

پهنه‌بندی کانی‌های رسی غالب در خاک‌های استان اصفهان و ارتباط آنها با اقلیم و مواد مادری

فاطمه خیامیم*، حسین خادمی و شمس‌اله ایوبی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۶)

چکیده

با شناخت فراوانی و توزیع مکانی کانی‌های رسی خاک، می‌توان اطلاعات کامل‌تری از ویژگی‌ها، رفتار و عملکرد خاک به‌دست آورد. این مطالعه با هدف تهیه نقشه پراکنش مکانی مقدار کانی‌های رسی غالب در خاک‌های استان اصفهان و ارتباط آن با اقلیم و ماده مادری انجام شد. فراوانی پالیگورسکیت، ایلیت، کانی‌های منبسط‌شونده و کلریت به‌صورت نیمه کمی در ۱۰۰ نمونه خاک مرکب سطحی استان اصفهان تعیین شد. نقشه مقدار نیمه کمی کانی‌های رسی خاک به‌روش وزن‌دهی معکوس فاصله تهیه شد. نتایج نشان داد که کانی پالیگورسکیت بیشتر در مناطق خشک استان با دمای بالا وجود دارد و در مناطق مرطوب استان مشاهده نمی‌شود. از طرفی در مناطقی که رسوبات قم، قرمز تحتانی و فوقانی (دوران میوسن و پلیوسن) وجود دارد این کانی در خاک غالب می‌شود. بنابراین، ماده مادری در ورود این کانی به محیط خاک و اقلیم بیشتر در پایداری و حفظ این کانی و تا حدی تشکیل محدود این کانی در خاک‌های استان مؤثر بوده است. پراکنش ایلیت و کلریت در خاک‌های استان از روند خاصی پیروی نکرده و این کانی‌ها صرف‌نظر از نوع اقلیم در تمامی مناطق استان مشاهده می‌شوند. بنابراین، پراکنش دو کانی گفته‌شده متأثر از ماده مادری است. در مورد پراکنش کانی‌های منبسط‌شونده، هر دو عامل اقلیم و ماده مادری مؤثر است. در مناطق مرطوب غرب و جنوب غربی استان نقش اقلیم در پراکنش این کانی بیشتر است و در سایر مناطق به‌ویژه مناطق شرقی استان با اقلیم خشک نقش ماده مادری پررنگ‌تر است.

واژه‌های کلیدی: پالیگورسکیت، خاک‌های استان اصفهان، کانی‌های رسی، کلریت

۱. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، کدپستی: ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: f.khayamim@alumni.iut.ac.ir

مقدمه

کانی‌های رسی جزء اصلی خاک هستند و به‌عنوان بخشی از سطح کره زمین می‌توانند اطلاعاتی را درباره فرایندهای تشکیل خاک از ماده مادری فراهم کنند (۳۱). این گروه کانی‌ها نقش مهمی در بسیاری از امور و رشته‌ها از جمله در کشاورزی و مهندسی ایفا می‌کنند و در تولید دامنه وسیعی از محصولات نظیر سرامیک‌ها، کاغذ، لاستیک، کاتالیزورها، مواد آرایشی و بهداشتی و داروها مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۳). کانی‌های بخش رس خاک از جنبه‌های متفاوت در علم خاکشناسی اهمیت دارند و به‌عنوان یک شاخص مهم در تعیین مراحل تکاملی خاک به‌شمار می‌روند (۱۱). از نقطه‌نظر حاصلخیزی، کانی‌هایی که دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر هستند به‌عنوان منبع ذخیره کاتیون‌های مورد نیاز گیاه عمل کرده و به‌مرور زمان نیاز غذایی گیاهان را تأمین می‌کنند. از دیدگاه فیزیکی نیز کانی‌های خاک بسیار اهمیت دارند، چرا که حضور کانی‌های منبسط‌شونده مراحل آماده‌سازی زمین برای کشت را با مشکل مواجه می‌کنند. بنابراین، با شناخت فراوانی و توزیع مکانی کانی‌های رسی، می‌توان اطلاع کامل‌تری از خاک، ویژگی‌ها، رفتار و عملکرد آن به‌دست آورد (۳۱).

تعیین دقیق مقدار کانی‌های رسی مختلف بسیار مشکل است (۳۲). اگرچه تعیین مقدار کانی‌های رسی در نمونه‌ها به‌وسیله پراش پرتو ایکس انجام می‌شود و به‌طور کلی قابل توجیه است اما نتایج اغلب و در بهترین شرایط نیز نیمه‌کمی است. محدودیت‌هایی نظیر تغییرات ترکیبی به‌علت جانشینی یونی، درجات مختلف نظم یا بی‌نظمی‌های ساختاری و به‌عبارتی تغییر تبلور کانی‌ها و تمایل به آرایش ترجیحی از مشکلات این روش است (۶). بیشتر این مشکلات به‌علت طبیعت کانی‌های رسی است که شدت پراش پرتو ایکس و انتخاب استانداردهای آن را با مشکل مواجه می‌سازد. صرف‌نظر از همه این مشکلات، مقدار کل کانی‌های رسی موجود در یک ترکیب اغلب بسیار کم بوده و معمولاً کوارتز بخش اصلی آن را تشکیل می‌دهد. سایر گروه‌های کانی‌ها از جمله فلدسپارها نیز به‌علت تغییرات

ترکیبی، رشد ریزساختار و آرایش ترجیحی به‌علت دارا بودن بیش از یک رخ نیز مسئله‌ساز هستند (۷).

تهیه نقشه‌های توزیع مکانی کانی‌های خاک از اهمیت بسزایی در مدیریت دقیق مزرعه برخوردار است. نقشه‌برداری رقومی خاک که شامل زمین‌آمار، آنالیز سرزمین و سنجش از دور می‌شود برای پیش‌بینی مکانی تغییرات خاک به‌کار می‌رود (۱۰). با وجود اهمیت کانی‌ها، نقشه‌های توزیع مکانی کانی‌های خاک برای اکثر قسمت‌ها موجود نیست. به‌طور مثال در برخی از مطالعات، کانی‌های خاک را به‌صورت محلی تشخیص داده‌اند اما این مطالعات بدون ارجاع مکانی صورت گرفته است (۸ و ۲۷). ویسکارا راسل (۳۱) فراوانی سه کانی کائولینیت، ایلیت و اسمکتیت در خاک‌های استرالیا را با استفاده از طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز نزدیک اندازه‌گیری و سپس نقشه فراوانی نسبی و توزیع هر یک از کانی‌ها را به‌صورت رقومی تهیه کرد. او معتقد است که این نقشه‌ها به پژوهشگران در زمینه حاصلخیزی خاک و تولید غذا، ترسیب کربن، تخریب اراضی، مدل‌سازی اقلیم و تغییرات اقلیم گذشته کمک زیادی می‌کند. ویسته و دسوزافیلو (۳۰) با استفاده از طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز نزدیک و تصاویر ماهواره‌ای به بررسی کانی‌های خاک در ۴۲ نمونه خاک سطحی در ایالت سائوپائولوی برزیل پرداختند. نتایج نشان داد که طیف‌های گرفته شده در آزمایشگاه با استفاده از اسپکترومتر با تصاویر ماهواره‌ای منطبق است و ضریب تبیین در محدوده ۰/۶۴ تا ۰/۷۸ است. بنابراین نتایج این پژوهشگران نشان داد که تشخیص و تهیه نقشه کانی‌های کائولینیت، مونت‌موریلونیت و گیسیت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر است. مولدر و همکاران (۲۴) از داده‌های ASTER و روش‌های آماری که از ویژگی‌های کانی‌های رسی در آزمایشگاه به‌دست آمده بود استفاده کرده تا نقشه توزیع فراوانی کانی‌های رسی خاک را تهیه کنند. آنها از روش XRD برای تشخیص کانی‌ها استفاده کرده و این نتایج را نیز با داده‌های ASTER از طریق رگرسیون خطی چندگانه تلفیق کردند. به‌طور کلی نتایج آنها نشان داد که نقشه توزیع فراوانی

بروکر (Brucker) با لامپ مس در آزمایشگاه دانشگاه پلی تکنیک کارتاخنای اسپانیا بود و نمونه‌های تهیه شده رس از ۳ تا ۳۵ درجه در مجاورت پرتو ایکس با جریان ۳۰ میلی‌آمپر و ولتاژ ۴۰ کیلوولت قرار گرفتند. میزان کانی‌های رسی غالب با استفاده از روش جونز و همکاران (۲۰) به صورت نیمه‌کمی تخمین زده شد. به منظور تهیه نقشه کانی‌های رسی خاک از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) استفاده شد (۵). ارزیابی خطای تخمین مدل با استفاده از دو پارامتر میانگین خطا (ME) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) با روش اعتبارسنجی متقاطع انجام شد.

داده‌های درازمدت اقلیمی (۳۰ ساله) (دما و بارش) ۲۱ ایستگاه سینوپتیک استان، از اداره هواشناسی استان اصفهان تهیه شد. رابطه رگرسیون بین بارش و ارتفاع $(Y = 0.0005X + 1.4231, R^2 = 0.73^{**})$ و دما و ارتفاع $(Y = -0.0063X + 26.054, R^2 = 0.95^{**})$ در ایستگاه‌های سینوپتیک استان برقرار شد. با توجه به صحت و معنی‌داری روابط به دست آمده از این روابط برای تخمین مقدار بارش و دما در نقاط نمونه‌برداری استفاده شد و سپس از روش کریجینگ برای تهیه نقشه تغییرات مکانی بارش و دمای استان استفاده شد.

به منظور بررسی تأثیر مواد مادری در نقاط نمونه‌برداری از نقشه زمین‌شناسی استان اصفهان با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰ استفاده شد (شکل ۲) (۱۶). گفتنی است با توجه به اینکه راهنمای اصلی نقشه بسیار مبسوط و طولانی است، برای تسهیل برداشت اطلاعات، راهنمای نقشه توسط نویسندگان خلاصه شده است. توصیف آماری متغیرها، تعیین ضرایب همبستگی و آزمون‌های نرم‌افزاری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 انجام شدند. شناسایی و تعیین شدت پیک‌های XRD، با استفاده از نرم‌افزار Xpert High Score Plus صورت گرفت. ترسیم نقشه تغییرات مکانی کانی‌های رسی خاک و متغیرهای اقلیمی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.2 انجام شد.

