

IRANIAN SOCIETY of  
CRYSTALLOGRAPHY  
and MINERALOGY

Vol. 13, No. 1, 1384/2005 Spring & Summer

IRANIAN JOURNAL of  
CRYSTALLOGRAPHY  
and MINERALOGY

## Mineralogy of soils and differentiation of hydroxy interlayer smectite from vermiculite on Sefidrud river terraces in central Gilan province

H. Torabi<sup>1</sup>, M. K. Eghbal<sup>2</sup>, A. Jalalian<sup>3</sup>

1- Shahed University College of Agriculture.

2- College of Agriculture, Tarbiat modarres University.

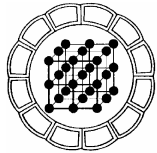
3- College of Agriculture, Isfahan University of Technology.

E- mail: [hossien\\_t@yahoo.com](mailto:hossien_t@yahoo.com)

(Received: 1/6/2004, received in revised form: 9/2/2005)

**Abstract:** Adsorption, storage and release of nutrient elements are related to clay minerals in agriculture and environmental activities. In this study, mineralogy of soils in a chronosequence of Sefidrud river terraces in Gilan province was investigated. After removing organic matters, carbonates and iron and aluminum oxides, fractionation of soil particles was performed by centrifuge. Soil minerals were identified using X-ray diffraction. Primary minerals were also identified in thin sections using micro-morphological techniques. Quartz, micas, feldspars, chlorite and epidote were the primary minerals observed in sand and coarse silt fraction. Chlorite was transformed to smectite, hydroxy interlayer smectite and other mixed minerals. In the middle terrace (T2) soil, chlorite is completely disappeared but the relative amount of smectite is increased. With time smectite becomes dominant in clay particles, specially fine clay size. Smectite was increased with depth in Bt horizon on middle and upper terraces. Three different methods were tested to remove hydroxy interlayers from 2:1 clays, but only one of these methods which consisted of washing coarse clay fraction by 0.05 M HCl, heating to 400°C and finally boiling it in 0.5 M NaOH was able to remove hydroxy interlayer. The results showed this mineral is primarily hydroxy interlayer smectite (HIS).

**Keywords:** *clay minerals, terraces of Sefid-rud River, hydroxy interlayer smectite, Gilan.*



## کانی شناسی خاکها و شناسایی هیدروکسیدهای بین لایه‌ای اسمکتیت از ورمیکولیت در حاشیه رودخانه سفیدرود در گیلان مرکزی

حسین ترابی گل سفیدی<sup>۱</sup>، مصطفی کریمیان اقبال<sup>۲</sup>، احمد جلالیان<sup>۳</sup>

۱- دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد تهران.

۲- گروه خاک شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

۳- گروه خاک شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

پست الکترونیکی: [hossien\\_t@yahoo.com](mailto:hossien_t@yahoo.com)

(دریافت مقاله ۸۳/۳/۱۱، دریافت نسخه نهایی ۸۳/۱۱/۲۰)

**چکیده:** تغییرات کانی‌شناختی خاک روی دشت سیلابی و پادگانه‌های آبرفتی- دلتایی سفیدرود در استان گیلان مورد مطالعه قرار گرفت. اجزای مختلف خاک پس از حذف مواد آلی، کربنات کلسیم، و اکسیدهای آهن و آلومینیوم به وسیله سانتریفیوژ جدا شد. شناسایی کانیها در بخش رس ریز و درشت با دستگاه پراش پرتو ایکس انجام شد. همچنین با استفاده از ریز ریخت‌شناختی و تهیه مقاطع نازک، کانیهای اولیه خاک نیز مورد مطالعه قرار گرفتند و در نتیجه معلوم شد که کوارتز، میکا، فلدسپار، کلریت و اپیدوت کانیهای اولیه غالب بخش شن و سیلت درشت را تشکیل می‌دهند. در بخش رس کانیهای کلریت، اسمکتیت، ایلیت، کائولنیت و کانیهای مختلط نامنظم مشاهده شدند. کلریت از دشت سیلابی به سمت پادگانه میانی (T2) و بالایی (T3) و در نتیجه افزایش سن و کاهش pH به کانیهای اسمکتیت، اسمکتیتهای با هیدروکسید بین لایه‌ای و برخی کانیهای مخلوط نامنظم تبدیل شده است. برای انتقال هیدروکسیدها از بین لایه‌های رسهای ۲:۱ و شناسایی نوع رس از سه روش استفاده شد. تنها یکی از این روشها (شستشوی رس با اسید کلریدریک ۰/۰۵ نرمال و سپس گرم کردن نمونه تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد و در نهایت قرار دادن آن در سود نیم نرمال در حال جوش) توانست هیدروکسیدهای بین لایه‌ای را از بین رسهای ۲:۱ آزاد کند و مشخص شد که کانی فوق از نوع اسمکتیت (HIS) است.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌شناختی کانیهای رسی، پادگانه (تراس) سفیدرود، هیدروکسیدهای بین لایه‌ای، گیلان.

#### مقدمه

شناخت درست و دقیق کانیهای موجود در خاک و مخصوصاً در بخش رس، از جایگاه بسیار مهمی در زمینه فعالیتهای کشاورزی و زیست‌محیطی برخوردار است، زیرا جذب، نگهداری و رهاسازی عناصر غذایی ارتباط مستقیم با کانیهای موجود در بخش رس خاکها دارد. اختلاف در کانی‌شناسی خاک را در صورتی که اگر دیگر عوامل خاکسازي تقریباً ثابت باشند، می‌توان به زمان نسبت داد. هریس و همکاران [۱] در مطالعه کانی‌شناسی چهار پادگانه آبرفتی رودخانه نیو در شمال آمریکا نشان دادند که میکا به سمت پادگانه بالایی کاهش یافته و به کانیهای بین- لایه‌ای ورمیکولیت و کائولنیت تبدیل شده است. آنها توالی تبدیل کانیها با افزایش سن در این مطالعه را از میکا و ورمیکولیت به ورمیکولیت با هیدروکسید بین‌لایه‌ای و از هیدروکسید بین- لایه‌ای به کائولنیت عنوان کرده‌اند. در تحقیقی دیگر معلوم شد که میکا با افزایش سن، به سمت پادگانه بالایی به کانیهای بین لایه‌ای ۱/۴ نانومتر و کائولنیت تبدیل شد [۲]. بررسی الکساندر و همکاران در دشت سیلابی رودخانه کاکو در کلمبیا نشان داد که مقدار کانیهای ۱/۴ نانومتری در پادگانه بالایی کاسته ولی کائولنیت افزایش یافته است [۳ و ۴].

