



ارزیابی قابلیت داده‌های طیفی در تشخیص گردوغبار با استفاده از مدل شبیه‌سازی شده

DREAM (غرب و جنوب غرب ایران)

حمید رضا متین فر*^۱، آذر فاریابی^۲

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه لرستان، نویسنده مسول : Matinfar.h@lu.ac.ir

۲- دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی خاک دانشگاه لرستان

چکیده

یکی از مسائل مهم زیست‌محیطی که سلامت انسان را تهدید می‌کند و هر ساله خسارت‌های اقتصادی فراوانی به دنبال دارد، وقوع طوفان گردوغبار در کشور است. هدف از تحقیق حاضر ارزیابی قابلیت داده‌های طیفی در تشخیص گردوغبار با استفاده از مدل DREAM مشاهدات زمینی و استفاده از داده‌های ماهواره MODIS و همچنین بررسی قابلیت‌های این مدل در پیش‌بینی و شناسایی توده‌های گردوغبار می‌باشد. استفاده از یک مدل گردوغبار و به کارگیری آن در یک منطقه برای مطالعه ابعاد مختلف رویدادهای گردوغبار نیازمند آگاهی از شرایط و ویژگی‌های این رویداد در منطقه مورد مطالعه و تأمین داده‌های ورودی مناسب و مطمئن برای انجام شبیه‌سازی‌های مورد نظر می‌باشد. در این پژوهش به منظور مدل‌سازی گردوغبار باید فاکتورهای تأثیرگذار شناسایی شوند. ورود گردوغبار به شرایط اتمسفری، سطح خاک و پوشش گیاهی وابسته است. کارایی مدل بر اساس داده‌های میانگین روزانه سرعت باد، رطوبت خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی برای بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ ارزیابی شده است. استفاده از داده‌های پوشش گیاهی باعث افزایش دقت مدل DREAM در برآورد عمق اپتیکی آئروسول شد. ارزیابی مدل DREAM حاکی از این است که مقدار خطای RMSE برای سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ به ترتیب ۱۸٪، ۱۳٪، ۲۱٪، ۱۷٪، ۱۹٪ است که بیانگر برآورد دقیق عمق اپتیکی آئروسول به وسیله مدل DREAM با در نظر گرفتن نقش پوشش گیاهی به عنوان یک پارامتر ورودی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی، طوفان گردوغبار، DREAM، MODIS

مقدمه

معمولاً تعداد سایت‌های زمینی اندازه‌گیری طوفان‌های گردوغبار اندک هستند و در نتیجه به دلیل قدرت تفکیک زمانی و مکانی پایین آن‌ها، روش‌های اندازه‌گیری زمینی نمی‌تواند پیش‌بینی واقعی از زمان و مکان طوفان‌های گردوغبار ارائه نمایند. با توجه به اینکه کشور ایران نیز در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است و حدود ۹۱ درصد از مساحت کشور جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، مطالعه این پدیده ضرورت دارد. امروزه به وسیله داده‌های ماهواره‌ای، بسیاری از پارامترهای مورد نیاز مطالعه گردوغبارها مانند غلظت، عمق نوری، دمای توده، تابش خالص رسیده به زمین و غیره را می‌توان به دست آورد. مدل‌های ریز گرد غالباً به پیش‌بینی میزان خیزش و انتقال ذرات، مسیر جابجایی آن‌ها در اتمسفر و فرونشست می‌پردازند. به‌طور کلی می‌توان این مدل‌ها را به صورت آنلاین یا آفلاین با مدل‌های پیش-بینی کوتاه‌مدت یا میان‌مدت هواشناسی دسته‌بندی نمود. مدل‌های جهانی و برخی مدل‌های منطقه‌ای به نمایش تغییرات کوتاه‌مدت برای

پیش‌بینی هوا از نظر قابلیت دید و کیفیت هوا برای سه تا پنج روز پرداخته‌اند. در مقایسه با مدل‌های جهانی، مدل‌های منطقه‌ای امکان استفاده از خصوصیات سطح و ویژگی‌های منطقه در مقیاسی کوچک‌تر از سینوپتیک را فراهم می‌کنند (Tegen et al 2002).

