

## ارزیابی توان مدل RegCM4 پیوند خورده با طرحواره غبار در آشکارسازی ساختار

### توفان های گردوغباری تابستانه در دشت سیستان

عباس مفیدی<sup>۱\*</sup>، سمیه کمالی<sup>۲</sup>، آذر زرین<sup>۱</sup>

۱- استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

#### چکیده

در این پژوهش به منظور ارزیابی قابلیت و توانمندی مدل RegCM4<sup>۱</sup> در پیوند با طرحواره غبار، ساختار منطقه ای گردش جو و ویژگی های توفان های گردوغباری در دشت سیستان مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا با استفاده از داده های ۳ ساعته ایستگاه سینوپتیک زابل، فراوانی وقوع توفان های غباری در دوره گرم سال برای یک دوره ۴۵ ساله (۲۰۰۷-۱۹۶۳) بررسی شد و تعداد ۳۶ توفان برای انجام پژوهش انتخاب گردید. جهت تجزیه و تحلیل ساختار توفان ها، یک مطالعه ترکیبی با بهره گیری از داده های ایستگاهی، داده های رقومی دوباره تحلیل شده NCEP/NCAR، داده های خروجی مدل و داده های رقومی ماهواره ای به انجام رسید. از داده های ایستگاهی برای شناسایی اولیه توفان ها، از داده های NCEP/NCAR جهت تحلیل مقیاس همدید آنها و از داده های سنجنده MODIS جهت اعتبارسنجی خروجی های مدل استفاده شد. مدل RegCM4 نیز با دو قدرت تفکیک ۲۰ و ۸۰ کیلومتر و گام زمانی ۶ ساعته برای دوره گرم سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ به اجرا گذاشته شد. در تحلیل ساختار توفان ها از داده های عمق نوری ذرات (AOD)، مؤلفه های باد مداری و نصف النهاری، تابش موج بلند زمین تاب، به همراه متغیرهای سمت و سرعت باد، تاوایی نسبی، فشار سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل استفاده شد. خروجی های مدل بیانگر آن است که وقوع توفان های گردوغباری نتیجه شکل گیری و استقرار همزمان کم فشاری در دشت سیستان و مرکز پرفشاری بر جانب شرقی دریای خزر تا بخش های شمال شرق ایران است که با شکل گیری مرکز پرفشار محلی در محدوده کوه های خراسان جنوبی همراه می گردد. در تحلیل میان مقیاس، استقرار مرکز پرفشار بر روی کوه های خراسان و تاوایی منفی ناشی از آن از یک سو و استقرار مرکز کم فشار بر روی دشت سیستان و تاوایی مثبت ناشی از آن از سوی دیگر، با ایجاد شیب فشاری مداری و نصف النهاری قوی سبب بروز سرعت های بالای باد و در نتیجه وقوع توفان های گردوغباری بر روی منطقه می گردند. نتایج تحقیق همچنین بیانگر آن است که توفان های گردوغباری تابستانه درگسترش قائم خود، در زیر تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال بوقوع می پیوندند. این امر نتیجه استقرار یک جت تراز زیرین در امتداد مرزهای شرقی ایران و با هسته بیشینه سرعت در حدود ۵۰۰ متری از سطح زمین است که متعاقب شکل گیری آن، امکان حمل حجم بالایی از ذرات هواویزه در پایین ترین ترازهای جو در محدوده دشت سیستان میسر می گردد. مطالعه حاضر بیانگر آن است که، شکل گیری توفان های گرد و غباری در دشت سیستان با تئوری تشکیل جت های تراز زیرین در منطقه ی سیستان و وردایی زمانی-مکانی آن در محدوده مرزهای شرقی ایران در ارتباط است. اجرای مدل با قدرت های تفکیک ۲۰ و ۸۰ کیلومتر نیز بیانگر این حقیقت است که شکل گیری توفان های گردوغباری در دشت سیستان به شدت از ویژگی های جغرافیایی محلی، به ویژه توپوگرافی، متأثر می گردد. بطوری که با کاهش قدرت تفکیک مدل، به واسطه کاهش نقش عوامل محلی، شدت جت تراز زیرین در مرزهای شرقی ایران و به تبع آن شدت و گستره توفان های گردوغباری در دشت سیستان به شدت کاهش می یابند. نتیجه کلی این که، مدل RegCM4، اگر چه ارزیابی آشکاری را در برآورد غبار برای محدوده جنوب ترکمنستان نشان می دهد، اما در مقابل، نتایج ارزشمندی را در مطالعه توفان های گردوغباری در دشت سیستان، بویژه ساختار منطقه ای گردش جو، فراهم می نماید.

