

مطالعه بر روی حضور کانی جاروسیت در یک افق شبه سولفوریک در یک خاک اینسپتی سول: مطالعه موردی در جنگل سوزنی برگ سرو زربین، مرزن آباد، استان مازندران

علیرضا صیامی^{۱*}، محسن شکل آبادی^۲

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

alireza.siami1989@hotmail.com

۲- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده

خاک‌های آهکی، که از مواد مادری آهکی تشکیل شده‌اند، به دلیل ویژگی‌هایی نظیر pH بالا، کمبود مواد آلی با تشکیل لایه های سولفوریکی خاک در تناقض هستند. در مطالعه صورت گرفته بر روی این گونه اراضی تحت پوشش گیاهی سوزنی برگ در منطقه مرزن آباد مازندران اقدام به بررسی پتانسیل تشکیل لایه های اسیدی و حداقل شبه سولفوریکی و حضور کانی های سولفات دار به سبب مشاهده رنگ زرد لایه زیرین خاکرخ و استعداد بیشتر این خاک ها به سبب پوشش گیاهی همیشه سبز سوزنی برگ کردیم. در این مطالعه یک خاکرخ شاهد که خصوصیات مورفولوژیکی و رنگ ویژه و متفاوت زرد نسبت به سایر خاکرخ ها داشت انتخاب و تشریح و نمونه برداری و جهت آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی و کانی شناسی به آزمایشگاه انتقال داده شد. نتایج آنالیز ها حکایت از غیر اسیدی و خنثی بودن pH خاک ها مورد مطالعه با مقادیر نسبتا اندک آهن و آلومینیوم پدوزنیک و آمورف می باشد. مقدار کربن آلی قابل قبول بوده است و کربنات کلسیم معادل خاک بالا و در حدود ۴۰ درصد می باشد و طبقه بندی خاکرخ مورد مطالعه در رده خاک های جوان اینسپتی سول قرار گرفت. نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) برغم نتایج آنالیز های شیمیایی بیانگر حضور بالای کانی جاروسیت با پیک ۰/۳۰۸ نانومتر و کانی های اکسید مگنز همچون مانگانیت و رامسدلایت و همچنین وجود کوارتز و کلسیت و نهایتا کانی های غیر بلورین در مقادیر اندک است. به سبب تشکیل و حضور کانی سولفات دار جاروسیت عمده تا در خاک ها و تشکیلات اسیدی حضور آن در خاک مورد مطالعه خارج از پژوهش های تاکنون صورت گرفته است. حضور اکسیدهای مگنز می تواند به وجود شرایط احیایی و رژیم رطوبتی اکوتیک خاک در منطقه و ارتباط معنا دار بین این شرایط و pH خاک در مطالعات سایر پژوهشگران شاید بتوان ارتباط هرچند مبهمی برای تشکیل کانی جاروسیت در یک خاک آهکی برقرار کرد. در نهایت احتمال وجود یک ماده مادری و زمین شناسی متفاوت و خاص در منطقه و عدم مطالعه آن تاکنون به سبب موضعی بودن آن و همچنین شارژ این کانی به خاک جدا از هرگونه فرایند خاکشناختی دلیل دیگری بر حضور کانی جاروسیت باشد.

کلیدواژه‌ها: جاروسیت، کانی شناسی، مانگانیت و رامسدلایت، افق سولفوریک، اینسپتی سول

Investigation on the Presence of Jarosite in a Semi-Sulfuric Horizon of an Inceptisol: A Case Study in the Fir-Dominated Coniferous Forest, Marzanabad, Mazandaran Province

Alireza Siami^{1*}; Mohsen Shekabaladi²

¹ Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

alireza.siami1989@hotmail.com*

² Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Abstract

Calcareous soils, originating from calcareous parent materials, are generally characterized by high pH, which typically contradicts the formation of organic matter horizons and the development of sulfuric soil layers. In a study conducted on such land under fir-dominated coniferous vegetation in the Marzanabad region of Mazandaran, we investigated the potential for acidic and at least sulfuric-like horizon formation and the presence of sulfate minerals. This investigation was prompted by the observation of a distinct yellow color in the subsurface horizon and the increased susceptibility of these soils due to the evergreen coniferous cover.