(Bails et al., 2009)، مشاهدات گردوغبار صحرایی در منطقه تسالونیک^۱ را با استفاده از پخش معکوس، مدل Raman لیدار و مدل BSC/DREAM را مورد بررسی قرار دادند و مدل DREAM در شرایط پروفیل‌های انقراض آئروسول شبیه‌سازی شد و بیان کردند که مقایسه ضرایب انقراض آئروسول مدل شده و اندازه‌گیری شده در منطقه تسالونیک نشان می‌دهد که لایه گردوغبار صحرایی به‌خوبی توسط مدل DREAM در چند مورد شبیه‌سازی شده در حالی که در مواردی اندازه‌گیری هندسی و همچنین ویژگی‌های نوری گردوغبار توسط مدل دست‌کم گرفته شده است. تقوی و همکاران (۲۰۱۳) به تشخیص و پایش توفان گردوغبار ایران با استفاده از روش‌های سنجش‌از‌دور پرداختند. نتایج تحقیق بیانگر این بود که با مقایسه تصاویر بازسازی‌شده با استفاده از طول‌موج‌های مادون قرمز و مرئی با نقشه‌های مقادیر ضخامت نوری هواویز (AOT) و خروجی مدل DREAM 8b و همچنین گزارش‌های ایستگاه می‌توان دریافت که استفاده از الگوریتم‌های آشکارسازی گردوغبار در مقایسه با روش‌های دیگر (بازیابی هواویز با خروجی مدل) راه مطمئن‌تری برای پایش گردوغبار است. رحیمی و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی آلودگی هوای شهر سنندج با تأکید بر تغییرات زمانی غلظت PM10 با استفاده از شاخص ذرات معلق استخراج‌شده از مدل DREAM و گزارش‌های ایستگاه هواشناسی سنندج و نیز داده‌های هواشناختی منطقه‌ای (داده‌های هواشناسی در خاورمیانه) از طریق بررسی نقشه‌های سینوپتیک ترازهای مختلف جوی و تصاویر ماهواره‌ای مودیس، سیستم‌های انتقال گردوغبار به داخل استان کردستان را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که تحلیل همبستگی میانگین دمای ماهیانه با شاخص ذرات معلق نشان داد که همبستگی مستقیمی بین این دو پارامتر وجود دارد، به‌طوری‌که در دوره مطالعه، بیش‌ترین میزان ذرات معلق، مربوط به ماه‌های می تا جولای بوده است. هم‌چنین یک همبستگی معکوس بین میانگین رطوبت نسبی ماهیانه و شاخص ذرات معلق دیده می‌شود.

به دلیل آثار قابل توجه ریز گرد‌ها بر محیط و اقلیم (Change, 2007) نیاز به شناخت و فهم بهتر در زمینه چرخه‌های اتمسفری این پدیده کاملاً محسوس است. پیش‌بینی و مدل‌سازی انتشار ریز گرد می‌تواند از به خطر افتادن سلامت میلیون‌ها انسان جلوگیری کند. به همین دلیل در دو دهه اخیر، مدل‌های تجربی و عملی بسیاری برای پیش‌بینی توسعه داده شده‌اند. مدل‌های ریز گرد معمولاً به‌پیش‌بینی میزان ساطع شدن ذرات، مسیر جابه‌جایی آن‌ها در اتمسفر و فرونشست می‌پردازند (Tegen et al, 2002). مدل DREAM 8b در این پژوهش انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. این مدل منطقه‌ای طراحی شده و برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی چرخه جوی هواویز گردوغباری معدنی و همه فرایندهای اصلی چرخه گردوغبار جوی است و معادله غیرخطی دیفرانسیل جزئی اولی‌ر را برای پیوستگی جرم گردوغبار حل می‌کند. DREAM به‌منزله یکی از معادلات اصلی کنترل‌کننده به درون مدل جوی (NCEP/Eta) وارد شده است (Morain and Budge, 2008). بنا بر این، هدف از تحقیق حاضر ارزیابی قابلیت داده‌های طیفی در تشخیص گردوغبار با استفاده از مدل DREAM مشاهدات زمینی و استفاده از داده‌های ماهواره MODIS و همچنین بررسی قابلیت‌های این مدل در پیش‌بینی و شناسایی توده‌های گردوغبار می‌باشد.

