

تغییر و تحول خاک‌های تشکیل شده از مواد مادری رسوبی مختلف در ناودیس شیخ، شمال شرق بجنورد

حسین تازیکه^۱، فرهاد خرماالی^{۲*}، آرش امینی^۳ و مجتبی بارانی مطلق^۴

۱- دانشجوی دکترای خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۳- استادیار گروه علوم زمین، دانشگاه گلستان، ایران

۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۳ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۲۸	به منظور مطالعه تاثیر ویژگی‌های سنگ مادر بر ویژگی‌های خاک، تنوعی از سنگ‌های رسوبی از شش سازند در ناودیس شیخ (شمال شرق بجنورد) انتخاب گردیدند که شامل سنگانه (شیل)، آبدراز و کلات (سنگ‌های آهکی) پسته‌لیق (سنگ رس)، خانگیران (ماسه‌سنگ) و نوژن (مارن گچ‌دار) می‌باشند و مکان حفر خاکرخ‌ها بر روی پایدارترین سطوح ژئومورفیک موجود بر روی سازندها و به گونه‌ای انتخاب گردید که خاک‌ها بیشترین وابستگی را به سنگ مادر زیرین خود داشته باشند. بجز خاکرخ‌های مطالعه شده بر روی سازندهای کلات و آبدراز که بر روی شیب کناری حفر شده‌اند، سایر خاکرخ‌ها بر روی قله شیب حفر شدند. مقایسه تکامل خاک‌های حاصل از سنگ-های آهکی نشان می‌دهد که درجه تکامل آنها متأثر از تفاوت نوع سنگ‌های آهکی می‌باشد؛ همچنین وجود ذرات درشت کوارتزی در ماسه سنگ و نبود کانی‌های قابل هوادیدگی محدودیت اصلی برای تحول خاک از ماسه‌سنگ است. نتایج نشان می‌دهد که تکامل خاک از سنگ‌های مادری ریزبافت شامل شیل، سنگ رس و مارن گچی متأثر از مقدار و نوع کانی‌های رسی و نیز مقدار گچ می‌باشد به طوری که فراوانی اسمکتیت به همراه درصد زیاد رس موجب تشکیل خاک‌های ورتی‌سول بر روی سنگ رس شده است در حالی که با وجود اسمکتیت قابل توجه، حضور مقدار زیاد گچ در خاک‌های حاصل از مارن‌های گچی موجب تعدیل انبساط و انقباض و مانع تشکیل ورتی‌سول می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که پایداری زمین‌نما، استعداد خوب هوادیدگی و ترکیب کانی‌های رسی موجود در شیل از مهم‌ترین عوامل تشکیل خاک‌های عمیق‌تر و با تکامل بیشتر بر روی شیل‌های سازند سنگانه) می‌باشند.
کلمات کلیدی: سنگ مادری، تشکیل خاک، کانی‌های رسی، اسمکتیت، کپه‌داغ	
* عهده‌دار مکاتبات Email: Khormali@yahoo.com	

مقدمه

خاک مجموعه‌ای از اجسام طبیعی در سطح زمین است که محصول برهمکنش عوامل خاکساز می‌باشد. این عوامل خاک‌ساز شامل اقلیم، موجودات زنده، پستی و بلندی، مواد مادری و زمان می‌باشند. برهمکنش این عوامل خاک‌ساز درجه توسعه خاک و ویژگی‌های آن را کنترل می‌کنند و درجه تکامل خاک به وسیله مقایسه آن با مواد مادری تشکیل دهنده آن نشان داده می‌شود (۱۰).

مواد مادری خاک یکی از مسائل اولیه مهم در نقشه‌برداری و طبقه‌بندی خاک می‌باشد. اصطلاحاتی مانند خاک‌های گرانیتی و خاک‌های لسی تأکید روی مواد مادری دارند. اثر مواد مادری روی خصوصیات خاک مدت‌ها است که شناخته شده است و تصور کلی جغرافیادانان خاک و خاک‌شناسان اولیه از خاک‌ها بر اساس مواد مادری خاک بوده است. مواد مادری چهارچوبی است که خاک در آن توسعه می‌یابد و در واقع اگر بخواهیم با دیدی کلی به مطالعه خاک پردازیم، نه تنها سولوم بلکه افق‌های عمیق‌تر خاک را نیز باید بررسی نماییم که در این صورت اهمیت بیشتر مواد مادری مشخص می‌گردد؛ از این رو یکی از اهداف ژئومورفولوژی خاک، مطالعه نوع و منشأ مواد مادری خاک است و شناخت آن قبل از مطالعه خاک‌ها ضروری است (۳۴).

خاک‌هایی را که به طور مستقیم از هوادیدگی سنگ مادر زیرین خود به وجود می‌آیند، خاک‌های درجا می‌گویند. طبیعت خاک‌های درجا به مقدار زیادی به ویژگی‌های سنگ مادر آنها بستگی دارد در مورد سنگ‌های آذرین و دگرگونی ویژگی‌هایی از سنگ چون ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی، دمای تشکیل، درجه تبلور، درجه دگرگونی، میزان تخلخل و نیز حضور املاح نمکی در ساختار آنها تعیین کننده مقاومت آنها به هوادیدگی و نیز ویژگی‌های خاک‌های مشتق شده از آنها می‌باشد در حالی که مقاومت به هوادیدگی و ویژگی‌های خاک‌های حاصله از سنگ‌های رسوبی بیشتر به بافت سنگ، نوع ماده

سیمانی کننده، شدت سیمان‌شدگی و نیز ترکیب کانی-شناسی اجزای تشکیل دهنده سنگ بستگی خواهد داشت (۳۸ و ۳۲)؛ به عنوان مثال درست است که خاک‌های حاصل از ماسه‌سنگ بافت درشتی دارند اما نوع ماسه‌سنگ و ترکیب کانی‌شناسی آن را نیز نباید از نظر دور داشت؛ مثلاً خاک‌های حاصل از ماسه‌سنگ‌های با درصد کوارتز بالا (ارنیت یا ماسه‌سنگ تمیز) خاک‌های بسیار درشت بافت و نفوذپذیری بوده در حالی که با افزایش درصد کانی‌های قابل هوادیدگی مانند فلدسپار و میکا در ماسه-سنگ‌هایی مانند گری‌واکی و آرکوز منجر به تولید خاک‌های با درصد رس بیشتر می‌گردد، به گونه‌ای که با هوادیدگی گری‌واکی خاک‌هایی با بافت لومی حاصل می‌شوند (۳۴). همچنین در بررسی هوادیدگی و تشکیل خاک از شیل‌ها نشان داده شده است که این سنگ‌ها چون غالباً غنی از سیلیکات‌های لایه‌ای و فلدسپارها هستند، لذا خاک‌های حاصله رسی و ریز بافت هستند و نفوذپذیری کمی دارند (۲۸) در این حال بررسی ترکیب کانی‌شناسی آنها و تاثیر آن بر فرایندهای تشکیل خاک نشان می‌دهد که حضور کانی‌های سولفوری مانند پیریت در ترکیب آنها موجب تشکیل خاک‌های اسیدی شده و کاتولینیت جزء اصلی ترکیب کانی‌های رسی آنها خواهد بود و فرایندهای هوادیدگی، تشکیل خاک و فرایندهایی مانند جابه‌جایی رس در این نوع از شیل‌ها نسبت به شیل‌های آهکی و غنی از کاتیون‌های بازی که اسمکتیت جزء اصلی ترکیب کانی‌های رسی آنها است، سریع‌تر آغاز می‌شود.

از آنجایی که کانی‌های رسی از فراوان‌ترین کانی‌های موجود در خاک بوده و تاثیر شگرفی بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حاصل‌خیزی خاک دارند، از این نظر شناخت ترکیب کانی‌های رسی آنها و مطالعه تغییر و تبدیل آنها به یکدیگر جهت درک بهتر از تشکیل و تکوین خاک امری ضروری است. در بین کانی‌های رسی اسمکتیت‌ها به عنوان گروهی از آنها با حداکثر قابلیت انبساط و انقباض، سطح ویژه بالا و ظرفیت تبادل کاتیونی قابل توجه می‌باشند که وجود مقدار قابل توجه آن در

یافته روی مواد مادری متفاوت رسوبی در ناودیس شیخ، واقع در حوضه رسوبی کپه‌داغ می‌پردازد. با توجه به تنوع قابل توجه ناودیس شیخ از سازندهای تشکیل دهنده حوضه رسوبی کپه‌داغ، مطالعه سازندهای این ناودیس به لحاظ کانی‌شناسی و تشکیل خاک می‌تواند به بسیاری از مناطق حوضه کپه‌داغ تعمیم داده شود و اطلاعات حاصل از این گونه مطالعات می‌تواند به عنوان مبنایی در جهت تهیه نقشه خاک‌ها قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه: کپه‌داغ منطقه‌ای کوهستانی واقع در سه کشور افغانستان، ایران و ترکمنستان است که در آخرین چین‌خوردگی آلپین و فازهای فرسایشی به وجود آمده است و به لحاظ مورفولوژی جوان می‌باشد و توپوگرافی رابطه مستقیمی با ساختارهای زمین‌شناسی دارد، به گونه‌ای که تاقدیس‌ها، ارتفاعات و کوه‌ها را به وجود آورده و ناودیس‌ها اغلب دشت‌های میان‌کوهی را می‌سازند. ناودیس شیخ در حوضه رسوبی کپه‌داغ واقع در شمال شرقی بجنورد شامل ردیفی از سازندهای گوناگون متعلق به کرتاسه و ترشیاری می‌باشد که بر مبنای وسعت منطقه‌ای پس از انتخاب یک لیتولوژی از هر یک از شش سازند منتخب یک خاکرخ حفر، تشریح و نمونه‌برداری شد (شکل ۱ و جدول ۱). به منظور مطالعه تاثیر ماده مادری بر تکامل خاک، خاکرخ‌ها بر روی پایدارترین سطوح ژئومورفیک موجود بر روی سازندها حفر گردید. بر این اساس خاکرخ‌های حفر شده بر روی سازندهای خانگیران، پسته‌لیق، سنگانه و نوژن بر روی قله شیب می‌باشد. به سبب نبود قله شیب برای سنگ آهک‌های سازندهای کلات و آب‌دراز، خاکرخ‌های مطالعاتی بر روی این سازندها روی شیب جانبی (حدود ۳۰-۲۵ درصد) با جهت رو به شمال حفر شد که علاوه بر ماده مادری نوع لندفرم نیز در تشکیل و تحول خاک تاثیر داشته است که به بررسی آن خواهیم پرداخت. بر پایه داده‌های اقلیمی موجود در ناحیه رژیم

