

## بررسی تغییرات زمانی - مکانی غلظت ریزگردها در حوضه نفوذ ریزگردهای دریاچه ارومیه در دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی)

خلیل ولی زاده کامران<sup>۱</sup>

سودابه نامداری<sup>۲</sup>

### چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل خشک شدن تدریجی بخش‌هایی از دریاچه ارومیه، کانون‌های متعددی از ریزگردهای نمکی در این مناطق تشکیل شده و منجر به پراکنش حجم عظیمی از ذرات نمک به مناطق اطراف خود شده است. نمک آزاد شده در اتمسفر به عنوان یکی از انواع مهم ریزگردهای اتمسفری سلامت عموم، کیفیت هوا، توزان انرژی زمین و چرخه هیدرولوژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین با توجه به اهمیت آثار منفی ریزگردهای نمکی و همچنین روند روبه افزایش حضور این ریزگردها در منطقه آگاهی از توزیع زمانی- مکانی ریزگردها برای کمی کردن این اثرات بسیار مهم می‌باشد.

در این مطالعه تلاش شده است تغییرات غلظت ریزگردها در حوضه تحت نفوذ ریزگردهای دریاچه ارومیه، با استفاده از داده‌های ماهانه AOD<sup>۳</sup> سنجنده MODIS<sup>۱</sup> ارزیابی شود. برای

<sup>۱</sup> - استادیار گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

Email: valizadeh@tabrizu.ac.ir-Tel:09144123849

<sup>۲</sup> - دانشجوی دکتری گروه آب و هواشناسی دانشگاه تبریز

Email: Soodabeh\_namdari@yahoo.com

<sup>۳</sup> - Aerosol Optical Depth

رسیدن به این هدف نمودار روند تغییرات AOD در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ به تفکیک محدوده استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی استخراج شد. نتایج این پژوهش نشان داد نمودارها در استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی روند مشابهی داشته‌اند و علی‌رغم وجود نوسانات سال به سال، روند افزایش کلی در غلظت ریزگردها دیده می‌شود. تغییرات افزایشی ریزگردها در اواخر فصل گرم و اوایل فصل سرد (اگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر) بسیار بارزتر می‌باشد و به نظر می‌رسد با افزایش بارش‌های فصل سرد و بارش‌های بهاره شیب تغییرات افزایشی AOD نیز کمتر شده است. همچنین با توجه به نقشه‌های میانگین سالانه توزیع مکانی AOD، دریاچه ارومیه تا سال ۲۰۰۸ با جذب ریزگردها تأثیر زیادی در کاهش ریزگردهای وارد شده از جنوب غربی منطقه به استان آذربایجان شرقی داشته است، این در حالی است که از سال ۲۰۰۹ در محدوده دریاچه ارومیه افزایش نسبی ریزگرد نسبت به سایر مناطق در استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی وجود داشته است.

**واژگان کلیدی:** ریزگردهای نمکی، دریاچه ارومیه، تغییرات زمانی \_ مکانی، تصاویر ماهواره‌ای، AOD.

## مقدمه

ذرات گردوغبار معدنی معلق در اتمسفر، با نقش کلیدی خود در بودجه تابشی جوی و چرخه هیدرولوژی، سیستم‌های آب و هوایی را مختل می‌کنند (علیزاده چوبری<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر تأثیرات مذکور ریزگردهای تروپوسفر می‌توانند تأثیر معنی داری بر سلامت عموم بشر داشته باشند (سازمان بهداشت جهانی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰).

علاوه بر تأثیری که تغییر الگوی بارش، افزایش دما و ناهنجاری در اقلیم در خشک شدن منابع آبی در سطح کشور ایران و جهان داشته‌اند، در دو دهه اخیر موج عظیمی در اجرای پروژه‌های سدسازی توسط وزارت خانه‌های نیرو و کشاورزی در کشور به وجود آمد

<sup>1</sup> - Moderate –resolution imaging spectroradiometer

<sup>2</sup> - AlizadehChoobari

<sup>3</sup> - World Health Organization

که طی آن هزاران سد کوچک و بزرگ در کشور ساخته شد. عدم اجرای استراتژی علمی و کارشناسی در اجرای این پروژه‌ها موجب شد توازن هیدرولوژیکی و طبیعی کشور به هم بخورد و همزمان با تاثیر تغییر اقلیم موجبات خشک شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها فراهم شود. خشک شدن دریاچه‌ها، تالاب‌ها و رودخانه‌های مهمی مانند بخش‌هایی از دریاچه ارومیه، دریاچه‌های بختگان، طشک و تالاب‌های گاوخونی، میقان، شادگان و رودخانه زاینده‌رود و کارون از جمله موارد بارزی است که بحران‌های بزرگ زیست‌محیطی همچون ایجاد توفان‌های شن و نمک را به همراه داشته است. به دلیل اهمیت این موضوع، وقوع توفان‌های نمکی به دلیل خشک شدن بخش‌هایی از دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر یکی از مسائل مورد توجه محققان بوده است. کانون‌های ریزگرد اطراف دریاچه ارومیه که دارای ترکیبات نمکی است و در سال‌های اخیر فعال شده، هرساله همزمان با فصل وزش بادهای موسمی، موجی از گردوغبار نمکی را در هوای برخی شهرهای همجوار منتشر می‌کند.

