بررسی خصوصیات کانی شناسی ورتی سول‌های استان فارس و رابطهٔ آن با برخی شاخص‌های فیزیکی در این خاک‌ها

احمد حیدری، شهلا محمودی
گروه خاک‌شناسی دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ: دریافت ۸۱/۶/۱۰ پذیرش: ۸۲/۲/۱۰

چکیده

تعدادی از ورتی سولهای[۱] استان فارس واقع درمحدودهٔ جغرافیایی۵٤ درجه تا ٥٤ درجه و۲٦ دقیقه شرقی و ۲۷ درجه و ٤۹ دقیقه تا ۲۹ درجه و ١٤ دقیقه شمالی از نظرکانی‌شناسی و تعیین برخی شاخص‌های فیزیکی مورد بررسی قرار گرفتند. این خاک‌ها دارای تمامی مشخصات رده ورتی‌سول از قبیل درصد رس، وجود اسلیکن‌ساید[۲] و ساختمان گوه‌ای تا عمق۱۰۰ سانتی‌متری و درز و شکاف‌های عریض و عمیقی‌هستند که در طول سال بازو بسته می‌شوند. علاوه براین، انقباض و انبساط کافی بروزمی‌دهند (COLE >۰/۰۷). ولی بر خلاف تصور عمومی که کانی‌های رسی غالب، دراین خاک‌ها را کانی‌های گروه اسمکتایت[۳] در نظر می‌گیرند، در خاک‌های بررسی شده این موضوع صادق نیست. با توجه به مقادیر زیاد رس و پایین بودن CEC رس (۲۵/٤٦ تا ٤٤/٥٦ سانتی‌مول بار برکیلوگرم) و مطالعات XRD و SEM انجام شده ، وجود مقادیر قابل توجه کانی‌های ورمی‌کولیت[٤] و اسمکتیت غیر محتمل است و کانی‌های عمدهٔ آنها شامل کلریت[٥] (با درجه تبلور خوب تا اندک) و پالی گورسکیت[٦] و ایلیت[۷] و مقادیر مختصری کائولینیت[۸] و کانیهای قابل انبساط است. تعیین حدود آتربرگ (حدسیلان و حد خمیری) در این خاک‌ها ومقایسهٔ آن با اعداد به دست آمده برای انواع رس‌ها نیز مؤید عدم غالبیت مونتموریلونیت[۹] است و وجود مقادیر قابل توجه کلریت در این خاکها را تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ورتی‌سول، ورتی‌سول‌های غیراسمکتیتی،کانی‌شناسی رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، ضریب انبساط خطی، حدود آتربرگ، پراش اشعهٔ X، میکروسکوپ الکترونی‌اسکنینگ، پالی‌گورسکیت.

۱-vertisols ۲- slickensides ۳ - smectite ٤ – vermicolite ٥ – chlorite
٦- palygorskite ۷- illite ۸-kaolinite ۹-montmorillonite

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

مقدمه

ورتی‌سول‌ها خاک‌های رسی با قابلیت انقباض و انبساط زیاد هستند به همین سبب در فصول خشک بر اثر انقباض، درز و شکاف‌های عریض و عمیقی در آنها ایجاد می‌گردد. که به دلیل ریزش خاک رویین به درون این شکاف‌ها علاوه بر اختلاط دائمی خاک رو و زیر و ممانعت از تشکیل افق‌های مشخص و متفاوت در نیمرخ خاک، موجب افزایش حجم خاک در اعماق شکاف‌ها می‌شود و متعاقباً در فصل مرطوب به سبب انبساط و ایجاد فشار بسیار زیاد منجر به تشکیل نوع خاصی ساختمان (ساختمان گوه‌ای یا اسفنوئید) و یا اسلیکن سایدهای متقاطع در محدوده نوسانات فصلی رطوبت(تا عمق۱۰۰سانتی‌متری ازسطح خاک)می‌گردد[۳۰]

قابلیت انقباض و انبساط زیاد نه تنها یکی ازعوامل اصلی در تشکیل و روند تحول این خاک‌ها محسوب می‌گردد، بلکه از نظر عملی نیز غالباً موجب شکستگی سطح بزرگراه‌ها، شالوده ساختمان‌ها، تیرهای چراغ برق، و قطع و شکستگی لوله‌های آب و فاضلاب و ریشه درختان و گیاهان زراعی و در مراتع موجب گیرکردن پای دام‌ها در درون این شکاف‌ها و شکستگی آنها و بالاخره ایجاد پستی و بلندی‌های گیلگای[۱] می‌شود که مانعی برای کشاورزی مکانیزه محسوب می‌گردد[۱٤] و [۳۰].

بر اساس بررسی‌های انجام شده نوع و مقدار رس در ایجاد خصوصیات مذکور نقش اساسی ایفا میکند[۱٦] و [۳۰]. انبساط پذیری ورتی‌سول‌ها، معمولا به مقادیر قابل توجه اسمکتایت در این خاک‌ها نسبت داده می‌شود[۱۱]، [۱۵]، [۲۰]، [۲۷]، [۳۳]. امّا این پدیده بسیار پیچیده است و مجموعه‌ای از فرایندها در آن دخالت دارند که تاکنون به درستی شناخته نشده‌اند[۳۰]. به همین دلیل است که در رده‌بندی امریکایی کلاسهای کانی‌شناسی غیر اسمکتایتی و مختلط هم در سطح فامیل[۲] این خاک‌ها مشاهده می‌شود[۱٤] و[۲۷]. «اسواران و همکاران»[۲۰] اظهار نموده‌اند که در ورتی‌سول‌ها یا باید اسمکتیت‌ها غالب باشند و یا به مقدار کافی وجود داشته باشند که بتوانند خاصیت انقباض و انبساط ایجاد کنند. آنها کانی‌های همراه را در ورتی‌سول‌ها ایلیت، کائولینیت، هالوسیت[۳] وآلوفان‌ها[٤] ذکر کرده‌اند. بنابر اظهارات

---

۱ – gilgai ۲ – family ۳- halosite ٤- allophane

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

«کولومب وهمکاران»[۱۶] در ورتی‌سول‌ای مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه برکانی‌های مذکور، کانی‌های دیگری نظیر کلریت‌ها و پالیگورسکیت و کانیهای حد واسط و مطبق نیز گزارش شده‌اند. «کولومب و همکاران»[۱۶] همچنین در مطالعات خود اسمکتیت را به عنوان جزء اصلی و کائولینیت را به عنوان دومین کانی مهم بخش رس در این خاک‌ها ذکر نموده‌اند. «اکوایه و همکاران» [۱۰] به مقادیر کم تا متوسط کائولینیت، ورمی کولیت و کلریت در ورتی‌سول‌های غنا اشاره نموده‌اند. «بوهمن و شومن»[۱۵] در بررسی ورتی‌سول‌های افریقای جنوبی نتیجه گرفتند که اسمکتیت کانی غالب در اکثر نمونه‌هاست؛ ولی کائولینیت به عنوان کانی همراه دیده می‌شود و همچنین میکای[۱] با قابلیت انبساط جزیی در برخی از نیمرخ‌ها دیده شده است. «پرابرت و همکاران» [۲۵] به نقل از «نوریش و پیکرینگ(۱۹۷۷)» در استرالیا ورتی‌سول‌های فاقد مونتموریلونیت گزارش کرده‌اند و بالاخره مطالعاتی که اخیراً «شیرسات و همکاران» [۲۷] درخاک‌های هندوستان انجام داده‌اند، نشان داده است که خصوصیات ورتیک[۲] نمی‌تواند ناشی از کائولینیت باشد. آنها بر اساس این مطالعه، مقدار اسمکتیت لازم را برای ایجاد خاصیت ورتیک، حداقل ۲۰ درصد تعیین کرده‌اند.