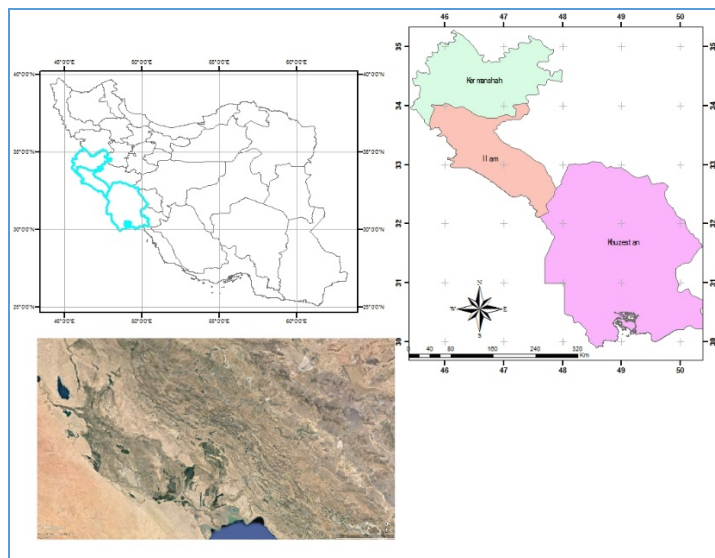
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

از آن جهت که بخش‌های جنوب غربی و غربی کشور بحرانی‌ترین نقاط از لحاظ حدوث پدیده گردوغبار می‌باشند، سه استان کرمانشاه، ایلام و خوزستان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب و داده‌های مورد نیاز جمع‌آوری گردید. (شکل ۱).

¹ Thessaloniki

² Aerosol Optical Thickness



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه سه استان کرمانشاه، ایلام و خوزستان.

داده های مورد استفاده

در ابتدا تعداد ۱۵ تاریخ در سال های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ که در آن ها پدیده گردوغبار اتفاق افتاده است استخراج گردید، بدین صورت که برای هر سال یک روز گردوغباری در ماه ژانویه، یک روز گردوغباری در ماه می و یک روز گردوغباری در ماه جولای انتخاب شدند. (جدول ۱).

