

اثرگذاری نوع و فراوانی کانی‌های رسی و خصوصیات شیمیایی خاک در قدرت هسته‌زایی بخش رس پلایای

دریاچه ارومیه

نیکو حمزه پور^{*۱}

۱- دانشگاه مراغه، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک؛ * (nhamzhepour@maragheh.ac.ir)

چکیده

با توجه به خشک شدن و پس‌روی شدید دریاچه طی دهه‌های اخیر، بسترهای پلایایی به کانون‌های بالقوه گردوغبار معدنی تبدیل شده‌اند که می‌توانند بر تشکیل ابر و الگوهای بارش اثرگذار باشند. این پژوهش به بررسی نقش کانی‌های رسی و ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های پیرامون دریاچه ارومیه در فعالیت هسته‌زایی یخ پرداخته است. در این مطالعه، از هفت منطقه مختلف اطراف دریاچه نمونه‌برداری خاک سطحی انجام و بخش رس استخراج شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی شامل درصد کانی‌های رسی و غیررسی، ماده آلی، کربنات کلسیم، pH و هدایت الکتریکی اندازه‌گیری گردید. سپس توان هسته‌زایی بخش رس با دستگاه قطره‌انجماد DRINCZ سنجیده شد. نتایج نشان داد دمای آغاز و پایان یخ‌زدگی (T_{onset} و T_{final}) همبستگی مثبت معناداری با درصد کانی‌های رسی و ماده آلی و همبستگی منفی با هدایت الکتریکی دارند. نمونه S9، با بیشترین درصد کانی‌های رسی (۹۳٪) و مقدار ماده آلی بالا (۲/۶٪)، بالاترین توان هسته‌زایی یخ و سریع‌ترین فرایند انجماد را نشان داد. در مقابل، نمونه‌های دارای درصد کمتر رس و هدایت الکتریکی بالاتر، عملکرد ضعیف‌تری داشتند. یافته‌ها بیانگر اهمیت ترکیب کانی‌شناسی و خصوصیات شیمیایی خاک در کنترل فعالیت هسته‌زایی یخ و نقش بالقوه آن‌ها در بازخوردهای اقلیمی- منطقه‌ای مرتبط با گردوغبار دریاچه ارومیه است.

کلمات کلیدی: خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، دریاچه ارومیه، کانی‌های رسی، گردوغبار معدنی، هسته‌زایی یخ.

مقدمه

مناطق خشک و نیمه‌خشک که ایران نیز بخشی از آن است حدود ۴۰ درصد از سطح زمین را در بر می‌گیرند (Dehkordi and Huh Abu Nasr, 2015). طی دهه‌های اخیر، تغییرات اقلیمی تشدیدشده به‌واسطه‌ی فعالیت‌های انسانی از صنعتی شدن و کشاورزی تا جنگل‌زدایی با افزایش گازهای گلخانه‌ای، گرمایش جهانی و دگرگونی در الگوهای بارش همراه بوده و به گسترش پهنه‌های خشک انجامیده است. در ایران نیز، شواهد اثرگذاری تغییر اقلیم بر مقدار و الگوی بارش گسترده است (Motamedi et al., 2023) و همراه با برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و سطحی، فرایند بیابان‌زایی را تشدید و فرجامی چون خشکی یا پس‌روی چشمگیر دریاچه‌ها و تالاب‌ها از جمله جازموریان، بختگان، پریشان و ارومیه رقم زده است. در چنین چشم‌اندازی و در غیاب آب و پوشش گیاهی کارآمد، باد به عامل مسلط فرسایش سطح زمین تبدیل شده و با برکنند ذرات ریزدانه و انتقال بین‌ناحیه‌ای و حتی بین‌قاره‌ای آن‌ها، پیامدهای زیست‌محیطی و بهداشتی گسترده‌ای ایجاد می‌کند (Schepanski, 2018). گزارش‌ها نشان می‌دهند که در مقیاس جهانی، حدود ۳۰ درصد گردوغبار از بستر دریاچه‌های خشک شده ناشی می‌شود (Ginoux et al., 2012) و بستر رودخانه‌ها و تالاب‌های خشک یا فصلی نیز سهم فزاینده‌ای دارند (Akbari, 2022; Jowkar et al., 2021). با توجه به ریزدانه‌بودن رسوبات دریاچه‌ای و شوری ذاتی آن‌ها، پلایاهای نمکی کانون‌های بالقوه و پرتوان تولید گردوغبار معدنی‌اند (Tollerud and Fantle, 2014). دریاچه ارومیه به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین پهنه‌های آبی شور جهان در دهه‌های اخیر با پس‌روی شدید مواجه بوده و بخش‌های وسیعی از بستر تاریخی آن در معرض هوا قرار گرفته و به سطوح پلایایی متنوع بدل شده است (Hamzhepour et al., 2022a). پیامد این دگرگونی، گسترش اراضی بایر شور با پوشش گیاهی اندک و حساسیت بسیار بالا به فرسایش بادی است؛ به‌گونه‌ای که شدت و گستره‌ی طوفان‌های گردوغبار در پیرامون دریاچه و شهرهای مجاور افزایش یافته و اثرات آن تا چند ده کیلومتر دورتر نیز گزارش شده است (Boroughani et al., 2019).

