

شناسایی مناطق همگن از نظر تغییرپذیری زمانی گرد و غبار و آلاینده های جوی در ایران

طیب رضیئی*^۱، کاوه محمدپور^۲، محمد سلیقه^۲ و علی درویشی بلورانی^۳

*^۱-استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری tayebrazi@yahoo.com

^۲-گروه آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی

^۳-گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

چکیده

در این پژوهش با استفاده از مد S تحلیل مولفه های اصلی (PCA) و چرخش به شیوه واریمکس بر روی ماتریسی از داده های ماهانه AOD پایگاه MACC از مرکز اروپایی پیش بینی های میان مدت جوی (ECMWF)، کشور ایران از نظر تغییرات زمانی مقدار AOD به شش منطقه همگن جغرافیایی تقسیم شد. مناطق شش گانه بدست آمده در این پژوهش هم از نظر برخاستگاه آلاینده ها و هم از نظر تغییرات زمانی مقدار AOD و هم از نظر فصل بیشینه مقدار AOD با یکدیگر متفاوت هستند چرا که رویدادهای گرد و غباری هر یک از مناطق شناسایی شده به کمک سامانه های سینوپتیکی متفاوتی ایجاد می شوند. مناطق شش گانه بدست آمده در این پژوهش می تواند به عنوان مبنای برنامه ریزی های آینده برای رویارویی با پدیده گرد و غبار در کشور مورد استفاده سازمان محیط زیست، وزارت جهاد کشاورزی و سازمان مدیریت بحران وزارت کشور قرار گیرد.

واژه های کلیدی: گرد و غبار، AOD، PCA، MACC، ECMWF، منطقه بندی

مقدمه

پدیده گرد و غبار با تحت تاثیر قرار دادن انتقال انرژی تابشی و توزیع گرمای نهان جو می تواند آب و هوای یک منطقه را تحت تاثیر قرار دهند (Kaufman et al., 2002; Lohmann and Feichter, 2005). برخی از پژوهشگران با استفاده از انواع مختلفی از مدلها و داده های واکاوی شده و ماهواره ای به بررسی اثر تابشی آئروسولها در مناطق بیابانی و نیمه بیابانی جهان به ویژه در شرق آسیا (Highwood et al., 2003) و خاورمیانه (Oumbe et al., 2012) که مستعد تولید گرد و غبار و یا در مسیر طوفانهای گرد و غباری هستند پرداخته اند. به عنوان مثال، در یکی از این پژوهش ها با استفاده از داده های AERONET به بررسی عمق نوری آئروسولها (AOD) در بیابان تکلمکان و ارزیابی مقدار انرژی رسیده به سطح زمین و میزان تاثیر آن بر آب و هوای منطقه پرداخته شده است (Xuemei Zong et al., 2015). در بررسی دیگری در چین، با استفاده از داده های AOD تغییرات مکانی و زمانی گرد و غبارها بررسی شده است (Bengang li et al., 2009).

از میان داده های دید افقی، غلظت مواد معلق (PM)، عمق نوری آئروسولها و پروفیل عمودی ضریب خاموشی در یک بسته از هوا (Cuevas et al, 2015)، متغیر AOD که بیانگر میزان تراکم ذرات معلق در ستونی از جو است به عنوان کارآمدترین داده برای آشکار سازی گرد و غبارها شناسایی شده است (Bengang li et al., 2009; Mao et al., 2014; Xuemei Zong et al., 2015). بررسی گردوغبارها در جای جای جهان نشان می دهد که داده های عمق نوری آئروسولها از کلیدی ترین داده ها برای بررسی پدیده گرد و غبار بشمار می رود. بررسی های انجام شده با داده های AOD ماهواره مودیس (MODIS) نشان می دهد که بیشترین عمق نوری آئروسولها متعلق به کشورهای در حال توسعه شمال آفریقا و آسیا است که از روند افزایشی نیز برخوردار است، هرچند روند فصلی آن در نیمکره شمالی با کاهش و در نیمکره جنوبی با افزایش همراه است (Mao et al., 2014). بررسی های انجام شده در چین نیز نشان می دهد که با استفاده از الگوریتم Deep Blue ماهواره MODIS و AOD ماهواره MISR می توان پدیده گرد و غبار را به خوبی آشکاری سازی کرد (YIN

(Xiao-Mei et al., 2016). از داده های AOD همچنین برای آشکارسازی گرد و غبار در آفریقا استفاده شده است. همچنین، با استفاده از داده های AOD نقش گرد و غبارهای مناطق بیابانی آفریقا و خاورمیانه در اقلیم منطقه‌ای و جهانی و تغییرات اکوسیستمی ناشی از آنها بررسی شده است.