بنابراین با توجه به اهمیت آثار منفی توفان‌های نمکی و همچنین روند افزایشی آنها در شمالغرب کشور، بررسی تغییرات زمانی و مکانی ریزگردهای دریاچه ارومیه در بیش از یک دهه اخیر می‌تواند اهمیت پدیده ریزگردهای نمکی را در سال‌های اخیر نشان دهد و به منظور یکی از شاخص‌های تصمیم‌گیری در مدیریت بحران توفان‌های نمکی مورد استفاده قرار گیرد.

تاکنون برای شناسایی ریزگردها، بررسی کانون‌های تولید ریزگرد و تحلیل جابجایی و انتقال ریزگردها مطالعات زیادی صورت گرفته است، به ویژه آنکه با پیشرفت علم، تولید داده‌های ماهواره‌ای، مدل‌های انتقال ریزگرد و داده‌های جو بالا شرایط به گونه‌ای فراهم شده است که در سطح جهانی امکان مطالعات علمی در این خصوص با دقت مناسب به وجود آمده است (اکرم<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷؛ والد<sup>۲</sup>، ۱۹۹۸؛ میلر<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳؛ گوپتا<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛

---

<sup>1</sup>-Ackerman

<sup>2</sup>-Wald

<sup>3</sup>- Miller

<sup>4</sup>- Gupta

بن‌آمی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ عالم<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ زی‌پنگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۳ و راشکی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

در ایران هم در چند سال اخیر مطالعات آماری بسیاری در رابطه با توفان‌های ریزگردي ایران انجام شده است. بیشتر این مطالعات بر فراوانی وقوع ریزگرد تاکید داشته‌اند و یا از داده‌های دیدافقی برای تشخیص شدت غبار در مناطق مختلف استفاده کرده‌اند (ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴؛ اسماعیلی، ۱۳۸۵؛ شمسی‌پور و صفرزاد، ۱۳۹۱؛ ولی و همکاران، ۱۳۹۳؛ محمدی، ۱۳۹۴).

محدودیت داده‌های ایستگاهی در برآورد شاخص‌های کمی ریزگرد، سطح وسیعی که توفان‌های ریزگردي در بر می‌گیرند و تغییرات شدید این پدیده از نظر زمانی و مکانی، سبب شده است که سنجش از دور ماهواره‌ای با توجه به تفکیک زمانی و مکانی قابل قبول بهترین ابزار برای بررسی توزیع مکانی و زمانی ریزگرد محسوب شود (عبدالخانی، ۱۳۸۹؛ گوا<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

برخی از مطالعات با بکارگیری شاخص‌های استخراج ریزگردها به ردیابی این پدیده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند (زینالی و همکاران، ۱۳۹۲). این در حالی است که استفاده از تصاویر ماهواره MODIS با ارائه پارامتر کمی AOD می‌تواند راهکار مناسبی برای ردیابی تغییرات کمی ریزگردها در مناطق مختلف باشد؛ به‌طوری‌که با پیش‌تغییرات زمانی و مکانی بلند مدت، موجبات درک بهتر تأثیرات ریزگرد بر نواحی تحت تأثیر فراهم شود.

پارامتر AOD به عنوان مهمترین پارامتر ذرات معلق جو، بیانگر ستون یکپارچه‌ای از ذرات معلق اتمسفری از سطح زمین تا بالای اتمسفر است، شاخص بسیار مناسبی برای

<sup>1</sup> - Ben-Ami B.

<sup>2</sup> - Alam

<sup>3</sup> - ZiPeng

<sup>4</sup> - Rashki

<sup>5</sup> - Guo

تشخیص غلظت ریزگردهای اتمسفری است (پن<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). محصول AOD مستخرج از تصاویر سنجنده MODIS را می‌توان در دوره‌های نسبتاً درازمدت شانزده ساله اخذ کرد. تاکنون مطالعات زیادی در سطح جهانی در خصوص تحلیل زمانی و مکانی ریزگردها توسط این محصول انجام شده است (عالم<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ زینگ<sup>۳</sup> و همکاران؛ آتانسویو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ کیم<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۴؛ یو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ پو<sup>۷</sup> و ژینوکس<sup>۸</sup>، ۲۰۱۶).

با توجه به آنچه بیان شد در این مطالعه تلاش شد توسط داده‌های میانگین ماهانه AOD و با بکارگیری روش‌های تفسیری نمودارها و نقشه‌ها، بررسی و تحلیل تغییرات زمانی (در مقیاس سالانه و ماهانه) و توزیع مکانی در منطقه مورد مطالعه (آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی) در دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۰ انجام گرفته و با استخراج نقشه تغییرات، مناطق با بیشترین آسیب پذیری در مقابل توفان‌های ریزگردهای استخراج شود.

### منطقه مطالعاتی

محدوده مطالعاتی در این تحقیق شامل استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی می‌باشد که به عنوان استان‌هایی که در همسایگی غربی و شرقی دریاچه ارومیه قرار دارند انتخاب شده است (شکل ۱). با استفاده از این تقسیم بندی می‌توان نحوه تأثیرگذاری غبار نمکی ناشی از خشک شدن دریاچه ارومیه را در شرق و غرب دریاچه تحلیل کرد.