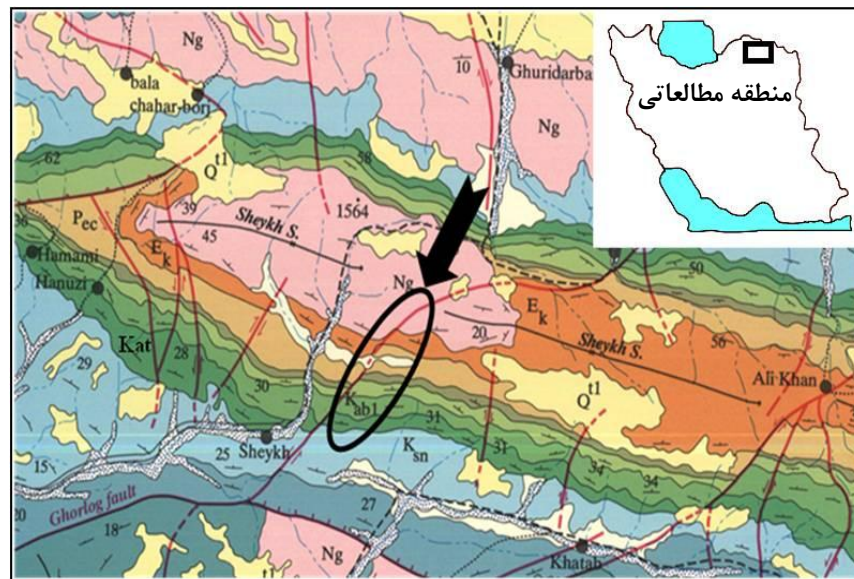
خاک می‌تواند خصوصیات ویژه‌ای به آن ببخشد. باتاچاریا و همکاران با مطالعه ویژگی‌های انبساط‌پذیری کانی‌های رسی مختلف و مقایسه آن با اسمکتیت‌ها این گونه نتیجه‌گیری می‌کنند که خصوصیات ورتیک خاک تابعی از مقدار اسمکتیت آن است (۳). وجود اسمکتیت در خاک رابطه تنگاتنگی با نوع مواد مادری خاک دارد زیرا اسمکتیت خاک یا باید منشأ موروثی از مواد مادری داشته باشد و یا این که ترکیب مواد مادری خاک باید به لحاظ وجود کاتیون‌های بازی و سایر شرایط به گونه‌ای باشد که شرایط را برای تشکیل پدوژنیک اسمکتیت فراهم نماید (۱۰)؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که وجود درصد رس بالا به همراه مقدار قابل توجه اسمکتیت در خاک که از پیش شرط‌های ضروری برای بروز خصوصیات ورتیک در خاک است، رابطه مستقیمی با طبیعت ماده مادری خاک دارد. ناودیس‌ها یکی از اشکال چین‌خوردگی‌ها هستند؛ که در آن لایه‌ها از طرفین دارای شیب به سمت مرکز می‌باشند در این حالت با گذر از مرکز ناودیس به سمت قسمت خارجی آن سن لایه‌ها افزایش می‌یابد. به لحاظ وجود یک توالی از بیرون‌زدگی سنگی، ناودیس‌ها مکان‌های خوبی برای مطالعه تاثیر جنس سنگ بر تحول و تکامل لندفرم‌ها و نیز مطالعات تشکیل خاک می‌باشند. سنگ‌های مادری متفاوت به لحاظ مقاومت به هوادیدگی، نوع و مقدار کانی‌های تشکیل دهنده و نیز بافت با یکدیگر متفاوتند. این عوامل کنترل کننده شدت هوادیدگی و نیز خاک‌های توسعه یافته بر روی انواع متفاوت سنگ‌ها می‌گردد. نظر به این که سنگ‌های رسوبی و خاک‌های حاصل از آنها بخش قابل توجهی از سازندهای زون‌های زمین‌شناسی ایران را تشکیل می‌دهند و به ویژه در مورد حوضه کپه‌داغ اطلاعات چندانی درباره رابطه خاک و مواد مادری وجود ندارد و با توجه به این واقعیت این مطالعه با استفاده از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژی با هدف بررسی تاثیر ویژگی‌های سنگ مادر و نیز لندفرم بر ویژگی‌های خاک به مقایسه تکامل خاک‌های توسعه

تازیکه و همکاران: تغییر و تحول خاک‌های تشکیل شده از مواد...

جدول (۱) سنگ مادری‌های منتخب از سازندهای مطالعاتی در ناودیس شیخ.

Table(1) Selected parent rocks of studied formations in Sheikh Syncline.

سازند، سن Formation, Age	سنگانه، آلبین Sanganeh, Albian	آبدراز، تورانین Abderaz, Turonian	کلات، ماستریختین Kalat, Mastrichtian	پسته‌لیق، پالوسن تحتانی Pestehligh, lower paleocene	خانگیران، ائوسن Khangiran, Eocene	نئوژن، میوسن Neogene, Miocene
لیتولوژی غالب محل خاکرخ: N: S:	شیل	سنگ آهک	سنگ آهک	سنگ رس	ماسه سنگ	مارن گچ دار
	37° 33' 20.5" 57° 31' 53.2"	57° 33' 57.6" 57° 33' 33.8"	37° 34' 4.2" 57° 33' 43.2"	37° 34' 27.4" 57° 33' 11.8"	37° 34' 36.9" 57° 33' 9.1"	37° 34' 17.6" 57° 36' 4.7"
ارتفاع (m)	1110	1230	1256	1240	1303	1494



شکل (۱) الف: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که نشان دهنده موقعیت ناودیس شیخ و سازندهای شامل آن در شمال شرق ایران است: Ksn: سازند سنگانه، Kab: سازند آبدراز، Kat: سازند آیتامیر، Kkt: سازند کلات، Pec: سازند پسته‌لیق و Ng: رسوبات نئوژن را نشان می‌دهد. ب: تصویری از زمین‌نمای منطقه مورد مطالعه که سازندها و لیتولوژی‌های مطالعاتی در آن مشخص است (سازند سنگانه در این نما دیده نمی‌شود).

Figure (1) Geological map (A) and landscape of study area (B) showing sequence of different formation and lithology in Sheikh Syncline.

جدول (۲) برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی و طبقه‌بندی خاک‌های مورد مطالعه
Table(2) some physicochemical properties and classification of the studied soils

گچ Gypsum%	pH	EC (mmho/ cm)	مواد آلی OM%	کربنات کلسیم معادل (CCE)	رس % Clay	سیلت % Silt	شن % Sand	ساختمان Structure	رنگ Color	ضخامت Depth	افق Horizon	سازند، لیتولوژی
Fine loamy, smectitic, calcareous, mesic, Xeric Torriorthents												
0.4	7.5	0.14	1.7	4	30	25	45	1,f,gr	10YR6/2	0-12	A	
0.4	8	3	1.2	5	23	27	50	1,f,gr	10YR6/2	13-22	AC	خانگیران، ماسه سنگ
0.6	8.7	3.3	0.67	6.5	34	26	40	m	10YR6/1	22<	Cr	
Fine loamy, carbonatic, mesic, Typic Haplocambids												
-	7.2	0.12	3.03	31	16	42	42	1,f,sbk	10YR4/6	0-20	A	کلات
0.5	7.3	0.15	2.49	41	27	40	33	1,f,sbk	7.5YR4/6	20-35	Bk	سنگ آهک
0.5	7.2	0.15	2.02	44.5	28	42	30	m	7.5YR4/4	35-60	Cr	
Loamy- skeletal, carbonatic, mesic, Xeric Torriorthents												
3	7.2	0.16	0.6	51.5	23	40	37	1,f,sbk	10YR 6/3	0-20	A	آب دراز،
1	7.5	0.11	0.1	50	15	22	60	m	10YR 6/3	20-70	C ₁	سنگ آهک
1	7.5	0.13	0.1	55	18	38	43	m	10YR 6/3	70-120	C ₂	
Fine, mixed, active, mesic, Typic Haplocalcids												
-	7.2	0.21	3.3	6.5	53	30	17	3,C,abk	10YR 4.5/2	0-20	A	
0.4	8.6	0.6	1.34	7	57	23	20	3,C,abk	10YR 4.5/2	20-35	AB	
1.2	8.7	1.4	0.67	8.5	56	29	15	2,m,abk	10YR 5/3	35-60	Bk ₁	
3.4	8.7	1.9	1.21	11	57	25	16	2,m,abk	10YR 5/3	60-90	Bk ₂	سنگانه،
0.5	8.5	2.1	0.8	10	55	32	13	2,m,abk	10YR 5/4	90-125	Bw	شیل
1	7.7	3.3	0.67	9	54	32	14	2,m,abk	10YR 5/4	125-150	By ₁	
5.5	7.2	4.9	0.33	9.5	66	19	15	2,m,abk	10YR 5/4	150-175	By ₂	
16	7.2	4.6	0.94	11.5	44	15	41	m	5Y 4/2	175<	C	
Fine, smectitic, mesic, Chromic Haplotorrerts												
0.9	7.3	0.1	1.34	13	47	30	23	3,m,abk	2.5YR4/6	0-35	Ap	
0.5	8.2	0.2	1	11	52	40	8	2,m,abk	2.5YR5/6	35-80	Bss ₁	پسته لیق،
0.6	8.5	0.3	0.61	7	52	33	15	2,m,abk	2.5YR5/6	80-120	Bss ₂	سنگ رس
25	7.3	3.1	0.34	11.5	40	33	27	2,m,abk	2.5YR5/6	120-150	Cy	
Very fine, smectitic, mesic, Typic Haplogypsid												
1	7.7	0.16	0.81	9.5	70	21	6	1,f,sbk	10YR4.5/4	0-35	Ap	
8	7.3	3.2	0.47	7	66	5	29	2,m,abk	2.5Y 6/2	35-80	By ₁	نوژن، مارن
8.1	7.3	3.3	0.34	7.5	66	20	14	3,m,abk	2.5Y5/2	80-120	By ₂	گچ دار
10	7.4	3.5	0.13	5	70	18	12	m	2.5Y4/3	120-150	BCssy	

آمریکایی صورت پذیرفت (۳۷). آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی متداول شامل بافت به روش هیدرومتری (۱۴)، کربنات کلسیم معادل از طریق خنثی‌سازی با اسید (۲۷)، کربن آلی خاک با استفاده از اکسیداسیون تر (۴۲) و درصد گچ به روش استون (۳۹) انجام شد. همچنین واکنش گل اشباع و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع نیز اندازه‌گیری گردید.

مطالعه کانی‌های رسی: جهت شناسایی کانی‌های رسی پس از خالص‌سازی و جداسازی ذرات رس به روش

رطوبتی منطقه مورد مطالعه اریدیک و رژیم حرارتی آن مزیک می‌باشد. مقدار بارندگی سالیانه ۲۵۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۱۳ درجه سانتیگراد است. مکان خاکرخ‌ها به گونه‌ای انتخاب گردید که همگی به صورت مستقیم و درجا از سنگ مادری زیرین خود به وجود آمده باشند.

روش‌های آزمایشگاهی: تشریح کلیه خاکرخ‌ها بر اساس راهنمای شناسایی خاک (۳۶) انجام گرفت و طبقه‌بندی آنها تا حد فامیل به روش کلید تاکسونومی خاک

مهم‌ترین عوامل در جهت تشکیل خاک‌های متنوع در این منطقه باشد ما در ابتدا به مطالعه مورفولوژی و فرایندهای پدوژنیک حاکم بر خاک‌های تشکیل شده بر روی هر یک از مواد مادری پرداخته و سپس به بررسی توزیع کانی‌های رسی در مواد مادری و خاک‌ها و مقایسه آنها با یکدیگر می‌پردازیم.

