

تشکیل و تکامل خاک‌های رخنمون شده مناطق باستانی کنارصندل و دقیانوس در شهر جیرفت، استان کرمان

الهام سلیمانی ساردو^۱ - محمد هادی فرپور^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۸

چکیده

خاک‌ها به‌عنوان اجزای مهمی از مکان‌های باستانی تشخیص داده می‌شوند و عموماً به‌عنوان نشان‌گرهای چینه‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از این مطالعه، بررسی میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی رس بخشی از مکان‌های باستانی دقیانوس و گورستان‌های باستانی کنارصندل (بستر قدیم و جدید هلیل‌رود) و ترکیب اطلاعات به‌دست آمده در زمینه خاک‌شناسی و باستان‌شناسی و نیز هم‌پوشانی مناسب اطلاعات به‌منظور شناخت بهتر وقایع گذشته می‌باشد. به همین منظور تعداد سه خاک‌رخ در نقاط باستانی منطقه حفر شد و پس از نمونه‌برداری از اعماق مختلف، آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی رسی روی آنها انجام گرفت. در بررسی نتایج کانی‌شناسی رس، وجود کانی‌های کائولینیت، ایلیت، کلریت، اسمکتیت و پالی‌گورسکیت تأیید شد. نتایج میکرومورفولوژی، حضور نوعی فسیل جلبک کاروفیت که نشان‌دهنده محیط آب شیرین تا لب شور در عصر دونین تا حال حاضر می‌باشد را در خاک‌رخ دقیانوس نشان داد. همچنین بررسی مقاطع نازک، وجود بلورهای گچ عدسی شکل و به‌صورت صفحات درهم قفل شده در خاک‌رخ‌های کنار صندل، به‌ویژه بستر جدید هلیل‌رود و عدم وجود گچ در خاک‌رخ دقیانوس را تأیید کردند. این موضوع می‌تواند به‌دلیل تأثیرپذیری منطقه کنار صندل از سازندهای نئوژن و گچی بالادست و رژیم بالارونده آب زیرزمینی باشد. وجود پوشش‌های قوی رس و کلسیت در اطراف حفرات، به‌ترتیب نشان‌گر شرایط تکامل بالاتر در خاک‌رخ دقیانوس و بستر جدید هلیل‌رود بود. احتمالاً به‌دلیل تأثیرات هلیل‌رود بر بستر قدیم خود در طی زمان‌های طولانی، تکامل پایین‌تر این خاک‌رخ در منطقه مشاهده شد. نتایج رده‌بندی خاک در منطقه باستانی دقیانوس، وجود افق آرجیلیک که نشان‌دهنده بیشتر بودن رطوبت قابل دسترس در گذشته است را اثبات نمود.

واژه‌های کلیدی: آرجیلیک، باستان‌شناسی، رده‌بندی خاک، میکرومورفولوژی، هلیل‌رود

مقدمه

یافته‌اند. بنابراین وضعیت خاک‌های قدیمی ممکن است با شرایط فعلی سازگار نباشد. به‌عبارت دیگر، تفسیر شرایط اقلیمی وابسته به خاک‌های قدیمی باقی‌مانده با مشکلاتی همراه است؛ چرا که در طول زمان، تغییر اقلیمی رخ می‌دهد و این خاک‌ها ممکن است چندین اقلیم را تجربه کرده باشند. بنابراین، نمی‌توان به‌طور دقیق اقلیم اولیه‌ای که خاک در آن تشکیل شده را بازسازی کرد؛ همچنین، در این که کدام‌یک از دوره‌ها تأثیرگذارتر بوده است، ابهام وجود دارد (۳۵). در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که خاک‌ها، آرشپوی از اطلاعات ارزشمند می‌باشند. زمانی که این اطلاعات به‌صورت مناسب ترکیب شوند منجر به فهم بهتر پیدایش خاک‌ها، سیمای اراضی^۳ و فعالیت‌های انسان در گذشته می‌شود. این روش با بهینه کردن ارتباط بین داده‌ها و اطلاعات منفرد و کنترل آن‌ها منجر به تفسیرهای

اکثر باستان‌شناسان معتقدند که بین بقایای فرهنگی، انسانی و خاکی که این بقایا در آن یافت می‌شود، رابطه وجود دارد. عواملی از تشکیل خاک که در باستان‌شناسی مورد توجه قرار می‌گیرند به‌طور ویژه شامل استفاده از خاک‌ها به‌عنوان شاخص سن، تغییرات آب و هوا و اقلیم‌های گذشته می‌باشند. این مفهوم که "مدت زمانی باید بگذرد، قبل از اینکه خاک تشکیل شود"، احتمالاً یکی از جنبه‌های مهم خاک‌شناسی در باستان‌شناسی است (۲۲). در طول زمان، عوامل خاک‌ساز به‌خصوص اقلیم و پوشش گیاهی تغییر

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
* - نویسنده مسئول:
(Email: farpoor@uk.ac.ir)

جامع‌تری می‌گردد (۲۸).

فرپور (۱۳۸۹) پژوهشی با هدف بررسی خصوصیات میکرومورفولوژی، فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی گوگرد از بخش‌های رخنمون‌شده در اثر زلزله و قبلاً مرمت‌شده ارگ در مکان باستانی ارگ بم انجام داد. نتایج نشان داد که اخیراً یک خاک شور برای مرمت به کار رفته است، در حالیکه خاک غیرشور به کار رفته در ساخت خشت‌های قدیمی احتمالاً توسط سازندگان اولیه ارگ از جای دیگری به منطقه آورده شده است (۱۱).

خدابخشی و همکاران (۱۳۹۱) پژوهشی به منظور مطالعه میکرومورفولوژی خاک‌های گورستان عصر آهن در مکان باستانی مسجد کبود تبریز انجام دادند. و نتیجه گرفتند که: تفاوت در ویژگی‌های میکرومورفولوژیکی، بافتی و شیمیایی افق‌های هر سه خاک رخ حفر شده وجود دارد. اثر عوامل طبیعی و غیر طبیعی، به هم خوردگی لایه‌ها را تصدیق کرد و وجود مواد مصنوع در افق‌های آن‌ها را نشان داد (۲۸). آنجلوچی (۲۰۰۳) با استفاده از بررسی‌های ژئومورفولوژی، رسوب‌شناسی و تحلیل‌های میکرومورفولوژیکی، به مطالعه زمین‌باستان‌شناسی^۱ یکی از استقرارگاه‌های صخره‌ای اسپانیا پرداخت. نتایج، مؤید ارتباط بین تغییرات اقلیمی و به موازات آن، تغییرات در فعالیت‌های انسانی بود (۴). هادیان دهکردی (۱۳۹۵) مطالعه‌ای با هدف بررسی خاکشناسی مصالح خشتی تاریخی و باستانی در مناطق مختلف ایران انجام داد. نمونه‌هایی از خشت‌های استفاده شده در محوطه‌های باستانی و بناهای تاریخی را مورد مطالعات شیمیایی (XRF)، کانی‌شناسی (XRD) و مکانیکی قرار داد. نتایج نشان داد که خاک استفاده شده در ساخت خشت‌ها از نوع رسی-ماسه‌ای و گاه همراه سیلت بوده؛ همچنین، بیشترین اجزای ریزدانه و شبه‌رسی در آنها کلریت، مسکویت و ایلیت بود (۱۸). سوردویل (۲۰۰۷) میکرومورفولوژی دو مکان مهم باستانی غار گاردن و پناهگاه صخره‌ای سنت آلبان را مورد مطالعه قرار داد. نتایج، ارتباط رسوبات را با نوسانات آب و هوایی نشان داد (۴۱).

طی مطالعه‌ای سنجری و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی شواهد میکرومورفولوژی خاک‌های قدیمی جیرفت پرداختند. نتایج حاکی از وجود پوشش‌های رسی و کلسیتی قوی روی ذرات اولیه و مؤید وجود اقلیمی با رطوبت بیشتر از زمان کنونی در زمان تشکیل خاک‌های قدیمی منطقه جیرفت بود (۳۸). افرا و همکاران (۱۳۹۵) نیز مطالعه‌ای با هدف بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های قدیمی در مناطق باستانی جیرفت انجام دادند. نتایج پژوهش ایشان مؤید وجود افق آرچلیک در منطقه و بنابراین وجود اقلیمی با رطوبت بیشتر از زمان کنونی در زمان تشکیل این خاک‌ها بود (۲). موریارتی (۲۰۰۴)

نمونه‌های گچ جمع‌آوری شده در منطقه باستانی لاتیرینداد دنوستروس در کشور گواتمالا را مورد بررسی قرار داد و بیان نمود با اینکه این قطعات گچی بسیار شبیه هم هستند اما از نظر ترکیب و کاربرد با هم متفاوت می‌باشند. این موضوع ممکن است به این دلیل باشد که فاکتورهای متعددی در طی فرآیندهای ساخت و ساز به‌طور معکوس با هم عمل کرده باشند (۳۳).

