدی‌سول‌های گچی و نمکی منطقه نوق رفسنجان را در ارتباط با سطوح ژئومورفیک بررسی کردند. بر اساس مطالعه، آن‌ها آویزه‌های بزرگ گچی و نیز اشکال میکروسکوپی صفحه‌ای، عدسی، کرمی شکل و صفحات در هم قفل شده گچ در پدیمنت سنگی مشاهده شدند، که به طرف پایین شیب اشکال عدسی شکل و کرمی شکل افزایش می‌یابد. همچنین فرپور و همکاران (Farpoor et al., 2002) کانی‌های اسمکتیت، پالیگورسکیت، ایلیت و کلریت را در کلیه خاک‌های منطقه نوق رفسنجان گزارش کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که پس از تبلور گچ در محیط‌های دریاچه‌ای قدیمی، نسبت Mg/Ca در آب افزایش یافته و شرایط برای تشکیل پالیگورسکیت به صورت نئوژن در سواحل قدیمی (پدیمنت سنگی) مهیا شده و در ادامه در نتیجه تبخیر و تبلور گچ و پایین افتادن سطح آب دریاچه این نسبت

کاهش یافته و بنابراین شرایط تشکیل خاک‌ساز اسمکتیت در سطح ژئومورفولوژی پایین دست منطقه فراهم شده است. فرپور و ایران‌نژاد (Farpoor & Irannejad, 2013) در مطالعه خاک‌های مخروط‌افکنه گیودری رفسنجان، حضور کانی‌های رسی اسمکتیت، ایلیت، پالیگورسکیت و کائولینیت را در اکثر خاک‌های این منطقه گزارش نمودند. آن‌ها تبدیل پالیگورسکیت به اسمکتیت در افق سطحی موقعیت ناپایدار مخروط‌افکنه و حفظ کانی پالیگورسکیت در اطراف بلورهای گچ در افق جیسیسک واقع بر سطح پایدار مخروط‌افکنه را از مهمترین یافته‌های پژوهش خود دانستند. طی مطالعه کانی‌شناسی خاک‌های گچی شمال ارومیه، پاشایی و منافی (Pashaei & manafi, 2017) کانی‌های اسمکتیت، ایلیت، کلریت، کائولینیت، ورمی-کولیت و پالیگورسکیت را به‌عنوان کانی‌های رسی غالب در این خاک‌ها مشاهده کردند. آن‌ها طی مقایسه کانی-شناسی رس خاک‌های با مقادیر مختلف گچ، حضور بیشترین مقدار اسمکتیت را در خاک‌هایی با بیشترین مقدار گچ نشان دادند. کانی پالیگورسکیت را تنها در خاک‌هایی با مقادیر بالای گچ شناسایی کردند، در حالی‌که این کانی را در خاک‌هایی با مقادیر کم گچ مشاهده نکردند. عبدلی و جعفری (Abdoli & Jafari, 2018) طی مطالعه خاک‌های گچی استان خوزستان به ترتیب فراوانی، کانی‌های اسمکتیت، کائولینیت، ایلیت، کلریت، پالیگورسکیت، ورمی کولیت و سپیولیت را گزارش نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان سپیولیت در خاک‌های حاوی گچ کاهش یافته اما در افق‌های انباشت گچ، پالیگورسکیت بیشتر می‌باشد. از طرفی رابطه معکوسی بین پالیگورسکیت و اسمکتیت گزارش کردند، به طوری که بیشترین میزان پالیگورسکیت و اسمکتیت را به ترتیب در افق‌های سطحی و زیرسطحی مشاهده نمودند. آن‌ها تشکیل ورمی کولیت را به دلیل تخلیه پتاسیم در مرحله حدواسط تبدیل ایلیت به اسمکتیت نسبت دادند. مقبلی و همکاران (Moghbeli et al., 2019) ارتباط خاک و زمین‌نما را در منطقه خشک فاریاب واقع در استان کرمان بررسی کردند. نتایج میکرومورفولوژی آن‌ها نشان‌دهنده وجود عوارض خاک‌ساخت گچ و آهک (به‌صورت پوشش و پرشدگی)، بلورهای عدسی شکل و صفحات در هم قفل-شده گچ و پوشش رس می‌باشد. بر اساس نتایج کانی-شناسی به ترتیب فراوانی کانی‌های ایلیت، پالیگورسکیت،

جغرافیایی $۵۷^{\circ} ۳۵'$ تا $۵۷^{\circ} ۵۵'$ شرقی قرار دارد (شکل ۱). شکل ۱ پراکنش سازند مارن گچی در منطقه را نشان می‌دهد. این سازندها مربوط به دوره ترشیاری بوده (Babakhani *et al.*, 1992) و از بقایای تبخیری دریای قدیمی تتیس حاصل شده‌اند. بخشی از این مواد مادری نیز آبرفت‌های گچ‌داری می‌باشند که از فرسایش بخش‌های مرتفع به قسمت‌های پست دشت و پدیمت منتقل شده‌اند (شکل ۱). رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در منطقه مورد مطالعه، به ترتیب، اریدیک و هایپرترمیک می‌باشند (Banaie, 1998).

بر اساس مطالعات صحرایی و بررسی‌های تصاویر گوگل ارث، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی، اشکال اراضی دشت آبرفتی، تپه، دشت دامنه‌ای، پدیمت سنگی و پدیمت پوشیده که متأثر از سازند مارن گچی بودند، در منطقه شناسایی شدند. سطوح پایدار و ناپایدار در خاک‌های منطقه با توجه به تکامل خاکرخ (مشاهده افق آرجیلیک) تقسیم‌بندی شدند. موقعیت هفت خاکرخ حفر شده در منطقه مورد مطالعه طوری انتخاب شدند که در برگزیده پراکنش کافی از سازندهای گچی و سطوح ژئومورفیک مختلف در منطقه باشند (شکل ۱) و پس از حفر، با استفاده از دستورالعمل تشریح خاکرخ (Schoeneberger *et al.*, 2012) مطالعه و نمونه‌برداری

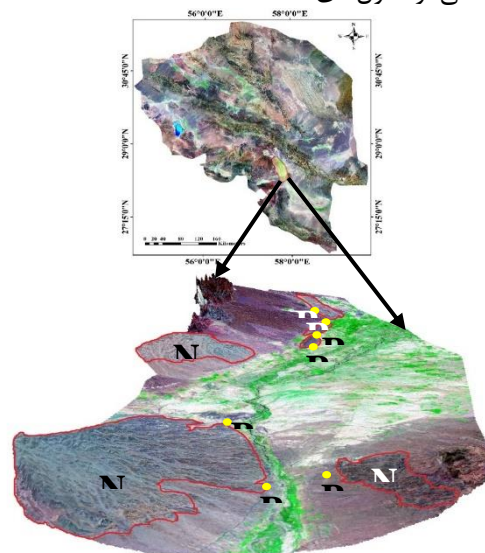
کلریت، اسمکتیت، کائولینیت، ورمی‌کولیت و کوارتز را گزارش کردند. بیشترین میزان پالیگورسکیت در افق‌های تجمعی گچ در واحدهای تپه و مخروط‌افکنه مشاهده شد و با حرکت به سمت واحدهای مرکزی دشت به میزان زیادی از مقدار این کانی کاسته شده و بر میزان اسمکتیت افزوده می‌شود.

با توجه به نبود گزارش مدون خاکشناسی از پراکنش خاک‌های گچی در منطقه جیرفت و عنبرآباد واقع در جنوب استان کرمان از یک سو و اهمیت زیاد مطالعات خاک‌های گچی جهت مدیریت اراضی متأثر از این نوع خاک‌ها از سوی دیگر، پژوهش حاضر به منظور دست‌یابی به اهداف زیر صورت پذیرفت: ۱- شناسایی پراکنش خاک‌های گچی و تعیین ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیکوشیمیایی، میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی رس آن‌ها، ۲- مطالعه پیدایش این خاک‌ها به همراه بررسی کارایی دو سامانه رده‌بندی آمریکایی و طبقه‌بندی جهانی.

