Arshive of SID

دانش مخاطرات / دورهٔ ۳، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۵/ ص ۹۵-۱۰۸

استفاده از داده‌های دورسنجی و روش‌های غیرخطی برای تحلیل خطر ریزگردهای خاورمیانه

سید رضا مهرنیا*

دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور قزوین

سعید عباس‌زاده (saeed_abbaszadeh71@yahoo.com)

کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۷/۲۵- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۹/۴)

چکیده

ریزگردها از مهم‌ترین آلاینده‌های جوی زمین به‌شمار می‌روند و به‌صورت ذرات معلق میکروسکوپی (جامد و مایع) در بخش‌های پایینی تروپوسفر مشاهده می‌شوند. از دیدگاه زیست‌محیطی، بررسی مخاطرات ناشی از توزیع ریزگردها و پیش‌بینی سازوکار حرکتی آنها اولویت دارد و با تأکید بر منطقهٔ خاورمیانه مطالعه می‌شود. هدف اصلی این پژوهش، معرفی روش جدیدی مبتنی بر نتایج دورسنجی و تحلیل آماره‌های فرکتالی است تا ضمن بررسی منشأ پیدایش ریزگردها، سازوکار حرکتی و الگوی پراکندگی آنها در مناطق وسیعی از شمال آفریقا و خاورمیانه بررسی شود. نتایج تحقیق مؤید آن است که الگوی توزیع ریزگردهای خاورمیانه از معیارهای غیرخطی با روند آشوبناک تبعیت می‌کند. برای اثبات این امر از تصاویر سنجندهٔ MODIS متعلق به سازمان فضایی آمریکا [NASA] استفاده شد تا عکس نقشه‌های مورد نیاز متشکل از لایه‌های ضخامت اپتیکی ریزگردها (AOT)، تغییرات گاز دی‌اکسید نیتروژن (NO_2) و مونواکسید کربن (CO) تهیه شوند. تحلیل مکانی داده‌ها و مقایسهٔ فصلی- سالیانهٔ آنها با یکدیگر، بیانگر وجود روابط نسبی نمایی در الگوی پراکندگی ریزگردهاست. بنابراین با استفاده از معادلهٔ پراش- مسافت مارک و آرونسون (۱۹۸۴)، ضمن اثبات ارتباط آلاینده‌های جوی ایران، عراق و عربستان با تحولات اقلیمی شمال آفریقا، دو رژیم آب‌وهوایی سرد و گرم، با توجه به محتوای انرژی و ترکیبات شیمیایی فصول مختلف مقایسه شد. در عمل، همیافتی ریزگردها با آلاینده‌های صنعتی منطقه تابعی از تغییرات فصلی بوده و رفتار آشوبناک آنها در ماه‌های سرد بیشتر از ماه‌های گرم است. ازاین‌رو مخاطرات زیست‌محیطی رژیم‌های زمستانی بیش از رژیم‌های تابستانی است. همچنین تغییرات بعد فرکتال (به‌ویژه در سطح توزیع براونی ضخامت‌های اپتیکی)، امکان بررسی معیارهای دورسنجی را براساس مبانی هندسهٔ فرکتال فراهم کرده که به موجب آن، رهیافت جدیدی برای پیش‌بینی رفتار تجمعی و الگوی حرکتی ریزگردهای خاورمیانه معرفی شده است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل فرکتال، توزیع غیرخطی، خاورمیانه، ریزگرد.

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۲۵۷۴۶۰۷ Email: r_mehrniya@pnu.ac.ir

www.SID.ir

Arshive of SID

مقدمه

محققان براساس نتایج سنجش‌های دستگاهی پیشرفته، به این نتیجه رسیده‌اند که پدیده‌های جوی از قبیل تجمع ابرها، گازها و ذرات معلق میکروسکوپی (ریزگردها)، اثرهای اقلیمی و زیست‌محیطی متقابل با پدیده‌های سطح زمین و اقیانوس‌ها دارند [۱۴]. در این میان، ذرات معلق موجود در جو تحتانی (با دو منشأ طبیعی و مصنوعی)، جزو مهم‌ترین آلاینده‌های اصلی در منطقهٔ خاورمیانه‌اند و موجب بروز اختلالات آب‌وهوایی می‌شوند. فراوانی ریزگردها به عواملی از قبیل سرعت باد، رطوبت هوا، رطوبت خاک، پوشش گیاهی منطقه، پایش‌های اقلیمی محلی و ناحیه‌ای، مقدار و طول بارش‌های جوی، شدت و حجم پدیدهٔ جنگل‌زدایی، استیلای دوره‌های خشکسالی کوتاه‌مدت و بلندمدت، تغییرات کاربری زمین و فعالیت‌های انسانی بستگی دارد [۱،۳]. در اصطلاح، ریزگرد به ذرات جامد و مایع معلق در هوا اطلاق می‌شود که میانگین قطر آن کمتر از ۵۰۰ میکرون باشد. اغلب این ذرات در ارتفاع چند متری از سطح زمین (جو پایینی) پراکنده‌اند [۸]. خاکسترهای آتشفشانی، نمک‌های دریایی، دود حاصل از آتش‌سوزی‌ها و آلودگی ناشی از کارخانه‌ها و دیگر ذرات تولیدشده در صنعت (نظیر سوخت‌های فسیلی) از مهم‌ترین منابع تولید ریزگرد هستند. در مجموع، ریزگردهای طبیعی نسبت به انواع به‌وجودآمده در صنایع از ابعاد بزرگ‌تری برخوردارند. ذراتی در ابعاد سیلت و رس به‌علت سبک بودن در اثر نیروی باد تا ارتفاع زیادی از سطح زمین بلند می‌شوند و مدت زیادی معلق می‌مانند. سپس با افزایش فشار هوا و افت دمای جو پایینی، شرایط فروریزش آنها (مانند قطرات باران) فراهم می‌شود [۵]. ریزگردها و آلاینده‌های جوی از مهم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی تروپوسفر ایران به‌شمار می‌روند و موجب بروز بیماری‌های ریوی از قبیل آسم، برونشیت مزمن و سرطان می‌شوند. همچنین انتشار ریزگردها موجب خسارات اقتصادی فراوانی همچون کاهش دید معابر، فرسایش شدید ابنیه و تأسیسات صنعتی، اختلال در سفرهای زمینی و هوایی و کاهش سطح برداشت محصولات کشاورزی می‌شود. تبعات اجتماعی چنین مخاطراتی به افزایش مهاجرت بین‌شهری و بی‌نظمی در آمایش سرزمین منجر خواهد شد [۶]. با توجه به اهمیت مخاطرات ناشی از شیوع پدیدهٔ ریزگردها، در این تحقیق روش جدیدی براساس اصول هندسهٔ فرکتال معرفی شده است که طی آن از عکس نقشه‌های سنجندهٔ MODIS برای دستیابی به الگوی توزیع غیرخطی آنها در منطقهٔ خاورمیانه استفاده شده و سازوکار ایستایی و پویایی آنها توسط روابط نمایی استنتاج شده است. بدین ترتیب آماره‌های لازم برای پیش‌بینی رفتار دینامیکی ریزگردها با تأکید بر توزیع جغرافیایی و فواصل زمانی ظهور تا افول آلاینده‌ها معرفی شده‌اند. در پایان