با توجه به این مطالب مشخص می‌شود که بررسی‌های چشم‌گیری در زمینهٔ کانی‌شناسی این خاک‌ها صورت گرفته است، و در اغلب آنها اسمکتیت‌ها به عنوان کانی غالب ذکر گردیده‌اند . امّا این امر همواره صحیح نیست؛ چنان‌که در برخی از مطالعات اخیر کائولینیت به تنهایی یا به همراه با یک کانی دیگر غالب بوده است و در مواردی نیز در استرالیا، ورتی‌سول‌های فاقد مونت موریلونیت گزارش گردیده است[۲۵]. به هرحال با توجه به طیف گسترده کانی‌های رسی که می‌توانند در ورتی‌سول‌ها دیده شوند، شناسایی کمی و کیفی کانی‌ها ازنظر نقش آنها در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی این خاک‌ها، حائز اهمیت ویژه‌ای است[۱۶].

میزان رس کل، رس ریز(μ ۰/۲ >) وهمچنین کانی‌شناسی رس‌ها در بروز ویژگی‌های ریخت شناسی ورتی‌سول‌ها نقش ویژه‌ای برعهده دارند[۱۶] و[۳۰]. ضریب انبساط خطی در این خاک‌ها معمولا بین ۰/۰۷ تا ۰/۲ متغیر است. قابلیت انقباض و انبساط ورتی‌سول‌ها ممکن

---

۱ – mica ۲ - vertic

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

است در اثر مواد آلی، کربنات‌ها، یا سایر ذرات کاهش یابد[۳۰]. «داسوگ و همکاران»[۱۷] قابلیت انقباض و انبساط و شکاف برداشتن خاک‌های رسی ساسکاچوان را بررسی و مشخص کردند که میان ضریب انبساط خطی و میزان رس ریز که عمدتاً از نوع انبساط‌پذیر هستند رابطه معنی‌داری وجود دارد. در موارد بسیار دیگر نظیر ورتی‌سول‌های السالوادور[۳٤]، سودان [۳۵] و امریکا[۱٤] کائولینیت‌های با سطح ویژهٔ بالا به عنوان کانی غالب در این خاک‌ها گزارش شده است. در مطالعات دیگری که «بهاتاکاریا وهمکاران»[۱٤] انجام داده‌اند مشخص شد که خاک‌هایی با مقادیرمساوی کائولینیت و مونتموریلونیت، همانند خاک‌های حاوی مونتموریلونیت تنها عمل می‌نمایند.

«احمد و همکاران»[۱۲] اثرات کاتیون‌های تبادلی را درخاک‌های ورتی‌سول بررسی کردند و دریافتند که حد خمیری[۱] این خاک‌ها به نوع کاتیون اشباع کننده بستگی ندارد؛ ولی با نوع رس موجود در آنها همبستگی نشان می‌دهد. علاوه بر نوع و میزان رس عوامل دیگری نیز در بروز خصوصیات ورتیک در این خاک‌ها اهمیت دارند. «السویفی و همکاران»[۱۹] در مطالعات خود دریافتند که بر خلاف حد خمیری، حد سیلان در این خاک‌ها با نوع کاتیون اشباع کننده همبستگی دارد و در این رابطه سدیم بیشترین نقش را در بین کاتیون‌های به کار رفته(سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) ایفا می‌کند. «اسمیت و همکاران» [۲۸] در مطالعه انقباض و حدود آتربرگ در رابطه با سایر خصوصیات خاک‌های اسرائیل نتیجه گرفتند که قلیاییت و شوری می‌توانند به ترتیب موجب افزایش یا کاهش حدود آتربرگ و میزان انقباض شوند؛ ولی بین ماده آلی و حدود خمیری و سیلان هیچ‌گونه همبستگی مشاهده نکردند و تأثیر کربنات کلسیم بر حدود آتربرگ را ناچیز تشخیص دادند.

در ایران مطالعات انجام شده بر روی کانی‌شناسی و نقش نوع و مقدار رس و یون‌های تبادلی بر خواص فیزیکی این خاک‌ها بسیار اندک است و بررسی‌های انجام شده صرفاً محدود به تعدادی پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد است که در سال‌های اخیر در منطقهٔ کرمانشاه بر روی ترکیب کانی‌شناسی این خاک‌ها انجام پذیرفته است [۷]، [۸]، [۹] و در غالب موارد(به پیروی از باور عمومی) کانی‌های غالب، این خاکها را اسمکتیت گزارش کرده‌اند[۲]، [٤]، [۵]، [٦].

۳ - plastic limit

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

از آن‌جا که نوع کانی‌های رسی نقش اساسی در مشخصات فیزیکی و شیمیایی این خاک‌ها می‌تواند داشته باشد، در این مطالعه سعی شده است با استفاده از روش‌های XRD و SEM وتعیین CEC رس در حد امکان کانی‌های متشکله آنها شناسایی و مقادیر این کانی‌ها به صورت نیمه کمی ارزیابی گردد.

مواد و روشها

ورتی‌سول‌ها در قسمت‌های مختلف استان فارس پراکنده هستند(شکل۱) و خاک‌های بررسی شده در محدوده طول جغرافیایی ٥٤ تا ٥٤درجه و ٢٦ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ٢٧ درجه و ٤٩ دقیقه تا ٢٩ درجه و ١٤ دقیقه شمالی قرار گرفته و وسعتی معادل ١٦٠٠٠ هکتار دارند[٢]، [٤]، [٥]، [٦].

از نظر فیزیوگرافی بخش عمدهٔ آنها در واحدهای اراضی پست، دشت‌های دامنه‌ای و دشتهای رسوبی رودخانه‌ای که متشکل از رسوبات آبرفتی ریزبافت (رسی) و آهکی متعلق به دورهٔ کواترنر است قرار دارند(جدول ١) منشأ این رسوبات سازندهای دوره میوسن و ائوسن - الیگوسن می‌باشد.

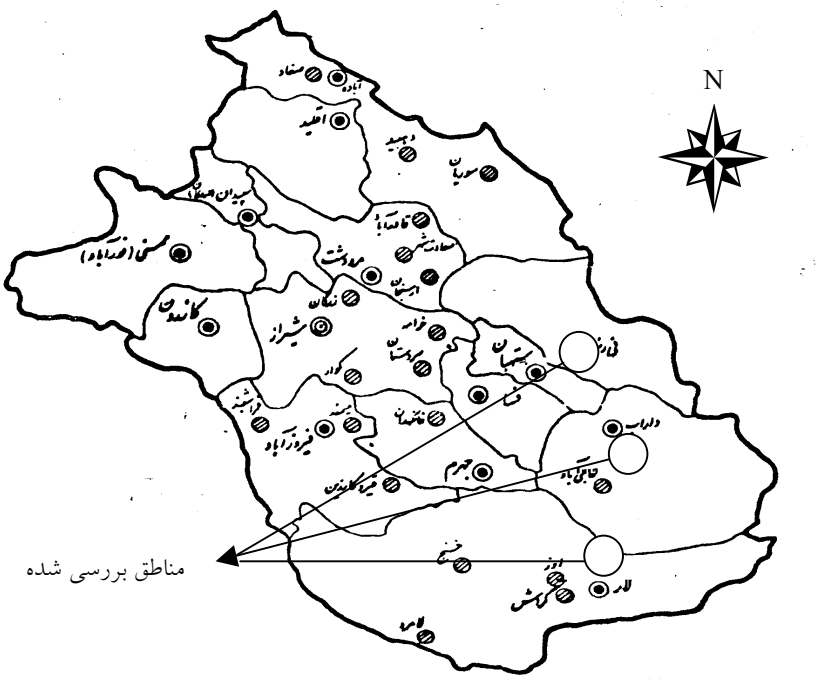
در این مطالعه تعداد ٩ پروفیل در مناطق مشخص شده (شکل۱)حفر و بر اساس روش‌های استاندارد موجود، مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفت و بر اساس سیستم رده‌بندی جامع امریکایی تا سطح فامیل رده‌بندی گردید(جدول۱). از میان پروفیل‌های بررسی شده چهار پروفیل [٤]، [٦]، [٧] و[٩] برای بررسی‌های دقیق‌تر کانی‌شناسی انتخاب گردید.