منطقه جیرفت دارای دو مکان باستانی متمایز دقینانوس (دوران اسلام) و کنار صندل (دوران ما قبل اسلام) می‌باشد (۳). هم‌چنین بستر قدیم و جدید مسیر رود مهم هلیل‌رود، در دو طرف منطقه کنار صندل قرار گرفته است. با توجه به اهمیت این نقاط باستانی در تاریخ و تمدن بشریت و عدم انجام تحقیقات با هدف مقایسه تکامل خاک در مکان‌های باستانی مذکور، لزوم انجام مطالعه‌ای برای بررسی تشکیل و تکامل، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی خاک در منطقه احساس گردید. هم‌چنین تفسیر نتایج مطالعات بخش خاک‌شناسی و مقایسه و تلفیق آن با شواهد باستان‌شناسی و تاریخی خاک‌های مناطق باستانی می‌تواند در راستای شناخت شرایط گذشته مفید باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

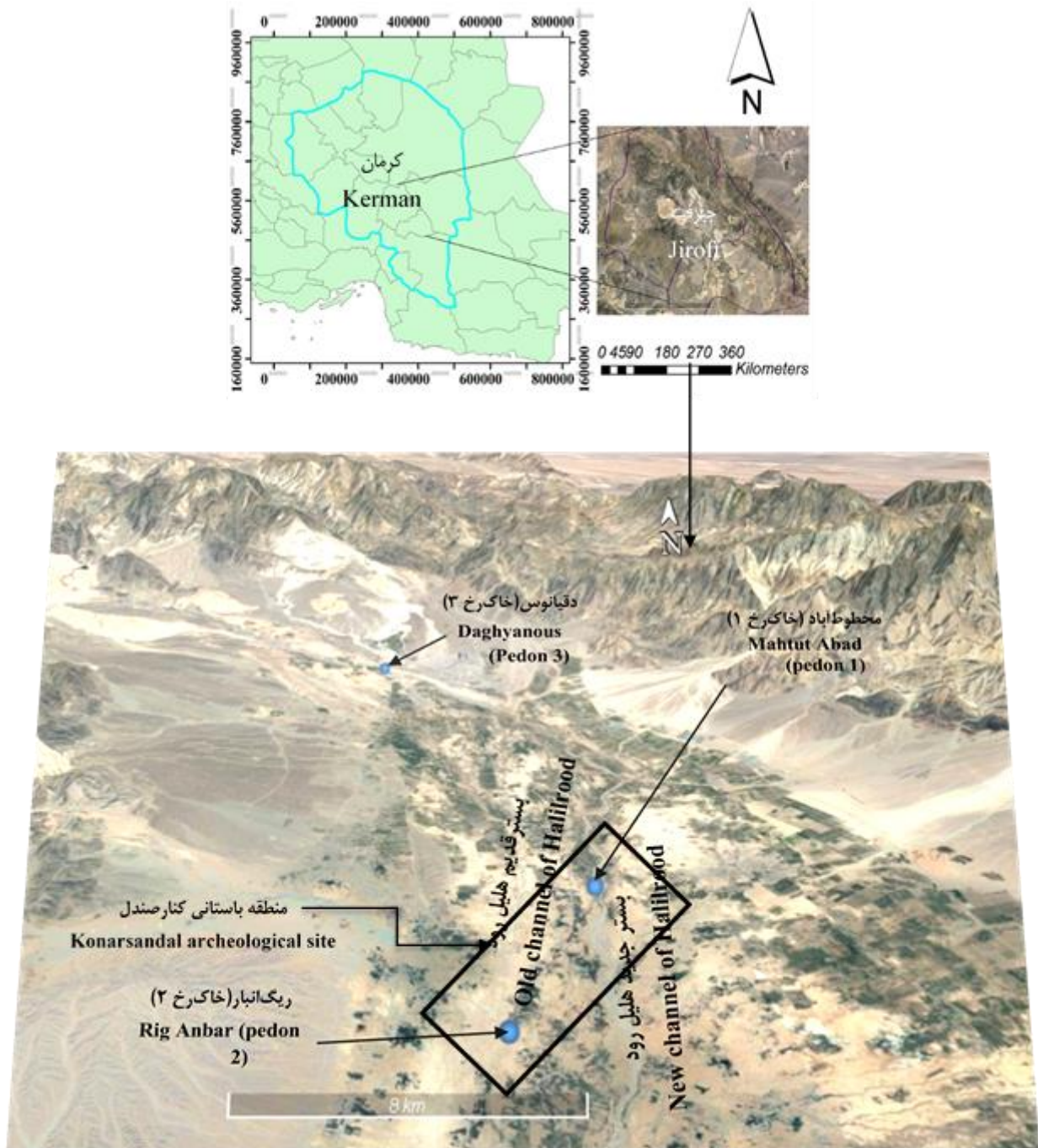
شهر جیرفت با ارتفاع تقریبی ۶۵۰ متر از سطح دریا، در جنوب شرقی استان کرمان واقع شده است. براساس اطلاعات سازمان هواشناسی برای یک دوره آماری ۱۸ساله (از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸) میانگین بارندگی و دمای سالیانه این منطقه به‌ترتیب ۱۷۴ میلی‌متر و ۲۵/۸ درجه سلسیوس می‌باشد (۵). رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های منطقه نیز به‌ترتیب اریدیک و هایپرترمیک می‌باشند (۵). موقعیت جغرافیایی نقاط مطالعاتی در محدوده عرض جغرافیایی "۲۸ ۲۳' ۴۷" تا "۲۸ ۳۹' ۴۳" شمالی و طول جغرافیایی "۵۷ ۴۲' ۴۱" تا "۵۷ ۴۷' ۲۴" شرقی قرار دارد (شکل ۱).

از لحاظ زمین‌شناسی در شمال جیرفت، رسوبات آبرفتی، مخروط‌افکنه‌های جوان و قدیمی و تراس‌های آبرفتی (دوره کواترنری) وجود دارند. غرب دشت جیرفت به مخروط‌افکنه‌های جوان دوره کواترنری و هم‌چنین سنگ‌هایی از قبیل ماسه‌سنگ-کنگلومر (نئوژن) محدود می‌شود. شرق دشت جیرفت نیز از رسوبات کواترنری پوشانده شده و شامل تراس رودخانه‌ای و مخروط‌افکنه است. در جنوب دشت جیرفت، رسوبات آبرفتی ماسه‌سنگی و کنگلومرای نئوژن متعلق به دوره کواترنری وجود دارند و خروجی دشت جیرفت محسوب می‌شوند (۳۷).

در جیرفت اختلاف ارتفاع شدید به‌طور کامل مشهود است. از ارتفاع ۴۰۰۰ متری کوه‌های جبال‌بارز و لاله‌زار تا ۳۶۹ متری کناره‌های هامون جازموریان به چشم می‌خورد. در این منطقه، شیب

سولان تغییر می‌کند. بنابراین جازموریان از شمال به کوه‌های جبال بارز و از جنوب به کوه‌های بشاگرد محدود است و از شرق به کوه‌های مکران می‌پیوندد. دو رود بمپور در شرق و هلیل‌رود در غرب، این حوضه را در بر می‌گیرند (۹).

تند کوهستان‌ها در بخش شرقی مشهود می‌باشد و در بخش شمالی و غربی، شیب به‌طور نسبی ملایم است. بعد از نواحی کوهستانی شمالی و غربی، جلگه‌ها و دشت‌های وسیعی قرار دارند که ارتفاع آنها از حدود ۲۴۰۰ متر در ساردوئیّه تا ۵۰۰ متر در بهادرآباد و قسمت انتهایی دشت



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی به همراه سه خاک‌رخ حفرتشده در آن
Figure 1- Location of study area along with three excavated soil pedons

جدول ۱- برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه

Table 1- Some morphological properties of studied pedons

ضخامت Thickness	افق Horizon	مرز Boundary ¹	رنگ Color		پایداری Consistency ²		تجمعات Concentrations ³	ساختمان Structure ⁴
			خشک Dry	مرطوب Moist	خشک Dry	مرطوب Moist		
Pedon 1 خاک‌رخ ۱								
0-20	A	A, S	10YR 7/2	10YR 4/4	S	VFR	FDC, TOT	2, f, abk
20-40	C	A, S	10YR 5/2	10YR 3/2	L	L	FDC, TOT	sg
40-80	2Btn	A, W	10YR 6/3	10YR 4/3	S	VFR	f, 1, CAM, MAT	1, m, abk
80-100	2C	A, W	10YR 6/2	10YR 3/2	S	L	F, 2, RSB, MAT	0, m, abk
100-150	3Btn	A, S	10YR 6/3	10YR 4/3	S	L	f, 1, CAM, MAT	1, m, abk
150-175	3Bk1	C, S	10YR 6/3	10YR 4/4	SH	VFR	FDC, FDG, TOT	1, m, abk
175-200	3Bk2	G, S	10YR 8/1	10YR 4/6	S	VFR	FDC, FDG, TOT	1, m, pl
200-230	3Bk3	C, W	10YR 7/2	10YR 4/4	S	VFR	CAM, MAT	1, f, , abk
230-265	3Bky	C, W	10YR 7/2	10YR 4/4	L	L	CAM, MAT	1, f, abk
Pedon 2 خاک‌رخ ۲								
0-30	Az	C, W	10YR 6/3	10YR 3/4	SH	FI	f, 1, 2, CAM, SAM, MAT	2, m, abk
30-40	Btn	G, W	10YR 7/3	10YR 4/6	SH	FR	f, 1, CAM, SAM, CBM, MAT	2, m, abk
40-75	Bw1	G, S	10YR 6/3	10YR 3/4	SH	FR	f, 1, SAM, CAM, MAT	2, m, abk
75-105	Bw2	C, S	10YR 7/2	10YR 5/4	SH	FR	FDC, TOT	1, m, abk
105-135	Bw3	C, S	10YR 7/2	10YR 4/4	SH	FR	f, 1, SAM, MAT	2, m, abk
135-180	Bw4	A, S	10YR 7/2	10YR 3/4	MH	FR	FDC, TOT	2, m, pl
180-200	Bw5	A, W	10YR 6/3	10YR 4/4	MH	VFR	FDC, TOT	2, m, abk
200-230	Bw6	A, W	10YR 7/2	10YR 4/4	SH	FR	FDC, TOT	1, m, abk
230-260	Bw7	A, W	10YR 7/2	10YR 4/4	SH	VFR	FDC, TOT	1, m, abk
Pedon 3 خاک‌رخ ۳								
0-20	A	A, S	10YR 6/3	10YR 3/4	S	VFR	FDC, TOT	2, f, abk
20-55	Bw	A, W	10YR 7/2	10YR 3/4	MH	FR	FDC, TOT	1, m, abk
55-95	Bt1	C, S	10YR 6/3	10YR 3/4	MH	FR	f, 1, CBM, MAT	2, m, abk
95-130	Bt2	G, S	10YR 8/2	10YR 4/6	SH	VFR	f, 1, CBM, MAT	1, m, abk
130-165	Bt3	C, S	10YR 6/3	10YR 3/4	MH	FR	f, 1, CBM, MAT, FDS, TOT	1, m, abk
165-190	Btk	C, S	10YR 6/3	10YR 3/4	SH	VFR	f, 1, CBM, MAT	2, m, abk
190-215	2Bw1	C, S	10YR 7/2	10YR 3/4	MH	FI	FDC, TOT	2, m, abk
215-235	2Bw2	C, W	10YR 7/2	10YR 4/6	MH	FR	FDC, TOT	2, m, cpr
235-260	2Bw3	C, S	10YR 7/3	10YR 4/6	SH	VFR	f, 1, CAM, MAT	1, m, abk
260-290	2Bk	C, S	10YR 6/3	10YR 4/4	SH	VFR	FDC, TOT	1, m, abk
290-320	2Bw	C, S	10YR 6/4	10YR 4/6	SH	VFR	FDC, TOT	2, m, pl