www.SID.ir

Arshive of SID

راهکارهایی برای مقابله با افزایش بی‌رویهٔ ریزگردهای ایران با تأکید بر بهبود شاخص سبزینگی ارائه شده‌اند.

منطقهٔ تحقیق

منطقهٔ تحقیق بخشی از گسترهٔ جغرافیایی خاورمیانه است که بین طول‌های ۷۰ - ۵۰ درجهٔ شرقی و عرض‌های ۴۰ - ۲۰ درجهٔ شمالی قرار دارد. براساس تصاویر سنجندهٔ MODIS (NASA, 2004-2015)، بخش‌های وسیعی از جو تحتانی در کشورهای عربستان، عراق و ایران تحت تأثیر مواد معلق ریزدانه و گازهای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی (از قبیل مونواکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن) قرار دارند که با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر مناطق ذکرشده (کمبود سبزینگی و افت بارش‌های جوی) از پایداری به‌نسبت طولانی برخوردارند. در سال‌های اخیر، شاهد تمرکز بیش از حد آلاینده‌های جوی در طی فرایند ترکیب ریزگردها با گازهای ناشی از فعالیت‌های صنعتی بوده‌ایم که ضمن پایداری آنها در فصول مختلف سال، موجب تغییرات اقلیمی شدید در خاورمیانه شده‌اند.

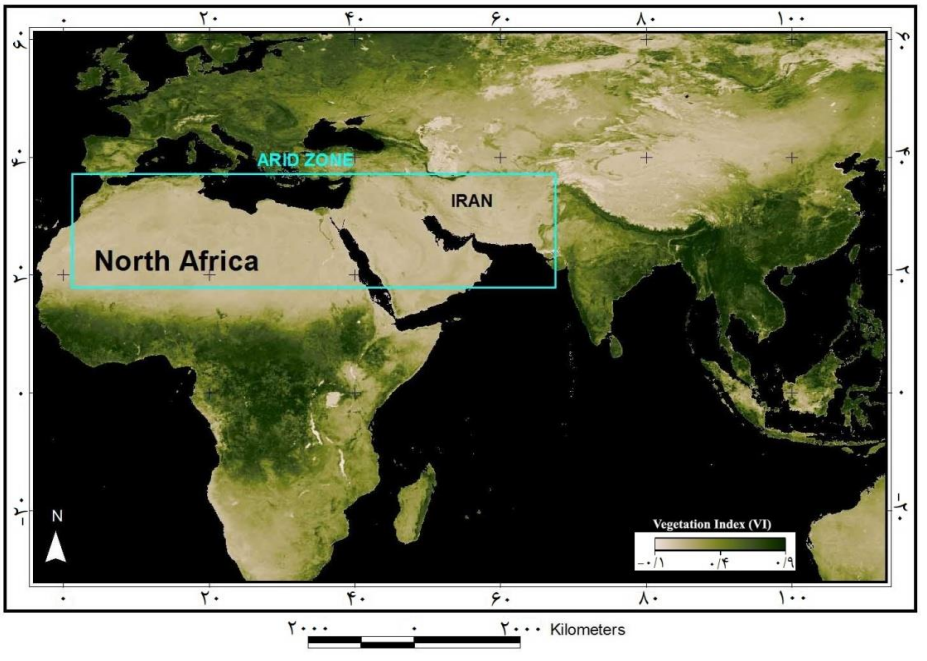
شکل ۱، کمبود یا نبود شاخص سبزینگی را در بخش‌های وسیعی از شمال آفریقا و خاورمیانه نشان می‌دهد که مؤید حاکمیت اقلیم خشک با کمینه بارش‌های جوی در نیم قرن گذشته است که به‌دلیل ناپایداری ذرات ریزگرد وارد جریان هوایی منسوب به اقلیم‌های شبه استوایی می‌شوند و به‌صورت تودهٔ عظیمی از مواد آلایندهٔ میکروسکوپی به‌سمت کشورهای عربستان، عراق و ایران حرکت می‌کنند. تحقیقات کیوتل و فرمن (۲۰۰۳) دربارهٔ ریزگردها در خاورمیانه نیز مؤید آن است که کشورهای ایران، سودان، عراق، عربستان و کشورهای حوزهٔ خلیج فارس در دستهٔ اول قرار می‌گیرند که بیانگر بیشترین فراوانی وقوع ریزگردها در منطقهٔ تحقیق است [۱۱].

