

Research Paper

Modeling some Dispersion Characteristics of Saline Particles from Urmia Lake Bed Based on near Surface Atmospheric Currents

Atefeh Hoseini Sadr^{1*}, Gholam-Hasan Mohammadi²

1. Department of Geography, Payame Noor University (PNU), PO BOX 19395-3697 Tehran, I. R. of Iran

2. Ph.D. in Climatology, Iranian Meteorological Organization (IRIMO), East Azerbaijan Province Central Bureau of Meteorology, Tabriz, Iran.

Received: 2019/07/21

Revised: 2020/01/08

Accepted: 2020/12/13

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/wej.2021.21154.2169

Keywords:

Saline dust dispersion, transport pathway, HYSPLIT model, atmospheric currents, Urmia Lake.

Abstract

Introduction: Desiccation of Urmia Lake in the last two decades and saline dust emission from its dry bed has become an environmental crisis in the northwest of Iran. The main purpose of this study is the modeling of the deposition rate, transport pathway and emission height of saline dust over Urmia Lake based on near surface winds.

Methods: In this regard, observed severe winds around the lake were analyzed. Subsequently, by matching of strong winds with MODIS satellite AOD products, a number of dust storms generated over Urmia Lake were selected and then storm generation date and location determined. In next step the HYSPLIT model was run in forward mode for 18 hours. To assess the model results, its outputs were compared with synoptic maps.

Findings: Results showed that although strong winds are possible from all directions, but the prevailing directions are from the south, southwest and north respectively. Modeling results showed that saline dust diffusion is possible in all directions, and also transporting pathway, deposition rate and mixed layer height of saline dust can be different in terms of surface winds characteristics and especially upper levels atmospheric currents. Based on the results the emission path of the salt dust is more in line with upper levels winds, and raising particles may be emitted a distance of ~200 kilometers in 18 hours. Eventually, raising top height of saline particles could up to 4000 meters according to the intensity of ascending fluxes.

Citation: Hoseini Sadr A, Mohammadi GH. Modeling some dispersion characteristics of saline particles from Urmia Lake bed based on near surface atmospheric currents. Water Resources Engineering Journal. 2022; 15(54): 93-106.

***Corresponding author:** Atefeh Hoseini Sadr

Address: Department of Geography, Payame Noor University (PNU), PO BOX 19395-3697 Tehran, I. R. of Iran

Tell: +989144630787

Email: Sadr88@pnu.ac.ir; Hoseinisadr.2022@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Saline dust storms are formed by wind erosion in salt-rich sediments in deserts. Previous researches showed that the saline dust storms severely salt the surrounding soils and seriously endanger the marginal areas. In recent two decades, drying of Lake Urmia formed a vast salt flat in the dry bed of the lake, which is known as "salt playa". Saline playa of Lake Urmia has exposed billions of tons of saline sediments under wind erosion process, which can easily emit by the wind in different directions. This issue can be the origin of many environmental disasters in the surrounding area of Lake Urmia. Due to the great importance of salt particle diffusion, in this study, an attempt was made to study the deposition rate, emission pathways and saline particles mixing layer height for some storms originated in Urmia Lake bed through HYSPLIT model.

Materials and Methods

To carry out this study of observational severe winds in the meteorological stations along Lake Urmia, were screened out and then, winds slower than 8 meters per second were removed. Severe winds wind rose were drawn for each station using screened wind data. In the next step, the dates of strong winds that reported in more than one station at the same time were selected. The occurrence of dust storm on the mentioned dates was checked through MODIS images. Aerosol Optical Depth (AOD) index in the spectral band of 550 nm was used to detect dust storm over Urmia Lake. Finally, the HYSPLIT model was run to simulate height of mixing layer, dust emission pathway, and transport distance from the Urmia lake bed. In this study, atmospheric currents on the sea level (SLP) and near surface levels were drawn to evaluate the outputs of the HYSPLIT model. Reanalysis data required for the preparation of synoptic maps were obtained from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) including: Sea Level Pressure (SLP), 10-meter wind, Geo-potential height, U_{wnd} , V_{wnd} at 1000 to 100 hPa levels.

Findings

current study, it was found that the direction of strong winds on the northern and southern shores of Lake Urmia is from the south, and in the west of the lake, they often blow from the southwest, which is in line with the synoptic climatology of northwestern Iran. But on the eastern side of the lake, strong winds often blow from the north. On the 04th of July 2013, a severe dust storm was detected in the southern half of Lake Urmia. The HYSPLIT output showed that the saline particles spread in two opposite directions. Most of the dust particles were deposited in the first 100 km from the source and insignificant amounts were spread in a distance of about 150 km. On October 11, 2013, a specific dust storm was detected in the middle and eastern parts of Lake Urmia. Model results showed that saline dust particles emitted toward southwest and deposits in a distance of 200 km at 18-hour time period. Evaluation of surface level stream lines showed that the direction of wind is northeast to the southwest, which transport pathway of dust particles is coordinated with this current. A cut-of-low atmospheric system is present at 750 hPa level and anti-clockwise rotation of this system caused the unusual emission of saline dust particles. On July 13, 2014, there was a wide spread dust storm over Lake Urmia, especially the southern half of the Lake bed. Dust concentration in the southern parts of the lake was higher than in other areas based on the MODIS satellite AOD index. Model output showed that the particulate matter of Lake Urmia has spread to the northwest towards the cities of Maku and Chaldaran. The dust particles of this storm have been transported toward northwest up to a distance of 250 km. Due to upward atmospheric currents on this day, it was possible to release particles up to a height of > 4000 meters, but most of particles of are located between 2000 and 4000 meters above sea level.

Conclusion

The results of the study showed that according to the prevailing climatic conditions in the study area, there is a possibility of strong winds blowing from all directions, but in the northern, southern and

western parts of the lake, the prevailing direction of strong winds is from the south and southwest, and on the eastern parts north winds prevail. An important issue that was obtained from the outputs of HYSPLIT model is that there is a significant difference between transport pathways of dust particles and surface winds direction, and in this respect, they are more consistent with wind flows on the upper atmospheric levels. In this study, it was determined that if dust storms are generated by local scale surface winds and stable air in the upper levels, the dust and salt particles emitted at a relatively smaller distance by near surface winds. These conditions mainly prevail in the summer season. Under Stable atmosphere of this season, the dust particles rarely penetrate to a height of ~2000 m. a. s. l. However, spreading particles to a height up to 4000 meter is also possible if the dust storm is accompanied by an unstable atmospheric system which are prevail at fall, winter, and spring seasons.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Atefeh Hoseini Sadr.

Methodology and data analysis: Atefeh Hoseini Sadr, Gholam-Hasan Mohammadi.

Supervision and final writing: Gholam-Hasan Mohammadi.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

مدلسازی برخی ویژگی‌های انتشار ذرات نمک از دریاچه ارومیه بر اساس جریانات جوی ترازهای نزدیک سطح زمین

عاطفه حسینی صدر^{۱*}، غلام حسن محمدی^۲

۱. مربی گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران

۲. دانش‌آموخته دکتری اقلیم‌شناسی، کارشناس هواشناسی سازمان هواشناسی کشور، اداره کل هواشناسی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران

چکیده

مقدمه: در دهه گذشته به دنبال کاهش شدید آب دریاچه ارومیه، موضوع انتشار نمک از بستر خشک آن به یکی از بحران‌های محیطی شمال غرب کشور تبدیل شده است. مدلسازی میزان نهشت و ارزیابی مسیر و ارتفاع انتشار ریزگردهای نمکی دریاچه ارومیه بر اساس الگوی وزش بادهای نزدیک سطح زمین هدف اصلی تحقیق حاضر است.

روش: در ابتدا سمت وزش بادهای شدید در حاشیه دریاچه تحلیل شد. سپس از طریق انطباق بادهای شدید با تصاویر ماهواره‌ی مودیس تعدادی از توفان‌های گردوغبار نمکی انتخاب شده و با تعیین تاریخ و مکان وقوع توفان، مدل HYSPLIT به روش پیشرو در گام زمانی ۱۸ ساعت اجرا شد. برای ارزیابی نتایج مدل، خروجی آن از طریق ترسیم نقشه‌های همیدی کنترل شد.

یافته‌ها: نتایج تحقیق نشان داد هر چند امکان وزش بادهای شدید تقریباً از همه جهات جغرافیایی وجود دارد لکن سمت غالب وزش بادهای شدید بر حسب موقعیت از سمت جنوب، جنوب غرب و شمال می‌باشند. خروجی‌های مدل نشان داد امکان انتشار نمک دریاچه به تمامی جهات وجود داشته و بر حسب سمت و سرعت وزش بادهای سطح زمین و علی‌الخصوص خصوصیات همیدی جریانات جوی ترازهای فوقانی؛ سمت انتشار، میزان نهشت و ارتفاع لایه آمیخته با نمک می‌تواند متفاوت باشد. همچنین سمت انتشار گردوغبار نمکی با سمت وزش بادهای سطوح فوقانی انطباق بیشتری داشته و ذرات برخاسته از بستر دریاچه ممکن است در فاصله ۱۸ ساعت در مسافتی بیش از ۲۰۰ کیلومتر منتشر شوند. همچنین بر حسب شدت حرکات صعودی جو تا ارتفاع ۴۰۰۰ متری از سطح دریاچه آزاد در درون اتمسفر پخش شوند.