مواد و روش‌ها

مطالعات صحرایی

منطقه مورد مطالعه بخشی از شهرستان جیرفت و عنبرآباد واقع در جنوب استان کرمان و بین عرض‌های جغرافیایی $۲۸^{\circ} ۰۵'$ تا $۲۸^{\circ} ۴۰'$ شمالی و طول‌های



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در استان کرمان به همراه محل خاکرخ‌های شاهد

— Ng: مارن گچ دار، P: شماره خاکرخ

Figure 1. Location of the study area in Kerman province along with the place of representative pedons
Ng: gypsiferous marl, P: pedon number

بررسی‌های آزمایشگاهی

نمونه‌ها در آزمایشگاه هواخشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و مقدار ذرات درشت به روش حجمی (ذرات بزرگتر از دو میلی‌متر) تعیین گردید (Soil Survey Staff, 2014). برای تعیین بافت خاک از روش پیپت (Gee & Bauder, 1986) استفاده گردید. به ترتیب از دستگاه پهاش‌متر و هدایت‌سنج الکتریکی برای اندازه‌گیری پهاش خمیر اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع خاک استفاده شد. برای اندازه‌گیری گچ از روش ترسیب با استون (Nelson, 1982) استفاده شد. اندازه‌گیری کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (Nelson, 1982) انجام شد. برای اندازه‌گیری سدیم محلول از دستگاه نشر اتمی استفاده شد (Gammon, 1951). اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم محلول به روش تیتراسیون انجام گرفت (Ringbom *et al.*, 1958). مقدار عددی نسبت سدیم جذب، با استفاده از مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم محلول محاسبه شد (Richards, 1954). در نهایت، بر اساس نتایج آزمایشگاهی و با توجه به مشاهدات صحرایی، طبقه‌بندی خاک‌ها بر اساس دو سیستم طبقه‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2014) و جهانی (IUSS Working Group WRB, 2015) انجام پذیرفت. به منظور انجام مطالعات میکرومورفولوژی، کلوخه‌های دست‌نخورده با استفاده از رزین سه‌جزئی وستاپول¹ و تحت مکش، تلقیح و در شرایط هوای آزاد سخت و خشک شدند. در نهایت مطالعه و تفسیر مقاطع نازک تهیه‌شده، توسط میکروسکوپ پلاریزان مدل BK-POL در دو حالت نور پلاریزه‌ی صفحه‌ای (PPL) و متقاطع (XPL) بر اساس راهنمای استوپس (Stoops, 2003) صورت پذیرفت. برای تعیین نوع کانی‌های رسی در خاک‌های منطقه تعداد سه خاکرخ از بین هفت خاکرخ شاهد با در نظر گرفتن تنوع فرآیندهای خاک‌سازی و شرایط اقلیمی متفاوت زمان حال و گذشته انتخاب شدند که شامل خاکرخ‌های دوم (افق‌های Btkzn و Btyzn1)، چهارم (افق Bk) و ششم (افق Bt) می‌باشد. از روش جکسون (Jackson, 1975) و کیتریک و هوپ (Kittrick & Hope, 1963) برای حذف مواد سیمانی و جدا نمودن بخش رس استفاده گردید. چهار تیمار مختلف شامل اشباع با منیزیم، اشباع با

پتاسیم، اشباع با منیزیم و تیمار اتیلن‌گلیکول، اشباع با پتاسیم و تیمار حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد بر روی هر یک از نمونه‌ها اعمال گردید. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به‌وسیله دستگاه پراش پرتو ایکس مدل بروکر D8 با فلز هدف مس در ولتاژ ۴۰ کیلوولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر، سرعت اسکن ۰/۰۲ درجه در یک ثانیه بررسی شدند.

نتایج و بحث

مورفولوژی، فیزیکوشیمیایی و رده‌بندی خاک‌ها

جدول ۱ برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکرخ‌های شاهد را نشان می‌دهد. بافت خاک منطقه به‌طور کلی نسبتاً سبک می‌باشد (جدول ۱). بر اساس نتایج جدول ۱ پهاش خاک قلیایی بوده و در دامنه ۷/۱ تا ۷/۹ متغیر می‌باشد. مقدار پهاش در خاک تابع میزان کربنات کلسیم، گچ و شوری است (Sposito, 2008). میزان نسبت سدیم جذبی در موقعیت‌های مختلف منطقه در محدوده ۰/۸ تا ۵۸/۳ می‌باشد (جدول ۱). هدایت الکتریکی خاک‌ها در دامنه ۱/۵ تا ۳۳/۷ دسی‌زیمنس بر متر است. بیشترین میزان هدایت الکتریکی و نسبت سدیم جذبی مربوط به خاکرخ دوم واقع در سطح تپه، به‌دلیل متأثر شدن از سازندهای نئوژن گچی و نمکی می‌باشد. میزان کربن آلی از ۰/۰۴ تا ۰/۴۳ درصد متغیر است (جدول ۱). از عوامل مهم و تأثیرگذار بر کاهش کربن آلی خاک می‌توان به اقلیم خشک کنونی منطقه از یک‌سو و تجمع املاح و گچ در افق‌ها از سوی دیگر اشاره کرد. میزان کربنات کلسیم معادل در محدوده ۶ تا ۳۵ درصد بوده است (جدول ۱). کربنات کلسیم ثانویه فقط در خاکرخ‌های دوم و چهارم به شکل توده‌های نرم مشاهده شد، که با در نظر گرفتن میزان کربنات کلسیم معادل، این خاکرخ‌ها تأییدی بر وجود افق کلسیک می‌باشد. با توجه به اقلیم خشک زمان حال، مشاهده افق کلسیک نشان‌دهنده رطوبت قابل دسترس بیشتر در زمان گذشته منطقه می‌باشد. رطوبت قابل دسترس بیشتر در اقلیم گذشته باعث شست‌وشوی کربنات‌ها و تجمع آن‌ها در بخش‌های زیرین خاکرخ‌های دوم و چهارم شده است. قاسم‌زاده و همکاران (Ghasemzadeh *et al.*, 2016) طی مطالعه خاک‌های حاشیه پلایای بجزستان وجود افق کلسیک (Bk) در خاک‌های منطقه را نشان‌دهنده یک دوره نسبتاً مرطوب‌تر نسبت به زمان حاضر دانستند.

1. Vestapool

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه
Table 1. Selected physical and chemical properties of studied pedons

Horizon	Depth (cm)	Particle size distribution (%)			Textural class	RF (%)	pH	ECe (dS m ⁻¹)	CCE (%)	Gypsum (%)	SAR (mmol l ⁻¹) ^{0.5}	OC (%)	Soil formation processes
		Clay	Silt	Sand									
Pedon 1 Alluvial plain S.T :Typic Haplogypsis, WRB : Skeletic Gypsisol (Amphiarenic, Epiloamic)													
A	0-20	10.7	32	57.3	SL	45	7.7	1.5	16	3.7	2.3	0.14	Eluviation
By1	20-85	6.7	10	83.3	LS	44	7.5	4.2	8	42	2.6	0.09	Gypsification
By2	85-150	10.7	12	77.3	SL	52	7.5	3.4	21	32	3.2	0.09	Gypsification
By3	150-210	10	8.7	81.3	LS	63	7.4	4.9	9	11	2.6	0.04	Gypsification
C	210-250	16.7	16	67.3	SL	45	7.6	3.4	7	4.2	3.9	0.04	-
Pedon 2 Hill ST :Gypsic Haplosalids, WRB :Salic Gypsic Solonetz (Pantoloamic, Cutanic, Differentic)													
A	0-35	10.7	12	77.3	SL	31	7.7	3.4	9	ng	9.0	0.14	Eluviation
By	35-75	18.7	34	47.3	L	-	7.1	9.4	12	37.2	11.6	0.14	Gypsification
Btyzn1	75-115	36.7	50	13.3	SiCL	-	7.5	33.7	6	31.6	58.3	0.04	Salinization, Alkalization
Btyzn2	115-160	30.7	48	21.3	CL	-	7.3	23.8	15	11.2	46.0	0.04	Gypsification, Salinization, Solonization
Btkzn	160-225	30.7	42.7	26.6	CL	-	7.3	25.7	30	4.2	44.1	0.04	Calcification, Salinization, Alkalization
Bkn	225-240	10.7	10	79.3	SL	-	7.3	24.1	35	1.3	51.8	0.09	Calcification, Solonization
Pedon 3 Stable surface of piedmont plain S.T :Typic Haplogypsis, WRB: Skeletic Gypsisol (Hypogypsic, Anoloamic, Ochric)													
A1	0-10	10.7	23	66.3	SL	32	7.6	1.2	22	ng	13.3	0.43	Eluviation
A2	10-70	10.7	8.7	80.6	SL	43	7.7	2.1	18	ng	1.3	0.14	Eluviation
By1	70-130	6.7	4.7	88.6	LS	67	7.4	3.1	19	43.8	0.8	0.09	Gypsification
By2	130-190	6.7	6.7	86.6	LS	53	7.6	3.5	20	40.2	1.1	0.14	Gypsification
Bty	190-270	46	46	8	SiC	71	7.5	3.6	22	37.2	1.2	0.32	Gypsification, Lessivage
Pedon 4 Unstable surface of piedmont plain S.T :Calcic Haplosalids, WRB :Calcic Solonchak (Pantoloamic, Chloridic, Hypersalic)													
A	0-15	24.7	26	49.3	SCL	28	7.5	17.9	22	ng	8.5	0.04	Eluviation
Bz	15-45	30.7	40	29.3	CL	-	7.7	33	18	2.4	12.3	0.09	Salinization
Bw	45-65	18.7	18	63.3	SL	-	7.8	29.2	19	5.2	12.2	0.14	Gypsification
Bk	65-110	28.7	36.7	34.6	CL	-	7.8	15.6	20	3.8	4.0	0.09	Calcification
Bky	110-150	18.7	44	37.3	L	-	7.8	6.2	22	5.1	2.8	0.04	Calcification, Gypsification
Pedon 5 Rock pediment S.T :Typic Haplogypsis, WRB: Haplic Gypsisol (Katoarenic,, Hypogypsic, Epiloamic, Yermic)													
A	0-45	8	23.4	68.6	SL	35	7.5	3.5	22	2.8	0.9	0.14	Eluviation
By1	45-75	2	19.4	78.6	LS	30	7.7	2.6	18	5.1	2.3	0.14	Gypsification
By2	75-110	20	1.4	78.6	SCL	59	7.6	4.2	15	7.3	3.2	0.04	Gypsification
By3	110-150	10	5.4	84.6	LS	66	7.7	5.2	26	13.9	7.6	0.04	Gypsification
Btyn	150-190	14	10.2	75.8	SL	56	7.5	13.0	23	11.5	21.7	0.04	Gypsification, Alkalization
C	190-230	14	5.4	80.6	SL	41	7.2	6.8	23	4.2	11.3	0.04	-
Pedon 6 Stable surface of mantled pediment ST :Typic Argigypsis, WRB: Luvic Gypsisol (Epiarenic, Katoloamic, Hypogypsic, Yermic)													
A	0-35	7.7	13.7	78.6	LS	30	7.1	2.2	14	ng	6.7	0.14	Eluviation
Bt	35-60	20.7	23.5	55.8	SCL	33	7.7	5.3	24	ng	12.6	0.09	Lessivage
By	60-100	10.7	10.7	78.6	SL	45	7.7	4.2	13	21	10.2	0.09	Gypsification
C	100-150	16	9.4	74.6	SL	60	7.9	8.9	12	4.6	26.3	0.09	-
Pedon 7 Unstable surface of mantled pediment ST :Sodic Haplogypsis, WRB :Haplic Gypsisol (Anoloamic, Sodic, Yermic)													
A	0-40	8	31.4	60.6	SL	16	7.5	3.4	14	2.8	1.2	0.09	Eluviation