هیدروکسیدهای بین لایه‌ای اسمکتیت و ورمیکولیت یا محصول هواپدگی کلریت بوده و یا از رسوب پلیمرهای هیدروکسی - آلومینیم در فضای بین‌لایه‌ای رسهای ۲:۱ به وجود می‌آیند. توالی این هواپدگی از کلریت به کلریت ثانویه و از کلریت ثانویه به هیدروکسید بین‌لایه‌ای ورمیکولیت و سپس به ورمیکولیت گزارش شده است [۵]. در محیطهای اسیدی تشکیل هیدروکسی - آلومینوم بین‌لایه‌ای اسمکتیت یا ورمیکولیت، از بیوتیت یا مسکویت نیز امکان‌پذیر است [۶]. هیدروکسیدهای آلومینیم و آهن به دو روش باعث کاهش گنجایش تبادل کاتیونی خاک می‌شوند: (۱) رسوب‌دادن در فضای بین‌لایه‌ای رسها و بستن محل‌های تبدالی و (۲) از طریق اشغال بارهای منفی رس از طریق بارهای مثبت پلیمری خود که موجب خنثی کردن بار منفی رس و کاهش گنجایش تبادل کاتیونی خاک می‌شود. همچنین نفوذ هیدروکسیدهای آلومینیم و آهن بین لایه‌های رسهای ایلیت، ورمیکولیت و اسمکتیت از نزدیک شدن زیاد لایه‌های رس به یکدیگر جلوگیری کرده و روی تثبیت و رهاسازی برخی کاتیونها از جمله پتاسیم مؤثرند [۵].

خصوصیات پراش پرتو ایکس رسهای با هیدروکسید بین لایه‌ای، حالت بینابینی (ورمیکولیت یا اسمکتیت و کلریت - آلومینیم) داشته و بستگی به میزان پرشدگی یا پیوستگی لایه‌های هیدروکسید و یا پایداری آنها در برابر گرما دارد. پراش‌نگاشت آنها در تیمار گلیسرول مشابه ورمیکولیت و کلریت است. بنابراین، شاید تیمار مفیدی برای تشخیص کلریت، اسمکتیت و کلریت منبسط شونده از هیدروکسیدهای بین‌لایه‌ای وجود نداشته باشد، اما گرم کردن نمونه‌ها غالباً معیار مفیدی برای تشخیص وجود هیدروکسیدهای بین‌لایه‌ای است [۵ و ۷]. روشهای مختلفی برای شناسایی هر چه بهتر این رسها پیشنهاد شده است. برای شناسایی

رسهای با هیدروکسیدهای بین لایه‌ای، دیکسون و جاکسون روش سود نیم نرمال در حال جوش به مدت ۲/۵ دقیقه را پیشنهاد کرده‌اند [۷ و ۸].

مطالعات زیادی در زمینه شناسایی کانیهای رسی در سالهای اخیر در کشور ما از جمله در استان گیلان صورت گرفته است [۹ تا ۱۳]. در زمینه شناسایی ماهیت و نوع رسهای با هیدروکسید بین لایه‌ای در ایران تاکنون مطالعه‌ای انجام نگرفته است.

هدف از این مطالعه، شناسایی کانیهای رسی و بررسی تغییرات آنها از دشت سیلابی سفید رود به طرف پادگانهای بالایی و همچنین تشخیص نوع رس اسمکتیت با هیدروکسید بین لایه‌ای (HIS)<sup>۱</sup> از ورمیکولیت با هیدروکسید بین لایه‌ای (HIV)<sup>۲</sup> می‌باشد.

## مواد و روشها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حاشیه رودخانه سفیدرود و در ۱۷ کیلومتری جنوب رشت در منطقه سراوان قرار گرفته است. این منطقه در عرض جغرافیایی ۳۷° ۰۰' تا ۳۷° ۱۵' شمالی و طول جغرافیایی ۴۹° ۲۷' تا ۴۹° ۴۷' شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. میانگین بارندگی سالانه براساس آمار ایستگاه هواشناسی رشت ۱۳۸۶ میلی‌متر است. میانگین حداکثر دمای گرمترین و سردترین ماه به ترتیب ۳۱/۷ و ۱/۶ درجه سانتیگراد است. از دشت سیلابی سفید رود در منطقه سراوان به سمت ارتفاعات غربی منطقه مورد مطالعه سه پادگانه یا تراس (T1، T2 و T3) وجود دارند. این پادگانها روی رسوبهای آبرفتی - دلتایی سفید رود قرار گرفته‌اند.