نتیجه‌گیری: با توجه به امکان انتشار گردوغبارهای حاوی نمک از بستر خشک دریاچه ارومیه در مسافت‌های زیاد، احیاء دریاچه ارومیه و حتی‌المقدور اجرای اقدامات زیست محیطی با هدف تثبیت گردوغبار در کانون‌های انتشار نمک ضروری می‌نماید.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۳۰

تاریخ داوری: ۱۳۹۸/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۳

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/wej.2021.21154.2169

واژه‌های کلیدی:

انتشار نمک، مسیر انتقال، مدل HYSPLIT، جریان‌های جوی، دریاچه ارومیه.

* نویسنده مسئول: عاطفه حسینی صدر

نشانی: گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، واحد بستان آباد (آذربایجان شرقی)، بستان آباد، ایران.

تلفن: 09144630787

پست الکترونیکی: Sadr88@pnu.ac.ir; Hoseinisadr.2022@gmail.com

مقدمه

توفانهای گردوغباری حاوی نمک، یکی از انواع توفان‌ها است که از طریق فرسایش بادی در رسوبات غنی از نمک در بیابان‌های نمکی شکل می‌گیرد (میکلین، ۲۰۰۷). در مقایسه با توفانهای گردوغباری عادی، توفانهای گردوغباری شور حاوی مقادیر زیادی ذرات بسیار ریز و مواد قلیایی از قبیل سولفات سدیم، کلرید سدیم و دیگر اجزاء بالقوه سمی که باعث ذوب شدن یخچال‌های طبیعی، شور شدن خاک، مسموم شدن پوشش گیاهی که به طور جدی محیط زیست مناطق اطراف را تهدید می‌کند (اردینگر و همکاران، ۲۰۰۴). طبق نتایج مطالعات توفانهای گردوغباری شور که از بستر دریاچه‌های خشک شده سرچشمه می‌گیرند، به شدت خاکهای اطراف حاشیه را شور می‌کنند (ابودوایی و همکاران، ۲۰۰۴). این دریاچه‌ها معمولاً در اثر عدم تعادل هیدرولوژیکی، پسروی دریاچه‌های آب شور در اثر افزایش تبخیر و انباشت نمک در کف دریا خشک می‌شوند که همه‌ی این فرایندها با فعالیت‌های انسان ارتباط دارد (بلنک، ۱۹۹۹). در چنین محیطی خاک سطحی در اثر تجمع نمک بافت سستی داشته و پوشش گیاهی نیز با نمک بوده و یا وجود ندارد. لذا فرسایش بادی به راحتی اتفاق می‌افتد. به عنوان مثال اندازه گیری گردوغبارهای شور پخش شده از دریاچه ابینور در غرب حوضه جونگار در چین به میزان 48×10 تن در اواخر دهه ۱۹۹۰ برآورد شد که باعث وارد شدن خسارتهای جدی به واحه‌های پشت به باد دریاچه شد (جیلیلی و مو، ۲۰۰۲). همچنین باعث ذوب برخی یخچال‌های کوهستان تیانشان شده و منابع آب شیرین این منطقه را مورد تهدید قرار داده است. توفانهای گردوغباری شور از لحاظ ساختار شیمیایی و توزیع اندازه ذرات پخش شده با توفانهای گردوغبار معمولی متفاوت بوده و توده غلیظی از ذرات بسیار ریز غبار حاوی سولفات جذب شده، کلریدها، حشره‌کش‌ها و برخی فلزات مضر سنگین از قبیل منگنز (Mn)، آرسنیک (As)، روبیدیوم (Rb)، سرب (Pb)، استرونتیوم (Sr) و کروم (Cr) را منتقل می‌کنند (اردینگر و همکاران، ۲۰۰۴ و ابودوایی و همکاران، ۲۰۰۸).

در سالهای اخیر پسروی دریاچه ارومیه باعث بوجود آمدن نمک‌زارها در بستر خشک شده دریاچه شد که در اصطلاح به «پالایای نمکی» معروف‌اند. پدید آمدن پالایای نمکی دریاچه ارومیه باعث می‌شود میلیاردها تن املاح نمکی در مجاورت هوا قرار گیرد که به راحتی می‌تواند توسط باد در جهات مختلف انتشار یابد. این موضوع می‌تواند منشاء بسیاری از بلایای طبیعی و انسانی در مناطق مجاور دریاچه ارومیه باشد. نمک می‌تواند باعث شور شدن اراضی مجاور و خشک شدن مزارع و باغات شده و مراتع را به بیابان تبدیل کند. همچنین می‌تواند باعث شیوع بیماری‌های تنفسی و قلبی در سکونتگاههای روستایی و شهری گردد. میزان تبعات زیست محیطی ناشی از انتشار نمک به گونه‌ای است که از آن با عنوان «سونامی نمک» و یا «توفان‌های مرگبار نمکی» یاد می‌شود. بنابراین با خشک شدن تدریجی دریاچه ارومیه، توفان‌های مخاطره‌آمیز نمکی می‌تواند پدیده غالب آینده‌ی شمال غرب کشور شود. به لحاظ اهمیت فوق‌العاده زیاد انتشار ذرات نمک در تحقیق حاضر تلاش گردید شدت نهشت، مسیر و ارتفاع انتشار نمک برای تعدادی از

توفان‌های برخاسته از بستر دریاچه ارومیه از طریق اجرای مدل مورد مطالعه قرار گیرد.

مطالعات متعددی در سطح جهان برای بررسی ابعاد انتشار گردوغبار از بستر دریاچه‌های خشک شده انجام شده است. نتایج مطالعات انجام شده بر روی انتشار گردوغبارهای دریاچه اوون در فاصله سالهای ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۴ توسط رهئیس (۱۹۹۷) بیانگر نکات زیر می‌باشد: ۱- گردوغبارهایی از بستر خشک دریاچه سرچشمه می‌گیرند اغلب در نزدیکترین فاصله نسبت به نقاط اندازه‌گیری قرار دارند که می‌تواند منبع گردوغبار باشد. ۲- در بخشهای جنوبی دریاچه شارش گردوغبار (سرعت نهشت رسوبات بادی) در فصل زمستان بیشتر از تابستان است. ۳- در سطح پلایا تغییرات سال به سال شارش گردوغبار زیاد بوده و در بخشهای منتهی الیه بادها این تغییرات به حداقل می‌رسد. ۴- مقدار نمک قابل حل در گردوغبارها بیشتر از ۳۰ درصد می‌باشد و از همه مهمتر اینکه مقدار قابل ملاحظه‌ای از رسوبات بادی برخاسته از بستر دریاچه حداقل تا فاصله ۴۰ کیلومتری از شمال و جنوب دریاچه قابل تشخیص است و مقدار نمک قابل حل در رسوبات انتشار یافته به سمت جنوب به طور چشمگیری بیشتر از میانگین منطقه‌ای است. بررسی محتویات نمک‌های محلول جمع‌آوری شده از توفان‌های گردوغباری حاشیه دریاچه ابینور چین به میزان ۱۰ تا ۲۵ درصد محاسبه شده است. نسبت ذرات با خطر کوچکتر از ۵ میکرون همچنین کوچکتر از ۲۰ میکرون به ترتیب $65/12$ و $79/07$ درصد محاسبه شده است (مو و همکاران، ۲۰۰۲). درحالیکه میانگین قطر ذرات در توفانهای گردوغبار معمولی مشاهده شده در شهرهای لان‌ژنو و هاربین (در موقعیت جغرافیایی نزدیک دریاچه ابینور) به ترتیب $11/52$ و $28/36$ میکرون محاسبه شده است (زیه و همکاران، ۲۰۰۸).

اهمیت زیاد کاهش تراز آب دریاچه ارومیه و انتشار نمک از آن به حدی است که این موضوع را به عنوان یکی از بحران‌های محیطی در صدر مباحث محیطی کشور قرار داده است. اما بیشتر مطالعات انجام شده در ارتباط با تغییرات آب و هوایی و تاثیر آن در کاهش تراز آب دریاچه و یا راهکارهای علمی نجات دریاچه معطوف گشته است. دانشور و اشعی سرخابی (۱۳۷۴) مطالعه‌ای را در مورد کیفیت شیمیایی و فیزیکی آب دریاچه ارومیه انجام داده‌اند. ساری صراف و همکاران (۱۳۷۸) اثرات آب و هوایی ناشی از توپوگرافی محلی و کاربرد مدل‌های خطی و غیرخطی را در مطالعه آب و هوای حوضه‌های آبریز رودخانه ارس و دریاچه ارومیه به طور توأمان مورد مطالعه قرار داده‌اند. پوراصغر در سال ۱۳۸۴ به بررسی دمای سطحی دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداخته است. فاتحی مرج و همکاران (۱۳۸۵: ۵۷-۴۵) امکان پیش‌بینی بارش‌های فصلی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را با استفاده از الگوهای پیوند از دور مورد مطالعه قرار داده است. دلاور و همکاران (۱۳۸۷) نوسانات تراز ماهانه دریاچه ارومیه را با استفاده از روشهای مختلفی مانند معادله بیلان آبی دریاچه، معادله همبستگی چندگانه، شبکه‌های عصبی مصنوعی شبیه‌سازی کرده‌اند. فرجامی و همکاران در سال ۱۳۸۷ با استفاده از پارامترهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده برخی از پارامترهای فیزیکی شیمیایی در دریاچه‌ی ارومیه را با استفاده از GIS

و ۴ دقیقه تا ۳۸ و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه تا ۴۶ درجه طول شرقی واقع شده است (وزارت نیرو، ۱۳۸۴).