Byn	40-65	6	28.2	65.8	SL	26	7.6	9.9	13	36	41.6	0.04	Gypsification, Solonization
By1	65-85	10	26.2	63.8	SL	22	7.6	4.1	10	37.6	2.7	0.09	Gypsification
By2	85-105	4	14.2	81.8	LS	49	7.7	5.5	12	32	6.1	0.09	Gypsification
By3	105-155	6	10.2	83.8	LS	40	7.6	5	7	20	4.3	0.09	Gypsification
By4	155-215	4	6.2	89.8	S	46	7.5	6.8	8	13.7	10.2	0.09	Gypsification
C1	215-270	8	4.2	87.8	LS	42	7.6	19.6	11	3.7	50.5	0.04	-
C2	270-330	14	20.2	65.8	SL	36	7.7	9.7	21	1.2	23.0	0.04	-

RF: ذرات درشت (rock fragments), CCE: کربنات کلسیم معادل (calcium carbonate equivalent), SAR: نسبت سدیم جذبی (sodium adsorption ratio), ECE: هدایت الکتریکی عصاره اشباع (electrical conductivity of saturated extract), OC: کربن آلی (Organic Carbon)

(Farpoor *et al.*, 2012) نیز گزارش شده است. از طرفی در خاک‌های دوم و پنجم افزایش میزان رس به همراه پوسته‌های رسی مشاهده شد که در نتیجه مکانیسم تشکیل افق ناتریک است. تشکیل افق ناتریک در این خاک‌ها به علت بالا بودن سدیم تبدالی می‌باشد. بدین مفهوم که سدیم بالا در این افق باعث پراکنش (دیسپرس شدن) رس و تشکیل افق ناتریک گردیده است (Sanjari *et al.*, 2003). سنجری و همکاران (Sanjari *et al.*, 2011) و مقبلی و همکاران (Moghbeli *et al.*, 2019) به ترتیب طی مطالعه خاک‌های منطقه جیرفت و فاریاب-استان کرمان نتیجه مشابهی را گزارش کردند. اپی‌پدون کلیه خاک‌های مورد مطالعه به دلیل فقر ماده آلی، اکریک است (Soil Survey Staff, 2014). از طرفی افق‌های زیرین که تحت تأثیر فرآیندهای آبشویی و تجمع‌ی قرار دارند، دارای اندوپدون‌های جیپسیک، ناتریک، آرجیلیک، کلسیک، سالیک و کمبیک می‌باشند. خاک‌های منطقه بر اساس رده‌بندی آمریکایی در رده اریدی‌سولز و زیررده‌های Gypsid و Salids و بر اساس سامانه طبقه‌بندی جهانی (WRB) در سه گروه مرجع جیپسی‌سول، سولونچاک و سولونتر طبقه‌بندی شدند (جدول ۱). خاک‌های اول در واحد دشت آبرفتی قرار گرفته است. طی مطالعات صحرایی و آنالیزهای شیمیایی در این خاک‌ها، افق جیپسیک شناسایی شد. این افق تحت تأثیر شست‌وشوی گچ از سازندهای گچی بالا دست منطقه (شکل ۱) و اضافه شدن به خاک‌های این سطح (جدول ۱) تشکیل گردیده است. رده‌بندی این خاک بر اساس سامانه رده‌بندی آمریکایی به صورت Typic Haplogypsid و بر مبنای سامانه طبقه‌بندی جهانی Skeletic Gypsisol می‌باشد. خاک‌های دوم روی واحد تپه واقع شده و در ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک دارای افق‌های جیپسیک، سالیک و ناتریک می‌باشد. در عمق بیش از ۱۵۰ سانتی‌متری این خاک تحت تأثیر فرآیند

با توجه به حضور سازندهای گچی (شکل ۱)، حضور کانی گچ در خاک‌های منطقه قابل پیش‌بینی بود. مقدار گچ در دامنه ناچیز تا ۴۳/۳ درصد (افق By1 خاک‌رس سوم) متغیر می‌باشد (جدول ۱). در کلیه خاک‌ها (بجز خاک‌های دوم و چهارم) به دلیل فراوانی سنگریزه، بلورهای گچ به شکل ماکروسکوپی پندانت، در افق‌های جیپسیک مشاهده شدند. در خاک‌های دوم و چهارم به دلیل عدم وجود سنگریزه، گچ به صورت بلورین در زمینه خاک مشاهده شد. با توجه به فعالیت‌های کوه‌زایی اواخر کرتاسه تا میوسن در ایران مرکزی، دریای تتیس که ایران را پوشانده بود به چندین دریاچه جداگانه تقسیم شد و سپس دریاچه‌های فوق دوباره به دریاچه‌های کوچکتر تقسیم شدند (Krinley, 1970). در اثر آب و هوای گرم و خشک ترشیری، تبلور کانی‌های تبخیری مخصوصاً گچ، در اثر تبخیر آب سواحل این دریاچه‌ها صورت پذیرفت، این سواحل دریاچه‌های قدیمی محل تجمع گچ بوده‌اند که سازندهای گچی زمان کنونی را تشکیل می‌دهند. نظر به اینکه منطقه مورد مطالعه بخشی از ایران مرکزی می‌باشد، چنین منشأی برای کانی گچ دور از انتظار نمی‌باشد. نتیجه مشابهی توسط فرپور و همکاران (Farpoor *et al.*, 2003) و مقبلی و همکاران (Moghbeli *et al.*, 2019) به ترتیب در بررسی خاک‌های مناطق رفسنجان و فاریاب در استان کرمان گزارش شده است. آبشویی رس نیز در خاک‌های سوم و ششم مشاهده گردید که علاوه بر افزایش نسبی درصد رس، پوشش رس بر روی ذرات اولیه مشاهده شد که دال بر وجود افق آرجیلیک می‌باشد. مطالعات میکرومورفولوژی تأییدی بر این ادعاست (شکل ۲). با توجه به اقلیم خشک کنونی منطقه به نظر می‌رسد که افق تجمع رس در این خاک‌ها مربوط به اقلیم مرطوب‌تر گذشته است. شواهد وجود اقلیم مرطوب‌تر گذشته ایران مرکزی توسط خادمی و مرموت (Khademi & Mermut, 2003) و فرپور و همکاران

مشابه خاکرخ پنجم تشکیل گردید. خاکرخ ششم در سامانه رده‌بندی آمریکایی به صورت Typic Argigypsid و در سامانه طبقه‌بندی جهانی به صورت Luvic Gypsisol نام‌گذاری شد. در هر دو سامانه طبقه‌بندی توجه بیشتری به افق جیپسیک نسبت به افق آرچیلیک شده است. از طرفی نام‌گذاری خاکرخ هفتم بر مبنای دو سامانه رده‌بندی آمریکایی و طبقه‌بندی جهانی به ترتیب Sodic Haplogypsid و Haplic Gypsisol می‌باشد.

