

Research Paper.

**Identifying the centers at risk of wind erosion around Lake Urmia, Case study: Bonab and Malekan cities**Maryam Bayati Khatibi^{1*}, Behrooz Sari Sarraf²

1. Professor, Geomorphology of Dep. of RS & GIS, Faculty of Planning and Environment sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran, E- mail: m_bayati@tabrizu.ac.ir
2. Professor, Climatology of Dep., Faculty of Planning and Environment sciences, University of Tabriz, Tabriz, E- mail: bsarraf@tabrizu.ac.ir

Keywords

Wind erosion centers, Fine dust, AOD, HYSPLIT, Malekan, Bonab, Urmia Lake.

Receive: 2024/02/06

Accept: 2024/04/29

Available: 2024/07/14

ABSTRACT

Today, following the drying up of Lake Urmia, new centers for wind erosion activity have been formed in the northwest of the country, and these centers have become the source of dangerous dust production. In the southeastern part of Lake Urmia, the formation of wind erosion centers can lead to irreparable damages from the point of view of nature and human health. In this study, in order to identify wind erosion centers, changes in the water level of Lake Urmia based on the fluctuation pattern of climatic parameters using data The long-term effects of the existing stations in the Urmia Lake watershed were investigated. In order to identify the origin areas of fine walnut production and track dust storms in the studied area, horizontal visibility data below 1000 meters of meteorological data and Lagrangian HYSPLIT model in retrograde mode were used at different stations and at different levels of the atmosphere. It was used regularly and also the highest amount of dust containing 26 pressure tsars (100-1000 hectopascals) and available with a time step of 12 hours. At the same time as the first dust entered the study area, the wind direction was investigated for 24 hours before that. In the studied area (Banab and Malekan cities), the focus of wind erosion was investigated using AOD data from MACC database with a spatial accuracy of 0.125×0.125 geographic degrees and a daily time scale. In this study, MODIS Terra and Aqua satellites with a wavelength of 550 nm were used to generate AOD data. Day-by-day review of MODIS satellite images and the implementation of the fine dust characterization index revealed the occurrence of specific dust storms over Urmia Lake and southeast of the lake on different days. Investigations showed that extensive salt dust spreads in all parts of Lake Urmia, including the southeast of the lake in the limits of Bonab city, and the dust in this part is spread in the bed of atmospheric currents to the east and southeast for a distance of more than 140 km. In the northeast direction, they spread over 150 km in 12 hours.

* Corresponding Author: Maryam Bayati Khatibi E-mail: m_bayati@tabrizu.ac.ir

How cite to this article: (2024). Identifying the centers at risk of wind erosion around Lake Urmia, Case study: Bonab and Malekan cities, Hydrogeomorphology, 11(39): 122 – 143.

DOI:10.22034/HYD.2024.60434.1728



The formation of dust production centers over time is a complex process that is influenced by climatic and environmental conditions such as the interaction of atmospheric systems and high wind speed, dry and uncovered soil or with little surface cover and dry air. Dust can affect climate change and cause serious damage to people. In addition to the effect that changes in precipitation patterns, temperature rise and climate anomalies have had on the drying up of water resources in Iran and the world, in two decades recently, there has been a huge wave in the implementation of dam projects by the ministries of energy and agriculture in the country, during which thousands of small and large dams have been built in the country. The lack of implementation of scientific and expert strategy in the implementation of these projects has caused the hydrological and natural balance of the country to be disrupted and at the same time as the effect of climate change causes the drying up of lakes and rivers; as a result, it has brought environmental crises such as sand and salt storms. Following the sharp decrease in the amount of precipitation in the West Asian region and the drying up of wetlands, the reduction of the area under cultivation, the disproportionate management of water and land with drought conditions, has led to the intensification of the occurrence of dust storms in neighboring countries and Iran. In most parts of the country, in terms of the occurrence of environmental changes by man and nature, new wind erosion centers have been formed or are being formed, and their identification can lead to timely and principled measures. Today, in the west of the country, following the drying of Lake Urmia, new centers of wind erosion have formed and these sites have become the source of dangerous dust production. In this area of the west of the country, due to the population density, the formation of wind erosion centers can lead to irreparable damages in terms of air, water, soil pollution and human health. Wind erosion and the place of production of fine dust should be identified and the influencing factors on favoring the substrate for the creation of such centers should be investigated.

Methodology

In this study, in order to identify wind erosion centers, changes in the water level of Lake Urmia were investigated based on the fluctuation pattern of climatic parameters, and in this study, the long-term data of the stations in the watershed of Lake Urmia from the average climatic data of Urmia stations, Miandoab, Khoy, Tabriz and Sanandaj were used. To achieve the goal; The average temperature and precipitation of Urmia, Miandoab, Khoi, Tabriz, and Sanandaj stations were extracted decade by decade. In order to investigate the changes in the lake, the data of the water level of Urmia Lake were used. To identify the origin areas and track dust storms in the studied area, the data of horizontal visibility below 1000 meters, meteorological data, 3-hour synoptic and Lagrangian model HYSPLIT retrograde mode, different stations of particles in different levels of the atmosphere were used, considering that wind erosion is possible by tracking fine particles, in this research, retrograde mode The HYSPLIT model was used. REANALYSIS data was chosen to track a 5-year period due to regular daily data recording and also the highest amount of dust in this period. These data were used with one-by-one (1 x 1) degree horizontal resolution, for 26 available pressure tsars of 100-1000 hectopascals and with a time step of 12 hours. As the wind path entered the study area at the same time as the first dust arrived. It was checked for 24 hours before that. In the study area (Banab and Malekan cities) and using AOD data from MACC database with a spatial accuracy of 0.125×0.125 geographic degrees and a daily time scale, the focus of wind erosion was investigated. MODIS with a wavelength of 550 nm was used to generate AOD data. The time of pollutant emission was equal to the time of the entire simulation period. In order to provide a map of the potential of fine dust emission from the southeastern regions of Lake Urmia, an effort was made by identifying more than 30 cases of fine dust storms. by satellite images with HYSPLIT model to be implemented for each case. Then the results obtained from them were transferred to the geographic information system (GIS) environment and using the software capabilities of this system, the information obtained from the model was combined and the different distribution zones of the particles were extracted from the southeast of Lake Urmia.

Results and Discussion

Examining the soil samples of the studied area shows that the sediments of Benab and Malkan plains up to a depth of about 40 meters from the subsurface belong to fine silty clay and coarse silty sand sediments. The fineness of these sediments is an important factor in their easy harvesting by Also, in the eastern and central parts of the plain, most of the subsurface sediments of the soil up to a depth of 10-15 meters are fine-grained clay and silty, but in the southern edges of the plain, most of the micro-surface texture is mainly coarse-grained silty sand and clay. Nowadays, due to drying Lake Urmia, the formations of the unprotected lake bed are exposed to the wind, with the drying of the lake, its shores have turned into a salt desert, and if the drying process of the lake continues, over time, a larger part of the lake bed will become a center of fine dust production. The electrical conductivity of the samples taken from the studied area shows that the fluctuation of EC indicates the presence of soils with low salinity to highly saline soils. This amount is more than 170 in one of the samples. Wind plays a primary role in creating dust storms and removing small materials from the dry bed of Lake Urmia. Analysis of 87,636 meteorological reports from Maragheh meteorological station indicates that 38.5% of the winds in this station were reported as calm winds (no gusts of wind). However, most of our winds have a speed between 7 and 21 meters per second, which in most cases blow from the east side (from the heights of Sahand Mountain) towards this station. Considering the location of Bonab station in Paikoh Sahand and its lower height above the open sea level, the frequency of strong winds in this station is significantly different from that in Maragheh station. Winds with a speed of 8 meters per second and more in this station are also dominated by easterly winds. (46.32% of the total strong winds) in this region. However, it should be noted that in this region, like other meteorological stations, the possibility of winds blowing from different directions, such as southwest and even west, is possible. The release of lake salt to this area. From the examination and comparison of the wind conditions at Bonab and Maragheh stations, it can be concluded that Bonab station and generally the areas located in the southeastern plains of Lake Urmia are more affected by synoptic and extra-local winds than Maragheh station. The implementation of the HYSPLIT model from the southeast location of the lake shows that the fine dust of this section has spread to the east and southeast in atmospheric currents and has spread to a distance of more than 140 km in 12 hours. As another example, the use of images A satellite showed the occurrence of a dust storm in the middle, south and southeast of Lake Urmia on September 30, 2014, and the atmospheric currents on this day moved the dust to the northeast and spread to more than 150 km. The important point in this case is that most of the densely populated cities located on the western slopes of Sahand Mountain, including the metropolis of Tabriz, were on the path of the release of fine dust on this day. On the second day of March 2015, a relatively small dust storm was identified in the southeast of Lake Urmia. The execution of the model showed that on this day the atmospheric currents caused the dispersion of fine dust to the east for more than 120 km in half a day. According to the final map, it can be said that the most fine dust is in the western half of Benab city, southwest of Ajab. Shir and the old area of the lake are in the southeast. The main paths of the emission of fine dust will often be in two different directions. East and northeast and the other south and southwest. More than 16 cities of East Azarbaijan province (including Tabriz city) and 5 cities of West Azarbaijan province will be affected by fine dust rising from the southeast of Lake Urmia. The distance of the dispersion of fine dust towards the east and northeast is greater compared to the southern directions, and it is possible to spread fine dust up to 150 km under extreme atmospheric conditions

Conclusions

Day-by-day review of MODIS satellite images and the implementation of the fine dust identification index during storms over Lake Urmia and also in the southeast of the lake on different days showed that salt fine dust is widespread in all parts of Lake Urmia, including the southeast of the lake and in the area of Bonab city is considerable. The fine particles of this part are usually spread in the bed of atmospheric currents to the east and southeast and spread to a distance of more than 140 km in 12 hours. There are other atmospheric currents that have transported fine dust to the northeast and spread it to more than 150 km. The important point in this case is that most of the densely populated cities located on the western slopes of Sahand Mountain, including the metropolis of Tabriz, were on the path of the release of fine dust on this day. Moody's satellite image proved the occurrence of a specific micro dust storm in the eastern half of Lake Urmia. Surveys in the

southeast area of Lake Urmia show that the fine dust has spread to the south on this day in relatively wider dimensions. These fine particles have the ability to spread over a distance of about 80 km. The models used showed that the atmospheric currents have caused the fine particles to spread to the east for more than 120 km in half a day.

مقاله پژوهشی



شناسایی کانون‌های در معرض خطر فرسایش بادی در جنوب شرق دریاچه ارومیه مطالعه موردی: شهرستان‌های بناب و ملکان



دکتر مریم بیاتی خطیبی^{۱*}، بهروز ساری صراف^۲

۱- استاد ژئومورفولوژی گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران m_bayati@tabrizu.ac.ir

۲- استاد آب و هواشناسی گروه آب و هواشناسی دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران bsarraf@tabrizu.ac.ir

چکیده

امروزه در شمال غرب کشور، به دنبال خشک شدن دریاچه ارومیه، کانون‌های جدیدی در فرسایش بادی تشکیل گردیده و این کانون‌ها به سرمنشا تولیدگرد و غبارهای خطرناک تبدیل شده است. با ادامه روند خشکی و مدیریت غیر اصولی آب و خاک، تشکیل کانون‌های فرسایش بادی در قسمت جنوب شرق دریاچه ارومیه، پیامدهای منفی برای طبیعت و سلامت انسان در ابعاد بزرگتر خواهد داشت. در این مطالعه، به منظور شناسایی کانون‌های فرسایش بادی، تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه بر اساس الگوی نوسانات پارامترهای اقلیمی و با استفاده از داده‌های دراز مدت ایستگاه‌های موجود در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه بررسی شد. برای شناسایی مناطق منشا تولید ریزگرد و ردیابی طوفان‌های گرد و غبار در محدوده مورد مطالعه، از داده‌های هواشناسی دید افقی زیر ۱۰۰۰ متر و مدل لاگرانژی HYSPLIT حالت پسگرد و از REANALYSIS برای ردیابی بیشترین میزان فراوانی گرد و غبار (با بازه ۵ ساله) در ۲۶ تراز فشاری (۱۰۰۰-۱۰۰ هکتوپاسکال)، مورد استفاده قرار گرفت. در محدوده مورد مطالعه (شهرستان بناب و ملکان) کانون فرسایش بادی با استفاده از داده‌های AOD پایگاه MACC با دقت مکانی 0.125×0.125 درجه جغرافیایی و مقیاس زمانی روزانه، بررسی شد. در این مطالعه از پایگاه ماهواره‌های ترا و آکوا MODIS با طول موج ۵۵۰ نانومتر برای تولید داده‌های AOD بهره گرفته شد. بررسی تصاویر ماهواره مودیس و اجرای شاخص بارسازی ریزگرد، وقوع طوفان‌های مشخص گرد و غبار در فراز دریاچه ارومیه و همچنین جنوب شرق دریاچه در روزهای مختلف را اثبات کرد. بررسی‌ها نشان داد که ریزگردهای نمکی گسترده‌ای در تمامی بخش‌های دریاچه ارومیه و از جمله جنوب شرق دریاچه در محدوده شهرستان بناب در حال گسترش هستند و ریزگردهای این بخش در بستر جریانات جوی به سمت شرق و جنوب شرق تا مسافتی بیش از ۱۴۰ کیلومتر و در جهت شمال شرق در مسافتی بیش از ۱۵۰ کیلومتر در طی ۱۲ ساعت منتشر می‌شوند.