A representative pedon exhibiting distinct morphological characteristics and a unique yellow hue, differentiating it from adjacent soil profiles, was selected, described, sampled, and transferred to the laboratory for physicochemical and mineralogical analyses. The analytical results indicated that the studied soils were non-acidic to neutral in pH, with relatively low amounts of pedogenic amorphous iron and aluminum oxides. The organic carbon content was acceptable, and the soil exhibited a high equivalent calcium carbonate content, approximately 40%, leading to the classification of the studied pedon within the young soil order, Inceptisols. Despite the chemical analyses, X-ray Diffraction (XRD) results revealed a high presence of the sulfate mineral Jarosite, identified by a characteristic peak at 0.308 nm along with manganese oxide minerals such as Manganite and Ramsdellite. Quartz and Calcite were also present, alongside minor amounts of amorphous minerals. The formation and presence of the sulfate mineral Jarosite are typically associated with acidic soils; therefore, its occurrence in the studied soil is noteworthy and deviates from previous research findings in this context.

The presence of manganese oxides suggests the possibility of reducing conditions and an Aquic moisture regime in the region. A tentative correlation might be established between these conditions and the soil pH, possibly linking them, through connections made in other researchers' studies, to the formation of Jarosite within a calcareous soil. Ultimately, the possibility of an underlying, distinct, and unstudied parent material or specific geological substrate in the region, or the charging of this mineral into the soil independently of any pedogenetic process, could be another reason for the presence of Jarosite.

Keywords: Jarosite, Mineralogy, Manganite and Ramsdellite, Sulfuric Horizon, Inceptisol

۱- مقدمه

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها تا حد زیادی توسط کانی‌های خاک کنترل می‌شود. شناسایی و درک خصوصیات کانی‌های مختلف کمک زیادی به ارزیابی خاک‌ها در ارتباط با طبقه‌بندی خاک و فعالیت زراعی و خصوصیات مهندسی آن‌ها خواهد داشت. خاک‌های آهکی، که از مواد مادری آهکی تشکیل شده‌اند، به دلیل ویژگی‌هایی نظیر pH بالا، کمبود مواد آلی، و محدودیت در دسترس‌پذیری مواد مغذی، اغلب چالش‌هایی را برای بهره‌وری کشاورزی و مدیریت پایدار ایجاد می‌کنند. در این میان، نقش پوشش گیاهی، به‌ویژه گونه‌های همیشه‌سبز مانند سرو زربین (*Cupressus sempervirens*)، در تغییر ویژگی‌های خاک و فرآیندهای تکامل خاک کمتر مورد بررسی سیستماتیک قرار گرفته است. رضاپور و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی خاک‌های مناطق مختلف آذربایجان غربی، نشان دادند که اقلیم و پوشش گیاهی تأثیر قابل‌توجهی بر شاخص‌های تکامل خاک مانند تجمع رس و کانی‌های حاوی اکسیدهای آهن دارند. خاک‌های رده اسپودوسول که عمدتاً در اراضی جنگلی درختان همیشه‌سبز تشکیل می‌شوند و همچنین خاک‌های متأثر از شرایط احیایی به سبب سطح بالای آب زیر زمینی در بین انواع خاک‌ها بیشترین مقادیر کانی‌های آمورف و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم و همچنین کانی‌های احیایی همچون جاروسایت و لپیدوکروسایت را دارا می‌باشند. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که جاروسیت در محدوده پایداری بسیار محدود تشکیل می‌شود و فقط از محلول‌های آبی به‌شدت اسیدی ($pH < 3$) و اکسیدکننده در سامانه‌های گوگرد دار نهشته می‌شود (Baron و Palmer، ۱۹۹۶؛ Bigham و همکاران، ۱۹۹۶). چنین شرایطی در زهکشی‌های اسیدی معادن نسبتاً معمول است (Chapman و همکاران، ۱۹۸۳؛ Alpers و همکاران، ۱۹۸۹، ۱۹۹۲) ولی در دیگر محیط‌های طبیعی زمین به‌سختی تحقق می‌یابد. بنابراین، محیط‌های تشکیل و پایداری کانی جاروسیت در زمین محدودند. در هندوستان، لایه‌های وسیع سولفات‌های آبدار با بازالت‌های هوازده در دامنه‌ی آتشفشانی دکن در منطقه‌ی Matanumadh از ایالت گجرات در غرب هند ارتباط دارند