ظرفیت تبادل کاتیونی نمونه‌های خاک و رس با استفاده از روش جایگزینی کاتیون‌های تبادلی با سدیم و سپس استخلاف آن با یون آمونیم [٣١] بافت به روش هیدرومتری [٢١]، نسبت رس ریز (<۰/۲μ) به رس کل (<۲μ) پس از تفکیک و اندازه‌گیری رس با روش سانتریفوژ محاسبه گردید. ضریب انبساط خطی به روش «شافر و سینگر»[٢٦] درگلی که رطوبت آن بین حد اشباع و حد رطوبت زراعی قرار داشت تعیین‌گردید. انبساط خطی از رابطهٔ (COLE ×۱۰۰) و حدود سیلان و خمیری به روش آتربرگ تعیین گردیده است. SAR از

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

طریق محاسبه و با استفاده از Na، Ca و Mg اندازه‌گیری شده در محلول خاک با روش‌های فلیم فتومتری و کمپلکسومتری تعیین شده است.



شکل ۱- موقعیت مناطق بررسی شده

جدول ۱- موقعیت فیزیو گرافی و رده بندی خاکهای مورد مطالعه

شماره پروفیل	واحد فیزیوگرافی	اسامی فامیل خاک‌های مورد مطالعه (رده بندی امریکایی ۱۹۹۹)
۱	Low Land	Vertic Haplustepts, fine silty carbonatic hyperthermic
۲	Low Land	Sodic Haplusterts, very fine mixed hyperthermic
۳	Low Land	Halic Haplusterts, fine carbonatic hyperthermic
٤	Low Land	Aridic Haplusterts, fine mixed hyperthermic
٥	Low Land	Halic Calciusterts , very fine mixed hyperthermic
٦	Low Land	Aridic Calciusterts, very fine mixed hyperthermic
۷	Low Land	Halic Haplusterts , very fine mixed hyperthermic
۸	Plateau	Aridic Haplusterts, fine mixed hyperthermic
۹	R.A.Plain	Aridic Haplusterts, fine mixed thermic

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

کانی‌شناسی رس بر اساس روش «کنز و دیکسون» [۲۲] انجام پذیرفت و نمونه‌ها با کاتیون‌های K، Mg، Mg گلیسرول و K و حرارت ۵۵۰ درجه سانتی گراد تیمار گردیدند. برای تشخیص کانی کلریت از کائولینیت از تیمار اسید کلریدریک(HCl)استفاده گردید[۲٤] و قرائت نمونه‌ها توسط دستگاه XRD زیمنس D5000 و اشعه Cu kα انجام پذیرفت .در برخی نمونه‌ها برای اطمینان بیشتر از حضور کانی پالی‌گورسکیت با استفاده از میکروسکوپ الکترونی اسکنینگ، پس از چسباندن نمونه‌های رس خشک شده (رس ریز و رس کل) به سطح نوارهای دو طرف چسبان و پوشاندن آنها با طلا تصاویر SEM توسط دستگاه JEOL تهیه گردید.

نتایج و بحث

مشخصات ظاهری و مشخصات فیزیکو شیمیایی و شاخص‌های تعیین شده در نیمرخ‌هایی که برای مطالعات اخیر به کار رفته‌اند در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است.

جدول ۲- خصوصیات ریخت‌شناسی پروفیل‌های بررسی شده

شمارهٔ پروفیل	افق	عمق (cm)	رنگ(مانسل)		ساختمان	عرض شکاف‌ها (cm)	پایداری		
			خشک	مرطوب			خشک	مرطوب	خیس
٤	A_p	۱۷- ۰	10YR7/2	10YR5/3	[۱]2msabk	۳	[۲]eh	[۳]fr	vsvp[٤]
	AB	۳۸- ۱۷	10YR7/2	10YR5/3	2msabk+abk	۱/۵	eh	fr	vsvp
	B_{ss1}	۵۵- ۳۸	10YR5/3	10YR5/3	3mpr	۱/۵	eh	fr	vsvp
	B_{ss2}	۷۵- ۵۵	2.5Y5/3	2.5Y4/3	3mpr	-	vh	fr	vsvp
	B_{ss3}	۱۱۰ ۷۵_	2.5Y5/3	2.5Y4/3	3mpr	-	vh	fi	vsvp
	B_{ss4}	۱۳۰ - ۱۱۰	2.5Y5/3	2.5Y4/3	3mpr	-	vh	fi	vsvp
٦	A_1	۱۲- ۰	10YR6/2	10YR5/2	3mabk	۳	eh	fi	Vsvp
	A_2	۲۲- ۱۲	10YR6/2	10YR5/2	2mpr	۲	eh	fi	Vsvp

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

	B_{Kss1}	-۴۸ ۲۲	10YR4/3	10YR4/3	3mpr	۱	-	fi	Vsvp
	B_{Kss2}	-۷۰ ۴۸	10YR4/3	10YR4/3	3mpr	۱	-	fi	Vsvp
	B_{Kss3}	-۹۰ ۷۰	10YR4/4	-	3mpr	۰/۳	-	fi	Vsvp
	B_{Kss4}	۱۱۰ ۹۰-	10YR4/4	-	3mpr	-	-	fi	Vsvp
	B_{Kss5}	-۱۵۰ ۱۱۰	10YR4/4	-	3mpr	-	-	fi	Vsvp
۷	A_1	-۱۰ ۰	10YR6/3	10YR5/4	2fsabk+2mgr	۳/۰	eh	fi	Vsvp
	A_2	-۲۳ ۱۰	10YR6/3	10YR5/4	2mabk	۲/۰	eh	fi	Vsvp
	AB	-۴۵ ۲۳			3mpr+2cabk	۱/۰	eh	fi	Vsvp
	B_{ss1}	-۶۰ ۴۵	10YR4/4	10YR4/3	3cpr	۰/۰	eh	fi	Vsvp
	B_{ss2}	-۸۰ ۶۰	10YR4/4	10YR4/3	3cpr	-	eh	fi	Vsvp
	B_{ss3}	۱۱۰ ۸۰-	10YR4/3	10YR3/3	3cpr	-	eh	fi	Vsvp
	B_{ss4}	۱۵۰ - ۱۱۰	10YR4/3	10YR3/3	3cpr	-	eh	fi	Vsvp
۹	A_p	-۲۵ ۰	7.5YR6/3	7.5YR4/3	2fgr+2fpl	۳	eh	fi	Vsvp
	B_w	-۵۰ ۲۵	7.5YR6/3	7.5YR5/4	2mpr	۲	eh	fi	Vsvp
	B_{ss}	۱۱۵ ۵۰-	7.5YR5/3	7.5YR4/3	3cpr	۱	eh	fi	Vsvp
	$2B_{yb}$	۱۶۰ - ۱۱۵	7.5YR6/4	7.5YR5/4	massive	-	vh	fi	s0p0

۱-2msabk ساختمان مکعبی نیمه زاویه‌دار با اندازه و وضوح متوسط(نوع ساختمان :
pr :منشوری، abk : بلوکی زاویه‌دار، gr : دانه‌ای، pl :صفحه‌ای، massive: توده‌ای)
اندازه:(f: ریز ، m: متوسط ، c: درشت) وضوح:(1 : کم ، 2 : متوسط ، 3 :زیاد).
۲-پایداری خاک در حالت خشک (e : بی نهایت ، v : خیلی و h : سخت)
۳-پایداری خاک در حالت مرطوب (fr : شکننده ، fi : سفت)
پایداری خاک درحالت خیس(v:خیلی، s:چسبنده،p: شکل پذیر،0: بدون چسبندگی وشکل‌پذیری)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

بافت خاک عموماً رسی است و در مواردی هم که بافت رسی سیلتی یا لومی به دست آمده است یا درصد رس آن اختلاف ناچیزی با بافت رسی دارد و یا در زیر بخش کنترل بافتی از نظر عمق قرار دارد(پروفیل٤ و٩) این خاک‌ها کلاً در۵۰ سانتی‌متر فوقانی، دارای مقادیر زیادی رس بوده و با توجه به شرایط درنظر گرفته شده در سیستم رده بندی امریکایی در فامیل fine (٪٦۰<رس) و very fine(٦۰٪ < رس) رده بندی می‌شوند.

