



IRANIAN SOCIETY of
CRYSTALLOGRAPHY
and MINERALOGY

No. 2, 1386/2007 Fall & Winter

IRANIAN JOURNAL of
CRYSTALLOGRAPHY
and MINERALOGY

A survey of the thermodynamic of evaporate salts in one of the Yazd playas based on a ground sampling and remote sensing

Mohammad Akhavan Ghalibaf¹, Amir Hosein Kohsary²

1- Soil Sciences (Mineralogy), yazd University

2- Mining Dept., Yazd University

Email: makhavan@yazduni.ac.ir

(Received:9/4/2006, received in revised form:31/5/2007)

Abstract: This study was done in the wet marginal part of the Siahkooch playa (Kevir) in Yazd, Iran, which is located in the northwest of Ardakan. The abundance of Ca and SO₄ ions led to gypsum crystallization near the water table in the soil. From depth to the soil surface, the CaCO₃- CaSO₄ · 2H₂O -NaCl-H₂O-PCO₂ soil and water system change to CaSO₄ · 2H₂O-Na₂SO₄-NaCl- H₂O. From water table (100cm under soil surface) to the soil surface, ionic power was decreased and activity coefficient was increased respectively. Therefore, near ground table, gypsum form and high concentration of Ca ions from gypsum lead to low amounts of exchangeable Na. This influence has been continued up to soil surface to achieve a relative balance. Replacement of Na with Ca on the exchangeable surfaces of soil and existence of SO₄ ions formed NaSO₄ minerals. The precipitation of 1800ton per hectare sodium salts(sulfatic & coloridic) was estimated with respect to the mean of annual evaporation (roughly 900mm) in the studied site. The result also showed that the seventh bands of Landsat 7 are more important to differentiate between sulfate and chloride salts as well as sodium and calcium salts.

keywords: *Evaporate salts - Thermodynamic - Sulfate salinity type.*



انجمن باغبانان و کانی شناسان ایران

شماره ۲، پاییز و زمستان ۸۶، از صفحه ۴۰۱ تا ۴۱۲

مجله
بلور شناسی
و کانی شناسی
ایران

بررسی ترمودینامیکی نمکهای تبخیری در یکی از گودالهای نمکی استان یزد با نمونه برداری های زمینی و دور سنجی

محمد اخوان قالیباف^۱، امیر حسین کوهساری^۲

۱- رشته علوم خاک (کانی شناسی)، دانشگاه یزد

۲- دانشکده معدن، دانشگاه یزد

پست الکترونیکی: makhavan@yazduni.ac.ir

(دریافت مقاله ۱۳۸۵/۱/۲۰، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۶/۳/۱۰)

چکیده: این کار پژوهشی در حاشیه مرطوب گودالهای نمکی (کویر) سیاه کوه یزد در شمال غرب شهرستان اردکان انجام گرفت. غالب بودن یونهای کلسیم و سولفات منجر به تبلور گچ در نزدیکی سطح آب زیر زمینی در خاک شده است. از عمق و نزدیک سطح آب زیر زمینی تا سطح خاک سیستم آهک - ژپس - کلرورسدیم - آب و فشار گاز دی اکسیدکربن ($\text{CaCO}_3\text{-CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O-aCl-H}_2\text{O-PCO}_2$) به سیستم ژپس - سولفات سدیم - کلرور سدیم و آب ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O-Na}_2\text{SO}_4\text{-NaCl-H}_2\text{O}$) تغییر می یابد. نتایج حاصل نشان می دهد که از عمق یک متری و نزدیک به سطح آب زیر زمینی تا سطح خاک، به تدریج میزان قدرت یونی کاهش یافته و ضریب فعالیت یونها افزایش می یابد. از این رو در نزدیکی سطح ایستابی افزایش غلظت مولار یونهای کلسیم حاصل از گچ منجر به افزایش میزان کلسیم تبدالی و محلول و کاهش سدیم تبدالی در سیستم شده که این تاثیر تا سطح خاک ادامه یافته تا به تعادل نسبی نزدیک شود. جابه جایی کلسیم به جای سدیم روی سطوح تبدالی و وجود سولفات در فاز آبی تشکیل کانی های سولفات سدیم را به دنبال دارد که سرعت ته نشینی کانی های سدیمی (سولفاتی - کلریدی) با توجه به میانگین تبخیر سالانه ۹۰۰ میلیمتر در ناحیه مورد مطالعه ۱۸۰۰ تن در هکتار در سال برآورد می شود. همچنین نتایج به دست آمده نشان داد که نوار ۷ لندست ۷ قابلیت بیشتری در تفکیک کانی های تبخیری سولفاتی از کلریدی و نیز کانی های سدیمی از کلسیم را دارد.

واژه های کلیدی: نمکهای تبخیری- ترمودینامیک- نوع سولفاته شوری.

