

بسم الله الرحمن الرحيم

# مدلسازی گسترش طوفان نمک از دریاچه ارومیه در محیط GIS

نویسنده:

امین گلصنم لو





|                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه                | گلصنم‌لو، امین، ۱۳۶۲-                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| عنوان و نام پدیدآور    | مدلسازی گسترش طوفان نمک از دریاچه ارومیه در محیط GIS/ نویسنده امین گل صنم‌لو.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| مشخصات نشر             | خوی: شعر سپید، ۱۴۰۱.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| مشخصات ظاهری           | ۱۲۸ ص.: مصور(رنگی)، جدول، نمودار(رنگی).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| شابک                   | : : ۹۷۸-۶۲۲-۶۱۵۰-۵۲-۱                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| وضعیت فهرست نویسی      | فیا:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| بادداشت                | کتابنامه: ص. ۱۰۶-۱۱۴.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| موضوع                  | هوا -- آلودگی -- ایران -- نمونه‌پژوهی<br>Air -- Pollution -- Iran -- Case studies<br>هوا -- آلودگی -- ایران -- جنبه‌های زیست محیطی -- نمونه‌پژوهی<br>Air -- Pollution -- Environmental aspects -- Iran -- Case studies<br>توفان‌های غبار -- ایران -- جنبه‌های زیست‌محیطی -- نمونه‌پژوهی<br>Dust storms -- Iran -- Environmental aspects -- Case studies<br>دریاچه ارومیه -- اوضاع زیست‌محیطی<br>Urmia Lake (Iran) -- Environmental conditions |
| ده بندی کنگره          | TD۸۸۳/۷:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| ده بندی دیویی          | ۵۳۰۹۵۵/۶۲۸:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| شماره کتابشناسی ملی    | ۹۱۴۷۶۶۱:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| طلاعات رکورد کتابشناسی | فیا:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



**ناشر: شعر سپید**

**[مدلسازی گسترش طوفان نمک از دریاچه ارومیه در محیط GIS]**

**نویسنده: امین گلصنم لو**

- طراح جلد: آزاده علیپور اقدم
- صفحه آرائی: شعر سپید
- شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
- نوبت چاپ: اول ۱۴۰۲
- شابک: ۱-۵۲-۶۱۵۰-۶۲۲-۹۷۸ / 1-52-6150-622-978
- تعداد صفحه: ۱۲۴ صفحه
- قطع: وزیری
- قیمت: ۹۵۰۰۰ تومان

**حق چاپ محفوظ است**

انتشارات شعر سپید/ سازمان مردم نهاد بنیاد قلم فارابی

آدرس: خوی/بلوار شهید چمران/نرسیده به میدان شهید مطهری

همراه: ۰۹۱۴۷۲۰۷۸۸۲

[www.farabips.com](http://www.farabips.com)



9786226150477



این کتاب ارزنده را ضمن تشکر و سپاس بیکران

و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می‌نمایم به:

محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم و همسر مهربانم به خاطر همه‌ی تلاشهای محبت آمیزی که در دوران مختلف زندگی ام انجام داده‌اند.

پروردگارا حسن عاقبت، سلامت و سعادت را برای آنان مقدر نما.

خدایا توفیق خدمتی سرشار از شور و نشاط و همراه و همسو با علم و دانش و پژوهش جهت رشد و شکوفایی ایران کهنسال عنایت بفرما.

## سخن نخست:

در این کتاب پژوهشی با استفاده از مدل انتشار اتوماتای سلولی می‌خواهیم گسترش طوفان نمک را در دریاچه ارومیه مدسازی کنیم، اتوماتای یادگیر سلولی مدلی برای سیستم‌هایی است که از اجزاء ساده‌ای تشکیل شده‌اند و رفتار هر جزء بر اساس رفتار همسایگان و نیز تجربیات گذشته‌اش تعیین و اصلاح می‌شود. اجزاء ساده تشکیل دهنده این مدل، از طریق کنش و واکنش با یکدیگر می‌توانند رفتار پیچیده‌ای از خود نشان دهند. اتوماتای یادگیر سلولی ناهمگام باز برخلاف اتوماتای یادگیر سلولی که در آن تمامی سلولها بطور همگام بروز می‌شوند، سلولها را بطور ناهمگام بروز می‌کند. همچنین حالت هر سلول علاوه بر حالات همسایه‌های آن به یک عامل خارجی نیز بستگی دارد. در این تحقیق می‌خواهیم این مدل را برای گسترش طوفان نمک بکار گیریم.

خشکی دریاچه ارومیه با بستری از رسوب‌های نمک در معرض هوا و وزش باد، تغییرات چشمگیری در وضعیت گرمایی، بیلان انرژی و نیز پراکنش ذرات معلق اطراف دریاچه ایجاد می‌کند. با بکارگیری مدل‌سازی اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای، این امکان وجود دارد تا با استفاده از سناریوهای مختلفی مانند خشک یا پر بودن دریاچه، تاثیر آن بر شرایط اقلیمی منطقه شبیه‌سازی شود. در این مطالعه با بهره‌گیری از داده‌های سه ساعته جهت و سرعت باد در ایستگاه‌های همدید گرداگرد دریاچه‌ی ارومیه و با استفاده از مدل انتشار و اتوماتای سلولی بررسی گردید. بادهای غربی در ایستگاه ارومیه، بادهای شمالی در ایستگاه خوی، بادهای جنوبی در مهاباد، و بادهای شرقی در دو ایستگاه مراغه و تبریز، بادهای غالب در مقیاس ماهانه و سالانه معرفی شدند. خروجی گرافیکی باد روی دریاچه، گویای جهت‌گیری بادهای همگرا از پیرامون دریاچه و باد غالب شمالی است که پراکنش ذرات

معلق را بطور غالب در جهت جنوب و جنوبغرب دریاچه نشان می دهد. پراکنش و گسترش ذرات معلق در ساعات غروب و شبانه مشهودتر است. مطابق با جهت وزش بادهای به دست آمده از ایستگاههای هواشناسی، جهت باد غالب روی دریاچه از پیرامون همگرا شده و در جهت جنوبی کانالیزه می شود، بنابر نتایج به دست آمده از مدل سازی اقلیمی انجام شده، مناطق جنوب و جنوب غربی دریاچه که از دسته ی حاصلخیزترین زراعی و باغی منطقه هستند، در معرض بیشترین تهدید پراکنش نمک دریاچه ی ارومیه خواهند بود.





## فهرست مطالب

### کلیات

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| مقدمه .....                                         | ۱۵ |
| تعریف آلودگی هوا .....                              | ۱۹ |
| تعریف آلاینده‌های اولیه و ثانویه .....              | ۲۰ |
| تقسیم بندی آلودگی هوا .....                         | ۲۰ |
| منابع آلاینده‌های هوا .....                         | ۲۳ |
| منابع طبیعی .....                                   | ۲۳ |
| منابع انسانی: صنعتی، شهری و کشاورزی .....           | ۲۴ |
| عوامل تاثیرگذار در روند آلودگی هوا .....            | ۲۵ |
| خصوصیات هواشناسی .....                              | ۲۵ |
| شکل توپوگرافی .....                                 | ۲۶ |
| خصوصیات آلاینده‌ها .....                            | ۲۶ |
| روش انتشار آلاینده‌ها .....                         | ۲۶ |
| مدلهای مطالعه گرد و غبار .....                      | ۲۶ |
| مدلسازی آلودگی هوا .....                            | ۲۹ |
| آلاینده‌های مهم هوا در طوفانهای گرد و غبار .....    | ۳۱ |
| ذرات معلق کمتر از دو و نیم میکرون: $PM_{2.5}$ ..... | ۳۲ |

|    |                                                      |
|----|------------------------------------------------------|
| ۳۲ | ذرات معلق کمتر از ده میکرون : PM <sub>۱۰</sub> ..... |
| ۳۴ | توفان‌های گرد و غباری .....                          |
| ۳۴ | مفهوم کاربری و پوشش اراضی .....                      |
| ۳۵ | استخراج پوشش و کاربری اراضی .....                    |

#### مواد و روش و منطقه مورد مطالعه

|    |                                              |
|----|----------------------------------------------|
| ۶۱ | ابزارهای مورد نیاز.....                      |
| ۶۲ | مواد .....                                   |
| ۶۲ | نرم افزارهای مورد استفاده.....               |
| ۶۶ | مراحل تحقیق .....                            |
| ۶۶ | نرم افزار .....                              |
| ۶۸ | معرفی منطقه مورد مطالعه .....                |
| ۷۱ | چگونگی پیدایش منطقه مورد مطالعه .....        |
| ۷۲ | وضعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه .....      |
| ۷۳ | وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه .....     |
| ۷۴ | ویژگی اقلیمی منطقه مورد مطالعه .....         |
| ۷۷ | هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه .....            |
| ۸۰ | جزایر مهم منطقه مورد مطالعه .....            |
| ۸۱ | ویژگی‌های زیست محیطی منطقه مورد مطالعه ..... |

#### یافته‌ها

## پیشنهاد، نتیجه‌گیری و تحلیل فرضیات

|              |     |
|--------------|-----|
| نتیجه‌گیری   | ۱۱۱ |
| پیشنهاد      | ۱۱۲ |
| تحلیل فرضیات | ۱۱۴ |
| <u>منابع</u> | ۱۲۰ |

## فهرست جداول و شکل ها

| صفحه      | شکل ها                                                                                  | فهرست<br>جداول |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| ۵۸ .....  | شکل (۱-۳) موقعیت منطقه مورد مطالعه.....                                                 |                |
| ۸۳ .....  | شکل (۱-۴) شکل کلی دریاچه ارومیه.....                                                    |                |
| ۸۶ .....  | شکل (۲-۴) تصویر بخش شمالی دریاچه ارومیه در سال ۱۹۸۵.....                                |                |
| ۸۶ .....  | شکل (۳-۴) تصویر بخش شمالی دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰.....                                |                |
| ۸۷ .....  | شکل (۴-۴) تصویر بخش مرکزی دریاچه ارومیه در سال ۱۹۸۵.....                                |                |
| ۸۷ .....  | شکل (۵-۴) تصویر بخش مرکزی دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰.....                                |                |
| ۸۸ .....  | شکل (۶-۴) تصویر بخش جنوبی دریاچه ارومیه در سال ۱۹۸۵.....                                |                |
| ۸۸ .....  | شکل (۷-۴) تصویر بخش جنوبی دریاچه ارومیه در سال ۱۹۸۵.....                                |                |
| ۸۹ .....  | شکل (۸-۴) نقشه حریم بندی دریاچه ارومیه.....                                             |                |
| ۹۱ .....  | شکل (۹-۴) نقشه جمعیتی حاشیه دریاچه ارومیه.....                                          |                |
| ۹۲ .....  | شکل (۱۰-۴) نقشه جهت وزش باد در حاشیه دریاچه ارومیه.....                                 |                |
| ۹۳ .....  | شکل (۱۱-۴) نقشه سطوح ارتفاعی اطراف دریاچه ارومیه.....                                   |                |
| ۹۴ .....  | شکل (۱۲-۴) نقشه کاربری اراضی حاشیه دریاچه ارومیه.....                                   |                |
| ۹۸ .....  | شکل (۱۳-۴) نمودار مقایسه‌ای ساعتی دما و رطوبت هوا در موقعیت دریاچه ارومیه.....          |                |
| ۹۹ .....  | شکل (۱۴-۴) نمودار مقایسه‌ای ساعتی دما و رطوبت هوا در موقعیت دریاچه ارومیه.....          |                |
| ۱۰۰ ..... | شکل (۱۵-۴) نمودار مقایسه‌ای ساعتی ارتفاع لایه‌های آمیخته در موقعیت دریاچه‌ی ارومیه..... |                |
| ۱۰۱ ..... | شکل (۱۶-۴) رابطه سرعت بحرانی و اندازه ذرات توسط بنگوله.....                             |                |
| ۱۰۳ ..... | شکل (۱۷-۴) جهت و سرعت وزش باد ساعتی به دست آمده از مدل در موقعیت جزیره‌ی کبودان.....    |                |

## فهرست جداول و شکل ها

شکل (۴-۱۸) ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلوم در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات ۱۸، ۱۲، ۲۴ (۲۰۰۶. ۸. ۲۳) ..... ۱۰۲

شکل (۴-۱۹) سرعت باد و حجم ساعتی ذرات مغلق ۵.۲ میکرون در شرایط دریاچه خشک در موقعیت جزیره کبودان..... ۱۰۳

شکل (۴-۲۰) ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلوم در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات ۱۸، ۱۲، ۲۴ (۲۰۰۳. ۶. ۲۸) ..... ۱۰۴

شکل (۴-۲۱) سرعت باد و حجم ساعتی ذرات مغلق ۵.۲ میکرون در شرایط دریاچه خشک در موقعیت جزیره کبودان..... ۱۰۵

شکل (۴-۲۲) ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلوم در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات ۱۸، ۱۲، ۲۴ (۲۰۰۳. ۵. ۲۸) ..... ۱۰۵

شکل (۴-۲۳) سرعت باد و حجم ساعتی ذرات مغلق ۵.۲ میکرون در شرایط دریاچه خشک در موقعیت جزیره کبودان..... ۱۰۷

شکل (۴-۲۲) ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلوم در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات ۱۸، ۱۲، ۲۴ (۲۰۰۳. ۱۰. ۲۹) ..... ۱۰۷

شکل (۴-۲۳) سرعت باد و حجم ساعتی ذرات مغلق ۵.۲ میکرون در شرایط دریاچه خشک در موقعیت جزیره کبودان..... ۱۰۷

## علائم اختصاری

---

|                                          |                         |
|------------------------------------------|-------------------------|
| <b>AQCC</b> Air Quality Control Company  | هوا کیفیت کنترل شرکت    |
| <b>CO</b> Carbon monoxide                | مونوکسید کربن           |
| <b>CO<sub>2</sub></b> Carbondioxide      | اکسید دی کربن           |
| <b>GIS</b> Geographic Information System | سیستم اطلاعات جغرافیایی |
| <b>O<sub>2</sub></b> Oxygen              | اکسیژن                  |
| <b>O<sub>3</sub></b> Ozone               | اوزن                    |
| <b>ppb</b> parts per billion             |                         |
| <b>ppm</b> parts per million             | قسمت در میلیون          |
| <b>SO<sub>2</sub></b> Sulfur dioxide     | دی گوگرد اکسید          |
| <b>SPM</b> SuspendedParticulateMatter    | ذرات معلق               |

## مقدمه

مدل پراکندگی آلاینده‌های اتمسفر علاوه بر کمک به پیش بینی آلودگی هوا، اطلاعاتی درباره چگونه در معرض قرار گرفتن انسان و محیط‌زیست به آلاینده در شرایط هواشناسی متفاوت در اختیار ما قرار می‌دهند. با توجه به اثرات آلودگی هوا بر روی محیط‌زیست طبیعی و فعالیت‌های انسانی، در بسیاری از کشورها، سازمان‌ها و دولت پروتکل‌هایی ملی را با دستورالعمل‌ها و راهبردهایی که شامل بسیاری از آلاینده‌های جوی است، در راستای حفاظت از محیط‌زیست و جمعیت، توسعه داده‌اند. چندین استانداردهای زیست محیطی ملی (NES) که در اغلب کشورها توسط سازمان‌های محیط‌زیست برای بهبود اثرات سوء بر مردم و محیط‌زیست توسعه یافته‌اند، شامل ۱۴ استاندارد برای جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای سمی و ذرات معلق در هوا؛ مانند دی اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>) و ذرات معلق با قطر آیرودینامیکی ۱۰ میکرومتر (PM<sub>10</sub>)؛ و حفاظت از کیفیت هوا می‌باشند. با تسریع روند خشک شدن دریاچه و احتمال شکل‌گیری طوفان‌های گرد و غباری و تبدیل دریاچه ارومیه به یک پهنه برداشت ذرات، اثرات سو بر روی زندگی مردم منطقه و محیط

زیست خواهد گذاشت، پیش‌بینی آلودگی هوا ناشی از آن و شناسایی اینکه تا چه محدوده ای از این حوضه مورد مخاطره می‌باشد، ضروریست.

در سال‌های گذشته تحت تاثیر عوامل مختلف انسانی و طبیعی، سطح آب دریاچه ارومیه به پایین‌تر از سطح بحران رسیده‌است. خشکسالی، کاهش میزان بارندگی و آب‌های جاری منطقه، احداث سدهای متعدد و افزایش شدید سطح زیر کشت از مهم‌ترین عوامل افت سطح آب‌های زیر زمینی دشت‌های پیرامون دریاچه محسوب می‌شوند. در نتیجه کاهش سطح آب و افزایش میزان تعرق و تبخیر از سطح دریاچه، میزان غلظت نمک به بالاتر از ۴۰۰ گرم در لیتر رسیده‌است. از این رو بستر دریاچه را بصورت ذرات ریز و درشت نمک پوشانده‌است (شمسی پور، ۱۳۹۲).

خشک شدن دریاچه ارومیه بستری از نمک را باحجم تقریبی ۵ میلیارد تن و سایر املاح بر جای می‌گذارد که می‌تواند همه اراضی کشاورزی دو استان آذربایجان شرقی و غربی را نابود کند (جمشیدی، ۱۳۸۷). خالی شدن روستاهای اطراف، خشکیدن قنات، شور شدگی خاک و ایجاد سونامی نمک، کویری شدن و خشک شدن مناطق کشاورزی، شیوع انواع بیماری‌ها، بیکاری، فقر و تغییر اقلیم منطقه در دراز مدت، از پیامدهای خشکی دریاچه‌است. پهنه آبی این دریاچه ۵۰۰۰ کیلومتر مربع بوده و میزان تبخیر از سطح آن ۵ میلیارد متر مکعب در سال برآورد می‌شود (مهندسین مشاورپوش پژوه پارلاق، ۲۰۰۹). اگر این پهنه‌ی آبی از منطقه حذف شود، تغییرات چشمگیری در اقلیم منطقه و توازن انرژی در آن رخ می‌دهد و در پی آن، افزایش دما و تغییرات در نوع گونه‌های گیاهی و طول دوره رشد گیاهان منطقه پدید خواهد آمد. مسئله دیگر پدیدار شدن بیابان نمک و انعکاس بالای نور خورشید و در نتیجه، حرکت افقی هوای گرم اطراف به دریاچه می‌شود.



بادهای نمکی، سبب از بین بردن بهترین مزارع در حاشیه دریاچه می‌شوند. افزایش فراوانی طوفان‌ها در حوالی دریاچه از عوارض اقلیمی است که سبب انتقال گرد و غبار و نمک‌ها به مناطق اطراف می‌شود.

در نتیجه با وجود آمار بسیار بالای نمک در منطقه، بادهای غالب تبدیل به یک سونامی غبار نمک خواهند شد. این تحقیق به دنبال کشف کاربردهای فناوری‌های نوین مانند RS و GIS در مدیریت این مساله می‌باشد. ضرورت انجام این تحقیق در مرحله اول مربوط به شناسایی تا چه محدوده‌ای از این حوضه مورد مخاطره می‌باشد و در مرحله‌های بعدی شناسایی مناطق پرخطر، شهرهای در معرض آسیب، که چه میزان از جمعیت استان در تهدید بیماری حاصل از این گرد و غبار نمک می‌باشند. که ما با استفاده از تصاویر MODIS و انجام تصحیحات با توجه به شاخص NDDI می‌توان میزان گرد و غبار را بدست آورد، و از طریق تحلیل‌های GIS با توجه به امکانات درونیابی و با لحاظ پارامترهای سرعت و جهت باد غالب، توپوگرافی منطقه (شیب، جهت شیب، منظر و مدل ارتفاعی رقومی منطقه) به هدف خود دست یابیم. تحقیق حاضر که هدف اصلی آن تعیین مناطق پر خطر (از نظر گرد و غبار نمک) بعد از خشک شدن دریاچه ارومیه می‌باشد، با تاکید بر محدوده‌ی دریاچه ارومیه بصورت جزئی و شمال غرب کشور بصورت کلی است.

دریاچه ارومیه یکی از بزرگترین دریاچه‌های شور دائمی جهان و بزرگترین دریاچه خاورمیانه است. با خشک شدن دریاچه بستری پوشیده از نمک برجای می‌ماند. این ذرات نمک معلق نه تنها کشاورزی و پوشش گیاهی منطقه را نابود می‌کنند بلکه بر اثر وزش باد، طوفان‌های نمک را ایجاد خواهند کرد. ذرات نمک به همراه گرد و غبار معدنی بخشی از ریزگردهای تروپوسفری هستند. ریزگردهای تروپوسفری تهدیدی برای سلامت افراد به

ویژه عاملی برای ناراحتی‌های تنفسی هستند (۱۰). هم‌چنین با کاهش فتوسنتز بر اکوسیستم تأثیر گذاشته و موجب تخریب سازه‌ها بر اثر خوردگی می‌شوند (۱۶). ریزگردها هم‌چنین سبب تغییر اقلیم می‌شوند (۱۰). این ذرات باعث تعدیل اثرات تابشی و توزیع گرما در جو می‌شوند و با اثر روی شکل‌گیری ابرها، چرخه هیدرولوژیکی را تغییر می‌دهند (۲). با ادامه روند خشک‌شدن دریاچه ارومیه، برای ساکنین اطراف دریاچه، سرنوشتی مشابه آنچه برای ساکنین اطراف دریای آرال رخ داد، وجود دارد. طوفان‌های نمک ناشی از خشک‌شدن دریای آرال، بر سلامت ساکنین منطقه اثر گذاشته‌است. مدل‌های متفاوتی برای مطالعه طوفان‌های گرد و غبار در سطح منطقه‌ای و یا جهانی طراحی شده و به کار رفتند و دریاچه ارومیه در حال خشک‌شدن است و هنوز تحقیق دقیقی درمورد تأثیر خشک‌شدن آن بر کیفیت هوا در مقیاس محلی انجام نشده‌است. هدف از این مطالعه، تخمین تأثیر خشک‌شدن دریاچه ارومیه بر کیفیت هوای شهرهای اطراف دریاچه ارومیه است.

مدل پراکندگی آلاینده‌های اتمسفر کمک به پیش بینی آلودگی هوا می‌کند و اطلاعاتی درباره چگونه در معرض قرار گرفتن انسان و محیط‌زیست به آلاینده در شرایط هواشناسی متفاوت به ما می‌دهد. با توجه به اثرات آلودگی هوا بر روی محیط‌زیست طبیعی و فعالیت های انسانی، در بسیاری از کشورها، سازمان‌ها و دولت پروتکل‌هایی ملی را با دستورالعمل ها و راهبردهایی که شامل بسیاری از آلاینده‌های جوی است، در راستای حفاظت از محیط زیست و جمعیت، توسعه داده‌اند. چندین استانداردهای زیست محیطی ملی (NES) که در اغلب کشورها توسط سازمان‌های محیط‌زیست برای بهبود اثرات سوء بر مردم و محیط زیست توسعه یافته‌اند، شامل ۱۴ استاندارد برای جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای سمی و ذرات معلق در هوا؛ مانند دی اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>) و ذرات معلق با قطر آیرودینامیکی ۱۰ میکرومتر (PM<sub>10</sub>)؛ و حفاظت از کیفیت هوا می‌باشند.

## تعریف آلودگی هوا

آلودگی هوا وجود یک یا چند آلوده کننده در هوای آزاد با کمیت‌ها، ویژگی‌ها و زمان ماند که برای زندگی انسان، گیاهان یا حیوانات و برای اموال مضر باشند و یا بطور غیر قابل قبولی مخل استفاده راحت از زندگی گردد.

تعریف دیگری از آلودگی هوا عبارت است از وجود هر نوع آلاینده اعم از جامد، مایع، گاز و یا تشعشع پرتوزا و غیرپرتوزا در هوا به تعداد و در مدت زمانی که کیفیت زندگی را برای انسان و دیگر جانداران به خطر اندازد و یا به آثار باستانی و اموال خسارت وارد آورد.

## تعریف آلاینده‌های اولیه و ثانویه

آلاینده‌های اولیه آلاینده‌هایی هستند که مستقیماً نشأت گرفته از منابع آلودگی هستند و بصورت مستقیم وارد اتمسفر شده و با همان ترکیبی که وارد هوا شده‌اند در هوا حضور داشته و قابل اندازه‌گیری می‌باشند. منو اکسید کربن، هیدروکربن‌ها، اکسیدهای نیتروژن، دی اکسید گوگرد، گرد و غبار و... آلاینده اولیه می‌باشد.

آلاینده‌های ثانویه آلاینده‌هایی است که در اثر برهم کنش عوامل محیطی مانند نور خورشید، رطوبت و واکنش‌های فتوشیمیایی، هیدرولیز و اکسیداسیون بر روی آلاینده‌های اولیه تولید می‌شوند و بطور کلی منشاء این آلاینده‌ها آلاینده‌های اولیه‌ای هستند که وارد اتمسفر می‌شوند این آلاینده‌ها شامل ازن، پراکسی استیل نیترات، اسیدسولفوریک و اسید نیتریک که از آلاینده‌های اولیه نظیر ترکیبات هیدروکربنی،  $SO_2$  و  $NO_x$  حاصل می‌شوند.

## تقسیم بندی آلودگی هوا

مواد آلاینده هوا را به چند طریق می‌توان تقسیم بندی کرد.

- از نظر منشاء آلودگی
- از نظر حالات فیزیکی آلاینده
- از نظر شیمیایی
- از نظر فیزیولوژیکی
- از نظر فرم آلودگی

## تقسیم بندی از نظر منشاء آلودگی

این منشاء می‌تواند طبیعی و مصنوعی باشد. آلاینده‌های طبیعی نظیر ذرات و خاکستر آتشفشان و گازهای ناشی از آن، فساد مواد آلی و اجساد حیوانات و بقایای تنه درختان که

تحت تاثیر باکتری‌ها تولید فساد می‌کنند، آلاینده‌های مصنوعی از طریق انشان تولید و به فضا فرستاده می‌شوند که این آلاینده‌ها می‌تواند آلی یا صنعتی باشند. آلاینده‌های صنعتی یا ثابت‌اند یا متحرک. منابع ثابت مانند کارخانجات که از نظر اهمیت به ترتیب عبارتند از: نیروگاه، پتروشیمی، کارخانجات مواد شیمیایی و تولید مصالح ساختمانی.

### تقسیم بندی از نظر حالات فیزیکی آلاینده

در این تقسیم‌بندی آلاینده‌ها در دو گروه گازها و بخارات و گروه آئروسول‌ها مجزا می‌شوند. آئروسول‌ها خود به دو گروه ذرات جامد و ذرات مایع تقسیم بندی می‌گردند.

- آئروسول‌ها: پراکندگی ذرات میکروسکوپی جامد یا مایع در محیط گازی مانند دود و میست.

- غبار: ذرات جامد که از مواد کلوئید بزرگتر بوده و قادرند موقتاً در هوا و یا گاز دیگری بصورت تعلق در آیند این ذرات تمایلی به چسپندگی ندارند.

- قطره: ذره کوچک مایع دارای اندازه و وزن خصوصی که در شرایط سکون سقوط کند اما ممکن است در شرایط توربولانس بصورت معلق باقی بماند.

- خاکستر فرار: ذرات بسیار کوچک خاکستر که در اثر احتراق مواد سوختنی وارد جریان گاز دودکش می‌شود.

- فیوم: ذرات جامدی هستند که در اثر براکم حالت گازی و معمولاً بعد از تبخیر مواد ذوب شده و توام با یک واکنش شیمیایی مانند اکسیداسیون تولید می‌شوند.

### تقسیم بندی از نظر شیمیایی

در این گونه تقسیم بندی آلاینده‌های به دو گروه مواد آلی و مواد معدنی تقسیم می‌شوند. ترکیبات آلی حاوی کربن و هیدروژن هستند و بسیاری از آن‌ها دارای عناصری مانند اکسیژن، نیتروژن، فسفر و گوگرد می‌باشند.

### تقسیم بندی از نظر فیزیولوژیکی

در این تقسیم بندی هفت گروه آلاینده قرار می‌گیرد:

- تحریک کننده‌ها
- خفه کننده‌ها
- سموم فلزی
- مواد آلرژیک
- مواد بیماری‌زای غیر فلزی
- سموم سیستمیک
- مواد مخدر یا بیهوش کننده و...

### تقسیم بندی از نظر فرم آلودگی

در این تقسیم بندی دو گروه آلاینده اولیه مانند منواکسید کربن و دی اکسید گوگرد و آلاینده‌های ثانویه مانند اکسیدان‌ها فتوشیمیایی جای می‌گیرند.

## منابع آلاینده‌های هوا

پیشرفت صنایع و تکنولوژی توسعه شهرها، ازیاد و تراکم جمعیت، افزایش وسایط نقلیه موتوری، ازدیاد مصرف سوخت‌های فسیلی، نامناسب بودن بافت شهری و در برخی از موارد نامناسب بودن موقعیت جغرافیایی محل، همگی باعث آلودگی هوا می‌شود. منابع آلودگی هوا را به طور کلی می‌توان به دو گروه تقسیم‌بندی کرد که شامل منابع طبیعی و منابع انسانی یا مصنوعی می‌باشد. منابع انسانی خود به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شود: منابع صنعتی و شهری (ترافیکی) و دیگری منابع روستایی و کشاورزی.

## منابع طبیعی

- فرسایش ناشی از باد که تولید  $\text{SiO}_2$  می‌کند.
- آتش سوزی جنگل که باعث ایجاد  $\text{CO}_2$ ،  $\text{SO}_2$ ،  $\text{CO}$  و هیدروکربن‌ها می‌شود.
- انفجار ناشی از آتشفشانها که تولید  $\text{CO}_2$  و  $\text{SO}_2$  می‌کند.
- گسیل‌های ناشی از باتلاق‌ها و جنگل‌ها باعث تولید متان، آمونیاک می‌شود.
- تبخیر دریایی
- فرایند میکروبی خاک که ایجاد  $\text{H}_2\text{S}$ ،  $\text{CH}_4$ ،  $\text{NO}$  و  $\text{NH}_3$  می‌کند.
- زوال طبیعی مواد آلی که تولید  $\text{H}_2\text{S}$ ،  $\text{CH}_4$  و  $\text{NH}_3$  می‌کند.
- رعد و برق که ایجاد مقدار زیادی  $\text{NO}$  می‌کند.
- منابع جوی که شامل مه اسیدی و باران اسیدی است.

## منابع انسانی: صنعتی، شهری و کشاورزی

آلودگی ناشی از صنایع منبع اصلی آلودگی است که در اثر فعالیت‌های مصنوعی ایجاد می‌شود. در میان صنایع نیروگاه‌های حرارتی، کارخانه‌های تولید مواد شیمیایی، سیمان‌سازی، کاغذسازی، نساجی، دباغی و غیره منابع اصلی آلودگی هوا هستند. بکارگیری روشهای مناسب کنترل آلودگی در کاهش آلودگی منابع کمک خواهد کرد.

