

پهنه‌بندی مکانی تغییرات عناصر موجود در ذرات گرد و غبار حوضه آبریز دریاچه ارومیه

پریسا رَون^۱، حسام احمدی بیرگانی^{۲*} و آرمین سروشیان^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳. دانشیار، گروه مهندسی شیمی و محیط‌زیست، دانشکده علوم جوی و هیدرولوژی، دانشگاه آریزونا، آریزونا، آمریکا

(دریافت: ۹۸/۳/۱۱، پذیرش نهایی: ۹۸/۷/۹)

چکیده

خشک شدن سطح وسیعی از دریاچه ارومیه و تشکیل مناطق مستعد به فرایندهای فرسایش بادی و رخداد‌های گرد و غبار می‌تواند باعث گسیل ذرات معلق شود که بر شیمی جو و ترکیبات آب باران این حوضه آبریز تأثیرگذار باشند. جهت پایش آلودگی هوا و بررسی تغییرات کمی و کیفی آب باران از نظر عناصر با منشأ دریاچه‌ای، ۶ نمونه آب باران از مهرماه ۱۳۹۶ تا مهرماه ۱۳۹۷ از رخداد‌های هم‌زمان به‌صورت رسوب تر از ۱۳ ایستگاه اطراف دریاچه ارومیه شامل ایستگاه‌های ارومیه، برده‌سور و گلمانخانه در غرب دریاچه، باری، چوپانلوی سلماس و خوی در شمال دریاچه، آق گنبد، ایلخچی و تبریز در شرق دریاچه، آغداش، میان‌آب و کشاورز در جنوب و جزیره اشک در مرکز دریاچه ارومیه در جهت‌ها و فاصله‌های مختلف از حوضه آبریز دریاچه ارومیه جمع‌آوری شد. نتایج آماری حاصل از تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده اختلاف معناداری را بین ۱۳ ایستگاه از نظر غلظت عناصر با منشأ دریایی شامل سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و پتاسیم (K) نشان داد؛ به‌گونه‌ای که ارتباط بین عناصر سدیم، منیزیم و کلسیم نشان‌دهنده منشأ انتشار یکسان این عناصر بوده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده بیشترین پراکنش عناصر مورد مطالعه در محدوده حوضه آبریز دریاچه ارومیه در اولین حلقه شعاعی (حداقل فاصله از بستر دریاچه ارومیه) و بیشتر در جهت‌های جغرافیایی غرب و شمال دریاچه ارومیه مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: ذرات گرد و غبار، ذرات معلق جو، پهنه‌بندی مکانی، ترکیب شیمیایی آب باران، حوضه آبریز دریاچه ارومیه.

۱. مقدمه

شیمی جو حائز اهمیت می‌باشد (زو و هوین، ۱۹۹۳؛ برانت و وان الدیک، ۱۹۹۵). نتایج مطالعات نشان داده است که غلظت مؤلفه‌هایی نظیر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم در آب باران/رسوب تر (Wet deposition) ۱۰ بار بزرگ‌تر از غلظت آنها در رسوب خشک (Dry deposition) می‌باشد (وو و همکاران، ۲۰۱۸)؛ از این‌رو پایش کیفیت آب باران می‌تواند به‌عنوان ابزاری با ارزش برای ارزیابی سلامتی انسان و محیط‌زیست به‌کار گرفته شود (والستوس و همکاران، ۲۰۱۹). آب دریاها و دریاچه‌های شور به‌طور اخص، منبع مهم تغذیه جو از عناصری نظیر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم می‌باشند (بلانچارد و وود کوک، ۱۹۵۷)؛ اگرچه بیشتر این ذرات ریز مستقیماً به دریاها و دریاچه‌ها برمی‌گردند اما نزدیک به ۱۰ درصد آنها به‌سمت قاره‌ها حمل می‌شوند (آندره، ۱۹۸۴) و بیشتر آنها در ۱۰۰

ذرات معلق در جو (Atmospheric particulates) مجموعه‌ای از ذره‌های ریز جامد یا مایع پراکنده در هوا با قطر کمتر از ۶۰ میکرون هستند که ترکیب شیمیایی آنها به نوع منبع انتشار دهنده‌شان (نمک دریا، ذرات زمینی و یا منابع انسان‌زاد) وابسته است (بارد، ۱۹۹۵). ترکیبات شیمیایی آب باران عمدتاً به‌واسطه ترکیب شیمیایی این هواویزها به‌عنوان هسته تراکم ابر (Cloud Condensation Nuclei) و گازهایی که در بخار هوا وجود دارند طی فرآیند پاک‌سازی (Scavenging) تحت تأثیر قرار می‌گیرند (سروشیان و همکاران، ۲۰۱۳). از این‌رو، آب باران از نظر دارا بودن یون‌ها و ترکیبات شیمیایی مختلف برای آگاهی از نوع آلاینده‌ها، ذرات و گازهای موجود در لایه‌های مختلف جو (کاترل و همکاران، ۲۰۱۳)؛ لوالی و همکاران، ۲۰۱۲) به‌عنوان بهترین شاخص برای پایش

کیلومتری منطقه ساحلی رسوب داده می‌شوند (اریکسون، ۱۹۶۰؛ وت و همکاران، ۲۰۱۴). از این رو، مناطق ساحلی غلظت بالاتری از این عناصر را نسبت به مناطق غیر ساحلی دارا می‌باشند (هنگستون و گارلتیز، ۱۹۷۶). با توجه به نقش مهم دریاچه‌ها در چرخه آب، در قالب بارش (زنگ و همکاران، ۲۰۰۰؛ لیو و همکاران، ۲۰۰۹) تأثیر نمک دریا بر شیمی باران بیشتر از مناطق صحرایی قابل توجه می‌باشد (وت و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین انتقال و رسوب یون‌ها و عناصر دریایی بخش مهمی از چرخه زمین‌شیمی محسوب می‌شود (گاستافسون و لارس، ۲۰۰۰) که این ذرات معلق در جو باعث از بین رفتن کیفیت هوا می‌شود (کیم و کافمن، ۲۰۱۴).

با توجه به اهمیت بالای رسوبات تر، مطالعات در زمینه شیمی جو و ترکیب شیمیایی آب باران در سال‌های اخیر به‌طور گسترده‌ای انجام شده است (پو و همکاران، ۲۰۱۷؛ راو و همکاران، ۲۰۱۷؛ وو و همکاران، ۲۰۱۸؛ سانتوس و همکاران، ۲۰۱۱). آاناتولاکی و سیتویارودو در سال ۲۰۰۹ دریافتند که ۶۸ درصد یون‌های سدیم و کلر اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها متأثر از دریا بوده است و غلظت‌های بالاتر این یون‌ها در بادهای نشأت گرفته از مناطق ساحلی مشاهده شد که نقش مؤثر باد در انتقال این عناصر به سمت مناطق دور از ساحل در مطالعات دیگری نیز بیان شده است (ویروم و همکاران، ۲۰۱۴؛ وت و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه بر این، کاهش مقادیر غلظت عناصر و یون‌های دریایی با افزایش فاصله از خط ساحلی در پژوهش‌های انجام شده توسط آلساندر و همکاران (۲۰۱۳) و سوئینی و همکاران (۲۰۱۶) گزارش شده است و بالاترین غلظت یون‌های کلسیم، کلر و سدیم به‌عنوان نماینده عناصر و یون‌های دریایی در مناطق ساحلی بوده است (آس و همکاران، ۲۰۰۷؛ لی و همکاران، ۲۰۰۷).

از سال ۱۳۷۴ خورشیدی، محیط طبیعی دریاچه ارومیه به‌علت کاهش سریع در میزان آب ورودی به دریاچه مورد تهدید واقع شده است که تعدادی از محققین، تغییرات

اقلیمی را برای کاهش اخیر سطح آب دریاچه مقصر می‌دانستند؛ اما به‌نظر می‌رسد که عمدتاً در نتیجه فعالیت‌هایی از قبیل احداث پل میان‌گذر شهید کلاتری از میان دریاچه، وجود ۵۶ سد مخزنی در حوضه آبخیز دریاچه و همین‌طور بهره برداری شدید از آب زیرزمینی بوده است (سیما و تجریشی، ۲۰۱۳). حال آن‌که در سال‌های اخیر دریاچه ارومیه با از دست دادن ۹۰ درصد از سطح آبی خود و افزایش غلظت نمک (حسین پور و همکاران، ۲۰۱۰) جای خود را به پوشش وسیعی از محیط‌های مشابه با پلایا به‌عنوان منبعی احتمالی از گرد و غبار و نمک داده است (حسین مردی و همکاران، ۲۰۱۸) که احتمالاً این نمک‌ها مستعد حرکت بوده و در نتیجه طوفان‌های نمکی به‌صورت ذرات ریز معلق در جو و هواویزها شکل خواهند گرفت (گلایان، ۲۰۱۰؛ حسین پور و همکاران، ۲۰۱۰). در نتیجه تجمع نمک، پراکندگی و یا نبود پوشش گیاهی و وقوع فرسایش بادی، بافت سستی در سطح خاک شکل خواهد یافت (آباجیولی و همکاران، ۲۰۱۰) که در فصل‌های گرم، باد می‌تواند این نمک‌ها را حمل کرده و به مناطق مجاور تا حدود ۳۰۰ کیلومتر انتقال دهد (حسین پور و همکاران، ۲۰۱۰). این طوفان‌های نمکی غلظت بالایی از ذرات ریز نمک و مواد قلیایی (آباجیولی و همکاران، ۲۰۱۰؛ اسمال و همکاران، ۲۰۰۱) نظیر سدیم، کلسیم و منیزیم و پتاسیم را که نماینده منابع دریایی می‌باشند (احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹؛ غلام‌پور و همکاران، ۲۰۱۵) را انتقال داده که این ذرات گرد و غبار و هواویزها می‌توانند برای طولانی مدت در جو معلق بمانند (لی و همکاران، ۲۰۱۱) و باعث تخریب زمین‌های کشاورزی، آلوده شدن زیست‌بوم‌ها و افزایش بیماری در شهرها و مناطق روستایی اطراف دریاچه شوند (حسین پور و همکاران، ۲۰۱۰؛ گاله و همکاران، ۲۰۱۷)؛ همان‌گونه که نظیر این واقعه در دریاچه‌های شور جهان نظیر آرال در ازبکستان-قزاقستان و دریاچه اونز در ایالات متحده اتفاق افتاده است (احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹؛ حسین مردی و

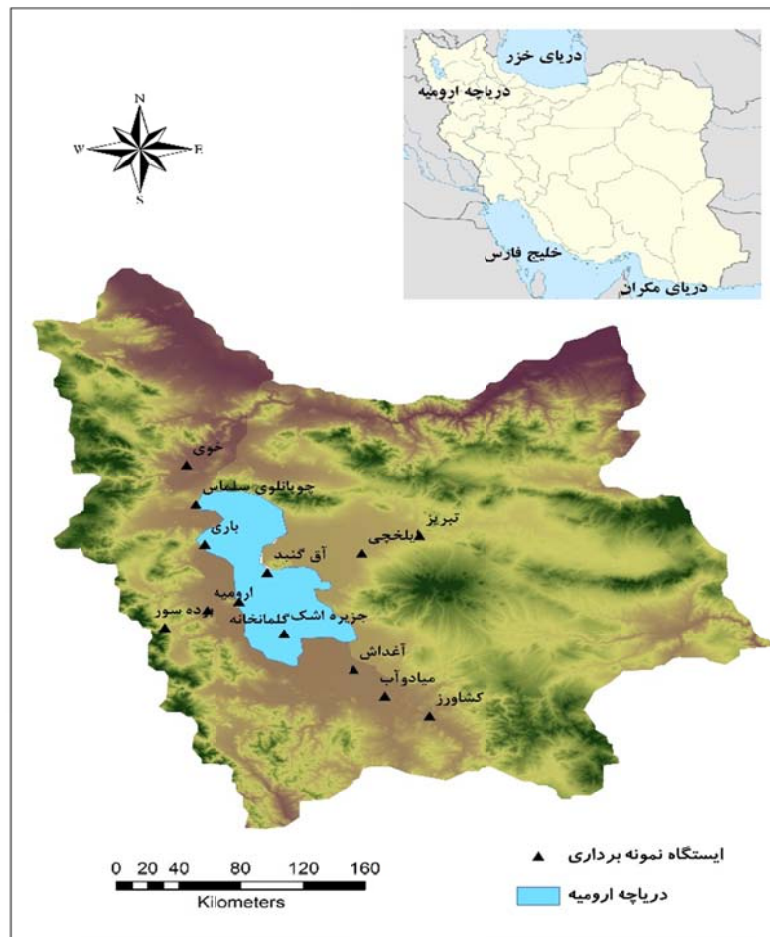
دقیقه شرقی بین دو استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی واقع شده است. این حوضه آبریز دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد بوده و میانگین بارش سالانه آن ۳۴۰ میلی‌متر می‌باشد. به منظور امکان مقایسه غلظت عناصر با منشأ دریایی ناشی از دریاچه ارومیه و مشاهده تغییرات آنها به لحاظ مکانی، ۱۲۹ نمونه آب باران در رخدادهای هم‌زمان از ایستگاه‌هایی که در سه حلقه مختلف (از نزدیک‌ترین به دورترین فاصله از ساحل دریاچه)، در فواصل تقریباً یکسان از یکدیگر در چهار جهت جغرافیایی شمال (خوی، سلماس و باری)، جنوب (آغداش، میاندوآب و کشاورز)، شرق (آق‌گنبد، ایلخچی و تبریز)، غرب (برده‌سور، ارومیه و گلخانه) و مرکز (جزیره اشک‌گلخانه) دریاچه ارومیه برای جمع‌آوری آب باران در نظر گرفته شدند (شکل ۱).