۱. مرز: وضوح (A-ناگهانی، C-واضح، G-تدریجی)؛ توپوگرافی: (S-صاف، W-موجی)

۲. پایداری: خشک (L-سست، S-نرم، SH-اندکی سخت، MH-سختی متوسط)؛ مرطوب (L-سست، VFR-بسیار شکننده، F-شکننده، FI-سفت)

۳. تجمعات: مقدار (f-کم)؛ اندازه (۱-کوچک، ۲-متوسط)؛ نوع (FDC-کربنات‌های ریز نامشهود، FDG-گچ ریز نامشهود، FDS-نمک‌های ریز نامشهود، -CAM توده‌های کربنات، SAM-توده‌های نمک، CBM-اجسام رسی، RSB-غلاف‌ها و پوشش‌های ریشه)؛ محل قرارگیری: (MAT-در ماتریکس (غیرتجمعی با منافذ و خاکدانه‌ها)، TOT-سراسری).

۴. ساختمان: درجه (۱-ضعیف، ۲-متوسط)؛ اندازه (f-ریز، m-متوسط)، نوع (abk-مکعبی زاویه‌دار، sg-ذرات تک‌دانه، pl-صفحه‌ای، cpr-ستونی)

1. Boundary: distinctness (A - abrupt, C - clear, G - gradual); topography (S - smooth, W - wavy)
2. Consistency: dry (L - loose, S - soft, SH - slightly hard, MH - moderately hard), moist (L - loose, VFR - very friable, FR - friable, FI - firm)
3. Concentrations: quantity (f - few); size (1 - fine, 2 - medium); kind (FDC - finely disseminated carbonates, FDG - finely disseminated gypsum, FDS - finely disseminated salts, CAM- carbonate masses, SAM - salt masses, CBM - clay bodies, RSB - root sheaths); location (MAT - in the matrix (not associated with peds/pores), TOT - throughout).
4. Structure: grade (1 - weak, 2 - moderate); size (f - fine, m - medium); type (abk - angular blocky, sg - single grain, pl - platy, cpr - Columnar).

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

نظر عکس‌برداری انجام شد (۴۴).

برای تعیین نوع کانی‌های رسی از روش‌های جکسون (۱۹۷۵) و کیتریک و هوپ (۱۹۶۳) به منظور حذف املاح محلول، کربنات‌ها، مواد آلی و آهن و جداسازی ذرات رس استفاده گردید (۲۳، ۳۱). افق‌های دارای پوشش رس و پرشدگی و پوشش کلسیت، برای بررسی نوع کانی‌های مختلف به آزمایشگاه کانی‌شناسی بخش علوم و مهندسی خاک دانشگاه شهرکرد ارسال گردید. بنابراین لایه‌های (۰-۳۰) و (۱۸۰-۲۰۰) سانتی‌متر در خاک‌رخ ۲ و لایه‌های (۹۵-۱۳۰) و (۲۶۰-۲۹۰) سانتی‌متر در خاک‌رخ ۳ برای این منظور انتخاب شدند. پراش پرتو ایکس نمونه‌ها تحت تیمار اشباع با منیزیم، اشباع با منیزیم و تیمار اتیلن گلیکول، اشباع با پتاسیم و اسلاید پتاسیم تیمار شده با حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس توسط دستگاه BRUKER مدل Dh Advance ساخت کشور آلمان، در ولتاژ ۴۰ kv و آمپراژ ۳۰ mA مورد بررسی قرار گرفت (۱۰).

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و نحوه تشکیل و رده‌بندی خاک

ویژگی‌های مورفولوژیکی خاک‌رخ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نیز در جدول ۲ ارائه گردید. خاک‌رخ ۱ به دلیل متأثر بودن از رسوبات رودخانه هلیل‌رود دارای دو خاک جوان رویی و قدیمی زیرین می‌باشد. با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول ۲، میزان شوری و نسبت جذب سطحی سدیم در خاک زیرین بیشتر از خاک رویی می‌باشد. بر همین اساس خاک قدیمی با بافت سنگین‌تر، توسط انقطاع از خاک جوان جدا شده است. بنابراین خاک‌رخ حفردیده در بستر جدید هلیل‌رود به دلیل وجود افق‌های ناتریک، کلسیک و جیپسیک، در سطح زیرگروه تپیک ناترارجیدز (Typic Natrargids) و در سیستم طبقه‌بندی جهانی به صورت Amphialic Solonetz (Amphicutanic, Amphiloamic, Hypernatric, Ochric, Amphiraptic) نام‌گذاری می‌شود. در خاک‌رخ‌های ۱ و ۲ به دلیل سدیم بالا که منجر به پخشیدگی ذرات رس و انتقال آن از افق‌های رویین به زیرین گردیده است، شرایط برای تشکیل افق ناتریک مهیا شده است. سدیم از کاتیون‌های غالب در اقلیم‌های خشک می‌باشد (۲۹). خاک‌رخ ۲ در گورستان باستانی کنار صندل و بستر قدیم هلیل‌رود حفردیده است. عامل شوری و نسبت جذب سطحی سدیم بالا در لایه‌های سطحی، سبب تشکیل افق ناتریک می‌گردد. بنابراین وجود افق ناتریک و کمبیک سبب فرارگیری این خاک‌رخ در سطح زیرگروه تپیک ناترارجیدز (Typic Natrargids) و به صورت Epihypersalic Epiabruptic (Solonetz (Epicutanic, Katoloamic, Epihypernatric) در سیستم طبقه‌بندی جهانی می‌شود.

محوه‌های باستانی حاشیه رودخانه هلیل‌رود از مهمترین سکونت‌گاه‌های بشر محسوب می‌شوند. برپایه بررسی‌های باستان‌شناسی، حوزه فرهنگی-جغرافیایی جیرفت دست‌کم از دوران نوسنگی، بستری مناسب برای استقرارهای انسانی بوده و پس از آن، هسته‌های تمدن از آغاز شهرنشینی (تمدن کنارصندل) تا دوران اسلامی (دقیانوس) در این حوزه شکل گرفته‌اند (۳). بنابراین جهت ارتباط بین مطالعات باستان‌شناسی و خاک‌شناسی، اقدام به حفر خاک‌رخ در گورستان‌های متعلق به هزاره سوم پیش از میلاد در منطقه باستانی کنارصندل و منطقه باستانی دقیانوس گردید. در گورستان‌های باستانی کنارصندل دو خاک‌رخ، به ترتیب در بستر جدید هلیل‌رود (محوط‌آباد) و بستر قدیم هلیل‌رود (ریگانبار) حفر شد که برای سهولت نوشتار به ترتیب به نام خاک‌رخ ۱ و ۲ و خاک‌رخ باستانی دقیانوس به نام خاک‌رخ ۳ نام‌گذاری می‌شوند (شکل ۱). سپس نمونه‌برداری از تمامی افق‌های خاک‌رخ‌های مذکور انجام گرفت. نمونه‌های هواخشک شده، کوبیده و از الک دو میلی‌متر عبور داده شد. آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی لازم شامل واکنش خاک در خمیر اشباع به کمک دستگاه پهاش‌سنج مدل Jenway، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک به وسیله دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی مدل Jenway، بافت خاک به روش هیدرومتر (۶)، اندازه‌گیری گچ به روش ترسیب استون (۳۴)، اندازه‌گیری سدیم محلول از دستگاه نشر اتمی (۱۹)، اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم محلول به روش تیتراسیون (۳۲) و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۳۲) انجام گردید. سپس رده‌بندی خاک منطقه بر طبق سیستم رده‌بندی خاک آمریکایی (۲۰۱۴) و سیستم طبقه‌بندی جهانی (WRB) و با توجه به نتایج آزمایشگاهی و مشاهدات صحرایی انجام گرفت (۴۰).

