

شبیه سازی گردوغبار در استان خوزستان با استفاده از مدل WRF/Chem (مطالعه موردی: ۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۱۰)

الهام مبارک حسن^۱، پروین غفاریان^۲، کتایون ورشوساز^۳، مجید آزادی^۴
۱- گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲- استادیار پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی
۳- عضو هیات علمی پژوهشکده هواشناسی و علوم جو

چکیده

شناخت ماهیت، منشأ و اثر توفان‌های گرد و غبار در تعیین روش‌های پیش‌بینی و کنترل آن نقش به‌سزایی دارد. گرچه در ایران مطالعه‌های متعددی در ارتباط با گرد و غبار از دیدگاه آماری و همدیدی انجام شده است اما تا کنون مدلی پیش‌بینی اعتمادپذیری از وقوع این پدیده و همچنین شناسایی کانون‌های گرد و غبار در منطقه‌ی خاورمیانه ارائه نشده است. در این تحقیق کاربرد مدل WRF/Chem در پیش‌بینی گرد و غبار در ایران مورد نظر می‌باشد. در اولین گام، توفان گرد و غباری در ماه مارس ۲۰۱۰ انتخاب و با استفاده از داده‌های بازتحلیلی، شرایط همدیدی مورد بررسی قرار گرفت. سپس وقوع گرد و غبار توسط مدل شبیه‌سازی شده و نتیجه آن با پهنه‌بندی دید افقی مورد قیاس قرار گرفته است.

نتیجه مطالعه نشان می‌دهد تغییر زمانی گرد و غبار پیش‌بینی شده توسط مدل با تغییر زمانی PM10 (ذرات معلق با قطر ۱۰ میکرومتر) در شهر اهواز هماهنگی دارد. مدل WRF/Chem توفان گرد و غبار را در ماه مارس ۲۰۱۰ در استان خوزستان که دید به کمتر از ۱۰۰ متر رسیده به خوبی پیش‌بینی می‌نماید. در دیگر مناطق ایران که کاهش دید به ۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ رسیده و شدت توفان گرد و غبار زیاد نیست، پیش‌بینی گرد و غبار توسط مدل دقت کمتری دارد. به این ترتیب در گرد و غبارهای شدید مدل پیش‌بینی خوبی از گرد و غبار داده و در گرد و غبارهای ضعیف توزیع افقی گرد و غبار با دقت خوبی پیش‌بینی نمی‌شود.

کلمات کلیدی: توفان گرد و غبار، مدل WRF/Chem، استان خوزستان، دید افقی

مقدمه

گرد و غبار از دیدگاه‌های مختلفی قابل بررسی است. از جمله آن‌ها دیدگاه آماری، شرایط همدیدی و دینامیکی جو، بررسی توسط تصویر ماهواره، مدل‌سازی عددی و پیش‌بینی گرد و غبار را می‌توان نام برد. بیشتر مطالعه‌هایی که در ایران بر روی توفان‌های گرد و غبار انجام شده، دیدگاه‌های آماری و همدیدی بوده است. در سال‌های اخیر نیز از تصویرهای ماهواره جهت بررسی مکان و مسیر انتقال توفان‌های گرد و غبار استفاده شده است. اما طراحی مدل‌های عددی و یا کاربست مدل‌های پیش‌آماده در بحث‌های مربوط به گرد و غبار از نظر دور مانده است. در ادامه به برخی مطالعه‌های انجام شده در ارتباط با گرد و غبار در بخش‌های مختلف ایران و به ویژه استان‌های غربی ایران اشاره شده و به کمبود مطالعه‌های عددی گرد و غبار توجه خواهد شد. در ابتدا اشاره‌ای به مطالعه‌های آماری گرد و غبار می‌شود.

ریوندی و همکاران (۱۳۸۹) تعداد روزهای گرد و غبار را در استان خوزستان از سال ۸۱ تا ۸۷ بررسی نموده و دریافتند که در سال ۸۱، ۵۰ مورد توفان گرد و غبار رخ داده است در حالی که در سال ۸۷، به ۵۵ مورد رسیده است. در این بازه زمانی در سال ۱۳۸۴ بیشترین تعداد وقوع مشاهده شده است. بوچانی و فاضلی (۱۳۹۰) توفان‌های گرد و غبار را در استان ایلام در طی ۱۳۵۲ روز بررسی نمودند. نتیجه نشان داد که بیشترین فراوانی روزهای گرد و غبار در ایستگاه دهلران با ۳۳۸ روز و کمترین در ایستگاه سرابله با ۱۴۸ روز است. در طی ۱۳۸۷ تا ۱۳۷۹ آلودگی بالاتر از حد استاندارد، ایستگاه ایلام در سال ۱۳۸۷ با ۳۴ روز آلودگی در حد هشدار و بحران را تجربه نموده است.

بررسی آماری گرد و غبار از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹ در شهرهای برخی شهرهای ایران، بیشترین تعداد وقوع گرد و غبار سالانه را در شهر آبادان نشان می‌دهد. همچنین در شهر اهواز روند افزایش تعداد روزهای گرد و غبار مشاهده می‌شود (غفاریان و همکاران، ۱۳۹۲).

در دیدگاه دوم نظام‌های جوی ایجادکننده گرد و غبار و شرایط همدیدی و دینامیکی آن‌ها، مطالعه‌هایی انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

بر اساس نظر هامیش و همکاران (۲۰۰۱)، گرد و غبارهای استرالیا با فعالیت‌های ناوهای سطوح بالای جو و جبهه سرد چرخندی همراه است. مطالعه دیگری در شبه جزیره کره نشان می‌دهد که بادهای سطحی قوی و ناپایداری جوی تا ۱/۵ کیلومتر بالاتر از سطح زمین سبب انتقال گرد و غبار آسیایی به شبه جزیره کره می‌گردد (چون^۲، ۲۰۰۱). وانگ^۳ (۲۰۰۵) ویژگی‌های همدیدی در تشکیل توفان گرد و غبار را در شمال شرق آسیا مورد مطالعه قرار داد. بر اساس این مطالعه توفان گرد و غبار همیشه با یک نظام جوی کم‌فشار همراه است.

به طور کلی توفان‌های گرد و غبار در ایران در دو فصل گرم و سرد سال رخ می‌دهند که ساز و کارهای شکل‌گیری آن‌ها در این دو فصل متفاوت است. در فصل گرم سال که کم فشارهای گرمایی به سمت عرض‌های بالاتر کشیده می‌شوند در اثر برخورد با کم‌فشارها و پرفشارهای فوقانی اختلاف فشار حاصل شده و خشکی شدید منطقه نیز مزید بر علت شده و پدیده گرد و غبار در منطقه شدت می‌یابد. در دوره گرم سال نیز کم‌فشارهای گرمایی سطح زمین به خصوص کم‌فشار خلیج فارس با (مکش هوای بیابان‌های اطراف شبه جزیره عربستان) یکی از عوامل ایجاد گرد و غبار می‌باشند.