آلودگی ناشی از حمل و نقل بعلت شهرسازی بی‌رویه و سریع به اندازه آلودگی صنعتی مهم و از اهمیت برخوردار می‌باشد. آلودگی ناشی از حمل و نقل و وسایل نقلیه به شکل گازهای خروجی از اگزوز، ذرات معلق، صدا و غیره می‌باشد. این آلودگی با اتخاذ روش‌های برنامه‌ریزی شهری، منطقه‌ای و شهری و استفاده از اتومبیل‌ها و سوخت‌های مناسب همراه با اعمال تکنولوژی کنترل آلودگی به حداقل می‌رسد.

منابع کشاورزی و سایر منابع روستایی باعث ایجاد موارد ذیل می‌گردد:

- بلند شدن گرد و خاک
- آتش سوزی ناگهانی
- گسیل‌های ناشی از خاک
- زباله‌های در حال پوسیدن

در تقسیم‌بندی دیگری توسط آژانس حفاظت محیط زیست (USEPA)، منابع عمده آلودگی هوا را به صورت زیر طبقه‌بندی کرده است:

- حمل و نقل مانند: کشتی‌ها، هواپیماها، قطارها و اتومبیل‌ها
- احتراق سوخت از منابع ثابت مانند نیروگاه‌های برق و غیره
- فرآیندهای صنعتی مانند: کارخانه‌های فولادسازی، نساجی و کاغذسازی



- دفع مواد زائد جامد مثل: سوزاندن زباله در فضای باز، دفن بهداشتی زباله و سوزاندن زباله با دستگاه زباله‌سوزی
- فرآیندهای متفرقه نظیر فعالیت‌های خانگی مانند: کاربرد حشره‌کش‌ها و تمیز کردن حشره‌کش

همچنین منابع آلوده کننده را به صورت زیر می‌توان تقسیم بندی کرد:

- منابع نقطه‌ای که ثابت می‌باشند.
- منابع سطحی که می‌توانند ثابت و یا متحرک باشند.
- منابع خطی که متحرک می‌باشند.

### عوامل تاثیرگذار در روند آلودگی هوا

عواملی که بر آلودگی هوا تأثیر می‌گذارند به شرح ذیل می‌باشند:

#### خصوصیات هواشناسی

پارامترهای جوی مانند اندازه و جهت باد، میزان‌های افت اتمسفری، رطوبت نسبی و غیره، آلودگی هوا را تحت تأثیر قرار خواهد داد. باد با حرکت افقی آلاینده را حمل و جابجا خواهد نمود.

غلظت آلاینده‌ها در سطح زمین اساساً به اندازه و جهت باد و میزان افت بستگی دارد. تغییر درجه حرارت هوا با افزایش ارتفاع سبب حرکت نسبتاً سریع آلاینده‌ها می‌گردد.

## شکل توپوگرافی

ناهمواری موجود در زمین و موانعی مانند کوه‌ها و غیره بر نحوه انتشار آلاینده‌ها اثر می‌گذارد. بسته به شرایط محلی و مکانی، توپوگرافی ممکن است در نحوه انتشار آلاینده‌ها نقش مثبت و یا منفی داشته باشد.

## خصوصیات آلاینده‌ها

اهمیت مسائل مربوط به آلودگی هوا به نوع و اندازه آلاینده و جامد یا مایع یا گاز بودن آن بستگی دارد. همچنین به انرژی، صدا، گرما، رادیو اکتیویته یا ترکیبی از این عوامل بستگی دارد. واکنش بین آلاینده‌ها در اتمسفر بسته به خصوصیات آلاینده‌ها ممکن است، مقدار آلاینده در اتمسفر را افزایش یا کاهش دهد.

## روش انتشار آلاینده‌ها

چگونگی ورود آلاینده‌ها و همچنین سرعت انتشار آلاینده‌ها به اتمسفر بر آلودگی هوا تأثیر دارد. آلاینده‌ها ممکن است بطور متناوب یا پیوسته یا دوره‌ای، از یک منبع یا از چندین منبع یا از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای منتشر شوند. همچنین پراکندگی آلاینده‌ها به طریقه ورود آن‌ها به اتمسفر بستگی دارد.

## مدل‌های مطالعه گرد و غبار

این مدل‌ها که مدل‌های بسیار پیشرفته‌ای را در بر می‌گیرند، اساساً بر مبنای مدل‌های فیزیکی مانند دینامیک اتمسفر استوار می‌باشند. بنابراین جهت انتقال گرد و غبارها لازمست شرایط جوی خاص بوجود آورنده‌ی گرد و غبار، انتشار، انتقال و فرونشست این پدیده مورد بررسی قرار گیرد. از جمله مهم‌ترین مدل‌های مورد استفاده در مطالعه‌ی گرد و

غبارها، شناسایی مناطق خاستگاه و پیش‌بینی آن‌ها می‌توان به مدل‌های: MM ۵، RegCM، WRF، HYSPLIT، CALIPSO، COAMPS، NAPPS، DREAM و ... اشاره نمود.

مدل MM ۵ در واقع پنجمین تولید مدل مقیاس متوسط NCAR است که آخرین مجموعه از مدل‌های مقیاس متوسط است (NCAR، ۲۰۰۴). این مدل دارای سه قسمت اصلی بوده که قسمت اول مربوط به وارد کردن داده‌های فیزیکی مانند توپوگرافی و کاربری اراضی، قسمت دوم مربوط به وارد کردن شبکه‌ی مختصات مورد نظر و قسمت سوم داده‌های مشاهداتی وارد می‌شوند. این مدل در مطالعه‌ی گرد و غبارها با استفاده از پارامترهای هواشناسی مربوطه نتایج خوبی ارائه می‌دهد.

مدل RegCM نیز براساس مدل آب و هوایی مقیاس مزو معروف به مدل MM ۴ و سپس MM ۵ توسط مرکز ملی تحقیقات اتمسفر دانشگاه ایالتی پنسیلوانیا در اواخر دهه‌ی هشتاد تولید شد (ICPT، ۲۰۰۴). مدلسازی انجام شده‌ی گرد و غبار با استفاده از مدل RegCM نتیجه‌ی بسیار خوبی را در مقایسه‌ی با داده‌های مشاهداتی ارائه می‌نماید و بنابراین از نظر عملی می‌تواند به عنوان یک مدل پیش‌بینی مناسب مورد استفاده قرار گیرد. مدل جوی WRF (مدل پیش‌بینی عددی وضع هوا) مدلی جامع در شبیه‌سازی فرایندهای هواشناسی می‌باشد و با استفاده از این مدل پدیده‌های هواشناسی از جمله گرد و غبارها مورد مدلسازی قرار گرفته و خروجی‌های مدل با تمرکز ذرات گرد و غبار و میدان‌های جریان بررسی می‌شود.

مدل HYSPLIT (کاربرد در اداره‌ی ملی جو و اقیانوس آمریکا) نیز برای شبیه‌سازی خطوط سیر گرد و غبار و شناسایی مناطق خاستگاه و همچنین مناطق تحت تأثیر به کار گرفته می‌شود. مدل HYSPLIT، مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گرد و

غبار، پراکنش و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از از رویکردهای ذرات است. در این مدل محاسبه‌ی مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام می‌گیرد. روش محاسبه‌ی مدل، ترکیبی میان دیدگاه‌های اویلری و لاگرانژی است و به همین دلیل HYSPLIT را مدلی دوگانه می‌نامند.

مدل CALIPSO برای بررسی گسترش قائم ذرات گرد و غبار و ابر کاربرد فراوانی دارد. همچنین کاهش دمای ناشی از وجود لایه‌ی گرد و غبار در جو با استفاده از این مدل قابل بررسی می‌باشد. بررسی گسترش قائم گرد و غبار در این مدل با استفاده از طول موج‌های لیداری و بررسی تأثیر گرد و غبار بر دمای سطحی با استفاده از طول موج مادون قرمز در محدوده‌ی ۱۲/۰۵ میکرون صورت می‌گیرد.

مدل COAMPS نیز برای پیش‌بینی سرعت باد و همچنین رخداد‌های گرد و غباری به کار گرفته می‌شود. این مدل وابسته به آزمایشگاه تحقیقاتی نیروی دریایی آمریکا بوده که در مونتری کالیفرنیا مستقر می‌باشد. همچنین مدل NAAPS (سیستم پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل هواویزهای نیروی دریایی) متعلق به مرکز تحقیقاتی نیروی دریایی آمریکا (NRL) در مونتری کالیفرنیا مستقر بوده و برای پیش‌بینی توزیع سه بعدی گرد و غبار، سولفات و هواویزهای دود، جهت کره‌ی زمین و منطقه‌ی جنوب‌غربی آسیا راه‌اندازی شده‌است. این مدل امکان بررسی دقیق و شبیه‌سازی حرکت گرد و غبار، جهات اصلی باد و تعیین مناطق خاستگاه گرد و غبار را فراهم می‌نماید.

از دیگر مدل‌های شبیه‌سازی پراکنش، خط سیر و ته‌نشست کاربردی در زمینه‌ی مدل‌سازی گرد و غبار منطقه‌ای و جهانی می‌توان به SKIRON (کاربرد در دانشگاه ملی آتن)، DREAM (کاربرد در مرکز سوپر کامپیوتینگ بارسلونا) FLEXPART (انسیتو

تحقیقات هوای نروژ) اشاره کرد که نقش بسزایی در ابعاد عملیاتی و مدیریتی (به منظور تحلیل و پیش‌بینی رویدادهای گرد و غباری) و ابعاد تحقیقاتی ایفا می‌کند.

## مدلسازی آلودگی هوا

مدل‌های آلودگی هوا توصیف‌کننده‌ی پراکندگی آلاینده‌ها در جو هستند و توانایی بازسازی برخی از جنبه‌های یک سیستم زیست محیطی را با دقت قابل قبولی دارا می‌باشند (برات، ۲۰۰۱). مدل‌های پراکندگی بسته به میزان پیچیدگی خود قادر به شبیه‌سازی برخی از فرایندهای فیزیکی-شیمیایی که در جو رخ می‌دهد؛ مانند نوع و میزان انتشار آلودگی، رشد، انتقال و پراکنده شدن آن بوسیله اغتشاشات جوی، تاثیر رسوبات خشک و مرطوب بر آن و اثرات توپوگرافی؛ می‌باشند. فرایندهای جوی ذکر شده از طریق معادلات ریاضی در مدل گنجانده شده‌اند (برات، ۲۰۰۱).

با توجه به فقدان داده‌های کمی جهت نوشتن مدل‌های پراکندگی، ساخت چند فرض برای تعیین تغییرات پارامترهای مشخص و تعیین شرایط مرزی مناسب ضروریست. بنابراین، مدل‌های پراکندگی آلودگی هوا که غلظت ترکیبات ویژه اتمسفری پیش‌بینی می‌کنند، متنوعند. هر مدل از فرضیات مختلفی برای بررسی تاثیر یک منبع آلودگی ویژه که شامل چندین فاکتور از جمله نوع آلاینده‌ها، مقیاس فضایی و اندازه منطقه وهم‌چنین پیچیدگی هواشناسی و توپوگرافی منطقه است، ساخته شده‌است (برات، ۲۰۰۱). از نقطه نظر هواشناسی، سه گروه از مدل‌های پراکندگی برای پیش‌بینی غلظت آلاینده جهت ارزیابی زیست محیطی وجود دارد:

۱) مدل‌هایی که از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌کنند.

۲) مدل‌هایی که از داده‌های هواشناسی تشخیصی استفاده می‌کنند. diagnostic

۳) مدل‌هایی که از داده‌های پیش‌بینی شده هواشناسی استفاده می‌کنند (Lahar، ۲۰۰۴).

مدل‌های ساده گوسی Puff و Plume همچنین چند مدل غیر گوسی تحلیلی نیاز به داده‌های مشاهده شده هواشناسی دارند. این مدل‌ها از پارامترهایی هواشناسی مانند جهت باد، سرعت باد، دمای محیط نزدیک به سطح زمین (کمتر از ۱۰ متر از سطح زمین) و همچنین ارتفاع لایه آمیختگی و شرایط پایداری جو استفاده می‌کنند. این مدل‌ها برای پیش‌بینی پراکندگی آلودگی از منابع مجزا (نقطه‌ای، خطی و سطحی) با قدرت تفکیک مکانی بالا (مثلاً شبکه‌های ۱۰۰ متری) مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی این مدل توانایی پیش‌بینی واکنش‌های شیمیایی پیچیده را ندارد. این مدل‌ها نتایج خوبی در مناطقی که شرایط انتشار و جریان هوا پیچیده است مانند مناطق ساحلی یا مناطقی با توپوگرافی شدید، ندارد. نمونه‌هایی از این مدل AUSPLUME و CALPUFF می‌باشد.

مدل‌های داده‌های هواشناسی معمولی از داده‌های هواشناسی تشخیصی برای پیش‌بینی آلودگی هوا برای مناطقی که داده‌های مناسب هواشناسی نزدیک به سطح زمین جهت شبیه‌سازی دقیق وجود دارد (لاهار و همکاران، ۲۰۰۴). در عوض مدل‌های تشخیصی یک تحلیل منطقی را با کمک درونیایی و برونیایی داده‌های هواشناسی مشاهده شده در یک مدل سه بعدی هواشناسی نمایش می‌دهند (گودین، ۱۹۸۰). مدل‌های تشخیصی قادر به پیش‌بینی هواشناسی نیستند ولی بهترین برآورد را از شرایط پایدار (یا حالت شبه پایدار) ارائه می‌دهند (لاهار، ۲۰۰۴).

مدل‌های تشخیصی معمول دقت محاسبات با افزایش فاصله از محل‌هایی که داده‌ها ثبت گردیده‌اند، کاهش می‌یابد (لوهار و راو، ۱۹۹۴؛ لوهار و همکاران، ۲۰۰۴). با این حال مدل‌های تشخیصی معمول محاسبات مختلفی مانند پهنه‌های جریان توده آلودگی و همچنین

تفاوت بین داده‌های پیش‌بینی شده با داده‌های مشاهده‌شده را انجام می‌دهد (راتو و همکاران، ۱۹۹۴؛ لوهارو و همکاران، ۲۰۰۴). این مدل‌های تشخیصی نیاز به داده‌های هواشناسی نزدیک به سطح زمین با یک شبکه متراکم پایش دارند. مدل‌های پیش‌بینی تقریباً از مدل‌های پیچیده‌ی مدل‌های آلودگی هوا هستند. مدل‌های برای پیش‌بینی هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند از طریق یکپارچه‌سازی زمانی-مکانی معادلات اساسی مانند بقای جرم، گرما، حرکت و آب (لوهار و همکاران، ۲۰۰۴). مدل‌های هواشناسی پیش‌بینی اغلب متوسط مقیاس (بین چند تا چندصد کیلومتر) و برای مناطقی که ساختار جریان هوای افقی و عمودی پیچیده‌ای دارند مانند مناطق ساحلی و مناطقی که ارتفاعی متغیر دارند، مناسب هست. این مدل‌ها نیاز به داده‌های ثبت شده در یک مکان خاص ندارد، اما می‌توان از داده‌های هواشناسی در صورت وجود استفاده کرد (لوهار، ۲۰۰۴).

## آلاینده‌های مهم هوا در طوفان‌های گرد و غبار

### ذرات معلق کمتر از دو و نیم میکرون $PM_{2.5}$ :

این ذرات دارای قطر دو و نیم میکرون و یا کمتر می‌باشند که تقریباً ۳۰٪ قطر موی انسان است و به ذرات ریز (fine) نیز شناخته می‌شوند. ترکیب شیمیایی ذرات بستگی به محل، زمان و آب و هوا متفاوت بوده و منابع انتشار آن شامل انواع فعالیت‌های احتراقی (وسایل نقلیه موتوری، نیروگاهی، سوزاندن چوب، و غیره) و فرایندهای صنعتی خاص می‌باشد. این نوع آلودگی ذرات هم به طور مستقیم ساطع شده و هم به شکل آلاینده ثانویه در جو شکل می‌گیرد. سولفات‌ها و نیترات‌ها در این گروه قرار دارند.

مطالعات بهداشتی، ارتباط معنی داری بین قرار گرفتن در معرض ذرات ریز و مرگ زودرس ناشی از بیماری‌های قلبی و ریوی نشان داده‌اند. ذرات ریز می‌تواند بیماری‌های قلب و ریه

را تشدید و به اثرات مانند ارتباط داده شده است: علائم قلبی و عروقی. آریتمی‌های قلبی. حملات قلبی. علائم تنفسی. حملات آسم. و برونشیت. این اثرات می‌تواند در افزایش پذیرش بیمارستانی، اتاق اورژانس، غیبت از مدرسه یا محل کار، و روز فعالیت است منجر به محدودیت. افرادی که ممکن است به خصوص به قرار گرفتن در معرض ذرات ریز حساس شامل افراد مبتلا به بیماری‌ای قلبی و ریوی، سالمندان، و کودکان است.

### ذرات معلق کمتر از ده میکرون. $PM_{10}$ :

ذرات جامد یا مایع موجود در هوا هستند که دارای قطری کمتر از ۱۰ میکرون بوده و بر اثر سوزاندن چوب، احتراق ناقص در ترکیبات هیدروکربنی، احتراق سوخت موتورهای دیزل و... واحدهای صنعتی، کشاورزی، جاده‌های آسفالت نشده و فعالیتهای ساختمان‌سازی و آلاینده‌های غیر گازی، ایجاد و منتشر می‌شود. این ذرات به علت ابعاد ریز خود می‌توانند از سیستم دفاعی مجاری تنفسی عبور نمایند.

- اثرات
- بیماری‌های قلبی
- بیماری‌های ریوی
- کاهش سیستم ایمنی بدن در مقابل بیماری‌ها
- از بین رفتن بافت‌های ریه
- آسم کودکان
- مرگ و میر زود رس
- سرطان
- خاک گرفتگی



## توفان‌های گرد و غباری

رویداد توفان‌های گرد و غباری به پدیده‌هایی اطلاق می‌گردد که باعث ایجاد، حمل و نقل و رسوب‌گذاری گرد و غبار در محیط بوسیله فرآیندهای بادی می‌شود. توفان‌های گرد و غباری در بین شدیدترین مشکلات محیطی مناطق مشخصی از جهان هستند (خسروی و همکاران، ۱۳۸۴، ص ۲۰۴).

بطور کلی بر اساس شدت توفان‌ها چند نوع توفان مهم قابل تشخیص است: الف) - توفان گرد و غباری که در نتیجه بادهای آشفته ایجاد شده و باعث بالا بردن مقادیر زیادی گرد و غبار به داخل هوا شده و دید افقی را تا کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌دهد.<sup>۱</sup> ب) - وزش غباری که به صعود غبارات به وسیله بادهای با سرعت متوسط تا ارتفاعات میانی جو اطلاق می‌گردد و قابلیت دید را به ۱/۸ متر کاهش می‌دهد. اما این کاهش دید به کمتر از ۱۰۰۰ متر نمی‌رسد.<sup>۲</sup> ج) - غبار آلودگی معمولاً به حمل ذرات غبار معلق از سطح زمین به وسیله یک یک توفان گرد و غبار و آلودگی جو قبل از زمان وقوع رویداد اصلی اطلاق می‌گردد.<sup>۳</sup> د) - چرخندهای غباری به ستون‌های چرخندهای گرد و خاک که بوسیله باد حرکت نموده و معمولاً کمتر از ۳۰ متر ارتفاع و ابعاد باریکی دارند اطلاق می‌شود (در مواردی ممکن است تا ۳۰۰ متر یا بیشتر توسعه یابد).<sup>۴</sup> ه) - توفان‌های گرد و غباری شدید که باعث کاهش دید افقی تا کمتر از ۲۰۰ متر می‌شود<sup>۵</sup> (شائو و دانگ، ۲۰۰۶، ص ۲).

همچنین لازم است که بین توفان ماسه‌ای و گرد و غباری تفاوت‌هایی قائل شد. تفاوت بین توفان گرد و غباری و توفان ماسه‌ای در اندازه ذراتی است که به وسیله آن‌ها حمل می‌شود.

---

<sup>۱</sup> - Dust Storm.

<sup>۲</sup> - Blowing Dust.

<sup>۳</sup> - Dust Hazing.

<sup>۴</sup> - Dust whirls (or dust devils)

<sup>۵</sup> - Serve Dust Storm.

یک توفان ماسه‌ای با توجه به اندازه ذرات قادر نیست آن‌ها را تا ارتفاع زیاد و فواصل طولانی حمل نماید. توفان ماسه‌ای در واقع از بادهای قوی با قدرت بالاتر از ۸ بوفور تشکیل می‌شود و قدرت دید را به کمتر از ۲۰۰ متر کاهش می‌دهد (خسروی و همکاران، ۱۳۸۴، ص ۲۰۴)

### مفهوم کاربری و پوشش اراضی

کاربری اراضی<sup>۱</sup> از دو کلمه، کاربری<sup>۲</sup> و اراضی<sup>۳</sup> تشکیل شده است که اراضی به کلیه امکانات طبیعی یا خصوصیات و شرایط طبیعی یک محل نظیر اقلیم، زمین‌شناسی، خاک، توپوگرافی، هیدرولوژی و... اطلاق شده است. کاربری به مفهوم استفاده از امکانات طبیعی به نحوه مطلوب و صحیح هست. لذا Landuse فعالیت انسانی مربوط به زمین است. Landuse از نظرهای متفاوت مطالعه شده است، به طوری که هیچ‌یک از تعاریف، تمام جنبه‌های آن را در نظر نگرفته‌اند. عموماً کاربری اراضی را استفاده از زمین در وضعیت موجود می‌دانند به عبارتی هرگاه تمام فعالیت‌های موجود در یک محل یا انواع مختلف استفاده از زمین را در یک محل به تصویر بکشیم و از هم جدا کنیم کاربری گویند. پوشش اراضی مواد فیزیکی هر قطعه از سطح زمین (مانند چمنزار، کوهستان، آب) و کاربری اراضی فعالیت‌های انسان است که بر روی آن (زمین) انجام می‌گیرد مانند (نواحی مسکونی، نواحی تجاری یا صنعتی) (تریتز<sup>۴</sup>، ۲۰۰۳).

---

<sup>۱</sup> - landuse

<sup>۲</sup> - Use

<sup>۳</sup> - Land

<sup>۴</sup> - triets

درواقع پوشش اراضی مفهومی گسترده داشته و به تمامی عوارض پوشاننده سطح زمین گفته می‌شود درحالی‌که کاربری اراضی انواع بهره‌برداری از زمین به‌منظور رفع نیازهای بشری است. بر این اساس می‌توان گفت که انسان و فعالیت‌های او، عامل تشکیل‌دهنده کاربری اراضی بوده و معیار خوبی برای تفکیک کاربری اراضی از پوشش اراضی می‌باشد (فیضی زاده، ۱۳۹۰).

کاربری اراضی محصول تلاش انسان برای رفع نیازهای خود از طبیعت است. بر این اساس اراضی را می‌توان چنین تعریف نمود: «کاربری اراضی مفهومی مرکب از اجتماع، فرهنگ، اقتصاد و عوامل سیاسی یک جامعه است که درگذر زمان شکل می‌گیرد».

عوامل مؤثر در تغییر کاربری و پوشش اراضی را می‌توان به دو دسته طبیعی و انسانی طبقه‌بندی کرد. عوامل طبیعی و انسانی در مکان‌ها و شرایط متفاوت بر روی پدیده‌ها و عوارض سطح زمین تأثیرات متفاوتی دارند. بسته به اینکه عوامل مذکور به چه شدتی تأثیرگذار باشند، روند و شکل تغییرات متفاوت خواهد بود. در بعضی موارد عوامل طبیعی و انسانی به صورت همسو عمل می‌کنند.

یعنی ممکن است انسان تغییراتی در محیط انجام دهد که باعث بهبود زمین شود و برعکس در برخی شرایط این دو در تضاد باهمدیگر قرار می‌گیرد. در حقیقت تغییرات کاربری اراضی محصول واکنش بین عوامل فرهنگی، مهارت‌ها و احتیاجات فیزیکی جامعه از یکسو و پتانسیل‌های طبیعی از سوی دیگر هست که این تغییرات به‌صورت طبیعی و یا به‌وسیله عوامل مصنوعی از جمله دخالت انسان پدید می‌آید.

### استخراج پوشش و کاربری اراضی

منابع اطلاعاتی زیادی برای مطالعه کاربری و پوشش اراضی و تغییرات آن‌ها وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها نقشه‌برداری از طریق عملیات زمینی، نقشه‌های توپوگرافی و داده‌های

سنجش‌ازدور را می‌توان برشمرد. در میان این منابع اطلاعاتی، داده‌های سنجش‌ازدور در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی جایگاه خاصی را به خود اختصاص داده‌اند. سنجش‌ازدور به جهت ارائه اطلاعات به‌روز، پوشش‌های تکراری، سنجش در محدوده طیفی بیشتر از طیف مرئی، ارزان بودن، تنوع اشکال داده، سنجش کمی و رقومی پدیده‌های سطح زمین، در ارزیابی منابع طبیعی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و بهترین وسیله در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی محسوب می‌شود. این تکنولوژی در جهان به‌طور گسترده در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد (یان<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳).

یکی از روش‌هایی که عمده‌تاً برای استخراج اطلاعات استفاده می‌شود، طبقه‌بندی چند طیفی است. در این روش فرض بر این است که تصویری که از یک ناحیه معین وجود دارد، دارای انعکاس‌هایی از بخش‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی است و همچنین این تصویر به‌طور کامل زمین مرجع شده است. اکثر تکنیک‌های استخراج اطلاعات بر تجزیه تحلیل خصوصیات طیفی چنین تصویرهایی تأکید دارند. الگوریتم‌های فضایی زیادی برای چنین تجزیه تحلیل‌های طیفی طراحی شده است.

این مسئله حائز اهمیت است که مفسر این مطلب را درک کند که بین آنچه کلاس‌های اطلاعاتی نامیده می‌شود و آنچه کلاس‌های طیفی گفته می‌شود، تفاوت‌های اساسی وجود دارد. کلاس‌های اطلاعاتی، رده‌هایی هستند که توسط مفسر تعیین می‌شوند، در مقابل کلاس‌های طیفی رده‌هایی هستند که جزء لاینفک داده‌های سنجش‌ازدور هستند و باید با دقت توسط مفسر تعیین ماهیت شده و سپس برچسب کلاسی داده شوند (جنسن<sup>۲</sup>، ۱۹۸۶).

---

<sup>۱</sup>- yan

<sup>۲</sup>-jensen

امروزه با بهره‌گیری از تصاویر سنجش‌ازدور امکان نقشه‌برداری از کاربری و پوشش اراضی در مقیاس محلی تا قاره‌ای در کمترین زمان و پایین‌ترین هزینه فراهم شده است. استفاده از انواع روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، امکان استخراج دقیق نسبت‌های کاربری اراضی هر یک از مناطق جغرافیایی را فراهم آورده است.

باوجودی که امروزه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه انواع نقشه‌های کاربری اراضی خیلی مرسوم شده است اما طبقه‌بندی ایده‌آل از کاربری و پوشش اراضی وجود ندارد. دیدگاه‌های متفاوتی در فرآیند طبقه‌بندی دخیل هستند و این فرآیند انتزاعی است. اما این حقیقت مسلم است طرح هر طبقه‌بندی بر اساس نیازهای کاربر صورت می‌گیرد. تلاش برای توسعه سیستم طبقه‌بندی با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور طرح کلی را فراهم آورده است که نیاز بسیاری از کاربران را رفع می‌کند (اندرسون<sup>۱</sup>، ۱۹۷۶).

ارزیابی پیشینه‌ی تحقیق نشان می‌دهد که در خصوص ارزیابی عدم قطعیت در داده‌های مدل‌های رقومی تحقیقات متعددی انجام شده که به چند مورد از آن‌ها به شرح زیر اشاره می‌شود:

ذوالفقاری و عابد زاده (۱۳۸۴)، سیستم‌های گرد و غبار غرب ایران را با استفاده از نقشه‌های سینوپتیکی تحلیل و مطالعه کرده‌اند. در این تحقیق، الگوی سینوپتیکی حاکم بر وقوع توفان‌های گرد و غبار و منشأ مسیر و تحولات این سیستم‌ها در بازه زمانی پنج ساله (۱۹۸۳-۱۹۸۷) مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور از نقشه‌های روزانه‌ی اطلس‌های هواشناسی روسی با مقیاس ۱: ۷۵۰۰۰۰۰ برای سطوح زمین و ۵۰۰ هکتوپاسکال، داده‌های ساعتی گرد و غبار، قدرت دید، رطوبت نسبی، بارندگی و باد استفاده شده است. نامبردگان به این نتیجه رسیدند که پرفشار آזור همراه با سیستم‌های

---

<sup>۱</sup> - Anderson

مهاجر بادهای غربی، مهمترین عوامل سینوپتیکی تاثیرگذار بر سیستم‌های گرد و غبار منطقه به شمار می‌آیند. فرودها و سیکلون‌های مهاجر زمانی به منطقه نفوذ می‌کنند که پرفشار جنب حاره‌ای آזור حضور نداشته یا ضعیف باشد. این سیستم‌ها بسته به شرایط گاهی ایجاد گرد و غبار نموده و گاهی بارندگی و گاهی نیز بطور همزمان گرد و غبار و بارندگی ایجاد می‌کنند. اما زمانی که پرفشار آזור تقویت شده و بر منطقه حاکم می‌شود فرو بارهای حرارتی در سطح زمین باعث ایجاد گرد و غبارهای محلی می‌شوند. مهمترین منابع گرد و غبار وارده به ایران، سوریه، صحرای نفوذ در شمال عربستان و شمال صحرای آفریقا می‌باشد. بیشترین تاثیر کم فشارهای عربستان در گرد و غبار منطقه مورد مطالعه مربوط به زمانی است که این کم فشارها به ایران نزدیکتر شده و همچنین توسط فرود مناسب در سطح بالا حمایت می‌شوند.

ایرانمنش و همکاران (۱۳۸۴) مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها را در توفان‌های منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس ۲۰۰۰ و  $ETM^+$  مربوط به سال ۲۰۰۱ بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که اصلی‌ترین منطقه برداشت ذرات گرد و غبار بر روی دریاچه هامون صابری قرار دارد و مسیر توفان‌ها نیز به طور مجزا از دالان‌های موازی با گرد و غبار بسیار غلیظ و دالان‌های دیگری با غلظت کمتر به سمت ایران، افغانستان و پاکستان ادامه می‌یابد. با استفاده از شاخص NDVI از روی تصاویر  $ETM^+$  مشخص گردید که مقادیر بالای این شاخص (۲۴٪) در حواشی شرقی دریاچه هامون صابری مربوط به پوشش گیاهی تقریباً انبوهی است که منطبق بر دالان گرد و غبار با غلظت کم بوده و دلیل آن نقش پوشش گیاهی در رسوب ذرات می‌باشد.

