



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پنجم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.5, No.2, Summer 2013

۹۵-۱۱۴

مدل سازی مکانی - زمانی وقوع طوفان های گردوغبار در استان خوزستان

حسین علی بهرامی^{۱*}، محبوبه جلالی^۲، علی درویشی بلورانی^۳، رسول عزیزی^۴

۱. دانشیار گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. دانشجوی دکتری شیمی و حاصل خیزی خاک، گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۳. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
۴. دانشجوی دکتری هوش مصنوعی، گروه هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه شاهرود

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۹/۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۶/۲۵

چکیده

در سال های اخیر وقوع طوفان های گردوغبار به بحران جدی منطقه ای تبدیل شده است. استان خوزستان، از مناطقی است که تحت تأثیر این پدیده قرار دارد. پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی در وقوع این طوفان ها نقش مهمی دارند. در این تحقیق، تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی و ارتباط آن ها با پدیده آمدن طوفان های گردوغبار بررسی شد. بدین منظور، داده های اقلیمی (سرعت باد، دما، بارندگی، درصد رطوبت نسبی)، و فراوانی وقوع ریزگردها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ ارزیابی شد. با استفاده از تصاویر مودیس، شاخص NDVI برای هر ماه طول این دوره استخراج و سپس واسطه یابی داده ها با روش کریجینگ انجام شد. بعد از انجام پیش پردازش، داده ها به ماتریس های ۱۸ × ۱۹ تبدیل شدند. مدل رگرسیون خطی ای چندمتغیره (از لحاظ پارامتر) بین پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی (متغیرهای مستقل) و فراوانی طوفان های گرد و غبار برای هر پیکسل (المان ماتریس) تخمین زده شد. براساس مدل های به دست آمده، بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده در تمام ماه ها به جز خرداد، انطباق (۹۶/۰ درصد) وجود دارد. تفسیر نقشه های خاک، کاربری اراضی، و نوع پوشش گیاهی، از وجود خاک های شور و قلیا با قابلیت انتشار زیاد به هوا در مناطق جنوبی استان نشان دارد که باعث ایجاد بالاترین پتانسیل وقوع گرد و غبار با منشأ داخلی در این مناطق شده است. نتایج تست اعتبارسنجی برای همه انواع خاک، نشان داد که بیشترین دقت، به خاک های شور و قلیا و کمترین دقت، به خاک های باتلاقی شور و تپه های شنی ربط دارد. بنابراین، تخریب پوشش گیاهی به طور مؤثری فراوانی طوفان های گردوغبار با منشأ داخلی را در استان خوزستان تحت تأثیر قرار داده است و خاک های شور و قلیا بیشتر از سایر خاک ها مستعد رهاسازی ذرات غبار به جو هستند.

کلیدواژه ها: گرد و غبارهای داخلی، پارامترهای اقلیمی، مودیس، مدل سازی مکانی - زمانی، خوزستان.

* نویسنده مکاتبه کننده: بزرگراه تهران کرج، بولوار پژوهش، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه خاک شناسی. تلفن: ۰۹۱۲۱۳۰۷۳۶۴

۱- مقدمه

زمین مناطق مستعد طوفان‌های گرد و غبار، ارتباط زیادی با پوشش گیاهی، بافت خاک، و میزان مناطق بایر و خشک دارد. شی و ژائو (Shi and Zhao, 2003) با معرفی سیستمی برای پیش‌بینی وقوع طوفان گرد و غبار، فاکتورهایی مثل نوع خاک، ویژگی‌های پوشش گیاهی، نوع کاربری اراضی، و مقدار رطوبت خاک سطحی را به‌عنوان پارامترهای مهم در ساخت مدلی مناسب برای پیش‌بینی فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در نظر گرفتند. همچنین کی‌آن و دیگران (Qian et al., 2004) بیان داشتند که زمین‌های بایر، پتانسیل بالایی برای به‌وجود آوردن ریزگردها دارند. به‌طور کلی، عوامل مؤثر در شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار، فقط شرایط محیطی، اقلیم، و پوشش گیاهی نیست بلکه این‌گونه طوفان‌ها ارتباط نزدیکی با میزان فرسایش خاک سطحی دارند (In and Park, 2003). در سال‌های اخیر، تحقیقات سیستماتیک و اصولی روی طوفان‌های گردوغبار انجام شده است (Shao and Wang, 2003). اغلب این مطالعات از نظر پایش و مدل‌سازی این‌گونه طوفان‌ها، با استفاده از مدل‌های عددی پیشرفته (Shao et al., 2003; Park et al., 2003; Ginoux et al., 2004)، داده‌های سنجش از دور (Prospero et al., 2002) و GIS انجام شده است. ویژگی‌های مکانی و زمانی وقوع این‌گونه طوفان‌ها، در مطالعات زیادی بررسی شده است (Gao et al., 1997) اما مدل‌سازی زمانی و مکانی پارامترهای مؤثر بر این‌گونه طوفان‌ها موضوعی است که باید بیشتر به آن پرداخته شود. در این مطالعه، ارتباط بین پارامترهای اقلیمی مثل بارندگی، دما، سرعت باد، درصد رطوبت نسبی، و ویژگی‌های سطحی زمین، مثل نوع بافت خاک و پوشش گیاهی با فراوانی طوفان‌های گرد و غبار مطالعه شده است. تکنولوژی سنجش از دور، GIS و تحلیل اطلاعات اقلیمی برای آنالیز تأثیر اقلیم و نوع پوشش گیاهی بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار استفاده شده است. هدف اصلی این تحقیق، بررسی و مدل‌سازی ارتباط بین فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار داخلی در استان خوزستان با تغییرات مکانی - زمانی

طوفان‌های گرد و غبار، نوعی از بلایای طبیعی هستند که اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک اتفاق می‌افتند. فراوانی طوفان‌های گرد و غبار، ارتباط نزدیکی با شرایط اقلیمی محلی مثل بارندگی، دما، و همچنین ویژگی‌های سطحی زمین مثل پوشش گیاهی و بافت خاک دارد (Nickling and Brazel, 1989, Sun et al., 2003). علاوه بر این، پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، حساسیت بالایی به میزان بارندگی دارد و حتی تغییری کوچک در میزان بارندگی، به‌طور معنی‌داری پوشش گیاهی سطح زمین را به‌خصوص در فصل رشد تغییر می‌دهد (Malo and Nicholson, 1990, Nicholson and Farrar, William and Thomas, Grist et al., 1997). سرعت باد، مؤلفه مهم بعدی برای تولید و حمل گرد و غبار است (Kurosaki and Mikamil., 2003). هنگامی که سرعت باد به حد آستانه می‌رسد - که تابعی از ویژگی‌های سطح زمین است - ذرات ممکن است به‌وسیله سه فرایند خزش، جهش، و تعلیق حرکت کنند و به مسافت‌های دور منتقل شوند (Gillette 1981, Li et al., 2002). پژوهش‌های گسترده‌ای به نقش پارامترهای اقلیمی بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار پرداخته‌اند (Qian et al., 2002, In and Park, 2002). برخی مطالعات نشان داده‌اند که اغلب، بین فراوانی طوفان‌های گرد و غبار و پارامترهای اقلیمی ارتباط معنی‌داری وجود ندارد (Hu et al., 2001, He et al., 2003, Wang et al., 2004). این موضوع نشان می‌دهد که مؤلفه‌های دیگری هم بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار مؤثرند. وانگ و دیگران (Wang et al., 2001) نشان دادند که پدید آمدن طوفان‌های گرد و غبار نیاز به بادی شدید، و منبع غنی‌ای از ذرات ریز و شرایط اتمسفری ناپایدار دارد. فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در خوزستان به‌طور عمده در تابستان بیش از زمان‌های دیگر است و شدت آن نیز با بادهایی که از شرق می‌وزند افزایش می‌یابد. لندکاستر و لین و همکاران (Landcaster, 1998 and Lin et al., 1999) بیان داشتند که ویژگی‌های سطح

مدل‌سازی مکانی - زمانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در استان خوزستان

به‌عنوان پارامترهای نسبتاً استاتیک بررسی شدند. فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار به‌عنوان متغیر وابسته، و پارامترهای دینامیک و استاتیک به‌عنوان متغیرهای مستقل، در این تحقیق بررسی و مدل‌سازی مکانی - زمانی شدند. وقوع این‌گونه طوفان‌ها در ایستگاه‌های ماه‌شهر، آبادان، اهواز، بستان و بهبهان بیشترین فراوانی را دارد، که تبیین آن از اهداف این تحقیق است.

۲-۱- پارامترهای نسبتاً دینامیک

در پژوهش حاضر، اطلاعات آمار هواشناسی استان خوزستان، در دوره آماری ۹ ساله (۲۰۰۸-۲۰۰۰) از ۱۴ ایستگاه سینوپتیک در استان خوزستان دریافت شد. این اطلاعات، شامل داده‌های ماهانه میانگین درجه حرارت، بارندگی، سرعت باد، فراوانی وقوع ریزگردها، و رطوبت نسبی هوا بودند. علاوه بر این، سایر اطلاعات مورد نیاز از طریق بررسی نقشه‌های خاک، کاربری اراضی، و نوع پوشش گیاهی تهیه شدند. شاخص پوشش گیاهی استفاده‌شده در این تحقیق NDVI است که برای استخراج این شاخص از داده‌های سنجنده MODIS برگرفته از سایت مودیس استفاده شد.

