صفحات ۱۲۳ – ۱٤۰

کاربرد تکنیکهای چندمتغیره در منطقهبندی عمق نوری آئروسل (AOD) بر روی ایران

کاوه محمدپور^۱؛ دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

دریافت مقاله :۰۳/ ۱۳۹۹/۰۷ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۵/

چکیدہ

در مطالعه حاضر با استفاده از دادههای روزانه ماهوارهای شبیه سازی شده از عمق نوری آئروسل (AOD) در ۵۵۸ نانومتر بر روی گستره ایران سعی شد تا مناطق همگن آئروسل بر روی ایران با استفاده از تکنیکهای چند متغیره مدلسازی و آشکار گردد. تکنیکهای بُرداری با کاهش حجم متغیرها به بُردارهای ویژه و صدک ۸۵، شش الگوی مجزای مکانی را منطقه بندی و تفکیک کرد که از پهنههای عمده تحت تاثیر آئروسل بر روی پهنه ایران هستند. جزئیات پراکنش رخدادهای حدی بر پایه صدک ۹۵ بی هنجاری روزانهی سیگنالها نشان داد که انتشار و دوری و نزدیکی مناطق منبع آئروسل از مناطق شتاسایی شدهی روی ایران موجب شکل گیری الگوهای غالب مکانی آئروسل نزدیکی مناطق منبع آئروسل از مناطق شتاسایی شدهی روی ایران موجب شکل گیری الگوهای غالب مکانی آئروسل سطح خاورمیانه و آسیای مرکزی نمایان کرد که تفکیک جغرافیایی آئروسل به ساختارهای فضایی – مکانی ساده و همگن با شباهتهای درون گروهی زیاد در حین تفاوت آشکار برون گروهی تایید میکند که هر کدام از مناطق مهمگن با شباهتهای درون گروهی زیاد در حین تفاوت آشکار برون گروهی تایید میکند که هر کدام از مناطق معیارهای ماهوارهای با نکنیکهای کاربردی برداری در علوم جوی – دینامیکی، نه تنها خلاء دادههای مشاهداتی معیارهای ماهواره ای ان کنیکهای کاربردی برداری در علوم جوی – دینامیکی ، نه تنها خلاء دادهای مشاهداتی معارهای ماهواره با نکنیکهای کاربردی برداری در علوم جوی – دینامیکی ، نه تنها خلاء دادهای مشاهداتی داده و آن اشکال همگن تفکیک شده می جغرافیایی را قابل تفسیر تر کرده است.

واژه های کلیدی: عمق نوری آئروسل (AOD)، تکنیکهای چند متغیره، منطقهبندی، ایران

۰ . نویسنده مسئول:

مقدمه

آئروسل دارای سیستم چند فازی مرکب از ذرات جامد، مایع و گاز حامل ذرات معلق در اتمسفر است که بیلان تابش و انرژی سامانه جو-زمین را تحت تاثیر خود قرار می دهد (۲۰۱۳ یا Lu et al., ۲۰۰۹ زمین و واکنش های دینامیکی اتمسفر می شوند در سامانه اقلیمی هستند که منجر به گرمایش جوی، سرمایش سطح زمین و واکنش های دینامیکی اتمسفر می شوند (۲۰۱۴). آئروسل ها، ذرات ریز معلق در هوا (شامل: گردوغباری معدنی بیابانی، نمک دریاها، خاکسترهای آتشفشانی، سولفات، نیترات و دود ناشی از سوزاندن سوختهای فسیلی و زیست بومها) هستند که انتقال انرژی تابشی را به صورت مستقیم (جذب و پخش تابش) (۲۰۱۵ را San and Almazroui, ۲۰۱۲; Das et al., ۲۰۱۵) و غیرمستقیم (ویژگی های میکروفیزیک، تشکیل هسته تراکم و نور) (۲۰۱۲, Cos et al., ۲۰۱۲) وی می دیند. بدین صورت که بر روی تغییر دمای هوا، شکل گیری ابر، همرفت و میزان بارش اثر میگذارند (San and Dessler) و غیرمستقیم (ویژگی های دمای هوا، شکل گیری ابر، همرفت و میزان بارش اثر میگذارند (Sang and Dessler). پس، آئروسل ها با تحول می کنند (Figueras i Ventura and Russchenberg, ۲۰۰۹) و یا به عنوان هستههای تراکم، شکل گیری و عمر ابر و سپس بارش را دچار توجه به نقش مهمی که در گردش عمومی جوی و سپس اقلیم یک منطقه با تاثیرگذاری بر روی ذخیره تابشی کره زمین درجای می گذارند، دارای اهمیت قابل ملاحظهای در مطالعات جهانی و منطقهای هستند (IPCC, ۲۰۱۳).

در دو دهه اخیر، معیارهای سنجش از دور به عنوان مهمترین ابزار در جهت پایش آئروسل محسوب می گردند. به همین منظور دادههای ماهوارهای امکانات مناسبی را برای مطالعه و پراکنش فضایی پدیدههای دینامیکی همچون آئروسلها را ارائه ميدهند. روشهاي متعددي براي بررسي أئروسلها وجود دارد كه از جمله مهمترين أنها ميتوان به أستانه شاخص أئروسل (AOD)، عمق أپتيكى آئروسل (Prospero et al., ۲۰۰۲; Awad and Mashat, ۲۰۱٤; Nabavi et al., ۲۰۱۲) (UVAI)، (Gkikas et al., ۲۰۰۹; Rashki et al., ۲۰۱۵; Nabavi et al., ۲۰۱٦; Kaskaoutis et al., ۲۰۱۸)، و یا ترکیبی از تصاویر ماهوارهای، مدلسازی مشاهدات ماهوارهای و زمینی برای تشخیص و توصیف آئروسل اشاره کرد (¿Zoljoodi et al., ۲۰۱۳ Alizadeh-Choobari et al., ۲۰۱٤; Rashki et al., ۲۰۱٥; Nabavi et al., ۲۰۱٦; Kaskaoutis et al., ۲۰۱۵; Nabavi et al., ۲۰۱۷). برای نمونه، بررسی تغییرات مکانی و روندهای ائروسلها در خاورمیانه با استفاده از شاخص ائروسل (Nabavi et al., ۲۰۱٦) و عمق نوری آئروسل (AOD) (Klingmüller et al., ۲۰۱٦) بوده است. بعلاوه، حبيب و همكاران (Habib et al. ۲۰۰۶) با استفاده از شاخص أئروسل سنجنده TOMS نشان دادند که بخشهای مرکزی و جنوب پاکستان دارای بار بالایی از آئروسل بوده است که عمدتاً با چرخه فصلی گردوغبار و آتش سوزی زیست تودهها ارتباط داشت. در مطالعهای مشابه بر روی غرب و جنوب غرب ایران (Nabavi et al., ۲۰۱۹)، آستانه تغییر در تفاوتهای بین شاخص آئروسل TOMS و OMI و عمق نوری گردوغبار سنجنده MODIS نشان داد که تغییرات بلند مدت توزیع افقی طوفانهای عمده اَئروسل و به ویژه گردوغبار متاثر از دو منبع بیابانی عراق-سوریه و عربستان بوده است که منطقه شمالغرب ایران تا دریای خزر را تحت تاثیر طوفان قرار داده است. همچنین، کاسکائوتووس و همکاران (Kaskaoutis et al., ۲۰۱٤a) با استفاده از AOD سنجنده MODIS رخدادهای آئروسل را بر روی دشت هندو - گانجتیک شناسایی و طبقهبندی کردند که مبنای مطالعه بعدی