امروزه استفاده از فناوری سنجش از دور با هدف مطالعهٔ پدیدهٔ ریزگردها در اولویت تحقیقات اقلیم‌شناسی و نتایج زیست‌محیطی آن است، زیرا علاوه‌بر مشخص کردن الگوی توزیع ریزگردها و اندازه‌گیری ضخامت و غلظت آنها، امکان شناسایی منبع آلاینده فراهم می‌شود. به‌عبارت دیگر، تصاویر ماهواره‌ای از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی برای تحلیل مکانی و پیش‌بینی سازوکار گسترش جغرافیایی ریزگردها هستند که در مقایسه با سایر روش‌های موجود، پوشش مکانی وسیع‌تر و خطای اریبی کمتری دارند [۲]. بررسی ضخامت اپتیکی ریزگردها که برمبنای مطالعات دورسنجی سازمان فضایی آمریکا (NASA, 2004-2015) صورت گرفته است، امکان دستیابی به کمیت‌های آماری مورد نظر از قبیل میانگین، انحراف معیار و هم پراشی داده‌ها را فراهم کرد که در پی آن شاخص همبستگی ضخامت ریزگردها (کمیت R) با توجه به تغییرات

www.SID.ir

Arshive of SID

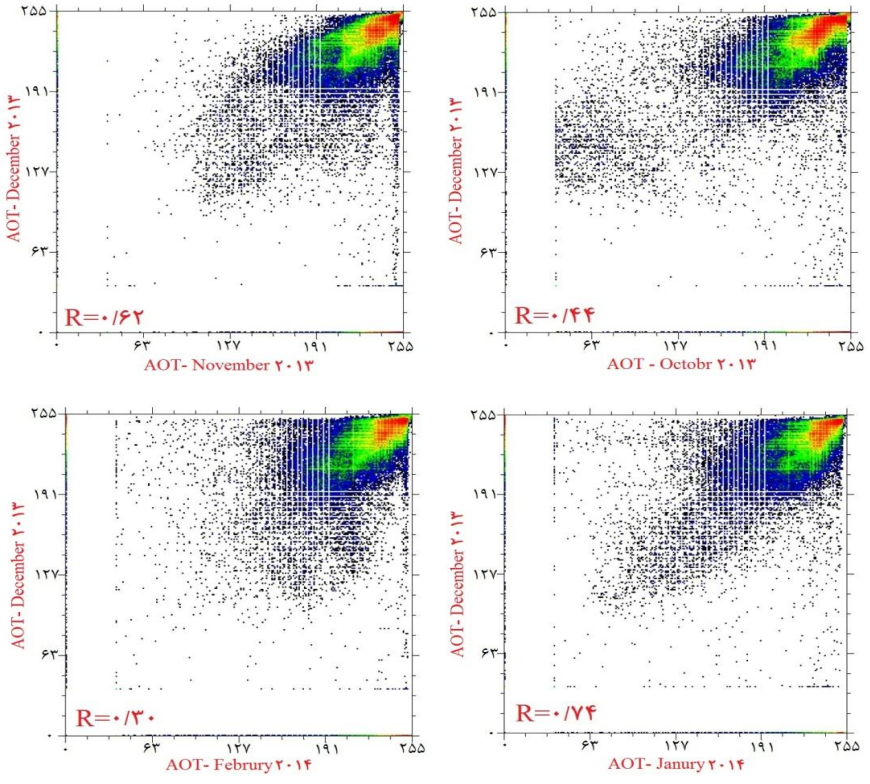
اقلیمی خاورمیانه (طی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ میلادی) مطابق نمودارهای شکل ۲ به‌دست آمد. شایان ذکر است که ضخامت اپتیکی ریزگردها کمیتی بدون بُعد است که میزان عبوردهی پرتو نور (مرئی و مادون قرمز) در جو را نشان می‌دهد. همچنین این کمیت بیانگر میزان جذب و پراکنش ناشی از گردوغباری است که در مسیر نور عبوری قرار گرفته‌اند [۱۹]. در واقع حد تأثیر ریزگردها بر پرتوهای نور به اندازه، تعداد و نوع آنها بستگی دارد. این خصوصیت در فهم تأثیر ریزگردهای جوی بر تغییرات اقلیمی و چرخهٔ بیوژئوشیمیایی بسیار مهم است [۲].



شکل ۱. تصویر سنجندهٔ MODIS از شاخص سبزینگی بخش‌هایی از خاورمیانه و شمال آفریقا که با فرایند خشکسالی و شکل‌گیری ریزگردها در این مناطق متناسب است. مناطقی که پوشش گیاهی متراکم دارند، از شاخص بزرگ‌تری برخوردارند و به رنگ سبز تیره نشان داده شده‌اند. در مقابل، مناطقی که پوشش گیاهی بسیار ضعیفی دارند، شاخص کوچک‌تری دارند و به رنگ قهوه‌ای مایل به زرد نشان داده شده‌اند (شاخص پوشش گیاهی براساس اندازه‌گیری‌ها در اکتبر ۲۰۱۵ توسط سنجندهٔ Terra/MODIS (متعلق به سازمان فضایی آمریکا) به‌دست آمده است).

www.SID.ir

Arshive of SID



شکل ۲. محاسبهٔ شاخص همبستگی ضخامت ریزگردهای خاورمیانه براساس تغییرات زمستانی AOT (۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ میلادی) (اطلاعات پایه برگرفته از سایت سازمان فضایی آمریکاست [۲۰].)

شاخص همبستگی تغییرات AOT، برآوردکنندهٔ ناریبی از افزایش ضخامت اپتیکی ریزگردها در دسامبر ۲۰۱۳ میلادی است و ارتباط آن را با تغییر ضخامت ریزگردها در اکتبر ۲۰۱۳، نوامبر ۲۰۱۳ ، ژانویهٔ ۲۰۱۴ و فوریهٔ ۲۰۱۴ نشان می‌دهد. همچنین الگوی توزیع دیگری برای تغییرات AOT متصور است که علی‌رغم همبستگی کمتر آن با ضخامت ریزگردها در فصل‌های سرد سال، تحت تأثیر رژیم خشکسالی دههٔ اخیر قرار دارد و موجب تمرکز نامتعارف ریزگردها در فصل‌های گرم سال می‌شود.