همکاران، ۲۰۱۸؛ گاله و همکاران، ۲۰۱۷) لذا پژوهش حاضر در نظر دارد تا تغییرات مکانی غلظت عناصر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم موجود در آب باران (رسوب تر) را در ۱۳ ایستگاه اطراف حوضه آبریز دریاچه ارومیه بررسی کرده و آسیب‌پذیرترین منطقه و جهت جغرافیایی را که بیشترین تأثیر را از دریاچه ارومیه و بسترهای خشک اطراف آن از جنبه ذرات معلق و گرد و غبار می‌بینند شناسایی کند.

۲. روش پژوهش

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه دومین دریاچه شور دنیا و بزرگ‌ترین دریاچه داخلی در شمال غرب ایران است که در موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و ۴۵ درجه و ۱۹



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز دریاچه ارومیه در کشور ایران و ایستگاه‌های مورد نظر جهت نمونه‌برداری از آب باران.

۲-۲. جمع‌آوری و تجزیه شیمیایی نمونه‌های رسوب تر (آب باران)

نمونه‌برداری از آب باران به مدت یک سال آبی از مهرماه ۱۳۹۶ تا مهرماه ۱۳۹۷ انجام پذیرفته است. جهت جلوگیری از آلودگی عنصری و تعیین غلظت صحیح عناصر مورد مطالعه، مکان‌های نمونه‌برداری در نقاطی معیار و به دور از منابع آلاینده (اعم از دودکش منازل، محل نگهداری حیوانات، پوشش درختی و...) در نظر گرفته شدند (گورکا و همکاران، ۲۰۱۷؛ ویروم و همکاران، ۲۰۱۴). بر این اساس ۲۵۰ میلی‌لیتر (معادل هشت میلی‌متر) آب باران از ۱۳ ایستگاه پیرامون دریاچه ارومیه در دقایق اولیه هر رخداد بارش به دلیل بالا بودن غلظت عناصر و ذرات معلق در جو شسته شده در هر ظرف جمع‌آوری شد. به منظور افزایش سطح گیرش و جمع‌آوری میزان باران مد نظر در مدت زمانی کوتاه، از قیفی به قطر ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده آب باران در مکانی با دمای ملایم (۳-۴ درجه سانتی‌گراد) به دور از تابش مستقیم آفتاب و دمای پایین نگهداری شدند تا از تبخیر و یخ زدن آنها به منظور به حداقل رساندن تغییرات فیزیکی و شیمیایی جلوگیری شود (خان و ساروار، ۲۰۱۴). سپس ۱۵ سی سی از نمونه‌های جمع‌آوری شده به لوله‌های فالدکون منتقل و جهت تجزیه شیمیایی عناصر سدیم (Na) و منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و پتاسیم (K) به آزمایشگاه گروه مهندسی شیمی و محیط‌زیست دانشگاه آریزونا ایالات متحده ارسال شد. نمونه‌ها توسط دستگاه پلاسما جفت‌شده القایی-طیف‌سنج جرمی (ICP-QQQ) مدل Agilent ۸۸۰۰ بر حسب ppb در با دقت و صحت بسیار بالا انجام گرفت. کاهش سطح مشترک چند اتمی، واسنجی و صحت‌سنجی دستگاه مذکور بر اساس مطالعه احمدی بیرگانی و همکاران (۲۰۱۸، ۲۰۱۹) صورت پذیرفت.

۳-۲. داده‌های اقلیمی مورد نیاز

از مؤلفه‌های اصلی اقلیمی که بر روی انتشار عناصر و

ذرات معلق در جو تأثیر می‌گذارند سرعت و جهت باد می‌باشد (کالز، ۲۰۰۲). سرعت باد و جهت آن قبل و در طول رخداد بارندگی شاخص مهمی برای شیمی باران از نظر منبع تغذیه‌کننده آن (طبیعی، دریایی و انسان‌زاد) محسوب می‌شود (آندره و همکاران، ۲۰۰۷؛ راو و همکاران، ۲۰۱۷)؛ به طوری که ترکیب و عناصر شیمیایی جو توسط باد به صورت ذرات ریز معلق در جو و هواویزها انتقال یافته و قبل از اینکه توسط باران رسوب داده شوند، مسیر طولانی یا کوتاهی را ممکن است پیمایند (هونوریو و همکاران، ۲۰۱۰؛ نیو و همکاران، ۲۰۱۴) که می‌توانند بر رخداد باران تأثیرگذار باشند (فریرا، ۲۰۱۲). از این رو در پژوهش حاضر داده‌های هواشناسی در ۲ دسته سرعت باد و جهت باد (گلبادهای هواشناسی) برای ۱۳ ایستگاه مطالعاتی (شکل‌های ۳ تا ۱۵) در نظر گرفته شدند که می‌توانند در انتقال هواویزها و عناصر دریایی از خط ساحلی به مسافت‌های طولانی یا کوتاه نقش به‌سزایی داشته باشند.

۴-۲. نقشه‌سازی مکانی و روش آماری مورد استفاده

جهت پهنه‌بندی مکانی تغییرات غلظت عناصر با منشأ دریاچه‌ای، برای هر رخداد بارش صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه و در طول دوره نمونه‌برداری به جهت امکان مقایسه آنها با یکدیگر، برای داده‌های نقطه‌ای که به طور منطقی پخش شده‌اند از روش درون‌یابی عکس فاصله (Inverse Distance Weighting) استفاده شد. به دلیل ماهیت نقطه‌ای بودن داده‌ها، فاصله یکنواخت و پخش منطقی ایستگاه‌های نمونه‌برداری نسبت به یکدیگر و کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه این روش درون‌یابی توصیه شده است (ایزری، ۲۰۱۵). پهنه‌بندی مکانی در محیط نرم افزار Arc-GIS نسخه ۱۰/۴ انجام پذیرفت.

جهت تعیین وجود اختلاف بین ایستگاه‌های مورد مطالعه هم از بعد بین ایستگاهی (۱۳ ایستگاه مورد نظر) و هم از بعد کمیت و نوع عناصر، بعد از نرمال سازی داده‌های

۱۰۸۲۲ بر حسب ppb) با اختلاف معناداری به دست آمد؛ اما بین سایر ایستگاه‌های مطالعاتی تفاوتی از نظر غلظت عناصر مذکور وجود نداشت. همچنین بالاترین غلظت از نظر عنصر کلسیم با مقدار ۵۵۹۵/۸ در ایستگاه گل‌مانخانه نیز مشاهده شد که در درجه دوم ایستگاه‌های برده‌سور، تبریز و جزیره اشک (به ترتیب ۲/۲۹۵۰، ۹/۴۸۲۳ و ۲/۴۶۸۶ بر حسب ppb) به ترتیب در ۴۰ و ۶۰ کیلومتری غرب و شرق دریاچه و داخل دریاچه بیشترین غلظت را به خود اختصاص دادند. از سوی دیگر بیشترین غلظت عنصر پتاسیم با مقدار ۴۸۳۵ در ایستگاه گل‌مانخانه مشاهده شد که بعد از گل‌مانخانه، ایستگاه چوپانلوی سلماس (با مقدار ۱/۴۳۱۹) در ۹ کیلومتری شمال دریاچه غلظت بالایی از این عنصر را نشان داد (جدول ۱).

اندازه‌گیری شده غلظت عناصر مورد مطالعه، از آزمون آماری تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA-One-Way) استفاده شد. همین‌طور برای بررسی وجود همبستگی بین عناصر چهارگانه مورد مطالعه، ضریب همبستگی پیرسون در محیط نرم افزار IBM-SPSS نسخه ۱۸ در نظر گرفته شد.

۳. بحث و نتایج

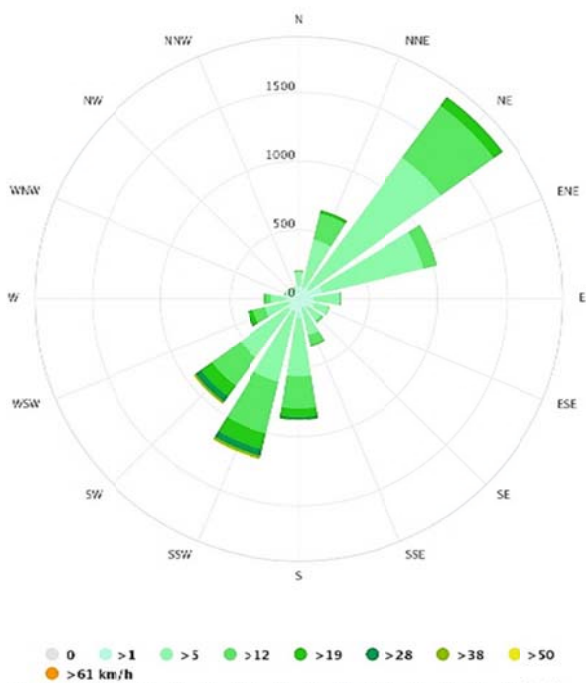
براساس نتایج تجزیه عنصری حاصل از ۶ رخداد هم‌زمان برای نمونه‌های جمع آوری شده آب باران از نظر عناصر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم مشاهده شد که بالاترین غلظت از عناصر سدیم و منیزیم در ایستگاه گل‌مانخانه در سه کیلومتری غرب دریاچه ارومیه (به ترتیب ۰۸/۶۶۵ و

جدول ۱. مقادیر میانگین غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در ایستگاه‌های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر حسب ppb. حروف a, b و c اختلاف میانگین بین ایستگاه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهند.

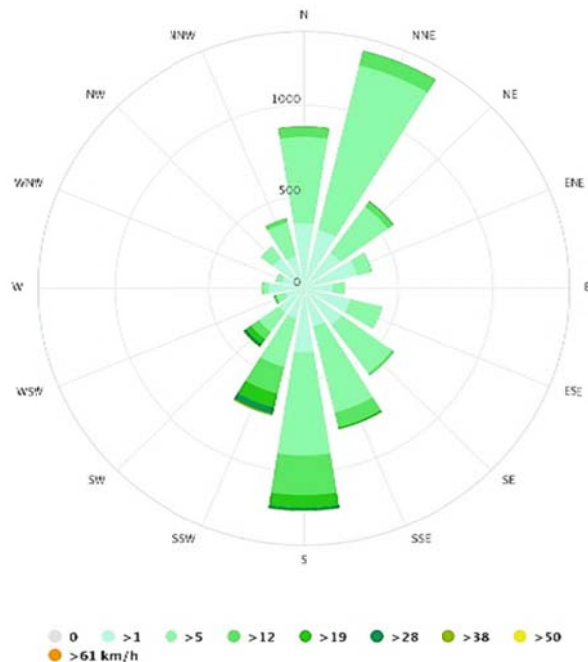
عنصر	Na	Mg	Ca	K
ارومیه	۱۲۹۰/۷ ^b	۱۰۲۵/۸ ^b	۱۹۴۶/۱ ^{bc}	۶۱۹/۸ ^c
گل‌مانخانه	۶۶۵۰/۸/۳ ^a	۱۰۸۲۲ ^a	۵۵۹۵/۸ ^a	۴۸۳۵ ^a
برده سور	۶۹۱ ^b	۲۴۴۰/۵ ^b	۲۹۵۰/۲ ^{abc}	۸۵۶/۷ ^c
جزیره اشک	۷۲۰۴/۶ ^b	۱۴۶۱/۲ ^b	۴۶۸۶/۲ ^{abc}	۱۴۱۱/۵ ^{bc}
خوی	۲۷۲۷/۸ ^b	۲۳۸۵/۹ ^b	۲۰۹۰/۴ ^{bc}	۱۰۸۳/۷ ^{bc}
باری	۱۳۹۴/۶ ^b	۲۸۶۴/۳ ^b	۱۷۶۸/۲ ^c	۱۱۶۵/۲ ^{bc}
چوپانلوی سلماس	۱۰۳۵۰/۹ ^b	۱۳۹۰ ^b	۱۹۵۵/۸ ^{bc}	۴۳۱۹/۱ ^{ab}
تبریز	۱۱۷۱ ^b	۱۱۵۰/۲ ^b	۴۸۲۳/۹ ^{ab}	۸۷۱/۲ ^c
آق گنبد	۲۶۰۶/۵ ^b	۹۳۹/۷ ^b	۲۳۶۲/۸ ^{bc}	۱۳۲۱/۷ ^{bc}
ایلخچی	۲۹۶۳/۵ ^b	۱۳۵۷/۳ ^b	۲۴۳۷/۵ ^{bc}	۱۸۰۷/۸ ^{bc}
میاندوآب	۱۰۶۰/۹ ^b	۸۳۶/۹ ^b	۳۲۷۷/۷ ^{abc}	۶۵۹/۱ ^c
آغداش	۲۷۴۵/۷ ^b	^b ۱۲۸۱/۲	۳۲۷۲/۶ ^{abc}	۱۴۵۴/۶ ^{bc}
کشاورز	۱۸۵۶/۴ ^b	۲۲۰۰/۱ ^b	۲۶۴۸/۴ ^{bc}	۱۰۸۵/۲ ^{bc}