(Kaskaoutis et al., ۲۰۱۴b) در تشخیص روزهای حدی آئروسل بر روی کانپور هند بوده است. گیتانی و پاسکوی (Kaskaoutis et al., ۲۰۱۴) و مدل (Gocart و کالاسترینی و MODIS و کالاسترینی و GOCART) و مدل (Gaetani and Pasqui, ۲۰۱۲) همکاران (۲۰۱۲, Gaetani et al., ۲۰۱۳) نیز بر اساس مشاهدات زمینی ذرات معلق (PM) به بررسی پراکنش آئروسل پرداخته-اند. گوپتا و همکاران (۲۰۱۳, MODIS) نیز بر اساس مشاهدات زمینی ذرات معلق (PM) به بررسی پراکنش آئروسل پرداخته-اند. گوپتا و همکاران (۲۰۱۳, Gupta et al., ۲۰۱۳) هم با استفاده از عمق نوری آئروسل سنجنده MODIS به بررسی روندهای زمانی و مکانی آئروسلها در دو کلانشهر پاکستان (کراچی و لاهور) پرداختهاند. بررسی بازخورهای هواشناختی آئروسل بر روی دریای عرب و شبهقاره هند توسط کاسکائوتیس و همکاران (۲۰۱۸, Kaskaoutis et al.) نیز نشان دادند که دادههای AOD برای مدلسازی آئروسلها در سطح منطقهای معیار مناسبی هستند.

مشاهدات ماهوارهای و مشاهدات زمینی متعددی از آئروسلها بر روی شرق (Kaskaoutis et al., ۲۰۱٦)، غرب و جنوبغرب (Boloorani et al., ۲۰۱۶; Nabavi et al., ۲۰۱۶; Namdari et al., ۲۰۱۸)، شمالشرق (Boloorani et al., ۲۰۱۶) ۲۰۱۵) و یا بصورت نقطهای و پراکنده (Alizadeh-Choobari et al., ۲۰۱٤; Arkian & Nicholson, ۲۰۱۷) بر روی پهنه ایران مستند شده است. به طوری که بلورانی و همکاران (Boloorani et al., ۲۰۱٤) مشخص کردند که بیشترین آئروسل غرب ایران از بیابانهای عراق و سوریه منشاء گرفتهاند که به نقش مستقیم گردوغبارها در افزایش آئروسل برمیگردد. بعلاوه، در مطالعاتی مشابه بر روی نشان دادند که غبارهای منتشر شده از مناطق خشک و نیمه خشک دشتهای ساحلی مکران، دو بیابان عمده دشت کویر و دشت لوت، دشت سیستان و بستر خشک جازموریان موجب شدهاند تا شرق و جنوبشرق ایران در معرض طوفانهای گردوغباری رسوبی-نمکی قرار داشته باشند (Goudie : ۲۰۱۱; Goudie Abdi Vishkaee et al. and Middleton, ۲۰۰٦; Jin et al., ۲۰۱۸). چنین وضعیت مشابهی بر روی مناطق ساحلی خلیجفارس، بسترهای خشک لسی -رسوبی خوزستان به چشم میخورد که تحت سلطه بادهای منطقهای شَمال به ویژه در فصل گرم است (Rezazadeh et al., ۲۰۱۳; Rashki et al., ۲۰۱۲, ۲۰۱۷). روی هم رفته، علاوه بر اینکه آئروسل های نمکی و بیابانی از مناطق ذکر شده انتشار می یابند، بلکه آنها خود تحت تاثیر بادهای غالب منطقهای (شَمال و لوار) ناشی از شرایط دینامیکی-جوی هستند که موجب بار بالای AOD بر روی مناطق می شوند (AOD بر روی مناطق می شوند (۲۰۱۳, ۲۰۱۳, ۲۰۱۳ کی AOD بر روی مناطق می شوند (00., ۲۰۱۹ ما ۵۰ ۵۰۰ ۵۰ ۵۰ ۵۰ ۵۰ ۵۰ ۵۰ ۵۰ ۵۰ ۵۰ ۵۰ ۲۰۱۷ ۲۰۱۷ ۲۰۱۷). پس، شرایط ایجاد آئروسل ها بعلاوه بادهای غالب منطقهای مناطق مختلف ایران را تحت تاثیر آئروسل.های مختلفی قرار داده است که در برخی از مطالعات سعی داشتهاند تا با استفاده از خوشهبندی و تحلیل فصلی دید افقی (,۲۰۱۹; Alizaddeh Choobari et al., ۲۰۱٦; Baghbanan et al.,) از خوشهبندی و ت ۲۰۲۰ a, b) و یا شناسایی نقطهای رخدادها (Arkian & Nicholson, ۲۰۱۸; Namdari et al., ۲۰۱۸) به ارائه مناطق حساس آئروسل های پهنه ایران بپردازند. اما، به دلایلی همچون اثر توپوگرافی و میکروکلیمای یک منطقه، امکان طبقهبندی و تفکیک مناطق بر مبنای دید افقی را دچار نقض کرده است (Alizaddeh Choobari et al., ۲۰۱۶; Baghbanan et al., ۲۰۲۰) a, b). زیرا، شرایط فوق العاده خشک در داخل ایران با منابع بیرونی در خاورمیانه کشور را تحت تاثیر آئروسلای با منابع مختلفی قرار خواهد داده است که با استفاده از تحلیلهای نقطهای و یا سنجش از دوری در مقیاس محلی و فصلی امکانپذیر نخواهد بود. بنابراین، بسته به تنوع و تعدد منابع تولید و رژیمهای غالب جوی در انتشار آئروسلها، به نظر میرسد امکان

1 - Global Ozone Chemistry Aerosol Radiation and Transport

تفکیک کشور به مناطق همگن متفاوتی از آئروسل ها وجود دارد که مطالعات قبلی قادر به ارائه آن نبودهاند. بر همین اساس، استفاده از سنجش از دوری ماهوارهای در مقیاس مکانی بزرگتر علاوه بر اینکه کمک میکند تا درک بهتری از پهنه جغرافیایی پدیده نسبت به دادههای نقطهای را آشکار کند، بلکه لایه آئروسل در سطحهای بالای وردسپهر را نیز پایش کرده و نمایش میدهد. بنابراین، در مطالعه حاضر، ناحیهبندی تکنیکی آئروسل ها با استفاده از متغیرهای سنجش از دوری در سطح ایران این امکان را میسازد تا پهنه جغرافیایی کشور به دور از تفکیک سلیقهای محقق به زیر منطقههایی حساس منطح ایران این امکان را میسازد تا پهنه جغرافیایی کشور به دور از تفکیک سلیقهای محقق به زیر منطقههایی حساس منطح ایران این امکان را میسازد تا پهنه جغرافیایی کشور به دور از تفکیک سلیقهای محقق به زیر منطقههایی حساس منطح ایران این امکان را میسازد تا پهنه جغرافیایی کشور به دور از تفکیک سلیقه محقق به زیر منطقههایی حساس منطح ایران این امکان را میسازد تا پهنه جغرافیایی کشور به دور از تفکیک سلیقه محقق به زیر منطقههایی حساس منطح ایران این امکان را میسازد تا پهنه جغرافیایی کشور به دور از منکیک سلیقه محق به زیر منطقه مای سادسازی تحت تاثیر آئروسل تفکیک گردد. زیرا، با تبدیل یک پهنه جغرافیایی بزرگتر به چندین پهنه کوچکتر، امکان سادهسازی منطقه مورد مطالعه فراهم شده و ارائه آن در الگوهای مکانی کوچکتر قابل تفسیر است. بنابر موارد ذکر شده بالا، استفاده از بُردارهای ویژهی در تکنیکهای بُرداری تنها راه حلی است که میتواند از هدف و سوال تحقیق رونمایی کند و یک سیمای کلی با رویکرد جغرافیایی را بدون توجه به مطالعات ایستگاهی و مرز استانی ارائه نماید. سرانجام، پراکنش مکانی آئروسل ه در ساختارهای کوچکتر و سادهتر و در قالب زیر منطقههای مکانی جداگانه ترسیم شده و بسته به فرینهای هر منطقه قابل