کلیدواژه‌ها

کانون‌های فرسایش بادی،
ریزگرد، HYSPLIT، AOD،
ملکان، بناب، دریاچه ارومیه.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

ارجاع به این مقاله: مریم بیاتی خطیبی، بهروز ساری صراف (۱۴۰۳). شناسایی کانون‌های در معرض

خطر فرسایش بادی در جنوب شرق دریاچه ارومیه، مطالعه موردی: شهرستان‌های

بناب و ملکان، هیدروژئومورفولوژی، ۱۱(۳۹): ۱۴۳-۱۲۲.

DOI: [hyd.224.60434.1/10.22034.7228](https://doi.org/10.22034/224.60434.1/10.22034.7228)



Copyright: ©2024 by the authors.

Publisher: University of Tabriz

* نویسنده مسئول: مریم بیاتی خطیبی

m_bayati@tabrizu.ac.ir

مقدمه

محیط‌های مختلف با توجه به ویژگی‌هایی که دارند، گاه به لحاظ ویژگی‌های عوامل محیطی، کانون فرسایش بادی بوده و یا اینکه در گذر زمان با تغییر در شرایط محیطی (عمدتاً به دست انسان) به کانون‌های جدید فرسایش بادی تبدیل می‌شوند. کانون‌های جدید تشکیل شده، برای اطراف خود بسیار خطرناک تر از نوع اول بوده، چرا که هیچ یک از ساختار محیطی نمی‌توانند در کوتاه مدت خود را با شرایط رخ داده سازگار کنند. طبق نتایج حاصل از مطالعات محققان، طوفان‌های گرد و غبار علت بیماری‌های حاد تنفسی، آسم، آلرژی، آسم و سندرم حاصل از آلودگی آب و خاک است (جمالی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۳ و زنگ و همکاران^۱، ۲۰۱۰: ۱۵۹؛ توبیاس^۲، ۲۰۲۰: ۷۸۹). کشور ایران در یک منطقه با آب و هوای خشک قرار گرفته است و بیش از ۳۰ درصد از مساحت کشور را مناطق خشک و نیمه خشک در برمی‌گیرد. بررسی‌های مربوط به فراوانی روزهای گرد و غباری کشور نشان می‌دهد که در دهه‌های اخیر به دلیل تغییر در شرایط محیطی، بر تعداد محل و کانون‌های فرسایش بادی و نقاط تولید گرد و غبار افزوده شده است (ریوندی و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۵؛ عزیز و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۵؛ کیخسروی و حاصلی، ۱۳۹۶: ۶۰؛ صحرایی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۲۱؛ حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۰۸). علاوه از شرایط محلی، به دلیل همجواری مناطق غرب و جنوب غربی کشور با بیابان‌های بزرگ کشورهای همسایه، روزهای غبار آلود در سال‌های اخیر نیز افزایش یافته است. آمارهای سازمان هواشناسی کشور نشان می‌دهد که میانگین روزهای غبار آلود در طی ۵۰ ساله گذشته در شهرهای جنوبی و غربی کشور به طور میانگین به ترتیب ۷۵ روز در طول سال افزایش یافته است.

تشکیل کانون‌های فرسایش بادی در هر منطقه، بی‌ارتباط با اقلیم حاکم بر آن ناحیه و همچنین شرایط خاک سطحی نبوده و با توجه به شرایط مجموع عناصر اقلیمی و تشکیلات سطحی، می‌توان تأثیر هر یک از آنها را برای هر پدیده ایجاد شده، سنجید. بدون شک هر یک از این عناصر با نسبتی متفاوت، نقش مهمی در وقوع فرسایش بادی دارند. تشکیل کانون‌های تولید گرد و غبار در طول زمان، فرآیند پیچیده‌ای است که تحت تأثیر شرایط اقلیمی و محیطی مانند فعل و انفعالات سامانه‌های جوی هستند. سرعت زیاد باد، خاک خشک و بدون پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی سطحی کم از جمله عوامل تشدید کننده محسوب می‌شوند (یه تمن و همکاران^۳، ۲۰۱۰: ۲۴۷؛ ماهووالد^۴، ۲۰۱۰: ۱۰۸۷۸؛ آلفاره و استفانو^۵، ۲۰۰۸: ۱۵۸؛ آدامو و همکاران^۶، ۲۰۲۲: ۲۳۶). ایجاد طوفان‌های گرد و غبار (که می‌تواند با تزریق هستک‌های تراکم و در صورت غلظت زیاد و استمرار در تزریق ذرات نمک به جو (که به صورت عکس عمل کند و باعث محو شدن ابرهای ورودی شود) در تغییرات آب و هوایی محلی اثر گذاشته و سبب ایجاد آسیب‌های جدی محیطی شود (نبوی و همکاران، ۱۳۹۸). در دو دهه اخیر موج عظیمی در اجرای پروژه‌های سدسازی توسط وزارت خانه‌های نیرو و کشاورزی در کشور به وجود آمده که طی آن صدها سد کوچک و بزرگ در کشور ساخته شده است. عدم وجود یک استراتژی علمی و کارشناسی شده دقیق در اجرای این پروژه‌ها موجب شده که توازن هیدرولوژیکی و طبیعی کشور به هم بخورد و همزمان با تأثیر تغییر اقلیم، موجبات خشک شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها فراهم شود؛ که در نتیجه آن، وقوع بحران‌های زیست محیطی، همچون ایجاد طوفان‌های شن و نمک را به همراه داشته است. با کاهش شدید میزان بارش در منطقه غرب آسیا و خشک شدن تالابها و مدیریت نامتناسب آب و زمین در شرایط خشکسالی، بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار در کشورهای همسایه و ایران افزوده شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۹؛ حمزه و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۳). مطالعات اولیه حکایت از این واقعیت دارد که بخش اعظم طوفان‌های گرد و غبار تأثیرگذار بر استان‌های غربی کشور، دارای منشأ خارجی بوده و عمدتاً از کشورهای عراق، سوریه، اردن و در مواردی از عربستان سعودی وارد کشور می‌شوند (زندو الماسیان، ۱۳۹۹: ۲۳؛ طائی سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۹: ۸؛ شعاعی و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۰). تشدید فعالیت کانون‌های ایجاد گرد و غبار علاوه از تخریب اراضی، موجب ایجاد محیط نامناسب زندگی برای ساکنان این مناطق شده و به یک عامل تهدید کننده جدی برای سلامت مردم، اقتصادی و تولیدات کشاورزی و دامداری تبدیل شده است. با توجه به اهمیت شناخت کانون‌های تولید گرد و غبار و یا به طور کلی کانون‌های فرسایش بادی که از مراکز تولید ریزگردها محسوب می‌شوند، محققین مختلف از زوایا و ابعاد متفاوت چنین پدیده‌هایی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. بعضی از محققین نقش عناصر اقلیمی را مد نظر قرار داده‌اند و با بکارگیری مدل‌های مختلف (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۸: ۸۳؛ ریوندی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸؛ کارگر و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۲ و حسینی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۰۸؛ آبروش و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۷۴؛ فنق و همکاران^۷، ۲۰۱۰: ۲۴۰؛ هاگنهورلدز و همکاران^۸، ۲۰۱۰: ۲۷۵). کانون‌های تشکیل و جریان مسیر ریزگردها را مورد مطالعه قرار داده‌اند و

1 - Zang et al.,

2 - Tobias

3 - Yetemen et al.,

4 - Mahowald

5 - Alfaro and Stephane

6 - Adamo et al.,

7 - Feng et al.,

8 - Hugenholtz et al.,

محققین دیگری هم با بکارگیری داده ها و ابزارهای سنجش ازدور این پدیده هارا موردبررسی قرار داده اند(آرامی و همکاران، ۱۳: ۱۴۰۰؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۰؛ حسینی و رستمی، ۱۳۹۷: ۱۱۰؛ کلارکو و همکاران^۱، ۲۰۲۳: ۴۶) و با بکارگیری اطلاعات سنجنده های مختلف کانون ها را شناسایی و آنها را رهگیری کرده اند. محققینی هم بوده اند که کانون های فرسایش بادی از دیدگاه سلامت انسان ها برای آنها مهم بوده و از این دیدگاه چنین کانون هایی را مورد بررسی قرار داده اند که در این مورد می توان به تحقیقات محققینی به مانند تیریکو و همکاران^۲، ۲۰۱۸: ۴۶۸؛ توبیاس و همکاران^۳، ۲۰۲۰: ۷۸۹؛ اوتانی و همکاران^۴، ۲۰۱۲: ۴۶۰۸؛ لین و همکاران^۵، ۲۰۱۹: ۳۸۵۶؛ لی و همکاران^۶، ۲۰۱۸: ۲۲۱ اشاره کرد. در بیشتر قسمت های کشور به لحاظ وقوع تغییرات محیطی به دست انسان و طبیعت، کانون های فرسایش بادی جدیدی تشکیل شده و یا در حال شکل گیری هستند که شناسایی آنها می تواند تدابیر به موقع و اصولی را به دنبال داشته باشد. بررسی های میدانی و همچنین بررسی تصاویر ماهواره ای نشان می دهد که، امروزه در غرب کشور به دنبال خشک شدن دریاچه ارومیه، کانون هایی جدیدی برای فرسایش بادی تشکیل و این کانون ها به سرمنشا تولید گرد و غبارهای خطرناک تبدیل شده است. در این محدوده از شمال غرب کشور، به دلیل تراکم جمعیت، تشکیل کانون های فرسایش بادی می تواند به خسارات جبران ناپذیری از نظر آلودگی هوا، آب، خاک و سلامت انسان منجر شود. به دلیل چنین اهمیتی، در این پژوهش سعی شده است، کانون های فرسایش بادی و محل تولید ریزگردها شناسایی و عوامل تاثیرگذار بر مساعد نمودن بستر برای ایجاد چنین کانون هایی بررسی شوند.

موقعیت جغرافیایی و ویژگی های طبیعی

جنوب شرق دریاچه ارومیه از دو شهرستان بسیار مهم بناب و ملکان تشکیل شده است که این دو شهرستان در معرض بیشترین تغییرات محیطی ناشی از خشک شدن دریاچه ارومیه قرار گرفته اند. دلیل این امر خشک شدن تالاب قره قشلاق، خالی از سکنه شدن روستاها و آزاد شدن سطح وسیعی از بستر دریاچه از آب و در معرض باد قرار گیری سطح گسترده ای از نمکزارها (براساس شواهد عینی) است. بنابراین لازم هست ویژگی های این دو شهرستان مورد بررسی قرار گیرد. شهرستان بناب با مساحت ۷۷۸/۷۵ کیلومتر مربع وسعت در ۴۶ درجه و ۹ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شهرستان ملکان نیز با وسعتی در حدود ۱۰۰۶/۸۷ کیلومتر مربع در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این شهرستان از نظر مختصات جغرافیایی در ۳۶ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۶ دقیقه قرار گرفته است. شهرستان بناب در دشت گسترده و متشکل از رسوبات آبرفتی حوضه آبریز صوفی چای و در حوضه غربی مخروط آتشفشانی سهند پدید آمده است. کوه های موجود در شرق و جنوب بناب هم امتداد کوه های واقع در جنوب مراغه می باشند (شکل ۱).

وجود دریاچه ارومیه و قرار گرفتن قسمت عمده ای از شهرستان در مصب رودخانه لیلان چای و مردق چای باعث شده اکثر زمین های شهرستان ملکان مسطح و هموار باشند. از نظر زمین شناسی و لیتولوژی تنوع زیادی در این محدوده دیده می شود. شهرستان بناب در اواخر دوران اول و دوم زمین شناسی فعالیت های آتشفشانی شدیدی داشته است (شکل ۲). واحدهای سنگی ارتفاعات مشرف به محدوده در شرق، شمال شرق و شمال از خاکسترهای آتشفشانی همراه با سنگ های پیروکلاستیک مربوط به دوره میوسن می باشد. ارتفاعات جنوب مشرف به اراضی دشت بناب بطور عمده از شیل، ماسه سنگ، کوارتزی، سنگ آهک تشکیل شده است (رجبی و بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰). علاوه بر رخنمون های دوره میوسن و کرتاسه سطح عمده منطقه را رسوبات دوران چهارم (کواترن) پوشانده است که بطور کلی شامل رسوبات آبرفتی، پادگانه های آبرفتی جوان، مخروط افکنه های آبرفتی و رسوبات حواشی دریاچه ارومیه می باشد (شکل ۲). رسوبات آلوویومی تشکیل ترانس های قدیمی و جوان تر را داده است. به علت وجود حوضه های رسوبی دریاچه ارومیه، در بخش غربی دشت بناب رسوبات دلتایی و توده های نمکی، بخش وسیعی از دشت را پوشانده است (رجبی و بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰).