تعداد ۱۰ کلوخه دست‌نخورده خاک از افق‌های مختلف خاک‌رخ‌های مورد مطالعه، برای تهیه مقطع نازک و بررسی میکرومورفولوژی انتخاب شدند. به این منظور از رزین سه‌جزئی به منظور اشباع کردن نمونه‌های خاک استفاده گردید. نمونه‌ها پس از گذشت حدود ۱۰ روز، در شرایط هوای آزاد سخت و خشک شدند. سپس نمونه‌های اشباع‌شده برای تهیه مقطع نازک آماده گردید. به دلیل وجود گچ و سایر مواد انحلال‌پذیر در نمونه‌ها، از نفت برای سایش استفاده شد. در پایان، مقاطع نازک تهیه‌شده، با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل BK-POL-TB در دو حالت نور پلاریزان صفحه‌ای^۱ (PPL) و متقاطع^۲ (XPL) بر اساس راهنمای استوپس (۲۰۰۳) مورد بررسی قرار گرفتند و از بخش‌های مورد

1- Plain Polarized Light

2- Cross Polarized Light

جدول ۲- مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه
Table 2- Comparison of physical and chemical properties in studied pedons

ضخامت Thickness (cm)	افق Horizon	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	کلاس بافت ^۱ Textural class ¹	EC (dS/m)	pH	SAR (mmol L ⁻¹) ^{0.5}	گچ Gypsum (%)	کربنات کلسیم معادل CCE(%)
خاک‌رخ ۱ \ Pedon 1										
0-20	A	52	42	6	SL	5.8	7.2	13	1.1	14.5
20-40	C	90	6	4	S	5.9	7.7	8.8	0.05	7.7
40-80	2Btn	54	32	14	SL	22.4	8.6	61	2.1	11
80-100	2C	94	2	4	S	17.8	8.7	50	0.5	7.5
100-150	3Btn	40	36	24	L	21.6	8.7	58	3.2	14.7
150-175	3Bk1	54	42	4	SL	21.4	8.5	58	3.2	18.5
175-200	3Bk2	54	36	10	SL	18.5	8.2	46	3.2	18.2
200-230	3Bk3	54	38	8	SL	18.7	8.1	57	2.2	16
230-265	3Bky	50	42	8	L	17.3	8.1	46	5.2	15.7
خاک‌رخ ۲ \ Pedon 2										
0-30	Az	18	60	22	SiL	39.6	8.3	154	1.1	6.7
30-40	Btn	20	37	43	C	30.6	8.3	120	0	6.7
40-75	Bw1	26	40	34	CL	20.4	8.5	96	0	5.7
75-105	Bw2	26	46	28	L	10.1	8.7	79	0	11.2
105-135	Bw3	22	48	30	CL	4.2	9.2	33	0	10.2
135-180	Bw4	32	46	22	L	5.4	9.0	64	0	5.25
180-200	Bw5	32	46	22	L	6.5	8.7	75	0	12.5
200-230	Bw6	26	50	26	L	5.9	8.6	45	0	12.7
230-260	Bw7	28	48	24	L	7.2	8.2	41	0	11.5
خاک‌رخ ۳ \ Pedon 3										
0-20	A	56	24	20	SCL	1.2	7.4	1.3	0	3.5
20-55	Bw	56	32	12	SL	7.7	7.3	14	0	6.5
55-95	Bt1	24	40	36	CL	11.7	6.9	5.4	0	9.5
95-130	Bt2	18	40	42	C	8.9	7.0	6.7	0	12.2
130-165	Bt3	14	38	48	C	5	7.3	6.5	0	12.2
165-190	Btk	12	42	46	SiC	6.2	7.3	8.0	0	15.2
190-215	2Bw1	18	42	40	SiC	3.6	7.5	7.6	0	11.7
215-235	2Bw2	20	50	30	SiCL	2.7	7.5	5.7	0	12.5
235-260	2Bw3	26	42	32	CL	2.4	7.5	4.6	0	8.7
260-290	2Bk	20	48	32	CL	1	7.6	4.1	0	15.2
290-320	2Bw	24	48	28	CL	1	7.6	3.2	0	9.7

1. Textural classes: SL – sandy loam, S – sand, L – Loam, SiL – silt loam, C – clay, CL – clay loam, SCL – sandy clay loam, SiC – silty clay, SiCL – silty clay loam.

Endoabruptic (Paleargids) و در سیستم طبقه‌بندی جهانی Luvisols (Katocutanic, Anoloamic, Ochric) نامگذاری می‌شود.

میکرومورفولوژی خاک

در مطالعات میکرومورفولوژی خاک منطقه ذرات کلسیت، کانی‌های اکسیدی آهن‌دار، کوارتز، گچ، زیرکن و فلدسپار پلاژیوکلاز رؤیت شدند. به دیگر سخن، کلسیت، گچ، اکسیدهای آهن و پوشش‌های رسی از جمله عوارض خاکی مهم مشاهده شده در مطالعات میکرومورفولوژیکی در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشند. مکان باستانی کنار صندل در قسمت پست دشت جیرفت و پایین دست ارتفاعات رابر و بافت قرار دارد. وجود گچ‌های عدسی شکل می‌تواند متأثر از انحلال سازندهای نئوژن بالادست و بالا بودن سطح

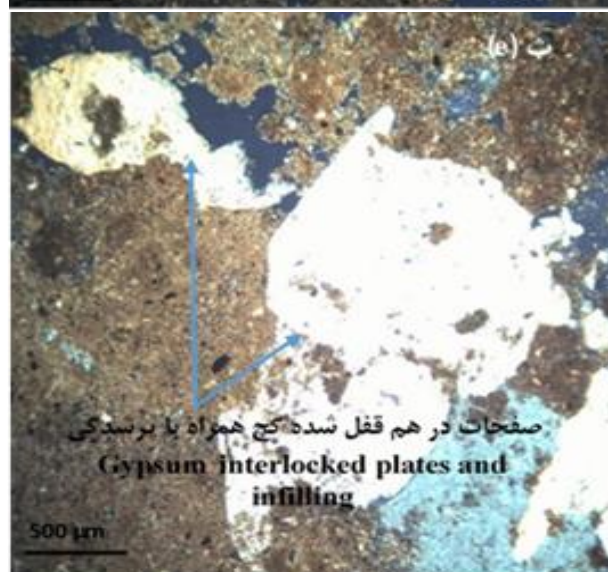
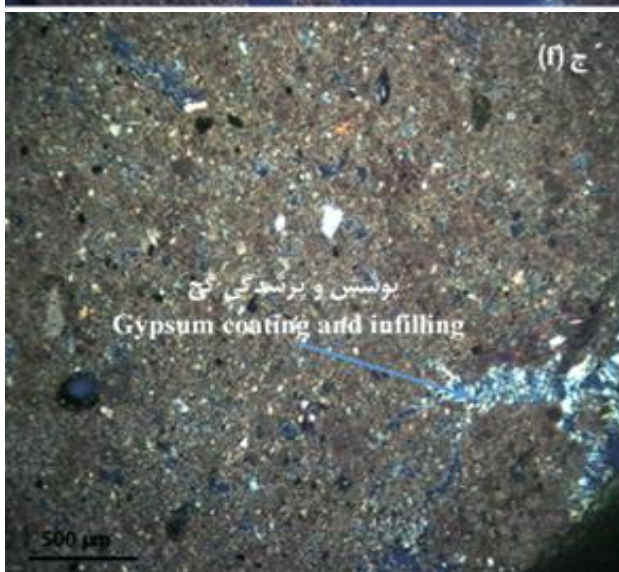
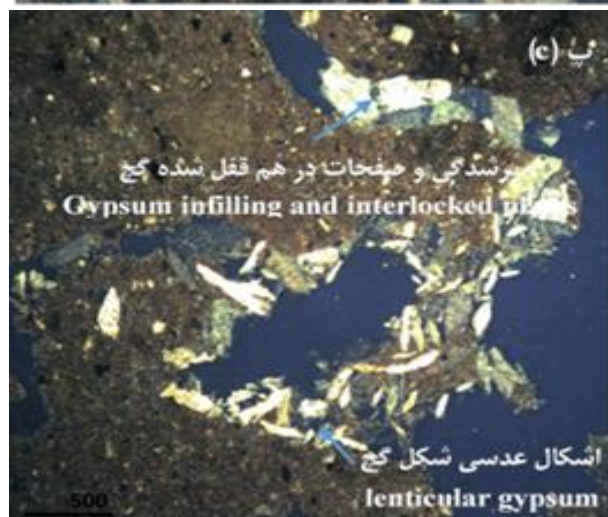
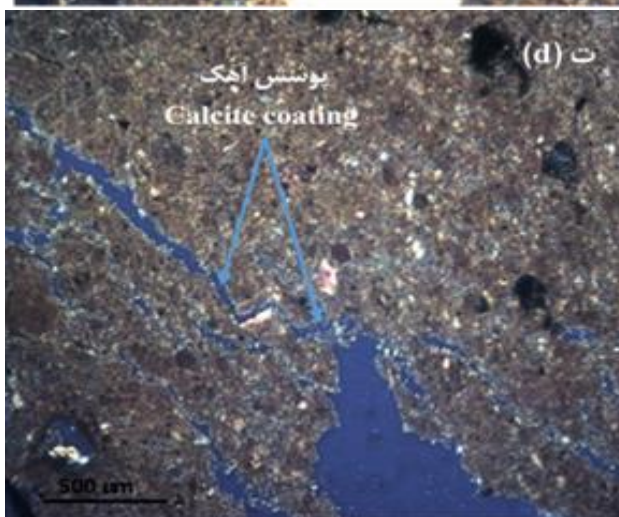
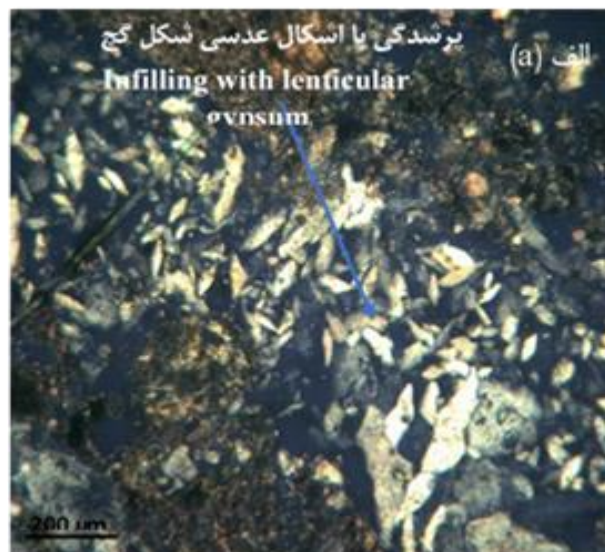
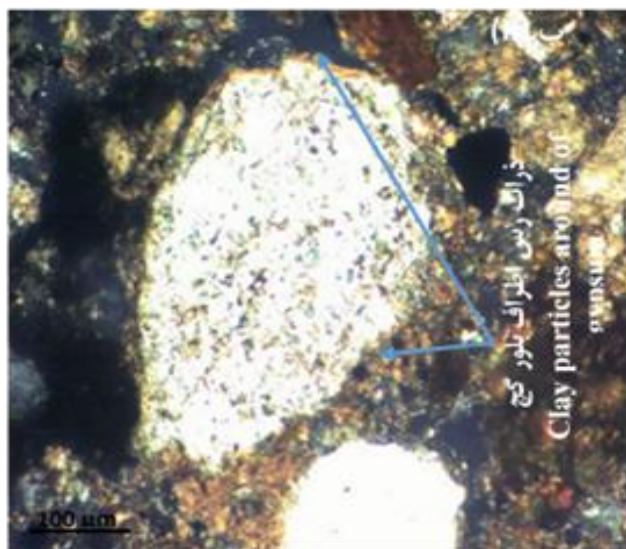
خاک‌رخ ۳ دارای افق آرجیلیک بوده و یک خاک قدیمی و چندتشکیلی^۱ محسوب می‌شود. این موضوع می‌تواند به دلیل وجود رطوبت قابل دسترس در اقلیم گذشته باشد. به عبارت دیگر، رطوبت قابل دسترس کافی در دوران گذشته، باعث خروج کربنات‌ها از افق‌های بالایی و به دنبال آن، انتقال رس و تشکیل افق آرجیلیک شده است. به طور کلی این خاک‌رخ دارای تنوع و خاکزایی است و دارای بافتی ریز و شوری و نسبت جذب سطحی سدیم پایین می‌باشد (۲، ۳۸ و ۳۹). بنابراین به دلیل مشاهده افق‌های کمبیک، آرجیلیک و کلسیک در سطح زیرگروه به صورت تیپیک پیل آرجیدز (Typic