۱) خاک‌های تشکیل شده بر روی ماسه‌سنگ: در بررسی چگونگی تشکیل خاک بر روی مواد مادری درشت بافت در این منطقه، خاک‌های تشکیل شده بر روی ماسه‌سنگ‌های سازند خانگیران برای مطالعه انتخاب شده‌اند. بررسی‌ها نشان دهنده تشکیل خاک-هایی با تکامل اندک بر روی این مواد مادری می‌باشد، به گونه‌ای که به سبب بالا بودن مواد درشت دانه در اندازه‌های شن، بافت این خاک‌ها نیز به طور عمده شنی بوده و فرایند اضافه شدن مواد آلی و تشکیل افق سطحی نیز محدود به تکامل افق A کم عمق با ساختمان ضعیف است (جدول ۲). بررسی پژوهشگران نشان می‌دهد که ترکیب کانی‌شناسی ماسه سنگ تاثیر قابل توجهی بر خصوصیات خاک‌های حاصل از آن دارد به عنوان مثال خاک‌های رسی می‌توانند از ماسه‌سنگ‌های آرکوزی که مقدار فلدسپار در آنها بیش از ۲۵ درصد می‌باشد، به وجود آیند (۱۰). نتایج بررسی مقاطع نازک این ماسه‌سنگ‌ها نشان می‌دهد که عمده ذرات تشکیل دهنده بخش سیلت و شن آنها از جنس کوارتز می‌باشند و کانی‌های قابل هوادیدگی چندانی در آنها مشاهده نمی‌شود شکل (۲). خرمالی و امینی (۱۷) نیز در بررسی ترکیب کانی‌شناسی سازندهای کپه‌داغ در ناودیس شیخ نشان دادند که کوارتز جزء اصلی تشکیل دهنده ماسه-سنگ‌های سازند خانگیران بوده و علاوه بر آن کانی مقاوم دیگری مانند زیرکون همراه با مقدار کمی از فلدسپار اجزای تشکیل دهنده این ماسه سنگ‌ها می‌باشند و بنابراین نتیجه می‌شود که کمی کانی‌های قابل هوادیدگی به همراه اقلیم خشک و نیمه‌خشک از عوامل اصلی محدود کننده هوادیدگی و تکامل خاک بر

کیتریک و هوپ (۱۹)، ذرات رس تفکیک شده در پنج تیمار شامل اشباع با منیزیم، منیزیم و اتیلن گلیکول، اشباع با پتاسیم در دمای معمولی و نیز اعمال تیمارهای حرارتی نمونه‌های اشباع شده با پتاسیم در دماهای ۳۳۰ و ۵۵۰ درجه سانتیگراد آماده شده و سپس با دستگاه پراش پرتو ایکس در زوایای ۲۰ بین ۲ تا ۳۰ درجه اسکن گردیدند. برای مطالعه نیمه کمی نیز از سطح زیر منحنی آستانه‌های رده اول کانی‌های یافت شده در تیمار منیزیم و اتیلن گلیکول به عنوان شدت آستانه و به عنوان شاخصی از مقدار تقریبی هر نوع رس به کار رفت (۱۶ و ۲۰). محاسبه شدت آستانه‌ها با استفاده از نرم‌افزار X'Pert HighScore صورت گرفت و برای تعیین نسبت کانی کلریت به اسمکتیت و نیز کلریت به میکا از نسبت شدت آستانه رده اول آنها در تیمار منیزیم و اتیلن گلیکول برای کلریت $14/5\text{\AA}$ ، برای اسمکتیت $17/9\text{\AA}$ و برای میکا 10\AA استفاده شد (۲۲).

مطالعات میکرومورفولوژی: برای مطالعات مقاطع نازک، بعد از برداشت کلوخه‌های دست نخورده از برخی افق‌های خاک، توسط رزین پتروپاکسی اشباع شده و بعد از خشک شدن، برش داده شده و تا حد ۳۰ میکرون ساییده شدند. مقاطع بدست آمده توسط میکروسکوپ پلاریزان مدل Euromex با استفاده از دو نور ساده (PPL) و متقاطع (XPL) در بزرگنمایی‌های $(10\times)$ و $(40\times)$ به شیوه‌ی بولاک و همکاران (۹) تشریح گردیدند.

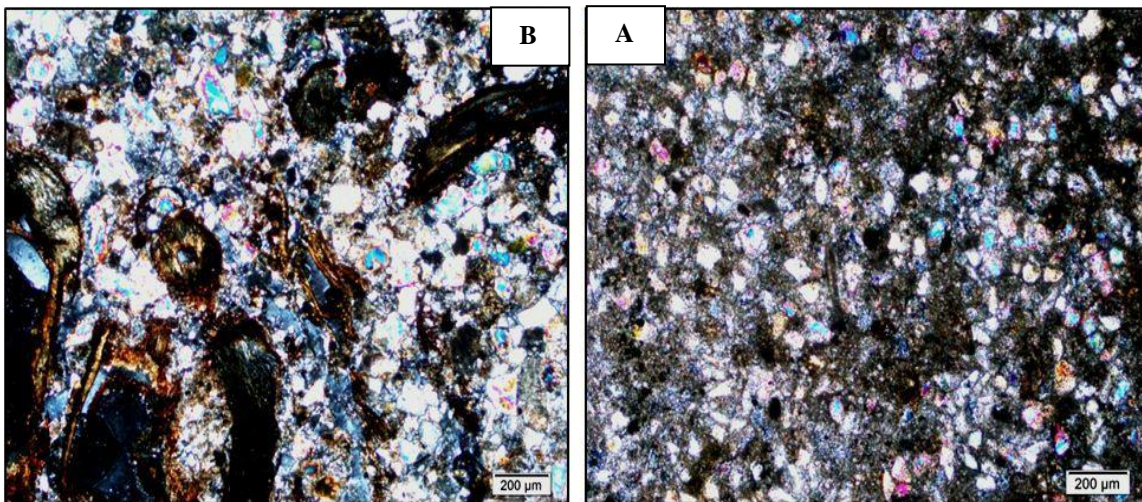
نتایج و بحث

به دلیل حاکمیت رژیم رطوبتی اریدیک و هوادیدگی اندک انتظار می‌رود که ویژگی‌های خاک-های این منطقه به شدت متأثر از ویژگی‌های مواد مادری خود باشد. یکی از خصوصیات منحصر به فرد این ناحیه قرار گرفتن مواد مادری متنوع در کنار یکدیگر است که انتظار می‌رود بافت سنگ‌های مادری و تفاوت احتمالی در ترکیب کانی‌شناسی آنها از

عمدتاً شامل اسمکتیت است؛ به گونه‌ای که بیش از ۹۰ درصد آن را تشکیل می‌دهد (شکل ۳). وجود آستانه قوی 15\AA در تیمار منیزیم و انتقال آن به $17/1\text{\AA}$ در تیمار منیزیم و اتیلن‌گلیکول نشانه دهنده غالبیت اسمکتیت در ترکیب کانی‌های رسی این خاک‌ها است. همچنین در مقایسه ترکیب کانی رسی خاک با مواد مادری تغییر خاصی مشاهده نمی‌شود (جدول ۳). بررسی ترکیب کانی‌های رسی مواد مادری نیز نشان دهنده غالبیت اسمکتیت و نبود کانی‌های رسی قابل هوادیدگی دیگر مانند کلریت و میکا می‌باشد و همچنین با توجه به نتایج مطالعه مقاطع نازک مواد مادری و مشاهده غالبیت کوارتز در بخش سیلت و شن و نبود کانی‌های قابل هوادیدگی، می‌توان نتیجه گرفت که تشکیل کانی‌های رسی از طریق هوادیدگی کانی‌های دیگر از اجزای درشت‌تر سیلت و شن صورت نگرفته است؛ بنابراین نتیجه می‌شود که در این خاک‌ها فراوانی کانی‌های مقاوم از جنس کوارتز کنترل کننده خصوصیات آنها بوده و فرایند تحول و تکامل آنها را تحت تاثیر قرار داده است.

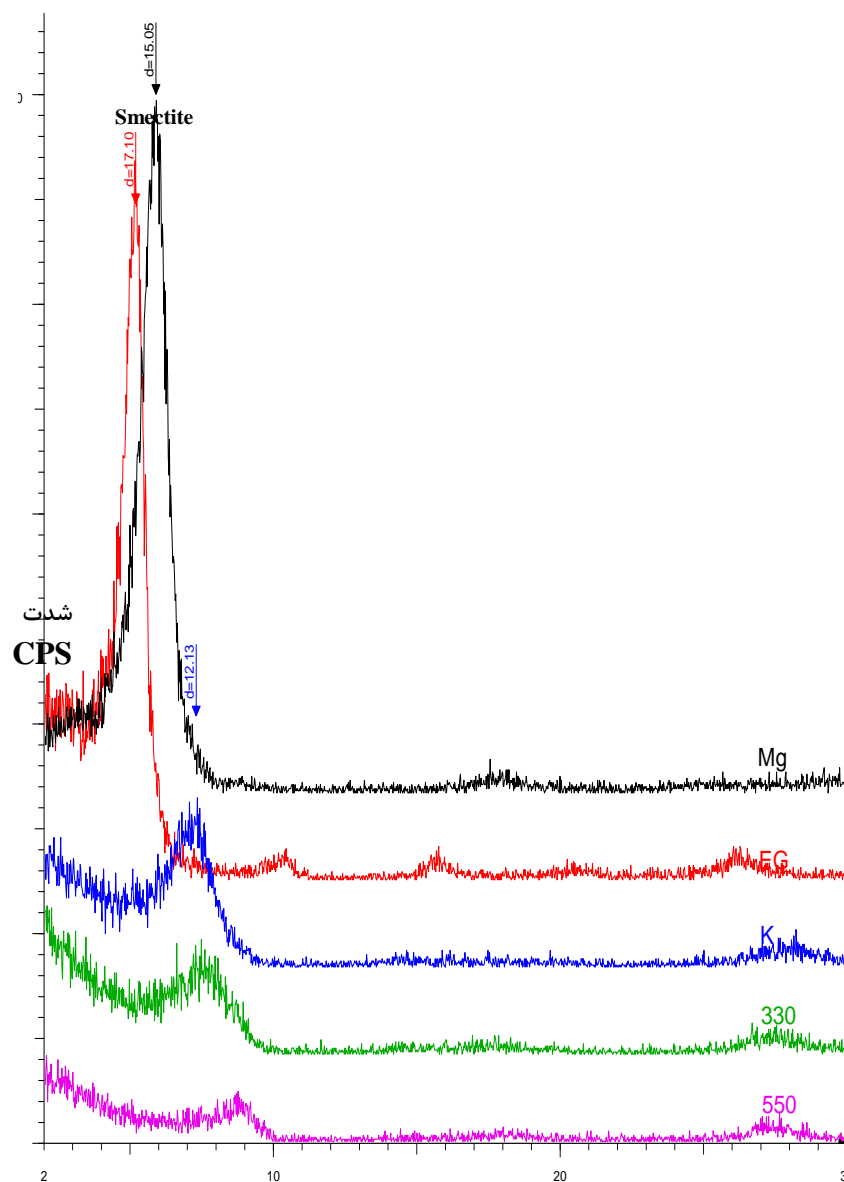
روی ماسه‌سنگ‌های این ناحیه باشد. این در حالی است که در مناطق مرطوب خاک‌های با تکامل بیشتری بر روی این مواد مادری می‌تواند تشکیل شود، به عنوان نمونه بهمنیار (۴) در مطالعه تشکیل خاک از ماسه سنگ‌های آهکی در مناطق جنگلی شمال ایران فرایند جابه‌جایی رس و پیدایش خاک‌های آلفی سول را بر روی این دسته مواد مادری گزارش نموده است. مطالعه میکرومورفولوژی افق سطحی این خاک‌ها نیز نشان دهنده میکروساختمان تکدانه‌ای و گرانوله با درجه تکامل ضعیف می‌باشد؛ همچنین بررسی مقاطع نازک مواد مادری و خاک نیز نشان دهنده غالبیت کانی‌های درشت از جنس کوارتز است که این موضوع با در نظر گرفتن الگوی توزیع ذرات ریز و درشت از نوع پورفیریک نزدیک با نسبت $(C/F\ 50\mu = 1/2)$ (نسبت ذرات درشت به ریز با حد ۵۰ میکرون برای مرز ذرات ریز و درشت) که در شکل ۲ نشان داده شده است، نیز مشخص می‌گردد.