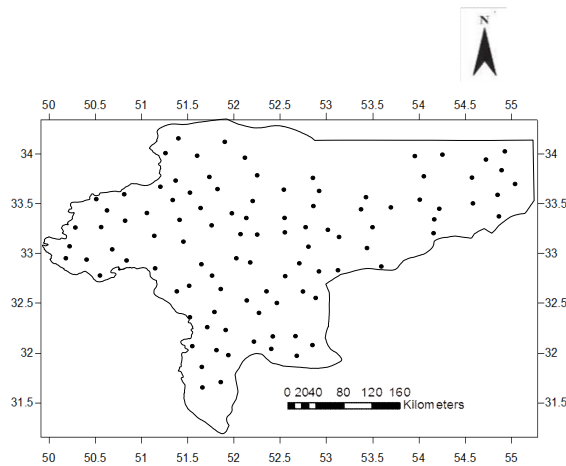
کانی‌های به دست آمده برای میکا، اسمکتیت و کائولینیت به ترتیب دارای دقت ۷۶، ۸۹ و ۸۶ درصد است.

با توجه به آنچه درباره اهمیت کانی‌های خاک و تهیه نقشه پراکنش آنها گفته شد، تاکنون مطالعه جامعی در رابطه تغییرات مکانی کانی‌های غالب خاک‌های هیچ‌یک از استان‌های کشور از جمله استان اصفهان انجام نشده است. بنابراین، این مطالعه با هدف تهیه نقشه پراکنش مکانی کانی‌های منبسط‌شونده، ایلیت، پالیگورسکیت و کلریت خاک‌های استان اصفهان و ارتباط آن با اقلیم و ماده مادری انجام شد.

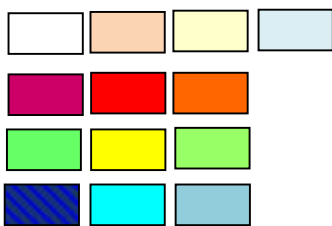
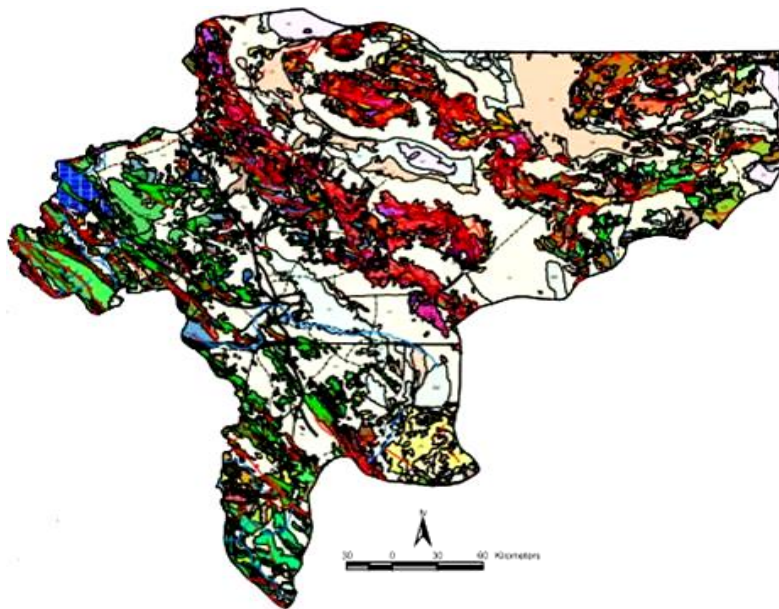
مواد و روش‌ها

این مطالعه در کل استان اصفهان با وسعت ۱۰۷۰۴۵ کیلومتر مربع انجام شد. استان اصفهان بین ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی در بخش مرکزی ایران واقع شده است (۱۷). به منظور نمونه‌برداری خاک، منطقه مطالعاتی به طور منظم شبکه‌بندی شد و در هر شبکه محل نمونه‌برداری به طور تصادفی انتخاب شد. نمونه‌برداری به صورت مرکب حاصل از ۵ نمونه و از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. در مجموع ۱۰۰ نمونه خاک از کل استان جمع‌آوری شد (شکل ۱).

pH و EC خاک در عصاره ۱:۲ آب به خاک با استفاده از pH متر و EC متر، مقدار آهک به روش تیتراسیون برگشتی، مواد آلی خاک به روش والکی-بلک و مقدار گچ به روش آون و استون اندازه‌گیری شد (۲۸). برای انجام آنالیزهای کانی‌شناسی، ابتدا گچ، کربنات‌ها، ماده آلی و اکسیدهای آهن نمونه‌های خاک حذف شد و پس از جداسازی شن از سیلت و رس به وسیله الک، جداسازی رس خاک از سیلت توسط سانتریفیوژ انجام شد (۱۹). رس‌ها پس از خشک شدن در آون، با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، در ظروف مناسب نگهداری شدند. تیمارهای اشباع با منیزیم، اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، اشباع با پتاسیم و تیمار حرارتی ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد اعمال شدند. دستگاه پراش پرتو ایکس مورد استفاده از نوع



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری در استان اصفهان



رسوبات کواترنری (تراس های قدیمی، جدید، پهنه های نمکی و پهنه های رسی)

سنگ های آذرین درونی و بیرونی (دیوریت، بازالت، توف داسیتی، و گدازه آندزیتی)

سنگ های رسوبی (ماسه سنگ، سنگ آهک، مارن و کنگلومرا)

سنگ های دگرگونی (فیلیت، اسلیت، شیست و مرمر)

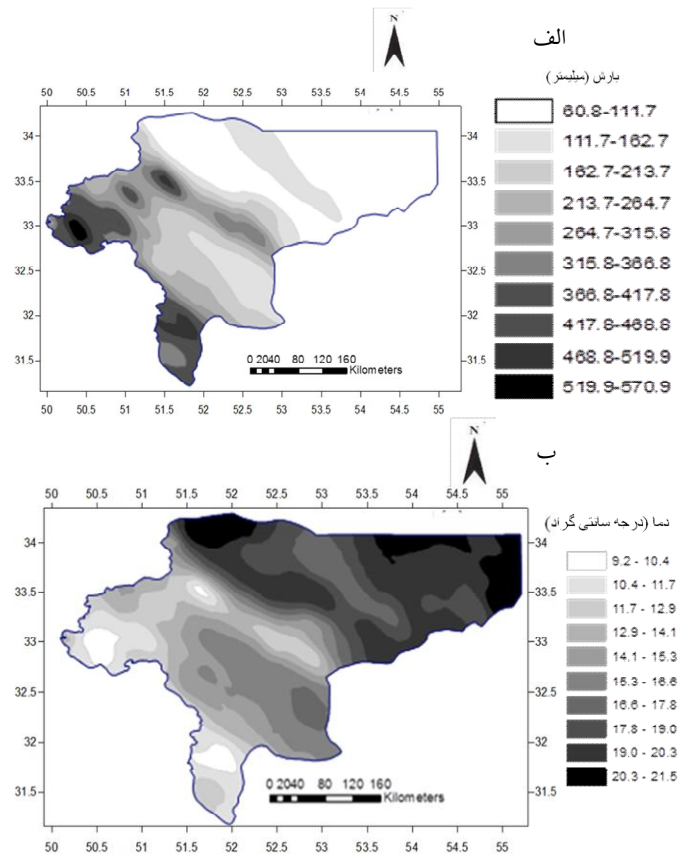
شکل ۲. نقشه زمین شناسی استان اصفهان با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰ (پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور، ۱۳۹۶) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

نتایج و بحث

نقشه پراکنش ویژگی های اقلیمی استان اصفهان

حد زیادی مشخص می کنند. رایج ترین منشأ تعیین داده های اقلیمی، ایستگاه های هواشناسی هستند که اندازه گیری آنها از یک ایستگاه در یک نقطه مجزا منشأ می گیرد و ممکن است نمایانگر محیط اطراف خود نیز نباشد. به طور معمول

بارش و دما ویژگی های اقلیمی مهمی هستند که روی سیکل های هیدرولوژیکی تأثیر گذاشته و طبقه بندی های اقلیمی را تا



شکل ۳. الف) تغییرات مکانی میانگین بارش و ب) دمای سالانه استان اصفهان

پژوهشگران یادآور شدند که با توجه به اینکه بارش و دما دو ویژگی مهم اقلیمی هستند، تهیه نقشه پراکنش آنها در علوم مختلف کمک کرده و اطلاعات کلی از اقلیم منطقه فراهم می‌سازد.

شکل ۳ (الف و ب) نقشه تغییرات مکانی بارش و دمای استان اصفهان که به‌روشنی رگرسیون- کریجینگ تهیه شده است را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار بارش به مناطق غربی، شمال غربی و جنوب استان یعنی شهرستان‌های فریدن، چادگان، فریدون‌شهر و سمیرم اختصاص دارد. این درحالیست که کمترین میزان بارش به مناطق شمال، شرق و جنوب شرق مربوط است، جایی که شهرستان‌های آران و بیدگل، خور و بیابانک، انارک، نائین، رامشه و ورزنه قرار دارند (شکل ۳- الف).

تغییرات مکانی دمای استان اصفهان در شکل ۳- ب نشان داده شده است. روند کاملاً معکوس آنچه که درباره بارش گفته

اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به عنوان نماینده محیط اطراف مورد استفاده قرار می‌گیرد. نصب و تأسیس ایستگاه‌های هواشناسی مترکم برای دریافت تغییرات مکانی ویژگی‌های اقلیمی مستلزم هزینه‌های بالایی است. بنابراین، نیاز به راهکارهایی برای ایجاد داده‌های دقیق اقلیمی به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه است. در دهه‌های گذشته تکنیک‌های زمین‌آماری برای میان‌یابی مکانی تغییرات اقلیمی توسعه یافته‌اند. عساکره (۲) در پژوهشی با عنوان کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش، این روش را روشی دقیق و پرکاربرد معرفی کرد. ایرمک و همکاران (۱۸) با استفاده از داده‌های درازمدت اقلیمی (۳۰ ساله) ۲۱۵ ایستگاه هواشناسی در ایالت نبراسکای آمریکا به تهیه نقشه تغییرات مکانی بارش و دما با استفاده از سه روش میان‌یابی (کریجینگ، اسپلین و وزن‌دهی عکس فاصله) پرداختند. نتایج آنها نشان داد که هیچ تفاوت معنی‌داری بین این سه روش وجود ندارد. این

جدول ۱. توصیف آماری ویژگی‌های خاک در ۱۰۰ نمونه مورد بررسی در آنالیزهای کانی‌شناسی

