

بررسی تأثیر تغییرات تراز دریاچه ارومیه بر کاهش سطوح با پتانسیل تولید غبار

فاطمه عظیمی^{۱*}، مصطفی جوادیان^۲، بهداد چهره‌نگار^۳، مسعود تجریشی^۴

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

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

۳- مدیر واحد هیدروانفورماتیک ستاد احیای دریاچه ارومیه (ULRP)

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

* نویسنده مسئول: azimi.fatemeh1994@gmail.com

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 در نتیجه 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 به‌شمار می‌روند. در این تحقیق، تأثیر نوسانات تراز و تغییرات سطح پهنا آبی دریاچه ارومیه بر سه گروه از کانون‌های تولید غبار به نام‌های کانون‌های اولویت ۱، کانون‌های اولویت ۲ و کانون‌های شناسایی شده در سال ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفته است. برای رسیدن به هدف تحقیق، از اطلاعات مربوط به مساحت سطح دریاچه با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸، استفاده شده است. سپس درصد همپوشانی کانون‌ها و محدوده دریاچه در تراز اکولوژیک ۱۲۷۴/۱ متر و همچنین همبستگی تراز دریاچه با درصد پوشش کانون‌های غبار محاسبه و نمودارها و نقشه‌های مربوطه به دست آمده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که در تراز ۱۲۷۱/۵ متر، جهش ناگهانی در کاهش وسعت کانون‌های تولید غبار رخ می‌دهد، به طوری که در این تراز تقریباً نیمی از پهناهای تولید غبار و در تراز ۱۲۷۳ متر تقریباً ۹۰ درصد پهناهای غبار واقع در تراز اکولوژیک ۱۲۷۴/۱ متر با آب دریاچه پوشیده خواهند شد. همچنین، نتایج نشان‌دهنده ارتباط غیرخطی بین افزایش تراز دریاچه و کاهش وسعت کانون‌های غبار است.

واژگان کلیدی: تراز اکولوژیک؛ دریاچه ارومیه؛ کانون‌های گردوغبار؛ AOD.



۱- مقدمه

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 (علیزاده، ۲۰۱۳). علاوه بر تأثیرات مذکور، ریزگردهای تروپوسفر می‌توانند تأثیر معنی‌داری بر سلامت عموم بشر داشته باشند (WHO، ۲۰۰۰). 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 اراضی بایر و شورزار تبدیل شده است. توفان‌های گردوغبار دارای آثار مخرب زیست‌محیطی فراوانی هستند که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر انسان و محیط‌زیست اثر می‌گذارند. منابع متعدد، برای توفان‌های غبار تا ۵۰ نوع اثر مخرب نام برده‌اند (Goudie & Middleton، ۲۰۰۶). ترکیب مقادیر زیاد نمک به‌جای مانده از عقب‌نشینی دریاچه ارومیه با ذرات گردوغبار، این آثار مخرب را تا چندین برابر تشدید می‌نماید. 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 زیرا تبعات آن نه‌تنها محدوده دریاچه، بلکه نواحی واقع در کیلومترها دورتر را نیز تهدید می‌نماید (Niaghi، ۲۰۱۳). یکی از خطرناک‌ترین و مستعدترین سطوح در برابر فرسایش بادی در دریاچه ارومیه، پهنه‌های ماسه‌ای نمکی می‌باشد (کریمیان اقبال و حمزه‌پور، ۱۳۹۶). پهنه‌های ماسه‌ای نمکی در شرق و جنوب شرق دریاچه مستعدترین سطوح در مقابل فرسایش بادی هستند که پتانسیل بسیار بالایی برای تولید گردوغبار و حتی طوفان‌های ماسه‌ای و نمکی داشته‌اند و این ریزگردها مناطق و زمین‌های کشاورزی اطراف را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یکی دیگر از فاکتورهای تولید ریزگرد، شرایط پوشش گیاهی زمین می‌باشد (کریمیان اقبال و حمزه‌پور، ۱۳۹۶). با توجه به مطالعه گیاهان مشاهده می‌شود که عوامل تخریب علاوه بر اثرات سوء بر کمیت مرتع، بر کیفیت آن نیز اثر گذار بوده‌اند و از نظر کیفی نیز



پوشش گیاهی مرتعی تخریب شده است (مهندسین مشاور ارس، ۱۳۸۴). بر اساس مطالعات انجام شده توسط کریمیان اقبال و حمزه پور (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. همچنین دریاچه آرال^۱ واقع در بین دو کشور ازبکستان و قزاقستان و دریاچه آونز^۲ در ایالات متحده نمونه‌هایی از تشکیل کانون‌های فعال غبار در اثر خشک شدن پهنه‌های آبی هستند. با توجه به مطالعات صورت گرفته و اهمیت پهنه‌های غبار نمکی در تولید و افزایش غلظت غبار در منطقه، نیاز است که رابطه بین تراز دریاچه و مساحت پهنه‌های دارای پتانسیل تولید غبار به صورت دقیق بررسی و استخراج شده و جهت اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و اجرایی برای انتخاب تراز بهینه برای پوشش حداکثری کانون‌های غبار مد نظر قرار گیرد.

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 (وزارت نیرو). در شکل ۱ موقعیت دریاچه و رودخانه‌های اصلی ورودی به آن مشاهده می‌شود.