کانی‌های رسی: مطالعه ترکیب کانی‌های رسی بخش رس این خاک‌ها نشان می‌دهد که این ترکیب



شکل (۲) A: تصاویر مقاطع نازک از مواد مادری و B: افق A خاک مشتق شده از ماسه‌سنگ سازند خاتگیران (XPL)
Figure (2) photomicrographs of parent rock (A) and soils (B) derived from sandstones of Khangiran formation (XPL)

تازیکه و همکاران: تغییر و تحول خاک‌های تشکیل شده از مواد...



20

شکل (۳) پراش‌نگار پرتو ایکس بخش رس افق A خاک‌های مشتق شده از ماسه‌سنگ‌های سازند خانگیران.
Figure(3) XRD patterns of clay fraction from A horizon of soils derived from sandstones of Khangiran formation.

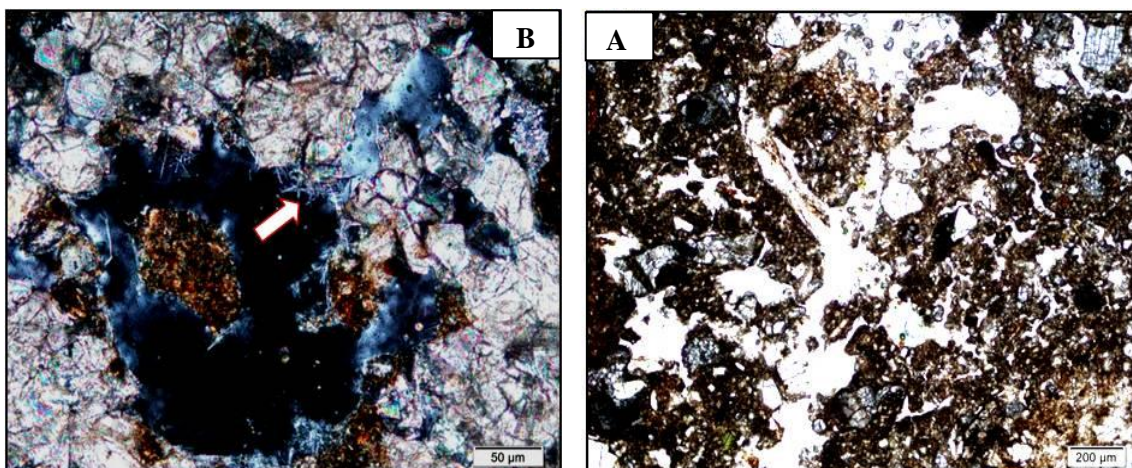
سازند آب‌دراز شامل سنگ آهک ماری و فرسایش‌پذیر است. افشارحرب (۲) در مطالعه تاثیر جنس سازندها بر ژئومورفولوژی کپه‌داغ، سازند کلات را یک سازند مستحکم و صخره‌ساز و سازند آب‌دراز را یک سازند فرسایش‌پذیر و دره‌ساز معرفی می‌نماید؛ بنابراین با در نظر گرفتن درصد خلوص بالای سنگ آهک، لندفرم ناپایدار و استقرار پوشش گیاهی فقیر بر روی سازند آب‌دراز، خاک‌های تشکیل شده دارای تکامل ابتدایی

(۲) خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ‌های آهکی: در این منطقه مواد مادری خاک‌های تشکیل شده بر روی سازندهای آب‌دراز و کلات سنگ‌های آهکی می‌باشند. هر دوی این خاک‌ها به دلیل طبیعت ماده مادری خود به شدت آهکی بوده و بافت آنها متوسط تا درشت است (جدول ۲). سنگ‌های آهکی این دو سازند دارای تفاوت اساسی با یکدیگر می‌باشند. سازند کلات با سنگ آهک زیست‌آواری و آهن‌دار از استحکام قابل توجهی برخوردار می‌باشد، در حالی که

را فراهم آورد. مطالعات محققان نشان دهنده تشکیل خاک‌هایی با تکامل اندک و درشت بافت از سنگ-آهک در اقلیم خشک و نیمه‌خشک است؛ به عنوان مثال نوروزی فرد و همکاران تشکیل خاک‌های انتی-سول را از سنگ آهک در اقلیم خشک در استان چهارمحال بختیاری گزارش می‌کند (۲۶). نائل و همکاران نیز در بررسی رابطه خاک و سنگ آهک بر روی سطوح شیب‌دار مناطق جنگلی در شمال ایران تشکیل خاک‌های آلفی‌سول با ویژگی آبشویی کامل آهک از سولوم خاک را گزارش نموده‌اند (۲۵). نتایج مطالعات پژوهشگران پیرامون چگونگی تشکیل خاک از سنگ آهک در شرایط هوادیدگی شدید در اقلیم‌های مرطوب اروپا و شمال آفریقا نشان می‌دهد که چون ناخالصی‌های موجود در سنگ‌های آهکی غالباً از ذرات بسیار ریز مانند ذرات رس و اکسیدهای آهن تشکیل شده‌اند و ذرات درشت‌تر مانند کوارتز در آنها کمتر است، لذا خاک‌های حاصل از سنگ‌های آهکی عمدتاً ریزبافت می‌باشند (۸، ۷ و ۲۳) با توجه به شدت هوادیدگی حاکم بر این محیط‌ها، سنگ‌آهک در اندازه‌های شن و سیلت به واسطه انحلال از محیط خارج شده و ناخالصی‌های باقی‌مانده آن شامل ذرات رس و سیلت جزء اصلی خاک را تشکیل می‌دهند در صورتی که فرایند هوازدگی و تشکیل خاک از سنگ-آهک در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند منطقه مورد مطالعه به اندازه‌ای نیست که مانند مناطق مرطوب سبب انحلال کامل آهک و آزاد شدن مقدار قابل توجه ذرات رس در خاک شود و این خاک‌ها درشت تا متوسط بافت می‌باشند (جدول ۲) که متوسط تا درشت بافت بودن خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ‌های آهکی در این منطقه، این موضوع را تایید می‌کند.

بوده و بجز تشکیل افق سطحی با ساختمان ضعیف فرایند پیشرفته دیگری مشاهده نمی‌شود. در مقایسه با آنها، خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ‌های آهکی کلات به دلیل لندفرم پایدارتر و پوشش گیاهی بهتر تکامل بهتری را نشان می‌دهند و علاوه بر تشکیل افق سطحی که در مطالعه مقاطع نازک به صورت میکروساختمان قوی گرانوله مشخص است (شکل ۴)، افق زیر سطحی کلسیک نیز تشکیل گردیده است که بازتوزیع آهک ویژگی بارز آن است. در بررسی‌های میکروسکوپی این افق نشان دهنده وجود فعالیت بیولوژیک بالا می‌باشد که با تشکیل میکروساختمان و تحول موضعی آهک مرتبط با فعالیت بیولوژی مشخص می‌شود (شکل ۴). علاوه بر تشکیل ندول‌های کلسیت، وجود کلسیت‌های سیتومورفیک و آهک‌های سوزنی شکل در این افق قابل توجه می‌باشد. خرمالی و همکاران وجود انواع سیتومورفیک و سوزنی شکل کلسیت را در خاک‌های مشتق شده از مواد مادری آهکی در نواحی خشک و نیمه‌خشک فارس گزارش نموده‌اند (۱۸). جیلارد و همکاران تشکیل کلسیت‌های سیتومورفیک حاصل جذب کلسیم توسط بافت ریشه-های گیاه و تبلور مجدد آن درون بافت گیاهی می‌دانند که پس از تجزیه بافت گیاهی به صورت بلورهای اسپاریتی کلسیت درون حفرات دیده می‌شوند (۱۵) و این در حالی است که محققان تشکیل کلسیت‌های سوزنی شکل را حاصل جذب کلسیم و تبلور آن در درون ریشه‌های قارچ‌ها می‌دانند و این پدیده توسط میلیر و همکاران با استفاده از تکنیک‌های ایزوتوپی کربن نیز به اثبات رسیده است (۲۱). بررسی مقاطع نازک سنگ‌های آهکی در این دو سازند و مقایسه آنها با یکدیگر نیز نشان می‌دهد که سنگ‌های آهکی سازند آب‌دراز بسیار خالص می‌باشند؛ در حالی که سنگ آهک سازند کلات دارای کمی ناخالصی است که پس از انحلال جزء آهکی می‌تواند موجبات تشکیل خاک

تازیکه و همکاران: تغییر و تحول خاک‌های تشکیل شده از مواد...



شکل (۴) تصاویر مقاطع نازک از افق Bk خاک‌های حاصل از سنگ‌های آهکی سازند کلات. تصویر A وجود میکروساختمان گرانوله (PPL) و تصویر B وجود بلورهای اسپاریتی از کلسیت‌های سیتومورفیک و نیز کلسیت‌های سوزنی شکل (علامت فلش) را درون حفره نشان می‌دهد (XPL)

Figure(4) Photomicrographs of Bk horizon of soils derived from limestone of Kalat formation: A: Granular microstructure and B: presence of sparitic crystals of cytomorphic calcite and needle-shaped calcite in voids (XPL)

که تنها تغییر قابل توجه تفاوت فراوانی کلریت بین مواد مادری و خاک است که با بررسی نسبت این کانی به کانی‌های مقاوم‌تر در برابر هوازدگی مانند میکا این تغییر نمایان‌تر می‌شود. میکا و کلریت از متداول‌ترین کانی‌های رسی موجود در خاک می‌باشند؛ اما کلریت در مقایسه با میکا نسبت به هوازدگی بسیار حساس‌تر است (۵). در شرایط خاک‌های منطقه مورد مطالعه هیچ یک از این دو کانی به صورت پدوژنیک تشکیل نمی‌شوند؛ بنابراین مقایسه نسبت آنها با یکدیگر بین خاک و مواد مادری می‌تواند به عنوان شاخصی برای هوازدگی و مطالعه پراکنش کانی‌ها به کار رود. ژائو و همکاران (۴۴) و نیز پنگ و همکاران (۳۱) از نسبت میکا به کلریت به عنوان شاخصی برای ارزیابی شدت هوازدگی توالی‌های لس و خاک‌های قدیمی و پیش-بینی شرایط اقلیمی گذشته استفاده کردند. بررسی نسبت کلریت به میکا در مواد مادری و مقایسه آنها با خاک در سنگ‌آهک آب‌دراز نشان می‌دهد که این نسبت در مواد مادری در مقایسه با خاک تغییر چندانی ندارد که این امر نشان دهنده نبود هوازدگی قابل توجه در این

کانی‌های رسی: بررسی توزیع کانی‌های رسی در مواد مادری خاک‌های حاصله از سنگ‌های آهکی این دو سازند نیز نشان دهنده غالبیت اسمکتیت در آنها بوده و همراه با آن کانی‌های میکا، کلریت و کائولینیت نیز وجود دارند (جدول ۳). نوروزی فرد و همکاران (۲۶) نیز در مطالعات پراکنش کانی‌های رسی در خاک‌های مشتق شده از سنگ‌آهک در استان چهارمحال بختیاری، وجود کانی‌های کلریت، کائولینیت، میکا و اسمکتیت را گزارش می‌کنند و منشاء آنها را توارثی می‌دانند در حالی که نائل و همکاران در مطالعه منشاء کانی‌های رسی خاک‌های تشکیل شده روی سنگ-آهک در جنگل‌های البرز غربی، منشاء اسمکتیت، ایلیت و کوارتز را توارثی و منشاء کائولینیت را پدوژنیک می‌دانند (۲۴). با در نظر گرفتن وجود تشابه زیاد بین ترکیب کانی‌های رسی و خاک در خاک‌های حاصل از سنگ‌آهک‌های کلات و آب‌دراز در این منطقه می‌توان نتیجه گرفت که منشاء آنها موروثی است (جدول ۳). با توجه به اقلیم منطقه و نبود هوازدگی پیشرفته در خاک‌های مذکور این نتیجه قابل انتظار است

جنگلی شمال ایران، وجود درصد رس زیاد و نفوذپذیری بسیار کم مواد مادری مارن را موثرترین عامل پیدایش خاک‌های اینسپتی‌سول با تکامل اندک می‌داند؛ در مقایسه خاک‌هایی با تکامل بهتر شامل آلفی‌سول بر روی مواد مادری سنگ‌آهک و ماسه‌سنگ با نفوذپذیری خوب تکامل یافته‌اند.