نگارش و لطیفی (۱۳۸۶)، منشا نهشته‌های بادی شرق زابل را از طریق مورفوسکپی، آنالیز فیزیکی و شیمیایی رسوبات بررسی کرده‌اند. دشت سیستان به دلیل وجود رسوبات آبرفتی

و رودخانه‌ای ریزدانه، فرسایش‌پذیری زیادی داشته که با توجه به وزش بادهای ۱۲۰ روزه و خشک شدن منطقه، این ذرات ریز به راحتی جابه‌جا شده و باعث بوجود آمدن تپه‌های ماسه‌ای به اشکال مختلف می‌شوند. تحقیقات میدانی حکایت از این دارد که منشأ رسوبات منطقه به رسوبات پلیستوسن و رسوبات جدید یعنی نهشته‌های دریاچه‌ای بستر هامون‌های خشک شده فعلی و نهشته‌های دلتایی رودخانه‌های سیستان، پریان و نیاتک که با دهها متر ضخامت، کف چاله سیستان را پوشانده‌اند، بر می‌گردد. بخشی از این بادرفتها از نهشته‌های دریاچه‌ای نشأت گرفته و بخشی دیگر از دانه‌های حمل شده توسط باد به ویژه بادهای ۱۲۰ روزه از قسمت‌های غربی و خارج از محدوده مطالعاتی ممکن است ناشی شده باشند. دشت‌های غربی رودخانه هامون از جمله نواحی است که آن را می‌توان منشأ بخش‌هایی از شنزار به حساب آورد. هدف این مقاله آن است که با استفاده از آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی مثل DSC، TGA، BET، XRD، طیف‌گیری، تفسیر فازهای متعدد نمونه‌ها و همچنین مورفوسکپی رسوبات، منشأ آن‌ها را تعیین نماید، زیرا اگر آزمایشات جنس و مورفوسکپی نمونه‌ها را یکسان نشان دهد، حکایت از آن دارد که منشأ همه این رسوبات یکی است، در غیر این صورت باید منشأ و خواستگاه‌های متفاوتی داشته باشند. خسروی (۱۳۸۷)، تحلیل فضایی آلاینده‌های توفان‌های گرد و غباری ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان را با استفاده از داده‌های سنجش از دور مطالعه کرده و اشاره کرده است که اقلیم دشت سیستان با بالا بودن درجه حرارت بخصوص در دوره وزش بادهای ۱۲۰ روزه، قطع منابع بارش و خشکی فیزیکی محیط همراه می‌باشد. این عوامل باعث مهیا شدن شرایط مناسب وزش بادهای گردیده و با وجود کاهش رطوبت خاک و رسوبات خشکیده در یک محیط دریاچه‌ای، امکان تغذیه توفان‌های گرد و غباری همزمان با وزش بادهای فراهم می‌سازد. نامبرده اثر زیان بخش توفان‌های گرد و غبار بر بهداشت و سلامتی جوامع

انسانی و اهمیت شناخت محدوده و نحوه گسترش آن را در آلاینده‌گی محیط بررسی کرده است. در تحقیق مذکور، جهت بررسی گستره توفان‌های گرد و غباری ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه و همزمانی وزش آن‌ها با سایر کانون‌های بحرانی توفانی در مناطق مجاور، از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ در دوره وزش بادهای ۱۲۰ روزه استفاده گردیده است. جهت تفسیر از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر استفاده و نهایتاً رویدادهای عمده که باعث حداکثر تأثیرات منفی در دشت سیستان بوده است از نظر منطقه تحت تأثیر، منشأ بارگیری گرد و غبار و حدود نهایی گسترش و وزش توفان بررسی شده است. ایشان نتیجه گرفتند که بادهای ۱۲۰ روزه تحت تأثیر الگوهای سینوپتیکی ورای منطقه‌ای تشکیل و تداوم یافته و اکثراً از بستر دریاچه‌های هامون و بخصوص هامون پوزک تغذیه شده و علاوه بر سیستان، دشت مارگو و ریگستان در افغانستان، گاهی با استقرار الگوهای مشخص سینوپتیکی، بر روی غرب پاکستان، دریای عمان و در موارد استثناعی تا دریای عربی و جنوب خلیج فارس گسترش می‌یابند. ایشان در مجموع ۲۳ رویداد اصلی را بررسی و الگوهای اصلی انتشار، گسترش و تمرکز غبار در دشت سیستان را استخراج و به این نتیجه رسیدند که مهمترین منبع اولیه و تغذیه بار جامد توفان‌ها بستر خشکیده هامون پوزک می‌باشد و در تمامی رویدادهای باند شرقی حرکت گرد و غبار توسط این منبع مهم تغذیه گردیده که در سال‌های اخیر کاملاً به دلیل خشکسالی در معرض توفان بوده است. پس از آن بخش‌های مرکزی و جنوبی هامون صابری و در درجه سوم هامون هیرمند و بستر شيله در این رابطه از اهمیت برخوردار بوده‌اند. حدود ۳۰ درصد رویدادها از منبع اخیر بارگیری نموده‌اند. آزمون غالب وزش توفان، مسیر حدود ۱۷۰ درجه تعیین گردید که در موارد استثنایی تا ۱۴۰ درجه در دشت سیستان نیز مشاهده گردید. به سمت جنوب مقادیر آزمون به مقادیر کمتری گرایش پیدا می‌کند که



نشان دهنده جهت غرب به شرق در جنوب دشت سیستان است. با توجه به شدت آلاینده‌گی و جنس ذرات معلق، حفظ حداقل استانداردهای بهداشتی جوامع بایستی از الویت‌های مدیریت بحران تلقی گردد.

خسروی و همکاران (۱۳۸۷)، اثر تغییرات آب و هوایی را بر افزایش شدت آلودگی گرد و غبار محیطی در زاهدان مورد مطالعه قرار داده و اشاره کرده‌اند که توفان‌های گرد و غبار تحت تأثیر مستقیم و غیر مستقیم تغییرات آب و هوایی در حال گسترش می‌باشند و به دلایل متعددی در سال‌های اخیر جوامع انسانی و سلامت آن‌ها را در معرض تهدید قرار داده‌اند. تغییر در الگوهای خشکسالی، گسترش بیابان زایی و تغییر پوشش گیاهی که به نوعی به تغییر اقلیم وابسته هست از سویی و تغییرات انسان ساخت کاربری اراضی از عواملی هستند که در تشدید این معضل محیطی دخالت داشته‌اند. با توجه به موقعیت خاص استان سیستان و بلوچستان و قرارگیری آن در مناطق بیابانی، یکی از عوامل جوی بسیار مهم و تأثیرگذار در منطقه، پدیده گرد و غبار است که اثر مستقیم بر سلامت انسان داشته است. در این مقاله علل اقلیمی ایجاد گرد و غبار در محیط و روند تغییرات آن در نیم قرن گذشته مورد تحلیل قرار گرفته شده است. با تجزیه و تحلیل داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک زاهدان روند تغییرات گرد و غبار، دید افقی و ساعات آرامش با استفاده از معادلات خطی، روند رشد نمایی و تهیه گلبادهای منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. نامبردگان نتیجه گرفتند که یک روند افزایشی معنی‌دار در پدیده روزهای گرد و غباری بخصوص در سال‌های اخیر مشاهده می‌شود. روند صعودی پدیده فوق‌الذکر، خود باعث تشدید معضل در بخش بهداشت، حمل و نقل، صنعت، آسایش عمومی، فعالیت‌های انسانی، و غیره گردیده است. لذا با توجه به تجمع نزدیک به یک میلیون نفر

جمعیت در منطقه شهری زاهدان، لزوم برنامه ریزی مقابله با این مخاطره بهداشتی و محیطی در آینده‌ای نه چندان دور الزامی به نظر می‌رسد.

لشکری و همکاران (۱۳۸۷) توفان‌های گرد و غبار استان خراسان رضوی را در فاصله زمانی (۱۹۹۳-۲۰۰۵) از نظر آماری و سینوپتیکی تحلیل و مطالعه کردند. نتایج تحقیق نشان داد که ایستگاههای قوچان، تربت حیدریه و کاشمر کمتر از ۵ روز در سال و ایستگاه سرخس بیش از ۳۵ روز در سال توفان گرد و غبار داشتند. همچنین عمده سامانه‌های منجر به توفان گرد و غبار از شرایط سینوپتیکی زیر پیروی می‌کنند:

۱- بر روی نقشه تراز دریا در روز توفان مرکز کم فشاری در جنوب خراسان و کشور افغانستان بسته می‌شود که فشار مرکزی این کم فشار عموماً کمتر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. در مقابل مرکز پرفشاری در روی دریای خزر و بر بخش جنوبی این دریا بسته می‌شود که فشار مرکزی آن در اکثر مواقع بیش از ۱۰۱۵ هکتوپاسکال می‌باشد.

۲- در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مرکز چرخندی در بخش شرق و شمالشرقی افغانستان بسته می‌شود که زبانه چرخندی بخش جنوبی خراسان را در بر می‌گیرد. در مقابل واچرخندی بر روی دریای خزر و ترکمنستان بسته می‌شود. به این ترتیب ایجاد شیو فشار و شیو گرمایی شدید موجب وزش بادهای شدید، بخصوص در نیمه جنوبی استان خراسان رضوی می‌گردد.

مهر شاهی و نکونام (۱۳۸۸) پدیده گرد و غبار و الگوی وزش بادهای گرد و غبار را در شهرستان سبزوار را بررسی و تحلیل کرده‌اند. در این تحقیق داده‌های ساعتی رویداد گرد و غبار، سمت و سرعت باد، وضعیت هوای حاضر و گذشته طی دوره آماری ۱۳۶۷-۱۳۷۸ بکار گرفته شده و از نرم افزار WRplot View جهت ترسیم گلباد و گل غبار (توزیع

سمت و سرعت بادهای غبار زا) سالانه و ماهانه این ایستگاه استفاده شده است. نتایج آماری این تحقیق نشان می‌دهد که طی دوره آماری مورد مطالعه، وقوع روزهای همراه با گرد و غبار در شهرستان سبزوار روند افزایشی داشته و بیشترین احتمال وقوع آن در ماه‌های اردیبهشت و خرداد است. همچنین این پدیده در بیشتر از ۷۱ درصد مواقع، در ساعات بعد از ظهر روی می‌دهد. نامبردگان دریافتند که باد غالب در گلباد و گل غبار سالانه شرقی است. همچنین بادهای در ۸۵ درصد و باد غبارها در ۸۱/۳۶ درصد از طی سال مسیر شرقی-غربی داشته و کانال بادی را در این مسیر در منطقه ایجاد کرده‌اند. این نتیجه کاملاً با وضعیت توپوگرافی شهرستان مطابقت دارد. در این تحقیق مطالعه دقیق گل غبارهای ماهانه، تاثیر سیستم‌های جوی متفاوتی را در شکل‌گیری این پدیده در منطقه به اثبات می‌رساند. بدین معنی که با افزایش تابش خورشید از اردیبهشت تا شهریور ماه و به دلیل وجود دشت‌ها و کویرهای گسترده در اطراف سبزوار سیستم‌های حرارتی بر منطقه حاکم شده و جهت باد غالب غبار شرقی است. از مهر ماه تا اردیبهشت همزمان با ورود سیستم‌های غربی به منطقه و وزش بادهای قوی در سطح زمین، از فراوانی باد غبارهای شرقی کاسته شده و به باد غبارهای غربی و جنوب غربی افزوده می‌شود. بطوریکه جهت باد غالب در گلباد بهمن ماه، شرقی بوده اما جهت باد غالب در گل غبار غالب همین ماه کاملاً غربی است.

طاووسی و همکاران (۱۳۸۹) تحلیل همدید سامانه‌های گرد و غبار استان خوزستان را مورد تحقیق قرار دادند. در این کتاب پس از استخراج ۵۰ سامانه گرد و غباری شاخص و تفکیک آن‌ها به دو دوره سرد و گرم سال طی دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۹۶)، با استفاده از نقشه‌های ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و فشار متوسط سطح دریا، نقشه‌های بردار باد، خطوط همسرعت، جریان هوا در دو سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و سطح

متوسط دریا در محدوده صفر تا ۵۰ درجه شمالی و صفر تا ۷۰ درجه شرقی و تصاویر ماهواره‌ای، دو نمونه از آن‌ها مطالعه شده است. نتایج نشان داد که در دوره سرد سال، سیستم‌های مهاجر بادهای غربی و رودباد جبهه قطبی (PFJ) همراه آن و در دوره گرم سال کم فشارهای حرارتی سطح زمین مهمترین عامل در ایجاد گرد و غبارهای استان خوزستان می‌باشند. مطابق با این تحقیق مهمترین منابع گرد و غبار وارده به استان خوزستان شامل بیابان‌های جنوبی عراق، شمال عربستان، جنوب شرق سوریه و تا اندازه شمال صحرای آفریقا می‌باشد.

جدید الاسلامی و همکاران (۱۳۸۹)، منشأ رسوبات بادی چاه نیمه‌های زابل را بررسی و اشاره کردند که به منظور کنترل و مبارزه با فرسایش بادی دشت سیستان، با ۸۱۱۷ کیلومتر مربع مساحت و با اقلیم نامساعد و خشک، شناخت منشأ یا مناطق برداشت رسوبات بادی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این کتاب شامل جمع‌آوری اطلاعات محلی از فرسایش، بررسی ژئومورفولوژی عمومی و بادهای منطقه، نمونه برداری از رسوبات و تهیه مقاطع نازک برای انجام آزمایشات گرانولومتری، مورفوسکوپی و کانی‌شناسی می‌باشد. لذا از اهداف مهم این تحقیق، شناخت کانون‌های بحرانی فرسایش بادی (منشأ یابی)، آسیب‌پذیری مخازن آبی چاه نیمه‌ها و شناسایی اثر تخریبی باد در منطقه زابل تعیین شدند. بر اساس نتایج به دست آمده، وقوع خشکسالی در منطقه سیستان و به تبع آن کاهش پوشش گیاهی و خشک شدن دریاچه هامون و همچنین وجود بادهای ۱۲۰ روزه، شرایط مناسبی جهت فرسایش بادی و وقوع توفان‌های گرد و خاک فراهم آورده‌اند. منشأ رسوبات موجود در مخازن چاه نیمه، بادهای فرساینده منطقه با جهت شمال تا شمال غربی و با زاویه ۳۳۰ تا ۳۶۰ درجه ارزیابی شد. مهمترین رخساره‌های برداشت شامل اراضی رهاشده، اراضی ماسه-زار و عرصه‌های شور و پف کرده بستر دریاچه هامون و دشتهای شمالی (در

کشور افغانستان) می‌باشند. توفانهای شن و ماسه و حرکت تپه‌های ماسه‌ای از عوامل تهدید کننده آن منطقه محسوب می‌شوند.

رسولی و همکاران (۱۳۸۹) روند وقوع پدیده اقلیمی گرد و غبار را در غرب کشور در ۱۶ ایستگاه با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتریک من - کندال و سنس استیمیتور مورد تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که با توجه به طبیعت گسسته بودن داده‌های ورودی، روش‌های آماری مورد مطالعه کارایی بسیار مناسبی برای تحلیل روند این پدیده از خود نشان دادند. همچنین نتایج حاصل از آزمون‌های آماری مذکور نشان داد که همه ایستگاه‌های مورد مطالعه (به استثنای ایستگاه خوی) دارای روند هستند ولی از میان آن‌ها ۸ مورد دارای روند معنی داری هستند (سه ایستگاه روند کاهشی و ۵ ایستگاه روند افزایشی). همچنین با استفاده از بررسی تغییرات میانگین سالانه و ماهانه داده‌های گرد و غبار دریافتند که غرب ایران از لحاظ تعداد روزهای گرد و غباری، منطقه همگنی نبوده و تعداد روزهای گرد و غبار سالانه از شمال به جنوب افزایش می‌یابد.

رئیس پور و همکاران (۱۳۸۹)، علل شکل‌گیری گرد و غبارهای عربی و گسترش آن بر ایران را بررسی کرده و اشاره کردند که یکی از پیامدهای جوی که تأثیرات زیست محیطی نامطلوبی برجا می‌گذارد پدیده گرد و غبار است. کشور ایران به دلیل استقرار در کمربند خشک و نیمه خشک جهان و همجواری با بیابانهای وسیعی از کشورهای همسایه مکرراً از سیستم‌های گرد و غبار منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای متاثر می‌گردد. اگرچه بروز این پدیده در مناطق جنوب، جنوب غرب و غرب کشور تازگی نداشته و همراه با مشکلات فراوانی برای ساکنان این نواحی از کشور بوده است اما اخیراً، بهار و تابستان ۱۳۸۸، دامنه گسترده‌تری یافته و بیش از ۲۰ استان کشور از جمله تهران را با جمعیتی بالغ بر ۵۲ میلیون نفر و گستره‌ای به مساحت بیش از یک میلیون کیلومتر متاثر نمود. در این مطالعه شرایط

پیدایش و منشأ سیستم‌های گرد و غباری با تأکیدی بر گرد و غبارهای بهار و تابستان ۱۳۸۸ که بخش وسیعی از کشور را متأثر نموده‌اند بررسی شده است که از داده‌های ساعتی گرد و غبار، قدرت دید، باد و دیگر عناصر جوی دریافت شده از سازمان هواشناسی و همچنین از نقشه‌های روزانه هوا مانند نقشه‌های فشار، امگا، دما، سرعت و جهت باد در دو سطح زمین و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال استفاده شده است جهت شناخت مناطق برداشت گرد و غبار از بیابانهای همجوار غربی و چگونگی انتشار آنها به ایران از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS از ماهواره‌های Aqua، Terra بهره‌گیری شده است.

خسروی (۱۳۸۹) توزیع عمودی گرد و غبار ناشی از توفان در خاورمیانه را با استفاده از مدل NAAPS<sup>۱</sup> در سیستان مورد بررسی قرار داده و اشاره کرده است که آلاینده‌های محیط‌های جغرافیایی بوسیله هواویزه‌ها و گرد و غبار ناشی از توفان در خاورمیانه بویژه در سالهای اخیر به یکی از معضلات زیست محیطی در این منطقه تبدیل شده که بدون شک همکاری‌های بین منطقه‌ای و استفاده از تجربیات بین المللی در حل آن را اجتناب ناپذیر نموده است. مرکز تحقیقاتی نیروی دریایی NRL<sup>۲</sup> در مونتری کالیفرنیا<sup>۳</sup> یک سامانه اجرایی برای پیش بینی توزیع سه بعدی گرد و غبار سولفات و هواویزه‌های دود برای کره زمین و منطقه جنوب غربی آسیا با استفاده از ماهواره‌های مختلف تهیه نموده است. این مدل به نام سیستم پیش بینی و تجزیه و تحلیل هواویزه‌های نیروی دریایی (NAAPS) نام‌گذاری شده است که بررسی دقیق و شبیه‌سازی حرکت گرد و غبار و جهات اصلی باد، رطوبت نسبی و تغییرات لایه مرزی یا تغییر شرایطی نظیر عبور یک مسیر جبهه‌ای را می‌دهد. هدف این مطالعه که در منطقه سیستان در شرق ایران به عنوان یکی از کانون‌های

<sup>۱</sup> - Naval Aerosol Analysis and Prediction System (NAAPS).

<sup>۲</sup> - Naval Research Laboratory.

<sup>۳</sup> - Monterey California.

اصلی بحران پدیده توفان گرد و غباری صورت گرفته است، برآورد تغییرات تمرکز غبار، دید اپتیکی با توجه به سمت و سرعت باد با استفاده از این مدل می‌باشد. دوره مطالعه سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ و همزمان با وزش توفان‌های مهیب ۱۲۰ روزه (ماه ژوئن تا سپتامبر) می‌باشد و سری‌های زمانی تمرکز غبار، سولفات، عمق اپتیکی و جهت و سرعت مورد تحلیل قرار گرفت. نامبرده نتیجه گرفت که بادهای ۱۲۰ روزه بر خلاف مطالعات پیشین که گرد و غبار جوی را بیشتر پدیده‌ای مربوط به سطح زمین تلقی نموده‌اند، تا سطوح حتی بالای ۳۰۰ هکتوپاسکالی (حدود ۱۰ کیلومتری) را با ذرات میکرونی غبار آلوده می‌سازد. نتایج مطالعه شبانه روزی (۴ نوبت) داده‌ها طی دوره وزش بادهای ۱۲۰ روزه نشان از تغییرات شدید مرز عمودی پیلوسفر و لایه مرزی در ارتفاعات مختلف جوی را دارد. در موارد استثنائی تمرکز گرد و غبار حتی تا ارتفاع ۲۰۰ هکتوپاسکالی نیز مشاهده گردید هر چند حداکثر تمرکز گرد و غبار مربوط به سطوح پائینی جو است. در شرایط شدیدترین تمرکز گرد و غبار سطوح مختلف جو که با حداکثر محدودیت عمق اپتیکی توأم بوده، اکثراً در سطوح فوقانی جو جریانات باد غرب به شرق و در سطوح میانی و پائینی جریانات شمال غربی حاکم بوده است. در زمان غلبه جریانات شمالی و شمال شرقی در سطوح میانی و پائینی جو تمرکز گردو غبار از درجات کمتری برخوردار بوده است. حداکثر عمق اپتیکی ناشی از گردو غبار در محیط به ۲ می‌رسد که در مقایسه با توفانهای گرد و غباری صحرای آفریقا، بیابان گبی و ربع الخالی عربستان از شدت نسبتاً کمتری برخوردار است. تغییرات مرزی عمودی توزیع گردو غبار در جودارای یک سیکل شبانه روزی بوده و حداکثر گسترش عمودی آن تحت تاثیر گرمایش زمین و همرفت ناشی از آن طی ساعات میانی روز و حداقل آن در نیمه‌های شب مشاهده می‌شود که توأم با

شرایط سکون و نشست گردو غبار در محیط است. بیشترین حرکات انتقالی گردو غبار در روز انجام می‌شود.

سلیقه و همکاران (۱۳۸۹)، اثر تغییرات سطح دریاچه هامون را بر اقلیم محلی سیستان مطالعه و اشاره کردند که دشت سیستان با بارندگی کمتر از ۷۰ میلیمتر یکی از نواحی خشک کشور ایران به حساب می‌آید. وجود دریاچه دائمی هامون در این منطقه تا حدودی از خشکی هوا کاسته و محیطی مطلوب را برای ساکنین ایجاد کرده است. خشکی دریاچه در سالهای اخیر تاثیر عمیقی بر عناصر اقلیمی نظیر دما، رطوبت و تبخیر داشته است. هدف از این تالیف و تاثیر وسعت سطح دریاچه بر اقلیم محلی سیستان بویژه در زمان وزش بادهای ۱۲۰ روزه است. بدین منظور از داده‌های عناصر اقلیمی، تغییرات سطح دریاچه بطور ماهانه و سالانه، روش رگرسیون و جداول توافقی برای تجزیه و تحلیل استفاده شده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که در سالهای پرآبی دریاچه که آب سطح بیشتری از منطقه را فرا گرفته و پوشش گیاهی نیز افزایش داشته است؛ افزایش سطح آب و پوشش گیاهی سبب شده که رطوبت نسبی در منطقه در اثر تبخیر و تعرق افزایش یابد و اقلیم خشک و شکننده را تا حدودی تعدیل کند. در عوض در سال‌هایی که سطح دریاچه‌ها خشک است تابش خورشیدی تبدیل به گرمای محسوس شده، دما و بدنال آن شیب تغییرات فشار افزایش یافته و بر سرعت بادهای ۱۲۰ روزه نیز افزوده می‌شود. در اثر خشک شدن دریاچه‌ها رسوبات کف آن‌ها با افزایش سرعت بادهای ۱۲۰ روزه به هوا برخاسته و خطرات زیست محیطی فراوانی را برای ساکنین منطقه ایجاد می‌کند.

خسروی و رئیس پور (۱۳۹۰)، نقش "بریده‌ی کم فشار" را در ایجاد گرد و غبارهای فراگیر جنوبغرب ایران مطالعه کردند. آنها، ضمن تحلیل سینوپتیکی پدیده‌ی گرد و غبار

---

<sup>۱</sup> - Cut-Off-Low.



در جنوب غرب ایران، به این نتیجه رسیدند که کم فشار بریده شده نقش مهمی در ایجاد گرد و غبارهای این منطقه دارد. در این تحقیق ضمن شناسایی کم فشارهای بریده شده مولد گرد و غبار جنوب غرب ایران طی دوره‌ی آماری (۱۹۹۶-۲۰۱۰)، یکی از قوی‌ترین کم فشارهای دوره‌ی آماری که منجر به شکل‌گیری گرد و غبار فراگیری از سمت جنوب غرب به ایران شده است مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور جهت انجام تحقیق از داده‌های ساعتی گرد و غبار، قدرت دید، باد و دیگر عناصر جوی دریافت شده از سازمان هواشناسی و همچنین از نقشه‌های روزانه هوا مانند نقشه‌های فشار، دما، سرعت و جهت باد (Stream Line) در دو سطح زمین و سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال وابسته به سازمان ملی جو و اقیانوس NCEP/NCAR از پایگاه داده ایالات متحده و جهت شناخت مناطق برداشت گرد و غبار از بیابان‌های همجوار غربی و چگونگی انتشار آن‌ها به ایران از تصاویر روزانه‌ی ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر سنجنده مودیس از ماهواره‌های ناسا Aqua و TERRA بهره‌گیری شده است. نتایج حاصل از مطالعه نشان داده است استقرار متداوم بریده‌ی کم فشار ناشی از سیستم‌های مهاجر بادهای غربی بر روی بیابانهای کشورهای عربی همجوار یکی از مهمترین عوامل شکل‌گیری اکثر گرد و غبارهای فصل زمستان و بهار (اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار) و گسترش آن از سمت غرب و جنوب غرب بر ایران می‌باشد.

سلیقه و سپاده (۱۳۹۰)، بادهای شدید و توفانی سواحل شمالی خلیج فارس را از لحاظ سینوپتیکی مورد مطالعه قرار داده و اشاره کردند که خلیج فارس با توجه به موقعیت جغرافیایی خود در فصل زمستان همواره در معرض هسته‌های کم فشار مختلف قرار می‌گیرد و لذا توفان‌های شدید و خطرناکی در آن بروز می‌کند. این پدیده متأثر از شرایط جوی خاصی است. هدف آن‌ها از این تحقیق، بررسی و شناخت عوامل همدیدی و

دینامیکی مؤثر بر شکل‌گیری بادهای شدید و توفانی استان بوشهر می‌باشد که بدین منظور از داده‌های سمت و سرعت باد هشت ایستگاه سینوپتیک استان بوشهر با سرعت بیش از ۱۰ متر بر ثانیه در دوره‌ی ۴۸ ساله (۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸) استفاده شده است و از میان آن‌ها شدیدترین و فراگیرترین آن مورد تحلیل قرار گرفته است. برای بررسی عوامل سینوپتیکی مؤثر بر وقوع بادهای شدید نیز از نقشه‌های سینوپتیکی فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، نقشه‌های سرعت، جهت باد، رطوبت، دما، اُمگای ترازهای ۸۵۰، ۷۰۰ هکتوپاسکال و سطح زمین برای دو روز قبل، روز وقوع و روز بعد از توفان استفاده شده است. نامبردگان نتیجه گرفتند که در هنگام وقوع بادهای شدید در این روز ترکیب ناوهای عمیق شرق مدیترانه و زبانه‌ی کم فشار سودانی به همراه پشته‌ی عمیق مستقر بر روی مرکز و غرب مدیترانه - که شرایط مناسبی را برای انتقال هوای سرد و مرطوب دریای مدیترانه به پشت این فرود فراهم می‌کند. جریاناتی با جهت و سرعت و رطوبت مناسب همراه با گردش سیکلونی فراگیر بر روی ایران و به خصوص منطقه‌ی مورد مطالعه را باعث می‌شود.

### منابع خارجی

جیانگ<sup>۱</sup> [۲۰۰۱] اقدام به تجزیه و تحلیل یکپارچه داده‌ها جهت طبقه‌بندی پوشش گیاهی در مقیاس قاره‌ای در چین کرد و دو نوع روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، شبکه عصبی مصنوعی<sup>۲</sup> (ANN) طبقه‌بندی حداکثر احتمال<sup>۳</sup> (MLC) برای طبقه‌بندی داده‌ها از روی تصاویر AVHR/NOAA گرفت. نتایج طبقه‌بندی با نمونه‌های آزمایشی بر اساس GPS اعتبارسنجی شد. و نتایج داد که دقت طبقه‌بندی‌شده توسط ANN بهتر از با MLC بود.

---

<sup>۱</sup> - Zhigang Yan

<sup>۲</sup> - Artificial Neural Network

<sup>۳</sup> - Maximum likelihood Classification

گرد و غبار بیابانی از زمان‌های خیلی دور مورد توجه علاقمندان جهان طبیعی بود که در نوشته‌های ایلید هومر و سایر نوشته‌های روم باستان به صورت رویدادهای عجیب مانند باران خون توصیف شده است. اولین مشاهدات علمی در این زمینه مربوط به کارهای کارلز داروین<sup>۱</sup> (۱۸۴۶) و وان ریشتوفن<sup>۲</sup> (۱۸۸۸) بود. مطالعه گرد و غبار فقط در چند دهه اخیر به عنوان موضوع محیطی عمده و با رویکرد کمی توسعه یافته است (جودی و میدلتون، ۲۰۰۶، ص ۶).

زینگ<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۹۸)، توفان گرد و غبار پنجم می سال ۱۹۹۳ را در شمالغرب چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOVA مورد پایش قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که میزان بازتاب از قسمت فوقانی توفان‌های گرد و غبار تفاوت آشکاری با میزان بازتاب از سطح زمین دارد.

ناتساگدرج<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۳) توفان‌های گرد و غبار مشاهده شده در مغولستان را در دوره آماری ۱۹۳۷-۱۹۹۹ تحلیل کرده‌اند. در این تحقیق، کلیماتولوژی توفان‌های گرد و غبار مغولستان بر پایه داده‌های مشاهداتی گرد و غبار ۴۹ ایستگاه هواشناسی از سال ۱۹۶۰-۱۹۹۹ و مقایسه آن‌ها با داده‌های دوره ۱۹۳۳-۱۹۸۰ مطالعه گردید. نتایج مطالعه نشان داد که تعداد روزهای با توفان گرد و غبار در نواحی کوهستانی آلتای<sup>۵</sup>، کانگائی<sup>۶</sup> و کنتئی<sup>۷</sup> کمتر از ۵ روز و در روی بیابان گبی و مناطق نیمه بیابانی بیشتر از ۲۰ تا ۳۷ روز می‌باشد. بزرگترین رویداد گرد و غبار شناور در منطقه الس مغول<sup>۸</sup> واقع در غرب مغولستان ایجاد

---

۱- Charles Darwin

۲- von Richthofen

۳- Zheng

۴-Natsagdorj

۵-Altai

۶-Khangai.

۷-Khentei.

۸- The Mongol Els.