مقدمه

گودالهای نمکی سیاه کوه در واقع حوضه بسته جریانهای سطحی و زیر زمینی حوضه آبخیز گودالهای نمکی سیاه کوه است که سازندهای زمین‌شناسی قدیم تا جدید را در بر گرفته است. سطح کل حوزه آبریز سیاه کوه حدود ۸۶۲۰ کیلومتر مربع است که از این مقدار ۸۲۵ کیلومتر مربع آن را نهشته‌های تهنشستی گودالی در بخشهای پست در بر گرفته است [۱]. تشکیل گودالهای نمکی مورد مطالعه به میوسن و شکل گیری آن به شکل امروزی به حرکات زمین ساختی پلیوسن - پلیوستوسن نسبت داده شده است [۲]. به طوریکه در طول دوره کوترنری فرایندهای با خاستگاه سنگی (با حفظ خصوصیات مواد آواری و سنگ مادری اولیه) با فرسایش آبی - بادی و فعالیت‌های انسانی موجب تغییر ریخت‌شناسی گسترده مورد مطالعه شده است [۲]. از نظر زمین ریخت‌شناسی واحد گودالهای سیاه کوه دارای سه نوع ناهمواری است که عبارتند از: ۱- نوع جلگه‌ای رسی ۲- نوع حاشیه‌ای مرطوب، و ۳- نوع کویری. با توجه به فراوانی نمکهای تبخیری نظیر کلرور سدیم و گچ در ته نشستها، و قابلیت جابه جایی آنها در آبهای سطحی خاستگاه شهابسنگی یا جوی برای شورابه‌ها پیشنهاد شده است [۱]. از نوع جلگه‌ای رسی تا انواع حاشیه‌ای مرطوب و کویری به ترتیب در صد املاح محلول در آب از حدود ۲ درصد تا بیش از ۵۰ درصد افزایش می‌یابد، و نوع انیونی نمکی در سطح اراضی از کلریدی سولفاتی ($Cl/SO_4=1-2$) تا کلریدی ($Cl/SO_4 > 2$) در شیرابه‌های با نسبت یک برابر تهنشست و پنج برابر آب) تغییر می‌کند و نوع کاتیونی در همان شیرابه بیشتر سدیمی ($Na/Ca+Mg > 2$) است [۳]. از نظر هیدروشیمیایی شورابه‌های گودالهای مورد مطالعه از نوع شورابه‌های با آنیونهای غالب کلرور، سولفات، بی‌کربنات، کربنات، و کاتیونهای غالب سدیم - کلسیم - منیزیم و پتاسیم است. با فراوانی سیستم سولفات کلسیم و کلرور سدیم در آبهای زیر زمینی گودالهای نمکی مورد مطالعه در نوع حاشیه‌ای مرطوب امکان تشکیل کانی‌های با ارزش اقتصادی نظیر سولفات سدیم روی سطوح آن اراضی وجود دارد [۳، ۴، ۵، ۶]. از آنجا که شکل کانی تشکیل شده و نوع آن مربوط به عوامل متعددی نظیر شرایط ترمودینامیکی محیط - ثابت‌های تهنشستی نمکهای کم محلول - حلالیت نسبی ترکیبات حدواسط و نیز شرایط تبادل‌های یونی بر سطوح رسی است [۷] شناسایی موقعیت پیدایش آنها را دشوار می‌نماید. ابزار سنجش از دور با تعیین ویژگیهای طیف‌های بازتابشی الکترومغناطیسی و ثبت آنها با سنجنده‌های ماهواره‌ای می‌تواند در تکمیل مطالعات پی جویی کانی‌های تبخیری با ارزش، به ویژه در مناطق کویری موثر، واقع شود [۸]. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص ارتباط مناطق با خاکهای شور و تصاویر ماهواره‌ای، ویژگیهای ریخت‌شناسی سطوح تبخیری، شیمی شورابه‌ها از جنبه‌های پی - جویی و برآورد ذخایر نمکهای تبخیری نظیر سولفات سدیم در ایران انجام گرفته است [۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲]. ابراهیم مقیمی [۱۰]، در توصیف چگونگی ریخت‌شناسی کویر مزد آباد که

در شرق اردستان واقع شده است به اشکال گل کلمی در حاشیه کویر و محل تبلور نمکها اشاره دارد. فریدون قدیمی عروس محله [۱۱] به وجود سولفات سدیم در بخش اراضی پست حوزه آبریز کویر میقان اراک اشاره می‌کند. در پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور [۱۲] به شورابه‌های حاوی کلروها و سولفات‌ها و وجود سولفات در ته‌نشستهای آبرفتی کواترنر جنوب سمنان اشاره دارد. در این کار پژوهشی با بررسی‌های میدانی و نمونه برداری از نمکهای تبخیری تشکیل شده بر سطوح خاکهای شور و شوره زارها و همزمان مقایسه رفتارهای طیفی بازتابشی آن موقعیت‌ها سعی شده است تا روابط بین نوع کانی‌های تبخیری، رفتارهای ترمودینامیکی آنها در منطقه مورد مطالعه و داده‌های ماهواره‌ای را بررسی کند.

روش کار

پس از انتخاب ناحیه‌ای در حاشیه جنوب غربی کویر سیاه کوه در نوع ناهمواری حاشیه مرطوب روی ته نشستهای آبرفتی کواترنر با تعیین پارامترهای توپوگرافی مانند درصد شیب، راستاهای جغرافیایی و ارتفاع، مناطق مشابه با روش سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی [۶] شناسایی شدند (شکل ۱). نواحی مورد بررسی با کد سه رقمی که از چپ به راست بیانگر ارتفاع، راستا، و شیب است تفکیک شدند. در شکل ۲ یک ترکیب نواری ۷-۴ و ۱ از تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ مربوط به بهار سال ۲۰۰۰ میلادی به همراه لایه شبکه مطالعاتی از همان موقعیت نشان داده شده است. این ترکیب نواری در رنگ‌های سه گانه سرخ، سبز و آبی دارای رنگی شبیه به وضع ظاهری ناحیه مورد بررسی است.