بررسیهای انجام شده در ایران نشان می‌دهد که داده‌های AOD مورد استفاده برای بررسی گرد و غبار در کشور اغلب از رزولوشن پایینی (1×1) برخوردار بوده است (Gharibzadeh et al., 2017; Arkian & Nicholson, 2017; Namdari et al., 2018). این بررسیها به تاثیرات متقابل گرد و غبار با دما و بارش در منطقه خاورمیانه و ایران اشاره دارد (Namdari et al., 2018). در برخی از این پژوهشها، میزان تابش رسیده به سطح زمین و نیز اثر گرمایشی و سرمایش ناشی از گرد و غبارها با استفاده از داده های AOD سنجه‌های ماهواره‌ای در مقایسه با مشاهدات زمینی (AERONET) مورد بررسی قرار گرفته است (Gharibzadeh et al., 2017; Arkian & Nicholson, 2017). مطالعات انجام گرفته در زمینه پدیده گرد و غبار در غرب کشور نشان می‌دهد که در دو دهه اخیر تعداد روزهای گردوغباری رو به افزایش بوده به طوری که در برخی موارد میزان دید افقی بسیار محدود و غلظت آئروسولها در ایستگاههای زمینی بسیار بحرانی شده است. اغلب این مطالعات با هدف منشاء یابی پدیده گرد و غبار تنها برخی از روزهای گرد و غباری فرین ثبت شده در ایستگاههای زمینی را مورد توجه قرار داده اند.

از بهترین و جامعترین مدل‌های چند بعدی نگر در زمینه مطالعات محیطی که راه را برای شناخت هر چه دقیقتر مخاطرات محیطی و از جمله گردوغبار هموار کرده است پروژه پایش ترکیبات اتمسفری و آب و هوایی (MACC) است که با هدف انجام خدمات محیطی جوی تحت حمایت برنامه هفتم اتحادیه اروپا بنیان گذاشته شده است. MACC از جمله پروژه‌های پیش‌تاز در زمینه پایش تبادلات زمین-آتمسفر است که با استفاده از داده‌های مشاهداتی و ماهواره‌ای (GEMS; Hollingsworth et al., 2008) و پروتوکول خدمات پایش جهانی محیط زیست و امنیت جو (GMES) ساخته شده است (PROMOTE; <http://www.gse-promote.org/>).

داده‌های بازکاوی شده مدل پایش ترکیبات اتمسفری و آب و هوایی MACC از سال ۲۰۰۳ به بعد با دقت مکانی $1/125 \times 1/125$ تا $0/125 \times 0/125$ درجه جغرافیایی و مقیاس زمانی ۳ ساعته و طول موج ۵۵۰ نانومتر موجود است. این داده‌ها با هدف بررسی ترکیبات اتمسفری جو زمین و اهمیت اقلیمی گرد و غبارها و آئروسولها بر پایه سامانه جامع پیش‌بینی (IFS) در مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت جوی (ECMWF) تولید می‌شود. تاکنون در مطالعات محدودی از داده های MACC برای بررسی آئروسولها و گردوغبارها استفاده شده است (Inness et al., 2013). در یکی از این پژوهشها که از داده های MACC برای بررسی پدیده گرد و غبار در منطقه خاورمیانه، شمال آفریقا و جنوب اروپا استفاده شد، توانایی این داده‌ها در مقایسه با داده‌های سطح زمین آشکار شد (Cuevas et al., 2015). در مطالعه دیگری که در امارات متحده عربی در جنوب ایران انجام پذیرفت مشخص شد که بین داده های مشاهده ای AOD ایستگاه‌های زمینی امارات متحده عربی و MACC همبستگی بالا و معنی‌داری وجود دارد (Oumbe et al., 2012). مطالعات محدود انجام شده در منطقه خاورمیانه و ایران نشان می‌دهد که تاکنون هیچ مطالعه جامعی با استفاده از داده های MACC در منطقه و ایران صورت نگرفته است و تمام مطالعات آشکارسازی گردوغبار در منطقه بر پایه داده‌های ماهواره‌ای روزهای گردوغباری فرین انجام شده است. از اینرو، در مطالعه حاضر کوشش شده است تا با استفاده از داده های AOD مدل MACC مناطق همگن از نظر تغییر پذیری زمانی آئروسولها و پدیده گرد و غبار در کشور شناسایی شود.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه در این پژوهش سرتاسر ایران و داده های مورد استفاده نیز AOD پایگاه MACC با دقت مکانی $0/125 \times 0/125$ درجه جغرافیایی و مقیاس زمانی روزانه است. پایگاه MACC از داده های AOD ماهواره های ترا و آکوا MODIS با طول موج ۵۵۰ نانومتر برای تولید داده های AOD خود بهره گرفته است. داده های AOD تولید شده به وسیله پایگاه MACC خود از دو بخش مجموع AOD (Total AOD) و AOD گرد و غبار (Dust AOD) تشکیل شده است. بر خلاف داده های AOD مدیس و دیگر ماهواره‌ها که دارای گپ‌های آماری هستند، سری زمانی داده های MACC در همه گریدهای پراکنده در سطح کشور دارای آمار کامل است که امکان استفاده از آن را برای بررسی توزیع زمانی و مکانی پدیده گرد و غبار و یک منطقه بندی مناسب فراهم کرده است.