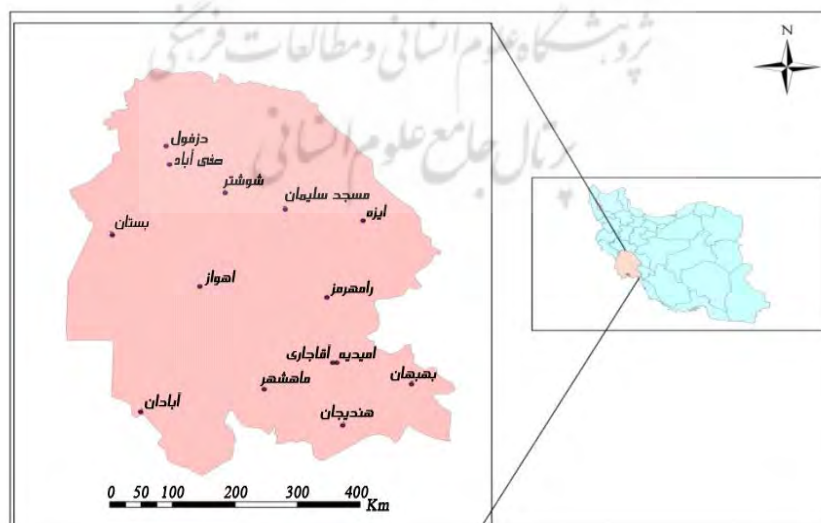
پارامترهای اقلیمی، پوشش گیاهی، و نوع خاک است. بنابراین، تغییرات زمانی و مکانی وضعیت اقلیمی و پوشش گیاهی در کانون‌های ایجاد گرد و غبار بررسی شد. همچنین، پهنه‌بندی اقلیمی و پوشش گیاهی کانون‌های ایجاد گرد و غبار صورت گرفت و سرانجام، وجود ارتباط بین پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی با وقوع این‌گونه طوفان‌ها تعیین گردید.

۲- مواد و روش‌ها

استان خوزستان واقع در جنوب غربی ایران بین مختصات جغرافیایی 32° 47° طول جغرافیایی تا 39° 50° طول جغرافیایی و از 29° 57° عرض جغرافیایی تا 33° 00° عرض جغرافیایی قرار دارد (شکل ۱).

در این تحقیق، برای تعیین پارامترهای تأثیرگذار بر فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار و مدل‌سازی رفتار زمانی - مکانی آن‌ها، این پارامترها در تقسیم‌بندی کلی به دو دسته نسبتاً دینامیک و نسبتاً استاتیک تفکیک گردیدند. سرعت باد، بارندگی، دما، درصد رطوبت نسبی، و NDVI به‌عنوان پارامترهای نسبتاً دینامیک تعیین شدند.

ویژگی‌های سطحی زمین، مثل نوع خاک، اراضی، شوری و قلیایی بودن خاک، و نوع پوشش گیاهی

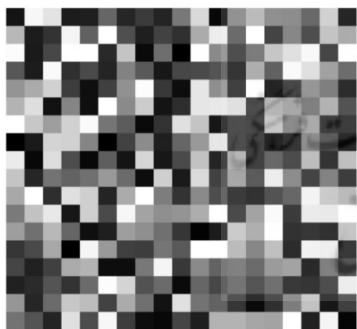


شکل ۱. موقعیت و نام ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعه‌شده

داده‌های اقلیمی

به صورت معادلات خطی و غیرخطی وجود دارد (Walford, 1995). چند نمونه از این شاخص‌ها و روابط، از جمله ضریب همبستگی، رگرسیون دومتغیره، و رگرسیون چندمتغیره کاربردهای بیشتری دارند. روش‌های گوناگون (از جمله تست نرمالیتی) کارایی‌های متفاوتی دارند و گاه نتایج متفاوتی نیز ارائه می‌کنند. در بررسی نرمال بودن داده‌ها، از سه روش متفاوت برای تست نرمالیتی استفاده شد. این روش‌ها عبارت‌اند از: Kolmogorov-smirnov, Shapiro-Wilk, و روش Q-Q. PLOT. نتایج نرمال‌سازی داده‌ها بیانگر آن است که داده‌ها کاملاً نرمال‌اند و می‌توان از آن‌ها در تجزیه و تحلیل استفاده کرد.

بعد از عملیات درون‌یابی، داده‌های ایستگاهی اقلیمی به صورت رستری تهیه شدند. سپس تمام داده‌های اقلیمی و شاخص پوشش گیاهی ماهانه، هم‌مختصات شدند. بعد از استخراج NDVI به صورت ماهانه، میانگین ماهانه طی ۴ سال ۲۰۰۵ و ۲۰۰۳ و ۲۰۰۱ و ۲۰۰۷ به دست آمد. در آخر، تمام NDVI‌های نهایی به صورت ماتریسی ۱۹×۱۸ تهیه گردیدند (شکل ۲).



شکل ۲. نمونه ماتریس ۱۹×۱۸ استفاده‌شده در محاسبات

به این ترتیب، ۲۸۸ لایه رستری برای تحلیل‌های بعدی فراهم شد. سپس، برای هر پیکسل، با رگرسیون خطی چندمتغیره، مدلی که ارتباط بین متغیر وابسته، یعنی فراوانی وقوع ریزگردها را با متغیرهای مستقل، مثل شاخص سبزی‌نگی گیاه، دما، بارندگی، سرعت باد، و مقدار رطوبت نسبی هوا می‌سنجد، به دست آمد.

داده‌های اقلیمی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ به صورت ماهانه و از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ به صورت روزانه بوده است که بعد از دریافت به صورت ماهیانه همسان‌سازی شدند. همچنین، تمام داده‌های فراوانی طوفان‌های گرد و غبار (DSF) به صورت روزانه و ترکیبی از کدهای ۷ و ۶ بودند که از بین این داده‌ها، فقط داده‌های با کد ۷، که نشان‌دهنده گرد و غبارهای محلی ایجادشده به وسیله باد در ایستگاه و با نزدیکی آن در ساعت دیده‌بانی هستند، انتخاب شدند. برای تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به اطلاعات سطح، از تکنیک مبتنی بر کریجینگ استفاده گردید.

شاخص NDVI

به دلیل تأثیرات اتمسفر در هنگام ثبت انرژی دریافتی از سطح زمین به وسیله سنجنده‌ها، ناهمواری و حرکت زمین، و نیز وضعیت هندسی ماهواره در فضا و کارکرد دستگاه‌های الکتریکی و اپتیکی نصب‌شده در سنجنده‌ها، معمولاً تصویر ماهواره‌ای رقومی خطاهایی دارد. عملیات تصحیح خطاهای موجود در تصویر، بخش مهمی از عملیات پیش‌پردازش را تشکیل می‌دهد (Mather, 1987). بعد از انجام پیش‌پردازش‌های مورد نیاز، NDVI ماهانه طی ۹ سال به تعداد ۱۰۸ لایه اطلاعاتی تهیه شد.

۲-۲- مدل‌سازی

مدل‌ها، صورت ساده‌شده‌ای از پدیده‌های پیچیده طبیعت هستند و تصمیم‌گیری درباره سطح ساده‌سازی و پیچیدگی آن‌ها، به هدف وابسته است (Gebhardt and Bandermer, 2000). از مهم‌ترین مواد مطالعات پارامترهای اقلیمی، شناخت روابط موجود بین متغیرهای مطالعه‌شده است. با مدل‌کردن روابط بین این متغیرها، می‌توان فراوانی پدید آمدن طوفان‌ها را بهتر شناسایی و پیش‌بینی کرد (Sun, 2001). روابط آماری متعددی برای شناخت رابطه بین متغیرها

به‌منظور تحلیل و معنی‌دار بودن کلی رگرسیون‌ها، روش آنالیز واریانس استفاده شد. در ادامه، برای درک معنی‌دار بودن اثر متغیرهای دما، بارندگی، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، و پوشش گیاهی بر متغیر وابسته فراوانی طوفان‌های گرد و غبار و همچنین اطمینان از صحت تأثیرات هر یک از متغیرهای فوق، با فرض ثابت نگه‌داشتن سایر متغیرها، از آزمون معنی‌داری ضرایب جزئی رگرسیونی (t) استفاده شد که به‌عنوان نمونه، در زیر پیکسل (۱۵ و ۱۲) ضرایب آن آمده است (جدول ۱ و رابطه ۱). میانگین این ضرایب در همه پیکسل‌ها، همان توان‌های معادله نهایی هستند.

رابطه (۱)

$$|y| = b_0 (|x_1| + 1)^{b_1} (|x_2| + 1)^{b_2} \dots (|x_5| + 1)^{b_5} - 1$$

در رابطه (۱)، X_1 ، سرعت باد؛ X_2 ، بارندگی؛ X_3 ، دما؛ X_4 ، درصد رطوبت نسبی؛ و X_5 ، NDVI است. در این روش به هر یک از متغیرهای اقلیمی مثل سرعت باد، بارندگی، دما، درصد رطوبت نسبی، و پوشش گیاهی، ضریبی اختصاص یافت. همچنین، فراوانی طوفان‌های گرد و غبار به‌عنوان متغیر وابسته و هریک از پارامترهای ذکر شده در بالا، به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. برای هریک از متغیرها، نموداری ترسیم شد که در نمودارهای به‌دست‌آمده در محور افقی به ترتیب ماه‌های سال در ۴ سال (در جمع ۴۸ ماه) و در محور عمودی مقادیر متغیرها قرار گرفتند.

همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد، علاوه بر مؤلفه‌های اقلیمی و پوشش گیاهی، بافت خاک هم از دیگر عوامل تأثیرگذار در فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار است. بر همین اساس، داده‌های نوع خاک‌های استان خوزستان هم، به‌صورت رستری تهیه گردیدند. خاک‌های این استان به ۱۰ دسته طبقه‌بندی شد. در مرحله بعد، برای هر نوع خاک، میانگین مدل‌های رگرسیونی تهیه‌شده براساس پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی، محاسبه و در نهایت برای هر نوع خاک یک مدل برازش داده شد. به این ترتیب، به تعداد کلاس‌های خاک، مدل تهیه شد که در این مدل‌ها علاوه بر پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی، نوع خاک هم در نظر گرفته شد.