شبکه مطالعاتی به گونه‌ای در نظر گرفته شد که قاعده آن به سمت مرکز کویر سیاه کوه (کویر اردکان) و راس آن به سمت حاشیه کویر (نوع ناهمواری جلگه‌ای رسی) است. از تمامی موقعیت‌های کدگذاری شده، از خاک سطحی تا عمق ۲۰ سانتیمتری نمونه برداری شد. آنیون‌ها و کاتیون‌های شیرابه نمونه‌های خاک به نسبت ۱ به ۵ خاک و آب اندازه‌گیری شدند. نسبت یون کلرید به یون سولفات برای آگاهی از نوع آنیونی، و نسبت سدیم به مجموع کلسیم و منیزیم برای شناسایی نوع کاتیونی در موقعیت‌های کدگذاری شده تعیین شدند. نوار ۷ از ماهواره لندست ۷ را که همبستگی بیشتری با انواع آنیونی و کاتیونی داشت، برای رده بندی ناحیه‌ای مورد مطالعه، استفاده شد. برای مطالعه تکمیلی از موقعیت‌هایی که بیشتر سولفات‌ها بودند و یا نسبت کلر به سولفات کمتری را نشان می‌دادند برای بررسی محیط‌های تشکیل سولفات سدیم استفاده شد. از موقعیت‌های مورد نظر ترانسه و نیمرخ خاک حفاری صورت گرفت. ترانسه به عمق ۲ متر و طول ۱۰ متر و نیمرخهای خاک با ابعاد ۲ متر در یک متر و با عمق ۱ الی ۲ متر حفر شدند. موقعیت نیمرخ شاهد در مختصات طول ۵۳ درجه و ۴۹ دقیقه و ۱۰ ثانیه شرقی و عرض ۳۲ درجه و ۳۹ دقیقه و ۴۰ ثانیه شمالی قرار دارد. پس از مطالعه

چگونگیهای ریخت‌شناسی مقاطع ظاهری لایه‌های خاک نظیر رنگ مانسل - ساختار - بافت و شکل ظاهری تبلورکانی‌ها نظیر ژپس و کلوروسدیم و تفکیک افق‌های خاک، نمونه برداری شد. باز تابش نوارهای مختلف ماهواره لندست ۷ در موقعیت‌های همگن مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و برای بررسی ارتباط آماری آن با پدیده‌های فیزیکی زمین و ویژگیهای شیمیایی نمکها استفاده شد. از نمونه‌های خاک پس از خشک کردن در دمای آزمایشگاه کار آماده‌سازی و شیرابه گیری با آب مقطر به نسبت ۵:۱ خاک و آب انجام گرفت. میزان کاتیونها و آنیونهای غالب در فاز آبی نظیر کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم، و نیز کربنات، بی‌کربنات، سولفات و کلراید به روش‌های معمول آزمایشگاهی (کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری - سدیم و پتاسیم فلیم نور سنجی - سولفات، توربودیمتری و کلر به روش مور) اندازه‌گیری شد. در نمونه‌های خاک درصد گچ با روش آنالیز گرمایی DTA و مقایسه با درصد گچ به صورت نیمه کمی، و گچ با تعیین مقدار سولفات (پس از انحلال گچ) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه قدرت یونی در فاز آبی رابطه زیر مورد استفاده قرار گرفت.

$$I = 1:2000 \sum_{i=1}^m [Z_i] C_i \quad (1)$$

به Z_i و C_i تعداد یونها و m قدرت یونی بر حسب کیلو مول بر مترمکعب است. I که در آن ترتیب بار و غلظت یونها بر حسب میلی هم ارز بر لیتر است.

برای محاسبه ضریب فعالیت یونها از رابطه دبا - هاکل تعمیم یافته [۱۳] استفاده شد:

$$\gamma = \gamma_i^{z_i^2} \quad \log \gamma = -A \sqrt{I} / (1 + B \sqrt{I}) + bI \quad (2)$$

در رابطه بالا γ ضریب فعالیت، γ_i ضریب فعالیت یون مورد نظر و z_i^2 بار الکتریکی یون مورد نظر به توان دو، و A ، B ، و b تابع دما بوده که در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد برابر است با:

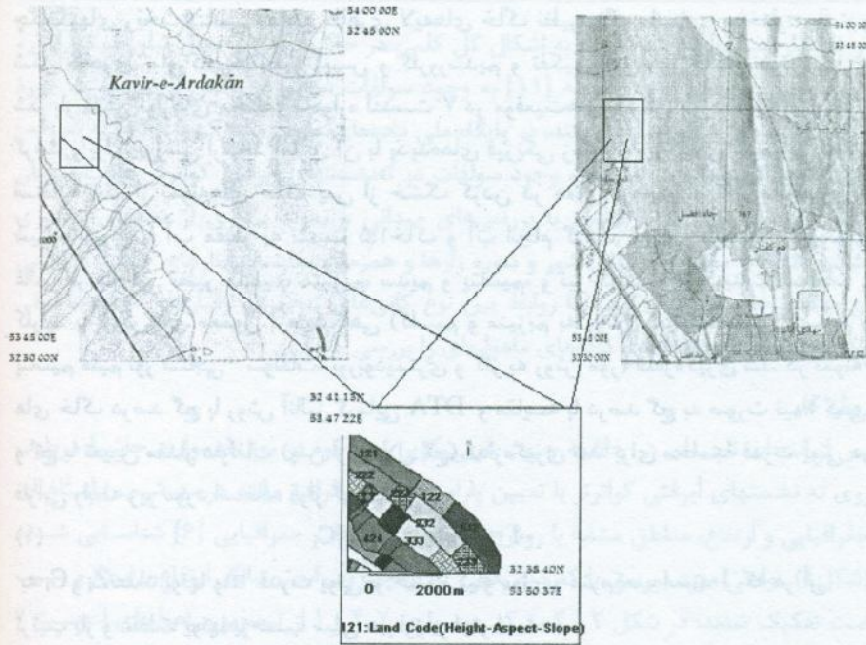
$$A = 0.809, B = 1.075, b = 0.054$$

به منظور بررسی چگونگی تعادل در سیستم‌های موجود در فازهای آب و خاک، از روابط پایستگی جرم و روابط تعادلی و حلالیت آنها استفاده شد [۱۳].

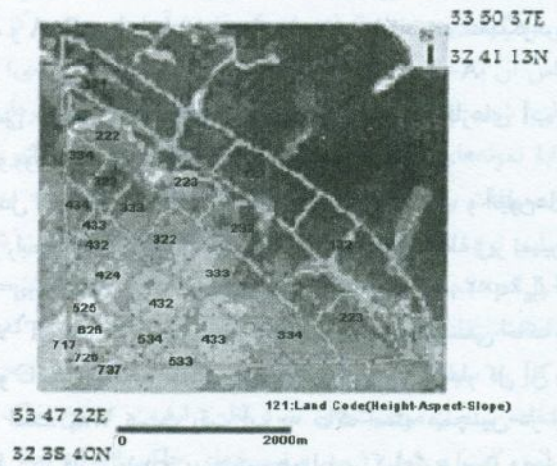
از آنجا که در مدل مورد بررسی کاتیون‌های اصلی سدیم، کلسیم، و آنیون‌های اصلی سولفات و کلراید است، در رابطه پایستگی جرم مقادیر کل آنها را مطابق رابطه زیر تعیین کردیم.

$$T_{Ca} = sCa + \zeta_g \times q \times 2; T_{SO4} = \zeta_g \times q \times 2; T_{Cl} = C_{Cl} W / \zeta; T_{Na} = C_{Na} W / \zeta$$

که در روابط بالا T مقدار کل یونها در فازهای کلوتیدی و ته نشستی خاک بر حسب هم ارز بر کیلوگرم است و C نشان دهنده غلظت یونها در فاز آبی، و T مقدار کل آن بر حسب هم ارز بر کیلوگرم خاک است. W/ζ نسبت رقت آب به خاک است. همچنین در این روابط s میزان کاتیونهای تبادل در فاز کلوتیدی بر حسب هم ارز بر کیلوگرم است و ζ_g ضریب تبدیل یک کیلوگرم ژپس به مولهای کلسیم و سولفات است که هم ارز ۵/۸۱ مول است و q برابر با مقدار گچ بر حسب کیلوگرم گچ در کیلوگرم خاک است.

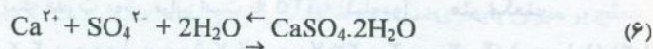
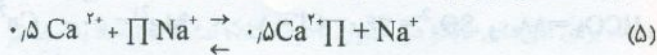


شکل ۱ موقعیت شبکه مطالعاتی (شکل پایینی) با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه زمین‌شناسی نظیر آن (بالا سمت چپ) و توپوگرافی نظیر آن (بالا سمت راست) با مقیاس‌های اولیه ۱:۲۵۰۰۰۰.



شکل ۲ ترکیب نواری ۷-۴ و ۱ از لندست ۷ سال ۲۰۰۰ که نزدیک به چگونگی دیداری ناحیه مورد مطالعه است و شبکه‌های از واحدهای همگن تفکیک شده و به رنگ سبز دیده می‌شود.

روابط تبادلی یونی و حلالیت و ته نشست گچ را می توان در رابطه زیر خلاصه کرد:



که در آن II سطح تبادلی کلونیدهای خاک با بار منفی است.