از نظر مقایسه قابلیت دو سامانه طبقه‌بندی آمریکایی و جهانی در طبقه‌بندی خاک‌های این منطقه بایستی ذکر کرد که سامانه طبقه‌بندی جهانی، وجود ویژگی جلای سنگ فرش بیابانی (Yermic) را در برخی خاکرخ‌ها در سطح صفت کمکی نشان می‌دهد، در حالی که در سامانه رده‌بندی آمریکایی مشخصه‌ای برای این ویژگی لحاظ نشده است. هم‌چنین در سامانه رده‌بندی آمریکایی توجهی به افق ناتریک در خاکرخ دوم با حضور توآمان افق‌های ناتریک، سالیک و جیپسیک در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک نشده است. لذا با در نظر گرفتن اهمیت عوامل محدود کننده برای رشد گیاه، زیر گروه Natric Gypsisalids برای افزوده شدن به سامانه رده‌بندی آمریکایی پیشنهاد می‌شود. در حالی که در سیستم طبقه‌بندی جهانی برای نام‌گذاری این خاک (خاکرخ دوم) هر سه افق فوق‌الذکر مورد توجه قرار گرفته‌اند. بنابراین بر اساس نتایج رده‌بندی خاک‌های منطقه، سامانه طبقه‌بندی جهانی به دلیل انعطاف‌پذیری بیشتر در استفاده از توصیف‌کننده‌های مختلف کارایی بهتری نسبت به سامانه رده‌بندی آمریکایی دارد. مقبلی و همکاران (Moghbeli et al., 2019) و سنجری و همکاران (Sanjari et al., 2021) نتیجه مشابهی را در خصوص کارایی بیشتر سامانه طبقه‌بندی جهانی (۲۰۱۵) نسبت به سامانه رده‌بندی آمریکایی (۲۰۱۴) به ترتیب در مطالعه خاک‌های منطقه فاریاب از استان کرمان و پلابای جازموریان گزارش نمودند.

میکرومورفولوژی

جدول ۲ خلاصه ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی برخی از خاک‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. عوارض خاک‌ساخت مشاهده شده در مقاطع نازک خاک‌ها شامل پوشش گچ درون حفرات و بلورهای عدسی شکل آن و

تجمعی آهک، افق کلسیک تشکیل شده و سپس در اقلیم خشک کنونی منطقه و طی فرآیندهای تجمعی افق‌های جیپسیک، سالیک و ناتریک بر روی افق کلسیک تشکیل شده است (جدول ۱). حضور توام این افق‌های کنار یکدیگر نشان‌دهنده پلی‌ژنتیک بودن این خاک‌ها می‌باشد. بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی به صورت Gypsic Haplosalids و بر اساس سامانه طبقه‌بندی جهانی Salic Gypsic Solonetz نام‌گذاری شد. خاکرخ‌های سوم و چهارم به ترتیب در سطوح پایدار و ناپایدار دشت دامنه‌ای قرار گرفته‌اند. در خاکرخ سوم در عمق حدود دو متری افق آرچیلیک مشاهده شد که به نظر می‌رسد طی فرآیند تجمعی رسی شدن در اقلیم مرطوب‌تر گذشته ایجاد شده باشد و در ادامه طی اقلیم خشک کنونی منطقه تحت تأثیر فرآیند گچی شدن، افق Bty تشکیل شده است. طی مطالعه خاک‌های منطقه نوق رفسنجان فرپور و همکاران (۲۰۰۳) مکانیسم مشابهی را برای تشکیل افق Btz گزارش کردند. از طرفی در خاکرخ چهارم ابتدا طی فرآیند کربناته شدن افق زیرسطحی کلسیک در اقلیم مرطوب‌تر تجمع یافته و سپس در اقلیم خشک کنونی منطقه افق جیپسیک در مجاورت افق کلسیک قرار گرفته است، که مشابه خاکرخ دوم نشان‌دهنده پلی‌ژنتیک بودن این خاک است. مقبلی و همکاران (Moghbeli et al., 2019) مکانیسم مشابهی را در خصوص تشکیل افق Bky در خاک‌های منطقه فاریاب واقع در استان کرمان گزارش کردند. خاکرخ سوم و چهارم بر مبنای سیستم رده‌بندی آمریکایی به ترتیب به صورت Typic Haplogypsid و Calcic Haplosalids و بر اساس سیستم طبقه‌بندی جهانی به صورت Skeletic Gypsisol و Calcic Solonchak نام‌گذاری شدند. خاکرخ پنجم در سطح ژئومورفیک پدیمنت سنگی حفر گردید، که در ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک طی فرآیند آبشویی گچ از سازندهای گچی بالا دست، افق جیپسیک تشکیل شده است. نام‌گذاری این خاک در دو سامانه طبقه‌بندی آمریکایی و جهانی به ترتیب Typic Haplogypsid و Haplic Gypsisol می‌باشد. خاکرخ‌های ششم و هفتم به ترتیب در سطوح پایدار و ناپایدار پدیمنت پوشیده قرار گرفته‌اند. در خاکرخ ششم مشابه خاکرخ سوم افق‌های آرچیلیک و جیپسیک تشکیل شده‌اند. از طرفی در خاکرخ هفتم افق جیپسیک مشاهده شد که طی مکانیسمی

بلورهای گچ باعث ایجاد بی-فابریک خرده بلوری، لکه‌ای و خطی در افق‌های تجمع گچ و تجمع رس آبشویی، شده است. توزیع ذرات درشت به دو صورت پورفیریک و کیتونیک مشاهده شد (جدول ۲).

پوشش رس داخل حفرات و روی ذرات اولیه خاک بوده‌اند (جدول ۲). این عوارض خاک‌ساخت به‌وضوح شرایط اقلیمی خشک زمان حال و اقلیم مرطوب‌تر گذشته را در منطقه نشان می‌دهند. عوارض خاک‌ساخت پوشش رس و

جدول ۲- توصیف میکرومورفولوژیکی مقاطع نازک مطالعه‌شده

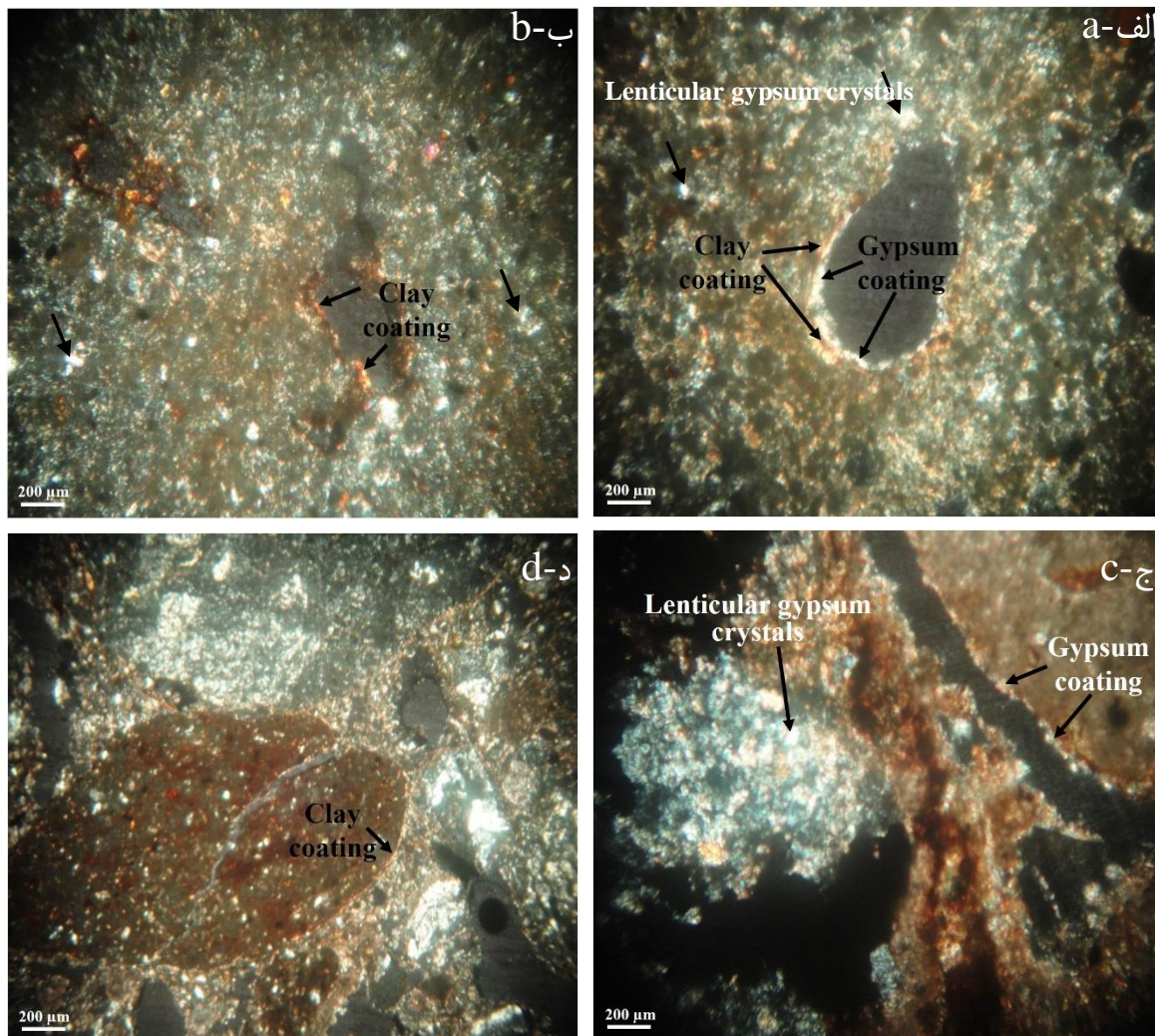
Table 2. Micromorphological description of the studied thin sections