جدول ۱- تاریخ روزهای گردوغباری انتخاب شده

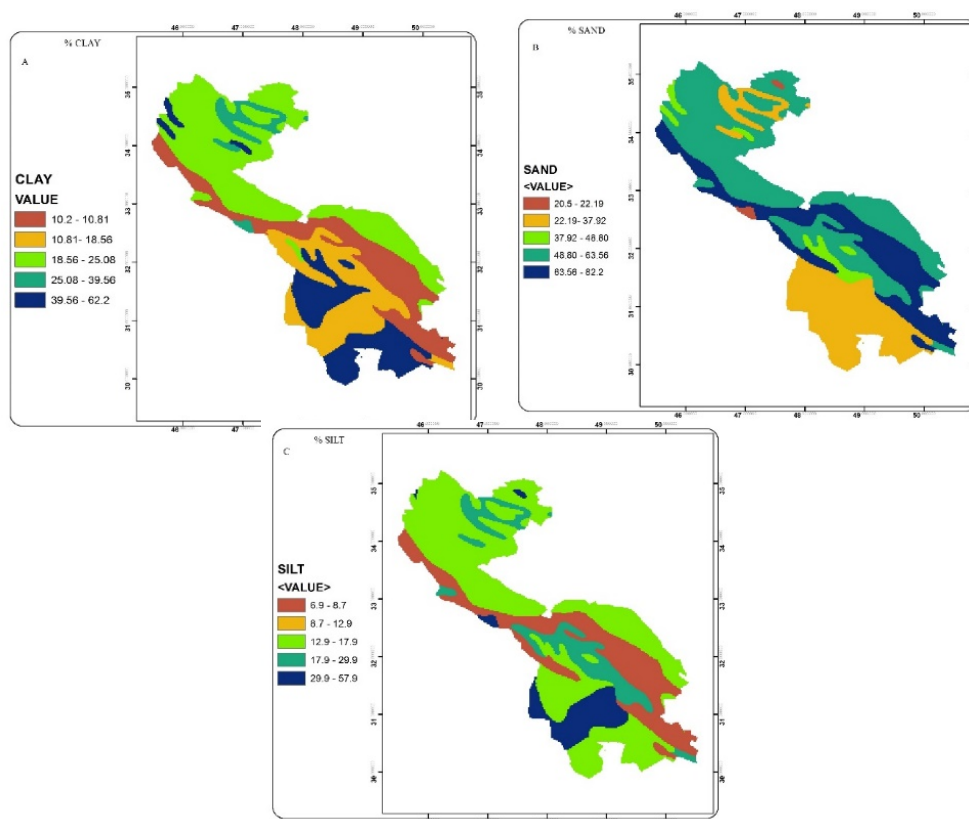
سال	تاریخ	ساعت	اندازه پیکسل	میدان دید	منبع	مختصات مرکز تصویر
2012	۲۰۱۲/۰۶/۲۵	10:28:14	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Terra	54/376 & 32/452 DD
	۲۰۱۲/۰۵/۲۴	10:32:18	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Aqua	54/376 & 32/452 DD
	۲۰۱۲/۰۷/۱۶	10:06:19	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Terra	54/376 & 32/452 DD
2013	۲۰۱۳/۰۶/۱۴	10:41:12	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Aqua	54/376 & 32/452 DD
	۲۰۱۳/۰۵/۱۸	10:16:13	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Aqua	54/376 & 32/452 DD
	۲۰۱۳/۰۷/۲۱	10:21:11	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Terra	54/376 & 32/452 DD
2014	۲۰۱۴/۰۶/۰۲	10:17:12	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Terra	54/376 & 32/452 DD
	۲۰۱۴/۰۵/۲۴	10:19:10	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Terra	54/376 & 32/452 DD
	۲۰۱۴/۰۷/۲۵	10:23:01	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Aqua	54/376 & 32/452 DD
2015	۲۰۱۵/۰۶/۲۵	10:22:17	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Aqua	54/376 & 32/452 DD
	۲۰۱۵/۰۵/۰۵	10:13:45	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Terra	54/376 & 32/452 DD
	۲۰۱۵/۰۷/۲۴	10:08:52	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Terra	54/376 & 32/452 DD
2016	۲۰۱۶/۰۶/۱۷	10:09:38	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Aqua	54/376 & 32/452 DD
	۲۰۱۶/۰۵/۰۳	10:18:06	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Terra	54/376 & 32/452 DD
	۲۰۱۶/۰۷/۲۷	10:25:36	1 ^۰	±49.5°	MODIS-Terra	54/376 & 32/452 DD

داده‌های مورد استفاده در مدل DREAM به ۲ دسته تقسیم می‌شوند: داده‌هایی با ماهیت دینامیک که متناوباً در حال تغییر هستند این داده‌ها شامل سرعت باد و میزان رطوبت سطحی خاک هستند. دسته دوم داده‌های با ماهیت ایستا که شامل نقشه مدل رقمی ارتفاع و نقشه توزیع ویژگی‌های خاک منطقه می‌باشد.