مطالعه گلباد ایستگاه‌های مطالعاتی (از بدو تاسیس ایستگاه تا سال جاری) نشان داد که حداکثر سرعت باد از سمت دریاچه در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه کمتر از ۲۸ و به‌ندرت ۳۸ کیلومتر بر ساعت بوده است که برای بیشتر ایستگاه‌ها با فراوانی کمتری اتفاق افتاده است. به‌طور کلی می‌توان عنوان کرد که ایستگاه‌های قرار گرفته در جهت‌های جنوب دریاچه (کشاورز، میاندوآب و آغداش) و ایستگاه‌های واقع در غرب (ارومیه، برده‌سور و گل‌مانخانه) تحت تأثیر بادهایی با سرعت بسیار کم از سمت دریاچه می‌باشند، اما ایستگاه‌هایی که در سمت شمال (باری، خوی و چوپانلوی سلماس) و شرق (تبریز، ایلخچی و آق‌گنبد) دریاچه قرار گرفته‌اند

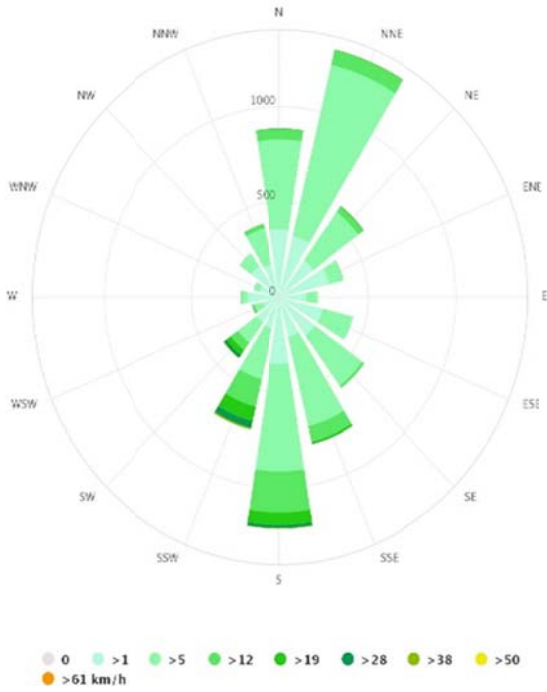
از بادهایی با سرعت نسبتاً شدید از سمت دریاچه متأثر بوده‌اند و در این میان جزیره اشک با موقعیت خود که در داخل دریاچه قرار دارد پرواضح است که می‌تواند از سمت دریاچه با سرعت‌های کم تا زیاد متأثر شود (شکل ۲). استفاده از گلباد کمک شایانی به درک انتقال ذرات از دریاچه ارومیه و نمایانگر نقش بستر دریاچه در تغذیه ذرات گرد و غبار گسیل شده به جو کرده است و در بررسی ذرات معلق در جو نقش مهمی در کاهش یا افزایش غلظت این عناصر در ایستگاه‌های مطالعاتی بازی می‌کند. اگرچه نقش فاصله از ساحل حتماً باید در نظر گرفته شده و حتی ممکن است مهم‌تر هم باشد.



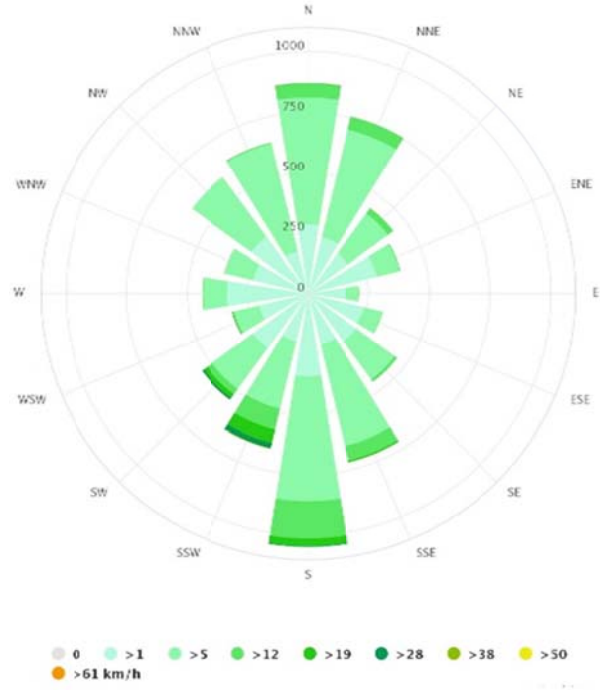
(ب)



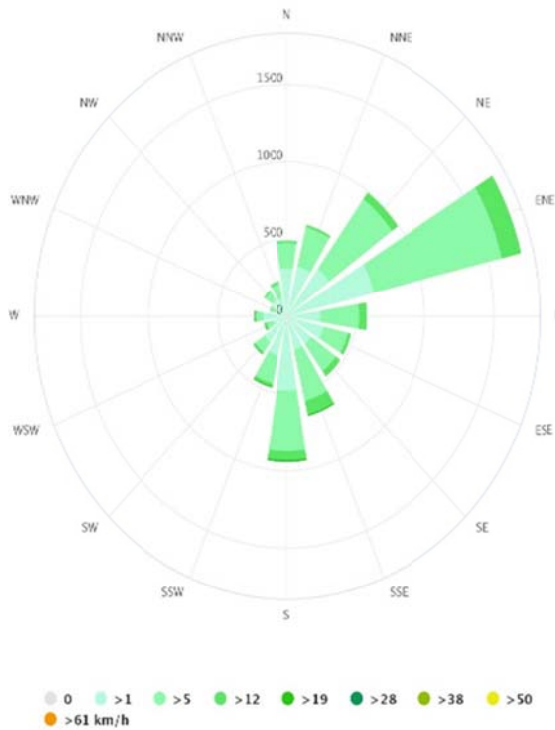
(الف)



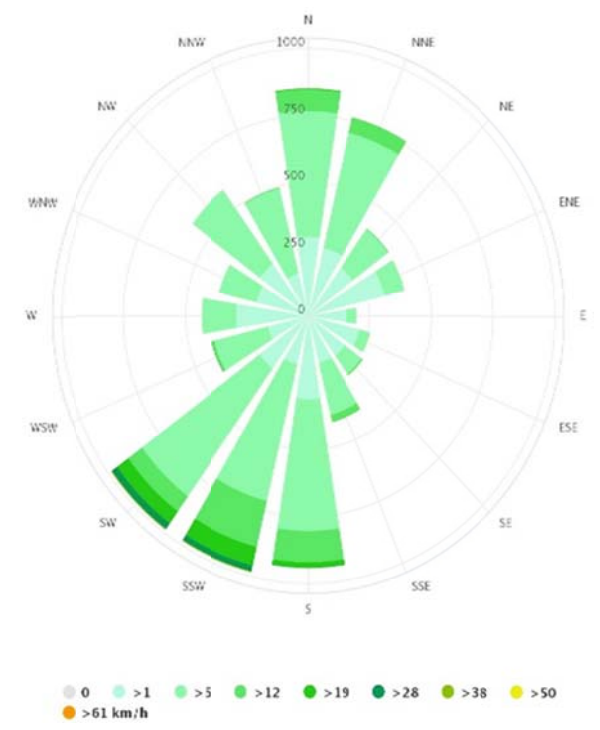
(ت)



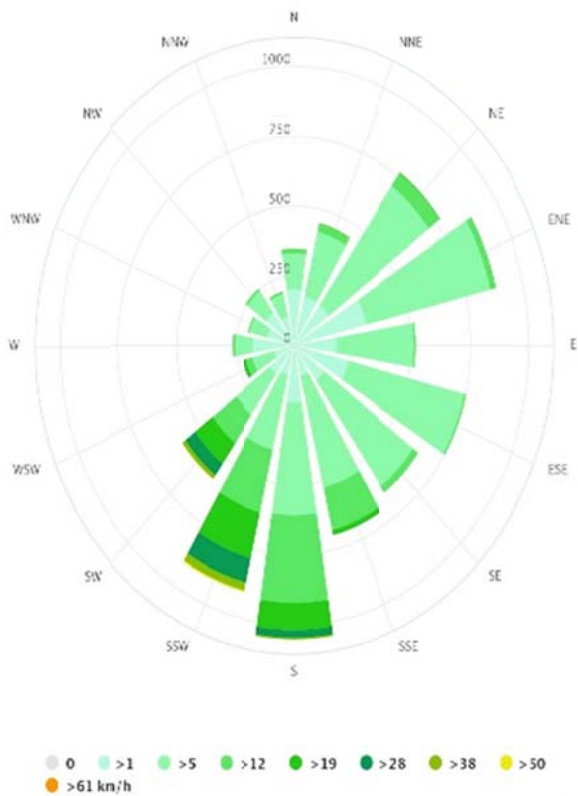
(پ)



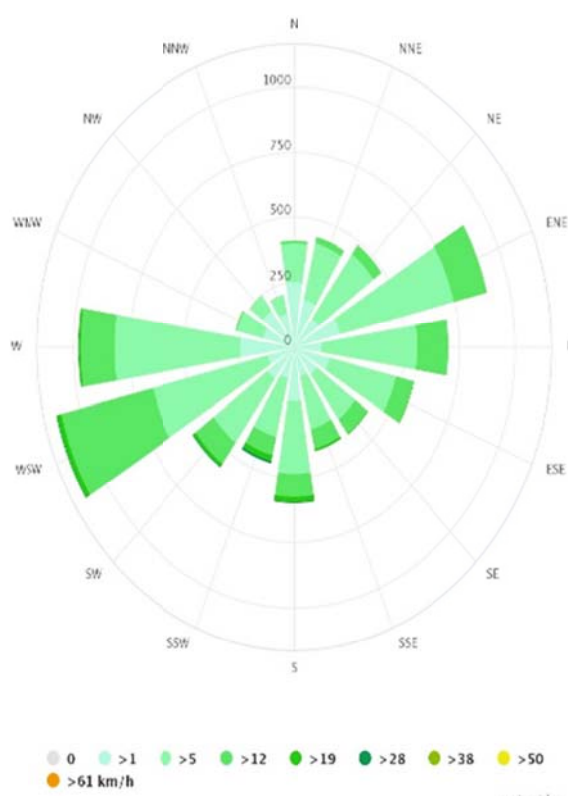
(ج)



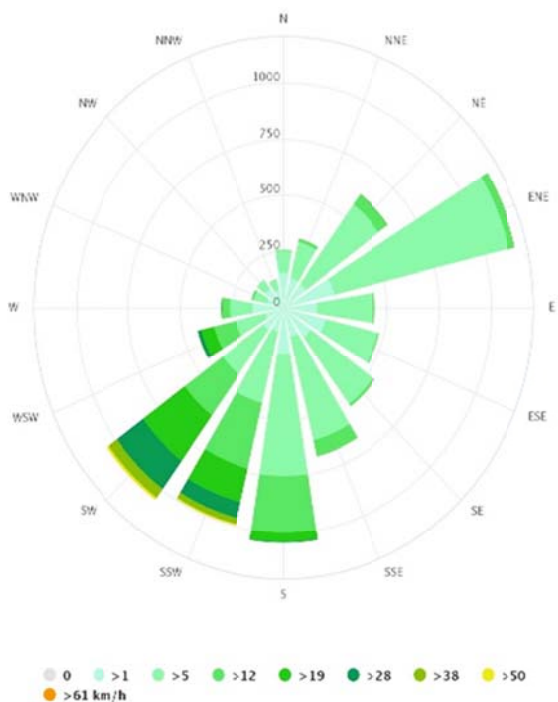
(ث)



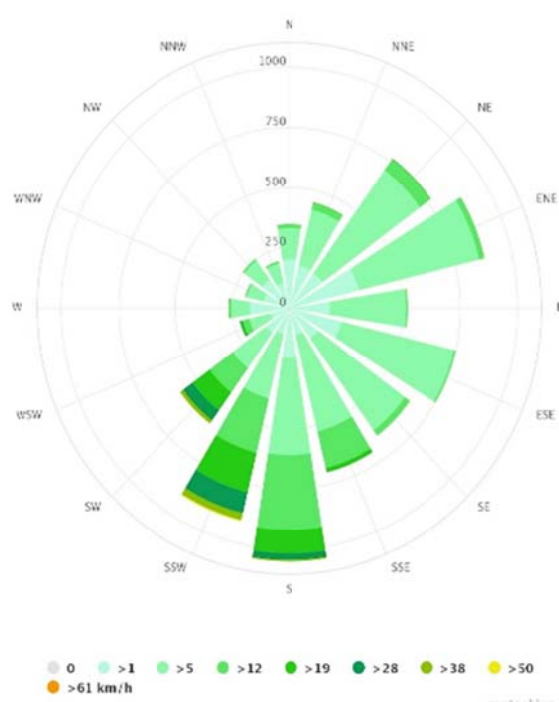
(ح)



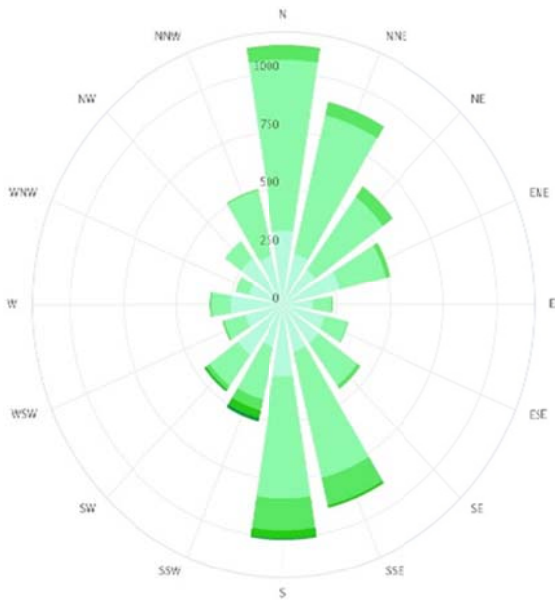
(ج)