¹ Aral sea

² Owens lake



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دریاچه ارومیه و رودخانه‌های اصلی ورودی به آن

رژیم بارندگی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مدیترانه‌ای بوده و متوسط کل بارندگی ۴۹ ساله ۳۴۰ میلی‌متر در سال برآورد شده‌است، درحالی‌که میزان تبخیر حوضه بیش از ۱۶۲۹ میلی‌متر برآورد می‌شود. افزایش گرما توأم با افزایش تبخیر و خشک شدن سطح زمین خواهد بود و این امر پتانسیل تولید گردوغبار را افزایش داده و ذرات با سهولت بیشتری از سطح زمین جدا می‌شوند. در این رابطه ماه‌های تیر و مرداد بالاترین میزان تبخیر از سطح خاک را داشته و اقلیم منطقه بر اساس اقلیم دومارتن اصلاح شده نیمه‌خشک سرد می‌باشد (مرکز سنجش از دور شریف، ۱۳۹۵). منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شامل محدوده اطراف دریاچه ارومیه واقع در مختصات ۳۶ تا ۳۸/۵ درجه شمالی و ۴۴ تا ۴۷/۵ درجه شرقی است به‌طوری‌که محدوده دریاچه در تراز اکولوژیک (۱۲۷۴/۱ متر) و پهنه‌های مستعد گردوغبار در حاشیه دریاچه ارومیه را شامل می‌شود. تراز اکولوژیک (۱۲۷۴/۱ متر)، بر اساس حداکثر شوری قابل تحمل آرتمیا، سخت پوست منحصر بفرد دریاچه ارومیه، برابر با ۱۲۷۴/۱ متر از سطح دریا تعیین شده است (Abbaspour & Nazaridoust, ۲۰۰۷).



۲-۲- روش تحقیق

یکی از روش‌های شناسایی کانون‌های تولید غبار به کمک داده‌های ماهواره‌ای، استفاده از داده‌های^۱ AOD است. در این تحقیق از کانون‌های شناسایی شده طی دو مطالعه (مرکز تحقیقات سنجش‌ازدور دانشگاه شریف، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) استفاده شده است. مطالعه نخست در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۴ و بر اساس داده‌های AOD سنجنده MODIS (قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر)، انجام شده است. بر این اساس، در شناسایی و اولویت‌بندی کانون‌های تولید غبار، مناطقی که مقدار AOD و تعداد رخداد در آن‌ها بیشتر است در اولویت ۱ قرار گرفته و بخش دیگری از کانون‌ها که شدت و وقوع کمتری داشتند در اولویت ۲ جای گرفتند. بر همین اساس شاخصی تحت عنوان شدت- فراوانی (IIF) مطابق با رابطه ۱ ارائه شده است:

$$IIF_{(t,o)} = AOD_t \times FoO \quad (1)$$

که در این رابطه:

$IIF_{(t,o)}$: شاخص شدت- فراوانی محاسبه شده به ازای حد آستانه O برای بازه زمانی

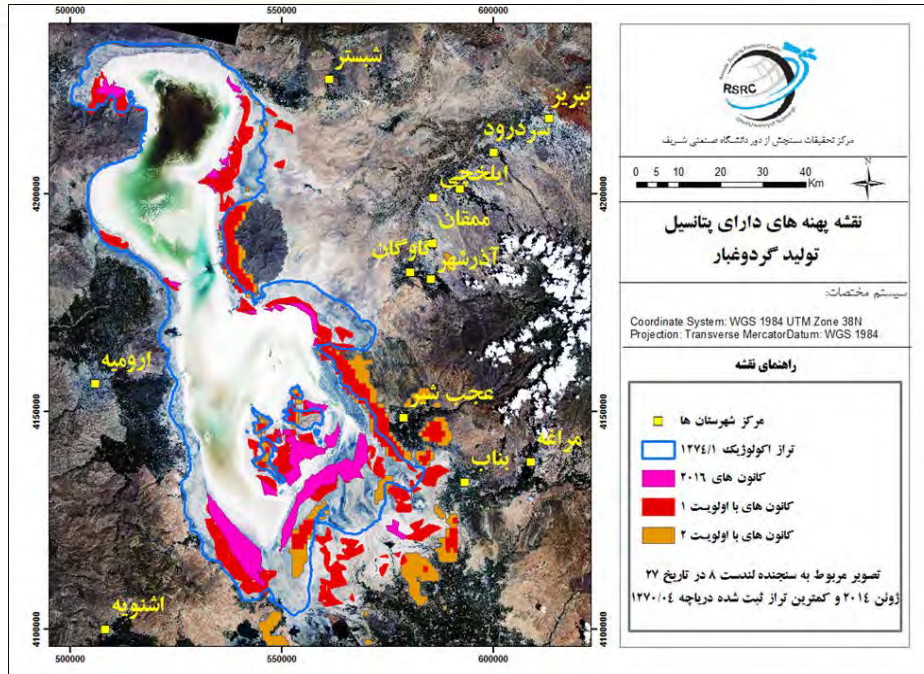
AOD_t : میانگین AOD محاسبه شده برای پیکسل موردنظر و در بازه زمانی t

FoO: تعداد دفعات مشاهده AOD بالاتر از حد آستانه در بازه زمانی موردنظر

قدرت تفکیک مکانی پایین داده‌های AOD سنجنده MODIS (۱۰ کیلومتر)، به‌خصوص در مطالعات محلی، یکی از موضوعات چالش‌برانگیز در شناسایی کانون‌های تولید غبار به شمار می‌رود. به همین دلیل در مطالعه دوم، داده‌های AOD با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر تولید شده و نتایج آن تحت عنوان کانون‌های سال ۲۰۱۶ در ادامه مورد استفاده قرار خواهد گرفت. شکل ۲ توزیع مکانی کانون‌های فوق در اطراف دریاچه و در داخل تراز اکولوژیک را نشان می‌دهد.