متغیر	تعداد	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	KS
ماده آلی	۱۰۰	%	۰/۰	۲/۴	۰/۴	۰/۵	۲/۰	۴/۵	۱/۹
آهک	۱۰۰	%	۰/۲	۶۷/۷	۲۵/۲	۱۷/۸	۰/۶	-۰/۶	۱/۵
گچ	۱۰۰	%	۰/۰	۳۸/۷	۵/۷	۷/۴	۲/۳	۶/۲	۲/۴
رس	۱۰۰	%	۲/۰	۲۹/۳	۱۲/۹	۶/۷	۰/۵	-۰/۶	۱/۱
سیلت	۱۰۰	%	۵/۰	۸۰/۹	۳۱/۷	۱۵/۷	۰/۸	۱/۰	۰/۸
شن	۱۰۰	%	۰/۲	۸۹/۹	۵۵/۲	۱۸/۴	-۰/۴	-۰/۱	۰/۶
EC	۱۰۰	dS/m	۰/۱	۷۸/۷	۲/۸	۸/۸	۶/۹	۵۶/۰	۳/۸
pH	۱۰۰	-	۷/۱	۸/۷	۷/۸	۰/۲	۰/۰	۲/۶	۰/۶

KS: آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

جدول ۲. توصیف آماری درصد کانی‌های خاک در ۱۰۰ نمونه مورد مطالعه

متغیر	تعداد	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	KS
کانی‌های منبسط‌شونده ^۱	۱۰۰	%	۱/۰	۸۸/۰	۲۸/۳	۱۵/۵	۱/۶	۳/۸	۲/۰
ایلیت	۱۰۰	%	۲/۲	۵۰/۶	۲۹/۲	۹/۲	-۰/۱	۰/۳	۰/۸
پالیگورسکیت	۱۰۰	%	۰	۵۵/۶	۷/۱	۱۲/۶	۲/۲	۴/۴	۳/۱
کلریت	۱۰۰	%	۱/۲	۴۴/۲	۲۳/۲	۷/۸	-۰/۲	۰/۲	۰/۸

^۱ کانی‌های منبسط‌شونده مجموع دو کانی اسمکتیت و ورمی‌کولیت هستند، KS: آزمون کولموگروف-اسمیرنوف

بررسی طیف وسیعی از تغییرات را نشان می‌دهند. میانگین درصد کانی‌های پالیگورسکیت، ایلیت، کانی‌های منبسط‌شونده و کلریت به ترتیب ۷، ۲۹، ۲۸ و ۲۳ است. مقدار چولگی دو کانی پالیگورسکیت و کانی‌های منبسط‌شونده مثبت بوده و نشان‌دهنده این است که مقدار کمتر این دو کانی در خاک‌های سطحی استان فراوانی بیشتر دارند. این درحالیست که توزیع فراوانی ایلیت و کلریت در خاک‌های استان نرمال بوده و مقدار چولگی و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نیز مؤید این مطلب است.

نقشه پراکنش درصد رس خاک‌های سطحی استان اصفهان

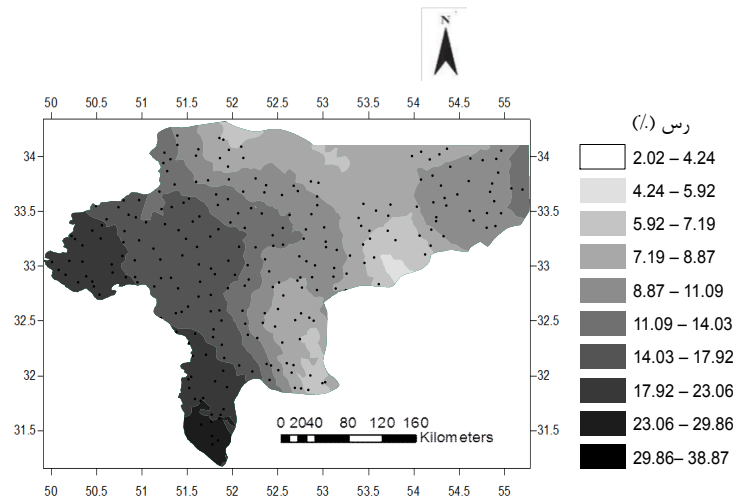
شکل ۴ نقشه پراکنش درصد رس در خاک‌های سطحی استان اصفهان را نشان می‌دهد. میانگین درصد رس خاک‌های استان

شد مشاهده می‌شود. بدین معنی که حداقل مقدار دمایی در مکان‌هایی با حداکثر بارش مشاهده می‌شود و حداکثر دما نیز به مناطق شرقی و شمالی استان اختصاص دارد.

توصیف آماری ویژگی‌های خاک و کانی‌های رسی

جدول ۱ توصیف آماری ویژگی‌های خاک در ۱۰۰ نمونه مورد نظر را نشان می‌دهد. ویژگی‌های خاک طیف وسیعی از تغییرات را دربرمی‌گیرند و از بین ویژگی‌های مورد بررسی ماده آلی، گچ و شوری خاک چولگی مثبت دارند بدین معنی که مقدار کمتر این ویژگی‌ها فراوانی بیشتر دارند.

جدول ۲ توصیف آماری درصد کانی‌های غالب خاک‌های سطحی استان اصفهان را نشان می‌دهد. مقدار کانی‌های مورد



شکل ۴. تغییرات مکانی درصد رس خاک‌های سطحی استان اصفهان

کانی‌های ورمی‌کولیت، ایلیت، کلریت و کوارتز در تمامی خاک‌های استان حضور دارند و بسته به موقعیت جغرافیایی، اقلیم و ماده مادری کانی‌های پالیگورسکیت و یا اسمکتیت نیز در خاک دیده می‌شوند. به‌عنوان نماینده از کل استان، پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس ۶ نمونه خاک متعلق به سه کلاس اقلیمی متفاوت در شکل ۵ نشان داده شده است. به‌علاوه، مقدار کانی‌های رسی و خصوصیات اقلیمی و فیزیکی و شیمیایی ۶ نمونه خاک گفته‌شده در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است.

منطقه مطالعاتی بر اساس شاخص اقلیمی دومارتن به سه منطقه اقلیمی خشک (شاخص دومارتن کمتر از ۱۰)، نیمه‌خشک (شاخص دومارتن کمتر از ۲۰) و نیمه‌مرطوب و مدیترانه‌ای (شاخص دومارتن کمتر از ۳۰) که به‌طور کلی نیمه‌مرطوب نام گرفت، تقسیم شد. بر اساس این تقسیم‌بندی ۶۵ نقطه از ۱۰۰ نقطه مورد بررسی کانی‌شناسی در اقلیم خشک، ۲۶ نقطه در کلاس اقلیمی نیمه‌خشک و ۹ نقطه در کلاس نیمه‌مرطوب قرار دارند. بر این اساس بیش از ۹۰ درصد استان دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است.

کانی‌شناسی بخش رس خاک در کلاس اقلیمی خشک

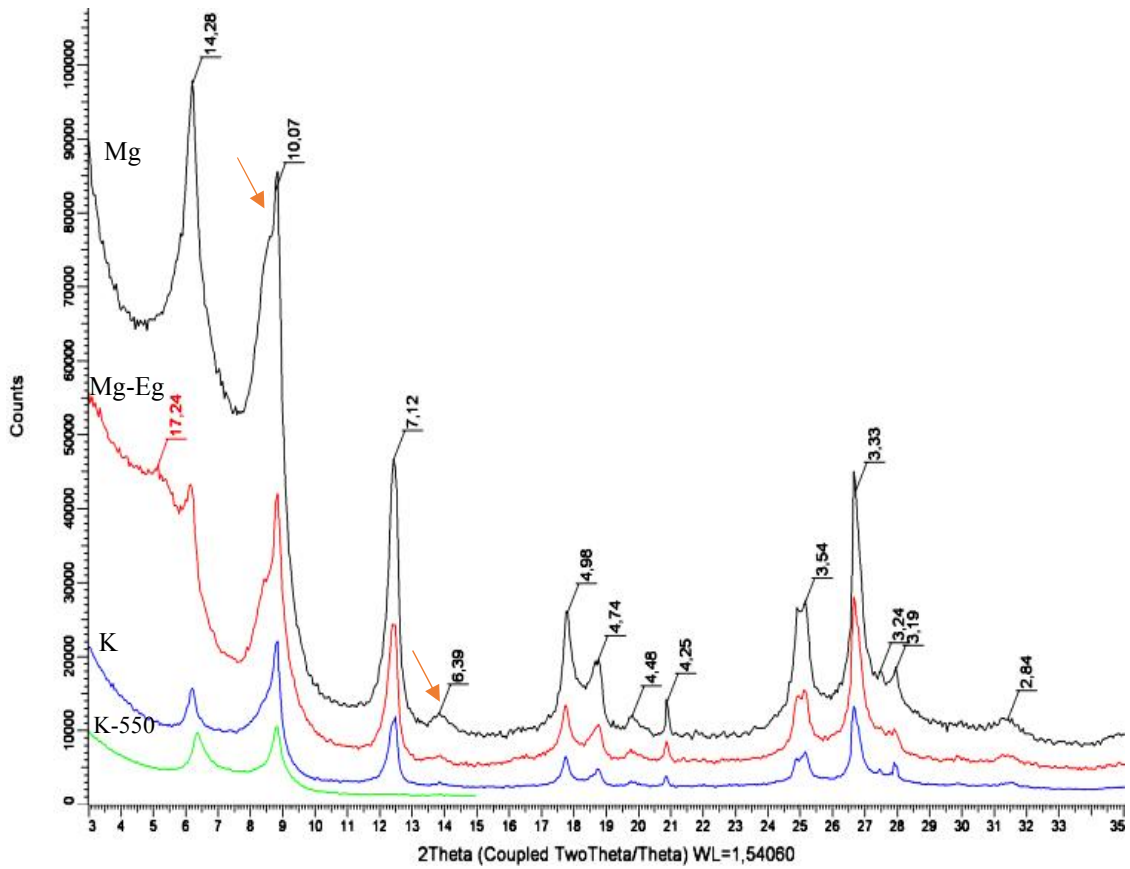
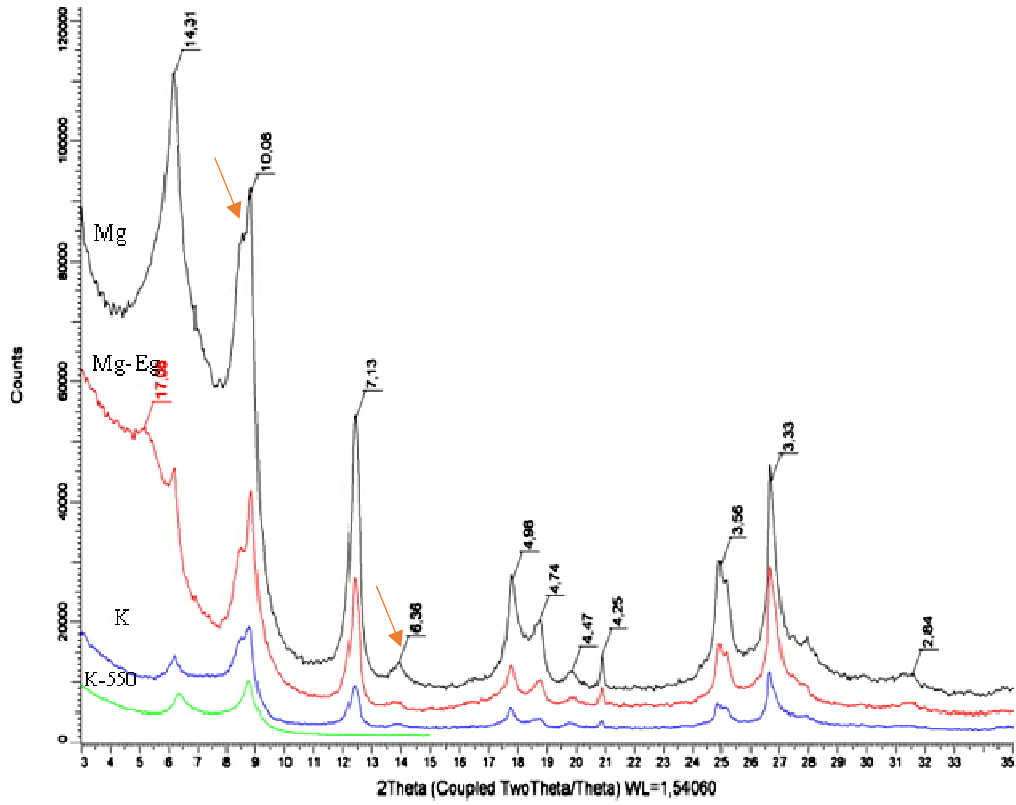
شکل ۵- الف پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس دو نمونه خاک متعلق به کلاس اقلیمی خشک را نشان می‌دهد. حضور قله