شده است. تعداد روزهای غباری، شامل توفان‌های گرد و غباری و گرد و غبار شناور، در منطقه کوهستانی بیشتر از ۱۰ روز و در بیابان گبی و گودال‌های دریاچه‌ای بزرگ ۱ غرب مغولستان ۶۱ تا ۱۲۷ روز می‌باشد. همچنین نامبردگان دریافتند که ۶۱ درصد از توفان‌های گرد و غبار در فصل بهار اتفاق می‌افتد و توفان‌های گرد و غبار به طور متوسط ۳ تا ۶ ساعت به طول می‌کشد. حدود ۶۵/۵ تا ۹۱ درصد توفان‌ها در روز و ۹ تا ۳۴/۵ درصد به هنگام شب روی می‌دهد. این توفان‌ها مکرراً در مناطق شهری و با همراهی بادهایی با سرعت ۰/۶ تا ۲ متر بر ثانیه رخ می‌دهند. هنگامی که گرد و غبار در مغولستان روی می‌دهد میانگین رطوبت نسبی ۲۰-۴۰ درصد است. یک نتیجه مهم این تحقیق روند روزهای گرد و غباری می‌باشد بطوریکه این روند از دهه ۶۰-۹۰ افزایش سه برابری داشته و از دهه ۹۰ به بعد با کاهش همراه بوده است.

وانگ و همکاران (۲۰۰۴) دری منابع، توزیع فضایی، فرکانس و روند گرد و غبار در چین را مورد بحث قرار دادند. آن‌ها اشاره کردند که بیشتر گرد و غبارهای چین از یکی از سه منطقه جغرافیایی: محور هگزی و فلات مغولستان غربی، بیابان تاکلیماکان و فلات مغولستان مرکزی می‌باشد. گرد و غبار به احتمال زیاد از علفزارهای تخریب شده، گبی، رسوبات آبرفتی، دریاچه‌ای، خندق‌ها و بستر خشک رودخانه واقع در حاشیه بیرونی بیابان‌ها می‌باشد. اما به طور کلی نقش مستقیم بیابان‌ها در ایجاد گرد و غبار بسیار جزئی است. دو منطقه جغرافیایی که بطور مکرر دارای توفان‌های گرد و غبار هستند عبارتند از: حوضه تاریم غربی با سطوح زمینی تخریب شده که بر نقاط همسایه تاثیر می‌گذارد و دیگری فلات مغولستان غربی که بیشتر گرد و غبارهای شمال چین را پدید می‌آورد. پدیده

---

<sup>۱</sup> - The Great Lakes hollow.

گرد و غبار در بیشتر نواحی چین از سال ۱۹۵۰-۲۰۰۰ کاهش یافته است و این کاهش همبستگی بالایی با فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیم دارد.

کینوشیتا<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۵) گرد و غبار آسیا را در دو ایستگاه چانگ چون<sup>۲</sup>، واقع در استان جیلین در شمال شرق چین و کاگاشیما<sup>۳</sup> در جنوب غرب ژاپن مورد پایش طولانی مدت قرار دادند. بر اساس شاخص AVI<sup>۴</sup> بر روی تصاویر ماهواره‌ای نووا در روز ۱۰ نوامبر سال ۲۰۰۲ حرکت یک سیستم کم فشار بر روی منطقه اردس بیابان گبی باعث ایجاد توفان گرد و غبار شدیدی گردیده که با حرکت به طرف شرق طی روزهای ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نوامبر هر دو ایستگاه چینگچان و کاگاشیما را متاثر کرده است. رخدادهای گرد و غبار در چانگچون در روزهای ۲۶ مارس، ۷، ۱۶-۱۴ آوریل، ۲-۱، ۸، ۱۰ و ۱۹ مه، ۸ و ۲۳ ژوئن و ۱۲ ژوئیه سال ۲۰۰۳ و در ژاپن دو رویداد گرد و غبار شمال غربی در فاصله روزهای ۲۷-۲۵ مارس و ۱۳ آوریل سال ۲۰۰۳ مشاهده شد که چشمگیر نبودند. در چانگ چون دوربین دیجیتال از سال ۲۰۰۳ و در کاگاشیما از سال ۲۰۰۰ برای پایش این پدیده تعبیه شده است که تصاویر ثبت شده با دوربین نیز نتایج حاصل از آنالیز تصاویر ماهواره‌ای را تایید می‌کنند.

اورلاوسکی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۵)، گرد و غبار ترکمنستان را مورد مطالعه قرار داده و اشاره کردند که گرد و غبار یک پدیده معمول در مناطق خشک و نیمه خشک ترکمنستان می‌باشد. خشکی اقلیم، مناطق وسیع ماسه‌ای، بیابان‌های رسی و نمکزارها، پوشش گیاهی کم و بادهای شدید شرایط مساعدی برای تشکیل گرد و غبار هستند در این ناحیه می‌باشد. در این مطالعه داده‌های بلند مدت ۵۶ ایستگاه هواشناسی برای مطالعه توزیع فضایی، فرکانس،

<sup>۱</sup>- KINOSHITA, KISEI

<sup>۲</sup>- Changchun

<sup>۳</sup>- Kagoshima

<sup>۴</sup>- Aerosol Vapour Index.

<sup>۵</sup>- Orlovsky.

تغییرات روزانه و فصلی گرد و غبار ترکمنستان بکار گرفته شد. بالاترین میانگین فرکانس سالانه، در فصل بهار در بیابان قره قوم مرکزی ۱ به مدت ۶۷ روز مشاهده گردید و بالاترین تعداد روزهای گرد و غباری به مدت ۱۴۶ روز در ترکمنستان غربی می باشد.

هیونگ و همکاران (۲۰۰۶) کاربرد شبکه های عصبی را در مدل سازی و پیش بینی رخداد توفان های گرد و غبار شمال غرب چین با استفاده از ترکیب میانگین داده های روزانه شامل فشار هوا، دما، رطوبت، سرعت باد، بارش، تبخیر دمای سطح خاک و داده های توفان گرد و غبار مورد بررسی قرار داده اند. کارایی مدل ANN<sup>۲</sup> در شبیه سازی رخداد توفان گرد و غبار با مدل رگرسیون گام به گام مقایسه گردید. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بین رخداد توفان گرد و غبار مشاهده شده و تخمین زده شده با شبکه های عصبی نسبت به مدل رگرسیون گام به گام با داده های ورودی یکسان، داری معنی داری بیشتری می باشد. آزمون پیش بینی نشان داد که مدل ANN استفاده شده در این تحقیق با استفاده از متغیرهای هواشناسی معمولی، کارایی پیش بینی رخداد توفان گرد و غبار در شمال غرب چین را دارد.

جان<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۶) توفان گرد و غبار ۲۷ مارس سال ۲۰۰۴ آسیا را با استفاده از تصاویر مودیس ماهواره های آکوا و ترا مورد مطالعه قرار دادند. نامبردگان نشان دادند که NDDI<sup>۴</sup> شاخص مناسبی برای جدا کردن موثر SDS<sup>۵</sup> از ابرهای یخ و آب و ویژگی های زمین (به جز زمین های ماسه و گرد و غباری) می باشد. بدین منظور از BT مودیس (باند ۳۱) برای جدا کردن گرد و غبار آتمسفری از زمین ماسه ای و گرد و غباری استفاده شد. محققان دریافتند که برای مناطق مختلف، شاخص NDDI با ارزش های

<sup>۱</sup> - Central Karakum Desert.

<sup>۲</sup> - Neural Network Analysis.

<sup>۳</sup> - John J.

<sup>۴</sup> - The Normalized Difference Dust Index.

<sup>۵</sup> - Sand and Dust Storms.

استان‌های مختلف به کار می‌رود. در این مطالعه ارزش  $0 < \text{NDDI}$ ، ابرها و  $\text{NDDI} > 0$ ، مناطق گرد و غباری را نشان می‌دهد. پایش حمل SDSs در طول یک روز با دو تصویر NDDI مودیس ترا و آکوا در شمال چین و جنوب مغولستان نشان داد که SDSs نه تنها همراه با سیستم هوایی در جهت جنوب شرق حرکت کرده است بلکه به داخل این سیستم نیز رانده شده به طوریکه توفان گرد و غبار دو درجه طولی به طرف شمالشرق از ۱۱۰ تا ۱۱۲ درجه حرکت کرده است.

هان و همکاران (۲۰۰۸)، آئروسول‌های گرد و غبار را به عنوان یک تسریع کننده‌ی محتمل برای تشدید اقلیم خشک در چین شمالی بررسی کردند. نتایج یکپارچه از داده‌های منابع مختلف مانند ویژگی‌های توزیع آئروسول‌های گرد و غبار شناسایی شده به وسیله هواپیما، اندازه گیری‌های لیدار و شمارنده‌ها برای شناسایی ذرات نوری در تروپوسفر، گردبادهای کوچک ۱ (با قطر ۳ تا ۳۰ متر و با ارتفاع ۳۵۰۰ متر در نواحی خشک و در بعد از ظهر آرام و گرم رخ می‌دهد)، همرفت حرارتی خشک و ویژگی‌های پارامتر ابر پایش شده بوسیله ماهواره‌ها، شناسایی مکانیزم انتقال گرد و غبار را به سمت بالا ممکن می‌سازد. در طول دوره‌های فاقد توفان گرد و غبار، ابتدا ذرات ریز گرد و غبار می‌تواند در داخل اتمسفر حدود ۱۰ تا ۲۰۰ متر بوسیله گردباد حمل شود. بعد آن‌ها می‌توانند به ارتفاع لایه مرزی در حدود ۱۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر بوسیله همرفت‌های شدید گرم و خشک حمل شود. بطوریکه یک لایه گرد و غبار مخلوط شده حاکم می‌شود که ممکن است حتی یک لایه گرد و غبار مرتفع روی بیابان در فصل گرم و خشک توسعه یابد. این فرایند به تمرکز آئروسول گرد و غبار فراوان در تروپوسفر بیابان منجر می‌شود که نتیجتاً باعث افزایش هسته‌های تمرکز ابر می‌شود و این امر باعث کاهش قطر موثر قطرات ابری می‌شود. بنابراین تشکیل بارش از

بین می‌رود. این مقاله یک مکانیزم بازخورد مثبت را توسعه داد که نتایج زیر را دنبال می‌کند:

افزایش آئروسول گرد و غبار  $\Rightarrow$  کاهش موثر قطر قطرات ابر  $\Rightarrow$  کاهش بارش  $\Rightarrow$  تشدید اقلیم خشک.

این مکانیزم جدید یک عامل مجزا در توسعه اقلیم خشک مخصوصاً در چین شمالی هست و متعاقباً یکی از مهمترین فاکتورهای حفظ و تداوم یک اقلیم خشک در چین شمالی است. این بازخورد مثبت می‌تواند بیابان زایی در این منطقه را تسریع بخشد.

آکیرکایگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، منابع گرد و غبار فرا ملی شمالشرق آسیا را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد پایش قرار دادند. نامبردگان در این تحقیق برای تهیه نقشه‌های گرد و غبار در منطقه بیابانی مغولستان و شمال چین، BTDA (اختلاف دمای روشنی) تصاویر AVHRR و مودیس و داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاههای هواشناسی را مورد آزمون و استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که نقشه‌های گرد و غبار برای پایش گرد و غبار، می‌تواند از باندهای پخش بدست‌آید. نامبردگان همچنین اشاره کرده‌اند که فعال‌ترین مناطق گرد و غبار می‌تواند در مناطق دوری که محدوده فعالیت انسان نبوده یا مقدار آن ناچیز است، اتفاق بیافتند اگرچه، بسیاری از منابع نیز مربوط به مناطقی که اثرات انسان در آنها مشخص است می‌باشند. بنابراین به نظر می‌رسد در یک مقیاس ناحیه‌ای حرکت گرد و غبارها به وسیله منابع طبیعی غالب می‌باشد.

بار-<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸) نقش گرد و غبار در طی شش دوره یخچالی اخیر را مطالعه کرده و یک شبیه‌سازی میلیون ساله با استفاده از یک مدل دو بعدی انجام دادند. نتایج نشان داد که افزایش گرد و غبار به شدت روی میانگین دمای سالانه تأثیر می‌گذارد و به طور

---

<sup>۱</sup> - Ochirkhuyag

<sup>۲</sup> - Bar- Or.



مهم روی تکامل صفحات یخی تأثیر می‌گذارد. یک روند سرمایش مشابه مطالعات قبلی ناشی از واداشت تابشی مستقیم بوسیله گرد و غبار بدست آمد. همچنین نامبردگان نتیجه گرفتند که تأثیر گرد و غبار روی آلودگی برف باعث تسریع پسروی صفحات یخی می‌شود. علاوه بر این آن‌ها متوجه شدند که واداشت تابشی گرد و غبار باعث عدم تقارن چرخه‌های یخچالی می‌شود.

می ۱ و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه‌ای در زمینه‌ی پایش دینامیک فرایند گرد و غبار که در ۱۶-۱۷ آوریل سال ۲۰۰۶ در شمال چین اتفاق افتاده بود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس انجام داده و بدین منظور از چهار تصویر مودیس استفاده کردند. در این مطالعه، با توجه به ویژگی‌های جذب و انعکاس توفان‌های گرد و غبار، از شاخص‌های  $NDDI_2$  یا شاخص اختلاف گرد و غبار نرمال شده،  $BTD_3$  یا شاخص دمای روشنی و شاخص شدت (اختلاف باندهای ۳۱ و ۲۰) جهت تخمین وسعت، درجه شدت و مسیر حرکت توفان‌های گرد و غبار استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که پدیده توفان گرد و غبار در غرب میانه مغولستان اتفاق افتاده و سپس از ایالت‌های گنسو، شانکسی، هبی، تیانجین و شاندانگ ۴ حرکت کرده و شدت آن با افزایش فاصله زیادتر شده است. نتایج این مطالعه با پایش سازمان هواشناسی مربوطه در هماهنگی کامل می‌باشد.

کیاو ۵ و چانگ ۶ (۲۰۰۸)، ویژگی‌های گرد و غباری چین شمالی و ارتباط آن با سایر داده های هواشناسی را مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که گرد و غبار چین

<sup>۱</sup> - Mei, DI.

<sup>۲</sup> - The **N**ormalized **D**ifference **D**ust **I**ndex.

<sup>۳</sup> - **B**rightness **T**emperature **D**ifference.

<sup>۴</sup> - Gansu, Shanxi, Hebei, Tianjin, Shandong provinces.

<sup>۵</sup> -Xiao.

<sup>۶</sup> - Chang.

شمالی یک روند کاهشی در طول ۴۲ سال و همچنین ارتباط قوی با فرکانس بادهای شدید دارد.

وانگارت و اسپوت (۲۰۰۸)، علل هواشناسی گرد و غبار هارماتان (باد گرد و غباری خشکی که در طول ساحل شمالغرب آفریقا می‌وزد) در غرب آفریقا را مطالعه کردند. در این مقاله دینامیک انتقال گرد و غبار در چاله‌ی بودله در صحرای مرکزی، برای فهم بهتر تغییرات فصلی پخش آئروسول در بزرگترین منبع جهان بررسی شد. ارتباط بین انتقال گرد و غبار و فاکتورهای هواشناسی بزرگ مقیاس بوسیله همبستگی چندین متغیر هواشناسی در مدیترانه و شمال آفریقا استوایی با تمرکز آئروسول در گودال بودله مجزا برای تابستان و زمستان آزمایش شد. ابزارهای بکار رفته شامل داده‌های NCEP/NCAR و شاخص آئروسول از تصاویر TOMES برای مدت ۱۹۷۸-۱۹۹۳ است. آن‌ها نتیجه گرفتند که حرکت گرد و غبار در طول فصل هارماتان شدیداً به تغییرات فشار هوا در منطقه مدیترانه وابسته است. فشار بالا در شمال بودله بادهای تجارتي شمالشرق را تشدید می‌کند که منجر به افزایش انتقال گرد و غبار از بودله می‌شود. در تابستان حرکت گرد و غبار نمی‌تواند به وسیله شرایط هواشناسی بزرگ مقیاس توجیه شود. این، اهمیت سیستم بادهای محلی تا ناحیه‌ای مرتبط با موقعیت شمالی کمربند همگرایی بین حاره‌ای را در طول این زمان تأکید می‌کند.

وانگ تنمینگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۹)، ارتباط بین گرمایش جهانی و تغییرات توفان‌های گرد و غباری در چین را مورد بررسی قرار داده‌اند. نامبردگان در این مطالعه، داده‌های روزهای گرد و غباری را از ایستگاههای هواشناسی در دوره ۱۹۵۴-۲۰۰۰ و تغییرات گرمایش جهانی را از واحد تحقیقات اقلیمی و مرکز تیندال مورد استفاده قرار دادند. در این تحقیق

---

۱- Wang Tianming.

ارتباط بین سری زمانی دمای جهانی و تغییرات گرد و غبار چین تحلیل شد. نتایج یک همبستگی منفی و معنی دار بین این دو پدیده را نشان داد که می تواند به این صورت توجیه شود: گرمایش جهانی باعث کاهش شیب عرضی دما شده است که این امر باعث کاهش شدت باد گردیده و یک دلیل ممکن برای کاهش فرکانس طوفان های گرد و غباری در طی دوره ۱۹۵۴-۲۰۰۰ شده است.

کودوه<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) پدیده گرد و غبار قاره آسیا را با استفاده از تصاویر ماهواره ای مودیس و AVHRR مربوط به روزهای ۱۶ مارس ۲۰۰۲، ۸ آوریل ۲۰۰۶، ۳۰ آوریل ۲۰۰۵ و ۱ مارس ۲۰۰۸ بررسی کرده است. نامبرده در این بررسی بر روی تصاویر ماهواره ای AVHRR، ابتدا همپوشانی شاخص های NDVI<sup>۲</sup>، NDSI<sup>۳</sup>، NDWI<sup>۴</sup> را به منظور استخراج محدوده پوشش پدیده گرد و غبار استفاده کرد که به دلیل عدم وضوح آن، بجای شاخص NDVI از شاخص MSAVI<sup>۵</sup>/NDVI استفاده کرده است و در نهایت از همپوشانی آن ها به نتیجه مطلوبی رسید. در مطالعه مذکور بر روی تصویر رنگی کاذب حاصل از همپوشانی شاخص های NDWI، NDSI و MSAVI/NDVI، الگوریتم تبدیل براوی<sup>۶</sup> اعمال شده و همچنین از شاخص AVI نیز استفاده شده است ولی نتیجه حاصله رضایت بخش نبوده است. نامبرده به منظور دستیابی به نتایج بهتر برای نشان دادن این پدیده بر روی تصاویر ماهواره ای مودیس، از شاخص های BTDI<sup>۷</sup>، NDDI<sup>۸</sup> و

<sup>۱</sup>- Kudoh, Jun-ichi.

<sup>۲</sup>- Normalized Difference Vegetation Index.

<sup>۳</sup>- Normalized Difference Soil Index.

<sup>۴</sup>- Normalized Difference Water Index.

<sup>۵</sup>- Modified Soil Adjusted Vegetation Index.

<sup>۶</sup>- Brovey transformation.

<sup>۷</sup>- Brightness Temperature Differences.

<sup>۸</sup>- Normalized Difference Dust Index.

همپوشانی شاخص‌های NDSI، NDWI و MSAVI/NDVI استفاده کرد که منجر به وضوح پدیده مزبور در این روش شد.

گودی (۲۰۱۰) توفان گرد و غبار و تحولات اخیر آن‌ها را مورد مطالعه قرار داده است. نامبرده در این تحقیق اشاره کرده است که توفان‌های گرد و غبار تأثیراتی از قبیل واداشت تابشی و چرخه بیوژئوشیمیایی روی محیط دارند و باعث حمل مواد تا هزاران کیلومتر می‌شوند. همچنین ایشان متذکر شده‌اند که توفان‌های گرد و غبار دارای طیف وسیعی از اثرات روی انسان هستند که فقط شامل سلامتی نمی‌باشد. در سال‌های اخیر در های مربوط به شناسایی مناطق منشأ توفان‌های گرد و غبار، مناطق صحرا و چین غربی به عنوان مهمترین منابع در جهان معرفی شده‌اند. تلاش عمده دیگر در رابطه با شناسایی درجه فعالیت توفان‌های گرد و غبار بوده است که در مقیاس‌های زمانی هزاره، قرن، دهه، سال و فصل صورت گرفته‌اند.

گائو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱) تأثیرات ناهنجاری‌های اقلیم را روی افزایش چشمگیر توفان‌های گرد و غباری زمین‌های ماسه‌ای هانشداک<sup>۲</sup> در چین شمالی در دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ مورد مطالعه قرار داده و اشاره کردند که به طور کلی در سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸، فراوانی توفان‌های گرد و غباری در چین شمالی روند کاهشی داشته است. اگرچه زمین‌های ماسه‌ای هانشداک چین شمالی یک فرکانس افزایشی توفان‌های گرد و غباری مخصوصاً در طول دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ نشان می‌دهد که برای یافتن علت آن، یک بررسی جامع با آزمون متغیرهای اقلیمی، شاخص پوشش گیاهی و تغییرات محلی انجام شد. متغیرهای اقلیمی شامل بارش محلی، دما، خشکی، تبخیر، رطوبت نسبی، رطوبت خاک و سرعت باد می‌باشد. علاوه بر این، با بررسی میانگین نمودارهای غیر عادی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ شرایط

---

<sup>۱</sup> - Gao.

<sup>۲</sup> -Hunshdak.

سطح و هوای بالا، یک گردش آتمسفری پیشرفته به عنوان زمینه‌ای برای توسعه خشکسالی روی هانشداک تایید شد. در ضمن مدل رگرسیون چند متغیره برای تشخیص مهمترین متغیر اقلیمی، ذکر شده در بالا، بکار گرفته شد. این مدل نتیجه داد که خشکی فاکتور تاثیرگذار در فرکانس توفان‌های گرد و غبار هانشداک می‌باشد. در طول دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ کمبود بارش محلی، دمای بالاتر و تبخیر شدید، شرایط سطحی رانسبت به قبل ۲۰۰۰ وخیم‌تر کرده است که به وسیله کاهش پوشش گیاهی، رطوبت خاک و رطوبت نسبی تایید می‌شود. میانگین سرعت باد در طول ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ در مقایسه با کلیماتولوژی ۳۰ سال قبل، در زمان رخداد توفان‌های گرد و غباری ۳۰ متر بر ثانیه کاهش یافته است که بیانگر این است که حتی با وجود بادهای نسبتاً ضعیف، گرد و غبارها هنوز هم عمدتاً ناشی از انحطاط شرایط سطحی هانشداک رخ می‌دهد.

هر بر اساس موضوع مورد تحقیق و اهدافی که در پی دستیابی به آنها است نیاز به ابزار و روش‌های مخصوص به خود دارد. گردآوری اطلاعات مورد نیاز تحقیق یکی از مراحل اساسی آن است. مرحله گردآوری اطلاعات آغاز فرآیندی است که طی آن محقق یافته‌های میدانی و کتابخانه‌ای را گردآوری می‌کند و به روش استقرائی به فشرده‌سازی آن‌ها از طریق طبقه‌بندی و سپس تجزیه و تحلیل می‌پردازد و فرضیه‌های تدوین شده خود را مورد بررسی قرار می‌دهد و در نهایت حکم می‌کند و پاسخ مسئله را به اتکای آن‌ها می‌یابد (حافظ‌نیا، ۱۳۸۳).

### ابزارهای مورد نیاز

در این تحقیق از مواد و ابزارهای مورد نیاز که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود استفاده شده است.

## مواد

### ۱- داده‌های مربوط به سطح زمین (Terrain Database)

- ارتفاع
- نوع خاک
- پوشش گیاهی
- دمای سطحی آب

### ۲- داده‌های هواشناسی و سینوپتیکی (Database Meteorology & Synoptic)

- فشار سطحی هوا
- سرعت باد
- جهت باد (مولفه های U و V)
- درجه حرارت
- رطوبت ویژه

### ۳- داده‌های آلودگی (Pollution Database)

#### نرم‌افزارهای مورد استفاده

به منظور جمع‌آوری، پردازش، تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی داده‌های مختلف و تهیه و تدوین این تحقیق و تالیف با توجه به روش‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر از ابزارهای مختلف ذیل استفاده شده است:

- نرم‌افزار TAPM

### معرفی مدل (TAPM) The Air Pollution Model

مدل TAPM، توسط دانشمندان سازمانی صنعتی و علمی مشترک المنافع (CSIRO) در استرالیا گسترش یافت. TAPM یک مدل خیلی ساده (منابع محاسباتی کمی نیاز دارد) و سریع (حدوداً ۱۰ دقیقه‌ای) می‌باشد (زوار رضا و همکاران ۲۰۰۷). برد این مدل در حد منطقه‌ای و در حد متوسط مقیاس (Meso scale) می‌باشد که به‌عنوان یک روش برای مدلسازی آلودگی هوا و پیش‌بینی هواشناسی مطرح می‌باشد و هم‌چنین در پیش‌بینی آلودگی هوا برای ارزیابی اثرات این آلودگی‌ها بر محیط دارای اهمیت است.

این مدل از معادلات اساسی جریان‌های اتمسفری، ترمودینامیک، نگهداری رطوبت و اغتشاش و پراکندگی استفاده می‌کند. بعضی از اطلاعات تهیه شده در مدل شامل شبکه‌های زمین، ارتفاع، پوشش گیاهی، انواع خاک، درجه حرارت سطح دریا و مقیاس سینوپتیکی هواشناسی می‌باشد این مدل تا ارتفاع ۸۰۰۰ متری مولفه‌های اقلیمی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد که دارای قابلیت‌هایی از قبیل پیش‌بینی آلودگی هوا، طوفان‌ها، سرعت و جهت باد و غیره می‌باشد.

امکان استفاده از این مدل انتشار میان مقیاس هواشناسی در مقیاس زمانی ساعتی در طول یک سال دستاوردی مهم در مطالعات کیفیت هوا محسوب می‌شود.

### پایگاه‌های داده مورد نیاز در مدل TAPM

پایگاه‌های داده مورد نیاز در مدل TAPM به طور اصلی شامل موارد زیر است:

#### ۱- داده‌های مربوط به سطح زمین (Terrain Database)

این داده‌ها شامل داده‌های ارتفاع، نوع خاک و پوشش گیاهی، دمای سطحی آب می‌باشند.

#### ۲- داده‌های هواشناسی و سینوپتیکی (Database Meteorology & Synoptic)

شامل فشار سطحی هوا، سرعت و جهت باد (مولفه های  $U$  و  $V$ )، درجه حرارت و رطوبت ویژه سطوح مختلف می باشند.

### ۳- داده های آلودگی (Pollution Database)

این داده ها، غلظت آلاینده های مختلف هواست که بر حسب هدف کاربر قابل انتخاب هستند.

تعدادی از پایگاه داده ها بطور مجانی موجودند که شامل داده های ارتفاع زمین، نوع خاک و پوشش گیاهی، دمای سطحی آب و داده های هواشناسی در مقیاس سینوپتیک هستند.

### مشخصات داده های ارتفاعی مربوط نواحی مختلف:

- داده های ارتفاع نواحی در یک شبکه با تفکیک مکانی ۳۰ ثانیه یعنی تقریباً معادل یک کیلومتر توسط مرکز سامانه منابع زمینی ایالات متحده (EROS) تهیه شده است.
- داده های ارتفاع نواحی در استرالیا در شبکه ای با تفکیک مکانی ۹ ثانیه (تقریباً معادل ۰/۳ کیلومتر) موجود می باشد. این داده ها بوسیله مدل تهیه نشده اند بلکه در صورتیکه کاربر علاقمند به استفاده از این داده ها باشند می تواند با خرید سی دی نرم افزار و با در اختیار داشتن کد کاربری از این داده ها استفاده کنند.

### مشخصات پایگاه داده های مربوط به نوع خاک و پوشش گیاهی

- این داده ها در شبکه ای از طول و عرض جغرافیایی به ابعاد ۳۰ ثانیه (تقریباً معادل یک کیلومتر) نواحی مختلف کره زمین به غیر از استرالیا را پوشش داده اند. این داده ها نیز توسط مرکز سامانه منابع زمینی ایالات متحده تهیه شده است. البته قبل از اجرای مدل، این داده ها به دلیل عدم کنترل کیفیت باید توسط کاربر مورد بررسی قرار گیرد و در صورت



نیاز تصحیح شود. در مورد نوع خاک نیز به صورت پیش فرض نوع خاک لومی-رسی-شنی می باشد.

-پوشش گیاهی و نوع خاک در نواحی استرالیا نیز به صورت داده های شبکه ای با تفکیک مکانی ۳ دقیقه (تقریباً پنج کیلومتر) موجود می باشد.

### مشخصات داده های درجه حرارت سطح دریا

پایگاه داده های ماهیانه درجه حرارت سطح دریا به صورت بلند مدت در نواحی مختلفی از کره زمین بر اساس شبکه ای با تفکیک یک درجه (تقریباً معادل ۱۰۰ کیلومتر) در این نرم افزار وجود دارد که توسط مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR) تهیه شده است.

### مشخصات پایگاه داده های سینوپتیک:

تحلیل های سینوپتیکی شش ساعته به صورت شبکه ای با تفکیک مکانی ۰/۷۵ یا یک درجه (تقریباً معادل ۷۵ یا ۱۰۰ کیلومتر) در این نرم افزار فراهم شده است. این اطلاعات توسط دفتر هواشناسی (BOM) تهیه شده است.

این داده ها به عنوان داده های ورودی توسط کاربر به روش های زیر ممکن است وارد مدل شوند:

۱-به صورت شبکه ای (Grid)

۲-به صورت سطحی (Area)

۳-به صورت خطی (Line)

۴-به صورت نقطه ای (Point)

بر اساس هدف کاربر هر یک از روشهای بالا برای ورود داده‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که در این میان روش شبکه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا در برگیرنده هر سه حالت نقطه، خط و سطح می‌باشد.

### مراحل تحقیق

این تحقیق در شش مرحله اجرایی به انجام رسیده است که عبارتند از:

➤ گرفتن اطلاعات زمینی از مدل (ساخت Terrain)

➤ گرفتن اطلاعات سینوپتیک از مدل (ساخت Synoptic)

➤ گرفتن خروجی از مدل

➤ مقایسه شرایط وجود و عدم وجود دریاچه

### نرم افزار SAGA-GIS

#### System for Automated Geoscientific Analyses(SAGA)

توسط گروه کاری Geosystem Analysis (همکار سابق دانشگاه گوتینگن که در حال حاضر این همکاری با دانشگاه هامبورگ انجام می‌شود) توسعه یافته است که هسته اصلی آن به زبان C++ نوشته شده و تحت مجوز GPL انتشار می‌یابد. طراحی SAGA به گونه‌ای است که اجازه می‌دهد تا توسعه دهندگان بر مبنای API فراهم شده از هسته اصلی نرم افزار که شامل عملیات محاسباتی پایه است به توسعه آنالیزهای بیشتر در قالب مازول های الحاقی اقدام کنند. این مازول های الحاقی به نرم افزار دارای مجوز LGPL هستند. SAGA برای کاربران عادی امکان استفاده از GUI، خط فرمان (مناسب برای پردازش دسته ای) یا دسترسی به API از طریق رابط python را فراهم ساخته است.