استان خوزستان در جنوب غرب ایران واقع شده و در مجاورت عراق و کویت قرار دارد. سامانه‌های مدیترانه‌ای و دریای سرخ در فصل سرد سال و کم‌فشار گرمایی در فصل گرم سال استان خوزستان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این سامانه‌ها اگر به اندازه کافی رطوبت داشته باشند، همراه با بارش بوده و در صورتی که شرایط محیطی خشک باشد، می‌توانند با توفان‌های گرد و غبار همراه باشند.

در دوره سرد سال سامانه‌های مهاجر بادهای غربی و رودبادهای جبهه قطبی PFJ همراه با آن و در دوره گرم سال کم‌فشار گرمایی سطح زمین مهمترین عامل در ایجاد شکل‌گیری پدیده گرد و غبار در استان خوزستان می‌باشند (طاووسی و همکاران، ۱۳۸۷).

بررسی و تحلیل همدیدی توفان‌های ماسه در دشت یزد نشان داد در کم‌فشارهای دینامیکی همراه با جبهه سرد جریان‌های قائم هوا سبب ناپایداری شدید جو و ایجاد توفان‌های شدید

غبارهای شدید با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر، مقدار PM10 افزایش یافته و در نتیجه شاخص PSI افزایش قابل توجهی می‌یابد. عزیزاده و همکاران (۲۰۱۲) مدل WRF/Chem را در پیش‌بینی توفان گرد و غبار ۲۲-۲۳ سپتامبر ۲۰۰۹ در کشور استرالیا به کار گرفتند. شبیه‌سازی مدل بیشترین غلظت گرد و غبار را در پشت جبهه سرد نشان داد. همچنین نتیجه مدل وجود دو مسیر حرکت توفان گرد و غبار بر روی استرالیا را نشان داد که داده‌های مدیس آن را تایید نموده است. دهه گذشته شاهد گسترش مدل‌های پیش‌بینی عددی غبار برای بهبود درک تاثیر ذرات غبار بر جو بوده است (تگن و فونگ، ۱۹۹۴؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۰؛ گینو و همکاران، ۲۰۰۱؛ شائو و همکاران، ۲۰۰۳). با وجود این که نتایج مدل‌های عددی بهبود یافته است اما هنوز عدم قطعیت‌هایی در برآورد گسیل غبار مشاهده می‌شود، (هوبرت و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین نتایج حاصل از بعضی تحقیقات روی مدل‌ها نشان می‌دهد که پراکندگی در مقادیر گسیل غبار برآورد شده از طرح‌واره‌های مختلف گسیل غبار وجود دارد که متاثر از شرایط مرزی سطحی شامل بافت خاک و پوشش گیاهی است که باعث پراکندگی در نتایج گسیل غبار می‌شود (این و پارک، ۲۰۰۳؛ شائو و همکاران، ۲۰۰۲). هدف از مطالعه حاضر کاربست مدل WRF/Chem در توفان گرد و غباری است که در سال ۲۰۱۰ در بیشتر مناطق ایران به ویژه در استان خوزستان به وقوع پیوسته است

مواد و روش‌ها

در این مطالعه توفان گرد و غبار موردی از ۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۱۰ که در استان خوزستان و شهرهای مجاور به وقوع پیوسته، انتخاب شده است. دلیل انتخاب این توفان کاهش دید افقی بسیار شدید در استان خوزستان و همچنین افزایش بسیار شدید شاخص آلودگی در شهر اهواز می‌باشد. ابتدا شرایط آلودگی هوا بررسی شده، سپس ساختارهای همدیدی تحلیل شده و در انتها شبیه‌سازی توفان گرد و غبار توسط مدل WRF/Chem ارائه می‌شود. داده‌های PSI در بازه‌های زمانی یک ساعت از سازمان محیط زیست اهواز

ماده در منطقه می‌گردد (امیدوار ۱۳۸۶). بیلهوران و سپهوند (۱۳۸۹)، استقرار شرایط پایداری جوی و کاهش سرعت باد را عاملی در جهت معلق ماندن ذره‌های گرد و غبار در مجاورت سطح زمین به مدت ۶ روز و تداوم بحران آلودگی هوا می‌دانند.

بررسی ساختارهای همدیدی در توفان گرد و غبار ژانویه ۲۰۰۵ در استان خوزستان توسط مبارک حسن و غفاریان (۱۳۸۹) انجام شده است. نتیجه نشان می‌دهد؛ گسترش پشته فشاری آزرورز به عراق و غرب ایران همراه با واگرایی و سرعت قائم پایین‌سو، در این مناطق ذرات گرد و غبار را از لایه‌های بالاتر جو (صعود کرده در ساعت‌های پیش‌تر) به سمت لایه‌های پایین‌تر (سطح زمین) انتقال می‌دهد و به این ترتیب پدیده گرد و غبار به وقوع می‌پیوندد. تداوم حضور پشته فشاری آزرورز به تداوم گرد و غبار منجر می‌شود.

بر اساس نتیجه عطائی و احمدی (۲۰۱۰)، در فصل سرد سال که هسته کم‌ارتفاع و امواج غربی بر روی اروپا و دریای مدیترانه شکل می‌گیرند، هوای سرد به عرض‌های پایین نفوذ نموده و ناوهی آن‌ها بر روی بیابان‌های خاورمیانه قرار می‌گیرد و با توجه به شرایط گرمایی این منطقه قسمت جلوی ناوه که به سمت شرق گرایش دارند بصورت پشته در آمده و اختلالات هوا را ایجاد می‌کنند و چون این بیابان‌ها خشک هستند شرایط توربلانسی و باد و گرد و غبار ایجاد می‌شود که به سمت غرب و جنوب غربی کشور کشیده می‌شوند. بررسی سه نظام جوی تولید کننده گرد و غبار بر روی استان خوزستان در سال ۲۰۱۰ دو ساختار همدیدی متفاوت را در وقوع گرد و غبارهای شدید و تشدید آلودگی بیش از ۱۰۰۰ را نشان می‌دهد (مبارک حسن و همکاران، ۱۳۹۰). به طوری که در ماه مارس (فروردین) ساختارها به الگوهای زمستانی (کم‌فشار سودانی همراه با ناوه ارتفاعی تراز میانی جو) شباهت بیشتری دارد. در تابستان ساختار همدیدی گسترش کم‌فشار گرمایی فصلی به نواحی غرب و شمال غرب ایران را در شکل‌گیری گرد و غبار و تشدید آلودگی نشان می‌دهد. همچنین مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد که در گرد و

