

مروری بر مدل‌های پیش‌بینی پدیده گردوغبار و تکنیک‌های جمع‌آوری داده‌ها

ریحانه اسدی لطفی^{۱*}، علی اصغر آل‌شیخ^۲، سعید بهزادی^۳

^۱ دانشجوی دکتری سنجش‌ازدور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی - دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران
reyhaneh.lotfi92@gmail.com

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
alesheikh@kntu.ac.ir

behzadi.saeed@gmail.com

9

(تاریخ دریافت دی ۱۳۹۶، تاریخ تصویب اردیبهشت ۱۳۹۷)

چکیده

یکی از پدیده‌های رایج در مناطق خشک و نیمه خشک و در عرضهای جغرافیایی نیمه گرمسیری^۱ طوفان گردوغبار است. در چند سال اخیر بر شدت و فراوانی این طوفان‌ها در این منطقه افزوده شده است و این پدیده با ایجاد وقفه در فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی خسارات هنگفتی به جامعه وارد کرده است. با گسترش علم و فناوری‌های جدید مانند سنجش‌ازدور، و سیستم اطلاعات مکانی با مدلسازی عددی و محاسباتی کمک شایانی در جهت شناخت ابعاد مختلف مشکلات زیست محیطی پدیده‌ها از جمله گردوغبار داشته است. مطالعه حاضر مروری بر تکنیک‌های جمع‌آوری اطلاعات، داده‌ها مورد نیاز و مدل‌های پیش‌بینی گردوغبار برای ارزیابی زمانی و مکانی گردوغبار ارائه گردید. ترکیب مدل‌ها و روش‌های مختلف پیش‌بینی گردوغبار در ارتباط با GIS رویکرد سیستماتیک یافته است. نتایج نشان داد مدل‌های GOCART، DEAD در مقیاس جهانی مناسب می‌باشند و برای ایران توصیه نمی‌شود. پس از آن برای نمونه مدل عددی HYSPLIT در منطقه اهواز اجرا گردید که نشانده منشأ گردوغبار از کشور عراق و سوریه بود.

واژگان کلیدی: طوفان گردوغبار، سنجش‌از دور، سیستم اطلاعات مکانی، مدل‌های عددی، مدل HYSPLIT

* نویسنده رابط

^۱ Subtropical

۱- مقدمه

طیف وسیعی از بلایای طبیعی در سراسر جهان، از جمله خشکسالی، بیابان‌زایی، سیل، و آسیب از شرایط انجماد به شدت افزایش یافته است که امنیت و رفاه انسان را تهدید می‌کند. طبق تحقیقات برنامه محیط زیست سازمان ملل UNEP^۱، ۳۵٪ از زمین در جهان و ۲۰ درصد از جمعیت در معرض خشکسالی و بیابان‌زایی هستند [۴۷]. که یکی از پیامدهای اصلی بیابان‌زایی، افزایش روند گردوغبار می‌باشد.

پدیده گردوغبار باعث آسیب‌رسانی، به محیط‌های شهری، مزارع، تأسیسات و حتی ایجاد معضلات اجتماعی و بیماری‌های گوناگون تنفسی می‌گردد. در یک منطقه بزرگ با خاک خشک، باد قوی ذرات گردوغبار را در فاصله‌های طولانی حمل می‌کند. چهار نوع طوفان گرد و غبار وجود دارد که شامل طوفان‌های ریزگرد وزشی^۲ (کاهش دید افقی تا ۱۰۰۰ متر و تا ۱٫۸ کیلومتر از سطح زمین)، طوفان ریزگرد مه‌گون^۳ (در ساعاتی قبل از برداشت اطلاعات جوی شروع شده و با عبور از منطقه هاله‌ای از ریزگرد به جا می‌گذارد)، طوفان ریزگرد شیطانی^۴ (بین ۳۰ تا ۳۰۰ متر ارتفاع دارد)، طوفان ریزگرد هبوب^۵ (در نتیجه نزول جبهه هوای سرد در مقابل طوفان ریزگرد) می‌باشد [۴] [۶].

لیز و همکاران در سال ۲۰۰۱ از ترکیب اقلیم، فرسایش بادی و مدل‌های GIS برای تعیین موقعیت‌های کانون‌های گردوغبار برای فواصل زمانی کوتاه مدت استفاده کرد. به کارگیری مدل‌های ریاضی مزیت این مدل نسبت به مدل تجربی است [۳۰]. از داده‌های سنجنده مودیس برای شناسایی نواحی کانونی در مقیاس کوچک استفاده کرد. نتایج نشان داد که کانون کمربند ریزگرد واقع در Sahara در خاورمیانه و آسیای مرکزی تا چین است.

جینوکس و همکاران در سال ۲۰۰۱ به بررسی منابع و پراکنش مدل گردوغبار GOCART پرداختند. در این مدل پروسه انتشار، حمل و نقل و فرونشست حجم گرد و غبار از شعاع ۰٫۱ تا ۶ میکرومتر را در بر می‌گیرد [۱۹].

مدل DEAD بنا بر تحقیقات زندر و همکاران در سال ۲۰۰۳ میزان جابه‌جایی و فرونشست را تخمین می‌زند [۴۷]. کاون و همکاران در سال ۲۰۰۸ علاوه بر Sahara مناطقی از ایران، عربستان، نواحی نزدیک دریای خزر آرال و بیابان Takla Makan را به عنوان کانون‌های گردوغبار معرفی کردند [۲۸].

غرب آسیا، از جمله شبه جزیره عربستان، سوریه، عراق و ایران، به عنوان یکی از مهمترین منابع اولیه گردوغبار کشورهای منطقه شناخته شده است. نگرانی رو به رشد در میان این کشورهای منطقه SDS^۶ به تعداد زیادی جلسات، همکاری و تحقیقات مشترک بین المللی برای مقابله با طوفان شن و ماسه و گردوغبار منجر شده است [۸].

مسئله اساسی در حل سیستماتیک مشکل گردوغبار نیازمند بررسی سه فاکتور است که شامل عامل‌های موثر در گردوغبار، تکنیک دریافت اطلاعات و مدل‌سازی گردوغبار برای تشخیص و پیش‌بینی گردوغبار می‌باشد. چنین سیستمی نیاز به اطلاعات در مورد گردوغبار و سایر تغییرات محیطی دارد که می‌تواند به دو روش به دست آید: مشاهدات زمینی و مشاهدات فضایی.

از طریق ایستگاه‌های هواشناسی، نظارت تصویری^۷ و اطلاعات سنجنده^۸ جمع‌آوری شده توسط رادار، لیدار و غیره مشاهدات زمینی انجام می‌شود. مشاهدات فضایی معمولاً از طریق ماهواره فضایی، و گاهی اوقات از طریق هواپیماهای بدون سرنشین (UAV)^۹ به دست می‌آید. با این حال، برای مشاهدات بهتر و کارا تر از ترکیب هر دو نوع استفاده می‌شود [۳۲].

افزایش دسترسی به منابع کامپیوتری، موجب گسترش مدل‌سازی گردوغبار در سطوح مختلف از جمله سطوح کوچک مقیاس، در مقیاس منطقه‌ای و جهانی را تسهیل نموده و باعث درک ساختارها و سازوکار سیستم‌های پیچیده طبیعی می‌شود. با استفاده از مدل‌سازی پدیده گردوغبار، می‌توان عوامل اصلی ایجاد آن در یک منطقه را به همراه میزان اهمیت هر عامل شناسایی کرد. امروزه پیشرفت‌های زیادی در زمینه پایش، مدل‌سازی و پیش‌بینی طوفان گردوغبار در جنوب غرب آسیا صورت گرفته

^۶ Sand and dust storm

^۷ video surveillance

^۸ WSN

^۹ Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

^۱ United Nations Environment Program

^۲ Blowing dust

^۳ Dust haze

^۴ Dust devil

^۵ Haboob

است که بر اساس مدل‌های آماری، عددی، محاسباتی، سنجش از دور ماهواره‌ای، مشاهدات سینوپتیک و GIS (سیستم اطلاعات مکانی) بوده است. این مقاله به مروری بر تکنیک‌های جمع‌آوری اطلاعات، عوامل مؤثر در شکل‌گیری گردوغبار و مدل‌های شبیه‌سازی گردوغبار می‌پردازد.

۲- تکنیک‌های جمع‌آوری اطلاعات

برای کاهش خسارات طوفان‌های گردوغبار، پیش‌بینی آن امری ضروری می‌باشد. برای این منظور نیازمند اطلاعات و داده‌ها با دقت مناسب است که از تکنیک‌های مختلف جمع‌آوری زمینی و فضایی به دست آید که به شرح ذیل است:

۲-۱- تکنیک جمع‌آوری زمینی

مشاهدات مبتنی بر زمین دقیق‌تر و با جریئات بیشتری است. با این حال آن‌ها عمدتاً به منطقه کوچکی از زمین محدود می‌شوند و قادر به شناسایی انتقال گرد و غبار در مقیاس بزرگ نیستند. روش‌ها برای مشاهدات زمینی شامل ایستگاه‌های هواشناسی، دیده بان، نظارت تصویری با تصاویر دیجیتال و اطلاعات سنجنده می‌باشد.