ثابت حلالیت گچ از رابطه.

$$k_g = a_{\text{Ca}^{2+}} \times a_{\text{SO}_4^{2-}} \times a_{\text{H}_2\text{O}}^2 \quad (7)$$

محاسبه شده روابط تعادلی را با توجه به ثابت حلالیت گچ و رابطه گاپون می توان چنین خلاصه

کرد:

$$S_{\text{Na}}/S_{\text{Ca}} = k'_{\text{Ca-Na}} \gamma_{\text{Na}} C_{\text{Na}} / \sqrt{\gamma_{\text{Ca}} C_{\text{Ca}}} \quad (8)$$

$$k_g = \gamma_{\text{Ca}^{2+}} \times \gamma_{\text{SO}_4^{2-}} \times C_{\text{Ca}^{2+}} \times C_{\text{SO}_4^{2-}} \quad (9)$$

ضریب فعالیت برای هر یک از یونها معادل است با:

$$\gamma_{\text{Ca}} = \gamma_i^4; \gamma_{\text{SO}_4} = \gamma_i^4; \gamma_{\text{Na}} = \gamma_i$$

از رابطه پایستگی جرم یونهای کلسیم و سولفات و حلالیت گچ می توان نوشت:

$$F = T'_{\text{Ca}} - T'_{\text{SO}_4} - (C_{\text{Ca}} - k_g/C_{\text{Ca}}) W/\zeta - (T_{\text{Na}} - T_{\text{Cl}}) - S(1 - Y_{\text{Na}}) = 0 \quad (10)$$

که در آن F چگونگی تعادلی را با نزدیک شدن به صفر نشان می دهد که در آن Y_{Na} نسبت سدیم تبادلی است و T'_{SO_4} و T'_{Ca} به ترتیب کل سولفات ذخیره از انحلال گچ و کل کلسیم تبادلی در فاز کلونیدی و ذخیره از انحلال گچ را نشان می دهد.

بررسی نتایج

شکل ۳ با توجه به روابط آماری بین نسبتهای کلر به سولفات و مقادیر عددی نوار ۷ لندست ۷ و رده بندی تصویر با نسبت کلر به سولفات به دست آمد. به طوری که در تصویر دیده می شود، از جلگه رسی به سمت کوپر نوع نمکها از کلریدی به کلریدی سولفاتی تغییر می کند و در حاشیه مرطوب به نوع سولفاتی میل می کند. شکل ۴ به روش مشابه شکل ۳ تصویر با نسبت سدیم به کاتیونهای دوظرفیتی رده بندی شده است. در شکل ۴ نوع غالب کاتیونی، سدیمی است که در دوسوی حاشیه مرطوب و مرکز گودالهای نمکی دیده می شود ولی در پیوندگاه گودالها و حاشیه در زون مرطوب می توان تغییراتی چون پیدایش انواع سدیمی کلسیمی و سدیمی منیزیمی را نیز مشاهده نمود. جدولهای ۱، ۲ و ۳ کمیت های شیمیایی و فیزیکی - شیمیایی اندازه گیری شده را در نمونه های شیرابه آب و خاک و نمونه های خاک را در حاشیه مرطوب نشان می دهد. به منظور محاسبه قدرت یونی از رابطه یک استفاده شد. برای مثال با

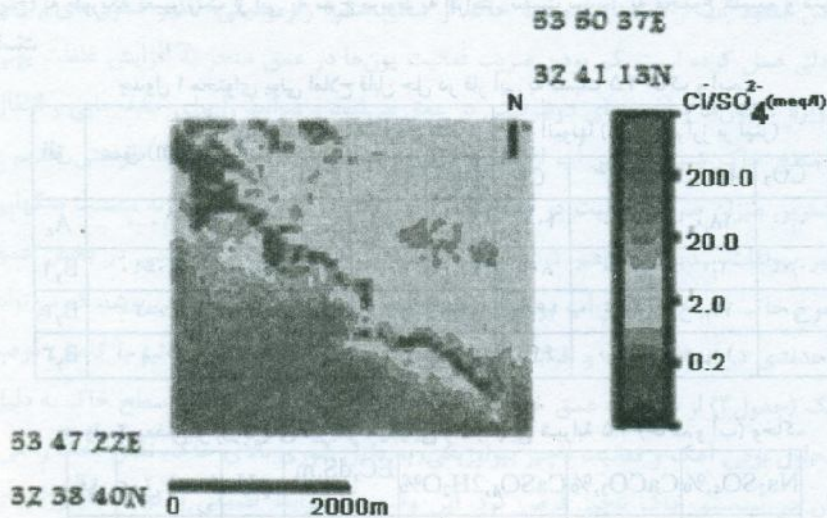
توجه به نتایج محتوای یونی شیرابه خاک در جدول یک و افق A_z شامل مقادیر: $\text{Na}^+ = ۴۰/۲$ ، $\text{K}^+ = ۰/۲$ ، $\text{Ca}^{2+} = ۷۰/۰$ ، $\text{Mg}^{2+} = ۵۰/۰$ ، $\text{Cl}^- = ۱۰۰/۰$ ، $\text{SO}_4^{2-} = ۳۶/۰$ ، و $\text{HCO}_3^- = ۱۸۰/۰$ بر حسب میلی هم ارز بر لیتر قدرت یونی برابر است با: $۰/۲۳۵$ کیلومول بر متر مکعب.

