

## مدل‌سازی عددی و شبیه‌سازی بادهای روی حوضه دریای ارومیه

علی اکبر شمس پور\* - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران  
فهمیه نجیب‌زاده - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران  
زهرا زارعی چقالکی - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۹/۲۷      تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۱/۲۹

### چکیده

در طول سال‌های گذشته تحت تأثیر عوامل مختلف، سطح آب دریای ارومیه کاهش یافته و احتمال خشکی کامل آن را در سال‌های آینده تقویت کرده است. خشکی دریای ارومیه با بستری از رسوبات نمک در معرض هوا و وزش باد، تغییرات چشمگیری در وضعیت گرمایی، بیلان انرژی و نیز، پراکنش ذرات معلق اطراف دریای ارومیه ایجاد می‌کند. با به‌کارگیری مدل‌سازی اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای، این امکان وجود دارد تا با استفاده از سناریوهای مختلفی مانند خشک یا پُر بودن دریای ارومیه، تأثیر آن بر شرایط اقلیمی منطقه شبیه‌سازی شود. در این مطالعه با بهره‌گیری از داده‌های سه ساعته جهت و سرعت باد در ایستگاه‌های هم‌دید گرداگرد دریای ارومیه و با استفاده از مدل میان‌مقیاس آلودگی هوا (TAPM)، میزان حجم ذرات معلق و الگوی پراکنش آن در منطقه محاسبه شد. بادهای غربی در ایستگاه ارومیه، بادهای شمالی در ایستگاه خوی، بادهای جنوبی در ایستگاه مهاباد، و بادهای شرقی در دو ایستگاه مراغه و تبریز، بادهای غالب در مقیاس ماهانه و سالانه معرفی شدند. خروجی گرافیکی باد روی دریای ارومیه، گویای جهت‌گیری بادهای همگرا از پیرامون دریای ارومیه و باد غالب شمالی است که پراکنش ذرات معلق را به‌طور غالب در جهت جنوب و جنوب غرب دریای ارومیه نشان می‌دهد. پراکنش و گسترش ذرات معلق در ساعات غروب و شبانه مشهودتر است. مطابق با جهت وزش بادهای به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های هواشناسی، جهت باد غالب روی دریای ارومیه همگرا شده و در جهت جنوبی کانالیزه می‌شود، بنابر نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی اقلیمی انجام شده، مناطق جنوب و جنوب‌غربی دریای ارومیه که از دسته‌ی حاصلخیزترین زمین‌های زراعی و باغی منطقه هستند، در معرض بیشترین تهدید پراکنش نمک دریای ارومیه خواهند بود.

کلیدواژه‌ها: دریای ارومیه، ذرات معلق، مدل‌سازی اقلیمی، شبیه‌سازی عددی، TAPM.

## مقدمه

در دهه‌ی ۱۳۸۰ تحت تأثیر عوامل مختلف انسانی و طبیعی، سطح آب دریاچه‌ی ارومیه به پایین‌تر از سطح بحرانی کاهش یافت. خشکسالی، کاهش ورودی مستقیم از منشأ بارش و آبهای سطحی جاری، احداث سدهای متعدّد و افزایش شدید سطح زیر کشت و در نتیجه افت سطح آبهای زیرزمینی دشت‌های پیرامون، مهم‌ترین عوامل مؤثر در کاهش سطح آب دریاچه هستند. در نتیجه‌ی کاهش سطح آب و افزایش میزان تبخیر و تعرق از سطح دریاچه، میزان غلظت نمک آن به بالاتر از ۴۰۰ گرم در لیتر رسیده است. از این رو، بستر دریاچه را لایه‌ی سفید نمکی دربرگرفته و جزایر نُه‌گانه‌ی موجود در بخش جنوبی دریاچه که زمانی به میزبانی پرندگان بومی و مهاجر شهرت داشتند، اکنون کاملاً با بستر دریاچه یکی شده‌اند.

خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه، بستری از نمک را با حجم تقریبی ۵ میلیارد تن و سایر املاح برجای می‌گذارد که می‌تواند همه‌ی اراضی کشاورزی دو استان آذربایجان را نابود کند (جمشیدی، ۱۳۸۷). خالی از سکنه شدن روستاهای اطراف، خشکیدن قنات‌ها، شور شدن خاک و ایجاد سونامی نمک، کویری شدن و خشک شدن مناطق کشاورزی، شیوع انواع بیماری‌ها، بیکاری، فقر و تغییر اقلیم منطقه در درازمدت، از دسته پیامدهای خشکی دریاچه است. پهنه‌ی آبی این دریاچه ۵۰۰۰ کیلومتر مربع است و میزان تبخیر از سطح آن ۵ میلیارد متر مکعب در سال برآورد می‌شود (پویش پروژه‌ی پارلاق، ۲۰۰۹: ۲۹). اگر این پهنه‌ی آبی از منطقه حذف شود، تغییرات چشمگیری در اقلیم منطقه و توازن انرژی در آن رخ می‌دهد و در پی آن، افزایش دما و تغییرات در نوع گونه‌های گیاهی و طول دوره‌ی رشد گیاهان منطقه پدید خواهد آمد. مسئله‌ی دیگر، پدیدار شدن بیابان نمک و انعکاس بالای نور خورشید و در نتیجه، حرکت افقی هوای گرم اطراف به دریاچه می‌شود. هر گونه بحران زیست‌محیطی، همچون خشک شدن آب دریاچه، کل منطقه‌ی شمال غرب کشور را به شوره‌زاری خشک و بی‌آب و علف تبدیل خواهد کرد و بادهای نمکی، سبب از بین بردن بهترین مزارع در حاشیه‌ی دریاچه می‌شوند. افزایش فراوانی طوفان‌ها در حوالی دریاچه از عوارض اقلیمی است که سبب انتقال گردوغبار و نمک‌ها به مناطق اطراف می‌شود.

در این رابطه با افزایش استفاده از مدل‌سازی اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای، این امکان به وجود می‌آید تا با استفاده از سناریوهای متنوعی، مانند خشک یا پُرآب بودن دریاچه و هموار یا ناهموار کردن یک منطقه و تأثیر آن بر شرایط اقلیمی منطقه، شبیه‌سازی و پیامدهای هر شرایطی را به صورت عددی پیش‌بینی کرد. در این مورد در سطح جهانی و ملی مطالعاتی با دیدگاه‌ها و نگرش‌های متنوع دیده می‌شود. سانگ<sup>۱</sup> (۲۰۰۴)، دارمنووا و سوکولیک<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) و وانگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶) با بهره‌گیری از شبیه‌سازی عددی، تابع انتشار گردوغبار DoMo و مدل WRF، طوفان‌های مناطق مرکزی و شرق آسیا را بررسی کردند. سپانسکی و تگان<sup>۴</sup> (۲۰۰۹) انتقال گردوغبار بیابان صحرا به سمت نواحی گرمسیری اقیانوس اطلس را با استفاده از مدل LM-MUSCAT مورد بررسی قرار دادند. گرینی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۵) اثرهای

1. Song
2. Darnenova & Sokolik
3. Wang
4. Schepanski & Tegen
5. Grini

فرسایش‌پذیری خاک و تغییرپذیری سرعت باد را با استفاده از مدل DEAD در ترکیب با مدل CTM2 در سال ۱۹۹۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که در مناطق با سرعت بالای باد، مانند مناطق ساحلی، تولید گردوغبار کمتر از مناطقی است که تغییرپذیری باد وجود دارد. هارا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶) تغییرات طولانی‌مدت گردوغبار آسیا و رابطه‌ی آن با عوامل اقلیمی در دوره‌ی ۱۹۷۲-۲۰۰۴ را مورد مطالعه قرار دادند.