دوم ۳۵ تا ۵۰ شرقی و ۲۷ تا ۴۰ شمالی را در بر می گیرد. آشیانه‌ی اول به گونه‌ای انتخاب شده است که علاوه بر کشور ایران، مناطقی که چشمه‌ی گرد و غبار هستند (مانند عراق، عربستان و سوریه) را پوشش می‌دهد و آشیانه‌ی دوم، کشورمان ایران را در بر می‌گیرد. شکل‌های شبیه‌سازی گرد و غبار فقط در دامنه دوم ارائه می‌شوند. شرایط اولیه و شرایط مرزی مورد نیاز در مدل از داده‌های FNL که داده‌های بازیابی با تفکیک پذیری ۱ درجه هستند استفاده شد. شرایط مرزی هر ۶ ساعت یک بار در دسترس است. تفکیک افقی داده‌های زمینی برای آشیانه‌ی اول هر ۱۰ دقیقه (نوزده کیلومتر) و آشیانه‌ی دوم هر ۲ دقیقه (چهار کیلومتر) تکرار می‌شود. از نگاشت لامبرت در این مدل استفاده شده است.

مدل از ساعت صفر روز ۲۶ تا ساعت صفر روز ۲۹ مارس اجرا شد. شروع شبیه‌سازی حداقل ۱ روز قبل از وقوع توفان گرد و غبار است تا احتمال اثرات منابع گرد و غبارهای محلی به حداقل برسد.

برای هر مدل طرح واره‌های مختلفی وجود دارد. انتخاب صحیح طرح واره‌های مختلف برای منطقه‌های مختلف دنیا و در شرایط متفاوت در صحت خروجی مدل اهمیت ویژه‌ای دارد. در شبیه‌سازی انجام شده توسط مدل WRF/Chem طرح واره‌های انتخاب شده است که در جدول شماره ۱ ارائه می‌شود.

دریافت شد. این شاخص دارای پنج مولفه دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، منوکسید کربن، ازن و ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرومتر (PM10) است. به منظور بررسی شرایط آلودگی هوا تغییر روزانه مقدار PSI (شاخص آلودگی هوا) و تغییر ساعتی PM10 (یکی از مولفه‌های آلودگی هوا) در طی روزهای یاد شده ارائه خواهد شد. علاوه بر آن دید افقی از هواشناسی استان خوزستان در بازه‌های زمانی سه ساعت تهیه و با استفاده از GIS پهنه‌بندی دید افقی ترسیم شده است. سپس با استفاده از داده‌های NCEP/NCAR ساختار فشار سطحی و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال تحلیل خواهد شد. در گام آخر مدل اجرا شده و نتیجه آن با شکل‌های پهنه‌بندی دید افقی مورد قیاس قرار خواهد گرفت. در این مورد خاص تصویر ماهواره در دسترس نبود.

در ادامه به شرح مختصری در مورد تنظیم مدل پرداخته می‌شود. در این تحقیق از مدل WRF/Chem نسخه ۳/۴ برای شبیه‌سازی توفان گرد و غبار استفاده شده است. تعداد آشیانه‌ی انتخابی "دو" بوده است. مدل در دامنه اول دارای ۱۲۸ و ۱۱۰ نقطه‌های شبکه در راستای افقی با فاصله ۳۰ کیلومتر و در دامنه دوم ۱۵۴ و ۱۵۴ نقطه در راستای افقی و با فاصله ۱۰ کیلومتر تنظیم شده است. به این ترتیب دامنه اول محدوده ۲۵ تا ۶۲ شرقی و ۲۲ تا ۴۷ درجه شمالی و در دامنه

جدول شماره ۱- پیکربندی مدل WRF/Chem

Physical Process	WRF/Chem Option
Microphysics	Lin (Lin et al., 1983)
Short-wave radiation	Goddard (Wild et al., 2000)
Long-wave radiation	RRTM(Wild et al., 2000)
Surface layer	Monin-Obukhov (Obukhov, 1971)
Land-surface model	NOAH (Chen and Dudhia, 2001; Ek et al., 2003)
Cumulus parameterization	Grell 3D (Grell, 1993)
Dust module	GOCART (Ginoux et al., 2001)

جدول ۲ مجموع PSI را در سه ایستگاه آلودگی سنجی شهر اهواز نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، مقدار PSI در روز ۲۷ مارس در هر سه ایستگاه به بیش از

بحث و نتایج

الف) تحلیل شاخص PSI

بیشترین مقدار PSI مشاهده می‌شود. مقدار PSI که در روز ۲۹ مارس در ایستگاه هواشناسی و اداره کل به کمتر از ۱۰۰ می‌رسد، در ایستگاه دانشگاه هم‌چنان بیش از ۳۰۰ است، به نظر می‌رسد که این افزایش مقدار به دلیل دیگری به جز گرد و غبار مرتبط است. در ادامه به مقایسه تغییر زمانی مقدار PM10 اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در شهر اهواز پرداخته می‌شود.

۱۰۰۰ رسیده است که بیان‌گر وقوع توفان گرد و غبار شدیدی است. دید افقی در روزهای ۲۶، ۲۷ و ۲۸ مارس در شهر اهواز به ترتیب ۵۰۰۰، ۱۰۰ و ۳۰۰۰ متر گزارش شده است، در روز ۲۷ مارس کاهش دید به ۱۰۰ متر با افزایش شدت PSI به بیش از ۱۰۰۰ هماهنگی دارد. از روز ۲۸ مارس به بعد مقدار PSI روند کاهشی دارد، اما همچنان مقدار آن بیش از ۱۰۰ بوده و شرایط هوا از نظر آلودگی در شرایط خطرناک قرار دارد. در ایستگاه دانشگاه