<sup>1</sup> -Pan

<sup>2</sup> - Alam

<sup>3</sup> - ZiPeng

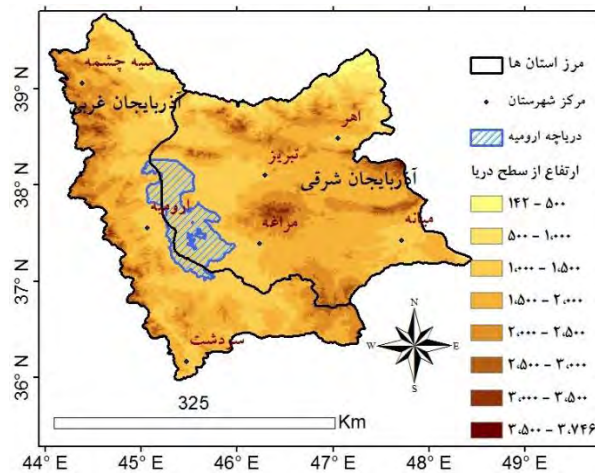
<sup>4</sup> - Athanassiou

<sup>5</sup> - Kim

<sup>6</sup> - Yu

<sup>7</sup> -Pu

<sup>8</sup> - Ginoux



شکل (۱): محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

### مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از روش‌های سنجش از دوری، آماری (میانگین‌گیری، انحراف استاندارد) و همچنین روش ریاضی تفاضل تصاویر برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی ریزگردها در استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی استفاده شده است. داده‌های ماهواره‌ای شامل محصول AOD ماهانه سطح ۳ MODIS با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ تا ۱۰۰ کیلومتر از سنجنده Terra است.

سنجنده MODIS توسط ناسا در سال ۱۹۹۹ بر روی ماهواره Terra و در سال ۲۰۰۲ نیز این سنجنده بر روی ماهواره Aqua قرار گرفت. ماهواره Terra قبل از ظهر در ساعت ۱۰:۳۰ به وقت محلی و ماهواره Aqua بعد از ظهرها در ساعت ۱۳:۳۰ به وقت محلی از سطح زمین تصویربرداری می‌کنند. سنجنده MODIS در ۳۶ باند طیفی که از ۰/۴ میکرومتر تا ۱۴/۴ میکرومتر متغیر است تصویربرداری را انجام می‌دهد. تصویربرداری از سطح کره زمین هر ۱ تا ۲ روز به طور کامل انجام می‌شود.

در این پژوهش از محصول AOD این سنجنده در طول موج ۵۵۰ نانومتر استفاده شده است. این داده‌ها با توان تفکیک مکانی  $1^\circ \times 1^\circ$  از پایگاه اطلاعاتی ناسا، در مقیاس ماهانه و با فرمت hdf دانلود شد (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data>).

عمق اپتیکی اتمسفر یا AOD، یک ارزش بی واحد است اما ارزش‌های AOD به صورت تقریبی می‌تواند نشان دهنده شرایط جوی زیر باشد:  $0/02 =$  مناطق قرنطینه بسیار پاک،  $0/08 =$  دورنمای روی اقیانوس‌ها،  $0/2 =$  مناطق نسبتاً پاک،  $0/6 =$  مناطق آلوده،  $1/5 =$  پدیده‌های گردوغباری سنگین و  $0/3 <$  شرایطی که موقعیت خورشید مشخص نیست (لوی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

جهت صحت سنجی داده‌های AOD سنجنده MODIS با استفاده از داده‌ها و محصولات آماده و روش‌های به کار گرفته شده در سایت (<http://giovanni.gsfc.nasa.gov/aerostat>)، همبستگی داده‌های AOD با داده‌های AOD به دست آمده از ایستگاه زمینی AERONET دانشگاه کویت<sup>۲</sup> در سال‌های ۲۰۰۵\_۲۰۱۴ بررسی شد.

جهت نمایش تغییرات مکانی گردوغبار به صورت نقشه از قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده گردید. پس از اخذ داده‌های ماهانه MODIS در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ برای کلیه ماه‌ها، تصاویر AOD زمین مرجع شد و تغییر فرمت داده‌ها از فرمت hdf به فرمت tif توسط اکستنشن‌های مربوط به این تصویر در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد و به فرمت قابل پردازش در محیط ArcGIS 10.2 تغییر پیدا کرد. سپس اندازه پیکسل تصاویر با استفاده از تابع Resample در محیط ArcGIS به پیکسل‌های با قدرت تفکیک مکانی ۲۰۰ متر (با هدف قابلیت برش تصاویر بر اساس مرز استان‌ها) تغییر داده شد، تصویر AOD برای هر ماه به تفکیک هر یک از استان‌ها و بیابان‌های مورد مطالعه بریده شد و

<sup>1</sup> - Levy

<sup>2</sup> - Kuwait University

میانگین ماهانه غلظت ریزگردها برای هر پلی‌گون (مرز استان‌های مورد مطالعه) در دوره زمانی مورد مطالعه استخراج شد.

براساس اعداد استخراج شده از متوسط AOD در هر پلی‌گون، نمایش تغییرات زمانی و کشف روند تغییرات AOD در قالب نمودارهای توالی زمانی میسر گردید، به طوری که بتوان با تفسیر خصوصیات هر یک از هیستوگرام‌های میانگین، روند تغییرات داده‌ها را تحلیل کرد. روند تغییرات سالانه هر یک از استان‌های مورد مطالعه علاوه بر اینکه با مقایسه شیب تغییرات در استان‌های مورد مطالعه می‌تواند تایید کند که آیا هر یک از استان‌ها در طول دوره مطالعاتی از توفان‌های ریزگردی غرب و جنوب‌غرب ایران تاثیر پذیرفته‌اند و یا خیر، این امکان را نیز فراهم می‌کند که وضعیت بحرانی بودن استان‌ها از نظر میزان تاثیر پذیرفتن از توفان‌های گردوغباری با هم مقایسه شود.