واژه های کلیدی: توفان های گردوغباری، مدل RegCM4، دشت سیستان، AOD

## مقدمه

کمتر پژوهشگری است که به دشت سیستان پای نهاده و از توفان های مهیب و گسترده ی آن سخنی به میان نیاورده باشد (هانتینگتون، ۱۹۰۵؛ مک ماهون، ۱۹۰۶a). در حقیقت باد و توفان گردوغباری دو پدیده ی اقلیمی شاخص و در عین حال ذاتی در «سرزمین بادها» (مک ماهون، ۱۹۰۶b) محسوب می گردند. در دشت سیستان وقوع پدیده گردوغبار بطور آشکاری به ساختار باد سیستان و دینامیک وقوع آن گره خورده است. آن چنان که میدلتون (۱۹۸۶) نشان داده است، وقوع مکرر بادهای شدید در ترازهای زیرین جو، همراه با تداوم درازمدت آنها، دشت سیستان را به قطب گردوغبار خاورمیانه مبدل ساخته است. علیرغم وجود یک سابقه طولانی و پیشینه غنی در مطالعه باد و توفان های گردوغباری در منطقه سیستان (گنجی، ۱۹۶۸؛ سیوال، ۱۹۷۷؛ حسین زاده، ۱۳۷۶؛ بابائیان و همکاران، ۱۳۸۲؛ گندمکار، ۱۳۸۵؛ ۱۳۸۹؛ راشکی و همکاران، ۱۳۸۶؛ ۲۰۱۲؛ خسروی، ۱۳۸۷؛ ۱۳۸۹؛ ویتنی، ۲۰۰۶؛ سلیقه، ۱۳۸۹؛ علیجانی و رئیس پور، ۱۳۹۰)، هنوز ساز و کار حاکم بر وقوع باد سیستان و ساختار توفان های گردوغباری در دشت سیستان یک بحث باز محسوب می گردد.

در سال های اخیر کاربست مدل های دینامیکی، امکان مطالعه ی دقیق تر پدیده های جوی میان مقیاس و مقیاس منطقه ای را در مناطق مختلف جهان فراهم نموده است. این مدل ها به عنوان ابزاری کارآمد، درک فرایندهای دینامیکی حاکم بر وقوع پدیده های جوی و اقلیمی را آسان تر ساخته اند. مدل های دینامیکی منطقه محدود، بویژه زمانی که برای پدیده های دور از دسترس و یا پدیده هایی واقع در مناطق فاقد داده و یا فاقد مشاهدات منظم مورد استفاده قرار می گیرند، ارزش و اعتبار خاصی می یابند. در سال های اخیر مدل های دینامیکی متعددی جهت بررسی ساختار توفان های گردوغباری در مناطق خشک و بیابانی کره زمین مورد استفاده قرار گرفته اند. به کارگیری این مدل ها نتایج ارزشمندی را در حوزه علوم جو در پی داشته است. این امر، استفاده گسترده و فراگیر از مدل های دینامیکی منطقه محدود را در مطالعه پدیده گردوغبار موجب گردیده است. از میان پژوهش های انجام شده، زکی و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی توفان ها در منطقه صحرا با بهره گیری مدل RegCM3 پرداختند و با پیوند دادن مدل با یک طرحواره غبار، مطالعه خود را روی منطقه صحرا در زمان وقوع دو توفان گردوغباری به انجام رسانیده اند. زانگ و همکاران (۲۰۰۸) نیز با استفاده از مدل RegCM، ذرات گرد و غبار و بازخوردهای منطقه ای آن را بر روی شرق آسیا مورد بررسی قرار دادند. نتایج شبیه سازی ایشان با استفاده از داده های مشاهداتی و داده های ماهواره ای مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحقیق بیانگر آن است که در محدوده شرق آسیا، برآورد ذرات معلق گرد و غبار نسبتاً دشوار بوده که این امر حاصل ترکیب توپوگرافی پیچیده، کاربری زمین و ویژگی های پوشش برف می باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که در شرق آسیا حجم و غلظت ذرات گرد و غبار در لایه ی مرزی جو، پایین تر از ۸۰۰ هکتوپاسکال، به بیشینه خود می رسد و میزان آن در ورسپهر فوقانی به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. در پژوهش دیگری مارسلا و التاهیر (۲۰۱۰)، با کاربست مدل RegCM3 ویژگی های اقلیمی توزیع گردوغبار را در منطقه جنوب غرب آسیا مورد مطالعه قرار داده اند. در عین حال جعفری (۱۳۹۰) نیز با ترکیب روش های مختلف به بررسی الگوهای گردش جو در هنگام وقوع توفان های گرد و غباری در جنوب غرب ایران پرداخته است. ایشان در بخشی از پژوهش خود با بهره گیری از مدل RegCM4 درصدد تعیین الگوهای منطقه ای گردش جو در زمان وقوع توفان های گرد و غبار برآمده اند. جعفری مهمترین الگوی گردش جو در زمان وقوع توفان های جنوب غرب ایران را «الگوی زوجی تابستانه» معرفی می نماید که در الگوی یادشده، با توجه به خروجی های مدل، بیشینه گردوغبار تابعی از باد شمال بوده و در عین حال گسترش ارتفاعی بسیار محدودی را در زمان اوج خود تجربه می نمایند. از آنجایی که مدل RegCM به عنوان یک مدل دینامیکی منطقه محدود توانمندی خود را جهت شبیه سازی توفان های گردوغباری در سایر مناطق جهان، بویژه در