Profile	Horizon	Depth (cm)	Microstructure	Voids	C/F ratio (10 μm)	b-fabric	Pedofeature
2	Btyzn1	75-115	Subangular blocky	Vugh	2/8 Single spaced porphyric Chitonic	Gypsic Crystallitic, Speckled and linear	lenticular gypsum and gypsum coatings on clay coating
	Btyzn2	115-160	Subangular blocky	Vughs	2/8 Single spaced porphyric Chitonic	Gypsic Crystallitic, Speckled and linear	lenticular gypsum and clay coating
4	Bky	110-150	Subangular blocky	Channel, Chamber and Vugh	4/6 Single spaced porphyric	Gypsic Crystallitic	Coating and lenticular gypsum crystals
6	Bt	35-60	Subangular blocky	Channel, Chamber and Vugh	5/5 Chitonic	Speckled and linear	Caly coating

شاخصی از شرایط مرطوب‌تر گذشته می‌باشد (Sanjari *et al.*, 2011; Khademi & Mermut, 2003) (Sarmast *et al.*, 2019; Owliaie *et al.*, 2018b).

گچ در خاک‌های دوم و چهارم به صورت عوارض خاک-ساخت پوشش و بلورهای عدسی شکل گچ مشاهده شد (شکل ۲ الف و ج). با توجه به حلالیت بالای گچ، آبشویی و انتقال عمودی آن و رسوب آن در اطراف منافذ و حفرات افق‌های زیرین در شرایط کنونی منطقه دور از انتظار نمی‌باشد. از طرفی بلورهای عدسی شکل گچ مشاهده شده در خاک‌های دوم و چهارم را می‌توان به فقدان سنگریزه و ریزتر شدن بافت خاک نسبت داد. فرپور و همکاران (Farpoor *et al.*, 2003) طی مطالعه خاک‌های گچی منطقه نوق رفسنجان نتیجه مشابهی را گزارش کردند. هاشمی و همکاران (Hashemi *et al.*, 2013) طی مطالعه میکرومورفولوژی خاک‌های گچی استان فارس گزارش کردند که حضور کلرید سدیم منجر به دهیدراته شدن و جذب رطوبت از محیط اطراف آن شده و لذا به رشد بلورهای گچ کمک می‌کند.

در سطوح ژئومورفیک پایدار تپه (خاک‌رخ دوم) و پدیمت پوشیده (خاک‌رخ ششم) طی مطالعات صحرایی در افق B این خاک‌ها، پوشش‌های رس به ترتیب در داخل حفرات و سطح ذرات اولیه مشاهده شدند. از طرفی با برقرار شدن شرایط افزایش رس در این افق‌ها نسبت به افق‌های الوویال، شرایط برای در نظر گرفتن این افق‌ها به عنوان افق آرچیلیک و ناتریک مهیا می‌باشد (Soil Survey Staff, 2014). با توجه به نسبت سدیم جذبی بالا (بیش از ۱۳) در خاک‌رخ دوم (جدول ۱) و خصوصیت پراکنش دهندگی سدیم، تشکیل افق ناتریک در شرایط اقلیم کنونی منطقه دور از انتظار نیست. باهورذهی و همکاران (Bahoorzahi *et al.*, 2016) در مطالعه خاک‌های منطقه مهرستان سیستان و بلوچستان نتیجه مشابهی را گزارش کردند. از طرفی پوشش مشاهده شده در افق Bt خاک‌رخ ششم (شکل ۵۲) تأییدی بر وجود افق آرچیلیک می‌باشد که با توجه به اقلیم خشک کنونی منطقه و عدم آبشویی به نظر می‌رسد در نتیجه اقلیم مرطوب‌تر گذشته ایجاد شده است. محققین مختلفی عنوان نموده‌اند، تشکیل افق آرچیلیک و پوشش‌های رسی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک (مشابه منطقه مورد مطالعه) به عنوان



شکل ۲- تصاویر مقاطع نازک الف) بلور عدسی شکل گچ و پوشش رس در افق Btyzn1 خاکرخ دوم؛ ب) بلور عدسی شکل گچ و پوشش رس در افق Btyzn2 خاکرخ دوم؛ ج) پوشش و بلورهای عدسی شکل گچ در افق Byz خاکرخ چهارم؛ د) پوشش رس در افق Bt خاکرخ ششم

Figure 2. Thin sections of a) lenticular gypsum crystals and gypsum coating on clay coating in Btyzn1 horizon, pedon 2 (XPL), b) lenticular gypsum crystals and clay coating in Btyzn2 horizon, pedon 2 (XPL), c) Coating and lenticular gypsum crystals in Bky horizon, pedon 4 (XPL), d) Caly coating in Bt horizon, pedon 6 (XPL)

وضعیت مرطوب‌تر به خشک‌تر می‌باشد. این عوارض خاک‌ساخت در شناسایی روند وقوع فرآیندهای خاک‌سازی و بررسی تکامل سطوح ژئومورفیک در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش کلیدی را ایفا می‌کنند. از طرفی حضور توام گچ و نمک‌های محلول‌تر از گچ با درجه حلالیت متفاوت در افق Btyzn دوم بیانگر افزوده شدن آن‌ها به یک افق در دوره‌های مختلف می‌باشد که نشان‌دهنده پلی‌ژنتیک بودن خاک است. مقیسه و حیدری (Moghiseh & Heidari, 2012) طی مطالعه خاک‌های

در خاکرخ دوم پوشش رس مشاهده شد (شکل ۲الف). به طور معمول انتظار وجود گچ روی پوشش رس با توجه به تفاوت در شرایط اقلیمی و نیاز آبشویی آن‌ها نمی‌رود. بنابراین به نظر می‌رسد که ابتدا پوشش رس در نتیجه اثر پراکنش دهندگی سدیم و انتقال رس به افق‌های زیرین تشکیل شده و سپس در نتیجه افزوده شدن گچ این عارضه خاک‌ساخت مرکب تشکیل شده باشد. ایوبی و همکاران (Ayoubi *et al.*, 2006) معتقدند که پوشش‌های گچ و کلسیت روی پوشش‌های رسی در خاک‌های مناطق خشک، نشانگر تغییر اقلیم از

شرایط تشکیل کانی کلریت تأییدی بر منشأ توارثی آن می‌باشد. از طرفی منشأ بادرفتی برای این کانی‌ها در خاک‌های منطقه دور از انتظار نیست. خرمالی و همکاران (Khormali *et al.*, 2003) و خیامیم و همکاران (Khayamim *et al.*, 2020) وجود کانی‌های ایلیت و کلریت را به ترتیب در خاک‌های مناطق خشک و نیمه-خشک استان‌های فارس و اصفهان گزارش کردند و منشأ توارثی را عامل اصلی وجود آن‌ها در خاک می‌دانند. از طرفی کانی کائولینیت در شرایط گرم و مرطوب می‌تواند بر اثر پدیده خاکسازای ایجاد شود و تشکیل این کانی در شرایط خشک و نیمه‌خشک امکان پذیر نمی‌باشد (Graham & Green, 2010). لذا با توجه به شرایط اقلیم خشک منطقه مورد مطالعه، شرایط لازم برای تشکیل خاکساز کانی کائولینیت فراهم نیست، بنابراین این کانی دارای منشأ توارثی می‌باشد. مقبلی و همکاران (Moghbeli *et al.*, 2011) منشأ کانی کائولینیت را در خاک‌های منطقه فاریاب-استان کرمان توارثی گزارش کرده‌اند.