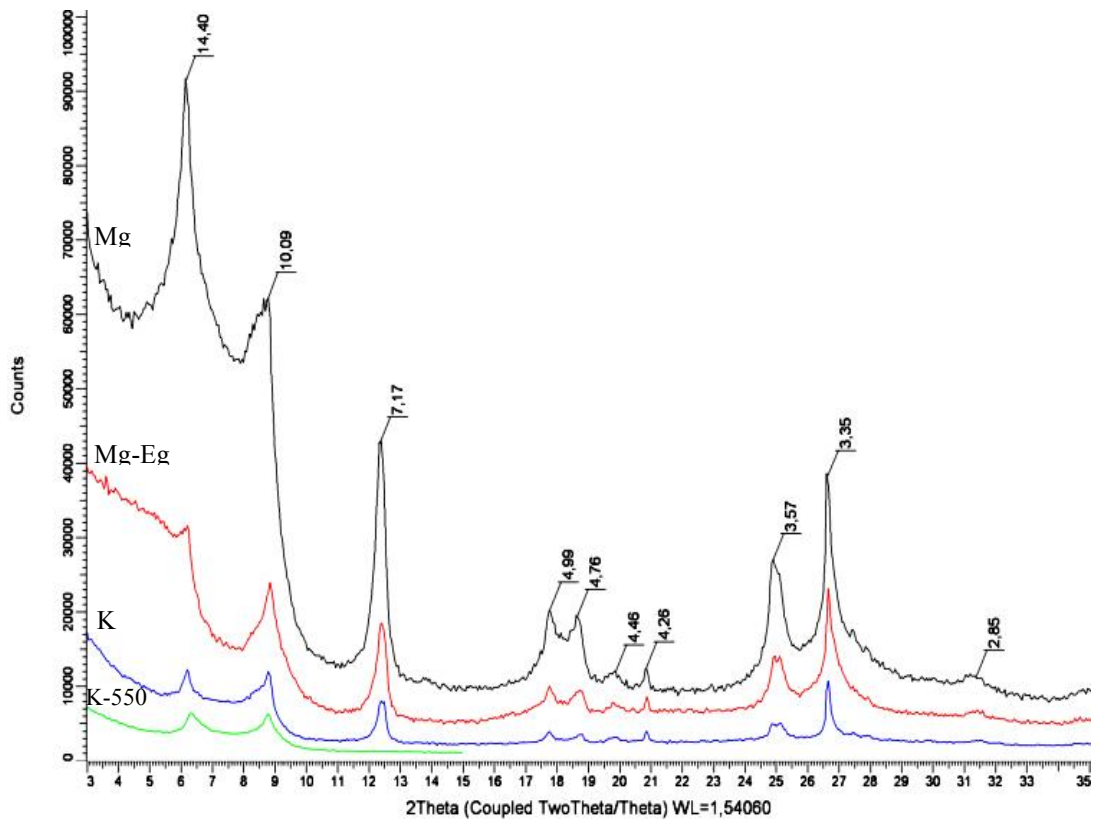
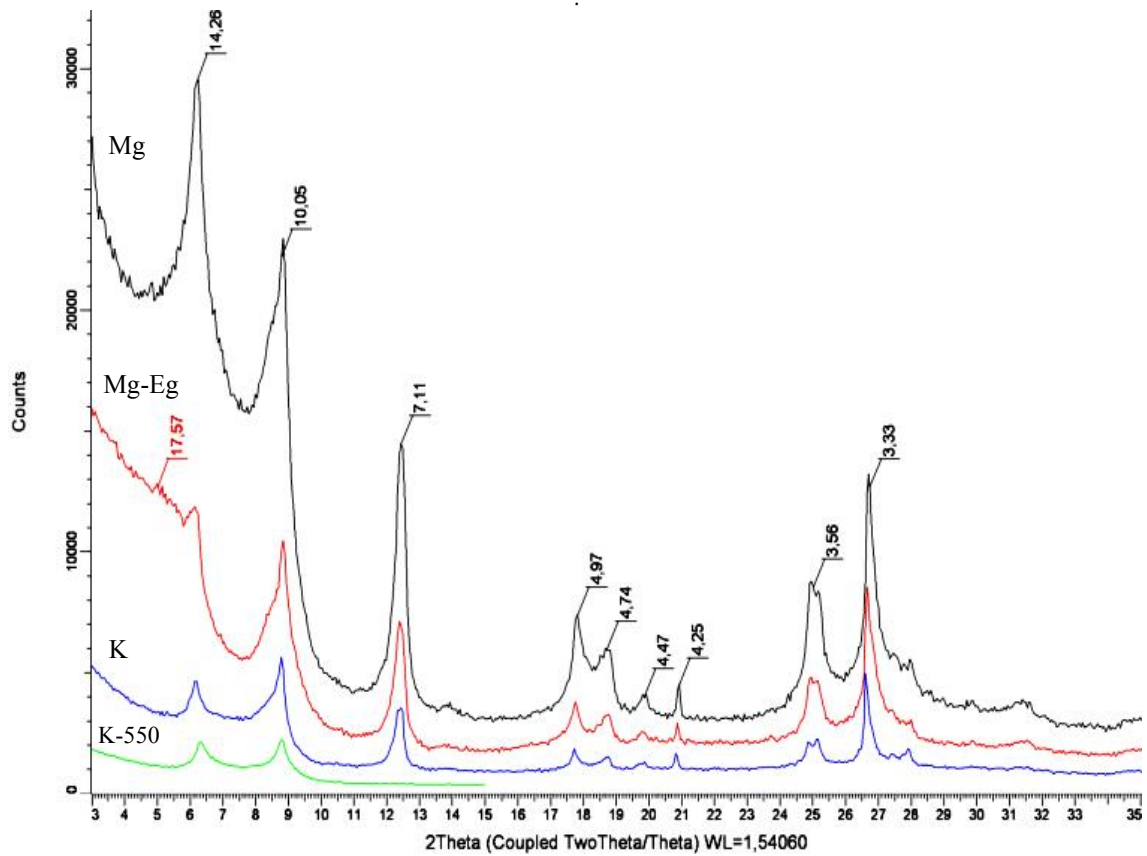
۱۲/۹ درصد است و درصد رس در خاک‌های استان بین ۲ تا ۳۹ درصد متغیر است و نمودار توزیع فراوانی درصد رس خاک در منطقه مطالعاتی نرمال است. بیشترین مقدار رس خاک به مناطق غربی، شمال غربی و جنوب استان یعنی شهرستان‌های فریدن، چادگان، فریدون‌شهر و سمیرم اختصاص دارد. این درحالیست که کمترین میزان رس به مناطق شمال، شرق و جنوب شرق مربوط است. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه، در قسمت‌های شرقی و شمالی استان بیشتر سنگ‌های رسوبی، تپه‌های شنی، آبرفت‌های دوران جدید و توف‌های آندزیتی وجود دارد که بافت خاک سطحی تشکیل شده روی این مواد مادری حاوی شن و سیلت بیشتری است. در مناطق غربی و جنوبی استان مواد مادری مارنی، سنگ آهک، شیل و سنگ‌های دگرگونی بیشتر دیده می‌شود؛ بنابراین، خاک سطحی تشکیل شده روی این مواد مادری، رس بیشتری دارد. اقلیم مرطوب‌تر این مناطق منجر به افزایش هواپدگی سنگ‌ها شده و علاوه بر مواد مادری اقلیم منجر به کاهش درصد ذرات شن در این نواحی می‌شود.