¹ Aerosol Optical Depth

² Index of Intensity and Frequency of Occurrence



شکل ۲- توزیع مکانی کانون ها در اطراف دریاچه و در داخل تراز اکولوژیک (مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۵)

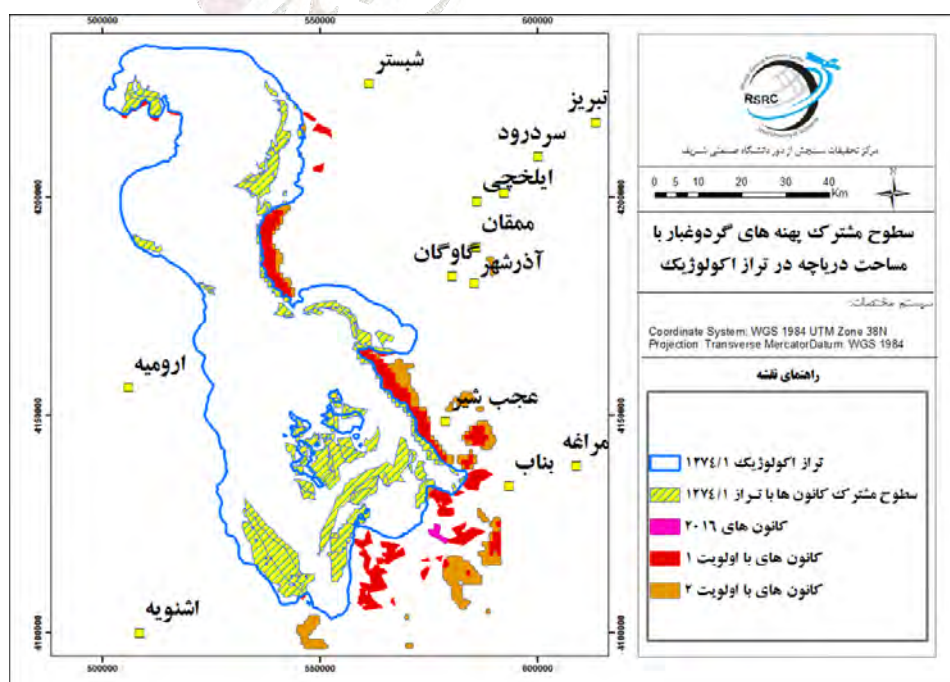
در صورت احیای دریاچه ارومیه، با افزایش تراز و به دنبال آن افزایش سطح دریاچه، قسمتی از کانون های با پتانسیل تولید غبار توسط آب پوشیده خواهند شد. با توجه به این که توزیع مکانی کانون های غبار در اطراف دریاچه یکسان نبوده و قسمتی از این کانون های غبار در خارج از تراز اکولوژیک دریاچه قرار گرفته اند، بنابراین ابتدا محدوده ای از کانون های غبار که در داخل تراز اکولوژیک دریاچه قرار می گیرند را مشخص نموده و سپس با محاسبه سطح دریاچه در ترازهای مختلف و سطح کانون های غبار واقع در تراز اکولوژیک، همپوشانی سطوح مذکور برآورد می شود. در مرحله بعد درصد همپوشانی در هر تراز نسبت به تراز اکولوژیک محاسبه شده و در نهایت با رسم نمودار تراز دریاچه و درصد همپوشانی در هر تراز، با روش رگرسیون غیرخطی، معادله ای به دست خواهد آمد که معرف رابطه بین تراز دریاچه و سطح پوشش کانون ها در آن تراز خواهد بود.



۳- نتایج

۳-۱- پهنه‌های غباری داخل تراز اکولوژیک

پس از بررسی مساحت و درصد همپوشانی کانون‌های غباری و تراز اکولوژیک دریاچه (۱/۱۲۷۴ متر)، تمامی کانون‌های داخل محدوده تراز اکولوژیک با یکدیگر جمع شده و نتیجه آن در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل مناطقی که با رنگ زرد هاشور خورده مشخص شده‌اند، معرف سطوح مشترک کانون‌ها درون محدوده تراز اکولوژیک دریاچه هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود بخشی از کانون‌های اولویت ۱ و ۲ در خارج از تراز اکولوژیک دریاچه قرار گرفته‌اند.



شکل ۳- سطوح مشترک پهنه‌های گردو غبار با مساحت دریاچه در تراز اکولوژیک

بر اساس داده‌های جدول ۱، تنها حدود ۲۴ درصد (معادل ۸۳ کیلومترمربع) از کانون‌های غبار اولویت ۲ در داخل تراز اکولوژیک (۱/۱۲۷۴ متر) دریاچه قرار



می گیرند و بخش بزرگی از این کانون ها (حدود ۷۶ درصد) در خارج از تراز اکولوژیک (۱/۱۲۷۴ متر) دریاچه واقع شده اند. همچنین، ۵۸ درصد کانون های اولویت ۱ و ۹۷ درصد کانون های سال ۲۰۱۶ داخل محدوده تراز اکولوژیک (۱/۱۲۷۴ متر) قرار دارند. به طور کلی مساحت تمامی کانون های تولید غبار برابر ۱۴۶۸ کیلومترمربع است که ۸۵۱ کیلومترمربع از آن (معادل ۵۸ درصد) داخل تراز اکولوژیک دریاچه قرار دارد.

جدول ۱- مساحت و درصد پهنه های غباری و سطح اشتراک آن ها با محدوده تراز اکولوژیک

عنوان	کانون های با اولویت ۱	کانون های با اولویت ۲	کانون های شناسایی شده با داده های ۲۰۱۶
مساحت پهنه غبار (کیلومترمربع)	۸۲۰	۳۴۸	۳۰۰
مساحت پهنه غبار در داخل تراز اکولوژیک (کیلومترمربع)	۴۷۸	۸۳	۲۹۰
نسبت مساحت پهنه غبار در تراز اکولوژیک نسبت به کل مساحت پهنه دارای پتانسیل غبار	۵۸	۲۴	۹۷