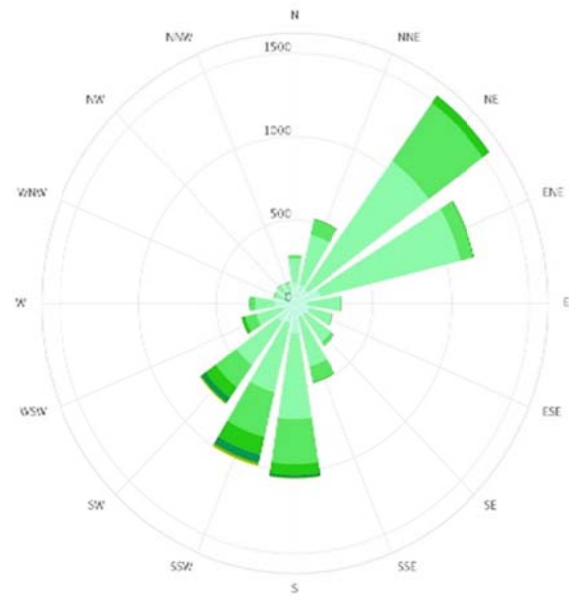
(د)



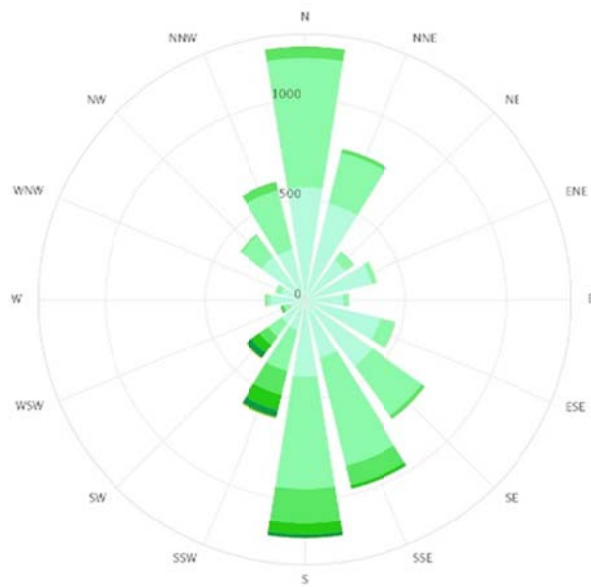
(ه)



(ج)



(ذ)

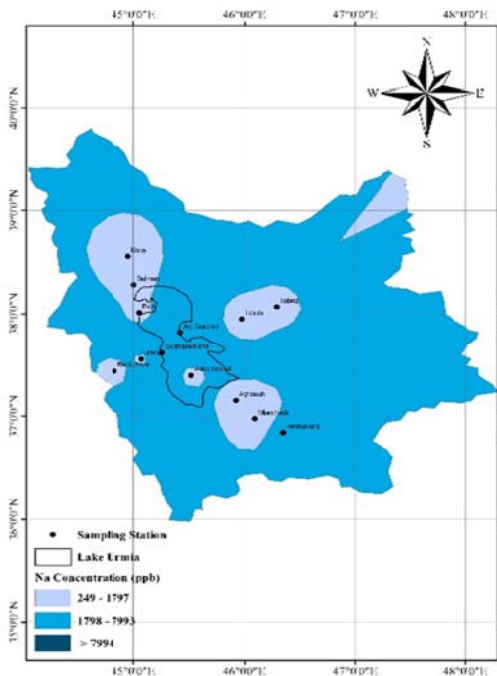


(ز)

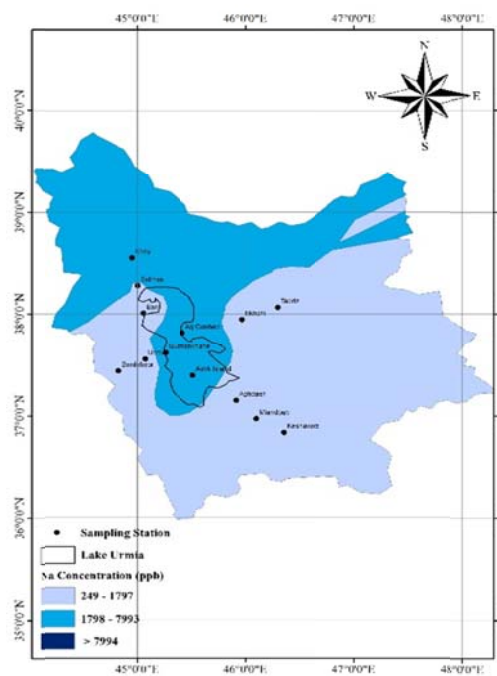
شکل ۲. گلباد ایستگاه‌های مورد مطالعه الف) گلخانه، ب) تبریز، پ) ارومیه، ت) آق گنبد، ث) برده‌سور، ج) خوی (چ) سلماس، ح) میان‌آب، خ) آغداش، د) کشاورز، ذ) ایلخچی، ر) باری، ز) جزیره اشک.

غلظت‌های بالا (بین ۷۹۹۳-۱۷۹۸ بر حسب ppb) در ایستگاه‌های خوی، سلماس و باری از سمت شمال قابل مشاهده است.

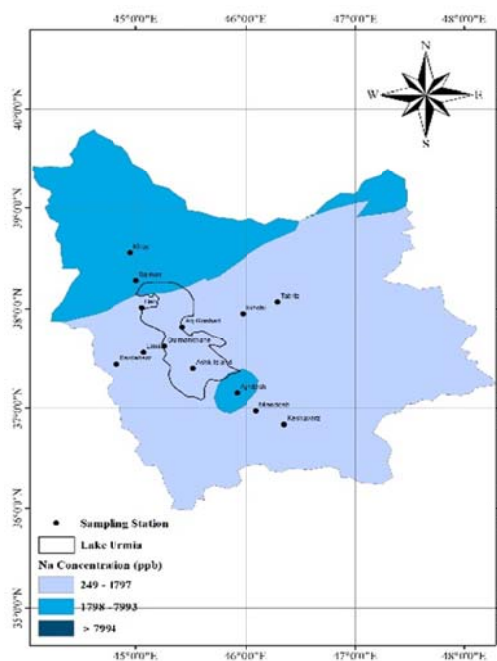
بررسی نقشه‌های مکانی پهنه‌بندی (شکل ۳) نشان داد که بالاترین غلظت عنصر سدیم در ایستگاه‌های گلخانه، جزیره اشک و آق گنبد بوده و با پراکنش کمتر با



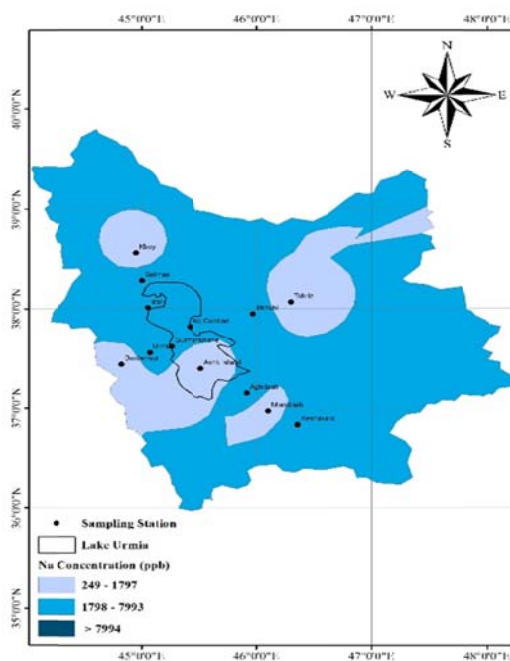
(ب)



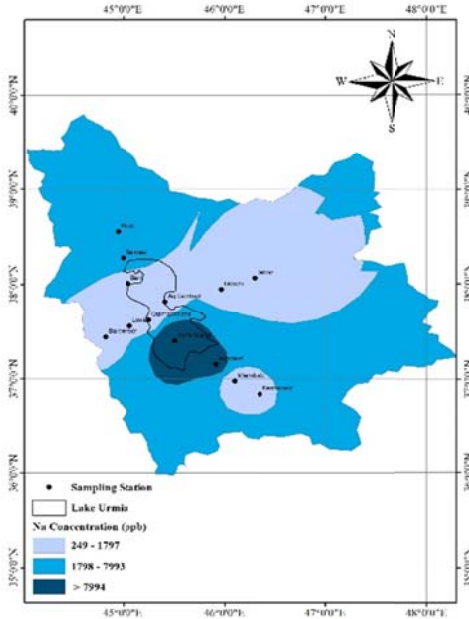
(الف)



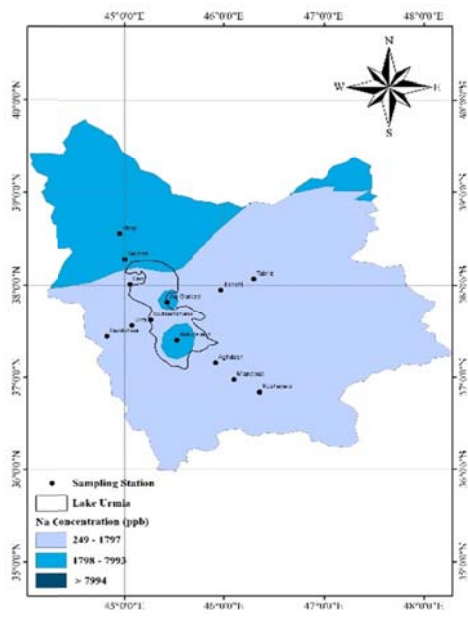
(ت)



(پ)



(ج)

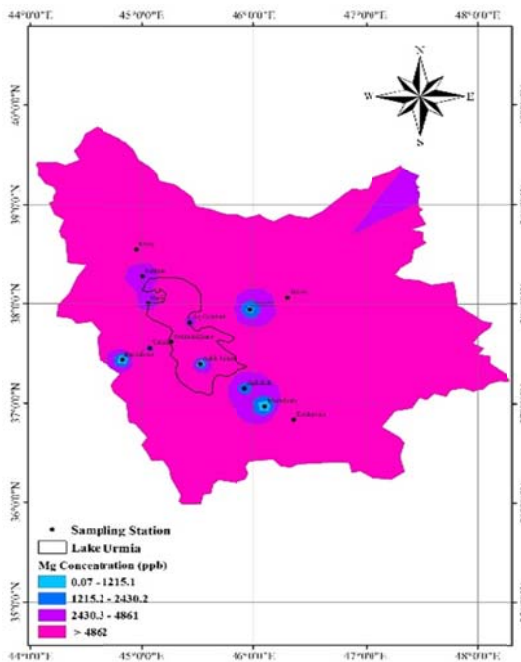


(ث)

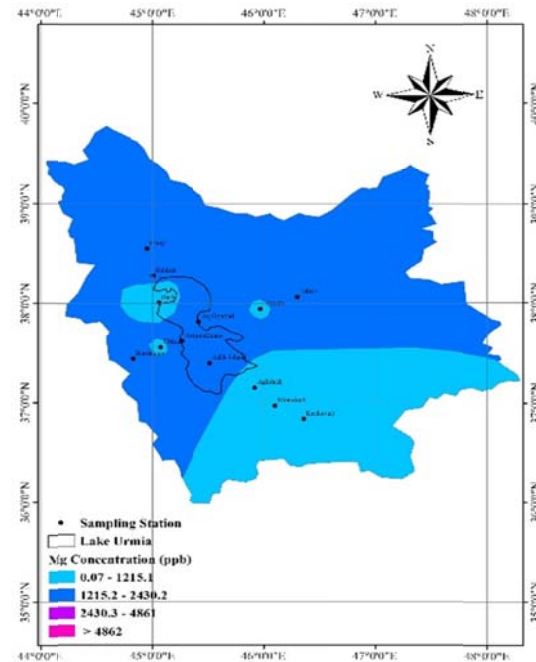
شکل ۳. نقشه‌های پهنه‌بندی شده عنصر سدیم از ۶ رخدادهای هم‌زمان در ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه (الف) رخدادهای ۱۳۹۶/۱۰/۲۹، (ب) رخدادهای ۱۳۹۷/۱/۹، (پ) رخدادهای ۱۳۹۷/۱/۲۱، (ت) رخدادهای ۱۳۹۷/۲/۱، (ث) رخدادهای ۱۳۹۷/۲/۷، (ج) رخدادهای ۱۳۹۷/۳/۱۸.

اشک، آق گنبد، باری، چوپانلوی سلماس و خوی پراکنش دارد که در واقع نشان‌دهنده انتشار بالای این عنصر در جهت‌های شمال و غرب دریاچه ارومیه می‌باشد.