در این مطالعه از مد S تحلیل مولفه های اصلی (PCA) برای کاهش حجم داده ها و شناسایی مناطق همگن از نظر تغییرپذیری زمانی مقدار AOD در سطح کشور استفاده شد. در این شیوه ستونهای ماتریس داده ها معرف گردیدها و ردیف های ماتریس معرف روزهای مورد مطالعه می باشد. از این رو با انجام PCA بر روی ماتریس داده ها که دارای ابعاد ۹۹۸۵×۳۶۵۳ می باشد تعداد ۹۹۸۵ گردید پراکنده بر روی کشور به شش مولفه اصلی کاهش یافت. گردیدهای هر یک از این مولفه ها از نظر تغییرات زمانی AOD در ۳۶۵۳ روز مورد مطالعه با هم همبسته و همانند هستند.

به منظور دستیابی به مناطق همگن از نظر تغییرپذیری زمانی مقدار AOD در ۳۶۵۳ روز مورد مطالعه، شش مولفه نخست انتخاب و سپس به روش وریمکس چرخش داده شدند تا گردیدهایی که بیشترین ضریب همبستگی را با یکدیگر دارند در یک گروه همگن قرار گیرند.

نتایج

جدول ۱ در صد واریانس شش مولفه نخست ماتریس همبستگی داده ها را پیش و پس از چرخش به شیوه وریمکس نمایش می دهد. با توجه به جدول ۱ شش مولفه نخست ۸۷،۷۳ درصد از کل واریانس داده ها را توضیح می دهد که از این میان مولفه های اول و دوم به ترتیب ۵۹،۱۵ و ۱۰،۵۲ درصد از کل واریانس داده ها را توضیح می دهند و مولفه های سوم تا ششم سهم کوچکی از واریانس داده ها را توضیح می دهند. پس از چرخش مولفه ها به شیوه وریمکس درصد واریانس مولفه ها به هم نزدیکتر شده است به طوری که درصد واریانس مولفه های اول و دوم پس از چرخش به ترتیب ۱۸،۹۱ و ۱۸،۹۰ درصد از کل واریانس داده ها را توضیح می دهند. مولفه های سوم تا ششم نیز به ترتیب ۱۶،۹۴، ۱۲،۶۹، ۱۱،۸۲ و ۸،۴۷ درصد از کل واریانس داده ها را توضیح می دهند.

شکل ۱ مناطق همگن از نظر تغییر پذیری AOD را در گستره ایران نشان می دهد. با توجه به این شکل EOF1 که دربرگیرنده جنوب شرق ایران است به عنوان نخستین منطقه همگن از نظر تغییرپذیری AOD شناخته شد. این منطقه که از سواحل حلیج فارس و دریای عمان در جنوب تا مرکز ایران ادامه دارد دشت لوت را به عنوان یکی از برخاستگاهها مهم داخلی گرد و غبار در خود جای داده است. این منطقه در بیشتر روزهای سال، به ویژه در فصل تابستان و دوره فعالیت بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که از ماه می تا سپتامبر می وزد از AOD بسیار بالایی برخوردار است. شکل ۲ نیز نشان می دهد که بالاترین میزان AOD در این منطقه در فصل گرم سال و در اثر وزش بادهای شدید شمالی به نام لوار ایجاد می شود (Alizadeh Choobari et al., 2014; Kaskaoutis et al., 2015a; Rashki et al., 2019). شدت گرد و غبارهای این منطقه با وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که که گرد و غبار را از دشت سیستان، دشت لوت و چاله خشکیده جازموریان به مناطق دور دست انتقال می دهد افزایش می یابد (Rashki et al., 2017).