برای انجام این مطالعه با توجه به اهداف تحقیق در بادهای دیدبانی شده در ایستگاههای حاشیه دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا سمت و سرعت بادهایی که قدرت ایجاد توفان گردوغبار دارند از بقیه بادهای تفکیک شد. بدین منظور بادهایی که سرعت آنها از ۸ متر بر ثانیه کمتر باشد حذف شدند. با هدف بررسی سمت غالب وزش بادهای توفان‌زا، گلباد بادهای شدید حاشیه دریاچه ارومیه ترسیم شد. در گام بعدی تاریخ وزش بادهای شدید با سرعت بیش از ۸ متر بر ثانیه که در بیش از یک ایستگاه به طور همزمان اتفاق افتادند در چند سال اخیر با استفاده از اطلاعات ثبت شده ایستگاههای هواشناسی موجود در حاشیه دریاچه ارومیه تعیین شدند.

- با شناسایی و تفکیک تاریخ وقوع بادهای شدید فراگیر؛ وجود و یا عدم توفان ریزگرد در تاریخهای مذکور از طریق بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور از تصاویر ماهواره مودیس استفاده شد. برای آشکارسازی هواویزها در تصاویر ماهواره‌ای از شاخص عمق اپتیکی هواویزها (Aerosol Optical Depth) در باند طیفی ۵۵۰ نانومتر استفاده گردید. در مواردی که وقوع توفان گردوغبار در بستر دریاچه ارومیه تایید شد؛ تاریخ و زمان وقوع و همچنین محل شکل‌گیری توفان به عنوان اطلاعات اولیه برای اجرای مدل مورد استفاده قرار گرفت.

- در این مطالعه به منظور برآورد مسیر و مسافت و ارتفاع انتشار ریزگردها در بستر دریاچه ارومیه از مدل HYSPLIT استفاده شد. مدل دوگانه برای محاسبات خط سیر، پراکندگی و شبیه‌سازی نهشت با استفاده از رویکرد پف و ذرات است. در این مدل محاسبه مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام می‌گیرد. روش محاسبه مدل مذکور، ترکیبی میان دیدگاههای اولیبری (مجموع غلظت ذرات در هر شبکه در طول مسیر تعیین می‌شود) و لاگرانژی (غلظت ذرات برای هر شبکه با استفاده از پخش و انتقال ذرات انجام می‌شود) است و به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه یا هیبرید می‌نامند.

الگوریتم محاسبه منابع PM_{10} توسط HYSPLIT:

الگوریتم منبع جرم برای محاسبه منابع PM_{10} پخش شده به هوا، استفاده شده است. که در آن شار توده ای عمودی گرد و غبار برابر است با:

$$F = K \frac{\rho}{g} u_* (u_*^2 - u_*^2) \quad (1)$$

که در آن u_* سرعت اصطکاکی حد آستانه‌ی مورد نیاز برای شروع انتشار گردو غبار و ضریب K با واحد ثانیه بر متر که به سطح افت خاک منتشر کننده گردو غبار مربوط است، می‌باشد. نمادهای ρ و g نشان دهنده چگالی هوا و شتاب گرانش است. سرعت اصطکاک در مکان و زمان متفاوت است، زیرا هر دو به شرایط محلی هواشناسی و کلاس زبری سطح بستگی دارد. در حالیکه سرعت حد آستانه و ضریب بافت

در نقاط مختلف دریاچه در یک بازه‌ی زمانی دو ساله مورد بررسی قرار داده و روند تغییرات این پارامترها را مشخص نموده‌اند.

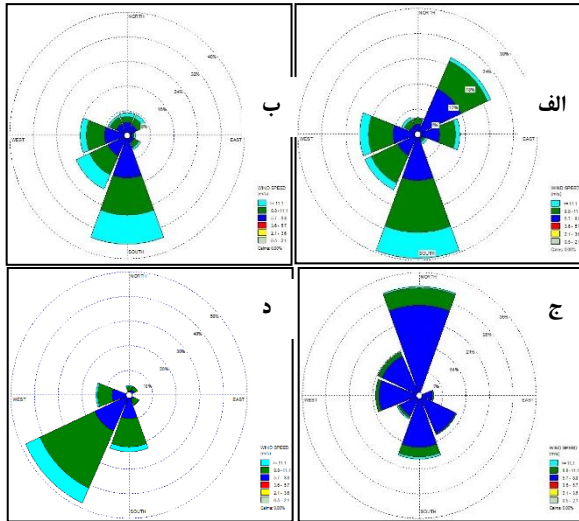
در سالهای اخیر بحث انتشار ذرات نمکی از بستر دریاچه ارومیه در مجلات معتبر خارجی نیز منعکس شده است. به عنوان مثال مردی و همکاران (۲۰۱۸) با مطالعه مخاطرات محیطی دریاچه ارومیه با استفاده از تغییرات عمق اپتیکی هواویز (AOD) طی سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵، مشخص کردند انتشار نمک ناشی از خشکیدن دریاچه نتوانسته است میانگین AOD را تغییر دهد. آلاینده‌های انتقال یافته از مناطق دیگر موثرتر بوده‌اند. افزایش انتشار گردوغبار در مقیاس محلی در حاشیه دریاچه ارومیه در خارج از فصل اوج فعالیت گردوغبار (یعنی ژانویه، فوریه و اکتبر) مشهود است. مقدار AOD در دوره‌ی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ در مقایسه با قبل از آن افزایش نشان داد. بوروغانی و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تصاویر ماهواره‌ای و کاربست روش آشکارسازی پیشرفته چشمه‌های گردوغبار طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ به این نتیجه رسیدند که رخداد روزهای گردوغبار با کاهش مساحت دریاچه ارومیه افزایش پیدا کرده است که دارای تاثیرگذاری منطقه‌ای است. طبق نظر آنها چنانچه روند کاهش مساحت دریاچه ارومیه ادامه داشته باشد فراوانی و وسعت توفان‌های گردوغباری افزایش پیدا خواهد کرد که تبعات منفی وسیع‌تری خواهد داشت. دلفی و همکاران (۲۰۱۹) آلودگی ناشی از انتشار گردوغبارهای دریاچه ارومیه را با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل HYSPLIT مطالعه کردند. در این مطالعه ارتباط معنی‌داری بین تعداد روزهای گردوغباری با AOD مشاهده شد. مقادیر AOD در سالهای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۶ بیشتر بوده و میانگین آن از بستر تا شهرهای پیرامون آن ۰/۳۶، ۰/۳۳، و ۰/۳۱ محاسبه شده است. طبق نتایج مدل HYSPLIT ذرات گردوغبار اغلب از عراق و سوریه مخصوصاً در ماه‌های آوریل، می و ژوئن به این منطقه منتقل می‌شوند.

با جستجو و بررسی مطالعات انجام شده در داخل و خارج از کشور مشخص گردید که در اکثر موارد مطالعات انجام شده در ارتباط با تاثیر تغییرات آب و هوایی در نوسانات تراز آب دریاچه‌ها مد نظر بوده است. اخیراً در تعدادی از تحقیقات خارجی اثرات خشک شدن دریاچه‌ها و تاثیر آن در تغییرات فضایی و زمانی غلظت هواویزها (AOD) و تبعات زیست محیطی و محیطی آن مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعه‌ی حاضر تلاش گردید ابعاد انتشار ریزگردهای نمکی (توفانهای گردوغباری حاوی نمک) از بستر خشک دریاچه مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

دریاچه ارومیه بزرگترین و شورترین دریاچه داخلی و دایمی کشور است که در شمال غرب فلات ایران، بین دو استان آذربایجان شرقی و غربی واقع شده است. این دریاچه از نظر وسعت بیستمین دریاچه در سطح جهان بوده و از مهمترین اکوسیستم‌های آبی ایران محسوب می‌شود. قبل از خشک شدن این دریاچه طولی حدود ۱۳۰ الی ۱۴۰ کیلومتر با عرض ۱۵ الی ۵۸ کیلومتر با مساحت متغیر از ۴۵۰۰ کیلومتر مربع تا ۶۵۰۰ کیلومتر مربع در ارتفاع ۱۲۷۶ متری از سطح آبهای آزاد قرار داشته است. از نظر موقعیت جغرافیایی، بین ۳۷ درجه

نشان داد بادهای غالب دیگری از سمت غرب، شمال شرق و همچنین جنوب به سمت بستر دریاچه ارومیه می‌وزند. با توجه به مطالب فوق بادهای شدید حاشیه دریاچه ارومیه اغلب ذرات نمکی برخاسته از بستر خشک دریاچه را در لایه‌ی سطح زمین به سمت شمال، شمال شرق و جنوب منتشر می‌کنند. ضمناً بر اساس بادهای نایب غالب امکان انتشار ذرات نمک به سمت شرق و جنوب غرب نیز وجود دارد.