نسبت رس ریز(۰/۲>میکرومتر) به رس کل(۲> میکرومتر) در اغلب نمونه‌ها بیش از ۰/۵ است و حتی به ۰/۷۷ نیز می‌رسد(جدول۳)، که در واقع نشان می‌دهد بیش از ۵۰ درصد و حتی۷۰درصد رس خاک از نوع رس ریز بوده و از سطح رویهٔ بسیار وسیعی برخوردار است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌ها غالباً کم تا متوسط بوده و از ۷/۹۱ تا ١٤/٢۵ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم متغیر است که با توجه به مقادیر نسبتاً زیاد رس و مقادیر نسبتاً کم مواد آلی در این خاک‌ها، می‌تواند مؤید حضور کانی‌های با CEC پایین باشد. مقادیر CEC اندازه گیری شده در رس‌های نمونه‌های مربوط نیز مؤید این نتیجه هستند (جدول ۳).

با توجه به نتایج به دست آمده از XRD برای پروفیل شمارهٔ٤ ، شامل افقهای AB، B_{ss1}، B_{ss3} وB_{ss4} (شکل‌های۲و۳) در تیمارMg همه افق‌ها پیک١٤آنگسترمی نسبتاً قوی و مشخصی دیده می‌شود که تیمار گلیسرول تأثیر چندانی بر آن نگذاشته است و تنها پیک‌های ضعیفی در بعضی نمونه‌ها در ناحیه ١٦تا ١٨ آنگسترم به وجود آمده است. باقی ماندن تمامی یا بخش اعظم پیک ١٤ آنگسترمی پس از تیمار گلیسرول احتمالاً نشان دهندهٔ مقادیر کم کانی‌های انبساط پذیر در این نمونه‌هاست، اشکال ۲ و۳ نتایج حاصله از XRD را برای پروفیل شمارهٔ٤ نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تیمار پتاسیم شدت پیک ١٤ آنگسترم به مقدار خیلی کم تا خیلی زیاد کاهش می‌یابد که احتمال وجود ورمی‌کولیت یا کلریت انبساط پذیر را تقویت می‌کند. به هر حال وجود یک پیک مشخص ١٤ آنگسترمی که پس از تیمار K باقی مانده، احتمالا متعلق به کلریت با تبلور خوب است. در تیمار K550 نیز باقی ماندن پیک رده اول کلریت (١٤ آنگسترم) با شدت نسبی بیشتر نسبت به تیمار K و تضعیف پیک‌های رده دوم و سوم آن مؤید وجود کلریت تری اکتا هدرال است. به هر حال

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

حذف پیک ۷/۱ آنگسترمی در این تیمار، هم از مشخصات کانی مذکور است و هم می‌تواند متعلق به مقادیری کائولینیت باشد، که جهت اطمینان بیشتر از حضور و نقش هر یک از آنها در نمونه‌های مذکور اقدام به تیمار HCl گردید. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد در تیمار HCl پیک ١٤ آنگسترم کلاً از بین رفته است، در حالی‌که در محدودهٔ ۷/۱ آنگسترم هنوز پیک ضعیفی نمایان است(شکل۳). بدین ترتیب پیک ١٤ آنگسترمی عمدتاً متعلق به کانی‌های کلریت انبساط پذیر و کلریت با تبلور خوب است. ضمناً حضور پیک ۷/۱ آنگسترم ضعیف در تیمار HCl وجود مقادیر کم کائولینیت را در این نمونه‌ها نشان می‌دهد.

در محدودهٔ ۱۰ آنگسترمی شاهد منحنی‌های قوی ١٠/٤٩ ۹/۹۷ آنگسترم هستیم که پیک قوی ١٠/٤٩ به همراه پیک ٦/٤ آنگسترم می‌تواند مؤید حضور کانی‌های سوزنی شکل پالی گورسکیت باشد. کاهش شدید این پیک در تیمارK550 Ċ می‌تواند مؤید حضور این کانی‌ها باشد(۱۸). وجود این کانی در خاک‌های استان فارس در منابع مختلف گزارش شده است [۱]،[۳]. تصاویر تهیه شده با روش SEM (شکل٤) نیز حضور فراوان این کانی‌ها را نشان می‌دهد. کاهش شدید پیک ناحیه۱۰ آنگسترم در تیمار K550 Ċ ضمن بیان مقادیر قابل توجه رس‌های پالی گورسکیت احتمال حضور مقادیر متوسط رس‌های ایلیت را نیز نشان می‌دهد .

با توجه به پایین بودن CEC رس(٢٥/٤٦ تا ٤٤/٥٦ سانتی‌مول باربرکیلوگرم) وجود مقادیر قابل توجه کانی‌های ورمی کولیت و اسمکتیت در این نمونه‌ها غیر محتمل است و کانی‌های عمده آنها شامل کلریت و پالی‌گورسکیت و ایلیت و مقادیر مختصری کائولینیت و کانی‌های قابل انبساط می‌باشد. مقایسهٔ دیفراکتوگرام‌های مربوط به اعماق مختلف پروفیل شمارهٔ٤ (افقهایAB، B_{ss1} ، B_{ss3}، B_{ss4}) تغییرات شدیدی را نشان نمی‌دهند که این امر می‌تواند ناشی از به‌هم خوردن دائمی این خاک‌ها در اثر انقباض و انبساط و در هم آمیختن خاک رو و در نهایت عدم تحول پروفیلی در این خاک‌ها باشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

شماره پروفیل	عمق (cm)	CEC ($cmol_c/kg$)	clay CEC ($cmol_c/kg$)	% اجزاء بافت			کلاس بافت	FC/TC[1]	COLE	LE= COLE*100	SAR	حدپلاستی (%)	حدضیری (%)	EC (dS/m)	pH	(CEC) /(%C)	OC (%)
				sa	si	c											
٤	-۳۸ ۱۷	۷/۹۱	۳۳/٦۹	/۲ ۹	/۸ ۳۳	٥۷	c	۰/٦٦	۰/۱۰۷	۱۰/۷	۷/۹۸	۳٥/۸	۲۳/۰٥	٥/۷۸	/٥ ۷	۰/۱٤	/٦۳ ۰
	-٥٥ ۳۸	۷/۹٤	۳٥/۲۰	/٤ ۹	/٦ ۳٥	٥٥	c	۰/٥۹	۰/۰۹۱	۹/۱	/٥۸ ۱۰	۳٥/۲	۲۳/۹	٦/۳۷	/٦ ۷	۰/۱۳	/۳۹ ۰
	۱۱۰ ۷٥-	۷/۹٥	۳۷/۱۸	/٤ ۷	/٦ ۳۹	٥۳	c	۰/۷۷	۰/۰۸۲	۸/۲	/۸۱ ۱۱	۳٥/۹	۲٤/۹٤	۸/۸۷	/۳ ۷	۰/۱٥	/٤٤ ۰
	۱۳۰ - ۱۱۰	۷/۹۳	۳۹/۲۹	/٤ ۹	/٦ ٤۱	٤۹	sic	۰/۷٤	۰/۰۹۸	۹/۸	۹/۲۸	۳٦/٥	۲۳/٦	٦/٦۱	/۳ ۷	۰/۱٦	/٤٤ ۰
٦	-٤۸ ۲۲	۸/٦۲	۳۹/۲	/٦ ۳	/٦ ۲۷	/۸ ٦۸	c	۰/٦۱	۰/۰۷۷	۷/۷	۳/٦٦	٤٤/۸	۲۸/٥	۳/٦۷	/٦ ۷	۰/۱۳	/٤٤ ۰
	-۷۰ ٤۸	۸/۷۰	۳۲/٥۹	/٦ ٥	/٦ ۱٥	/۸ ۷۸	c	۰/٦٤	۰/۰۷٤	۷/٤	۲/۹۹	٤٦	۳۱/۲	۳/۹	/۷ ۷	۰/۱۱	/۳۹ ۰
۷	-۱۰ ۰	۱۰/۸۲	۲٦/٥۹	٥	۲۰	۷٥	c	۰/٥۱	۰/۰۸۲	۸/۲	۳/۳۱	٤٤	۲۹/٦	۳/۸۷	/۲ ۷	۰/۱٤	/٥٤ ۰
	-۲۳ ۱۰	۱۰/۸۸	-	/٤ ٥	/٦ ۱۹	۷٥	C	۰/٤۸	۰/۰۷٥	۷/٥	۸/۷۳	٤٥,۷	۲۹/٥	٥/٥۷	/٤ ۷	-	/٤٤ ۰
	-٤٥ ۲۳	۱۱/٥۲	-	/۲ ۳	/۲ ۱۱	/٦ ۸٥	C	۰/٥۳	۰/۰۷۸	۷/۸	/٦۹ ۱٤	٤۷/۲	۲۸/۹	۸/۲	/٤ ۷	-	/٤٤ ۰