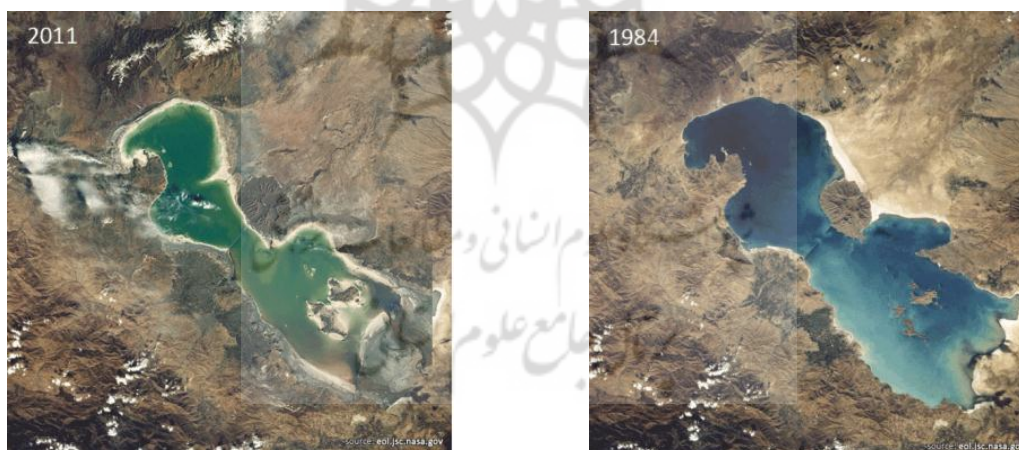
برزگر و صدیقیان (۱۹۹۱) با استفاده از داده‌های ماهواره‌های لندست MSS و SPOT، نشان دادند که اثر احداث بزرگراه در میانه‌ی دریاچه، سبب تغییراتی در میزان رسوب‌گذاری در نیمه‌ی شمالی و جنوبی شده است. علوی‌پناه و خدایی (۲۰۰۲) با تصاویر سنجنده‌ی TM، میزان غلظت رسوب‌های شور آب دریاچه‌ی ارومیه را مطالعه کرده و نشان دادند که میان‌گذر روی دریاچه‌ی ارومیه، اثرهایی بر جریان آب و میزان رسوب‌گذاری در کناره‌ی میان‌گذر داشته است. ابراری (۱۳۸۲) با فرض باد به‌عنوان اصلی‌ترین عامل جریان‌ساز و با استفاده از روش عددی، ویژگی‌های گردش ناشی از باد در دریاچه‌ی ارومیه را بررسی کرد. راشکی و گنجعلی (۲۰۰۶) در پژوهشی به تحلیل آثار فرسایش بادی و پیامدهای ناشی از آن در منطقه‌ی سیستان پرداختند. نتایج نشان داد که با رخداد خشکسالی در منطقه‌ی سیستان و ناشی از آن، کاهش پوشش گیاهی و خشکی دریاچه‌ی هامون که به‌شکل کمربندی در شمال منطقه قرار داشت و با وزش بادهای ۱۲۰ روزه، شرایط مناسبی برای فرسایش بادی و رخداد طوفان‌های گردوخاک در زمین‌های رسوبی دانه‌ریز و با پوشش گیاهی اندک فراهم شد. توفیقی و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای با مدل MZKE21 به شبیه‌سازی دُوبُعدی هیدرودینامیک برای تعیین الگوی جریان دریاچه‌ی ارومیه پرداختند و سپس تأثیر عوامل جریان‌ساز مانند دبی رودخانه‌ها، تبخیر و باد را در مدل بررسی کردند و نتایج نشان داد در شرایط متعارف، باد اصلی‌ترین عامل به‌وجود آورنده‌ی جریان است. مرادی و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای به بررسی نقش طوفان‌های شن بر اراضی کشاورزی با استفاده از GIS در سیستان پرداختند و نتایج نشان داد که در زمان خشکی دریاچه‌ی هامون، رسوب‌های کف دریاچه، سبب رها شدن اراضی کشاورزی و در نتیجه سبب تخلیه سکونتگاه‌های روستایی شد. دلاور و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی اثر تغییر اقلیم را بر دریاچه‌ی ارومیه بررسی کردند. در مطالعه، نوسان‌های گذشته‌ی تراز دریاچه با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و با بهره‌گیری از مدل HadCM3، داده‌های دما، تبخیر و باران برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۰۶ شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیم، نقش مؤثری در کاهش تراز دریاچه در سال‌های آینده خواهد داشت. مهرشاهی و نکونام (۲۰۰۹) به بررسی آماری پدیده‌ی گردوغبار و تحلیل الگوی وزش بادهای حاوی گردوغبار در شهرستان سبزوار پرداختند.

مطالعات متعددی مرتبط با دریاچه‌ی ارومیه انجام شده است؛ اما پژوهشی که در مورد خشک‌شدن دریاچه و آثار زیست‌محیطی آن بر مناطق اطراف را به‌صورت مدل‌سازی اقلیمی بیان کند، کمتر دیده می‌شود. در این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی متوسط‌مقیاس اقلیمی، عوامل مؤثر بر اقلیم منطقه در صورت خشک‌شدن دریاچه، مورد پردازش قرار می‌گیرند و به‌کمک شبیه‌سازی عددی رایانه‌ای، متغیرهای اقلیمی، با شرایط هم‌دید و دینامیک جو، مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفتند.

## مواد و روش‌ها

### مشخصه‌های دریاچه‌ی ارومیه

دریاچه‌ی ارومیه یک چاله‌ی تکتونیکی به نسبت بزرگ و فوق اشباع از نمک است که در یک حوضه‌ی بسته در منطقه‌ی کوهستانی شمال غرب ایران، در ارتفاع متوسط ۱۲۷۵ متر از سطح آبهای آزاد قرار گرفته است (شهرابی ۱۹۹۴: ۱۸). از دید موقعیت جغرافیایی، بین  $37^{\circ} 4'$  تا  $38^{\circ} 17'$  عرض شمالی و  $45^{\circ}$  تا  $46^{\circ}$  طول شرقی واقع شده است. کشیدگی شمالی - جنوبی آن بین ۱۳۰ تا ۱۴۰ کیلومتر است و عرض آن از دست کم ۱۶ تا ۶۰ کیلومتر متغیر است. عمق آن به طور غالب بین ۵ تا ۱۶ متر و مساحتی برابر با ۵ تا ۶ هزار کیلومتر مربع دارد که بیشینه‌ی آن در اردیبهشت و کمینه‌ی آن در ماه مهر ثبت شده است (شکل شماره ۱). دریاچه دارای جریان داخلی در جهت خلاف عقربه‌های ساعت است. دمای آب دریاچه، بین صفر تا ۲۰ درجه در زمستان و تا ۴۰ درجه بالای صفر در تابستان تغییر می‌کند. میانگین بارش سالانه‌ی آن حدود ۳۰۰ میلی‌متر است. از نظر شیمیایی آب دریاچه تیپ کلره بوده و باقی‌مانده‌ی خشک عناصر محلول در آب آن (TDS) در دوران پُر آبی در حدود ۱۸۰ و در زمان کم‌آبی ۴۲۰ گرم در لیتر است (حسینی و صولتی‌فر، ۲۰۰۹: ۲۴). سی رود بزرگ و کوچک از جهات مختلف، به‌ویژه جنوب شرقی، به آن می‌ریزند. به‌علاوه چشمه‌های زیر دریاچه‌ای نیز تأمین‌کننده‌ی بخشی از آب دریاچه هستند (جبارلوی شبستری، ۱۳۷۸).



شکل ۱. تصویر ماهواره‌ای از دریاچه‌ی ارومیه در سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۱ (ناسا)

پژوهش حاضر با توجه به مؤلفه‌های مورد بررسی، از نوع پژوهش توسعه‌ای و روش آن توصیفی - تحلیلی مبتنی بر بهره‌گیری از داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی حوضه و استفاده از مدل متوسط‌مقیاس جوّی و شبیه‌سازی عددی است. برای تدوین طرح پژوهش و تبیین مبانی نظری از روش کتابخانه‌ای و برای داده‌های جوّی لازم در پژوهش، از داده‌های سه ساعتی جهت و سرعت باد پنج ایستگاه هم‌دید حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه استفاده شد. به‌طوری که با ترسیم گلباد نرمال طولانی‌مدت هر ایستگاه و شناخت الگوی وزش باد غالب پیرامون حوضه‌ی دریاچه، شرایط نمونه برای

مدل‌سازی اقلیمی به‌دست آمد. مدل مورد استفاده در این مطالعه، شامل مدل‌سازی متوسط‌مقیاس جوئی (TAPM)<sup>۱</sup> است. مدل TAPM از سوی دانشمندان سازمان پژوهش صنعتی و علمی مشترک‌المنافع (CSIRO)<sup>۲</sup> در استرالیا گسترش یافت. مدل TAPM یک مدل سه‌بعدی، غیر قابل تلخیص، غیر هیدرواستاتیک و مدل معادلات ساده است و از سیستم مختصات داده‌های زمینی استفاده می‌کند (زواررضا و همکاران، ۲۰۰۵). این مدل جزء مدل‌های منطقه‌ای است و باید تعیین شرایط مرزی در این نوع مدل‌ها لحاظ شود که در نتیجه، در آنها ویژگی پایداری در ارتباط با عناصر جوئی وجود ندارد. همچنین TAPM مدل منطقه‌ای غیر هیدرواستاتیک دینامیکی است و برای شبیه‌سازی عددی و مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوا به کار برده می‌شود. مدل آلودگی هوا (TAPM) می‌تواند برای پیش‌بینی تراکم آلودگی در دوره‌های طولانی تا یک سال استفاده شود (هورلی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵). از مزایای بارز این مدل تحت ویندوز بودن آن است.

داده‌های مورد نیاز در این مدل به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- داده‌های سطح زمین<sup>۴</sup> مثل توپوگرافی، پوشش گیاهی، آب و خاک. این داده‌ها با قدرت تفکیک یک کیلومتر به‌وسیله‌ی شرکت ارائه‌دهنده‌ی مدل تهیه شده و سالانه به‌روزرسانی می‌شود. این داده‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA-AVHRR برای همه‌ی نقاط جهان تهیه شده، اما کاربر می‌تواند این داده‌ها را تغییر داده و اطلاعات مورد نظر خود را به مدل بدهد.
- داده‌های هم‌دید هواشناسی مدل (داده‌های واکاوی هواشناسی است که سازمان هواشناسی استرالیا آن را سالانه تهیه می‌کند). قدرت تفکیک داده‌های هم‌دید ۷۵ کیلومتر است.
- داده‌های نوع سوم بسته به نوع پژوهش به کار گرفته شده دارد. اگر پژوهش بر آلودگی هوا متمرکز شود، در این قسمت از داده‌های آلاینده‌ها استفاده می‌شود. در واقع نوع سوم از داده‌ها بر عهده‌ی پژوهشگر است. به‌طوری که وی می‌تواند داده‌های شرکتی مدل را تغییر داده و از داده‌های خودش در آن جایگزین کند. داده‌هایی که به مدل وارد می‌شوند، باید از نوع ASCII<sup>۵</sup> باشند.