SAGA در حال پایه قادر به خواندن فرمت shapefile، جداول dbf و فایل‌های متنی و فرمت گرید مخصوص به خود است. امکانات دستیابی به فرمت‌های دیگر از طریق ماژول‌های ورود و خروج داده که در جدول زیر آورده شده است افزایش می‌یابد. از امکانات پایه دیگر تنظیم انعطاف‌پذیر لژاند، توانایی ویرایش داده‌های برداری، تولید نمودار و Scatterplot از روی داده‌های جدولی، نمایش سه بعدی بسیار انعطاف‌پذیر با امکان دید آناگلیف، نمای صفحه آرایی (Layout mode) برای چاپ و قابلیت تنظیم حافظه و cache برای نمایش داده‌های حجیم است.

saga gis : System for Automated Geoscientific Analyses  
می‌باشد.

که یعنی سیستمی برای تجزیه و تحلیل‌های خودکار ژئو علمی (Geoscientific) saga  
یه نرم‌افزار رایگان اوپن سورس می‌باشد، که تحت سیستم‌های عامل ویندوز و لینوکس  
اجرا می‌شود saga طوری طراحی شده که الگوریتم‌های فضایی را به راحتی اجرا بکنه.

پایگاه‌های داده مورد نیاز درمدل SAGA-GIS

پایگاه‌های داده مورد نیاز درمدل SAGA-GIS به طور اصلی شامل موارد زیر است:

۱- داده‌های مربوط به سطح زمین (Terrain Database)

این داده‌ها شامل داده‌های ارتفاع، نوع خاک و پوشش گیاهی، دمای سطحی آب می‌باشند.

۲- داده‌های هواشناسی و سینوپتیکی (Database Meteorology & Synoptic)

شامل فشار سطحی هوا، سرعت و جهت باد (مولفه های U و V)، درجه حرارت و رطوبت  
ویژه سطوح مختلف می‌باشند.

۳- داده‌های آلودگی (Pollution Database)

این داده‌ها، غلظت آلاینده‌های مختلف هواست که بر حسب هدف کاربر قابل انتخاب هستند.

تعدادی از پایگاه داده‌ها بطور مجانی موجودند که شامل داده‌های ارتفاع زمین، نوع خاک و پوشش گیاهی، دمای سطحی آب و داده‌های هواشناسی در مقیاس سینوپتیک هستند.

### معرفی منطقه مورد مطالعه

#### وضعیت عمومی دریاچه ارومیه

آشنایی با موقعیت جغرافیایی هر کشور کلید درک بسیاری از مسایل جغرافیایی آن کشور است. بدین جهت قبل از هر چیز به یاد داشته باشیم که کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع بین ۲۵ تا ۴۵ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرق واقع شده است (گنجی، ۱۳۵۳).

حوضه آبریز دریاچه ارومیه بین مختصات جغرافیایی  $33^{\circ} 44'$  تا  $54^{\circ} 47'$  طول شرقی و  $35^{\circ} 42'$  تا  $38^{\circ} 25'$  عرض شمالی واقع شده است، که به وسیله بخش‌های شمالی کوه‌های زاگرس و دامنه جنوبی کوه سبلان و نیز دامنه‌های شمال غربی و جنوبی سهند احاطه شده است، که از شمال با شهرستان‌های خوی، مرند، ورزقان و اهر؛ از غرب با شهر پیرانشهر و کشورهای عراق و ترکیه؛ از شرق با شهرهای مشکین‌شهر، اردبیل، نیز، میانه، هشتروند و قره‌آغاج؛ و از جنوب با شهرهای ماه‌نشان، دیواندره، مریوان، بانه، و سردشت محدود می‌شود. دریاچه ارومیه که در گذشته چیچست و کبودان نام داشته بین پست‌ترین اراضی دو استان آذربایجان شرقی و غربی و میان دو گسل تبریز در شمال و زرينه‌رود در جنوب واقع شده است. حوضه دریاچه ارومیه یکی از حوضه‌های منطقه‌ای ایران است که در بخش

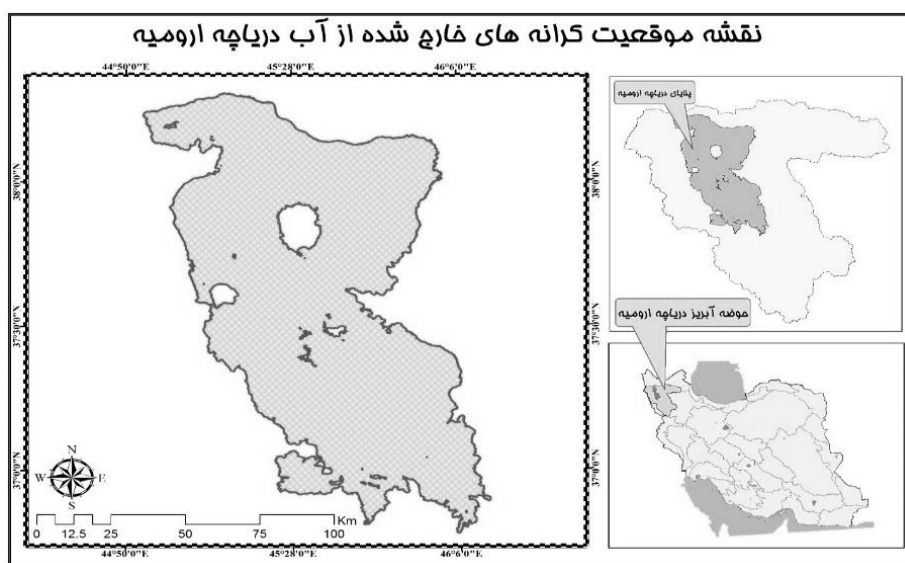
شمال غرب کشور واقع شده است. این حوضه وسعتی معادل ۵۱۴۶۰ کیلومتر مربع را داراست که حدود ۳ درصد کل مساحت کشور ایران را در برمی گیرد (فاتحی مرج و همکاران، ۱۳۸۵). این دریاچه یکی از ۵۹ ذخیره گاه طبیعی محیط زیست جهان است و با دارا بودن ۸ میلیارد مترمکعب انواع نمک ها پس از بحرالमित دومین دریاچه شور از نظر میزان شوری آب در جهان و بیستمین دریاچه بزرگ جهان است. همچنین پارک ملی دریاچه ارومیه پس از مرداب انزلی از مهم ترین زیستگاه های طبیعی جانوران در ایران به شمار می رود.

تراز کف دریاچه ۱۲۶۸ متر و تراز متوسط سطح دریاچه ۱۲۷۶/۲ متر بوده و دامنه نوسان از ۱۲۷۴/۱۳ متر تا ۱۲۷۸/۴ متر از سطح دریا در ۲۰ سال اخیر متغیر بوده است (دلاور و همکاران، ۱۳۸۷). به عبارت دیگر، سطح آب دریاچه درنیم قرن گذشته نوسانی در حدود ۴ متر داشته که در چند سال اخیر حتی به ۶ متر نیز رسیده است. عمق آب دریاچه بین ۵ تا ۱۶ متر متغیر و متوسط آن ۶ متر گزارش شده است که البته در زمان حال به کمتر از ۶ متر نیز رسیده است. مرتفع ترین نقطه موجود در حوضه، قله کوه سبلان به ارتفاع ۴۸۱۱ متر است. بنابراین تفاوت میان حداقل و حداکثر ارتفاع موجود در حوضه برابر ۳۵۳۷ متر هست.

عبور آجی چای از روی نهشته های ژپس - مارن - نمکدار و گنبد های نمکی شمال تبریز مقادیر متنابهی از مواد فوق را به داخل دریاچه حمل می کند. بعلاوه چشمه ها و آب های گرم منطقه و رودخانه های دیگری که در اطراف دریاچه واقع می باشند و همگی دارای آب شور هستند به واردات آب شور یا فوق اشباع نمک دریاچه کمک می کند (قنبری، ۱۳۷۱). میانگین نمک محلول در آب دریاچه بین ۲۲۰ تا ۳۰۰ میلی گرم در هر لیتر بوده و بر اساس شرایط زمانی و مکانی متفاوت هست که در سال های اخیر به دلیل تغییرات ایجاد شده در

سطح آب دریاچه و تبخیر زیاد، شوری آب افزایش یافته و تا ۳۸۰ میلی گرم در لیتر نیز رسیده است. به رغم شوری زیاد، جلبک‌های سبزی از قبیل اوندلا و سخت پوستانی از قبیل آرتمیا و باکتری‌ها از موجودات زنده دریاچه هستند. این سامانه زیستی در دوام حیات دریاچه نقش مؤثری را دارد و از نابودی آن جلوگیری می‌کنند (زمانی اکبری و ملکی، ۱۳۸۹). شکل (۱-۳) موقعیت حوضه دریاچه ارومیه و پلایای دریاچه (منطقه مورد مطالعه) را نشان می‌دهد.

شکل (۱-۳) موقعیت منطقه مورد مطالعه



### چگونگی پیدایش دریاچه ارومیه

برای تشکیل دریاچه‌های نمکی شرایط ویژه‌ای موجود است. اچ. پی ایگستر و ک. کلتس (۱۹۸۱) سه شرط اساسی را برای تشکیل چنین دریاچه‌هایی به شرح زیر لازم دانسته اند:

- مقدار آبی که از هر راهی از دریاچه بیرون می‌رود باید محدود باشد بطوریکه چرخه آب‌شناسی حوضه بسته‌ای را موجب شود.
- مقدار تبخیر آب دریاچه نسبت به آب‌های فرا رسیده بیشتر نباشد.
- مقدار آبی که بدان می‌رسد به اندازه‌ای باشد که بتوان آن را یک حوضه بسته رسوبی یا دریاچه نامید.

علاوه بر آن، تشکیل دریاچه‌ها وابستگی زیادی به عامل‌های دیگری مانند نیروهای تکتونیکی، کافت سازی، گسلش‌های بلوکی و راندگی‌ها دارد (شهرابی، ۱۳۷۱).

در مورد پیدایش دریاچه ارومیه نیز نظرات مختلفی بیان شده است؛

نخست این که دریاچه نسبتاً جوان است و بعد از آخرین فعالیت یخچالی و بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی پدید آمده است. برخی اعتقاد دارند که دریاچه ارومیه یک چین زمین‌شناسی است و طبقات رسوبی به سمت مرکز دریاچه امتداد دارند.

تعدادی از محققان نیز این دریاچه را به عنوان دریاچه پلویال ذکر کرده‌اند. علت توسعه این دریاچه را جابجایی جت استریم ذکر کرده‌اند و مطابق این نظر، علت اصلی سطح بالای دریاچه‌ها در خاورمیانه در طول آخرین دوره یخچالی جابجایی جت استریم به طرف جنوب عرض‌های میانی بواسطه تشکیل آنتی سیکلون دائمی در روی صفحات یخی اوراسیا و اروپای مرکزی بوده است.

با توجه به نظرات فوق می‌توان گفت که دریاچه ارومیه در گذشته بسیار وسیع بوده و تا پای ارتفاعات سهند گسترش داشته است.

#### **وضعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه**

حوضه آبریز دریاچه ارومیه از لحاظ توپوگرافی از تنوع زیادی برخوردار است به طوری که توسط یک محدوده کم و بیش مسطح در بخش شمالی و ارتفاعات گسترده در شرق،

جنوب و غرب محصور شده است. ارتفاع بلندترین قله در غرب دریاچه ۳۶۰۸ متر از سطح دریا هست. در جنوب بیشترین ارتفاعات ۳۱۷۳ متر در لندشیخان است. در شرق ارتفاعات بلقیس و کوه‌های خاله اوشاگی و سهند با ارتفاع ۳۷۰۷ متر قرار دارد. در بخش شمال و شمال شرقی، کوه سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر قرار گرفته است (مؤسسه تحقیقات آب، ۱۳۸۵).

توپوگرافی واحدهای سنگی دوران‌های مختلف آذربایجان مربوط به حرکت کوه‌زایی آلپ بوده که به‌صورت طاقدیس و ناودیس‌هایی در منطقه شکل گرفته و سه حوضه آبریز را تشکیل داده است:

حوضه آبریز دریاچه ارومیه (آذربایجان غربی و شرقی)

حوضه آبریز قزل اوزن (جنوب شرقی آذربایجان شرقی)

حوضه آبریز رودخانه ارس (آذربایجان غربی و شرقی) (معادی راد، ۱۳۸۸).

دریاچه ارومیه یکی از پست‌ترین فرونشست‌های ناحیه آذربایجان را تشکیل داده و دورتادور آن را کوه‌های بلندی با فراز بیش از ۲۰۰۰ متر فرا گرفته است (شهرابی، ۱۳۷۳). منطقه خارج از آب دریاچه از سه واحد اصلی تشکیل شده است:

واحد اول: منطقه مسطحی است که به‌صورت دشت هست و شیب آن به‌صورت ملایم از اطراف به مرکز دشت کم می‌شود یا هرچه از دریاچه دور می‌شویم بر ارتفاع زمین افزوده می‌شود تا اینکه به ارتفاعات بزرگ پیرامون دریاچه متصل می‌گردد.

واحد دوم: که در منطقه دریاچه وجود دارد مربوط به ارتفاعات منفردی است که به‌صورت جزیره از داخل آب سر بیرون آورده و بزرگ‌ترین آن‌ها جزیره اسلامی و قویون داغی و اشک و اسپیر می‌باشند.



واحد سوم: عبارت است از رشته کوه‌هایی که چاله تکتونیکی دریاچه را در سمت شرق و غرب و شمال و جنوب در برگرفته‌اند و خط الرأس این ارتفاعات حوضه آبریز دریاچه ارومیه را از حوضه‌های دیگر ایران مجزا می‌کند، به عبارت دیگر، دریاچه ارومیه از سه بخش مختلف تشکیل شده است:

➤ بخش آبی

➤ کوهستانی و کوهپایه‌ای و دشت مجاور

➤ جزایر داخل دریاچه

حدود ۶۷/۷ درصد از سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مناطق کوهستانی و ۱۷/۵ درصد را اراضی کوهپایه‌ای، دشت و تپه‌ها و ۱۴/۸ درصد را سطح دریاچه و باتلاق تشکیل می‌دهند (عباسیان، ۱۳۸۷).

### وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه در تقسیم بندی‌های ساختارهای تکتونیکی - رسوبی ایران، عمدتاً در زون البرز- آذربایجان قرار گرفته است. مرز شمالی زون مذکور با زون شمالی توسط گسل البرز و مرز جنوبی آن با گسل سمنان مشخص می‌گردد. از نگاه زمین ساخت صفحه‌ای دریاچه در قسمتی از پهنه خرد شده بین صفحه‌های عربستان و ایران و ریز صفحه‌های ایران و ترکیه قرار گرفته و می‌توان آن را نوعی دریاچه زمین ساختی دانست که کوه‌های بلندی آن را در بر گرفته است. این دریاچه در یک فرو نشست کم عمق وسیع با میانگین ژرفای ۶ متر قرار گرفته است. ولی ژرف‌ترین نقطه آن با ۱۳ متر عمق در گوشه شمال غربی جای دارد. سطح آن نسبت به سطح به سطح آب دریا‌های آزاد، ۱۳۰۰ متر بالاتر قرار دارد.

از نگاه زمین شناسی، حوضه آبریز دریاچه حاصل عملکرد سامانه های گسل های فشاری، مانند گسل تبریز- زرینه رود است که در سیستم آگیری آن نقش اساسی داشته اند. دریاچه ارومیه به شکل کنونی آن پدیده نسبتاً جوانی است که در دوره ائوسن تشکیل شده و از نگاه زمین شناسی ساختمانی در یکی از جنبه ترین ناحیه های شمال غرب کشور جای دارد و پس از آخرین دوره یخچالی تشکیل گردیده است. این دریاچه در آغاز به صورت پایگاه آب های شیرین رودخانه ای بوده که بتدریج با شکل گرفتن و تعادل و تکامل به صورت کنونی درآمده است. با توجه به بررسی های زمین شناسی و ژئومورفولوژیکی از دریاچه می توان گفت دریاچه ارومیه دریاچه ای است جوان که در ازای زمانی میان تشکیل دیاتومیت های دریای پاراتیس تا تشکیل دریاچه امروزی قرار دارد، در این مدت سیستم گسله ای که دریاچه را در برگرفته (گسله های شمال تبریز، زرینه رود، سلماس، شبستر و شاخه های فرعی آنها) می توانسته است در تشکیل آن نقش آفرین باشد (شایان و جنتی، ۱۳۸۶).

### ویژگی های اقلیمی منطقه مورد مطالعه

شناخت ویژگی های محیطی به ویژه عوامل اقلیمی و نقش آنها در منابع طبیعی تجدید شونده با مطالعه و ارزیابی خصوصیات آب و هوایی مناطق مختلف امکان پذیر می گردد. با آگاهی و شناخت کامل از امکانات و محدودیت هایی که عوامل اقلیمی بر منطقه ای اعمال می کنند می توان در جهت استفاده بهینه از این منابع گام برداشت.

آب و هوای محدوده دریاچه در بعضی نقاط معتدل نسبتاً گرم و در برخی از نقاط آن خصوصاً در نواحی کوهستانی و جزایرش مدیترانه ای معتدل تا خشک و استپی هست. این منطقه تحت تأثیر سه جریان هوایی از جهات مختلف قرار دارند. در طول دوره سرد، منطقه تحت تأثیر توده های هوای سرد سیبری و توده های اقیانوس اطلس و مدیترانه قرار می گیرد.

در فصل زمستان حاکمیت توده هوای خشک و سرد سیبری در سطح منطقه بیشتر است و دمای هوا به شدت کاهش می‌یابد. در فصل بهار به تدریج حاکمیت این توده هوا کمتر می‌شود و بادهای مرطوب حاصل از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه این منطقه را متأثر می‌سازد. در طی دوره گرم جریان‌های خشک و گرم حاصل از عربستان و صحرای بزرگ آفریقا منطقه مورد مطالعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و دمای هوا به شدت بالا می‌رود (عصری، ۱۳۷۷).

همچنین اقلیم این حوضه از سمت غرب تحت تأثیر توده هوای مدیترانه‌ای و از سمت شرق تحت تأثیر توده هوای قاره‌ای از طریق مرکز آسیا قرار دارد. رژیم بارندگی حوضه مدیترانه‌ای و در بعضی نواحی شبه مدیترانه‌ای است. اقلیم نیمه مرطوب معتدل با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل بیش‌ترین وسعت حوضه آبریز دریاچه ارومیه را تحت تأثیر قرار داده است. گستره مرکزی این حوضه، که دریاچه نیز در آن قرار دارد دارای اقلیم نیمه خشک است.

توده هواهایی که اقلیم منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند عبارتند از:

۱. توده هوای اطلس شمالی یا اسکاندیناوی که از مسیر اروپای شرقی و از روی دریای سیاه وارد می‌شود که دارای ماهیتی سرد و بحری هست. با وجود اینکه این جریان نیز قسمت اعظم بخار خود را در سراسر اروپا و روسیه برجای می‌گذارد، ولی در آذربایجان نیز ورود این جریان از سمت شمال و شمال غرب با سرمای شدید و بارش برف سنگین همراه است.

۲. مدیترانه مرکزی که با ماهیت معتدل و بحری خود که قسمت اعظم بخار خود را در کوهستان‌های ترکیه و زاگرس از دست می‌دهد؛ از طرف غرب، ایران و آذربایجان را متأثر می‌سازد. این جریان، منشأ قسمت اعظم نزولات جوی ایران

هست و ورود آن به منطقه با تعدیل درجه حرارت و رطوبت هوا همراه است و باعث بارندگی‌های و در مواردی با کاهش شدید دما همراه می‌گردد.

۳. مدیترانه شرقی که پس از عبور از کشورهای واقع در حاشیه شرقی مدیترانه، ایران را تحت تأثیر قرار داده و باعث بارندگی‌های قابل ملاحظه در منطقه می‌شود.

۴. توده‌های هوای شمال شرقی (جریان هوای سیبری و آسیای مرکزی)، که ماهیتی بری و سرد دارد و تداوم آن‌ها در فصل زمستان زیاد بوده و منشأ آن‌ها سیبری است. از سمت شمال و پس از عبور از دریای خزر و جذب رطوبت آن، آذربایجان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این جریان نیز قسمت اعظم رطوبت خود را در دامنه‌های شرقی طالش برجای می‌گذارد. این توده‌های هوا ضمن نفوذ هوای سرد به منطقه، گاهی موجب بارش خفیف و پراکنده برف می‌شود. ورود این جریان، در نواحی شمال شرقی و شرقی منطقه با سرما و افزایش میزان رطوبت هوا همراه است و در مناطق دیگر، به‌ویژه مناطق مرتفع، حاکمیت سرما و یخبندانی خشک را سبب می‌شود. جریان هوای سیبری در تابستان باعث کاهش شدت گرما و خنک‌شدن هوا می‌گردد.

۵. توده‌های هوای جنوب شرقی، این توده‌های هوا که از سمت عربستان و صحرای بزرگ آفریقا وارد می‌شوند؛ منحصراً در فصل تابستان منطقه را تحت تأثیر قرار داده و تداوم آن‌ها اندک است و باعث افزایش دما می‌گردند (بیاتی خطیبی، ۱۳۷۴؛ سالنامه آماری استان آذربایجان شرقی، ۱۳۹۰).

## هیدرولوژی و بیلان آبی منطقه مورد مطالعه

منابع تأمین کننده آب این دریاچه شامل جریان های سطحی رودخانه ها، جریان های آب های زیرزمینی و بارش مستقیم به سطح دریاچه است (عبدالهی شریف و همکاران به نقل از کامران، ۱۳۹۱). ۱۷ رودخانه ی دائمی، ۱۲ رودخانه فصلی و ۳۹ مسیل منابع آب سطحی را در حوضه دریاچه ارومیه تشکیل می دهند (دائمی، ۱۳۸۸). ۳۰ رودخانه بزرگ هریک از جهات مختلف به ویژه جنوب شرقی بدان وارد می شوند که در اردیبهشت ماه آب رودخانه های مذکور به حداکثر و در اواخر تابستان به حداقل می رسد. در فصل بهار به علت افزایش آب رودخانه ها و جریان سطحی در نتیجه بارندگی ها و ذوب برف، اختلاف غلظت در مناطقی که نزدیک به محل های ریزش هستند با سایر مناطق دیگر بیشتر هست (دانشور و همکاران، ۱۳۷۴). در سال های نرمال، مجموع برداشت از منابع آب در سطح حوضه آبریز از ۴۷۰۰ میلیون متر مکعب در سال تجاوز می کند که نزدیک به ۹۴٪ آن صرف فعالیت های کشاورزی می شود. بیش از ۶۴٪ از کل آب مصرفی از منابع آب سطحی و باقی آن از آب های زیرزمینی تأمین می شود.

به طور کلی، حوضه دریاچه ارومیه را می توان به سه منطقه اصلی طبقه بندی نمود:

۱. حوضه شرقی و رودخانه های اصلی آن: مهم ترین رودخانه های این بخش عبارتند از آجی چای، بیوک چای، قلعه چای، صوفی چای، مردق چای و لیلان چای که در مجموع، مساحتی حدود ۳۲/۴ درصد مساحت کل، یعنی ۱۷۰۷۵ کیلومتر مربع را در بر می گیرد.

۲. حوضه جنوبی و رودخانه های اصلی آن: زرینه رود، سیمینه رود، مهابادچای و گادارچای تشکیل دهنده مهم ترین رودخانه های این بخش اند. مساحت این حوضه

نیز از مساحت کل حوضه آبریز دریاچه، ۶ / ۳۷ درصد یعنی ۱۹۸۱۵ کیلومتر مربع هست.

۳. حوضه غربی و رودخانه‌های اصلی آن: باراندوزچای، شهرچای، روضه‌چای و نازلوچای و تعدادی رودهای کوچک نیز تشکیل دهنده رودخانه‌های مهم حوضه غربی هستند و مساحت آن معادل ۴/۱۵ درصد مساحت کل حوضه، حدود ۸۱۱۶ کیلومتر مربع هست. در شمال دریاچه نیز باریکه‌ای (دریان‌چای) وجود دارد که رودخانه عمده‌ای ندارد و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار نیست (موحد دانش، ۱۳۷۳).

در حوضه آبریز دریاچه ارومیه رودهای متعددی جریان دارند که عبارتند از:

- تلخه رود یا آجی‌چای: در شمال تبریز از کوه‌های سالوان و سهند سرچشمه گرفته نزدیک گوکان به دریاچه می‌ریزد.
- مردق رود: از سهند سرچشمه می‌گیرد و از جانب شرق، شهرستان مراغه را مشروب ساخته و سپس به دریاچه می‌ریزد.
- صوفی چای: از دامنه‌های جنوب غربی سهند سرچشمه گرفته، شهرهای مراغه و بناب را مشروب می‌کند و سپس وارد دریاچه می‌شود.
- رود آذرشهر (دهخوارقان): از سهند سرچشمه می‌گیرد و از جنوب آذرشهر گذشته گوکان را مشروب می‌سازد و وارد دریاچه می‌شود.
- زرينه‌رود (جغاتو یا جغاتی): از کوه‌های چهل چشمه کردستان سرچشمه یافته، از جنوب شاهین دژ و میاندوآب می‌گذرد و بزرگ‌ترین رودی است که به دریاچه ارومیه می‌ریزد. سرچشمه این رود از کوه‌های چهل چشمه، قره‌الیاس، یازین و

- شاخه رَش، از توابع سرشیو شهرستان سقز است. طول آن ۲۴۰ کیلومتر و هنگام رسیدن به دریاچه دلتایی تشکیل می‌دهد که پهنای آن بیش از ۱۰ کیلومتر است.
- قادر رود، رود اورمیا و شهرچای: رودهایی هستند که از ارتفاعات کردستان سرچشمه گرفته و به دریاچه می‌ریزند.
- زولو (زولا) رود: از ترکیه سرچشمه یافته، قسمتی از شهرستان سلماس را مشروب می‌کند و در شمال کنگرلو به دریاچه وارد می‌شود.
- نازلو چای: از ترکیه سرچشمه گرفته، قسمتی از آن خط مرزی بین ایران و ترکیه را تشکیل می‌دهد و به صورت دو شعبه مجزا وارد دریاچه می‌شود.
- سیمینه‌رود یا تاتاوا: از کوه‌های سقز و بانه سرچشمه گرفته پس از عبور از ساوجبلاغ مگری به دریاچه می‌ریزد.
- باراندوز چای: از ارتفاعات مرزی جمال‌الدین سرچشمه گرفته، به سوی شمال جاری می‌شود، از روستای باراندوز گذشته در حیران وارد دریاچه ارومیه می‌شود.
- آب این رودخانه‌ها که از باران و برف تأمین می‌گردد، عمدتاً در فصل بهار جریان دارد و در تابستان‌ها از حجم آن به میزان قابل توجهی کاسته می‌شود. شایان ذکر است که قسمت اعظم سهم آب ورودی به دریاچه در این حوضه آبریز از رودخانه‌های آذربایجان غربی تأمین می‌شود (مدیریت پایدار منابع آب و کشاورزی، ۱۳۹۱).
- از کل مساحت حوضه، حدود ۵ هزار کیلومتر مربع آن مربوط به دریاچه و مناطق باتلاقی و حدود ۳۶ هزار کیلومتر مربع آن مساحت حوضه آبریز ۲۱ رودخانه‌ای است که به دریاچه تخلیه می‌شوند. حدود ۴۶۰۰ کیلومتر مربع مراتع و سواحل پست اطراف دریاچه و حدود ۵۸۰۰ کیلومتر مربع آن سطح حوضه ۳۹ مسیل است.

### جزایر مهم دریاچه ارومیه

این دریاچه دارای جزایر و شبه جزیره‌های متعددی است که همگی آن‌ها از اهمیت توریستی قابل توجهی برخوردارند. در مجموع دریاچه ارومیه دارای ۱۰۲ جزیره کوچک و بزرگ با صخره‌های سنگی بدون سکنه، البته به جز جزیره اسلامی هست. جزایر دریاچه غالباً به صورت مجمع‌الجزایر ظاهر می‌شوند، ولی شکل جزایر تابع نوسانات سطح آب دریاچه است. جزایر کبودان، اشکف، اسپیر و آرزو در مجموع تشکیل دهنده بزرگ‌ترین جزایر دریاچه بوده و به طور متوسط مساحتی بالغ بر ۳۰۲۶۴۰ هکتار را به خود اختصاص می‌دهند. تنها جزیره مسکون، جزیره اسلامی (شاهی) است. این جزیره در شرق دریاچه قرار گرفته است. با توجه به افت شدید سطح آب دریاچه در سال‌های اخیر، این محدوده از دریاچه بیشتر به صورت شبه جزیره دیده می‌شود.

خاک جزایر بیشتر از تیپ آهکی کم عمق و شور قلیایی است. منابع آب جزایر کلاً زیرزمینی است که در بعضی از آن‌ها به صورت چشمه و قنات تظاهر پیدا می‌کنند. آب و هوای آن‌ها سرد و مرطوب، دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل و به طور معمولی تحت تأثیر جریان هوای مرطوب - مدیترانه‌ای قرار دارند و علاوه بر آن اغلب توده‌های هوایی سردسیر نیز به این منطقه کشیده می‌شوند. معمول درجه حرارت به طور متوسط بین ۳۸ تا ۲۸- درجه متغیر بوده و میزان بارندگی سالیانه نیز بین ۲۵۰ تا ۵۷۰ میلیمتر در نوسان هست. پوشش گیاهی جزایر از نظر ظاهری جامعه استپی و اغلب از گیاهان یکساله خشکی پسند و گیاهان نمک دوست و بالاخره درختان و درختچه‌ها است.



## ویژگی‌های زیست محیطی دریاچه ارومیه

دریاچه ارومیه به عنوان «دومین دریاچه شور جهان»، «بزرگ‌ترین زیستگاه آرتمیا»، «بیستمین دریاچه بزرگ جهان»، «بزرگ‌ترین آبگیر دائمی آسیای غربی» در سال ۱۳۴۶ به عنوان منطقه حفاظت شده انتخاب و در سال ۱۳۴۹ به پارک ملی تبدیل گردید و بعدها نیز به عنوان یکی از نادرترین ذخیره‌گاه بیوسفری ایران و جهان در نظر گرفته شده و جزء یکی از تالاب‌های حائز اهمیت بین المللی محسوب می‌شود. این دریاچه زیستگاه سخت پوستی بنام آرتمیا که یکی از گونه‌های کمیاب محسوب می‌شود.

شناخت ترکیبات شیمیایی آب دریاچه ارومیه، در شناسایی پتانسیل بالقوه این دریاچه در استحصال املاح با ارزش موجود در آن دارای اهمیت بسزایی است. آب دریاچه ارومیه به‌طور متوسط دارای حدود ۳۰۰ گرم در لیتر املاح مختلف است. به همین دلیل یکی از دریاچه‌های فوق اشباع جهان به شمار می‌آید.

محیط زیست طبیعی توان اکولوژیکی محدودی را برای استفاده‌های بشر دارا است و اکوسیستم‌های طبیعی از گنجینه‌های زیستی بشری محسوب می‌شوند که حفظ آن‌ها برای نسل‌های آینده ضرورت دارد.