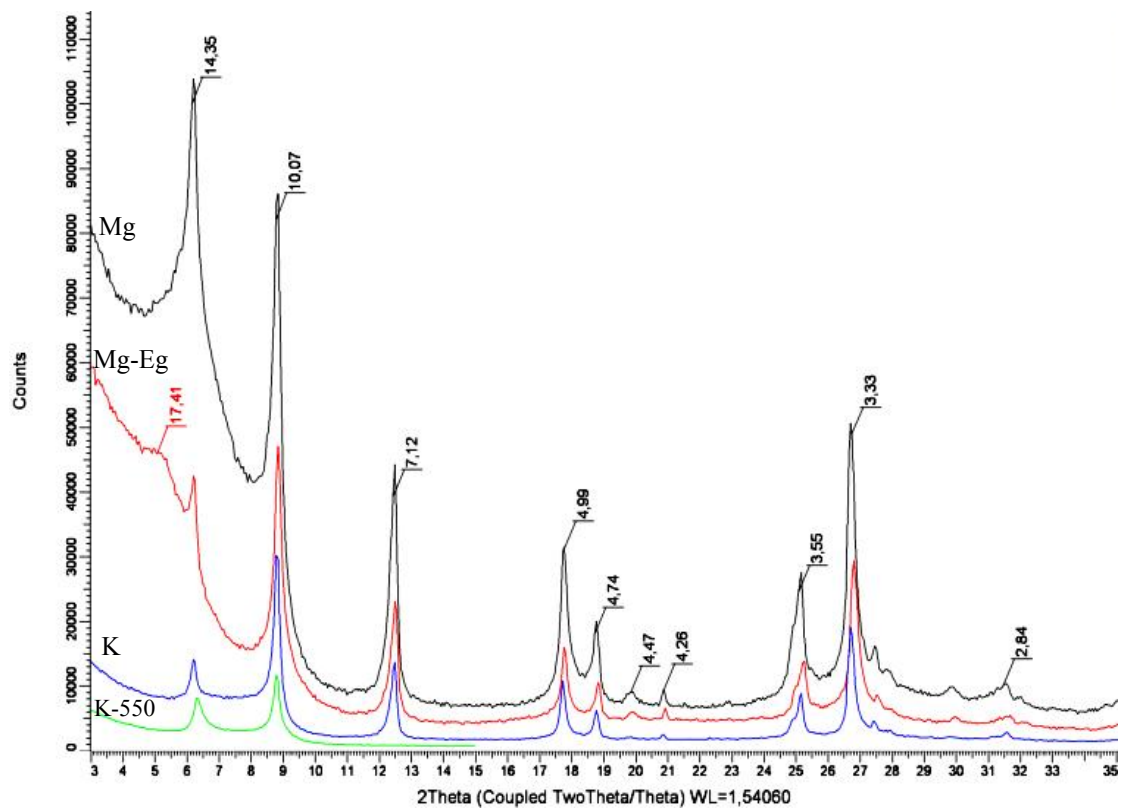
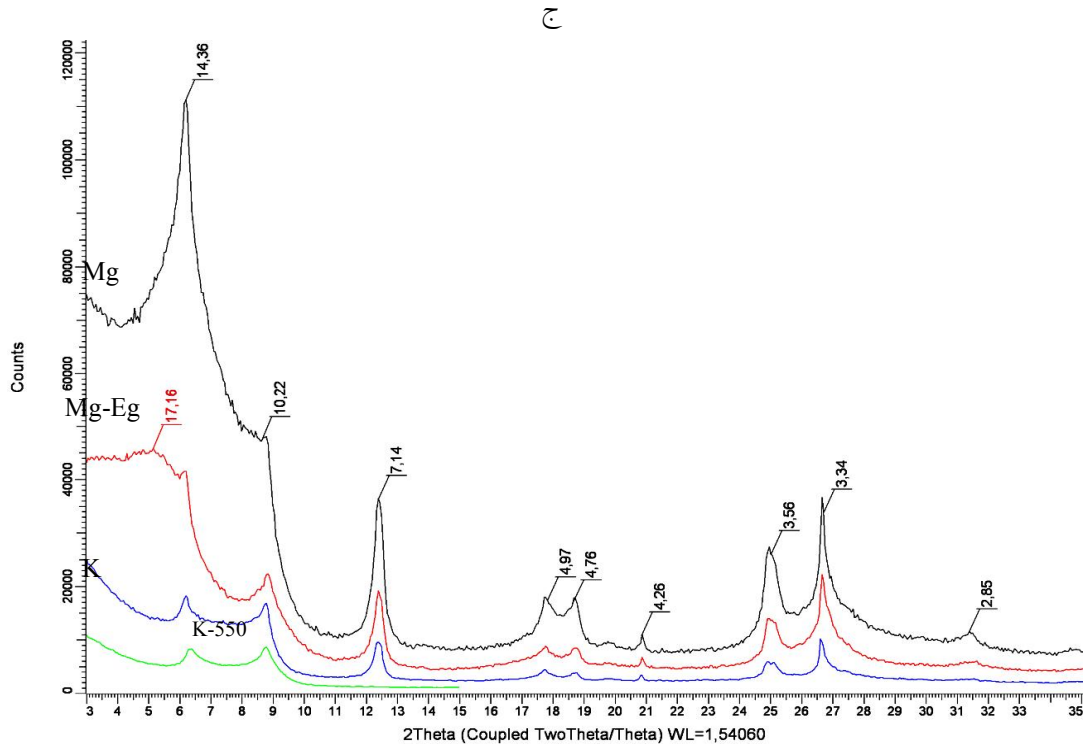
شناسایی کانی‌های رسی خاک به روش XRD

مطالعات کیفی کانی‌شناسی رسی بر روی ۱۰۰ نمونه از خاک‌های استان با استفاده از پراش‌نگاشت پرتو ایکس نشان داد که

الف







شکل ۵. پراش‌نگاشت‌های پرتو ایکس نمونه‌های خاک متعلق به کلاس اقلیمی: الف) خشک، ب) نیمه‌خشک و ج) نیمه‌مرطوب (Mg, MG-Eg, K و K-550 به ترتیب تیمارهای اشباع با منیزیم، اشباع با منیزیم و اتیلن گلیکول، اشباع با پتاسیم و اشباع با پتاسیم و تیمار حرارتی ۵۵° درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند). (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۳. مقدار کانی‌های رسی ۶ نمونه خاک (درصد) در کلاس‌های مختلف اقلیمی منطقه مطالعاتی

کلاس اقلیمی	نوع کاربری	مکان نمونه	کانی مختلط	کانی‌های منبسط‌شونده ^۱	کلریت	کائولینیت	ایلیت	پالیگورسکیت	کوارتز
خشک	مرتع	شرق استان (خور و بیابانک)	۰/۹۹	۱۱/۸	۱۴/۶	۰/۲	۲۳/۴	۴۱/۲	۷/۵
	مرتع	جنوب شرق استان (حسن آباد جرقویه)	۰/۲	۱۷/۲	۱۷/۶	۰/۳	۲۸/۰	۳۰/۰	۶/۵
نیمه‌خشک	مرتع	نزدیک مرکز استان (شهرضا، سولار)	۰/۹	۲۲/۳	۲۴/۴	۰/۷	۳۰/۰	۱۱/۵	۱۰/۱
	مرتع	جنوب استان (سمیرم، مورک)	۰/۷	۳۳/۸	۲۰/۹	۰/۳	۳۱/۰	۱/۰	۱۲/۴
نیمه‌مرطوب	مرتع	جنوب استان (ابتدای جاده سمیرم-ونک)	۹/۵	۳۴/۲	۲۹/۳	۰/۴	۱۳/۹	۰/۳۸	۱۲/۲
	مرتع	غرب استان (فریدون شهر)	۰/۳۱	۲۱/۱	۲۶/۱	۰/۶	۳۸/۵	۰	۱۳/۲

^۱ کانی‌های منبسط‌شونده: مجموع دو کانی ورمی‌کولیت و اسمکتیت هستند.

۲۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه بالا از خصوصیات این کلاس اقلیمی است (جدول ۴). ماده آلی کم و مقدار بالای شن، سیلت، آهک و اغلب مقدار بالای گچ و شوری از خصوصیات خاک در این کلاس اقلیمی است.

کانی‌شناسی بخش رس خاک در کلاس اقلیمی نیمه‌خشک

شکل ۵- ب پرآش‌نگاشت پرتو ایکس دو نمونه خاک متعلق به کلاس اقلیمی نیمه‌خشک در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. در یکی از این دو نمونه برخلاف دو نمونه قبلی، قله‌های ۱۰/۵ و ۶/۳ آنگستروم به‌طور ضعیف مشاهده می‌شوند و به‌وضوح دو نمونه قبلی نیست. قله‌های بزرگ ۱۴، ۷، ۳/۵ و ۲/۸۶ آنگستروم مقدار بالای کانی کلریت در نمونه خاک مورد نظر را نشان می‌دهد. کانی ایلیت در تمام خاک‌های استان وجود دارد ولی در خاک‌های منطقه مرکزی استان به‌طور غالب مشاهده می‌شود. در نمونه خاک مورد نظر کانی‌های ایلیت، کلریت و کانی‌های منبسط‌شونده به ترتیب با ۳۰، ۲۴ و ۲۱ درصد کانی‌های غالب خاک بوده و کانی‌های پالیگورسکیت و کوارتز

دو شاخ ۱۰/۵ آنگستروم به همراه قله ۶/۳ آنگستروم در تیمار اشباع با منیزیم نشان‌دهنده حضور کانی پالیگورسکیت در هر دو نمونه خاک است. تبدیل قله ۱۴ آنگستروم تیمار منیزیم اشباع به قله ۱۷ آنگستروم در تیمار اشباع با منیزیم و اتیلن‌گلیکول نشان‌دهنده حضور کانی‌های منبسط‌شونده (مجموع دو کانی ورمی‌کولیت و اسمکتیت) (تفکیک ورمی‌کولیت از اسمکتیت نیازمند تیمار تکمیلی گلیسرول است. با توجه به زیاد بودن نمونه‌ها تفکیک ورمی‌کولیت از اسمکتیت صورت نگرفت و هر دو تحت عنوان کانی‌های منبسط‌شونده گزارش شدند) است. به علاوه، حضور قله‌های پایدار ۱۰ و ۱۴ آنگستروم در تیمار پتاسیم با حرارت ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد نیز نشان‌دهنده وجود ایلیت و کلریت در خاک مورد نظر است. کانی اولیه کوارتز (قله ۳/۳۳ آنگستروم) نیز به مقدار کم در خاک مورد نظر وجود دارد. با توجه به جدول ۳، کانی پالیگورسکیت به ترتیب ۴۱ و ۳۰ درصد از رس هر یک از خاک‌های مورد نظر را تشکیل داده و کانی غالب است، پس از آن ایلیت و کلریت کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده خاک مورد نظر هستند. میانگین بارش کمتر از

جدول ۴. مقدار ویژگی‌های اقلیمی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ۶ نمونه خاک در کلاس‌های مختلف اقلیمی

pH	EC (dS/m)	سیلت	رس	شن	گج	آهک	ماده آلی	میانگین دمای سالیانه	میانگین بارش سالیانه	کلاس اقلیمی
								(°C)	(mm)	
۷/۶	۳/۷	۴۰/۱	۴/۰	۵۵/۸	۱۶/۸	۴۰/۲	۰/۱	۲۰/۲	۷۶/۸	خشک
۸/۲	۰/۳	۱۴/۹	۶/۵	۷۸/۵	۲/۵	۶۷/۷	۰/۲	۱۶/۲	۱۵۹/۴	
۸/۰	۰/۲	۳۷/۲	۱۶/۶	۴۶/۱	۰/۰	۶۰/۲	۰/۴	۱۳/۹	۲۴۳/۸	نیمه
۷/۹	۰/۱	۴۹/۶	۲۱/۰	۲۱/۰	۰/۰	۲۸/۷	۱/۷	۱۲/۴	۳۲۰/۷	خشک
۷/۶	۰/۲	۶۸/۸	۱۴/۸	۱۶/۴	۰/۰	۱۷/۵	۲/۴	۱۰/۴	۴۵۹/۳	نیمه
۷/۸	۰/۲	۴۴/۵	۲۹/۳	۲۶/۱	۰/۰	۴۰/۵	۲/۲	۹/۹	۵۱۱/۸	مرطوب

۶/۳) مشاهده نمی‌شود. سه کانی ایلیت، کلریت و کانی‌های منبسط‌شونده سه کانی اصلی تشکیل‌دهنده این خاک بوده و کانی کوآرتز نیز در این خاک‌ها مشاهده می‌شود.