در این مطالعه محدوده‌ی دریاچه‌ی ارومیه به‌عنوان پهنه‌ی برداشت و انتشار آلاینده‌ی ذرات معلق با فرض خشکی بستر آن، وارد مدل شد. با استناد به محاسبات سازمان حفاظت محیط زیست کشور، میزان برداشت برابر ۶ کیلوگرم در واحد هکتار در ساعت، میزان انتشار از سطح ۶ هزار کیلومتر مربع دریاچه و حواشی آن، ۱۰۶۲۴ گرم بر ثانیه محاسبه شد و با دو مقدار مساوی ۵۳۱۲ گرم بر ثانیه برای ذرات معلق بالای ۱۰ و ۲/۵ میکرون (PM10 و PM2.5) به مدل وارد شد (پویس پروژه‌ی پارلاق، ۲۰۰۹: ۲۵). عدد مزبور به کل پهنه و در واحد زمانی ثانیه تبدیل شد. محاسبه‌ی آن برای کل پهنه‌ی دریاچه با فرض شرایط کاملاً خشک برای اجرای مدل انجام شد. اطلاعات جوئی از داده‌های هم‌دید مدل برای چهار روز مشخص از ماه‌های خشک و با میزان روزهای گردوغبار بالا از سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ (به‌دلیل محدودیت

1. The Air Pollution Model  
 2. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization  
 3. Hurley  
 4. Terrain  
 5. American Standard Code for Information Interchange

دسترسی به داده‌های همدید در مدل (TAPM) با توجه به جهات باد غالب در پنج ایستگاه هواشناسی پیرامون دریاچه (جدول شماره ۱ و ۲) انتخاب شد.

جدول ۱. جهت غالب باد در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در فصل‌های مختلف سال

ایستگاه هواشناسی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
تبریز و مراغه	جنوب شرقی	شرقی	شرقی	شرقی
خوی و ارومیه	جنوبی	شمال غربی	غربی	غربی
مهاباد	جنوب و جنوب غربی	شرقی	جنوبی	جنوبی

منبع: سازمان هواشناسی کشور

در پایان اثرهای خشکی دریاچه در برداشت و انتقال ذرات معلق به مناطق پیرامون، وسعت پهنه و مناطق تحت تأثیر بادهای حاوی نمک به دست آمده از اجرای مدل، مورد واکاوی قرار گرفتند. همچنین داده‌های خروجی انتشارهای ذرات معلق، عناصر جوئی شامل دما و رطوبت هوا و ارتفاع لایه‌ی آمیخته، از مدل استخراج و نمودارهای خطی آنها در نرم‌افزار اکسل رسم و مورد واکاوی قرار گرفتند.

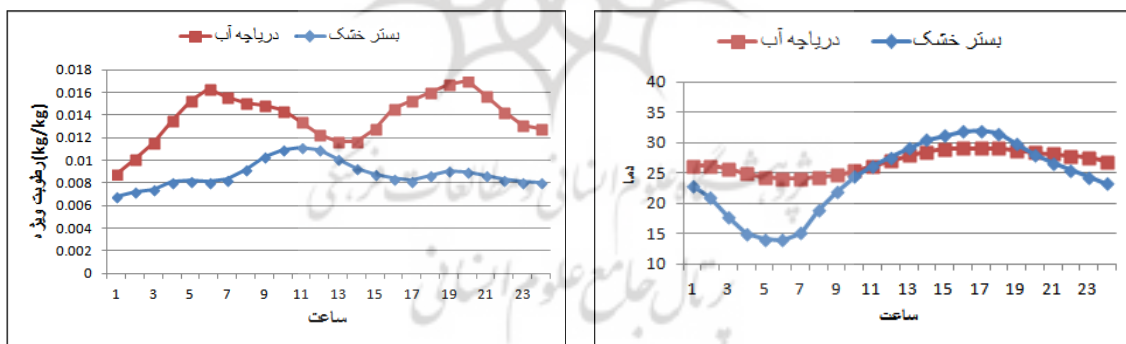
جدول ۲. ویژگی‌های جوئی روزهای با حاکمیت شرایط باد غالب در حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه

روز	ایستگاه	ویژگی غالب جوئی	جهت باد (درجه)	سرعت باد (نات)	دمای هوا	دمای هوای روز قبل	رطوبت نسبی	رطوبت نسبی روز قبل
۲۳ آگوست ۲۰۰۶	ارومیه	پُرفشار جنب حاره در تراز میانی و وجود زبانه‌ی کم‌فشار در سطح زمین	۲۷۰	۵	۲۴	۲۳	۴۲	۴۶
	تبریز		۲۰	۶	۲۸	۲۷	۲۲	
	مراغه		۹۰	۶	۲۶/۵	۲۶/۲	۲۳	
	مهاباد		۵۰	۲	۲۶	۲۵	۳۲	
	خوی		۲۸۰	۴	۲۸	۲۶	۳۸	
۲۸ ژوئن ۲۰۰۳	ارومیه	پُرفشار جنب حاره در تراز بالا و وجود زبانه‌ی کم‌فشار در سطح زمین	۶۰	۴	۲۳	۲۱	۴۲	۴۷
	تبریز		۸۰	۸	۲۷	۲۶	۲۶	
	مراغه		۹۰	۸	۲۶	۲۴	۲۵	
	مهاباد		۳۰	۱	۲۴	۲۳	۳۶	
	خوی		۳۵۰	۱	۲۵	۲۴	۴۲	
۲۹ اکتبر ۲۰۰۳	ارومیه	استقرار کم‌فشار در سطح زمین با ناوه در تراز میانی جو	۲۷۰	۸	۱۰/۲	۱۵/۴	۸۲	۴۱
	تبریز		۲۱۰	۱۱	۱۴/۵	۱۵/۹	۴۵	
	مراغه		۲۲۰	۱۱	۱۴	۱۵/۷	۴۶	
	مهاباد		۱۸۰	۱۹	۱۴/۱	۱۷/۱	۴۱	
	خوی		۱۹۰	۱۲	۱۳/۱	۱۲/۹	۵۵	
۲۸ می ۲۰۰۳	ارومیه	سامانه‌ی چرخندی تراز میانی جو با شرایط کم فشار سطح زمین	۱۲۰	۳	۱۶/۷	۱۶/۴	۶۳	۶۶
	تبریز		۷۰	۷	۱۷/۹	۱۸/۳	۴۸	
	مراغه		۱۰۰	۶	۱۷/۹	۱۷/۸	۵۶	
	مهاباد		۲۶۰	۴	۱۸/۲	۱۷/۸	۵۸	
	خوی		۱۶۰	۴	۱۷/۲	۱۸/۸	۵۳	

## یافته‌های پژوهش

در ابتدا ضروری است تا بین شرایط رطوبتی و دمایی دو طرح‌واره‌ی متفاوت برای دریاچه، در حالت پُرآب و بستر خشک دریاچه مقایسه‌ای انجام گیرد تا الگوی تفاوت‌های احتمالی بین آنها مشخص شود و در نهایت، وضعیت زیست‌محیطی آن با تأکید بر الگو و شدت پراکنش ذرات معلق مورد بررسی قرار گیرند. پس در بین روزهای انتخابی دو روز ۲۳ آگوست ۲۰۰۶ و ۲۸ ژوئن ۲۰۰۳ برای نمونه، در هر دو شرایط وضع موجود دریاچه و فرض خشکی بستر آن، مورد واکاوی قرار می‌گیرند. در مقایسه بین شرایط دمایی دو طرح‌واره‌ی مذکور در شکل شماره‌ی ۲، مشاهده می‌شود که در ساعت‌های روزانه و شبانه نسبت به هم، شرایط متفاوتی نشان می‌دهند، در طول روز با تابش آفتاب و نبود رطوبت و ظرفیت و هدایت گرمایی ضعیف بستر خشک نمک، سبب تشدید دمای سطحی نسبت به شرایط وجود آب شده و برعکس در طول شب با همان ویژگی‌های گرمایی ظرفیت و هدایت گرمایی ضعیف، سبب می‌شود تا سطح خاک به سرعت گرمای خود را از دست داده و سردتر از شرایط موجود آب باشد. همچنین مشاهده می‌شود که در شرایط وجود آب، تعادل دمایی بیشتری بوده و در شرایط خشکی، نوسان‌های دمایی شبانه‌روزی بسیار بالا خواهد بود.

همچنین در مقایسه‌ی شرایط رطوبتی، ملاحظه می‌شود که در فرض دریاچه‌ی پُرآب، رطوبت ویژه‌ی هوا با تأمین رطوبت کافی از دریاچه بالاست و این در ساعت‌های روزانه با آفتاب شدید تابستانی، میزان رطوبت نسبی هوا در دو شرایط مختلف تفاوت بیشتری نشان می‌دهند. در طول شب با افت دما شرایط به نسبت برابری برای رطوبت نسبی فراهم می‌شود.