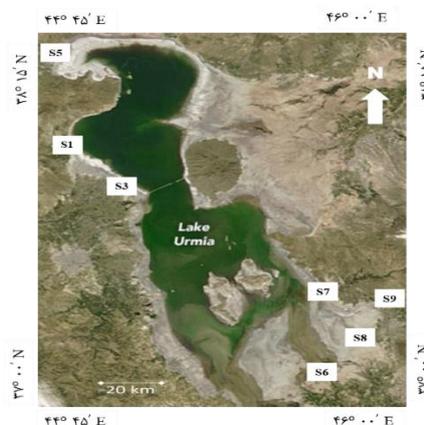
در مقیاس اقلیمی و میکروفیزیک ابر، گردوغبار معدنی مهم‌ترین منبع هسته‌های یخ‌زا (INPs¹) در دماهای نسبتاً گرم جوّی است و فقدان آن می‌تواند تشکیل ابرهای سرد و آغاز بارش را با نیاز به فوق‌سردشدگی شدید (تا حدود ۴۰- درجه سانتی‌گراد) مواجه کند (Mülmenstädt et al., 2015). نشان داده شده که ذرات معدنی گردوغبار فراوان‌ترین و کارآمدترین INP ها در دماهای زیر ۲۵۸ کلون هستند (Hoose and Möhler, 2012). باین‌حال، یون‌ها و املاح محلول همراه گردوغبار به‌ویژه در سامانه‌های شور-نمکی ناشی از دریاچه‌های خشک‌شده، می‌توانند از طریق کاهش فعالیت آب و/یا مسدودکردن جایگاه‌های فعال روی سطوح کانی‌ها، فعالیت هسته‌زایی ناهمگن یخ (HIN) را تضعیف یا به تأخیر اندازند (Hamzhepour et al., 2022b; Whale et al., 2018). بنابراین، ترکیب کانی‌شناسی و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ذرات گردوغبار هر دو می‌توانند به‌طور هم‌زمان بر قدرت هسته‌زایی اثر بگذارند. افزون بر این، سهم ماده آلی و مؤلفه‌های زیستی می‌تواند در مقایسه‌ی خاک‌های معمول با خاک‌های بیابانی، INPها را تقویت کند (Hill et al., 2016).

با وجود این پیشینه، شکاف دانشی مهمی پابرجاست: ارتباط مقداری و نظام‌مند بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک به‌ویژه در بخش رس به‌عنوان کسر ریزدانه‌ی کنترل‌کننده‌ی بافت، بار سطحی، ظرفیت تبادل و برهم‌کنش یون-کانی و قدرت هسته‌زایی یخ گردوغبار برآمده از پلایاهای شور هنوز به‌قدر کافی روشن نشده است. این شکاف در حوضه‌ی ارومیه، که کانون‌های جدید گردوغبار نمکی در پیرامون آن شکل گرفته، برجسته‌تر است؛ در حالی که شناخت رابطه‌ی خصوصیات فیزیکوشیمیایی با سیگنال انجماد ناهمگن برای درک تشکیل ابر و برآورد بازخوردهای اقلیمی-منطقه‌ای ضروری است (Kaufmann et al., 2016). بر این مبنای پژوهش حاضر با تمرکز بر خاک‌های پیرامون دریاچه ارومیه، در پی تبیین نقش نوع کانی‌های رسی و ویژگی‌های شیمیایی (هدایت الکتریکی، ترکیبات آلی، کربنات‌ها و اسیددیده‌خاک)، بر فعالیت هسته‌زایی یخ است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک و گردوغبار