میانگین بارش سالیانه بیشتر از ۴۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه پایین از خصوصیات این کلاس اقلیمی است. مقدار ماده آلی به علت وجود رطوبت بالای خاک به شدت افزایش می‌یابد و گج و نمک در نمونه‌های خاک این کلاس اقلیمی مشاهده نمی‌شود (جدول ۴).

نقشه پراکنش پالیگورسکیت در خاک‌های استان اصفهان و ارتباط آن با اقلیم و ماده مادری

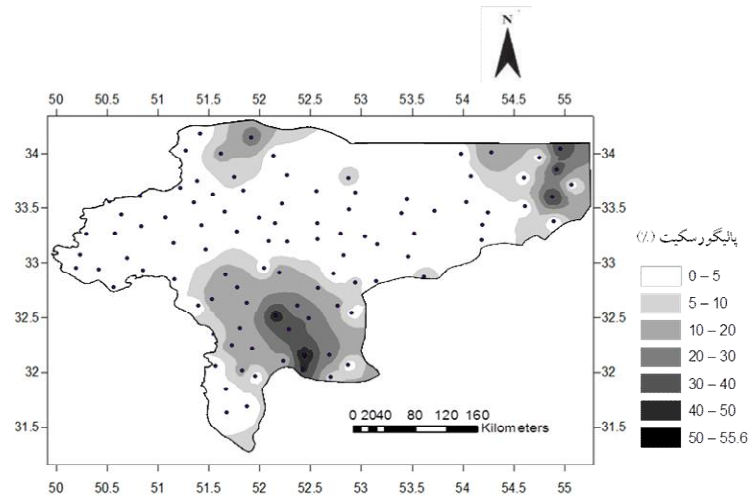
شکل ۶ نقشه پراکنش کانی پالیگورسکیت را در خاک‌های سطحی استان اصفهان نشان می‌دهد. مقدار بالای این کانی عموماً در شرق، شمال و جنوب شرق استان مشاهده می‌شود. با توجه به نقشه پراکنش دما و بارش استان اصفهان (شکل ۳ الف و ب)، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار بالای کانی پالیگورسکیت بیشتر در مناطق خشک استان با دمای بالا مشاهده می‌شود.

در مناطق غربی، جنوب غربی و جنوبی استان که شهرستان‌های فریدن، فریدون‌شهر و سمیرم قرار دارند کانی پالیگورسکیت در خاک وجود ندارد. نقشه زمین‌شناسی استان

با ۱۱ و ۱۰ درصد بخش باقی‌مانده این خاک را تشکیل می‌دهند (جدول ۳). در نمونه دیگر خاک در کلاس اقلیمی نیمه‌خشک در شکل ۵-ب، بر خلاف نمونه‌های قبلی هیچ قله‌ای مرتبط با کانی پالیگورسکیت مشاهده نمی‌شود. قله‌های مرتبط با کانی‌های ایلیت، کلریت و کانی‌های منبسط‌شونده به همراه کوآرتز در این خاک مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد، با افزایش رطوبت کانی پالیگورسکیت به کانی‌های منبسط‌شونده از جمله اسمکتیت تبدیل شده و یا از محیط خاک حذف می‌شود. بی‌غم و همکاران (۴) معتقدند که پالیگورسکیت و اسمکتیت در خاک اغلب با یکدیگر حضور دارند و کاهش پالیگورسکیت در خاک را با افزایش اسمکتیت هماهنگ دانسته‌اند. میانگین بارش سالانه بیشتر و میانگین دمای سالانه کمتر در مقایسه با کلاس اقلیمی خشک از خصوصیات این کلاس اقلیمی است. مقدار ماده آلی خاک در مقایسه با کلاس اقلیمی خشک افزایش یافته و مقدار گج و شوری در خاک‌های این کلاس اقلیمی بسیار اندک است (جدول ۴).

کانی‌شناسی بخش رس خاک در کلاس اقلیمی نیمه‌مرطوب

پراش‌نگاشت پرتو ایکس دو نمونه خاک متعلق به کلاس اقلیمی نیمه‌مرطوب منطقه مطالعاتی در شکل ۵-ج نشان داده شده است. هیچ قله‌ای مرتبط با کانی پالیگورسکیت (قله‌های ۱۰/۵ و



شکل ۶. تغییرات مکانی درصد پالیگورسکیت خاک‌های سطحی استان اصفهان

در منطقه اصفهان را مورد بررسی قرار داده و دریافتند که علاوه بر به ارث رسیدن از ماده مادری، پالیگورسکیت می‌تواند به‌طور کامل یا جزئی از طریق هواپدگی اسمکتیت و یا به‌صورت درجا در افق‌های زیرین و در نزدیک سفره آب زیرزمینی تشکیل شود. تشکیل پالیگورسکیت در خاک‌های مناطق خشک رابطه نزدیکی با تشکیل افق‌های تجمع آهک و گچ دارد (۱۵ و ۲۶). عباسلو و همکاران (۱) معتقدند که تشکیل درجای پالیگورسکیت در دوران ترشیری و در حوضچه‌های کم‌عمق به علت شرایط محیطی قلیایی (حضور گچ و آهک) مهم‌ترین دلیل حضور پالیگورسکیت در سنگ‌های رسوبی و خاک‌های تشکیل شده از آنهاست. اولیایی و همکاران (۲۵) نیز معتقدند که راه اصلی ورود پالیگورسکیت در منطقه مورد مطالعه آنها تشکیل درجای این کانی در اثر رسوب گچ و آهک است و تبدیل سایر کانی‌ها به پالیگورسکیت و به ارث رسیدن از ماده مادری به‌عنوان منابع بعدی ورود این کانی به خاک معرفی شدند.

به‌منظور ارزیابی دقت تخمین مقدار کانی پالیگورسکیت در روش وزن‌دهی معکوس فاصله، از دو پارامتر میانگین خطا (ME) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد (جدول ۵). میانگین خطا، مقدار آریبی را نشان می‌دهد که در حالت مطلوب باید مساوی صفر باشد. مقدار مثبت و منفی زیاد نشان‌دهنده برآورد بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی‌اند. بنابراین،

اصفهان (شکل ۲) نیز نشان می‌دهد که عمده رسوبات قرمز بالایی، قرمز تحتانی و قم که مربوط به دوران زمین‌شناسی میوسن و پلیوسن هستند در مناطق شرقی و شمالی استان قرار دارند و حاوی مقدار قابل توجهی کانی پالیگورسکیت هستند. بنابراین، پراکنش پالیگورسکیت در استان علاوه بر اقلیم تا حد زیادی به نوع ماده مادری خاک ارتباط دارد. به‌نظر می‌رسد ماده مادری در ورود این کانی به محیط خاک و اقلیم به‌طور عمده در پایداری و حفظ این کانی و تا حدی تشکیل محدود این کانی در خاک‌های استان مؤثر بوده است.

نتایج بررسی‌های انجام شده، سه فرضیه برای توجیه وجود پالیگورسکیت در خاک را به اثبات رسانده است: ۱- به ارث رسیدن از ماده مادری، خادمی و مرموت (۲۳) وجود پالیگورسکیت در مواد مادری ایران مرکزی را به بالا آمدن فلات ایران و جدا شدن دریای تتیس از اقیانوس اصلی در اواخر کرتاسه و تشکیل دریاچه‌های کم‌عمق و شور و مناسب برای تشکیل رس‌های فیبری نسبت می‌دهند. ۲- خاستگاه آواری، به‌وسیله باد (۹) و یا ته‌نشست‌های آبرفتی (۲۲)، ۳- تشکیل در خاک، در این حالت پالیگورسکیت به‌دلیل نوسانات سفره آب زیرزمینی، در اثر تغییر شکل اسمکتیت و یا تشکیل در محلول خاک به‌وجود می‌آید (۱۴ و ۲۱). حجتی و همکاران (۱۴) تشکیل پالیگورسکیت تحت تأثیر آب زیرزمینی شور و قلیایی

جدول ۵. ارزیابی خطای تخمین روش وزن‌دهی معکوس فاصله کانی‌های رسی غالب به روش اعتبارسنجی متقاطع

نوع کانی	ME	RMSE
پالیگورسکیت	۰/۴۱	۱۰/۱
ایلپیت	-۰/۰۲	۹/۶
کانی‌های منبسط‌شونده	۴/۰۶	۱۱/۱۳
کلریت	۲/۱	۷/۹

جدول ۶. همبستگی ویژگی‌های خاک با مقدار نیمه کمی کانی‌های مورد مطالعه

نوع کانی	ماده آلی	آهک	گچ	رس	سیلت	شن	EC	pH
کانی‌های منبسط‌شونده	۰/۰۰	-۰/۴۱**	۰/۰۷	-۰/۰۹	۰/۰۶	-۰/۰۴	-۰/۱	-۰/۰۹
ایلپیت	-۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱	-۰/۱۹	-۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۱۲	-۰/۰۲
پالیگورسکیت	-۰/۳۲**	۰/۴۸**	۰/۳۰**	-۰/۲۲*	-۰/۲۱*	۰/۲۵*	۰/۱۷	۰/۱
کلریت	۰/۱۳	-۰/۱۴	-۰/۳**	۰/۲	-۰/۰۶	-۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۱

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

هر چه این مقدار کمتر باشند نشان‌دهنده خطای کمتر تخمین است. مقدار ME و RMSE برای تخمین کانی پالیگورسکیت در روش وزن‌دهی معکوس فاصله به ترتیب ۰/۴ و ۱۰/۱ است.