جدول ۱- درصد واریانس شش مولفه نخست ماتریس همبستگی داده ها پیش و پس از چرخش به شیوه وریمکس

مولفه	پیش از چرخش		پس از چرخش به شیوه وریمکس	
	واریانس (%)	واریانس (%)	واریانس (%)	واریانس انباشته (%)
۱	۵۹،۱۵	۱۸،۹۱	۵۹،۱۵	۱۸،۹۱
۲	۱۰،۵۲	۱۸،۹۰	۶۹،۶۷	۳۷،۸۱
۳	۷،۷۲	۱۶،۹۴	۷۷،۳۹	۵۴،۷۵
۴	۴،۱۸	۱۲،۶۹	۸۱،۵۴	۶۷،۴۴
۵	۳،۱۷	۱۱،۸۲	۸۴،۷۱	۷۹،۲۶
۶	۳،۰۲	۸،۴۷	۸۷،۷۳	۸۷،۷۳

دومین منطقه همگن از نظر تغییرپذیری گرد و غبار منطقه شمال-شمالغرب کشور است که فصل بیشینه و کمینه آن متفاوت از دیگر مناطق شناسایی شده است. با توجه به شکل ۲ بیشینه گرد و غبار در این منطقه در فصل بهار تا میانه فصل تابستان روی می دهد. برخاستگاه اصلی گرد و غبارهایی که به این منطقه وارد می شوند اغلب خارج از ایران و در درون مرزهای عراق و سوریه و به ویژه چاله های رسوبی دجله و فرات می باشد که در اثر توسعه سد سازی بر روی این رودخانه ها به ویژه در کشور ترکیه شکل گرفته است. در