تمام اطلاعات پارامترهای اقلیمی و شاخص پوشش گیاهی که به‌صورت ماتریس درآمده بودند، برای انجام تحلیل‌های آماری به نرم‌افزار MATLAB وارد گردید و برای هر پیکسل، متغیرهای دما، بارندگی، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، و پوشش گیاهی تعیین شد. سپس، بعد از رفع هم‌خطی، همبستگی، و واریانس ناهمسانی و غیرهمگنی بین متغیرهای فوق به‌عنوان فرض‌های استفاده از روش رگرسیون چندگانه برای پیش‌بینی اثر متغیرهای مذکور بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار برای هر پیکسل، از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد. در ادامه، با میانگین‌گیری از تخمین مدل‌های رگرسیونی همه پیکسل‌های فوق در کلاس‌های متفاوت خاک، مدل رگرسیون خطی چندمتغیره دیگری در هر کلاس خاک تخمین زده شد. برای درک دقیق برازش خطوط رگرسیونی مذکور، از معیار R^2 ضریب تبیین و R^2 تعدیل‌شده و همچنین

جدول ۱. ضرایب نمونه‌ای از پیکسل‌ها به‌طور تصادفی

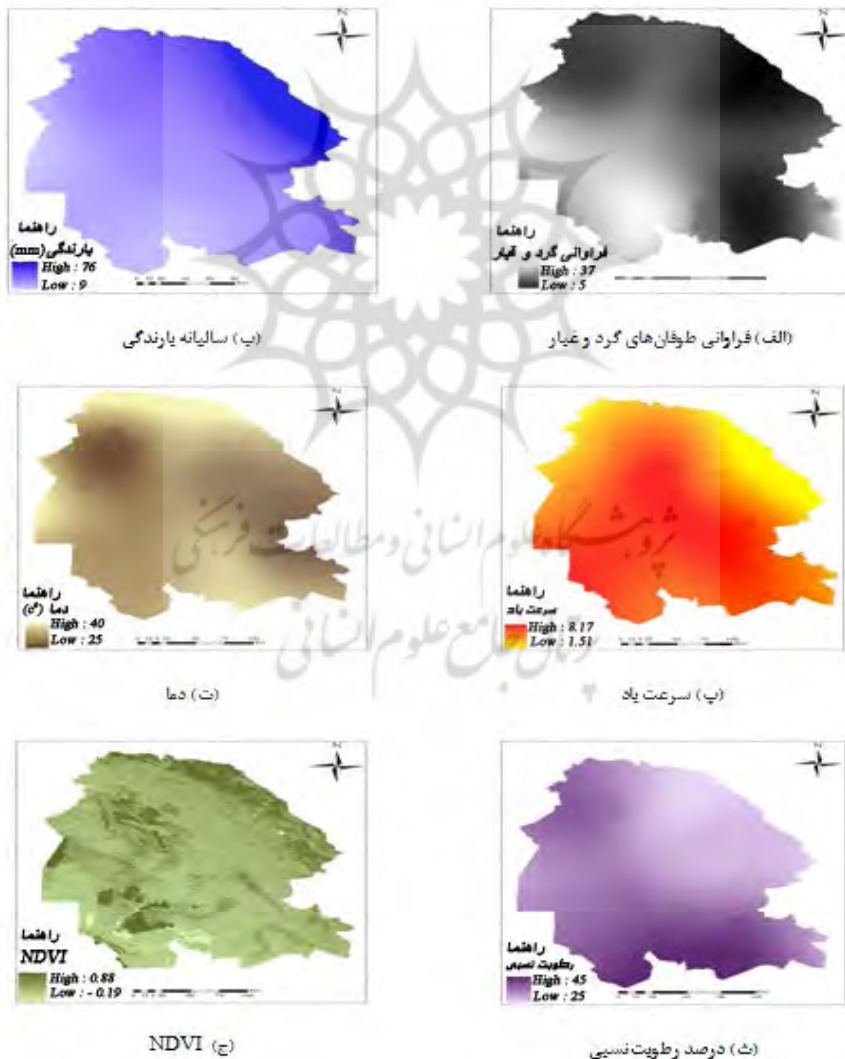
پیکسل	ضریب ثابت	ضریب سرعت باد	ضریب بارندگی	ضریب دما	ضریب رطوبت	ضریب NDVI
(15,12)	6864/3	3380/1	0338/0	4489/0	7511/0-	4881/0-

اعتبارسنجی مدل

برای ارزیابی مدل‌های تهیه‌شده، از میانگین ماهانه داده‌های ۵ سال ۲۰۰۰، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ به‌عنوان سال‌های تست استفاده شد. به این ترتیب که برای هر ماه به‌طور جداگانه فراوانی طوفان‌های گرد و غبار براساس متغیرهای مستقل پیش‌بینی و درنهایت، ۷۲ لایه رستری به‌صورت ماتریس‌های 19×18 تهیه شد. شایان ذکر است که کلیه محاسبات برای استخراج مدل و همچنین تست مدل به‌دست‌آمده در محیط نرم‌افزار MATLAB 7.12.0 (R2011a) کدنویسی شد.

۳- نتایج

فراوانی طوفان‌های گرد و غبار همان‌گونه که در شکل ۳-الف نشان داده شده است در حاشیه جنوبی و جنوب‌غربی خوزستان بیش از سایر مناطق است. مناطقی که فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در آنها زیاد است، در مقایسه با بقیه مناطق بارندگی کمتری در طول سال دارند. میانگین سالیانه بارندگی در این مناطق به‌ندرت از ۸۰ میلی‌متر بیشتر شده و مطابق شکل ۳، روند فراوانی طوفان‌های گرد و غبار به‌طور بسیار آشکاری از روند بارندگی در این استان پیروی می‌کند (شکل ۳-ب).



شکل ۳. میانگین سالیانه پارامترهای اقلیمی، وقوع طوفان‌های گرد و غبار، و NDVI

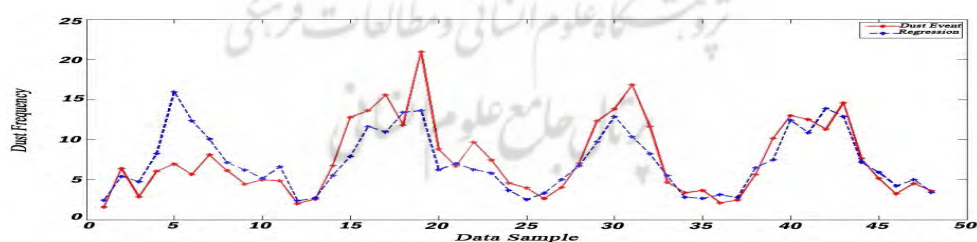
۳-۱- اثر پارامترهای اقلیمی بر فراوانی طوفان های گرد و غبار

بادهای منطقه خوزستان در اثر تغییرات فشار هوا در فصل های گوناگون سال به وجود می آیند. مناطق متأثر از بادهای شدید، شامل قسمت های شمال غربی خوزستان به خصوص پیرامون دزفول و صفی آباد هستند که این بادهای به خصوص در فصل تابستان، بسیار دیده می شود. در قسمت های شمالی، غربی و جنوب شرقی خوزستان، سرعت باد بیشتر از سایر مناطق است. نقشه باد منطقه نشان می دهد که تقریباً در مناطقی که طوفان های گرد و غبار بیشتر اتفاق می افتند، سرعت باد بیشتر است و بادهای با سرعت بالا تقریباً در امتداد شمال به جنوب در این استان نمایان گشته اند (شکل ۳-پ). همچنین، در قسمت های مرکزی، غربی، و جنوب غربی خوزستان با بالاترین میزان دما، فراوانی وقوع این طوفان ها به طور معنی داری بیشتر از سایر مناطق است (شکل ۳-ت). بررسی نقشه درصد رطوبت نسبی در شکل ۳-ث نشان می دهد که کمترین رطوبت نسبی سالیانه در استان خوزستان به ترتیب در قسمت های شمال شرقی و غرب دیده می شود. شکل ۳-ج میانگین سالیانه NDVI در استان خوزستان را نشان می دهد. مناطقی که در نقشه با رنگ تیره تر نمایش داده شده اند، از نظر سبزیگی پوشش گیاهی در

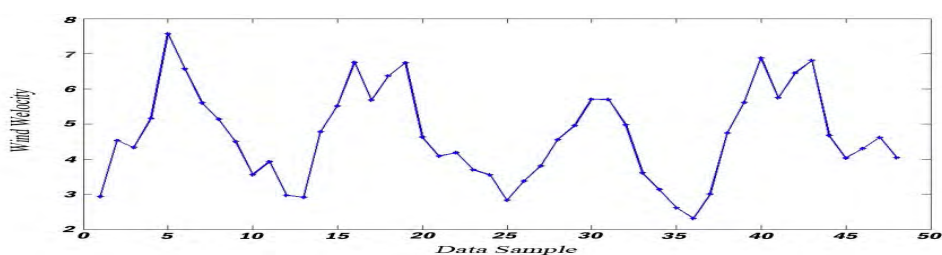
مقایسه با سایر مناطق که با رنگ روشن مشخص شده است، غنی تر هستند. به طور کلی، قسمت های جنوبی و غربی و مرکزی استان خوزستان، در مقایسه با قسمت های دیگر پوشش گیاهی ضعیف تری دارند. نکته شایان ذکر این است که در قسمت های شمالی و شمال شرقی و همچنین قسمت هایی از شمال غربی استان که کمترین فراوانی طوفان های گرد و غبار وجود دارد، بیشترین میزان پوشش گیاهی به چشم می خورد.

در شکل ۴ فراوانی ماهانه تعداد واقعی و پیش بینی شده طوفان های گرد و غباری با استفاده از مدل، برای کل استان خوزستان برای سال های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ نشان داده شده است. در این نمودار، خط پیوسته قرمز رنگ، معرف مقدار واقعی فراوانی طوفان های گرد و غبار در زمان معین است و خط نقطه چین آبی رنگ، رگرسیون به دست آمده یا همان میزان پیش بینی شده مدل را در زمان معین نشان می دهد.