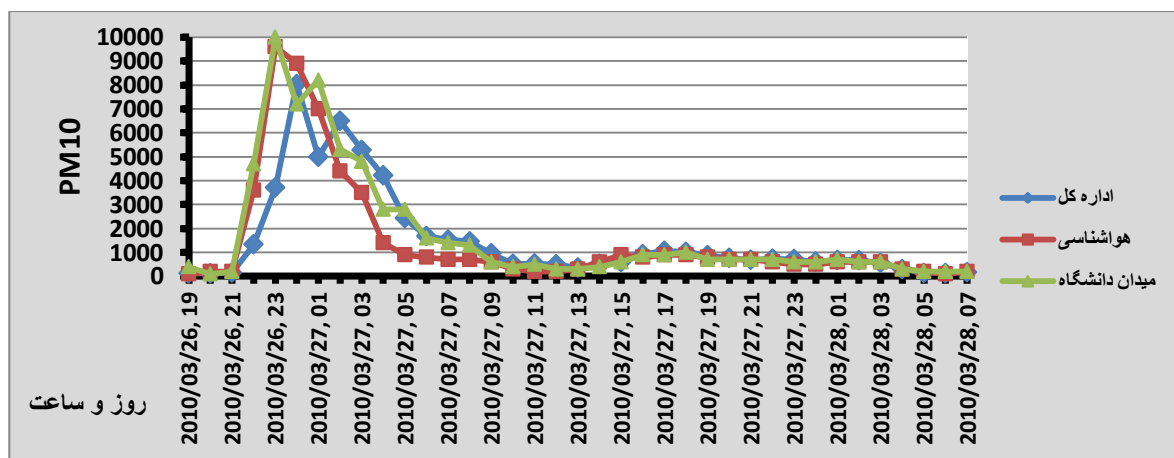
جدول شماره ۲- مقدار PSI در ایستگاه‌های آلودگی سنجی شهر اهواز، ۲۶ تا ۳۰ مارس ۲۰۱۰

اداره کل	هواشناسی	دانشگاه	مجموع PSI
80.35	79.167	93.75	1389/01/06
1922.17	1887.5	2262.5	1389/01/07
436.92	187.5	195.83	1389/01/08
92.25	91.667	321.88	1389/01/09
79.30	70.833	145.83	1389/01/10

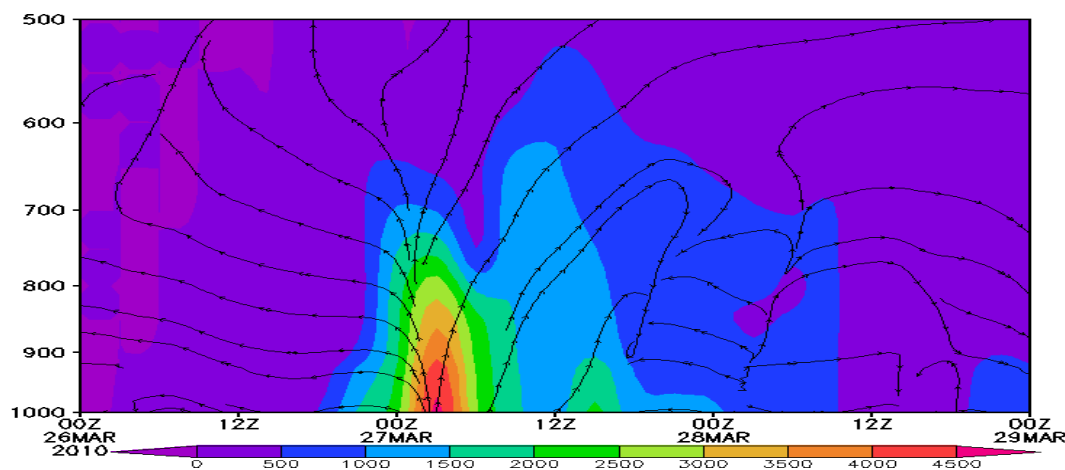
گرد و غبار ناشی از پیش‌بینی مدل در شهر اهواز، بیشینه مقدار گرد و غبار در ساعت‌های اولیه روز ۲۷ ژانویه رخ داده است (شکل ۲). شدت مقدار PM10 در ساعت‌های پایانی روز ۲۶ مارس و ساعت ۰۰ UTC روز ۲۷ مارس به ۱۰۰۰۰ واحد می‌رسد که نشان‌دهنده شدت توفان گرد و غبار در شهر اهواز است.

ب) مقایسه تغییر زمانی مقدار PM10 اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده

در بررسی روند تغییرات ساعتی PM10 در هر سه ایستگاه افزایش مقداری از ساعت ۲۳ روز ۲۶ مارس تا ساعت ۷ روز ۲۷ مارس مشاهده می‌شود (شکل ۱) که با گزارش کاهش دید افقی در روز ۲۷ مارس در شهر اهواز هماهنگی دارد. در ساعت‌های پایانی روز ۲۷ مارس نیز افزایش مقدار PM10 رخ داده است اما مقدار آن بسیار ناچیز است. در تغییر زمانی



شکل شماره ۱- تغییر ساعتی مقدار PM10 در سه ایستگاه آلودگی سنجی شهر اهواز، (۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۱۰)



شکل شماره ۲- تغییر زمانی مقدار گرد و غبار ($\mu\text{g}/\text{Kg}$) پیش‌بینی شده در شهر اهواز، ۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۱۰

پ) تحلیل دید افقی و شرایط همدیدی

بر اساس جدول ۳ در روز ۲۶ مارس کاهش دید گزارش شده است، گرچه توفان گرد و غبار در ایران فراگیر نبوده اما برخی شهرها کاهش دیدی تا ۲۰۰ متر را تجربه نموده‌اند. در روز ۲۷ مارس در بیشتر شهرهای استان خوزستان کاهش دید افقی قابل توجهی رخ داده است، به طوری که دید افقی بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر گزارش شده است. کاهش دید افقی در