### تجزیه‌های آزمایشگاهی

پس از حفر و تشریح نیم‌رخ‌ها، پنج پدون از مکانهای مختلف، به‌عنوان شاهد (دشت سیلابی سفیدرود، پادگانه پائینی، میانی، بالایی و حاشیه رودخانه سیاه‌رود)، در این بررسی انتخاب شد. پدونها بر اساس سیستم طبقه‌بندی آمریکایی تشریح و در حد فامیل طبقه بندی شدند [۱۴]. نمونه‌های مختلف خاک از هر افق تهیه و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. پس از خشک کردن نمونه‌های خاک با هوا، تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک به روش پی‌پت، pH گل اشباع، نیتروژن کل به روش کجلدال، کربن آلی به روش سوزاندن تر، آهک به روش تیتراسیون برگشتی با سود و گنجایش تبادل کاتیونی با استفاده از روش استات سدیم (pH= 8/2)

1- Hydroxy interlayer smectite

2- Hydroxy interlayer vermiculite

صورت گرفت [۱۵]. برای مطالعه کانی‌شناسی، پس از حذف مواد آلی، کربنات کلسیم و سزکویی اکسیدها به ترتیب با استفاده از آب اکسیژنه ۳۰ درصد، استات سدیم (pH=۵) و سیترات بی‌کربنات دی‌تیونیت (CBD)، گروه‌های مختلف ذرات خاک با سانتیفریوژ جدا شدند [۱۶]. پس از اشباع نمونه‌های رس ریز و درشت با منیزیم و پتاسیم و آنالیز آنها با دستگاه پرتو اشعه ایکس، برای شناسایی رسها، نمونه اشباع با منیزیم به مدت ۲۴ ساعت در بخار اتیلن گلیکول و نمونه اشباع با پتاسیم به مدت ۲ ساعت در دمای ۳۳۰ و ۵۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفتند.

برای انتقال هیدروکسیدهای بین‌لایه‌ای از بین لایه‌های رسهای ۲:۱ و شناسایی نوع رس، سه نوع تیمار براساس روش دپکسون و جاکسون صورت گرفت [۸]. تیمار اول: قرار دادن نمونه‌های حاوی رسهای با هیدروکسید بین‌لایه‌ای در سود نیم نرمال در حال جوش به مدت ۲/۵ دقیقه. تیمار دوم: گرم کردن نمونه تا دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴ ساعت و قرار دادن آن در سود نیم نرمال در حال جوش به مدت ۲/۵ دقیقه. تیمار سوم: در این تیمار از اسید کلریدریک ۰/۰۵ نرمال استفاده شد که نخست به مدت تقریباً ۲۰ دقیقه، هم زده شد و آنگاه با گرم کردن آن تا دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد، محلول به مدت ۲/۵ دقیقه در سود نیم نرمال در حال جوش قرار داده شد. برای شناسایی کانیه‌ها، از یک دستگاه پرتو ایکس شیمادزو<sup>۳</sup> با لامپ مسی استفاده کردیم. به‌منظور شناسایی کانیه‌های اولیه، مقاطع میکروسک.پیکسی از آنها تهیه شد. کلوخه‌های دست نخورده خاک با رزین پتروپاکسی<sup>۴</sup> اشباع و پس از سخت شدن و تهیه برشهای لازم با رزین کانادابالزام<sup>۵</sup>، روی لام (شیشه) چسبانده شد. پس از صیقل دادن مقاطع روی پودر کزندوم<sup>۶</sup> و رساندن ضخامت آن به حدود ۳۰ میکرون، مطالعه مقاطع نازک بوسیله میکروسکوپ پلاریزان مدل لایتز<sup>۷</sup> صورت گرفت. شناسایی کانیه‌های اولیه براساس راهنمای کانی‌شناسی نوری صورت گرفت [۱۷].

### بحث و برداشت

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی پنج نیم‌رخ خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. ترابی و همکاران (۱۳۸۱) در مطالعه بررسی تکامل خاک در یک ردیف زمانی روی همین پادگانه‌ها، با بررسی برخی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی گزارش کرده‌اند که از دشت سیلابی بطرف پادگانه‌های بالایی تکامل خاک افزایش می‌یابد [۱۸].

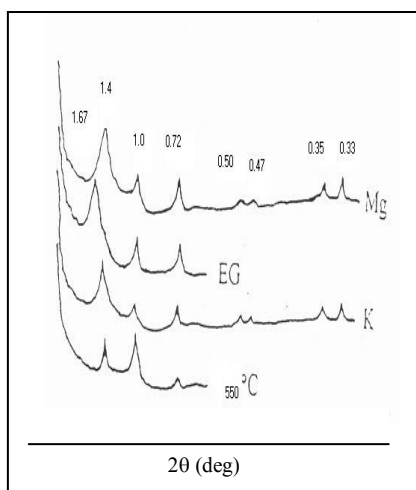
- 
- 3- X-Ray diffractometer XD- 610, shemadzu
  - 4- Petropoxy 154 and curing agent, palouse petro
  - 5- Canadabalsam
  - 6- Crondum
  - 7- Leitz ortholux II pol-BK

جدول ۱ برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه.