شکل 1- سمت وزش بادهای توفان‌زا با سرعت بیش از ۸ متربرثانیه در چهارسوی دریاچه ارومیه؛ در این شکل گلباد (الف) مربوط به ایستگاه شبستر (شمال دریاچه)، گلباد (ب) مربوط به ایستگاه میان‌دوآب (جنوب دریاچه)، گلباد (ج) مربوط به ایستگاه عجب‌شیر (شرق دریاچه) و گلباد (د) برای ایستگاه ارومیه (غرب دریاچه) می‌باشد.

تحلیل خروجی مدل HYSPLIT برای توفان گردوغبار نمکی در روز ۱۳ تیر ۱۳۹۲ (۰۴ جولای ۲۰۱۳)

بررسی روز به روز بادهای شدید و تصاویر ماهواره‌ای در طول تابستان ۹۲ نشان داد که در روز سیزدهم تیر ۹۲ سلول توفان گردوغبار مشخص در روی دریاچه ارومیه حاکم است. همانطور که در شکل ۲ کاملاً واضح است کانون این توفان در نیمه جنوبی دریاچه ارومیه متمرکز شده است. لذا نقطه شروع عملیات مربوط به مدلسازی انتشار ریزگردها در محیط نرم‌افزار از مناطق میانی نیمه جنوبی دریاچه ارومیه (۴۵/۵ درجه‌ی طول شرقی و ۳۷/۵ درجه‌ی عرض شمالی) انتخاب شد. نتایج حاصل از مدلسازی نهشت ریزگردها در بازه زمانی ۱۸ ساعته در این روز در شکل ۳ نمایش داده شده است.

خاک فقط در مکان متفاوت است و می‌توان آنرا به ویژگی‌های کلاس زبری سطحی، خاک و خصوصیات زمین مرتبط ساخت. طبق الگوریتم منبع جرم، هنگامی که سرعت باد از سرعت اصطکاک محل بالاتر رود، ذرات PM_{۱۰} بلند خواهد شد و سرعت اصطکاک محل به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$U_t = \frac{u * t}{k} \ln \frac{z}{z_{0ns}} \quad (2)$$

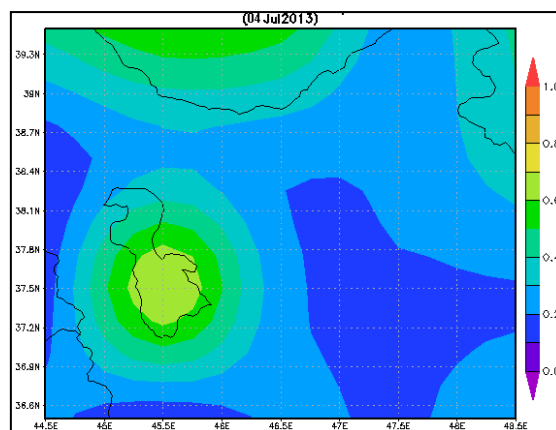
که در آن Zons طول زبری آیرودینامیک خاک برای شرایطی است که خاک دچار فرسایش آبی نشده باشد. Z ارتفاع اندازه گیری باد است و k ثابت وون کارمن است که برابر ۰/۴ فرض می‌شود. از نظر کاربرد مدل HYSPLIT برای مدلسازی گرد و غبار دو رویکرد پیش بینی و تحلیل وجود دارد. پیش بینی امکان بروز توفان گرد و غباری می‌تواند اطلاعات ارزنده ای پیرامون شناسایی چگونگی حرکت و مسیر انتشار ارائه دهد. ولی مهمترین کاربرد آن در اقدامات پاسخ سریع و راهکارهای مدیریتی شرایط اضطراری است. بعد از تحلیل می‌توان مدل را برای بررسی تناوب منابع و دوره‌های گردوغباری، بررسی خط سیر و غلظت استفاده کرد.

- در این تحقیق برای ارزیابی خروجی های مدل HYSPLIT، نقشه‌های همدیدی جریان‌های جوی سطح زمین و نزدیک سطح زمین مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز برای بررسی جریان‌های جوی از خروجی اطلاعات «مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های هواشناسی میان مقیاس» (ECMWF) استفاده گردید. داده‌های مورد استفاده عبارتند از فشار سطح دریا (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۷۵۰ هکتوپاسکالی، سمت و سرعت باد (مولفه مداری و نصف‌النهاری باد) در سطوح یاد شده می‌باشند. اطلاعات ECMWF شامل داده‌های هواشناسی در سطوح مختلف از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی با قدرت تفکیک ۰/۵ درجه است (بوپو کرام و همکاران، ۲۰۱۰). بعد از اخذ داده ها نقشه‌های جوی تخصصی برای زمان مورد نظر در موقعیت نسبی دریاچه ارومیه در محیط نرم‌افزار GrADS ترسیم شد.

نتایج

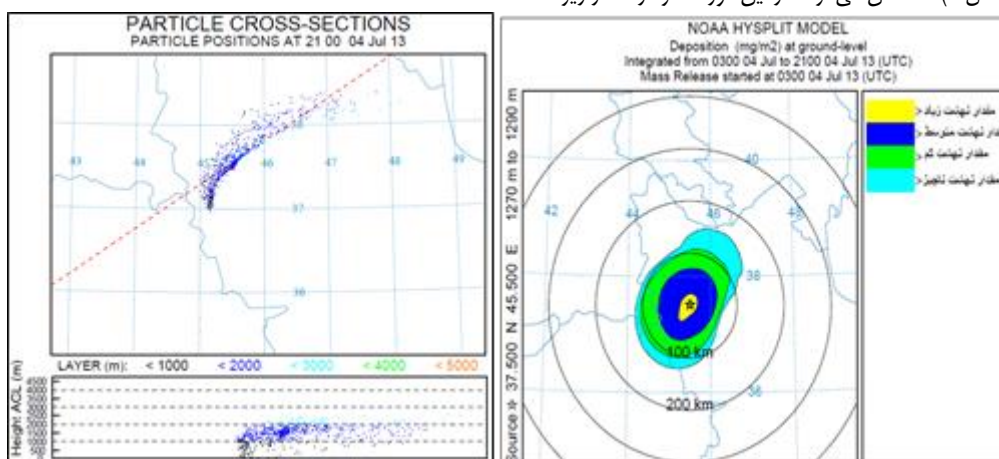
در تحقیق حاضر به منظور بررسی سمت غالب وزش بادهایی شدید که توان ایجاد توفان گردوغبار در دریاچه ارومیه را دارند از بادهای با سرعت مساوی و بیشتر از ۸ متربرثانیه در چهار جهت جغرافیایی دریاچه استفاده شد. بعد از غربال کردن (حذف داده‌های سرعت باد کمتر از ۸ متربرثانیه) داده‌های مذکور با استفاده از نرم افزار WRplot گلباد مربوط به هر ایستگاه ترسیم شد (شکل ۱). همانطور که در شکل مشخص است سمت غالب بادهای شدید در کرانه های شمالی و جنوبی دریاچه ارومیه از جهت جنوب است و در غرب دریاچه بادهای شدید اغلب از جنوب غرب می‌وزند که این شرایط با اقلیم همدیدی شمال غرب ایران انطباق مناسبی دارد. اما در حاشیه شرقی دریاچه شرایط متفاوتی حاکم بوده و بادهای شدید اغلب از سمت شمال می‌وزند. ممکن است در ایستگاه عجب‌شیر باد منطقه‌ای خاصی حاکمیت داشته باشد که از سمت شمال می‌وزد. بررسی بادهای نایب غالب و اولویت‌های بعدی سمت وزش

ارتفاع ۲۰۰۰ متری از سطح دریاهای آزاد (حدود ۸۰۰ متری از سطح زمین) منتشر شده‌اند. به طور خلاصه می‌توان گفت در این روز با وجود حضور ریزگردهای نمکی در روی دریاچه ارومیه، عملیات انتشار ریزگردهای نمکی در مقیاس محدودی انجام شده است. برای بررسی علل ایجاد این حالت از الگوی جریانهای جوی در نقشه‌های همدیدی استفاده گردید. بررسی الگوی خطوط جریان و سرعت وزش باد در سطح زمین (نقشه سمت چپ شکل ۴) در روز ۱۳ تیر ۹۲ نشان داد که در این روز بادهای نسبتاً شدید در نیمه شرقی دریاچه ارومیه مشاهده شده است (البته باید اشاره گردد به دلیل عدم ارسال و استفاده از داده‌های تمامی ایستگاههای هواشناسی موجود در منطقه توسط سازمان هواشناسی جهانی و همچنین عدم وجود ایستگاه هواشناسی در بستر دریاچه ارومیه؛ نمایش بادهای منطقه‌ای سطح زمین در داده‌های بازو اکاوی شده با خطاهای قابل ملاحظه‌ای همراه است). همچنین در این نقشه مشخص گردید که در سطح زمین جهت جریان بادهای در روی دریاچه ارومیه از شمال شرق به سمت جنوب غرب می‌باشد. بررسی الگوی خطوط جریان و سرعت وزش باد در ترازهای بالاتر از سطح زمین (تراز ۷۵۰ هکتوپاسکالی) (نقشه سمت راست شکل ۴) نشان داد که در ارتفاع تقریبی ۲۵۰۰ متری از سطح دریاهای آزاد (ارتفاع تقریبی ۱۲۰۰ متری سطح زمین) نشان داد که سرعت وزش باد در روی دریاچه ارومیه ضعیف بوده و کمتر از ۵ متر بر ثانیه نشان داده شده است. اما با دقت در مسیر جریانهای جوی مشخص شد که دو مسیر متفاوت جریان باد در روی دریاچه حاکم است که در یکی در نیمه شمالی و دیگری در نیمه جنوبی دریاچه فعال هستند. جریان موجود در نیمه جنوبی به سمت جنوب و جنوب غرب جریان دارد و جریان نیمه شمالی نیز به سمت شمال شرق.

