

## بررسی و صحت سنجی استفاده از داده‌های **GDAS0P25** در مدل سازی دامنه انتشار و سیر حرکت

### غبار از دریاچه ارومیه

فاطمه عظیمی<sup>۱</sup>، مسعود تجریشی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف (RSRC)

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران و رئیس مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف (RSRC)

ورودی به دریاچه قادر به تامین آب مورد نیاز آن نمی‌باشد. به همین علت تعدادی از دریاچه‌ها در خطر خشکی قرار گرفته‌اند، و حتی برخی از آن‌ها کاملاً خشک شده‌اند. علاوه بر این، تغییر اقلیم باعث کاهش بارش و افزایش دما شده که منجر به کاهش رطوبت خاک و کاهش سرعت آستانه بلند شدن ذرات می‌شود. پس از پسروی یا خشکی کامل، با قرار گرفتن بستر این دریاچه‌ها در معرض باد، آن را به یک کانون گرد و غبار و نمک تبدیل می‌نماید.<sup>(۴)</sup> گرد و خاکی که به علت فرسایش بادی از بستر دریاچه‌ها بلند می‌شود شامل مقدار زیادی فلزات سنگین نیز می‌باشد.<sup>(۵)</sup> انتقال این مواد به جانداران و گیاهان آسیب می‌رساند، همچنین در مناطق پایین دست آسیب جدی به محیط زیست وارد می‌نماید. در حال حاضر دریاچه‌های متعددی از جمله ابینور<sup>۱</sup> در شمال غرب چین، آرال<sup>۲</sup> در آسیای مرکزی، آونز<sup>۳</sup> در ایالات متحده، هامون‌های منطقه سیستان ایران و دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران با خطر خشکی و طوفان‌های گرد و غبار مواجه هستند. همچنین کاهش تراز و سطح آب دریاچه‌ها منجر به تغییر تعادل گرمایی منطقه شده و بر اقلیم منطقه تاثیر گذار است. برای مثال در اطراف دریاچه آرال تابستان‌ها گرمتر و زمستان‌ها سردتر شده است. مشابه همین روند در حوضه ارومیه نیز مشاهده شده است. ذرات گردوغبار معدنی معلق در اتمسفر، با نقش مهمی که در بودجه تابشی جوی و چرخه آب دارند، سامانه‌های آب و هوایی را مختل می‌کنند.<sup>(۶)</sup> بحران کاهش شدید سطح و تراز دریاچه ارومیه و تبعات زیستمحیطی حاصل از آن زمینه‌ساز ایجاد مشکلات متعدد زیستمحیطی، اقتصادی و حتی اجتماعی برای کشور و مخصوصاً استان‌های هم‌جوار آن (آذربایجان شرقی و غربی) شده است. به صورتی که امروزه دریاچه در وضعیت بحرانی قرار گرفته و بخش عمده‌ای از مساحت اولیه آن، به علت خشک شدن به جای مانده از شورهزار تبدیل شده است. ترکیب مقادیر زیاد نمک به جای مانده را تا چندین عقب‌نشینی دریاچه ارومیه با ذرات گردوغبار، این اثار مخرب را تا چندین برابر تشدید می‌نمایند. به همین دلیل، از میان پیامدهای متعدد خشک شدن دریاچه ارومیه، شاید بتوان تشکیل کانون‌های گردوغبار و تشدید غلظت ذرات معلق در جو را بزرگ‌ترین بحران نام برد. بر اساس مطالعات انجام شده توسط کریمیان اقبال و حمزه‌پور (۱۳۹۶) روی دریاچه ارومیه که از شمال شرق تا جنوب غرب دریاچه را در برداشت، مشخص شد که منطقه دارای سطوح توسعه یافته پلایایی بوده و در حدود ۳۵ درصد از آن بسیار حساس به فرسایش با پتانسیل بالای تولید گردوغبار نمکی و حتی طوفان‌های ماسه‌ای است.<sup>(۷)</sup> و در صورت مناسب بودن شرایط مانند

### چکیده

ریزگردهای اتمسفری سلامت عموم، کیفیت هوا، توازن انرژی زمین و چرخه هیدرولوژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در سال‌های اخیر به دلیل کاهش تدریجی سطح و تراز دریاچه ارومیه و درنتیجه عقب‌نشینی خط ساحلی دریاچه، کانون‌های متعددی از ریزگردهای نمکی در این منطقه تشکیل شده است. ذرات ریز خاک و نمک در نواحی مذکور به علت درصد کم رطوبت و وجود املاح نمکی به جای مانده روی بستر خشک شده دریاچه، جزء مناطق مستعد ایجاد گردوغبار به شمار می‌رود. با توجه به وجود سایر دریاچه‌های خشک شده این احتمال وجود دارد که گرد و غبار برخاسته از دریاچه ارومیه نواحی اطراف آن و حتی کیلومترها دورتر را نیز تحت تاثیر قرار دهد. از این رو، بررسی جهت حرکت این ذرات و غلظت غبار منتشر شده، همچنین فاصله‌های تحت تاثیر این ذرات ضروری می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و الگوریتم بومی شده استخراج عمق اپتیکی با قدرت تفکیک مکانی بالا، محل‌های مستعد انتشار غبار شناسایی شده و مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار HYSPLIT انجام گرفت. برای افزایش دقت مدل سازی از داده‌های GDAS0P25 که دارای تفکیک مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ می‌باشد استفاده و در نهایت برای اعتبار سنجی با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی حوضه دریاچه ارومیه و غلظت ذرات معلق ایستگاه‌های محیط‌زیست مقایسه گردید. نتایج حاکی از آن است که مدل سازی مطابقت قابل قبولی با داده‌های زمینی از نظر جهت حرکت و غلظت ذرات معلق داشته و با توجه به وسعت کم حوضه جهت مدل سازی مناسب‌تر است.

**واژه‌های کلیدی :** دریاچه ارومیه، گردوغبار، عمق اپتیکی،  
**GDAS0P25.HYSPLIT**

### ۱- مقدمه

دریاچه‌ها از مهم‌ترین مولفه‌های چرخه‌ی هیدرولوژیکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند که از خصوصیات آن‌ها بارش بسیار کم و تبخیر بالا است.<sup>(۱،۲)</sup> در سال‌های اخیر در مناطق خشک به علت نیاز به تامین و ذخیره آب جهت توسعه، تعداد زیادی سد ساخته شده است. بنابراین حجم زیادی آب در اواسط مسیر متوقف شده و مقدار حجم آب رسیده به انتهای شاخه‌ها به شدت کاهش یافته است.<sup>(۳)</sup> در نتیجه هر دو عامل تغییر اقلیم و استفاده غیرمسئولانه از منابع آب در راستای توسعه، جریان رودخانه‌های

\*۱- کارشناس مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف (RSRC)

azimi.fatemeh1994@gmail.com.