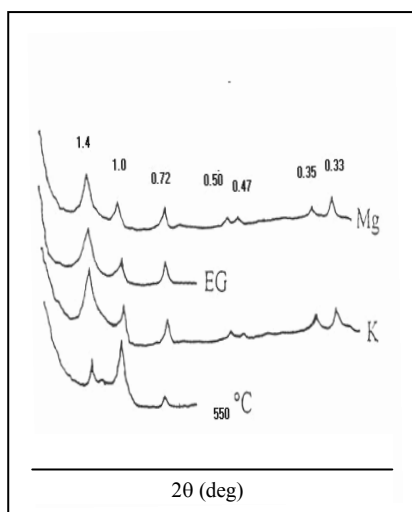
افق	عمق (cm)	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	آهک (%)	pH	CEC (cmole/kg)	B.S (%)	درصد اجزاء خاک			
								شن	سیلت	رس ریز	رس درشت
Loamy skeletal, mixed, thermic Mollic Epiaquent - دشت سیلابی سفیدرود											
Ag	۰-۱۰	۲٫۴۶	۰٫۰۵	۹٫۰	۷٫۶	۱۶٫۲	۱۰۰	۵۴٫۲	۲۴٫۸	۱۶٫۲	۴٫۸
Fine silty, mixed, thermic Typic Hapludoll (T1) - پادگانه پایینی (T1)											
Ap	۰-۲۵	۵٫۴۱	۰٫۱۴	۲٫۴	۶٫۶	۲۲٫۵	۸۰	۱۲٫۵	۵۶٫۴	۲۰٫۲	۱۱٫۰
Bw1	۲۵-۶۰	۱٫۴۵	۰٫۰۵	۱٫۹	۷٫۱	۲۰٫۴	۸۷	۷٫۳	۵۵٫۷	۲۴٫۳	۱۲٫۸
Bw2	۶۰-۹۰	۰٫۷۶	۰٫۰۲	۱۲٫۴	۷٫۸	۲۵٫۴	۱۰۰	۹٫۸	۵۹٫۳	۱۹٫۲	۱۱٫۷
Bk	۹۰-۱۸۰	۰٫۴۱	۰٫۰۱	۱۴٫۲	۷٫۹	۲۱٫۸	۱۰۰	۱۴٫۶	۶۰٫۹	۱۴٫۱	۱۰٫۴
Fine, mixed, thermic Calcic Argiudoll (T2) - پادگانه میانی (T2)											
A	۰-۳۰	۳٫۵۳	۰٫۰۹	۱٫۲	۷٫۱	۲۷٫۳	۱۰۰	۵٫۴	۵۴٫۶	۲۸٫۳	۱۱٫۶
AB	۳۰-۶۵	۳٫۵۰	۰٫۰۷	۰٫۰	۶٫۵	۲۶٫۲	۸۷	۹٫۱	۵۷٫۷	۲۲٫۶	۱۰٫۶
Bt	۶۵-۱۰۰	۰٫۹۳	۰٫۰۲	۰٫۷	۶٫۲	۴۳٫۲	۸۱	۳٫۴	۳۵٫۵	۵۱٫۰	۱۰٫۱
Btk	۱۰۰-۳۰۰	۰٫۵۹	۰٫۰۲	۲۴٫۲	۷٫۷	۳۷٫۲	۹۷	۶٫۹	۳۵٫۰	۴۰٫۹	۱۷٫۲
2C	> ۳۰۰	۰٫۳۱	۰٫۰۱	۰٫۵	۷٫۳	۲۷٫۱	۹۵	۶۶٫۸	۱۷٫۳	۱۱٫۷	۴٫۲
Fine, mixed, thermic Typic Argiudoll (T3) - پادگانه با لایی (T3)											
A	۰-۳۰	۳٫۵۵	۰٫۱	۰٫۵	۶٫۳	۲۹٫۹	۶۸	۵۱٫۸	۲۷٫۹	۱۱٫۷	۸٫۶
Bt	۳۰-۶۰	۰٫۷۰	۰٫۰۲	۰٫۵	۵٫۱	۳۶٫۰	۶۹	۵۰٫۱	۱۷٫۲	۲۲٫۴	۱۰٫۴
BC	۶۰-۷۵	۰٫۴۰	۰٫۰۲	۱٫۰	۵٫۲	۳۱٫۳	۷۱	۶۳٫۸	۱۶٫۹	۲٫۶	۱۶٫۷
2C1	۷۵-۱۱۰	۰٫۰	۰٫۰۱	۰٫۰	۵٫۷	۲۶٫۸	۷۲	۷۱٫۸	۱۴٫۲	۲٫۲	۱۱٫۸
3C2	۱۱۰-۲۰۰	۰٫۰	۰٫۰۱	۰٫۰	۵٫۰	۲۳٫۱	۶۸	-	-	-	-
Fine, montmorillonitic, thermic Glossic Hapludalf - حاشیه رودخانه سیاه رود											
A	۰-۱۰	۱٫۷۴	۰٫۰۹	۳٫۴	۷٫۶	۲۹٫۶	۹۷	۴٫۷	۶۱٫۵	۲۲٫۳	۱۱٫۵
EB	۱۰-۲۵	۰٫۶۱	۰٫۰۳	۰٫۵	۵٫۴	۲۵٫۴	۷۴	۳٫۹	۶۴٫۴	۲۱٫۲	۱۰٫۶
Bt1	۲۵-۵۰	۰٫۳۸	۰٫۰۳	۰٫۰	۵٫۲	۲۸٫۷	۷۰	۲٫۴	۴۰٫۱	۴۳٫۰	۱۴٫۵
Bt2	۵۰-۱۰۰	۰٫۲۴	۰٫۰۲	۰٫۰	۵٫۲	۴۶٫۰	۷۲	۱٫۸	۳۲٫۸	۵۱٫۵	۱۳٫۹
Bt3	۱۰۰-۱۸۰	۰٫۲۴	۰٫۰۲	۱٫۰	۶٫۱	۴۲٫۶	۸۰	۱٫۷	۳۶٫۸	۴۶٫۶	۱۴٫۹

شکل ۱، پراش نگاشت پرتو ایکس بخش رس خاک را در دشت سیلابی سفید رود نشان می‌دهد. در بخش رس ریز و درشت خاک‌های دشت سیلابی و پادگانه پائینی در نمونه‌های تیمار شده با منیزیم و نیز پتاسیم، قله‌ای در حدود ۱٫۴ نانومتر دیده می‌شود که پس از تیمار با اتیلن گلیکول بخشی از آن به ۱٫۶۷ نانومتر تغییر پیدا کرده است. این تغییر نشان‌دهنده وجود اسمکتیتهای با بار لایه‌ای زیاد است. بار لایه‌ای زیاد، از انبساط اسمکتیت به ۱٫۸ نانومتر جلوگیری می‌کند [۱۹ و ۲۰]. ترابی و همکاران اسمکتیتهای با بار لایه‌ای زیاد را در خاک‌های