داده‌های سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر در دو مؤلفه افقی و عمودی است که دارای قدرت تفکیک مکانی یک درجه و قدرت تفکیک زمانی روزانه است و سرعت باد از آن محاسبه می‌شود. این داده‌ها از پایگاه داده NCEP استخراج می‌شوند. استفاده از داده‌های بافت خاک برای محاسبه مقدار گردوغبار منتشر شده از هر یک از دسته‌های سائیزی ذرات فرسایش پذیر و نهایتاً تخمین بار گردوغبار ضروری می‌باشد در این تحقیق برای دستیابی به داده‌های بافت خاک از پروفیل خاک جهانی Webb-Rosenzweig که برای خاک سطحی (پروفیل یک متر اول خاک) ارائه شده، استفاده شده است. این داده‌ها دارای دقت مکانی یک درجه بوده و به صورت آنلاین از طریق آدرس

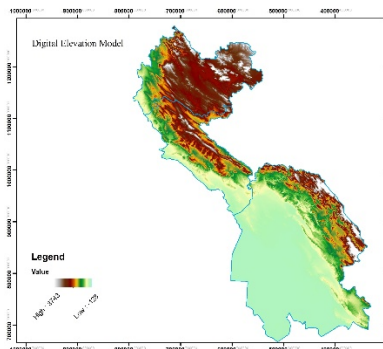
ftp://www.daac.ornl.gov/data/global_soil/WebbRosenzweig قابل دستیابی می‌باشند. داده‌های پروفیل سطح خاک

درصد رس، سیلت و شن موجود در لایه‌های مختلف سطح زمین را ارائه می‌دهد (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه‌های مربوط به درصد رس (A)، درصد شن (B) و درصد سیلت (C)

نقشه DEM از پایگاه ASTER استخراج شده که دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و مربوط به سال‌های مورد مطالعه است (شکل ۳). مدل‌سازی بر اساس میانگین داده‌های روزانه برای دوره ۴ ساله (۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶) صورت گرفته است.



شکل ۳- مدل رقمی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

جهت شناسایی گردوغبار از تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده توسط سنجنده MODIS ماهواره Terra و ماهواره Aqua، ناسا با قدرت تفکیک زمینی ۱ کیلومتر در تاریخ‌های مورد نظر استفاده شد. جهت مقایسه با AOD محاسباتی حاصل از مدل DREAM، تصاویر مربوط به شاخص AOD تهیه شد.

روش‌های ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل از دو روش پارامتر آماری R^2 که ضریب همبستگی یا تعیین χ^2 و شاخص خطای جذر میانگین مربعات^۳ استفاده می‌شود. که ضریب همبستگی بیانگر میزان احتمال همبستگی میان دودسته داده در آینده می‌باشد. این ضریب در واقع نتایج تقریبی پارامتر مورد نظر در آینده را بر اساس مدل تعریف شده که منطبق بر داده‌های موجود است، بیان می‌دارد. این پارامتر به ما این امکان را می‌دهد که تعیین کنیم چقدر می‌توان به پیش‌بینی یک مدل یا نمودار مطمئن بود. مقدار R^2 بین -۱ تا +۱ می‌تواند می‌باشد که به معنای همبستگی منفی یا مثبت است. ضریب همبستگی از فرمول زیر محاسبه خواهد شد:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right)$$

که در آن، n تعداد نقاط داده در اختیار و S انحراف معیار می‌باشد.

از شاخص دیگری که بهره برده شده است، شاخص خطای جذر میانگین مربعات می‌باشد که یک معیار خطای پرکاربرد برای اندازه‌گیری دقت است. این شاخص، ابتدا اختلاف تک تک مقادیر مشاهده شده را با مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله مدل محاسبه نموده و به توان دو می‌رساند. از این اختلافات میانگین گرفته و در نهایت جذر عدد میانگین را ارائه می‌دهد که همان RMSE است، این شاخص معیاری برای دقت نتایج است و معمولاً هر چه مدل بهتر بر داده‌ها منطبق باشد مقدار آن کمتر می‌شود. شاخص خطای جذر میانگین مربعات از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

³ Coefficient of Determination

⁴ Root mean square error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{3T} \sum_{(n)} \Delta t_n \cdot (\Delta u_n^2 + \Delta u_{n+1}^2 + \Delta u_n \cdot \Delta u_{n+1})}$$