(Shukla و همکاران، ۱۹۸۳؛ Das Gupta، ۱۹۸۴؛ Chitale و Guven، ۱۹۸۷). در این منطقه، سولفات‌های آبدار مانند ناترالونیت $(\text{NaAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6)$ و کانی‌های رسی مانند کائولینیت پیش‌تر از افق‌های لاتریتی در استان آتشفشانی دکن گزارش شده‌اند (Chitale و Guven، ۱۹۸۷).

تشکیل افق مشخصه سولفوریک گاه‌ها از کانی همچون پیریت در آب‌های راکد تالاب صورت می‌گیرد. که طی یک واکنش ۱۴ مرحله‌ای و در طی آن پیریت در خاک‌هایی با شرایط احیایی و خصوصیات گلی تبدیل به کانی جاروسیت می‌شود. این خاک‌ها که با خاک‌های شوم (cat clay) مرتبط‌اند به شدت اسیدی و سولفات‌ها و با حاصلخیزی بسیار اندک می‌باشند. این قبیل خاک‌ها اکثراً در رسوبات آبرفتی سواحل دریا یا مسیل تشکیل می‌شوند.

هدف از انجام این مطالعه، بررسی حضور کانی جاروسیت در لایه یک خاک با شباهت به افق سولفوریک و شبه سولفوریکی که ذاتاً باید دارای pH اسیدی و گاهی رنگ نارنجی (زرد) حاصل از کانی‌های سولفات‌دار باشند در اراضی تحت پوشش گیاهی همیشه سبز در یک ناحیه با مواد مادری عمدتاً آهکی (مارن) و همچنین بررسی علت و فرضیه حضور و مشاهده این کانی در یک خاک غیر اسیدی است.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور این پژوهش یک خاکرخ شاهد از بین چند خاکرخ حفر و تشریح شده در منطقه مرزن آباد در استان مازندران به مختصات ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه و ۱۵ ثانیه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۹ دقیقه و ۲۴ ثانیه عرض شمالی تحت پوشش گیاهی درختان همیشه سبز از گونه سرو زربین (*Cupressus sempervirens*) و تحت مواد مادری آهکی و سازند مارن و اقلیم نیمه خشک و سرد و با رژیم رطوبتی خاک زریک و حرارتی مزیک که توسط نرم افزار نیوهال تعیین گردید مورد مطالعه قرار گرفت. از خاکرخ شاهد، از هر افق و لایه نمونه جمع‌آوری و جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی شیمیایی و کانی‌شناسی به آزمایشگاه منتقل گردید. در مرحله تجزیه‌های آزمایشگاهی، ویژگی‌های مرسوم خاک از قبیل بافت، واکنش خاک (pH)، کربنات کلسیم معادل خاک، کربن آلی و آهن و آلومینیوم پدوژنیک (عصاره‌گیری شده به روش سیترا-دی تیونیت-بی کربنات) و نهایتاً آهن و آلومینیوم بی‌شکل و آمورف (عصاره‌گیری با اگزالات آمونیوم) طبق دستورالعمل آزمایش ستاد نقشه برداری خاک آمریکا (وزارت کشاورزی آمریکا، ۲۰۲۲) انجام گرفت. شناسایی خاک‌ها، با توجه به نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی و مطالعات صحرایی و براساس نسخه سیزدهم کلید رده‌بندی خاک آمریکایی (USDA Soil Taxonomy) صورت گرفت.