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران و رئیس مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی

شریف (RSRC)

<sup>1</sup> Ebinur

<sup>2</sup> Aral

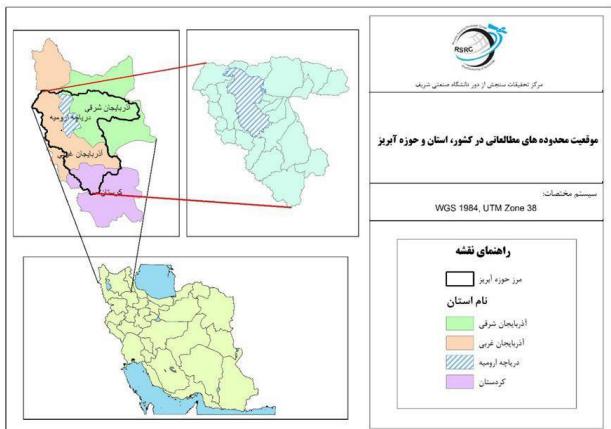
<sup>3</sup> Owens

مطالعاتی استفاده از داده با قدرت تفکیک مکانی بالاتر مطلوب به نظر می‌رسد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- معرفی منطقه مطالعاتی

دریاچه ارومیه واقع در شمال غرب ایران بزرگترین دریاچه داخلی کشور و دومین دریاچه نمک در جهان است. حوضه آبریز دریاچه با مساحت ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع یکی از شش حوضه آبریز اصلی کشور است. ارتفاع متوسط دریاچه ۱۲۷۶ متر بوده و غلظت نمک آن از ۳۵۰ تا بیش از ۴۲۰ گرم در لیتر متغیر است (۱۲). در شکل ۱ موقعیت دریاچه در استان و ایران مشاهده می‌شود.



شکل ۱ موقعیت دریاچه ارومیه و رودخانه‌های اصلی ورودی به آن

رژیم بارندگی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مدیترانه‌ای بوده و متوسط کل بارندگی ۴۹ ساله آن ۳۴۰ میلی‌متر در سال برآورد شده است، در حالی که میزان تبخیر حوضه بیش از ۱۶۲۹ میلی‌متر برآورد می‌شود. افزایش گرما توأم با افزایش تبخیر از سطح خاک و خشک شدن سطح زمین خواهد بود و این امر پتانسیل تولید گردوبغار را افزایش داده و ذرات با سهولت بیشتری از سطح زمین جدا می‌شوند. در این رابطه ماههای تیر و مرداد بالاترین میزان تبخیر را داشته و اقلیم منطقه بر اساس اقلیم دومارت اصلاح شده نیمه‌خشک سرد می‌باشد (۱۳).

### ۲-۲- روش تحقیق

در این تحقیق الگوریتم بومی شده استخراج عمق اپتیکی با قدرت تفکیک مکانی بالا جهت شناسایی کانون‌ها در روزهای غباری انتخاب گردید. سپس با توجه به آن از اطلاعات و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس و داده‌های زمینی ایستگاه AERONET زنجان و همچنین داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک جهت اعتبار سنجی استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا مقادیر عمق اپتیکی از سایت<sup>۶</sup> Giovanni دریافت شده و مقادیر دارای عمق اپتیکی بیش از ۵/۰ به عنوان روز غباری فیلتر می‌شوند. در گام بعد داده‌های عمق اپتیکی ایستگاه AERONET زنجان که نزدیک‌ترین ایستگاه موجود به حوضه ارومیه می‌باشد در روزهای انتخاب شده بررسی و در صورتی که عمق اپتیکی آن بالای ۰/۳ باشد به عنوان روز غباری انتخاب شده و سایر محاسبات منوط به این روزها می‌گردد. اکنون تصاویر سطح ۱ A سنجنده مادیس ماهواره ترا<sup>۷</sup> MOD02HM با قدرت

افزایش دما و سرعت باد و همچنین کاهش رطوبت خاک امکان برخاستن ذرات گرد و غبار و نمک به شدت افزایش می‌یابد و ممکن است مناطق وسیعی را تحت تاثیر قرار دهد. برای نمونه وجود ذرات برخاسته از دریاچه آرال در فاصله‌ی ۶۰۰ کیلومتر پایین دست به ثبت رسیده است (۸).

Yongxiao و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی پتانسیل انتشار ذرات برخاسته از کانون‌های دریاچه آرال طی بازه زمانی ۲۰۱۵-۲۰۱۳ پرداختند. در آن تحقیق از تصاویر سنجنده OMI و مدل‌سازی با نرم‌افزار HYSPLIT استفاده گردید. نتایج حاکی از آن است که برای میانگین سالانه شاخص ذرات معلق<sup>۸</sup>، انحراف میانگین، میانه و بیشینه مقادیر روند افزایشی قابل توجهی را نشان می‌دهند که به علت کاهش پیوسته تراز آب دریاچه از سال ۲۰۰۵ می‌باشد. همچنین مشاهده گردید که پتانسیل حرکت ذرات به سمت شمال‌شرق بیشتر از غرب و جنوب می‌باشد (۹).

Lin و همکاران (۲۰۱۴) در منطقه دلتای رودخانه Pearl به مقایسه دو سری داده‌های GDAS با قدرت تفکیک مکانی ۱ درجه و ۰/۵ درجه بر اساس نتایج مدل‌سازی روبه عقب در نرم‌افزار HYSPLIT پرداختند. این دو داده در قدرت تفکیک مکانی و تعداد لایه‌های ارتفاعی با یکدیگر تفاوت دارند. تفاوت دیگر آن عدم وجود داده‌های سرعت عمودی باد در مدل نیم درجه‌ای آن است. در نهایت با توجه به مشاهدات زمینی و غلظت PM10 آن‌ها، GDAS1 را برای منطقه مورد نظر مناسب‌تر یافتند (۱۰). از سه دهه گذشته الگوریتم‌های بازیابی گرد و غبار توسعه داده شده‌اند و مطالعات بسیاری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت شناسایی کانون‌های تولید کننده گرد و غبار استفاده شده است. حیدری (۱۳۹۶) به توسعه الگوریتم بازیابی ذرات معلق با قدرت تفکیک ۵۰۰ متری با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس<sup>۹</sup> در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۱۰ در حوضه دریاچه ارومیه پرداخت. روش به کار گرفته در این تحقیق تخمین بازتاب ذرات معلق به‌وسیله تجزیه انکاس بازتابش اتمسفری از انکاس‌های سطحی و اتمسفری است. به دست آوردن عمق اپتیکی با این روش متابع تولید غبار و پراکنش آن‌ها را با دقت بسیار بالا مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج به دست آمده گواه دقت قابل قبول این الگوریتم است و به لحاظ پراکنش و جزئیات منطقه مورد مطالعه در مقایسه با محصول عمق اپتیکی ۱۰ کیلومتری بهتر عمل کرده است (۱۱).