۲-۳- اثر تراز بر کاهش سطح پهنه های دارای پتانسیل تولید غبار

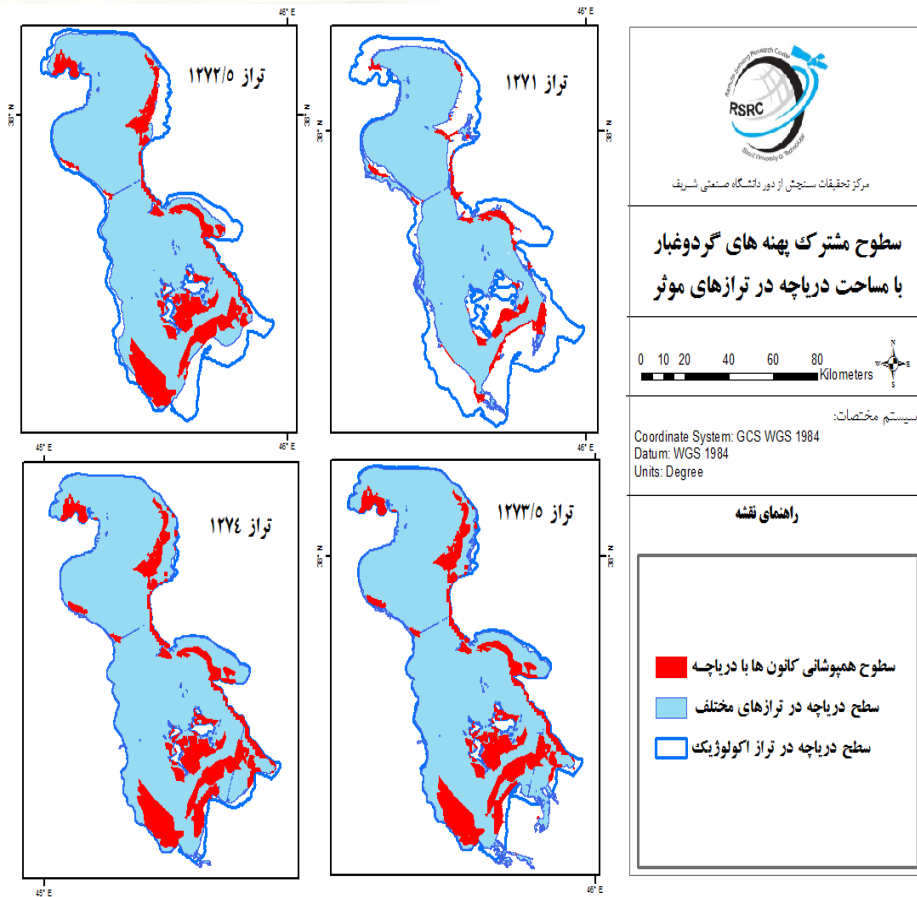
جهت بررسی دقیق تأثیر تراز دریاچه بر روی هر یک از کانون های غبار، عملیات همپوشانی سطح دریاچه و کانون ها به تفکیک برای هر سه گروه کانون در ۱۲ تراز مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین همپوشانی مجموع کانون ها با سطح دریاچه نیز در این ترازا محاسبه گردیده و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. همان طور که در جدول ۱ ذکر شد، مجموع مساحت کانون های غبار اولویت ۲ برابر ۳۴۸ کیلومترمربع است که از این میزان تنها ۸۳ کیلومترمربع در داخل تراز اکولوژیک دریاچه قرار داشته و با رسیدن تراز دریاچه به تراز اکولوژیک (۱/۱۲۷۴ متر) تمام آن ها پوشیده خواهد شد.



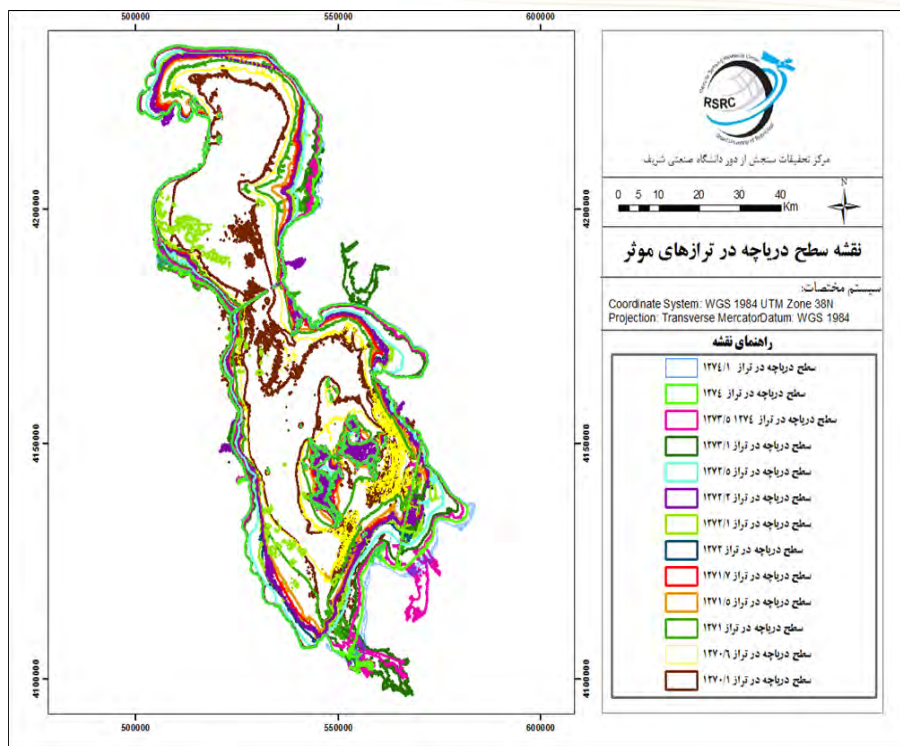
جدول ۲- مساحت همپوشانی پهنه‌های غباری به صورت تفکیک شده و تجمیع در ترازهای مختلف