## بحث

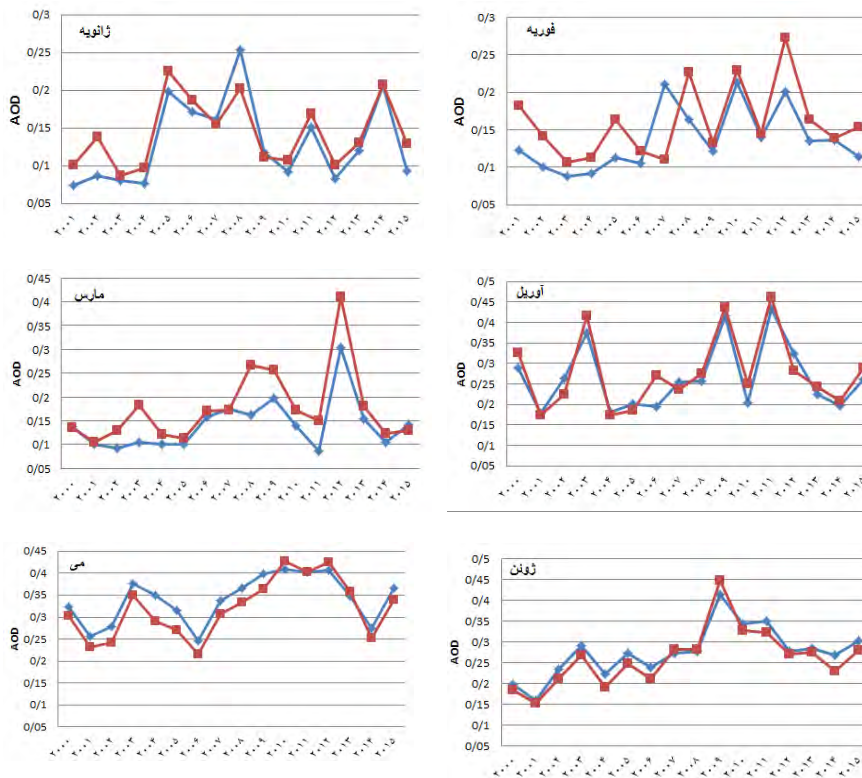
### اعتبار سنجی داده‌های AOD

براساس میزان همبستگی با اطلاعات زمینی AERONET با توجه به کامل بودن داده‌ها و نزدیکی به ایستگاه دانشگاه کویت، در سال‌هایی که داده موجود بود (۲۰۱۴-۲۰۰۵)، میزان دقت محصول AOD سنجنده MODIS بررسی شد. برای تعیین میزان همبستگی از داده‌های طول موج ۵۵۰ نانومتر AERONET استفاده شد که بیشترین شباهت را با طول موج استفاده شده از AOD سنجنده MODIS دارد. نتایج به دست آمده نشان دهنده تطابق و همبستگی بالای داده‌های AOD به دست آمده با داده‌های ایستگاه زمینی AERONET دانشگاه کویت دارد ( $RMS = 0.028$ ,  $R2 = 0.916$ ). بنابراین با توجه به میزان همبستگی در ادامه پژوهش از داده‌های AOD سنجنده MODIS جهت تحلیل زمانی و مکانی ریزگردهای شمال غرب کشور استفاده شد.



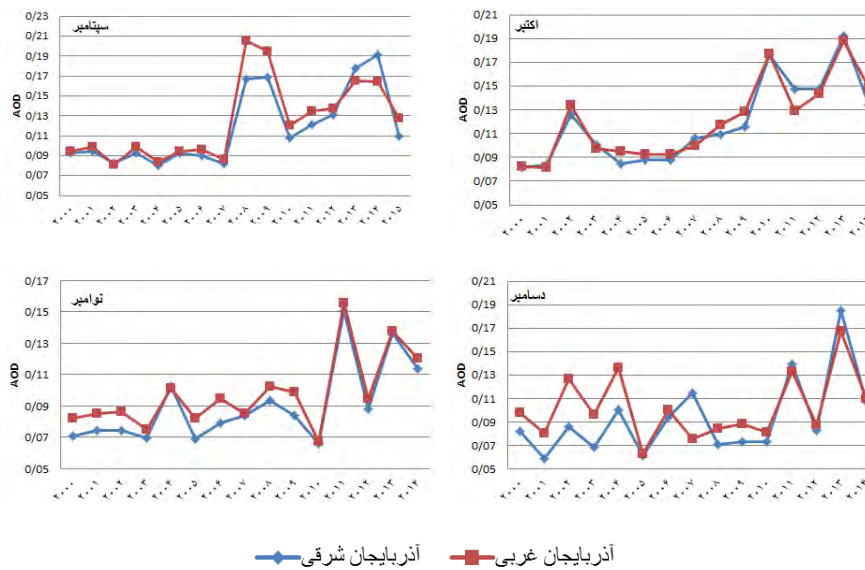
## الگوی زمانی (ماهانه و سالانه)

نمودار تغییرات غلظت ریزگردها برای هر یک از استان‌های آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی در هر ماه، در طول دوره مطالعاتی (شکل ۲) نشان می‌دهد، به ترتیب در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و آوریل بیشترین شباهت میان روند تغییرات دو استان مورد مطالعه وجود دارد و در ماه‌های فوریه، نوامبر و دسامبر بیشترین اختلاف‌ها میان روند تغییرات این دو استان وجود دارد که از سال ۲۰۰۹ این اختلاف کاهش چشمگیری داشته است.