مناطق اصلی وقوع توفان های گردوغباری، به اثبات رسانیده است (زانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ مارسلا و همکاران، ۲۰۱۰؛ سانتز و همکاران، ۲۰۱۰؛ نبات و همکاران، ۲۰۱۲؛ آگاکایات و همکاران، ۲۰۱۲) و در عین حال، خروجی های مدل ابعاد تازه ای از پدیده گردوغبار در مناطق مورد مطالعه را آشکار نموده است. بر این اساس، هدف اصلی مطالعه حاضر ارزیابی قابلیت و توانمندی مدل RegCM پیوند خورده با یک طرحواره غبار در شناسایی ساختار و ویژگی های توفان های گردوغباری و بطور کلی ساختار گردش منطقه ای جو در دشت سیستان است.

## مواد و روش ها

**داده ها:** در این تحقیق بطور کلی از سه دسته داده به شرح زیر استفاده شده است:

**الف- داده های ایستگاهی:** به منظور شناسایی ویژگی های آماری پدیده گرد و غبار در دشت سیستان داده های مربوط به دید افقی و وضعیت جو و سرعت باد با مقیاس زمانی ۳ ساعته برای ایستگاه زابل در دشت سیستان از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. داده های ایستگاه سینوپتیک زابل برای یک دوره ۴۵ ساله (۲۰۰۷-۱۹۶۳) مورد پردازش قرار گرفت. با استفاده از اطلاعات دید افقی، وضعیت جو و سرعت باد خصوصیات روزانه، ماهانه، فصلی توفان ها و بردایی زمانی آنها در طول دوره مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. براساس بررسی ها، سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ به جهت فراوانی بالای وقوع توفان های گردوغباری جهت اجرای مدل انتخاب گردیدند.

**ب- داده های ورودی و خروجی مدل:** برای اجرای مدل RegCM4.1 از داده های توپوگرافی، کاربری اراضی، بافت خاک، رطوبت خاک، دمای سطح دریا، هواویزه و داده های جوی در مقیاس جهانی به عنوان ورودی استفاده شد. داده های خروجی مدل که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته اند شامل: کاربری اراضی، عمق نوری ذرات<sup>۳</sup>، واداشت تابشی موج بلند<sup>۴</sup>، مولفه های مداری و نصف النهاری باد، توپوگرافی و تیپ پوشش سطحی می باشد که با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ و ۸۰ کیلومتر و گام زمانی ۶ ساعت برای سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ در ۲۳ تراز سیگمایی تهیه گردیده و مورد بررسی قرار گرفت.

**ج- داده های رقومی جوی:** به منظور تعیین الگوی همدیدی توفان ها نیز از داده های دوباره تحلیل شده در مقیاس زمانی ۶ ساعته از مرکز ملی پژوهش های جوی آمریکا (NECP/NCAR) استفاده شد (Kalnay et al., 1996). داده ها شامل داده های ارتفاع ژئوپتانسیل، مولفه مداری و نصف النهاری باد در ترازهای ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال می باشد و نقشه های ترکیبی از تاوایی نسبی، ارتفاع ژئوپتانسیل و باد برداری برای این ترازها تهیه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## روش ها

**الف- بررسی توفان های گردوغباری با استفاده از داده های ایستگاهی:** جهت بررسی ویژگی های توفان های گرد و غباری در دشت سیستان بر اساس معیار دید و وضعیت جو، فراوانی روزها و توفان های غباری استخراج شد. بر این اساس، در دشت سیستان فراوانی های شبانه روزی، ماهانه، فصلی و بردایی توفان ها در کل دوره ی مورد مطالعه با استفاده از داده های دیده بانی ساعتی بررسی شد.