برای بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک حاصل از اراضی مستعد تولید گردوغبار پیرامون دریاچه ارومیه و نقش بخش رس در هسته‌زایی یخ، در مردادماه ۱۴۰۱ نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های خاک از لایه سطحی (عمق صفر تا پنج سانتی‌متر) حدود هفت منطقه مختلف در اطراف دریاچه، عمدتاً از رسوبات متعلق به دریاچه ارومیه، جمع‌آوری گردید. در هر منطقه، حدود ۱۰ نمونه مجزا از بخش‌های مختلف سطح مستعد تولید گردوغبار برداشت شد که پس از جمع‌آوری، با یکدیگر مخلوط و به‌صورت یک نمونه مرکب آماده گردیدند. همچنین یک نمونه از اراضی کشاورزی رها شده (S9) تهیه شد تا ببینیم در کنار سطوح پلایایی نقش این سطوح در هسته‌زایی یخ در آینده چه خواهد بود. موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک‌ها در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری خاک از مناطق مستعد تولید گردوغبار.

¹ Ice nucleating particles

استخراج رس

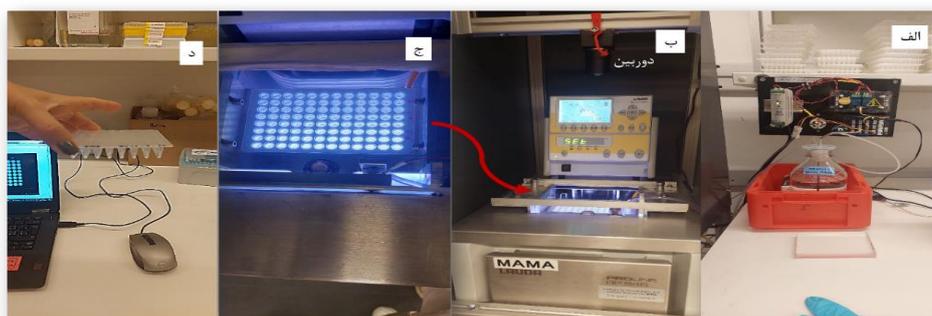
برای جداسازی جزء رس از سایر اجزای خاک (شن و سیلت)، از روش سیفون استفاده شد. بدین منظور، ۵۰ گرم خاک به یک مزور یک لیتری منتقل و به آن ۱۰ میلی لیتر محلول هگزامتافسفات سدیم (با غلظت ۵۰ گرم در لیتر) افزوده گردید. سوسپانسیون حاصل به مدت ۵ دقیقه با استفاده از همزن مکانیکی به طور کامل پراکنده شد. جداسازی جزء رس بر اساس قانون استوکس و با در نظر گرفتن دما، پس از گذشت ۸ ساعت ته نشینی، از عمق ۱۰ سانتی متری سطح مزور به روش سیفون انجام گرفت. این فرآیند تا زمانی تکرار شد که سوسپانسیون پس از گذشت ۸ ساعت ته نشینی، شفاف گردد.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه های خاک و گردوغبار

نمونه ها پس از انتقال به آزمایشگاه برای حذف ذرات درشت، از الک ۲ میلی متر عبور داده شدند. سپس توزیع اندازه ذرات با استفاده از دستگاه پراش لیزری مدل LS 13320 تعیین شد. درصد کربن آلی به روش سوزاندن تر (Nelson and Sommers, 1996)؛ قابلیت هدایت الکتریکی (EC^2) و واکنش خاک (pH) در نسبت ۱:۲/۵ خاک به آب به ترتیب با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی (Jenway, model 4510) و دستگاه pH متر (VWR Symphony SB70P) و اندازه گیری کربنات کلسیم کل با استفاده از روش تیتراسیون صورت گرفت (Jackson, 2005). مقدار کل کانی های رسی فیلوسیلیکاته و غیرفیلوسیلیکاته ترکیب کانی شناسی خاک و گردوغبار با XRD (CoK α) و کمی سازی ریتولد تعیین شد.