۲-۱-۱- ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی و ایستگاه‌های سنجش آلودگی و دیده بان

یکی از مهمترین منابع دریافت اطلاعات هواشناسی می‌باشد. داده‌های دریافتی شامل رطوبت نسبی، سرعت باد (SW)، جهت باد (SWD)، میانگین دما (T)، فشار سطح زمین (SP) و... است. پارامترها به صورت میانگین در دسترس قرار می‌گیرند. ایستگاه هوای آلودگی سنجی محیط زیست پارامترهایی مانند PM را برای پایش گردوغبار در نظر می‌گیرند. علاوه بر آن برج‌های مراقبت با ارتفاع بلند برای مشاهده وقایع در مسافت طولانی استفاده می‌شود.

۲-۱-۲- نظارت تصویری با استفاده از تصاویر دیجیتال

از یک ایستگاه زمینی دارای دوربین دیجیتالی که در تشخیص گردوغبار در مناطق اطراف آن مفید هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایستگاه با دوربین‌هایی به صورت

محلی یا از راه دور مجهز است. بعد از پردازش تصاویر دریافت شده از این دوربین‌های برای شناسایی گرد و غبار زنگ هشدار فعال می‌شود. تشخیص هر گونه حوادث گرد و غبار به جز در مقیاس بزرگ با استفاده از تصاویر دیجیتالی ممکن است [۱]. در طول روزهای ابری که تصویربرداری ماهواره‌ای با کیفیت مناسب صورت نمی‌گیرد تصاویر دیجیتال در افزایش کیفیت و وضوح تصاویر ماهواره‌ای برای تشخیص طوفان گردوغبار مؤثر است [۱۰].

۲-۱-۳- اطلاعات سنجنده زمینی

سنجنده‌ها برای به دست آوردن اطلاعات در مورد محیط زیست از رادار^۱، لیدار^۲ و WSN^۳ها بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالیکه WSNها معمولاً برای برداشت اطلاعات زمینی استفاده می‌شوند. مشاهدات، رادار و لیدار برای مشاهدات زمینی در ایستگاه‌های آب و هوایی و مشاهدات فضایی در هواپیما و ماهواره‌ها هم مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۸].

رادار RADAR: در طول موج (۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰ گیگاهرتز) میکروویو انتقال می‌یابد. ارتفاع، فاصله، اندازه، سرعت و جهت اشیاء، در روز و شب به خوبی تشخیص می‌دهد و همچنین در شرایط آب و هوایی بد در ابرها، مه، گرد و غبار و غیره نفوذ می‌کند.

لیدار LIDAR: نور فعال در محدوده مادون قرمز یا لیزر طول موج که برای پیدا کردن ارتفاع، فاصله، اندازه، سرعت و جهت اشیاء لیدار نامیده می‌شود. با این حال در شرایط آب و هوایی بد به دلیل استفاده از نور این کار به خوبی انجام نمی‌شود. هر دو رادار و لیدار به طور گسترده-ای برای مورد مشاهدات هواشناسی و تشخیص گرد و غبار مورد استفاده قرار گرفته اند [۱۲].

حسگر بی‌سیم (WSN): ایده استفاده از WSNها برای تشخیص گردوغبار بسیار جدید است. اگرچه در گذشته بیشتر برای سنجش آتش سوزی و زلزله بکار گرفته شده است. مزایای بسیاری برای استفاده از WSNها برای گرد و غبار وجود دارد سنسورها را می‌توان در مناطق مستقر کرد که در محدوده دید سنجنده‌های ماهواره‌ها قرار ندارند. اطلاعات حاصل از آنها دقیق‌تر و به روزتر و سریعتر

^۱ Radio Detection And Ranging

^۲ Light Detection And Ranging

^۳ Wireless sensor network

در مورد منشأ گردوغبار می‌باشد. با این حال دو مشکل اساسی در این حسگرها دیده می‌شود اول اینکه از امواج رادیویی استفاده می‌کنند که در طی طوفان ممکن است دچار افت امواج ارسالی شود در حالیکه در امواج رادار این مشکل دیده نمی‌شود و دوم اینکه ممکن است در طی طوفان حسگرها زیر شن و ماسه دفن شوند. اگرچه برای هر کدام از این مشکلات راه‌حلهایی نیز ارائه شده است [۱۴] [۱۷] [۴۶].

۲-۲- تکنیک جمع‌آوری فضایی

مشاهدات فضایی با پوشش‌های گسترده و یا پوشش جهانی از حوادث گرد و غبار و انتقال را فراهم می‌کند، اما در شب و در محیط‌های ابری عملکرد ضعیفی دارند. رایج‌ترین روش‌ها برای تکنیک فضایی مشاهدات شامل تصویربرداری ماهواره‌ای، پهبادها و هواپیمای بدون سرنشین^۱ (UAVs) است.

۲-۲-۱- تصاویر ماهواره‌ای

یکی از مهمترین منابع برای تشخیص پدیده گرد و غبار در مقیاس وسیع و بلند مدت تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. بزرگترین مزیت‌های تصاویر رایگان، در دسترس بودن و به دست آوردن زمان واقعی وقوع گردوغبار، پارامترهای سطح زمین و جوی برای مدل‌سازی گرد و غبار و استخراج بلند مدت اقلیم گرد و غبار است ولی چون در مقیاس جهانی هستند اندازه تفکیک آنها جای سؤال دارد ولی با استفاده از سنسورهای مختلف امکان استفاده از داده‌های مختلف را فراهم می‌آورد.

به طور کلی از تصاویر ماهواره‌ای SEVIRI^۲، MODIS^۳، AVHRR^۴، GOES^۵ برای پایش و تشخیص گردوغبار استفاده می‌شود.

ماهواره MODIS که توسط ماهواره‌های Aqua و Terra تصویر برداری انجام می‌دهد. با استفاده از ۳۶ باند طیفی به پایش محیط از جمله غلظت گردوغبار اقیانوس‌ها و زمین می‌پردازد. دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و

۱۰۰۰ متر است. AVHRR ماهواره هواشناسی است که اطلاعات روز و شب از ابرها، سطح زمین، دمای سطح دریاها و اقیانوس‌ها را اندازه‌گیری می‌کند. ماهواره GOES توسعه طوفان‌ها در مقیاس بزرگ و حرکت آنها را می‌تواند دنبال کند. SEVIRI نسل دوم ماهواره Metasat که قدرت تفکیک زمانی ۱۵ دقیقه و دارای ۱۲ باند طیفی است که ۸ باند آن حرارتی می‌باشد که اطلاعات دقیق‌تر در مورد درجه حرارت از ابرها، زمین‌ها، سطوح دریا و غیره ارائه می‌دهد. برخی روش‌های تشخیص در تصاویر در مدل‌های سنجش از دور اشاره شده است.

۲-۲-۲- پهبادها و هواپیمای بدون سرنشین (UAVs)

در سالهای اخیر برای تشخیص طوفان گردوغبار از هواپیمای بدون سرنشین استفاده می‌شود. که دارای دوربین‌های دیجیتالی با قدرت تفکیک مکانی بالا، سنجنده‌های چند طیفی و رادار و غیره می‌باشد [۴].

پهبادها می‌توانند به سرعت در منطقه بحرانی مستقر شوند و می‌توانند تصاویر با وضوح بسیار بالا و نسبتاً کم هزینه در مقایسه با هواپیمای مجهز تهیه کنند. به دلیل مشکلات پرواز در طوفان و هزینه‌های بالا استفاده از پهباد محدود می‌باشد ولی در مطالعه هواویزهای ابر و پروفیل سیستم جهانی برای پیش‌بینی آب وهوا در ارتفاعات بالا استفاده می‌شود [۳۱] [۳۳].

۳- عوامل مؤثر در شکل‌گیری گردوغبار

به طور کلی طوفان‌های گردوغبار در مناطق خشک و نیمه خشک روی می‌دهد. از عوامل تعیین‌کننده در تولید گردوغبار به تغییر اقلیم و بیابانزایی و تغییر کاربری و پوشش گیاهی و مدیریت ناصحیح آب در زمینه سد سازی و انتقال آن می‌توان اشاره کرد. مهمترین عوامل مؤثر در شکل‌گیری گردوغبار شامل موارد ذیل می‌باشد:

فشار جو: فشار در هر نقطه‌ای در جو زمین قابل اندازه‌گیری است. فشار نقش مهمی در ایجاد طوفان‌ها، گسترش ابرها و وزیدن باد دارد. حرکت هوا از مناطق فشار بالا (دمای پایین) به مناطق کم فشار (درجه حرارت بالا) صورت می‌گیرد [۳۹].

دمای سطح: در ایستگاه‌های هواشناسی درجه حرارت در ۲ متر بالاتر از سطح زمین اندازه‌گیری می‌شود. در

^۱ Unmanned Aerial Vehicle

^۲ Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager

^۳ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

^۴ Advanced Very High Resolution Radiometer

^۵ Geostationary Operational Environmental Satellites

پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ و شاخص زبری منطقه: به عبارت دیگر پوشش گیاهی باعث کاهش شدت و قدرت اثر باد می شود.