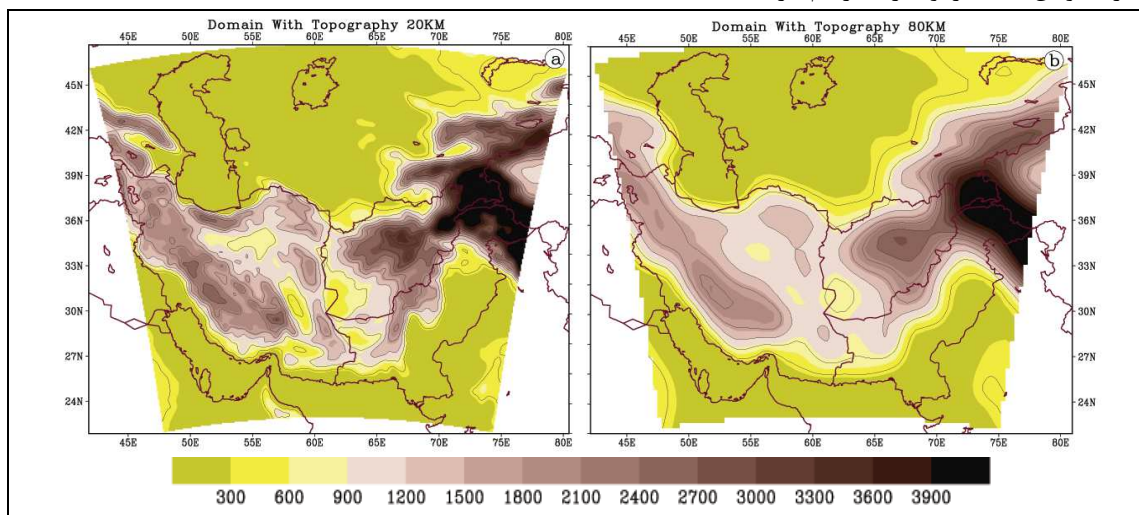
**ب- بررسی توفان های گردوغباری با استفاده از داده های مدل:** بخش اصلی تحقیق حاضر شامل اجرای مدل و بهره گیری از خروجی های آن جهت تجزیه و تحلیل ساختار توفان های گردوغباری است. در مطالعه حاضر از مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM4.1 جهت شبیه سازی استفاده شد. هسته دینامیکی مدل RegCM4 از مدل MM4 اخذ گردیده که شبکه قائم آن از مختصات سیگما تبعیت می کند و در واقع یک مدل هیدروستاتیک با مختصات سیگما در امتداد قائم است (پال و همکاران، ۱۹۹۹). شبکه به کار رفته در مدل شامل شبکه ی افقی جابجا شده از نوع آرکوا - لمب B است (زرین، ۱۳۸۶). ساختار مدل در سه بخش اصلی شامل پیش پردازش، بدنه اصلی

۳- Aerosol Optical Depth

۴- Long Wave Radiation Forcing

مدل و پس پردازش قابل ارزیابی است. داده های ورودی مدل شامل چهارگروه اصلی به شرح زیر می باشند: برای شرایط مرزی اولیه از داده های دوباره تحلیل شده NCEP/NCAR با قدرت تفکیک افقی ۲/۵ درجه و گام زمانی ۶ ساعته برای سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ استفاده شد. این داده ها شامل: ارتفاع ژئوپتانسیل، مولفه مداری باد، مولفه نصف النهاری باد، دمای هوا و سرعت قائم برای ۱۷ تراز فشاری، فشار سطحی، رطوبت نسبی برای ۸ تراز می باشند. همچنین از داده های سطحی شامل: داده های توپوگرافی، داده های کاربری اراضی، بافت خاک و عمق آب دریاها و دریاچه ها با قدرت تفکیک افقی ۳۰ ثانیه تهیه شده توسط سازمان زمین شناسی آمریکا (USGS) بهره برده شد. علاوه بر آن از داده های دمای سطح دریا (SST) اخذ شده از اداره ملی جو و اقیانوس آمریکا (NOAA) به صورت هفتگی و با قدرت تفکیک افقی ۱ درجه به عنوان داده های ورودی برای اجرای مدل مورد استفاده قرار گرفت. برای اجرای مدل با طرحواره غبار علاوه بر سه دسته داده فوق به داده های هواویزه با قدرت تفکیک افقی ۱ درجه نیز نیازمند است. تمامی داده های فوق از سرور مرکز بین المللی فیزیک نظری عبدالسلام اخذ گردید.