نتایج و بحث

پس از جمع‌آوری داده‌های موردنیاز، مدل DREAM 8b در نرم‌افزار MATLAB برای هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیکی پیاده‌سازی گردید و مقادیر AOD حساب شد. نتایج به‌دست‌آمده میزان R^2 قابل قبولی را نشان می‌دهند بطوریکه R^2 میانگین کل داده‌ها برای همه‌سال‌های مورد مطالعه ۰,۸۳۴ به‌دست‌آمده است. که این رقم حاکی از سنخیت خوب متغیر پیوسته (AOD مدل شده) با متغیر مستقل (MODIS AOD) می‌باشد. در شکل (۶)، نمودارهای Scatter برای مقادیر AOD حاصل از مدل‌سازی و مقادیر AOD تصاویر مادیس نشان داده شده است. میزان R^2 و معادله شیب‌خط برای هر نمودار نیز اضافه شده است.

مقدار ۰,۸۳ برای دودسته داده این پژوهش به این معنی است که ۸۵٪ کل تغییرات می‌تواند از طریق ارتباط خطی بین X و Y (از طریق معادله رگرسیون) تعریف شود و ۱۷٪ از متغیرهای Y تعریف نشده باقی می‌مانند. به عبارتی دیگر ۱۷٪ از متغیرهای AOD به‌دست‌آمده از مدل DREAM 8b نمی‌توانند با این مدل تعریف شوند. این درصد از خطا در مقایسه با پدیده گردوغبار که در سطوح کلان اتفاق می‌افتد و همچنین وسعت منطقه مورد مطالعه می‌تواند قابل قبول باشد و گویای موفقیت مدل DREAM 8b در محاسبه AOD می‌باشد.

مشاهده بصری روند AOD محاسبه شده و AOD به‌دست‌آمده از مادیس به صورت هم‌زمان و برای تمامی ایستگاه‌ها در ماه‌های مختلف در یک نمودار، می‌تواند دید کامل‌تری راجع به کارایی مدل پیاده‌سازی شده به ما بدهد. چراکه اگر مقادیر حساب شده روندی **متغایر** با روند داده مبنای ما داشته باشد، بیانگر این است که

تفاوت‌های محیطی در مدل DREAM 8b لحاظ نشده است. در شکل (۸)، نمودار روند داده‌های مدل شده و مبنای برای هر یک از ماه‌های مورد مطالعه و همچنین برای داده‌های کل هر یک از فاکتورها به‌طور رسم شده‌اند و نوسانات داده مدل شده بر حول خط داد مبنای کم و قابل قبول می‌باشد. (شکل ۴)

در تمامی نمودارهای شکل (۵) می‌توان ملاحظه نمود که میزان AOD تقریباً در تمامی ایستگاه‌های ایلام و کرمانشاه از نوسان بسیار پایینی برخوردار است به جز ایستگاه دهلران در استان ایلام که برخلاف ایستگاه‌های مجاور در همه نمودارها عدد بالایی را به خود گرفته است. به جز این ایستگاه که از توپوگرافی همواری برخوردار است و گردوغبار به آسانی اجازه نفوذ به آن را دارد، در مابقی ایستگاه‌های این دو استان شرایط همواره یکسان است، همان‌گونه که توپوگرافی نزدیک به هم نیز دارند.