ماهیت ژئومورفولوژی زمین: شامل ویژگی‌های توپوگرافیک، شیب، جهت، ارتفاع و خصوصیات زهکشی زمین منظور است [۲۰].

با توجه به عوامل مؤثر در شکل‌گیری گردوغبار، داده‌ها و اطلاعات مورد نظر در دو گروه تقسیم می‌شود. داده‌های پویا و دائمی در حال تغییر مثل سرعت باد، و داده‌های با ماهیت ثابت مانند ویژگی‌های خاک شناسی و ژئومورفولوژی منطقه می‌باشد. نکته مهم این است که این عوامل جزو شرایط لازم برای ایجاد گردوغبار هستند ولی به تنهایی کافی نیستند.

در جدول (۱) به اختصار داده‌های بکار رفته بررسی و نتایج تحقیقات بیان گردیده است.

حقیقت با افزایش دما بر میزان خشکی سطح تاثیر گذاشته و موجب می شود میزان گردوغبار بیشتری توسط باد حمل شود [۴۹].

رطوبت: مقدار درصد رطوبت در ۲ متر بالاتر از سطح زمین مورد نظر است. مقدار رطوبت در مسافت حمل شدن ذرات هواویز گردوغبار توسط باد مؤثر است [۵۰].

سرعت باد: سرعت و جهت حرکت هوا که از مناطق پر فشار به کم فشار سیر می‌کند. سرعت باد باید از حد آستانه عبور کند تا توانایی حمل ذرات را داشته باشد. باد با سرعت بالا می تواند گردوغبار را به راحتی بلند کند و به مناطق دور دست انتقال دهد [۲۲].

رطوبت خاک، نوع خاک، دانه بندی و ترکیب خاک: درصد آب در قسمت بالای لایه خاک، علاوه بر آن میزان شوری و درصد محتوای کربن و کانیهای خاک که بر رشد پوشش گیاهی و بر میزان فرسایش خاک تاثیر می‌گذارد.

جدول ۱- فاکتورهای مؤثر در پدیده گردوغبار

عوامل مؤثر در گردوغبار	نویسنده	منطقه مورد مطالعه	نتایج
پارامترهای هواشناسی (بارش، دما، فشار و میدان باد)	, et at, 2018 Namdari	عراق و سوریه و عربستان سعودی	تجزیه و تحلیل رگرسیون دوگانه بین داده‌های ماهانه دما و AOD نشان دهنده همبستگی بالا برای عربستان سعودی ۰,۷۲ و عراق-سوریه ۰,۶۴) است. اثرات دما بر AOD بیشتر در مقیاس زمانی ماهانه مشاهده می‌شود. اثرات بارش بر روی AOD بیشتر در مقیاس سالانه مشاهده می‌شود.
پوشش سطحی	, et at, 2017 Kim,	ترکمنستان، ایران، افغانستان و پاکستان	بیشترین فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در حوضه سیستان و در اطراف بیابان‌های جنوب افغانستان مشاهده می‌شود، در حالی که مسیرهای گرد و غبار دارای الگوی مشخص شمال به جنوب از دریای خزر تا دریای عربی است.
PM10 (شامل سولفات‌ها، کربن آلی، کربن سیاه، نمک دریا و غبارهای معدنی، مناطق کم ارتفاع فاقد پوشش (تجمع رسوب و دارای منشا گردوغبار)	Asgari, et, at 2016	برای منطقه ای از غرب آفریقا تا شرق چین،	بر اساس این مدل عامل‌های انتشار غبار اندازه ذرات خاک و رطوبت سطحی می‌باشد.
موقعیت خاک‌های شنی، فراوانی SDS، تخریب خاک‌های ناشی از انسان (HISD)، شاخص تاثیر انسانی (HII)، بهره‌وری استفاده از باران (RUE) و تولیدخالص اولیه (NPP)	Hui, et. at, 2015	ایران	با تشکیل دیتاست‌ها و با استفاده از روش درون‌یابی و معیار تخصیص وزن حوضه سیستان و هورالعظیم و هوراهویزه به عنوان کانون گردوغبار در ایران مشخص شد.

۴- مروری بر مدل‌های گردوغبار

برای شناخت بهتر یک پدیده اقدام به مدلسازی آن می‌کنند. مدل‌ها برای نمایش بهتر پویایی سیستم‌ها در شرایط متفاوت می‌باشد. هر سیستم با ترکیب عناصر و اجزای طبیعی متفاوت و الگوهای ارتباطی ناهمگون تشکیل شده است. هرکدام از اجزا درون سیستم به عنوان واحد اساسی در نظر گرفته می‌شود. هر کدام از اجزا دارای ویژگی‌های خاص خود می‌باشد و تحت شرایط متفاوت تغییر می‌کند شبیه‌سازی مدل‌ها در شرایط متفاوت به دنبال راه حل برخی پدیده‌ها از جمله گردوغبار است. طرح‌واره‌های مختلف مدل گردوغبار به شرح زیر تشکیل شده است.

۱- مدل اتمسفر^۱: این مدل شامل دینامیک جوی و فرآیندهای فیزیکی، مانند تابش، انتقال گرما، انتشار که همه مدل‌های دیگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. سیستم یکپارچه مدل اتمسفر، یک مدل پیش‌بینی هوا در منطقه است که توسط لیزلی و پرسر در سال ۱۹۹۱ در دانشگاه نیو ساوت ولز طراحی شده است [۲۴]. سیستم معادله‌ای که برای پیش‌بینی عددی آب و هوای استفاده می‌شود شامل هفت معادله اساسی با اجزای سرعت، معادله پیوستگی، معادله ترمودینامیکی، معادله رطوبت، معادله حالت، معادله غلظت گرد و غبار که به سیستم معادله اضافه شده است [۳۰].

۲- مدل سطح زمین^۲: شامل اطلاعات مربوط به توزیع اندازه ذرات خاک، سرعت آستانه فرسایش بادی، ویژگی‌های سطح خاک مانند رطوبت و دما، پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ و شار انرژی و جرم می‌باشد. به طور کلی در سه پارامتر در نظر گرفته می‌شود. (۱) پارامتر خاک: توزیع اندازه ذرات خاک و مقاومت خاک، (۲) پارامترهای آئرو دینامیک خاک که شامل زبری سطح و بلند شدن هستند. (۳) پارامترهای مختص به خصوصیت دمایی و هیدرولیکی خاک [۳۹].

۳- مدل انتشار یا جا به جایی گرد و غبار^۳: مدل فرسایش باد شامل سه پارامتر کلیدی سرعت تخریب آستانه فرسایش، شار جریان شن و ماسه و جریان انتشار

گرد و غبار (Fi) برای N گروه اندازه ذرات گرد و غبار است. نرخ انتشار گرد و غبار رابطه غیر خطی بین تعداد و اندازه توزیع ذرات جابه جاشده و سرعت باد دارد [۶].
لو و شائو در سال ۱۹۹۹ مدل انتشار گرد و غبار را بر اساس دانه های شن و ماسه تخمین زدند. سه مکانیسم اصلی برای انتشار گردوغبار توسط شائو در سال ۲۰۰۱ توسعه یافت که شامل (۱) پرتاب مستقیم گرد و غبار توسط ذرات نیروهای آئرو دینامیک است. (۲) انتشار ذرات گرد و غبار باعث سایش ذرات سطح می‌شود. (۳) تجزیه ذرات شن و ماسه گرد و غبار به خاک دانه‌های رس در طول جهش می‌باشد. نرخ انتشار گرد و غبار مربوط با این سه مکانیسم برابر است با:

$$F = F_a + F_b + F_c \quad (1)$$

F_a نیروی آئرو دینامیکی است که به طور کلی ناچیز است. زیرا در شرایط فرسایش باد طبیعی، ذرات توسط F_a (نیروهای آئرو دینامیک) که ضعیف هستند بالا برده می‌شود. F_b بمباران جهش که بر نیروهای اتصال بین ذرات f غلبه می‌کند و در نتیجه انتشار قوی است. F_c نیروی جمع کننده ذرات از هم پاشیده، به این معنی که ذرات ریز در رویدادهای ضعیف تجمع می‌یابد [۳۹] [۳۸].

۴- مدل شدن گرد و غبار^۴: شامل اطلاعات درجهت افقی و عمودی توده، انتشار عمودی، همرفت خشک و مرطوب به وسیله تعادل بین نیروهای جاذبه، نیروهای جاذبه بین ذره‌های آئرو دینامیک تعریف می‌شود [۳۹].

۵- مدل فرونشست گرد و غبار^۵: ذرات گرد و غبار به صورت رسوبات خشک و مرطوب به سطح منتقل می‌شوند. رسوب خشک شار گرد و غبار از اتمسفر به سطح از طریق مولکولی و انتشار آشفته و ته نشینی گرانشی است، در حالی که رسوب مرطوب انتقال گرد و غبار به سطح از طریق بارش است. شار گرد و غبار رسوب خشک، F_d ، بیان می‌شود.

$$F_d = [-rwd[c(z) - c(0)] \quad (2)$$

$c(0)$ و $c(z)$ به ترتیب، غلظت گرد و غبار در سطح و در سطح مرجع z است و w سرعت خشک شدن رسوب است [۳۶].