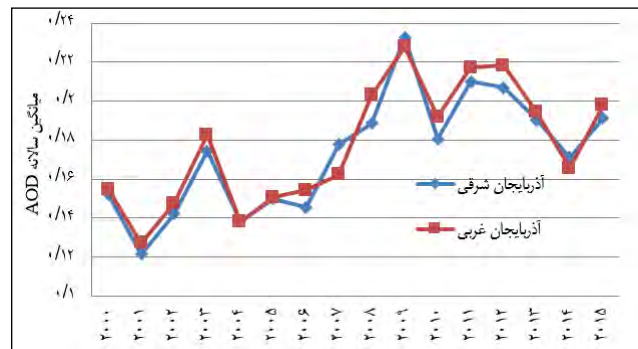
شکل ۲- تغییرات ماهانه AOD در طول دوره مطالعاتی برای استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی



ادامه شکل (۲) تغییرات ماهانه AOD در طول دوره مطالعاتی برای استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی

همچنین روند تغییرات مشاهده شده در کلیه ماه‌ها، نشان دهنده آن است که شیب تغییرات AOD در طول دوره مطالعه، افزایشی بوده است. بیشترین نوسانات مقدار ماهانه AOD در طول سال‌های مختلف، در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر دیده شده است؛ شایان ذکر است در این ماه‌ها از نظر غلظت ریزگردها، AOD مقادیر پایینی را نیز نشان می‌دهد. روند افزایشی ریزگردها در اواخر فصل گرم و اوایل فصل سرد (اگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر) بسیار بارزتر می‌باشد. بیشترین مقادیر AOD در فصل بهار و اوایل تابستان یعنی ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن و ژوئیه مشاهده شده است.

پس از میانگین‌گیری از داده‌های ماهانه در هر سال، نمودار تغییرات سالانه AOD برای استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی ترسیم شد (شکل ۳). نمودار میانگین سالانه نیز همانند نمودارهای میانگین ماهانه روند بسیار مشابه تغییرات غلظت ریزگردها را در دو استان نشان می‌دهد. همچنین با توجه به این شکل، روند کلی افزایشی غلظت ریزگردها در هر یک از استان‌های مورد مطالعه آشکار است. با توجه به این شکل در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ مقدار AOD با کاهش نسبی روبرو بوده است.



شکل (۳) تغییرات سالانه AOD در طول دوره مطالعاتی برای استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی

### الگوی مکانی (سالانه و ماهانه)

با هدف نمایش و تحلیل توزیع مکانی غلظت ریزگردها در محدوده مورد مطالعه، نقشه میانگین تغییرات استخراج شد و هر نقشه براساس روش انحراف استاندارد طبقه‌بندی شد (شکل ۴). با استفاده از روش انحراف استاندارد می‌توان مقدار تغییرات هریک از پیکسل‌ها را از میانگین منطقه تشخیص داد و بدین ترتیب به طور نسبی نحوه تغییرات ریزگردها را در سطح منطقه بررسی کرد و مقایسه مکانی شدت تغییرات AOD را انجام داد.

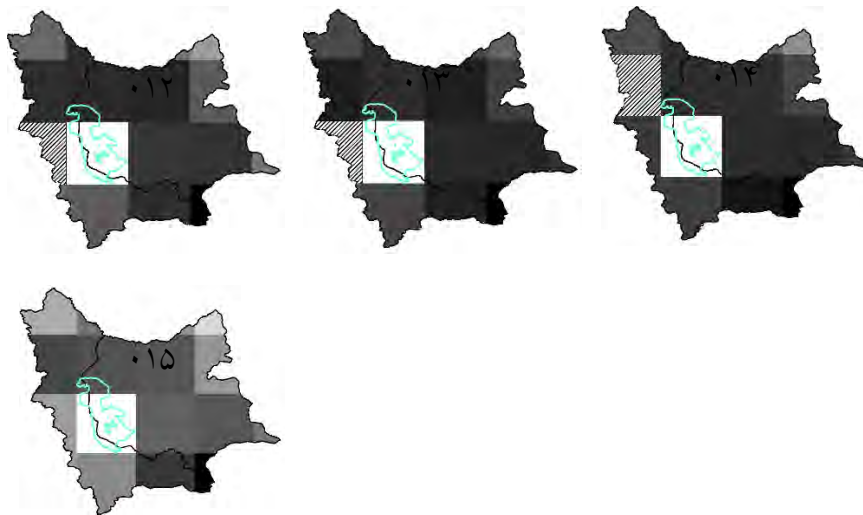
همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود تا سال ۲۰۰۸ مقدار AOD در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه زیاد بوده و این نشان دهنده آن است که ریزگردهایی که در این سال‌ها در جنوب غربی منطقه مشاهده شده است می‌تواند با بادهای غربی از بیابان‌های کشورهای همسایه منتقل شده باشد. همچنین در این سال‌ها غلظت ریزگردها پس از عبور از دریاچه ارومیه تا حد بسیار زیادی تقلیل یافته است و مقدار این ریزگردها پس از ورود به استان آذربایجان شرقی کاهش پیدا کرده است.