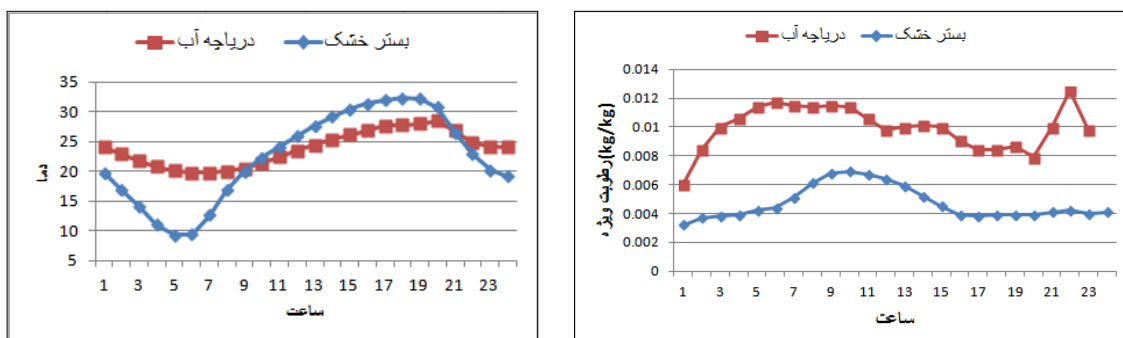


شکل ۲. نمودار مقایسه‌ای ساعتی دما (راست) و رطوبت هوا (چپ) در موقعیت دریاچه‌ی ارومیه (۲۰۰۶/۰۸/۲۳)

در اواخر بهار با گرم شدن نسبی هوا (شکل شماره‌ی ۳) افت دما در هر دو شرایط بستر خشک و پُرآب دریاچه رخ داد. با وجود آن شرایط مشابهی با ماه آگوست دیده می‌شود. دمای بالای سطحی تنها در ساعت‌های میانی روز به دست آمده، در صورتی که در بقیه‌ی ساعات شبانه‌روز با شرایط دریاچه پُرآب دما بالاتر است. مهم‌ترین نکته در مورد شرایط گرمایی، تعادل دمایی در شرایط دریاچه و رخداد نوسان‌های دمایی شدید ساعتی در صورت خشکی بستر دریاچه است. این نکته از جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی، اقتصادی، انرژی و کشاورزی بسیار حائز اهمیت است.

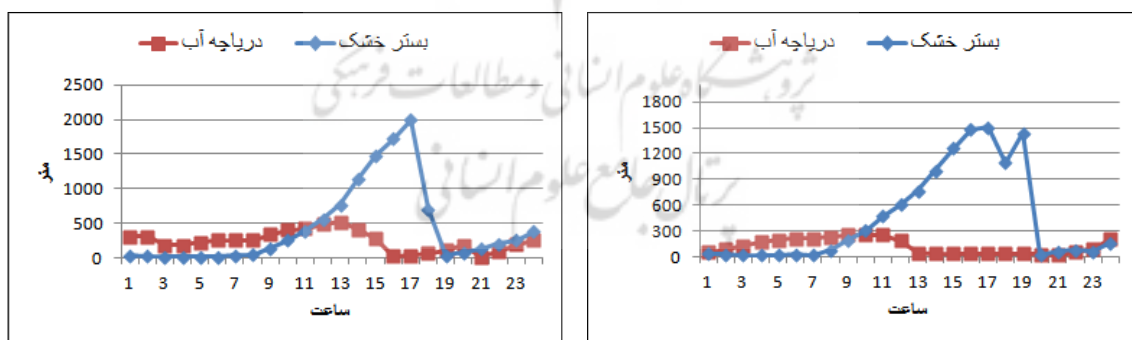
در مقایسه‌ی رطوبت ویژه‌ی هوا برای شرایط خشکی دریاچه، رطوبت ویژه در طول شبانه‌روز افت کرده است. در شرایط دریاچه‌ی پُرآب، رطوبت ویژه‌ی هوا در طول شبانه‌روز با تأمین رطوبت کافی از دریاچه بالاست (شکل شماره‌ی ۳).

پس در شکل شماره ۳ دو نمودار شرایط رطوبتی و گرمایی در مقایسه با هم، شرایط معکوسی را در رابطه با دو طرح‌واره‌ی دریاچه و بستر خشک نشان می‌دهند.



شکل ۳. نمودار مقایسه‌ای ساعتی دما (راست) و رطوبت هوا (چپ) در موقعیت دریاچه‌ی ارومیه (۲۰۰۳/۰۶/۲۸)

یکی از نتایج صعود یا افت دمای هوا، افزایش یا کاهش ارتفاع لایه‌ی آمیخته است. ملاحظه می‌شود در هر دو تاریخ مورد بررسی، در ساعات‌های آفتابی که بستر خشک دریاچه دارای جذب گرمای محسوس بیشتری است، ارتفاع لایه‌ی آمیخته نیز بالاست. در ساعات‌های شبانه با سرمایش هوا در هر دو حالت، ارتفاع لایه‌ی آمیخته به سطح زمین بسیار نزدیک شده است. به دلیل افزایش عمومی دما در اواسط تابستان (۲۳ آگوست) ارتفاع لایه‌ی آمیخته نسبت به اواخر بهار افزایش یافته است. (شکل شماره ۴).

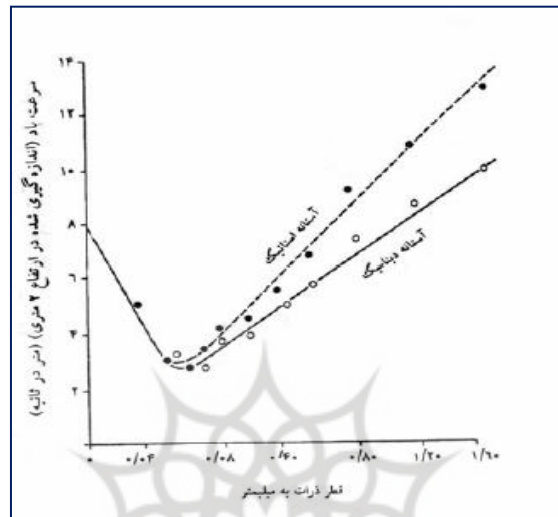


شکل ۴. نمودار مقایسه‌ای ساعتی ارتفاع لایه‌ی آمیخته در موقعیت دریاچه‌ی ارومیه (۲۰۰۳/۰۸/۲۳) (راست) (چپ) (۲۰۰۳/۰۶/۲۸)

خشک شدن دریاچه‌ی ارومیه با بستری از نمک، تغییرات چشمگیری در اقلیم منطقه و بیلان انرژی خواهد داشت. جایگزینی نمک به جای آب، انعکاس بالای نور خورشید را در پی خواهد داشت. در ادامه، الگوی انتقال و شدت آلودگی هوا با ذرات معلق ناشی از منبع بستر خشک دریاچه‌ی ارومیه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مطالعه‌ی پیش رو تلاش شد تا با دهایی با تداوم جهت ثابت در طول ۲۴ ساعت انتخاب شوند که دارای شدت مورد نظر برای فرسایش‌پذیری سطح و

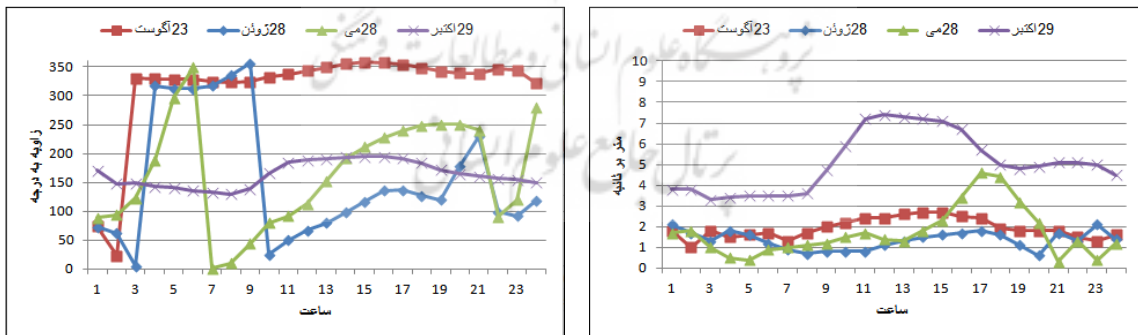


انتقال ذرات هستند. همان‌طور که در شکل شماره‌ی ۵ مشاهده می‌شود، سرعت بحرانی لازم برای برداشت و حمل ذرات  $2/5$  و  $10$  میکرون، به ترتیب حدود  $3$  تا  $5$  متر بر ثانیه است. بنابراین نمونه‌های انتخاب‌شده‌ی جهت، با جهت غالب شمالی و با شدت‌های بالای سرعت بحرانی انتخاب شدند (جدول شماره‌ی ۱).