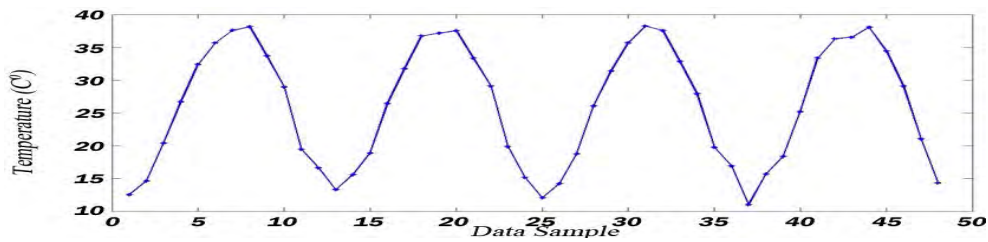
سرعت باد از دی ماه شروع به افزایش می کند و در تیرماه به حداکثر مقدار خود می رسد (شکل ۵). تغییرات دما در طی ۴ سال و در ماه های گوناگون روند منظم تری را نشان می دهد. تقریباً در همه سال ها، حداکثر فراوانی دما در تابستان، که حداکثر فراوانی ریزگردها وجود دارد، مشاهده می شود (شکل ۶).



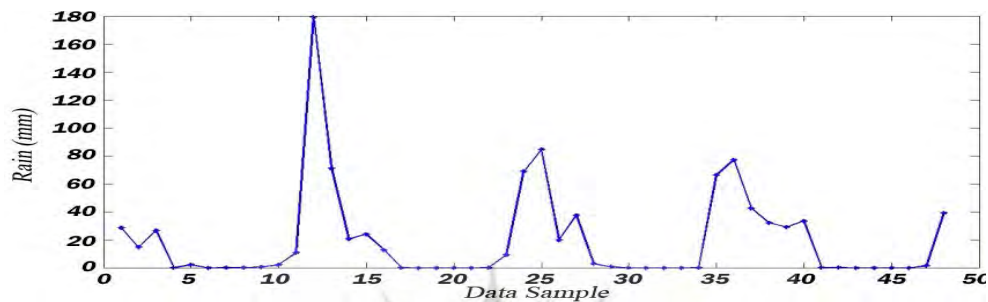
شکل ۴. متوسط فراوانی ماهانه و پیش بینی شده طوفان های گرد و غبار سال های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷



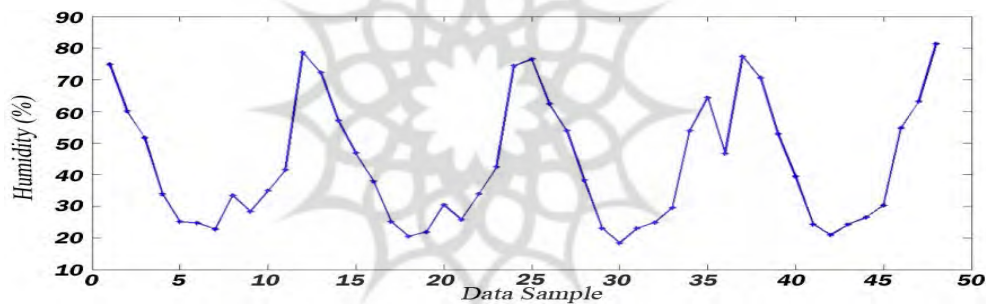
شکل ۵. متوسط سرعت باد ماهانه ۴ سال ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷



شکل ۶. متوسط دمای ماهانه ۴ سال ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷



شکل ۷. میزان بارندگی ماهانه ۴ سال ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷



شکل ۸. میزان درصد رطوبت اشباع ماهانه ۴ سال ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷

به طور کلی مدل به دست آمده برای هر پیکسل، فراوانی ماهانه طوفان های گرد و غبار را با فرض معلوم بودن متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی در هر سال پیش بینی می کند. سرانجام، معادله نهایی برای استان خوزستان براساس میانگین گیری از کل ۳۴۲ پیکسل موجود ارائه شد.

رابطه (۲)

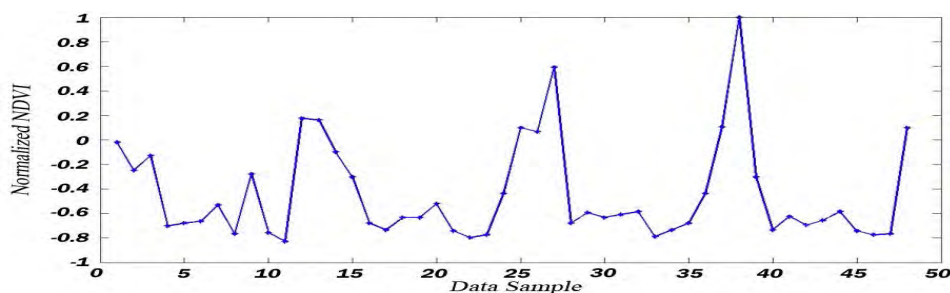
$$|y| = 39.9009 (|x_1| + 1)^{1/338} (|x_2| + 1)^{-1/338} (|x_3| + 1)^{-1/449} (|x_4| + 1)^{-1/511} (|x_5| + 1)^{-1/481} - 1$$

در رابطه (۲) X_1 = سرعت باد؛ X_2 ؛ بارندگی؛ X_3 ؛ دما؛ X_4 ؛ درصد رطوبت نسبی؛ و X_5 ؛ NDVI است.

در شکل های ۷ و ۸، پراکندگی ماهانه بارندگی و درصد رطوبت اشباع مشاهده می شود. از ماه خرداد تا مهر عدم تغییر بارندگی به چشم می خورد در این موقع از سال مقدار بارندگی ثابت است و ارتباط معکوسی بین این نمودار با فراوانی طوفان های گرد و غبار وجود دارد. درصد رطوبت نسبی هم در اواسط تابستان به کمترین مقدار خود و در آذرماه به حداکثر مقدار خود می رسد.

نمودار NDVI در مقایسه با سایر نمودارها نوسان بیشتری را نشان می دهد و در این سال ها بیشترین میزان سبزینگی گیاهان در اواسط زمستان تا اوایل بهار و کمترین میزان آن نیز از اواخر بهار تا اواسط تابستان دیده شد (شکل ۹).

مدل سازی مکانی - زمانی وقوع طوفان‌های گردوغبار در استان خوزستان

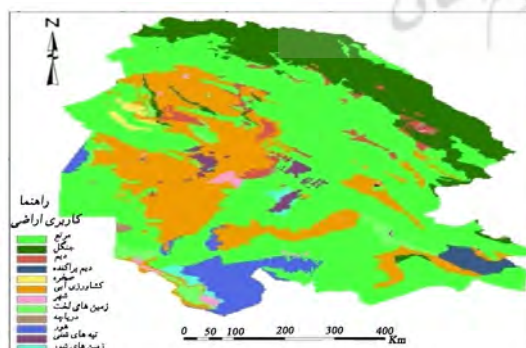


شکل ۹. میزان NDVI ماهانه ۴ سال ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷

استان، خاک‌های لیتوسل آهکی مشاهده می‌شود. در قسمت شمال غربی خوزستان هم تنوعی از خاک‌های رسوبی با بافت ریز، خاک‌های قهوه‌ای بیابانی، و خاک‌های رسوبی با بافت درشت دیده می‌شود.

کاربری اراضی

همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی استان خوزستان، تپه ماسه‌ها و زمین‌های لخت فاقد پوشش گیاهی به چشم می‌خورند. شایان ذکر است که کشاورزی در کل منطقه خوزستان به‌ویژه در قسمت‌های جلگه‌ای اهمیت ویژه‌ای دارد، ولی در اکثر مناطق، خاک عاری از هرگونه پوشش گیاهی و حفاظ در برابر بادهای با سرعت بالاست. همچنین در قسمت‌های شرقی و شمال شرقی استان، علاوه بر کشاورزی‌های آبی، کاربری اراضی عمدتاً با جنگل‌هاست.



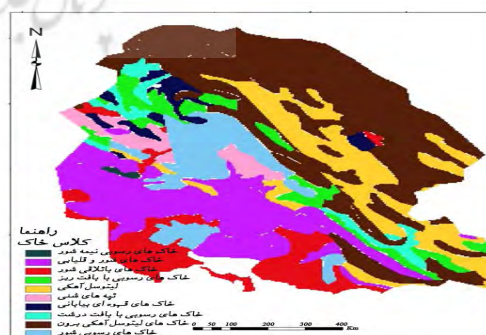
شکل ۱۱. نقشه کاربری اراضی

۲-۳- پارامترهای نسبتاً پایا در فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار

دسته دوم از پارامترهای تأثیرگذار بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار، ویژگی‌های سطحی زمین مثل نوع خاک، کاربری اراضی، شوری و قلیا بودن خاک، و نوع پوشش گیاهی هستند. با توجه به تغییرات نسبتاً کندتر این پارامترها در مقایسه با پارامترهای اقلیمی و میزان سبزیگی (NDVI) در این تحقیق به‌عنوان پارامترهای نسبتاً پایا و تأثیرگذار بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار نامیده شده‌اند.