$(۱:۲) = (۱:۱۰۰۰) (۴۰/۲ + ۰/۲ + ۲ \times ۷۰/۰ + ۲ \times ۵۰/۰ + ۱۰۰/۰ + ۲ \times ۳۶/۰ + ۱۸۰/۰) = ۰/۲۳۵$

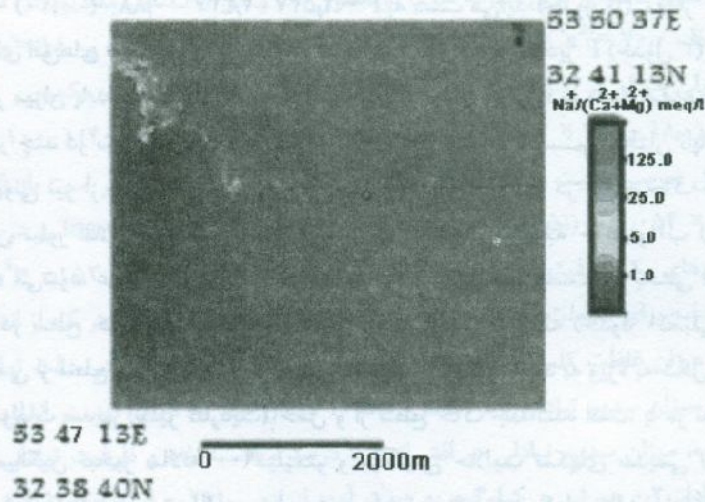
برای مثال ضریب فعالیت با قدرت یونی $۰/۲۳۵$ کیلومول بر مترمکعب برابر است با $۰/۱۴۹$ -

$\log \gamma = -۰/۵۰۹ \sqrt{۰/۲۳۵}$ ؛ و در نتیجه $\gamma = (۰/۱۰۵۴ \times ۰/۲۳۵) + (۱ + (۱/۰۷۵ \times \sqrt{۰/۲۳۵})) = ۰/۲۵۲$ خواهد بود. برای یون‌های یک ظرفیتی برابر $۰/۷۰۸$ و برای یون‌های دو ظرفیتی برابر $۰/۲۵۲$ خواهد شد. در ادامه برای سهولت محاسبه از غلظت به جای فعالیت استفاده شد. هر گاه از اندازه‌گیری مستقیم میزان غلظت کلسیم را بدست آوریم و در رابطه ۱۰ قرار دهیم در حالت تعادل و در ارتباط با میزان سدیم تبدیلی باید حاصل رابطه ۱۰ معادل صفر به دست آید. در اندازه‌گیری به عمل آمده، میزان سدیم تبدیلی در افق B_{y3} ۵ درصد محاسبه شد و ظرفیت تبدیلی کاتیونی خاک معادل $۰/۲$ هم ارز بر کیلوگرم به دست آمد. از این رو $S(1 - ۰/۲) = ۰/۱۹$ است. برای محاسبه $W/C (C_{Ca} - k_g / C_{Ca})$ در رابطه ۱۰ که تعادل یونها را با حاصل ضرب حلالیت گچ نشان می‌دهد، نخست ثابت ته نشستی گچ ($k_g = ۲ \times ۱۰^{-4}$) را بر میزان غلظت مولار کلسیم جدول یک تقسیم کرده و حاصل را پس از تبدیل یکا به هم ارز از میزان کلسیم کسر کرده و سپس ضریب رقت شیرابه را که برابر ۵ بود برای تبدیل یکای هم ارز بر لیتر به هم ارز بر کیلوگرم در آن تاثیر دادیم. این مقدار در این افق برابر است با $۰/۸۸۰$ هم ارز بر کیلوگرم خاک. مقدار یون کلرید کل از جدول یک و با تبدیل یکا برابر است با $۰/۳۲$ هم ارز بر کیلوگرم خاک و از آنجا که میزان یون کلرید بیشتر در تعادل با یون سدیم بود و از کلرور سدیم به سیستم وارد می‌شود، تفاضل آن را از میزان یون سدیم بر حسب هم ارز بر کیلوگرم خاک به دست می‌آوریم که برابر است با $۰/۳۰$. از آنجا که میزان یون سولفات ذخیره که می‌تواند از گچ آزاد شود به ازای هر کیلوگرم گچ $۵/۸۱$ مول است و با توجه به جدول ۲ و مقدار $۲۰/۲$ درصد گچ در این افق، این میزان سولفات برابر خواهد شد با $۱/۱۷۴$ مول بر کیلوگرم خاک $۱/۱۷۴ = ۰/۲۰۲ \times ۵/۸۱$ یا $۲/۳۴۷ = ۱/۱۷۴ \times ۲$ هم ارز بر کیلوگرم است. با فرض و نسبت دادن باقیمانده کاتیون‌های تبدیلی به کلسیم، مقدار کلسیم تبدیلی برابر خواهد شد با $۰/۱۹$ یا $۰/۱۹ \times ۰/۲ = ۰/۰۹۵$ هم ارز بر کیلوگرم خاک و مقدار کلسیم ذخیره شده، با توجه به جدول ۲ و میزان گچ در این افق برابر با $۲/۳۴$ هم ارز بر کیلوگرم است. در نتیجه مقدار کل کلسیم تبدیلی و ذخیره برابر است با $۲/۵۳۲$ هم ارز بر کیلوگرم خاک یا $۲/۵۳۲ = ۰/۱۹ + ۲/۳۴۷$. با توجه به مقادیر به دست آمده، رابطه ۱۰ مقدار F برای این افق معادل $۰/۵۸۰$ یا $-۰/۵۸۰ =$