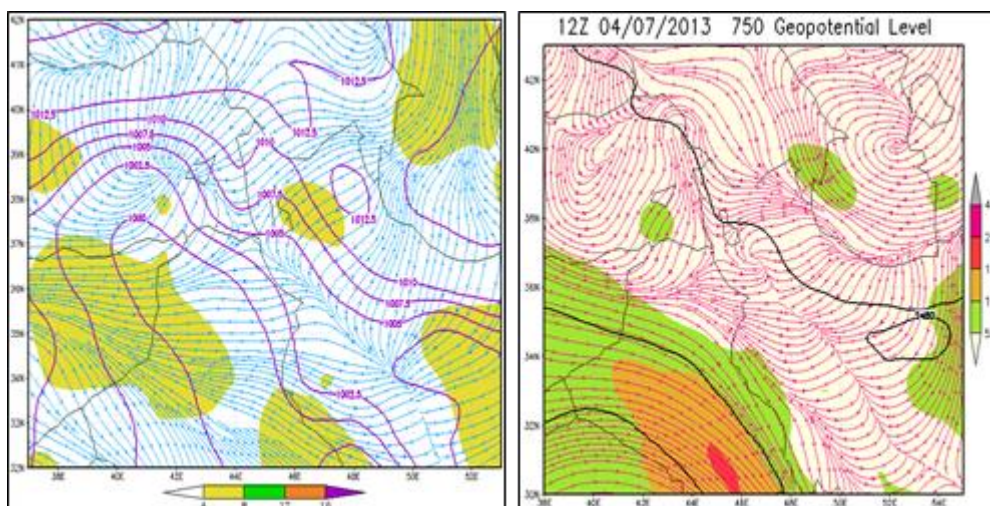


شکل ۲- آشکارسازی ریزگردهای نمکی دریاچه ارومیه در تاریخ ۱۳/۰۴/۱۳۹۲ با استفاده از شاخص AOD ماهواره مودیس

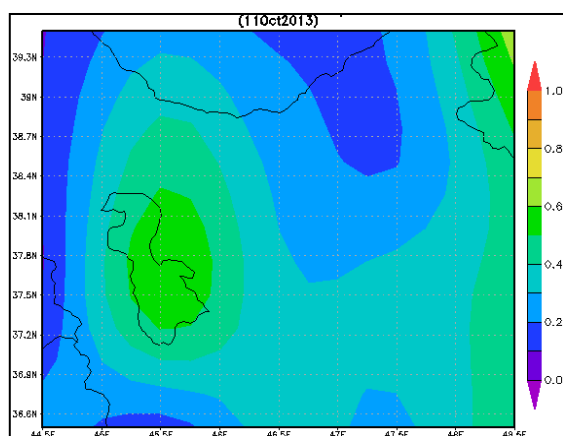
موقعیت نقطه شروع مدلسازی (محل وقوع توفان ریزگرد نمکی) در روی نقشه‌ی شکل ۳ با علامت ستاره مشخص شده است. با این فرض سمت و مسافت انتشار ریزگردهای نمکی دریاچه ارومیه در روز ۱۳ تیر ۱۳۹۲ در شکل فوق نشان داده شده است. نکته قابل توجه در نحوه انتشار ریزگردها در این شکل این است که ریزگردها در دو جهت مخالف هم انتشار یافته‌اند. نکته مهم دیگر اینکه مسافت انتشار ریزگردها در این مورد در مقایسه با موارد دیگر کمتر می‌باشد. اکثر ریزگردها در فاصله شعاع ۱۰۰ کیلومتر اول نسبت به منشاء نهشت شده و مقادیر ناچیزی در فاصله‌ای نزدیک به ۱۵۰ کیلومتر به سمت شمال شرق انتشار یافته‌اند. علاوه بر این بررسی نتایج حاصل از مدلسازی پخش و انتشار ذرات غبار نمکی دریاچه ارومیه در روز یاد شده نشان داد که به مانند مدلسازی نهشت؛ حداکثر تراکم ذرات نمکی در شعاع کمی نسبت به منشاء متمرکز شده‌اند و با دقت در رنگ مورد استفاده توسط مدل برای نمایش ذرات و با در نظر گرفتن نمودار توزیع ارتفاعی ذرات (در قسمت پایین شکل ۳) مشخص می‌گردد در این مورد اکثر ذرات در زیر



شکل ۳- خروجی مدلسازی شدت نهشت برحسب میلی گرم بر مترمربع (شکل سمت راست) و مسیر و ارتفاع انتشار (شکل سمت چپ) ریزگردهای نمکی دریاچه ارومیه در روز ۱۳ تیر ۱۳۹۲.



شکل 4- الگوی جریان‌های جوی و سرعت باد در نقشه همدیدی تراز سطح زمین (سمت چپ) و جریان‌های جوی تراز ۷۵۰ میلی‌باری (سمت راست) شمال غرب ایران در روز ۱۳ تیر ۱۳۹۲.



شکل 5- آشکارسازی گردوغبارهای نمکی دریاچه ارومیه در تاریخ ۱۳۹۲/۰۷/۱۹ با استفاده از شاخص AOD ماهواره مودیس.

بررسی الگوی خطوط جریان و سرعت وزش باد در سطح زمین در روز ۱۹ مهر ۹۲ نشان داد که در این روز با وجود اینکه بادهای شدیدی در روی دریاچه ارومیه مشاهده نمی‌شود (همانطور که قبلاً اشاره شد) نمایش بادهای منطقه‌ای سطح زمین در داده‌های بازوآکاوای شده با خطاهای قابل ملاحظه‌ای همراه است و ممکن در چند ساعتی از روز بادهای شدید منطقه‌ای اتفاق افتاده باشد؛ اما مشخص گردید که در سطح زمین جهت جریان بادها در روی دریاچه ارومیه از شمال شرق به سمت جنوب غرب می‌باشد. با این توصیف سمت انتشار ریزگردها با جریان‌های سطح زمین هماهنگ می‌باشد. بررسی الگوی چینش خطوط جریان و سرعت وزش باد در ترازهای بالاتر از سطح زمین (تراز ۷۵۰ هکتوپاسکالی) (نقشه سمت راست شکل ۷) نشان داد که هر چند سرعت وزش باد در روی دریاچه ارومیه ضعیف بوده و کمتر از ۵ متر بر ثانیه نشان داده شده است. اما با دقت در تراکم خطوط جریان مشخص است که جریان موثری در این مناطق حاکم بوده است. نکته قابل توجه در این مورد حاکمیت کم‌فشار بریده در منطقه مورد مطالعه

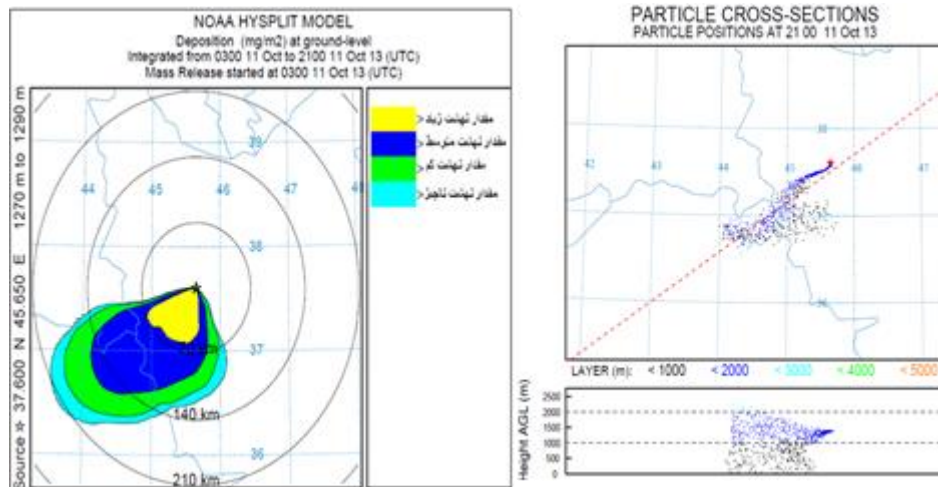
در نهایت با بررسی و مقایسه نتایج حاصل از مدلسازی انتشار ریزگردهای نمکی و الگوی جریان‌های جوی در تراز سطح زمین و سطوح فوقانی جو مشخص شد که در این روز با وجود وزش بادهای نسبتاً شدید سطح زمین و شکل‌گیری توفان ریزگرد؛ به دلیل عدم حاکمیت بادهای شدید در ترازهای فوقانی جو انتشار ریزگردها در مسافت نسبتاً کوتاهی انجام شده است. همچنین حاکمیت دو جریان متفاوت جوی در فراز دریاچه ارومیه؛ انتشار ریزگردها به طور همزمان در دو جهت متفاوت شمال شرقی و جنوب غربی انجام شده است. در این میان به لحاظ همسو بودن سمت وزش بادها در سطح زمین با جریان‌های فوقانی در نیمه جنوبی دریاچه ارومیه؛ انتشار ریزگردها به سمت جنوب غرب توسعه بیشتری نسبت به شمال شرق داشته است.