1 - Colarco et al .,

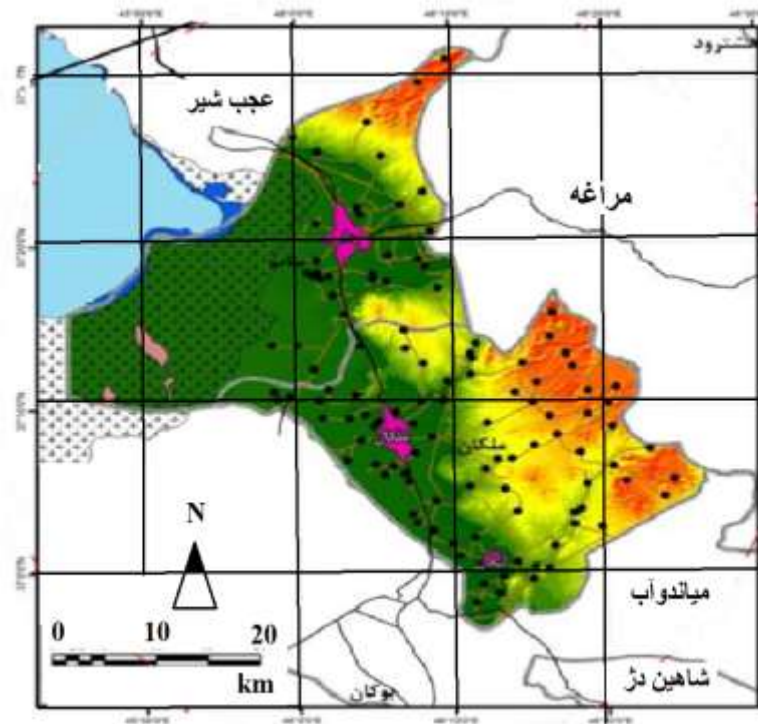
2 - Tricco et al.,

3 - Tobias et al.,

4 - Otanie et al.,

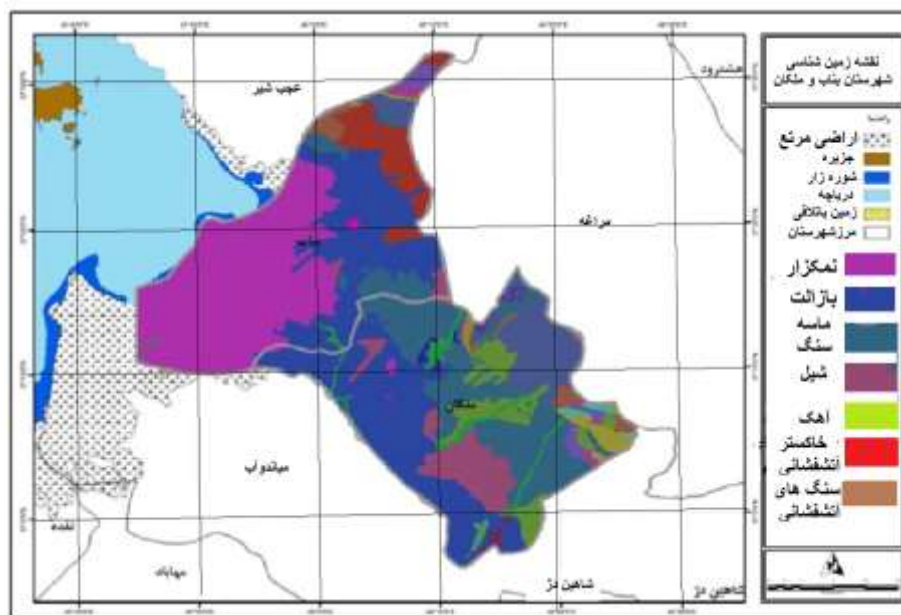
5 - Lien et al.,

6 - Li et al.,



شکل(۱): نقشه موقعیت جغرافیایی شهرستان بناب و ملکان در استان آذربایجان شرقی و کشور ایران

Fig (1): Map of the geographical location of Bonab and Malkan cities in East Azarbaijan province and Iran



شکل(۲): بالا: نقشه ویژگی‌های توپوگرافی و پایین: زمین شناسی شهرستان های بناب و ملکان

Fig(2): A: Map of topographic features and B: Geology of Bonab and Malekan cities (authors)

داده ها و روش تحقیق

دراین بررسی از داده ها و اطلاعات زیر بهره گیری شده است :

- داده های اقلیمی دراز مدت (بارش، دما) سالانه و ماهانه از ایستگاه های سینوپتیک واقع در اطراف محدوده مورد مطالعه (داده های ۴۰ ساله بارش و دما

- داده های سنجنده MODIS

- استفاده از نقشه های زمین شناسی مربوط به محدوده مورد مطالعه (در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰)
- برداشت نمونه های خاک از محدوده مورد مطالعه و انتقال آنها به آزمایشگاه و استفاده از داده های آزمایشگاهی مربوط به نمونه های برداشت شده

در این مطالعه برای شناسایی کانون های فرسایش بادی، تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه بر اساس الگوی نوسانات پارامترهای اقلیمی بررسی شد. برای رسیدن به هدف؛ میانگین دما و بارش (ماهانه و سالانه) ایستگاه های ارومیه، میاندوآب، خوی، تبریز و سنندج به صورت دهه به دهه استخراج گردیده و برای بررسی تغییرات دریاچه، از داده های بروز تراز آبی دریاچه ارومیه استفاده شد. برای شناسایی مناطق منشا و ردیابی طوفان های گرد و غبار در محدوده مورد مطالعه، از داده های دید افقی زیر ۱۰۰۰ متر هواشناسی (به دلیل آرایه نتیجه بهتر)، سینوپتیک ۳ ساعته و مدل لاگرانژی HYSPLIT حالت پسگرد (به دلیل تفکیک و ردیابی بهتر ریزگردها)، در ایستگاه های مختلف با ذرات در ترازهای مختلف جو استفاده شد. داده های REANALYSIS برای ردیابی بازه ۵ ساله بعثت ثبت داده های روزانه مرتب و همچنین بیشترین میزان فراوانی گرد و غبار در این بازه انتخاب شد. این داده ها با تفکیک افقی یک در یک (۱ × ۱) درجه، برای ۲۶ تراز فشاری ۱۰۰۰-۱۰ هکتوپاسکال (در این سطح فشاری ردیابی با دقت بالا صورت می گیرد) و با گام زمانی ۱۲ ساعته در دسترس، مورد استفاده قرار گرفت. بطوریکه همزمان با ورود اولین گرد و غبار وارد شده به منطقه مورد مطالعه مسیر باد برای ۲۴ ساعت قبل از آن مورد بررسی قرار گرفت. در انتخاب روزهای مورد مطالعه سعی بر این شد نمونه های انتخابی دارای تداوم زمانی، گسترش مکانی با دید افقی زیر ۱۰۰۰ متر باشند. در محدوده مورد مطالعه (شهرستان بناب و ملکان) و با استفاده از داده های AOD پایگاه MACC با دقت مکانی 0.125×0.125 درجه جغرافیایی و مقیاس زمانی روزانه، کانون فرسایش بادی بررسی شد. با این توضیح که، شاخص عمق آپتیکی آئروسول (AOD) آذر پیش بینی رویدادهای گرد و غبار از پارامترهای مهم محسوب می شود (اسکندی و فتاحی، ۱۳۹۹؛ علیدادی، جعفری، ۱۴۰۰؛ دهقانپور، ۱۳۹۸، Ginoux, et al., 2012). مقدار عمق آپتیکی می تواند با تراکم تعداد هواویزه ها (آئروسولها) و ویژگی های آن ذرات متفاوت باشد (Colarco, 2023). معمولاً دامنه تغییرات عمق آپتیکی ۰/۱ تا ۰/۲ را برای شرایط هوای قاره ای صاف و ۰/۱ تا ۰/۵ را برای هوای بحری صاف پیشنهاد می نمایند (Guyatt, 2008). بیشتر بودن مقادیر AOD از این مقدار نشان دهنده تراکم هواویزه ها در امتداد ستون عمودی هوا بوده و به عبارتی دید در امتداد آن ستون کم می باشد (دهقانپور، ۱۳۹۸). میانگین عمق آپتیکی جهانی در شرایط عادی به علت وجود غبارت نمک و ذرات ناشی از کانی ها حدود ۰/۰۲۳ برآورد شده است. در صورتیکه گرد و غبارهای عمده دنیا دارای عمق آپتیکی در محدوده ی بین ۰/۳ تا ۲/۵ است که بیانگر نقش مهم گرد و غبارها در کاهش نور است (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۸). عمق آپتیکی کمتر از ۰/۱ نشان دهنده هوای صاف و عمق آپتیکی بیشتر از ۴ بیانگر حضور حجم متركمی از هواویزه هاست که مانع از رسیدن نور خورشید حتی در میانه روز به سطح زمین می شوند (Ginoux, 2012).

در این مطالعه از مدل HYSPLIT، استفاده شده است. مدل HYSPLIT مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گرد و غبار، پراکندگی و شبیه سازی ته نشینی آن با استفاده از رویکردهای PUFF و ذرات است. (Namdari et al., 2017; Arkian & Nicholson, 2017; Gharibzadeh et al., 2017; Namdari et al., 2018). در مرحله مدلسازی گرد و غبار، ابتدا مناطقی که منابع انتشار تشخیص داده شده بودند، مشخص گردید و در مدل HYSPLIT به صورت پیش فرض مناطقی که دارای کاربری بیابانی بودند، تعریف شدند. در محدوده مورد مطالعه، با توجه به نوع خاک سطحی (ماسه ای، شنی، سیلت، رس و...) این مناطق دارای حساسیت خاصی به فرسایش بادی بودند و هستند. پس از تعیین منابع بیابانی، با انجام تنظیمات مدل و ورود داده های هواشناسی مدل سازی شروع شد. برای مدل سازی گرد و غبار در مدل HYSPLIT نیاز به یک سری تنظیمات جهت شبیه سازی بود که این تنظیمات در سه قسمت اصلی این مدل انجام شد. به جز داده های هواشناسی مواردی از قبیل: زمان شروع، تعداد و مختصات (طول، عرض و ارتفاع مورد نظر) نقاط آغاز شبیه سازی غلظت، زمان کل اجرای شبیه سازی غلظت، جهت حرکت در شبیه سازی غلظت، حرکت رو به عقب (پسرو) یا رو به جلو (پیشرو)، تراز بالای مدل، (ترازی که بالاتر از آن، ارتفاع در محاسبات حذف شد) که به طور معمول و پیش فرض برابر متر بالای سطح زمین

¹ - <ftp://ftp-ae.oma.be/dist/macc/>

² - aerosol optical depth (AOD)

در نظر گرفته شد و چگونگی حرکت عمودی (مدل دارای توانایی محاسبه حرکت عمودی توده با روش‌های متفاوتی است که داده‌های پیوسته ورودی بهترین گزینه خواهد بود) در مدل نیز وارد گردید. در مدل HYSPLIT برای محاسبه سرعت متوسط ذرات در موقعیت اولیه (P) و تخمین سرعت در موقعیت دیگر (P') از رابطه زیر بهره گیری شد:

$$P(t+dt) = P(t) + 0.5 [V(P\{t\}) + V(P'\{t+dt\})] dt \quad (1)$$

$$P'(t+dt) = P(t) + V(P\{t\}) dt$$

*مرحله زمانی یکپارچه سازی متغیر است :

$$V_{max} dt < 0.75$$

* داده های هواشناسی در سیستم مختصات افقی اولیه باقی می ماند .

* داده های هواشناسی به یک سیستم مختصات زمین پائینی درون یابی می شوند:

$$s = (Z_{top} - Z_{msl}) / (Z_{top} - Z_{gl}) \quad (2)$$

به این ترتیب، زمان انتشار آلایندهها برابر زمان کل دوره‌ی شبیه‌سازی شدند. به منظور ارائه نقشه‌ای پتانسیل انتشار ریزگردها از مناطق جنوب شرقی دریاچه ارومیه، تلاش گردید با شناسایی بیش از ۳۰ مورد توفان ریزگرد مشخص شده توسط تصاویر ماهواره‌ای با مدل HYSPLIT که برای تک تک موارد اجرا شود. سپس نتایج حاصل از آنها به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) منتقل شده و با استفاده از قابلیت های نرم افزاری این سامانه، اطلاعات حاصل از مدل با هم تلفیق شده و پهنه‌های مختلف انتشار ریزگردها از جنوب شرق دریاچه ارومیه استخراج گردید .