بحث و روش تحقیق

سنجندهٔ MODIS (اسپکترورادیومتر تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط) توسط ناسا در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲ به‌وسیلهٔ دو ماهوارهٔ EOS در فضا قرار گرفت [۹، ۲]. این سنجنده

www.SID.ir

Arshive of SID

برای تصویربرداری طیف‌های مرئی تا فروسرخ حرارتی در محدودهٔ طول موج ۰/۴۱۵ تا ۱۴/۲۳۵ میکرومتر طراحی شده است. از داده‌های سنجندهٔ MODIS می‌توان برای کسب اطلاعات زیادی استفاده کرد، از جمله دما و رطوبت جو، پوشش ابر و خواص آن، خواص ریزگردها، دمای سطح خشکی و دریا، آتش‌سوزی‌های طبیعی و مصنوعی، توزیع و عمق یخ و برف، رنگ اقیانوس، شاخص‌های گیاهی و غیره [۱۰،۱۸]. در هر حال ویژگی مهم MODIS این است که یک سامانهٔ فضایی پیشرفته با قابلیت ثبت و سنجش آلاینده‌های تروپوسفر است. اساس بازیابی اطلاعات مکانی، اختلاف بازتابندگی سطحی و بازتابندگی دریافت‌شده توسط سنجنده است [۹]. این اختلاف، اساس محاسبهٔ ضخامت اپتیکی ریزگردهاست [۱۰]. به بیان دیگر در این سامانه از خاصیت بازتاب امواج الکترومغناطیس برای اندازه‌گیری ضخامت اپتیکی ریزگردها و غلظت گازهای آلایندهٔ اتمسفر (NO_2 و CO) استفاده می‌شود.

ملاک اندازه‌گیری‌های کمّی این تحقیق مبتنی بر اطلاعات مکانی سازمان فضایی آمریکا طی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ میلادی است که با توجه به کامل بودن پایگاه داده‌ها و دسترسی به مقادیر بیشینه و کمینهٔ متغیرهای جوی انتخاب شده‌اند. با توجه به شکل ۲، در نیمکرهٔ شمالی، تغییرات AOT تابع شرایط اقلیمی فصول مختلف است و شاهد افزایش همبستگی داده‌ها در ماه‌های سرد سال هستیم (اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه). روش متداول برای دستیابی به ضریب همبستگی AOT ، استفاده از کمیت R است که مطابق رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود.

$$R_{(AOT)} = \frac{\text{Covariance}(AOT_1, AOT_2)}{\text{Stdev}(AOT_1).\text{Stdev}(AOT_1)} \qquad (۱)$$

در این رابطه، منظور از $R_{(AOT)}$، ضریب همبستگی ضخامت ریزگردها در بازه‌های زمانی مختلف و Covariance (AOT_1, AOT_2)، بیانگر هم‌پراشی ضخامت‌های مختلف است که با حاصل‌ضرب انحرافات معیار Stdev (AOT_1) و Stdev (AOT_2) رابطهٔ مستقیم دارد.

در اغلب موارد، مقایسهٔ ضخامت ریزگردهای زمستانی با سایر فصل‌های سال، با تغییرات آستانه‌ای کمیت R متناسب است. این بدان معناست که الگوی توزیع AOT برای فصول مختلف سال یکسان نیست و تغییرات زیادی در سازوکار توزیع مکانی ریزگردها ملاحظه می‌شود. از دیدگاه آماری، الگوی پراکندگی ریزگردها تابع توزیع پواسون است. در این تابع، سازوکار تعلیق ریزگردها براساس الگوریتم پراکنش جزء در کل بیان می‌شود. در چنین توزیعی، جمعیت ریزگردها در مقایسه با سایر مواد تشکیل‌دهندهٔ تروپوسفر ناچیز است. بنابراین احتمال دستیابی به شاخص‌های آماری مورد نظر با به‌کارگیری توابع توزیع غیرخطی افزایش می‌یابد.

www.SID.ir

Arshive of SID

به‌عبارت دیگر، سازوکار شکل‌گیری و مهاجرت ریزگردهای خاورمیانه تابع الگوریتم‌های غیرخطی بوده و متأثر از عوامل آشوبناک آب‌وهوایی است. در چنین شرایطی امکان پیش‌بینی رفتار ریزگردها به روش‌های سنتی (اصول هندسهٔ اقلیدسی) دشوار و حتی ناممکن است، زیرا دستیابی به الگوی اولیهٔ توزیع ریزگردها مستلزم شناخت مؤلفه‌های ذاتی است و الگوریتم‌هایی از قبیل مشتق‌گیری و افراز توابع اولیه برای شناخت پیچیدگی‌های طبیعی کفایت نمی‌کنند [۱۳]. ازاین‌رو بهره‌گیری از توابع تکرارپذیر براساس اصول هندسهٔ فرکتال برای مطالعهٔ ریزگردها ضرورت دارد [۷].

رابطهٔ ۲، بیانگر تابع نمایی پراش- مسافت است که مطابق پیشنهاد مارک و آرونسون برای دستیابی به سطح توزیع براونی در کمیت‌های متناظر به‌کار می‌رود [۱۳]. این سطح معرف پیدایش و توزیع مؤلفه‌های خودسامانه است که اغلب به‌صورت توابع تکرارپذیر بیان شده و با هدف توصیف مکان هندسی متغیرها در حاشیهٔ محیط‌های آشوبناک افراز می‌شوند [۱۷]. در نتیجه الگوی توزیع غیرخطی بی‌هنجاری‌ها پس از محاسبهٔ ضریب خط تابع‌های لگاریتمی (بعد فرکتال) تبیین می‌شود. در حقیقت از دیدگاه نظری، توابع فرکتال برگرفته از روابط توانی خاصی هستند که در آنها از ویژگی لگاریتمی کمیت‌های مستقل به‌منظور تعیین برد متغیرهای وابسته به توزیع استفاده می‌شود.