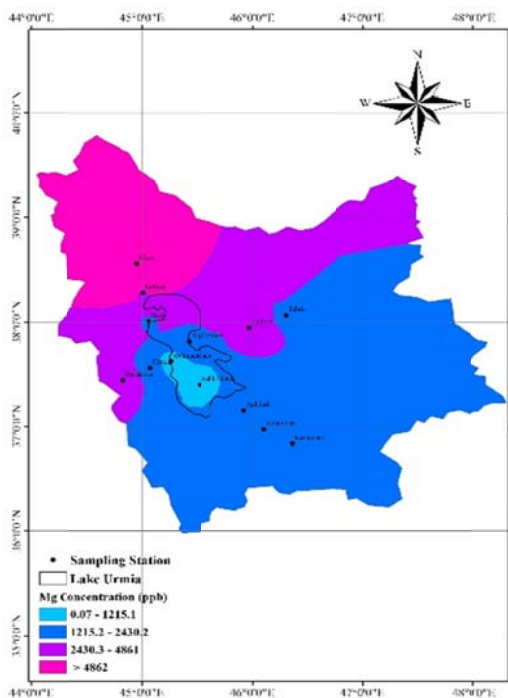
همین‌طور بررسی نقشه‌های مربوط به عنصر منیزیم (شکل ۴) نشان داد که بالاترین غلظت این عنصر (بیشتر از ۴۸۶۲ بر حسب ppb) در رخدادهای مختلف بارش، در ایستگاه‌های گل‌مانخانه، جزیره



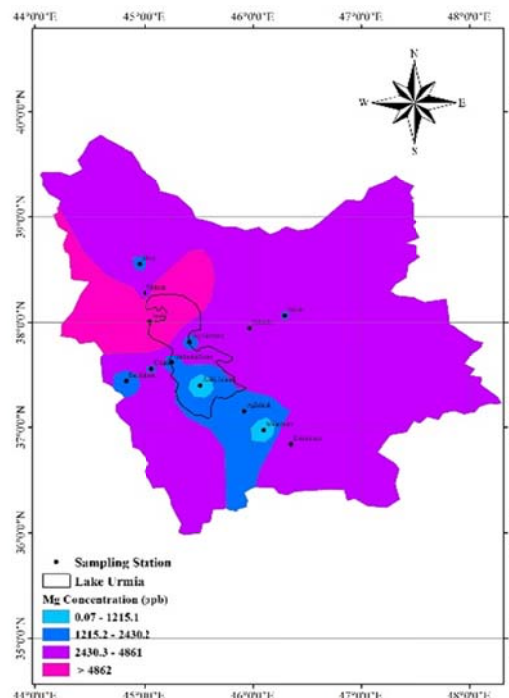
(ب)



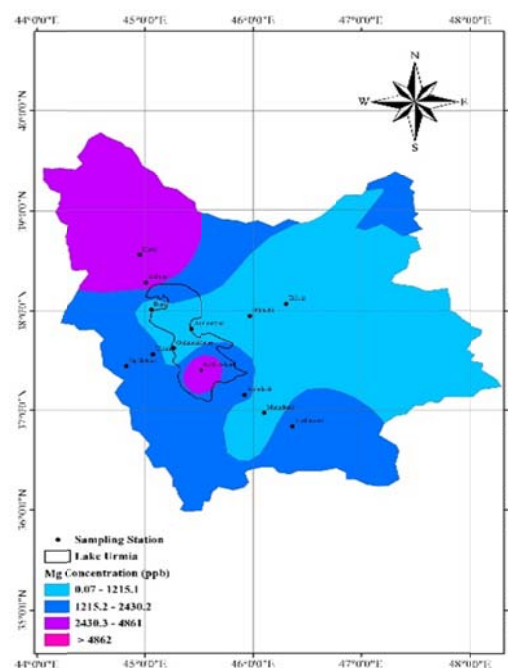
(الف)



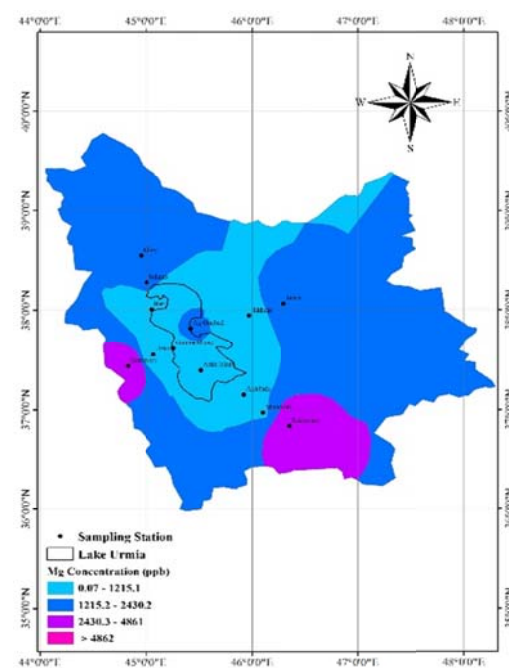
(ا)



(ب)



(ج)

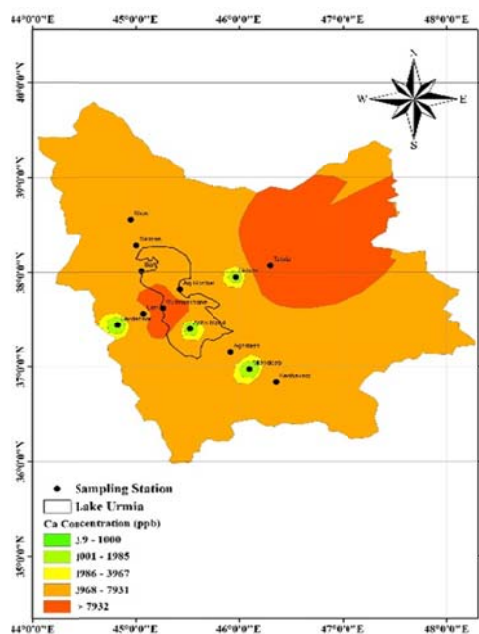


(د)

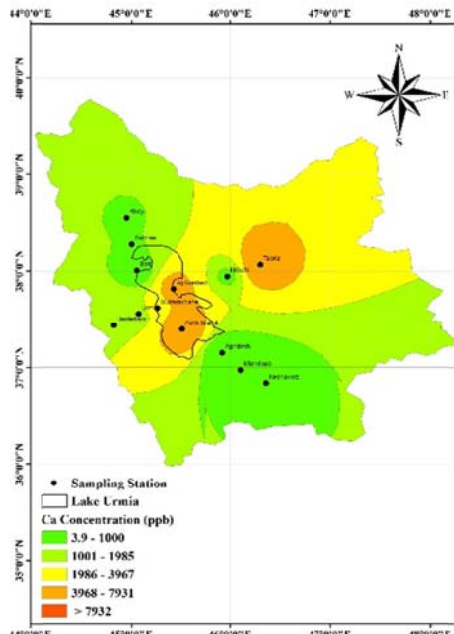
شکل ۴. نقشه‌های پهنه‌بندی شده عنصر منیزیم از ۶ رخدادهم‌زمان در ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه الف) رخدادهم‌زمان ۱۳۹۶/۱۰/۲۹، ب) رخدادهم‌زمان ۱۳۹۷/۱/۹، پ) رخدادهم‌زمان ۱۳۹۷/۱/۲۱، ت) رخدادهم‌زمان ۱۳۹۷/۲/۱، ث) رخدادهم‌زمان ۱۳۹۷/۲/۷، ج) رخدادهم‌زمان ۱۳۹۷/۳/۱۸.

برده‌سور و جزیره اشک (به ترتیب سمت غرب و مرکز دریاچه) و تا حدودی در ایستگاه‌های آق گنبد و تبریز از سمت شرق دریاچه بیشترین پراکنش را داشته است.

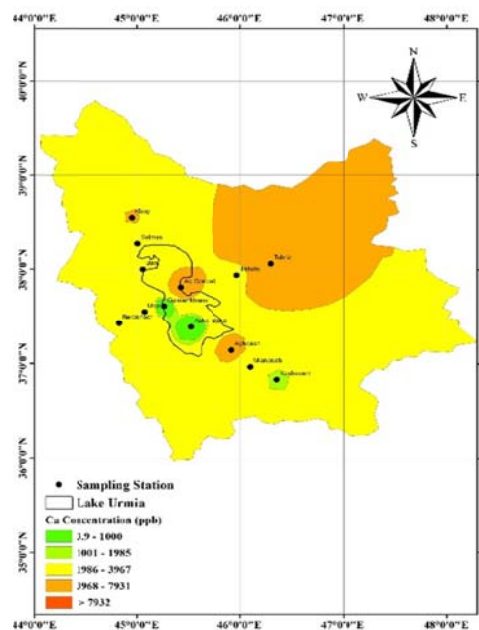
از سوی دیگر بررسی نقشه‌های عنصر کلسیم (شکل ۵) نشان می‌دهد که این عنصر در بالاترین مقدار غلظتی (بین ۷۹۳۲-۳۹۶۸ بر حسب ppb) در ایستگاه‌های گلخانه،



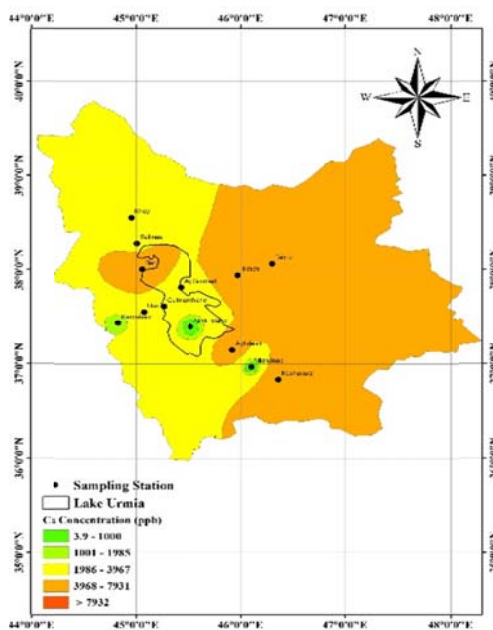
(ب)



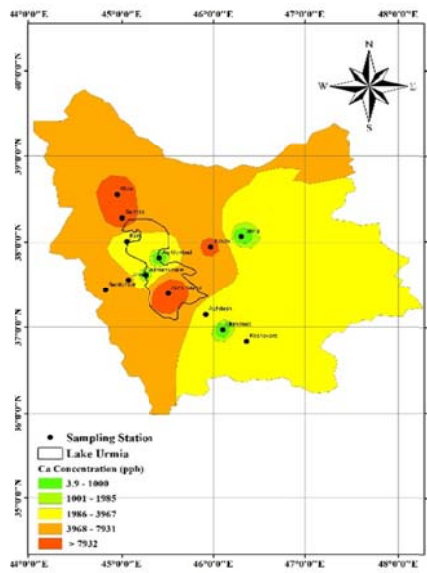
(الف)



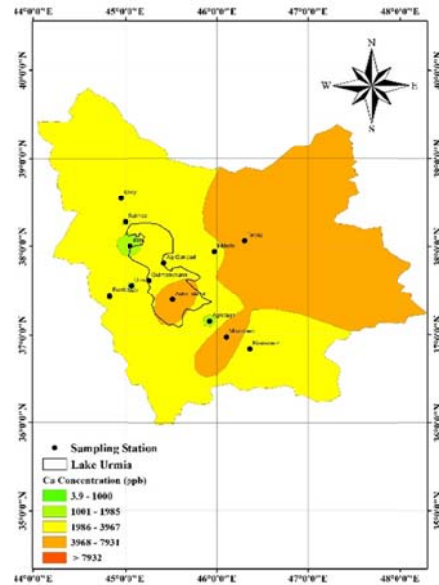
(ت)



(پ)



(ج)

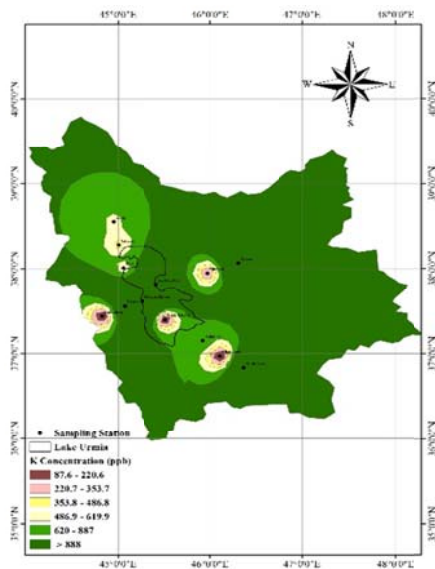


(ث)

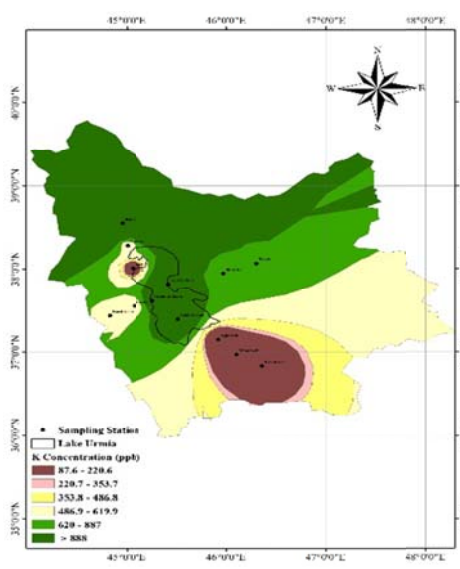
شکل ۵. نقشه‌های پهنه‌بندی شده عنصر کلسیم از ۶ رخدادهای هم‌زمان در ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه (الف) رخدادهای ۱۳۹۶/۱۰/۲۹، (ب) رخدادهای ۱۳۹۷/۱/۹، (پ) رخدادهای ۱۳۹۷/۱/۲۱، (ت) رخدادهای ۱۳۹۷/۲/۱، (ث) رخدادهای ۱۳۹۷/۲/۷، (ج) رخدادهای ۱۳۹۷/۳/۱۸.