-بحث

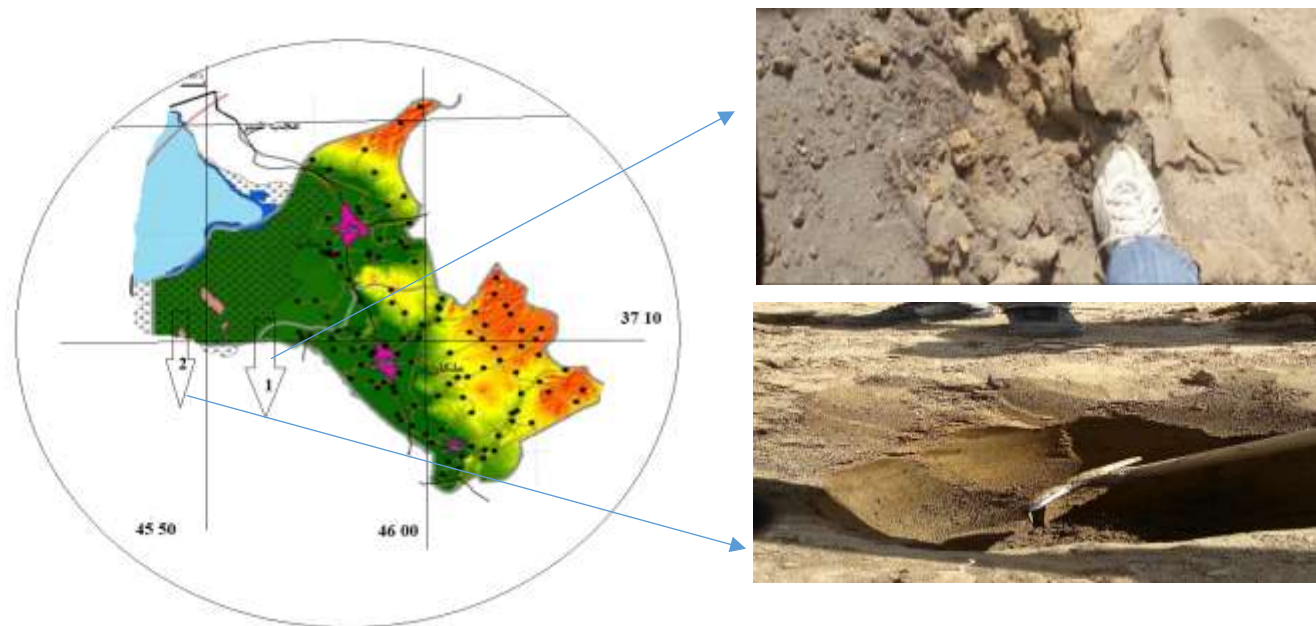
در تشکیل کانون های فرسایش بادی در ابعاد مکانی عوامل متعددی دخیل هستند. برای مطالعه این عوامل لازم هست با دید میدانی و با استفاده از ابزارهای سنجش از دور و با بکارگیری داده های لازم از پارامترهای دخیل مکان های تولید ریزگردها دقیقاً مورد بررسی و تحلیل قرار گیرند .

۱-تاثیر ویژگی های خاک های سطحی و مواد زیرسطحی در تشکیل کانون های فرسایش بادی

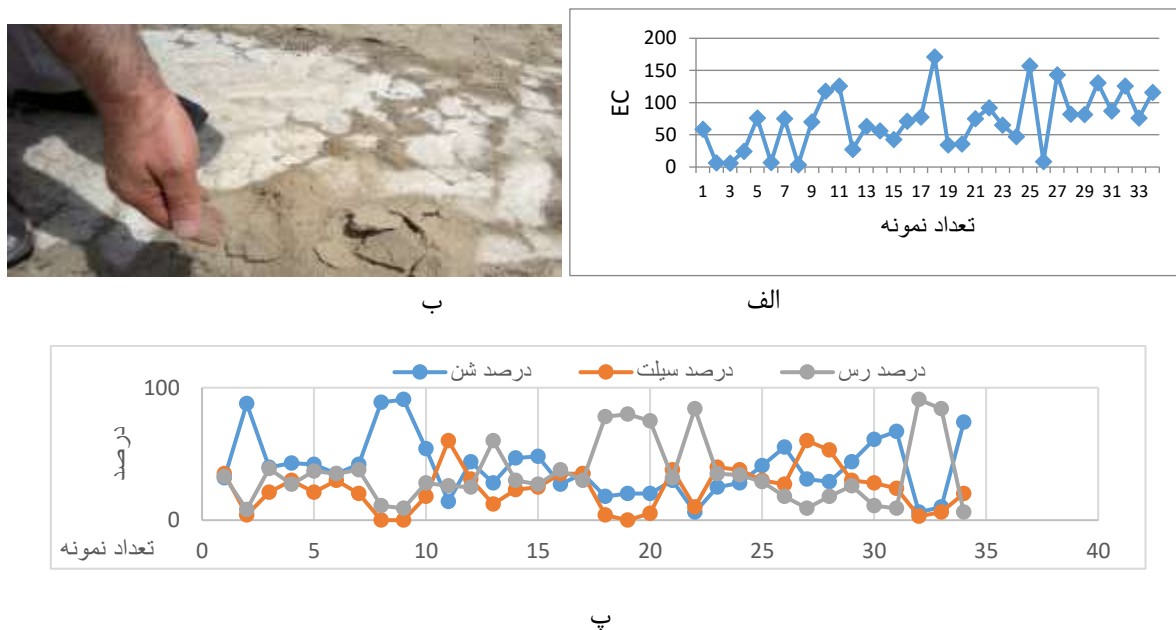
یکی از پارامترهای تاثیرگذار در تسهیل برداشت مواد منفصل از سطح زمین توسط باد، بافت و نوع مواد سطحی و حتی زیرسطحی است (Ardahanlioglu et al., 2003; Cemek et al., 2007; Feng et al., 2007; Mori et al., 2003). به همین دلیل در این مطالعه ابتدا به این پارامتر پرداخت شده است. نتایج مطالعات مربوط به حفاری هیدرولوژی در منطقه نشان داده است که رسوبات دشت بناب و ملکان تا اعماق حدود ۴۰ متری از زیرسطح زمین متعلق به رسوبات ریزدانه رسی سیلتی و درشت دانه ماسه ای سیلتی می باشد (گزارشات آب و خاک منابع طبیعی استان ۱۳۹۵). بازدیدهای میدانی حاکی از این است که ریز دانه بودن این رسوبات عامل مهم در برداشت آنها توسط جریانات محلی است (شکل ۳). همچنین در بخش های شرقی و مرکزی دشت بیشتر رسوبات زیرسطحی خاک تا عمق ۱۰-۱۵ متری ریزدانه رسی و سیلتی بوده اما در حواشی جنوب دشت بیشتر بافت ریزسطحی عمدتاً درشت دانه، ماسه ای سیلتی و رس دارمی باشد (طبق نمونه های برداشت زمینی). شایان ذکر هست که کلیه این رسوبات متعلق به آبرفت‌های رودخانه صوفی چای و سایر رودهای موجود در دشت است. در بخش زیرین این آبرفت‌ها، آبرفت‌های قدیمی شامل رسوبات کنگلومرای درشت دانه سیمان شده، همراه با مخلوطی از ماسه، مارن، رس و رسوبات تبخیری نمکی متعلق به دوره پلیوسن قرار دارد. این آبرفت‌ها عموماً غیرقابل نفوذ بوده و سنگ کف را تشکیل می دهند

علاوه از نوع و دانه بندی تشکیلات سطحی محدوده مورد مطالعه مساله شوری نیز به یک عامل عمده در تشکیل کانون های فرسایش بادی تبدیل شده است. امروزه به دلیل خشک شدن دریاچه ارومیه، تشکیلات بستر دریاچه بی محافظ در اختیار باد قرار می گیرند با خشک شدن دریاچه سواحل آن به یک بیابان نمکی تبدیل شده است و اگر روند خشکی دریاچه ادامه دار باشد، به مرور زمان بخش بیشتری از بستر دریاچه به کانون تولید ریزگردها تبدیل خواهد شد. خاک های خیلی شور و شوره زارها در محدوده مورد مطالعه از تنوع ریخت شناختی، فیزیکی و شیمیایی زیادی برخوردار هستند. همین مساله موجب می شود که راه کارهای تثبیت ریزگردها حتی در بخش کوچکی بسیار متنوع باشد. با شوره زارهای ایجاد شده در طرف دریاچه ارومیه ذرات نمکی توسط باد جابه جا شده و بر روی اراضی حاصلخیز رسوب کرده و زمین های کشاورزی را از عرصه تولید خارج می کنند. همچنین جابه جایی این نمک ها توسط باد و رسوب آنها در آب های سطحی و نفوذ به آب های زیرزمینی منجر به شور شدن آب

آبیاری می شود. بررسی میزان هدایت الکتریکی نمونه های برداشت شده از محدوده مورد مطالعه شده نشان می دهد که میزان نوسانات EC نشان دهنده حضور خاک هایی با شوری کم تا خاک های بسیار شور است. این میزان در یکی از نمونه ها از ۱۷۰ نیز بیشتر است (شکل ۴).



شکل (۳): مواد سطحی و زیر سطحی بستر دریاچه که با خشک شدن دریاچه در معرض فرسایش بادی قرار می گیرند.
Fig (3): The surface and subsurface formations of the lake bed that are exposed to wind erosion when the lake dries up.



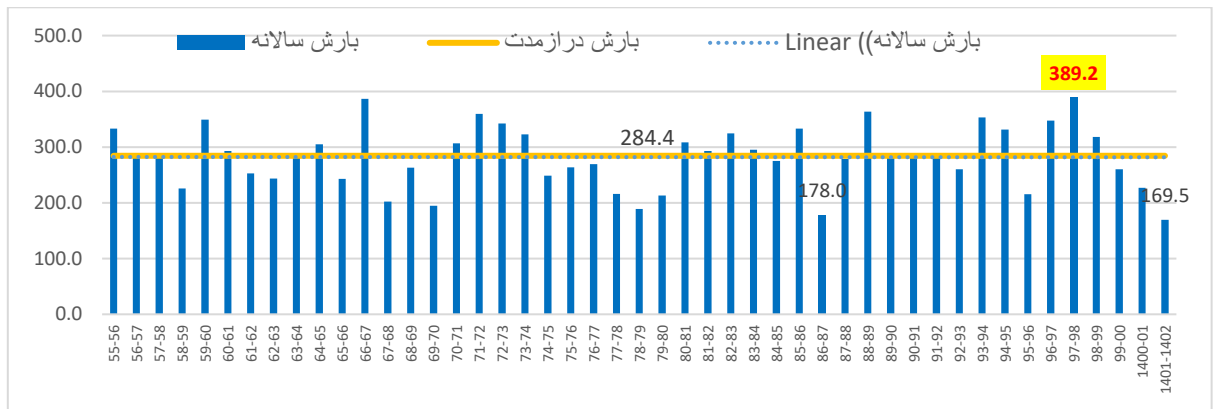
شکل (۴): الف) مقدار EC در نمونه های برداشت شده و ب) خاک های بسیار شور و ریز بافت بستر خشک شده دریاچه ارومیه و پ) بافت نمونه های خاک برداشت شده از محل مورد مطالعه

Fig(4): a) EC value in the collected samples and b) very salty soils and fine texture of the dried bed of Urmia lake and c) texture of the soil samples collected from the study site

۲- تغییرات دما و بارش در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

براساس داده های ۴۰ سال گذشته حوضه دریاچه ارومیه (از سال ۱۳۵۵ تا ۱۴۰۱)، میانگین بارش در این حوضه حدود ۳۰۰ میلی متر محاسبه شده است. در بررسی سال به سال نوسانات آشکاری بین سال ها مشاهده می شود، به این صورت که، ایستگاه های این حوضه در سال ۱۳۷۳ با ۳۷۵/۲

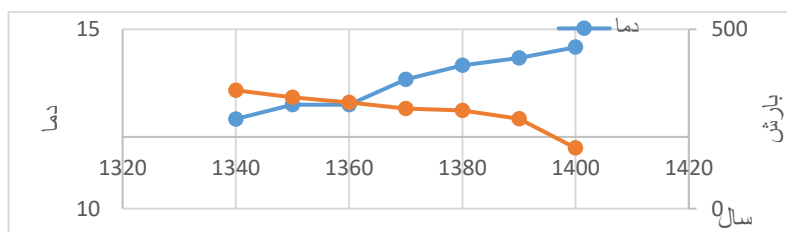
میلی متر بیشترین میزان بارندگی و در سال ۱۳۷۷ با ۱۸۷/۷ میلی متر، کمترین میزان بارندگی را دریافت کرده اند. در بررسی تغییرات بارش دهه به دهه حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی ۴۰ سال گذشته نیز مشخص می شود که تغییرات در این حوضه چشمگیر بوده است بطوری که مشخص است حوضه در دهه ۸۰ دارای کمترین بارش (۲۷۳/۹) بوده است. (شکل ۵ و ۶). بارندگی حوضه از دهه ۵۰ به بعد همواره روند کاهشی داشته، بطوریکه در دهه ۵۰ از ۳۴۰ میلی متر به ۲۷۳/۹ میلی متر در دهه ۸۰ رسیده است. این بدین معنی است که طی سه دهه، ۵۶ میلی از بارندگی حوضه آبریز دریاچه ارومیه کاسته شده است. با توجه به شیب تند خط روند که سیر نزولی دارد، شاهدی بر وقوع خشکسالی در این حوضه آبریز می باشد.