نقشه خاک

همان‌طور که نقشه خاک در شکل ۱۰ نشان می‌دهد، خاک قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی استان خوزستان از نوع خاک‌های شور و قلیا هستند. در این خاک‌های شور، سدیم فراوان، باعث پراکندگی ذرات خاک می‌شود و به تدریج به سمت شرق و شمال شرقی

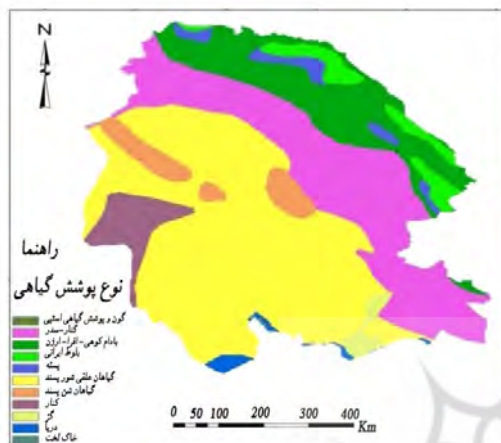


شکل ۱۰. نقشه تقسیم‌بندی خاک‌های خوزستان (استخراج شده از نقشه فائو)

شوری خاک

از نظر شوری، خاک‌های استان خوزستان به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند (شکل ۱۲). دسته نخست، مناطقی که دارای خاک‌های شورند و اغلب شامل قسمت‌هایی در جنوب شرقی و مرکزی استان هستند. دسته دوم، شامل مناطقی که خاک‌های نیمه‌شور دارند. این خاک‌ها در مناطقی قرار دارند که اغلب جنگل‌های استان خوزستان در این مناطق اند. این خاک‌ها تقریباً کل حاشیه شمالی و شمال شرقی خوزستان مثل مناطق اطراف ایذه و حاشیه‌ای باریک در شمال غربی خوزستان را به خود اختصاص داده‌اند. دسته سوم، خاک‌های شور و قلیا هستند که از نامطلوب‌ترین خاک‌ها از نظر ساختمان فیزیکی به‌شمار می‌آیند. گسترده‌گی این خاک‌ها، در مناطق جنوبی، غربی و جنوب غربی بیشتر از سایر مناطق است.

در نتیجه، امکان انتشار ذرات خاک و ایجاد طوفان‌های گرد و غبار در این مناطق در مقایسه با مناطق جنوبی استان که پوشش علفی کم‌تراکمی دارند، کمتر است (شکل ۱۳).

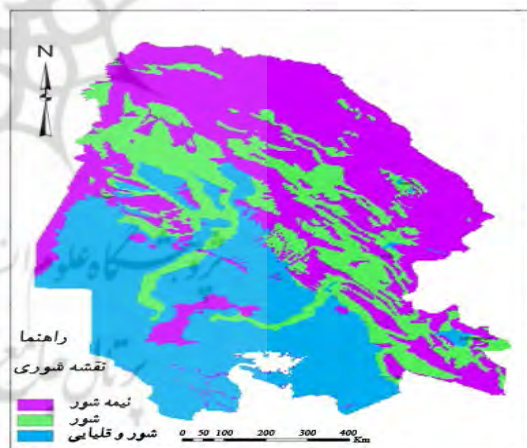


شکل ۱۳. نوع پوشش گیاهی استان خوزستان

۳-۳- بررسی فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و

غبار در کلاس‌های متفاوت خاک

در این مرحله، برای تعیین دقیق‌تر فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار، آن‌ها در کلاس‌های گوناگون خاک به‌طور جداگانه‌ای بررسی شدند. لایه اطلاعاتی کلاس‌های خاک به‌صورت ماتریس 1273×1205 درآمد. علاوه بر این، داده‌های اقلیمی هم Resample و به ماتریس تبدیل شدند. سپس، برای هر ۱۰ نوع خاک موجود، میانگین مدل‌های رگرسیونی در محیط نرم‌افزار MATLAB محاسبه و برای هر نوع خاک، مدلی که شامل پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی است، برازش داده شد. در ادامه ۱۰ نوع مدل محاسبه‌شده به‌همراه نمودار فراوانی واقعی طوفان‌های به‌دست آمده و مقادیر پیش‌بینی شده نشان داده شده است (شکل‌های ۱۴ تا ۲۳).

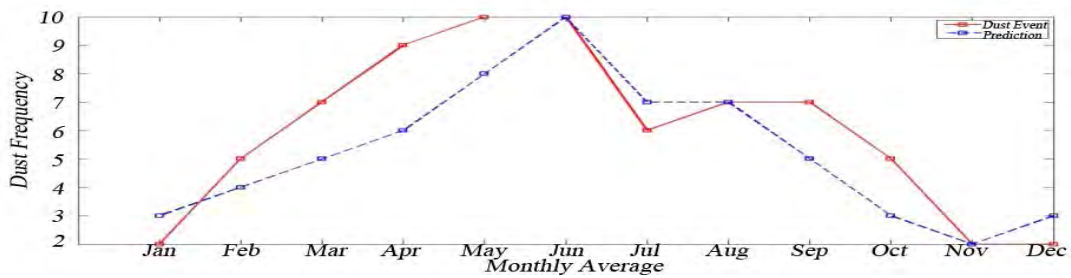


شکل ۱۲. نقشه شوری خاک‌های استان خوزستان

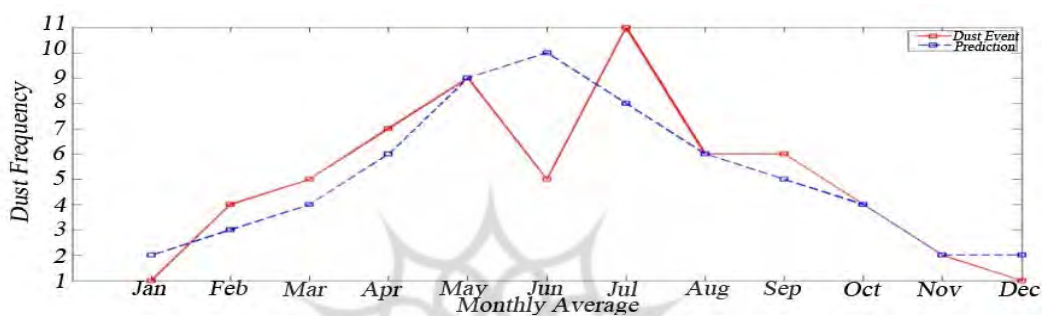
نوع پوشش گیاهی

در مجموع، در قسمت‌های شمالی، شرقی و شمال غربی خوزستان به‌دلیل پوشش گیاهی مناسب مثل جنگل‌های بلوط و گنار، به بادهایی با سرعت استان‌های بالاتر برای بلندکردن ذرات خاک نیاز است.

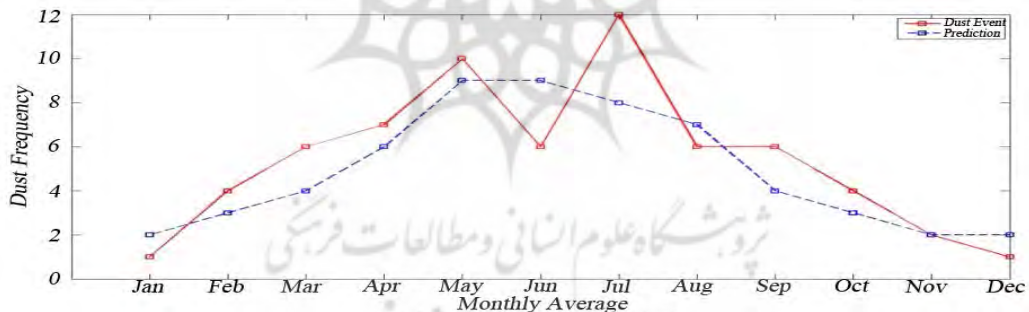
مدل سازی مکانی - زمانی وقوع طوفان های گردوغبار در استان خوزستان



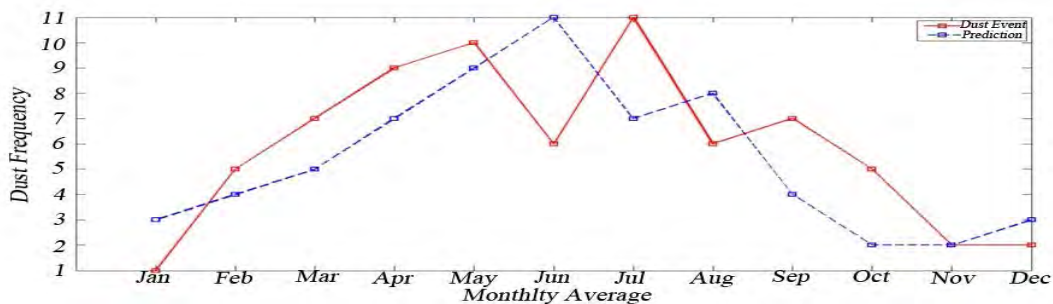
شکل ۱۴. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده تعداد گرد و غبار برای خاک‌های شور و قلیا



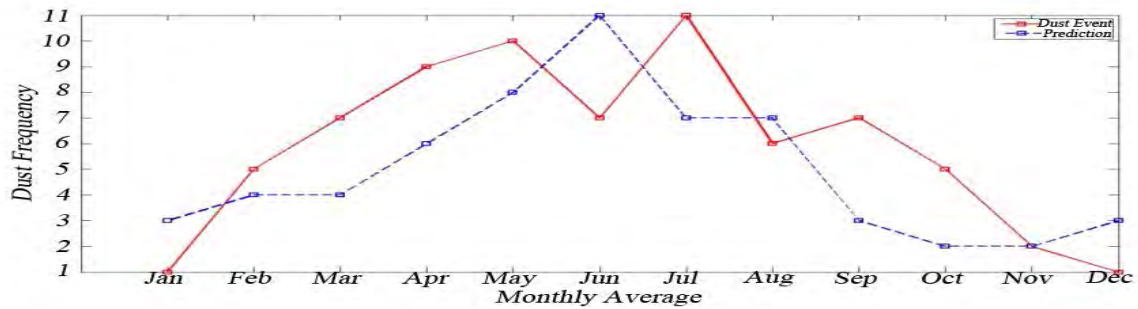
شکل ۱۵. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده تعداد گرد و غبار برای خاک‌های لیتوسل آهکی برون