تحلیل خروجی مدل HYSPLIT برای توفان ریزگرد نمکی در روز ۱۹ مهر ۱۳۹۲ (۱۱ اکتبر ۲۰۱۳)

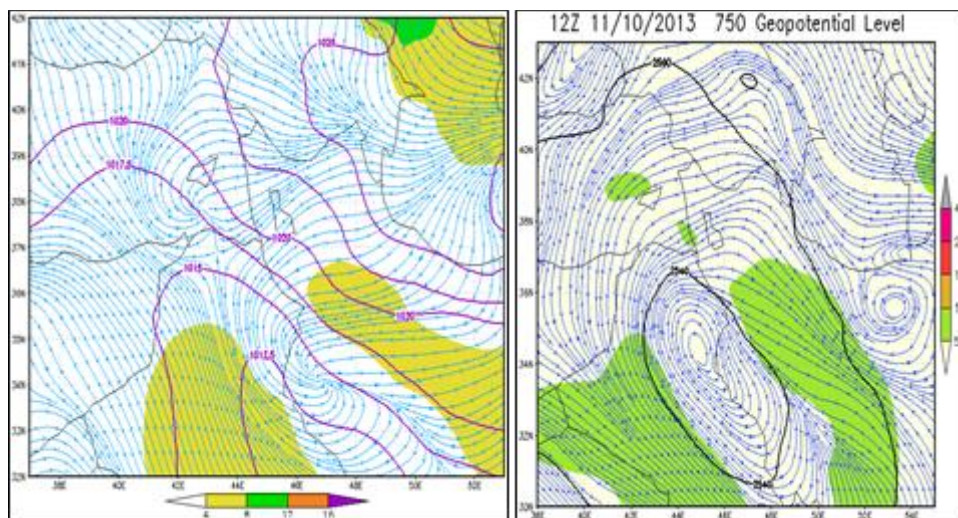
با جستجو در میان روزهای همراه با توفان نمک در محیط دریاچه ارومیه مشخص گردید که در روز ۱۹ مهرماه ۱۳۹۲ توفان گردوغباری مشخصی در مناطق میانی و شرق دریاچه ارومیه وجود دارد (شکل ۵). شاخص AOD ماهواره مودیس نشان داد که در زمان گذر ماهواره از فراز دریاچه ارومیه، ذرات غبار با گسترش شمالی-جنوبی در اکثر مناطق نیمه شرقی و جنوبی دریاچه وجود دارد. برای مطالعه نحوه انتشار ریزگردهای مشاهده شده در این روز مدل HYSPLIT از جنوب جزیره اسلامی اجرا گردید. نتایج حاصل از مدلسازی نهشت ریزگردها در بازه زمانی ۱۸ ساعته در این روز در شکل ۶ نمایش داده شد.

در این روز شده است. در واقع عامل اصلی ایجاد بادهای شمال شرقی در روی دریاچه ارومیه و نهایتاً انتشار ریزگردها به سمت جنوب غرب حاکمیت این سامانه در ترازهای فوقانی جو می‌باشد.

است که مرکز آن شمال شرق عراق واقع شده است. جریانات جوی پادساعتگرد (جریان با گردش خلاف عقربه‌های ساعت و به عبارتی جریان چرخندی) ناشی از آن با شکل‌گیری الگوی جریانی غیر معمول



شکل 6- خروجی مدل‌سازی شدت نهشت برحسب میلی گرم بر مترمربع (شکل سمت چپ) و مسیر و ارتفاع انتشار (شکل سمت راست) ریزگردهای نمکی دریاچه ارومیه برای روز ۱۹ مهر ۱۳۹۲.



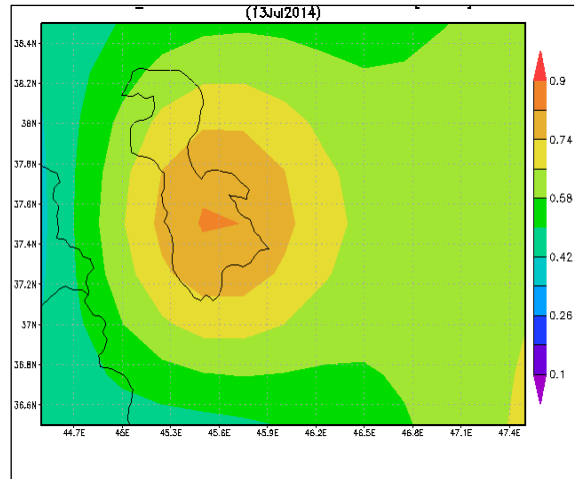
شکل 7- الگوی جریان‌های جوی و سرعت باد در نقشه هم‌دید تراز سطح زمین (شکل سمت چپ) و تراز ۷۵۰ میلی-باری (شکل سمت راست) شمال غرب ایران در روز ۱۹ مهر ۱۳۹۲.

شد. هسته غلیظ مشخصی در مناطق میانی نیمه جنوبی قابل تشخیص است که موقعیت جغرافیایی این هسته به عنوان نقطه شروع اجرای مدل انتشار ریزگرد مورد استفاده قرار گرفت.

تحلیل خروجی مدل HYSPLIT برای توفان گردوغبار نمکی در روز ۲۲ تیر ۱۳۹۳ (۱۳ جولای ۲۰۱۴)

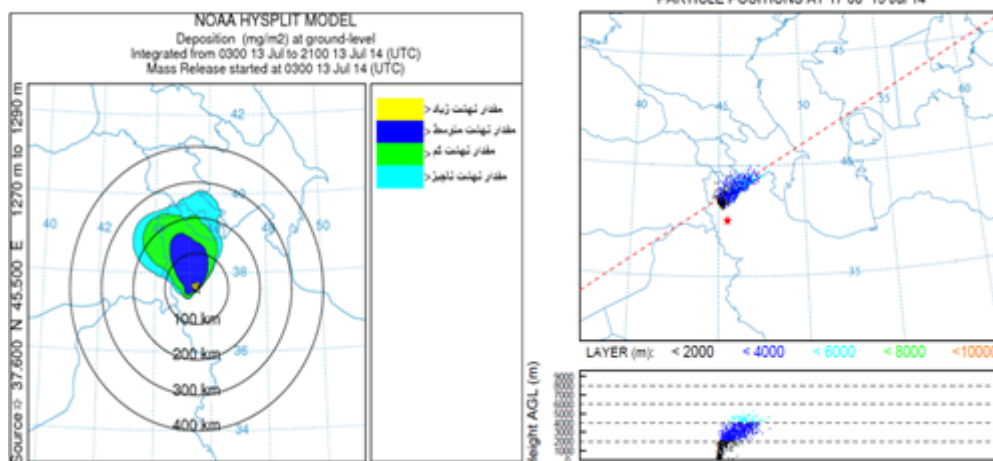
در انجام جستجوهای مربوط به یافتن روزهایی که در آنها توفان ریزگرد دریاچه ارومیه اتفاق افتاده بود با استفاده از تصاویر ماهواره روز ۱۳ جولای ۲۰۱۴ (مصادف با ۲۲ تیرماه ۱۳۹۳) مورد شناسایی قرار گرفت. در این روز ریزگردهای مشخصی در اکثر مناطق دریاچه ارومیه و مخصوصاً نیمه جنوبی دریاچه ارومیه وجود داشت (شکل ۸). بر اساس شاخص گردوغباری AOD در باند طیفی ۵۵۰ نانومتر غلظت گردوغبارها نیمه جنوبی دریاچه بیشتر از سایر مناطق بوده به طوری که باعث ایجاد حلقه‌هایی از غلظت ریزگردها در روی محیط دریاچه ارومیه