شکل ۵. رابطه سرعت بحرانی و اندازه ذرات توسط بنگولد

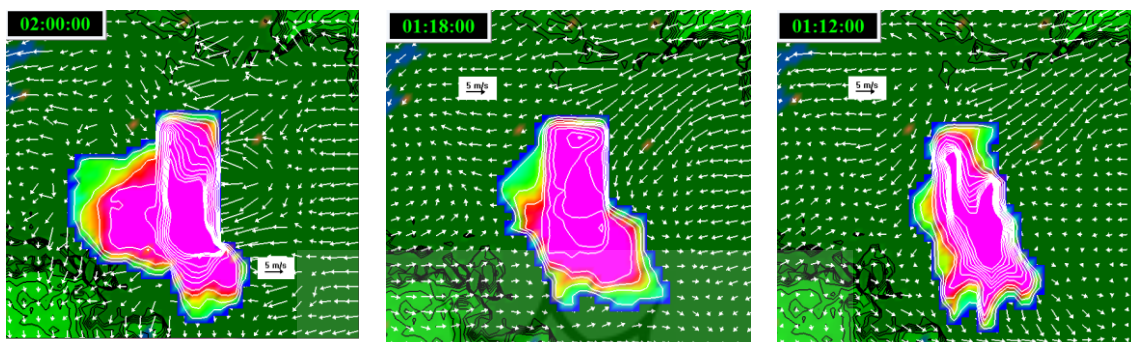
با نگاهی به شکل شماره‌ی ۶، جهت وزش باد به‌دست‌آمده از مدل‌ها در تاریخ‌های مختلف مشاهده می‌شود. در بین روزهای مختلف ۲۹ اکتبر از بالاترین شدت نسبت به روزهای دیگر برخوردار بوده، به‌ویژه در ساعت‌های میانی روز که با تشدید باد مشخص می‌شود.



شکل ۶. جهت (راست) و سرعت (چپ) وزش باد ساعتی به‌دست‌آمده از مدل در موقعیت جزیره‌ی کبودان (شرایط دریاچه‌ی خشک)

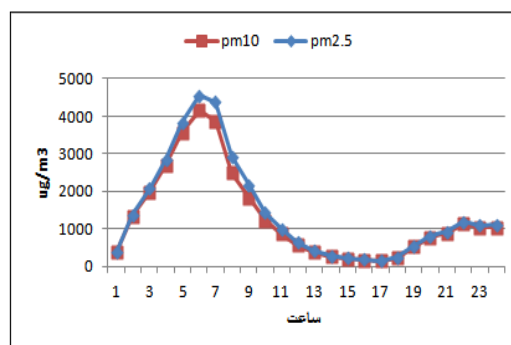
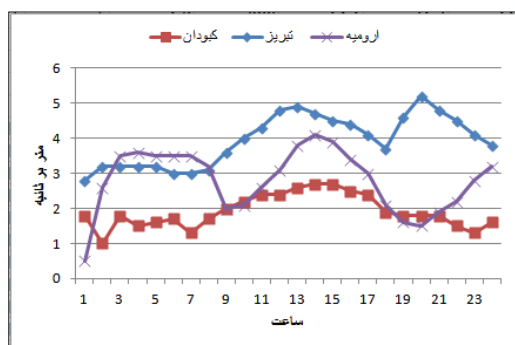
آنچه در شکل شماره‌ی ۶ مورد توجه است، جهت باد شمالی در ۲۳ اوت و باد جنوبی در ۲۹ اکتبر و همچنین وزش باد شمالی در قبل از ظهر و تغییر جهت کمابیش مشابه آنها به جهت جنوب، در بعد از ظهر دو روز ۲۸ می و ۲۸ ژوئن در موقعیت جزیره‌ی کبودان است. مطابق شکل شماره‌ی ۷، جهت وزش باد در شرق دریاچه شرقی است و در شمال آن به شمال شرقی و شمالی تغییر جهت داده، پس جهت انتقال ذرات معلق به سمت غرب و جنوب صورت می‌گیرد. همچنین

مطابق طول پیکان‌های سفید ترسیم شده در شکل، شدت باد در ساعت ۲۴ در شرق و شمال شرق دریاچه، نسبت به غرب و جنوب غرب آن بیشتر است. بر اساس شکل شماره ۷، جهت انتقال ذرات معلق، برآیند دو جهت نامبرده به جهت جنوب غربی است. برخی بخش‌ها حجم ذرات بیشتر و مناطقی نیز با حجم پایین مشخص شده‌اند که به نظر می‌رسد این رویداد تحت تأثیر شرایط ناهمواری‌های سطحی باشد، به‌ویژه در ساعت ۲۴ شب ملاحظه می‌شود که در ضلع جنوبی دریاچه، آلودگی از دره و بین ارتفاعات گذشته، سپس در دشت پایینی آن پخش شده است.



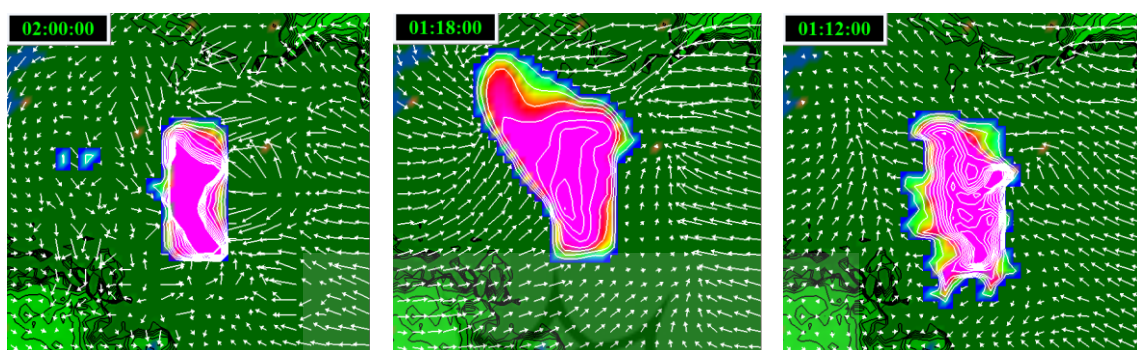
شکل ۷. ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلق در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات ۱۲، ۱۸ و ۲۴ (۲۰۰۶/۰۸/۲۳)

همچنین در ساعت ۱۸ ذرات معلق، متراکم‌ترین شرایط را در محدوده‌ی جنوب دریاچه نشان می‌دهند که به احتمال دلیل آن شدت بالای باد در شمال شرق دریاچه است؛ زیرا اغلب حواشی دریاچه با ارتفاع‌های کم و بیش بلندی احاطه شده است. با مراجعه به شکل شماره ۸، در ساعات شبانه بیشینه‌ی حجم ذرات معلق ثبت شده است. نتایج ارائه شده در شکل شماره ۸ مربوط به موقعیت جزیره‌ی کبودان در نیمه‌ی جنوبی دریاچه است. بنابراین در ساعات‌های مقادیر بیشینه، شدت بالای فرسایش‌پذیری و حمل باد باعث شده ذرات معلق از بخش‌های شمالی بستر دریاچه، در جهت جنوبی از مسیر جزیره‌ی کبودان انتقال یابند. نکته‌ی قابل توجه دیگر در شکل شماره ۸، سرعت وزش باد در موقعیت شهرهای تبریز، ارومیه و جزیره‌ی کبودان و حجم ذرات معلق ۲/۵ و ۱۰ میکرون در موقعیت کبودان است. بنابراین در این شرایط مناطق جنوب و غربی دریاچه، پذیرای بیشترین حجم ذرات معلق نمک خواهند بود.



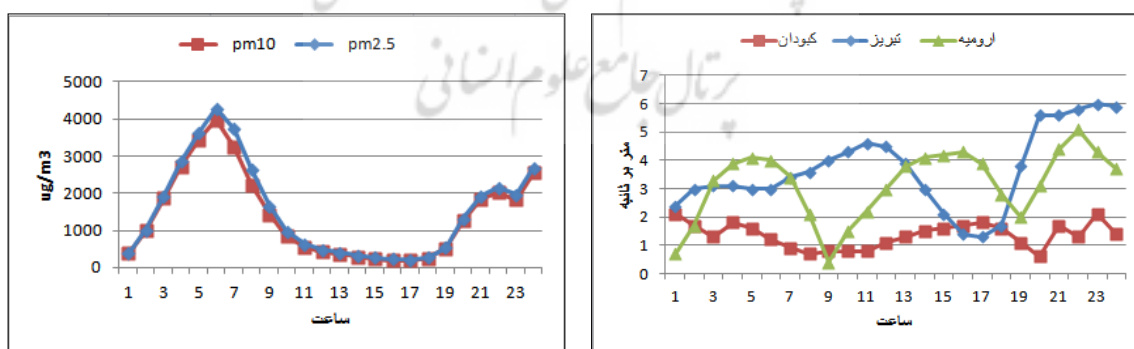
شکل ۸. سرعت باد (راست) و حجم ساعتی ذرات معلق ۲/۵ و ۱۰ میکرون در شرایط دریاچه خشک در موقعیت جزیره‌ی کبودان (۲۰۰۶/۰۵/۲۰)

در شبیه‌سازی ماه خرداد، ساعت ۱۲ پیکان‌های سفید در شمال شرق و شرق دریاچه، جهت جنوب شرقی و در جنوب، جهت شمال شرقی دارند و در نتیجه گسترش و انتقال ذرات معلق از ساعت ۱۲ ظهر به شمال غربی دریاچه آغاز می‌شود. بیشینه‌ی گسترش ذرات در جهت شمال غربی در ساعات بعد از ظهر در ساعت ۱۸ صورت گرفته است و در ساعات نیمه شب، وزش باد در شرق دریاچه جهت شرقی دارد و گستره‌ی انتشارات در جهت غرب دریاچه رخ می‌دهد (شکل شماره‌ی ۹). در ساعات نیمه شب متفاوت بودن جهت باد در اطراف دریاچه باعث تمرکز ذرات داخل دریاچه شده است.