با توجه به شکل ۴ از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ میانگین مقدار ریزگردها در پیکسل دربرگیرنده دریاچه ارومیه نسبت به کل منطقه افزایش شدیدی داشته است که با توجه به وضعیت AOD در غرب و جنوب غربی دریاچه نمی‌توان آن را به ریزگردهای حمل شده با بادهای غربی نسبت داد. در سال ۲۰۱۵ نیز روند مشابه با سال‌های پیش از ۲۰۱۰ مشاهده می‌شود؛ ضمن اینکه باید گفت داده‌های میانگین این سال تا ماه سپتامبر در دسترس بوده و این تفاوت در میانگین‌ها می‌تواند به علت تغییر در ماه‌های اخذ داده‌ها نیز باشد.



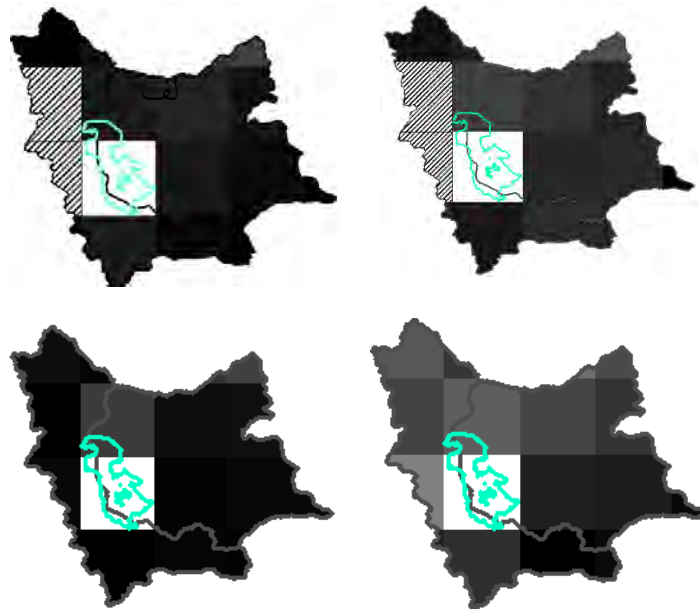


شکل (۳) نقشه میانگین تغییرات سالانه AOD محدوده مورد مطالعه



ادامه شکل (۳): نقشه میانگین تغییرات سالانه AOD محدوده مورد مطالعه

در گام بعدی جهت استخراج مناطق با بیشترین تغییرات و تشخیص نحوه تغییرات مکانی ریزگردها در طول زمان، با توجه به نمودار تغییرات سالانه و فاصله زمانی ده ساله، دو سال که از نظر افزایش و کاهش ریزگرد دارای نوسانات بارزی نسبت به سایر سال‌ها بودند (به ترتیب ۲۰۱۴ و ۲۰۰۴) انتخاب شد و تفاضل میانگین‌های دو سال استخراج شد (شکل ۵-الف) با توجه به این شکل، بیشترین محدوده تغییرات بر روی دریاچه ارومیه اتفاق افتاده است. در ادامه با توجه به شکل ۲ و نمودارهای ماهانه، برای سه ماه که اختلاف شاخصی را بین سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۰۴ نشان می‌دادند مقدار تفاضل میانگین‌های ماهانه این دو سال برای ماه‌های ژانویه، سپتامبر و اکتبر به دست آمد (شکل ۵-ب، ۵-ج و ۵-د). با توجه اختلاف میانگین‌ها در این سه ماه بیشترین میزان افزایش ریزگرد بر روی دریاچه ارومیه بوده است.



شکل شماره ۵- الف) اختلاف میانگین سالانه سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۰۴، ب) اختلاف میانگین ماهانه ماه زانویه در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۰۴، ج) اختلاف میانگین ماهانه ماه سپتامبر در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۰۴، د) اختلاف میانگین ماهانه ماه اکتبر در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۰۴

### نتیجه گیری

در این پژوهش از نقشه‌ها و نمودارهای میانگین سالانه و میانگین ماهانه جهت بررسی نحوه تغییرات ریزگردها در ۱۶ سال اخیر در استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی که همجوار با دریاچه ارومیه می‌باشند استفاده شد. یکی از اهداف اصلی این تحقیق پایش نوسانات ریزگردها در محدوده دریاچه ارومیه و مناطق همجوار آن بوده است تا بتوان حضور ریزگردهای نمکی دریاچه ارومیه را که نتیجه خشک شدن چند سال اخیر بخش بزرگی از دریاچه بوده است را نشان داد.

براساس نتایج به دست آمده از داده‌های ماهانه و سالانه می‌توان به این نتیجه رسید که نحوه تغییرات ماهانه و سالانه AOD نشان دهنده آن بود که الگوی نوسانات ریزگردها در دو استان بسیار مشابه است؛ این مطلب بیانگر کانون‌های ریزگردی یکسان تأثیرگذار و همچنین حاکمیت سیستم‌های همدیدی مشابه بر دو استان در طول دوره مطالعاتی است.