برای انجام آزمایش کانی‌شناسی یک نمونه تهیه شده از لایه آخر خاکرخ شاهد (لایه C) به روش پودری با استفاده از پراش پرتو ایکس (XRD) برند و مدل (PANalytical (XPert PRO MPD) و با لامپ مس مورد مطالعه قرار گرفت و تحلیل و تفسیر کیفی کانی‌شناسی بر اساس تجربه نویسنده و تعیین فاصله لایه ای (d) و با استفاده از معادله قانون براگ در صفحه (۰۰۱) صورت گرفت.

۳- بحث

طبقه بندی خاکرخ مذکور با توجه حضور یک افق ژنتیکی سطحی A (افق مشخصه اکریک ایپی پدون) و یک افق ژنتیکی Bk تحت الارضی (کلسیک) تحت تاثیر نوسانات آب زیر زمینی و شرایط احیایی و نهایتاً لایه انتهایی و زیرین Cgkz (مشاهده کربنات کلسیم و کانی جاروسیت) و رژیم رطوبتی اکوتیک و زریک مطابق با سامانه طبقه بندی خاک آمریکایی در رده اینسپتی سول و تحت رده اکوتپت (Aquept) و گروه بزرگ (Endoaquepts) و زیر گروه Typic Endoaquepts قرار می‌گیرد. سطح فامیل خاک این خاکرخ در زیر آورده شده است:

Fine-loamy, carbonatic, mesic, Typic Endoaquepts

نتایج خصوصیات مورفولوژی، آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی و تصویر این خاکرخ در جداول ۱ و ۲ و شکل ۱ آورده شده است.



شکل شماره ۱- تصویر خاکرخ شاهد مورد مطالعه و لایه های نواری زرد رنگ ناشی از حضور کانی جاروسیت در لایه زیرین خاکرخ

جدول شماره ۱- خصوصیات مورفولوژیکی خاکرخ مورد مطالعه

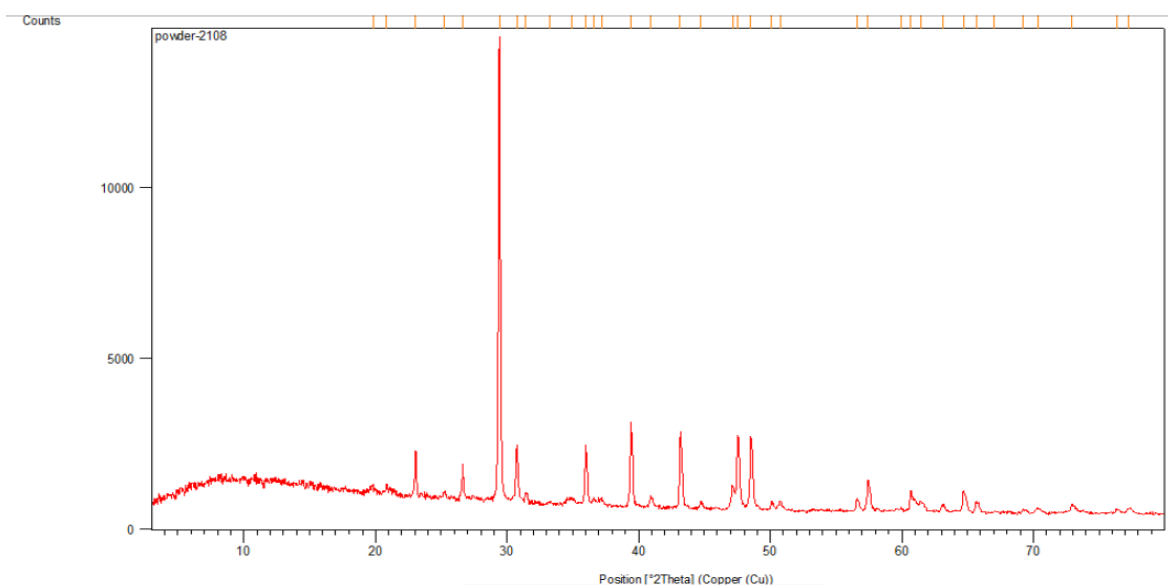
| ملاحظات | ریشه | ساختمان خاک | رنگ خاک | ضخامت (سانتی متر) | افق |
|--|---------------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------|------|
| | متوسط و نسبتاً زیاد | دانه ای و مدور | 10YR5/4 قهوه ای مایل به زرد | ۰-۲۳ | A |
| تجمع آهک پدوژنیک بیش از ۱۰ درصد به فرم پودری و رشته ای | متوسط و ریز کم | مکعبی بدون گوشه | 10YR6/4 قهوه ای مایل به زرد روشن | ۲۳-۷۰ | Bk |
| حضور لکه و لایه های موازی و موجی نارنجی و زرد رنگ و شرایط گلی و احیایی | متوسط و ریز کم | مکعبی بدون گوشه | 2.5Y7/6 زرد | ۷۰-۱۵۰ | Cgkj |