شکل ۹. ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلق در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات ۱۲، ۱۸ و ۲۴ (۲۰۰۳/۰۶/۲۸)

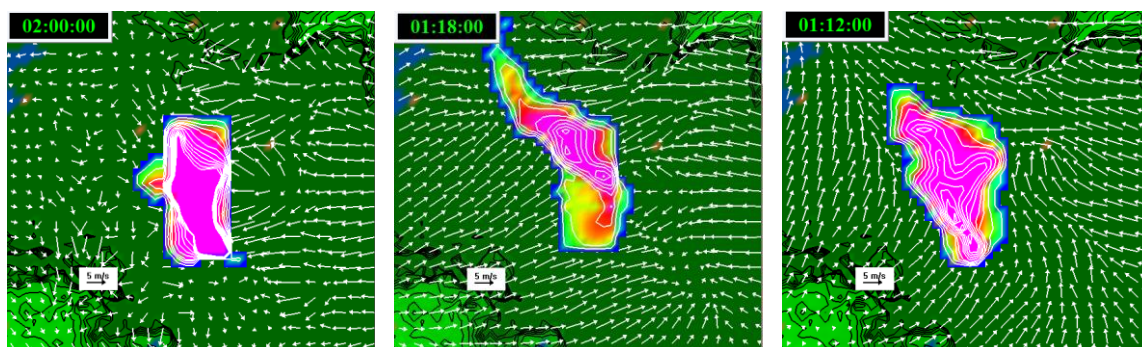
مطابق با شکل شماره‌ی ۱۰، بیشینه‌ی حجم ذرات معلق در موقعیت جزیره‌ی کبودان، در ساعت ۶ صبح ثبت شده است. با توجه به اینکه سرعت باد در این ساعت روند کاهشی داشته است، قدرت باد برای انتقال ذرات کاهش یافته و آلودگی در محدوده‌ی بستر خشک دریاچه متمرکز شده است. نکته‌ی قابل توجه دیگر که در شکل قابل مشاهده است، تناوب افزایش و کاهش سرعت باد در شهرهای تبریز و ارومیه و جزیره‌ی کبودان است که می‌تواند باعث انتقال ذرات با حجم بیشتری به سمت شمال غرب دریاچه باشد که این تناوب در ایستگاه ارومیه مشهودتر است.



شکل ۱۰. سرعت باد (راست) و حجم ساعتی ذرات معلق ۲/۵ و ۱۰ میکرون در شرایط دریاچه‌ی خشک در موقعیت جزیره‌ی کبودان (۲۰۰۳/۰۵/۲۸)

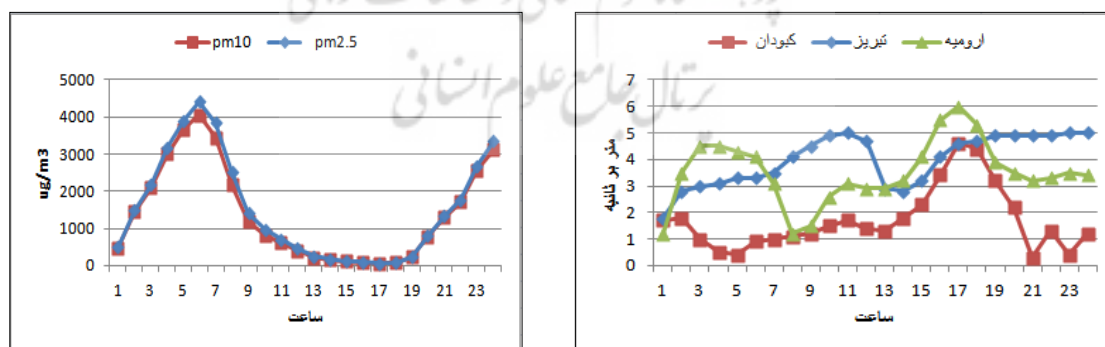
در ماه اردیبهشت، شبیه‌سازی حاکی از آن است که در ساعت ۲۴ جهت باد در اطراف دریاچه نظم خاصی ندارد که این باعث تجمع گردوغبار و ذرات درون دریاچه شده است. شدت باد در شرق دریاچه بیشتر بوده که نشان‌دهنده‌ی سرعت بالاتر باد و قدرت بیشتر آن برای انتقال ذرات به سمت غرب دریاچه است. در ساعت ۱۸ در غرب دریاچه جهت باد شمال

شرقی و در شرق و شمال دریاچه، جهت باد به سمت دریاچه است و این عامل سبب شده که گسترش ذرات در این ساعت به سمت شمال غرب دریاچه وجود داشته باشد. در این ساعت جهت انتقال ذرات به سمت شمال غربی است و گسترش ذرات نمک در شمال دریاچه به بیشینه‌ی مقدار خود می‌رسد (شکل شماره ۱۱).



شکل ۱۱. ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلق در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات ۱۲، ۱۸ و ۲۴ (۲۰۰۳/۰۵/۲۸)

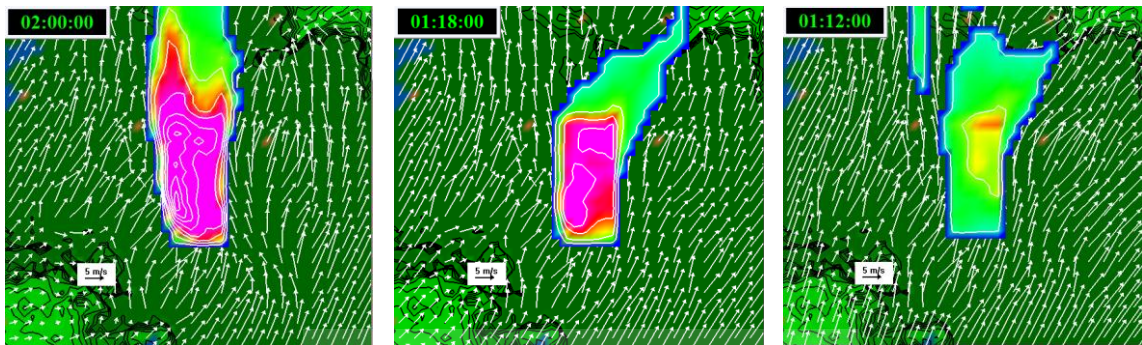
با توجه به شکل شماره ۱۲، حجم ذرات معلق در موقعیت جزیره‌ی کبودان، در ساعات میانی شب افزایش یافته و در ساعت ۶ صبح به بیشینه‌ی مقدار رسیده است و پس از آن روند کاهشی داشته تا اینکه از ساعت ۲۰ دوباره روند افزایشی داشته و در ساعت ۲۴ به بیشینه‌ی خود رسیده است. بیشینه‌ی حجم ذرات در ساعت ۶ می‌تواند به دلیل شدت بالای باد و انتقال بیشتر ذرات در ساعات قبل از ظهر باشد. پس از ساعت ۶ سرعت باد روند کاهشی داشته است، به طوری که در ساعات پایانی شب سرعت به کمترین مقدار و حجم ذرات به بیشترین مقدار رسیده است. نکته‌ی قابل توجه دیگر در شکل شماره ۱۲ سرعت بالای باد در ایستگاه تبریز و ارومیه است که این سرعت بالا در انتقال ذرات به سمت شمال غرب نیز می‌تواند تأثیر داشته باشد.



شکل ۱۲. سرعت باد (راست) و حجم ساعتی ذرات معلق (چپ) ۲/۵ و ۱۰ میکرون در شرایط دریاچه‌ی خشک در موقعیت جزیره‌ی کبودان (۲۰۰۳/۰۵/۲۸)

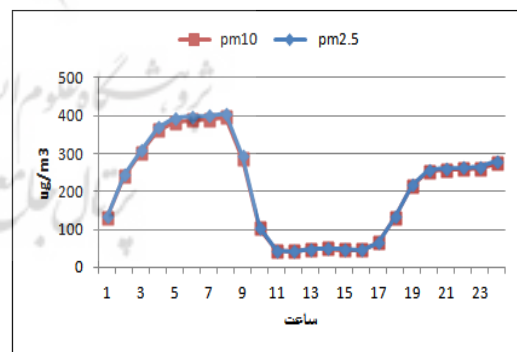
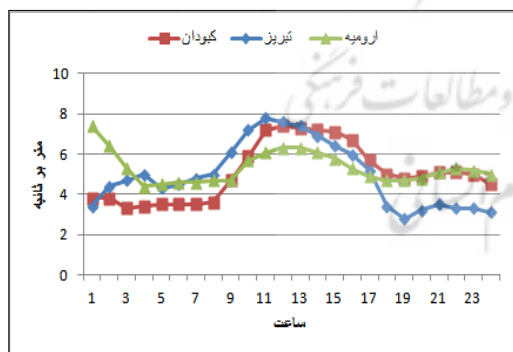
شبیه‌سازی در ماه مهر، گویای این است که در تمام ساعات روز باد با سرعت بالا و به سمت شمال دریاچه وزش داشته است. در ساعت ۲۴ به دلیل همگرا بودن جهت وزش بادها در جنوب دریاچه، حجم ذرات در داخل دریاچه به‌ویژه در جنوب به بیشترین مقدار رسیده است. در ساعت ۱۸ جهت باد در جنوب و غرب دریاچه به سمت شمال شرق است، و

انتقال ذرات به سمت شمال شرق انجام گرفته است. با افزایش سرعت باد در ساعات میانی روز (شکل شماره‌ی ۱۴) امکان انتقال ذرات بیشتر به سمت شمال شرق به‌وجود آمده که به کاهش حجم ذرات در جنوب دریاچه منجر شده است. (شکل شماره‌ی ۱۳).