شکل (۵): نوسانات بارش در حوضه دریاچه ارومیه در طی ۵ دهه (۱۳۵۵-۱۴۰۲)
Fig (5): Fluctuations of precipitation in Urmia lake basin during 5 decades(1355-1402)

بررسی پراکندگی دمای سالانه حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی ۵۰ سال گذشته میانگین دما ۱۱/۷ درجه سانتی گراد برآورد شد. در بررسی سال به سال نوسانات آشکاری بین سال ها مشاهده می شود، در این میان در سال های ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ با دمای ۱۳/۵ و ۱۳/۴ درجه سانتی گراد بیشترین میزان دما ثبت شده است و در سال های ۱۳۵۲ و ۱۳۶۱ با دمای ۱۰ و ۹/۲ درجه سانتی گراد کمترین میزان دما ثبت شده است. در بررسی تغییرات دمای دهه به دهه حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی ۶۰ سال گذشته تغییرات چشمگیری مشاهده می شود. در این میان در دهه ۴۰ کمترین دمای حوضه با ۱۲/۵ درجه سانتی گراد ثبت و در دهه ۸۰ بیشترین دمای حوضه با ۱۴ درجه سانتی گراد ثبت شده است. با بررسی شکل (۶) می توان به موارد زیر اشاره نمود:

دما در این حوضه از دهه ۴۰ به بعد همواره روند افزایشی داشته است، بطوریکه در دهه ۴۰ از ۱۲/۵ درجه سانتی گراد به ۱۴ درجه سانتی گراد افزایش یافته است که با مقایسه دهه ۴۰ نسبت به ۸۰ مشخص می شود ۱/۵ درجه سانتی گراد دمای حوضه آبریز دریاچه ارومیه افزایش یافته است. در دهه ۵۰ و دهه ۸۰ نسبت به دهه قبل ۰/۴ درجه سانتی گراد کاهش دما مشاهده می شود ولی در دهه ۶۰ تغییری نسبت به دهه ۵۰ مشاهده نمی شود. با توجه به شیب تند خط روند که سیر صعودی دارد نشان دهنده افزایش دما است که شاهدی بر تشدید اثر خشکسالی (به دلیل افزایش مقدار تبخیر) در این حوضه آبریز می باشد.



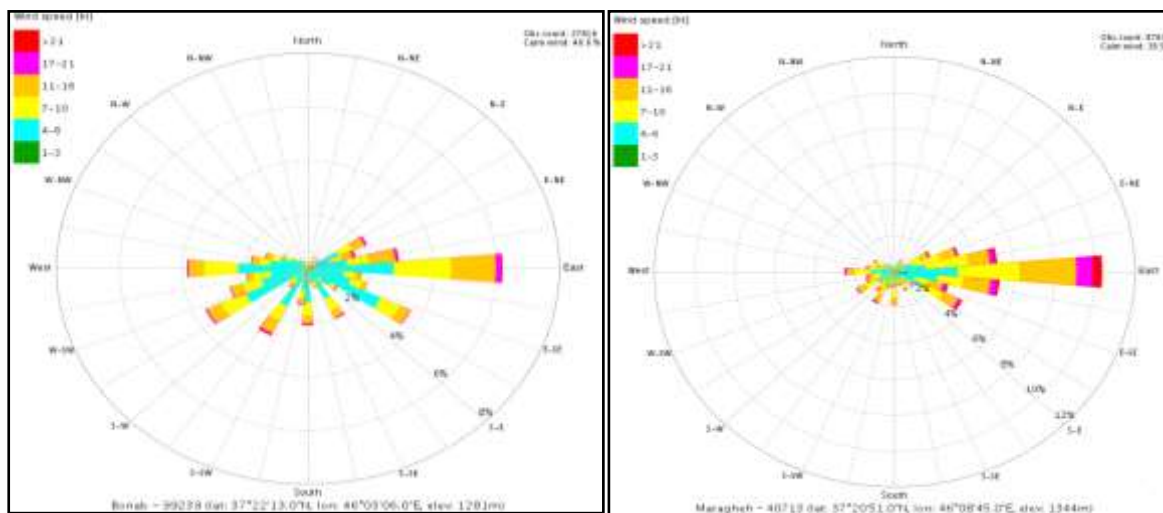
شکل (۶): تغییرات بارندگی و دما دهه به دهه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (۱۳۴۰-۱۴۰۲)

Fig(6): Rainfall and temperature changes from decade to decade in the catchment area of Lake Urmia(1340-1402)

۳- بررسی باد

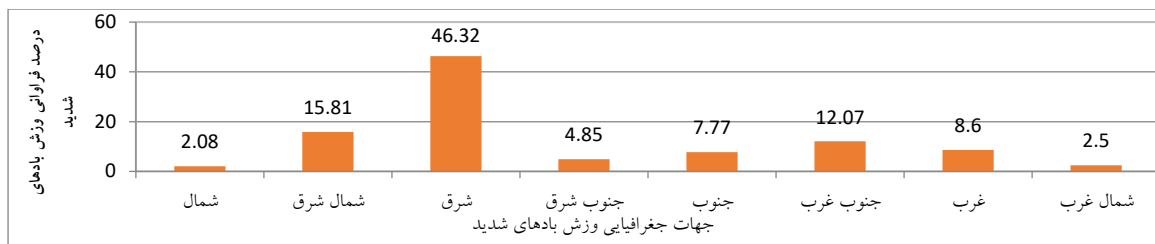
باد در ایجاد توفان های ریزگرد و برداشت مواد ریز از بستر خشک شده دریاچه ارومیه از نقش اولیه برخوردار است. به دلیل این اهمیت در این قسمت به بررسی وضعیت بادهای ایستگاه های هواشناسی بناب و مراغه (جنوب شرق دریاچه) پرداخته شده و در نهایت وضعیت بادهایی با سرعت

بیش از ۸ متربرثانیه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل (۷) گلباد ایستگاه مراغه ارائه شده است. بررسی و تحلیل گزارش هواشناسی از ایستگاه هواشناسی مراغه حاکی از آن است که ۳۸/۵٪ از بادهای این ایستگاه باد آرام (بدون وزش باد) گزارش شده است. با این وجود بیشترین فراوانی بادهای سرعتی ما بین ۷ تا ۲۱ متربرثانیه داشته‌اند که در اغلب موارد از سمت شرق می‌وزند. بررسی بادهای ثبت شده در ایستگاه هواشناسی بناب شرایط نسبتاً مشابهی نسبت به ایستگاه مراغه نشان می‌دهد. در این ایستگاه نیز اغلب بادهای از سمت شرق می‌وزند. البته بادهایی با جهات متفاوت غرب، جنوب غرب و جنوب شرق نیز با فراوانی قابل ملاحظه نیز مشاهده می‌شوند. عمده تفاوت بادهای ثبت شده در ایستگاه بناب با مراغه این است که تقریباً نیمی (۴۶/۶٪) از بادهای منطقه‌ی بناب آرام (بدون وزش باد) گزارش شده است. همچنین سمت وزش بادهای این ایستگاه از تنوع بیشتری برخوردار است. به نظر می‌رسد با توجه به موقعیت ایستگاه بناب در پایکوه سهند و ارتفاع کمتر آن از سطح دریاهای آزاد فراوانی وزش بادهای شدید در این ایستگاه تفاوت قابل ملاحظه‌ای نسبت به ایستگاه مراغه دارد. بررسی بادهای با سرعت ۸ متربرثانیه و بیشتر در این ایستگاه نیز حاکمیت بادهای شرقی (۴۶/۳۲٪ کل بادهای شدید) را در این منطقه به اثبات می‌رساند. اما با وجود این، باید اشاره شود که در این منطقه نیز همانند ایستگاه های دیگر هواشناسی امکان وزش بادهایی با سمت های متفاوت از جمله جنوب غرب و حتی غرب عمل انتشار نمک دریاچه به این منطقه صورت گیرد. از بررسی و مقایسه وضعیت بادهای در ایستگاه های بناب و مراغه می توان استنباط کرد که ایستگاه بناب و عموماً مناطق واقع در دشت های جنوب شرقی دریاچه ارومیه بیشتر از ایستگاه مراغه تحت تاثیر بادهای سینوپتیکی و فرامحلی قرار می گیرند. با این وجود الگوی غالب وزش باد تحت تاثیر کوهستان سهند از سمت شرق جریان می یابد (شکل ۸). به عبارت دیگر برخورداری از بادهای محلی و سینوپتیکی در منطقه جنوب شرق دریاچه باعث تنوع جهت وزش بادهای در این مناطق شده است. نکته مهم در این میان جهت وزش بادهای شدید در این منطقه است که طبق نمودار فوق حاکمیت بادهای شرقی را به اثبات می رساند. به علت اینکه فرکانس بادهای شرقی زیاد است در میانگین سالانه حاکمیت با بادهای شرقی نشان داده می شود. ولی بادهای نیشان بادهای غربی است زمانی که این بادهای می وزند مشکل جابجای ریزگردهای نمکی پدید می آید بررسی شدیدترین بادهای ماهانه ثبت شده در ایستگاه بناب در طول سال های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ (شکل ۹) نشان داد که در اغلب موارد شدیدترین بادهای در ماه های گرم سال و مخصوصاً در طول فصل بهار مشاهده می شوند. در فصول سرد به طور مشخصی از شدت وزش بادهای شدید کاسته می شود. شدیدترین باد ثبت شده در ایستگاه بناب از زمان تاسیس ۲۰ متربرثانیه بوده است که در مهر ۱۳۹۱ گزارش شده است. روند نوسانات شدیدترین بادهای ماهانه در طی دوره آماری نشان داد سرعت بادهای حدی روند افزایش قابل ملاحظه ای داشته است. به طوری که میانگین سرعت بادهای شدید ۲ متربرثانیه افزایش یافته است (شکل ۹).



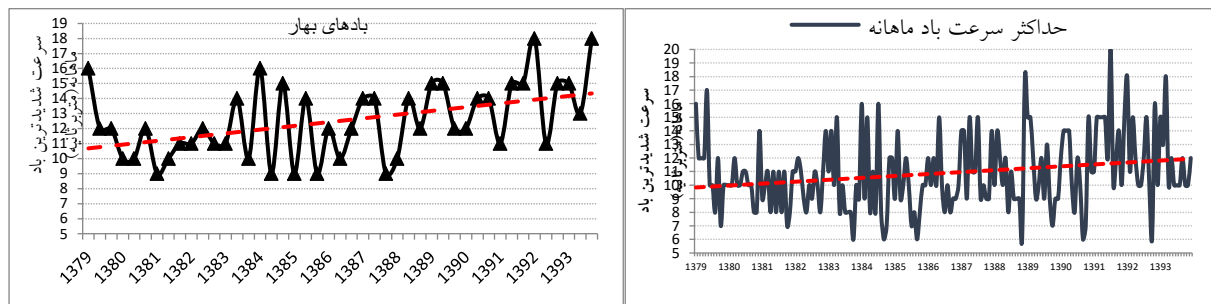
شکل (۷): گلباد ایستگاه هواشناسی مراغه (سمت راست) و بناب (سمت راست) برای کلیه بادهای ثبت شده (۱۳۶۰-۱۳۹۵)

Fig (7): Golbad weather station Maragheh (right side) and Bonab (right side) of all recorded winds (1360-1395)



شکل(۸): نمودار سمت وزش بادهای شدید(سرعت ۸ متربرثانیه و بیشتر) ایستگاه بناب(۱۳۶۰-۱۳۹۵)

Fig(8):Diagram of the direction of strong winds(speed 8 meters per second and more) of Bonab station(1360-1395)



الف ب

شکل (۹): الف) نمودار نوسانات سرعت وزش شدیدترین بادهای ماهانه و ب) نوسانات سرعت وزش شدیدترین بادهای فصل بهار در ایستگاه بناب(۱۳۶۰-۱۳۹۵)

Fig(9): a) Fluctuations in the wind speed of the strongest monthly winds and b) Fluctuations in the wind speed of the strongest monthly winds in the spring season at Bonab station(1360-1395)

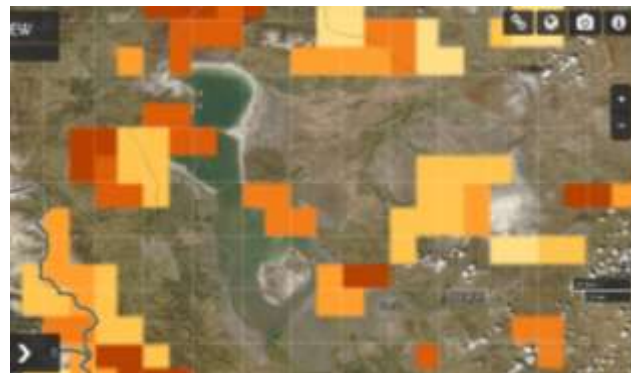
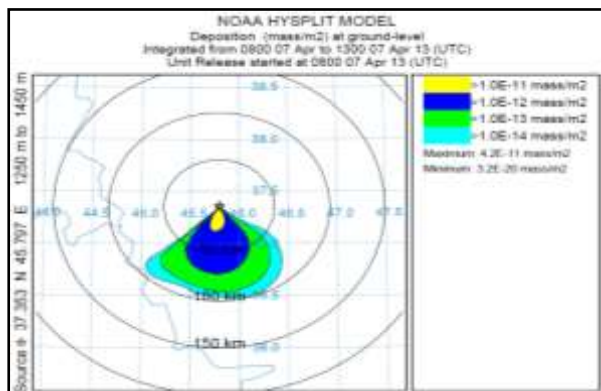
روند فصلی شدیدترین بادهای نشان داد که بیشترین افزایش در شدت بادهای در فصل بهار مشاهده شده است(شکل ۱۰). خط روند ایجاد برای شدیدترین بادهای ماهانه در طول فصل بهار نشان داد که میانگین سرعت بادهای شدید نزدیک به ۴ متربرثانیه افزایش یافته است. این در حالی است که کمترین تغییرات در سرعت بادهای فصل تابستان مشاهده شده است. لذا با این توصیف به نظر می رسد در طی سال های آتی بیشترین توفان های ریزگرد در این منطقه در طول فصل بهار اتفاق خواهد افتاد.