پلی ژنتیک شور و گچی منطقه بم در استان کرمان نتیجه مشابهی را گزارش کردند.

کانی‌شناسی رس

جدول ۳ مقادیر نیمه کمی کانی‌های رس مشاهده شده را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول کانی‌های مشاهده شده به ترتیب فراوانی شامل ایلیت، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت، سپیولیت و پالیگورسکیت می‌باشند (جدول ۳). کانی‌های ایلیت و کلریت به طور نسبی در تمامی خاکرخ-ها در مقادیر متوسط تا زیاد حضور دارند (جدول ۳). با توجه به اقلیم خشک کنونی منطقه (رژیم رطوبتی اریدیک) و در نتیجه هوادیدگی کم، این کانی‌ها با منشأ توارثی به خاک‌های منطقه اضافه شده‌اند. کانی ایلیت و به‌طور کلی کانی‌های میکایی، کانی‌هایی با منشأ اولیه هستند و عمدتاً از مواد مادری به ارث می‌رسند. تشکیل پدوژنیک کلریت در مناطقی با دمای بالا، رطوبت و آبشویی زیاد و پهاش کمتر از ۶ رخ می‌دهد (Galan, 2006)، لذا با توجه به شرایط اقلیمی کنونی منطقه این

جدول ۳- مقادیر نسبی کانی‌های رس در برخی خاک‌های مطالعه‌شده (محاسبه نیمه کمی براساس سطح زیرپیک انجام‌شده)

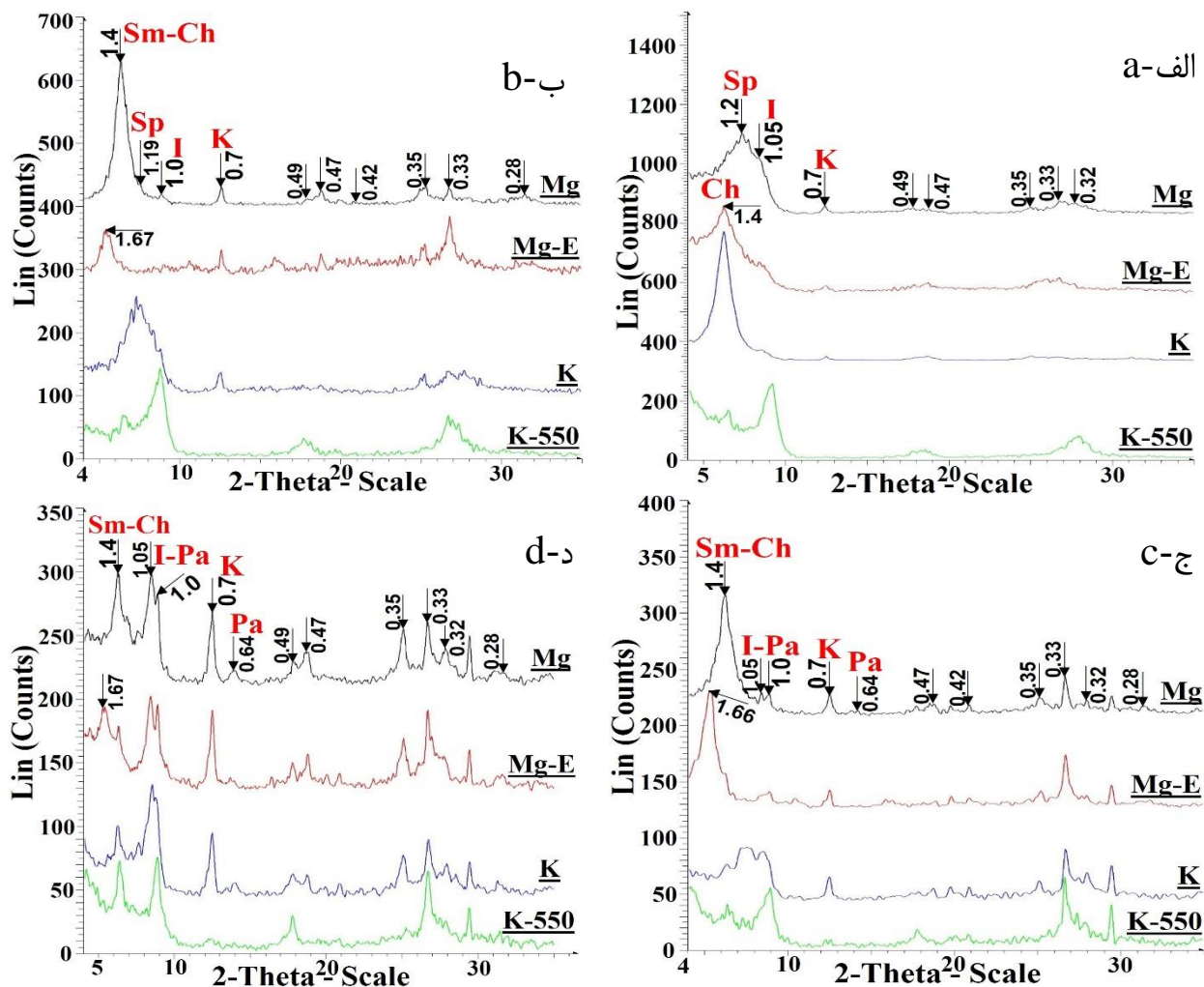
Table 3. Relative amounts of clay minerals in some studied soils (semi-quantitative calculation based on performed subpeak area)

Profile	Horizon	Smectite	Illite	Chlorite	Paligorskite	Sepiolite	Kaolinite
2	Btyzn1	-	*****	**	-	*****	*
	Btkzn	***	**	*****	-	**	**
4	Bk	*****	**	**	*	-	**
6	Bt	**	***	*****	*	-	*

-: جزئی یا وجود ندارد، *: کمتر از ۱۰ درصد، **: ۱۰-۲۰ درصد، ***: ۲۰-۳۰ درصد، ****: ۳۰-۵۰ درصد، *****: بیش از ۵۰ درصد
-: negligible, *: < 10 %, **: 10-20 %, ***: 20-30 %, ****: 30-50 %, *****: > 50 %

در خاک‌های مورد مطالعه خود را به ارث رسیده از مواد مادری مارن گزارش کردند. از طرفی بیشترین مقدار این کانی در افق Bk خاکرخ چهارم مشاهده شد. همانگونه که در بخش نتایج فیزیکوشیمیایی گفته شد با توجه به اقلیم خشک زمان حال، مشاهده افق کلسیک نشان‌دهنده رطوبت قابل دسترس بیشتر در زمان گذشته منطقه است. بنابراین به نظر می‌رسد رطوبت بیشتر در زمان تشکیل افق کلسیک باعث تغییر شکل کانی‌هایی نظیر ایلیت، کلریت، پالیگورسکیت و سپیولیت در خاک‌های این سطح به کانی اسمکتیت شده است. پاشایی و منافی (Pashaei & manafi, 2017) طی مطالعه کانی‌شناسی خاک‌های گچی شمال ارومیه نتیجه مشابهی را گزارش کردند.

کمترین و بیشترین میزان اسمکتیت در افق Btyzn1 خاکرخ دوم و افق Bk خاکرخ چهارم مشاهده شد. عدم وجود کانی اسمکتیت در افق Btyzn1 خاکرخ دوم را می‌توان به اقلیم خشک کنونی منطقه و در نتیجه عدم تبدیل کانی‌هایی نظیر ایلیت و کلریت به اسمکتیت نسبت داد. در حالیکه با افزایش عمق و در افق Btkzn همین خاکرخ کانی اسمکتیت به میزان نسبتاً زیادی مشاهده شد، که دلیل آن را می‌توان به نقش ماده مادری و در نتیجه منشأ توارثی این کانی نسبت داد. تازیکه و همکاران (Tazikeh *et al.*, 2017) و اولیایی و همکاران (Owliaie *et al.*, 2018b) به ترتیب در مطالعه خاک‌های شمال شرق بجنورد و جنوب غرب ایران، مقدار زیاد کانی اسمکتیت



شکل ۳- نمودارهای پراش اشعه‌ی ایکس الف و ب) به ترتیب افق‌های Btyzn1 و Btkzn خاکرخ دوم، ج) افق Bk خاکرخ چهارم؛ د) افق Bt خاکرخ ششم

(Mg: اشباع با منیزیم، Mg-E: اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول، K: اشباع با پتاسیم، K-550: اشباع با پتاسیم و حرارت ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد؛ Sm: اسمکتیت، I: ایلیت، Ch: کلریت، K: کانولینیت، Pa: پالیگورسکیت، Sp: سپیولیت)

Figure 3. X-Ray diffractograms of: a and b) Btyzn1 and Btkzn horizons of pedon 2, c) Bk horizon of pedon 4 d) Bt horizon of pedon 6