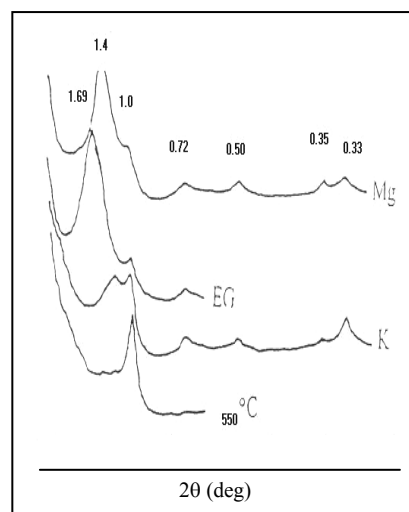
زیرکشت برنج در شرق استان گیلان گزارش کرده‌اند [۱۳]. در نمونه اشباع‌شده با پتاسیم، این خاک نیز قله ۱/۴ نانومتر پس از رسیدن به دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور کامل از بین رفته ولی از شدت آن کاسته شده است. باقی ماندن این قله پس از تیمار ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد همراه با قله رده سوم کلریت (۰/۴۷ نانومتر) نشان‌دهنده وجود کلریت است. به عقیده بسیاری از محققین، شدت قله صفحات فرد کلریت در نمونه اشباع‌شده با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد [۵]، برخلاف مشاهده محققین نامبرده، افزایش شدت قله صفحات فرد در پراش‌نگاشتهای به‌دست آمده مشاهده نشده است (شکل‌های ۱، ۲ و ۳).



شکل ۱ پراش‌نگاشت پرتو ایکس بخش رس خاک در دشت سیلابی سفیدرود (Mg): تیمار اشباع با منیزیم، EG: تیمار بخار اتیلن گلیکول، K: تیمار اشباع با پتاسیم، ۵۵۰°C: تیمار اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد).



شکل ۳ پراش‌نگاشت اشعه پرتو بخش رس درشت افق Ap خاک پادگانه پایینی.



شکل ۲ پراش‌نگاشت پرتو ایکس بخش رس ریز افق Ap خاک پادگانه پایینی.

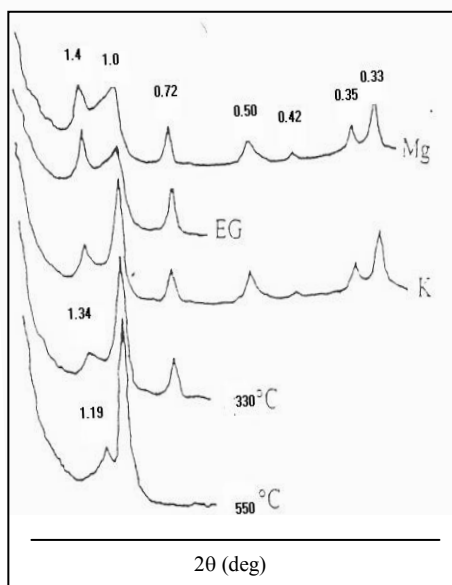
عدم افزایش شدت قله صفحات فرد کلریت به عقیده برخی محققین نشان‌دهنده وجود کلریت‌های غنی از آهن است [۴ و ۲۱]. باین<sup>۱</sup> نیز در مطالعه هوادیدگی کانیه‌های کلریتی برخی خاکهای اسکاتلند، گزارش کرده است که انعکاس شدیدتر از صفحات زوج کانی کلریت در مقایسه با صفحات فرد، نشان‌دهنده وجود کلریت‌های غنی از آهن است [۷]. دلیل دیگر شدیدتر نشدن قله رده اول کلریت در این مطالعه پس از دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، احتمالاً می‌تواند مربوط به هم‌پوشانی قله کانیه‌های مخلوط نامنظم کلریت-میکا یا کلریت-ورمیکولیت با قله رده اول کلریت باشد، که در اثر گرما به سمت ۱۷۰ نانومتر جابجا شده و به نظر می‌رسد که قله اولیه ۱/۴ نانومتر ضعیف‌تر شده است. در دشت سیلابی رودخانه سفید رود، کانیه‌های اسمکتیت، کائولنیت، ایلیت، کلریت، کوارتز و مقداری کانیه‌های مخلوط نامنظم وجود دارند.

در بخش رس درشت خاک پادگانه پایینی (T1) کانیه‌های مخلوط نامنظم از قبیل میکا-کلریت، کلریت-ورمیکولیت یا کلریت-اسمکتیت مشاهده شده است. ضمن اینکه باقی ماندن بخشی از قله ۱/۴ نانومتر بعد از دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان‌دهنده وجود کلریت است (شکل ۳). در بخش رس ریز این خاک اسمکتیت‌های با بار لایه‌ای زیاد وجود دارد (شکل ۲). در بخش رس درشت خاک پادگانه پائینی کلریت غالب است، ضمن اینکه با افزایش عمق بر شدت قله کلریت اضافه می‌شود، که علت آن تأثیر بیشتر هوادیدگی در افق‌های سطحی و ناپایداری شدن کلریت و در نتیجه کاهش کلریت در عمق‌های بالایی است. با توجه به اندازه کانی کلریت، وجود آن در بخش رس درشت قابل انتظار است. کانی کلریت در برخی از خاکهای شالیزاری استان گیلان گزارش شده است [۱۲ و ۱۳]. در خاک پادگانه پایینی (T1) نیز کانیه‌های اسمکتیت با بار لایه‌ای زیاد، کائولنیت، ایلیت، کلریت، کوارتز و مقداری کانیه‌های مخلوط نامنظم وجود دارد (شکل‌های ۲ و ۳).