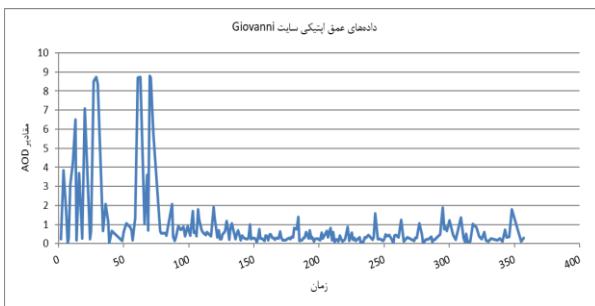
با توجه به مطالعات صورت گرفته و اهمیت پهنه‌های غبار نمکی در تولید و افزایش غلظت غبار در منطقه، نیاز است که با مطالعه دقیق کانون‌های شناسایی شده در رخدادهای غباری متعدد مناطق تحت تاثیر و سیر حرکت ذرات گرد و غبار بررسی و استخراج شده و جهت اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و اجرایی برای انتخاب راه حل مناسب جهت پوشش حداقلی کانون‌های غبار مدنظر قرار گیرد. بنابراین مطابق الگوریتم روزهای غباری شناسایی شده و مناطق محتمل انتشار گرد و غبار در آن روزها شناسایی می‌شود. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس و داده‌های ایستگاه زمینی AERONET زنجان استفاده می‌گردد. سپس مدل سازی با نرم‌افزار HYSPLIT صورت گرفته و در نهایت جهت اعتبار سنجی، نتایج مدل با داده‌های زمینی ایستگاه هواشناسی و غلظت ذرات معلق مقایسه می‌شوند. نوآوری این تحقیق دربررسی دقت نتایج مدل‌سازی با استفاده از داده‌های GDAS0P25 برای ورودی نرم‌افزار HYSPLIT می‌باشد. GDAS0P25 دارای قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه بوده و با توجه به کوچک بودن حوضه

<sup>4</sup> AI

<sup>5</sup> MODIS

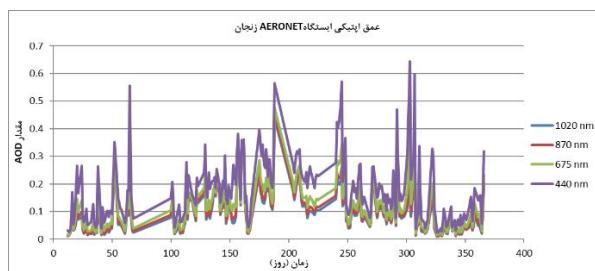
<sup>6</sup> <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>

<sup>7</sup> TERRA

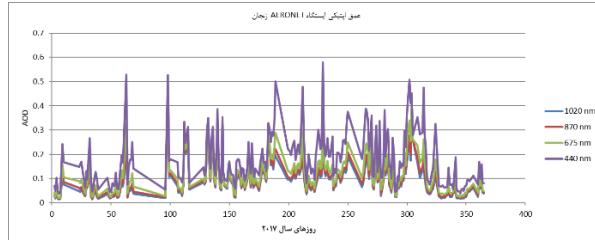


شکل ۳ داده‌های عمق اپتیکی سایت Giovanni سال ۲۰۱۷

پس از انتخاب روزهای محتمل، در مرحله دوم آن‌ها را با عمق اپتیکی زمینی محاسبه شده در ایستگاه AERONET زنجان مقایسه می‌نماییم، زیرا ایستگاه AERONET زنجان نزدیکترین ایستگاه زمینی به حوضه ارومیه می‌باشد. در این مرحله، با استناد به مطالعات گذشته عمق اپتیکی بالاتر از  $1/3$  ملاک قرار می‌گیرد. همان‌طور که در شکل ۴ و ۵ مشاهده می‌شود، مقادیر عمق اپتیکی ایستگاه زنجان فقط در ۴ طول موج  $1020\text{ nm}$ ,  $870\text{ nm}$ ,  $675\text{ nm}$  و  $440\text{ nm}$  نانومتر اعلام شده است. برای ادامه کار طول موج  $440\text{ nm}$  ملاک قرار می‌گیرد و علت آن نزدیک بودن به طول موج  $550\text{ nm}$  نانومتر است.



شکل ۴ عمق اپتیکی ایستگاه AERONET زنجان سال ۲۰۱۶



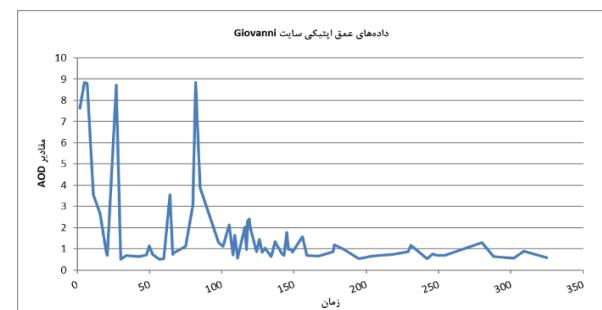
شکل ۵ عمق اپتیکی ایستگاه AERONET زنجان سال ۲۰۱۷

در مرحله بعد، تصاویر سطح A ۱ سنجنده مادیس ماهواره ترا به صورت MOD02HKM با قدرت تفکیک  $500\text{ m}$  متری و دارای باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی استفاده شده است. این تصاویر در ۷ باند در محدوده  $440\text{ nm}$  تا  $1020\text{ nm}$  تا  $2/2$  میکرون از سال ۲۰۰۰ در دسترس هستند که باند ۴ این تصویر ( $550\text{ nm}$ ) برای استخراج عمق اپتیکی استفاده می‌شود. عملیات حذف ابر نیز به روش اختلاف باند ۴ دو تصویر بازتاب موجود در جو و آستانه‌های مناسب برای هر روز انتخاب کرد (۱۰). به این صورت که از تصاویر  $16$  روزه محصول MCD34A4 NBAR باید برای هر ۴ ماه تصویر دریافت نموده و برای هر پیکسل کمینه ۴ تصویر را قرار داد. بدین ترتیب مقدار عمق اپتیکی برای روزهای مورد نظر به دست می‌آید. در این تحقیق دو سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ میلادی بررسی می‌گردد، زیرا شرایط بحرانی کنونی دریاچه را در برمی‌گیرد. همچنین

مکانی  $500\text{ m}$  دریافت شده و روزهایی گرینش می‌شوند که تصاویر آن‌ها دارای ابر و اعوچ کمتری باشد. از طرفی عمق اپتیکی میانگین ماهانه با استفاده از تصاویر MCD43A4 به دست آمده و تفاضل این تصاویر تغییرات عمق اپتیکی در روز غباری مورد نظر را حاصل می‌شود. بنابراین سلول‌های دارای بیشترین افزایش مقدار عمق اپتیکی به عنوان کانون‌های غبار شناسایی شده و مختصات آن‌ها جهت مدل‌سازی وارد نرم‌افزار HYSPLIT می‌شود. مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار HYSPLIT در دو حالت مسیر حرکت ذرات و غلظت ذرات منتشر شده انجام شده است. نوآوری تحقیق این است که برخلاف تحقیقات پیشین که با استفاده از داده‌های GDAS<sup>1</sup>  $1\times 1$  درجه صورت پذیرفته است، از داده‌های GDAS0P25 با قدرت تفکیک مکانی  $25\times 25\text{ km}$  درجه استفاده شده است. زیرا این مقیاس با قدرت تفکیک مکانی بالاتر برای مکان‌های با وسعت کم مناسب‌تر به نظر می‌رسد. از این رو هدف این تحقیق بررسی صحت مدل‌سازی با استفاده از داده‌های GDAS0P25 می‌باشد. داده‌های GDAS محصول سازمان ملی جو و پیش‌بینی هوای آمریکا (NOAA) است. این داده‌ها جهت شبیه‌سازی خطوط سیر گرد غبار و شناسایی مناطق خاستگاه و همچنین مناطق تحت تاثیر به کار گرفته می‌شود. مدل HYSPLIT مدل دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گرد و غبار، پراکنش و شبیه‌سازی ته نشینی آن با استفاده از خصوصیات ذرات است. در این مدل محاسبه‌ی مسیر و غلظت ذرات متناسب با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام می‌شود. روش محاسبه‌ی مدل بر اساس دیدگاه اویلری یا لاگرانژی می‌باشد.