دادهها و روش کار

مطالعه حاضر با استفاده از سریهای زمانی عمق نوری آئروسل^۱ در ۵۵۰ نانومتر سنجنده MODIS (ماهوارههای Terra و ملام معافر با استفاده از سریهای زمانی (مزانه در طی دوره ۲۰۰۳–۲۰۱۳ شبیه-(Aqua سازی شده است، سعی دارد تا با بکارگیری تکنیکهای ریاضی نوین و کاربردی در اقلیم شناسی ماهوارهای، ساختار فضایی آئروسلهای ایران (شکل ۱) را ساده کند؛ و با تبدیل تکنیکی پهنه اصلی به پهنههای منطقهای کوچکتر از ساختارهای متفاوت با آئروسل های ایران (شکل ۱) را ساده کند؛ و با تبدیل تکنیکی پهنه اصلی به پهنههای منطقهای کوچکتر از ساختارهای متفاوت با آئروسل بالا پرده بردارد (۲۰۰۹ , Morcette et al., ۲۰۰۹; Morcette et al., ۲۰۹۹، محمدپور، ۱۳۹۸). در میان تکنیکهای نوین، کاربردیترین و مورد بحثترین طبقهبندی بر پایه استفاده از آمار چند محمدپور، ۱۳۹۸). در میان تکنیکهای نوین، کاربردیترین و مورد بحثترین طبقهبندی بر پایه استفاده از آمار چند محمدپور و با هدف کاهش پر حجم دادهها، تفسیر و طبقهبندی آنها کاربردی است (زار ۱۹۹۳; Huth, ۱۹۹۳; Huth et al., ۱۹۹۳; White et al., ۱۹۹; Yarnal, ۱۹۹۳; Barry and Carleton, ۲۰۰۱; Yarnal et al., ۲۰۰۱ کاهش حجم دادهها، در حد امکان تغییرات موجود در دادهها و واریانس اولیه دادهها را حفظ و در دستههایی مشخصی از کاهش حجم دادهها، در حد امکان تغییرات موجود در دادهها و واریانس اولیه دادهها را حفظ و در دستههایی مشخصی از محمدپور میکند (آمی کند (آمی)

- ' Aerosol Optical Depth
- Y Principal Component Analysis



شكل ۱. توپوگرافي منطقه مورد مطالعه

در تکنیکهای بُرداری^۱، تعیین مُد معیار (O, P, Q, R, S, T) مرحلهای پایهای در جهت رسیدن به هدف و نتایج مطالعه است (Richman, ۱۹۸۱, ۱۹۸٦; White et al., ۱۹۹۱; Yarnal, ۱۹۹۳). بر این مبنا، رویکردی از آرایه S در مطالعه حاضر بکارگرفته شد که تلاش دارد تا زیرگروههای با همبستگی مشابه مکانی را بر اساس نقاط جدا و تفکیک نماید (Richman, ۱۹۸۶). به عبارت ریاضی، اگر ستون داده ورودی در ماتریس Z تحت عنوان متغیرهای ریاضی اعمال شده باشد و ماتریس Z دارای n نقطه در سریهای زمانی مورد مطالعه و m گام زمانی باشد؛ پس آرایه Z_s دارای نظم و ترتیب ۹۹۸۵×۳۶۵۴ است. به عبارت سادهتر متغیرها در ستون و مشاهدات زمانی در ردیفهای ماتریس قرار می گیرند. ماتریس مذکور ابتدا از نظر آماری (KMO^۲) ارزیابی (برابر با ۰/۹۹ یا عالی) شده تا قابلیت تحلیل ماتریس بوسیله تکنیکهای بُرداری بر پایه تحلیل مولفههای اصلی مورد سنجش قرار گیرد (Cerny and Kaiser, ۱۹۷۷). سپس، به ترتیب و با اعمال ماتریس کواریانس، تست غربالگری^۳ (Cattell, ۱۹٦٦) و قانون نورث (North et al., ۱۹۸۲)، تعداد بُردارهای ویژه مناسب برش داده شدند. همچنین، در راستای تعیین بهترین نمایش تئوریکی دادهها و روابط فیزیکی جاسازی شده در داخل ماتریس ورودی (Richman, اصلی و اجتناب از وابستگی شکل قلمرو استفاده شد؛ که در عین حال، محدودیت تعامد و حالت عمودی بُردارهای ویژه را نگه میدارد (Richman, ۱۹۸٦; Yarnal, ۱۹۹۳). زیرا چرخش عمودی قلمرو کاملاً مستقل مکانی را نمایان و ساختار بارگویهها را به سادهترین شکل ممکن با به حداکثر رساندن ضرایب واریانس همبستگی (بارگویهها) بین هر مولفه چرخش داده شده با هر مولفه اولیه را نشان می دهد (Kaiser, ۱۹۵۸; Jolliffe et al., ۲۰۰۲). سیس، در مطالعه حاضر به ترتیب از دو شاخص صدک ۸۵ بُردارهای ویژه برای تفکیک مرز مناطق (مساحت هر منطقه برابر با ۱۹۳۵۰ کیلومتر مربع) و صدک ۹۵

^{1 -} Eigentechnique

^{*} - Kaiser-Meyer-Olkin test

^{*} - Scree plot

بیهنجاری روزانه سیگنالهای آئروسل هر منطقه برای نمایش الگوهای حدی مکانی در سطح منطقهای استفاده شده است که در آن به ترتیب هم الگوهای نقشهای مناطق شناسایی شده دارای مرزهای مشخصی بوده و با هم همپوشانی ندارند و هم میانگین روزهای فرین هر منطقه (صدک ۹۵ درصد) در سطح منطقهای به صورت توزیع مکانی مشخص شده است.

شرح و تفسير نتايج

روش تکنیکهای چند متغیره بر پایه تحلیل مولفههای اصلی با کاهش تعداد متغیرها و با استفاده از نمودار غربالگری و مقدارهای ویژه، شش مولفه اصلی را شناسایی و تفکیک کرد. جدول (۱) درصد واریانس و واریانس تجمعی مولفههای انتخابی را پیش و پس از چرخش نشان می دهد. بر اساس جدول (۱) بیشترین میزان واریانس دادهها به مولفه اول تعلق دارد، اما فرایند چرخش موجب شده تا واریانسها تقسیم و فیزیک بهتری از توزیع دادهها را به نمایش بگذارد. پس، چرخش عمودی دادهها موجب پراکنش بهتر متغیر در بین مولفههای اصلی و توزیع بهتر درصد واریانس دادهها در شناسایی مناطق

(درصد)	بدون چرخش (درصد)		چرخش واریماکس (درصد)	
واريانس	واريانس تجمعي	واريانس	واريانس تجمعي	مولغة
۵٩/۱۵	۵۹/۱۵	۱ ۸/۹ ۱	۱۸/۹۱	١
۱۰/۵۲	89/8V	۱۸/۹۰	٣٧/٨١	٢
٧/٧٢	۲۷/۳۹	18/94	۵۴/۷۵	٣
۴/۱۵	۸۱/۵۴	۱۲/۶۹	۶۷/۴۴	۴
٣/١٧	۸۴/۷۱	۱۱/۸۲	۲۹/۲۶	۵
٣/٠٢	λ٧/٧٣	٨/۴٧	٨٧/٧٣	۶