ردیف	تراز (متر)	مساحت پوشیده شده با آب (km ²)		مساحت تمام کانون‌های پوشیده شده با آب (km ²)
		اولویت ۱	اولویت ۲	
۱	۱۲۷۰/۱	۱۱	۱/۵	۲۷
۲	۱۲۷۰/۶	۴	۰/۳	۲۲
۳	۱۲۷۱	۳۸	۲/۴	۷۲
۴	۱۲۷۱/۵	۱۷۴	۳/۲	۴۳۶
۵	۱۲۷۱/۷	۲۳۹	۵/۴	۵۲۶
۶	۱۲۷۲	۲۰۷	۱۰	۶۰۵
۷	۱۲۷۲/۲	۲۹۸	۱۵	۶۰۰
۸	۱۲۷۲/۵	۳۹۴	۱۹	۷۰۲
۹	۱۲۷۳/۱	۴۵۰	۴۶	۷۸۵
۱۰	۱۲۷۳/۵	۴۵۹	۵۹	۸۰۷
۱۱	۱۲۷۴	۴۷۰	۷۶	۸۳۵
۱۲	۱۲۷۴/۱	۴۷۸	۸۳	۸۵۱

همان‌طور که جدول ۲ مشاهده می‌شود، در تراز ۱۲۷۱/۵ متر جهش ناگهانی در کاهش وسعت کانون‌های تولید غبار رخ می‌دهد، به طوری که در این تراز تقریباً نیمی از پهنه‌های تولید غبار و در تراز ۱۲۷۳ متر تقریباً ۹۰ درصد پهنه‌های غبار واقع در تراز اکولوژیک (۱۲۷۴/۱ متر) با آب دریاچه پوشیده خواهند شد. در مورد کانون‌های سال ۲۰۱۶ نیز در تراز ۱۲۷۳ متر تقریباً تمامی این کانون‌ها پوشیده خواهند شد. در شکل ۴ نتیجه همپوشانی ترازهای مختلف با کانون‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. همچنین شکل ۵ نحوه گسترش سطح دریاچه در ترازهای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۴- میزان همپوشانی ترازهای مختلف با کانون های مورد مطالعه



شکل ۵- تغییرات سطح دریاچه در ترازهای مختلف بررسی شده

جهت تفسیر و مقایسه بهتر نتایج و نیز یافتن معادله‌ای که بتوان بر اساس آن ارتباط بین تغییرات تراز دریاچه و میزان همپوشانی کانون‌های غبار را تعیین نمود، درصدی از هر کانون غبار که در هر تراز توسط آب دریاچه پوشیده می‌شود، محاسبه شده‌است. برای مثال طبق جدول ۳، با توجه به اینکه ۴۷۸ کیلومترمربع از کانون‌های اولویت ۱ در محدوده تراز اکولوژیک (۱/۱۲۷۴ متر) دریاچه قرار دارند، در تراز ۱۲۷۲ متر حدود ۳۰۷ کیلومترمربع از آن‌ها توسط آب دریاچه پوشیده خواهد شد و می‌توان گفت در تراز ۱۲۷۲ متر تقریباً ۶۴ درصد از کانون‌های اولویت ۱ که در تراز اکولوژیک دریاچه قرار دارند، توسط آب دریاچه پوشیده خواهند شد. این عمل برای تمامی کانون‌ها و در هر تراز انجام شده و نتایج در جدول ۳ ارائه گردیده است.



جدول ۲- درصد همپوشانی پهنه های غباری نسبت به تراز اکولوژیک در ترازهای مختلف

درصد همپوشانی نسبت به تراز اکولوژیک				تراز	ردیف
کل کانون ها	کانون های سال ۲۰۱۶	اولویت ۲	اولویت ۱		
۳/۲	۵	۱/۸	۲/۳	۱۲۷۰/۱	۱
۲/۶	۶	۰/۴	۰/۸	۱۲۷۰/۶	۲
۸	۱۱	۲/۹	۸	۱۲۷۱	۳
۵۱	۸۹	۳/۹	۳۶	۱۲۷۱/۵	۴
۶۲	۹۷	۶/۵	۵۰	۱۲۷۱/۷	۵
۷۱	۹۹	۱۲/۵	۶۴	۱۲۷۲	۷
۷۰	۹۸/۹	۱۸	۶۲	۱۲۷۲/۲	۸
۸۲	۹۹/۶	۲۳	۸۲	۱۲۷۲/۵	۹
۹۲	۹۹/۹	۵۵	۹۴	۱۲۷۳/۱	۱۰
۹۵	۹۹/۸	۷۱	۹۶	۱۲۷۳/۵	۱۱
۹۸	۹۹/۹	۹۱	۹۸	۱۲۷۴	۱۲
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۲۷۴/۱	۱۳

براساس نتایج جدول ۳ رابطه بین تراز دریاچه و درصد همپوشانی به صورت غیرخطی و به صورت رابطه (۲) است:

$$y=0.0004x^2 - 0.0058x + 1270.6 \quad (2)$$

که در آن x بیانگر درصد همپوشانی کانون های غبار و سطح دریاچه برحسب درصد، و y تراز دریاچه به متر است. ضریب همبستگی رابطه (۲) برابر ۹۶ درصد است. خطاهای احتمالی در محاسبه سطح دریاچه و شناسایی کانون های غبار با استفاده از تصاویر ماهواره ای از علل احتمالی عدم پیروی برخی نقاط از روند کلی نمودار محسوب می شوند. غیرخطی بودن رابطه بین تراز دریاچه ارومیه و درصد همپوشانی کانون های غبار بدین معنی است که در ترازهای بالاتر جهت پوشش



درصد یکسان از پهنه‌های غبار نسبت به ترازهای پایین‌تر، بایستی آب بیشتری به دریاچه وارد شود. در جدول ۴ مساحت و حجم آب دریاچه در ترازهای مختلف بر اساس تصاویر لندست و رابطه تراز- سطح- حجم دریاچه (تهیه شده توسط مؤسسه تحقیقات آب) نشان داده شده است.