نقشه پهنه‌بندی شده (شکل ۶) نمایش می‌دهند. به‌طور کلی مطالعه نقشه‌های پهنه‌بندی شده عناصر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم اثبات کرد که انتشار عناصر مذکور به‌طور غالب در ایستگاه‌های نزدیک به دریاچه ارومیه با بیشترین مقدار غلظتی بوده و بیشترین پراکنش را در بخش‌های غرب و شمال دریاچه ارومیه نشان دادند.

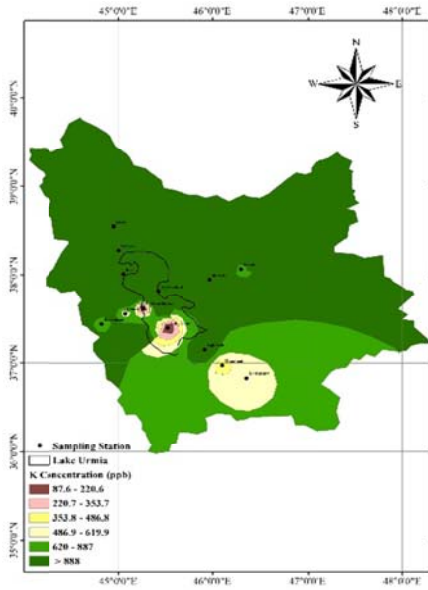
نقشه پهنه‌بندی شده عنصر پتاسیم نشان می‌دهد که بیشترین غلظت این عنصر (بیشتر از ۸۸۸ ppb) در بخش‌های شمال و غرب دریاچه با بیشترین پراکنش در ایستگاه‌های گلخانه، سلماس، خوی و آق‌گنبد و جزیره اشک بوده است و ایستگاه‌های واقع در قسمت‌های شرق و به ویژه جنوب دریاچه مقادیر پایین‌تری (کمتر از ۲۲۰ ppb) را در



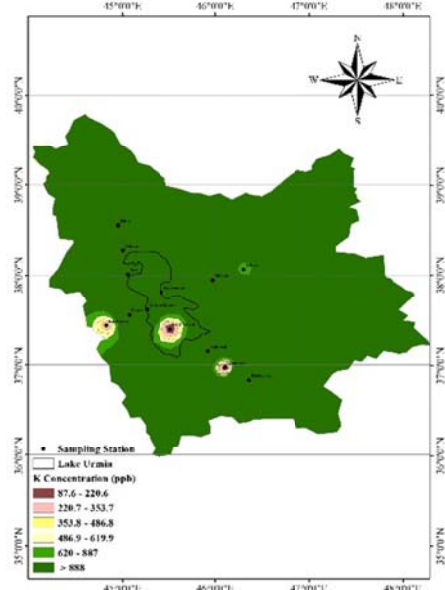
(ب)



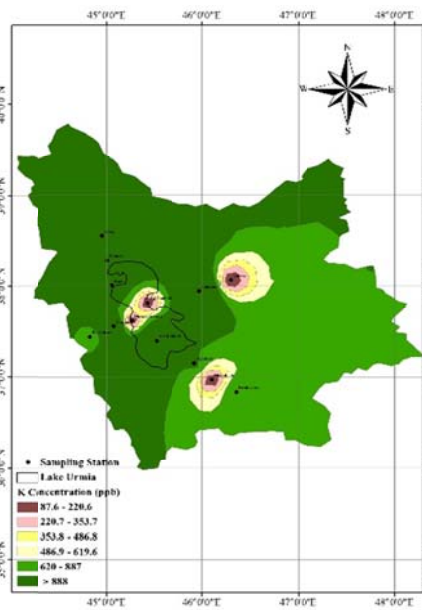
(الف)



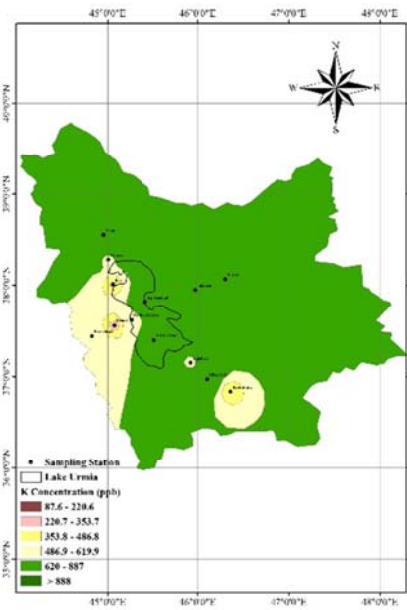
(ت)



(پ)



(ج)



(ث)

شکل ۶. نقشه‌های پهنه‌بندی شده عنصر کلسیم از ۶ رخداد هم‌زمان در ۱۳ ایستگاه مورد مطالعه الف) رخداد ۱۳۹۶/۱۰/۲۹، ب) رخداد ۱۳۹۷/۱/۹، پ) رخداد ۱۳۹۷/۱/۲۱، ت) رخداد ۱۳۹۷/۲/۱، ث) رخداد ۱۳۹۷/۲/۷، ج) رخداد ۱۳۹۷/۳/۱۸.

سوال رسید. نتایج همبستگی عناصر مورد مطالعه نشان داد که همبستگی قوی و مثبت بین عنصر سدیم با منیزیم (۰/۷۲) و همین‌طور بین عنصر کلسیم با سدیم و منیزیم (به‌ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۳۸) است؛ اگرچه هیچ ارتباطی بین عنصر پتاسیم با بقیه عناصر مشاهده نشد. (جدول ۲).

از سوی دیگر بسیار مهم است که مشخص شود که عناصر مورد مطالعه در این پژوهش از چه منشأی سرچشمه گرفته‌اند و آیا انتساب عناصر مذکور به دریاچه ارومیه صحیح است یا ممکن است از مناطق منشأ در حوزه‌های آبخیز دیگر به منطقه آورده باشند. بنابراین به کمک همبستگی بین عناصر ژئوشیمیایی می‌توان به جواب این

جدول ۲. نتایج همبستگی ژئوشیمیایی غلظت عناصر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

عنصر	Na	Mg	K	Ca
Na	۱			
Mg	۰/۷۶**	۱		
K	۰/۱۱	-۰/۲	۱	
Ca	۰/۳۱**	۰/۳۸**	۰/۱۵	۱

نتیجه این عنصر بیشتر در ایستگاه‌های نزدیک به ساحل دریاچه دیده می‌شود. به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی، مناطق غرب و شمال دریاچه تأثیر بیشتری از ذرات گرد و غبار و معلق جو ناشی از بسترهای خشک شده دریاچه ارومیه می‌بینند.

براساس نتایج آماری به‌دست آمده و نقشه‌های پهنه‌بندی تغییرات مکانی این عناصر، بیشترین غلظت عناصر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم در ایستگاه‌های نزدیک به دریاچه ارومیه یعنی در اولین حلقه شعاعی به‌دست آمده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که غلظت عناصر با منشأ دریاچه‌ای به‌ترتیب در ایستگاه‌های گلمانخانه، باری، جزیره اشک و آق گنبد با مقادیر زیاد و ایستگاه‌های سلماس و خوی با مقادیر نسبتاً زیاد و بیشتر در جهت‌های شمال و غرب ساحل دریاچه قابل مشاهده است که با نتایج حسین مردی و همکاران (۲۰۱۸) و غلام پور و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد. از سوی دیگر با بررسی عامل فاصله بر غلظت عناصر با منشأ دریاچه‌ای نشان داد که غلظت عناصر مذکور با افزایش فاصله از دریاچه و خط ساحلی عمدتاً روند کاهشی را نشان می‌دهد که با مطالعات اسوئینی و همکاران (۲۰۱۶) و آلساندرو و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت داشته است. همچنین مطالعات علی‌پور در سال ۲۰۰۶ با اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی آب دریاچه ارومیه در نقاط مختلف آن، غلظت عناصر و یون‌های اصلی را به‌ترتیب غلظت‌های به‌دست آمده در این پژوهش بیان کردند که این نتیجه با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد که حاکی از متأثر بودن ایستگاه‌های اطراف دریاچه ارومیه از ذرات گرد و غبار و هواویزهای برخاسته از

بررسی نمونه‌های آب باران از نظر غلظت عناصر مورد مطالعه مقادیر بالایی از غلظت عنصر سدیم را به‌ترتیب در ایستگاه‌های گلمانخانه، چوپانلوی سلماس، جزیره اشک، ایلخچی، خوی، آق گنبد و آغداش نشان داد که ایستگاه‌های گلمانخانه، چوپانلوی سلماس و جزیره اشک به‌ترتیب در فواصل ۳ و ۹ کیلومتری غرب، شمال و داخل دریاچه قرار دارند و ایستگاه‌های ایلخچی (شرق دریاچه)، خوی (شمال دریاچه)، آق گنبد (شرق دریاچه) و آغداش (جنوب دریاچه) در فاصله‌های ۳۰، ۳۵ و ۳ کیلومتری واقع شده‌اند که نشان‌دهنده بالا بودن غلظت این عنصر در ایستگاه‌های نزدیک به دریاچه و بیشتر در ایستگاه‌های واقع در جهت غرب دریاچه می‌باشد. بالاترین مقدار عنصر منیزیم در ایستگاه گلمانخانه (۳ کیلومتری غرب دریاچه) و سپس در ایستگاه‌های برده‌سور (غرب دریاچه)، باری (شمال دریاچه)، خوی (شمال دریاچه) و کشاورز (جنوب دریاچه) به‌ترتیب در فاصله‌های ۴۰، ۳، ۳۵ و ۵۷ کیلومتری دریاچه قرار گرفته‌اند. از این‌رو، ایستگاه‌های واقع در شمال و غرب دریاچه مقادیر بالا از منیزیم را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین بیشترین غلظت عنصر کلسیم در ایستگاه گلمانخانه (در ۳ کیلومتری غرب دریاچه) و سپس به‌ترتیب بیشترین مقدار غلظت در ایستگاه‌های تبریز (شرق دریاچه) و جزیره اشک (داخل دریاچه) با بیشترین پراکنش در جهت غرب و در ایستگاه‌های شرق دریاچه به‌دست آمد. نتایج نشان داد که ایستگاه گلمانخانه و در مراتب بعدی ایستگاه‌های چوپانلوی سلماس، ایلخچی، آق گنبد و جزیره اشک بیشترین مقدار از غلظت عنصر پتاسیم را دارا هستند. در

دریاچه ارومیه و بستر خشک آن می‌باشد. ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد، با توجه به نبود ایستگاه‌های هواشناسی و متعاقب آن داده‌های باد محلی در مجاورت دریاچه ارومیه و تشکیل ریزاقلیم‌های محلی کار تفسیر نتایج پژوهش حاضر را با گلبادها دشوار می‌کند، با این وجود با توجه به داده‌های اقلیمی ایستگاه‌ها در جهت شمال دریاچه، (ایستگاه‌های خوی و سلماس) غلظت بالای عناصر دریایی، احتمالاً ناشی از سرعت و جهت بالای باد از سمت دریاچه به سمت ایستگاه‌های مذکور بوده است که توانایی انتقال ذرات معلق معدنی و نمکی را فراهم کرده است؛ همان‌گونه که اریکسون و دیس (۱۹۸۸) در مطالعات خود نقش سرعت و جهت باد را در بالا بودن غلظت عناصر در نقاط مطالعاتی خود مشاهده کردند. ضمن آن که حداقل سرعت لازم برای انتقال هواویزهای دریایی براساس اندازه ذره بین ۱۵ تا ۵۴ کیلومتر بر ساعت گزارش شده است (غلام پور و همکاران، ۲۰۱۵؛ شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۲). از سوی دیگر با توجه به غلظت بالای عناصر با منشأ دریاچه‌ای (سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم) در ایستگاه گلخانه، برخلاف داده‌های سرعت و جهت باد، به نظر می‌رسد که شاخص فاصله تا ساحل دریاچه ارومیه (کمتر از سه کیلومتری) عامل مهم و کلیدی‌تر محسوب شده که این نتیجه با مطالعات میگیوآگا و همکاران (۲۰۰۵) و ال مومانی (۲۰۰۳) همخوانی دارد. علاوه بر این، ارتباط و همبستگی بین عناصر می‌تواند اطلاعات مفیدی از منابع تغذیه‌کننده آنها و منشأ یکسان یا متفاوت آنها را بیان کند (احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۸، ۲۰۱۵؛ هانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ اینگلبِرچت و جاینتی، ۲۰۱۳). در همین راستا، در بیشتر مطالعات انجام گرفته در دنیا عناصر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم نماینده منابع دریایی معرفی شده‌اند که از دریا‌های شور، محیط‌های رسوبی دریاچه‌ای و تبخیر از محیط‌های شور و رسوبات تبخیری به جو انتشار پیدا می‌کنند (احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹؛ غلام‌پور و همکاران، ۲۰۱۵؛ اینگلبِرچت و جاینتی، ۲۰۱۳؛ سن فیلد و پندیس، ۲۰۱۶)؛ همچنان‌که ترکیبات قلیایی نظیر NaCl_2 ، MgCl_2 و CaCl_2 در مطالعه غلام پور و همکاران (۲۰۱۵) در دریاچه ارومیه مشاهده شده است. نظیر این عناصر در مطالعه مای‌کلین (۲۰۰۷) بر روی دریاچه آرال دیده شده است که رخدادهای گرد و غبار و انتشار ذرات نمکی به جو را منجر شده است. لذا همبستگی قوی و مثبت بین عناصر سدیم، منیزیم و کلسیم احتمالاً نشان‌دهنده منابع انتشار یکسان یا نزدیک به هم این عناصر است؛ هر چند که این همبستگی با مقدار کمتری بین عنصر کلسیم با عناصر سدیم و منیزیم مشاهده شده است که حاکی از غنی‌شدگی عنصر کلسیم از سازندهای آهکی و مارنی اطراف حوضه آبریز دریاچه ارومیه هم می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که این عناصر از بسترهای خشک دریاچه ارومیه و اسپری نمک آب دریاچه ناشی از تلاطمات آب دریاچه نشأت گرفته‌اند و به شدت بر غلظت ذرات نمکی و معدنی حاوی نمک که جذب سطحی شده‌اند تأثیر گذاشته و مناطق شمال و غرب این حوضه آبریز را بیشتر تحت تأثیر خود قرار داده است که با نتایج کارهای مشابه کاو و همکاران (۲۰۰۹) و وو و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی دارد. از طرفی دیگر، نبود همبستگی بین یک مؤلفه شیمیایی با بقیه مؤلفه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده انتشار آن یون یا عنصر از منبع جداگانه‌ای بوده باشد (انگلبِرچت و جاینتی، ۲۰۱۳). از این رو، در نتیجه نبود همبستگی بین عنصر پتاسیم با بقیه عناصر، ممکن است منبع انتشار و تغذیه مجزای دیگری علاوه بر حوضه آبریز دریاچه ارومیه در انتشار آن نقش داشته باشد. با توجه به اینکه قسمت اعظم ترکیب آب دریاچه را به ترتیب غلظت عناصر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم تشکیل می‌دهد (علی پور، ۲۰۰۶) و ترکیب پوسته‌های نمکی بر جای مانده از خشک شدن دریاچه می‌تواند در ارتباط با ترکیب آن باشد، ممکن است عنصر پتاسیم یا منشأ دریاچه‌ای داشته اما دارای مسیر انتشار متفاوت بوده باشد و یا احتمالاً منشأ انتشار غیر دریایی نظیر استفاده بی‌رویه از کودهای