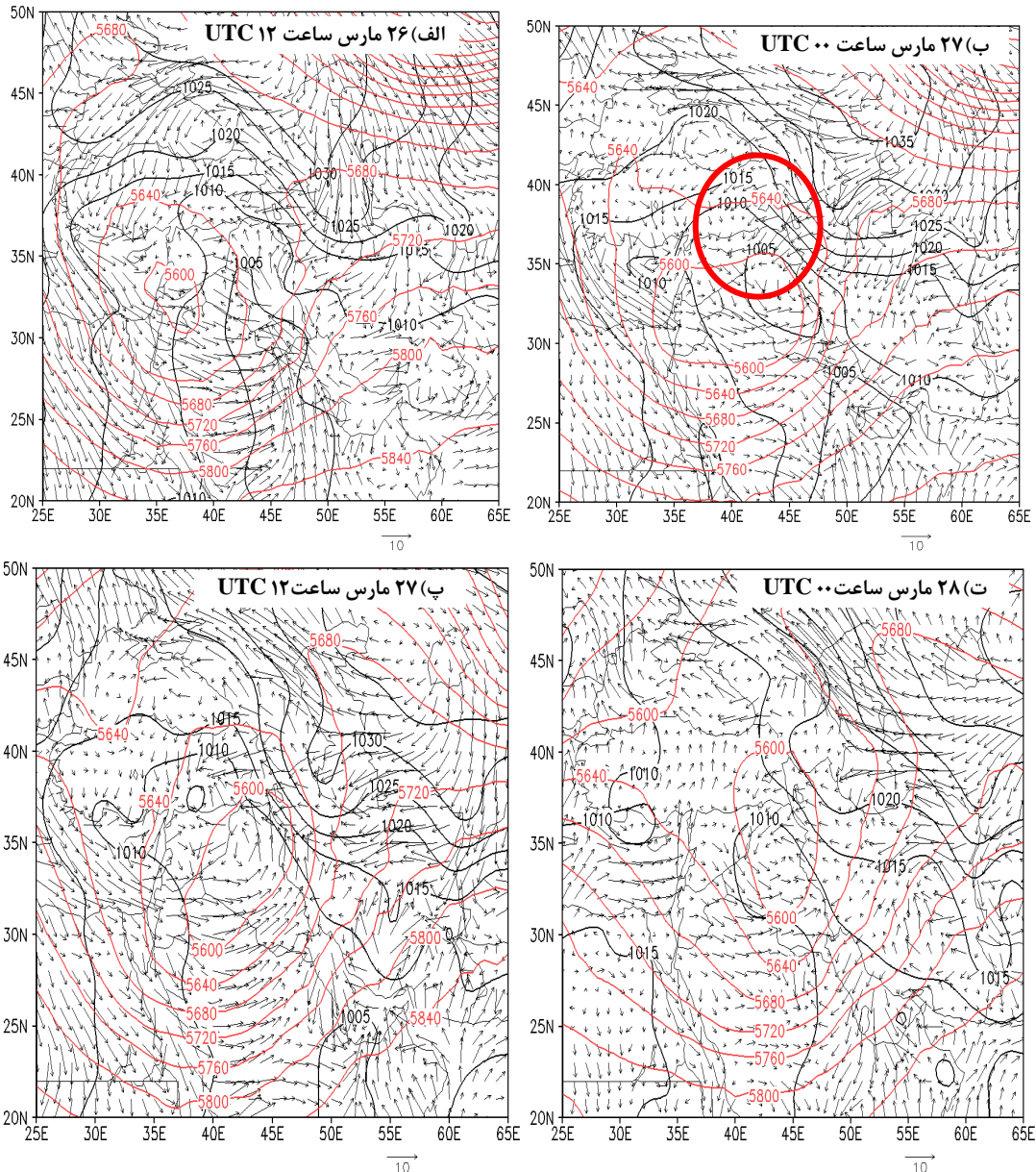
استان‌های مجاور به شدت استان خوزستان نیست. البته برخی شهرها مانند ایلام، مهران و ازنا دید به کمتر از ۵۰۰ متر کاهش می‌یابد. تا روز ۲۸ مارس هم‌چنان توفان گرد و غبار تداوم داشته، اما از شدت آن در استان خوزستان و استان‌های مجاور کاسته شده است.

جدول شماره ۳- دید افقی در ایستگاه‌های هواشناسی بر حسب متر، ۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۱۰

تاریخ میلادی	۲۶/۰۳/۱۰	۲۷/۰۳/۱۰	۲۸/۰۳/۱۰	تاریخ میلادی	۲۸/۰۳/۱۰	۲۷/۰۳/۱۰	۲۶/۰۳/۱۰
خورشیدی	۶/۰۱/۱۳۸۹	۷/۰۱/۱۳۸۹	۸/۰۱/۱۳۸۹	خورشیدی	۸/۰۱/۱۳۸۹	۷/۰۱/۱۳۸۹	۶/۰۱/۱۳۸۹
بهبان		۳۰۰۰	۴۰۰۰				
ماهشهر		۶۰۰۰	۷۰۰۰		۵۰۰۰	۱۰۰	
یستان		۴۰۰۰	۴۰۰۰		۳۰۰	۲۰۰	
اهواز		۶۰۰۰	۱۰۰۰		۳۰۰۰	۱۰۰	۵۰۰۰
آبادان		۲۵۰۰	۶۰۰۰		۱۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
مسجدسلیمان		۵۰۰	۲۰۰۰				
شوشتر		۳۰۰۰	۲۰۰۰		۲۰۰۰	۱۰۰	
رامهرمز		۱۰۰	۲۰۰۰		۸۰۰۰	۲۰۰	
امیدیه		۸۰۰۰	۶۰۰۰				
دزفول		۵۰۰۰	۱۰۰۰		۳۰۰۰	۳۰۰	
حسینیه		۶۰۰۰	۸۰۰۰		۷۰۰۰	۴۰۰	
هندیجان		۷۰۰۰	۷۰۰۰		۶۰۰۰	۱۵۰	
شادگان		۶۰۰۰	۸۰۰۰		۲۰۰۰	۱۰۰	
ایذه		۶۰۰۰			۷۰۰۰	۳۰۰	
لالی		۸۰۰	۸۰۰۰		۸۰۰۰	۷۰۰	
		۴۰۰	۸۰۰				
		۲۰۰	۸۰۰				

با کم فشار جنوب شرق عربستان چرخندی است و جهت وزش مشخصی به سمت ایران ندارد. در این ساعت دید افقی فقط در شهر آبادن به ۲۰۰ متر کاهش یافته است. در روز ۲۷ مارس ساعت ۰۰ UTC کم فشار به سمت عرض های بالاتر انتقال یافته، به طوری که تمام عراق را در بر می گیرد (شکل ۳-ب).

تحلیل همدیدی روز ۲۶ مارس ساعت ۱۲ UTC گسترش ناوه فشاری از سمت عربستان به عرض های بالاتر (عراق) را نشان می دهد. این ناوه فشاری با کم ارتفاع ۵۶۰۰ متری واقع در شرق مدیترانه و سوریه همراه است. به این ترتیب با شکل گیری کم فشار شرایط برای شکل گیری گرد و غبار فراهم می شود (شکل ۳-الف). جهت باد ۱۰ متری نیز منطبق با ناوه فشاری شمالی می باشد. جهت وزش باد ده متری منطبق



شکل شماره ۳- ساختار همدیدی شامل فشار متوسط سطح دریای آزاد (خط مشکی)، بر حسب هکتوپاسکال؛ خطوط هم ارتفاع در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال (خط قرمز)؛

پیکان های باد در ارتفاع ده متری از ۲۶ تا ۲۸ مارس ۲۰۱۰.