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری

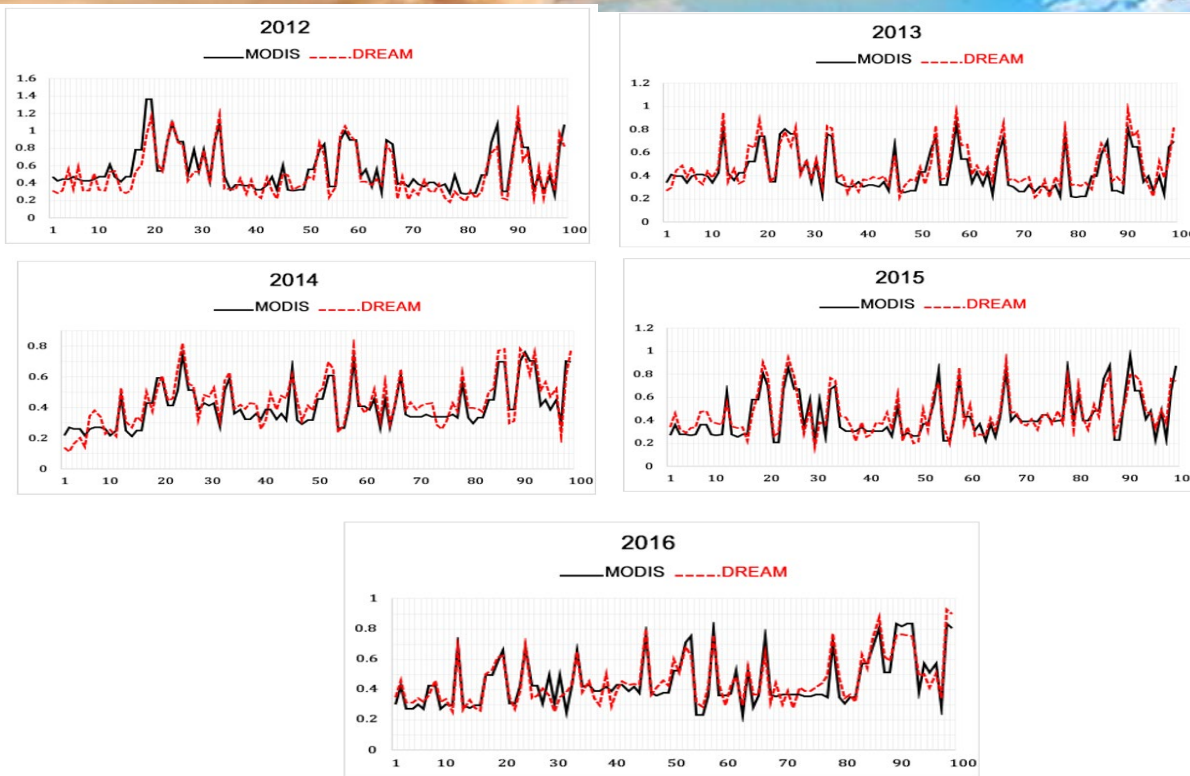
با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

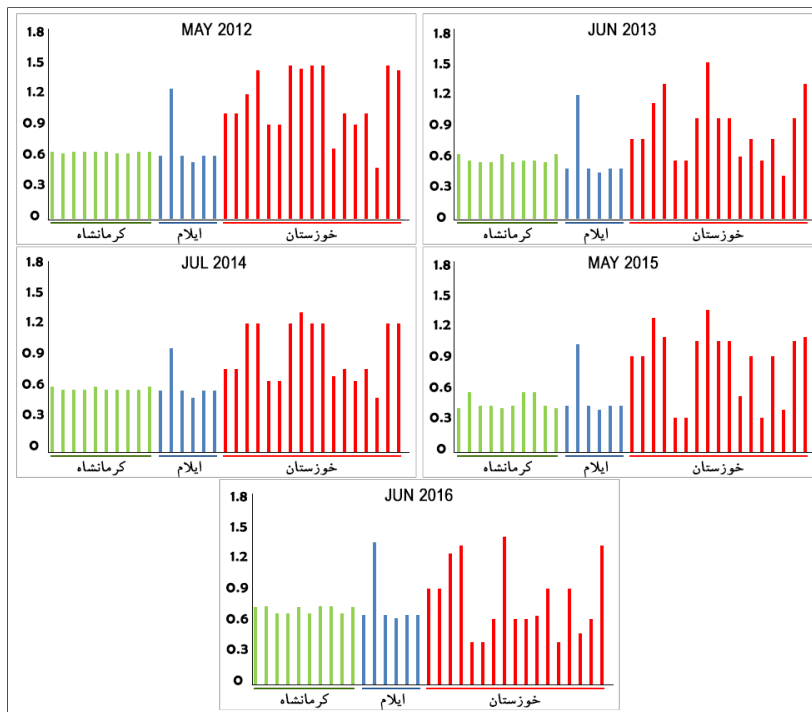
۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



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



شکل ۴: نمودارهای روند داده‌های مدل شده و مادیس (مبنا)



شکل ۵: نمودار میله‌ای میزان AOD در سه استان خوزستان، ایلام و کرمانشاه. جهش میله‌های نمودار در ایستگاه‌های سینوپتیکی استان خوزستان میزان غلظت و نوسان بالای گردوغبار را در این استان نشان می‌دهد.