در عین حال داده های خروجی مدل شامل سه دسته اصلی می گردد که شامل: داده های سطحی (SRF)، تابش (RAD) و اتمسفر (ATM) می باشد. سایر داده های خروجی متناسب با نوع تحقیق و موضوع مورد بررسی تولید می شود، که شامل: داده های شیمی جو (CHE) در صورت پیوند مدل با طرحواره غبار و داده های دریاچه (LAK) در صورت پیوند مدل با مدل دریاچه می باشد. در مدل RegCM گام زمانی داده های خروجی متناسب با مقیاس زمانی تعیین شده در Name-List مشخص می گردد. در تحقیق حاضر، مدل RegCM4.1 با طرحواره غبار جفت شد که می تواند به عنوان ابزاری وضعیت گرد و غبار را در سطوح افقی و عمودی جو نشان دهد. گام زمانی در نظر گرفته شده ۶ ساعت و فرمت داده های خروجی NetCDF می باشد. مدل برای دوره گرم سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ اجرا شده و جهت به ثبات رسیدن مدل از نظر فیزیکی و تطبیق با شرایط مرزی و اتمسفری، دوره پایدارسازی یا spin-up به مدت ۱۵ روز در ابتدای هر اجرا در نظر گرفته شد. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه را در اجرای مدل نشان می دهد. مدل برای دو قدرت تفکیک ۲۰ و ۸۰ کیلومتر به اجرا در آمد تا در این حالت امکان بررسی میزان نقش و تأثیر عوامل محلی در شکل گیری توفان های گردوغباری فراهم گردد.



شکل ۱- محدوده مطالعه همراه با جزئیات توپوگرافی در اجرای مدل با قدرت تفکیک ۲۰ کیلومتر (a) و ۸۰ کیلومتر (b)

در این مطالعه جهت بررسی توفان های گردوغباری از داده های شیمی و اتمسفر استفاده گردیده است. در میان داده های خروجی مدل یکی از مهمترین و در عین حال کارآمدترین متغیرها "عمق نوری ذرات معلق" AOD است. این متغیر به نوعی بیانگر میزان تراکم و یا غلظت ذرات معلق (در اینجا گردوغبار) در ستون جو می باشد. برای بررسی دقیق ساختار توفان های گرد و غباری تابستانه تعداد ۳۶ توفان که در طی سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ بوقوع پیوسته اند،

انتخاب گردیده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت ارائه ویژگی های اصلی و مشترک توفان ها، از تعداد ۳۶ توفان نقشه های ترکیبی و متوسط تهیه شد و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

**ج- بررسی توفان های گردوغباری با استفاده از داده های رقومی جوی:** با استفاده از داده های دوباره تحلیل شده ی NCEP/NCAR در مقیاس زمانی ۶ ساعته، نقشه های ترکیبی برای مولفه های ارتفاع ژئوپتانسیل، تاوایی و باد برداری برای زمان های اجرا شده در مدل RegCM تهیه گردید. با تجزیه و تحلیل این نقشه ها و مقایسه و تطبیق آنها با خروجی های مدل، الگوهای همیدی منجر به وقوع توفان های گردوغباری در دشت سیستان تعیین گردید.

## یافته های تحقیق

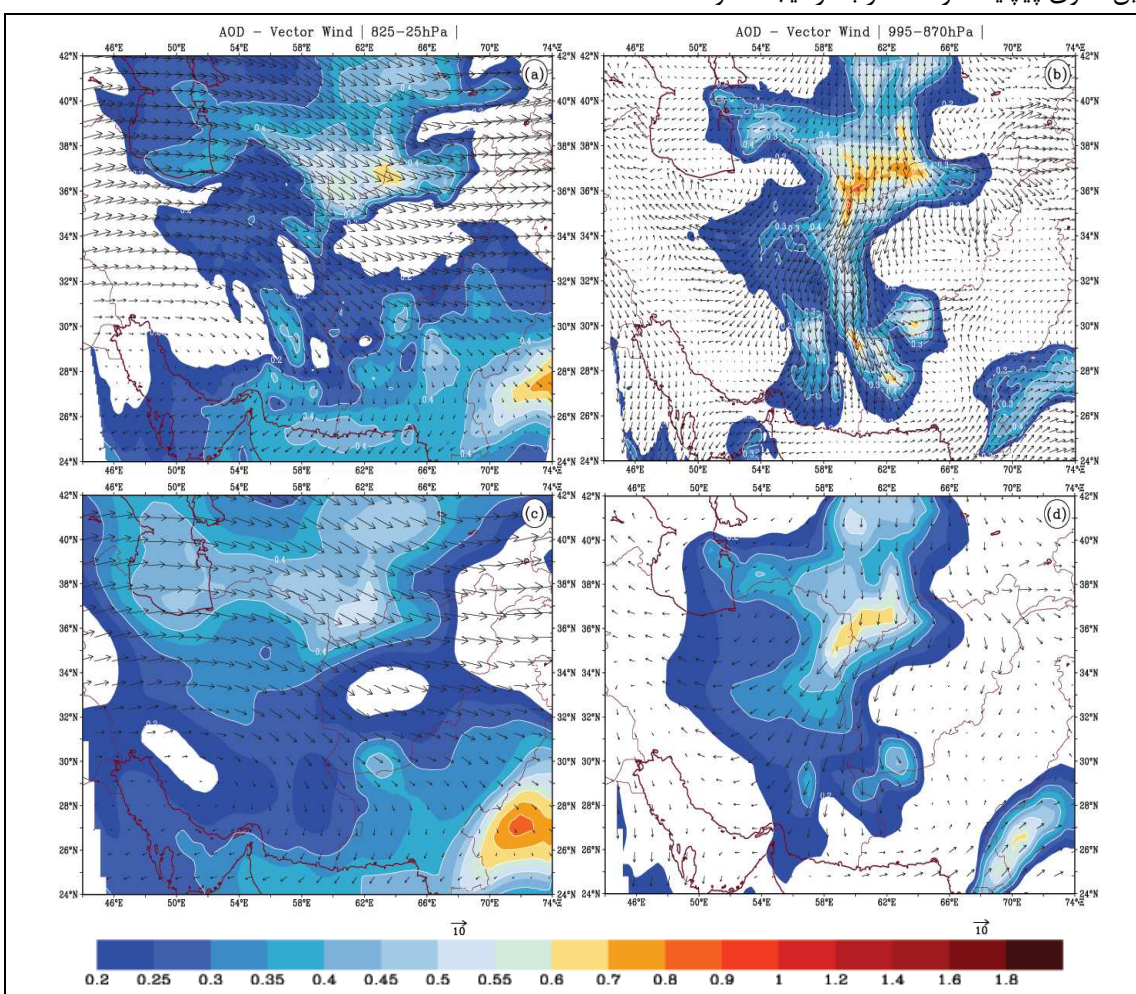
### بررسی ساختار توفان های گرد و غباری با استفاده از مدل سازی اقلیمی