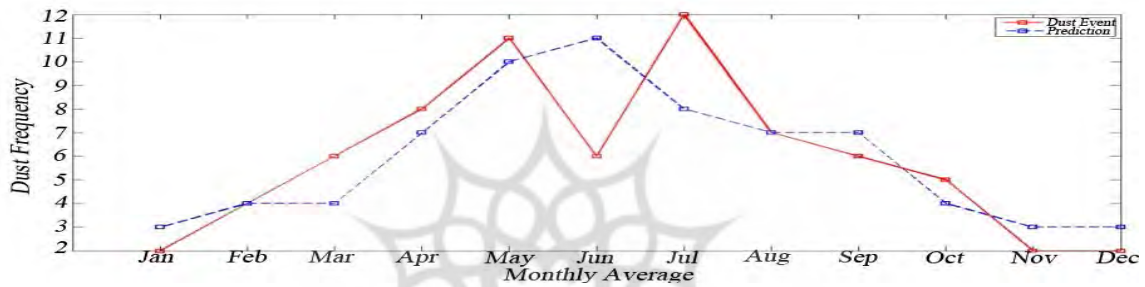
شکل ۱۶. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده تعداد گرد و غبار برای خاک‌های لیتوسل آهکی



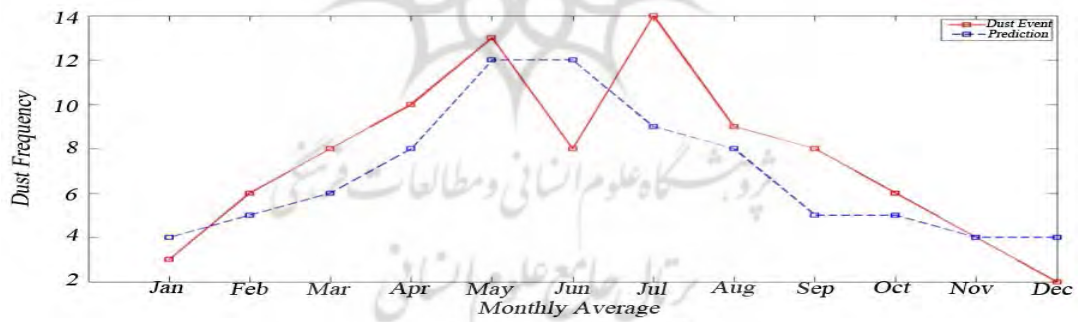
شکل ۱۷. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده تعداد گرد و غبار برای خاک‌های رسوبی شور



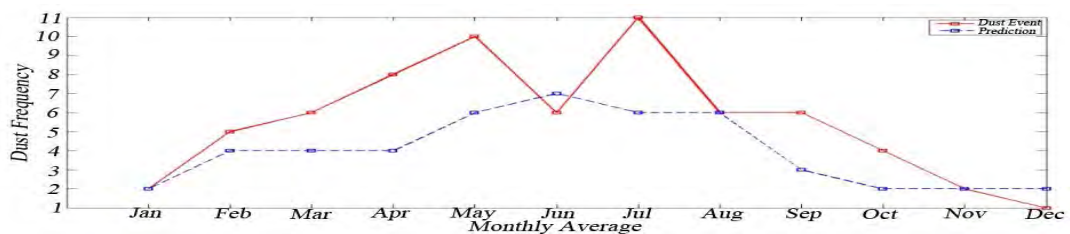
شکل ۱۸. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده تعداد گرد و غبار برای تپه‌های شنی



شکل ۱۹. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده تعداد گرد و غبار برای خاک‌های رسوبی با بافت ریز

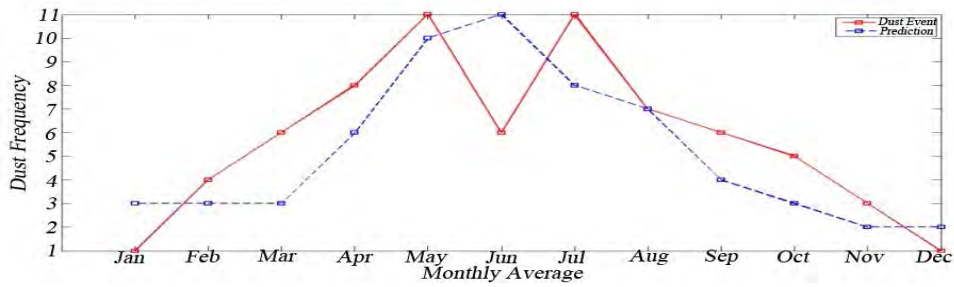


شکل ۲۰. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده تعداد گرد و غبار برای خاک‌های رسوبی با بافت درشت

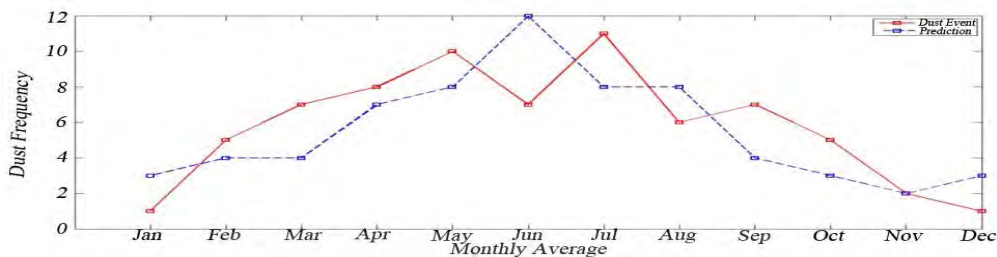


شکل ۲۱. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده تعداد گرد و غبار برای خاک‌های باتلاقی شور

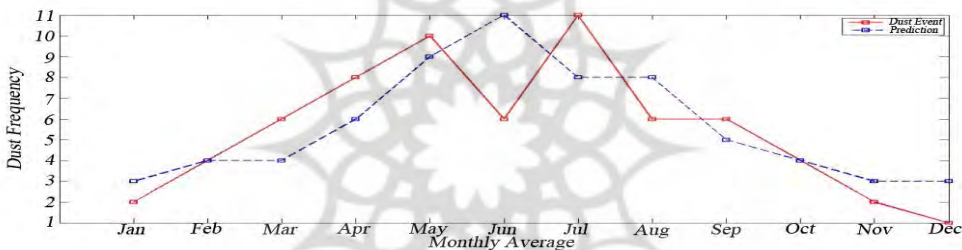
مدل سازی مکانی - زمانی وقوع طوفان های گردوغبار در استان خوزستان



شکل ۲۲. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده تعداد گرد و غبار برای خاک‌های قهوه‌ای بیابانی



شکل ۲۳. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده تعداد گرد و غبار برای خاک‌های رسوبی نیمه‌شور



شکل ۲۴. مقایسه میانگین فراوانی گرد و غبار واقعی با مقدار پیش‌بینی شده از مدل برای کل استان

مدل و R مقادیر فراوانی واقعی وقوع طوفان‌های گرد و غبار برای ماه‌های سال است.

۳-۴- نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها

به منظور ارزیابی دقت مدل به دست آمده بر اساس میانگین ماهانه سال‌های زوج، برای هر پیکسل تعداد گرد و غبار در یک ماه مشخص پیش‌بینی شده است. سپس از کل پیکسل‌ها، میانگین تعداد گرد و غبارهای پیش‌بینی شده با میانگین تعداد گرد و غبارهای واقعی که از سال‌های فرد به دست آمده بودند مقایسه شده و نتایج آن در شکل ۲۴ آمده است. در جدول فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار واقعی و تعداد پیش‌بینی شده برای کل استان خوزستان و برای ماه‌های گوناگون نشان داده شده است. شایان ذکر است که اعداد موجود در جدول گردشده اعداد واقعی هستند.

با توجه به مدل‌ها و نمودارهای به دست آمده برای خاک‌های گوناگون، مشاهده شد که در همه مدل‌ها، بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار، انطباق نسبتاً بالایی (همبستگی ۰/۸۵) وجود دارد (رابطه ۳). تنها استثنا در خردادماه است که برای همه نوع خاک رابطه بین مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی معکوس است. در این ماه، با وجود پیش‌بینی مدل، فراوانی طوفان‌های گرد و غبار ناگهان کاهش پیدا کرده است. این امر در ظاهر غیرطبیعی است و علت آن باید بررسی شود.

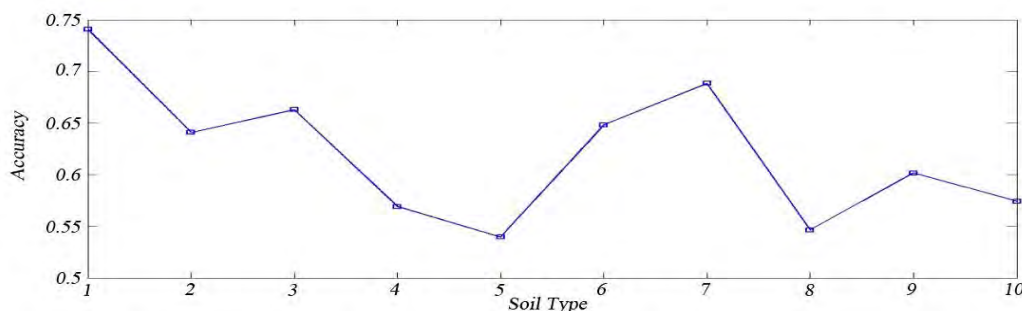
رابطه (۳)

$$\text{Correl}(P, R) = \frac{\sum (p - \mu_p)(r - \mu_r)}{\sqrt{\sum (\pi - \mu_p)^2 \sum (r - \mu_r)^2}}$$

که در آن P نشان‌دهنده مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله

جدول ۲. مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده از مدل

ماه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
مقدار واقعی (O)	۲	۴	۶	۸	۱۰	۶	۱۱	۶	۶	۴	۲	۱
مقدار پیش‌بینی شده (P)	۳	۴	۵	۶	۹	۱۰	۹	۷	۵	۴	۲	۲



شکل ۲۵. دقت هر یک از ۱۰ مدل به دست آمده برای ۱۰ نوع خاک

و پوشش گیاهی، با احتمال ۶۵ درصد می‌توان در استان خوزستان میزان فراوانی طوفان‌های گرد و غبار را پیش‌بینی کرد.