اندازه گیری فعالیت هسته زایی یخ با دستگاه DRINCZ³

برای سنجش فعالیت هسته زایی یخ بخش رس خاک، از سامانه ی قطره انجماد (DRINCZ (ETH Zürich) در حالت *immersion freezing* استفاده شد (شکل ۲). سوسپانسیون نمونه ها در سینی پلی پروپیلنی ۹۶ خانه توزیع و در هر چاهک $50 \sim 50 \mu L$ بارگذاری و برای پیشگیری از آلودگی با فیلم نفوذناپذیر پوشانده شد. برنامه ی سرمایش با نرخ $1^\circ C/min$ در حمام اتانول کنترل دما اجرا و همزمان تصویربرداری با فواصل ۱۵ ثانیه انجام شد؛ انجماد هر چاهک با پایش تغییر روشنایی و تحلیل خودکار تصاویر تشخیص داده شد. به منظور پایداری حرارتی، سطح حمام با سامانه ی ترازکننده ی اتانول ثابت نگه داشته شد و کالیبراسیون دمایی با ترموکوپل نوع K، عدم قطعیت دستگاه را در حدود $0.19 \pm ^\circ C$ نشان داد. سهم پس زمینه ی انجماد آب به کاررفته در آماده سازی (SA) با اجرای آزمایش های بلنک متعدد و برازش مدل بولتزمن سه پارامتری برآورد و از نتایج کسر شد.



شکل ۲- نمایی از دستگاه اندازه گیری فعالیت هسته زایی یخ با نام DRINCZ و بخش های مختلف تشکیل دهنده آن. (الف) مخزن اتوماتیک تامین کننده اتانول، (ب) صفحه تنظیم کننده دما، حمام اتانول و محل قرارگیری نمونه، (ج) حمام اتانول و محل قرارگیری نمونه در داخل سینی با ۹۶ خانه (چاهک های ۰/۵ میکرولیتری و در مجموع ۵۰ میکرولیتر نمونه)، (د) سینی های پلی پروپیلنی ۹۶ خانه ای استفاده شده در طی مطالعه.

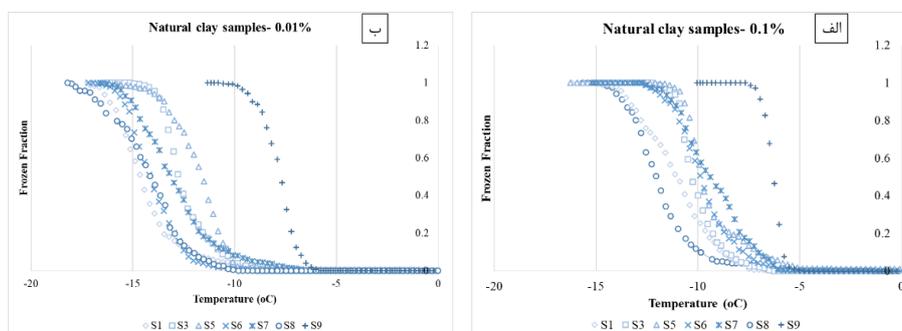
²Electrical conductivity

³ DRoplet Ice Nuclei Counter Zurich

نتایج و بحث

فعالیت هسته زایی بخش رس نمونه‌های خاک

در شکل ۳ ترموگرام‌های هسته‌زایی یخ در نمونه‌های رس طبیعی با غلظت‌های ۰/۱ (شکل ۳، الف) و ۰/۰۱ (شکل ۳، ب) نمایش داده شده است. براساس نتایج بدست آمده، دمای شروع یخ‌زدگی (T_{onset}) در بین نمونه‌های مورد مطالعه در سطح غلظت ۰/۰۱، بین ۵/۷۵- تا ۱۰/۰۹- °C و در سطح غلظت ۰/۰۱، بین ۶/۷۳- تا ۱۲/۵- °C بود.



شکل ۳- ترموگرام هسته‌زایی یخ نمونه‌های رس طبیعی (Nat) در دو سطح غلظت (الف) ۰/۱ و (ب) ۰/۰۱. محور افقی دما (°C) و محور عمودی کسر یخ‌زدگی (Frozen Fraction) را نشان می‌دهد. هر منحنی بیانگر تغییرات کسر یخ‌زدگی در برابر دما برای یکی از نمونه‌های مورد مطالعه (S1 تا S9) است.