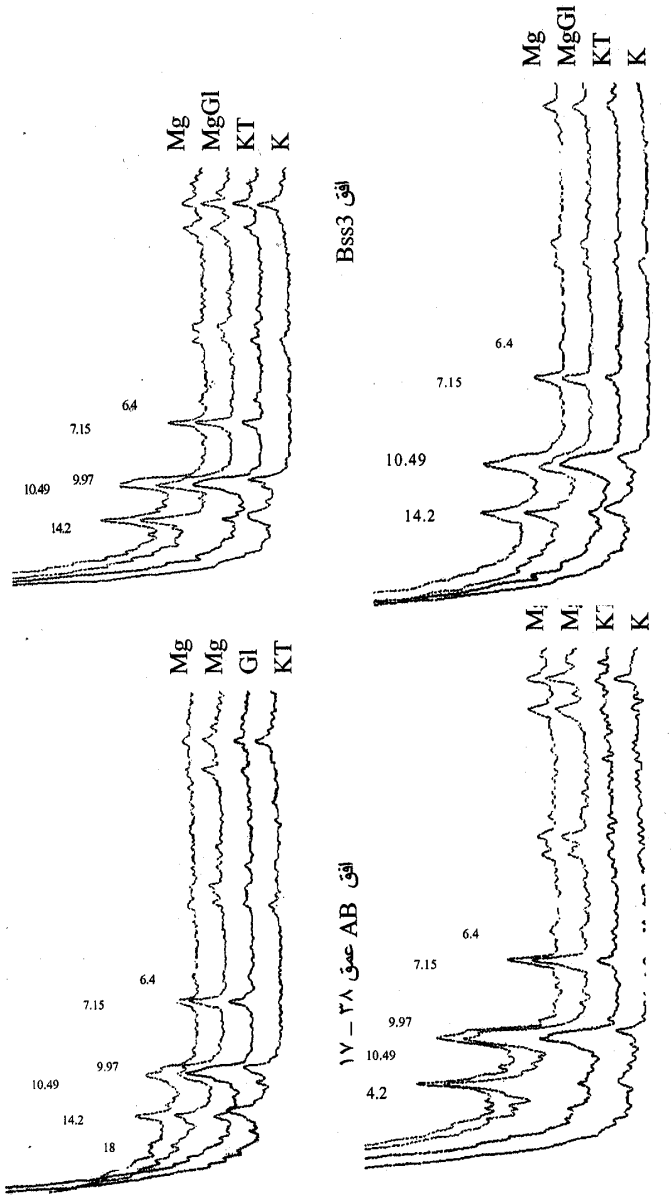
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2] [Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

	۶۰-۴۵	۱۰/۳۶	-	۶/۳	۸/۱۰	۶/۸۵	C	-	۰/۰۸۹	۸/۹	۶۹/۱۷	۴۷/۱	۲۹/۳	۹/۵۶	۳/۷	-	۳۹/۰
	۸۰-۶۰	۱۱/۱۳	۲۵/۴۶	۲/۷	۲/۱۱	۶/۸۱	C	۰/۶۴	۰/۰۸۸	۸/۸	۸۲/۲۲	۴۵/۷	۲۷/۵	۱۳	۲/۷	۰/۱۴	۴۹/۰
	۱۱۰-۸۰	۹/۹۳	-	۶/۱۱	۸/۱۰	۶/۷۷	C	۰/۵۵	۰/۰۸۴	۸/۴	۸۸/۴۱	۴۵/۹	۲۹/۰	۲۴/۴	۱/۷	-	۴۴/۰
	۱۵۰-۱۱۰	۱۱/۰۲	۴۴/۵۶	۲/۷	۲/۱۱	۶/۸۱	C	۰/۶۸	۰/۰۹۶	۹/۶	۳۵/۷	۴۹	۲۹/۴	۱۸/۱	۲/۷	۰/۱۴	۴۴/۰
۹	۵۰-۲۵	۱۴/۲۵	۳۶/۹۸	۷/۵	۵/۴۰	۸/۴۹	sic	۰/۵۷	-	-	۷/۸۵	-	-	۴/۴	۸/۷	۰/۲۹	۵۱/۰
	۱۶۰-۱۱۵	۱۰/۱۷	۳۰/۸۳	۱/۳۵	۹/۳۴	۳۰	cl	۰/۴۷	-	-	۰/۱۲	-	-	۱,۲۳	۸/۷	۰/۳۴	۲۸/۰

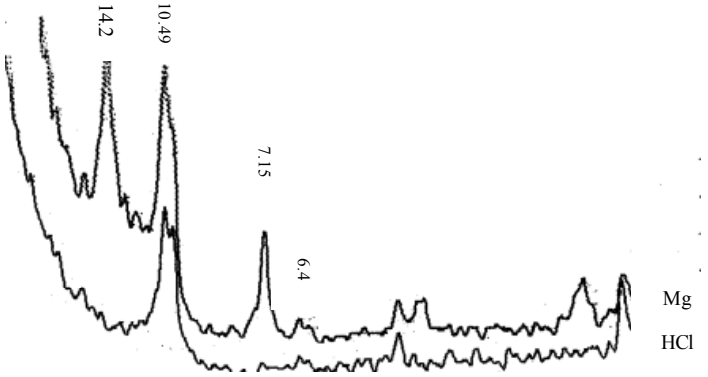
FC = رس ریز TC=رس کل

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و شاخصهای تعیین شده در پروفیل های مورد مطالعه

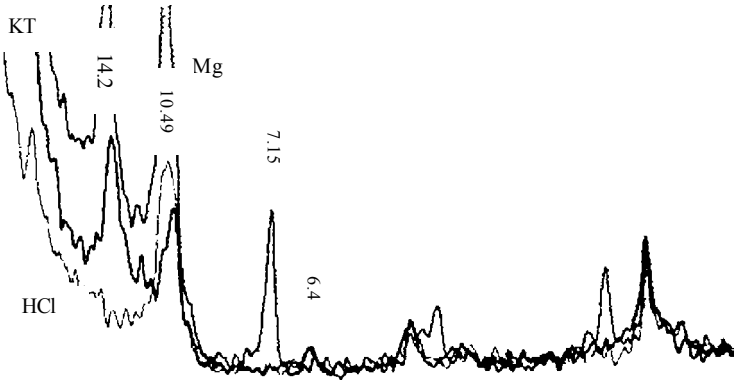


شکل ۲- دیفراکتوگرام های رس کل پروفیل شماره ٤

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]