مطالعه مقاطع نازک نبود گچ را در افق سطحی و تجمع آن را در افق‌های By نشان می‌دهد همچنین مطالعه بی‌فابریک مقاطع نازک افق‌های A و By نشان دهنده؛ زمینه‌ای آهکی کریستالی به همراه وجود بی‌فابریک لکه‌ای و خطی است (شکل ۵). در مقایسه با آن بررسی مقاطع نازک افق C وجود بی‌فابریک کریستالی ناشی از حضور بلورهای آهک را نشان می‌دهد که حدود ۵۰ درصد مقطع خاک را شامل می‌شود و در سایر قسمت‌ها به دلیل چیرگی ذرات رس به همراه فرایندهای انبساط و انقباض بی‌فابریک خطی دیده می‌شود (شکل ۵) الگوی توزیع کریستال‌های عدسی شکل گچ در مواد مادری به گونه‌ای است که این ذرات در زمینه خاک دیده نمی‌شوند؛ بلکه در داخل حفرات جای گرفته‌اند (شکل ۵).

ب: خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ رس: از ویژگی‌های قابل توجه مواد مادری این خاک‌ها وجود گچ، اکسیدهای آهن و درصد رس زیاد از نوع اسمکتیت است (شکل ۶). وجود هیوی قرمز رنگ در این خاک‌ها اولین ویژگی است که مورد توجه واقع می‌شود که آن هم به دلیل درصد اکسید آهن قابل توجه در این خاک‌ها است. در واقع مقدار وافر از اکسیدهای آهن در مواد مادری این خاک‌ها وجود دارد که دلیل رنگ قرمز مواد مادری و نیز خاک‌های حاصل از آن است. بررسی مقاطع نازک افق C نشان دهنده وجود کریستال‌های گچی، بی‌فابریک کریستالی آهکی ناشی از وجود میکریته‌های آهک است که قسمت عمده‌ای از سطح مقطع را پوشانیده (حدود ۸۰ درصد) و در برخی قسمت‌ها نیز بی‌فابریک نامشخص دیده می‌شود که به

خاک‌ها می‌باشد و از سوی دیگر بررسی مشابه برای خاک‌های سازند کلات که تحول و تکامل بیشتری را نشان می‌دهند، حاکی از آن است که نسبت کلریت به میکا در خاک نسبت به مواد مادری به طور معنی‌داری کاهش یافته است که موضوع نشانه هوادیدگی کلریت می‌باشد (جدول ۳).

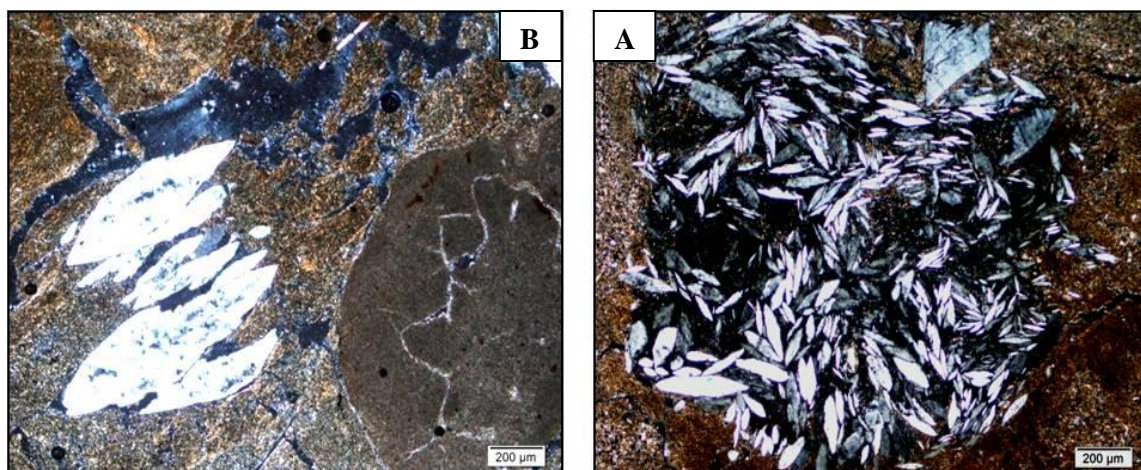
۳) خاک‌های تشکیل شده بر روی سنگ‌های ریز بافت: در ادامه مطالعه ابتدا به ارائه نتایج بررسی خاک‌های تشکیل شده بر روی مواد مادری می‌پردازیم که همگی از هوادیدگی سنگ‌های رسوبی ریزبافت حاصل شده‌اند و سپس ضمن تحلیل پراکنش کانی‌های رسی، چگونگی تحول خاک‌ها با یکدیگر مقایسه خواهد شد. مواد مادری مورد بررسی شامل شیل (سازند سنگانه)، سنگ رس (سازند پسته‌لیق) و مارن گچی (نئوزن) می‌باشند. اگرچه بافت مواد مادری این خاک‌ها همگی رسی است؛ اما به دلیل ترکیب کانی‌شناسی متفاوت، چگونگی تحول و تکامل آنها با هم متفاوت است و که در ادامه به شرح یکایک آنها می‌پردازیم.

الف: خاک‌های تشکیل شده بر روی مارن گچی: با در نظر گرفتن درصد رس فراوان موجود در ماده مادری بافت این خاک‌ها رسی است، به طوری که بالاترین درصد رس را در بین خاک‌های منطقه دارند. فرایند قابل توجه در این خاک‌ها آبشویی و جابه‌جایی گچ در نیم‌رخ خاک است، به طوری که آبشویی گچ از افق سطحی و تجمع آن در افق‌های تحتانی موجب تشکیل افق جیسیک گردیده است (جدول ۲). علاوه بر محدودیت اقلیمی، وجود رس زیاد و نفوذپذیری کم این خاک‌ها مهم‌ترین عامل در جهت جلوگیری از تکامل پروفیلی بیشتر می‌باشد و لذا فرایندهای پیشرفته تر مانند جابه‌جایی آهک در آن دیده نمی‌شود. فرسایش پذیری خاک‌های حاصل از مارن از دیرباز به عنوان عاملی موثر در جلوگیری تکامل پروفیلی در این خاک‌ها به شمار می‌رود (۴۰) به عنوان مثال بهمینار (۴) در مطالعه تشکیل خاک از مواد مادری متنوع در حوزه تجن در مناطق

تازیکه و همکاران: تغییر و تحول خاک‌های تشکیل شده از مواد...

های ورتی‌سول معمولاً مرتبط با مناطقی با ارتفاع کم و در مکان‌های پست فیزیوگرافی می‌باشد که شرایط برای تجمع رسوبات ریزبافت فراهم نموده و نیز زهکشی ضعیف شرایط را برای تشکیل و پایداری کانی‌های اسمکتیتی مهیا می‌کند. به عنوان نمونه قسمت اعظم ورتی‌سول‌های کشور هند در دره‌ها و در دشت‌های دامنه‌ای پست تشکیل و تکامل یافته‌اند (۲۹)؛ با این وجود مواردی نیز گزارش شده‌اند که ورتی‌سول‌ها در مناطقی با ارتفاع بالا مانند ورتی‌سول‌های ایتوپی و یا در مناطق شیبدار مثل ورتی‌سول‌های آمریکای جنوبی تشکیل شده‌اند (۱۳)؛ در این حالت مواد مادری تشکیل دهنده خاک از مقدار رس و اسمکتیت کافی برای تشکیل این خاک‌ها برخوردار می‌باشند، مانند سنگ‌های رسی موجود در سازند پسته‌لیق که با آزاد کردن درصد زیادی از رس‌های اسمکتیتی شرایط را برای تشکیل این خاک‌ها فراهم می‌کنند.

دلیل غالبیت اکسیدهای آهن در زمینه خاک است (حدود ۲۰ درصد) (شکل ۶). در مقایسه با مواد مادری، ذرات گچ از سولوم خاک کاملاً آبشویی شده‌اند و بازتوزیع ذرات آهک به صورت تشکیل ندول‌های آهکی دیده می‌شود. به دلیل چیرگی ذرات رس (بیش از ۴۰ درصد) فرایندهای انبساط و انقباض در این خاک‌ها به گونه‌ای است که در رده خاک‌های ورتی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند. وجود اسلیکن‌ساید، خاکدانه‌های گوه‌ای شکل و تدریجی بودن مرز افق‌ها از ویژگی‌های مورفولوژیکی قابل توجه است تاییدی بر وقوع فرایند چرخش خاک (آرجیلی پدوتوریشن) است (شکل ۶). در مطالعات میکروسکوپی سولوم خاک نیز غالب بودن حفرات از نوع ترک‌های انقباضی نیز نشانه‌ای بر وقوع این پدیده است (شکل ۶). نکته مورد توجه درباره ورتی‌سول‌های موجود در این منطقه آن است که این خاک‌ها هم در ارتفاع بالا و هم در مناطق شیب‌دار تشکیل شده‌اند و این در حالی است که پراکنش خاک-



شکل (۵) تصاویر مقاطع نازک از خاک تشکیل شده از مارن‌های گچ‌دار؛ A: پرشدگی کریستال‌های عدسی شکل گچ در داخل حفره و بی‌فابریک لکه‌ای و B: افق BCssy که حضور کریستال‌های عدسی شکل گچ و بی‌فابریک لکه‌ای، خطی و نیز کریستالی را در مواد مادری نشان می‌دهد (XPL).