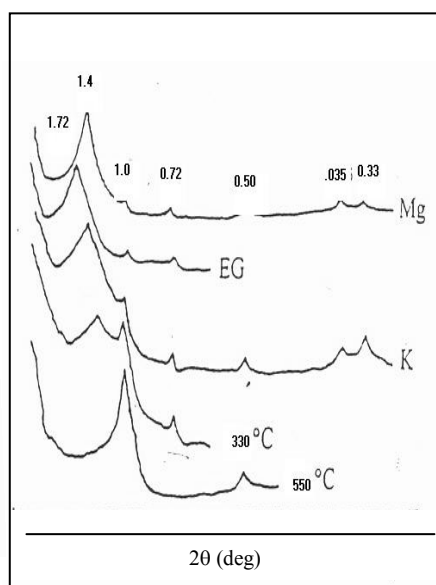
در بخش رس ریز خاک پادگانه میانی (T2) کانیه‌های اسمکتیت و میکا و در بخش رس درشت اسمکتیت با بار لایه‌ای زیاد، ایلیت، کائولنیت و کانیه‌های با هیدروکسید بین لایه‌ای وجود دارند (شکل‌های ۴ و ۵). در بخش رس درشت این خاک در نمونه اشباع‌شده با پتاسیم، پس از دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، قله ۱/۱۹ نانومتر همچنان ثابت باقی مانده است که نشان‌دهنده وجود هیدروکسیدهای بین لایه‌ای است (شکل ۵). در خاک حاشیه رودخانه سیاه‌رود نیز که هم ارتفاع با پادگانه میانی (T2) است، هیدروکسیدهای بین لایه‌ای وجود دارد. در خاک پادگانه



میانی و حاشیه رودخانه سیاه‌رود به‌علت تکامل پروفیلی بیشتر (وجود افق آرچلیک) کلریت از بین رفته و مقدار اسمکتیت و هیدروکسید بین لایه‌ای افزایش یافته است. در بخش رس ریز، تنها کانی غالب اسمکتیت بوده است، وجود ۵۱ درصد رس ریز از کل ۶۱ درصد رس موجود در افق آرچلیک این خاکها (جدول ۱)، تأیید کننده مطلب بالاست. با افزایش عمق خاک، مقدار اسمکتیت افزایش پیدا کرده است (پراش‌نگاشت افقهای بالای افق آرچلیک نشان داده نشده است). احمد و همکاران در مطالعه تکامل خاک متأثر از زمان در دشتهای آبرفتی رودخانه پنجاب پاکستان، گزارش کرده‌اند که با افزایش زمان، کلریت و میکا کاهش و اسمکتیت و ورمیکولیت، افزایش یافته‌اند [۲۲]. توالی هوادیدگی از ایلیت و کلریت به حالت بینابینی ورمیکولیت-مونت‌موریلونیت و کائولنیت نیز گزارش شده است [۵]. الکساندر و همکاران به وجود کانیه‌های آلومینوسیلیکاتی با هیدروکسید بین لایه‌ای در پادگانه‌های جوانتر رودخانه کاکو در کلمبیا و تبدیل این کانی با افزایش تکامل پروفیلی در پادگانه بالایی به کائولنیت اشاره کرده‌اند. در مطالعه آنها نیز کلریت از دشت سیلابی و پادگانه پایینی به سمت پادگانه بالایی هوادیده و به کانیه‌های دیگر تبدیل شده‌اند [۳]. اوستان [۲]، امیری [۱۰]، رمضانپور و همکاران [۱۲] و ترابی و همکاران [۱۳ و ۱۸] وجود کانی اسمکتیت را در نقاط مختلف استان گیلان گزارش کرده‌اند.



شکل ۵ پراش‌نگاشت پرتو ایکس مربوط به بخش رس درشت افق Bt خاک پادگانه میانی (Mg): تیمار اشباع با منیزیم، EG: تیمار بخار اتیلن گلیکول، K: تیمار اشباع با پتاسیم، ۵۵۰°C: تیمار اشباع با پتاسیم و دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد.

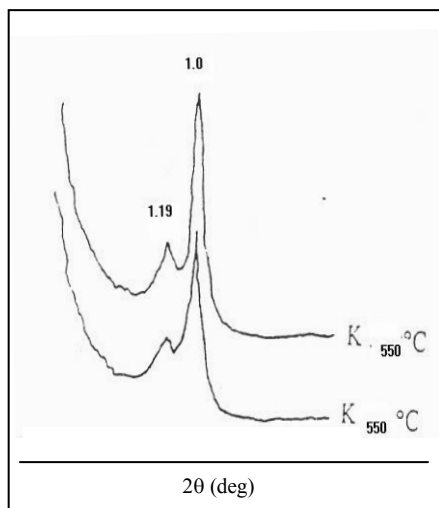


شکل ۴ پراش‌نگاشت پرتو ایکس مربوط به بخش رس ریز افق Bt خاک پادگانه میانی.

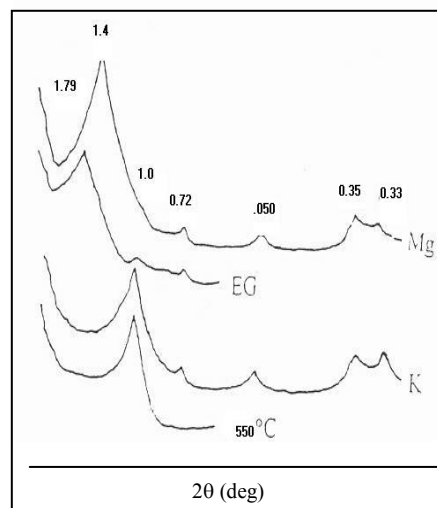
در خاک پادگانه بالایی (T3) نیز در بخش رس ریز اسمکتیت، ایلیت و مقداری هم کائولینیت و کوارتز و در بخش رس درشت اسمکتیت با بار لایه‌های زیاد، ایلیت، کائولینیت و کوارتز وجود دارند و هیدروکسیدهای بین لایه‌ای در این خاک کمتر مشاهده شده است (شکل ۶).