۴- آشکارسازی توفان های ریزگرد در جنوب شرق دریاچه و مدلسازی مسیر و مسافت انتشار آنها

در این مطالعه به منظوراتاثبات وقوع توفان های ریزگرد در منطقه با بکارگیری داده ها و تصاویر ماهواره ای (سنجنده MODIS) و از مدل HYSPLIT استفاده شد. لازم به توضیح است که با توجه به اینکه وقوع توفان های ریزگرد در منطقه مورد مطالعه از طریق باندهای مرئی تصاویر ماهواره ای ممکن نیست، لذا اجرای یکی از شاخص های بارزسازی ریزگردها در روی تصاویر ماهواره ای ضروری است. در این تحقیق از شاخص عمق اپتیکی هواپیزها(AOD) و از مدل HYSPLIT برای شبیه سازی انتشار ریزگردها و از داده هواشناسی ECMWF در ترازهای مختلف جو با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵ در ۰/۵ درجه عرض و طول جغرافیایی استفاده شد. نمونه ای از تصویر ماهواره مودیس به همراه نتایج اجرای شاخص AOD در روز ۰۷ آوریل ۲۰۱۳ در شکل (۱۰) نمایش داده شده است.

در شکل الف ۱۰، اشکال مربعی شکلی که به رنگ های زرد و قهوه ای نشان داده شده اند، حاکی از وجود ریزگردهای مشخص در موقعیت خود می باشند. همانطور که در شکل نیز مشخص است در روز هفتم آوریل در بخش های مختلف شمال غرب ایران توفان های ریزگرد پراکنده ای وجود دارد که در حواشی دریاچه ارومیه و از جمله در جنوب شرق آن توفان مشخص ریزگرد ثابت شده است. با هدف شبیه سازی مسیر و مسافت انتشار ریزگردها در این روز؛ مدل HYSPLIT از موقعیت جغرافیایی ریزگردهای جنوب شرق دریاچه برای مدت زمانی ۱۲ ساعت اجرا شده است. نتایج حاصل از مدل

در شکل (۱۲، ب) نمایش داده شده است. همانطور که در شکل به خوبی مشخص است ریزگردها این منطق به سمت جنوب منتشر شده و در فاصله ۱۲ ساعت در مسافتی حدود ۸۰ کیلومتر منتشر شده اند.

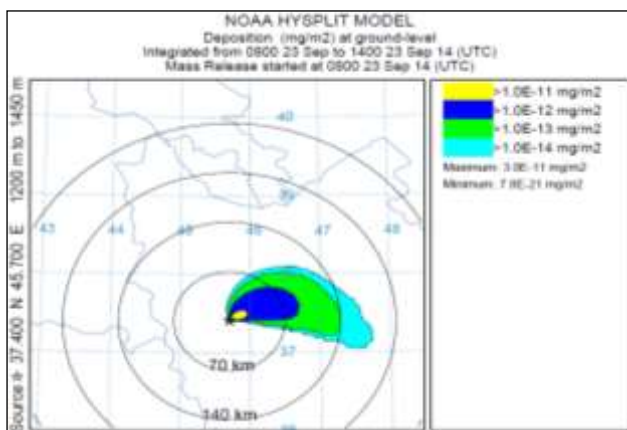


ب

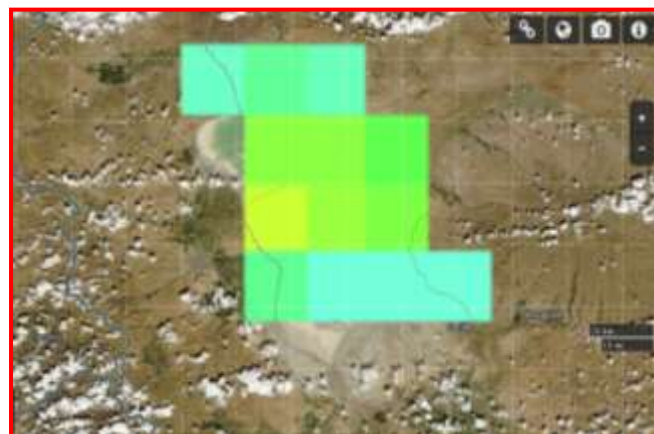
الف

شکل (۱۰): الف) آشکارسازی وقوع توفان ریزگرد در جنوب شرق دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص AOD در روز ۰۷ آوریل ۲۰۱۳ (ب): نتیجه اجرای مدل HYSPLIT در شبیه‌سازی مسیر و مسافت انتشار ریزگردها در روز ۰۷ آوریل ۲۰۱۳

The Fig10: a) Detecting the occurrence of a dust storm in the southeast of Lake Urmia using the AOD index on April 7, 2013. (b): result of the HYSPLIT model implementation in simulating the path and distance of dust particles on April 7, 2013.



ب



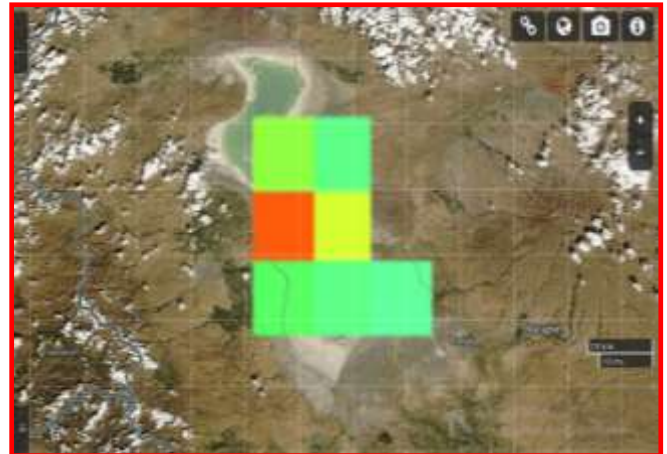
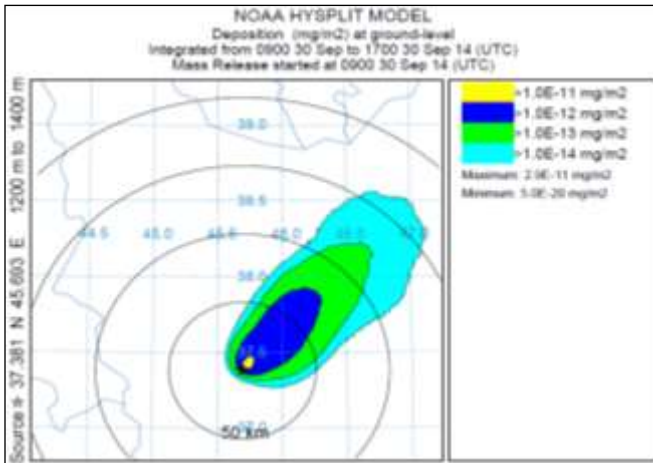
الف

شکل (۱۱): الف) آشکارسازی وقوع توفان ریزگرد در جنوب شرق دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص AOD در روز ۲۳ سپتامبر ۲۰۱۴ (ب): نتیجه اجرای مدل HYSPLIT در شبیه‌سازی مسیر و مسافت انتشار ریزگردها در روز ۲۳ سپتامبر ۲۰۱۴

Fig(11):a) Detecting the occurrence of a dust storm in the southeast of Lake Urmia using the AOD index on September 23, 2014. Web: The result of the HYSPLIT model implementation in simulating the path and distance of dust particles on September 23, 2014.

بررسی روز به روز تصاویر ماهواره مودیس و اجرای شاخص بارسازی ریزگرد، وقوع توفان مشخص گردوغبار را در فراز دریاچه ارومیه و همچنین جنوب شرق دریاچه در روز ۲۳ سپتامبر ۲۰۱۴ را اثبات کرد (شکل ۱۱، الف). همانطور که در تصویر به خوبی مشخص است ریزگردهای نمکی گسترده در تمامی بخش های دریاچه ارومیه و از جمله جنوب شرق دریاچه در محدوده شهرستان بناب قابل تشخیص است. اجرای مدل HYSPLIT از موقعیت جنوب شرق دریاچه در این روز (شکل ۱۲ ب) نشان می دهد که ریزگردهای این بخش در بستر جریانات جوی به سمت شرق و جنوب شرق منتشر شده و تا مسافتی بیش از ۱۴۰ کیلومتر در طی ۱۲ ساعت منتشر شده اند. به عنوان نمونه ای دیگر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وقوع توفان ریزگرد در مناطق میانی و جنوب و جنوب شرق دریاچه ارومیه را در روز ۳۰ سپتامبر ۲۰۱۴ نشان داد (شکل ۱۲) اجرای مدل HYSPLIT در این روز از موقعیت جنوب شرق دریاچه ارومیه نشان می دهد که جریانات جوی در این روز ریزگردها را به سمت شمال شرق انتقال داده و تا بیش از ۱۵۰

کیلومتر منتشر شده اند. نکته مهم در این مورد این است که اغلب شهر های پرجمعیت واقع در دامنه های غربی کوهستان سهند و از جمله کلانشهر تبریز در مسیر انتشار ریزگردها در این روز بوده اند. در روز ۲۳م فوریه ۲۰۱۴ تصویر ماهواره مودیس وقوع توفان ریزگرد مشخصی را در نیمه شرقی دریاچه ارومیه به اثبات رساند. اجرای مدل HYSPLIT از موقعیت جنوب شرق دریاچه ارومیه نشان می دهد که ریزگردها در این روز در ابعاد نسبتاً گسترده تری به سمت جنوب منتشر شده اند. این ریزگردها توان انتشار در مسافتی حدود ۸۰ کیلومتر را داشته اند. در روز دوم مارس ۲۰۱۵ توفان ریزگردی با ابعاد نسبتاً کوچک در جنوب شرق دریاچه ارومیه مشخص شد (شکل ۱۴). اجرای مدل نشان داد که در این روز جریانات جوی باعث انتشار ریزگردها به سمت شرق تا بیش از ۱۲۰ کیلومتر در یک نیم روز شده اند.

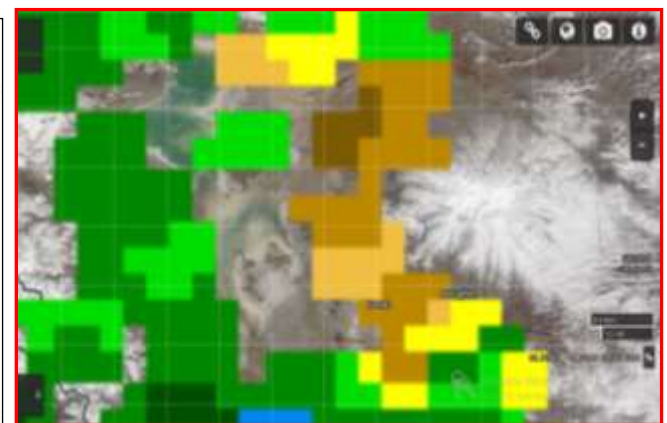
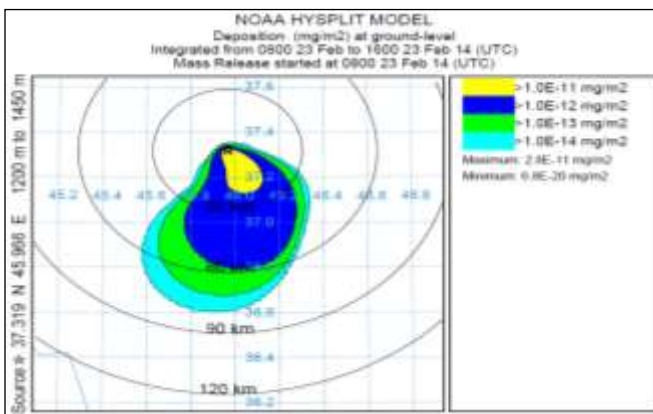


(ب)

(الف)

شکل (۱۲): الف) آشکارسازی وقوع توفان ریزگرد در جنوب شرق دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص AOD در روز ۳۰ سپتامبر ۲۰۱۴ (ب) نتیجه اجرای مدل HYSPLIT در شبیه سازی مسیر و مسافت انتشار ریزگردها در روز ۳۰ سپتامبر ۲۰۱۴

Fig(12): A) Detecting the occurrence of a dust storm in the southeast of Lake Urmia using the AOD index on September 30, 2014. b) The result of the HYSPLIT model implementation in simulating the path and distance of dust particles on September 30, 2014.