جدول ۱. درصد کل واریانسهای توضیح داده شده پیش و پس از چرخش به روش عمودی

شکل ۲ نقشه پراکنش مکانی حداکثر بارگویههای مولفههای انتخابی را بر روی ایران را نشان میدهد که دارای الگوهای بصری و ساختاری ساده با تقسیم ایران به یک منطقهبندی منسجم و جامع است. اولین منطقه آلوده ایران همچنانکه در شکل ۲ (a) نشان داده شده است، متعلق به جنوبشرق کشور و شامل نواحی ساحلی و جنوبشرق ایران از جمله استانهای جنوبشرق فارس، بخش بزرگی از هرمزگان، نیمه جنوبی کرمان و سیستان و بلوچستان است. در این منطقه بسترهای خشک دریاچهای –یابانی قرار دارند؛ چنانکه میانگین بالای سالانه آئروسل بصورت نوار شمالی–جنوبی بر روی مناطق غرب خشک دریاچهای –یابانی قرار دارند؛ چنانکه میانگین بالای سالانه آئروسل بصورت نوار شمالی–جنوبی بر روی مناطق بیابانی-رسوبی را تایید می کند (شکل ۲۵) بر روی مناطق بسترهای محملی دریاچهای –یابانی قرار دارند؛ چنانکه میانگین بالای سالانه آئروسل بصورت نوار شمالی–جنوبی بر روی مناطق میابانی-رسوبی را تایید می کند (شکل ۳ ۳). دومین منطقه شناسایی شده آئروسل (شکل ۲۵) بر روی منطقه غرب شمالغرب کشور قرار گرفته است که از شمال استان ایلام شروع و کل استانهای غربی و شمالغربی کشور تا غرب دریای خزر را دربر می گیرد. بعلاوه، وجود نمکهای اطراف دریاچه ارومیه و مناطق شنزار شمالشرق دریاچه ارومیه در داخل منطقه میاند از را دربر می گیرد. بعلاوه، وجود نمکهای اطراف دریاچه ارومیه و مناطق شنزار شمالشرق دریاچه ارومیه در داخل منطقه می خزر را دربر می گیرد. بعلاوه، وجود نمکهای اطراف دریاچه ارومیه و مناطق شنزار شمالشرق دریاچه ارومیه در داخل منطقه می تواند از جمله عامل ثانویه و فزاینده تشکیل آئروسل منطقه مورد بحث باشد (شکل ۳ b). زیرا، علاوه بر گردوغبارهای میتواند از جمله عامل ثانویه و فزاینده تشکیل آئروسل منطقه مورد بحث باشد (شکل ۳ b). زیرا، علاوه بر گردوغبارهای می مینه، منطقه تحت تاثیر سایر آئروسلهای منتشر شده از دیگر مراکز منابع طبیعی و صنعتی است که بار احتمالی آئروسل را بالا میبرد.

سومین منطقه در گوشه شمالشرقی کشور واقع شده است (شکل ۲ c) که تقریباً اتمسفر شش استان گلستان، خراسان شمالی، خراسان رضوی، بخشهای از شرق سمنان، شمال خراسان جنوبی و شمال شرق یزد را دربر می گیرد. در مطالعه حاضر تفکیک مناطق مشخص کرد که دارای یک پهنه متفاوتری از شرق و جنوبشرق کشور بوده و تحت تاثیر آئروسل با منبع متفاوت قرار دارد (در بخش فرینها تشریح شده است). همچنین، مجاورت منابع ایجاد آئروسلهای بیابانی همچون بیابان بزرگ قرهقوم در شمال و دشت کویر (بیابان داخلی کویر) در جنوبغرب منطقه دلیل تمرکز آئروسلها به ترتیب در نوار شمالی و بخش جنوبی منطقه شمالشرق است (شکل ۳ c). چهارمین منطقه شناسایی شده، در دست سیستان و بیابان لوت واقع شرق کشور است (شکل ۲ d) که جو استانهای خراسان جنوبی، شرق یزد، بخش بزرگی از شرق کرمان و شمال سیستان و بلوچستان را در برگرفته است (شکل ۳ d) و احتمالاً همراه با افزایش فعالیت طوفانهای گردوغبار در زمان شروع و تشدید باد ۱۲۰-روزه است.

ازجمله مناطق دیگر شناسایی شده با بار آئروسل بالا، فلات مرکزی ایران (شکل ۲ e) است که در شمال بوسیله رشته کوه البرز، در غرب توسط رشته کوه زاگرس و در شرق بوسیله کوهستانهای شمالی-جنوبی ایران محصور شده است که مرکز ثقل آن بر روی منطقه خشک کویری قرار دارد. میزان غلظت بالای آئروسل بر روی استانهای شمالی در منطقهی مرکزی ایران (شکل ۳ e) نشان می دهد که علاوه بر آئروسلهای بیابانی، آلودگیهای صنعتی نیز از عوامل ثانویه افزایش و شدت آئروسل در این (شکل ۳ e) نشان می دهد که علاوه بر آئروسل های بیابانی، آلودگیهای صنعتی نیز از عوامل ثانویه افزایش و شدت آئروسل در این منطقه هستند. سرانجام، ششمین منطقه شناسایی شده منطقه جنوبغرب کشور است که در شکل ۲ f) با غلظت بالای آئروسل در این منطقه هستند. سرانجام، ششمین منطقه شناسایی شده منطقه جنوبغرب کشور است که در شکل ۲ f) با غلظت بالای آئروسل در این منطقه شامل بخشهای جنوبی الخوی الزان (شکل ۳ e). این منطقه هستند. سرانجام، ششمین منطقه شناسایی شده منطقه جنوبغرب کشور است که در شکل ۲ f) با غلظت بالای آئروسل در این منطقه هستند. سرانجام، ششمین منطقه شناسایی شده منطقه جنوبغرب کشور است که در شکل ۲ f) با غلظت بالای آئروسل در این منطقه از سکل ۲ f). این منطقه شامل بخشهای جنوبی استانهای ایلام و لرستان و استانهای خورستان فارس، کهکیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، فارس، و بوشهر در استانهای ایلام و لرستان و استانهای خونستان فارس، کهکیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، فارس، و بوشهر در حلول دامنههای جنوبغرب زاگرس است که تحت تأثیر آئروسلهای بیابانی منتشر شده از بیابانهای عراق و عربستان قرار دارند (جزئیات آن در بخش توزیع مکانی فرینها نشان داده شده است).