برای انتقال هیدروکسیدها از بین لایه‌های رس و شناسایی نوع رس از سه تیمار صورت گرفته، تنها یکی از تیمارها در انتقال هیدروکسیدهای بین لایه‌ای موفق عمل کرده است. شکل ۷ پراش-نگاشت مربوطه پس از اعمال تیمارهای ۱ و ۲ را نشان می‌دهد. وجود قله ۱/۱۹ نانومتری در نمونه اشباع با پتاسیم، پس از دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد و عدم حذف آن نشان‌دهنده عدم موفقیت روشهای بالا در انتقال هیدروکسیدهای بین لایه‌ای است. تیمار با اسید کلریدریک ۰/۰۵ نرمال پیش از دمای ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد و سود نیم نرمال در حال جوش در انتقال هیدروکسیدهای بین لایه‌ای موفقیت‌آمیز بوده است.

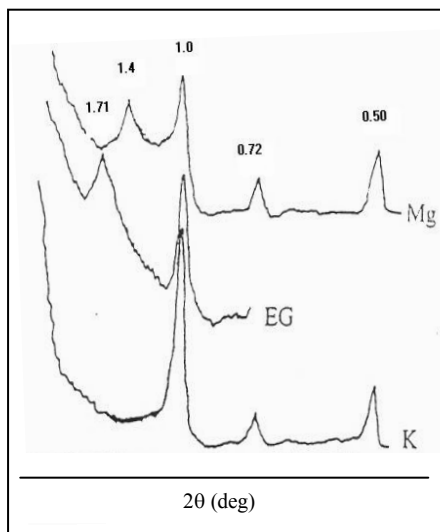
در نمونه اشباع با پتاسیم پس از دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، اثری از قله ۱/۱۹ نانومتری نیست که نشان‌دهنده انتقال هیدروکسیدها از بین لایه‌های رسهاست. انبساط قله ۱/۴ نانومتری به ۱/۷ نانومتر در بخار اتیلن گلیکول نیز بیانگر وجود رس اسمکتیت است. بنابراین رس با هیدروکسید بین لایه‌ای از نوع اسمکتیت (HIS) است (شکل ۸). هیدروکسیدهای بین لایه‌ای موجود در این خاکها می‌توانند از هوادیدگی مستقیم کلریت و نیز از نفوذ پلیمرهای هیدروکسی-آلومینیوم یا آهن در بین لایه‌های رسهای ۲:۱ به وجود آیند پلیمرهای هیدروکسی آهن بیشتر در pH های کمتر از ۵ فعال هستند و در pH های حدود ۵ تا ۷ پلیمرهای هیدروکسی-آلومینیوم فعالیت دارند. با توجه به وجود pH بین ۵ تا ۷ در خاکهای مورد مطالعه هیدروکسیدهای موجود در بین لایه‌های رسهای ۲:۱ احتمالاً از نوع پلیمرهای آلومینیوم هستند.



شکل ۷ پراش نگاشت پرتو ایکس مربوط به عدم انتقال هیدروکسید بین لایه‌ای از بین لایه‌های رس پس از تیمار اول و دوم.



شکل ۸ پراش نگاشت پرتو ایکس مربوط به کل رس افق Bt خاک پادگانه بالایی.



**شکل ۸** انتقال موفقیت آمیز هیدروکسیدهای بین لایه ای بوسیله تیمار سوم (اسید کلریدریک، دمای  $400^{\circ}\text{C}$  و سود نیم نرمال در حال جوش) و انبساط پیک  $1/4$  نانومتر به  $1/71$  نانومتر پس از تیمار اتیلن گلیکول.

مطالعه میکرومورفولوژی مقاطع نازک نشان می‌دهد که میکای موجود در این خاکها بیشتر از نوع بیوتیت (هشت‌وجهی سه‌تایی) است و میکای مسکویت (هشت‌وجهی دو تایی) به ندرت دیده می‌شود. پراش‌نگاشت‌های به دست آمده از صفحات (۰۶۰) نمونه‌های پودری نشان‌دهنده وجود میکای هشت‌وجهی سه‌تایی بوده است. برخی محققین وجود قله  $0/154$  و  $0/150$  نانومتر در نمونه‌های پودری را به ترتیب نشانه وجود کانیه‌های هشت‌وجهی سه‌تایی و هشت‌وجهی دو تایی می‌دانند [۱۵ و ۱۸] (پراش‌نگاشت مربوطه نشان داده نشده است). کانیه‌های اولیه کلریت در دشت سیلابی و پادگانه پایینی (T1) در مشاهدات میکروسکوپی مقطع نازک وجود دارد. کانیه‌های دیگری نظیر اپیدوت، فلدسپار که حاوی کلسیم و برخی از کاتیون‌های بازی دیگر هستند و نیز کوآرتز تقریباً در همه خاکها وجود داشته است.

#### نتیجه

نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که کلریت از دشت سیلابی به سمت پادگانه بالایی (T3) ناپایدار شده و به کانیه‌های دیگری تبدیل شده است. کلریت یک کانی بسیار ناپایدار در شرایط رطوبتی بالا و pH اسیدی است که با کاهش pH و افزایش سن خاک به سمت

پادگانه میانی و بالایی از بین رفته و به کانیهایی مانند اسمکتیت، هیدروکسیدهای بین لایه‌ای، کانیه‌های مخلوط نامنظم کلریت-ورمیکولیت یا کلریت-اسمکتیت تبدیل شده است. از دشت سیلابی به طرف پادگانه بالایی روند افزایش تبدیل کانیه‌های ۲:۱ به کانیه‌های ۱:۱ نظیر کائولنیت و افزایش شدت این قله مشاهده نمی‌شود، که این امر نشان‌دهنده عدم پیشرفت قابل توجه این خاکها به سمت آلتی سول است.