دریاچه ارومیه و بستر خشک آن می‌باشد. ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد، با توجه به نبود ایستگاه‌های هواشناسی و متعاقب آن داده‌های باد محلی در مجاورت دریاچه ارومیه و تشکیل ریزاقلیم‌های محلی کار تفسیر نتایج پژوهش حاضر را با گلبادها دشوار می‌کند، با این وجود با توجه به داده‌های اقلیمی ایستگاه‌ها در جهت شمال دریاچه، (ایستگاه‌های خوی و سلماس) غلظت بالای عناصر دریایی، احتمالاً ناشی از سرعت و جهت بالای باد از سمت دریاچه به سمت ایستگاه‌های مذکور بوده است که توانایی انتقال ذرات معلق معدنی و نمکی را فراهم کرده است؛ همان‌گونه که اریکسون و دیس (۱۹۸۸) در مطالعات خود نقش سرعت و جهت باد را در بالا بودن غلظت عناصر در نقاط مطالعاتی خود مشاهده کردند. ضمن آن که حداقل سرعت لازم برای انتقال هواویزهای دریایی براساس اندازه ذره بین ۱۵ تا ۵۴ کیلومتر بر ساعت گزارش شده است (غلام پور و همکاران، ۲۰۱۵؛ شمسی پور و همکاران، ۱۳۹۲). از سوی دیگر با توجه به غلظت بالای عناصر با منشأ دریاچه‌ای (سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم) در ایستگاه گلخانه، برخلاف داده‌های سرعت و جهت باد، به نظر می‌رسد که شاخص فاصله تا ساحل دریاچه ارومیه (کمتر از سه کیلومتری) عامل مهم و کلیدی‌تر محسوب شده که این نتیجه با مطالعات میگیوآگا و همکاران (۲۰۰۵) و ال مومانی (۲۰۰۳) همخوانی دارد. علاوه بر این، ارتباط و همبستگی بین عناصر می‌تواند اطلاعات مفیدی از منابع تغذیه‌کننده آنها و منشأ یکسان یا متفاوت آنها را بیان کند (احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۸، ۲۰۱۵؛ هانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ اینگلبِرچت و جاینتی، ۲۰۱۳). در همین راستا، در بیشتر مطالعات انجام گرفته در دنیا عناصر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم نماینده منابع دریایی معرفی شده‌اند که از دریا‌های شور، محیط‌های رسوبی دریاچه‌ای و تبخیر از محیط‌های شور و رسوبات تبخیری به جو انتشار پیدا می‌کنند (احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۸، ۲۰۱۹؛ غلام‌پور و همکاران، ۲۰۱۵؛ اینگلبِرچت و جاینتی، ۲۰۱۳؛ سن فیلد و پندیس، ۲۰۱۶)؛ همچنان‌که ترکیبات قلیایی نظیر NaCl_2 ، MgCl_2 و CaCl_2 در مطالعه غلام پور و همکاران (۲۰۱۵) در دریاچه ارومیه مشاهده شده است. نظیر این عناصر در مطالعه مای‌کلین (۲۰۰۷) بر روی دریاچه آرال دیده شده است که رخدادهای گرد و غبار و انتشار ذرات نمکی به جو را منجر شده است. لذا همبستگی قوی و مثبت بین عناصر سدیم، منیزیم و کلسیم احتمالاً نشان‌دهنده منابع انتشار یکسان یا نزدیک به هم این عناصر است؛ هر چند که این همبستگی با مقدار کمتری بین عنصر کلسیم با عناصر سدیم و منیزیم مشاهده شده است که حاکی از غنی‌شدگی عنصر کلسیم از سازندهای آهکی و مارنی اطراف حوضه آبریز دریاچه ارومیه هم می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که این عناصر از بسترهای خشک دریاچه ارومیه و اسپری نمک آب دریاچه ناشی از تلاطمات آب دریاچه نشأت گرفته‌اند و به شدت بر غلظت ذرات نمکی و معدنی حاوی نمک که جذب سطحی شده‌اند تأثیر گذاشته و مناطق شمال و غرب این حوضه آبریز را بیشتر تحت تأثیر خود قرار داده است که با نتایج کارهای مشابه کاو و همکاران (۲۰۰۹) و وو و همکاران (۲۰۱۸) همخوانی دارد. از طرفی دیگر، نبود همبستگی بین یک مؤلفه شیمیایی با بقیه مؤلفه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده انتشار آن یون یا عنصر از منبع جداگانه‌ای بوده باشد (انگلبِرچت و جاینتی، ۲۰۱۳). از این رو، در نتیجه نبود همبستگی بین عنصر پتاسیم با بقیه عناصر، ممکن است منبع انتشار و تغذیه مجزای دیگری علاوه بر حوضه آبریز دریاچه ارومیه در انتشار آن نقش داشته باشد. با توجه به اینکه قسمت اعظم ترکیب آب دریاچه را به ترتیب غلظت عناصر سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم تشکیل می‌دهد (علی پور، ۲۰۰۶) و ترکیب پوسته‌های نمکی بر جای مانده از خشک شدن دریاچه می‌تواند در ارتباط با ترکیب آن باشد، ممکن است عنصر پتاسیم یا منشأ دریاچه‌ای داشته اما دارای مسیر انتشار متفاوت بوده باشد و یا احتمالاً منشأ انتشار غیر دریایی نظیر استفاده بی‌رویه از کودهای

نتایج نشان می‌دهد که مناطق تحت تأثیر ذرات معلق نشأت گرفته از دریاچه ارومیه و بسترهای خشک پیرامون آن، بیشتر مناطق با فاصله‌های نزدیک از دریاچه را تحت تأثیر قرار داده (حلقه اول شامل ایستگاه‌های باری، گلخانه، آغداش، آق‌گنبد و جزیره اشک) که با نگاهی دقیق‌تر به حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مناطق شمال و غرب دریاچه (یعنی ایستگاه‌های گلخانه، باری و سلماس) بیشترین تأثیر را از این ذرات برخاسته از بستر خشک شده دریاچه ارومیه می‌بینند. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد شعاع تأثیر دریاچه ارومیه بر مناطق اطراف آن حدود ۴۰ کیلومتر می‌باشد که می‌تواند بسته به شرایط اقلیمی و محیطی ناشی از فعالیت‌های انسان‌زاد پیوسته متغیر بوده و آن را تشدید یا تضعیف کند. لذا پایش پژوهش‌های پیشرو را به صورت مداوم می‌طلبد.

مراجع

شمسی پور، ع. ا.، نجیب زاده، ف. و زارعی چق‌بلکی، ز.، ۱۳۹۲، مدل سازی عددی و شبیه سازی بادهای روی حوضه‌ی دریاچه ارومیه، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۵ (۱)، ۱۱۹-۱۳۴.

شیمیایی در اراضی کشاورزی اطراف دریاچه ارومیه داشته باشد که با نتایج احمدی بیرگانی و همکاران (۲۰۱۸، ۲۰۱۹) و هانن برگر و پری (۲۰۱۵) در تطابق است.

۵. نتیجه‌گیری

به‌عنوان یک استنباط علمی، انتشار نمک‌ها و عناصر با منشأ دریایی در نتیجه خشک شدن قسمت اعظم آب دریاچه ارومیه می‌تواند شوری خاک را در زمین‌های کشاورزی افزایش داده که این مسأله به نوبه‌ی خود می‌تواند تأثیر به‌سزایی بر تولیدات گیاهی و از دست رفتن محصولات کشاورزی در این منطقه داشته باشد. از سوی دیگر گسیل حجم بالایی از ذرات گرد و غبار نمکی به جو می‌تواند منجر به افزایش هسته‌های تراکم ابر (بسته به ترکیب ذره تراکم)، میزان بارندگی را در مناطق اطراف و اراضی کشاورزی به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد و هم تغییرات اقلیمی شدیدی به‌واسطه تغییر در بیلان انرژی و متعاقب آن تغییر در ویژگی‌های اقلیمی-جوی به ویژه سرعت باد در بستر دریاچه داشته باشد.

- Ahmady-Birgani, H., McQueen, K. G. and Mirnejad, H., 2018, Characteristics of mineral dust impacting the Persian Gulf. *Aeolian Research*, 30, 11-19.
- Ahmady-Birgani, H., Engelbrecht, J., P. and Bazgir, M., 2019, How different source regions across the Middle East change aerosol and dust particle characteristics, *Desert*, under publication.
- Ahmady-Birgani, H., Mirnejad, H., Feiznia, S. and McQueen, K. G., 2015, Mineralogy and geochemistry of atmospheric particulates in western Iran, *Atmospheric Environment*, 119, 262-272.
- Alipour, S., 2006, Hydrogeochemistry of seasonal variations of Urmia Salt Lake, Iran, *Saline Systems*, 2-9.
- Aas, W., Shao, M., Jin, L., Larssen, T., Zhao, D., Xiang, R., Zhang, J., Xiao, J. and Duan, L., 2007, Air concentrations and wet deposition of major inorganic ions at five nonurban sites in China, 2001-2003. *Atmospheric Environment*, 41(8), 1706-1716.
- Abuduwaili, J., Liu, D. and Wu, G., 2010, Saline dust storms and their ecological impacts in arid regions. *J Arid Land*, 2(2), 144-50.
- Al-Momani, I. F., 2003, Trace Elements in Atmospheric Precipitation at Northern Jordan Measured by ICP-MS: Acidity and Possible Sources, *Atmospheric Environment*, 37, 4507-4515.
- Andre, F., Jonard, M. and Ponette, Q., 2007, Influence of Meteorological Factors and Polluting Environment on Rain Chemistry and Wet Deposition in a Rural Area Near Chemistry, Belgium, *Atmospheric Environment*, 41, 1426-1439.
- Anatolaki, Ch. and Tsitouridou, R. 2009, Relationship Between Acidity and Ionic Composition of Wet Precipitation A Two Years Study at an Urban Site, Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Research*, 92, 100-113.
- DeAlessandro, W., Katsanou, K., Lambrakis, N., Bellomo, S., Brusca, L. and Liotta, M. 2013. Chemical and isotopic characterisation of bulk deposition in the Louros basin (Epirus, Greece). *Atmospheric Research*, 132(133), 399-410.
- Andreae, M. O., 1984, The Emission of Sulfur to the Remot Atmosphere: Background Paper in