در این تحقیق برای دو کمیت پراش متغیر x (Var. x) و مسافت اثر پراش متغیر x (Dist. x) با توان FD، رابطهٔ پیشنهادی ۲ به قرار زیر است:

$$\mathrm{Var.\ x} = \left(\mathrm{Dist.\ x}\right)^{\mathrm{FD}} \qquad (۲)$$

که Var. x و Dist. x به‌ترتیب متعلق به مجموعه‌های برد و قلمرو تابع مورد نظرند و FD در حکم کمیت توان این تابع بدون واحد است. شرط لازم برای تبدیل توان FD به ضریب زاویهٔ خط فرکتال، استفاده از مختصات لگاریتمی مطابق رابطهٔ ۳ است:

$$\mathrm{Log}\left(\mathrm{Var.\ x}\right) = \mathrm{FD}\ \mathrm{Log}\left(\mathrm{Dist.\ x}\right) \qquad (۳)$$

در رابطهٔ بالا، منظور از جملهٔ Log (Var. x)، لگاریتم پراش متغیر x و جملهٔ Log (Dist. x)، لگاریتم مسافت اثر پراش برای همان متغیر است که توسط ضریب FD به تابع خط درجهٔ اول تبدیل می‌شود. مؤلفه‌های خود تشابه نقاط هم‌استقامتی هستند که پس از ظهور کمیت‌های حدی (عطف تابع)، موجب افزایش یا کاهش ضریب FD شده و خاصیت خودتمایلی، سبب تفکیک جوامع فرکتال به زیرگروه‌های زمینه‌ای، آستانه‌ای و بی‌هنجاری می‌شود [۱۵]. تغییرات ضریب مذکور به‌عنوان بعد فرکتال مفروض است. در واقع اگر از طرفین تابع نمایی پراش- مسافت (رابطهٔ ۳) لگاریتم گرفته

www.SID.ir

Arshive of SID

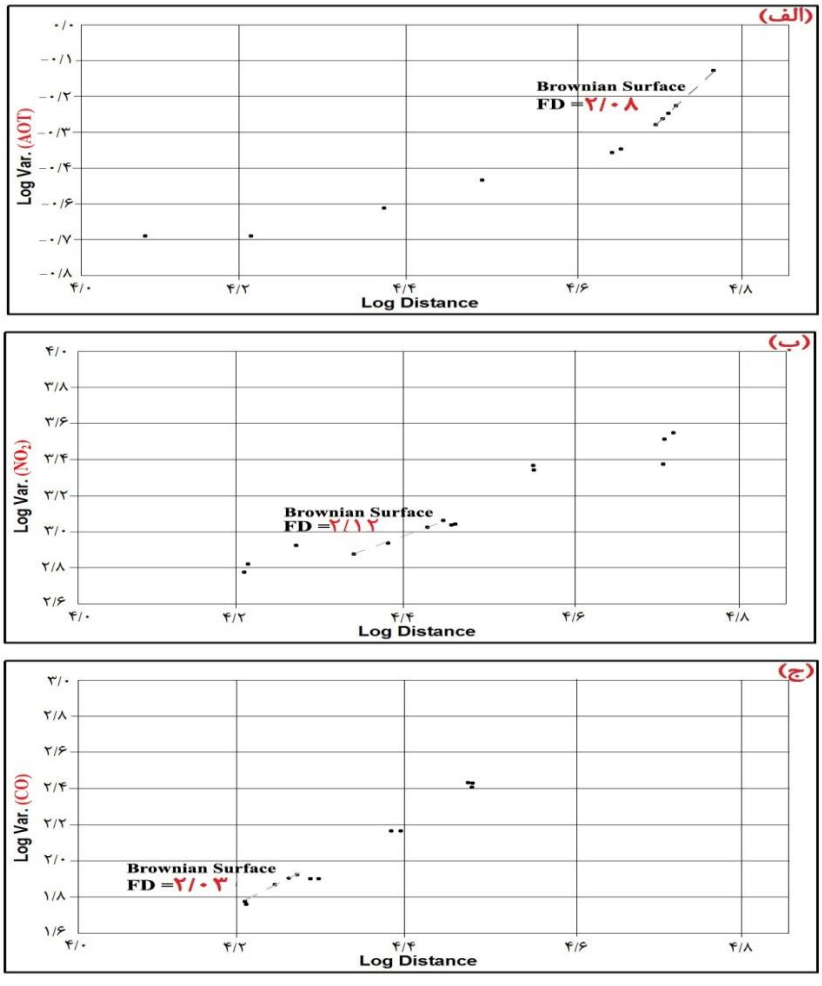
شود، رابطه‌ای خطی به‌دست می‌آید که شیب آن بیانگر تغییرات بعد فرکتال است. بنابراین لازم است نمودار تمام لگاریتم توزیع متغیرها ترسیم و از روی آن بعد فرکتال محاسبه شود. برای این منظور با استفاده از اطلاعات مکانی موجود (خطوط و کمیت‌های پربندی) و به‌ازای مقادیر مختلفی از لگاریتم متغیر مورد نظر، آماره‌های پراش و مسافت محاسبه می‌شوند. سپس بر نقاط به‌دست‌آمده خطوطی برازش می‌شود که شیب این خطوط معرف بعد فرکتال خواهد بود [۴]. به‌طور کلی پیش‌فرض استفاده از روش فرکتال، ارزیابی توزیع غیرخطی داده‌ها در قالب توابع نمایی است که در مقایسه با روش‌های خطی، الگوی زمین ریاضی مناسبی را برای بررسی پدیده‌های طبیعی (در محیط آشوبناک) در اختیار می‌گذارد و از آماره‌های معتبری برخوردار است [۱۲].