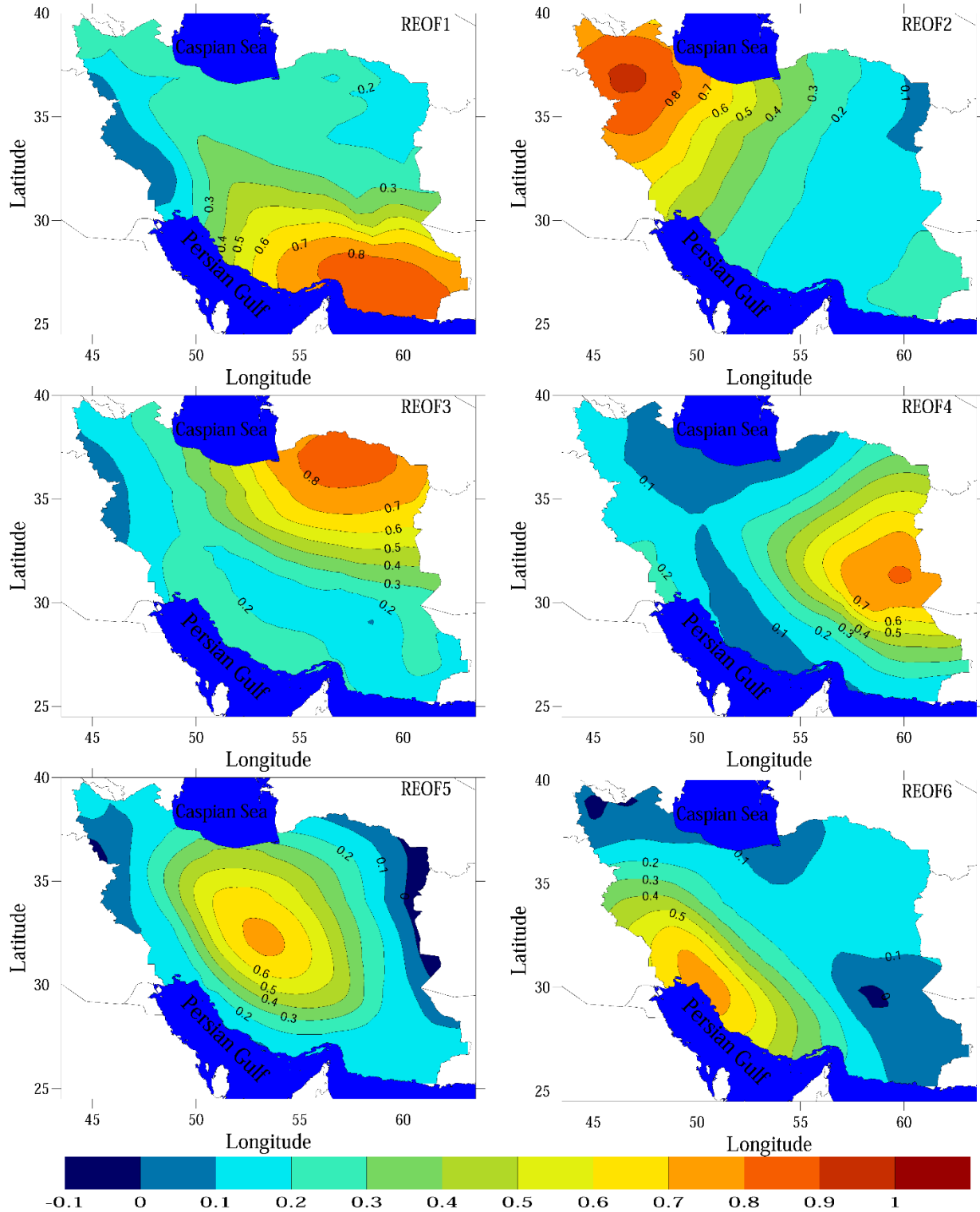
سالهایی که خشکسالیهای شدید، گسترده و بلندمدت در منطقه حاکم می شود بر گستره این چاله های رسوبی نیز افزوده می شود. در اثر خشکسالیهای گسترده دهه های گذشته و نیز برداشت بیش از اندازه از حق آبه دریاچه های داخلی ایران و عراق بسیاری از این دریاچه ها یا به طور کلی خشک شده و یا از گستره آبی آنها کاسته شده است. کاهش چشمگیر گستره آبی این دریاچه ها، آنها را به خاستگاه گرد و غبار به ویژه نمک تبدیل کرده است. پسروری گسترده دریاچه ارومیه در سالهای گذشته سبب افزایش ذرات نمک موجود در جو مناطق اطراف دریاچه شده است که تا دور دست ها نیز ردیابی شده است. آلاینده های صنعتی و گازهای برخاسته از سوخت سوخت های فسیلی به ویژه در فصل سرد سال که با وارونگی هوا در فصل سرد سال نیز همراه می شود از دیگر آلاینده های دوره سرد سال در این منطقه است. آتش سوزی جنگلهای زاگرس و سوزاندن زمین های کشاورزی و درختان جنگلی، و نیز سوخت ناص ترافیک شهری را نیز به این آلاینده ها بیافزاید که باعث کاهش دید افقی و نیز کاهش دریافت انرژی تابشی خورشید به ویژه در فصل زمستان در مناطق شهری می شود.

با توجه به شکل ۱ منطقه شمال شرق ایران به عنوان سومین منطقه همگن از نظر تغییرپذیری گرد و غبار در کشور شناسایی شده است. همسایگی این منطقه از کشور با بیابان قره قروم در شمال و دشت کویر و دشت لوت در جنوب، این منطقه را به یکی از مناطق آلوده به گرد و غبار تبدیل کرده است. در برخی از فصول سال که پرفشاری در شرق دریای خزر تشکیل می شود بادهای شدیدی از شمال و شمال شرق ایران به این منطقه می وزد و گرد و غبارهای برخاسته از بیابان قره قروم را به شمال شرق ایران گسیل می کند، در حالیکه در برخی فصول دیگر بادهای جنوبی ذرات ریز انباشته شده در دشت کویر و دشت لوت را به منطقه گسیل می کنند. در برخی از روزهای سال نیز که هم بادهای جنوبی و هم بادهای شمالی فعال هستند شدت گسیلش ریز گردها به منطقه افزایش می یابد. چهارمین منطقه همگن از نظر تغییرپذیری گرد و غبار منطقه شرق کشور است که با EOF4 مشخص شده است. این منطقه که دربرگیرنده کویر لوت، دشت سیستان و تالاب های (مانند چاله هامون) اطراف رودخانه هیرمند است از مهمترین و شناخته شده ترین برخاستگاههای گرد و غبار در داخل ایران است که با شدت گرفتن بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در فصل گرم سال بر شدت طوفانهای گرد و غباری این منطقه افزوده می شود. شدت طوفانهای گرد و غباری این منطقه با شدت و تداوم خشکسالیهای منطقه گره خورده است و هرگاه منطقه در تله یک خشکسالی بلندمدت قرار می گیرد و تالاب های اطراف هیرمند مانند هامون و چاه نیمه ها خشک می شود بر شدت گرد و غبارهای منطقه نیز افزوده می شود.