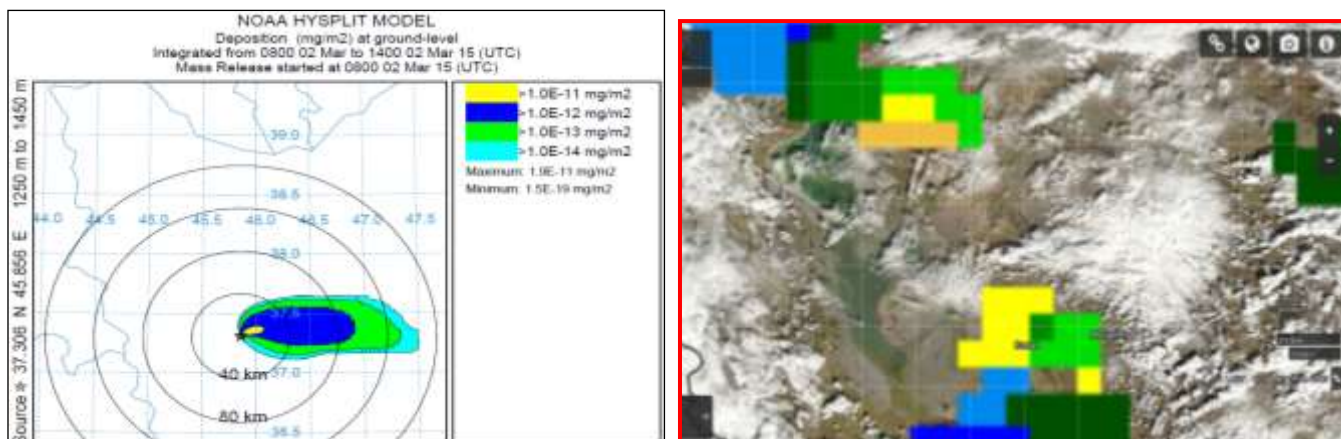


(ب)

الف

شکل (۱۳): الف) آشکارسازی وقوع توفان ریزگرد در جنوب شرق دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص AOD در روز ۲۳ فوریه ۲۰۱۴ (ب): نتیجه اجرای مدل HYSPLIT در شبیه سازی مسیر و مسافت انتشار ریزگردها در روز ۲۳ فوریه ۲۰۱۴

Fig(13): A) Detecting the occurrence of a dust storm in the southeast of Lake Urmia using the AOD index on February 23, 2014. Web: the result of the HYSPLIT model implementation in simulating the path and distance of the dust particles on February 23, 2014.



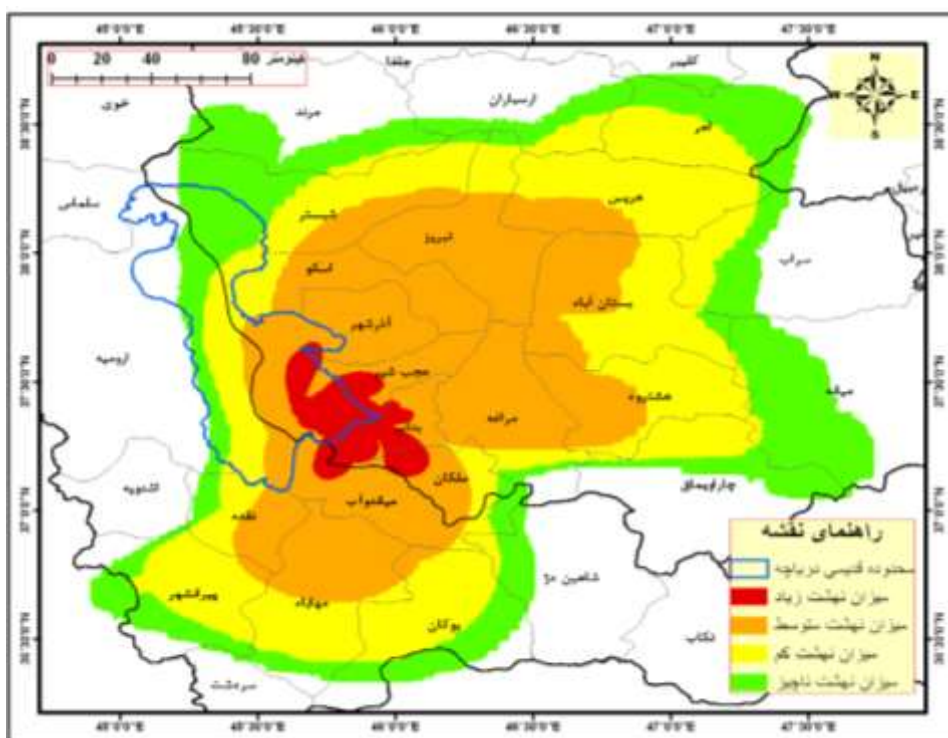
الف (ب)

شکل (۱۴) الف) آشکارسازی وقوع توفان ریزگرد در جنوب شرق دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص AOD در روز ۰۲ مارس ۲۰۱۵ ب): نتیجه اجرای مدل HYSPLIT در شبیه‌سازی مسیر و مسافت انتشار ریزگردها در روز ۰۲ مارس ۲۰۱۵

Fig(14): A) Detecting the occurrence of dust storms in the southeast of Lake Urmia using the AOD index on March 2, 2015. Web: The result of the HYSPLIT model implementation in simulating the path and distance of dust particles on March 2, 2015.

– کانون های فرسایش بادی و پهنه بندی محدوده هایی با پتانسیل انتشار ریزگردها از جنوب شرق دریاچه ارومیه

به منظور ارائه نقشه‌ای پتانسیل انتشار ریزگردها از مناطق جنوب شرقی دریاچه ارومیه، تلاش گردید با شناسایی بیش از ۳۰ مورد توفان ریزگرد مشخص شده توسط تصاویر ماهواره‌ای در فاصله سال های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵؛ برای تک تک آنها مدل HYSPLIT اجرا گردید. سپس نتایج حاصل از آنها به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) منتقل شده و با استفاده از قابلیت های نرم افزاری این سامانه، اطلاعات حاصل از مدل با هم تلفیق شده و پهنه‌های مختلف انتشار ریزگردها از جنوب شرق دریاچه ارومیه استخراج گردید (شکل ۱۵).



شکل (۱۵): نقشه پهنه‌های پتانسیل انتشار ریزگردها از جنوب شرق دریاچه ارومیه

Fig(15): Map of the potential areas of micro dust emission from the southeast of Lake Urmia

همانطور که در نقشه (شکل ۱۵) به خوبی مشخص است با توجه به ابعاد مکانی چشمه های انتشار ریزگرد در جنوب شرق دریاچه ارومیه و توان جریانات جوی حاکم در منطقه، بیشترین میزان نهشت ریزگردهای درحاشیه چشمه های انتشار ریزگرد مورد انتظار است. با توجه به نقشه نهایی می توان گفت که، بیشترین ریزگردها در نیمه غربی شهرستان بناب، جنوب غرب عجب شیر و محدوده قدیمی دریاچه در جنوب شرق می باشد. مسیرهای اصلی انتشار ریزگردها اغلب در دو جهت متفاوت خواهد بود. سمت شرق و شمال شرق و دیگری جنوب و جنوب غرب. بیش از ۱۶ شهرستان استان آذربایجان شرقی (از جمله شهرستان تبریز) و ۵ شهرستان آذربایجان غربی تحت تاثیر ریزگردهای برخاسته از جنوب شرق دریاچه ارومیه خواهند بود. مسافت انتشار ریزگردها به سمت شرق و شمال شرق در مقایسه با جهات جنوبی بیشتر بوده و تا ۱۵۰ کیلومتر در شرایط حدی جوی امکان انتشار ریزگرد وجود دارد.

-نتیجه گیری

روند خشکی محیط و آشفته گی های ناشی از دخالت های انسانی، سطح زمین را بیش از پیش در معرض فرسایش بادی قرار داده است. کاهش رطوبت خاک، گسترش گستره های نمکی و از بین رفتن پوشش گیاهی، سطح زمین را بیش از گذشته در مقابل جولان باد بی حفاظتر نموده و محیط های اطراف را در معرض تهدید ریزگردها قرار داده است. نتایج بررسی ها در محدوده مطالعه، نشان می دهد که در دهه های اخیر، شرایط محیطی، چه به دست طبیعت و چه به دست انسان تغییرات زیادی را متحمل شده است. کاهش بارش افزایش دما و به دنبال آن افزایش تبخیر و خشک شدن دریاچه ارومیه باعث ایجاد دگرگونی های زیادی در چشم انداز منطقه شده است. کاهش بارش، افزایش دما، افزایش سطح زیر کشت، افزایش تعداد سدها، تغییرات بزرگی را در اطراف دریاچه ارومیه بوجود آورده است. عدم بازگشت تراز آب دریاچه ارومیه در اثر برقرار شرایط بارشی نرمال در حوضه آبریز دریاچه ارومیه از اوایل دهه ۱۳۸۰ خود نشانه هایی از بروز چنین تغییراتی در منطقه بوده است. در این دهه به لحاظ اینکه میزان برداشت آب از منابع سطحی و زیرزمینی بیشتر از توان اکولوژیکی محیط بوده است، باعث ادامه روند رو به کاهش تراز آب دریاچه شد روندی که همچنان ادامه دارد و باعث گردیده است که سطح آب دریاچه ارومیه در شهریور ۱۳۹۳ به کمترین حد خود (یعنی ۷٪ کل مساحت دریاچه) برسد. باید اشاره گردد که افزایش دمای هوای حوضه آبریز دریاچه ارومیه در تشدید سرعت خشک شدن دریاچه نقش مضاعفی داشته است. یکی از عوامل مهم دگرگونی های بزرگ و تغییر در شرایط محلی، گسترش سطوح نمکی و افزایش سطح منبع تولید ریزگردها در اطراف دریاچه ارومیه بخصوص در جنوب شرق دریاچه ارومیه است. با توجه به اینکه نمک محلول در آب دریاچه می تواند با خشک شدن کامل آن به صورت ناگهانی و سونامی وار ظاهر گردد (به دلیل انباشت نمک در گودترین قسمت های دریاچه که هنوز مقداری آب دارند و این رطوبت فعلاً مانع حرکت نمک می شود)، هیچ تمهید ضرب الاجلی نخواهد توانست جلوی حرکت چند صد کیلومتری ریزگردها را بگیرد. اهمیت زیاد کاهش تراز آب دریاچه ارومیه و احتمال خشک شدن آن به حدی است که این موضوع را به عنوان یکی از بحران های طبیعی در صدر مطالعات و مباحث محیطی در کشور قرار داده است. طبق نتایج آخرین مطالعات انجام شده، مشخص گردید که در پایین ترین تراز آب دریاچه ارومیه (شهریور ۱۳۹۳) مساحت خاک های شور حاشیه دریاچه بیش از ۸۰۰۰ کیلومتر مربع برآورد شد و همچنین ثابت گردید که ریزگردهای حاوی نمک دریاچه در هنگام وقوع شرایط حدی آب و هوایی قادر است تا ۸۰۰ کیلومتر در مسیر جریان های جوی منتقل شود.

بررسی روزبه روز تصاویر ماهواره مودیس و اجرای شاخص بارزسازی ریزگردها به هنگام وقوع توفان ها در فراز دریاچه ارومیه و همچنین در جنوب شرق دریاچه در روزهای مختلف نشان داد که ریزگردهای نمکی گسترده در تمامی بخش های دریاچه ارومیه و از جمله جنوب شرق دریاچه و در محدوده شهرستان بناب قابل ملاحظه است. ریزگردهای این بخش معمولاً در بستر جریانات جوی به سمت شرق و جنوب شرق منتشر می شوند و تا مسافتی بیش از ۱۴۰ کیلومتر در طی ۱۲ ساعت انتشار می یابند. جریانات جوی دیگری هم هستند که ریزگردها را به سمت شمال شرق انتقال داده و تا بیش از ۱۵۰ کیلومتر منتشر می شوند. نکته مهم در این مورد این است که اغلب شهرهای پرجمعیت واقع در دامنه های غربی کوهستان سهند و از جمله کلانشهر تبریز در مسیر انتشار ریزگردها در این روز بوده اند. تصویر ماهواره مودیس وقوع توفان ریزگرد مشخصی را در نیمه شرقی دریاچه ارومیه به اثبات رساند. بررسی ها در محدوده جنوب شرق دریاچه ارومیه نشان داد که ریزگردها در این روز در ابعاد نسبتاً گسترده تری به سمت جنوب منتشر می شوند. این ریزگردها توان انتشار در مسافتی حدود ۸۰ کیلومتر را دارند. اجرای مدل های بکارگرفته شد نشان می دهد که وزش جریانات جوی باعث انتشار ریزگردها به سمت شرق تا بیش از ۱۲۰ کیلومتر در یک نیم روز می شوند.