تیمار HCl در افق B_{ss3}

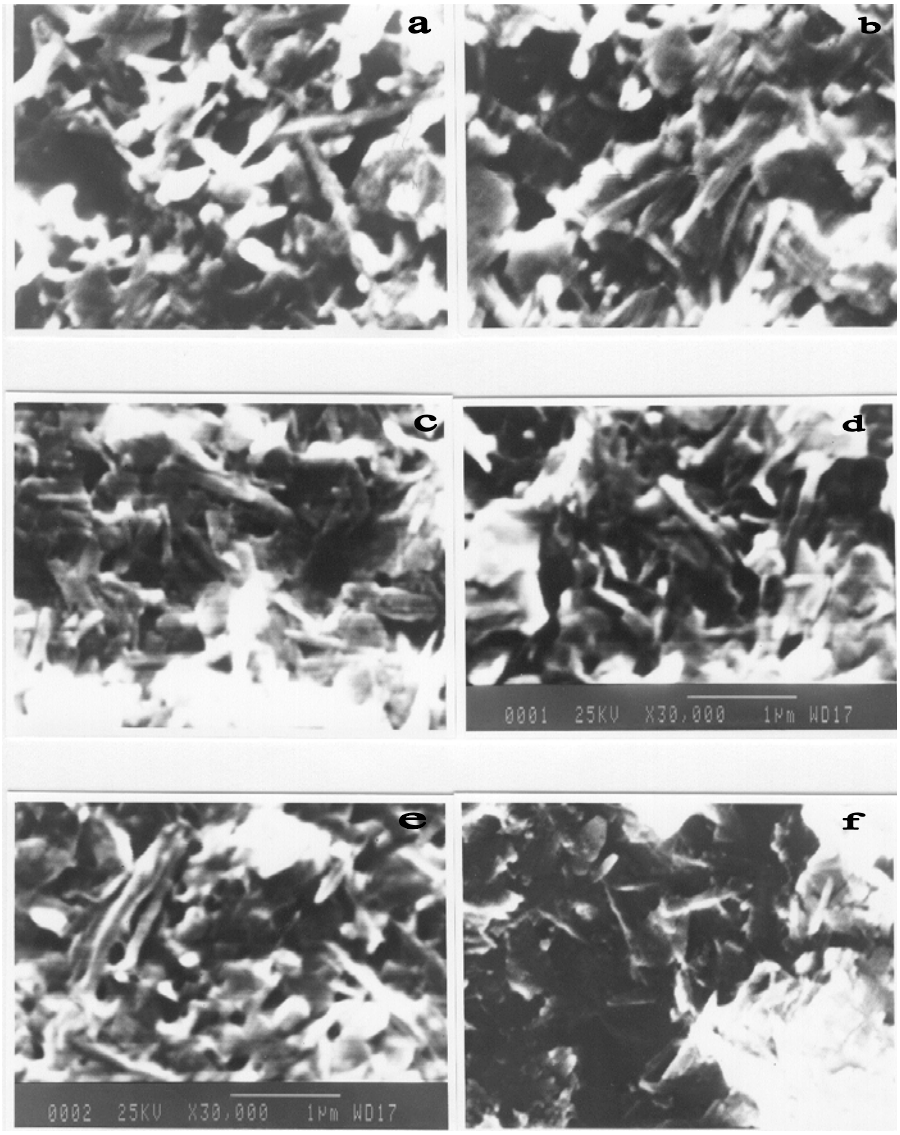


تیمار HCl در افقB_{ss4}

شکل ۳- تیمار اسید کلریدریک در دو نمونه از پروفیل شمارهٔ ٤

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

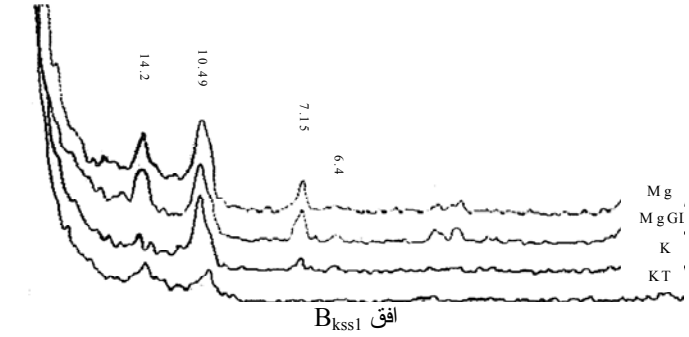
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]



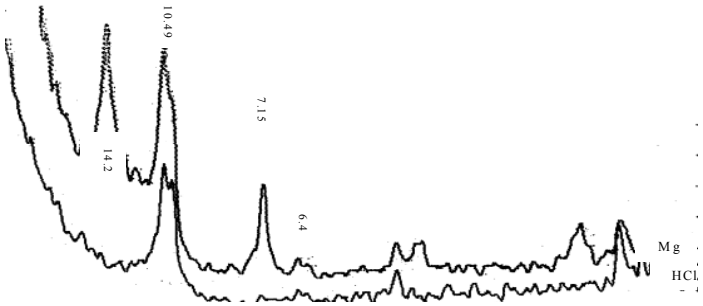
شکل٤- تصاویر مربوط به کانی‌های پالی‌گورسکیت در نمونه‌های بررسی شده
a و b- افق B_{kss1} پروفیل شمارهٔ ٦رس کل
c و d و e – افق B_{ss4} پروفیل شمارهٔ ۷ رس درشت
f- افق AB پروفیل شمارهٔ ٤ رس کل

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

دیفراکتوگرام‌های مربوط به پروفیل‌های شمارهٔ ٦ (افق‌هایB_wوB_{ss1}) (شکل۵) و همچنین پروفیل شمارهٔ ۷ (شکل٦) وضعیتی مشابه با پروفیل٤ نشان می‌دهند و اختلاف اساسی در تفسیر آنها دیده نمی‌شود.ولی در پروفیل شمارهٔ ۹ (شکل۷) درافق B_w پیک ۱۰/٤۹ بسیار ضعیف است و پیک ٦/٤ آنگسترم دیده نمی‌شود که حاکی از مقادیر اندک کانی‌های گروه پالی‌گورسکیت است.

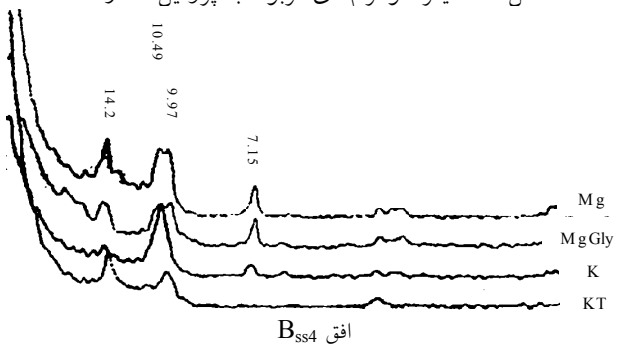


افق B_{kss1}



تیمار HCl افق B_{kss1}

شکل۵ – دیفراکتوگرام‌های مربوط به پروفیل شمارهٔ ٦



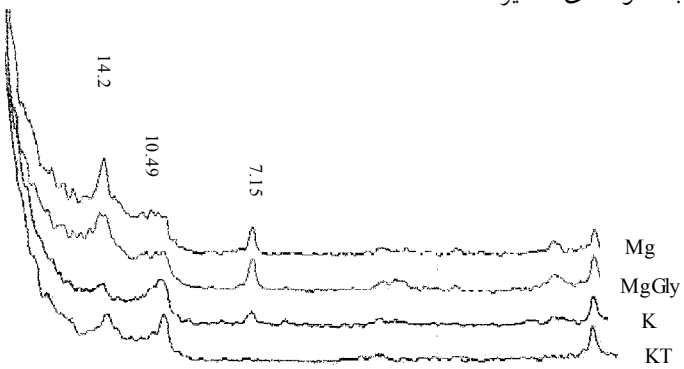
افق B_{ss4}

شکل ٦– دیفراکتوگرام مربوط به پروفیل شمارهٔ ۷

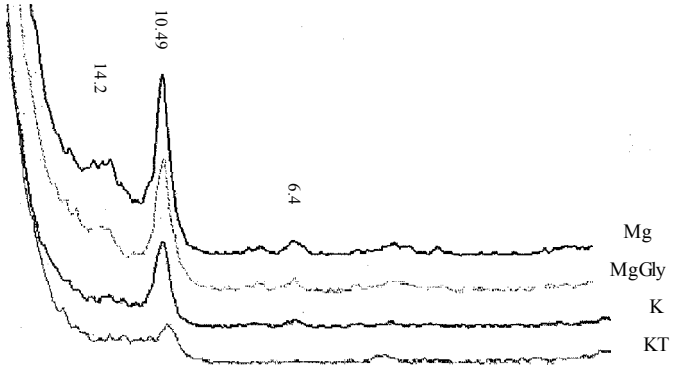
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