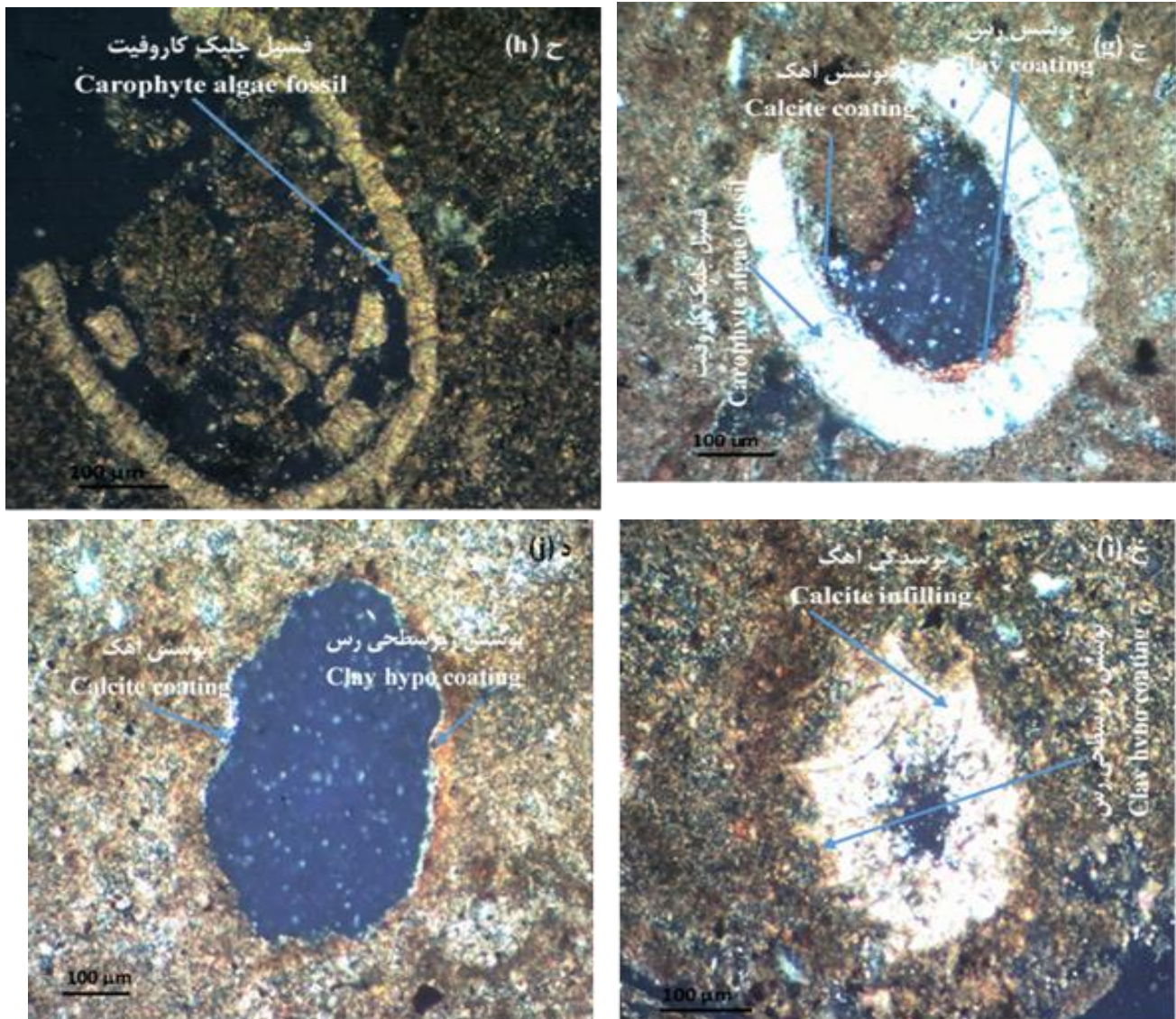
1- Polygenetic soil

آب زیرزمینی در منطقه و در نهایت بروز خاصیت موبینگی و ظهور کانی‌های تبخیری مانند گچ باشد. به دلیل وجود سدیم بالا و بروز شرایط افق ناتریک در خاک‌های ۱ و ۲ گاهی رس به صورت پخشیده در اطراف حفرات قرار گرفته است؛ بنابراین مانع تشکیل پوشش قوی رس اطراف سطح حفرات می‌شود (۲۹). کلسیت، پرشدگی گچ و پوشش رس در قسمت حفرات خاک‌رخ ۱ مشاهده گردید. گچ در اشکال مختلف منظم عدسی شکل، صفحات درهم قفل شده و پرشدگی نیز در خاک‌رخ مذکور مشاهده شد (شکل ۲ قسمت الف، ب، پ، ت، ث). از سطح به عمق در میزان و اشکال گچ تفاوت چشم‌گیری رخ نداد. خامی و مرموت (۱۹۹۹) نیز اشکال فیبری شعاعی و صفحات درهم قفل شده گچ را در خاک‌های اصفهان مشاهده نمودند (۲۷). استوپس و پوچ (۱۹۹۴) با مطالعه اشکال میکرومورفولوژی گچ مرتبط با تکامل افق جیسیک دریافتند که مراحل ابتدایی جیسیفیکاسیون شامل تشکیل پوشش و در ادامه پرشدگی برخی منافذ با گچ بوده و در نهایت تجمع فشرده‌ای از بلورهای ریز و یا بلورهای درشت گچ در زمینه خاک مشاهده می‌گردد (۴۴). در خاک‌رخ ۲ گچ در میزان کم به صورت اشکال عدسی شکل وجود داشت (شکل ۲ قسمت ج). این موضوع می‌تواند به دلیل قرار گرفتن خاک‌رخ در بستر قدیم هلیل‌رود باشد. بنابراین خاک‌رخ ۲ به دلیل تأثیرپذیری طولانی مدت از هلیل‌رود، در شرایط ناپایداری و عدم تکامل نسبت به خاک‌رخ ۱ قرار گرفته است و این موضوع، سبب جلوگیری از تجمع رس و گچ قابل توجه در این قسمت شده است. بلورهای گچ عدسی شکل و نامنظم، تکامل خیلی ضعیفی که به علت بارندگی کم، تبخیر زیاد و زیادی نمک است را نشان می‌دهند (۱). ناخالصی‌هایی نظیر مقادیر زیاد کلرورسدیم به‌عنوان یکی از شرایط تشکیل گچ عدسی شکل محسوب می‌شود (۱۶). با توجه به شوری نسبتاً بالای خاک‌های ۱ و ۲، وجود اشکال عدسی شکل گچ در مشاهدات توجیه می‌شود (جدول ۲). پرشدگی‌های گچ به صورت ناقص و کامل از عوارض مشاهده شده است که مربوط به آبشویی گچ ثانویه است. بسیاری از پژوهشگران دریافتند که پرشدگی‌های نمکی فضای داخل منافذ کانالی و وگی^۱ را به صورت جزئی یا کامل پر کرده‌اند و مورفولوژی و اندازه آنها تابع شکل و اندازه منافذ میزبان می‌باشد. به نظر می‌رسد که تبخیر و رسوب تدریجی نمک در این منافذ منجر به تشکیل این شکل تجمعات گردیده است (۱).