### ۳- نتایج و بحث

یکی از روش‌های شناسایی کانون‌های تولید غبار به کمک داده‌های ماهواره‌ای، استفاده از داده‌های عمق اپتیکی است. در این تحقیق از الگوریتم حیدری جهت مکان‌یابی کانون‌های غبار دریاچه ارومیه با استخراج عمق اپتیکی ذرات متعلق با قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده شده است. علت این انتخاب، قدرت تفکیک مکانی  $500\text{ m}$  متری این روش و بومی بودن آن است. همان‌طور که اشاره شد، این روش برای حوضه‌های کم وسعت مانند ارومیه مناسب است. مطابق این الگوریتم ابتدا از سایت Giovanni روزهای دارای عمق اپتیکی بالاتر از  $1/5$  را به عنوان روزهای محتمل گرد و غباری انتخاب می‌نماییم. عمق اپتیکی‌ها به صورت  $1\times 1$  درجه محاسبه شده ولی برای اندازه‌گیری تغییرات کلی عمق اپتیکی ذرات متعلق بر فراز محدوده مناسب است (۱۰).



شکل ۲ داده‌های عمق اپتیکی سایت Giovanni سال ۲۰۱۶

<sup>8</sup> <ftp://arlftp.arlhq.noaa.gov/pub/archives/>

جدول 2 نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۷

وضعیت	AERONET 440 nm	Giovanni AOD	روز سال
ابری	0.529177	8.728496	63
ابری	0.526918	0.897408	98
اعوجاج	0.313117	0.881532	136
ابری	0.35357	0.702797	144
قابل قبول	0.477233	0.667288	212
قابل قبول	0.313816	1.579	249
ابری	0.440021	1.89	301
ابری	0.507154	0.752672	302
ابری	0.410874	0.873	303
ابری	0.448819	0.666966	304
ابری	0.32476	1.04363	324

با توجه به جدول ۲، روزهای ۲۱۲ به علت عمق اپتیکی بالا و در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای مناسب تشخیص داده شده و به عنوان رخداد مورد مطالعه انتخاب می‌شود. مشابه همین روند برای سال ۲۰۱۶ نیز انجام شده و نتایج آن در جداول ۳ و ۴ قابل مشاهده است.

جدول 3 مقادیر عمق اپتیکی ایستگاه زنجان در روزهای غباری سال ۲۰۱۶

روز سال	1020 nm	870 nm	675 nm	440 nm
52	0.278362	0.283529	0.293368	0.351446
65	0.333888	0.35841	0.407641	0.555221
129	0.178622	0.196132	0.233006	0.342446
178	0.134794	0.152567	0.196243	0.341509
207	0.204112	0.216709	0.241928	0.31854
244	0.1991	0.226253	0.290858	0.48069
292	0.294632	0.314567	0.357387	0.470465

همچنین پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای مادیس با توجه به قابل قبول بودن تصاویر رخدادهای مورد نظر انتخاب و نتایج در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول 4 نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۶

وضعیت	AERONET AOD	Giovanni AOD	روز سال
بدون تصویر	0.351446	0.746053	52
تصویر ناکامل	0.555221	3.54445	65
کمی ابری	0.342446	1.046541	129
قابل قبول	0.341509	0.649436	178
قابل قبول	0.31854	0.538433	207
قابل قبول	0.48069	0.868563	244
ابری	0.470465	1.297	292

با توجه به جدول ۴، روزهای ۱۷۸، ۲۰۷، ۲۴۴ و ۲۷۸، رخدادهای مناسبی برای بررسی هستند. در این تحقیق ۱۷۸ امین روز سال انتخاب می‌شود. سپس با کمک الگوریتم شرح داده شده عمق اپتیکی بخش‌های مختلف دریاچه ارومیه به دست آمده به این ترتیب مناطق دارای پتانسیل انتشار غبار در روزهای منتخب شناسایی می‌شوند. برای مثال تصاویر ماهواره‌ای

داده‌های عمق اپتیکی ایستگاه زنجان از سال ۲۰۱۵-۲۰۱۳ وجود ندارد.

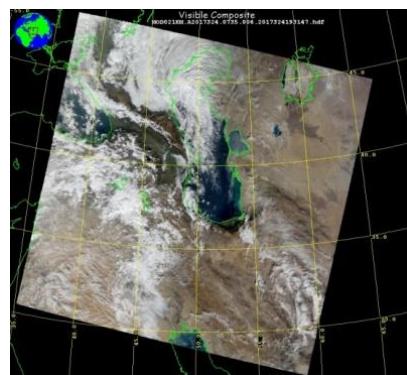
پس از مراحل ۱ و ۲، روزهایی به شرح جدول ۱ حاصل گشت.

جدول ۱ مقادیر عمق اپتیکی ایستگاه زنجان در روزهای غباری سال ۲۰۱۷

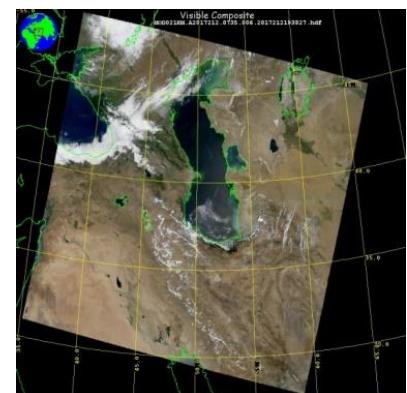
روز سال	1020 nm	870 nm	675 nm	440 nm
63	0.207775	0.245565	0.324536	0.529177
98	0.484814	0.488245	0.492994	0.526918
136	0.266326	0.276092	0.286048	0.313117
144	0.312112	0.321087	0.330331	0.35357
212	0.205796	0.231059	0.292665	0.477233
249	0.131835	0.148584	0.188739	0.313816
301	0.215878	0.242816	0.295973	0.440021
302	0.250643	0.278884	0.338924	0.507154
303	0.174663	0.199133	0.2543	0.410874
304	0.44874	0.451297	0.448942	0.448819
324	0.10554	0.129506	0.179725	0.32476

در نتیجه این دو مرحله روزهایی انتخاب خواهد شد که احتمال غباری بودن آن‌ها توسط داده‌های ماهواره‌ای و زمینی تایید شده است. حال باید تصاویر ماهواره‌ای مربوط به این روزها دریافت شود به طوری که ابر و امواج کمتری در تصاویر موجود باشد و غبارهای وارد شده از همسایه‌های غربی ایران محسوس نباشد.