در تعدادی از نمونه‌ها، رس به دو بخش رس ریز و رس درشت تفکیک شدند و جداگانه بررسی شدند قرار گرفتند (شکل۸). به طوری که ملاحظه می‌شود در دیفراکتوگرام رس ریز پیک ۱۰/٤۹ بسیار قوی و پیک ضعیف‌تر٦/٤ آنگسترم وجود مقادیر قابل توجهی از کانی‌های پالی‌گورسکیت را در این نمونه‌ها نشان می‌دهد. وجود پیک ضعیف ١٤ آنگسترمی در این شکل که در تیمار Mg و گلیسرول تقریباً بدون تغییر مانده و در تیمار K550 از بین رفته است می‌تواند دلیل بر حضور مقادیری کلریت انبساطی باشد.در رس درشت جدا شده از همین نمونه یک پیک ١٤ آنگسترم در تیمارهای مختلف دیده می‌شود و همچنان‌که قبلاً ذکر شد متعلق به کلریت و کلریت انبساطی است و سایر پیکهای موجود در دیفراکتوگرام رس درشت نیز مشابه نمونه‌های تفسیر شده است.



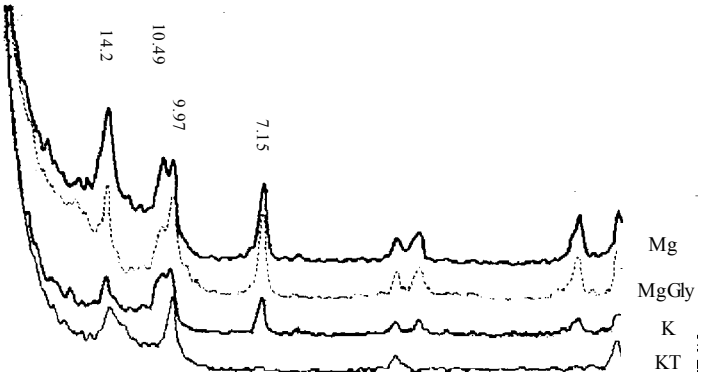
شکل ۷- دیفراکتوگرام افق B_{ss} پروفیل شمارهٔ ۹



افق B_{ss2} پروفیل شمارهٔ ۷ (رس ریز)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]



افق B_{ss2} پروفیل شمارهٔ ۷ (رس درشت)

شکل ۸- دیفراکتوگرام‌های مربوط به رس ریز و درشت پروفیل شمارهٔ ۷

علی‌رغم این‌که کانی‌های انبساط‌پذیر در این خاک‌ها بر اساس بررسی موجود بسیار ناچیز هستند مقدار انقباض و انبساط خاک به حدی است که آنها را در زمره ورتی‌سول‌ها قرار داده است. احتمالاً وجود مقادیر فراوان رس‌های ریز(۵۰ تا۷۷ درصد) با سطح رویهٔ بالا عامل انقباض و انبساط کافی این خاک‌هاست. در مطالعاتی که «یرمیا و همکاران»[۳٤]در السالوادور انجام داده‌اند نیز علت قابلیت انقباض و انبساط بالا را در خاک‌های فاقد مقادیر قابل توجه رس‌های اسمکتیت، به مقادیر فراوان رس‌های کائولینیت ریز در این خاک‌ها نسبت داده‌اند. همچنین « بهاتاکاریا و همکاران»[۱٤] در بررسی خاک‌های دشت دکان هند ورتی‌سول‌های با کانی‌شناسی کائولینیتی و مخلوط را گزارش کرده‌اند و معتقد هستند که بین کلاس کانی‌شناسی و خاصیت انقباض و انبساط مشاهده شده هماهنگی لازم وجود ندارد و این امر حاکی از دخالت عواملی به غیر از کانی‌های اسمکتیتی در تشکیل این خاک‌هاست.

نتایج به دست آمده از خصوصیات فیزیکی در این خاک‌ها (جدول۳) نیز غالبیت رس‌های کلرایت و پالیگورسکیت و عدم حضور مقادیر فراوان رس‌های اسمکتیت را نشان می‌دهد. برای مثال، حد سیلان و حد خمیری در خاک‌های سرشار از کانی‌های مونت موریلونیت به ترتیب (۱۰۰ تا ۹۰۰ درصد) و(۵۰ تا ۱۰۰ درصد) هستند [۲۳] و در خاک‌های غنی از کلریت به ترتیب (٤٤ تا ٤٧) درصد و (۳٦ تا ٤۰) درصد گزارش شده است[۲۳]. در نمونه‌های اخیر، ارقام به دست آمده برای حد سیلان بین ۳۵ تا ٤۹ درصد و حد خمیری ۲۳ تا ۲۹ درصد بوده است همچنین در مطالعاتی که «اندرسون و همکاران»[۱۳] انجام داده‌اند، رابطه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

مستقیمی بین مقادیر رس ریز و ESP با مقادیر ضریب انبساط خطی (COLE) به دست آمده است. به عبارت دیگر در مواردی که رس عمدتاً در ابعاد ریز بوده و سطح ویژهٔ بالایی را نشان دهد و نوع کاتیون غالب از نوع سدیم باشد کم وبیش رفتاری مشابه رس‌های انبساط‌پذیر در خاک ایجاد میکند که نتایج آن ظهور عوارض مورفولوژیکی ویژه خاک‌های ورتی‌سول، اعم از اسلیکن سایدها، درزها و شکاف‌های عریض و عمیق، ساختمان منشوری، وضعیت پایداری و زیر و رو شدن خاک و در نتیجه یک‌نواختی رنگ خاک و سایر خصوصیات ریخت‌شناسی(جدول۲) است. این عوارض موجب می‌شوند خاک‌های بررسی شده به عنوان ورتی سول طبقه‌بندی شوند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

نتیجه‌گیری

ویژگی منحصر به فرد و تفکیک کنندهٔ خاک‌های ردهٔ ورتی‌سول از یازده ردهٔ دیگر در سیستم رده‌بندی جامع آمریکایی وجود مقادیر زیاد رس، سطوح صیقلی (اسلیکن سایر) یا ساختمان گوه‌ای شکل و درز شکاف‌هایی است که به طور متناوب باز و بسته می‌شوند. در بسیاری از بررسی‌ها مشخصات مذکور علاوه بر مقادیر زیاد رس به نوع رس‌های با قابلیت زیاد انقباض و انبساط (رس‌های اسمکتیت و به ویژه مونت‌موریلونیت) نسبت داده شده است، در حالی‌که در مطالعه اخیر با توجه به نتایج حاصله از روش‌های XRD ، TEM و روش‌های فیزیکوشیمیایی دیگر(بافت وCEC) مقادیر زیاد رس تأیید شده است، ولی رس‌های غالب به ترتیب کلریت، پالی‌گورسکیت، ایلیت و مقادیر کمی کائولینیت و رس‌های انبساط‌پذیر(مونت موریلونیت) شناسایی شده است. نتایج حاصله از حدود آتربرگ نیز وجود مقادیر کم و ناچیز رس‌های انبساط‌پذیر با CEC بالا را نشان می‌دهد. از طرف دیگر مقادیر زیاد رس‌های ریز (کوچکتر از ۰/۲ میکرومتر) نسبت به رس‌های درشت (کوچکتر از ۲ میکرومتر) و نسبت‌های بالای رس ریز به رس کل(۰/۵ تا ۰/۷۷) احتمالاً همان‌گونه که نتایج بررسی‌های محققان دیگر هم آمده است به سبب سطح رویهٔ وسیع نقش اساسی در پتانسیل انقباض و انبساط زیاد و در نتیجه ایجاد مورفولوژی لازم برای شناخت این‌گونه خاک‌ها و رده‌بندی آنها به منزلهٔ خاک‌های ورتی‌سول را دارد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران و معاونت محترم پژوهشی دانشکدهٔ کشاورزی که این تحقیق با پشتیبانی مالی و تجهیزاتی آنها صورت گرفته است کمال تشکر و قدردانی را ابراز می‌دارد.