جدول ۳- مساحت و حجم آب دریاچه در ترازهای مختلف بر اساس تصاویر لندست

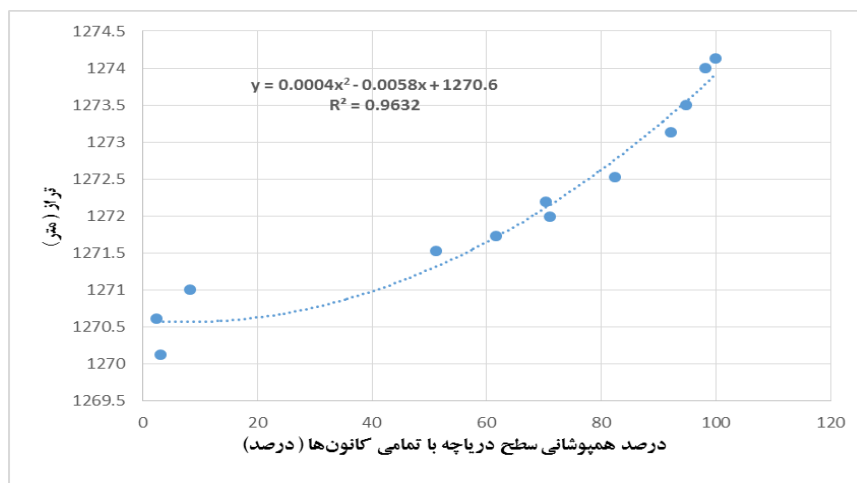
و رابطه تراز- سطح- حجم

ردیف	تراز (متر)	سطح دریاچه بر اساس تصویر لندست (کیلومتر مربع)	سطح دریاچه بر حسب رابطه تراز-سطح-حجم سال ۱۳۹۴ (کیلومتر مربع)	حجم دریاچه بر حسب رابطه تراز-سطح-حجم سال ۱۳۹۴ (میلیارد مترمکعب)
۱	۱۲۷۰/۱	۱۶۸۴	۱۴۳۹	۰/۷۸
۲	۱۲۷۰/۶	۲۱۱۴	۲۱۱۶	۱/۶۹
۳	۱۲۷۱	۲۷۴۰	۲۵۷۴	۲/۶۲
۴	۱۲۷۱/۵	۳۱۷۲	۲۹۶۵	۴/۰۱
۵	۱۲۷۱/۷	۳۳۴۴	۳۰۹۳	۴/۶۲
۶	۱۲۷۲	۳۵۴۹	۳۳۱۵	۵/۵۸
۷	۱۲۷۲/۲	۳۵۱۱	۳۴۶۷	۶/۲۶
۸	۱۲۷۲/۵	۳۸۳۱	۳۶۲۸	۷/۳۲
۹	۱۲۷۳/۱	۴۳۶۹	۳۹۴۵	۹/۶۰
۱۰	۱۲۷۳/۵	۴۴۱۴	۴۱۰۰	۱۱/۲۱
۱۱	۱۲۷۴	۴۴۷۶	۴۲۸۷	۱۳/۳۰
۱۲	۱۲۷۴/۱	۴۵۷۵	۴۳۳۳	۱۳/۷۳

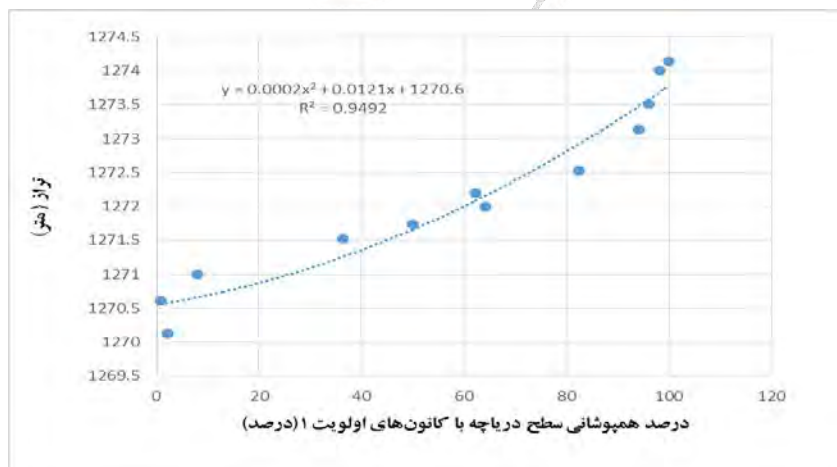
بنابراین طبق جدول ۴ این‌گونه استنباط می‌شود که افزایش درصد همپوشانی در اثر افزایش مقدار ثابت a واحد (مثلاً ۱۰ سانتی‌متر) در تراز دریاچه، وابستگی بسیار زیاد به تراز اولیه دریاچه دارد. رابطه تراز دریاچه از ۱۲۷۰ متر تا تراز اکولوژیک و با نسبت مساحت مجموع پهنه غبار هریک از ترازها نسبت به مساحت پهنه دارای



پتانسیل غبار در تراز اکولوژیک (۱/۱۲۷۴ متر) برای کانون‌ها به صورت مجزا و مجموع کانون‌ها استخراج شده و در شکل‌های ۶ تا ۹ نمایش داده شده‌اند.