شکل ۲. نقشه تفکیک مُدهای روزانه بارگویههای چرخش داده شده آئروسل



شکل ۳. نقشه میانگین تغییرات عمق نوری آئروسل (AOD) در مناطق شناسایی شده

مقدار گسترش و وسعت رخدادهای حدی آئروسلها بر روی خاورمیانه در شکل ۴ ارائه شده است که بر مبنای ۹۵ درصد بی هنجاری مثبت رخدادها در مناطق شناسایی شده (۱۸۳ روز برای هر منطقه) میانگین گرفته شده است. اولین منطقه شناسایی شده ایران واقع در جنوبشرق کشور نشان داد که این منطقه تحت تأثیر مقدار آئروسل منتشر شده از دریاهای مجاور (نمک دریا)، سرزمینهای بیابانی شبه جزیره عربستان و بیابانها و دشتهای رسوبی داخلی است (شکل ۴ a)؛ زیرا، طغیانها در نیمه شرقی کشور معمولاً تحت تاثیر بادهای غالب منطقه ای در فصل گرم (۲۰۱۹)، تشدید و موجب طغیانها در نیمه شرقی کشور معمولاً تحت تاثیر بادهای غالب منطقهای در فصل گرم (۲۰۱۹)، تشدید و موجب انتقال آئروسلهای معدنی به ویژه گردوغبار از دشت سیستان به جنوب و افزایش بار AOD در منطقه جنوبشرق و شمال دریای عرب شده است (۲۰۱۹). اما، در منطقه حدر و افزایش بار AOD در منطقه جنوبشرق و شمال شمالغرب، میزان کل آئروسلهای معدنی به ویژه گردوغبار از دشت سیستان به جنوب و افزایش بار AOD در منطقه جنوبشرق و شمال زمناطق بیران کل آئروسلهای معدنی به ویژه گردوغبار از دشت سیستان به جنوب و افزایش بار AOD در منطقه جنوبشرق و شمال و حرکت انتقال آئروسلهای معدنی به دلیل محدودیت منابع ایجاد و انتشار آئروسل نسبت به منطقه جنوبشرق از شدت کمتری تمالغرب، میزان کل آئروسلها به دلیل محدودیت منابع ایجاد و انتشار آئروسل نسبت به منطقه جنوبشرق از شدت کمتری از مناطق بیابانی تاثیرگذار بر روی جنوبشرق هستند. اما، با توجه مجاورت منطقه غرب-شمالغرب با بیابانهای سوریه-عراق از مناطق بیابانی تاثیرگذار بر روی جنوبشرق هستند. اما، با توجه مجاورت منطقه غرب-شمالغرب با بیابانهای سوریه حراق مروح منطقه غرب-شده است تا میزان از مناطق بیابانی تاثیر شدت و جهت باد شَمال قرار گیرد (بایجه مجاورت منطقه شمالغرب با بیابانهای سوریه عراق درد. تیجه بار بالایی از آئروسلهای یابانی در طول نوار مرزی سیاسی بر منطقه شمالغرب تحمیل شده است.

همچنانکه پیشتر اشاره شد، منابع انتشار و انتقال آئروسلها بسته به مجاورت منطقه با مناطق منبع آئروسل در هر منطقه متفاوت است. به همین دلیل، مجاورت منطقه شمالشرق با بیابان قرهقوم موجب افزایش بار ائروسل تا نوار ساحلی در شرق دریای خزر شده است (شکل ۴ c) که بار احتمالی تزریق نمک دریای خزر به جو منطقه نیز بر بار ائروسلها افزوده است. این منطقه، تحت تاثیر جریانهای شمالی و شمالشرقی پرفشار شرق دریای خزر و یا حرکت بادهای سطح زمین در نتیجه بادهای غربی حاکم بر روی منطقه موجب انتشار گردوغبار از بیابان قرمقوم به شمالشرق و یا در طول مرز ایران و افغانستان شده است (Alizadeh Choobari et al., ۲۰۱٤؛ محمدپور، ۱۳۹۸). بعلاوه، منطقه مورد بحث تحت تاثير انتشار ائروسل و گردوغبار از منبع بیابانی دشت کویر نیز قرار دارد. در مقابل، با وجود همجواری دو منطقه شمالشرق و شرق ایران، رخدادهای حدی أئروسل در بخش شرق کشور (شکل ۴ d) تحت تاثیر شرایط جوی حاکم بر روی بیابانهای مارگو و ريگستان در افغانستان، بسترهاي خشک رسوبي-درياچهاي مشترک ايران-افغانستان و بيابان لوت شکل گرفته است. پس، موقعیت ویژه جغرافیایی و اقلیمی موجب افزایش نصفالنهاری ائروسل و به ویژه گردوغبار بر روی منطقه شرق شده است (شکل ۴ d)؛ به طوریکه نقش توپوگرافی پست منطقه و کانالیزه شدن گردوغبار همراه با تسریع بادها از ارتفاعات شمالی و شمالشرق افغانستان بسوى منطقه قابل ملاحظه است (Ginoux et al, ۲۰۱۲; Rashki) شمالشرق افغانستان بسوى منطقه قابل ملاحظه است et al., ۲۰۱۹؛ محمدپور، ۱۳۹۸) و پهنه آئروسل شرق ايران را از ديگر مناطق شناسايي شده شمالي و جنوبي نيمه شرقي ایران جدا نموده است. در غرب منطقه شرق ایران، پراکندگی کل أئروسلها در فلات مرکزی ایران (شکل ۴ e) متاثر از منابع داخلی دشت کویر و به تبعیت از گرادیان شمالی و غربی جوی بر روی منطقه موجب شده تا میزان حداکثر AOD در جنوب دشت کویر مشاهده شود؛ شرایط مذکور به همراه استقرار شهرهای صنعتی در غرب و شمالغربی واقع در منطقه مرکزی، مقدار آئروسلهای آن را شدت بیشتری بخشیده است. این افزایش آئروسل با استقرار کمفشار حرارتی بر روی فلات مرکزی ایران در دوره گرم و همگرایی بادهای منشا گرفته از ارتفاعات شمالی و غربی در اثر اختلاف گردایان موجب تشدید بیشتر آئروسلهای منطقه مرکزی بویژه بر روی استانهای جنوبی منطقه مورد بحث شده است (محمدپور، ۱۳۹۸).

آئروسلهای جنوبغرب (شکل ۴ f) متداولترین رخدادهای آئروسل بر روی کناره جنوبغربی و سواحل خلیج فارس هستند که در نتیجه مجاورت منطقه جنوبغرب ایران با بیابانهای عمده شبه جزیره عربستان، عراق-سوریه و دشتهای رسوبی مجاور (دجله و فرات) در کنار منابع داخلی (بسترهای خشک خوزستان و سواحل خلیج فارس) حاصل شده است. بدین صورت که عوامل دینامیکی جوی همچون کمفشار حاکم بر روی خلیج فارس موجب شده تا در نتیجه همگرایی سیکلونی بر روی منطقه و جلگه خوزستان بار AOD بطور غمانگیزی افزایش یابد (محمدپور، ۱۳۹۸؛ ۱۳۹۸; ۲۰۱۳; Rashki et ایر ۲۰۱۹ بروی منطقه و جلگه خوزستان بار AOD بطور غمانگیزی افزایش یابد (محمدپور، ۱۳۹۸؛ ۱۳۹۸). امروس ایران تابع رخدادهای فرین در سطح منطقهبندی آئروسلها در ایران در طی یک دهه نشان داد که الگوهای غالب آئروسل ایران تابع رخدادهای فرین در سطح منطقهای است و بجز فلات مرکزی ایران (که تحت تاثیر منابع داخلی است)، توسعه آئروسل تابع رشد و گسترش طغیان آئروسلهای بیابانی از مناطق منبع در سطح خاورمیانه است. همچنین، بررسی-های فرین مرتبط با منابع انتشار مشخص کرد که بیشترین آئروسلهای کشور را عمدتاً گردوغبارهای معدنی منتشر شده از مناطق بیابانی اطراف ایران تشکیل میدهد.