اگر بعد فرکتال $FD < ۲$ باشد، سطح براونی تشکیل نمی‌شود و توزیع آلاینده‌ها از روند خطی تبعیت خواهد کرد. به بیان دقیق‌تر، برای مقادیر $FD \leq ۱$ احتمال شکل‌گیری اجزای متناظر سطحی ضعیف و نشان‌دهندهٔ غالب بودن سازوکارهای خطی است. در مواردی که $۱ \leq FD \geq ۲$ باشد؛ با مرحلهٔ گذار از رویهٔ خطی به غیرخطی مواجهیم، به‌طوری که برخی از کمیت‌ها از ویژگی اجزای متناظر برخوردارند، اما به‌دلیل کمبود توزیع فضایی مؤلفه‌های ذاتی، بیشینهٔ تغییرات منسوب به بخش زمینه است و با ورود به مقادیر آستانه تضعیف می‌شود [۱۷]. در چنین جوامعی، ظهور خصلت‌های شبه‌فرکتالی متداول است که خود، احتمال دستیابی به الگوی خودتشابهی را افزایش می‌دهد [۱۲]. خواص شبه‌فرکتالی مخصوص جوامعی است که در آستانهٔ تحولات آشوبناک قرار دارند، اما از تعدد مؤلفه‌های متناظر برای ظهور خواص فرکتالی (تکرارپذیری پدیده‌ها) برخوردار نیستند. برای وضعیتی که $۲ \geq FD \geq ۲/۵$ باشد، با توزیع آلاینده‌ها در سطح براونی (سطح تغییرات متناظر) مواجهیم که این فرایند مقارن با ظهور کمیت‌های متناظر و افزایش خواص خودتشابهی در سطوح بی‌هنجاری است [۱۶]. ضمن اینکه اعدادی که برای تعیین بعد فرکتال به‌کار می‌روند، بیانگر میزان پیچیدگی پدیدهٔ مورد بررسی (در این تحقیق: ریزگردها و آلاینده‌های جوی) هستند [۱۵].

تغییرات بعد فرکتال مطابق نمودارهای شکل ۳ برای توزیع‌های غیرخطی AOT ، NO_2 و CO در رژیم زمستانی خاورمیانه (دسامبر ۲۰۱۴) و به همین ترتیب در نمودارهای شکل ۴، برای بررسی توزیع آلاینده‌های جوی در رژیم تابستانی منطقهٔ خاورمیانه (جولای ۲۰۱۴) ارائه شده است.

www.SID.ir

Arshive of SID



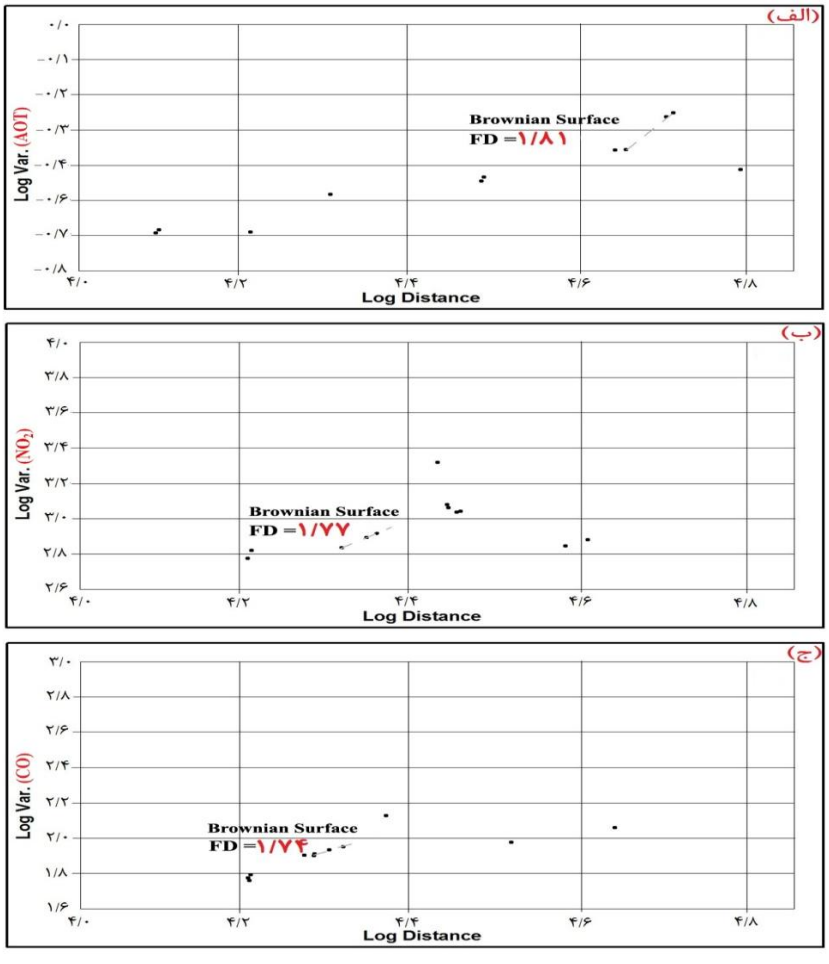
شکل۳. تابع پراش- مسافت برای تغییرات الف) AOT ب) NO_2 ج) CO در رژیم زمستانی منطقهٔ خاورمیانه ، دسامبر ۲۰۱۴

مقایسهٔ توابع توزیع فرکتالی مربوط به تغییرات ضخامت اپتیکی ریزگردها (الف)، دی‌اکسید نیتروژن (ب) و مونوکسید کربن (ج) در نمودارهای شکل ۳ نشان می‌دهد که در رژیم زمستانی منطقهٔ خاورمیانه به‌واسطهٔ اینکه بعد فرکتالی هر سه مورد اشاره‌شده بزرگ‌تر از ۲ است، توزیع آلاینده‌ها در سطح براونی صورت گرفته که همراه با افزایش خواص خودتشابهی و ظهور کمیت‌های متناظر در محدودهٔ بی‌هنجاری است. ازاین‌رو توزیع ریزگردها و آلاینده‌ها در رژیم زمستانی با تحولات غیرخطی

www.SID.ir

Arshive of SID

(منطبق بر محیط‌های آشوبناک) مطابقت بیشتری دارد. در نتیجه شاهد همیافتی بیشتر ریزگردها و آلاینده‌های جوی خواهیم بود. از دیدگاه فرکتال، همیافتی ریزگردها با آلاینده‌های جوی تابع توالی مؤلفه‌های خودتشابه و تغییرات ضریب خط آنها در معادلهٔ لگاریتمی پراش- مسافت است. وفور نسبی اجزای متناظر، نشانهٔ پایش جوی ریزگردهاست و در پی آن با ظهور کمیت‌های نامتجانس (تغییر شیب خط به‌همراه گسیختگی در نقاط هم‌استقامت)، احتمال بروز تغییرات غیرمترقبه در سازوکار توزیع جوی خاورمیانه افزایش می‌یابد [۷].