جدول شماره ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ مورد مطالعه

| درصد آلومینیوم پدوژنیک میلی گرم بر لیتر ppm | درصد آهن پدوژنیک میلی گرم بر لیتر ppm | درصد آهک | درصد کربن آلی | pH | کلاس بافت خاک | افق و لایه خاک |
|---|---------------------------------------|----------|---------------|------|---------------|----------------|
| ۱۴/۴۳ | ۳۷/۴۱ | ۴۸/۵۰ | ۴/۷۹ | ۷/۲۲ | لوم | A |
| ۲۳/۱۱ | ۴۷/۷۲ | ۴۹/۴۰ | ۱/۱۸ | ۷/۱۵ | لومی رسی | Bk |
| ۲۸/۴۵ | ۵۶/۵۸ | ۴۹/۳۸ | ۰/۷۴ | ۷/۳۶ | لومی رسی شنی | Cgkj |

بررسی الگوی پراش پرتو ایکس (شکل شماره ۲) لایه سوم خاکرخ مورد مطالعه بیانگر حضور کانی جاروسیت با فاصله لایه ای (پیک ۰/۳۰۸ نانومتر) با شدت و پراکندگی بالا و کلسیت و مانگانیت و رامسدلایت از اکسیدهای منگنز (پیک های ۰/۲۲۸-۰/۱۶۰ نانومتر) کوارتز (پیک ۰/۲۲۸ نانومتر) و اندکی حضور کانی های غیر بلورین آلفان (پیک های ۰/۱۹۱ و ۰/۱۸۷ نانومتر) می باشد. رنگ زرد لایه سوم با توجه به نتایج بدست آمده مربوط به کانی سولفات دار جاروسیت که احتمالا از اکسیداسیون سولفیدها در حضور یون های پتاسیم و سدیم می باشد. طبق بررسی منابع ((خاک های شوم)) دارای مقادیر مواد آلی قابل توجه بوده ولی کربنات کلسیم بر خلاف آنچه ما در این پژوهش یافتیم بسیار جزئی است. فرایند شناخته شده تشکیل این گونه از خاک از سولفات موجود در آب دریا با سولفید هیدروژن و کانی پیریت که در منطقه مورد مطالعه مشاهده نشده است احیا شده و گل سیاه یا آبی رنگی ایجاد می کند که پس از برقراری زهکشی اکسیداسیون سولفات تولید شده که معمولا به سبب حضور اندک کربنات کلسیم در خاک واکنش خاک بسیار کاهش پیدا کرده و لکه های زرد رنگ سولفات کانی جاروسیت در خاک مشاهده و تشکیل میشود. (بایبوردی، ۱۳۸۷)

ش



شکل شماره ۲- الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه لایه سوم و زیرین (لایه Cgkz) خاکرخ شاهد