شکل ۴. نقشه توزیع مکانی فرینهای آئروسل در مناطق شناسایی شده

نتيجهگيرى

مطالعه حاضر به منطقهبندی آئروسل با استفاده از تکنیکهای چند متغیره بر روی پهنه جغرافیای ایران پرداخته تا بدون توجه به مرز استانی و یا ایستگاهی، پراکنش آئروسل در ساختارهای سادهتر و کوچکتر روی ایران را نشان دهد. نتایج نشان داد که الگوهای توزیع مکانی متغیر AOD در سطح شش منطقهی مجزا جنوبشرق، غرب-شمالغرب، شمالشرق، شرق، مرکز و جنوبغرب ایران شناسایی و تفکیک شد. این مناطق شناسایی شده از مناطق با گرادیان زیاد یا مناطق تحت تاثیر ائروسل هستند که تحت تاثیر طغیانهای فرین آئروسل در سطح منطقهای شکل می گیرند و بسته به دوری و نزدیکی هر منطقه به منابع انتشار ائروسل داراي پراكنش و عمق متفاوتي بر روي جو منطقه هستند. پس، موقعيت جغرافيايي هر منطقه موجب شده تا جو أن منطقه تحت تاثير طوفانهايي باشد كه از بيابانها و مناطق منبع ألاينده اطراف هر منطقه نشات گرفتهاند. (Nabavi et al., ۲۰۱۹). بنابراین، موضوع منطقهبندی ائروسل ها بر روی ایران نه تنها خلاً مطالعات قبلی را پر نموده است، بلکه با استخراج سیگنالها حدی برای هر کدام از مناطق شناسایی شده نشان داد که منابع آلاینده داخلی و بیرونی نفش قابل ملاحظهای در شکل گیری مناطق دارند. بدین صورت که أئروسلهای مناطق شمالشرق، شرق و جنوبشرق به روشنی و به دور از انتخاب سلیقهای محقق تفکیک مکانی شد و تفاوت مرزی این مناطق با توجه به توزیع واریانس دادههای ماهوارهای نشان داده شد. همچنین تکنیکهای چند متغیره آشکار کرد که مکانیسم شکل گیری آئروسل در منطقه فلات مرکزی مستقل است و تابع فرینهای آئروسلها در مرکز کشور است؛ مگر در مواردی که طغیانهای آئروسل تحت تاثير شرايط روباد حاكم بر جنوبغربي ايران و شرايط ديناميكي مربوط به آن در سطوح پايين جو موجب شده تا الایندههای بیابانی و صنعتی در جلو فرود روی ایران از نیمه غربی و کوهستانهای زاگرس عبور کرده و بار ائروسل منطقه مرکزی را افزایش دهند (۸۰۱۸ Namdari et al., ۲۰۱۸). نتایج مطالعه حاضر در نتیجه تفکیک تکنیکی منطقه غرب-شمالغرب از جنوبغرب نیز نشان داد که تفاوت استانهای شمالی و جنوبی از نظر منطقهبندی و چگونگی گسترش ائروسل به تفکیک مرز استانی ارتباط ندارد و پدیده دینامیکی همچون آئروسل باید با تکنیک مناسب مورد بررسی قرار گیرد تا به دور از نگاه انتخابی محقق، به مرزبندی بین مناطق بپردازد. بنابراین، مطالعه اخیر توانست مرز مناطق ائروسلای ایران را بدون توجه به مرز استانی و یا ایستگاهی، تفکیک کند و با توجه به ماهیت دینامیکی آئروسل و به دور از دستکاری و سلیقه محقق به بررسی آن بپردازد. در مجموع، تفاوت چشمگیر تحقیق حاضر در این مساله است که مطالعات پیشین بر اساس رخدادهای فرین موردی، تفکیک سلیقهای مناطق، بررسی سنجش از دوری بصورت استانی و یا تحلیل خوشهای دید افقی نقاط ایستگاهی به بررسی موضوع آئروسلها پرداختهاند (۲۰۱۹;) Rezaei et al., ۲۰۱۹ Baghbaban et al., ۲۰۲۰ a, b; Yousefi et al., ۲۰۲۰) که قادر به تحلیل و تفکیک مناطق نبودهاند. اما، مطالعه اخیر نه تنها توانست استان های شمالی و جنوبی نیمه غربی، نیمه شرقی و مرکز کشور را با رویکرد منطقهبندی جدا کند، بلکه با استفاده از فرینهای ائروسلهای هر منطقه به تحلیل پدیده پرداخته است. بنابراین، مناطق شناسایی شده تحت تاثیر اُئروسلها در جهات مختلف جغرافیایی ایران، علاوه بر اینکه بوسیله تحقیقات پیشین سینوپتیکی و سنجش از دوری بکارگرفته شده در e.g. Akbary and Farahbakhshi, ۲۰۱۵; Fattahi et al., ۲۰۱۲; Hamidi et al.,) نواحی مختلف ایران مورد تایید است ۲۰۱۹ ۵۵۵۵۵۵ ۵۲۰۱۳ اکبری و فرحبخشی، ۱۳۹۵؛ آرامی و همکاران، ۱۳۹۷؛ راهی زهی و همکاران، ۱۴۰۰؛ حسینی و

رستمی، ۱۳۹۷)، بلکه توانسته است مرز مناطق تحت تاثیر آئروسلها را به ساختارهای جغرافیایی کوچکتر ساده کند و پراکنش متغیر مورد مطالعه را با توجه به فرینهای آئروسلای که هر منطقه را تحت تاثیر قرار داده است، قابل تفسیر کند. در نهایت، استفاده از مشاهدات ماهوارهای نه تنها خلاء دادههای مشاهداتی سطح زمین را پر میکند، بلکه رویکردی به مراتب جغرافیایی تر در تحلیل مخاطرات محیطی است.

منابع

اکبری، مهری و فرحناز فرحبخشی ۱۳۹۵. تحلیل سینوپتیکی و شبیهسازی حرکت طوفانهای شدید گردوغبار (مطالعه مورد: جنوب غرب ایران)، فصلنامهی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۹(۵۵): ۲۷۳–۲۹۱.

آرامی، سید عبدالحسین؛ مجید اونق ، علی محمدیان بهبهانی ، مهری اکبری و علیرضا زراسوندی .۱۳۹۷. تحلیل مطالعات مخاطره گردوغبار در جنوب غرب ایران در دوره ۲۲ ساله (۱۹۹۶ – ۲۰۱۷)، مجله تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، **۵**(۱): ۳۹-۶۶.

حسینی، سید اسعد و دانا رستمی ۱۳۹۷. واکاوی و ردیابی پدیده گردوغبار در جنوب و جنوب شرق ایران با استفاده از مدل HYSPLIT و اصول سنجش ازدور. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵(۳): ۱۰۳ –۱۰۹.

راهی زهی، حسین؛ محمود خسروی و محسن حمیدیان پور. ۱۴۰۰. تغییرات زمانی-فضایی غلظت آئروسل در استان سیستان و بلوچستان (۲۰۰۰–۲۰۱۸). ۸ (۴).

محمدپور، کاوه ۱۳۹۸. اقلیمشناسی ماهوارهای و سینوپتیک پدیده گردوغبار در ایران، *رساله دکتری*، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران.

محمدپور، کاوه؛ محمد سلیقه، علی درویشی بلورانی و طیب رضیئی .۱۳۹۹. واکاوی و مقایسه تولیدات ماهوارهای و شبیهسازی شده AODدر تحلیل گردوغبارهای غرب ایران (۲۰۰۰ – ۲۰۱۸)، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۷ (۱) :۱۵–۳۲.

Abdi Vishkaee, F., Flamant, C., Cuesta, J., Flamant, P. and H.R., Khalesifard, $.^{(.)}$. Multiplatform observations of dust vertical distribution during transport over northwest Iran in the summertime. J. Geophys. Res. 117, D. $.^{(.)}$. http://dx.doi.org/1., $..^{(.)}$ JD. 150%.

Akbary, M., Farahbakhshi, M. $(.)^{\circ}$. Analyzing and Tracing of Dust Hazard in Recent Years in Kermanshah Province, Int. J. Environ. Res., $((.)^{\circ})$.

Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P. and A., Sturman, .^{*} · ¹^r. Low level jet intensification by mineral dust aerosols. Ann. Geophysicae: ^{*} (¹), ¹^o-¹^r. http://dx.doi.org/¹ · , ^o ¹^s/angeo-^r.¹^r. ¹^o.

Alizadeh-Choobari O., Ghafarian P., Owlad E. (.). Temporal variations in the frequency and concentration of dust events over Iran based on surface observations. International Journal of Climatology. (.): PP. (.).

Alizadeh-Choobari O., Ghafarian P., Owlad E. 4.11. Temporal variations in the frequency and concentration of dust events over Iran based on surface observations. International Journal of Climatology. 4.11. PP. 1.0.11.