منابع

۱- ابطحی، علی، محمود صلحی، «تأثیر پستی و بلندی و زمان در تشکیل خاک با مواد مادری خیلی آهکی در تحت شرایط نیمه خشک منطقهٔ باجگاه، ایران»، سومین کنگرهٔ علوم خاک ایران (۱۳۷۱).

۲- حسن شاهی، حسن، مطالعات خاک‌شناسی اجمالی دشت نیریز (استان فارس) نشریه فنی، شماره ۱۰۳۳(۱۳۷۷).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

۳- خرمالی، فرهاد، علی ابطحی، «مطالعهٔ ارتباط فیزیوگرافی با مورفولوژی ومنشأ کانی فیبری پالیگورسکایت به کمک میکروسکوپ الکترونی (TEM) در منطقه دشت داراب فارس»، هفتمین کنگرهٔ علوم خاک ایران(۱۳۸۰.

٤- رامشنی،خسرو، «مطالعات اجمالی خاک‌شناسی دشت‌های شمال و شمال شرق لار، کورده،دهکویه، بریز سفیدان و برکه شیرخ (فارس)»، نشریه فنی شمارهٔ ۹۹۸ (۱۳۷۵).

۵- رامشنی، خسرو، «مطالعات خاک‌شناسی اجمالی دشت ایزد خواست داراب (استان فارس)»، نشریه فنی شمارهٔ ۱۰۵٦ (۱۳۷۹).

٦-رامشنی، خسرو، «مطالعات خاک‌شناسی اجمالی دشت‌های کهنه و کوره (استان فارس)»، نشریه فنی شمارهٔ ۱۱۰۲ (۱۳۷۹)

۷- شکاری، پرویز، علی ابطحی، «بررسی خصوصیات شکل شناختی و کانی شناختی یک ورتی‌سول در ناحیه نیمه خشک غرب ایران»، هفتمین کنگرهٔ علوم خاک ایران .دانشگاه شهرکرد(۱۳۸۰).

۸- متقی، محمد مهدی، «.بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، کانی شناسی و طبقه بندی بعضی از ورتی‌سول‌های استان باختران»، گروه خاک‌شناسی دانشکدهٔ کشاورزی کرج، رساله فوق‌لیسانس (۱۳٦۷)

۹- متین‌فر،حمیدرضا، «بررسی خصوصیات فیزیکو شیمیایی، کانی‌شناسی، پیدایش و طبقه بندی خاکهای دشت شیان استان کرمانشاه»، گروه خاک‌شناسی دانشکدهٔ کشاورزی کرج،.رسالهٔ فوق لیسانس(۱۳۷٤).

10. D.K. Acquaye, G.N. Dowuona, A.R. Mermut, and R.J. St Arnaud, Micromorphology and Mineralogy of cracking soils from the Accar Plain of Ghana. Soil Sci.Soc.Am.J.,56:193-201(1992).

11. N. Ahmad, and R. Jones, Genesis, Chemical Properties and Mineralogy of Caribbean Grumusols .Soil Sci., Vol.107,No 3(1969).

12. S. Ahmad, L.D. Swindale, and S.A. El-Swaify, Effects of Adsorbed Cations on Physical Properties of Tropical Red Earths and Tropical Black Earths. I. Plastic Limit, Percentage Stable Aggregates and Hydraulic Conductivity. J.of Soil Sci.Vol.20,No.2(1969).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

13. J.U. Anderson, K.Elfadil Fadul, and G.A.O'Connor, Factors affecting the Coefficient Of Linear Extensibility in Vertisols.Soil Sci.SocL AmerL Proc, Vol.37(1973).
14. T. Bhattacharyya, D.K.Pal, and S.B. Deshpande, On Kaolinitic and Mixed Mineralogy Classes of Shrink-Swell soils.Aust.J.Soil Research., Vol.35:1245-1252(1997).
15. C. Buhman, and J.L.Schoeman, A Mineralogical Characterization of Vertisols from the Northern Regions of the Republic of South Africa., Geoderma. Vol.66:239-257(1995).
16. C.E. Coulombe, J.B.Dixon, and L.P.Wilding., Mineralogy and Chemistry of Vertisols.In:Vertisols and Technologies for their Management. By N. Ahmad and A.Mermut (eds).Developments in Soil Science No.24, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands(1996).
17. G.S. asog, D.F.Acton, A.R.Mermut, and E.DE.Jong, Shrink-Swell potential and cracking in clay soils of Saskatchewan. Can.J, Soil Sci.Vol.68(1987).
18. J.B Dixon, S.B.Weed, and J.A.Kittrick, Minerals in Soil Environment.2nd ed. SSSA Book Series No.1(1986).
19.El-Swaify, S.Ahmad, and L.D.Swindale, Effects of Adsorbed Cations on Physical Properties of Tropical Red Earths and Tropical Black Earth.II. Liquid Limit, Degree of Dispersion, and Moisture Retention. J.of Soil Sci.,Vol.21,No.1(1970).
20. H. Eswaran, F.H.Beinorth, P.F. Reich , and L.A.Quandt, Vertisols: Their Properties, Classification, Distribution and Management .Guy D.Smith memorial slide collection, USDA(1999).
21. G.W. Gee, and J.W.Bauder, Particle Size Analysis . In: : Methods of Soil Analysis, Part 1.Physical and Mineralogical Methods.2nd ed(1986).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

22. G.W. Kunze, and J.B.Dixon, Pretreatments for Mineralogical Analysis. In: : Methods of Soil Analysis. Part 1.Physical and Mineralogical Methods.2nd ed(1986).
23. T.W. Lambe, and R.Y.Whiteman, R.Y.,Soil Mechanics, John Wiley, New York(1969).
24. D.M. Moore, and R.C.J.R.Reynolds, X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Ed. by Oxford University Press(1989).
25. M.E. Probert, I.F. Fergus, B.J. Bridge, D.McGarry, C.H.Thompsin and J.S.Russel, The Properties and Management of Vertisols. ed by CAB International ,Waling ford , xon,(1987)36.
26. W.M. Schafer, and M,J. Singer, A New Method of Measuring Shrink-Swell Potential using Soil Pastes. Soil Sci.Soc.Am.J.,Vol.40(1976).
27. S.K. Shirsath, T.Bhattacharyya, and D.K.Pal., Minimum Threshold Value of Smectite for Vertic Properties. Aust.J.Soil Research., Vol.38: 189-201(2000).
28. C.W. Smith, A.Hadas, J.Dan, and H.Koyumdjisky, Shrinkage and Atterberg Limits in relation to other Properties of principal Soil Types in Israel.Geoderma,Vol.35:47-65(1985).
29. USDA and NRCS, Keys to Soil Taxonomy. 8th ed(1998).
30. USDA and NRCS, Soil Taxonomy a Basic System of Soil Classification for Making and Interpretting Soil Surveys.2nd ed by Soil Survey Staff. Washington, DC(1999).
31. USDA, Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Agriculture, Handbook.No.60(1954).
32. L.D. Whittig, and W.R.Allardice X-Ray Diffraction Techniques. In: Methods of Soil Analysis. Part 1.Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed(1986).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]

33. L.P. Wilding, and Ruben Puentes, Vertisols: Their distribution, properties, classification and management. Published by Texas A&M University Printing Center, College station, TX 77843(1988).

34. B.P.K. Yermia, F.G. Calhoun, A.L. Senkayi, and J.B.Dixon, Occurrence of Interstratified Kaolinite-Smectite in Elsalvador Vertisols. Soil Sci. Soc.Amer.J.49:462-466(1985).

35. A.A. Yousif, H.H.A.Mohamed, and T.Ericson, Clay and Iron Minerals in Soils of the, Clay Plains of Central Sudan.J.Soil.Sci.,39:539-548(1988).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1382.1.1.1.2]