نگهداری از منابع طبیعی یکی از وظایف و مسئولیت‌های بشر است. باوجود نزدیک به یک قرن تبلیغ در زمینه محیط زیست، نگهداری از منابع طبیعی پیشرفت بسیار اندکی داشته است. بی‌شک وضعیت محیط زیست دریاچه ارومیه پیچیدگی‌های خاص خود را دارد و ضروری است با توجه به منابع محیطی و انسانی موجود در این بخش از سرزمین به توسعه پایدار توجه بیشتری معطوف گردد (اشرفی، ۱۳۸۹).

تا بحال بسیاری از منابع طبیعی و میراث فرهنگی ایران در سایه بی‌توجهی از بین رفته است، منابع و میراثی که می‌توانست به عنوان پتانسیلی قوی مورد استفاده و بهره‌برداری قرار

گیرد، اما حتی بدون بهره‌برداری درست و اصولی از آن به دست نابودی سپرده شد. این در حالی است که نابودی برخی منابع طبیعی می‌تواند به فاجعه‌ای عظیم منجر شود که نتایج آن تا سال‌ها و بلکه قرن‌ها نیز برجای بماند. مرگ دریاچه ارومیه یکی از همین فجایع است، فجایعی که تاریخ آن را با خود می‌برد تا سالیان درازی که دیگر هیچ کدام از ما در آن نخواهیم بود. مطالعه گذشته دریاچه و روند سیر قهقرایی آن، شناخت دقیق وضعیت فعلی و پیش‌بینی وضعیت آینده ضروری بوده و تنها با بررسی کارشناسانه، بی‌طرفانه و همه‌جانبه در هر بخش است که می‌توان به نتایج مثبت، علمی، عملیاتی و زود هنگام دست یافت.

بر اساس بررسی‌ها، میانگین دراز مدت سالانه جریان ورودی به دریاچه ۵۳۱۷ میلیون متر مکعب برآورد شده است. حجم دریاچه با احتساب ۵۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت دریاچه و عمق متوسط ۶ متر، به ۳۰ کیلومتر مکعب بالغ می‌گردد. حجم آب دریاچه بر این اساس به ۳۰۰ میلیارد متر مکعب می‌رسد که با توجه به محتوی ۳۰۰ گرم در لیتر یا ۳۰۰ کیلوگرم در تن نمک طعام حدود ۶ میلیارد تن نمک محلول در آب دریاچه موجود می‌باشد. این ذخیره نمک دریاچه ارومیه را به بزرگترین معدن نمک آبی دنیا تبدیل می‌کند. (علیپور ۱۳۸۸: ۸)

اکو سیستم دریاچه ارومیه دارای دو مجموعه گیاهی خاص خود می‌باشد:

۱- پوشش شوره زارهای اطراف دریاچه، که بخش عمده مساحت خشکی این پارک ملی را به خود اختصاص می‌دهد.

۲- پوشش گیاهی جزایر که به طور عمده در جزایر کبودان، اشک، اسپیر، آرزو و اسلامی مشاهده می‌شود.



شکل ۱: شکل کلی دریاچه ارومیه

## یافته ها

پوشش گیاهی برخی از جزایر منطقه، بیشه زار و نیمه جنگلی که وسعت این مناطق نیمه جنگلی را ۴۸۱۰ هکتار برآورد کرده‌اند. (بقایی، ۱۳۸۸: ۵) گونه‌های گیاهی شناخته شده پیرامون دریاچه ۱۷۷ گونه و گونه‌های جزایر ۱۷۴ مورد است. بزرگترین خانواده‌های گیاهی اطراف دریاچه در این پارک ملی متعلق به خانواده کاسنی با ۳۳ گونه، خانواده گندمیان با ۲۱ گونه و بزرگترین جنس به فرفیون و شنبلیله وحشی اختصاص دارد. از بین خانواده‌های پارک ملی دریاچه ارومیه تعداد ۱۲ خانواده بومی اختصاصی ایران هستند اما نیمی از گیاهان ناحیه فیتوژئوگرافیک ایران و تورانی می‌باشند. (علیپور، ۱۳۸۸: ۲۶) به طور کلی در پارک ملی دریاچه ارومیه ۲۷ گونه پستاندار، ۲۱۲ گونه پرنده، ۴۱ گونه خزنده و ۷ گونه دوزیست و ۲۶ گونه ماهی وجود دارد به عنوان نمونه ۸۰ درصد جمعیت گوزن زرد ایرانی در جزیره اشک و ۸۰۰ رأس قوچ و میش ارمنی در کبودان و از دیگر حیوانات می‌توان از فلامینگو، قو و پلیکان نام برد. (بقایی، ۱۳۸۸: ۵) از میان ۲۵ گونه خزنده و دوزیستی که تاکنون در استان آذربایجان غربی شناسایی شده‌اند ۳ گونه دوزیست و ۱۰

گونه مار و مارمولک در حوضه آبریز و سواحل محدوده پارک ملی دریاچه ارومیه زندگی می کنند (علیپور، ۱۳۸۸: ۷۳)

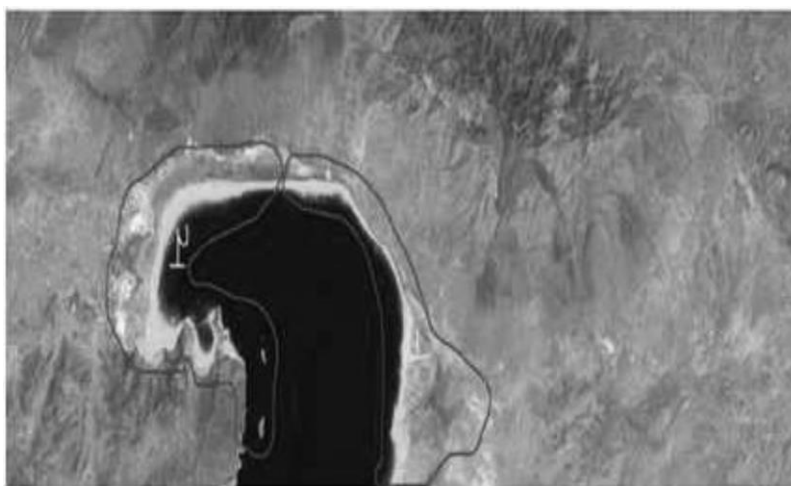
آرتمیا یکی از انواع مهم و نسبتاً گسترده سخت پوستان است که از آب های لب شور تا آب های خیلی شور، که میزان املاح آن ممکن است تا چند برابر آب دریا باشد زندگی می کند (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۵) که به عنوان یک غذای زنده با ارزش در تغذیه مراحل اولیه زندگی بسیاری از آبزیان تجاری از جمله میگو، بچه ماهیان خاویاری، آزاد ماهیان، صدف ها و غیره بکار می رود (یارمحمدی و همکاران، ۱۳۸۱: ۸۵). کارشناسان اعتقاد دارند اگر دریاچه در وضعیت طبیعی خود باشد تنها از طریق برداشت آرتمیا سالانه چیزی در حدود ۲ تریلیون تومان درآمد نصیب کشور خواهد شد. در حالی که می دانیم تمامی درآمد بخش کشاورزی استان آذربایجان غربی در بهترین شرایط ۷۰۰ تا ۸۰۰ میلیارد تومان برآورد می شود. بسیار تأسف انگیز است که بدانیم هر کیلو از آرتمیای تولید شده در کشور چین به قیمت ۲۰۰ تا ۳۰۰ دلار جهت مصرف در صنعت پرورش آبزیان وارد بازار ارومیه می شود. (بقایی، ۱۳۸۸: ۵) دریاچه ارومیه به ویژه در سال های اخیر در معرض تغییرات قابل ملاحظه های به ویژه در شرق و جنوب شرقی آن قرار گرفته است. به طور متوسط حدود ۲۳ درصد (تقریباً ۱۲۰۰ کیلومتر مربع) مساحت دریاچه کاهش یافته است، به طوری که در طول ده سال گذشته، به طور متوسط حدود ۶۰ کیلومتر از مجموع خطوط ساحلی دریاچه جابجا شده است و جزیره اسلامی که بزرگترین جزیره این دریاچه به طور کامل از آب خارج شده است و مساحت خارج شده از زیر آب به صورت زمین های بدون کشت، خشک و نمکی در معرض باد در تصاویر و طبیعت قابل مشاهده است که تهدیدی جدی برای مزارع واقع در اطراف دریاچه محسوب می شود (رسولی و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۸). با توجه به نقشه های پراکنش مواد معلق، در قسمت های شمالی و میانه دریاچه،

تمرکز مواد معلق در آب دریاچه از یک وضعیت عادی برخوردار بوده و تمرکز این مواد بیشتر در قسمتهای جنوب و جنوب شرقی تا غرب م یباشد (شایان و جنتی، ۱۳۸۶: ۳۶). اینک دانشمندان معتقدند چنانچه دریاچه ارومیه خشک شود. منطقه تبدیل به بیابانی به وسعت ۵۷۰ هزار هکتار با ۸ میلیارد متر مکعب نمک می شود. که با وزش اولین بادهای به جای شن یا رس این نمک است که در هوا منتشر شده و موجب تخریب محیط زیست خواهد شد تخریبی که بدون شک از مرزهای کشور خواهد گذشت و در خوشبینانه ترین شرایط کشورهای همسایه را نیز در شرایط بحران زیست محیطی گرفتار خواهد نمود. خشک شدن و یا کم شدن آب دریاچه تعادل اکولوژیک شمال غرب کشور را بر هم خواهد زد، آب و هوا را تغییر داده و با تأثیرگذاری مستقیم بر روی حیات مردمی که سالیان سال با دریاچه زندگی کرده اند باعث مهاجرت میلیونی آنها خواهد شد. حضور دریاچه تاکنون باعث ایجاد ویژگی ساحلی به این منطقه کوهستانی و تعدیل آب و هوا شده است. خشک شدن دریاچه یعنی پایان کشاورزی، پایان گردشگری، پایان آرتمیا، پایان آب و هوای معتدل، پایان کار اسکله ها و شناورها، و برای جانوران و پرندگان و آغاز یک فاجعه زیست محیطی. (بقایی، ۱۳۸۸: ۵) در تصویر سال ۱۹۸۵ تن های تیره نشان دهنده دریاچه در زمان حداکثر ظرفیت خود م یباشد. تن های سبز رنگ گیاهان (کشاورزی و جنگلی) را نشان می دهد. در تصویر ۲۰۱۰ تن های آبی روشن نشان دهنده آب سطحی و نمک در طول کناره های دریاچه است. تن های سبز رنگ بسط یافته نشان دهنده افزایش استفاده از آب های سطحی و انحراف در این بخش بدلیل حجم بالای تصاویر، از طریق نرم افزار Advanced compressor مسیر رودخانه ها برای آبیاری است کاهش حجم داده و به این دلیل، کیفیت تصاویر پایین آورده شد. تصاویر ماهواره ای در این بخش به قسمتهای شمالی، مرکزی و جنوبی برش زده و سپس جهت مقایسه بخش های کوچک تر با هم اعداد گردیدند تا

وضوح تغییرات در ۲۵ سال گذشته مشخص تر شوند. با توجه به شکل ۲ مشخص می شود که کشاورزی تا حاشیه های نزدیک دریاچه در سال ۱۹۸۵ رونق داشته و مردم حاشیه دریاچه از آن هم بهر هوری مطلوبی داشته اند، در حالیکه با نگاه به تصویر ۲۰۱۰ همان شکل مشخص می گردد که هم اراضی کشاورزی پسروی داشته و هم اینکه در قسمت شمال غربی تصویر پسروی دریاچه بیشتر شده و به تبع به میزان زمین های شور در حاشیه دریاچه افزوده شده و میزان پوشش گیاهی حاشیه دریاچه نیز کمتر شده است.

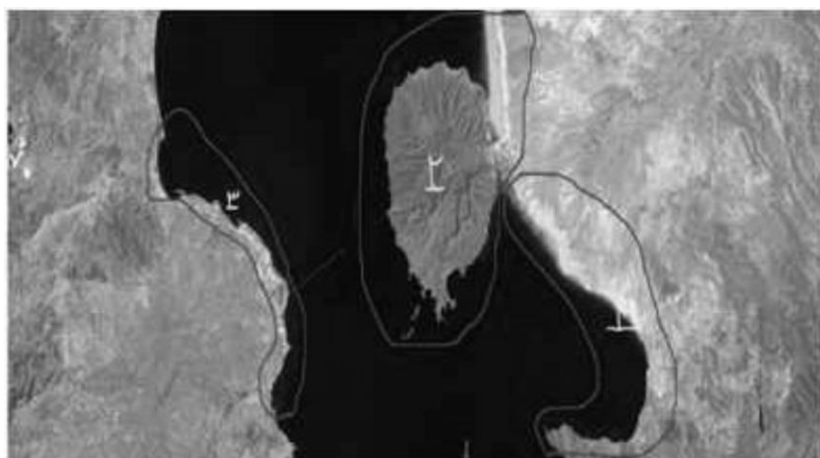


شکل: ۲ تصویر بخش شمالی دریاچه ارومیه در سال ۱۹۸۵

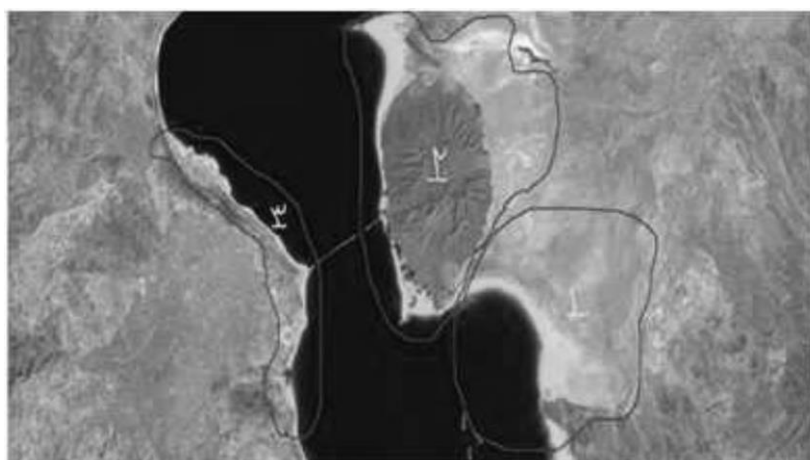


شکل: ۳ تصویر بخش شمالی دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰

وضوح تصویر در بخش مرکزی نسبت به بخش شمالی خیلی بیشتر می باشد همان گونه که مشخص است تن های سبز رنگ در تصویر سال ۱۹۸۵ به مراتب بیشتر از تصویر سال ۲۰۱۰ است. به عبارت دیگر میزان پوشش گیاهی در مناطق نزدیک دریاچه زیاد ولی این امر در تصویر سال ۲۰۱۰ کمتر شده و همچنین میزان زمین های شور در تصویر سال ۲۰۱۰ به مراتب بیشتر از تصویر سال ۱۹۸۵ می باشد. میزان خشکی و شوری زمین های حریم شماره ۲ به مراتب بسیار بیشتر از حریم شماره یک است زیرا میزان ارتفاع در حاشیه حریم شماره ۲ و همچنین میزان رسوب گذاری در آن بیشتر شده است.

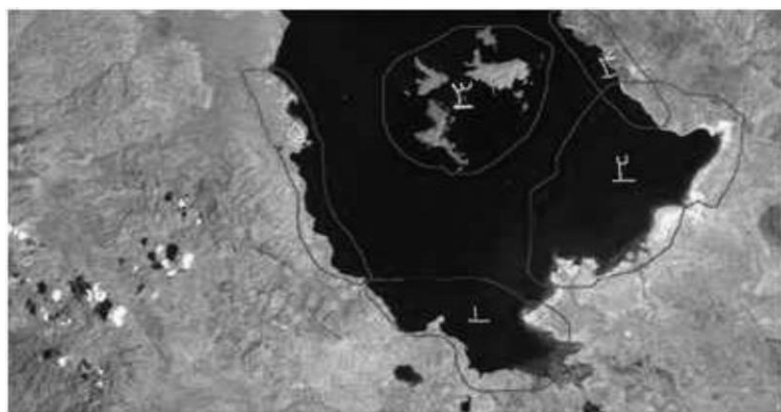


شکل: ۴ تصویر بخش مرکزی دریاچه ارومیه در سال ۱۹۸۵



شکل: ۵ تصویر بخش مرکزی دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰

تصاویر بخش جنوبی نشان دهنده پسروی بسیار گسترده دریاچه نسبت به بخشهای دیگر دریاچه است به گونه‌ای که جزایر کوچک‌تر داخل دریاچه به گلوله‌های از نمک تبدیل گردیده است. در تصویر سال ۲۰۱۰ بخش ۳ و ۱ می‌باشد. به عبارتی مناطق شرق دریاچه نسبت به غرب آن از، جنوبی، اولویت پسروی به ترتیب بخش ۲ شوری و نمکی شدن بیشتری رنج م‌یبرد. همچنین با حرکت به سمت مناطق جنوب یت دریاچه مشاهده می‌گردد که بر میزان شوری زمین‌های اطراف دریاچه و خشک شدن دریاچه افزوده می‌گردد و این امر مخصوصا در مناطق جنوب شرقی دریاچه وضوح بیشتری را نشان می‌دهد. البته بخش جنوبی دریاچه در شکل شماره ۷ نشان از یک بحران بسیار گسترده دارد.



شکل: ۶ تصویر بخش جنوبی دریاچه ارومیه در سال ۱۹۸۵



شکل: ۷ تصویر بخش جنوبی دریاچه ارومیه در سال ۲۰۱۰



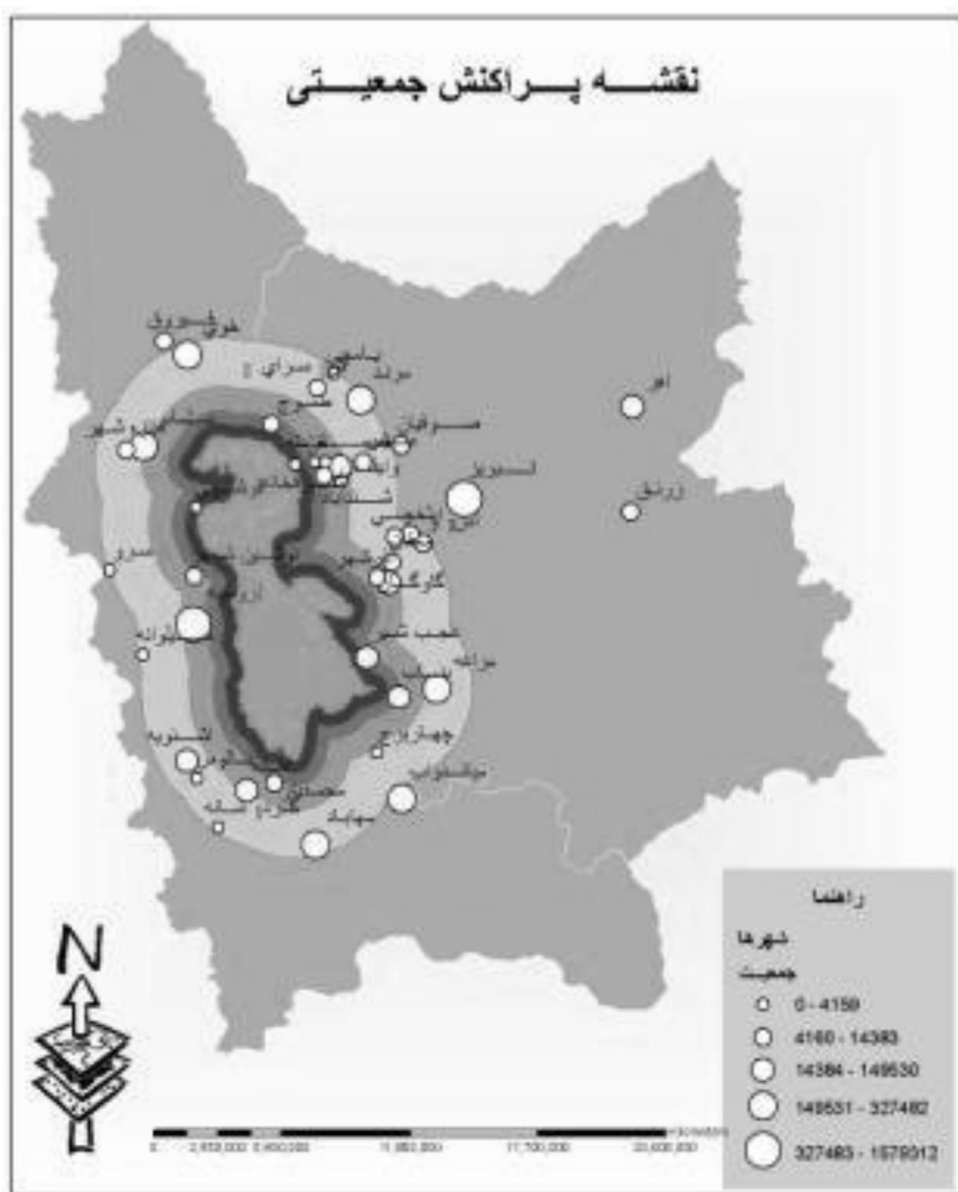
با روی همگذاری لایه‌های اطلاعاتی استان‌ها، شهر، دریاچه و... حریم بندی دریاچه در چهار حریم ۵و۱۰و۲۰و۴۰ کیلومتر و مساحت هر کدام مشخص گردید به گونه‌ای که حریم اول با مساحت ۲۳۱۵، حریم دوم با ۴۶۳۰ کیلومتر، حریم سوم با ۹۲۶۰ کیلومتر و حریم چهارم با ۱۸۵۲۰ کیلومتر تفکیک شدند. این حریم‌بندی نشان می‌دهد که از بیرونی‌ترین حریم به طرف داخل بر دامنه مشکلات زیست محیطی و... افزوده می‌شود.



شکل ۸: نقشه حریم بندی دریاچه ارومیه

در نقشه پراکنش جمعیتی، لایه جمعیت بر روی نقشه حریم بندی گذاشته شد تا میزان جمعیتی که بر روی هر

کدام از حری مها قرار می گیرند مشخص گردد و بدین ترتیب شهرهای بزرگی هم چون خوی، مرند، مراغه، میاندوآب، مهاباد، اشنویه بر روی حریم چهار قرار دارند و شهر ارومیه، نقده، آذرشهر، سلماس و شبستر بر روی حریم سوم، شهرهای عجب شیر، طسوج، بناب، نوشین شهر بر روی حریم دوم و چندین شهر کوچکتر بر روی حریم اولی قرار دارند. این نقشه خطرپذیری هر کدام از شهرها را نشان می دهد که هر کدام از شهرهای واقع در حریمها باید خود بر تجدید حیات دریاچه مصرتر باشند تا از مشکلات پیشرو پیشگیری نمایند و مخصوصا ارگانهای محیط زیستی شهرها در حریم شماره یک، بایستی تلاش بسیار زیادی در تجدید حیات دریاچه انجام دهند. با توجه به اینکه اطراف دریاچه ارومیه یکی از مناطق بسیار مهم و پر جمعیت شمال غرب کشور قرار دارد فلذا ضرورت توجه به احیای آن را دو چندان می کند. همانگونه که بیان شد یکی از اثرات انکار ناپذیر در امر خطرپذیری مناطق اطراف دریاچه ارومیه باد است که با جابجای ذرات نمک علاوه بر شهرهای داخل کشور بر مناطق خارج از مرز نیز تأثیر زیادی داشته و دارد. برای بررسی ۵ و ۷ که نشان دهنده میزان نمک در مناطق مختلف، این موضوع نقشه جهت باد تهیه گردید. با توجه به اشکال ۳ دریاچه هستند چنانچه جهت باد از روی این مناطق نمکی باشد بر خطر مناطق متاثر از آن افزوده خواهد گردید. بدین ترتیب شهرهایی که جهت وزش باد در آنها جنوب غربی است و در شرق دریاچه ارومیه واقع شده اند (تبریز، آذرشهر، صوفیان، میاندوآب، مرند و...) در منطقه حداکثر خطرپذیری قرار دارند و شهرهایی همچون بناب که جهت باد در آنها غربی است در اوج خطر قرار دارند و شهر مهاباد و سلماس که جهت باد شمال شرقی را دارا می باشند نیز از این خطر در امان نمی باشند.



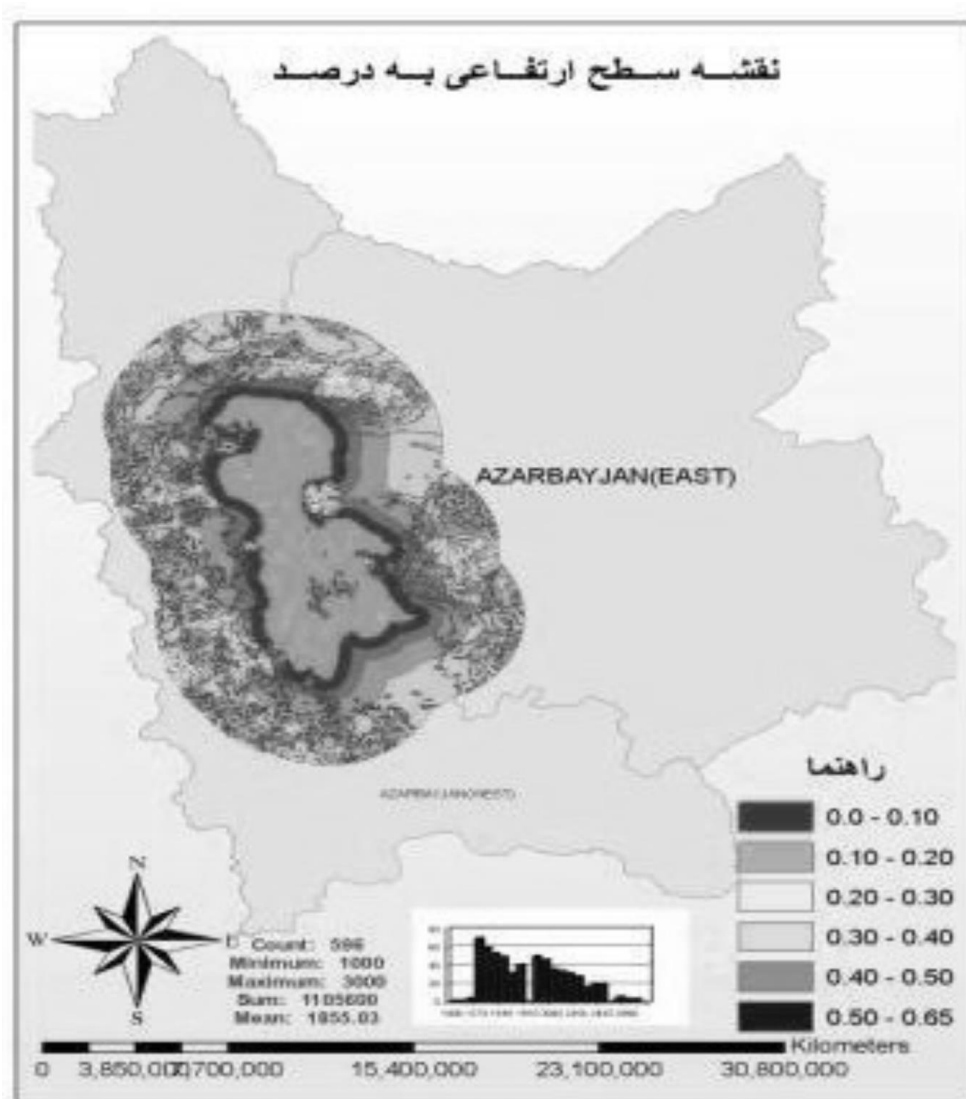
شکل ۹: نقشه پراکنش جمعیتی حاشیه دریاچه ارومیه

در کل می‌توان بیان نمود که اکثریت شهرهای منطقه اطراف دریاچه، در بخش شرقی آن قرار دارند که جهت باد در آن‌ها غربی یا جنوب غربی است در خطر تاثیرپذیری جابجایی ذرات نمک را دارند.



شکل ۱۰: نقشه جهت وزش باد در حاشیه دریاچه ارومیه

همچنین با توجه به شکل ۱۱ می توان گفت هر چه شهرهایی که در مسیر باد از طرف دریاچه قرار دارند، از ارتفاع پایین تری برخوردار باشند در معرض خطر بیشتری هستند زیرا که ارتفاع می تواند به عنوان یک سد در مقابل باد عمل نماید و اگر ذرات نمک هم با باد همراه باشد در جهت باد با افزایش ارتفاع انباشت ذرات صورت خواهد گرفت،



شکل: ۱۱ نقشه سطوح ارتفاعی اطراف دریاچه ارومیه

شکل ۱۲ نشان دهنده کاربری اراضی در حریم بندی دریاچه ارومیه است. همانگونه که نشان داده می شود بیشترین کاربری اطراف دریاچه به اراضی دامنه‌ای با ۳۷۰۷۴۵ کیلومتر مربع اختصاص دارد، سپس اراضی دیم با

۵۳۹۶۱، آبی با ۴۲۱۰۹، نامناسب با ۲۸۵۲۲، زمین شور با ۵۹۱۳، باتلاق با ۲۳۶۱ و شهری با ۱۱۳۳ کیلومتر مربع اختصاص دارد. آنچه که در نقشه نمود بیشتری دارد شامل: زمین‌های دامنهای که اکثراً در بخش شرقی دریاچه قرار دارد و مراتع را شامل می‌شود و همچنین اراضی آبی و دیم است که خطرپذیری آن‌ها به مراتب بیشتر می‌باشد چرا که در صورت جابجایی نمک توسط باد و آبیاری از طرف کشاورزان این املاح در زمین نفوذ خواهد کرد و بر مشکلات در طول زمان نیز افزوده خواهد شد. همانگونه که در تصاویر ماهواره‌ای ملاحظه می‌گردد بیشترین زمین‌های شور در بخش جنوب شرقی دریاچه قرار دارد، و کشاورزی این مناطق به مراتب بسیار کمتر از سایر مناطق شده است.



شکل شماره: ۱۲ نقشه کاربری اراضی حاشیه دریاچه ارومیه

در این مطالعه محدودی دریاچه‌ی ارومیه به عنوان پهنه‌ی برداشت و انتشار آلاینده‌ی ذرات معلق با فرض خشکی بستر آن، وارد مدل شد. با استناد به محاسبات سازمان حفاظت محیط زیست کشور، میزان برداشت برابر ۶ کیلوگرم در واحد هکتار در ساعت، میزان انتشار از سطح ۶ هزار کیلومتر مربع دریاچه و حواشی آن، ۱۰۶۲۴ گرم بر ثانیه محاسبه شد و با دو مقدار مساوی ۵۳۱۲ گرم بر ثانیه برای ذرات معلق بالای ۱۰ و ۵۲ میکرون (PM<sub>۲.۵</sub>، PM<sub>۱۰</sub>) به مدل برای چهار روز مشخص از ماه‌های خشک و با میزان روزهای گردوغبار بالا از سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶ با توجه به جهات باد غالب در پنج ایستگاه هواشناسی پیرامون دریاچه (جدول شماره‌ی ۱ و ۲) انتخاب شد.