ت)، پیش‌بینی مدل گرد و غبار را در جنوب غرب ایران نشان می‌دهد، اما گسترش آن در استان‌های مجاور دیده نمی‌شود (۴-پ). این شرایط در ساعت ۰۶ UTC ادامه دارد (نشان داده نشده). در ساعت ۰۹ UTC گرچه از شدت و گسترش افقی گرد و غبار بر روی استان خوزستان کاسته شده اما در غرب ایران کاهش دید افقی مشاهده می‌گردد (۴-ج). پیش‌بینی مدل گرد و غبار در استان خوزستان را به خوبی نشان داده و اما در غرب ایران دقت کمتری دارد (۴-ث). در ساعت ۱۲ UTC روز ۲۷ مارس که از شدت گرد و غبار کاسته شده (۴-ح)، مدل نیز این کاهش را تایید می‌نماید (۴-چ).

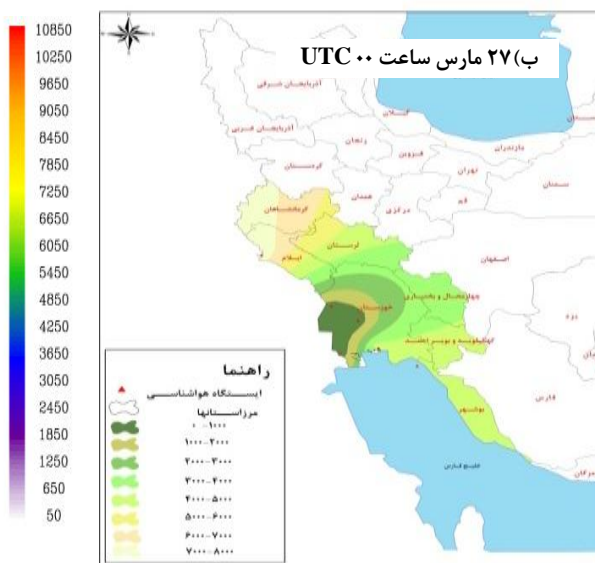
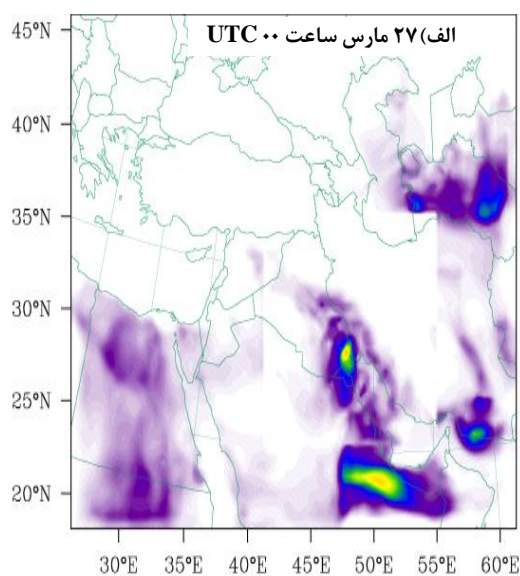
از ساعت ۱۵ به بعد توفان گرد و غبار و کاهش دید به سمت استان‌های جنوبی انتقال یافته است (شکل ۵-ب) که این شرایط توسط مدل نیز پیش‌بینی شده است (شکل ۵-الف). اما در مناطق دیگر کشور که دید افقی بین ۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ کاهش یافته، مدل گرد و غبار پیش‌بینی ننموده است. تا روز ۲۸ مارس بخش‌های وسیعی از ایران توفان گرد و غبار را با شدت کمی تجربه می‌نمایند (نشان داده نشده). نتیجه حاصل از مدل، پهنه‌بندی افقی گرد و غبار را در این شرایط به خوبی پیش‌بینی نمی‌نماید.

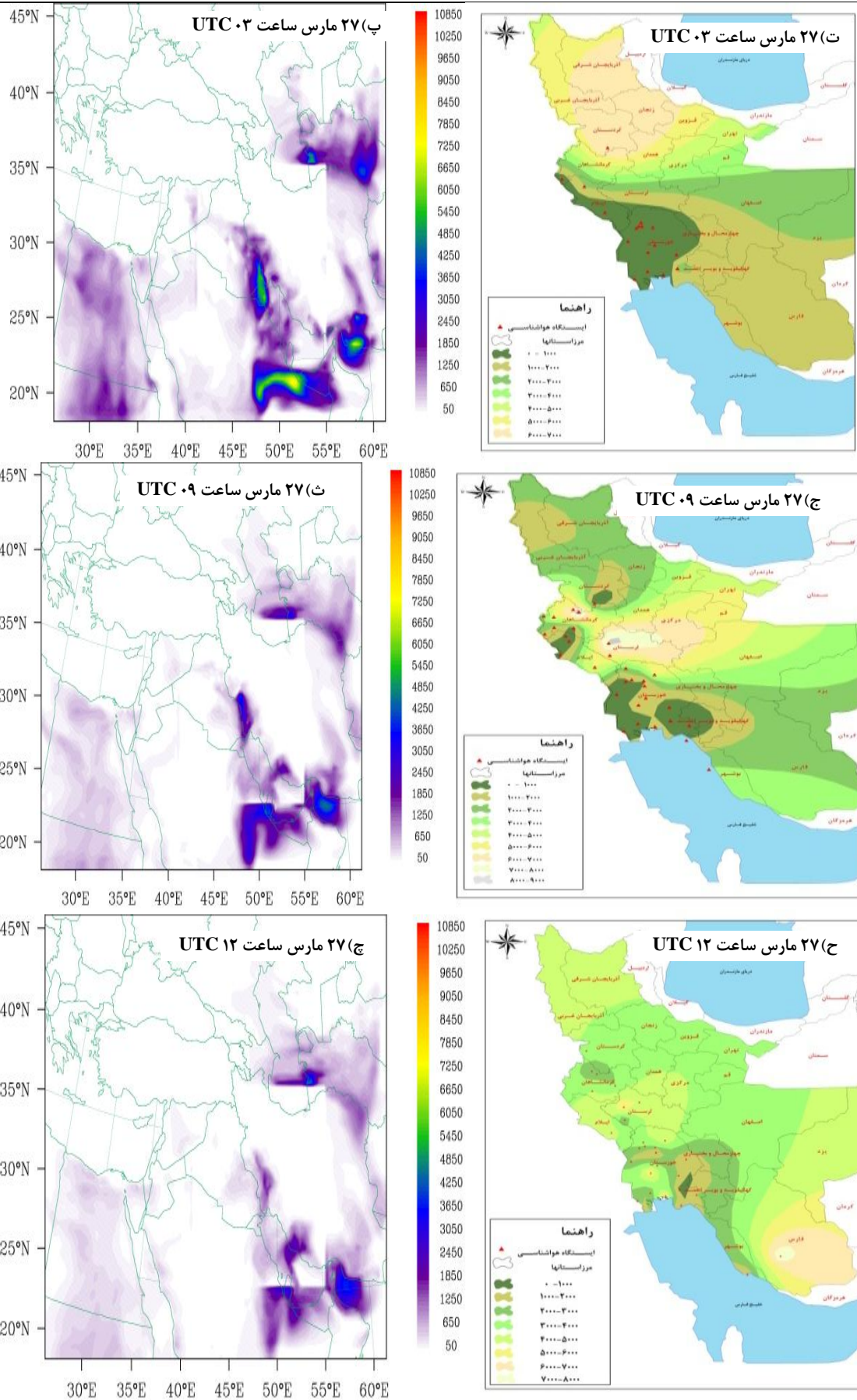
در جنوب عراق بادهای غربی به سمت ایران و منطبق با کم‌فشار شکل گرفته‌اند. مرکز بسته کم‌ارتفاع گسترش غربی-شرقی داشته است. با توجه به جدول ۳ در این ساعت گرد و غبار در استان خوزستان توسعه یافته است. از روز ۲۷ مارس ساعت ۱۲ UTC به بعد کم‌فشار تضعیف شده و از نفوذ زبانه پرفشار سیبری به سمت جنوب غرب ایران نیز کاسته می‌شود. گرچه همچنان سمت وزش باد ده متری به سمت ایران است اما با تضعیف زبانه پرفشار سیبری از شدت گرد و غبار در جنوب غرب ایران کاسته شده و گرد و غبار به سمت شرق انتقال می‌یابد (شکل ۳ پ و ت).