هم‌چنین در بررسی میکرومورفولوژی مقاطع نازک خاک‌رخ ۳ فسیل جلبک کاروفیت مشاهده شد (شکل ۲ قسمت چ، ح). این جلبک که در محیط لب شور زندگی می‌کند از اوائل دونین تا عهد حاضر بر جای مانده است (۱۴، ۱۵ و ۴۲). محل زندگی این فسیل آب‌های کم عمق می‌باشد (۱۴ و ۱۵)، بنابراین احتمالاً این منطقه در دوران خاصی در احاطه آب‌های کم عمق و شیرین قرار داشته است. مشاهده این فسیل می‌تواند متأثر از رسوبات بالادست منطقه نیز باشد. با توجه به سالم بودن فسیل می‌توان عمر آن را به دوران کواترنری و دوره پلیستوسن نسبت داد. این موضوع می‌تواند با پایداری سطح ژئومورفیک منطقه و قدمت بالای خاک مذکور در ارتباط باشد.

مشاهدات صحرائی و تجزیه‌های آزمایشگاهی در خاک‌رخ ۳ وجود گچ به‌طور مشخص را نشان نداد. در برخی از مطالعات، تفاوت شکل گچ مرتبط با تفاوت سطوح ژئومورفیک دانسته شده است (۴۶، ۲۱ و ۱۲). خاک‌رخ ۳ در منطقه باستانی دقیانوس و بر روی سطح پایدار پدیمت پوشیده از لحاظ ژئومورفیک حفر گردید؛ در حالی که





شکل ۲- مقایسه نتایج تصاویر میکرومورفولوژی در حالت نور متقاطع

الف: خاکرخ ۱، افق 2Bt; ب: خاکرخ ۱، افق 3BtN; پ: خاکرخ ۱، افق 3Bk1; ت، ث: خاکرخ ۱، افق 3Bky; ج: خاکرخ ۲، افق Az; چ: خاکرخ ۳، افق Bt1; ح، خ، د: خاکرخ ۳، افق Btk

Figure 2- Comparison of micromorphology images (XPL)

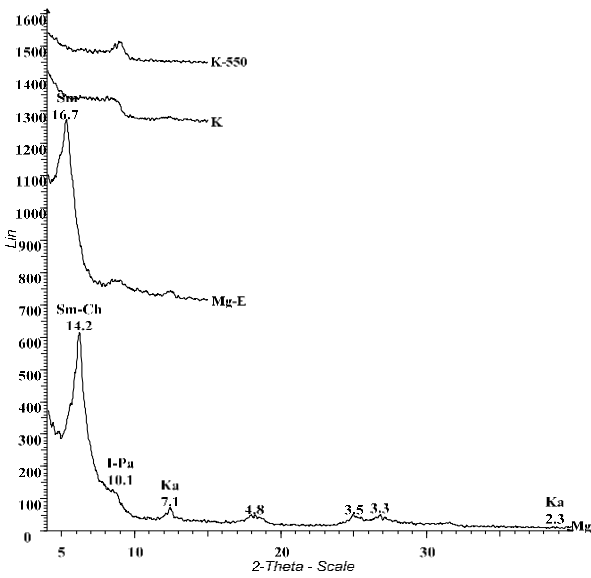
a: Pedon 1, horizon 2Bt; b: Pedon 1, horizon 3BtN; c: Pedon 1, horizon 3Bk1; d and e: Pedon 1, horizon 3Bky; f: Pedon 2, horizon Az; g: Pedon 3, horizon Bt1; h, i and j: Pedon 3, horizon Btk.

نیز اقلیم منطقه دارد. تشکیل پالی گورسکیت به صورت خاکساز از تغییر شکل کانی‌های ۲:۱ و یا نوتشکلی در مطالعات متعددی گزارش شده است. این کانی برای اولین بار در رسوبات و خاک‌های ایران توسط هندرسون و رابرتسون (۱۹۵۸) و برنت و همکاران (۱۹۷۲) گزارش شد (۲۰، ۸). هر دو منشأ خاکساز و به ارث رسیده پالی گورسکیت در خاک‌های ایران مرکزی توسط خادمی و مرموت (۱۹۹۸) و فرپور و همکاران (۲۰۰۲) گزارش شده است (۲۶ و ۱۳).

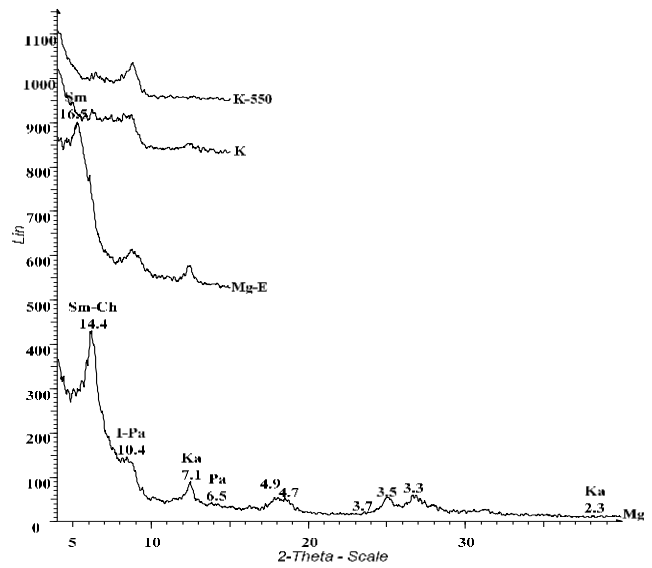
کانی‌شناسی رس خاک

نوع کانی‌های موجود در خاک اغلب بیانگر مرحله هوادیدگی خاک می‌باشند. در بررسی کانی‌شناسی منطقه، با توجه به پیک‌های چهار تیمار منیزیم، منیزیم و اتیلن گلیکول، پتاسیم در دمای معمولی و پتاسیم در حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس وجود کانی‌های رسی کائولینیت، ایلیت، کلریت، اسمکتیت و پالی گورسکیت تأیید شد (۲ و ۳۸).

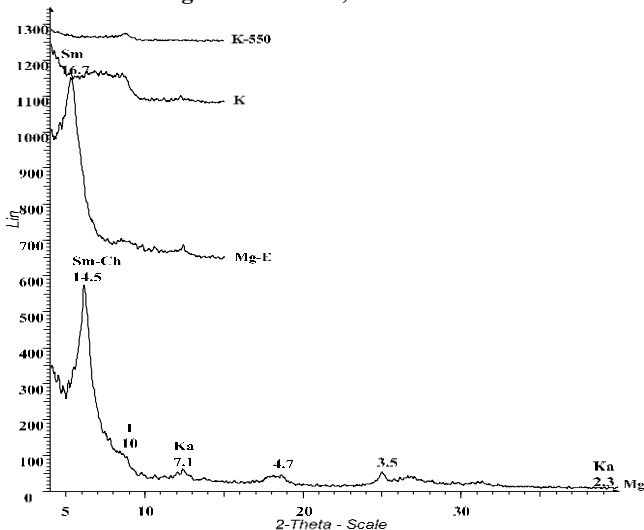
وجود پالی گورسکیت در خاک وابستگی زیادی به مواد مادری و



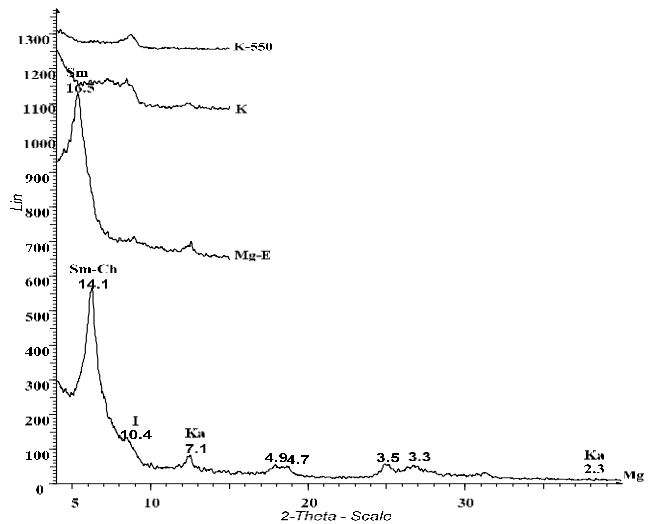
شکل ۴- خاکرخ ۲ افق Bw5
Figure 4- Pedon 2, Horizon Bw5



شکل ۳- خاکرخ ۲ افق Az
Figure 3- Pedon 2, Horizon Az



شکل ۶- خاکرخ ۳ افق 2Bk
Figure 6- Pedon 3, Horizon 2Bk



شکل ۵- خاکرخ ۳ افق Bt2
Figure 5- Pedon 3, Horizon Bt2

Mg: اشباع با منیزیم، Mg-E: اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، K: اشباع با پتاسیم، K-550: اشباع با پتاسیم در حرارت ۵۵۰ درجه سلسیوس.

Sm: اسمکتیت، I: ایلیت، Ka: کاتولینیت، Pa: پالی گورسکیت، Ch: کلریت

(Mg: Mg saturated, Mg-E: Mg saturated treated by Ethylene glycol, K: K saturated, K-550: K saturated heated to 550 °C.

Sm: Smectite, I: Illite, K: Kaolinite, Pa: Palygorskite, Ch: Chlorite)

در رطوبت بالا ناپایدار است و به کانی اسمکتیت تبدیل می‌شود (۳۹) (اشکال ۳ تا ۶). منشاء کانی‌های کلریت و ایلیت (کانی‌های میکایی) مواد مادری خاک می‌باشد (۳۹); اگرچه شواهدی مبنی بر تشکیل پدوژنیک میکا در مناطق خشک و نیمه‌خشک نیز گزارش شده است بدین صورت که این امکان وجود دارد که میکا در شرایط خاصی به‌واسطه تثبیت پتاسیم در لایه‌های اسمکتیت نیز حاصل شود (۷).