در شکل ۶ و ۷ نمونه‌هایی از تصاویر مادیس را می‌توان مشاهده نمود که یکی دارای ابر زیاد و نامناسب، در حالی که دیگری قابل قبول است.



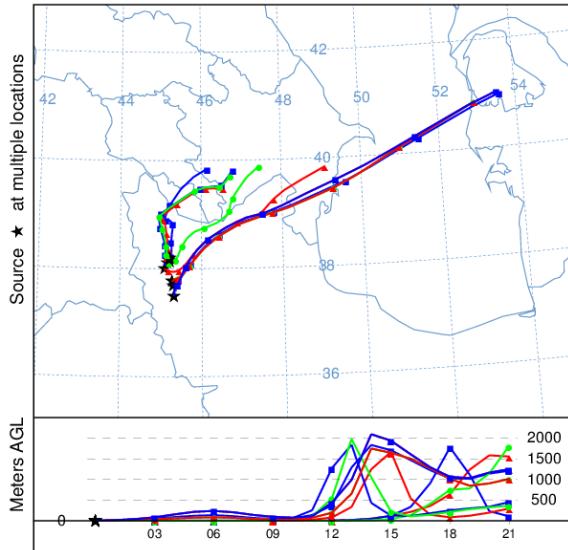
شکل ۶ تصویر با میزان ابرینگی نامناسب



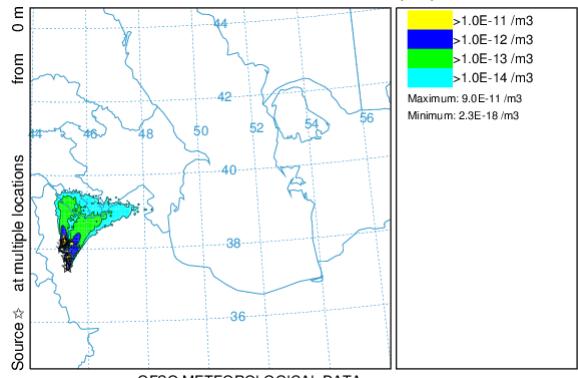
شکل ۷ تصویر مادیس با میزان ابرینگی قابل قبول

در ادامه روزهای انتخاب شده از نظر مناسب بودن تصاویر ماهواره‌ای بررسی می‌گردد. نتایج به صورت جدول ۲ قابل مشاهده است.

در ادامه، داده‌های هواشناسی GDAS0P25 روزهای منتخب از سایت NOAA دریافت نموده و به عنوان ورودی‌های مدل HYSPLIT وارد می‌گردد. همچنین مختصات سلول‌هایی که تغییرات عمق اپتیکی آن‌ها از میانگین ماهانه زیاد بود نیز به عنوان سلول‌های با احتمال گرد و غبار به نرمافزار وارد می‌شود. اکنون مدل برای رخداد ۳۱ جولای ۲۰۱۷ به صورت مسیر حرکت و غلظت انتشار به مدت ۲۴ ساعت اجرا می‌شود که به ترتیب نتایج آن‌ها در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ قابل مشاهده است.



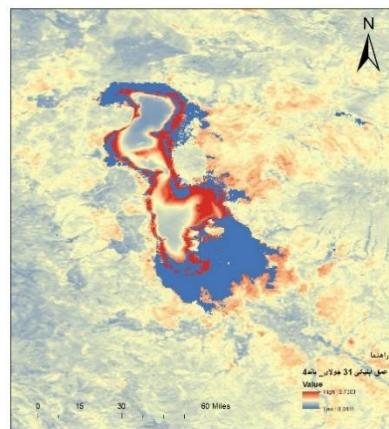
شکل ۱۱ مسیر حرکت ذرات گرد و غبار در روز ۳۱ جولای سال ۲۰۱۷



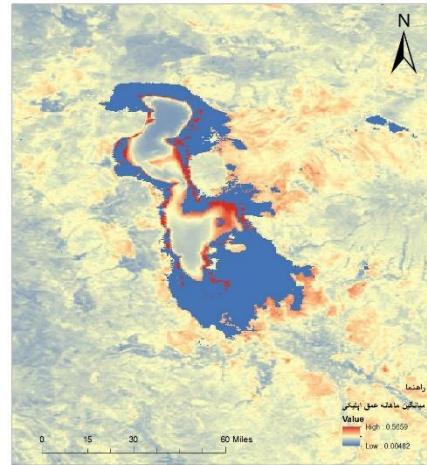
شکل ۱۲ غلظت گرد غبار برخاسته از کانون‌های دریاچه ارومیه در ۳۱ جولای ۲۰۱۷ پس از ۲۴ ساعت

همانطور که در شکل ۱۱ و ۱۲ دیده می‌شود، در روز ۳۱ جولای مسیر حرکت ذرات گرد و غبار به سمت شمال و شمال‌شرق می‌باشد. عموماً خط سیر ذرات واقع در نواحی شمالی دریاچه به سمت شمال و نواحی جنوبی آن در جهت شمال‌شرق می‌باشد. همچنین، شعاع تاثیر ذراتی که خط سیر آن‌ها در جهت شمال است از شعاع تاثیر ذراتی که در جهت شمال‌شرق حرکت می‌کنند کمتر است. ارتفاع صعود ذرات معلق نیز حدکثر تا ۲۰۰۰ متر می‌باشد که تا ۱۲ ساعت پس از اجرای مدل، ذرات در فاصله‌ی کمتر از ۵۰۰ متری سطح زمین حرکت می‌نمایند. ممکن است به دلیل حرکت ذرات در مجاورت سطح زمین در زمان‌های ابتدایی، برای نواحی اطراف دریاچه خطرناک باشد. هرچند به علت غلظت بسیار کم توده گرد و غبار در حال حاضر تهدیدی برای منطقه به شمار نمی‌رود.

روز ۳۱ جولای (۲۱۲) در شکل ۸ و میانگین عمق اپتیکی ماهانه آن در شکل ۹ مشاهده می‌شود.

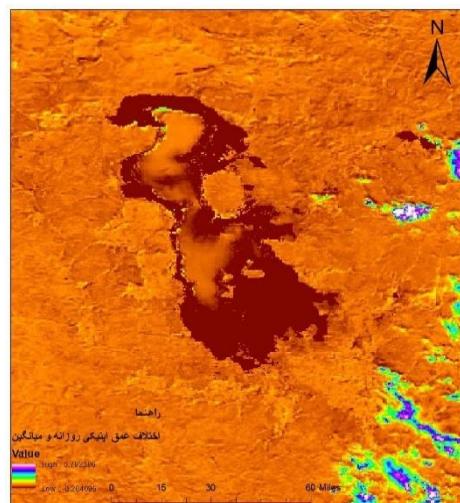


شکل ۸ عمق اپتیکی روز ۳۱ جولای (۲۱۲) سال ۲۰۱۷



شکل ۹ عمق اپتیکی میانگین ماه جولای سال ۲۰۱۷

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود تصویر روز منتخب ابر وجود دارد. از آنجایی که ابر روی دریاچه و کانون‌ها را نپوشانده است، لزومی در حذف آن‌ها نمی‌باشد. اکنون اختلاف دو تصویر محاسبه شده و نتیجه آن در شکل ۱۰ ارائه گردیده است.