ت) مقایسه شبیه‌سازی مدل و دید افقی

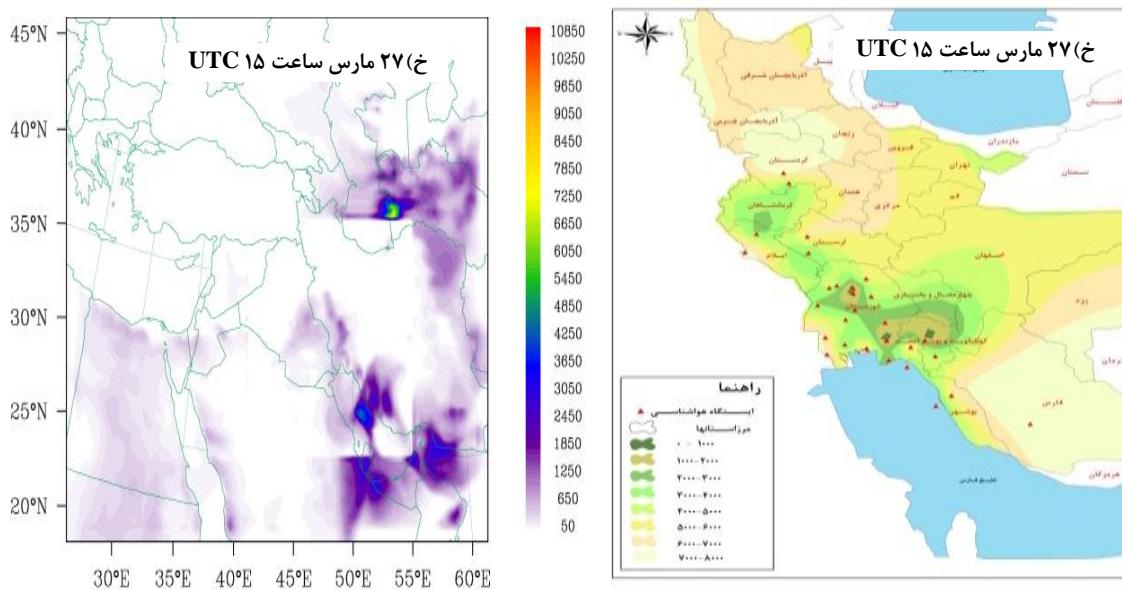
در شکل ۴-ب دید افقی در روز ۲۷ مارس ساعت صفر UTC ارائه شده است. در این شکل دیده می‌شود که استان خوزستان و برخی استان‌های مجاور دستخوش کاهش دید شده‌اند. بیشترین کاهش دید در استان خوزستان بوده و دید به کمتر از ۱۰۰۰ متر رسیده است. پیش‌بینی گرد و غبار در این زمان مرکز بیشینه‌ایی را در جنوب شرق عراق و جنوب غرب نشان می‌دهد (شکل ۴-الف). مدل پیش‌بینی خوبی از گرد و غبار داشته است.

سه ساعت بعد گسترش توفان گرد و غبار و کاهش دید افقی در استان خوزستان و استان‌های مجاور بیشتر شده است (۴-ب)





شکل شماره ۴: شکل های سمت راست دید افقی و سمت چپ مقدار گرد و غبار پیش بینی شده توسط مدل بر حسب $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ، روز ۲۷ مارس ۲۰۱۰



شکل شماره ۵- شکل های سمت راست دید افقی و سمت چپ گرد و غبار پیش بینی شده توسط مدل برحسب $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ، ۲۷ مارس ۲۰۱۰، ساعت ۱۵ UTC

نتیجه گیری

در این سامانه کم فشار دینامیکی (صعود هوا) واقع بر روی عراق منجر به شکل گیری گرد و غبار و پس از آن گسترش زبانه پرفشار سبیری (فرونشینی) به سمت غرب ایران، منجر به وقوع گرد و غبار در نواحی غربی و به ویژه جنوب غرب ایران می شود.

در این سامانه که اختلاف فشار حدود ۲۰ هکتوپاسکال است، شدت گرد و غبار بر روی استان خوزستان قابل توجه است. پیش بینی مدل توسعه قائم گرد و غبار را تا نزدیکی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می دهد.

تغییر زمانی گرد و غبار پیش بینی شده توسط مدل با تغییر زمانی PM_{10} در شهر اهواز هماهنگی دارد.

گرد و غبار رخ داده در استان خوزستان در ماه مارس ۲۰۱۰ توسط مدل WRF/Chem با دقت خوبی پیش بینی می شود. در دیگر مناطق ایران که کاهش دید به ۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ رسیده و شدت توفان زیاد نیست، پیش بینی به دست آمده از مدل دقت کمتری دارد. به این ترتیب به نظر می رسد مدل WRF/Chem توفان های گرد و غبار شدید را با دقت خوبی پیش بینی می نماید.

به نظر می رسد با افزایش زمان پیش بینی دقت مدل کاهش می یابد.

توفان گرد و غبار رخ داده در ۲۷ و ۲۸ مارس ۲۰۱۰ بسیار شدید بوده به گونه ای که در استان خوزستان دید افقی تا ۱۰۰ متر کاهش یافته است. مقدار PSI در شهر اهواز نیز به ۱۸۰۰ رسیده که نشان دهنده شدت توفان گرد و غبار است.