References

- Abedini.M., Pasban, A.(2024).Analysis and zoning of soil erosion rate and its relationship with hydrogeomorphic indicators and vegetation (case study: Khiavchai watershed, MeshkinShahr),Hydrogeomorphology.11(38):59-40 ,<https://doi.org/10.22034/hyd.2023.58528.1708>
- Abroosh.S., Mohammad Khan. sh, wealth M and Ghahrodi. M.(1400). Water path and investigation of the movement process of dust production sources in the formation of sand dunes using HYSPLIT model. Case study: East of Qom province, Pasture and watershed magazine, 74(2): 273-286.(Persian)
- Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Fahmi, K., and Abed, S.(2022). Climate Change: Droughts and Increasing Desertification in the Middle East, with Special Reference to Iraq,2022. Engineering, 2(14): 235–273.
- Arkian F. & S. E. Nicholson.(2018). Long-term variations of aerosol optical depth and aerosol radiative forcing over Iran based on satellite and AERONET data, Environ Monit Assess 190(4): 1-15.
- Alfaro ,Stéphane .C.(2008).Influence of soil texture on the binding energies of fine mineral dust particles potentially released by wind erosion, Geomorphology 93 (2): 157–167.
- Alavi ,H.,Solaimani,K.,Shokrian,F.(2024). Esmail Mokhtarpour Investigation of Trend Changes of Hydroclimatic Parameters in Miankaleh Wetland, Mazandaran ,Hydrogeomorphology ,10(37):98-119.(Persian)
- Ardahanlioglu, O., T. Oztas, S. Evren, H. Yilmaz, and Z.N. Yildirim.(2003).Spatial variability of exchangeable sodium, electrical conductivity, soil pH and boron content in salt-and sodium affected areas of the Idgir plain (Turkey). Journal of arid environments.54:495-503.
- Arami, A., Karimi Sangchini, A., Dinarund, M. (1400). Tracking severe dust storms in the southwest of Iran using the HYSPLIT model, application of geographic information system and remote sensing in planning, 13 (47):13 -28.(Persian).
- Ahmadi Jazi, N., Khosravi, H., Zehtabian, G., Khalighi Sigarodi, S., Heydari Alamdarlou, A.(2019). Saturation of the most severe dust storms in the west of Iran using HYSPLIT software, the 4th National Conference on Soil Protection and Watershed Management, Soil Protection and Watershed Management Research Institute, Tehran (Persian).
- Azizi. Q., Miri. M. and Naboi. A.(2011).Tracing the phenomenon of dust in the western half of Iran, Geographical Studies of Dry Areas, year, 7(2): 63-81.
- Barna, R.(2017).Evaluation of the phenomenon of dust and ranking of methods to prevent its effects in Khuzestan Province. Scientific-Research Quarterly of Geographical Information,27(108): 28-40.
- Bolorani, A. D., Ranjbareslamloo, S., Mirzaie, S., Bahrami, H. A., Mirzapour, F., & Tehrani, N. A.(2020). Spectralbehavior of Persian oak under compound stress of water deficit and dust storm. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 88(2): 102082-102102.
- Chan, C. C., & Ng, H. C.(2011). A case-crossover analysis of Asian dust storms and mortality in the downwind areas using 14-year data in Taipei.Science of the Total Environment, 410(4): 47–52.
- Cuevas, E., Camino, C., Benedetti, A., Basart, S., Terradellas, E., Baldasano, J. M., Morcrette, J. J., Marticorena, B., Goloub, P., Mortier, A., Berjón, A., Hernández, Y., Gil-Ojeda, M., and Schulz, M.(2015). The MACC-II 2007–2008 reanalysis: atmospheric dust evaluation and characterization over northern Africa and the Middle East, Atmos.Chem. Phys., 15(6):3991–4024.

- Colarco ,Peter R., Anton S. Darmanov, Edward P. Nowottnick, Arlindo M. da Silva, and Luke D.(2023).Oman2Investigation of observed dust trends over the Middle East region in NASA GEOS ,Earth system model simulations, 41(6):45-70.
- Dehghanpour, A.(1398). Investigating the temporal and spatial changes of AOD and its relationship with the characteristics of cold clouds over Iran using remote sensing data. Journal of Geographical Survey of Space, 9(33):17-30.(Persian).
- Eskandari Doman, H., Mehdi Fatahi, M.(2019). Examining the temporal and spatial changes of the dust phenomenon using the optical depth index obtained from the MODIS sensor. Case study: Qom province (Fourth National Conference on Soil Conservation and Watershed Management, Soil Conservation Research Institute) and Abkhizdari, Tehran
- Feng ,Xiaoming , Yafeng Wang , Liding Chen,Bojie Fu, Gangshuan Bai.(2010).Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau, Geomorphology ,118 (20):239–248.
- Nabi Bid Handi, G., Javanmard, S., Zahtabian, G., Mousavi, M.(1400). The application of WRF-Chem and HYSPLIT models in investigating the center and path of dust (case study: September 2015 dust storm in Tehran), Journal of Atmospheric Sciences, 4(1): 30-44. (Persian).
- Hoseini,A.,Hakimi,S.,Asiabar,A.,Salavati ,M.(2023).Effect of vegetation and soil erosion on the hydro-geochemical quality of surface waters Case study: Qolyan River catchment area, Qalikh region, Lorestan, 10(34):191-167.
- Hosseini, A. and Rostami D. (2017). Analysis and tracking of dust phenomenon in the south and southeast of Iran using the Hysplit model.and the principles of remote sensing, Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 9 (3):109-103.
- Hejazizadeh, Z., Tulabinejad, M., Zarei, Chaghabaki, Z., Amrai, B.(2017).Dust storm monitoring in the western half of Iran, a case study: Dust storm, June 16-19, 2015, Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 5(4):107-120.
- Hamzeh.N., Fatahi.A., Dzoljudi, M., Ghafarian.P. and Ranjbar Abadabadi.A.(2015). Synoptic and dynamic analysis of round phenomenon.and dust and its simulation in the southwest of Iran in the summer of 2014. Journal of Spatial Analysis and Environmental Hazards, 3(1):102-91
- Hugenholtz ,C.H.,T, S.A. Wolfe.(2005).Biogeomorphic model of dunefield activation and stabilization on the northern Great Plains, Geomorphology 70 (5) :53–70
- Hugenholtz ,Chris H. , Stephen A. Wolfe.(2010).Rates and environmental controls of aeolian dust accumulation, Athabasca River Valley, Canadian Rocky Mountains, Geomorphology 121 (10) :274–282.
- Hashizume, M., Kim, Y., Ng, C. F. S., Chung, Y., Madaniyazi, L., Bell, M. L., et al. (2020). Health effects of Asian dust: A systematic review and meta-analysis. Environmental Health Perspectives, 128, PMC7319773.
- Jamali, A., Qane Ezzabadi, N., Azder, S.(2019).The application of satellite images in the study of dust changes during the last 40 years in the western and southwestern regions of the country and Iran's neighbors and its relationship with wind and vegetation. The 4th National Conference on Soil Protection and Watershed Management, Soil Protection and Watershed Management Research Institute, Tehran.
- Kargar. A, Badag Jamali. C, Ranjbar Saadatabadi. A., Moin Al-Dini M. and Gehstasab H.(2015). Simulation and Numerical Analysis of Storm Severe dust in eastern Iran, Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, 3(4):101-119.

- Ki Khosravi, A., Hasli, M.(2016).Simulation of the trajectories of several examples of severe dust storms in Kermanshah province from a perspective.and the model.HYSPLIT Natural Geography,42(10): 59-82.
- Ginoux, P., Prospero, J. M., Gill, T. E., Hsu, N. C., & Zhao, M.(2012).Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS deep blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3):30-45.
- Li, Z. H., Chen, L., Li, M. Q., & Cohen, J.(2018). Prenatal exposure to sand and dust storms and children's cognitive function in China: A quasi-experimental study. *The Lancet Planetary Health*, 2(5), E214–E222.
- Lien, W.-H., Owili, P. O., Muga, M. A., &Lin, T.-H.(2019). Ambient particulate matter exposure and under-five and maternal Deaths in Asia.*International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20), 3855-3868.
- Mahowald, N. M., Kloster, S., Engelstaedter, S., Moore, J. K., Mukhopadhyay, S., McConnell, J. R.,(2010). Observed 20th century desert dust variability: Impact on climate and biogeochemistry. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(22), 10875–10893.
- Mori, I., Nishikawa, M., Tanimura, T., & Quan, H. (2003). Change in size distribution and chemical composition of kosa (Asian dust) aerosol during long-range transport. *Atmospheric Environment*, 37(30):4253–4263.
- Moradi, A., Taheri Abkenar, K., Afshar Mohammadian, M., Shabaniyan, N.(2017). Effects of dust on forest tree health in Zagros oak forests, *Environmental Monitoring Assessment*, 189(4): 549-559.
- Motaghian,M.,Ghazavi,R.,Alavinia,H.(2024).Presenting the best management plan for the comprehensive management of Doabi watershed in Tehran province using SWOT and QSPM matrix, *Hydrogeomorphology*.11(38):140-123.<https://doi.org/10.22034/hyd.2024.59630.1716>
- Otani, S., Onishi, K., Mu, H., Yokoyama, Y., Hosoda, T., Okamoto, M., & Kurozawa, Y.(2012).The relationship between skin symptoms and allergic reactions to Asian dust. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(12), 4606–4614.
- Ouzzani, M., Hammady, H., Fedorowicz, Z., & Elmagarmid, A.(2016). Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, 5(1): 210-230.
- Rajabi,M and Bayati Khatibi.(1390).The Geomorphology of Northwest Iran.Tabrizz University Pub.Tabriz.Iran(Persian).Book.
- Ravi ,Sujith , David D. Breshears , Travis E. Huxman , Paolo D'Odorico.(2010).Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic–aeolian erosion and vegetation dynamics, *Geomorphology* 116 (0): 236–245
- Rivandi, A; Mirrakani, M., Mohammadiha, A. (2012). Investigating the formation and spread of dust storms entering the west and southwest of Iran with Using Lagrangian diffusion model of particles. *HYSPLIT Climatology Research*, 42(12): 1-16.
- Salahi, B; Nohagar, A., Behrouzi, M.(2018). Diagnosing dust sources of different levels of Sanandaj atmosphere using HYSPLIT model In order to manage environmental risks. *Quarterly Journal of Geography and Regional Planning*, 12(9): 83-95.
- Shua'i, Z, Karimi, A., Azrian, A. (2019). Investigating the trend of changes in dust storms in Iran (2008-2019), 4th National Conference on Soil Protection and Watershed Management, Soil Protection and Watershed Management Research Institute, Tehran.
- Shen, Junying Sun, Huizheng Che, Yangmei Zhang, Chunhong Zhou, Ke Gui, Wanyun Xu, Quan Liu, Junting Zhong, Can Xia, Xinyao Hu, Sinan Zhang, Jialing Wang, Shuo Liu, Jiayuan Lu, Aoyuan Yu,

- and Xiaoye Zhang.(2023).Characterization of dust-related new particle formation events based on long-term measurement in the North China Plain Xiaojing, *Atmos.Chem. Phys.*, 12(23): 8241–8257.
- Shao, Y., Wyrwoll, K. H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G. H., et al. (2011). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Res*, 2(4):181–204.
- Sahraei,C, Mubarak Hassan. A., Mohammadi.N.(2018).The role of the Zagros mountain range on the transport of dust from Iraq to the west of Iran using From the model, WRF/Chem, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 32(32): 119-134.
- Tai Semirmi, S., Moradi, H., Khodaqoli, M.(2019). Identifying and investigating the factors affecting the phenomenon of dust in the west of Iran, *Human and Environment Quarterly*, 23(27):1-10.
- Tobías, A., & Stafoggia, M.(2020).Modeling desert dust exposures in epidemiologic short-term health effects studies. *Epidemiology*, 31(6):788–795.
- Turkashund, M.(2017).Modeling the circulation of atmospheric regions in the event of the most severe spring dust storm in the west of Iran, *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 5(2): 54-34.
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., et al. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7):467–473.
- Yetemen ,Omer , Erkan Istanbuluoglu , Enrique R. Vivoni.(2010).The implications of geology, soils, and vegetation on landscape morphology:Inferences from semi-arid basins with complex vegetation patterns in Central New Mexico, USA, *Geomorphology* 116 (10) :246–263.
- Querol, X., Tobías, A., Pérez, N., Karanasiou, A., Amato, F., Stafoggia, M.(2019). Monitoring the impact of desert dust outbreaks for air quality for health studies. *Environment International*, 130(4):104867-104890.
- Zhang, X., Zhao, L., Tong, D. Q., Wu, G., Dan, M., & Teng, B.(2016). A systematic review of global Desert Dust and associated human health effects. *Atmosphere*, 7(12): 158-170
- Zand, M., Almasian, F.(2019). Determining the relationship between climate change and the intensification of the dust phenomenon in the west of Yazd, the 4th National Conference on Soil Protection and Watershed Management, Soil Protection and Watershed Management Research Institute, Tehran.