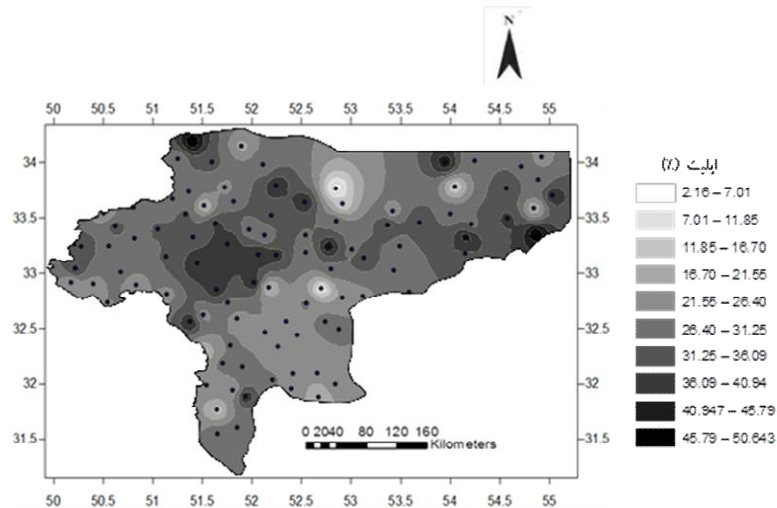
پالیگورسکیت فراهم می‌شود.

نقشه پراکنش ایلپیت در خاک‌های استان اصفهان و ارتباط آن با اقلیم و ماده مادری

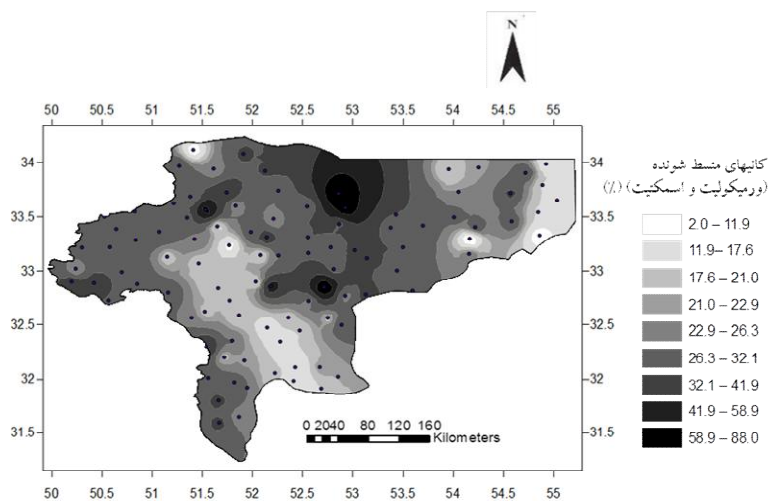
برخلاف نقشه پراکنش کانی پالیگورسکیت، پراکنش ایلپیت در خاک‌های استان از روند خاصی پیروی نکرده و کانی ایلپیت در تمامی مناطق استان مشاهده می‌شود (شکل ۷). البته لازم به ذکر است که مقدار بالای این کانی بیشتر در مناطق مرکزی استان مشاهده می‌شود. کانی ایلپیت و به‌طور کلی کانی‌های میکایی کانی‌هایی با منشأ اولیه هستند و عمدتاً از ماده مادری به ارث می‌رسند. تشکیل و توزیع این کانی تابع اقلیم نبوده و وابسته به ماده مادری است. ایلپیت در خاک‌های جوان و کمتر هوادیده فراوان و در خاک‌های هوادیده به مراتب کمتر دیده می‌شوند (۲۹). گریم (۱۳) ایلپیت را از کانی‌های اصلی خاک‌های آهکی می‌داند و به‌نظر فانینگ (۱۲) عمده ایلپیت خاک از مواد مادری رسوبی ایجاد می‌شود.

همبستگی مقدار کانی پالیگورسکیت با ویژگی‌های خاک

جدول ۶ ضرایب همبستگی اسپیرمن ویژگی‌های خاک و مقدار کانی‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقدار پالیگورسکیت خاک‌های استان با مقدار ماده آلی و درصد رس و سیلت خاک‌های استان همبستگی منفی و معنی‌دار نشان می‌دهد. درحالی‌که همبستگی مقدار پالیگورسکیت با درصد آهک و گچ مثبت و معنی‌دار است. در مناطقی که مقدار ماده آلی خاک بیشتر است، مقدار پالیگورسکیت، درصد آهک و گچ خاک کمتر است. این مسئله به‌طور غیرمستقیم به اقلیم منطقه ارتباط دارد. در مناطق با اقلیم خشک، بارش باران برای شستشوی املاح محلول و گچ از خاک کافی نبوده و مقدار زیادی از املاح و گچ در خاک تجمع یافته و شرایط برای تولید کانی‌های فیبری نظیر



شکل ۷. تغییرات مکانی درصد ایلیت خاک‌های سطحی استان اصفهان



شکل ۸. تغییرات مکانی درصد کانی‌های منبسط‌شونده خاک‌های سطحی استان اصفهان

اسمکتیت) خاک‌های سطحی استان اصفهان در شکل ۸ آمده است. به‌جز در مناطق شرقی، مرکزی و جنوب‌شرقی استان که مقدار کم کانی‌های منبسط‌شونده مشاهده می‌شود، در سایر مناطق استان مقدار این کانی‌ها بالا است. بالا بودن مقدار این کانی‌ها در مناطق غربی، جنوب‌غربی و جنوب استان احتمالاً در نتیجه تبدیل کانی ایلیت به اسمکتیت است و بیشتر منشأ پدوژنیک دارد. به‌علاوه، تبدیل پالیگورسکیت به اسمکتیت منشأ دیگر حضور این کانی در خاک است (۴). اقلیم مرطوب‌تر مناطق گفته‌شده شرایط را برای تغییر و تحول کانی‌ها فراهم می‌کند (شکل ۳- الف). در حالی که در

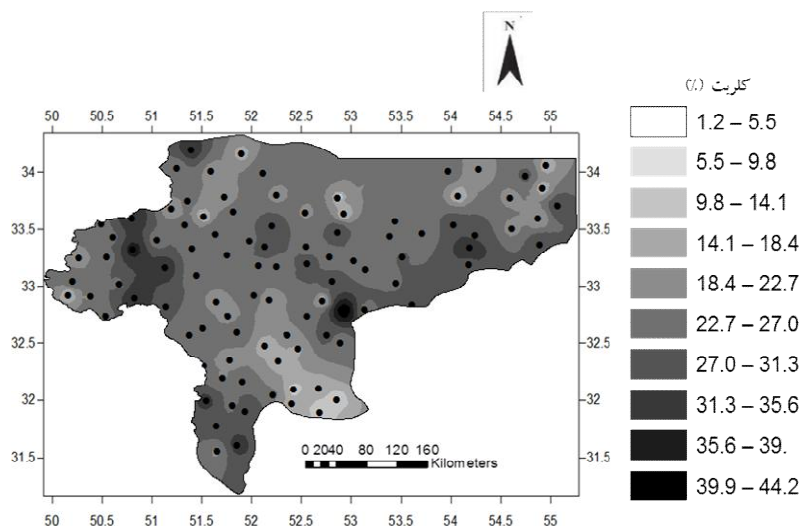
همبستگی مقدار کانی ایلیت با ویژگی‌های خاک

همبستگی مقدار کانی ایلیت با ویژگی‌های خاک معنی‌دار نبود (جدول ۶). با توجه به اینکه اغلب خصوصیات خاک مورد بررسی در استان تحت تأثیر اقلیم است ولی مقدار ایلیت تابع اقلیم نبوده بنابراین، همبستگی معنی‌داری با ویژگی‌های خاک ندارد.

نقشه پراکنش کانی‌های منبسط‌شونده در خاک‌های استان

اصفهان و ارتباط آن با اقلیم و ماده مادری

نقشه پراکنش کانی‌های منبسط‌شونده (مجموع ورمی‌کولیت و



شکل ۹. تغییرات مکانی درصد کلریت خاک‌های سطحی استان اصفهان

نقشه پراکنش کلریت در خاک‌های استان اصفهان و ارتباط

آن با اقلیم و ماده مادری

پراکنش کلریت در خاک‌های استان اصفهان در شکل ۹ نشان داده شده است. به‌طور مشابه با نقشه پراکنش کانی ایلیت، کلریت نیز در تمام استان مشاهده می‌شود و تنها مقدار کم این کانی در جنوب شرق استان مشاهده می‌شود. پراکنش کانی کلریت نیز مانند ایلیت تابع اقلیم نبوده و وابسته به ماده مادری است. کانی کلریت بر اثر تکامل و پیشرفت هوادیدگی به کانی‌های منبسط‌شونده تبدیل می‌شود اما به عقیده برنهایسل و برچ (۳) امکان هوادیدگی کلریت در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود ندارد، چرا که برای هوادیدگی کلریت آبشویی شدید، pH کمتر از ۶، دمای بالا و خروج هیدروکسیدهای بین لایه‌ای لازم است. بنابراین، حضور کلریت در خاک‌های استان منشأ موروثی دارد. نتایج ارزیابی خطای تخمین کانی کلریت نشان داد که نقشه پراکنش کلریت در منطقه مطالعاتی در مقایسه با سایر کانی‌های رسی از خطای کمتری برخوردار بوده است (جدول ۵).

همبستگی مقدار کانی کلریت با ویژگی‌های خاک

همبستگی مقدار کانی کلریت با اغلب ویژگی‌های خاک به‌جز

مناطق شمالی و شمال‌شرقی که روی نوار آتشفشانی قرار گرفته‌اند حضور مقدار بالای این کانی‌ها در نتیجه حضور بیشتر آنها در ماده مادری است (شکل ۲). بنابراین، پراکنش کانی‌های منبسط‌شونده در خاک‌های سطحی استان اصفهان متأثر از دو عامل اقلیم و ماده مادری است.