شکل ۱۰ اختلاف عمق اپتیکی روز ۳۱ جولای و میانگین ماه جولای ۲۰۱۷

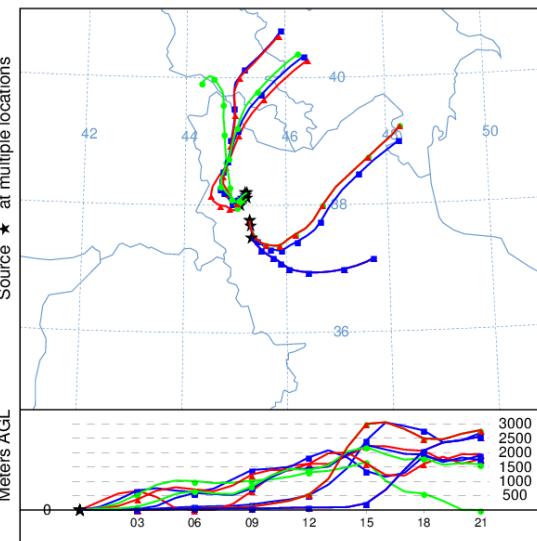
بزرگتر باشد، احتمال گرد و غباری بودن روز مذکور نیز بیشتر است. جهت باد نیز باید مطابقت قابل قبولی با خط سیر مدل‌سازی شده توسط نرم‌افزار داشته باشد.

جدول ۵ داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی حوضه ارومیه در ۳۱ جولای ۲۰۱۷

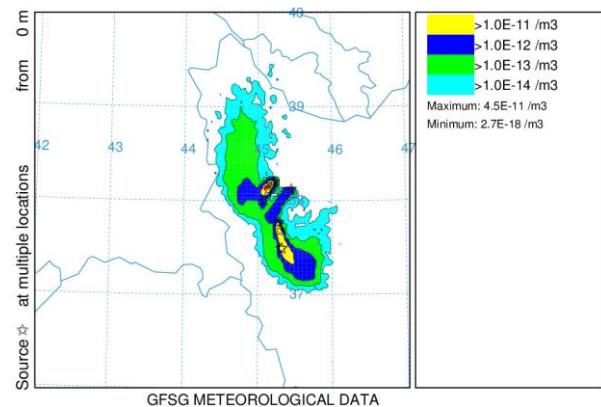
ایستگاه	زمان (UTC)	دما (°C)	شار (hpa)	سرعت باد (m/s)	جهت باد	بارندگی (میلی‌متر) (کیلومتر)	
ارومیه	0	24	865.3	3	شمال غربی	10	0
	3	24	866.2	2	شمال غربی	10	0
	6	29	866.7	5	شمالی	10	0/1
	9	32	866.4	2	شرقی	10	0
	12	34	865	2	شمال شرقی	10	0
	15	32	864.4	0	-	10	0
	18	27	866	3	غربی	10	0
	21	24	867.5	2	جنوب غربی	10	0
	0	-	-	-	-	10	0
	3	20	868.5	0	-	10	0
میاندوآب	6	29	869.3	3	شرقی	10	0
	9	34	868.3	5	شمال شرقی	10	0
	12	36	867	3	غربی	10	0
	15	33	867.5	4	شرقی	10	0
	18	-	-	-	-	10	-
	21	-	-	-	-	10	-
	0	28	866.5	4	شمالی	10	0
	3	26	867.5	2	جنوب غربی	10	0
	6	30	868.3	3	غربی	10	0
	9	35	867.4	2	جنوبی	10	0
عجب شیر	12	38	865.9	4	جنوب شرقی	10	0
	15	37	865.8	4	شرقی	10	0
	18	32	868	2	جنوب شرقی	10	0
	21	28	869	5	شمالی	10	0
	0	27	862.8	7	شرقی	10	0
	3	26	864	8	شرقی	10	0
	6	30	864.8	11	شرقی	10	0
	9	33	864.1	10	شرقی	10	0
	12	36	862.7	8	شرقی	10	0
	15	34	862.6	6	شرقی	10	0
مراغه	18	31	864.5	6	شرقی	10	0
	21	29	865.2	8	شرقی	10	0

با توجه به نتایج مدل‌سازی در نرم‌افزار HYSPLIT مشاهده می‌شود که به طور کلی جهت حرکت ذرات معلق مشابه جهت باد ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد. در روز ۳۱ جولای ۲۰۱۷ در ساعت ۰۰:۰۰ بامداد جهت باد ثبت شده در ایستگاه‌های ارومیه، عجب شیر و مراغه به ترتیب شمال‌غرب، شمال و شرق می‌باشد که با توجه به مسیر کلی ذرات در جهت شمال‌شرق قابل قبول است. لازم به ذکر است که ایستگاه ارومیه در غرب دریاچه واقع شده و در مسیر حرکت ذرات نمی‌باشد لذا ممکن است جهت باد متفاوت آن ناشی از وجود بادهای محلی در آن ناحیه باشد. هر چند با گذشت زمان جهت باد این ایستگاه نیز در راستای خط سیر گرد و غبار در جهت شمال شرق می‌گردد. در این زمان ایستگاه ارومیه، میاندوآب و مراغه تطبیق خوبی با خط سیر ذرات دارند، گرچه ایستگاه عجب شیر با جهت باد جنوبی متفاوت می‌باشد. پس از این زمان خط سیر ذرات چندان متاثر از جهت باد محلی ایستگاهها نمی‌باشند.

اجرای مدل HYSPLIT برای رخداد ۲۸ ژوئن سال ۲۰۱۶ در دو حالت مدل‌سازی خط سیر حرکت و غلظت انتشار برای ۲۴ ساعت به ترتیب در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ مشاهده می‌شود.



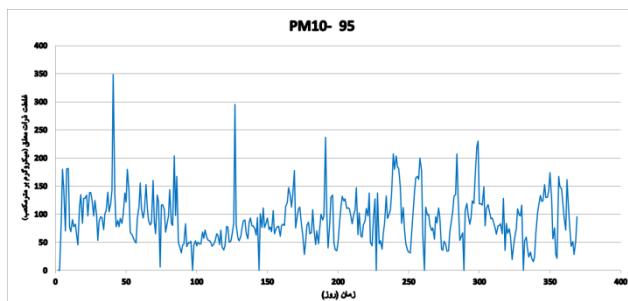
شکل ۱۳ مسیر حرکت ذرات گرد و غبار در روز ۲۸ ژوئن سال ۲۰۱۶



شکل ۱۴ غلظت گرد غبار برخاسته از کانون‌های دریاچه ارومیه در ۲۸ ژوئن ۲۰۱۶ پس از ۲۴ ساعت