شکل ۴. تابع پراش- مسافت برای تغییرات الف) AOT ب) NO_2 ج) CO در رژیم تابستانی منطقهٔ خاورمیانه، جولای ۲۰۱۴

www.SID.ir

Arshive of SID

همان‌طور که در نمودارهای شکل ۴ مشاهده می‌شود، مقدار بعد فرکتالی آلاینده‌های تابستانی کوچک‌تر از آلاینده‌های زمستانی است. در حقیقت به‌واسطهٔ اینکه مقدار بعد فرکتالی ریزگردها و آلاینده‌های جوی بین ۱ و ۲ است، در این جوامع وضعیت گذار و خواص شبه‌فرکتالی به‌وجود خواهد آمد که گویای این است که این جوامع در آستانهٔ تحولات آشوبناک قرار دارند، اما تعدد مؤلفه‌های متناظر برای ظهور خواص فرکتالی را ندارند (کمبود اجزای متناظر و خاصیت خودتشابهی در توزیع فرکتالی آلاینده‌ها). در نتیجهٔ این عوامل، سطح براونی رژیم تابستانی نسبت به رژیم زمستانی کمتر توسعه یافته و احتمال همیافتی ریزگردها و آلاینده‌ها در رژیم تابستانی کاهش می‌یابد. به بیان دیگر، الگوی منطقهٔ خاورمیانه در تابستان، مشخص به اجزای متناظر کمتر و همبستگی ضعیف مؤلفه‌های هم بعد (متجانس) در جوامع فرکتال است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از روش فرکتال و به‌کارگیری تابع لگاریتمی پراش- مسافت، رهیافت جدیدی برای بررسی توزیع ریزگردها و آلاینده‌های گازی (دی اکسید نیتروژن و مونوکسید کربن) ارائه شده است. در این روش، دستیابی به بعد $FD \geq 2$ معرف حضور مؤلفه‌های متناظر در سطح توزیع براونی است که خود با ظهور الگوهای تکرارپذیر در سطوح بی‌هنجاری ارتباط دارد و نشان‌دهندهٔ پایش ریزگردها در آستانهٔ محیط‌های آشوبناک است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که الگوی توزیع آلاینده‌های جوی خاورمیانه از روند یکنواختی برخوردار نیست و براساس پژوهش‌های اولیه، دو رژیم زمستانی و تابستانی برای آن متصور است. در الگوی زمستانی، به‌دلیل وارونگی دمایی تروپوسفر تحتانی، غلظت ترکیبات گازی در آسمان کلانشهرها و مراکز صنعتی خاورمیانه افزایش می‌یابد و شاهد همیافتی هالهٔ AOT با محتوای گازهای NO_2 و CO هستیم. پدیدهٔ تشدید آلاینده‌های جوی از یک‌سو موجب پایداری اقلیم سرد و از سوی دیگر سبب ظهور الگوهای نامتعارف (آشوبناک) در خلال فرایند تغلیظ و توزیع آلاینده‌ها می‌شود (افزایش مخاطرات زیست‌محیطی). این درحالی است که در سطح براونی رژیم‌های تابستانی توسعهٔ کمتری مشاهده می‌شود و در فصول گرم، احتمال همیافتی آلاینده‌های صنعتی با ریزگردهای طبیعی کاهش می‌یابد (مطابق شکل‌های ۳ و ۴، بُعد فرکتالی آلاینده‌های تابستانی کوچک‌تر از آلاینده‌های زمستانی است و خطر زیست‌محیطی کمتری دارد).

www.SID.ir

Arshive of SID

با توجه به رابطهٔ کمیت سبزینگی (VI) با کاهش آلاینده‌های تروپوسفر (بُعد فرکتالی کمینه در رژیم بهاری، $FD_{(AOT)} < ۱/۵$)، گسترش کمربند سبز خاورمیانه با توسعهٔ گیاهان همیشه‌سبز در مناطق غربی فلات ایران، جنوب ترکیه، غرب عراق و عربستان به‌شدت توصیه می‌شود. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با توسعهٔ طبیعی کمربند سبز زاگرس- باختران (غرب فلات ایران)، مقدار بعد فرکتالی از حد بحرانی (در سطح براونی) تنزل می‌یابد و رفتار آشوبناک منتسب به جبههٔ هوای شمال آفریقا تعدیل می‌شود. بدین ترتیب احتمال پایش چنین توده‌های هوایی کمتر از مواقعی است که در اقلیم سرد و در طی ترکیب با آلاینده‌های صنعتی موجب بروز مخاطرات زیست‌محیطی جدی در کلانشهرهای ایران و خاورمیانه می‌شوند.

بررسی تغییرات کمیت FD و اهمیت آن در الگوی توزیع ریزگردهای خاورمیانه مهم‌ترین دستاورد این تحقیق است که با توسعهٔ پایگاه اطلاعات مکانی (دورسنجی، ژئوفیزیکی و آئروشیمیایی) و تبیین اهداف کمی در مقیاس محلی (گسترهٔ جغرافیایی فلات ایران تا حواشی خلیج فارس و دریای مکران)، امکان تولید نقشهٔ پیش‌داوری از نحوهٔ تجمع آلاینده‌ها و چگونگی مهاجرت آنها به کشورهای خاورمیانه فراهم می‌شود. به یاد داشته باشیم که یکی از معابر اصلی ریزگردهای جوی از مسیر استان‌های غربی کشور است. بنابراین با ایجاد کمربند سبز باختران و توسعهٔ آن به‌سمت مناطق جنوب غربی ایران، شرایط افزایش اندیس سبزینگی (VI) فراهم می‌شود و در پی آن با کاهش بعد فرکتال AOT مواجه خواهیم شد که نویددهندهٔ کاهش مخاطرات زیست‌محیطی در کشور است.