Figure (5) Photomicrographs of soils derived from gypsiferous marl: A: loose continuous infillings of lenticular gypsum crystals in voids with speckled b-fabric (By horizon, XPL) and B: zones of speckled, striated and crystalitic b-fabric and lenticular gypsum crystals (BCssy, XPL)

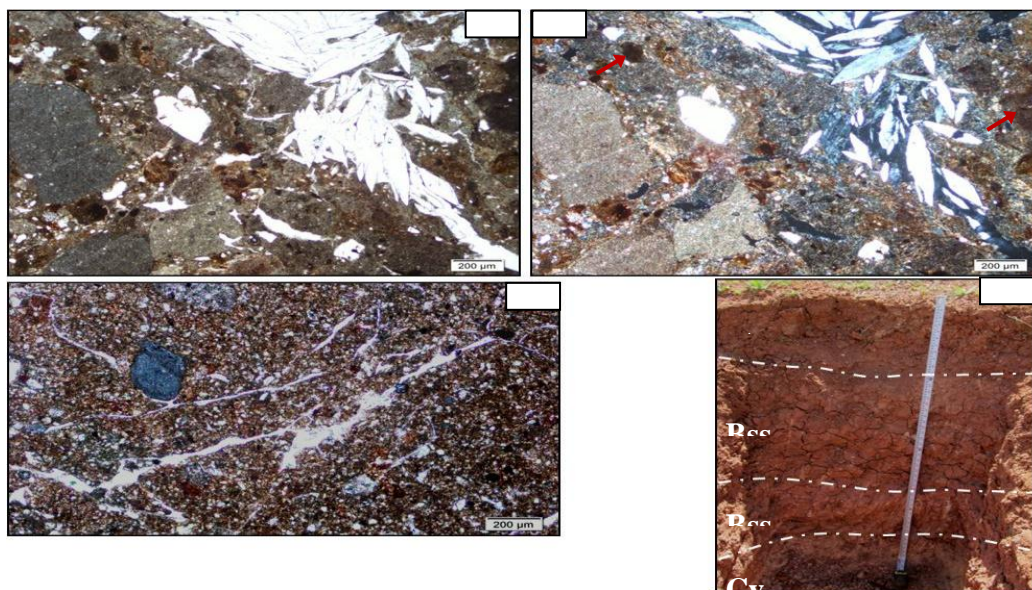
جدول (۳) فراوانی نسبی کانی‌های بخش رس خاک‌های مورد مطالعه به همراه نسبت‌های فراوانی کلریت به میکا و کلریت به اسمکتیت.

Table (3) Semiquantitative of clay mineral distribution in studied soils with chlorite to smectite and chlorite to mica ratios.

اسمکتیت / کلریت Ch/S	میکا / کلریت M/Ch	ورمی کولیت Vermiculite	اسمکتیت Smectite	میکا Mica	کائولینیت Kaolinite	کلریت Chlorite	کانی، افق	سازند، لیتولوژی
-	0.38		++++-	+++	+	+	A	سنگ آهک (کلات)
-	0.63		++++	+++	+	++	C	
-	0.62		+++++	++	+	+	A	سنگ آهک (آب دراز)
-	0.62		+++++	++-	+	+ -	C	
0.26	0.61		++++-	++-	+	+ -	A	مارن گچی
0.25	0.51		++++-	+++	+	+	By	
0.27	0.55		+++++	++-	+	+ -	BCssy	
0.13	0.46		+++++	++	-	+	A	سنگ رس
0.10	0.68		+++++	+	-	+	Bss ₁	
0.3	1.22		+++++	+ -	-	++	Cy	
-	-	+	-	+++++	+ -	+	A	شیل
-	-	+ -	-	++++	++	+ -	Bk ₂	
-	-	+ -	-	++++	+ -	+ -	C	

* هر علامت + و - به ترتیب نشان دهنده حدود ۱۰ و ۵ درصد فراوانی نسبی کانی رسی است.

Relative abundance of clay minerals is indicated by: + (10%) and - (5%).



شکل (۶) اویر مقاطع نازک از مواد مادری (A و B) و خاک (C) تشکیل شده از سنگ رس (سازند پسته لبق)؛ A: پرشدگی کریستال‌های عدسی شکل گچ در داخل حفره (PPL) و B: بی‌فابریک کریستالی و بی‌فابریک نامشخص ناشی از تجمع موضعی اکسیدهای آهن که با علامت فلش نشان داده شده است (XPL)؛ C: تصویری از ترک‌های انقباضی و ندول آهک در افق Bss (PPL)؛ D: تصویری از نیمرخ خاک ورتی‌سول تشکیل شده از سنگ رس.

Figure (6) Photomicrographs of parent material (A and B) and soils (C) derived from claystone: A: gypsum infillings in voids (Cy horizon, PPL), B: crystallitic b-fabric and zones of iron oxide concentration (undifferentiated b fabric) (XPL) and C: images of planes and calcite nodules in Bss horizon (PPL), D: soil profile image of Vertisols formed on claystone

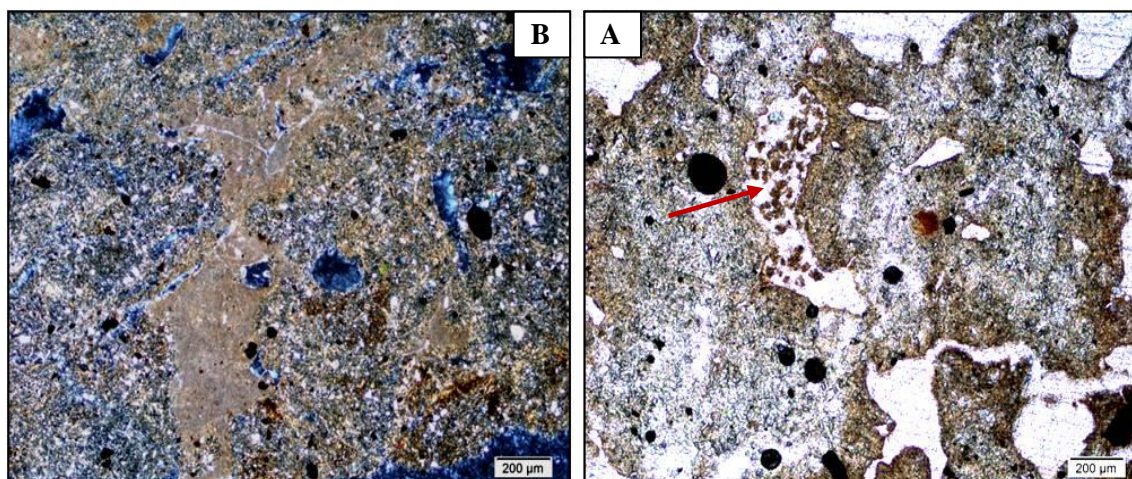
نشان دهنده آبشویی و بازتوزیع گچ و آهک در نیمرخ خاک بوده و شدت آبشویی به اندازه‌ای است که عمق آبشویی گچ به بیش از یک متر می‌رسد (جدول ۲). مطالعات میکروسکوپی زمینه خاک حاکی از شستشو و تخلیه آهک از افق‌های فوقانی است، به گونه‌ای که از سطح خاک تا مرز افق کلسیک بی‌فابریک کاملاً لکه‌ای بوده و در افق‌های کلسیک و نیز سایر افق‌های تحتانی بخشی از بی‌فابریک لکه‌ای و بخشی به صورت کریستالی است (شکل ۷). در مشاهدات صحرایی اشکال خاکساز آهک و گچ در افق‌های کلسیک و جیسیک به صورت رشته‌ای دیده شده و در مقاطع نازک به صورت پوشش‌های کلسیت و گچ بر روی سطوح حفرات دیده می‌شوند (شکل ۷).

کانی‌های رسی: بررسی ترکیب کانی‌های رسی خاک-های حاصل از مارن و سنگ‌رس و نیز مقایسه آن با مواد مادری نشان می‌دهد که کانی‌های میکا، کلریت کائولینیت به همراه مقدار زیادی اسمکتیت از مواد مادری به خاک ارث می‌رسند (شکل‌های ۸ و ۹، جدول ۳)؛ همچنین نتایج حاصل از این مقایسه در این دو نوع خاک نشان می‌دهد که تفاوت چندانی بین ترکیب کانی‌های رسی مارن با خاک‌های حاصل از آن مشاهده نمی‌شود؛ در حالی که بررسی ترکیب کانی‌های رسی خاک‌های حاصل از سنگ رس کاهش مقدار کلریت به همراه افزایش نسبی اسمکتیت را نسبت به مواد مادری نشان می‌دهد. کلریت در مقایسه با میکا، اسمکتیت و کائولینیت از مقاومت کمتری نسبت به هوازدگی برخوردار می‌باشد و با در نظر گرفتن این موضوع که شدت هوازدگی حاکم بر خاک‌های این منطقه به اندازه‌ای نیست که سایر کانی‌های رسی را تحت تاثیر قرار دهد و می‌توان به این نتیجه رسید که کلریت هوازدیده شده و به اسمکتیت تبدیل می‌گردد. تبدیل و هوازدگی کلریت به اسمکتیت در شرایط خاک‌های

ج: خاک‌های تشکیل شده بر روی شیل:

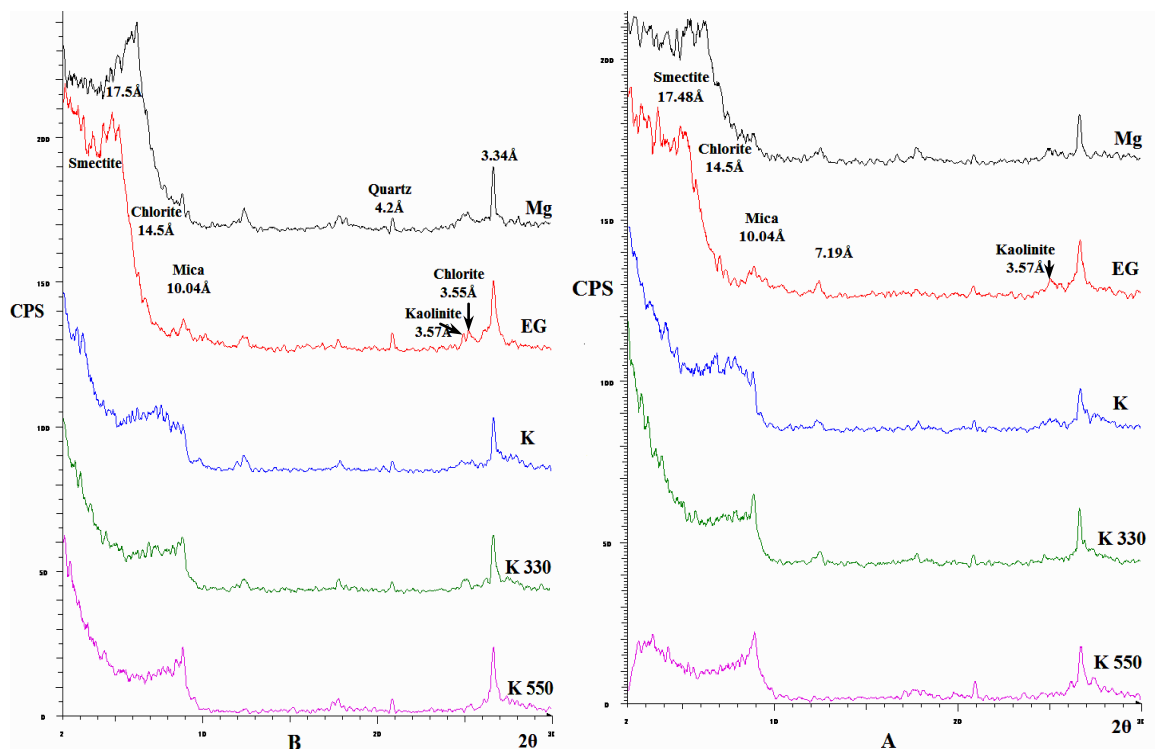
مقایسه با سایر خاک‌های مطالعه شده که خصوصیات آنها ذکر شد، خاک‌های تشکیل شده بر روی این مواد مادری عمیق بوده و تحول و تکامل پیشرفته‌تری را نشان می‌دهند که از دلایل آن می‌توان به وجود پوشش گیاهی بهتر، پایداری زمین‌نما و سهولت هوازدگی ماده مادری اشاره کرد. تشکیل افق کلسیک و عمق قابل توجه آبشویی گچ نشان دهنده تاثیر پایداری زمین‌نما و نقش آن در تحول و تکامل این خاک‌ها است و همان‌گونه که انتظار می‌رود از مواد مادری مشتق شده از شیل خاک-هایی با بافت رسی حاصل آمده است. در مقایسه با این خاک‌ها، نائل و همکاران (۲۴) در بررسی تکامل خاک-های مشتق شده از سنگ مادر شیل در لندفرم کوه در اراضی شیبدار جنگلی ماسوله عنوان کردند که از شیل خاک‌های اینسپتی‌سول به وجود آمده است و برخلاف خاک‌های مورد مطالعه بافت آنها رسی نمی‌باشد (۲۵). این در حالی است که نوروزی فرد و همکاران (۲۶) در بررسی مشابه در استان چهارمحال بختیاری تشکیل خاک‌های اینسپتی‌سول با افق کلسیک و رسی را از شیل گزارش نموده‌اند. به هر حال برای بررسی بیشتر این پدیده باید به مواردی چون تفاوت انواع شیل‌ها در مواردی چون درجه سهولت هوازدگی آنها و نیز دوام هوازدگی برای آزادسازی ذرات رس اشاره نمود. شترل و اندرسون (۳۴) بیان می‌دارند که سهولت هوازدگی این مواد رابطه تنگاتنگی با نوع ماده سیمان کننده دارد که بررسی بیشتر در این باره پیشنهاد می‌گردد.