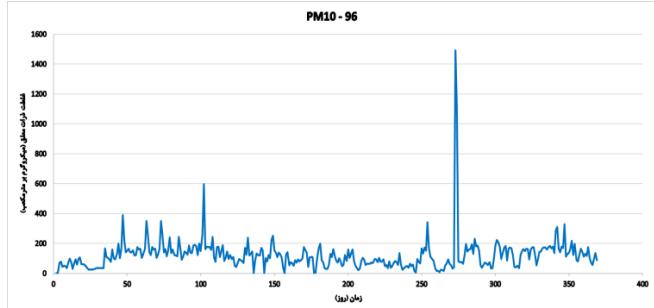
همان طور که در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ مشاهده می‌شود، در روز ۲۸ ژوئن حرکت ذرات نواحی شمالی دریاچه به سمت شمال و نواحی جنوبی آن به سمت جنوب‌شرق و شرق حرکت می‌کنند دامنه برد اندکی دارند. از ذراتی که در جهت شمال حرکت می‌کنند دامنه برد اندکی دارند. از طرفی می‌توان نتیجه گرفت که حرکت ذرات این ناحیه در اغلب موارد در جهت شمال و با دامنه برد کوتاه است. ارتفاع اختلاط در این رخداد ۳۰۰۰ متر شده ولی در این حالت به صورت صعودی از همان ابتدا از سطح زمین فاصله می‌گیرد. بنابراین همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، غلظت ذرات گرد و غبار بسیار ناچیز می‌باشد و در حال حاضر خطر جدی برای ساکنان حوضه تلقی نمی‌شود، ولی این امکان وجود دارد که با کاهش بیشتر تراز دریاچه و قرار گرفتن مساحت بیشتری از بستر دریاچه در معرض باد، غلظت غبار برخاسته نیز بیشتر گردد. اکنون جهت اعتبار سنجی نتایج را با داده‌های دما، سرعت و جهت باد و غلظت PM10 ایستگاه‌های هواشناسی زمینی در رخدادهای مورد مطالعه مقایسه می‌نماییم. بدین صورت که هرچه دما بیشتر باشد، رطوبت خاک کمتر بوده و امکان برخاستن ذرات بیشتر است. همچنین سرعت باد مهم‌ترین پارامتر هواشناسی بوده و هرچه مقدار عددی آن

در روز ۲۸ ژوئن سال ۲۰۱۶ ذرات نواحی شمالی دریاچه در ابتدا به سمت غرب و سپس به سمت شمال شرق حرکت نمودند در حالی که ذرات برخاسته از نواحی جنوبی در ابتدا به درجهت جنوب شرق حرکت کرده و سپس به سمت شمال شرق تغییر داده‌اند. با توجه به بررسی داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه ارومیه همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود در ساعت ۰۰:۰۰ بامداد در ایستگاه ارومیه جهت حرکت باد به سمت غرب می‌باشد که تقریباً مشابه حرکت است، اما در ساعت ۳ بامداد جهت وزش باد به سمت شمال ثبت شده است که تقریباً مصادف با تغییر مسیر حرکت ذرات به سمت شمال بوده و از ساعت ۶ بامداد که جهت حرکت جنوبی می‌شود باعث تمایل شدن حرکت ذرات به سمت شرق می‌شود هرچند تا این زمان ذرات به اندازه کافی از ایستگاه ارومیه فاصله گرفته و تقریباً تحت تاثیر بادهای محلی ایستگاه ارومیه نیستند. از طرفی نواحی جنوبی دریاچه ابتدا در راستای جنوب شرق حرکت کرده و پس از مدتی به سمت شمال شرق تغییر مسیر می‌باشد. با بررسی ایستگاه‌های این ناحیه مشاهده می‌شود که در ساعات اولیه جهت باد در ایستگاه عجب شیر جنوب‌شرقی و شرقی و در ایستگاه مراغه شرقی می‌باشد که مطابق با خط سیر مشاهده شده در شکل ۱۳ است. در حالی که جهت باد در میاندوآب به سمت شمال و شمال غربی است، که ممکن است به علت وزش بادهای محلی یا خطای وسیله اندازه‌گیری باشد. پس از ساعت ۱۲ جهت باد در ایستگاه‌ها متایل به غرب شده است و مطابقت خوبی با سیر حرکت ذرات در مدل که به سمت شمال شرق است مشاهده نمی‌شود. عمدۀ دلیل آن دور شدن ذرات از حوضه بوده به طوری که دیگر تحت تاثیر بادهای محلی حوضه ارومیه نمی‌باشند. هرچند ممکن است عوال دیگری نظری خطا مدل‌سازی، دقیق نبودن اطلاعات ورودی و خطای ثبت در ایستگاه‌ها از عوامل دیگر باشد.



#### ۴- نتیجه گیری

با توجه به حرکت ذرات نواحی شمالی دریاچه ارومیه در جهت شمال و با دامنه برد کوتاه می‌توان نتیجه گرفت که در صورت بروز بحران و مشاهده غلظت‌های بالای ذرات معلق باید اقدامات پیشگیرانه در این منطقه صورت گیرد. البته این نتیجه گیری با توجه به تنها دو رخداد مورد بررسی حاصل گردیده است و برای اطمینان بیشتر باید رخدادهای مختلفی در فصول مختلف بررسی شود. در تحلیل غلظت ذرات گرد و غبار مقدار غلظت میانگین روزانه PM10 در روز ۳۱ جولای برابر ۱۴۶/۶۳ و در روز ۲۸ ژوئن برابر ۴۷/۴۴ میکروگرم در مترمکعب می‌باشد که با توجه به شاخص سازمان محیط‌زیست که غلظت بالاتر از ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب به عنوان روز گرد و غبار محسوب می‌شود، روز ۳۱ جولای نشان از بالا بودن میزان ذرات معلق داشته در حالی که در روز ۲۸ ژوئن چنین نبوده و غلظت ذرات معلق ثبت شده کم می‌باشد و به عنوان روز گرد و غبار محسوب نمی‌شود. هرچند این مساله



شکل ۱۵ غلظت ذرات معلق ایستگاه ارومیه سال ۱۳۹۶

غلظت ذرات معلق ایستگاه ارومیه در شکل ۱۵ نشان می‌دهد که این مقدار در بیشتر روزها کمتر از  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بوده و در تعداد روزهای محدودی از این مقدار بیشتر می‌شود. با توجه به رخداد مورد بررسی در ۳۱ جولای مقدار آن  $146/63 \mu\text{g}/\text{m}^3$  به دست می‌آید و مقدار آن نزدیک به استاندار  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  اسازمان محیط‌زیست می‌باشد. بنابراین این روز با توجه به داده‌های ایستگاه زمینی ارومیه نیز یک رخداد گرد و غباری محسوب می‌شود.