در فاصلهٔ اطمینان ۹۵ درصد، بُعد فرکتالی AOT، برآوردکنندهٔ ناریبی از وضعیت آلاینده‌های جوی خاورمیانه است. ازاین‌رو با تشکیل پایگاه داده‌های مکانی و بررسی تغییرات ضخامت اپتیکی (منتج از تصاویر MODIS) سال‌های اخیر، روش معتبری برای ارزیابی تحولات جوی خاورمیانه معرفی شده که پس از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و به‌کارگیری الگوریتم‌های آماری، امکان استفاده از مفاهیم هندسهٔ فرکتال با هدف تولید نقشهٔ توزیع ریزگردها مهیا شده است.

منابع

[۱]. رضایی، خلیل؛ ایرانمنش، سارا (۱۳۹۲). تحلیلی بر رفتار رسوب‌شناسی ریزگردها. همایش تخصصی ریزگردها، اثرات و راهکارهای مقابله با آن، تهران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

www.SID.ir

Arshive of SID

[۲]. سلیمانی، آرزو؛ محمدعسگری، حسین؛ دادالهی سهراب، علی؛ علمی‌زاده، هیوا؛ خزاعی، سید حسین (۱۳۹۴). ارزیابی عمق اپتیکی حاصل از تصاویر ماهوارهٔ MODIS در خلیج فارس، مجلهٔ علوم و فنون دریایی، دورهٔ ۱۴، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۴: ۸۳-۷۵.

[۳]. کرمانی، مجید؛ طاهریان، الهام؛ ایزانلو، مریم (۱۳۹۵). تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ریزگردها و طوفان‌های گردوغباری در ایران به‌منظور بررسی منشأهای داخلی و خارجی و روش‌های کنترل آنها، مجلهٔ ره‌آورد سلامت. دورهٔ ۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۵: ۵۱-۳۹.

[۴]. محمدی‌زاده، مریم؛ آقابابایی، حمید؛ اخضری، اسرین (۱۳۹۱). توزیع فرکتال و کاربرد آن در ارزیابی و اکتشاف ذخایر معدنی، سی‌ویکمین همایش علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

[۵]. ملکی، سعید؛ مودت، الیاس (۱۳۹۲). بررسی منشأ ریزگردها و تأثیر آن بر آسایش جسمی و روحی انسان، همایش تخصصی ریزگردها، اثرات و راهکارهای مقابله با آن، تهران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[۶]. منصور، غیاث‌الدین (۱۳۸۵). آلودگی هوا: منابع، اثرات و کنترل، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

[۷]. مهرنیا، سید رضا (۱۳۹۴). تحلیل فرکتالی توزیع ریزگردها و آلاینده‌های جوی در خاورمیانه، دومین کنگرهٔ بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی: ۱۸۹-۱۸۵.

[۸]. ندافی، کاظم (۱۳۹۲). آلودگی هوا، منشأ و کنترل آن، تهران: مؤسسهٔ علمی و فرهنگی نص.

[9]. Kaufman, Y.J., Tanre, D., Remer, L.A., Vermote, E.F., Chu, A. & Holben, B.N. (1997). Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer. Journal Of Geophysical Research, Vol. 102, No. D14, Pages 17051-17067. DOI: 10.1029/96JD03988.

[10]. Kaufman, Y.J., Tanre, D., Gordon, H.R., Nakajima,T., Lenoble, J., Frouins, R., Grassl, H., Herman, B.M., King, M.D. & Teillet, P.M. (1997). Passive remote sensing of tropospheric aerosol and atmospheric correction for the aerosol effect. Journal Of Geophysical Research, Vol. 102, No. D14, Pages 16815-16830. DOI: 10.1029/97JD01496.

[11]. Kutiel. H. & Furman. H. (2003). Dust Storms in the Middle East: Sources of Origin and their Temporal Characteristics Indoor Built Environ. Vol. 12, pp 419-426. DOI: 10.1177/1420326X03037110.

[12]. Mandelbrot, B. (2002). The Fractal Geometry of Nature: 21st Printing, W. H. Freeman and Company, New York, 468pp. ISBN-13: 978-0910321648.

[13]. Mark, D. & Aronson, P. (1984). Scale-dependent fractal dimension of topographic surfaces: An empirical investigation, with application in geomorphology and computer mapping. Mathematical Geology, Vol.16, No. 7, 671-683. DOI:10.1007/BF01033029.

www.SID.ir

Arshive of SID

[14]. Tegen, I. & Schepanski, K.. (2009). The global distribution of mineral dust. IOP Conference Series, Earth and Environmental Science, 7: 012001, 6 pp., DOI:10.1088/1755-1307/7/1/012001.
[15]. Teymoorian, A., E. Ardestani, V., & Mehnria, R. (2012). Fractal method for determining the density of stone tablet in Charak region, South of Iran. Life Science Journal, Vol.9, No.4, 1913-1923. (ISSN:1097-8135). DOI:10.7537/marslsj090412.290.
[16]. Thorarinsson, F. & Magnusson, G. (1990). Bouguer density determination by fractal analysis, Geophysics. Vol. 55, No. 7, 932- 935. DOI: 10.1190/1.1442909.
[17]. Turcotte, D. (1997). Fractals and Chaos in geology and geophysics. 2nd edition, Cambridge University Press., 398pp. ISBN: 9780521567336.
[18]. Wang, Z., Chen, L., Tao, J., Zhang, Y. & Su, L. (2010). Satellite-based stimation of regional particulate matter (PM) in Beijing using vertical-and-RH correcting method. Remote Sensing of Environment, 114, 50–63. DOI:10.1016/j.rse.2009.08.009.
[19]. Wang, J. & Sundar, C.A. (2003). Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM2.5 mass: Implications for air quality studies. Geophysical Research Letters, Vol. 30, No.21, 2095, 4-1 – 4-4. DOI:10.1029/2003GL018174.
[20]. http://neo.sci.gsfc.nasa.gov.

Databases:

- HTTP://NEO.SCI.GSFC.NASA.GOV, 2015, TERRA / MODIS, Vegetation Index (VI) Maps.
- HTTP://NEO.SCI.GSFC.NASA.GOV, 2014, AQUA /MODIS, Aerosol Optical Thickness (AOT) Maps.
- HTTP://NEO.SCI.GSFC.NASA.GOV, 2014, AQUA / MODIS, NO_2 & CO Concentration Maps.

www.SID.ir