با نتایج تحقیقات دیگران مقایسه ای صورت نگرفته است

نتیجه گیری:

نتایج نشان می دهد مقادیر R^2 به طور کلی، ۸۳٪ از داده های مینا به واسطه مدل استفاده شده قابل تعریف می باشند و تنها ۱۷٪ از آن ها غیر قابل تعریف، که بر اساس استاندارد این پارامتر آماری، عدد قابل قبولی است. خطای جذر میانگین مربعات یا RMSE مهم ترین پارامتر آماری در زمینه مقایسه داده پیش بینی شده و داده واقعی به شمار می رود. میزان RMSE به معنای اندازه تفاوت موجود بین دو داده است. میانگین این پارامتر برای کل داده های این پژوهش ۱۷٪ به دست آمده است که بیانگر میزان تفاوت پایین بین داده پیش بینی شده و داده واقعی است. در ادامه ارزیابی کارایی مدل، نمودار خطی روند هر دو داده در کنار هم ترسیم شده اند تا میزان نوسانات آن ها نسبت به هم دیگر به راحتی قابل رؤیت باشد. نمودارهای شکل شماره ۵ نشان دهنده میزان نوسان کم داده های پیش بینی شده حول خط روند داده های واقعی می باشد. علاوه بر نوسان کم، شکل ظاهری خطوط نیز تفاوت چندانی باهم ندارند و به طور کلی روند واحدی را نشان می دهند و در طول مسیر اندکی بالا و پایین یکدیگر در حال نوسان می باشند.

منابع

- رحیمی محمد، محمدرضا یزدانی، مسلم اسدی و محمد طالب حیدری. ۱۳۹۴. بررسی آلودگی هوای شهر سنندج با تأکید بر تغییرات زمانی غلظت PM10. پژوهش های بوم شناسی شهری، ۶: ۹۹-۱۱۶.
- تقوی، فرحناز، اولاد، صفر راد، طاهر & ایران نژاد. (۲۰۱۳). تشخیص و پایش توفان گردوغبار غرب ایران با استفاده از روش های سنجش از دور. فیزیک زمین و فضا. 96-83.
- Bagnold, R. A. The physics of blown sand and desert dunes: Courier Dover Publications, 978-94-009-5684-1. (1941).
- Balis D., Giannakaki E., Amiridis V., Perez C., Basart S., "Saharan dust observations over Thessaloniki using backscatter/Raman lidar and BSC/DREAM model", Proceedings of the 8th International Symposium on Tropospheric Profiling, ISBN 978-90-6960-233-2, 2009
- Change, I. P. O. C. (2007). Climate change 2007: the physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996.
- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J. M., Holben, B., Dubovik, O., & Lin, S.-J. (2001). Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. Journal of Geophysical Research, 106(D17), 20255-20220, 20273.
- Marticorena, B., & Bergametti, G. (1995). Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. Journal of Geophysical Research, 100(D8), 16415-16416, 16430
- Morain, S.A. and Budge, A.M. (2008) "Verification and Validation of Desert Dust Forecast and Their Impact on Research Health Applications in the Southwestern United States", the International of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial



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

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



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

Tegen, I., Werner, M., Harrison, S. P. and Kohfeld, K. E. 2004. Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission. *Geophysical Research Letters*, 31(5)

Tegen, I., Harrison, S. P., Kohfeld, K., Prentice, I. C., Coe, M., & Heimann, M. (2002a). Impact of vegetation and preferential source areas on global dust aerosol: Results from a model study. *Journal of Geophysical Research*, 107(D21), 4576