۴ Dust transport
۵ Dust deposition

۱ Atmospheric model
۲ Land surface model
۳ Dust emission model

است، اما با تفاوت های زیادی بین ایستگاه ها. بیشترین فراوانی طوفان های گرد و غبار در حوضه سیستان و در اطراف بیابان های جنوب افغانستان مشاهده می شود، در حالی که مسیرهای گرد و غبار دارای الگوی مشخص شمال به جنوب از دریای خزر تا خلیج فارس است [۳۷].

وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ مقایسه شاخص^۱DSF و شاخص اولیه برای ویژگیهای منطقه ای گردوغبار (و شاخص^۲DSE (میزان شیوع و حوادث گردوغبار) با استفاده از فاکتورهای موثر در گردوغبار مانند سرعت و جهت باد در ۳۱۹ ایستگاه هواشناسی از سال ۱۹۲۷ تا ۲۰۰۷ در شمال چین به بررسی مکانی گردوغبار پرداخته است. نتایج نشان داد از سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۷ مقدار کل DSE و DSF از ۵۵۸ به ۲۰۱ و از ۱۲۷۳ به ۴۶۷ کاهش یافته است، اما میانگین مقادیر ناشی از شیوع و طول مدت DSE از سال ۱۹۹۱ به میزان زیادی افزایش یافته است. در حقیقت این بیانگر این است که DSE یک شاخص بهتر برای شیوع و رخداد گردوغبار می باشد [۴۳].

۲-۴- مدلسازی عددی

این مدل های ریزگرد غالباً بر پایه محاسبات ریاضی به پیش بینی میزان ساطع شدن ذرات، مسیر جابه جایی آنها در اتمسفر و فرونشست می پردازند. به طور کلی می توان این را به صورت On_Line یا Off_Line دسته بندی نمود. مدل های جهانی و برخی مدل های منطقه ای و یا هر دو به نمایش تغییرات پیش بینی هوا می پردازد. مدل جهانی و منطقه ای را از منظر دیگر می توان مدل هایی که به پیش بینی کوتاه مدت یا میان مدت هواشناسی می پردازد را در نظر گرفت.

۴-۲-۱- مدل جهانی

به مدلسازی و پیش بینی طوفان در کل دنیا می پردازند. در مدل های جهانی و برخی منطقه ای به نمایش کوتاه مدت برای پیش بینی هوا از نظر قابلیت دید به مدت ۳ تا ۵ روز می پردازد. دقت مدلسازی این پدیده ها در برابر مدل های منطقه ای

راپچ در سال ۱۹۹۱ یک مدل برای فرونشست لایه خشکی که خواستار داده ها و پارامترها کمتر است پیشنهاد کرد. در این مدل سرعت خشک شدن رسوب از سه مؤلفه تشکیل شده است.

$$wd = -wt + gbb + gbm \quad (3)$$

که در آن gbb هدایت مولکولی و gbm هدایت نهفتگی است. رسوب مرطوب در این مورد در نظر گرفته نشده است [۴۹].

درک رفتار گردوغبار، روند فرسایش و پیش بینی نواحی تحت تأثیر نیازمند شناخت مدل های مختلف است. این مدل ها به سه دسته کلی آماری، عددی و سنجش از دوری تقسیم می شود.

۴-۱- مدلسازی آماری

روش آماری جهت شناخت و تحلیل الگوی وزش بادغبارها است تا رژیم حامل ذرات گرد و غبار از نظر فراوانی و موقعیت در یک منطقه به خوبی شناسایی شود. نتایج این مطالعات برای پیش بینی سالانه وقوع گردوغبار در سالهای آتی مفید می باشد. در اغلب موارد از پارامترهای هواشناسی در بررسی آماری کمک گرفته می شود.

برای مثال آقای رشکی و همکاران در سال ۲۰۱۸ ویژگی های حوادث گرد و غبار (با توجه به شدت آن) را در آسیای مرکزی و جنوب غربی آسیای ماه های گرد و غبار ماه ها ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶، بر اساس مشاهدات دیدنی در ۱۲ ایستگاه هواشناسی در ترکمنستان، ایران، افغانستان و پاکستان، تحلیل کردند. حوادث گرد و غبار بر اساس آستانه های دیداری مانند گرد و غبار معلق (کمتر از ۱۰ کیلومتر)، گرد و غبار (دید بین ۱ تا ۵ کیلومتر) و طوفان گرد و غبار برای دید کمتر از ۱ کیلومتر طبقه بندی نمودند. تکامل هر ساله فراوانی حوادث گرد و غبار به صورت ماهانه برای هر دو سری داده های روزانه (ساعت گرد و غبار و روز گرد و غبار) مورد بررسی قرار می گیرد. با توجه به شدت، فراوانی گرد و غبار، تغییرات بین سالانه و درون فصلی بین ایستگاه های مربوط به تفاوت های مربوط به ویژگی های توپوگرافی و خاک، نزدیکی به منابع گرد و غبار عمده، هواشناسی غالب مسیرهای گرد و غبار را نشان می دهد. به طور کلی ماههای ژوئن و ژوئیه با بیشترین میزان فعالیت گرد و غبار در ساعات صبح بیشتر

^۱ Dust storm frequency

^۲ Dust storm event

کمتر است که می‌توان به مدل‌های GOCART^۱، GEOS5^۲، NGAC^۳، MACC^۴، DEAD^۵ اشاره نمود.

مدل GOCART: اساس این مدل توسط chin در سال ۲۰۰۱ توسعه داده شده که انتشار سولفور رادر اتمسفر شبیه سازی می‌کند. در این مدل فرض بر این است کانون رسوبات انباشته شده در مناطقی با توپوگرافی کمی و سطوح خشک واقع شده است واز میدان‌های هواشناسی GEOSDAS^۶ برای پیش‌بینی استفاده می‌کنند. مقایسه خروجی مدل با داده‌های واقعی نشان می‌دهد تغییرات فصلی سطح را به خوبی نشان می‌دهد ولی برای مناطق دورتر از کانون‌ها را بیشتر تخمین می‌زند.

مدل DEAD^۷: یک مدل اوپلری، سه بعدی انتشار و انتقال گردوغبار می‌باشد. این مدل بر مبنای تغییرات اقلیم و تغییرات شیمیایی توسعه داده شده است. با استفاده از ماژولی که برای مدل شیمیایی حمل و نقل ذرات در نظر گرفته شده میزان ساطع شدن و همچنین فرونشست را مدل‌سازی می‌کند.

۴-۲-۲- مدل‌های منطقه‌ای

بر اساس ویژگی‌های منطقه‌ای و شاخص‌های مؤثر در آن ناحیه و در آزمایشگاه‌های تونل باد و با توجه به خصوصیات ویژه خاک آن منطقه توسعه یافته است. به همین دلیل مدل‌سازی منطقه‌ای در مقایسه با مدل‌سازی جهانی در همان منطقه دقیق‌تر می‌باشد. که می‌توان به مدل‌هایی نظیر DREAM^۸، MUSCAT^۹، CHIMERE^{۱۰} Dust اشاره نمود [۴۲].

مدل پخش و پراکنش HYSPLIT^{۱۱}: مدل HYSPLIT، مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گرد و غبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای ذرات است. در این مدل محاسبه

مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام می‌گیرد. روش محاسبه‌ی مدل، ترکیبی میان دیدگاه‌های اوپلری و لاگرانژی است. غلظت ذرات برای هر شبکه (گرید) با استفاده از حرکات پخش و انتقال ذرات تعیین می‌گردد. پخش ذرات در مدل HYSPLIT به دوصورت است. (۱) مدل سه بعدی، آلاینده از منبع شروع در هر سه جهت پخش می‌شود. (۲) در حالت گوس منبع مانند یک دودکش نقطه‌ای در نظر گرفته شده و آلاینده به صورت نمودار گوسین پخش می‌شود. غلظت از پراکنش هوای آلوده در پایین دست محاسبه می‌گردد. برای مدل‌سازی گرد و غبار در مدل HYSPLIT تنظیمات در سه قسمت اصلی مدل انجام می‌پذیرد.

قسمت غلظت: تعیین غلظت مدل گردوغبار، نیاز به داده‌های کامل هواشناسی از جمله سرعت باد (در سه جهت مداری، نصف النهاری و قائم)، ارتفاع لایه مرزی، دما و فشار سطحی، میزان اختلاط افقی و عمودی، میزان رطوبت، شار گرمای سطحی و پنهان، شار تلاطمی و مقادیر بارش دارد. به جز داده‌های هواشناسی لازم است مواردی از قبیل: زمان شروع، تعداد و مختصات، نقاط آغاز شبیه‌سازی غلظت، زمان کل اجرای شبیه‌سازی غلظت، جهت حرکت در شبیه‌سازی غلظت حرکت رو به عقب (پسرو^{۱۲}) یا رو به جلو (پیشرو^{۱۳})، تراز بالای مدل، (ترازی که بالاتر از آن، ارتفاع در محاسبات حذف خواهد شد) که به طور معمول و پیش فرض برابر ۱۰۰۰۰ متر بالای سطح زمین در نظر گرفته می‌شود، چگونگی حرکت عمودی (مدل دارای توانایی محاسبه حرکت عمودی توده با روش‌های متفاوتی است که داده‌های پیوسته ورودی بهترین گزینه خواهد بود) در مدل وارد گردد.