جهت ارزیابی میزان گسترش افقی و قائم توفان های گردوغباری از مولفه عمق نوری ذرات استفاده گردید. شکل ۲ عمق نوری ذرات (AOD) و جهت و شدت باد را در زمان وقوع تعداد ۳۶ توفان گرد و غباری در دشت سیستان و شرق فلات ایران نشان می دهد. برای درک ویژگی های محلی، میان مقیاس و مقیاس منطقه ای توفان ها از دو قدرت تفکیک ۲۰ و ۸۰ کیلومتر در ترازهای مختلف جو استفاده شد. در نقشه ی (a) ساختار توفان ها در ترازهای میانی و فوقانی جو (۷۵۰ تا ۲۵ هکتوپاسکال) با قدرت تفکیک ۲۰ کیلومتر نشان داده شده است. با توجه به شکل، ذرات هواویزه در گستره وسیعی بر روی منطقه پخش شده اند، اما مقادیر آن بر روی دشت سیستان حدهای پایینی را نشان می دهد. جریانات باد برداری نیز جهتی شمال غرب- جنوب شرق را بر روی دشت سیستان نشان می دهند. در شکل ۲-b این خصوصیات در ترازهای زیرین جو (۹۹۵ تا ۸۷۵ هکتوپاسکال) دیده می شود. در این نقشه می توان تفاوت بارزی از جهت میزان غلظت ذرات معلق مشاهده نمود، اما آنچه برای ما با اهمیت است این نکته می باشد که در این نقشه در ترازهای زیرین جو بر روی دشت سیستان حجم و تراکم ذرات غبار از حد بالاتری برخوردار بوده و به حدود ۰/۵۵ واحد رسیده است. در این تراز، الگوی جریان باد به شکل بارزی استقرار یک باد قوی از جانب شمال به جنوب را نشان می دهد.

نقشه های (c) و (d) این مولفه ها را در قدرت تفکیک ۸۰ کیلومتر نشان می دهد. در خروجی های مدل در مقیاس ۸۰ کیلومتر نیز شاهد بروز توفان های گردوغبار هستیم. اما گستره و ساختار توفان بطور محسوسی در قیاس با قدرت تفکیک ۲۰ کیلومتر تغییر نموده و از واقعیت خود دور گشته است. در واقع مقایسه دو خروجی ۲۰ و ۸۰ کیلومتر ماهیت محلی توفان ها و تاثیر شدید آنها از ویژگی های جغرافیایی شرق فلات ایران را به نمایش می گذارد. می توان عامل مهم این تفاوت را در نقش عوامل سطحی و توپوگرافی محل دانست که در نقشه های ۲۰ کیلومتر نمایان تر است (شکل ۱). در این سری از نقشه ها شاید بتوان (شکل ۲-b) را الگوی واقعی گردش جو در زمان وقوع توفان ها در منطقه دشت سیستان دانست و آن را اینگونه تفسیر نمود که خروجی های مدل بیانگر تقویت سامانه و اچرخندی بر روی کوه های خراسان و تقویت قابل ملاحظه گردش چرخندی در منطقه سیستان می باشند که پیدایش یک جت تراز زیرین را در شرق فلات ایران و در محدوده مرزی ایران و افغانستان در امتداد شمالی- جنوبی به نمایش گذاشته است. شکل گیری این باد شدید تراز زیرین که شدت آن در محدوده مرز ایران و افغانستان و دشت سیستان از آستانه ۲۰ متر بر ثانیه (شکل ۲-b) تجاوز می نماید ضمن برداشت غبار از مناطق خشک و بیابانی شرق ایران، توفان های شدیدی را در منطقه در پی داشته است.