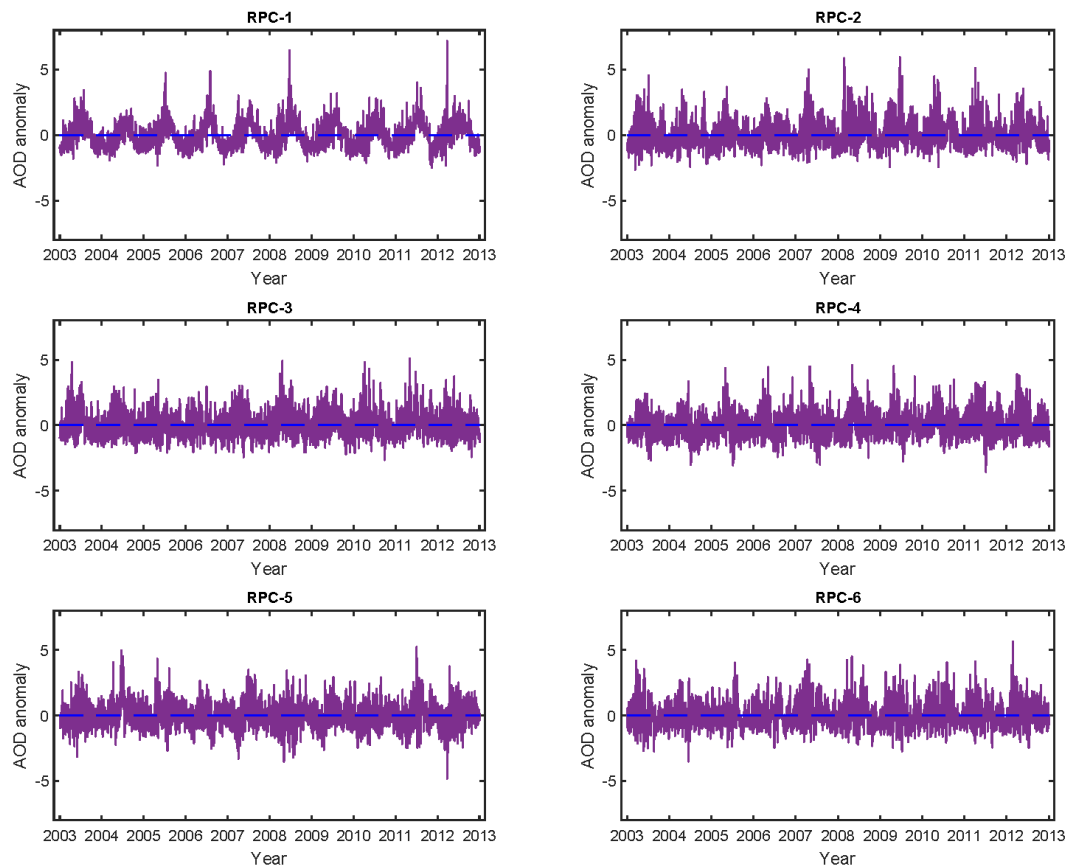
در شکل ۱ فلات مرکزی ایران که با EOF5 مشخص شده است به عنوان پنجمین منطقه همگن از نظر تغییرپذیری گرد و غباری در کشور شناسایی شده است. این منطقه که بر روی کویرهای داخلی ایران متمرکز شده است از غرب با رشته کوه زاگرس و از شمال نیز با رشته کوه البرز محدود شده است. کویرهای داخلی ایران در استانهای کرمان، اصفهان، یزد و قم از برخاستگاههای اصلی گرد و غبار به ویژه ذرات نمک برداشته شده از دشت کویر، دشت لوت و دق های گوناگون فلات مرکزی ایران است. برداشت بیش از اندازه آب از رودخانه زاینده رود نیز بستر خشکیده آن و نیز چاله خشکیده گاوخونی را به یک برخاستگاه دائمی دیگر تبدیل کرده است که به هنگام خشکسالیهای گسترده و بلندمدت در منطقه بر گستره آن افزوده می شود. افزون بر این، وجود شهرهای بزرگ و صنعتی مانند اصفهان، کرمان، اراک، تهران، کرج و قم در درون و یا پیرامون این منطقه نیز سهم آلاینده های صنعتی را در این منطقه افزایش داده است که در زمستانها و به هنگام تشدید وارونگی هوا شرایط را برای ساکنین این منطقه دشوارتر می کند.