از دیگر ویژگی‌های خاک‌های تشکیل شده بر روی شیل در این منطقه وجود پوشش گیاهی خوب می‌باشد و که سبب تجمع مواد آلی، افزایش فعالیت بیولوژیکی و تشکیل ساختمان قوی تا عمق قابل توجه گردیده است؛ به گونه‌ای که در مطالعه مقاطع نازک نیز وجود حفرات و میکروساختمان و نیز عوارض ناشی از فعالیت جانداران شاهدهی بر این پدیده است (شکل ۷). وجود افق‌های کلسیک و جیسیک در نیمرخ خاک



شکل (۷) تصاویر مقاطع نازک از خاک تشکیل شده از شیل (سازند سنگانه). A: افق AB: وجود حفرات و میکروساختمان حجره‌ای به همراه عوارض ناشی فضولات جانوران در داخل آنها (علامت فلش) (PPL)، B: افق Bk: وجود پوشش های کلسیت در اطراف حفرات به همراه بی فابریک لکه‌ای و کریستالی (XPL).

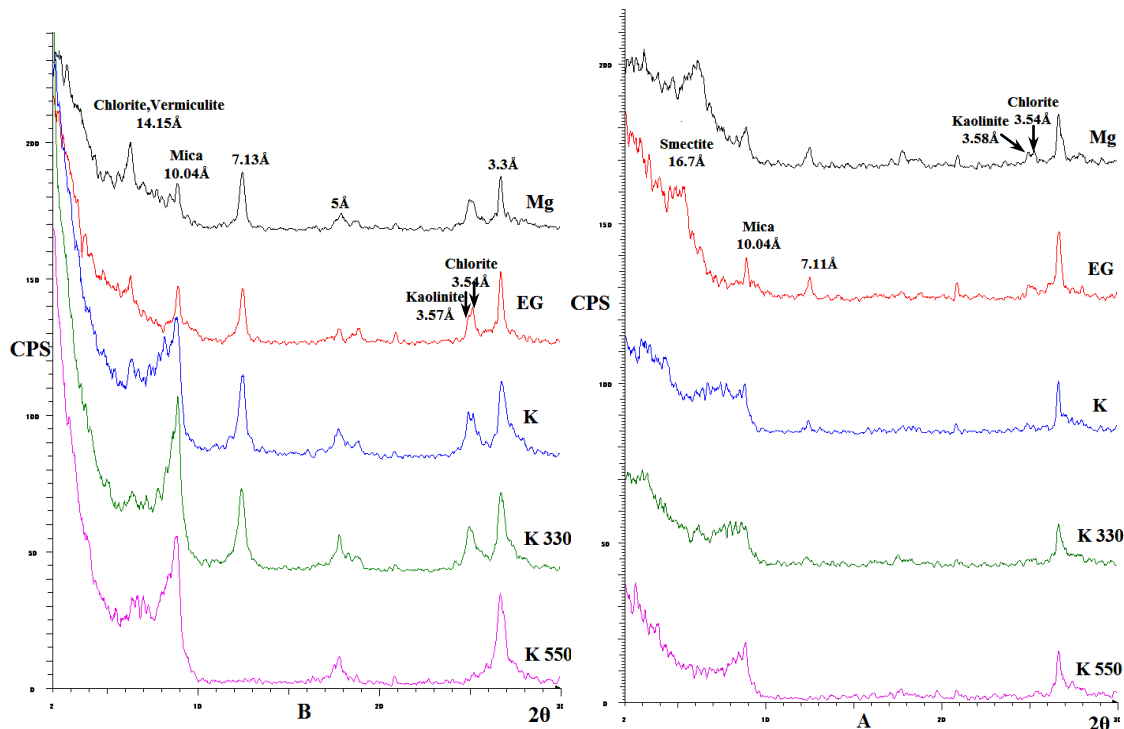
Figure(7) Photomicrographs of soils formed on shale (sanganeh formation). A: vuggy microstructure with excremental pedofeatures in vughs (AB horizon). B: calcite hypocroatings around voids with crystalitic b- fabric and calcite depletion pedofeatures (speckled b- fabric) (XPL)



شکل (۸) الگوی پراش اشعه ایکس بخش رس مواد مادری و خاک‌های حاصل از سنگ رس (سازند پسته‌لیق): A: مواد مادری و B: افق Bss₁

Figure (8) XRD patterns of A: parent material and B: soils (Bss horizon) derived from claystone (Pestehligh formation)

تازیکه و همکاران: تغییر و تحول خاک‌های تشکیل شده از مواد...



شکل (۹) الگوی پراش اشعه ایکس بخش رس مواد مادری A: مارن گچی (نئوژن) و B: شیل سازند سنگانه
Figure(9) XRD patterns of parent materials of soils derived from: A, marl (Neogene) and B, shale (Sanganeh formations)

می‌تواند به عنوان یک کانی پایدار تلقی شده و کاهش نسبت کلریت به آن می‌تواند به عنوان یک شاخص نشان دهنده هوادیدگی کلریت باشد.

مطالعه ترکیب کانی‌های رسی مواد مادری و خاک‌های حاصل از شیل در سازند سنگانه نشان می‌دهد که برخلاف سایر خاک‌های منطقه کانی اسمکتیت در آن وجود نداشته، بلکه ترکیب کانی‌های رسی مواد مادری آن شامل میکا، کائولینیت، کلریت و ورمی کولیت است. افزایش شدت آستانه 10 \AA به همراه کاهش شدت آستانه $14/2\text{ \AA}$ در تیمار پتاسیم نشان دهنده حضور ورمی کولیت می‌باشد (شکل ۹). بررسی ترکیب کانی‌های رسی این خاک‌ها نشان می‌دهد که این کانی‌ها از مواد مادری به خاک ارث رسیده است؛ زیرا تفاوت چندانی بین ترکیب کانی‌های رسی خاک و مواد مادری مشاهده نمی‌شود، جز این که مقدار کلریت اندکی در خاک نسبت به مواد

مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران توسط پژوهشگران گزارش شده است (۱۱ و ۱)؛ علاوه بر این ریگی و مونیبر در مطالعه کانی‌های رسی خاک‌های حاصل از مارن نشان دادند که کلریت موجود در مواد مادری هوازده شده ولی میکا بدون تغییر باقی می‌ماند. آن‌ها اکسیداسیون پیریت موجود در مواد مادری را عاملی اصلی در این فرایند می‌دانند (۳۳). کاهش نسبت کلریت به میکا و نیز کلریت به اسمکتیت در سولوم خاک‌های مورد مطالعه نسبت به مواد مادری نیز می‌تواند تاییدی بر وقوع این فرایند باشد (جدول ۳) با در نظر گرفتن این موضوع که اسمکتیت نیز در خاک‌های آهکی با pH خنثی تا قلیایی که غلظت بهینه‌ای از کاتیون‌های کلسیم و منیزیم فراهم است، پایدار بوده و به کانی دیگری تبدیل نمی‌شود (۶) بنابراین با وجود شرایط بهینه برای پایداری اسمکتیت در خاک‌های مورد مطالعه، این کانی نیز

مادری کاهش می‌یابد (جدول ۳)؛ اما به هر صورت با توجه به اینکه آستانه $14/5\text{\AA}$ در تیمار منیزیم و اتیلن‌گلیکول علاوه بر کلریت متعلق به ورمی‌کولیت نیز می‌باشد؛ بنابراین نمی‌توان از این آستانه برای محاسبه و بررسی نسبت کلریت به میکا استفاده نمود. نوروزی فرد و همکاران (۲۶) نیز در بررسی کانی‌های رسی سنگ شیل و خاک‌های حاصل از آن در اقلیم زریک در استان چهارمحال بختیاری نیز وجود ورمی‌کولیت را هم در مواد مادری و هم در خاک گزارش می‌کنند. آنان منشاء ورمی‌کولیت را عمدتاً پدوژنیک و به دلیل هوادیدگی کلریت و میکا دانسته‌اند، هر چند منشاء توارثی را نیز محتمل می‌دانند. همان‌گونه که نشان داده شد سه خاک تشکیل شده بر روی مواد مادری رسی به لحاظ تحول و تکامل با یکدیگر متفاوتند، به گونه‌ای که خاک‌های تشکیل شده از سنگ رس دارای خصوصیات انبساط و انقباض شدید می‌باشد و به صورت ورتی‌سول طبقه‌بندی شده است؛ در حالی که خاک‌های حاصل از مارن‌های گچ‌دار و شیل در رده خاک‌های اریدی‌سول قرار گرفته و فاقد انبساط و انقباض شدید می‌باشند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه لزوم توجه بیشتر به مواد مادری و پراکنش منطقه‌ای آن را به عنوان یکی از عوامل مهم تشکیل دهنده خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک آشکارتر می‌کند. با توجه به جوان بودن حوضه کپه‌داغ به لحاظ ژئومورفولوژی و نقش تعیین کننده مواد مادری در توزیع انواع خاک‌ها، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که علاوه بر بافت سنگ مادری ترکیب کانی‌شناسی مواد مادری نیز نقش تعیین کننده‌ای بر روند تحول و تکامل خاک در این منطقه دارد، به گونه‌ای که غالبیت مواد مادری درشت دانه کوارتزی در ماسه‌سنگ‌خانگیران و نوع سنگ‌آهک در خاک‌های حاصل از سنگ‌های آهکی در سازندهای کلات و آب‌دراز مهم‌ترین عوامل موثر بر تکامل خاک و ویژگی‌های آن می‌باشند. در ادامه بررسی روند تشکیل و تحول خاک در خاک‌های رسی حاصل از سنگ‌های رسوبی ریزدانه در سازندهای پسته‌لیق، سنگانه و نئوزن نشان می‌دهد که وجود اسمکتیت و نیز حضور گچ نقش تعیین کننده‌ای در بروز