دمای پایان یخ‌زدگی (T_{final}) نیز برای غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۰۱ به ترتیب بین ۷/۶۷- تا ۱۵/۱۷- °C و ۱۰/۸۲- تا ۱۸/۲۱- °C بود (شکل ۳). در غلظت ۰/۰۱، گرمترین دمای شروع یخ‌زدگی مربوط به نمونه S9 با دمای ۵/۷۵- °C بوده که نشان‌دهنده توان هسته‌زایی یخ بالاتر این نمونه نسبت به سایر نمونه‌ها است. سردترین دمای شروع یخ‌زدگی در این غلظت مربوط به نمونه S8 با دمای ۱۰/۰۹- °C بوده که بیانگر توان هسته‌زایی ضعیف‌تر است. گرمترین و سردترین دمای پایان یخ‌زدگی (T_{final}) نیز مجدداً مربوط به این دو نمونه بود. در غلظت ۰/۰۱، باز هم نمونه S9 با دمای شروع ۶/۷۳- °C، بالاترین توان هسته‌زایی یخ را نشان داد و نمونه S1 با دمای شروع ۱۲/۲۷- °C و با اختلاف بسیار اندک از نمونه S8، ضعیف‌ترین عملکرد را داشت. دامنه دمای پایان یخ‌زدگی در این غلظت نسبت به غلظت ۰/۱، دماهای سردتری را نشان می‌دهد (شکل ۳، ب).

در ادامه، شیب منحنی (تغییرات کسر یخ‌زدگی نسبت به دما) به‌عنوان شاخص سرعت فرآیند یخ‌زدگی مورد بررسی قرار گرفت. شیب بالاتر نشان می‌دهد که فرآیند تغییر فاز در بازه دمایی محدودتر و با سرعت بیشتری رخ داده است، در حالی که شیب کمتر بیانگر تغییر تدریجی‌تر در بازه دمایی وسیع‌تر است. در غلظت ۰/۰۱، بیشترین شیب مربوط به نمونه S9 (۰/۴۷) و کمترین شیب مربوط به نمونه S1 (۰/۱۵) بود. در غلظت ۰/۰۱، نیز بیشترین شیب دوباره در نمونه S9 (۰/۲۲) و کمترین در نمونه S7 (۰/۱۴) مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده و همانطور که به خوبی از شکل ۳ نیز مشهود است، در هر دو غلظت ۰/۰۱ و ۰/۰۱، نمونه S9 بهترین عملکرد را از نظر توان هسته‌زایی یخ (گرمترین دمای شروع یخ‌زدگی) و سرعت فرآیند یخ‌زدگی (شیب بالا) نشان داد. نمونه‌های S8 و S1 در غلظت ۰/۰۱ و نمونه‌های S1 و S7 در غلظت ۰/۰۱ ضعیف‌ترین عملکرد را داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که S9 به‌عنوان کاراترین نمونه در شرایط آزمایش حاضر عمل کرده و پتانسیل بیشتری برای ایجاد یخ در دماهای گرمتر و با سرعت بالاتر دارد، در حالی که برخی نمونه‌ها نیازمند دماهای سردتر برای آغاز فرآیند یخ‌زدگی هستند و تغییر فاز در آن‌ها کندتر رخ می‌دهد.

نقش خصوصیات فیزیکوشیمیایی در قدرت هسته‌زایی نمونه‌های خاک

در جدول ۱ خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. بررسی همبستگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک با پارامترهای هسته‌زایی یخ در نمونه‌های رس طبیعی (Nat) نشان داد که T_{onset} و T_{final} با درصد کل ذرات رسی