ششمین منطقه همگن از نظر تغییرپذیری گرد و غباری در کشور منطقه جنوب غرب کشور است که در شکل ۱ با EOF6 مشخص شده است. اگر چه منطقه جنوب غرب ایران نیز از جمله مناطق بسیار صنعتی ایران است و انتظار می رود که سهم آلاینده های صنعتی در آن زیاد باشد ولی بررسی تفاوت میان سری زمانی Total AOD و Dust AOD در این مطالعه (نشان داده نشده است) نشان داد که سهم ذرات ریز غیر صنعتی که از خارج از ایران برداشت شده و به این منطقه گسیل می شود بسیار بیشتر از سهم آلاینده های صنعتی است. بررسی ما نشان داد که در فصل بهار و تابستان سهم Dust AOD در این منطقه بسیار بزرگ است که نشان از گسیلش ذرات ریز رسوبی برداشت شده از برخاستگاههای درون عراق، سوریه، اردن، و حتی عربستان به سوی ایران است. دلایلی که برای هجوم ریزگردها در منطقه شمال غرب ایران گفته شد برای جنوب غرب نیز صادق است. فراوانی وقوع و شدت ریزگردهای جنوب غرب و گسترش آن تا ایران مرکزی و البرز با خشکسالیهای درازمدت در منطقه خاورمیانه در ارتباط است. در سالهای خشک خاورمیانه، بسیاری از تالابهای منطقه خشک شده و به چاله های رسوبی تبدیل می شوند که رسوبات ریزدانه انباشته شده در آنها در بستر بادهایی که در اثر فعالیت

های جبهه ای در فصل بهار ایجاد می شوند به سوی ایران گسیل می شوند. در فصل تابستان نیز وزش باد شمالشرقی شمال (Shamal) به سوی مرکز کم فشار تشکیل شده در جنوب ایران نیز از عوامل تشدید رویدادهای گرد و غباری در منطقه جنوب غرب ایران است.



شکل ۲- توزیع مکانی بارگویه های شش مولفه نخست پس از چرخش به شیوه واریمکس که نمایشگر مناطق همگن از نظر تغییرپذیری زمانی گرد و غبار و آلاینده های جوی در ایران.



شکل ۳- سری زمانی نمره استاندارد شش مولفه نحست پس از چرخش به شیوه وریمکس که نمایشگر سری زمانی منطقه ای AOD مناطق همگن نمایش داده شده در شکل ۲ هستند.

نتیجه گیری و پیشنهادها

در این پژوهش برای نخستین بار در کشور از روش PCA برای منطقه بندی ایران از نظر تغییرات زمانی ریزگردها بهره گرفته شد که در نتیجه آن شش منطقه همگن از نظر تغییرپذیری گرد و غبار در کشور شناسایی شد. این مناطق هم از نظر برخاستگاه آلاینده کننده ها و هم از نظر تغییرات زمانی مقدار AOD و هم از نظر فصل بیشینه مقدار AOD با یکدیگر متفاوت هستند. این منطقه بندی به انجام نمی رسید مگر با استفاده از داده های AOD پایگاه MACC مرکز ECMWF که در این پژوهش برای اولین بار در کشور مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به تفاوت این شش منطقه همگن از نظر برخاستگاه AOD، فصل بیشینه مقدار AOD و تغییرات زمانی مقدار AOD، پیشنهاد می شود که مناطق شش گانه بدست آمده در این پژوهش به عنوان مبنای برنامه ریزی های آینده سازمان محیط زیست، وزارت جهاد کشاورزی و سازمان مدیریت بحران وزارت کشور برای رویارویی با پدیده گرد و غبار در کشور قرار گیرد.