تیمارهای مختلف انجام شده برای انتقال هیدروکسیدهای بین لایه‌ای نشان می‌دهد که روش استفاده از سود نیم نرمال در حال جوش و نیز دمای گرما ۴۴۰ درجه سانتی‌گراد قبل از آن، احتمالاً تنها برای انتقال هیدروکسیدهای بین لایه‌ای به کار می‌رود که در بین لایه‌های رس‌های ۲:۱ رسوب کرده باشند. برای انتقال پلیمرهای هیدروکسی - آلومینیم با بار مثبت که روی محل‌های تبادلی سطوح داخلی رس‌ها قرار گرفته باشند، روش بالا مناسب نیست بلکه برای انتقال اینگونه هیدروکسیدهای بین لایه‌ای نخست باید با اسید کلریدریک رقیق عمل شستشو انجام گیرد تا آلومینیم بین لایه‌ها با هیدروژن اسید مبادله کند و از بین لایه‌های رس‌های ۲:۱ خارج شود.

#### مراجع

- [1] Harris W. G., Lyengar S. S., Zelazny L. W., Parker J. C., Lietzkeand D. A., Edmonds W. J., "Mineralogy of a chronosequence formed in New River alluvium", Soil Sci. Soc. Am. J. 44 (1980) 862-868.
- [2] Mermut A. R., Acton O. F., "The age of some Holocene soils on the Ear Lake terraces in Saskatchewan", Can. J. Soil Sci. 64 (1984) 163-172.
- [3] Alexander E. B., Holowaychuk N., "Soil on terraces along the Cauca River, Colombia: II. The sand and clay fraction", Soil Sci. Soc. Am. J. 47 (1983) 721-727.
- [4] Sidhu P. S., Gilkes R. J., "Mineralogy of soils developed on alluvium in the Indo- Gangetic plain", Soil Sci. Soc. Am. J. 41(1977) 1194-1201.
- [5] Barnhisel R. I., Bertsch P. I., "Chlorites and hydroxy-interlayer vermiculite and smectite", ed. By: Dixon J. B., et al, "Minerals in soil environments", 2<sup>nd</sup> ed. SSSA, Madison, Wisconsin, USA (1989) pp. 729- 788.

- [6] Jackson M. L., Lime C. H., Zelazny L. W., "Oxides, hydroxides, and aluminosilicates", ed. by: Klute A., "Methods of soil analysis", Part 1., 2<sup>nd</sup> ed., Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. (1986) pp. 101-150.
- [7] Bain D. C., "The weathering of chlorite minerals in some Scottish soils", Journal of Soil Sci. 28 (1977) pp. 144- 164.
- [8] Dixon J. B., Jackson M. L., "Dissolution of interlayers from intergradient soil clays after preheating at 400 °C", Science 129 (1959) pp. 1616-1617.
- [9] Hakimian M., "Characteristics of some selected soils in the Caspian Sea region of Iran", Soil Sci. Soc. Am. J. 41 (1977) pp. 1155-1161.
- [۱۰] امیری ر، "بررسی پتانسیل تثبیت و اشکال مختلف پتاسیم در اراضی شالیکاری شرق گیلان"، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۹۳۳ (۱۳۷۴).
- [۱۱] اوستان ش، "بررسی تخلیه پتاسیم از خاکهای شالیزاری شمال کشور"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی کرج، دانشگاه تهران (۱۳۷۳).
- [12] Ramzanpour H., Bahmaniar M. A., Rozitalab M. H., Malakouti M. J., "The effect of continous rice cultivation on the morphology and clay mineralogy of paddy soils in Northern Iran", Ag. Sci. Tec. Vol. 1, No.1 (1992).
- [۱۳] ترابی گل سفیدی ح، کریمیان اقبال م، گیوی ج، خادمی ح، "مطالعه کانیهای رسی در اراضی شالیکاری روی لندفرمهای مختلف شرق گیلان"، مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۵، شماره ۱ (۱۳۸۰) صفحه ۱۲۲ تا ۱۳۹.
- [14] "Soil survey staff., Keys to soil taxonomy", Soil Conservation service, Eight Editions (1998).
- [۱۵] علی‌احیایی م، بهبهانی‌زاده ع.ا، "شرح روشهای تجزیه شیمیایی خاک"، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۸۹۳ (۱۳۷۲).
- [16] Kittrick J. A., Hope E. W., "A procedure for particle size separations of soils for x-ray diffraction analysis", Soil Sci. 96 (1963) pp. 319-325.
- [۱۷] معزز لسکو ض، شریفیان عطار ر، کانی‌شناسی نوری، انتشارات واژگان خرد (۱۳۸۰).

[۱۸] ترابی گل سفیدی ح، کریمیان اقبال م، "بررسی تکامل خاک در یک ردیف زمانی روی پادگانه‌های حاشیه رودخانه سفیدرود در گیلان مرکزی"، مجله علوم خاک و آب، جلد ۱۶، شماره ۱ (۱۳۸۱).

[19] Boettinger J. L., "*Duripan genesis on granitic pediments of the Mojave Desert*", Thesis submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of MS in soil science in the graduate of the Un. of California, Davis. (1988) 195.

[20] Johnson M. G., McBride M. B., "*Mineralogical and chemical characteristics of Adirondack Spodosols evidence for para and noncrystalline aluminosilicate minerals*", Soil Sci. Soc. Am. J. 53 (1989) pp. 482-490.

[21] Coffman C. B., D. S. Fanning., "*Maryland soils developed in residuum from chlorite metabasalt having high amounts of vermiculite in sand and silt fraction*", Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39 (1975) pp. 723-732.

[22] Ahmad M., Rayan J., Pateh C., "*Soil development as a function of time in the Punjab River Plains of Pakistan*", Soil Sci. Soc. Am. J. 41 (1977) pp. 1162- 1166.