همبستگی مثبت معناداری دارند (جدول ۲). با توجه به مقدار بالای کانی‌های رسی در نمونه S9 (۹۲/۵٪)، S6 (۹۰/۵٪) و S5 (۸۱٪) این امر میتواند دلیلی بر شروع هسته‌زایی در این نمونه‌ها از دماهای گرم‌تر در نمونه‌های طبیعی باشد. همچنین این امر می‌تواند توضیح دهد چرا فعالیت هسته‌زایی در برخی نمونه‌ها با مقدار کمتر مقدار کل کانی‌های رسی (از جمله S1 (۶۹٪)، S7 (۷۵٪) و بخصوص S8 (۴۷٪)) کمتر از بقیه بوده است. همچنین، هدایت الکتریکی (EC) همبستگی منفی با این پارامترها دارد که نشان‌دهنده اثر بازدارنده یون‌های محلول بر فعالیت هسته‌زایی است. همچنین مقدار بالای ماده آلی در کنار درصد بالای کانی‌های فیلولسیلیکاته، توجیه کننده فعالیت بسیار بالای هسته‌زایی در نمونه S9 (مقدار ماده آلی در این نمونه برابر ۶/۲٪ بود) (جدول ۱) است. این یافته با مطالعات پیشین که تأثیر تقویتی مواد آلی بر فعالیت هسته‌زایی گردوغبار خاک نسبت به گردوغبار معدنی را گزارش کرده‌اند، سازگار است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک و گردوغبار.

نمونه	هدایت الکتریکی	اسیدیته	کربنات کلسیم	مادۀ آلی	کانی‌های غیررسی	کانی‌های رسی
	(dS/m)	-			(%)	(%)
S1	۰/۴	۸/۶	۴۹/۱	۰	۳۲	۶۹
S3	۲۳/۴	۸/۳	۳۲/۰	۱/۰	۱۲	۸۹
S5	۰/۹	۸/۲	۴۱/۱	۵/۳	۱۳	۸۱
S6	۱۶/۳	۸/۱	۱۳/۱	۱/۲	۱۰	۹۱
S7	۸/۶۷	۷/۹	۱۶/۵	۱/۲	۲۵	۷۵
S8	۳۴/۶	۷/۸	۴۱/۷	۰/۸	۵۳	۴۷
S9	۰/۵۴	۷/۱	۴/۴۳	۶/۲	۷	۹۳

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و T_{onset} ، T_{final} و شیب نمونه‌های رس طبیعی خاک.

خصوصیات فیزیکوشیمیایی	T_{onset}	T_{final}	slope
EC ($dS m^{-1}$)	-۰/۴۳	-۰/۳۳	-۰/۱۲
TC (%)	-۰/۱۵	-۰/۱۸	-۰/۲۰
OM (%)	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۴۸
pH	-۰/۰۹	۰/۰۳	-۰/۰۰
مقدار کل کانی‌های غیررسی	-۰/۴۵	-۰/۵۴	-۰/۴۱
مقدار کل کانی‌های رسی	۰/۴۴	۰/۵۵	۰/۴۴

pH: اسیدیته؛ EC: هدایت الکتریکی؛ CCE: کربنات کلسیم معادل؛ OM: ماده آلی.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که نوع و فراوانی کانی‌های رسی به همراه ویژگی‌های شیمیایی خاک، نقش تعیین‌کننده‌ای در توان هسته‌زایی یخ گردوغبار پلائیای دریاچه ارومیه دارند. درصد بالای کانی‌های رسی و ماده آلی موجب تقویت فعالیت هسته‌زایی و آغاز یخ‌زدگی در دماهای گرم‌تر شد، در حالی که هدایت الکتریکی بالا اثر بازدارنده داشت. نمونه S9 با بیشترین مقدار رس و ماده آلی، کاراترین عملکرد را نشان داد و می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی پتانسیل تولید ذرات یخ‌زا در منطقه مطرح شود. این نتایج بیانگر اهمیت ترکیب کانی‌شناسی و شرایط فیزیکوشیمیایی خاک در شکل‌گیری گردوغبار و بازخوردهای اقلیمی مرتبط با دریاچه ارومیه است.

فهرست منابع

- Akbari, T. (2022). Revealing and analyzing the drought trend of Jazmurian watershed in relation to atmospheric-oceanic indicators. *Climate Change Research Journal*, 3(11), 1-16.
- Boroughani, M., Hashemi, H., Hosseini, S. H., Pourhashemi, S., & Berndtsson, R. (2019). Desiccating Lake Urmia: a new dust source of regional importance. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 17(9), 1483-1487.