منابع

- Arkian F. & S. E. Nicholson. 2018. Long-term variations of aerosol optical depth and aerosol radiative forcing over Iran based on satellite and AERONET data, Environ Monit Assess 190: 1-15.
- Bengang Li, Huishi Yuan, Nan Feng, Shu Tao. 2010. Spatial and temporal variations of aerosol optical depth in China during the period from 2003 to 2006. International Journal of Remote Sensing 31:7, pages 1801-1817.
- Cuevas, E., Camino, C., Benedetti, A., Basart, S., Terradellas, E., Baldasano, J. M., Morcrette, J. J., Marticorena, B., Goloub, P., Mortier, A., Berjón, A., Hernández, Y., Gil-Ojeda, M., and Schulz, M. 2015. The MACC-II 2007–2008 reanalysis: atmospheric dust evaluation and characterization over northern Africa and the Middle East, Atmos. Chem. Phys., 15, 3991–4024.



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



- Gharibzadeh Maryam, Khan Alam, Abbasali Aliakbari Bidokhti, Yousefali Abedini, Amir Masoumi. 2017. Radiative Effects and Optical Properties of Aerosol during Two Dust Events in 2013 over Zanzan, Iran, *Aerosol and Air Quality Research*, 17: 888–898.
- Haywood, J., Pete Francis, Simon Osborne, Martin Glew, Norman Loeb, Eleanor Highwood, Didier Tanre', Gunnar Myhre, Paola Formenti, and Edwin Hirst. 2003. Radiative properties and direct radiative effect of Saharan dust measured by the C-130 aircraft during SHADE: 1. Solar spectrum, *J. Geophys. Res.*, 108, D188577, doi: 10.1029/D2002JD002687.
- Inness A., Baier F., Benedetti A., Bouarar I., Chabrillat S., Clark H., Clerbaux C., Coheur P., Engelen R. J., Errera Q., Flemming J., George M., Granier C., Hadji-Lazaro J., Huijnen V., Hurtmans D., Jones L., Kaiser J. W., Kapsomenakis J., Lefever K., Leitao J., Razinger M., Richter, M. G. Schultz, A. J. Simmons, M. Suttie, O. Stein, J.-N. Thepaut, V. Thouret, M. Vrekoussis A., Zerefos C., the MACC team. 2013. The MACC reanalysis: an 8 yr data set of atmospheric composition, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 4073–4109.
- Kaufman Y.J., Gomes L., Schuetz L., Penner J. E., 2001. Introduction to special section: Outstanding problems in quantifying the radiative impacts of mineral dust, *J. Geophys. Res.*, 106 (D16): 18015–18028.
- Lohmann, U., and J. Feichter. 2005. Global indirect aerosol effects: A review, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 715–737, doi:10.5194/acp-5-715-2005.
- Mao K.B., Y. Ma, L. Xia, Wendy Y. Chen, X.Y. Shen, T.J. He, T.R. Xu. 2014. Global aerosol change in the last decade: An analysis based on MODIS data, *Atmospheric Environment* 94: 680-686.
- Namdari Soodabeh, Neamat Karimi, Armin Sorooshian, GholamHasan Mohammadi, Saviz Sehatkashani. 2018. Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East, *Atmospheric Environment* 173: 265–276.
- Oumbe A., Bru H., Hassar Z., Blanc P., Wald L., Fournier A., Goffe D., Chiesa M., Ghedira H., 2012. Selection and implementation of aerosol data for the prediction of solar resource in United Arab Emirates, Conference: September 2012, (<https://www.researchgate.net/publication/236624672>).
- Xiao-Mei Yin, Tie Dai, Jin-Yuan Xin, Dao-Yi Gong, Jing Yang, Nakajima Teruyuki, Guang-Yu Shi. 2016. Estimation of aerosol properties over the Chinese desert region with MODIS AOD assimilation in a global model, *Advances in Climate Change Research*, Volume 7, Issues 1–2.
- Xuemei Zong, Xiangao Xia, Huizheng Che. 2015. Validation of aerosol optical depth and climatology of aerosol vertical distribution in the Taklimakan Desert, *Atmospheric Pollution Research* 6: 239-244.