Alizadeh-Choobari O., P. Zawar-Reza, A. Sturman $\mathcal{X} \mathcal{A}$. The "wind of $\mathcal{X} \mathcal{A}$ days" and dust storm activity over the Sistan Basin, Atmospheric Research $\mathcal{X} \mathcal{A} \mathcal{A} \mathcal{A}$.

Arkian F., Nicholson S. E. $\gamma \cdot \gamma \wedge$. Long-term variations of aerosol optical depth and aerosol radiative forcing over Iran based on satellite and AERONET data, Environ Monit Assess $\gamma \cdot (\gamma)$: PP. $\gamma - \gamma \circ$.

Arkian F., Nicholson S. E., (\cdot, \cdot) . Long-term variations of aerosol optical depth and aerosol radiative forcing over Iran based on satellite and AERONET data, *Environ Monit Assess* (\cdot, \cdot) . https://doi.org/ $(\cdot, \cdot, \cdot, \cdot)$.

Awad A., Mashat A.W., $\gamma \cdot \gamma \xi$. The Synoptic Patterns Associated with Spring Widespread Dusty Days in Central and Eastern Saudi Arabia, Atmosphere, $\circ: \wedge \wedge 9$ - $\eta \gamma \gamma$; doi: $1 \cdot \gamma \gamma \gamma \eta \cdot / atmos \circ \cdot \xi \cdot \wedge \wedge \eta$

Baghbanan P., Ghavidel Y., Farajzadeh, M., $\checkmark \cdot \checkmark \cdot a$. Spatial analysis of spring dust storms hazard in Iran. Theor Appl Climatol.)^{$\forall \cdot \uparrow \cdot \downarrow \epsilon \circ \lor$}. https://doi.org/ $) \cdot ,) \cdot \cdot \lor /_{S} \cdot \cdot \lor \cdot \epsilon - \cdot \uparrow q - \cdot \lor \cdot \lor - \lor q$

Bangert, M., Nenes A., Vogel B., Vogel 1 H., Barahona D., Karydis V. A., Kumar P., Kottmeier C., Blahak U., 1 C., Saharan dust event impacts on cloud formation and radiation over Western Europe, Atmos. *Chem. Phys.*, 1 : $\frac{1}{2}$.

Barry R.G., Carleton A.M. ۲۰۰۱. Synoptic and Dynamic Climatology. Routledge: London.

Benedetti, A., Morcrette, J.-J., Boucher, O., Dethof, A., Engelen, R. J., Fisher, M., Flentjes, H., Huneeus, N., Jones, L., Kaiser, J. W., Kinne, S., Mangold, A., Razinger, M., Simmons, A. J., Suttie, M., and the GEMS-AER team, $7 \cdot 9$. Aerosol analysis and forecast in the ECMWF Integrated Forecast System. Part II: Data assimilation, *J. Geophys. Res.*, 11^{\pm} , $D177 \cdot 9$ doi: $1 \cdot 1 \cdot 79/7 \cdot 4 \cdot 3D \cdot 1110 \cdot 1100$, $7 \cdot 9$.

Calastrini, F., Guarnieri, F., Becagli, S., Busillo, C., Chiari, M., Dayan, U., Lucarelli, F., Nava, S., Pasqui, M., Traversi, R., Udisti, R., Zipoli, G., $^{\gamma}$. Desert dust outbreaks over Mediterranean basin: a modeling, observational, and synoptic analysis approach. *Adv. Meteorol.*, $^{\gamma}$ 1

Cattell RB. 1977. The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research* 1: $\Upsilon \pounds \circ -\Upsilon \Upsilon 7$. Cerny C.A., Kaiser H.F., 1977. A study of a measure of sampling adequacy for factor-analytic correlation matrices. *Multivar Behav Res* $\Upsilon (1)$: $\pounds \Upsilon - \pounds \Upsilon$.

Compagnucci Rosa H., Salles Maria A., 1997. Surface Pressure Patterns During The Year Over Southern South America, *International Journal of Climatology*, Vol. 17:0–10".

Fattahi E., Noohi K., Shiravand H., $\gamma \cdot \gamma \gamma$. Study of dust storm synoptical patterns in southwest of Iran. Desert $\gamma \gamma$, $\xi \gamma_{-} \circ \circ$.

Gaetani M, Pasqui M. (\cdot, \cdot) . Synoptic patterns associated with extreme dust events in the Mediterranean Basin. *Reg. Environ. Change* (\cdot, \cdot) , doi: $(\cdot, \cdot, \cdot, \cdot)$, (\cdot, \cdot) .

Gkikas A., Hatzianastassiou N., Mihalopoulos N., $\forall \cdot \cdot \uparrow$. Aerosol events in the broader Mediterranean basin based on \forall -year ($\forall \cdot \cdot \cdot - \uparrow \cdot \cdot \lor$) MODIS C··· data, Ann. Geophys., $\forall \forall$, $\forall \circ \cdot \uparrow - \forall \circ \uparrow \uparrow$; www.ann-geophys.net/ $\forall \forall / \forall \circ \cdot \uparrow / \uparrow \circ \cdot \uparrow$.

Goudie A., Middelton, N. (Eds.), ۲۰۰٦. Desert Dust in the Global System. Springer

Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-28

Gupta, P., Khan, M.N., da Silva, A., Patadia, F., $\gamma \cdot \gamma \gamma$. MODIS aerosol optical depth observations over urban areas in Pakistan: Quantity and quality of the data for air quality monitoring. *Atmospheric Pollution Research* $\mathfrak{t}: \mathfrak{t} \gamma \circ \gamma$.

Hamidi, M., Kavianpour, M.R., Shao, Y., ۲۰۱۳. Synoptic analysis of dust storms in the Middle East. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.* **49**: ۲۷۹–۲۸٦.

Huth R., 1997. An intercomparison of computer-assisted circulation classification methods. *International Journal of Climatology* 17: A97–977.

Huth R., Nemesova I., Klimperov ´ a N., 199%. Weather categorization based on the average linkage clustering technique: an application to European mid-latitudes. *International Journal of Climatology*, 1%: $A1V = A\% \circ$.

IPCC: The Core Writing Team Pachauri, R. K. and Meyer, L. A.: Climate Change . Y. V[£]. Synthesis Report. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva, Switzerland, http://www.ipcc.ch/report/ar°/syr/, Y. V[£].

Jin, Q., Jiangfeng, W., Bing, P., Zong-Liang, Y., Prasad Parajuli, S., Y. M. High Summertime Aerosol Loadings Over the Arabian Sea and Their Transport Pathways, IGR Atmospheres, 1997, 14:1.,014-1.,014-1.

Jish Prakash P., Stenchikov G., Kalenderski S., Osipov S., Bangalath H., $\uparrow \cdot \uparrow \circ$. The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea. *Atmos. Chem. Phys.* $\uparrow \circ (\uparrow)$, $\uparrow \uparrow \neg \uparrow \uparrow \uparrow$. http://dx.doi.org/ $\uparrow \cdot , \circ \uparrow \uparrow \xi$ /acp- $\uparrow \circ \uparrow \uparrow \uparrow \circ$.

Jolliffe IT, Uddin M, Vines SK. ۲۰۰۲. Simplified EOFs-three alternatives to rotation. *Climate Research* ۲۰: ۲۷۱–۲۷۹.

Kaiser H. F., 1904. 'The Varimax criterion for analytic rotation in factor analysis', Psychometrika, YT, 144.

Kaskaoutis D. G., Francis D., Rashki A., Chaboureau J.P., Umesh D.C., $\gamma \cdot \gamma \gamma$. Atmospheric Dynamics from Synoptic to Local Scale During an Intense Frontal Dust Storm over the Sistan Basin in Winter $\gamma \cdot \gamma \gamma$, *Geosciences*, $\gamma, \varepsilon \circ \gamma$; www.mdpi.com/journal/geosciences, doi: $\gamma \cdot \gamma \gamma \gamma \cdot \gamma \circ \gamma$.