نکته دیگری که از بررسی و مقایسه نقشه های ترازهای زیرین و میانی جو در زمان وقوع توفان های گردوغباری حاصل می شود این است که توفان های گردوغباری شرق فلات ایران عمدتا حاصل تقویت جریانات شمالی در ترازهای زیرین جو هستند و شرایط حاکم در ترازهای میانی چندان نقشی در شکل گیری و گسترش توفان ها ندارند (شکل a). شدت و جهت وزش باد در ترازهای میانی (شکل b) به خوبی این نکته را تأیید می کنند.

برای درک بهتر ویژگی توفان ها، نقشه های ترکیبی شدت باد و غلظت ذرات AOD به تفکیک برای ترازهای زیرین و میانی جو تهیه گردید. شکل ۳-a شدت باد را به همراه عمق نوری ذرات برای ترازهای میانی جو در اجرای ۲۰ کیلومتر نشان می دهد. با توجه به شکل بادهای غالب در زمان وقوع توفان ها الگویی مداری را بر روی منطقه مورد مطالعه نشان می دهند. مقایسه شکل a و شکل b به طور آشکار بیانگر آن است که نقش عوامل سطحی و پیچیدگی های آن تقریبا کم و در ترازهای فوقانی ناچیز است. شکل ۳-b این خصوصیات را در ترازهای زیرین جو نشان می دهد. در اینجا شاهد سرعت های بالای باد در قسمت های مختلف هستیم و جریانات جهتی نصف النهاری پیدا کرده اند، بخصوص بر روی دشت سیستان و نواحی مرزی شرق کشور شاهد سرعت های بالای باد هستیم که هسته بیشینه سرعت با حدود ۱۹ متر بر ثانیه در قسمت های شمالی دشت سیستان بسته شده است. با توجه به شکل b، در ترازهای زیرین جو جهت باد و سرعت های بالای آن به شدت از توپوگرافی سطح و شرایط پیچیده زمین متأثر گردیده، بطوریکه در منطقه مورد نظر وجود کوه و دشت (پستی و بلندی) در فاصله ای نزدیک و ایجاد اختلافات فشاری و دمایی شدیدی، این الگوی پیچیده در ساختار باد را ایجاد نموده است.

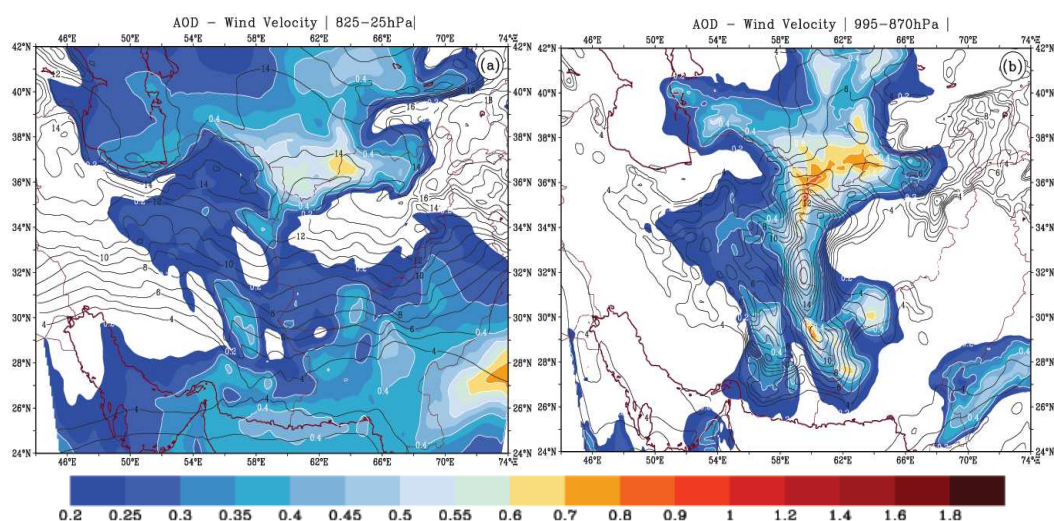


شکل ۲- وضعیت متوسط عمق نوری ذرات و باد برداری برای تعداد ۳۶ توفان گردوغباری در دوره ی گرم سال. (a) شرایط متوسط در ترازهای میانی (۸۲۵ تا ۲۵ ه.پ.) و ترازهای زیرین (۹۹۵ تا ۸۷۰ ه.پ.) با قدرت تفکیک ۲۰ کیلومتر، (b) شرایط متوسط در ترازهای میانی (۸۲۵ تا ۲۵ ه.پ.) و ترازهای زیرین (۹۹۵ تا ۸۷۰ ه.پ.) با قدرت تفکیک ۸۰ کیلومتر