با توجه به داده های بدست آمده همچون واکنش خاک در محدوده خنثی و حضور بالای کربنات کلسیم (۰/۴۹/۳۸) و تشخیص کانی کلسیت در الگوی پراش پرتو ایکس علت حضور و تشکیل کانی جاروسیت در خاکرخ را باید در عوامل و فرضیه دیگری جستجو کنیم. قرار گیری منطقه مورد مطالعه با مواد مادری مارن آهکی در ناحیه شمالی البرز در استان مازندران و نزدیکی تقریبی به ساحل می تواند آنچه باشد که طبق مطالعه منابع سنتی، مکان مناسب برای تشکیل این کانی ذکر شده است. حال آنکه عدم حضور شرایط اسیدی در منطقه را به نظر میرسد در مقادیر آهن و آلومینیوم و همچنین حضور اکسیدهای منگنز که خود می تواند تحت تاثیر پوشش گیاهی ویژه منطقه و درختان گونه سرو (زربین) جستجو کرد. لایه زیرین و سومی این خاکرخ طبق نتایج بدست آمده از اندازه گیری آهن و آلومینیوم پدوژنیک (خاکساخت) به روش سیترا- دی تیونیت- بی

کربنات بیانگر ۰/۰۰۵۶ درصد آهن و ۰/۰۰۲۸ درصد آلومینیوم می باشند که مقادیر نسبتاً پایینی بوده و نشان دهنده ی تکامل اندک خاک می باشد و همچنین با توجه به مقدار بالاتر آن نسبت به دو لایه بالاتر حتی در مورد مقادیر آهن و آلومینیوم بی شکل و آمورف شاید بتوان تا حدودی آن را تحت تاثیر فرایندهای کلاته شدن توسط مواد آلی حاصل از ریشه درختان سوزنی برگ سرو زربین دانست. تنها احتمال به شرایط اسیدی تر را می توان در حضور کانی های اکسید منگنز (مانگنیت و رامسدالیت) دانست که طبق مطالعات راهب و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی شرایط اکوئیک در خاک رابطه مستقیمی بین مواد آلی و pH خاک بدست آوردن و همچنین این رابطه با حضور شرایط اکوئیک و pH خاک ارتباط معناداری دارد. بنابراین حضور منگنز و کانی های آن در مطالعه کانی شناسی خاک می تواند تا حدودی شرایط اسیدی تر برای حضور کانی جاروسایت در خاکرخ را توجیه کند. حضور این کانی در خاک های غیر آهکی که با نتایج ما مطابقت ندارد را باید در ارائه فرضیه ای همچون عدم مطالعه گسترده بر فرایند های تشکیل کانی جاروسیت در خاک های آهکی ایران دانست. علیرغم مقادیر زیاد کربنات کلسیم معادل خاک مورد مطالعه اما pH خاک هنوز در محدوده خنثی بوده و شرایط قلیایی ویژه ای را فراهم نکرده است و همچنین وجود مواد مادری و سنگ بستری مطالعه نشده دارای ترکیبات این نوع کانی و شارژ آن در خاک جدا از هر گونه فرایند پدوژنیکی را بتوان محتمل دانست.

طبقه بندی خاک این خاکرخ به رغم مشاهده و حضور مقدار بالای کانی سولفات دار و به سبب ظاهر نشدن خصوصیات دیگر همچون pH در محدوده بسیار اسیدی هیچکدام از لایه های این خاک معادل تعریف افق و مواد سولفوریک قرار نمی گیرد و تنها هیو رنگ نارنجی (زرد) خاک و مشاهده پیک مخصوص کانی جاروسیت برای تعریف و قرار گیری در این افق و طبقه بندی خاک کافی نبوده است.

جدا از احتمال خطا در مراحل مختلف که در تمام مطالعات علمی اجتناب ناپذیر است در انتها مطالعه بیشتر بر روی خاک های شناخته شده به نام خاک های شوم یا cat clay که رنگ هایی همچون نارنجی به سبب حاوی بودن از کانی جاروسیت تحت شرایط مختلف به ویژه در ایران با سازند های زمین شناسی عمدتاً مارن و آهکی را پیشنهاد می کنیم.