نمودارهای روند تغییرات نشان دهنده آن بود که در هر یک از استان‌های آذربایجان-شرقی و آذربایجان غربی علی‌رغم وجود نوسانات در برخی سال‌ها، روند افزایشی در غلظت ریزگردها دیده می‌شود این روند علل مختلفی می‌تواند داشته باشد، تغییر در بافت، کاهش پوشش گیاهی و خشکی خاک محلی یکی از دلایل شیب افزایشی AOD است؛ با توجه به شرایط منطقه و اینکه بخش عظیمی از منطقه توسط مراتع پوشیده شده است، می‌توان از چرای بیش از ظرفیت دام‌ها، خشکسالی‌های پی‌درپی و در نهایت وقوع بیابانزایی به عنوان مهمترین دلیل افزایش ریزگردها، به ویژه در سال‌های پیش از خشک شدن بخش‌هایی از دریاچه ارومیه نام برد. همچنین از زمان شروع خشکی بخش‌هایی از دریاچه، بخش مهمی از این روند افزایشی ناشی از آلودگی هوا بر اثر ریزگردهای نمکی دریاچه ارومیه است. علاوه بر موارد بیان شده با توجه به افزایش توفان‌های گردوغباری بیابان‌های کشورهای عراق و سوریه (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱؛ جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۳) ذرات گرد و غباری که همراه بادهای غربی و جنوب‌غربی از به ایران وارد می‌شود نیز ممکن است در این تغییرات سهم داشته باشند.

با هدف تشخیص علت اصلی افزایش ریزگردها نقشه مکانی میانگین‌های سالانه در ۱۶ سال اخیر تهیه شده و با هم مقایسه شد. نتایج این مقایسات نشان دهنده آن بود در فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ به طور نسبی در جنوب غربی استان آذربایجان شرقی مقدار ریزگردها نسبت به سایر نقاط منطقه بیشتر بوده است و این می‌تواند نشان دهنده حضور ریزگردهای منتقل شده از بیابان‌های کشورهای همسایه باشد، به طوری که با توجه به نقشه‌ها مشخص شده است که حضور دریاچه ارومیه، تأثیر چشمگیری در کاهش این ریزگردها و جذب آنها توسط رطوبت دریاچه داشته است و در شرق دریاچه ارومیه کاهش یکبارگی ریزگردها دیده می‌شود.



در دوره دوم از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۴ الگوی نسبی تغییرات مکانی ریزگردها نشان- دهنده وجود ریزگردها بر فراز دریاچه ارومیه با یک افزایش شدید نسبت به سایر مناطق در محدوده مطالعاتی است. این مطلب بیانگر عملکرد دریاچه به عنوان یک کانون تولید ریزگردهای اتمسفری می‌باشد که با توجه به ماهیت شور و نمکی دریاچه این ریزگردها نمکی می‌باشند.

در مرحله بعد برای تشخیص توزیع مکانی نحوه تغییرات ریزگردها در طول زمان، با توجه به نمودارهای روند تغییرات، دو سال شاخص از نظر مقدار غلظت بالای ریزگرد (۲۰۱۴) و همچنین مقدار غلظت کم ریزگرد (۲۰۰۴) انتخاب شد. نقشه تفاضل میانگین‌های سالانه در این دو سال نیز صحت تغییرات شدید افزایشی را در محدوده دریاچه ارومیه تایید کرد. جهت مشاهده جزئیات بیشتر و بررسی صحت این مطلب، با توجه به نمودارها، سه ماه که تفاوت بارزتری را در داده‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۰۴ نشان می‌دادند انتخاب شد. نتایج به دست آمده نشان دهنده آن بود که بیشترین تغییرات افزایشی در مقدار ریزگردها در محدوده دریاچه اتفاق افتاده است. بنابراین نتایج این پژوهش تایید کننده وضعیت بحرانی دریاچه ارومیه از نظر منبعی برای تولید ریزگردهای نمکی می‌باشد. براساس این نتایج اهمیت این بحران محیط زیستی و ضرورت توجه به احیای دریاچه ارومیه نه تنها در جهت حفظ اکوسیستم منحصر به فردی که در سطح جهانی دارد، بلکه به عنوان عاملی که تهدید کننده سلامتی انسان‌ها می‌باشد را نشان می‌دهد.