Kaskaoutis D.G, .A.Rashki E.E.Houssos D.Goto P.T.Nastos $.^{\gamma} \cdot {}^{\xi}b$. Extremely high aerosol loading over Arabian Sea during June $\gamma \cdot {}^{\lambda}$: The specific role of the atmospheric dynamics and Sistan dust storms, *Atmospheric Environment*, Volume ${}^{\varphi}{}^{\xi}$, September $\gamma \cdot {}^{\xi} \cdot {}^{\gamma}{}^{\xi}{}^{\xi}$.

Kaskaoutis D.G., Houssos E.E., Minvielle F., Rashki A., Chiapello I., Dumka U.C., Legrand, M., ۲۰۱۸. Long-term variability and trends in the Caspian Sea – Hindu Kush Index: influence on atmospheric circulation patterns, temperature and rainfall over the Middle East and southwest Asia. *Glob. Planet. Change* 119, 11–177. Kaskaoutis, D.G., Houssos, E.E., Rashki, A., Francois, P., Legrand, M., Goto, D., Bartzokas A., Kambezidis H.D., Takemura T., 1.17. The Caspian Sea – Hindu Kush Index (CasHKI): a regulatory factor for dust activity over southwest Asia. *Glob. Planet. Change* 177: 1.-77.

Klingmüller K., Andrea P., Swen M., Georgiy L. Stenchikov, Jos Lelieveld., ۲۰۱٦. Aerosol optical depth trend over the Middle East, *Atmos. Chem. Phys.*, ۱٦, \circ ·٦٣– \circ ·٧٣. www.atmos-chem-phys.net/)٦/ \circ ·٦٣/۲·)٦/ doi:)•, \circ 1٩٤/acp-)٦- \circ •٦٣-۲·)٦.

Lau, K.-M., Kim, K.-M., Y..., Observational relationships between aerosol and Asian monsoon rainfall, and circulation, *Geophy. Res. Lett.* **TT**, LY1A1. http://dx.doi.org/1.,1.Y9/Y...JGL.YY0EJ.

Liu, X.; Gu, J.; Li, Y.; Cheng, Y.; Qu, Y.; Han, T.; Wang, J.; Tian, H.; Chen, J.; Zhang, Y. ^{*}, ^{*}. Increase of aerosol scattering by hygroscopic growth: Observation, modeling, and implications on visibility. *Atmos. Res.*, *1*^{*}7^{*} & *1*^{*}7^{*}: 1)-1, 1.

Lohmann, U., Feichter, J., $\gamma \cdot \cdot \circ$. Global indirect aerosol effects: a review. Atmospheric Chemistry and Physics $\bullet:\gamma \circ \circ \cdot \gamma \circ \circ$.

Mahowald, N.M.; Engelstaedter, S.; Luo, C.; Sealy, A.; Artaxo, P.; Benitez-Nelson, C.; Bonnet, S.; Chen, Y.; Chuang, P.Y.; Cohen, D.D.; et al. ^Y · · ^q. Atmospheric iron deposition: Global distribution, variability, and human perturbations. *Ann. Rev. Mar. Sci.*, *Y*: ^Y ^E ^o – ^Y ^V ^A.

Nabavi S. O., Haimberger L., Samimi C., (,). Sensitivity of WRF-chem predictions to dust source function specification in West Asia, *Aeolian Research* (,). http://dx.doi.org/(,). (,). (,).

Namdari S., Karimi N., Sorooshian A., Mohammadie Gh.H., Sehatkashani S., ۲۰۱۸. Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East, *Atmospheric Environment* ۱۷۳: ۲٦٥-۲٧٦

North G.R., Bell T.L., Cahalan R.F., Moeng F.J. 1947. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Monthly Weather Review* 11: 199–Y.7.

Prijith S.S., Rajeev K., Thampi B.V., Nair S.K., Mohan M., $(\cdot)^{r}$. Multi-year observations of the spatial and vertical distribution of aerosols and the genesis of abnormal variations in aerosol loading over the Arabian Sea during Asian summer monsoon season. J. Atmos. Solar-Terr. Phys. $(\cdot \circ -) \cdot (\cdot) \cdot ($

Prospero J., Ginoux M., Torres P., Nicholson S. E., Gill T. E., $\checkmark \cdot \checkmark$. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the NIMBUS \lor total ozone mapping spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product, *Reviews of Geophysics*, $\ddagger \cdot : \checkmark \cdot \curlyvee$.

Rashki A.,Kaskaoutis D. G., Francois P., Kosmopoulos P.G., Legrand M., Y. Yo. Dust – storm dynamics over Sistan Region, Iran: seasonality, Transport, characteristics and affected areas, *Aeolian research* Y: r_{\bullet} : r_{\bullet} .

Rashki, A., Arjmand, M., Kaskaoutis, D.G. Y. W. Assessment of dust activity and dust-plume pathways over Jazmurian Basin, southeast Iran. *Aeol. Res.* Y::1:0-17.

Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Rautenbach, C.J.W., Eriksson, P.G., Qiang, M., Gupta, P., Y.Y. Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region. Iran. Aeolian Res. o: o)-77.

Rezaei, M., Farajzadeh, M., Mielonenb, T. Ghavidel, Y., $\gamma \cdot \gamma \gamma$. Analysis of spatio-temporal dust aerosol frequency over Iran based on satellite data, *Atmospheric Pollution Research*, $\gamma \cdot (\gamma) : \circ \cdot \wedge - \circ \gamma \gamma$.

Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-28

Rezazadeh M., Irannejad P., Shao Y., Y. M. Climatology of the Middle East dust events. *Aeol. Res.* 1.:1. ٣-

Richman M.B., 1941. Obliquely rotated principal components: an improved meteorological map typing technique? *Journal of Applied Meteorology*. ***:** 1150–1109.

Richman M.B., 1947. Review article. Rotation of principal components. *Journal of Climatology* 1:197-770. Sarna, K. and Russchenberg, H. W. J. $7 \cdot 17$. Monitoring aerosol-cloud interactions at the CESAR Observatory in the Netherlands, *Atmospheric Measurement Techniques*, 1:1947-1997, https://doi.org/1.01916/amt-1.0147.19

Serra C., Fernandez Mills G., Periago M.C., Lana M., 1997. Winter and autumn daily precipitation patterns in Catalonia, Spain. *Theoretical and Applied Climatology* **9:** 110–1107

White D., Richman M., Yarnal B., 1991. Climate regionalization and rotation of principal components. *International Journal of Climatology* 11: 1–1°.

Wong Sun, Andrev E. Dessler, Natalie M. Mahowald Ping Yang and Qian Feng .^Y··⁹. Maintenance of Lower Tropospheric Temperature Inversion in the Saharan Air Layer by Dust and Dry Anomaly, *American Meteorological Society*, Volume ^Y: 01£9-0177, DOI: 1.1.1106/Y··⁹JCLIYA£Y,1

Wong, S., and A. E. Dessler .^{γ}. Suppression of deep convection over the tropical North Atlantic by the Saharan air layer, Geophys. Res. Lett., $\gamma\gamma$, L· γ , doi: $1.,1.\gamma\gamma/\gamma..\xi$ GL· $\gamma\gamma\gamma\gamma\circ$.

Yarnal B. 1997. Synoptic Climatology in Environmental Analysis. Belhaven Press: London.

Yarnal B., Comrie A.C., Frakes B., Brown D.P., ۲۰۰۱. Developments and prospects in synoptic climatology. International Journal of Climatology ۲۱: ۱۹۲۳–۱۹۰۰.

Downloaded from jsaeh.khu.ac.ir on 2024-04-28