جدول ۶ داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی حوضه ارومیه در ۲۸ ژوئن ۲۰۱۶

ایستگاهها	زمان (UTC)	دما (°C)	فشار (hPa)	سرعت باد (m/s)	جهت باد	دید افقی (کیلومتر)	بارندگی (میلیمتر)
ارومیه	0	17	866.7	3	غربی	10	0
	3	18	867.1	2	شمالی	10	0
	6	24	865.9	4	شمالی	10	0
	9	27	864.9	2	جنوبی	10	0
	12	29	863.2	2	جنوب شرقی	10	0
	15	29	862	0	-	10	0
	18	20	862.1	2	غربی	10	0
	21	22	862	3	شمال غربی	10	0
میاندوآب	0	-	-	-	-	-	0
	3	19	870	3	شمالی	10	0
	6	25	869.6	4	شمال غربی	10	0
	9	29	868.1	6	شمال غربی	10	0
	12	31	866.3	5	غربی	10	0
	15	30	865.2	3	غربی	10	0
	18	-	-	-	-	-	0
	21	-	-	-	-	-	0
عجب شیر	0	22	868.3	0	-	-	0
	3	20	868.8	1	جنوب شرقی	10	0
	6	25	868.5	2	جنوبی	10	0
	9	29	866.8	2	جنوب شرقی	10	0
	12	32	865	5	غربی	10	0
	15	32	863.9	4	غربی	10	0
	18	27	864.4	2	شمالی	-	0
	21	24	864.6	0	-	-	0
مراغه	0	21	864.8	7	شرقی	10	0
	3	20	865.4	7	شرقی	10	0
	6	26	865	4	شرقی	10	0
	9	29	863.2	3	شرقی	10	0
	12	31	861.7	4	شمال غربی	10	0
	15	31	860.6	3	غربی	10	0
	18	25	861.1	3	شرقی	10	0
	21	24	861.3	6	شرقی	10	0

نظر می‌رسد با توجه به کوچک بودن حوضه مطالعاتی استفاده از این نوع داده برای حوضه دریاچه ارومیه مناسب‌تر می‌باشد. با این وجود در تحقیق حاضر تنها دو رخداد را بررسی گردیده است لذا پیشنهاد می‌شود جهت تحقیقات بعدی بررسی‌ها به صورت فصلی و ماهانه نیز انجام شود تا دقیق مدل‌سازی در فصول دیگر نیز تعیین گردد. همچنین لازم است تا بررسی به صورت مقایسه داده‌های ورودی برای مثال GDAS1 و GDAS0P25 نیز صورت پذیرد و میزان تطابق یا عدم هماهنگی نتایج آن مورد بررسی قرار گیرد.

نمی‌تواند چندان وابسته به گردوبغار کانون‌های دریاچه ارومیه باشد، زیرا همان‌طور که در مدل انتشار HYSPLIT نشان داده شده است، غلظت غبار منتشر شده در هر دو رخداد بسیار ناچیز می‌باشد. بنابراین تاثیر چندانی در غلظت ذرات معلق به ثبت رسیده در ایستگاه‌های هواشناسی نخواهد داشت. همچنین سرعت باد نیز چندان زیاد نمی‌باشد، ولی به علت مستعد بودن زمین به علت تغییر اقلیم و پتانسیل بالای فرسایش بادی همین مقدار سرعت باد نیز باعث برخاستن ذرات گرد و غبار می‌شود. با توجه به مطابقت نتایج حاصل با استفاده از داده‌های GDAS1 و قدرت تفکیک مکانی بهتر آن نسبت به GDAS0P25

1. Hu, R., Jiang, F., & Wang, Y. (2007). Study on the lakes in arid areas of central Asia. *Arid Zone*, 22(4), 424-430.
2. Chen, X., Jiang, F., Wang, Y., Li, Y., & Hu, R. (2013). Characteristics of the eco-geographical pattern in arid land of central Asia. *Arid Zone Research*, 30(3), 385–390.
3. Ma, L., Wu, J., & Abuduwaili, J. (2011). The climatic and hydrological changes and environmental responses recorded in lake sediments of Xinjiang, China. *Journal of Arid Land*, 3(1), 1–8.
4. Rashki, A., Kaskaoutis, D., Goudie, A., & Kahn, R. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of the Total Environment*, 463, 552–564.
5. Liu, D., Abuduwaili, J., Lei, J., & Wu, G. (2011). Deposition rate and chemical composition of the aeolian dust from a bare saline playa, Ebinur Lake, Xinjiang, China. *Water, Air, & Soil Pollution*, 218(1), 175–184.
6. Alizadeh Choobari, O. (2013). The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. *New Zealand: Atmospheric Research* 138. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.11.007>.
7. کریمیان اقبال، م، حمزهپور، ن. (۱۳۹۶). شناسایی و تهیی نقشه ژئومورفولوژی پلایای دریاچه ارومیه و تاثیر آن بر طوفان‌های ریزگرد.
8. مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه شریف. (۱۳۹۶). گزارش تعیین کانون‌های غبار بستر خشک شده دریاچه ارومیه.
9. Yongxiao Ge & Jilili Abuduwaili & Long Ma & Dongwei Liu. (2016). Temporal Variability and Potential Diffusion Characteristics of Dust Aerosol Originating from the Aral Sea Basin, Central Asia: Water Air Soil Pollut (2016) 227:63 DOI 10.1007/s11270-016-2758-6
10. Lin Su , Zibing Yuan , Jimmy C.H. Fung, Alexis K.H. Lau. (2014). A comparison of HYSPLIT backward trajectories generated from two GDAS datasets. *Science of the Total Environment* 506–507 (2015) 527–537.
11. حیدری، پریسا (۱۳۹۴)، توسعه مدل استخراج عمق اپتیکی ذرات معلق با قدرت تفکیک مکانی بالا، رساله کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، (برای پایان نامه)
12. مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه شریف، (۱۳۹۶). بررسی تأثیر تغییرات تراز دریاچه ارومیه بر کاهش سطوح با پتانسیل تولید غبار. چهارمین کنفرانس ملی فراسایش بادی.
13. مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه شریف. (۱۳۹۵). گزارش شناسایی و اولویت‌بندی کانون‌های ایجاد گردوغبار در بستر و حریم دریاچه ارومیه).

# **Investigating and verifying the use of GDAS0P25 data in the modeling of the emission and trajectory of dust from Urmia Lake**

**Fatemeh Azimi<sup>1</sup>, Masoud Tajrishi<sup>2</sup>**

1-Researcher at Sharif University of Technology Research Center (RSRC)

2-Professor of Civil Engineering Department and Head of Remote Sensing Research Center of Sharif University of Technology (RSRC)

## **Abstract**

Atmospheric particles affect public health, air quality, Earth's energy balance, and hydrological cycles. In recent years, due to the gradual decrease in the level and area of Urmia Lake, and because of the lake shrinkages, numerous sources of saline dust are created in this area. The fine particles of soil and salt in these areas are among the areas susceptible to dust generation given the low percentage of moisture and the presence of salt in dried lakes bed. Due to the existence of other dry lakes, it is possible that the dust from the Urmia Lake will affect the surrounding areas and even far kilometers away. Therefore, detecting the direction of movement of these particles and the concentration of released dust, as well as the distance affected by these particles is necessary. To achieve this goal, by using satellite data and native algorithms, extraction of optical depths with high spatial resolution, susceptible sites to diffuse were detected and modeling was performed by using HYSPLIT software. In order to increase the modeling accuracy, the GDAS0P25 data, which has a spatial resolution of  $0.25 \times 0.25$  was used. Also, for validation, the data of the weather stations of the Urmia Lake basin and the concentration of suspended particles in the environmental stations were used. The results indicate that the modeling is acceptable in relation to ground data in terms of the direction of movement and concentration of particulate matter and is more suitable for modeling thanks to the small basin.

**Keywords:** “Urmia Lake”, “Dust”, “Optical Depth”, “HYSPLIT”, “GDAS0P25”.