بادهای نسبتاً شدید در حواشی شرقی و غربی دریاچه ارومیه تا ۱۰ متر بر ثانیه است. سمت جریان هوا در سطح زمین در این روز از سمت شرق به غرب بوده است. در ترازهای بالاتر از سطح زمین جریانات جوی از الگوی خاصی متاثر شده است که باعث ایجاد جریان مشخصی از هوا به سمت شمال غرب شده است. به نظر می‌رسد همین جریان هوا عامل اصلی انتشار ریزگردهای دریاچه ارومیه به سمت شمال غرب دریاچه شده است. در روز ۲۲ تیر ۱۳۹۳ در شمال غرب کشور دو الگوی جوی متفاوتی با هم برخورد کرده‌اند. یکی از این سامانه‌ها کم فشار و دیگر پرفشار می‌باشد. سامانه کم فشار از سمت شمال شرق و سامانه پرفشار از سمت جنوب غرب به طرف شمال غرب ایران گسترش یافته و در موقعیت نسبی دریاچه ارومیه به هم رسیده‌اند. در اثر عمل متقابل این دو سامانه ضمن تقویت و تشدید سرعت وزش باد(به خاطر افزایش گرادیان فشار) جریان همسویی در مابین دو سامانه از جنوب شرق به سمت شمال غرب شکل گرفته است. به دلیل اینکه جریان هوای ما بین دو سامانه در این روز از فراز دریاچه ارومیه گذشته است باعث جابجایی و انتشار ریزگردهای این روز در مسیر حرکت خود شده است. مقایسه نتایج حاصل از مطالعه حاضر با تحقیقات پیشین مشخص گردید که به لحاظ تفاوت در اهداف و به تبع آن استفاده از داده‌ها و روش‌های متفاوت، یافته‌های متفاوتی نیز حاصل شد که به سختی می‌توان نتایج آنها را با هم قیاس کرد. در این مطالعه سمت و سرعت بادهای شدید در ایستگاههای حاشیه دریاچه ارومیه آنالیز گردید که در هیچ یک از مطالعات پیشین مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مطالعه با شناسایی چند توفان گردوغباری مشخص در بستر دریاچه ارومیه؛ مدل انتشار به روش پیشرو اجرا گردید و خروجی آنها از طریق ترسیم نقشه-های جریانات جوی مورد ارزیابی قرار گرفت. به دلیل تفاوت در ماهیت مطالعه و تولید اطلاعات علمی متفاوت مقایسه نتایج این مطالعه با تحقیقات پیشین به سختی امکان‌پذیر است.

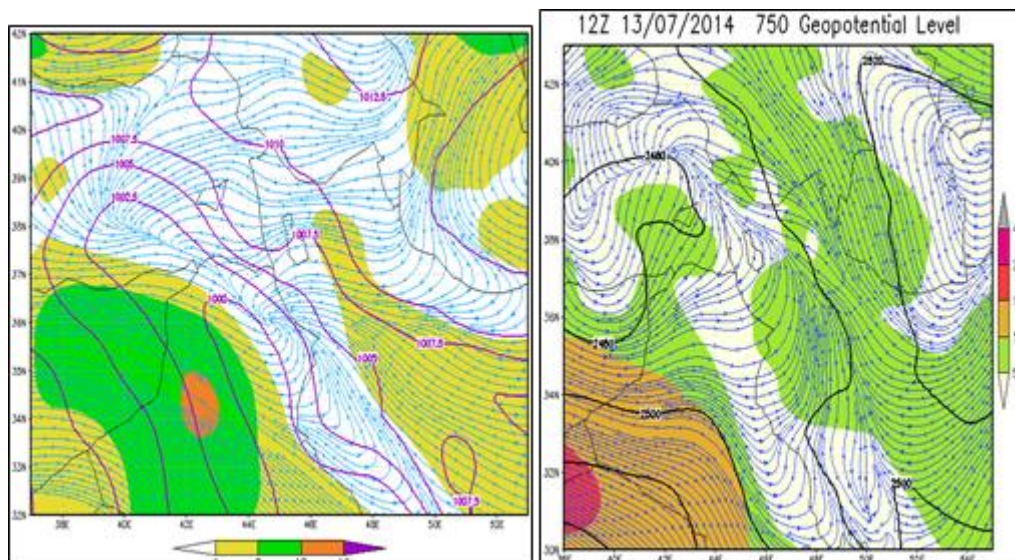


شکل ۸- آشکارسازی ریزگردهای نمکی دریاچه ارومیه در تاریخ ۱۳ جولای ۲۰۱۴ با استفاده از شاخص AOD در طیف ۵۵۰ نانومتر ماهواره مودیس.

بر خلاف آنچه که در با در نظر گرفتن تصویر ماهواره‌ای در زمینه مسیر انتشار ریزگردها در ذهن تداعی می‌شود؛ خروجی مدل انتشار ریزگرد نشان داد که در این روز ریزگردهای دریاچه ارومیه به سمت شمال غرب به سمت شهرستان‌های ماکو و چالدران انتشار یافته‌اند. ریزگردهای این روز در مسیر شمال غرب دریاچه ارومیه تا مسافت ۲۵۰ کیلومتر انتقال یافته و حتی در خارج از مرزهای ایران نهشت کرده‌اند. نتایج حاصل از مدلسازی پخش ذرات غبار در این روز نشان داد که به صورت توده‌ای از ذرات به سمت شمال غرب انتشار یافته‌اند با توجه حرکات عمودی جو امکان انتشار ذرات تا ارتفاع بالاتر از ۴۰۰۰ متری نیز وجود داشته است. اما اغلب ذرات ریزگرد دریاچه ارومیه مابین ارتفاع ۲۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متری از سطح دریاهای آزاد قرار گرفته‌اند. بررسی شرایط همدیدی سطح زمین (نقشه سمت چپ شکل ۱۰) حاکی از وزش



شکل ۹- خروجی مدلسازی شدت نهشت برحسب میلی گرم بر مترمربع (شکل سمت چپ) و مسیر و ارتفاع انتشار (شکل سمت راست) ریزگردهای نمکی دریاچه ارومیه برای روز ۲۲ تیر ۱۳۹۳.



شکل 10- الگوی جریان‌های جوی و سرعت باد در نقشه همدیدی تراز سطح زمین (شکل سمت چپ) و تراز ۷۵۰ میلی-باری (شکل سمت راست) شمال غرب ایران در روز ۲۲ تیر ۱۳۹۳.

نتایج حاصل از اجرای مدل برای سه مورد توفان گردوغبار نمکی از بستر دریاچه ارومیه بدین صورت مورد بحث قرار داد: الف- در توفان ۱۳ تیر ۱۳۹۲ به دلیل عدم وزش بادهای شدید در ترازهای فوقانی جو، ذرات گردوغبار و نمک پخش شده در اتمسفر در جهت خاصی منتشر نشده و اغلب به صورت تقریباً یکنواخت از منشاء به اطراف پخش می-شوند. این توفان‌ها اغلب در اثر بادهای محلی و یا در اثر ایجاد گردادین فشار در سطح زمین شکل می‌گیرند. این شرایط عمدتاً در فصل تابستان و در زمان استیلای زبانه پرفشار جنب حاره‌ای آזור در فراز شمال غرب ایران شکل می‌گیرد. در این شرایط به دلیل غلبه شرایط پایداری جو ذرات پخش شده در اتمسفر به ندرت می‌توانند تا ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متری از سطح دریاهای آزاد رخنه کنند. ب- توفان ۱۹ مهر ۱۳۹۲ نمونه‌ای از توفان‌های اتفاق افتاده در شرایط همدیدی نفوذ زبانه‌های کم فشار حرارتی در لایه‌های نزدیک سطح زمین در اواخر بهار و اوایل پاییز (فصول انتقالی) هستند. در این شرایط تلاقی سامانه‌های همدیدی متفاوت با یکدیگر در موقعیت دریاچه ارومیه باعث ایجاد جبهه و وزش باد می‌گردد که شکل‌گیری توفان را در پی دارد. اما در ترازهای بالاتر سطح زمین زبانه کم‌فشار حرارتی حاکم بوده و با ایجاد جریان پادساعتگرد بر فراز دریاچه ارومیه باعث انتقال ذرات پخش شده به اتمسفر به سمت جنوب غرب تا کشور عراق می‌شود. در چنین شرایطی نیز به دلیل پایدار بودن لایه‌های فوقانی جو (با وجود اینکه در لایه‌های نزدیک سطح زمین ناپایدارند) به ندرت می‌توانند به ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متری پخش شوند. ج- توفان ۲۲ تیر ۱۳۹۳ نمونه دیگری است که در شرایط تلاقی دو سامانه کم‌ارتفاع با پراارتفاع در ترازهای فوقانی در شمال غرب ایران اتفاق می‌افتد. در این شرایط جریان سامانه غرب پادساعتگرد و در سامانه شرقی ساعتگرد می‌باشد. در محل برخورد (یعنی موقعیت دریاچه ارومیه) جهت جریان جنوب به شمال می‌شود که انتشار ریزگرد به سمت شمال را سبب می‌شود. با توجه به اینکه این الگو با فراوانی نسبتاً زیاد در فصول بهار، تابستان و پاییز قابل مشاهده است.