میزان دقت ۱۰ مدلی که براساس خاک‌های مختلف به دست آمده بودند نیز محاسبه گردید، که نتایج آن در شکل ۲۵ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، مدل تخمین زده شده برای خاک نوع ۱ (خاک‌های شور و قلیا) با دقتی معادل ۷۵ درصد بیشترین میزان دقت را دارد. میزان صحت مدل برای خاک‌های شماره ۵ و ۸ که شامل تپه‌های شنی و خاک‌های باتلاقی شورند، کمترین است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار در استان خوزستان بود. برای مطالعه این تأثیر، مجموعه‌ای از تحلیل‌های رگرسیونی و مدل‌سازی مکانی و زمانی انجام گرفت. یافته‌ها نشان دادند که بین میزان تغییرات مکانی و زمانی پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی، با وقوع طوفان‌های گرد و غبار ارتباط نزدیکی وجود دارد. نقشه‌های ماهانه به دست آمده برای هر یک از متغیرها

همان‌طور که نمودار و جدول نشان می‌دهد، به جز در ماه خرداد (Jun)، در بقیه ماه‌ها مقدار پیش‌بینی شده با مقدار واقعی همبستگی بالایی (۰/۹۶) نشان می‌دهد. در حالی که با احتساب خردادماه، میزان همبستگی کلی برابر ۰/۸۵ است. به‌منظور ارزیابی دقت مدل‌های ارائه شده از شاخص MSE میانگین مجذور خطا استفاده شد.

$$\text{MSE} = \frac{\sum (P-O)^2}{12} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه ۴، P مقدار پیش‌بینی شده و O مقدار واقعی یا همان مشاهده شده فراوانی طوفان‌های گرد و غبار است. اگر از MSE جذر گرفته شود RMSE به دست می‌آید که واحد آن دقیقاً شبیه به واحد متغیر تخمین زده شده است.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\text{MSE}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$A = 1 - \frac{\text{RMSE}}{\mu_A} \times 100 \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه (۶)، A صحت مدل و μ_A میانگین واقعی فراوانی طوفان‌های گرد و غبار است. پس از انجام محاسبات در رابطه‌های ذکر شده، صحت مدل ۶۵ درصد به دست آمد؛ یعنی با داشتن پارامترهای اقلیمی

می‌نماید و ممکن است به این دلایل پدیدار شده باشد:
 (۱) میانگین‌گیری از سال‌های زوج، در صورتی که این پدیده تنها مربوط به یک سال باشد سبب حذف تأثیر آن شده است؛ و
 (۲) پارامترهای دیگری از جمله فشار هوا به گونه‌ای تأثیر گذاشته‌اند که این پارامتر در ماه خرداد تغییر فاحشی داشته است.

یافته‌ها دیگر نشان دادند که با استفاده از پارامترهای اقلیمی، پوشش گیاهی و نوع خاک، می‌توان به پهنه‌بندی مناطق ایجاد گرد و غبار پرداخت. براساس این پارامترها، در هر نوع خاک مدلی برای پیش‌بینی فراوانی طوفان‌های گرد و غبار به دست آمد. یافته‌ها می‌توانند به شناخت بیشتر عوامل اقلیمی مؤثر در وقوع طوفان‌های گرد و غبار کمک کنند. همچنین، مطالعات در مورد متغیرهای سطحی (زمینی) مثل نوع خاک، کاربری اراضی و نوع پوشش گیاهی منطقه، می‌تواند به مدل‌سازی بهتر کمک کند. کارایی استفاده از این متغیرها برای پیش‌بینی فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در مطالعات کاکمور و همکاران (2006)، و شاو و همکاران (2003) نیز بررسی شد؛ با این تفاوت که در مطالعات آنها، علاوه بر پارامترهای ذکر شده در این مقاله، اثر عوامل دیگر نظیر توپوگرافی و فشار هوا نیز در فراوانی این‌گونه طوفان‌ها بررسی شد.

بیشترین ضریب در میان ضریب مدل‌های به‌دست‌آمده متعلق به سرعت باد بود و این نشان می‌دهد که در استان خوزستان وابستگی بین فراوانی طوفان‌های گرد و غبار و سرعت باد بیشتر از عوامل مؤلفه‌های دیگر بوده است. کوروساکی و میکامی (۲۰۰۵)، ارتباط پارامترهای گوناگون اقلیمی را با فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در شرق آسیا مدل کردند و به این نتیجه رسیدند که مؤثرترین مؤلفه بر افزایش فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در منطقه بررسی شده، سرعت باد بوده است.

در مناطق جنوبی و جنوب‌غربی خوزستان با خاک‌های شور و قلیایی و مستعد بودن این خاک‌ها برای ایجاد پدیده گرد و غبار، کم‌پشت‌بودن، و گاهی

و مقایسه آنها با نقشه‌های فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در همان ماه این ارتباط را به خوبی نشان می‌داد. فراوانی طوفان‌های گرد و غبار، در خوزستان، آشکارا از روند تغییرات دمایی پیروی می‌کند. مطالعات گیوو و زای (2007) هم، دما را از عوامل مهم و تأثیرگذار بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار برمی‌شمرد. در مناطقی که کمترین پوشش گیاهی، حداقل بارندگی و بیشترین دما و سرعت باد را داشتند، بیشترین فراوانی ریزگردها به چشم می‌خورد. نتایج این پژوهش، یافته‌های برایانت و همکاران (2007)، هارا و همکاران (2006)، ژوو و همکاران (2004)، تگن و همکاران (2004)، و زوو و همکاران (2004) را تأیید می‌کند.

رطوبت نسبی در خوزستان، در اثر بادهای شمالی که از داخل می‌وزد، در وسط روز کاهش می‌یابد و در مواقعی که به طور اتفاقی باد از جنوب جریان می‌یابد، رطوبت - مخصوصاً در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی استان - به سرعت بالا می‌رود.

همان‌طور که نتایج نشان دادند سرعت باد تقریباً هماهنگی زیادی با فراوانی طوفان‌های گرد و غبار دارد؛ از این رو می‌توان باد را یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار دانست - که مطالعات ویگس هم آن را تأیید می‌کند (Wigss, 2004).

به‌رغم تفاوت‌هایی که در فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در ۴ سال ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ وجود دارد، در همه آن سال‌ها بیشترین فراوانی طوفان‌ها در تیرماه مشاهده می‌شود. فراوانی طوفان‌ها در ماه‌های مختلف سال نمودار هرمی‌شکلی است که بیشترین مقدار آن در اواسط تابستان است. در تمام فصل‌ها - به‌جز تابستان - هم‌خوانی خوبی بین تعداد واقعی فراوانی این طوفان‌ها با مقدار پیش‌بینی شده وجود دارد. افزون بر این، در سال‌های مورد بحث - به جز سال ۲۰۰۵ - در خرداد به یک‌باره سقوط ناگهانی نمودار به سمت پایین رخ داده است. در تمام مدل‌ها و نمودارهای به‌دست‌آمده برای خاک‌های مختلف هم این ناهماهنگی وجود دارد. این ناهماهنگی در ظاهر غیرطبیعی

صحت مدل برای خاک‌های باتلاقی و شنی در مقایسه با سایر خاک‌ها کمترین مقدار است، چرا که امکان انتشار ذرات به صورت گرد و غبار در این نوع خاک‌ها بسیار ناچیز است (Wen and Rose, 1984, Gong et al., 2001). همچنین، ممکن است گرد و غبارهای ثبت‌شده در این مناطق ناشی از مناطق مجاور با نوع خاک متفاوت باشد.

افزون بر اینها، یافته‌های پژوهش حاضر، رابطه بین پارامترهای اقلیمی و پوشش گیاهی را در خصوص فراوانی طوفان‌های گرد و غبار تأیید کرد. نتایج پژوهش پرسش‌ها و فرضیه‌های جدیدی را در زمینه نقش این پارامترها در فراوانی طوفان‌های گرد و غبار مطرح می‌سازد. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد که متغیرهای دیگری غیر از پارامترهای ذکرشده در این پژوهش در خصوص فراوانی این طوفان‌ها بررسی شود. همچنین این که چه عواملی باعث هماهنگ‌نبودن مقدار واقعی و مقدار پیش‌بینی‌شده فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در خردادماه شده است، موضوع دیگری است که می‌بایست در آینده به آن پرداخت.

۵- منابع

- Bandermer, H., Gebhardt, A., 2000, **Bayesian Fuzzy Kriging**, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 112, PP. 405-418.
- Bryant, R.G., Bigg, G.R., Mahowald, N.M., Eckardt, F.D., Ross, S.G., 2007, **Dust Emission Response to Climate in Southern Africa**, Geophys, Vol. 112, PP. 92-102.
- Cakmur, R.V., Miller, R.L., Perlwitz, J., Geogdzhayev, I.V., Ginoux, P., Koch, D., Kohfeld, K.E., Tegen, I., Zender, C.S., 2006, **Constraining the Magnitude of the Global Dust Cycle by Minimizing the Difference Between a Model and Observations**, Geophys, Vol. 111, PP. 84-90.

فقدان پوشش گیاهی، عامل دیگر فراوانی وقوع این طوفان‌ها است دقیقاً در اطراف مناطقی که بیشترین فراوانی طوفان‌های گرد و غبار رخ می‌دهد، این‌گونه خاک‌ها نیز خاک اصلی زمین را تشکیل می‌دهند. در قسمت‌های شرقی و شمال‌شرقی خوزستان، با وجود بارندگی زیاد و دمای کمتر، وجود خاک‌های از نوع لیتوسل آهکی، پوشش گیاهی خوبی را ایجاد کرده و مجموعه این عوامل سبب شده است که فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در این مناطق در مقایسه با سایر قسمت‌های استان کمتر باشد. در خاک‌های قسمت‌های شمال غربی خوزستان، به دلیل ساختمان فیزیکی مناسب و ارتباط خوب بین ذرات خاک، فرسایش کم و ظرفیت نگهداری آب بالاست. این عوامل باعث تراکم بیشتر پوشش گیاهی این مناطق در مقایسه با مناطق جنوبی و غربی است. در قسمت‌های جنوبی و جنوب‌غربی خوزستان، به دلیل وجود نداشتن پوشش روی خاک، حتی بادهای با سرعت‌های کم هم می‌توانند باعث انتشار ذرات گرد و به هوا شوند. در قسمت‌های شرقی و شمال‌شرقی خوزستان، پوشش گیاهی جنگلی همانند محافظی سطح خاک را محافظت می‌کند و در نتیجه به عنوان مانعی برای انتشار ذرات غبار به هوا ظاهر می‌شود. در مناطقی از استان که خاک‌های شور دارند، یکی از عوامل محدودکننده رشد گیاهان، شوری خاک است و به همین دلیل در این مناطق گیاهان هالوفیت و شورپسند غلبه دارند. مناطقی که دارای خاک‌های نیمه‌شور هستند، آب و هوای مناسب‌تری در مقایسه با بقیه قسمت‌های استان دارند (مثل بارندگی بیشتر و دمای کمتر) و مناسب بودن خاک باعث شده است که در این مناطق، باد قادر به انتشار ذرات خاک به هوا نباشد.