۴- نتیجه گیری

عدم ارتباط مشخص و مطالعه شده بین حضور یک کانی مخصوص خاک های اسیدی در یک منطقه آهکی را می توان به عدم مطالعه صورت گرفته بر روی ارتباط و فرایندهای ناشناخته دیگر در تشکیل جاروسیت و خاک های اسیدی سولفوریک اشاره کرد و همچنین وجود یک تشکیلات زمین شناسی ویژه با مقادیر بالای کانی مذکور و یا آزاد شدن آن تحت فرایندهای هوازدگی چه فیزیکی و چه شیمیایی را نباید نادیده بگیریم. هرچند نقش پوشش گیاهی ویژه منطقه که از گیاهان غیر بومی ایران است و عمدتاً در عرض های شمالی رشد می کند در انجام فرایند منتهی به حضور کانی جاروسیت را نباید نادیده گرفت.

۵- مراجع

- راهب، ع.، حیدری، ا.، محبی صادقی، م. ج.، ۲۰۱۴. بررسی تأثیر شرایط اکوئیک بر شکل های مختلف آهن و منگنز در خاک های اینسپتی سول زیر کشت برنج و کیوی. "پژوهش های خاک جلد ۲۸، شماره ۲، صفحات ۳۵۱-۳۶۲.
- صیامی، ع.، ۱۴۰۴. مطالعه مدل و شاخص تکامل خاک بر روی تاثیر پوشش گیاهی همیشه سبز با تمرکز بر گونه سرو زربین بر روی یک توالی زیستی و توپوگرافی (topo-biosequenc) در خصوصیات فیزیکی شیمیایی و تکامل خاک تشکیل یافته از مواد مادری آهکی در منطقه مرزن آباد استان مازندران، رساله دکتری، دانشگاه بوعلی سینای همدان، بایبوردی، م.، ۱۳۸۷. خاک: پیدایش و رده بندی، انتشارات دانشگاه تهران،

Alpers, C. N., D. K. Norstrom, and J. M. Buchard (1992), Compilation and interpretation of water-quality and discharge data for acid mine waters at Iron Mountain, Shasta County, California 1940–1991, U.S. Geol. Surv., Water-Resour. Invest. Rep. 91-4160, 173

Alpers, C. N., D. K. Norstrom, and J. W. Ball (1989), Solubility of jarosite solid solution precipitated from acid mine water, Iron Mountain, California, U.S.A, Sci. Géol. Bull., 42, 281–298

Baron, D., and C. D. Palmer (1996), Solubility of jarosite at 4–35°C, Geochim. Cosmochim. Acta, 60, 185–195

Bigham, J. M., U. Schwertmann, S. J. Traina, R. L. Winland, and M. Wolf (1996), Schwertmannite and the chemical modeling of iron in acid sulfate waters, Geochim. Cosmochim. Acta, 60, 2111–2121

Chapman, B. M., D. R. Jones, and R. F. Jung (1983), Processes controlling metal ion attenuation in acid mine drainage streams, Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 1957–1973

Chitale, D. V., and N. Guven (1987), Natroalunite in a laterite profile over Deccan Trap basalt at Matanumadh Kachchh India, Clays Clay Miner., 35, 196–202

Das Gupta, S. K. (1984), Bauxite and aluminum ore resources in India, in Bauxite, edited by L. Jacob, pp. 451–485, Am. Inst. Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., New York

.Dixon, J.B. , and Schulze , D.G(2002) , Soil Mineralogy with Environmental Applications

Shukla, R. T., K. S. Balasubramaniam, and N. Madhukara (1983), Paleoenvironment, stratigraphy and genesis of bauxite deposits of Gujarat state, India, in Proceedings of the 2nd International Seminar on Lateritisation Processes, edited by A. J. Melfi and A. Carvalho, pp. 209–224, I.A.G.C., Silo, Paulo, Brazil