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

| ایستگاه<br>هواشناسی | بهار                | تابستان   | پاییز | زمستان |
|---------------------|---------------------|-----------|-------|--------|
| تبریز و مراغه       | جنوب شرقی           | شرقی      | شرقی  | شرقی   |
| خوی و ارومیه        | جنوبی               | شمال غربی | غربی  | غربی   |
| مهاباد              | جنوب و جنوب<br>غربی | شرقی      | جنوبی | جنوبی  |

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

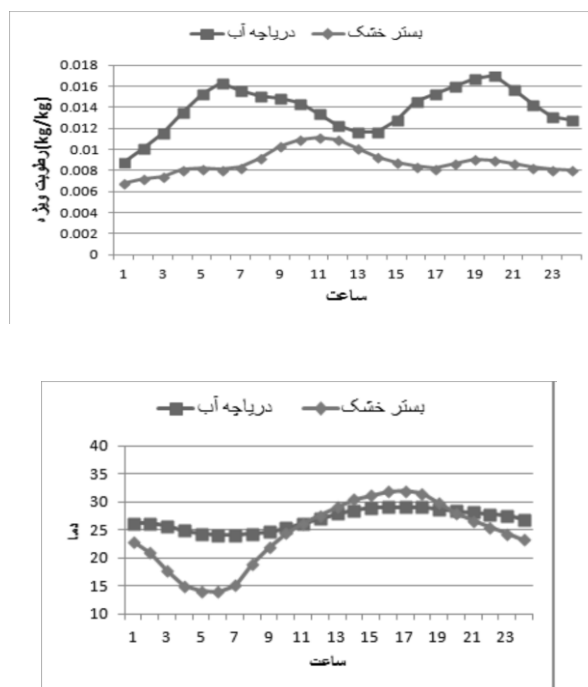
جدول ۲. ویژگی جوی روزهای با حاکمیت شرایط باد غالب در حوضه‌ی دریاچه

| روز           | ایستگاه | ویژگی غالب جوی                                                   | جهت باد (درجه) | سرعت باد (نات) | دمای هوا | دمای هوای روز قبل | رطوبت نسبی روز قبل | رطوبت نسبی |
|---------------|---------|------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------|-------------------|--------------------|------------|
| ۲۳ آگوست ۲۰۰۶ | ارومیه  | پرفشار جنب حاره در تراز میانی و وجود زبانه‌ی کم فشار در سطح زمین | ۲۷۰            | ۵              | ۲۴       | ۲۳                | ۴۲                 | ۴۶         |
|               | تبریز   |                                                                  | ۲۰             | ۶              | ۲۸       | ۲۷                | ۲۵                 | ۲۲         |
|               | مراغه   |                                                                  | ۹۰             | ۶              | ۵.۲۶     | ۲.۲۶              | ۲۴                 | ۲۳         |
|               | مهاباد  |                                                                  | ۵۰             | ۲              | ۲۶       | ۲۵                | ۳۶                 | ۳۲         |
|               | خوی     |                                                                  | ۲۸۰            | ۴              | ۲۸       | ۲۶                | ۳۵                 | ۳۸         |
| ۲۸ ژوئن ۲۰۰۳  | ارومیه  | پرفشار جنب حاره در تراز بالا و وجود زبانه‌ی کم فشار در سطح زمین  | ۶۰             | ۴              | ۲۳       | ۲۱                | ۴۲                 | ۴۷         |
|               | تبریز   |                                                                  | ۸۰             | ۸              | ۲۷       | ۲۶                | ۲۵                 | ۲۶         |
|               | مراغه   |                                                                  | ۹۰             | ۸              | ۲۶       | ۲۴                | ۲۷                 | ۲۵         |
|               | مهاباد  |                                                                  | ۳۰             | ۱              | ۲۴       | ۲۳                | ۲۷                 | ۳۶         |
|               | خوی     |                                                                  | ۳۵۰            | ۱              | ۲۵       | ۲۴                | ۴۳                 | ۴۲         |
| ۲۹ اکتبر ۲۰۰۳ | ارومیه  | استقرار کم فشار در سطح زمین با ناوه در تراز میانی جو             | ۲۷۰            | ۸              | ۲.۱۰     | ۴.۱۵              | ۸۲                 | ۴۱         |
|               | تبریز   |                                                                  | ۲۱۰            | ۱۱             | ۵.۱۴     | ۹.۱۵              | ۶۴                 | ۴۵         |
|               | مراغه   |                                                                  | ۲۲۰            | ۱۱             | ۱۴       | ۷.۱۵              | ۶۳                 | ۴۶         |
|               |         |                                                                  | ۱۸۰            | ۱۹             | ۱.۱۴     | ۱.۱۷              | ۵۸                 | ۴۱         |
|               |         |                                                                  | ۱۹۰            | ۱۲             | ۱.۱۳     | ۹.۱۲              | ۶۶                 | ۵۵         |
| ۲۸ اکتبر ۲۰۰۳ | ارومیه  | سامانه‌ی چرخندی تراز میانی جو با شرایط کم فشار سطح زمین          | ۱۲۰            | ۳              | ۷.۱۶     | ۴.۱۶              | ۶۳                 | ۶۶         |
|               | تبریز   |                                                                  | ۷۰             | ۷              | ۹.۱۷     | ۳.۱۸              | ۵۳                 | ۴۱         |
|               | مراغه   |                                                                  | ۱۰۰            | ۶              | ۹.۱۷     | ۸.۱۷              | ۵۵                 | ۵۶         |
|               | مهاباد  |                                                                  | ۲۶۰            | ۴              | ۲.۱۸     | ۸.۱۷              | ۵۷                 | ۵۸         |
|               | خوی     |                                                                  | ۱۶۰            | ۴              | ۲.۱۷     | ۸.۱۸              | ۶۱                 | ۵۳         |



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

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

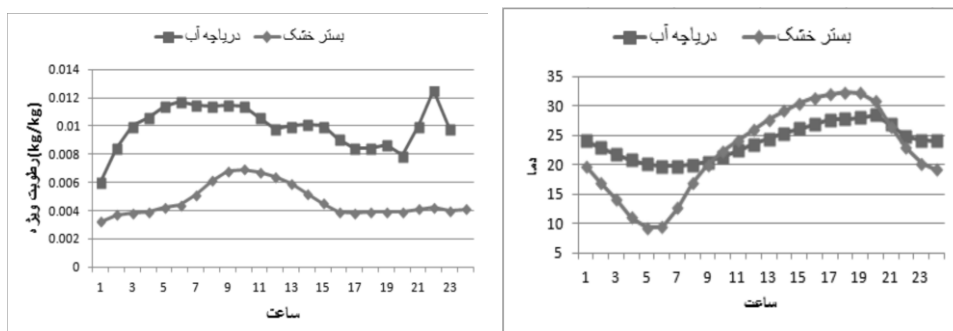


شکل ۱۳. نمودار مقایسه‌ای ساعتی دما (راست) و رطوبت هوا (چپ) در موقعیت دریاچه ارومیه (۲۳/۰۸/۲۰۰۶)

در اواخر بهار با گرم شدن نسبی هوا (شکل شماره ۱۳) افت دما در هر دو شرایط بستر خشک و پرآب دریاچه رخ داد. با وجود آن شرایط مشابهی با ماه آگوست دیده می‌شود. دمای بالای سطحی تنها در ساعت‌های میانی روز بدست آمده، در صورتی که در بقیه‌ی ساعات شبانه روز با شرایط دریاچه پرآب دما بالاتر است. مهمترین نکته درمورد شرایط گرمایی، تعادل دمایی در شرایط دریاچه و رخداد نوسانهای دمایی شدید ساعتی در صورت خشکی بستر دریاچه است. این نکته از جنبه‌های مختلف زیست محیطی، اقتصادی، انرژی و کشاورزی بسیار حائز اهمیت است.

در مقایسه رطوبت ویژه‌ی هوا برای شرایط خشکی دریاچه، رطوبت ویژه در طول شبانه روز افت کرده است. در شرایط دریاچه‌ی پر آب، رطوبت ویژه‌ی هوا در طول شبانه روز با تامین رطوبت کافی از دریاچه بالاست (شکل شماره ۱۳)

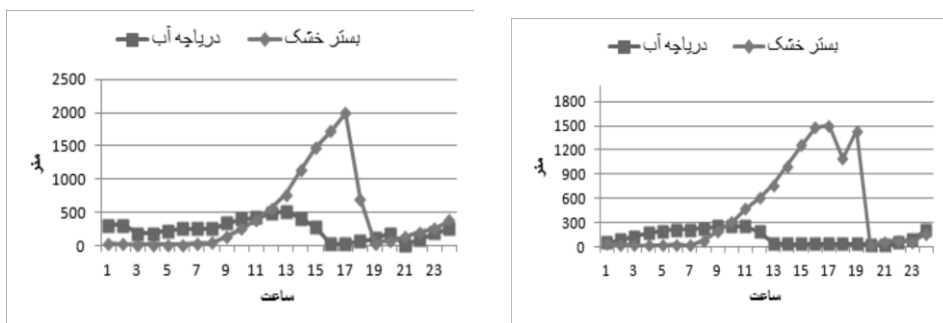
پس در شکل شماره‌ی ۱۴ دو نمودار شرایط رطوبتی و گرمایی در مقایسه باهم، شرایط معکوسی را در رابطه با دو طرح واره یدریاچه و بستر خشک نشان می‌دهند.



شکل ۱۴. نمودار مقایسه ساعتی دما (راست) و رطوبت هوا (چپ) در موقعیت دریاچه‌ی ارومیه

(۲۸/۰۶/۲۰۰۳)

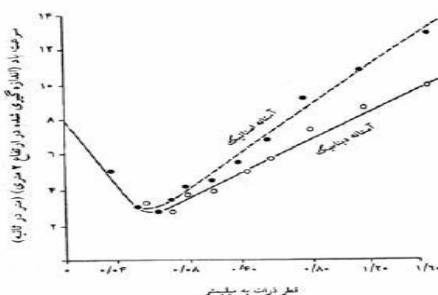
یکی از نتایج صعود یا افت دمای هوا ریا، یا کاهش ارتفاع لایه‌ی آمیخته است. ملاحظه می‌شود در هر دو تاریخ مورد بررسی، در ساعت‌های آفتابی که بستر خشک دریاچه دارای جذب گرمای محسوس بیشتری است، ارتفاع لایه‌ی آمیخته نیز بالاست. در ساعت‌های شبانه با سرمایش هوا در هر دو حالت، ارتفاع لایه‌ی آمیخته به سطح زمین بسیار نزدیک شده است. به دلیل افزایش عمومی دما در اواسط تابستان (۲۳ آگوست) ارتفاع لایه‌ی آمیخته نسبت به اواخر بهار افزایش یافته است (شکل شماره ۱۵).



شکل ۱۵. نمودار مقایسه‌ای ساعتی ارتفاع لایه‌ی آمیخته در موقعیت دریاچه‌ی

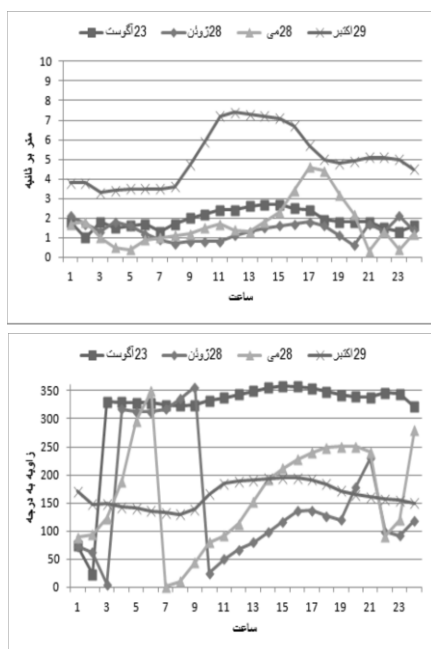
ارومیه (۲۳/۰۸/۲۰۰۳ راست) (۲۸/۰۶/۲۰۰۳ چپ)

خشک شدن دریاچه ارومیه با بستری از نمک، تغییرات چشمگیری در اقلیم منطقه و بیلان انرژی خواهد داشت. در ادامه، الگوی انتقال و شدت آلودگی هوا با ذرات معلق ناشی از منبع بستر خشک دریاچه‌ی ارومیه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مطالعه‌ی پیش رو تلاش شد تا بادهایی با تداوم جهت ثابت در طول ۲۴ ساعت انتخاب شوند که دارای شدت مورد نظر برای فرسایش‌پذیری سطح و انتقال ذرات هستند. همان طور که شکل شماره‌ی ۵ مشاهده می‌شود، سرعت بحرانی لازم برای برداشت و حمل ذرات ۵.۲ و ۱۰ میکرون به ترتیب حدود ۳ تا ۵ متربرثانیه است. بنابراین نمونه‌های انتخاب شده‌ی جهت، با جهت غالب شمالی و با شدت‌های بالای سرعت بحرانی انتخاب شدند (جدول شماره ۱)



شکل ۱۶. رابطه سرعت بحرانی و اندازه ذرات توسط بنگولد

با نگاهی به شکل شماره ۱۷، جهت وزش باد به دست آمده از مدل‌ها در تاریخ‌های مختلف مشاهده می‌شود. در بین روزهای مختلف ۲۹ اکتبر از بالاترین شدت نسبت به روزهای دیگر برخوردار بوده، به ویژه در ساعت‌های میانی روز که با تشدید باد مشخص می‌شود.

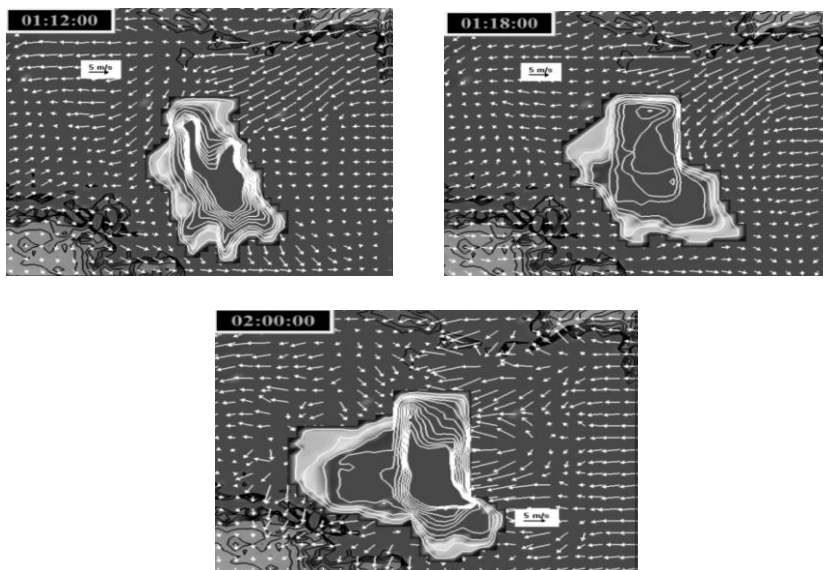


شکل ۱۷. جهت (راست) و سرعت (چپ) وزش باد ساعتی به دست آمده از مدل در موقعیت جزیره کبودان (شرایط دریاچه خشک)

آنچه در شکل شماره ۶ مورد توجه است، جهت باد شمالی در ۲۳ اوت و باد جنوبی در ۲۹ اکتبر و همچنین وزش باد شمالی در قبل از ظهر و تغییر جهت کما بیش مشابه آنها به جهت جنوب، در بعد از ظهر دو روز ۲۸ می و ۲۸

ژوئن در موقعیت جزیره کبودان است. مطابق شکل شماره ۷، جهت وزش باد در شرقی است و در شمال آن به شمال شرقی و شمالی تغییر جهت داده، پس جهت انتقال ذرات معلق به سمت غرب و جنوب صورت می‌گیرد. همچنین مطابق طول پیکان‌های سفید ترسیم شده در شکل، شدت باد در ساعت ۲۴ در شرق و شمال شرق دریاچه، نسبت به غرب و جنوب غرب آن بیشتر است. براساس شکار شماره ۷، جهت انتقال ذرات معلق، برآیند دو جهت نام برده به جهت جنوب غربی است. برخی بخش‌ها حجم ذرات بیشتر و مناطقی نیز با حجم پایین مشخص شده‌اند که بنظر می‌رسد این رویداد تحت تاثیر شرایط ناهمواری‌های سطحی باشد، به ویژه در ساعت ۲۴ شب ملاحظه می‌شود که در ضلع

جنوبی دریاچه، آلودگی از ذره و بین ارتفاعات گذشته، سپس در دشت پایینی آن پخش شده است.

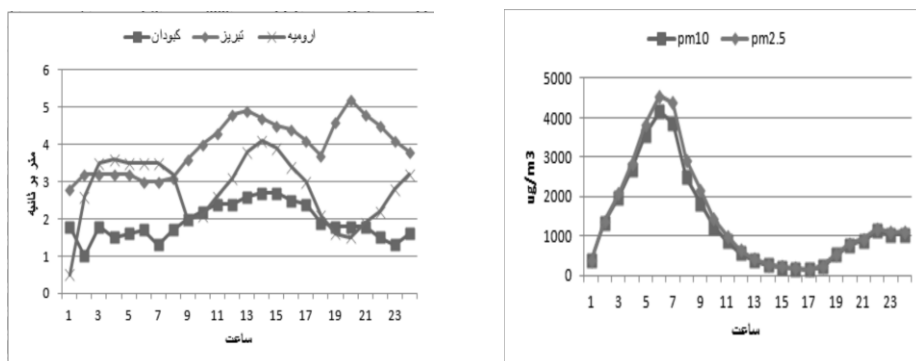


شکل ۱۸ ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلق در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات ۱۲،

۱۸ و ۲۴ (۲۳/۰۸/۲۰۰۶)

همچنین در ساعات ۱۸ ذرات معلق، متراکم‌ترین شرایط را در محدوده‌ی جنوب دریاچه نشان می‌دهند که به احتمال دلیل آن شدت بالای باد در شمال شرق دریاچه است، زیرا اغلب حواشی دریاچه با ارتفاع‌های کم و بیش بلندی احاطه شده است. با مراجعه به شکل شماره ۱۹، در ساعات شبانه بیشینه‌ی حجم ذرات معلق ثبت شده است. نتایج ارائه شده در شکل شماره ۱۹ مربوط به موقعیت جزیره‌ی کبودان در نیمه جنوبی دریاچه است. بنابراین در ساعات مقادیر بیشینه، شدت بالای فرسایش‌پذیری و حمل باد باعث شده ذرات معلق از بخش‌های شمالی بستر دریاچه، در جهت جنوبی از مسیر جزیره‌ی کبودان انتقال

یابند. نکته‌ی قابل توجه دیگر در شکل شماره ی ۱۹، سرعت وزش باد در موقعیت شهرهای تبریز، ارومیه و غربی دریاچه پذیرای بیشترین حجم ذرات معلق نمک خواهند بود.

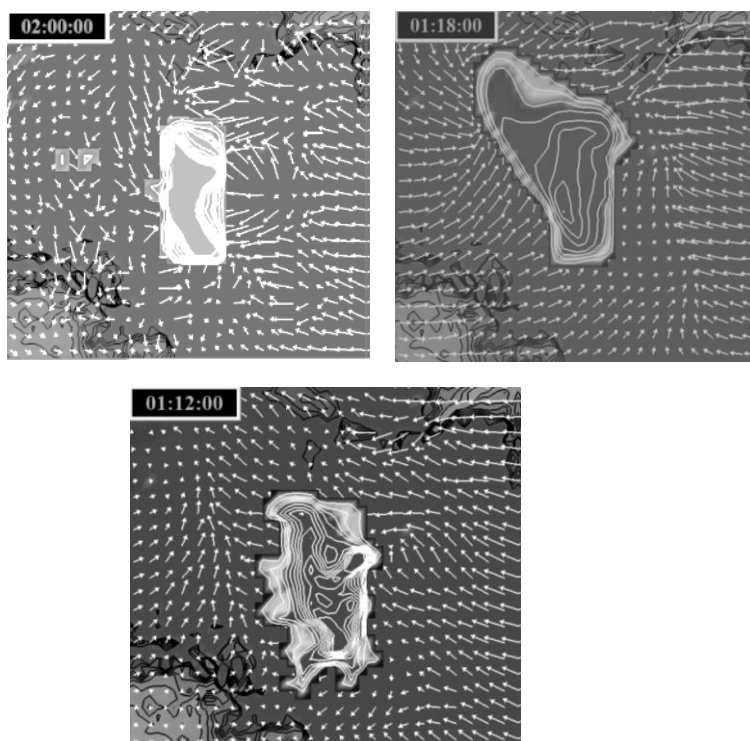


شکل ۱۹. سرعت باد(راست) و حجم ساعتی ذرات معلق ۵.۲ میکرون در شرایط دریاچه

خشک در موقعیت جزیره‌ی کبودان (۲۰/۰۵/۲۰۰۶)

در شبیه‌سازی ماه خرداد، ساعت ۱۲ پیکان‌های سفید در شمال شرق و شرق دریاچه، جهت جنوب شرقی و در جنوب، جهت شمال شرقی دارند و در نتیجه گسترش و انتقال ذرات معلق از ساعت ۱۲ ظهر به شمال غربی دریاچه آغاز می‌شود. بیشینه‌ی گسترش ذرات در جهت شمال غربی در ساعات بعد از ظهر در ساعت ۱۸ صورت گرفته است و در ساعات نیمه شب، وزش باد در شرق دریاچه جهت شرقی دارد و گستره‌ی انتشارات در جهت غرب دریاچه رخ می‌دهد(شکل شماره ی ۲۰).

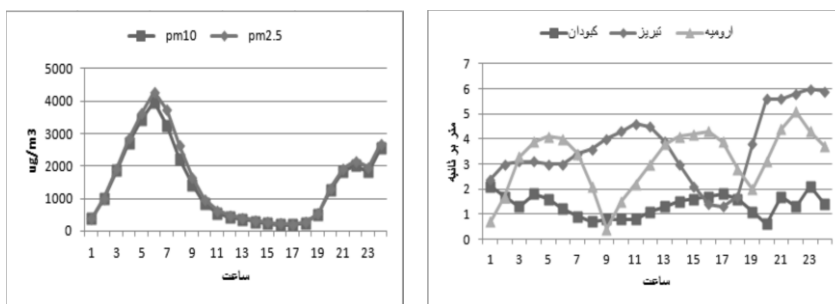
در ساعات نیمه شب متفاوت بودن جهت باد در اطراف دریاچه باعث تمرکز ذرات داخل دریاچه شده است.



شکل ۲۰. ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلق در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات ۱۲ و ۱۸ و ۲۴ (۲۸/۰۶/۲۰۰۳)

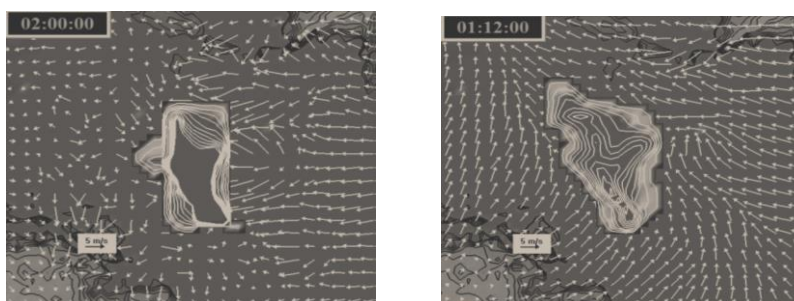
مطابق با شکل شماره‌ی ۲۱، بیشینه‌ی ذرات معلق در موقعیت جزیره‌ی کبودان، در ساعت ۶ صبح ثبت شده است. با توجه به اینکه سرعت باد در این ساعت روند کاهشی داشته است، قدرت باد برای انتقال ذرات کاهش یافته و آلودگی در محدوده‌ی بستر خشک دریاچه متمرکز شده است. نکته‌ی قابل توجه دیگر که در شکل قابل مشاهده است، تناوب افزایش و کاهش سرعت باد در شهرهای تبریز و ارومیه و جزیره کبودان است که می‌تواند باعث انتقال ذرات با حجم بیشتری به سمت شمال غرب دریاچه باشد که این تناوب در ایستگاه ارومیه مشهودتر است.

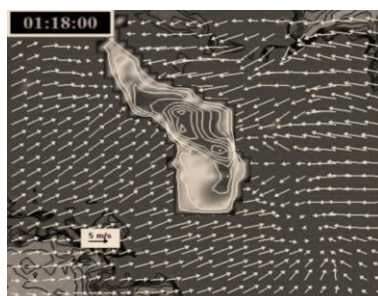




شکل ۲۱. سرعت باد (راست) و حجم ساعتی ذرات معلق ۲.۵ میکرون در شرایط دریاچه خشک در موقعیت جزیره کیودان (۲۸/۰۵/۲۰۰۳)

در ماه اردیبهشت، شبیه‌سازی حاکی از آن است که در ساعت ۲۴ جهت باد در اطراف دریاچه نظم خاصی ندارد که این باعث تجمع گرد و غبار و ذرات درون دریاچه شده است. شدت باد در شرق دریاچه بیشتر بوده که نشان دهنده‌ی سرعت بالاتر باد و قدرت بیشتر آن برای انتقال ذرات به سمت غرب دریاچه است. در ساعت ۱۸ در غرب دریاچه جهت باد شمال شرقی و در شرق و شمال دریاچه، جهت باد به سمت دریاچه است و این عامل سبب شده که گسترش ذرات در این ساعت به سمت شمال غرب دریاچه وجود داشته باشد. در این ساعت جهت انتقال ذرات به سمت شمال غربی است و گسترش ذرات نمک در شمال دریاچه به بیشینه‌ی مقدار خود می‌رسد (شکل شماره‌ی ۲۲).

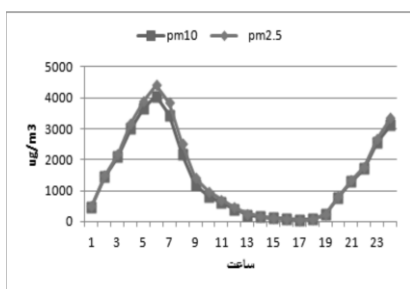




شکل ۲۲. ویژگی باد و جهت انتشار ذرات معلق در شرایط دریاچه‌ی خشک در ساعات

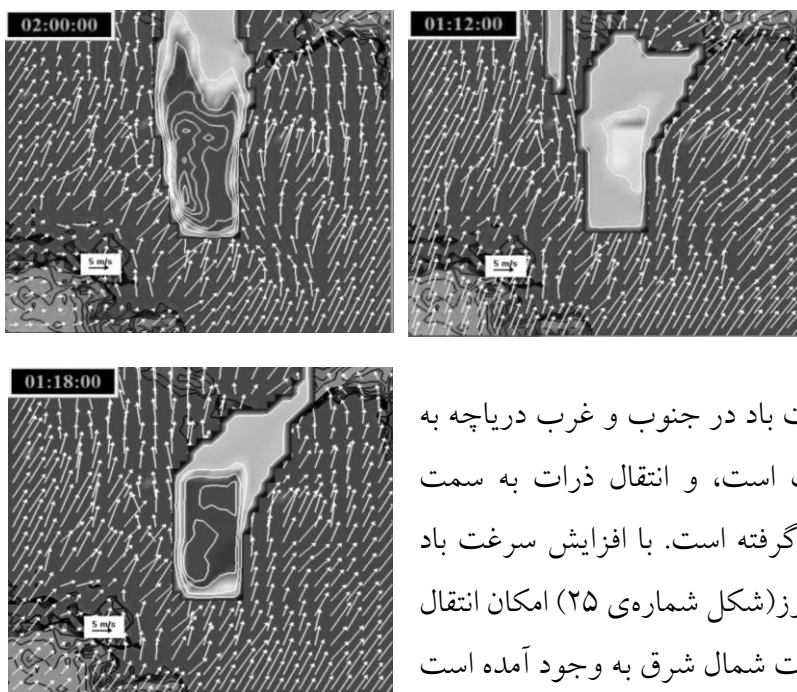
۱۲ و ۱۸ و ۲۴ (۲۸/۰۵/۲۰۰۳)

با توجه به شکل شماری ۲۳، در حجم ذرات معلق در موقعیت جزیره‌ی کبودان، در ساعات میانی شب افزایش یافته و در ساعت ۶ صبح به بیشینه‌ی مقدار رسیده است و پس از آن روند کاهشی داشته تا اینکه از ساعت ۲۰ دوباره روند افزایشی داشته و در ساعت ۲۴ به بیشینه‌ی خود رسیده است. بیشینه‌ی حجم ذرات در ساعت ۶ می‌تواند به دلیل شدت بالای باد و انتقال بیشتر ذرات در ساعات قبل از ظهر باشد. پس از ساعت ۶ سرعت باد روند کاهشی داشته است، به طوری که در ساعات پایانی شب سرعت به کمترین مقدار و حجم ذرات به بیشترین مقدار رسیده است. نکته‌ی قابل توجه دیگر در شکل شماره ۱۲ سرعت بالای باد در ایستگاه تبریز و ارومیه است که این سرعت بالا در انتقال ذرات به سمت شمال غرب نیز می‌تواند تاثیر داشته باشد.



شکل ۲۳. سرعت باد (راست) و حجم ساعتی ذرات معلق ۲. ۵ میکرون در شرایط دریاچه خشک در موقعیت جزیره کبودان (۲۸/۰۵/۲۰۰۳)

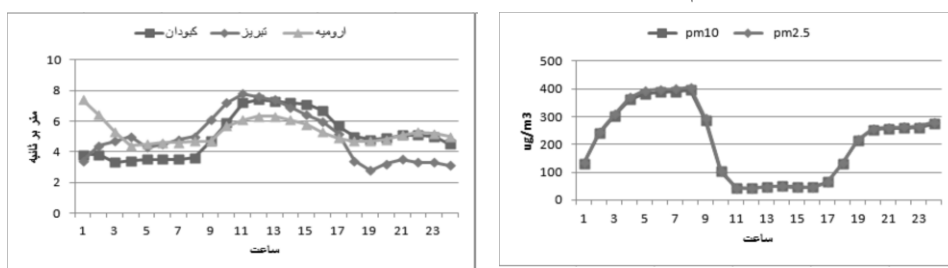
شبیه‌سازی در ماه مهر، گویای این است که در تمام ساعات روز باد با سرعت بالا و به سمت شمال دریاچه وزش داشته است. در ساعت ۲۴ به دلیل همگرا بودن جهت وزش بادها در جنوب دریاچه، حجم ذرات در داخل دریاچه به ویژه در جنوب به بیشترین مقدار رسیده است.