وجود گچ، آب زیرزمینی شور و قلیا، کلریت^۱ و کالچ^۲ می‌تواند شرایط مناسب را برای نوتشکیلی پالی گورسکیت از محلول خاک فراهم نماید (۳۹). با توجه به وجود شرایط اقلیمی مرطوب‌تر گذشته، کانی پالی-گورسکیت در خاکرخ باستانی دقیانوس مشاهده نگردید، زیرا این کانی

- 1- Calcrete
- 2- Caliche

جدول ۳- فراوانی نسبی کانی‌ها در افق‌های مورد مطالعه بر پایه XRD

Table 3- Relative abundance of minerals within horizons based on X-ray diffraction

ضخامت	افق	کائولینیت	پالی‌گورسکیت	ایلیت	کلریت	اسمکتیت	سایر
Thickness	Horizon	Kaolinite	Palygorskite	Illite	Chlorite	Smectite	Other
0-30	Az	+	++	++	+++	++++	++
180-200	Bw5	+	+	+	+++	+++	++++
95-130	Bt2	+	-	++	++++	+++	++
260-290	2Bk	+	-	+	++++	+++	+++
		++++ >50%	++++ (30-50)%	+++ (20-30)%	++ (10-20)%	+ <10%	

اما نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی و میکرومورفولوژی، تکامل ضعیف در خاک‌های کنارصندل و تکامل قوی‌تر در منطقه باستانی دقیانوس را نشان می‌دهد. این موضوع با توجه به قرارگیری خاک‌های ۱ و ۲ در سطح ناپایدار حدواسط دشت ابرفتی و پدیمت و خاک‌های ۳ در سطح پایدار پدیمت پوشیده نیز تأیید می‌گردد. وجود سطح پایدار، امکان تجمع پوشش‌های قوی رس و کلسیت در اطراف حفرات و تشکیل افق‌های آرچیلیک و کلسیک که نشان‌گر تکامل بالاتر می‌باشند را فراهم کرده است. خاک‌های حفر شده در بستر قدیم رودخانه هلیل‌رود، دارای شوری و نسبت جذب سطحی سدیم نسبتاً بالا در مقایسه با سایر خاک‌ها می‌باشد. مطالعات باستان‌شناسی قدمت تاریخی بالاتر منطقه باستانی کنارصندل را نسبت به دقیانوس اثبات می‌کند. انسان در هزاره سوم قبل از میلاد در منطقه باستانی کنار صندل؛ که دارای شرایط اقلیمی، اقتصادی و فرهنگی بسیار مناسب نسبت به مناطق اطراف خود برخوردار بوده، زندگی می‌کرده است. سپس با توجه به شواهد باستان‌شناسی و تاریخی، زندگی و حیات از بخش کنارصندل به منطقه باستانی دقیانوس منتقل می‌شود؛ این موضوع می‌تواند تا حدی به قرارگیری منطقه باستانی دقیانوس در سطح پایدارتر و مهیاتر بودن شرایط زندگی و تزلزل شرایط معیشتی و زیست محیطی در کنار صندل ارتباط داشته باشد. برای دستیابی به نتایج بهتر در تعیین قدمت و شرایط اقلیمی گذشته در منطقه، انجام آنالیزهای ایزوتوپی مثل کربن، اکسیژن و نیتروژن در مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

اسمکتیت موجود در خاک‌های مناطق خشک می‌تواند منشاء ارثی از مواد مادری داشته و یا حاصل فرایندهای خاکسازي باشد. کانی اسمکتیت در خاک‌های منطقه به صورت پدوژنیک توسط سنجری و همکاران (۳۹) نیز گزارش شده است. به نظر می‌رسد که کانی‌های کلریت، ایلیت و کائولینیت مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه از مواد مادری به ارث رسیده‌اند (۳۹).

براساس فراوانی نسبی کانی‌های افق‌های مورد مطالعه، با توجه به منشأ پدوژنیک اسمکتیت شدت پیک کانی مزبور در افق‌های مختلف افزایش یافته است. به دلیل وجود مقادیر کم کائولینیت و ایلیت می‌توان گفت کانی‌های موجود در این خاک‌ها از مواد مادری به ارث رسیده است (جدول ۳).

نتیجه‌گیری

با توجه به اقلیم خشک فعلی، وجود افق آرچیلیک در خاک‌های ۳ و مشاهده پوشش رس قوی در سطوح حفرات می‌تواند وجود اقلیمی با رطوبت قابل دسترس بیشتر از زمان کنونی برای تأمین شرایط تجمع و آبشویی رس در زمان تشکیل خاک‌های قدیمی منطقه باستانی دقیانوس را اثبات کند. نتایج حاصل نشان‌گر چندتشکیلی بودن خاک‌های مذکور می‌باشد. پالی‌گورسکیت، ایلیت، کلریت، کائولینیت و اسمکتیت مشاهده شده در منطقه، کانی‌های رسی اصلی خاک‌ها و رسوبات موجود در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند. البته عدم مشاهده کانی پالی‌گورسکیت در خاک‌های باستانی دقیانوس با توجه به اثبات اقلیم مرطوب‌تر حاکم بر گذشته منطقه، منطقی به نظر می‌رسد.

منابع

- 1- Abbaslou H., and Abtahi A. 2009. Mineralogy and micromorphology investigation of soils on calcareous, gypsiferous and saline material in Bakhtegan Lake margin, Fars Province. Proceedings of the 11th Iranian Soil Science Congress. Gorgan, Iran, pp. 456-457. (In Persian with English abstract)
- 2- Afra S., Broumand N., Farpour M.H., and Sanjari S. 2016. Study of physical and chemical properties of past soils in Jiroft area. 2th national conference of constant management of soil and environmental resources. (In Persian)
- 3- Amir Hajluo S. 2014. Explanation of role of ecological variables in life of Islamic city of Jiroft. Archaeological researches of Iran. 4: 7. (In Persian with English abstract)
- 4- Angelucci D. 2003. Geo archaeology and micromorphology of Abric de la Cati vera (Catalonia, Spain). Catena 54:

- 573-601.
- 5- Banaie M.H. 2003. Temperature and moisture regimes maps in Iran soils. Agricultural researches and educational organization. Soil and water research institute. (In Persian)
 - 6- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. Journal* 54: 464-465.
 - 7- Bronger A., Ensling J., Gutlich P., and Spiering H. 1988. Rubification of terra rossa in Slovakia: A Mosbaaer effect study, *Clays and Clay Minerals* 3: 269-275.
 - 8- Burnet A.D., Fookes P.G., and Robertson R.H. 1972. An engineering soil at Kermanshah, Zagros mountains, Iran. *Clay Miner* 9: 329-343.
 - 9- Choobak H. 2012. Crockerly from the Islamic period-old city of Jiroft. *Journal of Archaeological Studies* 4(1): 83-112. (In Persian with English abstract)
 - 10- Doran J.W. 2002. Soil mineralogy with environmental applications. Soil science of Ameriva, Inc. 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711 USA.
 - 11- Farpoor M.H. 2010. Soil data comparison in the old vs. Restored sections of the Bam citadel archeological site in Kerman, Iran. *J. Agr. Sci. Tech.* 12: 91-98.
 - 12- Farpoor M.H., Khademi H., Eghbal M.K., and Krouse H.R. 2004. Mode of gypsum deposition in southeastern Iranian soils as revealed by isotopic composition of crystallization water, Iran. *Geoderma* 121: 233-242.
 - 13- 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 agric. Res.* 21: 39-60.
 - 14- Ghahraman A. 1997 (a). Basic botany. Volume 2. Anatomy and morphology of reproductive organs and their function in large groups from plants of world. Classification, effect and role of plants in the environment from study of plants covers. Tehran university press (2229). 539 pages. (In Persian)
 - 15- Ghahraman A. 1997 (b). Basic botany. Volume 2. Anatomy and morphology of reproductive organs and their function in large groups from plants of world. Classification, effect and role of plants in the environment from Study of plants covers. Tehran university press (2229). 492 Pages. b. (In Persian)
 - 16- Ghergherechi S.H., Khormali F., Mahmoodi S., and Ayoubi S. 2009. Micromorphology of argillic horizon development in loess derived soils of humid and sub humid regions of Golestan province, Iran. *Journal of Soil and Water Research* 40: 130-138. (In Persian with English abstract)
 - 17- Gile L.H., and Grossman R.B. 1968. Morphology of the argillic horizon in desert soils of southern New Mexico. *Soil Sci.* 106: 6-15.
 - 18- Hadian Dehkordi M. 2016. Soil science studies in historical and archaeological raw bricks of different areas in Iran. *Science, Technology, Art Journal* 75: 86-96. (In Persian with English abstract)
 - 19- Helmke P.A., and Sparks D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. p. 551-574. In D. L. Sparks et al. (ed.) *Method of Soil Analysis. Part 3.* 3th ed. American society of agronomy. Madison, WI.
 - 20- Henderson S.G., and Robertson R.H. 1958. A mineralogical reconnaissance in western Iran. *Resource use* 1td, Glasgow, UK.
 - 21- Herrero J., and Porta J. 2000. The terminology and the concepts of gypsum-rich soils. *Geoderma* 96: 47-61.
 - 22- Holliday V.T. 1992. Soil formation, time and archaeology. *Soils in archaeology: landscape evolution and human occupation*, Smithsonian institution press, Washington, DC. Pp 101-117.
 - 23- Jackson M.L. 1975. Soil chemical analysis-advanced course. University of Wisconsin college of agriculture, Department of soil science, Madison, WI.
 - 24- Kemp R.A. 1998. Role of micromorphology in paleo ecological research *Quaternary inter.* 51/52: 133-141.
 - 25- Kemp R.A. 1999. Soil micromorphology as a technique for reconstructing paleo environmental change. Pp: 41-71. In: Singh Vi A. S and Derbyshire (Eds). *Paleo environmental reconstruction in arid lands.* Balkema pub. Netherlands.
 - 26- Khademi H., and Mermut A.R. 1998. Source of palygorskite gypsiferous aridisols and associated sediments from central Iran. *Clay Minerals* 33: 561-578.
 - 27- Khademi H., and Mermut A.R. 1999. Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonates and associated palygorskite in Iranian Aridisols. *European journal of soil science* 50(2): 207-216.
 - 28- Khodabakhshi S., Karimian Eghbal M., and Hajbari Nobari A.R. 2012. Micromorphological investigation of iron age cemetery in Kabood mosque archaeological site Tabriz, Iran. Thesis for the degree of master of science. University of Tabriz. (In Persian with English abstract)
 - 29- Khormali F., Abtahi A., Mahmoodi S., and Stoops G. 2003. Argillic horizon development in calcareous soils of arid and semi-arid regions of southern Iran. *Catena* 53, 273-301.
 - 30- Khormali F., Abtahi A., and Stoops G. 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. *Geoderma* 132, 31-46.
 - 31- Kittrik J.A., and Hope E.W. 1963. A procedure for the particle size separation of soil for X-ray diffraction analysis. *Soil Sci. Soc.* 96: 312-325.
 - 32- Lanyon L.E., and Heald W.R. 1982. Magnesium, Calcium, Strontion and Barium. P. 247-260. In: A. L. Page et