قسمت شبکه‌بندی^{۱۴}: در قسمت شبکه‌بندی گام‌های مکانی متناسب با محدوده مورد مطالعه، مختصات دامنه‌ی شبیه‌سازی و دقت آن و زمان آغاز و پایان تعیین غلظت معرفی می‌گردد.

قسمت فرونشست ذره: نشست فاز ماده، در نظر گرفتن نشست خشک و تر و تعیین ثابت‌های آنها تعیین می‌گردد [۱۰]. در مطالعه موردی از ایستگاه هواشناسی اهواز این مدل اجرا گردید.

۱۲ Backward

۱۳ Forward

۱۴ Grid

۱ Global Ozone Chemistry Aerosol Radiation Transport

۲ NEMS GFS Aerosol Component

۳ Goddard Earth Observing System Model

۴ Monitoring atmospheric composition and climate

۵ Dust Entrainment And Deposition

۶ Goddard Earth Observing System Data Assimilation System

۷ Dust Entrainment and Deposition Model

۸ Dust Regional Atmospheric Model

۹ Multi-Scale Atmospheric Transport Model

۱۰ A multi-scale chemistry-transport model for atmospheric composition analysis and forecast

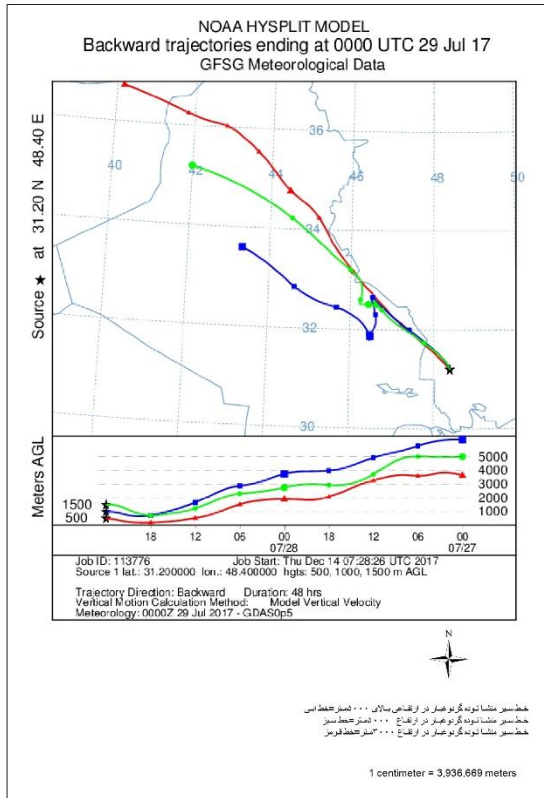
۱۱ Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory

محدوده مورد مطالعه:

مطالعه حاضر در منطقه اهواز در موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی در بخش جلگه‌ای استان خوزستان واقع شده است. (شکل ۱)

با توجه به تحقیقات ارائه شده ریزگرد در استان خوزستان با دو منشأ خارجی می باشد. (۱) مسیر شمال غربی (غربی) - جنوب شرقی (شرق) گردوغبار را از عراق و سوریه به منطقه غرب ایران انتقال می‌دهد. این مسیر کانون اصلی گردوغبار در غرب ایران شناسایی شده است. (۲) مسیر جنوبی - شمالی: از سواحل جنوب غربی خلیج فارس گردوغبار را به غرب ایران می‌آورد. این منطقه در محدوده بیابانی شرق و جنوب شرق عربستان قرار دارد که کانون ثانویه گردوغبار است [۳۷].

دهنده این است که عراق و سوریه کانون اصلی گردوغبار در منطقه اهواز است و منشأ گردوغبار از بالای ۵۰۰۰ تا ارتفاع ۳۰۰۰ متر از این کشورهاست. خروجی مدل در شکل (۲) آمده است.



شکل ۲- اجرای تعیین منشأ گردوغبار با مدل HYSPLIT در ایستگاه هواشناسی اهواز



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

مدل WRF_chem: نسخه سوم مدل پیش بینی

عددی وضع هوا به همراه شیمی توسط گول و همکاران در سال ۲۰۰۵ ارائه شده است. مدل شامل هسته دینامیکی، بخش فیزیکی و بخش شیمی است. هسته دینامیکی شامل دو شکل است، هسته دینامیکی مختصات جرمی اوپلری و هسته دینامیکی میان مقیاس، بخش شیمی مدل ساز و کارهای شیمیایی، تجزیه نوری هواویزها و گسیل ذرات به جو و بخش فیزیکی پارامترهای دینامیکی و ترمودینامیکی را در برمی گیرد [۲۰].

نکته مهم در مورد مدل‌های عددی نیازی نیست داده‌های ایستگاهی به مدل داده شود تا اجرا شود. از آنجا که مدل‌های عددی توانایی جذب داده‌های شبکه‌ای را دارند، لذا این داده‌ها قبلاً توسط مراکز بین‌المللی مدل-

روش تعیین کانون گردوغبار: در این تحقیق از

نسخه ۴ مدل HYSPLIT به صورت online استفاده شد. ذرات در سطوح ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ متری از سطح زمین و در فواصل زمانی ۶ تا ۴۸ ساعت قبل در ایستگاه سینوپتیک اهواز مورد ردیابی قرار گرفت. دلیل ردیابی گردوغبار در ۴۸ ساعت قبل از رخداد در جنوب غرب تعیین منشأ خارجی آن است. برای اجرای مدل داده‌های از مجموعه داده‌های FNL از سامانه داده‌های جهانی^۱ (GDAS) استفاده گردید. داده‌ها دارای قدرت تفکیک ۰٫۵*۰٫۵ به عنوان ورودی انتخاب گردید. نتایج مدل HYSPLIT که به صورت پسر شبیه‌سازی شده است به درستی نشان

^۲ Weather Research and Forecasting_chemical

^۱ Global Data Assimilation System

سازی‌های عددی مانند ECMWF، NOAA و JMA به داده‌های شبکه‌ای تبدیل شده تا امکان ورود آنها به مدل‌های عددی مهیا گردد. تبدیل داده‌های دیدبانی به شبکه طی فرآیند داده‌گوازی^۱ (تحلیل شده) انجام می‌شود که در آن ضمن استفاده از داده‌های دیدبانی، از داده‌های مدل نیز استفاده می‌شود. در جدول (۲) مزایا و معایب مدل‌های مختلف بیان گردیده است.

۴-۳- روش سنجش از دور

در این مدل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به شناخت و بررسی پدیده گردوغبار پرداخته می‌شود. در محدوده اپتیک اشعه نور خورشید از اجسام منعکس می‌شود اما در محدوده ماکروویو انرژی از طرف سنجنده به اجسام منتقل می‌شود. در طوفان گردوغبار میزان بازتاب^۲ بالا است و در نتیجه در محدوده مرئی تصاویر نسبتاً روشن دیده می‌شود. با افزایش بازتاب، جذب و در نتیجه دمای روشنایی^۳ (BT) کاهش می‌یابد و دمای روشنایی گردوغبار نسبت به انعکاس پوشش ابر و برف و سطح زمین در محدوده مادون قرمز نزدیک و مرئی کمتر است [۱۶]. در ماهواره مادیس حد آستانه تفاضل دمای روشنایی BTD یکی از گستره‌های مورد استفاده از تکنیک‌های شناسایی طوفان گردوغبار است [۲۳]. که آئروسول‌ها در مادون قرمز در طول موج کوتاه جذب بیشتر و در طول موج بلند جذب کمتر دارد [۲]. تفاضل منفی بین باند ۱-۱۱ < ۱۲-۱۱ بعنوان حد آستانه برای برای مشخص کردن درصد گردوغبار است.

$$BTD_{11-12} = BT_{11} \mu m - BT_{12} \mu m > Threshold \quad (۴)$$

در این روش برای شناسایی گردوغبار از ابر و آئروسول (هواویزها) استفاده می‌شود که گردوغبار ارزش منفی و ابر و هواویزها ارزش مثبت دارد [۴].

تفاضل بین باند (۸،۶-۱۱) برای تمایز ابر از گردوغبار نیز استفاده می‌شود. به علت وجود غلظت بالای بخار آب در مناطق استوایی دو باند ممکن است در شناسایی گردوغبار دچار مشکل شود. در ماهواره GEOS سه باند

^۱ Data Assimilation

^۲ Reflectance

^۳ Brightness temperature

$$TVAP = 60 + 100(BT_{12} - BT_{11}) + (BT_{3.75} - BT_{11}) > Threshold \quad (۵)$$

به طور مشابه Meteosat از ترکیب رنگی RGB که با تفاضل کانال‌ها در طول روز و شب به دست می‌آید برای شناسایی گردوغبار استفاده می‌شود.

$$R = IR_{12} - IR_{10.8}, \quad G = IR_{10.8} - IR_{8.7}, \quad B = IR_{10.8} \quad (۶)$$

بر اساس نظریه تابشی، خروجی تابش حرارتی در طول مسیر اتمسفر در مناطق گردوغبار کم (رقیق) می‌شود. در نتیجه تقلیل ظاهری رادیانس در بالای اتمسفر با هوای پاک و رادیانس حرارتی در طول کوتاه مدت که تغییری نمی‌کند قابل مقایسه است. بنابراین در طول روز پاک و شرایط صنعتی کنتراست حرارت می‌تواند نشان دهنده پیکسل گردوغبار است. شاخص NDDI^۴ برای درصد گردوغبار با استفاده از باند حرارتی ۱۱ میکرومتر METOSAT IR به صورت زیر قابل تعریف است.

$$NDDI = T_{ri} - T_{oi} \quad (۷)$$

T_{ri} دمای درخشندگی هر پیکسل در تصویر مرجع و T_{oi} دمای درخشندگی تصویر اصلی است. تصویر مرجع از طریق محاسبه ارزش حداکثر پیکسل در طول مدت مطالعه به دست می‌آید.