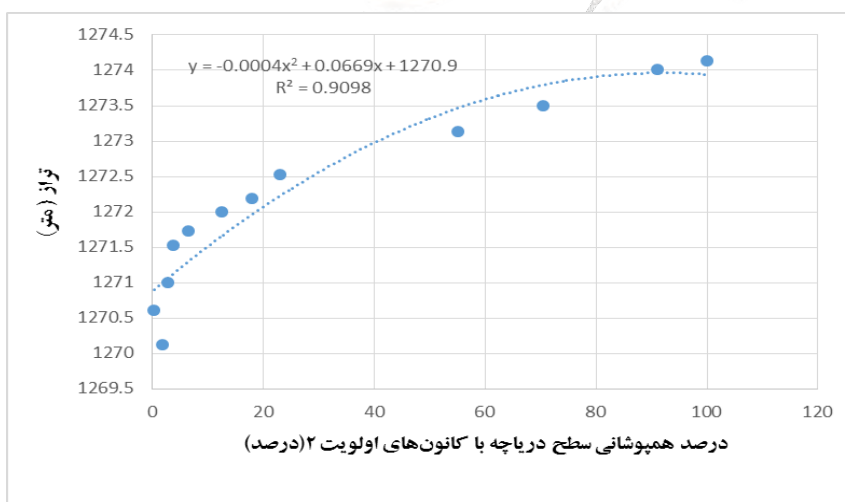
شکل ۶- نسبت مساحت مجموعه پهنه غبار هریک از ترازها نسبت به مساحت پهنه دارای پتانسیل غبار در تراز اکولوژیک



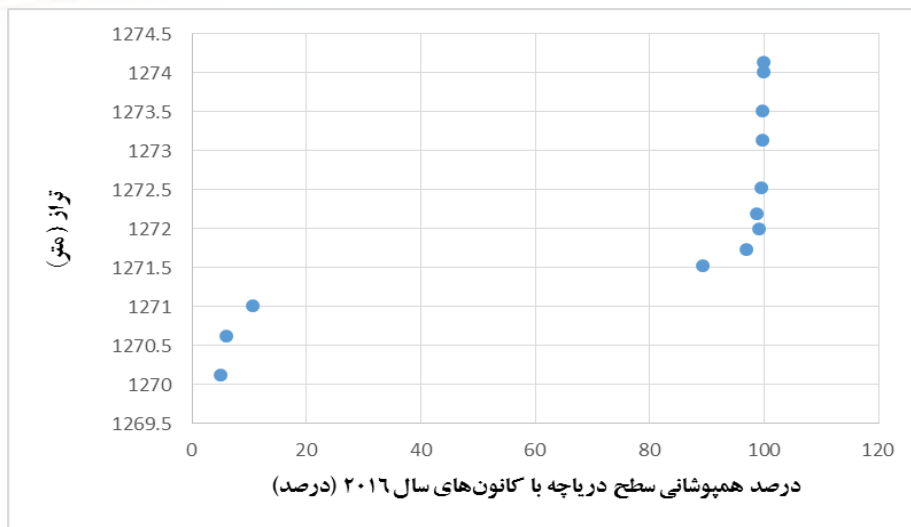
شکل ۷- درصد مساحت پهنه غبار هر یک از ترازها نسبت به مساحت پهنه غبار دارای پتانسیل غبار در تراز اکولوژیک در کانون‌های با اولویت ۱



با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که روند افزایش درصد همپوشانی کانون‌های اولویت ۱ با افزایش تراز دریاچه، مطابق با روند کلی شکل ۶، و با شیب صعودی است، در حالی که این قضیه در مورد کانون‌های اولویت ۲ صادق نبوده و شاهد شیب کاهشی در شکل ۸ هستیم، زیرا حتی در صورت رسیدن تراز دریاچه به تراز اکولوژیک تنها ۲۴ درصد از کانون‌های اولویت ۲ پوشیده خواهند شد و قسمت اعظم این کانون‌های غبار (حدود ۷۶ درصد) در خارج از تراز اکولوژیک دریاچه قرار داشته و چندان تحت تأثیر افزایش تراز دریاچه قرار نمی‌گیرند. بنابراین به نظر می‌رسد در صورتیکه تراز دریاچه بیش از تراز اکولوژیک (۱۲۷۴/۱ متر) را دربرگیرد، جهت کنترل کانون‌های اولویت ۲ بایستی اقدامات دیگری علاوه بر پوشش با آب مدنظر قرار گیرد. در رابطه با کانون‌های سال ۲۰۱۶ نیز اگرچه در شکل ۹ روند کلی نمودار مطابق با نمودار کانون‌های اولویت ۱ (شکل ۷) و نمودار تمامی کانون‌ها (شکل ۶) است، ولی برآزش یک منحنی در این مورد نتایج مطلوبی ندارد. دلیل این امر قرار گرفتن بیش از ۹۵ درصد از وسعت کانون‌های سال ۲۰۱۶ در داخل تراز اکولوژیک بوده و تقریباً در تراز ۱۲۷۲ متر تمامی سطح کانون‌های فوق توسط آب دریاچه پوشیده خواهند شد.



شکل ۸- درصد مساحت پهنه غبار هر یک از ترازها نسبت به مساحت پهنه غبار دارای پتانسیل غبار در تراز اکولوژیک در کانون‌های با اولویت ۲



شکل ۹- درصد مساحت پهنه غبار هر یک از ترازها نسبت به مساحت پهنه غبار دارای پتانسیل غبار در تراز اکولوژیک در کانون‌های سال ۲۰۱۶

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به تأثیر ترازهای مختلف و حجم آب موردنیاز متناظر با آن‌ها، در نظر گرفتن اثر ترازها روی کاهش پهنه‌های دارای پتانسیل تولید غبار به‌عنوان هدف‌های واسط برای رسیدن به تراز اکولوژیک می‌تواند راه‌گشا باشد. نتایج نشان می‌دهد در لایه تجمعی همه کانون‌ها، حدود ۸۰ درصد از کانون‌ها در تراز ۱۲۷۲/۵ پوشش داده خواهند شد که اگر متوسط تراز فعلی دریاچه (پاییز ۱۳۹۶) را برابر ۱۲۷۰/۲۵ متر در نظر بگیریم، پوشش ۸۰ درصدی پهنه‌های دارای پتانسیل غبار داخل تراز اکولوژیک (۱۲۷۴/۱ متر)، مستلزم ورود ۶/۲۴ میلیارد مترمکعب آب به دریاچه است. میزان پوشش کانون‌ها در تراز ۱۲۷۱/۷ به حدود ۶۰ درصد خواهد رسید. در ترازهای پایین‌تر از ۱۲۷۰/۵ مقدار همپوشانی به کمتر از ۲۰ درصد خواهد رسید و بخش زیادی از مساحت کانون‌های گردوغبار در منطقه فعال خواهند بود. این مطلب اهمیت بروز مشکلات ناشی از توفان‌های نمکی را در ترازهای پایین نشان می‌دهد.