(Mg: Mg saturated, Mg-E: Mg saturated with Ethylene glycol, K: K saturated, KT: K saturated and heated to 550 °C, Sm: Smectite, I: Illite, Ch: Chlorite, K: Kaolinite, Pa: Palygorskite, Sp: Sepiolite)

و آرجلیک به نظر می‌رسد کانی سپیولیت به کانی اسمکتیت تغییر شکل داده است. عبدلی و جعفری (Abdoli & Jafari, 2018) طی مطالعه خاک‌های گچی استان خوزستان تشکیل کانی اسمکتیت را از تحول کانی-های سپیولیت و پالیگورسکیت در اثر آبیاری و تغییر رژیم رطوبتی ناشی از آن مرتبط دانستند. از طرفی اولیایی و همکاران (Owliaie et al., 2018a) طی مطالعه خاک‌های نیمه‌خشک دهدشت و چرام در جنوب غربی ایران، میزان بیشتر پالیگورسکیت و میزان کمتر اسمکتیت را در خاک-هایی با مواد مادری گچی مشاهده نمودند. فاکتورهای

کانی‌های رشته‌ای نظیر پالیگورسکیت و سپیولیت در خاک‌های منطقه مشاهده شدند. حضور پیک‌های ۰/۶۴ و ۱/۲ نانومتر به ترتیب در تیمار منیزیم نشان‌دهنده کانی-های پالیگورسکیت و سپیولیت می‌باشد. عدم وجود کانی پالیگورسکیت در خاکرخ دوم و مقدار کم آن در خاکرخ چهارم و ششم را می‌توان تا حدودی به تبدیل این کانی به کانی اسمکتیت نسبت داد. بیشترین میزان کانی سپیولیت در خاکرخ دوم واقع در سطح ژئومورفیک تپه با ماده مادری مارن گچی مشاهده شد اما در خاکرخ چهارم و ششم با توجه به شرایط اقلیمی تشکیل افق‌های کلسیک

سولونچاک و سلونتر طبقه‌بندی شدند. زیرگروه Natric Gypsisalids به سیستم رده‌بندی آمریکایی پیشنهاد می‌شود. سامانه طبقه‌بندی جهانی به دلیل استفاده از توصیف‌کننده‌های متنوع در نام‌گذاری خاک‌های منطقه در مقایسه با سامانه رده‌بندی آمریکایی از کارایی بهتری برخوردار است. نتایج مطالعات میکرومورفولوژی حاکی از وجود عوارض خاکساخت مرکب پوشش گچ روی پوشش رس، پوشش و بلورهای عدسی شکل گچ و پوشش رس می‌باشد. پوشش رس در دو افق ناتریک و آرجیلیک مشاهده شد که به ترتیب به دلیل نقش پراکنش دهندگی سدیم و اقلیم مرطوب‌تر گذشته می‌باشد. بلورهای عدسی شکل گچ به بافت ریز خاک نسبت داده شدند. از طرفی عارضه خاکساخت پوشش گچ بر روی پوشش رس در افق Btyzn1 مشاهده شد که در ابتدا پوشش رس در نتیجه اثر پراکنش دهندگی سدیم و انتقال به افق‌های زیرین تشکیل شده و سپس با اضافه شدن گچ این عارضه ایجاد شده است. بر اساس نتایج کانی‌شناسی رس، کانی‌های مشاهده شده به ترتیب فراوانی شامل ایلیت، کلریت، اسمکتیت، کائولینیت، سپیولیت و پالیگورسکیت می‌باشند. بیشترین میزان کانی سپیولیت در خاکرخ دوم واقع در سطح ژئومورفیک تپه با ماده مادری مارن گچی مشاهده شد. وجود گچ و سازندهای تبخیری سبب تشکیل خاکساز کانی‌های پالیگورسکیت و سپیولیت در این خاک‌ها شده است. کانی اسمکتیت دارای دو منشأ توارثی و تغییر شکل یافته از سایر کانی‌ها است. از طرفی به دلیل عدم وجود شرایط لازم برای تشکیل کانی‌های کائولینیت، ایلیت و کلریت این کانی‌ها دارای منشأ به ارث رسیده از مواد مادری هستند.

محیطی از جمله میزان تبخیر و تعرق، بارندگی، غلظت منیزیم، پهاش، دما و شوری بر پایداری پالیگورسکیت یا سپیولیت اثرگذارند (Galan & Singer, 2011; García-Romero *et al.*, 2007). از طرفی با در نظر گرفتن این که کانی سپیولیت به تیمارهای اسیدی اعمال شده در مرحله خالص سازی رس حساس بوده و ممکن است حذف شود، بنابراین عدم مشاهده این کانی در خاکرخ‌های چهارم و ششم را می‌توان به این شرایط نیز نسبت داد. بر اساس دیگرام جونز و گالن (Jones & Galan, 1988) میزان سپیولیت تابع میزان شوری، پهاش قلیایی و غلظت بالای منیزیم است. با توجه به اثرات انحلال گچ و افزایش غلظت منیزیم و افزایش شوری در اثر تبخیر در سطح ژئومورفیک تپه (خاکرخ دوم)، احتمال تشکیل کانی سپیولیت در شرایط فوق ذکر وجود دارد. عبدلی و جعفری (Abdoli & Jafari, 2018) نتیجه مشابهی را در مطالعه کانی‌شناسی خاک‌های گچی استان خوزستان گزارش کردند.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس مطالعه صورت گرفته منشأ اصلی گچ در منطقه، سازندهای گچی موجود در بالادست منطقه است. مهمترین فرآیندهای پدوژنیکی در خاک‌های این منطقه آبشویی نمک، گچ، آهک و رس و تشکیل افق‌های جیسیک، ناتریک، آرجیلیک، کلسیک، سالیک و کمبیک می‌باشد، که افق آرجیلیک و کلسیک با توجه به اقلیم خشک کنونی منطقه تحت تأثیر اقلیم مرطوب‌تر گذشته تشکیل شده‌اند. خاک‌های منطقه بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی در رده اریدی‌سولز و بر اساس سیستم طبقه‌بندی جهانی در سه گروه مرجع جیپسی‌سولز،

References

- Abdoli U., and Jafari S. 2018. The Effect of topography and irrigation on soil development and clay mineral diversity of Khuzestan's gypsic soils. *Journal of Water and Soil Science*, 22(1): 387-403. (In Persian)
- Ayoubi S., Karimian Eghbal M., and Jalalian A. 2006. Study of micromorphological evidences of climate change during quaternary recorded in paleosols from Isfahan. *Journal of Water and Soil Science*, 10(1): 137-150. (In Persian)
- Babakhani A., Alavi Tehrani N., Sabzehei M., and Ohanian F. 1992. Geological map of Iran, Sabzevaran (1:250000). Iran: Geological Organization.
- Bahoorzhi M.A., Farpoor M.H., and Jafari A. 2016. Genesis and development of soils along different geomorphic surfaces in Kouh Birk Area, Mehrestan city. *Journal of Water and Soil*, 30(2): 555-568. (In Persian)
- Banaie M.H. 1998. Soil Moisture and temperature regimes map of Iran. Iran: Soil and Water Research Institute. (In Persian)