همبستگی مقدار کانی‌های منبسط‌شونده با ویژگی‌های خاک

مقدار کانی‌های منبسط‌شونده در خاک‌های سطحی استان اصفهان تنها با مقدار آهک همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد (جدول ۶). در مورد پراکنش آهک در خاک‌های استان اصفهان، ماده مادری عامل مهم و تأثیرگذار است و نقشه پراکنش آهک در خاک‌های استان با نقشه زمین‌شناسی استان منطبق است. مقایسه نقشه پراکنش آهک و کانی‌های منبسط‌شونده نشان می‌دهد در نقاطی که مقدار آهک خاک ناچیز است (مناطق مستقر در نوار آتشفشانی استان) مقدار کانی‌های منبسط‌شونده حداکثر است. مقدار کانی‌های منبسط‌شونده با سایر ویژگی‌های خاک نظیر شوری، مقدار گچ، بافت خاک و مقدار ماده آلی ارتباط معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

پراکنش کانی پالیگورسکیت، پراکنش دو کانی ایلیت و کلریت در خاک‌های استان از روند خاصی پیروی نکرده و در تمامی مناطق استان مشاهده می‌شود. پراکنش این دو کانی تحت تأثیر ماده مادری است. به‌طور مشابه با پالیگورسکیت پراکنش کانی‌های منبسط‌شونده در خاک‌های سطحی استان اصفهان نیز متأثر از دو عامل اقلیم و ماده مادری است. در مناطق نیمه مرطوب غرب و جنوب غرب استان نقش اقلیم در پراکنش کانی‌های منبسط‌شونده از اهمیت بیشتری برخوردار است. در حالی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک شرق استان، اهمیت ماده مادری بیشتر است.

سپاسگزاری

نمونه‌برداری و برخی آنالیزهای آزمایشگاهی با حمایت مالی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شده است که بدینوسیله قدردانی می‌شود. به‌علاوه، از دانشگاه پلی‌تکنیک کارتاخنای اسپانیا به‌منظور همکاری در انجام آنالیزهای XRD قدردانی می‌شود.

گج معنی‌دار نبود (جدول ۶). با توجه به اینکه اغلب خصوصیات خاک مورد بررسی در استان تحت تأثیر اقلیم است ولی مقدار کلریت تابع اقلیم نبوده بنابراین، همبستگی معنی‌داری با ویژگی‌های خاک ندارد.

نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به تهیه نقشه کانی‌های رسی غالب خاک‌های سطحی استان اصفهان نشان داد که مقدار بالای کانی پالیگورسکیت بیشتر در مناطق خشک استان با دمای بالا مشاهده می‌شود. در مناطق غربی، جنوب غربی و جنوبی استان، کانی پالیگورسکیت در خاک وجود ندارد. نقشه زمین‌شناسی استان نیز نشان می‌دهد که عمده رسوبات قرمز بالایی، قرمز تحتانی و قم که مربوط به دوران زمین‌شناسی میوسن و پلیوسن هستند در مناطق شرقی و شمالی استان قرار دارند و حاوی مقادیر قابل توجهی کانی پالیگورسکیت هستند. بنابراین، به‌نظر می‌رسد ماده مادری در ورود این کانی به محیط خاک و اقلیم عمدتاً در پایداری و حفظ این کانی و تا حدی تشکیل محدود این کانی در خاک‌های استان مؤثر بوده است. برخلاف نقشه

منابع مورد استفاده

1. Abbaslou, H., A. Abtahi, F. J. M. Peinado, H. R. Owliaie and F. Khormali. 2013. Mineralogy and characteristics of soils developed on Persian Gulf and Oman sea basin, southern Iran: Implications for soil evolution in relation to sedimentary parent material. *Soil Science: An Interdisciplinary Approach to Soil Research* 178: 568-584.
2. Asakereh, H. 2008. Kriging application in climatic element interpolation A Case Study: Iran Precipitation in 1996.12.16. *Geography and Development* 12: 25-42. (In Farsi).
3. Barnhisel, R. I. and P. M. Bertsch. 1988. Chlorite and hydroxy interlayer vermiculite and smectite. PP: 729-788. In: Dixon, J. B. and S. B. Weed, (Eds.), *Minerals in Soil Environment*. SSSA. Book series. Madison. WI., USA.
4. Bigham J., W. Jaynes and B. Allen. 1980. Pedogenic degradation of sepiolite and palygorskite on the Texas High Plains. *Soil Science Society of America Journal* 44: 159-167.
5. Booth, B. 2000. Using ArcGIS 3d Analyst. GIS by Esri, Copyright, Environmental Systems Research. ESRI Press. USA.
6. Brindley, G. W. 1980. Quantitative X-ray mineral analysis of clays. PP. 411- 438. In: Brindley, G.W. and G. Brown, (Eds.), *Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray Identification*. Mineral. Soc., London.
7. Chipera, S. J. and D. L. Bish. 1995. Multi-reflection RIR and intensity normalizations for quantitative analyses: Applications to feldspars and zeolites. *Powder Diffraction* 10: 47-55.
8. Churchman, G. J., P. G. Slade, P. G. Self and L. J. Janik. 1994. Nature of interstratified kaolin-smectites in some Australian soils. *Australian Journal of Soil Research* 32: 805-822.
9. Coudé-Gaussen, C. 1987. Observation au MEB de fibres de palygorskite transportée en grains par le vent. PP: 199-205. In: Federoff, N., L. M. Bresson and M. A. Courty, (Eds.), *Micromorphologie des Sols*. Association Française pour l' Étude du Sol, Paris.

10. Egli, M. 2013. Quantifying mineral abundances of complex mixtures by coupling spectral deconvolution of SWIR spectra (2.1-2.4 μm) and regression tree analysis. *Geoderma* 207: 279-290.
11. Egli, M., M. Nater, A. Mirabella, S. Raimondi, M. Plötze and L. Alioth. 2008. Clay minerals, oxyhydroxide formation, element leaching and humus development in volcanic soils. *Geoderma* 143: 101-114.
12. Fanning, D. S. 1989. Soil Morphology, Genesis and Classification. John Wiley and Sons, New York.
13. Grim, R. E. 1963. Applied Clay Mineralogy. International Series in the Earth Sciences, McGraw-Hill Book Company, New York.
14. Hojati, S., H. Khademi and A. F. Cano. 2010. Palygorskite formation under the influence of saline and alkaline ground-water in central Iranian soils. *Soil Science* 175: 303-312
15. Hojati, S., H. Khademi, A. Faz Cano, S. Ayoubi and A. Landi. 2013. Factors affecting the occurrence of palygorskite in central Iranian soils developed on Tertiary sediments. *Pedosphere* 23: 359-371.
16. <http://www.ngdir.ir>
17. <http://www2.ostan-es.ir/Default.aspx?tabid=303>
18. Irmak, A., P. K. Ranade, D. Marx, S. Irmak, K. G. Hubbard, G. E. Meyer and D. L. Martin. 2010. Spatial interpolation of climate variables in Nebraska. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)* 53: 1759-1777.
19. Jackson, M. L. 1979. Soil Chemical Analysis Advanced Course. 2nd Edition. University of Wisconsin, Madison, WI.
20. Johns, W. D., R. E. Grim and W. F. Bradley. 1954. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. *Journal of Sedimentary Petrology* 24: 242-251.
21. Karimi, A., H. Khademi and A. Jalalian. 2009. Genesis and distribution of palygorskite and associated clay minerals in soils and sediments of southern Mashhad. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 16: 545-558 (In Farsi).
22. Khademi, H. and A. R. Mermut. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from Iran. *Clay Minerals* 33: 561-578.
23. Khademi, H. and A. R. Mermut. 1999. Submicroscopy and stable isotope geochemistry of carbonate and associated palygorskite in Iranian Aridisols. *European Journal of Soil Science* 50: 207-216.
24. Mulder, V. L., S. de Bruin, J. Weyermann, R. F. Kokaly and M. E. Schaepman. 2013. Characterizing regional soil mineral composition using spectroscopy and geostatistics. *Remote Sensing of Environment* 139: 415-429.
25. Owliaie, H. R., A. Abtahi and R. J. Heck. 2006. Pedogenesis and clay mineralogical investigation of soils formed on gypsiferous and calcareous materials, on a transect, Southwestern Iran. *Geoderma* 134: 62-81.
26. Shahrokh, V. and H. Khademi. 2018. Factors influencing the formation and distribution of Palygorskite in Tertiary sediments and their soils around Darab City of Fars Province. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 26: 423-436. (In Farsi).
27. Singh, B. and R. J. Gilkes. 1992. Properties of soil kaolinites from southwestern Australia. *Journal of Soil Science* 43: 645-667.
28. Smith, K. A. 1991. Soil Analysis. 2nd ed., Marcel Decker, New York.
29. Sparks, D. L. 1987. Potassium dynamics in soils. *Advances in Soil Science* 6: 1-63.
30. Vicente, L. E. and C. R. de Souza Filho. 2011. Identification of mineral components in tropical soils using reflectance spectroscopy and advanced space borne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. *Remote Sensing of Environment* 115: 1824-1836.
31. Viscarra Rossel, R. A. 2011. Fine-resolution multiscale mapping of clay minerals in Australian soils measured with near infrared spectra. *Journal of Geophysical Research* 116: 1-15.
32. Wilson, M. J. 1987. A Handbook of Determinative Methods in Clay Mineralogy. Blackie and Son, New York.

Mapping the Dominant Clay Minerals in the Soils of Isfahan Province and Their Relationship with Climate and Parent Materials

F. Khayamim*, H. Khademi and S. Ayoubi¹

(Received: June 8-2019; Accepted: December 17-2019)

Abstract

Understanding the abundance of clay minerals in soil and also, their spatial variability can provide more comprehensive information about soil properties, behavior and functions. The objectives of this research were: (i) to map the spatial distribution of the dominant clay minerals in the soils of Isfahan Province and its relationship with climate and parent materials, and (ii) to determine the quantity of the dominant clay minerals in different climatic classes of Isfahan Province. The amount of palygorskite, illite, expanded minerals and chlorite were semi-quantitatively determined for 100 soil samples collected from Isfahan Province. Maps of the dominant clay minerals were prepared by the Inverse Distance Weighting method. The results showed that palygorskite mostly occurred in the soils of dry areas with higher temperature throughout the province. This mineral was not present in the more humid areas of the province. Besides, palygorskite was found to be dominant in the soils derived from the Qom Formation, as well as Lower and Upper Red Formations belonging to Miocene and Pliocene. It seems, therefore, that the parent material plays a major role in entering palygorskite to the soil system, while the dry climate mostly guarantees the stability of this clay minerals and, to some extent, its limited neoformation in such soils. Both illite and chlorite occur in all soils throughout the province, regardless of their climate, following no particular trend. This may indicate that parent materials play a major role in the occurrence of these minerals. Both climate and parent material appear to have affected the distribution of expandable clays in the soils. In more humid areas of the province (west and southwest), climate plays a larger role in the distribution of this mineral. In other areas of the study region, especially in the eastern parts of the province with a much drier climate, the role of the parent material on the dominant soil clay minerals is more pronounced.

Keywords: Palygorskite, Isfahan Province soils, Clay minerals, Chlorite

1. Soil Science Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. 84156-83111.

*: Corresponding author, Email: f.khayamim@alumni.iut.ac.ir