- Galloway, J.N.; Charlson, R.J.; Andreae, M.O.; and Rodhe, H.; eds. *The Biogeochemical Cycling of Sulfur and Nitrogen in the Remote Atmosphere*, NATO ASIO Series, v. Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, 5-21.
- Blanchard, D. C. and Woodcock, A. H., 1957, Bubble Formation and Modification in the Sea and its Meteorological Significance, *Tellus*, 9, 145-158.
- Brandt, C. and Van Eldik, R., 1995, Transition-metal-Catalyzed Oxidation of Sulfur (IV). *Atmospheric Relevant Processes and Mechanisms*, Chemical Reviews, 95, 119-190.
- Colls, J., 2002, *Air Pollution*. Publication of IAEH. Second Edition, pp1-479.
- Cottrell, B. A., Gonsior, M., Isabelle, L. M., Luo, W., Perraud, V., McIntire, T. M., Pankow, J. F., Schmitt-Kopplin, Ph. And Cooper, W., 2013, A Regional Study of the Seasonal Variation in the Molecular Composition of Rainwater. *Atmospheric Environment*, 77, 588-597.
- Cao, Y. Zh., Wang, Sh., Zhang, G., Luo, J. and Lu, Sh., 2009, Chemical Characteristics of wet precipitation at an urban site of Guangzhou, South China. *Atmospheric Research*, 94, 462-469.
- Eriksson, E., 1960, The Yearly Circulation of Chloride and Sulphur in Nature, Meteorological, Geochemical and Pedological Implications. Part II, *Tellus*, 12, 63-109.
- ESRI, 2015, *ArcGIS Desktop Help*. Environmental Systems Research Institute Inc.
- Erickson, D. and Duce, R., 1988, On the Global Flux of Atmospheric Sea Salt. *Geophysical Research*, 93(C11), 14079-14088.
- Engelbrecht, J. P. and Jayanty, R. K. M., 2013, Assessing sources of airborne mineral dust and other aerosols, in Iraq. *Aeolian Research*, 9, 153-160.
- Ferreira, C. C. M., 2012, Estudo do Comportamento do Período Chuvoso em Juiz de Fora, MG. *Rev. Geonorte*, 1(5), 953-963.
- Gholampour, A., Nabizadeh, R., Hassanvand, M. S., Taghipour, H., Nazmara, S. and Mahvi, A. H., 2015, Characterization of saline dust emission resulted from Urmia Lake drying. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 82.
- Golabian, H., 2010, *Urumia Lake: Hydro-Ecological Stabilization and Permanence Macro-engineering Seawater in Unique Environments*. Springer-Verlag, Berlin, 365-397.
- Gorka, M., Shrzypek, G., Halas, S., Jedrysek, M. O. and Strapoc, D., 2017, Multi-Seasonal Pattern in 5 Years Record of Stable H, O and S Isotope Compositions of Precipitation (Wrocław, SW Poland). *Atmospheric Environment*, 17, 1352-2310.
- Gustafsson, M. R. and Larsson, E. H., 2000, Spatial and Temporal Patterns of Chloride Deposition in Southern Sweden. *Water, Air and Soil Pollution*, 124, 345-369.
- Ghale, Y., Baykara, M. and Unal, A., 2017, Analysis of decadal land cover changes and Salinization in Urmia Lake Basin using remote sensing techniques. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 212.
- Hingston, F. J. and Gailitis, V., 1976, The Geographic Variation of Salt Precipitation Over Western Australia, *Soil Research*, 14(3), 319-335.
- Honorio, B. A. D., Horbe, A. M. C. and Seyler, P., 2010, Chemical Composition of Rainwater in Western Amazonia-Brazil. *Atmospheric Research*, 98, 416-425.
- Hoseinpour, M., Fakheri Fard, A. and Naghili, R., 2010, Death Of Urmia Lake, a Silent Disaster Investigating Causes, Results and Solutions of Urmia Lake drying. 1st International Applied Geological Congress, Department of Geology, Islamic Azad University, Islamic Azad University-Mashad Branch, Iran.
- Hossein Mardi, A., Khaghani, A., Macdonald, A. B., Nguyen, P. H., Karimi, N., Heidary, P., Karimi, N., Saemian, P., Sehatkashani, S., Tajrishy, M. and Sorooshian, A., 2018, The Lake Urmia Environmental Disaster in Iran: A Look at Aerosol Pollution. *Science of the Total Environment*, 633, 42-49.
- Huang, Sh., Tu, J., Liu, H., Hua, M., Liao, Q. and Feng, J. 2009, Multivariate Analysis of Trace Element Concentrations in Atmospheric Deposition in the Yangtze River Delta, East China. *Atmospheric Environment*, 43, 5781-5790.
- Hahnenberger, M. and Perry, K. D., 2015, Chemical Composition of dust and soil from the Sevier Dry Lake, Ut, USA, *Atmospheric Environment*, 113, 90-97.
- Khan, M. N. and Sarwar, A., 2014, Chemical Composition of Wet Precipitation of Air Pollutants: A case Study in Karachi, Pakistan. *Atmosfera*, 27(1), 35-46.
- Kim, H. and Kaufman, A. J., 2014, Sulfur Isotope and Chemical Compositions of the Wet Precipitation in two Major Urban Areas, Seoul and Busan, Korea. *Asian Earth Sci*, 79, 415-45.
- Laouali, D., Galy-Lacaux, C., Diop, B., Delon, C., Orange, D., Lacaux, J. P., Akpo, A., Lavenu, F., Gardrat, E. and Castera, P., 2012, Long Term Monitoring of the Chemical Composition of Precipitation and Wet Deposition Fluxes Over Three Sahelian Savannas. *Atmospheric Environment*, 50, 314-327.
- Li, C., Kang, S., Zhang, Q. and Kaspari, S., 2007, Major ionic composition of precipitation in the Nam Co region, Central Tibetan plateau, *Atmospheric Research*, 85 (34), 351-360.
- Liu, J. S., Wang, S. Y., Yu, S. M., Yang, D. and Zhang, L., 2009, Climate Warming and Growth

- of High-Elevation inland Lakes on the Tibetan Plateau. *Global. Planet. Chang.* 67, 209-217.
- Liu, D., Abuduwaali, J., Lei, J. and Wu, G., 2011, Deposition rate and chemical composition of the Aeolian dust from a bare saline playa, Ebinur Lake, Xinjiang, China. *Water, Air Soil Pollut.* 218(1-4), 175-84.
- Migliavacca, D., Teixeira, E. C., Wiegand, F., Machado, A. C. M. and Sanchez, J., 2005, Atmospheric Precipitation and Chemical Composition of an Urban Site, Guaiaba Hydrographic Basin, Brazil. *Atmospheric Environment*, 39, 1829-1844.
- Micklín, P., 2007, The Aral sea disaster. *Annu. Rev. Earth Planet Sci.* 35, 47-72.
- Niu, H., He, Y., Lu, X. X., Shen, J., Du, J., Zhang, T., Pu, T., Xin, H. and Chang, L., 2014, Chemical Composition of Rainwater in the Yulong Snow Mountain Region, Southwestern China. *Atmospheric Research*, 144, 195-206.
- Pu, W., Weijun, Q., Ma, Zh., Shi, X., Zhao, X., Zhang, L., Wang, Zh. and Wang, W., 2017, Long term trend of chemical composition of atmospheric precipitation at a regional background station in Northern China. *Science of the Total Environment*, 580, 1340-1350.
- Rao, W., Guilin, H., Hongbing, T., Jin, K., Shuai, W. and Chen, T., 2017, Chemical and Sr Isotopic Characteristics of Rainwater on the Alxa Desert Plateau, North China: Implication for Air Quality and Ion Sources. *Atmospheric Research*, 15, 1352-2310.
- Sima, S. and Tajrishy, M., 2013, Using Satellite Data to Extract Volume-Area-Elevation Relationships for Urmia Lake, Iran. *Journal of Great Lakes Research*, 39(1), 90-99.
- Sweeney, M. E., Moore, C. L., McQueen, K. G. and Spandler, T., 2016, Geomorphic Controls on Deposition of Salt in The Greater Tamar Catchment, Northeast Tasmania. *Geological Society of Australia*, 64, 1-12.
- Sorooshian, A., Shingler, T., Hardpold, A., Feagles, C.W., Meixner, T. and Brooks, P.D. 2013, Aerosol and Precipitation Chemistry in the Southwestern United States: Spatiotemporal Trends and Interrelationship. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 7361-7379.
- Santos, P.S.M., Otera, M., Santos, E.B.H. and Duarte, A., 2011, Chemical composition of rainwater at a coastal town on the southwest of Europe: what changes in 20 years. *Science of the Total Environment*, 409, 3548-3553.
- Small, I., Van der Meer, J., Upshur, R., 2001, Acting on an environmental health disaster: the case of the Aral Sea. *Environment Health Perspect.* 109(6), 547.
- Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N., 2016, *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, John Wiley and Sons.
- Valstos, D., Antonopoulou, M., Lavranou, A., Efthimiou, I., Dailianis, S., Hela, D., Lambropoulou, D., Paschalidou, A. K. and Kassomenos, P., 2019, Assessment of the Toxic Potential of Rainwater Precipitation: First Evidence from a case Study in three Greek Cities. *Science of the Total Environment*, 648, 1323-1332.
- Vet, R., Artz, R., Carou, S., Shaw, M., Ro, Ch., Aas, W., Baker, A., Bowersox, V. C., Dentener, F., Galy-Lacaux, C., Hou, A., Pienaar, J., Gillett, R. and Reid, N., 2014, A Global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and Ph, and phosphorus. *Atmospheric Environment*, 93, 3-100.
- Wirmvem, M. J., Ohba, T., Fantong, W. Y., Ayonghe, S. N., Hogarh, J. N., Suila, J. Y., Asaah, A. N. E., Ooki, S., Tanyileke, G. and Hell, J. V., 2014, Origin of Major Ions in Monthly Rainfall Events at the Bamenda Highlands, North West Cameroon. *Environment Sciences*, 26, 801-809.
- Wu, Y., Zhang, J., Ni, Zh., Liu, S., Jiang, Zh. and Huang, X., 2018, Atmospheric Deposition of Trace Elements to Daya Bay, South China Sea: Fluxes and Sources. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 672-683.
- Zheng, M. P., Zhao, Y. Y. and Liu, J. Y., 2000, Palaeoclimatic Indicators of China's quaternary Saline Lake Sediments and Hydrochemistry. *Acta Geo. sin.* 74(2), 259-265.
- Zuo, Y. and Hoigne, J., 1993, Evidence for Photochemical Formation of H₂O₂ and Oxidation of SO₂ in Authentic fog Water. *Science*, 260, 73-75.

Spatial Mapping of Elemental Variabilities of Atmospheric Particulates throughout the Lake Urmia Basin

Ravan, P.¹, Ahmady-Birgani, H.^{2*} and Sorooshian, A.³

1. M.Sc. Graduated, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

2. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

3. Associate Professor, Department of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Hydrology and Atmospheric Science, University of Arizona, Arizona, USA

(Received: 1 Jun 2019, Accepted: 1 Oct 2019)

Summary

Due to the presence of elements such as Ca, Na, Mg and K, lakes can play an important role in the chemical properties of rainwater due to the evaporation of water droplets in the atmosphere. These marine aerosols can be transmitted by wind to areas far from their original source. Therefore, monitoring of the quality of rain water due to the transfer and sedimentation of marine aerosols as the best parameter for monitoring chemistry of the atmosphere has been important in extensive studies. This phenomenon occurred with the drying of Lake Urmia, with the loss of 90 percent of its water volume and the formation of salt desert on its bed. This situation can overcome climate change in this area, increase respiratory diseases and, consequently, the lives of people living in these areas. Therefore, the present study intends to map the spatial variations of rainwater chemistry in terms of sodium, magnesium, calcium and potassium (as a representative of marine resources) by collecting rainwater from simultaneous events in 13 stations around the Lake of Urmia and damages are determined from the most acceptable area in terms of the impact of marine elements. This study selected the Lake Urmia watershed as the study area. About 129 rainwater samples were collected from 13 stations around Lake Urmia over a one year period. These stations are located in the four main geographical directions of north (Khoy, Bari and Chopanloo Salmas), southern (Aghdash, Miandoab and Keshavarz), East (Tabriz, Ilikhchi and Agh Gonbad) and West (Golmankhaneh, Urmia and Bardehsor) and the center of the lake (Ashk Island). Sampling from each event with the same volume of 250 ml at points away from contamination and then stored at 5-4°C to prevent physico-chemical changes. The analysis of the elements was measured using the ICP-MS model 8800 in ppb. In the present study, the meteorological data in two categories of wind speed and wind direction (meteorological glaciers) were considered for 13 study stations. The mapping of the studied elements were generated by the IDW method in the Arc GIS software version 10.4. One-way ANOVA and Pearson correlation coefficient were used in SPSS software version 18 to examine the changes and correlation between the elements. The highest concentrations of Na and Mg were obtained at Golmankhaneh station. Also, the highest concentration of Ca element was observed at Golmankhaneh station, which in the second Bardehsor, Ashk Island, and Tabriz stations had the largest concentration. The study of windrose showed that stations located south of the lake and stations in the west were affected by very low wind speeds from the lake but the stations located on the north and east of the lake have been affected by relatively fast winds from the lake side. The mapping showed that the highest concentrations of the studied elements were in the north and west stations, as demonstrated by the one-way ANOVA results. The correlation results showed that there is a significant correlation between sodium, magnesium and calcium, indicating that these elements are likely to have the same source of propagation and originate from salt salts and have strongly been affected by suspended particles with the origin of the lake, considering the climatic data of stations in the north of Lake Urmia (Khoy and Salmas stations). By investigation of rainwater samples in terms of concentration of studied elements and their spatial variations at different distances from Lake Urmia showed that the highest concentrations of the elements studied at nearby stations (Golmaneh, Barry, Tak Island and Agh Gonbad), it was observed that in the Lake Urmia relatively large amounts of these elements are found at Salmas and Khoy stations that in general, it can be said that this distribution is more than a few kilometers to the lake and shows that the impact of Lake Urmia is currently high on nearby stations. As a general conclusion, the western and northern regions of the lake are more susceptible to dust and suspended particles from the dried-up areas of Lake Urmia. Investigating the distance factor on the concentration of lake origin elements showed that the concentrations of these elements with increasing distance from the lake and the coastline are mainly decreasing. Strong and positive correlation between sodium, magnesium and calcium elements is likely to indicate the sources of the same or close distribution of these elements, although this correlation is observed with a lower content of calcium element with sodium and magnesium elements, indicating enrichment calcium is a part of limestone and marl formation around the catchment area of Lake Urmia.

Keywords: Atmospheric particulates, Aerosol, Spatial mapping, chemical composition of rainwater, Lake Urmia basin.

*Corresponding author:

h.ahmadybirgani@urmia.ac.ir