- Buck B.J., and Van Hoesen J.G. 2002. Snowball morphology and SEM analysis of pedogenic gypsum, Southern New Mexico, USA. *Journal of Arid Environments*, 51: 469-487.
- Carter B.J., and Inskeep W.P. 1988. Accumulation of pedogenic gypsum in western Oklahoma soils. *Soil Science Society of America*, 52: 1107-1113.
- Doner H.E. and Warren C.L. 1989. Carbonate, halide, sulfate minerals. In: Dioxin, J. B., Weed, S. B. (Eds.), *Minerals in Soil, Environments*. 2nd ed., SSSA Pub., Madison, WI. USA.
- Farpoor M.H., Khademi H., and Eghbal M.K. 2002. Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in Rafsanjan soils on different geomorphic surface. *Iran Agriculture Research*, 21: 39-60.
- Farpoor M.H., Eghbal M.K., and Khademi H. 2003. Genesis and micromorphology of saline and gypsiferous Aridisols on different geomorphic surfaces in Nough area, Rafsanjan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. Water and Soil Science*, 7(3): 71-93. (In Persian)
- Farpoor M.H., Neyestani M., Eghbal M.K., and Esfandiarpour Borujeni I. 2012. Soil-geomorphology relationships in Sirjan playa, south central Iran. *Geomorphology*, 138(1): 223-230.
- Farpoor M.H., and Irannejad M. 2013. Soil genesis and clay mineralogy on Aliabbas River alluvial fan, Kerman Province. *Arabian Journal of Geoscience*, 6(3): 921-928.
- Galan E. 2006. *Genesis of Clay Minerals*. Elsevier Ltd.
- Galan E., and Singer A. 2011. *Developments in Palygorskite-Sepiolite Research. A New Outlook on These Nanomaterials. Developments in Clay Science - Volume 3*. Elsevier.
- Gammon N.J. 1951. Determination of total potassium and sodium in sandy soils by flame photometer. *Soil Science*, 71(3): 211-214.
- García-Romero E., Suárez M., Santarén J., and Álvarez A. 2007. Crystallochemical characterization of the palygorskite and sepiolite from the Allou Kagne deposit, Senegal. *Clays and Clay Minerals*, 6: 606-617.
- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: A. Klute (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Agronomy Monograph, Vol 9* (pp. 383-411). Madison, WI: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America.
- Ghasemzadeh M., Karimi A., Zeinadini A., and Khorassani R. 2017. Investigation of clay mineralogy, micromorphology and evolution of soils in Bajestan playa. *Journal of Water and Soil*, 30(6): 2046-2059. (In Persian)
- Graham R.C., and O'Green A.T. 2010. Soil mineralogy trends in California landscapes. *Geoderma*, 154: 418-437.
- Hashemi S.S., Baghernejad M., and Najafi Ghiri M. 2013. Clay Mineralogy of gypsiferous soils under different soil moisture regimes in Fars province. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15: 1053-1068.
- IUSS Working Group WRB. 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106*. FAO, Rome.
- Jackson M.L. 1975. *Soil Chemical Analysis-advanced Course*. Madison, WI: University of Wisconsin College of Agriculture, Department of Soil Science.
- Jones B.F., and Galan E. 1988. Sepiolite and Palygorskite. PP: 631-674. In: S. W. Bailey (Ed.), *Hydrous Phyllosilicates (Exclusive of the Micas)*. Reviews in Mineralogy, Vol. 19. Mineralogical Society of America, Washington, DC.
- Khademi H., Mermut A.R., and Krouse H.R. 1997. Isotopic composition of gypsum hydration water in selected landforms from central Iran. *Chemical Geology*, 138: 245-255.
- Khademi H., and Mermut A.R. 2003. Micromorphology and classification of Argids and associated gypsiferous Aridisols from central Iran. *Catena*, 54: 439-455.
- Khayamim F., Khademi H., and Ayoubi S. 2020. Mapping the dominant clay minerals in the soils of Isfahan province and their relationship with climate and parent materials. *Journal of Water and Soil Science*, 24(2): 267-285. (In Persian)
- Khormali F., Abtahi A., Mahmoodi S., and Stoops G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semiarid regions of southern Iran. *Catena*, 53(3): 273-301.
- Kittrick J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle-size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Science*, 96(5): 319-325.

- Krinsley D.B. 1970. A Geomorphological and Paleoclimatological Study of the Playas of Iran. Washington DC: Geological Survey, United States Department of Interior.
- Mahmoodi Sh., and Haidari A. 1998. Classification and physiochemical properties of gypsiferous soils in southwest Gilanegharb area. *Iranian Journal of Agriculture Science*, 29(2): 299-308. (In Persian)
- Mahmoodi Sh. 1994. Properties and management of gypsiferous soils. 4th Soil Science Congress of Iran, Isfahan University of Technolog, pp: 29-31. Aug. 1994. (In Persian)
- Mermut A.R. and Arshad M.A. 1987. Significance of sulfide oxidation in soil salinization in southeastern Saskatchewan, Canada. *Soil science society of America Journal*, 51: 247-251.
- Moghbeli M., Owliaie H.R., Sanjari S. and Adhami E. 2019. Genetic study of soil-landscape relationship in arid region of Faryab, Kerman province. *Journal of Water and Soil*, 33(2): 333–347. (In Persian)
- Moghiseh E., and Heidari A. 2012. Polygenetic saline gypsiferous soils of the Bam region, Southeast Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(4): 729–746.
- Nelson R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. In: A. L. Page, R. H. Miller, and D. R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part II. 2nd ed., Agronomy Monograph, Vol 9.* Madison, WI: American Society of Agronomy/Soil Science Society of America. pp. 181–196.
- Nettleton W.D. 1991. Occurrence, Characteristics and Genesis of Carbonate, Gypsum, and Silica Accumulations in Soils. SSSA Pub., USA.
- Owliaie H.R., Najafi Ghiri M., and Shakeri S. 2018a. Soil-landscape relationship as indicated by pedogenesis data on selected soils from Southwestern, Iran. *Eurasian Journal of Soil Science*, 7(2): 167–180.
- Owliaie H.R., Adhami E., Najafi Ghiri M., and Shakeri S. 2018b. Pedological investigation of a lithotoposequence in a semi-arid region of southwestern Iran. *Eurasian Soil Science*, 51(12): 1447–1461.
- Pashaei L., and manafi S. 2017. Study of physico-chemical and mineralogical properties of gypsiferous soils in the north of Urmia. *Applied soil research*, 4(2): 72-90. (In Persian)
- Richards L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.* Washington, Department of Agriculture, USDA Agricultural Handbook No. 60.160p.
- Ringbom A., Pensar G., and Wanninän E. 1958. A complexometric titration method for determining calcium in the presence of magnesium. *Analytica Chimica Acta*, 19: 525-531.
- Sanjari S., Farpoor M.H., Eghbal M.K. and Esfandiarpour Boroujeni I. 2011. Genesis, micromorphology and clay mineralogy of soils located on different geomorphic surfaces in Jiroft area. *Journal of Water and Soil*, 25(2): 411–425. (In Persian)
- Sanjari S., Farpoor M.H., Mahmoodabadi M., and Barkhori S. 2021. Genesis and micromorphology of soils located on different geomorphic surfaces in the Jazmoorian playa. *Journal of Water and Soil*, 35(3): 379-394. (In Persian)
- Sarmast M., Farpoora M.H., Jafaria A., and Esfandiarpour Boroujeni I. 2019. Tracing environmental changes and paleoclimate using the micromorphology of soils and desert varnish in central Iran. *Desert*, 24(2): 331–353.
- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., and Soil Survey Staff. 2012. *Field Book for Describing and Sampling Soils.* Lincoln, NE: Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th Edition. Washington, D.C: United States Department of Agriculture Soil Conservation Service.
- Sposito G. 2008. *The Chemistry of Soils.* 2nd Ed. Oxford University Press, New York.
- Stoops G. 2003. *Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections.* Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Taimh A.Y. 1992. Formation of gypsic horizons in some arid regions of Jordan. *Soil Science*, 153, 486-498.
- Tazikeh H., Khormali F., Amini A., and Barani Motlagh M. 2017. Evolution of the soils derived from different sedimentary parent rocks in Sheikh Syncline, northeastern Bojnourd. *Journal of Agricultural Engineering*, 40(1): 15-35. (In Persian)

Investigation of Formation and Development of Gypsiferous Soils of Jiroft and Anbarabad Regions, South of Kerman Province

Soheyla Afra¹, Naser Boroomand², Mohammad Hady Farpoor³, Saleh Sanjari^{4*}

(Received: September 2021 Accepted: January 2022)

Abstract

For better management of gypsiferous soils, it is essential to have knowledge about distribution and its various characteristics. The objectives of the present research included soil genesis studies, classification, micromorphology and clay mineralogy of gypsiferous soils in Jiroft and Anbarabad regions, located in the south of Kerman Province. For this purpose, seven representative pedons were selected, described and sampled. Routine physicochemical, micromorphological and clay mineralogy analysis were performed on the soil samples. Finally, the soils were classified according to two systems: Soil Taxonomy (2014) and WRB (2015). The origin of gypsum in the soils of the studied area was gypsum marl formations at altitudes. Soils of the region were classified using Soil Taxonomy system in two suborders of gypsisols and salids, and classified according to the WRB in three soil reference groups of Gypsisol, Solonchak and Solonetz. Coating and lenticular gypsum crystals and clay coating were observed in the thin sections of the studied soils. Lenticular gypsum crystals were observed in fine-textured soils. The clay coatings observed in the natric and argillic horizons were due to the role of sodium dispersion and paleoclimate, respectively. Illite, chlorite, smectite, kaolinite, sepiolite and palygorskite clay minerals were found in the soils of the regions. The presence of gypsum in the soil and evaporitic formations in the area caused the formation of palygorskite and sepiolite minerals in the soil. An inverse relationship was found between the amount of palygorskite and sepiolite with the amount of smectite, so that due to more weathering in the more humid paleoclimate and with reducing the amount of gypsum, the amount of smectite increased and that of palygorskite and sepiolite minerals decreased.

Keywords: Sepiolite, Micromorphology, Paleoclimate, Soil evolution, Soil classification

Afra S., Boroomand N., Farpoor M.H. and Sanjari S. 2023 Investigation of formation and development of gypsiferous soils of Jiroft and Anbarabad regions, south of Kerman province. *Applied Soil Research*, 11(1): 43-57.

1. Former MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft

2. Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

3. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

4. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft

* Corresponding Author Email: sanjari@ujiroft.ac.ir