امکان تشخیص درصد، مقدار جهت و سرعت طوفان گردوغبار با استفاده از تکنیک‌های AI, DIP وجود دارد. در محدوده طیف مرئی با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) و تلفیق داده‌ها در تصاویر MISER می‌توان میزان گردوغبار را تشخیص داد [۱۵].

با توجه به محدودیتهای مختلفی چون زمان انجام پروژه، داده‌های موجود، تخصص مدلساز، دیدگاه مدلساز، ابزار پیاده‌سازی و مدل‌های ریاضی پایه ناقص در درجه‌های مختلفی شبیه‌سازی انجام می‌پذیرد تا شمایی از دنیای

^۴ Normalize dust differences Index

ست های مختلف) و آنالیز مدلها و آماده سازی داده ها به سرعت و سهولت انجام پذیرد. استفاده از تکنیک های ترکیبی در بستر GIS صورت می پذیرد که می توان به موارد مختلف اشاره کرد:

واقعی را نمایش داد. تکنیک های جمع آوری داده های مختلف و مدل های عددی، آماری و مدل های محاسباتی و هوش مصنوعی با پایگاه های داده متفاوت را می توان با هم ترکیب کردند تا کیفیت کار افزایش یابد. نکته قابل توجه این که با استفاده از GIS می توان یکپارچگی داده ها (دیتا

جدول ۲- مدل های گردوغبار

نام مدل	نوع مدل	داده های مورد استفاده	نام نویسنده	مزایا	معایب
GOCART	جهانی	GEOSDAS (Goddard Earth Observing System Data Assimilation System)	Ginoux et al(2001)	به خوبی تغییرات فصلی سطح را نمایش می دهد.	برای مناطق دورتر از کانون-ها بیشتر تخمین می زند. مناسب برای مناطق با تغییرات توپوگرافیک کم و فاقد پوشش می باشد.
DEAD		IGBP_DIS (International Geosphere-Biosphere Programme Data and Information System)	Zender et al., 2003	محاسبه میزان فرسایش خاک با استفاده از شاخص های فیزیکی مدلسازی ساطع شدن و فرونشست	میزان فرونشست و جابه جایی خاک را در شرق آسیا و استرالیا کمتر محاسبه می کند. عدم در نظر گرفتن برخی فاکتورهای موثر در ساطع شدن
DREAM	منطقه ای	NCEP/ETA default	Nickovic et al. (۲۰۰۱)	اطلاعات سطح زمین (خاک و پوشش گیاهی و میزان رطوبت خاک)	در نظر گرفتن مدل کاربری زمین و اطلاعات سطح زمین (خاک و پوشش گیاهی و میزان رطوبت خاک)
MUSCAT		NCEP/GFS	Wolke et al., (۲۰۰۴)	استفاده از سرعت حد آستانه سرعت فرسایش بادی	کاربرد در شمال اروپا و بیابان های Sahara Saharan Mineral Dust Experiment (SAMUM) در نظر گرفتن بالای حد آستانه سرعت باد
CHIMERE-DUST		NCEP/GFS	Marticorena et al., (1995)	ایجاد مدل سه بعدی جا به جایی گردوغبار و بررسی اثرات آن بر اکوسیستم	برای غرب آفریقا و شمال دریای آتلانتیک تعبیه شده است.
WRF-CHEM		NCEP/NCAR/FSL/ FNL	1990s, NCAR	قابلیت بالای مدل در شبیه سازی مقادیر غلظت هواپز سولفات و PM10	دارای تعداد کم ایستگاه ها در جنوب غرب آسیا
HYSPLIT		GDAS	Draxler and Hess(1998)	این مدل محاسبه مسیر و غلظت آلاینده با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی انجام می گیرد.	دارای تعداد کم ایستگاه ها در جنوب غرب آسیا

تکنیک های آماری مانند رگرسیون، حداکثر احتمال، شبکه های بیزی، ماشین های بردار پشتیبانی، تجزیه مولفه های اصلی و غیره اشاره کرد. به عنوان مثال محسن یوسفی و کاشی در سال ۱۳۹۴ برای تعیین برخی عوامل

تکنیک های آماری مانند رگرسیون، حداکثر احتمال، شبکه های بیزی، ماشین های بردار پشتیبانی، تجزیه

تأثیر گذار بر پدیده طوفان گردوغبار به منظور تعیین مناسب‌ترین ترکیب ورودی، از روش‌های کاهش متغیر از قبیل تحلیل عاملی (حداکثر احتمال، تجزیه مؤلفه‌های اصلی)، آزمون گاما ورگرسیون چند متغیره استفاده کردند. بر اساس روش‌های به کار رفته، بیشترین تأثیر بر پدیده طوفان گرد و غبار را در استان یزد، عوامل سرعت باد غالب، اندازه دید افقی، تداوم و میانگین سرعت باد به عهده دارند [۴۷].

تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی، منطق فازی، الگوریتم‌های ژنتیک، تطبیق الگو، و غیره، برای مدل سازی، طبقه بندی و پیش بینی گرد و غبار استفاده شده است. به عنوان مثال، یک مدل پیش بینی شن و ماسه توسط لو در سال ۲۰۰۷ با استفاده از مصنوعی شبکه عصبی (ANN) و الگوریتم ژنتیک (GA) توسعه یافته است [۳۱].

یانگ در سال ۲۰۱۱ با استفاده از الگوریتم ژنتیک به پیش بینی طوفان گردوغبار برای داده‌های با سطوح تفکیک متمایز پرداخت. فی زیو و همکاران در سال ۲۰۱۵ از شبکه عصبی برای پیش بینی زمان واقعی طوفان گردوغبار و برای بازیابی ضخامت نوری آن استفاده کرد و الگوریتم ترکیبی مجرد لاگرانژی HYPSPIT برای تجزیه و تحلیل مسیر حرکت گرد و غبار استفاده کرد که مدل شبکه عصبی با داده های AERONET آموزش دیده شده بودند [۴۴].

در سال ۱۳۹۵ مجید حجتی و همکاران به منظور پیش بینی محتوای PM_{10} طوفان گردوغبار برای اولین بار از شبکه عصبی مصنوعی MLP^1 و RBF^2 را به کار بردند و از تصاویر مادیس مقادیر شاخص عمق بصری^۳ را استخراج و استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل MLP بهترین تخمین را با کمترین میزان $RMSE^4$ دارد. در حالیکه مدل RBF تخمین غیر دقیق از غلظت PM_{10} دارد [۲۲].

بهرروز سبحانی در سال ۱۳۹۳ به پیش بینی گرد و غبار با استفاده از روش‌های آماری و سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) انفیس پرداختند. ۷۰ داده‌ها به آموزش و ۳۰ درصد برای تست مدل انتخاب گردید.

ساختار استنتاج فازی (FIS) متشکل از چهار تابع عضویت گوسی بود. نتایج مدل انفیس، نشان دهنده قابلیت بالای با اطمینان ۹۳ درصد در ایستگاه زابل بود [۴۰].

۵- بحث و نتیجه گیری

این پژوهش با هدف آشنایی با مدل‌های مختلف در شبیه سازی در کشف و پیش بینی پدیده گردوغبار انجام شد. در ابتدا تکنیک‌های مختلف جمع آوری داده‌ها به صورت زمین مینا و فضایی و یا ترکیبی از هر دو روش اشاره شد. سپس فاکتورهای مؤثر در وقوع آن بیان گردید. مدل سازی گرد و غبار با استفاده از یک مدل فرسایش باد و یک مدل حمل و نقل گرد و غبار و ارتباط این مدل-ها با مدل پیش‌بینی آب وهوا با کیفیت بالاتری در ارتباط با GIS صورت می‌گیرد. این سیستم مدل‌سازی نه تنها در پیش بینی زمانی و مکانی و منابع انتشار کمک می کند بلکه در پیش‌بینی غلظت و کیفیت آب وهوا نیز به کار می‌رود. در حقیقت سیستم یکپارچه پیش‌بینی گرد و غبار با تاکید بر مدل های مختلف و ارتباط آنها با پایگاه داده GIS رویکرد سیستماتیک گرفته است.