- Dehkordi, M., & Huh Abu Nasr, P. (2015). Investigation of Factors Affecting the Effects on Its Effects and Environmental Effects. In *Proceeding of 10th National Conference on Biology and Environmental Sciences in Agriculture* (pp. 15-17).
- Ginoux, P., Prospero, J. M., Gill, T. E., Hsu, N. C., & Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3).
- Hamzhepour, N., Marcolli, C., Klumpp, K., Thöny, D., & Peter, T. (2022b). The Urmia playa as a source of airborne dust and ice-nucleating particles—Part 2: Unraveling the relationship between soil dust composition and ice nucleation activity. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(22), 14931-14956.
- Hamzhepour, N., Marcolli, C., Pashai, S., Klumpp, K., & Peter, T. (2022a). Measurement report: The Urmia playa as a source of airborne dust and ice-nucleating particles—Part 1: Correlation between soils and airborne samples. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(22), 14905-14930.
- Hill, T. C. J., DeMott, P. J., Tobo, Y., Fröhlich-Nowoisky, J., Moffett, B. F., Franc, G. D., & Kreidenweis, S. M. (2016). Sources of organic ice nucleating particles in soils, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 7195–721.
- Hoose, C., & Möhler, O. (2012). Heterogeneous ice nucleation on atmospheric aerosols: a review of results from laboratory experiments. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(20), 9817-9854.
- Jowkar, L., Panahi, F., Sadatinejad, S. J., & Shakiba, A. (2021). The Spatio-Temporal Variability of Extreme Temperature Using Gridded AgMERRA Dataset over the Bakhtegan-Maharloo Basin, Iran. *ECOPERSIA*, 9(3), 179-189.
- Kaufmann, L., Marcolli, C., Hofer, J., Pinti, V., Hoyle, C. R., & Peter, T. (2016). Ice nucleation efficiency of natural dust samples in the immersion mode. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(17), 11177-11206.
- Motamedi, A., Gohari, A., & Haghighi, A. T. (2023). Three-decade assessment of dry and wet spells change across Iran, a fingerprint of climate change. *Scientific Reports*, 13(1), 2888.
- Mülmenstädt, J., Sourdeval, O., Delanoë, J., & Quaas, J. (2015). Frequency of occurrence of rain from liquid-, mixed-, and ice-phase clouds derived from A-Train satellite retrievals. *Geophysical Research Letters*, 42(15), 6502-6509.
- Schepanski, K. (2018). Transport of mineral dust and its impact on climate. *Geosciences*, 8(5), 151.
- Tollerud, H. J., & Fantle, M. S. (2014). The temporal variability of centimeter-scale surface roughness in a playa dust source: Synthetic aperture radar investigation of playa surface dynamics. *Remote sensing of environment*, 154, 285-297.
- Whale T. F., Holden M. A., Wilson T. W., O'Sullivan D., Murray B. J. (2018). The enhancement and suppression of immersion mode heterogeneous ice-nucleation by solutes. *Chem. Sci.* 9, 4142–4151.

The Effect of Type and Abundance of Clay Minerals and Soil Chemical Properties on the Ice Nucleation Ability of the Clay Fraction in the Urmia Playa

Nikou Hamzhepour^{1*}

^{1*}Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Maragheh
(nhamzhepour@maragheh.ac.ir)

Abstract

Due to the drying and severe retreat of the lake in recent decades, playa beds have turned into potential sources of mineral dust that can influence cloud formation and precipitation patterns. This study investigates the role of clay minerals and chemical properties of soils around Lake Urmia in ice nucleation activity. In this research, surface soil samples were collected from seven different areas surrounding the lake, and the clay fraction was extracted. Physicochemical properties including the percentage of clay and non-clay minerals, organic matter, calcium carbonate, pH, and electrical conductivity were measured. Then, the ice nucleation ability of the clay fraction was evaluated using the DRINCZ droplet freezing instrument. The results showed that the onset and final freezing temperatures (Tonset and Tfinal) had a significant positive correlation with the percentage of clay minerals and organic matter, and a negative correlation with electrical conductivity. Sample S9, with the highest percentage of clay minerals (93%) and elevated organic matter (2.6%), demonstrated the highest ice nucleation ability and the fastest freezing process. In contrast, samples with lower clay content and higher electrical conductivity showed weaker performance. These findings highlight the importance of mineralogical composition and soil chemical properties in controlling ice nucleation activity and their potential role in regional climatic feedbacks associated with dust from Lake Urmia.

Keywords: soil physicochemical properties, Lake Urmia, clay minerals, mineral dust, ice nucleation.