۰۰۱۹۰ (-۰/۳۰) - ۰/۸۸ - ۲/۳۴۷ - ۲/۵۳۷ = F به دست می‌آید (جدول ۳). مقدار F محاسبه شده برای افق‌های دیگر در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به مقادیر F (جدول ۳) از عمق تا سطح بر میزان پایداری سیستم اضافه می‌شود و یا به عبارت دیگر F به مقدار صفر نزدیک می‌شود، هر چند در سطح نیز همچنان تعادل کامل برقرار نشده و سیستم همچنان ناپایدار است. قدرت یونی نیز از عمق به سطح نیمرخ کاهش یافته و از این رو در سطح خاک در افق A بیشترین تبلور املاح و بیشترین مقدار رسانندگی الکتریکی شیرابه خاک و آب (جدول ۲) مشاهده می‌شود. عدم پایداری کامل در سطح خاک به این دلیل است که بخشی از نمکهای حاصل در سطح خاک باقی ماند که با میزان ناچیز بارندگی سالیانه (حدود ۵۰ میلی متر) در عمق کمی از سطح جابجا می‌شود، و بخشی دیگر از املاح توسط باد به ویژه به شکل کانی‌های آبدار سولفات سدیم (نظیر تناردیت) حمل و از سطح خاک جدا شده است. با در نظر گرفتن مقدار میانگین تبخیر سالانه ۹۰۰ میلی‌متر و میانگینی حلالیت نمکهای سدیمی (سولفاتی - کلریدی) ۲۰۰ گرم در لیتر [۴] می‌توان رقم ۱۸۰۰ تن پتانسیل نمکهای جابه جا شده و انتقال یافته به سطح خاک را در سال و در یک هکتار در حاشیه کویر سیاه کوه اردکان برآورد کرد.



شکل ۳ تصویر رده‌بندی شده از نوار هفت ماهواره لندست ۷ بر حسب همبستگی آماری با نسبت یون کلرید به یون سولفات برحسب میلی هم ارز بر لیتر در شیرابه خاک و آب (یک به پنج) به طوری که تغییر رنگ از آبی به سرخ مربوط به افزایش نسبت یون کلرید به یون سولفات است.



شکل ۴ تصویر رده‌بندی شده از نوار هفت ماهواره لندست ۷ بر حسب همبستگی آماری با نسبت یون سدیم به مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم بر حسب میلی هم ارز بر لیتر در شیرابه خاک و آب (یک به پنج) به طوریکه تغییر رنگ از آبی به سرخ مربوط به افزایش نسبت سدیم به مجموع کلسیم و منیزیم است.

جدول ۱ محتوای یونی املاح قابل حل در فاز آبی به نسبت ۱:۵ خاک و آب.

آنیونها (میلی هم ارز بر لیتر)				کاتیونها (میلی هم ارز بر لیتر)				عمق (cm)	افق
CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Mg^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+		
۰٫۰	۱۸٫۰	۳۶٫۰	۱۰۰٫۰	۵۰٫۰	۷۰٫۰	۰٫۲	۴۰٫۲	۱۰-۰	A_2
۰٫۰	۲٫۰	۷۴٫۰	۸۰٫۰	۴۴٫۰	۸۰٫۰	۰٫۰	۳۰٫۸	۳۰-۱۰	B_{y1}
۰٫۰	۱۲٫۰	۱۰٫۰	۱۶۸٫۰	۱۶٫۰	۱۶۸٫۰	۰٫۰	۶٫۲	۶۰-۳۰	B_{y2}
۰٫۰	۱۰٫۰	۱۲۰٫۰	۶۴٫۰	۲۴٫۰	۱۸۰٫۰	۰٫۰	۴٫۰	۶۰-۱۰۰	B_{y3}

جدول ۲ بعضی از ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و شیمیایی شیرابه ۱:۵ (خاک و آب) و خاک.

$\text{Na}_2\text{SO}_4, \%$	$\text{CaCO}_3, \%$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}, \%$	$\text{EC}_d, \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$	pH	عمق (cm)	افق
۲۲٫۰	۲۲٫۰	۲٫۵	۶۲٫۲۰	۸٫۰۳	۱۰-۰	A_2
۹٫۰	۱۸٫۰	۵٫۲	۱۵٫۰۶	۸٫۲۲	۳۰-۱۰	B_{y1}
۲٫۰	۱۵٫۰	۸٫۵	۳٫۷۵	۸٫۰۳	۶۰-۳۰	B_{y2}
۰٫۲	۱۴٫۰	۲۰٫۲	۳٫۲۰	۷٫۷۰	۱۰۰-۶۰	B_{y3}

جدول ۳ قدرت یونی (I) و ضریب فعالیت (γ) بعضی از یونها در فاز آبی (۱:۵) خاک.

F	$I, \text{kmol.m}^{-3}$	γ_{Na^+}	$\gamma_{\text{SO}_4^{2-}}$	$\gamma_{\text{Ca}^{2+}}$	عمق (cm)	افق
۰,۰۰۵	۰,۲۳۵	۰,۷۰۸	۰,۲۵۲	۰,۲۵۲	۱۰-۰	A _z
-۰,۰۹۹	۰,۲۵۴	۰,۷۰۴	۰,۲۴۵	۰,۲۴۵	۳۰-۱۰	B _{y1}
-۰,۰۰۶	۰,۲۸۷	۰,۶۹۶	۰,۲۳۴	۰,۲۳۴	۶۰-۳۰	B _{y2}
-۰,۵۸۰	۰,۳۷۳	۰,۶۸۰	۰,۲۱۴	۰,۲۱۴	۱۰۰-۶۰	B _{y3}