گرچه توفان گرد و غبار حدود دو روز تداوم داشته و علاوه بر استان خوزستان و نواحی غربی ایران در بخش های غربی و مرکزی نیز همراه با کاهش دید بوده است، اما بیشترین شدت آن در استان خوزستان از ساعت ۰۰ UTC روز ۲۷ مارس تا ساعت ۱۲ UTC همان روز (۱۲ ساعت) رخ داده است. در ساعت ۰۳ UTC روز ۲۷ مارس بیشتر ایستگاه ها در استان خوزستان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر داشته اند.

عامل شکل گیری این توفان سامانه دینامیکی جوی بوده است. به طوری که با توسعه مرکز کم ارتفاعی بر روی مدیترانه و روسیه، ناوه فشاری از عربستان به سمت عراق توسعه یافته و منجر به شکل گیری بادهای غربی از عراق به سمت ایران شده است. به این شکل گیری توفان گرد و غبار همراه با سامانه دینامیکی جوی است.

به طور کلی با توسعه کم فشار بر روی عراق ذره های گرد و غبار از بیابان های عراق به لایه های بالاتر صعود نموده و در صورت وجود بادهای غربی، به سمت ایران انتقال می یابد.

منابع

- سرد: مطالعه موردی ژانویه ۲۰۰۵، دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، یزد.
- ۹- مبارک حسن، الهام، ۱۳۹۰، بررسی سامانه مدیترانه‌ایی و طوفان گرد و غبار در استان خوزستان، اولین همایش ملی محیط زیست و آلاینده‌های، اهواز، اردیبهشت ۱۳۹۰.
- ۱۰- مبارک حسن، الهام، ورشوساز، کتابون، غفاریان، پروین ۱۳۹۰. بررسی الگوهای همدیدی همراه با شاخص ψ بیش از ۱۰۰۰ و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ نیمه اول سال ۱۳۸۹. اولین کنگره بین‌المللی پدیده گرد و غبار و مقابله با آثار زیان‌بار آن. خوزستان.
- 11-Alizadeh. Ch. O., Zawar-Reza.P., and Sturman. A., 2012, Atmospheric forcing of the three-dimensional distribution of dust particles over Australia: A case study. Jour. Of Geo. Res., Vol.117,
- 12-Chun, Y.2001, Synoptic, transport and physical characteristics of Asian dust in Korea. Journal of geophysical research. V(106).
- 13-Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J., Holben, B., Dubovik, O. and Lin, S. J., 2001, Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model, J. Geophys., Res., 106, 20255-20273.
- 14-Hamish. A., Grant. M., Tanish. A., Sturman. P., and Zavtar. P., 2001. Inter-regional transport of Australian dust storms. Soil erosion research for the st century. Proceeding of int. symp. Honolulu. Hi. USA.
- 15-Huebert, B. J., Bates, T., Russell, P. B., Shi, G., Kim, Y. J., Kawamura, K., Carmichael, G. and Nakajima, T., 2003, An overview of ACEAsia: Strategies for quantifying the relationships between Asian aerosols and their climatic impacts, J. Geophys., Res., 108 (D23), 8633, doi: 10.1029/2002JD003178.
- 16-In, H. J., and Park, S. U., 2003, A simulation of long-range transport of yellow sand observed in April 1998 in Korea, Atmos. Environ., 36, 4625-4636.
- ۱- امیدوار، کمال، ۱۳۸۶، مطالعه سینوپتیکی بادهای شدید و طوفان‌های گرد و غبار ماه‌های آوریل و می ۲۰۰۳ در یزد، اولین همایش ملی فرسایش بادی، یزد.
- ۲- بوچانی، محمدحسین، فاضلی، داریوش، ۱۳۹۰، چالش‌های زیست محیطی و پیامدهای ناشی از آن ریزگردها و پیامدهای آن در غرب کشور ایران. فصل‌نامه ره‌نامه سیاست گذاری، سال دوم، شماره سوم. پاییز ۱۳۹۰.
- ۳- پله‌وران، راضیه، سهپوند، نورالدین، ۱۳۸۹، پایش طوفان خاک ژولای ۲۰۰۹ در غرب کشور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ایی. دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، دانشگاه یزد.
- ۴- ریوندی، امیر، میررکنی، مجید، محمدپورپنجاه، محمدرضا، معماریان، محمد حسین، محمدیها، امیر. ۱۳۸۹. بررسی و تحلیل سینوپتیکی تشکیل و انتشار طوفان‌های گرد و خاک ورودی از غرب ایران با استفاده از پارامترها و نقشه‌های هواشناسی. دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، دانشگاه یزد.
- ۵- طاووسی، تقی، خسروی، محمود و کوهزاد، رئیس پور، ۱۳۸۷، تحلیل سینوپتیکی پدیده‌ی گرد و غبار در استان خوزستان، مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مقابله با سوانح طبیعی، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- ۶- عطایی، هوشمند، احمدی، فریرز، ۲۰۱۰، بررسی گرد و غبار به عنوان یکی از معضلات زیست محیطی جهان اسلام مطالعه موردی: استان خوزستان، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام.
- ۷- غفاریان، پروین، مبارک حسن، الهام، عیسی خانی، نسرین، ۱۳۹۲، بررسی تعداد و روند وقوع رخداد توفان گرد و غبار در غرب و جنوب غرب ایران (۲۰۰۹-۱۹۸۰). اولین همایش بین‌المللی ریزگردها، مدیریت عوامل و پیامدها، دانشگاه لرستان.
- ۸- مبارک حسن، الهام، غفاریان، پروین، ۱۳۸۹، بررسی ساز و کار شکل‌گیری گرد و غبار در استان خوزستان در فصل

- modeling system, *J. Geophys. Res.*, 107, (D24), 4814, doi: 10.1029/2001JD001493.
- 19-Tegen, I., and Fung, I., 1994, Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness, *J. Geophys. Res.*, 99, 22 897-22 914.
- 20-Wang, Z., Ueda, H., and Huang, M., 2000, A deflation module for use in modeling longrange transport of yellow sand over East Asia, *J. Geophys. Res.*, 105, 26947-26960.
- 17-Shao, Y., Yang, Y., Wang, J., Song, Z., Leslie, L. M., Dong, C., Zhang, Z., Lin, Z., Kanai, Y., Yabuki, S. and Chun, Y., 2003, Northeast Asian dust storms: Real-time numerical prediction and validation, *J. Geophys. Res.*, 108, (D22), 4691, doi: 10.1029/2003JD003667.
- 18-Shao, Y., Jung, E., and Leslie, L. M., 2002, Numerical prediction of north-east Asian dust storms using an integrated wind erosion