مقایسه خاک‌های حاصل از مارن گچی با سنگ رس نشان می‌دهد که این خاک‌ها نیز دارای ترکیب کانی رسی با غالبیت اسمکتیت هستند؛ اما فاقد خصوصیات ورتیک مانند خاک‌های حاصل از سنگ رس می‌باشند؛ زیرا این خاک‌ها با وجود داشتن رس اسمکتیتی زیاد فاقد خصوصیات انبساط و انقباض شدید می‌باشند و این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که وجود مقدار فراوان گچ در این خاک‌ها سبب تعدیل پدیده انبساط و انقباض می‌گردد. بلورهای گچ در فصل مرطوب به دلیل حلالیت زیاد حل می‌گردد و موجب کاهش حجم و انبساط خاک می‌شوند؛ در حالی که در فصل خشک با تبلور مجدد سبب افزایش حجم خاک گردیده و از شدت انقباض خاک می‌کاهد. نتایج برخی از مطالعات نشان می‌دهد که افزودن گچ می‌تواند سبب تعدیل انبساط و انقباض خاک‌های ورتی‌سول و بهبود

مادری کاهش می‌یابد (جدول ۳)؛ اما به هر صورت با توجه به اینکه آستانه $14/5\text{\AA}$ در تیمار منیزیم و اتیلن‌گلیکول علاوه بر کلریت متعلق به ورمی‌کولیت نیز می‌باشد؛ بنابراین نمی‌توان از این آستانه برای محاسبه و بررسی نسبت کلریت به میکا استفاده نمود. نوروزی فرد و همکاران (۲۶) نیز در بررسی کانی‌های رسی سنگ شیل و خاک‌های حاصل از آن در اقلیم زریک در استان چهارمحال بختیاری نیز وجود ورمی‌کولیت را هم در مواد مادری و هم در خاک گزارش می‌کنند. آنان منشاء ورمی‌کولیت را عمدتاً پدوژنیک و به دلیل هوادیدگی کلریت و میکا دانسته‌اند، هر چند منشاء توارثی را نیز محتمل می‌دانند. همان‌گونه که نشان داده شد سه خاک تشکیل شده بر روی مواد مادری رسی به لحاظ تحول و تکامل با یکدیگر متفاوتند، به گونه‌ای که خاک‌های تشکیل شده از سنگ رس دارای خصوصیات انبساط و انقباض شدید می‌باشد و به صورت ورتی‌سول طبقه‌بندی شده است؛ در حالی که خاک‌های حاصل از مارن‌های گچ‌دار و شیل در رده خاک‌های اریدی‌سول قرار گرفته و فاقد انبساط و انقباض شدید می‌باشند.

تازیکه و همکاران: تغییر و تحول خاک‌های تشکیل شده از مواد...

خصوصیات ورتیک و تشکیل خاک‌های ورتی‌سول دارد، به طوری که نبود گچ سبب بروز خصوصیات ورتیک و تشکیل ورتی‌سول بر روی سنگ رس و حضور گچ سبب تعدیل خصوصیات انبساط و انقباض و عدم تشکیل ورتی‌سول بر روی مواد مادری رسی غنی از اسمکتیت حاصل از مارن گردیده است. در مقایسه با این خاک‌ها نبود اسمکتیت در ترکیب کانی‌های رسی شیل در سازند سنگانه مهم‌ترین عامل عدم تشکیل خاک‌های ورتی‌سول در این سازند می‌باشد.

منابع

1. Abtahi, A., Khormali, F. 2001. Genesis and morphological characteristics of Mollisols formed in a catena under water table influence in southern Iran. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 32: 1643-1658.
2. Afshar-Harb, A. 1979. The stratigraphy, tectonics and petroleum geology of the Kopet-Dagh region, northern Iran. PhD Thesis, Imperial College of Sciences and Technology, University of London, 316 pp.
3. Bhattacharyya, T., Pal, D.K., Deshpande, S.B. 1997. On kaolinitic and mixed mineralogy classes of shrink-swell soils. *Australian Journal of Soil Research*, 35: 1245-1252.
4. Bahmaniar, M. A. 2002. Effect of parent material on clay mineralogy of some woodland area in Northern Iran. 17th world congress Soil Science, Bangkok, Thailand, August, 14-21.
5. Biscaye, P. E. 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans, *Geological Society of America. Bulletin*, 76: 803-832.
6. Borchardt, G. 1989. Smectite. Pp 675-727 In; *Minerals in Soil Environment* (J.B. Dixon & S.B Weed, editors.) Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
7. Bronger, A., Bruhn-lobin, N. 1997. Paleopedology of terra rossa- Rhodoxerals from Quaternary Calcarenes in new Morocco. *Catena*, 28: 279-295.
8. Bronger, A., Enslin, J., Gutlich, P., Spiering, H., 1988. Rubification of terra rossa in Slovakia: a Mosbaer effect study, *Clays and Clay Minerals*, 3: 269-275.
9. Bullock, P., Federoff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T., Babel. 1985. *Handbook for soil thin section Description*. Wainer research Publication, Wolverhampton, U.K.
10. Buol, S. W., Southard R. J., Graham, R. C. McDaniel, P. A. 2003. *Soil Genesis and Classification*. Fifth Edition. Iowa State Press.
11. Burnett, A.D., Fookes, P.G., Robertson, R.H.S. 1972. An engineering soil at Kermanshah, Zagros Mountains, Iran. *Clay Minerals*, 9: 329-343.
12. Cailleau, G., Verrecchia, E.P., Braissant, O., Emmanuel, L. 2009. The biogenic origin of needle fibre calcite. *Sedimentology*, 56: 1858-1875.

13. Coulombe, C.E., Wilding, L.P., Dixon, J.B. 1996. Overview of vertisols: characteristics and impacts on society. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy*, vol. 57. Academic Press, New York, pp. 289–375.
14. Day, R. R. 1965. Particle fractionation and particle size analysis, 545-566, In: C. A. Black Etal (Ed). *Methods of soil analysis*, part 1. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin, USA.
15. Jaillard, B., Guyon, A., Maurin, A.F. 1991. Structure and composition of calcified roots, and their identification in calcareous soils. *Geoderma*, 50: 197–210.
16. Johns, W.D., Grim, R.E., Bradley, W.F. 1954. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24: 242-251.
17. Khormali, F., Amini, A., 2015. Clay mineralogy of the Jurassic-Tertiary sedimentary rocks of the Kopetdagh basin (Northeastern Iran): implication for paleoclimate. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 12(4): 1-12
18. Khormali, F., Abtahi, A., Stoops, G. 2006. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. *Geoderma*, 132: 31–46
19. Kittrick, J., Hope, E. W. 1971. A procedure for particle size separations of soils for x-ray diffraction. *Soil Science Society of American Proceeding*, 35: 621-626.
20. Mermut, A.R., Acton, D.F. Tarnocai, C. 1991. A review of recent research on swelling clay soils in Canada. In Kimble, J.M. (ed.), *Characterization, Classification and Utilization of Cold Aridisols and Vertisols*. USDA Soil Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska, pp: 112–121.
21. Milliere, L., Hasinger, O., Bindschedler, S., Cailleau, G, Spangenberg, J. E., Verrecchia. E.P. 2011. Stable carbon and oxygen isotope signatures of pedogenic needle fibre calcite. *Geoderma*, 161: 74–87.
22. Moore, D. M., Reynolds, R. C. 1989. *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*, 322 pp., Oxford University Press, New York.
23. Moresi, M., Mongelli, G., 1988. The relation between the terra rossa and the carbonate-free residue of the underlying limestones and dolostones in Apulia, Italy. *Clay Minerals*, 23: 439–446.
24. Nael, M., Khademi, H., Jalalian, A., Sotohian, F. 2014. Soil-parent material relationship in forest ecosystems of western Alborz: Clay mineralogy. *Journal of Water and Soil Conservation*. Gorganuniversity of agricultural sciences and natural resources, 21(3): 101- 122.
25. Nael, M., Jalalian, A., Khademi, H., Kalbasi, M., Sotoohian, F., Schulin, R. 2010. The effect of parent material and soil development on geochemical characteristics of forest soils in Fuman-Masule region. *Journal Science and Technology of Agriculture and Natural Resoures*. *Water Soil Sci*. Isfahan University of Technology, 54: 135-153.

26. NoruziFard, F., Salehi, M.H., Khademi, H., DavoudianDehkordi, A.R. 2010. Genesis, classification and mineralogy of soils formed on various parent materials in the north of Chaharmahal-Va-Bakhtiari province. *Jounal Water and Soil*. Ferdowsi University of Mashhad, 24(4): 647-658.
27. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and Gypsum. In: *Methods of soil analysis*. Part 2. Page, A. L. (Ed). American society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
28. Oganesyanyan, A. S. Susekova, N. G. 1995. Parent materials of Wrangel Island. *Eurasian Soil Science*, 27: 20–35.
29. Pal, D.K., Bhattacharyya, T., Chandran, P., Ray, S.K., Satyavathi, P.L.A., Durge, S.L., Raja, P., Maurya, U.K. 2009. Vertisols (cracking clay soils) in a climosequence of Peninsular India: evidence for Holocene climate changes. *Quaternary International*, 209: 6–21.
30. Pal. D. K., Wani, S.P. Sahrawat, K.L. 2012. Vertisols of tropical Indian environments: Pedology and edaphology. *Geoderma*, 190: 28–49.
31. Peng, Sh., Hao, Q., Oldfield, F., Guo, Zh. 2014. Release of iron from chlorite weathering and links to magnetic enhancement in Chinese loess deposits. *Catena*, 117: 43–49
32. Plaster, R. W., Sherwood, W. C. 1971. Bedrock weathering and residual soil formation in central Virginia. *Geological Society of America. Bulletin*, 82: 2813–2826.
33. Righi, D., Meunier, A. 1995. Origin of clays by rock weathering and soil formation, P 43-161. In: Velde, B. (ed.), *Origin and Mineralogy of Clays*, Springer, Berlin.
34. Schaetzl, R. Anderson. S. 2005. *Soils, Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press.
35. Shirsath, S.K., Bhattacharyya, T., Pal, D.K. 2000. Minimum threshold value of smectite for vertic properties. *Australian Journal of Soil Research*, 38: 189–201.
36. Soil Survey Staff. 1993. *Soil survey manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
37. Soil survey staff. 2014. *Keys to soil taxonomy*. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
38. Stephen, I. 1952. A study of rock weathering with reference to the soils of the Malvern Hills. I. Weathering of biotite and granite. *European Journal of Soil Science*. 3: 20–33.
39. USDA Soil Survey Staff. 1972. *Soil survey laboratory methods and procedure for collecting soil samples*. Report No. 1.
40. Verheye, W. 1974. Soils and soil evolution on limestones in the Mediterranean environment. *Trans. 10th Internationalcongress of Soil Science. (Moscow)* 6:387–393.
41. Verrecchia, E.P. Verrecchia, K.E. 1994. Needle-fiber calcite: a critical review and a proposed classification *Journal of Sedimentary Research*, 64: 650–664.

42. Walkly, A., Black. I. A. 1934. An examination of the digestion method for determination soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38p.
43. Wild, M. R., Koppi. A. G., Mackenzie D. C., Mcbratney, A. B. 1992. The effect of tillage and gypsum application on the macropore structure of an Australian Vertisols used for irrigated cotton. *Soil and Tillage Research*, 22: 55-71.
44. Zhao, L., Ji, J.F., Chen, J., Liu, L.W., Chen, Y., Balsam, W., 2005. Variations of illite/chlorite ratio in Chinese loess sections during the last glacial and interglacial cycle: Implications for monsoon reconstruction, *Geophysical research letters*, 32, L20718.