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به منظور بررسی میزان نهشت، انتشار ریزگردهای نمکی برخاسته از بستر خشک دریاچه ارومیه از داده‌های وزش باد در ایستگاه‌های هواشناسی حاشیه دریاچه، تصاویر ماهواره‌ای مودیس و مدل HYSPLIT استفاده شد. به طور خلاصه نتایج تحقیق نشان داد با توجه به شرایط اقلیمی حاکم در شمال غرب ایران امکان وزش بادهای شدید تقریباً از تمامی جهات جغرافیایی وجود دارد ولی به تناسب موقعیت منطقه در کرانه‌های شمال، جنوب و غرب دریاچه جهت غالب وزش بادهای شدید جنوبی و جنوب غربی بوده و در حاشیه شرقی بادهای شمالی غالب هستند. موضوع مهمی که از بررسی نتایج اجرای مدل حاصل شد این است که تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین مسیر انتشار ذرات با مسیر وزش بادهای سطح فوقانی وجود داشته و از این حیث با جریان بادهای سطوح فوقانی همخوانی بیشتری دارند. البته باید اشاره نمود که در برخی موارد مشاهده می‌شود که با وجود گزارش بادهای شدید و در ایستگاه‌های هواشناسی و اثبات وقوع توفان در تصاویر ماهواره‌ای؛ نقشه‌های همدیدی سطح زمین جریان باد شدید را نشان نمی‌دهند. از این موضوعات می‌توان استنباط کرد که اولاً وزش بادهای شدید می‌تواند در مقیاس محلی اتفاق افتد که در این صورت ممکن است در هیچ یک از ایستگاه‌ها گزارش نشود. دوم اینکه وزش باد شدید در سطح زمین عامل اصلی و شرط لازم برای شکل‌گیری توفان گردوغبار نمکی در بستر دریاچه است. این بادها ذرات خاک و نمک را از سطح زمین کنده و به هوا پخش کرده و اغلب در تا چند کیلومتر اول ذرات را با خود حمل می‌کنند. به دلیل وسعت کم عملکرد بادهای سطح زمین، تنها آندسته از ذرات گردوغبار و نمک که به راحتی به لایه‌های بالاتر جو پخش می‌شوند در مسافت طولانی منتشر می‌شوند. به همین خاطر مسیر و مسافت انتشار ریزگردها در شبیه‌سازی با مسیر وزش بادهای سطوح فوقانی جو انطباق بیشتری دارند.

لذا الگوی انتشار در این توفان می‌تواند یکی از شرایط غالب انتشار محسوب شود. در این سامانه به دلیل اینکه اغلب یکی از سامانه‌ها ناپایدار می‌باشد لذا امکان انتشار ذرات به لایه‌های بالاتر وجود دارد. به همین خاطر است که در توفان ۲۲ تیر ۹۳ طبق نتایج مدل ذرات تا ارتفاع ۴۰۰۰ متری از سطح دریاهای آزاد نفوذ کرده‌اند.

حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده‌پردازی: عاطفه حسینی صدر، غلام حسن محمدی؛ روش‌شناسی و تحلیل داده‌ها: عاطفه حسینی صدر، غلام حسن محمدی؛ نظارت و نگارش نهایی: غلام حسن محمدی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

پیشنهادها

نتایج نشان داد کشاورزان دلیل اصلی تضاد آب را خشکسالی می‌دانند. بنابراین پیشنهاد می‌شود هنگام خشکسالی‌ها، سیاست‌های حمایتی مناسب از کشاورزان دنبال شود تا زمینه ایجاد تضاد بین آنان تضعیف گردد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت‌کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

References

1. Bijani, M., and Hayati, D. 2013. Application of environmental value attitudes in water conflict analysis: A study of Dorodzan Dam irrigation network. *Iranian Agricultural Extension and Education Sciences*, 9(1): 81-91. [In Persian].
2. Bijani, M.; Hayati, D., and Abdolvand, M. 2012. Conflict in water utilization in Dorodzan dam irrigation network (views of regional water experts). *Environmental Sciences*, 10(1): 59-78. [In Persian].
3. Tatar, M., Papzan, A., and Ahmadvand, M. 2018. Agricultural water conflict management in Gavoshan Watershed (strategies based on cooperation strategy). *Agricultural Extension and Education Sciences*, 14(1): 91-111. [In Persian].
4. Rezaian, A. 2001. Conflict management. *PayamSadegh Magazine*, Imam Sadegh University. [In Persian].
5. Razi, M. 2016. Identification of 1190 illegal wells in Hamadan and Bahar plain were identified. *Khabaronline News Agency*, available at: www.khabaronline.ir. Accessed on 25 August 2020. [In Persian].
6. Management and Planning Organization of Hamadan Province. 2019a. Strategic document and development operational plan of Hamedan province (2019-2021). Hamedan: Management and Planning Organization of Hamedan Province. [In Persian].
7. Management and Planning Organization of Hamadan Province. 2019b. Abstract of planning studies of Hamedan province. Hamedan: Management and Planning Organization of Hamedan Province. [In Persian].
8. Seyedan, S.M., Kohansal, M.R., and Ghorbani, M. 2017. Achieving the optimal route of extraction from groundwater resources by applying side effects in the Hamadan-Bahar plain. *Journal of Watershed Management*, 8(1): 191-201. [In Persian].
9. Frhangi, A. 1990. Communication in Organizational Conflict from the Perspective of Interaction Analysis. *Management and Development Process*, 4(1): 15-29. [In Persian].
10. Rafiei, N., Fattahi, S., Ghasemi, R., and Droudy, M. 2016. Strategic Development Problems in Hamadan Province. Tehran: Center for Strategic Studies of the Presidency. [In Persian].
11. Mortezaejad, M., Yaqubi, J., Sotoudehnia, A., and Daghestani, M. 2012. Optimization strategies for water resources management in irrigation network from the perspective of Ab-bran (case study: irrigation network of Qazvin

- Plain). Journal of Water Resources Engineering, 5(15): 69-77. [In Persian].
12. Statistics Center of Iran. 2020. Map of the provinces of the country. Available at: <https://www.amar.org.ir>. [In Persian].
 13. Kolaei, A. 2014. Overview of the management and pricing of agricultural water in Iran and some selected countries. Tehran: Institute of Planning Research, Agricultural Economics and Rural Development. [In Persian].
 14. Moghimi, S.M. 2009. Organization and Management: A Research Approach. Tehran: Termeh Publications. [In Persian].
 15. Nozari, H., and Zali, A. 2013. Investigation of groundwater harvesting status of Hamedan-Bahar plain. Journal of Soil and Water Knowledge, 23(4): 277-290. [In Persian].
 16. Yazdanpanah, M., Hayati, D., and Zamani, Gh. 2012. Application of cultural theory in the analysis of attitudes and activities of water resources protection: A study of employees of Bushehr Agricultural Jihad Organization. Journal of Agricultural Extension and Education Sciences, 7(2): 1-19. [In Persian].
 17. Yousefi, A., Amini, A.M., Fatthi, A., and Yadegari, A. 2016. Evaluation of ways to resolve the Zayandehrood River conflict from the perspective of farmers and stakeholders. Water and Soil Science, 20(2): 143-159. [In Persian].
 18. Barli, O., Baskent, E., Turker, M., and Gedik, T. 2006. Analytical approach for analyzing and providing solutions for the conflicts among forest stakeholders across Turkey. Forest Policy and Economics, 9(3), 219-236.
 19. Barli, O., Baskent, E., Turker, M., and Gedik, T. 2006. Analytical approach for analyzing and providing solutions for the conflicts among forest stakeholders across Turkey. Forest Policy and Economics, 9(3): 219-236.
 20. Bijani, M., and Hayati, D. 2011. Water conflict in agricultural system in IRAN: A human ecological analysis. Journal of Ecology and Environmental Sciences, 2: 27-40.
 21. Blake, R., and Mouton, J. 1964. The Managerial Grid: The Key to Leadership Excellence. Houston: The Gulf Publishing Company.
 22. Cann, A., Norman, M.A., Welbourne, J.L. and Calhoun, L.G. 2008. Attachment styles, conflict styles and humour styles: Interrelationships and associations with relationship satisfaction. European Journal of Personality, 22: 131-146.
 23. Cap-Net. 2014. Conflict resolution and negotiation skills for integrated water resources management. South Africa: UNDP.
 24. Dubrin, A.J. 2004. Applying Psychology: Individual and Organizational Effectiveness. New Jersey: Pearson/Merrill Prentice Hall.
 25. FAO. 2000. Proceedings of the international workshop on community forestry in Africa. Rome: FAO.
 26. Gleick, P.H., and Heberger, M. 2012. Water and conflict: Events, trends, and analysis. The World's Water, 8(3): 159-171.
 27. Kameri-Mbote, P. 2007. Water, conflict, and cooperation: Lesson from the Nile river basin. Woodrow Wilson International Center for Scholars, 4: 1-5.
 28. Robbins, S.P., and Judge, T.A. 2006. Organizational Behavior. New York: Prentice- Hall Inc.
 29. FAO. 2011. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture. Rome: FAO.
 30. Tulloch, J. 2009. Water conflicts: Fight or flight? Allianz. Available at: www.knowledge.allianz.com.
 31. Uprety, D.R. 2001. Conflict Management in Natural Resource: A Study of Land, Water and Forest Conflicts in Nepal.
 32. Niu, W., Wang, H., and Qiu, L. 2009. A framework of trans-boundary water conflict model based on qualitative simulation of behavior. International Conference on Engineering Management and Service Sciences.
 33. Wolf, A., Natharius, J., Danielson, Ward, B., and Pender, J. 2010. International river basins of the world. International Journal of Water Resources Development, 15(4): 387-427.