نکته درخور توجه این است که دقیقاً در مناطقی که خاک‌های شور و قلیا بسیار زیاد است، فراوانی این طوفان‌ها هم در مقایسه با مناطق دیگر بیشتر است، چون در این مناطق، خاک‌ها از نظر فیزیکی بسیار ضعیف و سست‌اند و با کمترین وزش باد به سرعت به هوا انتشار می‌یابند.

- Gao, Y., Arimoto, R., Duce, R.A., Zhang, X.Y., Zhang, G.Y., An, Z.S., Chen, L.Q., Zhou, M.Y., Gu, D.Y., 1997, **Temporal and Spatial Distributions of Dust and Its Deposition to the China Sea**, Tellus, Vol. 49, PP. 172-189.
- Gillette, D.A., 1981, **Production of Dust that May be Carried Great Distances**, Land degradation & development, Vol. 196, PP. 11-26.
- Ginoux, P., Prospero, J., Torres, O., Chin, M., 2004, **Long-term Simulation of Global Dust Distribution with the GOCART Model: Correlation with North Atlantic Oscillation**. Environ Model Softw, Vol. 19, PP. 113-128.
- Gong, S.L., Zhang, X.Y., Zhao, T.L., McKendry, I.G., Jaffe, D.A., Lu, N.M., 2003, **Characterization of Soil Dust Aerosol in China and Its Transport and Distribution During 2001 ACE-Asia. 2 Model Simulation and Validation**, Geophys, Vol. 108, PP. 42-52.
- Grist, J., Nicholson, S.E., Mpolokang, A., 1997, **On the Use of NDVI for Estimating Rainfall in the Kalahari of Botswana**, Arid Environment, Vol. 35, PP. 194-214.
- Hara, Y., Uno, I., Wang, Z., 2006, **Long-term Variation of Asian Dust and Related Climate Factors**, Atmos. Environ Vol. 40, PP. 6730-6740.
- He, Q., Yang, Q., Li, H.J., 2003, **Variations of Air Temperature, Precipitation and Sand-dust Weather in Xinjiang in Past 40 Years**, Glaciology and Geocryology, Vol. 25, PP. 423-427.
- Hu, L.Q., Xia, J.D., Sang, C.Q., 2001, **Analysis of Satellite Images of Strong Sandstorm in Xinjiang**, Arid Land Geography, Vol. 24, PP. 30-32.
- In, H.J., Park, S.V., 2002, **A Simulation of Long-range Transport of Yellow Sand Observed in April 1998 in Korea** Atmospheric Environment, Vol. 36, PP. 4173-4187.
- In, H.J., Park, S.U., 2003, **The Soil Particle Size Dependent Emission Parameterization for an Asian Dust Observed in Korea in April 2002**, Atmosphere of Environ, Vol. 37, PP. 4625-4636.
- Kurosaki, Y., Mikami, M., 2003, **Recent Frequent Dust Events and Their Relation to Surface Wind in East Asia**, Geophys, Vol. 30, PP. 17-36.
- Kurosaki, Y., Mikami, M., 2005, **Regional Difference in the Characteristics of Dust Event in East Asia: Relationship Among Dust Outbreak, Surface Wind, and Land Surface Condition**, Meteorol Soc, Vol. PP. 83, 1-8.
- Lancaster, N.A., 1998, **Influence of Vegetation Cover on Sand Transport by Wind: Field Studies at Owens Lake, California**, Earth Surface Processes and Land forms, Vol. 23, PP. 69-82.
- Li, X.Y., Wang, J.H., Liu, L.Y., 2002, **Wind Tunnel Simulation Experiment on the Erodibility of the Fixed Aeolian Sandy Soil by Wind**. 5th Arid and Semi arid Lands Conference.

- Lin, J., Sun, S.H., Wang, J.H., 1999, **Evaluation Methodology of Land Desertification Level Caused by Wind-erosion in the Sand-dust Storm Frequently-occurring Area**, Desert Research, Vol. 19, PP. 375–377.
- Malo, A.R., Nicholson, S.E., 1990, **A Study of the Rainfall and Vegetation Dynamics in the African Sahel Using the Normalized Difference Vegetation Index**, Arid Environ, Vol. 19, PP. 1–24.
- Mather, M., 1987, **Computer Processing of Remotely-Sensed Images**, John Wiley & Sons press, England.
- Nickling, W.G., Brazel, A.J., 1984, **Temporal and Spatial Characteristics of Arizona Dust Storms (1965–1980)**, Climatol, Vol. 4, PP. 645–660.
- Nicholson, S.E., Farrar, T.J., 1994, **The Influence of Soil Type on the Relationship Between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in Semiarid Botswana: I. NDVI Response to Rainfall**, Remote Sens Environ, Vol. 50, PP. 107–120.
- Park, S.U., In, H.J., 2003, **Parameterization of Dust Emission for the Simulation of the Yellow Sand (Asian dust) Event observed in March 2002 in Korea**, Geophys, Vol. 108, PP. 657-663.
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., Gill, T.E., 2002, **Environmental Characterization of Global Sources of Atmospheric Soil Dust Identified with the NIMBUS 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Absorbing Aerosol Product**, Geophys, Vol. 40, PP. 2–31.
- Qian, Y.B., Wu, Z.N., Jiang, J., 2004a, **Eco-environmental Change and its Impact Factors in the Aibi Lake Catchment During the Past 50 Years**, Glaciology and Geocryology, Vol. 26, PP. 17–26.
- Qian, Y.B., Wu, Z.N., Zhang, L.Y., 2004b, **Ground-Surface Conditions Resulting in Sand-Dust Storms in the South Junggar Basin**, Arid Land Geography, Vol. 27, PP. 540–542.
- Qian, Z.A., Song, M.H., Li, W.Y., 2002, **Analyses on Distributive Variation and Forecast of Sand-Dust Storms in Recent 50 Years in North China**, Desert Research, Vol. 22, PP. 106–111.
- Shao, Y., 2001, **A Model for Mineral Dust Emission**, Geophys, Vol. 106, PP. 239–254.
- Shao, Y., Wang, J.J., 2003, **A Climatology of Northeast Asian Dust Events**, Meteorol, Vol. 12, PP. 175–183.
- Shao, Y., 2003, **Northeast Asia Dust Storms: Real-time Numerical Prediction and Validation**, Geophys, Vol. 108, PP. 46-54.
- Shao, Y., 2003, **Real-time Numerical Prediction of Northeast Asian Dust Storms Using an Integrated Modeling System**, Geophys, Vol. 108, PP. 102-111.
- Shi, G.Y., Zhao, S.X., 2003, **Several Scientific Issues of Studies on the Dust Storms**. Atmospheric Sciences, Vol. 27, PP. 591–606.

- Sun, J., Zhang, M., Liu, T., 2001, **Spatial and Temporal Characteristics of Dust Storms in China and Its Surrounding Regions, 1960-1999: Relations to Source Area and Climate**, Geophysical Research Atmospheres, Vol. 106, PP. 10325-10333.
- Sun, J.H., Zhao, L.N., Zhao, S.X., 2003a, **An Integrated Modeling System of Dust Storm Suitable to North China and Applications**, Clim Environ, Vol. 8, PP. 125-142.
- Tanaka, T.Y., Chiba, M., 2006, **A Numerical Study of the Contributions of Dust Source Regions to the Global Dust Budgets**, Glob Planet Change., Vol. 52, PP. 88-104.
- Tegen, I., Werner, M., Harrison, S.P., Kohfeld, K.E., 2004, **Relative Importance of Climate and Land use in Determining Present and Future Global Soil Dust Emission**, Geophysical Research Letters, Vol. 31, PP. 105-105.
- Walford, N., 1995, **Geographical Data Analysis**, WILEY, Amazon.
- Wang, X., Dong, Z., Zhang, J., 2004, **Modern Dust Storms in China: an Overview**, Arid Environment, Vol. 58, PP. 559-574.
- Wen, S., Rose, W.I., 1994, **Retrieval of Sizes and Total Masses of Particles in Volcanic Clouds Using AVHRR Bands 4 and 5**, Geophys, Vol. 99, PP. 5421-5431.
- Wiggs, G.F.S., Bullard, J.E., Atherton, R.J., 2004, **The Dynamic Effects of Moisture on the Entrainment and Transport of Sand by Wind**, Geomorphology, Vol. 59, PP. 13-30.
- William, T.H., Thomas, G., 1996, **Modeling NDVI from Decadal Rainfall Data in the Northeast Arid Zone of Nigeria**, Environ Manag, Vol. 48, PP. 249-261.
- Zhou, X.K.K., Zhai, P.M.M., 2004, **Relationship between Vegetation Coverage and Spring Dust Storms Over Northern China**, Geophys, Vol. 109, PP. 453-459.
- Zhou, X.K., Zhai, P.M. 2004, **Relationship between Vegetation Coverage and Spring Dust Storms over Northern China**, Geophysical Research, Vol. 109, PP. 987-993.