برداشت

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان چنین جمع‌بندی کرد که در نوع جلگه‌ای رسی و در حاشیه مرطوب گودالهای نمکی به دلیل افزایش میزان رس و سیلت در خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت تبادلات کاتیونی شرایط برای جداسازی کاتیونها از نمکهای محلول و ته نشست دوباره نمکها فراهم می‌شود. فضاها بین خاکدانه‌های رسی با خلل و فرج ریز خود با فراهم کردن صعود آب از فضاها موینه خاک از سطح سفره زیر زمینی، نظیر ستون‌های رزینی تبدلی عمل کرده است. کم بودن ضریب فعالیت یون‌ها در عمق منجر به افزایش غلظت یونی به ویژه کاتیون‌ها و آنیون‌های دو ظرفیتی در عمق می‌شود و شرایط را برای جابه جایی و انتقال به سطح خاک ضمن تبخیر آب از سطح خاک فراهم می‌آورد. کاتیون یک ظرفیتی سدیم با بیشترین میزان ضریب فعالیت در سطح خاک در رقابت با کلسیم، شرایط ته نشست نمک‌هایی نظیر سولفات سدیم را فراهم کرده است. در نزدیکی سطح، آب زیر زمینی در بخش عمق نیمرخ خاک، اشباع خاک از آب موجب افزایش فشار نسبی گاز دی اکسیدکربن شد که می‌تواند تا حدودی در انحلال آهک و افزایش غلظت یون کلسیم موثر باشد. این تاثیر با کاهش درصد آهک (جدول ۲) از سطح به عمق خاک می‌تواند مرتبط باشد. ولی به سمت سطح خاک به دلیل نامحلول بودن آهک و فعالیت ناچیز بیولوژیکی، به دلیل شوری بالای خاک، نقش آهک را می‌توان در سیستم خاک ناچیز فرض کرد. این وضع در شرایط طبیعی با توجه به ویژگیهای ترمودینامیکی حاکم بر محیط بیابانی و کویری جلگه رسی با نوع آنیونی شورابه‌های سولفاتی-کلریدی، و کاتیون غالب سدیم منجر به تشکیل کانی‌هایی با ارزش اقتصادی نظیر سولفات سدیم در سطح خاک شده است.

مراجع

- [۱] حاجی میرزا علیان م.، "بررسی ژئومرفولوژی پلایای سیاه کوه اردکان باتاکید بر سطح ایستایی و خاک"، پروژه کارشناسی ارشد آبخیز داری، دانشگاه تهران (۱۳۷۵). ۱۵۲ ص.
- [۲] ترشیزیان ح.، "مطالعه رسوب‌شناسی ژئوسیمی و ژئومرفولوژی پلایاهای زرین کلوت توت و عقدا در ایران مرکزی (استان یزد)"، رساله دکتری زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی (۱۳۷۸).
- [۳] اخوان قالیباف م.، "جمع آوری نمونه‌های مقطع خاک در مسیر شیرکوه- کویر سیاه کوه و مطالعه تشکیل و تحول خاک‌ها در زونهای اقلیمی و ابسته به ارتفاع"، طرح پژوهشی- دانشگاه یزد (۱۳۷۸)- ۶۲ ص.
- [۴] اخوان قالیباف م.، "تشکیل کانی‌های سولفات سدیم (نظیر تئاردیت- میرابیلیت) با غالبیت سیستم کلسیم سولفات و سدیم کلراید در آب زیر زمینی از جنبه‌های ترمودینامیک و سینتیک در حاشیه کویر سیاه کوه یزد"، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران- یزد (۱۳۸۲)- ۲۶۹-۲۷۵ ص.
- [۵] قبادیان ع.، اخوان قالیباف م.، "طبقه‌بندی کویرهای استان یزد بر اساس شیمی و تیپ شوری آنها"، طرح پژوهشی- دانشگاه یزد، ۴۰ ص. ۱۳۸۱.
- [6] Akhavan Ghalibaf M., "Salinity types related to climatic and lithogenic microzones in Central Iran", 17th World Congress of Soil Science. Thailand(2002).
- [7] Kovda, etals, Irrigation, "Drainage and Salinity", FAO/UNESCO (1973). 510p.
- [8] ER Mapper6, "Helping People Manage the earth", Applications. (1998). 450p.
- [9] Alavi Panah S.K., "Study of soil, salinity in desert based upon field observations", remote sensing, and GIS (Case study: Ardakan area, Iran. Desert Institute Report. Tehran Uni.(1994).
- [۱۰] مقیمی ا.، "وضعیت ژئومرفولوژی شهر آب (مزدآباد)"، مجله علمی پژوهشی دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه اصفهان. (۱۳۷۸) شماره ۱۸ و ۱۹.
- [۱۱] قدیمی عروس محله ف.، "بررسی اکتشافی به منظور تعیین وضعیت محیطی سولفات سدیم کویر میقان /راک"، کنفرانس معدن ایران. پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور (۱۳۸۳).
- [۱۲] پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، توان معدنی استان سمنان. <http://ngdir.ir>
- [13] Pachepsky I.A., "Matemtical models in the soils", Moscow State University(1992).84p.(in Russian language).