در نهایت مدل‌های مختلف که پایه عددی، منطقه‌ای و جهانی همچون WRF_chem, HYSPLIT معرفی گردید و مدل HYSPLIT در شهر اهواز اجرا گردید که نتایج حاکی از این است که منشا گردوغبار از کشور عراق و سوریه بوده و از ارتفاع بالای ۵۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متری به مناطق ۱۵۰۰ تا ۵۰۰ متری از سطح زمین انتقال میابد. مدل گردوغبار GOCART به بررسی منابع و پراکنش می پردازد. در این مدل پروسه انتشار، حمل و نقل و فرونشست حجم گرد و غبار از شعاع ۰٫۱ تا ۶ میکرومتر را در بر می گیرد. این مدل در طول چند سال گذشته با مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی با مشاهدات غلظت گرد و غبار در سطح، توزیع عمودی، شیب رسوب سطح، ضخامت نوری و توزیع اندازه، در سراسر جهان مورد ارزیابی قرار گرفت که مطابق با کانون های شناخته شده گردوغبار است. این مدل غلظت گردوغبار را ۳ تا ۵ برابر بیشتر در کانون آسیایی و استرالیا تخمین میزد [۱۹]. در سال ۱۳۹۵ محمد عسگری و همکاران به طور مشابه این شبیه سازی PM_{10} را با یک ساختار لانه ای تو در تو به صورت شبکه ای ۹۰ کیلومتری برای منطقه ای از غرب آفریقا تا شرق چین، زیر شبکه ای با تفکیک

^۱ Multilayer Perceptron

^۲ Radial-Basis Function

^۳ AOD

^۴ Root Mean Square Error

قرار گرفت. نتایج حاکی از این است که برای مناطق خشک مناسب می‌باشد. در سال ۱۳۹۵ این مدل نیز توسط خداینده‌لو و همکاران در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷ با استفاده از داده های رطوبت خاک، توپوگرافی و میانگین سرعت باد اجرا گردید که نشان از اعتبار مدل در ایران واقع در غرب آسیا بود [۲۶]. در سال ۲۰۰۲ Tegen و همکاران بیان نمودند مدل منطقه‌ای MUSCAT در چارچوب بیابان‌های Sahara و اروپا می‌باشد پس اجرای این مدل برای ایران مناسب نیست و با مقایسه خروجی مدل و سرعت باد مشخص گردید که سرعت باد باید کاهش یابد [۴۱]. با توجه به نکات گفته شده مدل‌های منطقه‌ای و WRF_chem, HYSPLIT برای ایران قابلیت اجرایی دارد [۵۰] [۸]. جن و همکاران در سال ۲۰۱۸ با استفاده از مدل WRF_chem به بررسی مدل گردوغبار در منطقه شرق آسیا در تابستان ۲۰۱۰ پرداخت. نتایج نشان داد که مدل WRF-Chem در تابستان بیش از مناطق شرق آسیا، توزیع فضایی و زمانی فاکتورهای هواشناسی و گرد و غبار آئروسول را نشان می‌دهد [۱۱].

با توجه به بررسی انجام شده مشخص گردید در ایران و غرب آسیا باید مدل منطقه‌ای و ناحیه ای باید اعمال گردد تا از اعتبار بالایی برخوردار باشد. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌ها، کمبود ایستگاه‌ها برای سنجش داده‌های لازم برای گردوغبار می‌باشد. اگر چه از داده‌های سنجنده مادیس یا ایستگاه‌های AERONET استفاده می‌شود ولی تراکم و قدرت تفکیک زمانی و مکانی مورد نظر را ندارد که این محدودیت تامین داده و اعتبار سنجی همه مدل‌ها را دچار مشکل می‌کند. به منظور کارهای آتی پیشنهاد می‌گردد تا پایگاه داده تشکیل گردد تا تمام تحقیقات در آن ثبت شود تا از تکرار جلوگیری شود. علاوه بر آن ارائه مدلی بومی برای مدل‌سازی و پیش بینی طوفان گردو غبار در ایران و غرب آسیا در مقیاس منطقه ای ایجاد شود. اولویت فاکتورهای موثر در مقیاس محلی و منطقه ای ایران بررسی گردد.

۳۰ کیلومتری برای ایران و زیر شبکه ای با تفکیک ۱۰ کیلومتر برای خوزستان (اهواز) در نظر گرفتند. نتایج اولیه مدل حاکی از رطوبت سطحی بالا و همچنین برآوردهای نامناسب مدل برای ذرات گردوغبار PM10 است. با در نظر گرفتن رطوبت سطحی کمتر از نقطه پژمردگی در ماه های گرم سال مناطق بیابانی رطوبت سطحی اصلاح شد. شاخص فرسایش پذیری با استفاده از رطوبت سطحی و سرعت آستانه فرسایش در مدل تعریف گردید. در نهایت تحلیل آماری با اصلاح شاخص ها دقت قابل قبولی از مدل را ارائه داد [5]. در مدل DEAD مناطق غیر قابل فرسایش با در نظر گرفتن پوشش گیاهی و مناطق پوشیده از برف از مناطق فرسایش پذیر تفکیک شده اند. این مدل بنا بر تحقیقات زندر و همکاران در سال ۲۰۰۳ میزان جابه جایی و فرونشست گردوغبار را برای شرق آسیا، استرالیا و برخی مناطق اقیانوس آرام کمتر تخمین می‌زند. این مدل با ریزگرد ساطع شده در نواحی کانونی مشابه می‌باشد و ریزگرد ساطع شده در این مدل ۸۰٪ مدل GOCART است [۳۷]. در این مدل فاکتورهای موثر گسیل گردوغبار مانند نیروهای متصل کننده ذرات خاک و حد آستانه فرسایش بادی در نظر گرفته نشده است. در مدل‌های مورد بررسی با توجه به اینکه در مقیاس جهانی شبیه سازی شده اند برای کاربرد منطقه ای و محلی مناسب نمی‌باشند اگر چه با تصحیحاتی از سوی برخی در ایران صورت گرفته است. نسخه نهایی مدل DREAM تحت عنوان BSC_DREAM که یک مدل سه بعدی است در سال ۲۰۰۶ ارائه گردید. در این مدل اطلاعات سطح زمین (رطوبت و نوع خاک، پوشش گیاهی) در نظر گرفته می‌شود. پاول در سال ۲۰۰۸ در تالویو توزیع گرد و غبار سه بعدی، که روزانه توسط مرکز تحقیقات آب و هوایی دانشگاه تالویو پیش‌بینی شده است بررسی نمود. نتایج نشان دهنده این بود که برای افزایش مدل DREAM استفاده از ۸ اندازه ذرات به جای ۴ دسته مناسب‌تر است تا نتیجه مورد نظر حاصل شود. این مدل در کشورهای مختلفی مانند اسپانیا، یونان، ترکیه مورد استفاده

مراجع

- [1] Abdulalah, BS., (1993) "Depicting dust and sand storm signatures through the means of satellite images and ground-based observations for Saudi Arabia". PhD thesis, University of Colorado at Boulder.
- [2] Ackerman, S.A., (1997) " Remote sensing aerosols using satellite infrared observations" .J. Journal of Geophysical Research: Atmospheres VOL.27, No14, PP.17069-17079.
- [3] Ahrens, C. D. (2010). "Essentials of Meteorology." An Invitation to the Atmosphere" Cengage Learning