شکل ۱۳. ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلق در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات ۱۲، ۱۸ و ۲۴ (۲۰۰۳/۱۰/۲۹)

با توجه به شکل شماره‌ی ۱۴، سرعت باد در هر سه ایستگاه در ساعات میانی روز بیشتر است و این باعث شده که ذرات معلق در فاصله‌ی دورتری در سمت شمال دریاچه منتقل شوند و حجم ذرات درون دریاچه در موقعیت جزیره‌ی کبودان کاهش یابد. در شکل شماره‌ی ۱۴ بیشینه‌ی حجم ذرات معلق در ساعت ۸ صبح مشخص شده است و به نظر می‌رسد که بیشینه‌ی حجم ذرات در ساعت ۲۴، به دلیل همگرایی جریان باد، به سمت دریاچه باشد که به متراکم شدن ذرات در محدوده‌ی داخلی دریاچه منجر شده است.



شکل ۱۴. سرعت باد (راست) و حجم ساعتی ذرات معلق (چپ) ۲/۵ و ۱۰ میکرون در شرایط دریاچه‌ی خشک در موقعیت جزیره‌ی کبودان (۲۰۰۳/۱۰/۲۹)

با توجه به خروجی عددی و گرافیکی مدل جوّی و داده‌های به‌دست‌آمده از ایستگاه‌های هواشناسی پیرامون دریاچه، مشخص می‌شود که جریان‌های غالب در محدوده‌ی سطح دریاچه‌ی ارومیه به دلیل ویژگی درّه‌ای آن، جهت‌گیری جنوبی یا شمالی دارند. بنابراین مناطق جنوبی و شمالی دریاچه با بالاترین میزان تهدید در برابر بادهای گردوخاک قرار دارند. جهت بادهای خروجی مدل کمابیش با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی مطابقت دارد. در همین رابطه کاردان و

همکاران (۲۰۰۹) مدل‌سازی روی چاله‌ی جازموریان را با لحاظ وجود آب و بستر خشک انجام دادند؛ در آن پژوهش با استفاده از نرم‌افزار TAPM، تأثیر دریاچه‌ی جازموریان بر خشکی زمین‌های مجاور را شبیه‌سازی کردند. آنها با افزایش فرضی سطح آب و ایجاد یک دریاچه‌ی مجازی در حوزه، تغییرات منطقه‌ای مانند تغییر دما، سرعت باد و رطوبت نسبی منطقه در مقطع زمانی زمستانی و تابستانی را بررسی کردند و نتایج خروجی مدل را در حد قابل قبولی ارائه داده‌اند. همچنین در رابطه با نمونه‌ی بسیار مشابه با دریاچه‌ی ارومیه، انجام شبیه‌سازی اقلیمی در رابطه با دریاچه‌ی آرال به‌دست دارمنووا و سوکولیک<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) با مدل MM5 است. آنها دریاچه‌ی آرال را با سه طرح فرضی پُر آب، نیمه‌خشک و خشک شبیه‌سازی کردند و انتشار و پراکندگی گردو خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج واقعیت‌های موجود در افزایش ذرات معلق هوا و افزایش نوسان‌های دمایی در محدوده‌ی پیرامونی دریاچه را نشان داد.

### بحث و نتیجه‌گیری

افزایش نوسان‌های دما و رطوبت نسبی شبانه‌روزی هوا و افزایش ارتفاع لایه‌ی آمیخته، نتایجی است که در صورت خشک‌شدن دریاچه‌ی ارومیه منطقه آن را تجربه خواهد کرد. نوسان‌های دمایی و رطوبتی، تغییر موازنه‌ی انرژی و الگوی وزش باد و نیز، تغییر در الگوهای معیشت سکونتگاه‌های پیرامون را به‌همراه خواهد داشت. علاوه بر آن، نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند که پراکنش ذرات در ماه اوت (در جهت شمالی) در ماه اکتبر در جهت جنوبی است. در دو مورد دیگر جهت وزش باد روی دریاچه در ساعات‌های صبحگاهی شمالی بوده و در ساعات‌های عصرگاهی از جنوب می‌وزد. بر اساس واقعیت توپوگرافی منطقه، دریاچه‌ی ارومیه در خط‌القعر دشت آذربایجان با کشیدگی شمالی - جنوبی قرار دارد. پس تحت تأثیر ارتفاعات پیرامون، بادهای به‌سمت دریاچه همگرا بوده و وابسته به جهت باد غالب منطقه‌ای، به‌سمت شمال یا جنوب دریاچه همگرا و متمرکز می‌شوند. بنابر مطالعات انجام شده، راستای کشیدگی ارتفاعات و ناهمواری‌های منطقه، کنترل‌کننده‌ی اصلی جهت‌گیری بادهای هستند (زارعی، ۱۳۹۱) که در این مطالعه نیز مورد توجه قرار گرفت. بنابراین خشک و پُر آب‌بودن دریاچه، تأثیر زیادی در جهت‌گیری بادهای نداشته و جهت‌های تحت تأثیر بادهای گرداگرد دریاچه، همانند وضع موجود خواهند بود. خروجی‌های آلودگی مدل در چهار روز انتخاب‌شده از ماه -های خشک، گویای این است که در کل ساعات شبانه‌روز، بالاترین حجم ذرات معلق مربوط به ماه آگوست است. دلیل آن ناشی از پشت سر گذاشتن یک دوره‌ی خشکی و نیز الگوی وزش باد با شدت به‌نسبت پایین در طول روز و در نتیجه تمرکز بالای ذرات معلق در محدوده‌ی داخلی بستر دریاچه است. همچنین ساعات‌های صبحگاهی با حجم بالای حمل ذرات معلق و ساعات‌های میانی با کمینه‌ی حجم ذرات معلق مشخص می‌شوند. بنابراین با توجه به اینکه مزارع و باغ‌های وسیعی در حواشی دریاچه قرار دارند، بادهای نمکی احتمالی در آینده به یکی از تهدیدهای جدی منطقه تبدیل خواهند شد. در این رابطه مهم‌ترین و معروف‌ترین نمونه‌ی عینی، خشکی دریاچه‌ی آرال است. فرایند خشکی دریاچه‌ی آرال شباهت زیادی با روند خشکی دریاچه‌ی ارومیه دارد. همزمان با پسروری آب دریاچه، بادهای حاوی ذرات نمک سبب از

بین رفتن اراضی کشاورزی شده و اگر راه‌کار اساسی و سریعی برای این مشکل پیشنهاد نشود، در آینده‌ی نزدیک شاهد فاجعه‌ی زیست‌محیطی، کشاورزی، اقتصادی، اجتماعی و انسانی جبران‌ناپذیری در منطقه خواهیم بود.

## منابع

- ابرازی، رسول. ۱۳۸۲. چرخش آب در دریاچه‌ی ارومیه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- پوش پژوه پارلاق، مهندسین مشاور. ۱۳۸۸. مرگ دریاچه ارومیه، خطر نمک و بررسی علل بحران دریاچه ارومیه، پیام‌ها و راه‌حل‌ها.
- توفیقی، محمدعلی؛ زین‌الدینی، مصطفی و گلشنعلی، اصغر. ۱۳۸۵. شبیه‌سازی دو بُعدی هیدرودینامیک دریاچه‌ی ارومیه برای تعیین الگوی جریان، نشریه‌ی مهندسی دریا، سال سوم، شماره‌ی ۴، صص. ۳۸-۳۷.
- جبارلوی شبستری، بهرام. ۱۳۷۸. دریاچه‌ی ارومیه اشک طبیعت ایران، انتشارات نقش مهر، چاپ اول.
- جمشیدی، مژگان. ۱۳۸۷. میانگذر ارومیه؛ شاهکار مهندسی یا فاجعه زیست محیطی؟ خبر آنلاین، دوشنبه ۴ آذر ۱۳۸۷.
- حجازی‌زاده، زهرا و پروین، نادر. ۱۳۸۶. مدل‌سازی بارش و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل‌های SARIMA و پایش خشکسالی به کمک شاخص BMI و نمایه‌ی PDRI در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه، تحقیقات جغرافیایی، دوره‌ی ۲۲، شماره‌ی ۴، صص. ۹۷-۱۲۴.
- حسینی، مجید و صولتی فر، سیما. ۱۳۸۸. تدوین دانش فنی استحصال سدیم سولفات از آب دریاچه‌ی ارومیه به روش غیرتبخیری، مجله‌ی اندیشه‌ی علوم - شیمی کاربردی، شماره‌ی ۱۲(۴)، صص. ۳۱-۲۳.
- دلاور، مجید؛ مرید، سعید و شفیع‌فر، مهدی. ۱۳۸۷. ارزیابی ریسک تراز دریاچه‌ی ارومیه و تأثیر تغییر اقلیم بر آن، علوم کشاورزی ایران، دوره ۳۹، شماره‌ی ۲، صص. ۳۸۸-۳۷۹.
- راشکی، علیرضا و گنجعلی، مجتبی. ۱۳۸۶. بررسی اثرات فرسایش بادی و پیامدهای ناشی از آن در منطقه‌ی سیستان، دهمین کنگره‌ی علوم خاک ایران، ۱۰ تا ۱۲ شهریور، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.
- زارعی چقابلکی، زهرا. ۱۳۹۱. مدل‌سازی مکانیسم بادهای حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران.
- زاهدی قره‌آغاج، مجید و قویدل رحیمی، یوسف. ۱۳۸۶. تعیین آستانه‌ی خشکسالی و محاسبه‌ی میزان بارش قابل اعتماد ایستگاه‌های حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۵۹، صص. ۳۴-۲۱.
- شایان، سیاوش و جنتی، مهدی. ۱۳۸۶. شناسایی نوسانات مرز پیرامونی و ترسیم نقشه‌ی پراکنش مواد معلق دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (سنجنده‌های ETM, TM & LISSIII)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۶۲، صص. ۳۹-۲۵.
- شهرابی، مصطفی. ۱۳۷۳. دریاها و دریاچه‌های ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، سازمان زمین‌شناسی ایران.
- علوی‌پناه، سیدکاظم و خدایی، کمال. ۱۳۸۱. مطالعه‌ی اثر میان‌گذر دریاچه‌ی ارومیه بر پارامترهای کیفی آب، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، همایش میان‌گذر دریاچه‌ی ارومیه و محیط زیست، ۲۰-۲۱ آذرماه، ارومیه.
- کردان، رحمتا!؛ عزیز، قاسم؛ زواررضا، پیمان و محمدی، حسین. ۱۳۸۸. مدل‌سازی تأثیر دریاچه بر مناطق مجاور (مطالعه‌ی موردی: مدل‌سازی اقلیمی حوزه‌ی آبخیز جازموریان با ایجاد دریاچه‌ی مصنوعی)، مجله‌ی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال سوم، شماره‌ی ۷(۳)، صص. ۲۲-۱۵.