## منابع

- اسماعیلی، امید (۱۳۸۵)، «پهنه‌بندی مقدماتی مراکز اصلی تولید غبار کشور با استفاده از فن سنجش از دور»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گرایش محیط زیست، آذر ۸۵.
- جهانبخش، سعید؛ ولی‌زاده کامران، خلیل؛ خسروی، محمود؛ زینالی، بتول و اصغری، صیاد (۱۳۹۳)، «شناسایی و آشکار سازی طوفان فراگیر 1 ژوئیه ۲۰۰۸ ایران با استفاده از سنجنده مودیس»، *فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی*، سال چهاردهم، شماره ۴۶، صص ۵۰-۳۱.
- ذوالفقاری، حسن و عابدزاده، حیدر (۱۳۸۴)، «تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گردوغبار غرب در ایران»، *مجله جغرافیا و توسعه*، صص ۱۷۳-۱۸۸.
- زینالی، بتول (۱۳۹۲)، «شناسایی و پایش توفان‌های شاخص گردوغباری ایران با استفاده از سنجنده‌های MODIS و AVHRR»، پایان‌نامه دکتری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.
- شمسی پور، علی‌اکبر و صفرزاد، طاهر (۱۳۹۱)، «تحلیل ماهواره‌های همدیدی پدیده گردوغبار (گردوغبار تیرماه)»، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، دوره ۴۴، شماره ۷۹، صص ۱۱۱-۱۲۶.
- عبدالخانی، علی (۱۳۸۹)، «بارزسازی و زون بندی توده های گردو غبار جنوبغرب ایران با استفاده از سنجش از دور و GIS»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- عزیززی، قاسم؛ میری، مرتضی؛ نبوی سید امید. (۱۳۹۱). ردیابی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران. *فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، شماره ۷، بهار ۱۳۹۱، صص ۶۳-۸۱.
- محمدی، غلام حسن (۱۳۹۴)، «تحلیل سازوکارهای جوی انتقال ریزگردها به غرب کشور»، پایان‌نامه دکتری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز.
- ولی، عباسعلی؛ خاموشی، سجاد؛ موسوی، حجت؛ پناهی، فاطمه و تمسکی، احسان. (۱۳۹۳)، «تحلیل اقلیمی و ردیابی توفان‌های گردوغبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران»، *مجله محیط‌شناسی*، دوره ۴۰، شماره ۴، صص ۹۶۱-۹۷۲.
- Ackerman, S.A. (1997), "Remote sensing aerosols using satellite infrared observations", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol:102, 17069-17079.
- Alam, K., Quarshi, S., and Blaschke, T., (2011), "Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and

- MISR satellite data and a HYSPLIT model”, *Atmospheric Environment*, Vol: 45, 4641-4651.
- Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P., Sturman A. (2013), “The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review”. *Atmospheric Research*, Vol:138, 152-165.
- Athanasios, G., Hatzianastassiou, N., Gkikas, A., Papadimas, C. D. (2012), “Estimating Aerosol Optical Depth Over the Broader Greek Area from MODIS Satellite”, *Water, Air, & Soil Pollution* 224 (7), 1-14
- Ben-Ami, Y., Koren, I. Altaratz. O. (2009), “Patterns of North African dust transport over the Atlantic: winter vs. summer, based on CALIPSO first year data”, *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol: 9, PP 7867-7875.
- Guo, J.P., Zhang, X.Y., Che, H.Z., Gong, S.L., An, X., Cao, C.X., Guang, J., Zhang, H., Wang, Y.Q., Zhang, C.X., Xue, M., Li, X.W. (2009), “Correlation between PM concentrations and aerosol optical depth in eastern China”, *Atmospheric Environment*, Vol: 43, PP 5876-5886
- Gupta, P., Christopher, S. A., Wang, J., Gehrig, R., Lee, Y., Kumar, N. (2006), “Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities”, *Atmospheric Environment*, Vol: 40, PP 5880-5892
- Kim HS, Chung YS, Kim, JT. (2014), “Spatio-temporal variations of optical properties of aerosols in East Asia measured by MODIS and relation to the ground-based mass concentrations observed in central Korea during 2001~2010”, *Asia-Pac J Atmos Sci*, Vol: 50(2): PP 191-200
- Levy I, Mihele C, Lu G, Narayan J, Brook JR. (2014), “Evaluating multipollutant exposure and urban air quality: pollutant interrelationships, neighborhood variability, and nitrogen dioxide as a proxy pollutant”, *Environ Health Perspect*, Vol: 122(1): PP 65-72.
- Miller, S. D. (2003), “A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS”, *Geophysical Research Letters*, Vol: 30. NO. 20, doi:10.1029/2003GL018279,2003
- Pan, L., Che, H., Geng, F., Xia, X., Wang, Y., Zhu, C., Chen, M., Gao, W., and Guo, L. (2010), “Aerosol optical properties based on ground measurements over the Chinese Yangtze Delta Region”, *Atmos. Environ.*, Vol:44, PP 2587-2596.

- Pu, B., Ginoux, P. (2016), "The impact of Pacific Decadal Oscillation on springtime dust activity in Syria", *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, doi:10.5194/acp-2016-592, Manuscript under review for journal Atmos. Chem. Phys.
- Rashki, D., Kaskaoutis, G., Eriksson, P. G., de W., Rautenbach, C. J., Flamant, C., Abdi Vishkaee, F. (2014), "Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations", *Nat Hazards*, Vol:71: PP 563–585.
- Wald, A.E., Kaufman, Y.J., Tanré, D., & Gao, B.C. (1998), "Daytime and nighttime detection of mineral dust over desert using infrared spectral contrast", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol:103, PP 32307-32313
- WHO (World Health Organization). (2000), "Air quality guidelines for Europe (2nd Ed.)", Chapter 7 *WHO regional publications, European series*, Vol: 91.
- Yu, M., Notaro, Y. Kalashnikova O. V. (2015), "Regime shift in Arabian dust activity, triggered by persistent Fertile Crescent drought", *J. Geophys. Res. Atmos.*, Vol: 120, PP 10,229–10,249.
- ZiPeng, D., Xing, Y., XingMin, L., Jin, DAI. (2013), "Analysis of variation trends and causes of aerosol optical depth in Shaanxi Province using MODIS data", *Chin Sci Bull*, Vol:58, No.35: PP 4486-4496.