- [4] Allen, R.C Jr, Durkee, P.A., Wash, CH. (1990)." Snow-cloud discrimination with multispectral satellite measurements.", *Journal of Appl Meteorol* Vol.29, PP.994–1004.
- [5] Asgari, M.H., khalighi,S., Irannejad, P., Ahmadi, H and Malekian, A.,(2017)," Evaluation of GOCART Scheme for Simulating PM10", *Journal of Range and watershed Management*, Vol. 69, No. 2, PP.461-173
- [6] Bagnold, R. A. (1941). "The physics of blown sand and desert dunes": Courier Dover Publications, pp.115-119
- [7] Berni , J., Zarco-Tejada P.J., Sua ´rez ,L . and Fereres, E. (2009)."Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle.", *IEEE Trans Geoscience Remote Sensing* ,Vol.47 PP.722–738
- [8] Bloorani, A. D, Nabavi S O and Azizi, R. (2013). "Characterization of Dust Storm Sources in Western Iran Using a Synthetic Approach. *Advances in Meteorology*", *Climatology and Atmospheric Physics Springer*. Berlin Heidelberg. 415–420.
- [9] CAO Hui, LIU Jian, WANG Guizhou, YANG Guang, LUO, Lei. And Lei,L.G., (2015), "Identification of sand and dust storm source areas in Iran.", *Journal of Arid Land*, VOL.7, No5, PP.567-578 .
- [10] Chavez, PS., Mackinnon, DJ. Reynolds, RL and Velasco, M. (2002)." Monitoring dust storms and mapping landscape vulnerability to wind erosion using satellite and ground-based digital images." *Geomorphology*. No.51, PP.1–8
- [11] Chen,S., Yuan, T., Zhang, X., Zhang, G., Feng, T., Zhao, D., Zang, Z., Liao, SH., Ma,X., Jiang, N., Zhang, J and Lu, Hu.,(2018)," Dust modeling over East Asia during the summer of 2010 using the WRF-Chem model", *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* , *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, doi.org/10.1016/j.jqsrt.2018.04.013.
- [12] de Graaf, M., Donovan, DP and Apituley, A. (2010) "Saharan desert dust microphysical properties from principle component analysis (PCA) inversion of raman lidar data over western Europe." *Proceedings of the 25th international lidar radar conference*. St. Petersburg, Russia.
- [13] Draxler, R., Hess, G.D. (1998)."An Overview of the HYSPLIT_4 Modelling System for Trajectories, Dispersion". *Deposition Australian Meteorological Magazine*. NO. 47, PP. 295-308.
- [14] Elabdin, Z., Islam, R and Khalifa,O. O. (2008) "Development of mathematical model for the prediction of microwave signal attenuation due to dust storm." *Proceedings of the international conference on computer and communication engineering (ICCCE 2008)*, pp 1156–1161
- [15] El-Askary, H., Agarwal, A., and El-Ghazawi ,T. (2005)."Enhancing dust storm detection using PCA based data fusion." *IEEE international geoscience and remote sensing Symposium (IGARSS)*, pp 1424–1427.
- [16] El-Askary, HM., Sarkar, S, Kafatos M, El-Ghazawi TA, (2003)." A multisensor approach to dust storm monitoring over the Nile Delta." *IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing* VOL. 41, NO. 10,PP. 2386–2391.
- [17] Elsheikh EA., Islam M, Alam AHM et al (2010) The effect of particle size distributions on dust storm attenuation prediction for microwave propagation. *Proceedings of the international conference on computer and communication engineering (ICCCE)*, Kuala Lumpur, pp 1–5.
- [18] Fu-cun, W., You-zhi FU and Hong L.I. (2008)." Diagnostic analysis and weather radar observation of a sand-dust storm in autumn." *Journal of Desert Research*, Vol. 28,PP.170–177.
- [19] Ginoux, P., J.M. Prospero, O. Torres and Chin, M.,(2004), "Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation." *Environ. Model. Software*,Vol. 19,PP. 113–128.
- [20] Goudie, A. S., Middleton, N. (2006)." Desert dust in the global system." *Springer*,68-70.
- [21] Hill, D. (1982), "Intruduction to soil Physics." , Academic Prss, New York.
- [22] Hojati, M., Darvishi, B.A, Alavipanah, K. Kyavarz, M and Bodaghjamali, J. (2017). " Artificial neural network based model to estimate dust storms 10PM content using MODIS satellite images" , *Journal of Envirmental students*, Vol. 42, No. 4, PP. 823-838.
- [23] Hu, X.Q., Lu, N.M., Niu, T. and Zhang, P., (2008)."Operational retrieval of Asian dust storm from FY-2C Geostationary Meteorological Satellite and its application to real time forecastin Asia." *Atmospheric Chemistry and Physics*.NO. 8, PP.1649–1659.
- [24] Irannejad, P., Shao, Y., (1998). "Description and validation of the atmosphere land surface interaction scheme (ALSIS) with HAPEX and Cabauw data." *Global Planet. Change* No. 19, PP. 87–114.
- [25] Jahantab, Z., Alshaikh, A., Darvish, A and Teimouri, H., (2017)." Sprial-Temporal modeling of land_vegetation degradatuin, using weighted overlay index model. Acase study on Ninenaveh provience, IRAQ." *European Journal of Geography* ,Vol. 8, No .4, PP.118 – 141.

- [26] Khodabandehloo, E., Alimohamdadi, A., Sadeghi-Niaraki, A., Darvishi Bolorani, A and Alesheikh, A., (2016)," Presentation And Evaluation of A New Spatiotemporal Model For Dust Emission In Regional Scale (DustEM)", *Iranian Remote Sensing& GIS* Vol.8, No.1, PP.1-18.
- [27] Kim, D., Chin, M., Remer, L.A., Diehl, T., Bian, H., Yu, H., Brown, M.E and Stockwell, R.W., (2017)," Role of surface wind and vegetation cover in multi-decadal variations of dust emission in the Sahara and Sahel", *Atmospheric Environment*, No.148, PP. 282-296.
- [28] Koven, C. D., Fung, I. (2008). "Identifying global dust source areas using high-resolution land surface form." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, VOL. 113, NO. D22.
- [29] Leslie, L., Purser, R., (1991). High-order numerics in an unstaggered three-dimensional time-split semi-Lagrangian forecast model. *Monthly Weather Review*. VOL.119, PP. 1612–1632.
- [30] Leys, J., McTainsh, G., & Shao, Y. (2001). Wind erosion monitoring and modeling techniques in Australia Sustaining the Global Farm, Selected Papers From the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, edited by DE Stott, RH Mohtar, and GC Steinhardt. Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, 940-950.
- [31] Lu, Z., Dai, J., Yang Y and Liu, H., (2007)." Research on the forecasting model of sand-dust storm based on the grid field." *Proceedings of the third international conference on natural computation*, pp 348-352.
- [32] Ma, Y., Gong, W. Wang, P and Hu, X. (2011)."New dust aerosol identification method for spaceborne lidar measurements." *J Quant Spectrosc Radiat Transf*, VOL. 112, PP.338–345.
- [33] MacDonald, A.E., (2005). "A global profiling system for improved weather and climate prediction." *Bull Am Meteorol Soc* 86:1747–1764.
- [34] Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohammadi, G.H and Sehatkashani, S., (2018),"Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East ", Vol. 173, PP. 256-276.
- [35] Pavel Kishcha, P., Ganor, E., Kordova, L and Alpert, P., (2008)," Saharan Dust over the Eastern Mediterranean: Model Sensitivity", *Air Pollution Modeling and Its Application XIX*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security book series (NAPSC) pp. 358-366
- [36] Ramanathan, V., (2006). "Western Pacific Autonomous UAV campaign: aerosol-dust-cloud interactions and climate effects. " *Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, White Paper* 28.
- [37] Rashki, A., kaskaoutis,D.G and Seper,A., (2018)." Statistical evaluation of the dust events at selected stations in Southwest Asia: From the Caspian Sea." *CATENA*, NO. 165, PP.590-603.
- [38] Shao , Y., (2001). " A model for mineral dust emission." *Journal of Geographical Research*, VOL.106, PP. 20239–20254.
- [39] Shao, Y., Dong CH (2006)." A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring. *Glob Planet Chang*." 52:1–22.
- [40] Sobhani, B., Bromand,S and Goldust , A., (2015)." the dust and evaluation of its possibility prediction based on statistical methods and ANFIS model in Zabol university."Vol. 13, No. 38, PP.123-138.
- [41] Tegen, I., Harrison, S. P, Kohfeld, K., Prentice, I. C, Coe, M, and Heimann, M. (2002)." Impact of vegetation and preferential source areas on global dust aerosol Results from a model study." *Journal of Geophysical Research*, 4576 .vol.107, NO. D21, PP. AAC 14-1– 14-27.
- [42] Wang, P., Sun .Z. and Vuran, MC. (2011). " On network connectivity of wireless sensor networks for sandstorm monitoring." *Computer Networks*, VOL. 55, PP. 1150–1157.
- [43] Wang, R., Liu, B., Li, H., Zou, X., Wang , J., Liu, W.,Liu, W., Cheng, H., Kang, I and Zhang, CH. (2016). " Variation of strong dust storm events in Northern China during 1978–2007." *Atmospheric Research*. Vol 183, No.1, PP.166-172.
- [44] Xiao, F., Sing ,W.M. Kwon HoLee, K, Campbell, J and Yu-kai Sh.(2015) "Retrieval of dust storm aerosols using an integrated Neural Network model" , *Computers & Geosciences*. Vol. 85, Part B, PP 104-114.
- [45] YANG, Y.Q., WANG, J., HOU, Q.L, and ZHOU ,CH, (2011)." Discriminant Genetic Algorithm Extended (DGAE) model for seasonal sand and dust storm prediction." *Earth Sciences*, January Vol.54, No.1, PP. 10–18.
- [46] Yosefi, M., KaShi, Z. L, (2015), "Nomination the most suitable of input combination of artificial neural networks method to purpose nomination the Wind parameters on the prospect of dust storms phenomenon (case study: yazd province)", *Iranian journal of Rangeland and Desert Research*, Vol.22, No. 2, PP. 240-250.
- [47] Zender S., Bian H and Newman ,D., (2003), "Mineral Dust Entrainment and Deposition (DEAD) model: Description and 1990s dust climatology", *J. Geophys. Research.*, Vol.108, NO. D14. PP.1-22

- [48] Zhang, Q., Gao, G and Wang M., "Monitoring and early warning services for spatial and temporal changes of droughts and floods In China in recent 50 years (in Chinese)." (2004) 200 Years Annual Meeting of Chinese Meteorological Society. Beijing: China Meteorological Press
- [49] Zhenxin ,S. (2004), "A numerical simulation of dust storms in China." Environmental Modelling & Software vol.19, PP. 141–151.
- [50] Zoljoodi, M., Ali Didevarasl,A., and Montazerzohor, Z .(2013). "Application of the dust simulation models in the Middle East, and dust-dispersion toward the western/southwestern (case study: Iran 2010)." Vol.5, No.7, PP. 818-831.