- گندمکار، امیر. ۱۳۸۹. **تعیین گستره‌ی افقی باد سیستان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۳، شماره ۱۰، صص. ۶۷-۷۶.
- مرادی، محمدرضا؛ یاری، ژیللا و فخریه، اکبر. ۱۳۸۷. **نقش بازدارندگی دریاچه‌ی هامون بر اراضی کشاورزی سیستان با استفاده از GIS**، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، ۲۰ تا ۲۲ اسفند ۱۳۸۷، دانشگاه زابل.
- Barzegar, F., and Sadighian, I., 1991, **Study of Highway Construction Effects on Sedimentation Process in Lake Urmia (N.W. Iran) on the Basis of Satellite Data**, International Geocarto International, A Multi-disciplinary Journal of Remote Sensing, Vol. b, No. 3, PP. 63-65.
- Chorley, R. and Motamed, A., 2000, **Geomorphology**, Vol 3, Samt, Tehran.
- Darmenova, K., Sokolik, I. N., 2006, **Assessing Uncertainties in Dust Emission in the Aral Sea Region Caused by Meteorological Fields Predicted with a Mesoscale Model**, Global and Planetary Change, Vol. 56, No. 3-4, PP. 297-310.
- Darmenova, K., Sokolik, I. N., Shao, Y., Marticorena, B., 2009, **Development of a Physically Based Dust Emission Module Within the Weather Research and Forecasting (WRF) Model: Assessment of Dust Emission Parameterizations and Input Parameters for Source Regions in Central and East Asia**, Planetary Change, Vol. 56, PP. 297-310.
- Grini, A., Myher, G., Zender, Ch. S., Isaksen, I.S.A., 2005, **Model Simulations of Dust Sources and Transport in the Global Atmosphere: Effects of Soil Erodibility and Wind Speed Variability**, Journal of Geophysical Research, Vol. 110, PP. 1-14.
- Hara, Y., Uno, I., Wang, Z., 2006, **Long-term Variation on Asian Dust and Related Climate Factors**, Atmospheric Environment, Vol. 40, No. 35, PP. 6730-6740.
- Hoseini, M., Solatifar, S., 2009, **Technological Knowledge Codification Extraction Sodium Sulfate from Water the Urmia Lake**, Journal of Science - Applied Chemistry, Vol. 4, No. 12, PP. 23-31.
- Hurley, P., 2008, **TAPM V4. User Manual**, CSIRO Marine and Atmospheric Research Internal Report, No.5, Australia
- Nasa. <http://eol.jsc.nasa.gov>
- Pooyish Pazhouh Parlugh, Consulting Engineers, 2009, **The Urmia Lake Death, Silent Disaster, Investigate Creation Causes of the Crisis Urmaia Lake**, Complications and Solutions.
- Schepanski, K., Tegen, I., Macke, A., 2009, **Saharan dust transport and deposition towards the TropicalNorthern Atlantic**, Atmospheric Chemistry and Physics, Vol. 9, PP. 1173-1189.
- Shahrabi, M., 1994, **Geology of Iran (Sea and Lakes Persian)**, the Ministry of Mines and Metals, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Song, Z., 2004, **a Numerical Simulation of Dust Storms in China**, Environmental Modelling & Software, Vol. 19, PP.141-151.
- Wang, W., Fang, Z.Y., 2006, **Numerical simulation and synoptic analysis of dust emission and Transport in East Asia**, Global and Planetary Change, Vol. 52, No.1-4, PP. 57-70.
- Zawar-Reza, P., Simon, K., Jamie, P., 2005, **Evaluation of a Year-long Dispersion Modelling of PM10 Using the Mesoscale Model TAPM for Christchurch, New Zealand**, Science of the Total Environment, Vol. 349, No. 1-3, PP. 249- 259.



*The Numerical Modeling and Simulating of Winds Over Urmia  
Lake Basin*

**Shamsipour A.A.\***

Assistant Prof., Faculty of Geography, University of Tehran

**Najibzadeh F.**

M.A. Graduate, Faculty of Geography, University of Tehran

**Zarei Chaghabalki Z.**

M.A. Graduate, Faculty of Geography, University of Tehran

Received: 18/12/2011      Accepted: 17/02/2013

**Extended Abstract**

**Introduction**

During the past years, as a result of various factors, the water level of Urmia (Oroumieh) Lake has dropped and complete dryness of the lake may be possible in the coming years. Dryness of the lake with a bed of salt deposits exposures in wind and air can create significant changes in thermal conditions, energy balance and dispersion suspended particles around the lake. Increased frequency of dust events around the lake is complications of climate, which transfers suspended particles and salts to the surrounding area. Using regional-scale climatic modeling, it has been possible to use different scenarios such as dried or filled lake, to be simulated its impact on climate of region. Although several studies have been done related to Urmia Lake, there are few studies on dried lake and its environmental impact on the surrounding area with climate model. The main aim of this study is to model the local wind behavior over the lake basin and simulates the dominant particulate pollutants dispersion directions.

**Methodology**

Lake Urmia is a salt lake in northwestern Iran, near Iran's border with Turkey. The lake is between the provinces of East Azerbaijan and West Azerbaijan. It is the largest lake in the Middle East, and the third largest salt water lake on Earth, with a surface area of approximately 5000 to 6000 km<sup>2</sup>, 140 km length, 55 km width, and 5 to 16 m depth.

To develop the research design and explanation theoretical principles library method were

used. This study utilizes three-hourly data of wind direction and velocity from five synoptic stations of Urmia Lake basin and using mesoscale of the air pollution model (TAPM) to estimate the density of suspended particles and its spatial dispersion pattern in the region. The Air Pollution Model (TAPM) is a software package developed by CSIRO to estimate the spread and impact of air pollution. TAPM is a meteorological, prognostic air pollution model, which is dynamic and the limited area model that predicts three-dimensional meteorology and air pollution concentrations. TAPM uses surface dataset such topography, soil texture, surface covering and the surface and upper atmospheric layers

### Results and Discussion

Affected by the lake dryness, circadian oscillations of air temperature and relative humidity will increase as altitude of the mixed layer increases. Comparing of temperature between two scenarios of non-dried water and dried lake bed in July, it was observed that dried salt bed has a higher temperature on day, and is cooler in night time. So regarding water presence, heat capacity is high, whereas in the dryness by lowering heat capacity fluctuations of circadian temperature were increased. The amount of humidity is higher in non-dried lake especially in day time, and during the night corresponding to temperature drop humidity is approximately equal. In late summer, with relatively cool air, temperature drop is considered in both condition, however, the same condition of July is observed. In dried Lake, relative humidity dropped during the day, and is higher during the night. Rising and falling temperatures can lead to a change in the height of the mixed layer. The prevailing winds directions are west and north, so four days were selected from arid months with frequency of a few hours north and west winds. Lake and its margins emissions were obtained about as 10,624 grams per second, based on Environment organization that was calculated equal to 6 kg per hectare at hour.

According the model outputs, prevailing wind direction is generally north, and just in midnight hours redirect to the East. And among the four days of modeling, 20 July had the lowest velocity, which in midnight is becoming to storm condition. Finally the wind direction in every four days at midnight hours was from the East.

### Conclusion

Circadian oscillations of the air temperature and relative humidity and mixed layer height increasing, would be some results of dried Urmia Lake. Air pollution dispersion modeling results indicate that the particle dispersion most likely occurs in the North in August and in the South in October. Due to the prevailing wind conditions in summer, salt particles dispersion mostly occurs in the northwest at noon and in the evening. In May, August and September pattern of dispersion particles is changed and predominantly have been observed in the West and Southwest of the Lake. The area includes fertile agricultural lands and orchards, and is more likely be threatened by salt dispersions remained from dried lake.

**Keywords:** *Urmia Lake, Modeling and Numerical Simulation, TAPM, Salt Particles.*