شکل ۷ نشان‌دهنده شباهت بسیار زیاد آن با شکل ۶ است. در شکل ۷ وضعیت بحرانی کانون‌ها در ترازهای پایین‌تر از ۱۲۷۲ به‌وضوح آشکار است. از طرفی با توجه به آنکه حدود ۷۵ درصد کانون‌های با اولویت ۲ خارج از محدوده تراز اکولوژیک دریاچه قرار گرفته‌اند، شکل ۸ نشان‌دهنده مقدار همپوشانی کمتر از ۵۰ درصد در تراز کمتر از ۱۲۷۳ متر است. برخلاف کانون‌های دارای اولویت ۱، بخش زیادی از مساحت کانون‌های دارای اولویت ۲ تحت تأثیر نوسانات تراز دریاچه ارومیه قرار نمی‌گیرد. به همین جهت در کوتاه‌مدت برای کنترل این پهنه‌ها باید اقداماتی علاوه بر پوشش با آب ناشی از فعالیت‌های احیای دریاچه ارومیه مدنظر قرار گیرد.

در رابطه با کانون‌های سال ۲۰۱۶، ارتباط میان درصد مساحت پهنه غبار در هر یک از ترازها، نسبت به مساحت پهنه‌های دارای پتانسیل غبار در تراز اکولوژیک، نسبت به کانون‌های دیگر متغیر است به‌طوری‌که در تراز ۱۲۷۲ متر همه مساحت پهنه‌های مستعد تولید گردوغبار توسط آب دریاچه پوشیده خواهد شد. علت این مسئله واقع شدن بسیاری از کانون‌ها در محدوده داخل دریاچه است و کمتر در مناطق مرزی و حاشیه‌ای دریاچه قرار گرفته‌اند. بنابراین با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته به نظر می‌رسد تراز ۱۲۷۲ متر یک شاخص بسیار مهم برای تحت پوشش قرار دادن پهنه‌های دارای پتانسیل تولید توفان‌های نمکی و گردوغباری در منطقه است. از طرفی رسیدن به تراز اکولوژیک (۱۲۷۴/۱ متر) نیز به‌عنوان تراز هدف به‌منظور تحت پوشش قرار دادن بخش عمده‌ای از کانون‌های تولد غبار می‌تواند به‌عنوان یکی از اهداف بلندمدت در نظر گرفته شود.

تشکیل کانون‌های گردوغبار در بستر خشک به‌جامانده از عقب‌نشینی پیکره آبی دریاچه ارومیه بحرانی عظیم و چندوجهی است که به‌واسطه دامنه وسیع اثرگذاری آن، شاید بزرگ‌ترین چالش ناشی از خشک شدن دریاچه ارومیه محسوب گردد. از این رو، خطرات بالقوه لزوم انجام هرچه سریع‌تر طرح‌های مقابله با توفان‌های گردوغبار را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد. وضعیت بحرانی دریاچه ایجاب می‌کند که برنامه‌های مقابله با گردوغبار در کوتاه‌ترین زمان ممکن و با بیش‌ترین اثربخشی اعمال شوند. همچنین آن دست از پهنه‌های شناسایی شده خارج از دریاچه که در تراز



اکولوژیک قرار نمی گیرند می بایستی با استفاده از دیگر روش های مهار گردوغبار مانند استفاده از مالچ، کاشت بوته های گیاهان مناسب با شرایط منطقه و یا دیگر روش های کنترل غبار مورد توجه قرار گیرند و برای کنترل غبار ناشی از آن ها راهکارهای جداگانه ای به موازات احیای دریاچه ارومیه اندیشیده شود.

منابع

کریمیان اقبال، م.، حمزه پور، ن. (۱۳۹۶). شناسایی و تهیه نقشه ژئومورفولوژی پلایای دریاچه ارومیه و تأثیر آن بر طوفان های ریزگرد مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه شریف. (۱۳۹۵). گزارش شناسایی و اولویت بندی کانون های ایجاد گردوغبار در بستر و حریم دریاچه ارومیه. مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه شریف. (۱۳۹۵). تخمین میزان سطح دریاچه ارومیه در تراز ثابت با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۷ و ۸. مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه شریف. (۱۳۹۶). گزارش تعیین کانون های غبار بستر خشک شده دریاچه ارومیه. مهندسی مشاور ارس. (۱۳۸۴). مطالعات و مدیریت و نظارت بر انجام عملیات اجرایی مقابله با فرسایش بادی و گردوغبار در حاشیه دریاچه ارومیه، سازمان جنگل ها و مراتع و آبخیزداری کشور.

- Abbaspour, M., & Nazaridoust, A. (2007). Determination of environmental water requirements of Lake Urmia, Iran: an ecological approach. *International Journal of Environmental Studies*.
- 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>.
- WHO. (2000). *Air quality guidelines for Europe (2nd Ed.)*, Chapter 7 WHO regional publications, European series. 91.
- Goudie, A., & Middleton, N. J. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer.
- Niaghi, A. (2013). Evaluate several potential evapotranspiration methods for regional use in Tabriz, Iran. *Applied Environmental and Biological Sciences*. 3(6)37-47.