در ساعت ۱۸ جهت باد در جنوب و غرب دریاچه به سمت شمال غرب است، و انتقال ذرات به سمت شمال شرق انجام گرفته است. با افزایش سرعت باد در ساعات میانی روز (شکل شماره ۲۵) امکان انتقال ذرات بیشتر به سمت شمال شرق به وجود آمده است که با کاهش حجم ذرات در جنوب دریاچه منجر شده است. (شکل شماره ۲۴)

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

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



شکل ۲۵. سرعت باد (راست) و حجم ساعتی ذرات معلق ۲. ۵ میکرون در شرایط دریاچه خشک در موقعیت جزیره‌ی کبودان (۲۹/۱۰/۲۰۰۳)

با توجه به خروجی عددی و گرافیکی مدل جوی و داده‌های به دست آمده از ایستگاه‌های هواشناسی پیرامون دریاچه، مشخص می‌شود که جریان‌های غالب در محدوده‌ی سطح دریاچه‌ی ارومیه به دلیل ویژگی دره‌ی آن، جهت‌گیری جنوبی یا شمالی دارند. بنابراین مناطق جنوبی و شمالی دریاچه با بالاترین میزان تهدید در برابر بادهای گرد و خاک قرار دارند. جهت بادهای خروجی مدل کمابیش با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی مطابقت دارد. در همین رابطه کاردان و همکاران (۲۰۰۹) مدل‌سازی روی چاله‌ی جازموریان را با لحاظ وجود آب و بستر خشک انجام دادند، در آن با استفاده از نرم‌افزار TAPM، تاثیر دریاچه‌ی جازموریان بر خشکی زمین‌های مجاور را شبیه‌سازی کردند. آن‌ها

با افزایش فرضی سطح آب و ایجاد یک دریاچه مجازی در حوزه، تغییرات منطقه‌ی مانند تغییر دما، سرعت باد و رطوبت نسبی منطقه در مقطع زمانی زمستانی و تابستانی را بررسی کردند و نتایج خروجی مدل را در حد قابل قبولی ارائه داده‌اند. همچنین در رابطه با نمونه‌ی بسیار مشابه با دریاچه‌ی ارومیه، انجام شبیه‌سازی اقلیمی در رابطه با دریاچه‌ی آرال به دست دارمنووا و سوکولیک (۲۰۰۶) با مدل MM۵ است. آن‌ها دریاچه آرال را با سه طرح فرضی پر آب، نیمه خشک و خشک شبیه‌سازی کردند و انتشار و پراکندگی گرد و خاک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج واقعیت‌های موجود در افزایش ذرات معلق هوا و افزایش نوسان‌های دمای در محدوده‌ی پیرامونی دریاچه را نشان داد.

## نتیجه گیری:

کاهش مساحت دریاچه ارومیه از بالغ بر دو هزار کیلومتر مربع به هزار و ۶۲۸ کیلومتر مربع با توجه به ادامه روند خشکسالی ها می باشد.

ریزگردهای ناشی از خشک شدن دریاچه و تاثیر آن بر پوشش گیاهی منطقه غیر قابل انکار است. این ریزگردها علاوه بر بحرانی کردن وضعیت سلامت مردم موجب بحرانی شدن فضای سبز نیز شده اند. بر اساس بررسی های انجام شده ۳۰ درصد از مساحت کل دریاچه می تواند به عنوان کانون های تولید ریزگرد عمل کنند. بر اساس بارش های صورت گرفته در سال آبی ۹۳ و ۹۴ و اقدامات ستاد احیای دریاچه کاهش ارتفاع در سال جاری نسبت به سال های گذشته کم است. در ۲۰ سال گذشته هر ساله شاهد کاهش ارتفاع آب در حدود ۴۰ تا ۴۵ سانتیمتر بودیم که در سال آبی جاری شاهد کاهش حداکثر چهار تا پنج سانتی متری آب دریاچه هستیم.

بر اساس بررسی های انجام شده ۳ روستا در سلماس و ارومیه در معرض خطر جدی ناشی از خشکی دریاچه ارومیه بوده که باید توجه ویژه شود.

این روستا در ارومیه ۶۳۳ روستا، سلماس ۱۵۸ روستا، نقده ۹۶ روستا، مهاباد ۱۹۸ روستا و میاندوآب ۱۹۴ روستا و در مجموع یک هزار و ۲۷۹ روستا در معرض افزایش شوری آب شرب و کشاورزی هستند، همچنین شیب هیدرولیکی، عمق آب های زیرزمینی، شناخت میزان نفوذپذیری لایه های مختلف خاک، تجربه شیمیایی آب چاه ها انجام شد. امسال سطح زیر کشت آبی و دیم استان ۸۲۴ هزار و ۹۲۸ هکتار بوده که از این میزان ۴۲۷ هزار و ۴۹۸ هکتار آب و ما بقی دیمی بوده که متأسفانه بر اساس برآوردهای انجام شده ۹۲۰ میلیارد تومان خسارت بر ابنیه راه، کشاورزی، مسکونی و معیشتی و تاسیسات دولتی وارد شده است.



متاسفانه خشکسالی نیز یک هزار و ۴۰۰ میلیارد تومان از سال ۸۶ تا کنون خسارت به آذربایجان غربی وارد کرده است، و نیازمند همکاری دستگاههای اجرایی در تکمیل نرم افزارهای مدیریت بحران در سطح استان هست تا توان نیروهای امدادی در هنگام وقوع حوادث طبیعی و غیر طبیعی افزایش یابد. برآوردهای اولیه حاکی از آن است که ۲۵۰ تا ۳۰۰ هزار هکتار کانون بحران تولید گردو غبار (ریزگرد نمکی) در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه وجود دارد.



خسارت ریزگردهای نمکی دریاچه ارومیه بر ۲۰۴ هزار هکتار از اراضی آذربایجان شرقی رسیده است.

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، ۲۰۴ هزار هکتار از اراضی آذربایجان شرقی بطور مستقیم تحت تاثیر پدیده خشکی دریاچه ارومیه قرار گرفته‌اند. خشک شدن برخی از درختان تبریز به ریزگرد نمکی دریاچه ارومیه نسبت داده شد. در چنین شرایطی طبیعی است که شاهد خشک شدن یک سری از درختان در منطقه و از جمله تبریز باشیم.



## پیشنهادات:

مالچ به عنوان تثبیت کننده ماسه‌های روان مورد استفاده قرار می‌گیرد تا از بروز پدیده گرد و غبار و ریزگردها جلوگیری کند. مالچ طبیعی عاری از هرگونه مواد پلیمری و ترکیبی از انواع مواد معدنی بوده و سازگار با محیط زیست است.

سه نوع مالچ انتخاب و به صورت پایلوت در سه منطقه بندر شرفخانه شهرستان شبستر هر یک به مساحت ۱۰ هکتار عملیات مالچ پاشی صورت بگیرد. پس از چهار تا پنج ماه از اجرای آزمایشی مالچ پاشی هر طرحی که نسبت به شرایط محیطی دریاچه بهتر جواب دهد و سازگاری با محیط زیست داشته و مشکل آفرین نباشد، از آن در سایرکانون‌های نمکی دریاچه ارومیه استفاده بشود.

این مالچ به صورت روکش عمل کرده و به خاطر رنگ روشنی که دارد گرمای کمتری را به محیط جذب و برای جانداران و زیستگاه آن‌ها هیچگونه خطری ندارد. پس از پاشیدن این مالچ بر روی زمین پس از گذشت چند روز مالچ شروع به ترک خوردگی‌های مویی می‌کند که این مساله برای نفس کشیدن زمین مفید است. مالچ طبیعی رطوبت زیادی را در مدت زمان طولانی در خود حفظ زیادی مصرف می‌شود این درحالی است که مصرف آب در مالچ طبیعی یک به نیم بوده و قادر است با هرگونه آبی مخلوط شود.

پس مالچ طبق بررسی‌ها یک نوع ماده بسیار موثر بوده که می‌توان در مکانهایی که گفته شد گرد و غبار در آن‌ها بیشتر هستند و با باد ملایم یا قوی تحریک می‌شود و گرد و غبار بلند می‌شود را استفاده کرده و از جذب آب بسیار بالایی برخوردار است به گونه ایی که آب باران را جذب و به سطح تحت پوشش خود هدایت می‌کند. مالچ طبیعی همچنین برای رشد گیاه بسیار مفید بوده و از ماندگاری بسیار بالایی برخوردار است بطوری که پس

از ۱۰ سال جذب طبیعت شده و باعث تقویت خاک منطقه و افزایش سرعت رشد نهال می شود. در نمونه های دیگر مالچ های موجود در بازار از مواد پلیمری استفاده شده و برای تهیه آن آب طبیعی بسیار مناسب است



## تحلیل فرضیات:

۱- مدل انتشار اتوماتای سلولی الگوی مناسبی برای انتشار ذرات نمک ارائه

می دهد.

اتوماتای یادگیر سلولی مدلی برای سیستمهایی است که از اجزاء ساده ای تشکیل شده اند و رفتار هر جزء بر اساس رفتار همسایگان و نیز تجربیات گذشته اش تعیین و اصلاح می شود. اجزاء ساده تشکیل دهنده این مدل، از طریق کنش و واکنش با یکدیگر می توانند رفتار پیچیده ای از خود نشان دهند. اتوماتای سلولی از قدیمی ترین مدل های محاسباتی طبیعی

است که بیش از نیم قرن قدمت دارد. اتوماتای سلولی یک مدل گسسته است که در بسیاری از زمینه‌ها مانند ریاضیات، فیزیک، زیست‌شناسی، علوم پیچیده و مدلسازی ساختار کاربرد دارد. در اتوماتای سلولی فضا بصورت یک شبکه تعریف می‌گردد که به هر خانه‌ی آن یک سلول گفته می‌شود. با توجه به حالاتی که سلول‌ها می‌توانند به خود بگیرند، اتوماتای سلولی می‌تواند یک بعدی، دوبعدی یا چند بعدی باشد. کتاب حاضر با توجه به مولفه‌های مورد بررسی، از نوع توسعه‌ای و روش آن توصیفی - تحلیلی مبتنی بر بهره‌گیری از داده‌های نقطه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی حوضه و استفاده از مدل انتشار و اتوماتای سلولی است. برای تدوین و تبیین مبانی نظری از روش کتابخانه‌ای و برای داده‌های جوی لازم، از داده‌های سه ساعته جهت و سرعت باد پنج ایستگاه همدید حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه استفاده شد. به طوری که با ترسیم گلباد نرمال طولانی مدت هر ایستگاه و شناخت الگوی وزش باد غالب پیرامون حوضه‌ی دریاچه‌ی، شرایط نمونه برای مدل انتشار به دست آمد. مدل مورد استفاده در این مطالعه، که شامل مدل اتوماتای سلولی CLA می‌باشد. و رفتار آن از طریق شبیه‌سازی رایانه‌ی مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌گردد براساس این مدل یک مجموعه اتوماتای یادگیر (LA) در شبکه‌ی نظیر آنچه در اتوماتای سلولی وجود دارد قرار گرفته‌اند. و نسبت به رفتار همسایه‌های خود عکس‌العمل نشان می‌دهند. هر اتوماتا در این مدل براساس یک الگوریتم یادگیری عمل می‌کند و در طی زمان یاد می‌گیرد که درمقابل محیط پیرامونش چگونه بهترین پاسخ را بروز دهد. این مدل پیشنهادی کاربردهای متعددی دارد که از آن جمله می‌توان به مدل کردن سیستم‌های زیست‌شناختی و پردازش تصاویر اشاره کرد.

## ۲- عوامل اقلیمی و محیطی مهمترین تاثیر را بروی پراکندگی ذرات نمک دارند.

\*اقلیم به معنای برآیند آمیزش دسته جمعی عوامل هواشناسی عوامل مرتبط با لیتوسفر و فعالیت‌های زیستی و پدیده‌ها طبیعی مجموعه زمین- اتمسفر تعریف می‌شود.

\*به تعریف ریاضی، اقلیم متغیری حاصل از تحول متغیرهای متعدد تصادفی است که خود مشمول تغییرات زمانی و مکانی تصادفی می‌باشد. بدین ترتیب عبارت اقلیم اصولاً به معنای وضعیت تغییرپذیری محیط بوده و خود ذاتاً متغیر است.

تغییر اقلیم از دیدگاه نظریه پردازان این مبحث عبارت است از: پیدایش تغییرات غیرقابل برگشت تدریجی در این متغیر ذاتی پیچیده در کل سیستم کره (زمین - اتمسفر) که بر اساس آن بعلت افزایش تدریجی گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر پدید می‌آید و به دنبال افزایش تشعشعات گرمایی متصاعد شده از این گازها بطرف زمین و محبوس شدن گرما در فضای بین سطح زمین و سایر گازهای گلخانه‌ای درجه حرارت عمومی کره زمین افزایش می‌یابد و باعث ایجاد پدیده‌های مستقیماً مرتبط با افزایش دمای هوا و شرایط عادی می‌شود که در گوشه و کنار جهان اتفاق می‌افتد.

### • عوامل مشخص کننده تغییرات اقلیمی

-دما: میانگین دمای هوا در سطح زمین و تغییرات آن نمونه‌ای از تغییرات اقلیمی است که تقریباً تمامی نظریه‌های تغییر اقلیم به نوعی از آن یاد می‌کنند و با بررسی آن می‌توان تغییرات دمای زمین را ردیابی نمود. همچنین با ساختن مدل‌هایی از میانگین‌های دمایی هوا می‌توان دمای هوای کره زمین را پیش بینی نمود. طبق آخرین پیش بینی‌ها دمای سطح زمین در سال ۲۱۰۰ میلادی در حدود ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت.

-بارش: انتظار می‌رود که میزان بارش در سطح جهان بالا برود این پیش بینی بر اساس اندازه گیریهای به عمل آمده در مورد انواع ریزشهای جوی بوده است. مانند برف، میزان بارش آن، زمان بین اولین بارش تا آخرین بارش، فرکانس سالانه ریزش برف و... بود.

-باد و طوفان: میزان ترکیبات جو باعث ایجاد بادهای و طوفانها شدید می‌کند مانند طوفانهای دریایی که حوادث هولناکی را ایجاد می‌کند.

-تغییرات در پدیده‌های اقلیمی: با افزایش شدت وقوع رویدادهای اقلیمی مانند آلینو با مقیاس میانگین دمای سطح زمین و سطح آب اقیانوسها که با نوسان ۲۰ و ۱۰ ساله مشاهده شده که یک دروه ۳ تا ۶ ساله نیز در بستر آن وجود دارد و با پدیده آلینو در ارتباط است.

-بالا آمدن سطح آب دریاها: پیش بینی شده است که تا سال ۲۱۰۰ متوسط آب دریاها ۵۰ سانتی متر افزایش می‌یابد و این یکی از دیگر از عوامل مشخص کننده تغییرات اقلیمی است.

#### • مهمترین علل ایجاد کننده طوفان:

(۱) باد

(۲) گرم شدن زمین

باد:

جریان پیدا کردن هوا بر روی سطح کره زمین را باد می‌گویند. تغییرات درجه حرارت در ستونهای هوای بالای محلهای مختلف علت اصلی این جریان هوا می‌باشد. جریان هوا به نوبه خود به وجود آورند، ناحیه هائی با فشارهای جو مختلف است. به منظور همگونی

در توزیع فشار، هوا از مناطقی با فشار بالا به طرف مناطقی با فشار پایین تر جریان پیدا می کند.

### منشأ بادهای:

از شارهای که تعادل ترمودینامیکی آن به وسیله اعمال نیروی گرمایی به هم بخورد، حرکتی پیدا می کند که این حرکت یا چرخش در تلاش برای رسیدن به تعادل مجدد، در ترازهای بالای آن شاره گرما را از منطقه گرم به منطقه سرد حرکت می دهد، بادهای نیز به دلیل گرم شدن غیر مساوی زمین ایجاد می گردند. در واقع تفاوت چگالی در یک تراز افقی می تواند حرکت نماید.

### عواملی که بر سمت و سرعت باد اثر می گذارند:

از آنجایی که باد از عامل گرادیان فشار به وجود می آید نخستین مسئله جهت باد است که خود از نیروی گرادیان فشار منشأ می گیرد و به تدریج که باد روی سطح زمین وزیده می شود جهت باد نیز متأثر از سایر عوامل اصلی شکل می گیرد. بیشتر بادهای سطح زمین به شکل جهت دار به شکل منحنی بوده تا به شکل مستقیم و راست که خود از همین عوامل ناشی می گردد. یکی از این عوامل نیروی انحرافی ناشی از چرخش زمین و حرکت؟؟؟ هوا نسبت به زمین است که نیروی کوریولیس موسوم می باشد. این نیرو سبب می شود که باد در نیمکره شمالی به سمت راست و در نیمکره جنوبی به سمت چپ منحرف می گردد. این اثر در استوا صفر بوده و هر چه به سمت قطب برویم تأثیر آن بیشتر خواهد بود. به طوریکه در عرض ۹۰ درجه بادهای کاملاً افقی گردیده و به تناسب سرعت، افقی خواهید وزید که البته نیروی کوریولیس روی سرعت باد اثر ندارد. هنگامیکه سرعت باد شروع به ورزیدن می نماید مرتباً به سمت راست منحرف گردیده (به سمت چپ در نیمکره جنوبی)

تا آنجائی که کاملاً به موازات ایزوبارها در آید که در آن صورت در زاویه راست نسبت به نیروی گرادیان فشار خواهد بود. در مجاورت سطح زمین سمت سرعت باد متأثر از نیروی اصطکاک و ناهمواری‌های سطح زمین خواهد بود اثر نیروی اصطکاک در شرایط مساوی سایر عوامل همانا کاهش سرعت باد می‌باشد به طوریکه اختلاف بین سرعت باد روی سطح زمین و سطوح فوقانی بیشتر از سرعت باد روی سطوح ناهموار می‌باشد.

### گرم شدن زمین و طوفان ها

قوی‌ترین طوفان‌های امروزی بواسطه طوفان‌های شدید؟؟؟ بعد چندان برجسته نیستند زیرا آب و هوای زمین به خاطر گازهای گلخانه‌ای اتمسفر مدام در حال گرم شدن است. اگر چه در حال حاضر نمی‌توانیم بگوئیم آیا در آینده با گرم شدن زمین طوفان‌های کمتر یا بیشتری رخ می‌دهند یا نه، ولی مطمئناً طوفان‌هایی که در اواخر قرن بیست و یکم رخ می‌دهند قوی‌تر خواهند بود و در مقایسه با حالا باران‌های سیل آسآوری را خواهد ایجاد کرد. این پیش بینی به اساس؟؟؟ پیش بینی شده انرژی است که به خاطر افزایش دمای سطح آب نواحی استوایی، در دسترس طوفان‌ها قرار می‌گیرد.

### منابع:

- ۱- ابراری، رسول. ۱۳۸۲. چرخش آب در دریاچه ارومیه، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- ۲- اصغریپور علی، بحران دریاچه ارومیه، عضو نظام مهندسی ساختمان استان البرز GIS & RS کارشناس ارشد، [aliasgharpour@ymail.com](mailto:aliasgharpour@ymail.com)
- ۳- بقایی، غلامرضا (۱۳۸۸). گزارش تحلیلی گونش از نابودی تدریجی دریاچه ارومیه با عنوان طوفان نمک در راه آذربایجان. هفته.
- ۳- پویش پژوه پارلاق مهندسین مشاور ۱۳۸۸. مرگ دریاچه ارومیه خطر نمک و بررسی علل بحران دریاچه ارومیه پیامدها و راه حل‌ها.
- ۴- توفیقی. محمد علی. زین الدینی مصطفی و گلشنی. اصغر ۱۳۸۵. شبیه‌سازی دو بعدی هیدرودینامیک دریای ارومیه برای تعیین الگوی جریان. نشریه‌ی مهندسی دریا سال سوم شماره‌ی ۴. صص ۳۷-۳۸
- ۵- جبارلوی شبستری بهرام ۱۳۷۸ دریاچه اشک طبیعت ایران. انتشارات نقش مهر چاپ اول.
- ۶- جمشیدی مژگان ۱۳۸۷. میانگذار ارومیه شاهکار مهندسی یا فاجعه زیست محیطی؟ خبر آنلاین دوشنبه ۴ اذر ۱۳۸۷
- ۷- جوادی پیر بازاری، سامان، محمدی، کوروش، خدادادی، احمد، (۱۳۸۷)، ارزیابی زیست محیطی سد گتوند علیا با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی. چهارمین گنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه تهران.
- ۸- حجازی زاده زهرا و پروین. نادر ۱۳۸۶. با مدل‌سازی بارش و پیش بینی آن با استفاده از مدل‌های SARIMA و پایش خشکسالی به کمک شاخص BMI و نمایه‌ی PDRI در حوضه‌ی ابریز دریاچه ارومیه. تحقیقات جغرافیایی دوره‌ی ۲۲. شماره‌ی ۴. صص ۹۷-۱۲۴
- ۹- حسینی. مجید و صولتی فر. سیما ۱۳۸۸. تدوین دانش فنی استحصال سدیم سولفات از آب دریاچه‌ی ارومیه به روش غیر تبخیری. مجله‌ی اندیشه علوم \_ شیمی کاربردی شماره‌ی ۱۲ (۴) صص ۲۳-۳۱



- ۱۰- حکیم خانی، شاهرخ و محمود عرب خدری (۱۳۸۵). تحلیل رگرسیونی بین رسوب معلق و ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه دریاچه ارومیه. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۷. شماره ۲
- ۱۱- خلیلی، ناهید، عمادی، حسین، نگارستان، حسین، (۱۳۸۶). بررسی اثرات شور یهای بالا بر رشد و بقای آرتمیای بکرزای برکه ۶۷-۷۰: های اطراف دریاچه ارومیه و دریاچه قم. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نهم. شماره ۱
- ۱۲- دانشور، نظام الدین، نیکبخت، علی، دانشخواه، مرتضی. بررسی خواص شیمیایی و فیزیکی آب دریاچه ارومیه و منطقه بندی آن با استفاده از تحلیل آماری. مجله دانشکده فنی دانشگاه تبریز.
- ۱۳- دلاور. مجید مرید. سعید و شفیع فر مهدی ۱۳۸۷. ارزیابی ریسک تراز دریاچه‌ی ارومیه و تاثیر تغییر اقلیم بر آن. علوم کشاورزی ایران. دوره‌ی ۳۹. شماره‌ی ۲. صص ۳۷۹-۳۸۸
- ۱۴- راشکی علیرضا و گنجعلی مجتبی ۱۳۸۶. بررسی اثرات فرسایشی بادی و پیامدهای ناشی از آن در منطقه سیستان. دهمین کنگره‌ی علوم خاک ایران ۱۰ تا ۱۲ شهریور. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. کرج
- ۱۵- رسولی علی اکبر، عباسیان شیرزاد، جهانبخش سعید، پایش نوسانهای سطح آب دریاچه ارومیه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چند سنجنده‌ای و چند زمانه‌ای، ۱۳۸۵
- ۱۶- زارعی چقابلیکی زهرا ۱۳۹۱. مدل‌سازی مکانیسم بادهای حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران.
- ۱۷- زاهدی قره اغاج. مجید و قویدل رحیمی یوسف ۱۳۸۶. تعیین استانه‌ی خشکسالی و محاسبه‌ی میزان بارش قابل اعتماد ایستگاه‌های حوضه‌ی ابریز دریاچه ارومیه. های جغرافیایی شماره‌ی ۵۹. صص ۲۱-۳۴
- ۱۸- ساری صراف، بهروز، جهانبخش، سعید، فاخری فرد، احمد، قره باغی، مهرناز، ( ۱۳۸۱) طبقه بندی محدوده‌های آگروتوپوکلیماتیک حوضه‌های آبریز رودخانه ارس و دریاچه ارومیه با استفاده از عناصر رطوبت و بارندگی. نشریه دانشکده (۱۸۲): ۱۱۱-۸۳ ادبیات و علوم انسانی ۴۵
- ۱۹- سایت اختصاصی دریاچه ارومیه، "[www.urmielake.ir](http://www.urmielake.ir)", [ulrp.sharif.ir](http://ulrp.sharif.ir)
- ۲۰- شایان سیاوش و جنتی. مهدی ۱۳۸۶. شناسایی نوسانات مرز پیرامونی و ترسیم نقشه‌ی پراکنش مواد معلق دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (سنجنده‌های ETM. TM & LISSIII) (های‌های جغرافیایی شماره‌ی ۶۲. صص ۲۵\_۳۹

- ۲۱- شهبابی مصطفی ۱۳۷۳. دریاها و دریاچه‌های ایران سازمان‌های زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی. سازمان زمین‌شناسی ایران
- ۲۲- طایفه نسکیلی، نادره و سجاد برشنده. ( ۱۳۸۹) بررسی کیفی منابع آب زیرزمینی حاشیه دریاچه ارومیه از نظر مصارف شرب کشاورزی با استفاده از GIS و چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه ارومیه.
- ۲۳- علوی پناه سید کاظم و خدایی. کمال ۱۳۸۱. مطالعه‌ی اثر میان‌گذر دریاچه‌ی ارومیه بر پارامترهای کیفی آب با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. همایش میان‌گذر دریاچه ارومیه و محیط زیست. ۳۰\_۲۱ اذر. ارومیه
- ۲۴- علیپور، صمد (۱۳۸۸). اطلس پارک ملی دریاچه ارومیه. سازمان حفاظت محیط زیست، اداره کل حفاظت محیط زیست استان آذربایجان غربی.
- ۲۵- کاردان رحمت ا... عزیزی قاسم. زوار رضا پیمان و محمدی حسین ۱۳۸۸. مدل‌سازی تاثیر دریاچه بر مناطق مجاور (مطالعه‌ی موردی: مدل‌سازی اقلیمی حوزه‌ی ابخیز جازموریان با ایجاد دریاچه مصنوعی) مجله‌ی علوم و مهندسی ابخیزداری ایران سال سوم شماره ۷ (۳) صص ۲۲\_۱۵
- ۲۶- گندمکار امیر. ۱۳۸۹. تعیین گستره‌ی افقی باد سیستان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی دوره‌ی ۳. شماره‌ی. صص. ۶۷-۷۶
- ۲۷- مرادی محمد رضا. یاری ژیلا و فخیره. اکبر ۱۳۸۷. نقش بازدارندگی دریاچه‌ی هامون بر اراضی کشاورزی سیستان با استفاده از GIS اولین کنفرانس بین المللی بحران آب ۲۰ تا ۲۲ اسفند ۱۳۸۷. دانشگاه زابل.
- ۲۸- نشریه اختصاصی وزارت نیرو، (پیام نیرو سابق)، ویژه احیای دریاچه ارومیه، پائیز ۱۳۹۲
- ۲۹- نوری غلامرضا، آقائی واحد، ارزیابی خطرات زیست محیطی مناطق حاشیه دریاچه ارومیه ناشی از نوسانات مرز پیرامونی طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰،
- ۳۰- نامه گونش. سال سوم. شماره شصت.
- ۳۱- یارمحمدی، مهتاب، پور کاظمی، محمد، کمالی، ابوالقاسم، (۱۳۸۱). بررسی سیتوژنتیک آرتمیای دریاچه ارومیه. مجله علمی شیلات ایران. سال یازدهم. شماره ۱.

## Reference English

۱. Adamatzky S. "universality and complexity in cellular automata"  
physical D. ۱۰. pp ۱-۳۵ (۱۳۸۴a)
۲. Barzegar F. and Sadighian J. ۱۹۹۱. Study of Highway Construction  
Effects on Sedimentation Process in Lake Urmia (N. W. Iran) on the  
Basis of Satellite Data. International Geocarto International. A  
Multi-disciplinary Journal of Remote Sensing. Vol. b. No. ۳. PP. ۶۳-  
۶۵.
۳. Chorley R. and Motamed A. ۲۰۰۰. Geomorphology. Vol ۳. Samt .  
Tehran.
۴. Darnenova K. Sokolik J. N. ۲۰۰۶. Assessing Uncertainties in Dust  
Emission in the Aral Sea Region Caused by Meteorological Fields  
Predicted with a Mesoscale Model. Global and Planetary Change .  
Vol. ۵۶. No. ۳-۴. PP. ۲۹۷-۳۱۰.
۵. Darnenova K. Sokolik J. N. Shao Y. Marticorena B. ۲۰۰۹ .  
Development of a Physically Based Dust Emission Module Within  
the Weather Research and Forecasting (WRF) Model: Assessment of  
Dust Emission Parameterizations and Input Parameters for Source  
Regions in Central and East Asia. Planetary Change. Vol. ۵۶. PP.  
۲۹۷-۳۱۰.
۶. Grini A. Myher G. Zender Ch. S. Isaksen J. S. A. ۲۰۰۵. Model  
Simulations of Dust Sources and Transport in the Global  
Atmosphere: Effects of Soil Erodibility and Wind Speed Variability .  
Journal of Geophysical Research. Vol. ۱۱۰. PP. ۱-۱۴.
۷. Hara Y. Uno J. Wang Z. ۲۰۰۶. Long-term Variation of Asian Dust  
and Related Climate Factors. Atmospheric Environment. Vol. ۴۰. No.  
۳۵. PP. ۶۷۳۰-۶۷۴۰.

۸. Hoseini .M. ,Solatifar .S. ,۲۰۰۹ ,Technological Knowledge Codification Extraction Sodium Sulfate from Water the Urmia Lake .Journal of Science - Applied Chemistry .Vol. ۴ ,No. ۱۲ ,PP. ۲۳-۳۱.
۹. Hurley .P. ,۲۰۰۸ ,TAPM V۴. User Manual ,CSIRO Marine and Atmospheric Research Internal Report ,No. ۵ ,Australia
۱۰. Nasa. <http://eol.jsc.nasa.gov>
۱۱. Pooyish Pazhouh Parlagh ,Consulting Engineers ,۲۰۰۹ ,The Urmia Lake Death ,Silent Disaster ,Investigate Creation Causes of the Crisis Urmaia Lake ,Complications and Solutions.
۱۲. Schepanski .K. ,Tegen .J. ,Macke .A. ,۲۰۰۹ ,Saharan dust transport and deposition towards the TropicalNorthern Atlantic ,Atmospheric Chemistry and Physics ,Vol. ۹ ,PP. ۱۱۷۳-۱۱۸۹.
۱۳. Shahrabi .M. ,۱۹۹۴ ,Geology of Iran (Sea and Lakes Persian) ,the Ministry of Mines and Metals ,Geological Survey of Iran ,Tehran.
۱۴. Song ,Z. ,۲۰۰۴ ,a Numerical Simulation of Dust Storms in China , Environmental Modelling & Software ,Vol. ۱۹ ,PP. ۱۴۱-۱۵۱.
۱۵. Von Neumann J. theory of self-reproducing automata ,university of illinois press(۱۹۶۶)
۱۶. Von Neumann J. The general logical theory of automata “cerebral mechanisms in behavior-The Hixon symposium (۱۹۵۱)
۱۷. Wang ,W. ,Fang ,Z. Y. ,۲۰۰۶ ,Numerical simulation and synoptic analysis of dust emission and Transport in East Asia ,Global and Planetary Change ,Vol. ۵۲ ,No. ۱-۴ ,PP. ۵۷-۷۰.
۱۸. Zawar-Reza .P. ,Simon .K. ,Jamie .P. ,۲۰۰۵ ,Evaluation of a Year-long Dispersion Modelling of PM<sub>۱۰</sub> Using the Mesoscale Model TAPM for Christchurch ,New Zealand ,Science of the Total Environment ,Vol. ۳۴۹ ,No. ۱-۳ ,PP. ۲۴۹- ۲۵۹.