- al.(ed.), *Methods of Soil Analysis. Part II. 2nd ed., Agron. Monog. No:9. ASA and SSSA. Madison, WI.*Page
- 33- Moriarty D. 2004. Settlement archaeology at Motul de San Jose, Peten, Guatemala. Preliminary results from the 1998-2003 seasons. *Mayab* 17. Pp. 21-44.
- 34- Nelson R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. P. 181-196. In: A. L. Page et al.(ed), *Methods of Soil Analysis. Part II. 2nd ed., American society of agronomy. No: 9. ASA and SSSA. Madison, WI.*
- 35- Nettleton W.D., Brasher B.R., Benham E.C., and Ahrens R.J. 1998. A classification system for buried paleosols. *Quaternary international* 5 1/52. 175-183.
- 36- Retallack G.J. 2001. *Soils of the past. An introduction to paleo pedology.* Unwin Hyman Pub. Boston. 404 pp.
- 37- Sahandi M.R. 1991. Geology map, 1:250000 from Kerman, Geological survey of Iran.
- 38- Sanjari S., Farpour M.H., Esfandiarpour I., and Karimian Eghbal M. 2010. Evaluation evidences from micromorphological of past soils in Jiroft area. 2Th comprehensive conference of management of water resources. Shahid Bahonar university of Kerman. (In Persian)
- 39- Sanjari S., Farpour M.H., Esfandiarpour I., and Karimian M. 2011. Micromorphology and clay mineralogy comparison of past and present soils in Jiroft area. *Journal of Water and Soil Science* 15(58): 173-185. (In Persian with English abstract)
- 40- Soil survey staff. 2014. *Keys to soil taxonomy.* USDA. NRCS.
- 41- Sordoillet D. 2007. Anthropic sediments from neolithic to iron age settlements: interpretation according to micromorphological, archaeological and archaeological data. In proceedings of the 2nd international conference on soils and archaeology. Edited by: Boschian, G. pp. 165-171.
- 42- Stewart M., and Rothwel G.W. 1993. *Paleobotany and the evolution of plants.* Cambridge university press. 512p.
- 43- Stoops G. 2003. *Guideline for the analysis and description of soil and regolith thin sections.* SSSA, Madison, WI.182p.
- 44- Stoops G., and Poch R.M. 1994. Micromorphological classification of gypsiferous soil materials. In Ringrose-Voase, A.J. & Humphreys, G.S. (eds.), *Soil micromorphology: studies in management and genesis. Developments in soil science, Volume 22.* Elsevier, Amsterdam, 327–332.
- 45- Thompson M.L. 1986. Morphology and mineralogy of pre-Wisconsinan paleosol in Iowa. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 981-987.
- 46- Toomanian N., Jalalian A., and Eghbal M.K. 2001. Genesis of gypsum enriched soils in north-west Isfahan, Iran. *Geoderma* 99: 199–224.

Genesis and Evolution of Exhumed Soils in Konarsandal and Daqyanous Archaeological Sites, Jiroft Area, Kerman Province

E. Soleimani Sardoo¹- M.H. Farpoor^{2*}

Received: 11-11-2019

Accepted: 28-01-2020

Introduction: Several archaeologists believe that there is a relationship between cultural residuals, human beings, and soil. Soil related factors such as age index, climate change, and paleoclimate are important in archaeology. Soils could be accounted as records of invaluable information. Appropriate compiling of these data cause better understanding of soil and landscape genesis, and human activities in the past. There are two distinguished archeological sites of Daqyanous (Islamic Era) and Konarsandal (before Islamic Era) in Jiroft area. Besides, Konarsandal site is surrounded by old and new Halilrood channels. Since no data about the comparison of soil evolution in the mentioned archeological sites were available, the present research was conducted to compare soil evolution of archaeological sites using soil classification, clay mineralogy, and micromorphology in Jiroft area.

Materials and Methods: soil samples were collected from three different archaeological sites including new channel of Halilrood (pedon 1), old channel of Halilrood (pedon 2) and, Daqyanous (pedon 3). The samples were air-dried and sieved (2 mm). Routine soil physical and chemical analyses including pH, EC, soil textural class, soluble sodium, calcium, and magnesium, and gypsum and calcite contents were performed. The studied pedons were classified using Soil Taxonomy system according to morphology, laboratorial results, and field observations. The clay minerals were determined by X-ray diffraction (XRD) method after carbonates, organic matter, and Fe were removed using Jakson (1965) and Kittrik and Hope (1963) procedures. Ten undisturbed samples were selected for micromorphology studies and thin section preparation.

Results and Discussion: Pedon 1 is affected by Halilrood River sediments, that is why an old soil together with a young soil was formed. Salinity and SAR in the old soil were higher than the upper young soil. A textural discontinuity was found between the old and the young soils. Natric, calcic, and gypsic horizons were found in pedon 1 and caused a Typic Natrargid to be formed in new Halilrood channel. Natric horizon due to high Na cation was formed in pedons 1 and 2. On the other hand, salic, natric, and cambic horizons formed a Typic Haplosalid in pedon 2 (old Halilrood channel). High salinity and SAR in the upper layers caused salic and natric horizons to be formed. Pedon 3 with argillic horizon is an old polygenetic soil. Available humidity in the past caused removal of carbonates from upper layers that followed by clay illuviation and argillic horizon formation. Salinity and SAR in this soil were low and a heavy texture was found in pedon 3. Since pedon 3 showed cambic, argillic, and calcic horizons, it was classified as Arenic Haplargids. Calcium carbonate, gypsum, Fe oxides, and clay coatings were among dominant micromorphological features observed in the studied pedons. Konarsandal archeological site is located in the lowlands of Jiroft plain downward Rabor and Baft elevations. Lenticular gypsum crystals could be attributed to the solution of upward Neogene formations and groundwater close to the surface which evaporates due to capillary. Powdery calcite, Fe-oxides, and clay coating and infilling of gypsum in pore spaces of pedon 1 were observed by micromorphological investigations. Diffused clay coating around pore spaces is explainable by high sodium content and Natric horizon formation. Lenticular, interlocked plates, and infillings of gypsum were observed in pedon 1. However, gypsum with irregular shapes and low content was investigated in pedon 2. This is due to location of this pedon in Halilrood old channel. That is why pedon 2 affected by Halilrood during long periods of time is unstable and shows less evolution compared to pedon 1. Irregular and lenticular forms of gypsum show weak soil development due to low rainfall, high evaporation, and excess salt. High NaCl is reported as a requirement for lenticular gypsum formation. This form of gypsum is supported by high salinity in pedons 1 and 2. High Na and natric horizon formation in pedons 1 and 2 caused dispersion of clay and ceased formation of clay films around pore spaces. Gypsum was not found in pedon 3

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: farpoor@uk.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.v34i1.84143

during field and laboratory studies. Besides, gypsum was not observed by micromorphological observations. Clay and calcite coatings and calcite infillings were among the micromorphological features observed in pedon 3. Calcite coating on clay coating in this pedon could be attributed to the climate with more available humidity in the past followed by an arid climate. Carophyte algae fossil was only observed in pedon 3. Kaolinite, illite, chlorite, smectite, and palygorskite clay minerals were determined by X-ray diffraction. Palygorskite is highly related to the parent material and climate. Pedogenic palygorskite formation from transformation of 2:1 clay minerals and/or neoformation is reported by several studies.

Due to the impact of paleoclimate with more available humidity, palygorskite was not found in Daqyanous archeological site. It seems that higher humidity in the past did not allow palygorskite formation or transformed it into smectite. Chlorite and illite are originated from parent material. Evidences of pedogenic mica minerals in arid and semi-arid environments were also found which is due to K fixation among smectite layers. Smectite with pedogenic origin is also reported by Sanjari et al. (29) in the study area. Chlorite, illite, and kaolinite clay minerals seem to be originated from parent material in the present study.

Conclusion: Laboratories analyses and micromorphology observations clearly showed weak development in Konarsandal pedons compared to high evolution of soils in Daghyanus archeological site. The same results were also found for unstable surfaces of pedons 1 and 2 compared to stable surface of pedon 3. The stable surface provided the accumulation of clay and calcite coatings around the cavities and the formation of argillic and calcic horizons indicating high soil development. Results of the study showed polygenetic formation in soils. Soils in old Halilrood channel show high salinity and Na adsorption ratio compared to other two pedons under study.

Keywords: Archaeology, Argillic, Classification, Halilrood, Micromorphology