جهت بررسی شرایط فشار سطح دریا در دوره ی گرم سال، شکل ۴ تهیه گردیده است. شکل یاد شده وضعیت متوسط فشار هوا را در تراز دریا در زمان وقوع توفان های گردوغباری در دشت سیستان با تفکیک افقی ۲۰ کیلومتر نشان می دهد. شکل نقش و تاثیر عوامل محلی و پستی و بلندی ها را در تشکیل مراکز متفاوت فشاری در قسمت های

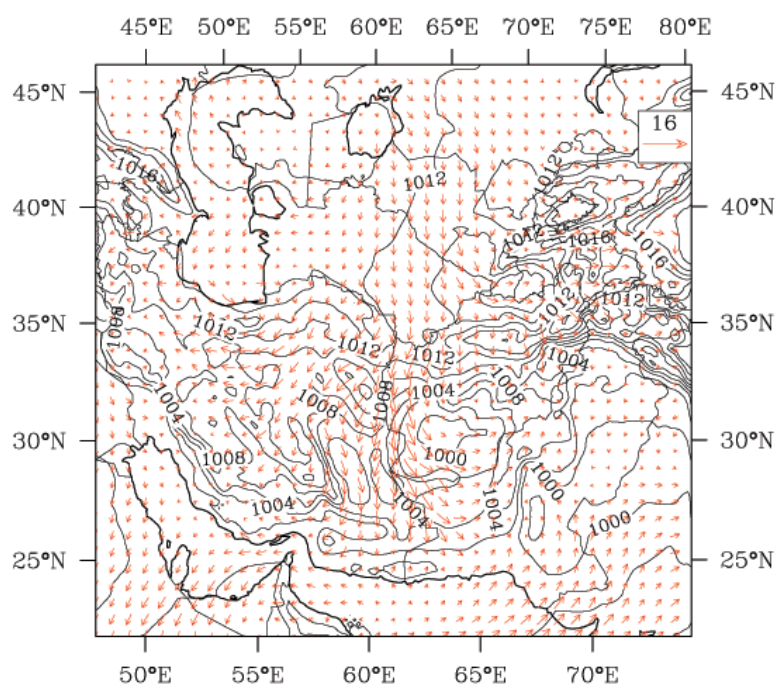
مختلف کشور نشان می دهد. در بخش شرقی کشور، بسته شدن هم فشار ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر روی دشت سیستان بیانگر شکل گیری یک مرکز کم فشار بر روی این منطقه است. در مقابل، یک مرکز پرفشار محلی با فشار مرکزی ۱۰۱۲ هکتوپاسکال در مجاورت کم فشار سیستان بر روی کوه های خراسان جنوبی استقرار یافته است. استقرار دو مرکز فشار یاد شده در مجاورت هم، همراه با اختلاف فشار زیاد بین آنها و الگوی خاص خطوط هم فشار در مرزهای شرقی ایران، همگی بر شکل گیری بادهای شدید و متعاقب آن توفان های گردوغباری دلالت دارند.

بر اساس مولفه ی واداشت تابشی طول موج بلند<sup>۵</sup>، نقاطی که از غلظت بالاتری از ذرات معلق برخوردار هستند، میزان بازتاب زمینی طول موج بلند به دام افتاده بیشتری را منعکس می کنند. این مولفه از این جهت مورد استفاده قرار می گیرد که با افزایش ذرات گردوغبار در جو میزان طول موج بلند زمین تاب گیر افتاده افزایش می یابد. در نتیجه مناطق دارای توفان گردوغباری از مقادیر طول موج بلند خروجی گیرافتاده ی بیشتری برخوردار خواهند بود. این مناطق با مقادیر عددی بالاتری قابل مشاهده خواهند بود. شکل ۵ نقشه واداشت تابشی طول موج بلند از سطح زمین را در اجرای مدل با قدرت تفکیک ۲۰ کیلومتر نشان می دهد. در مرزهای شرقی ایران افزایش واداشت تابشی طول موج بلند به خوبی بیانگر حجم بالای ذرات معلق در توفان های گردوغباری است. بر روی دشت سیستان میزان آن به حدود ۱۵ وات بر متر مربع رسیده و هسته ی بیشینه ی آن در شمال منطقه به حدود ۱۸ وات بر متر مربع بالغ گردیده است.

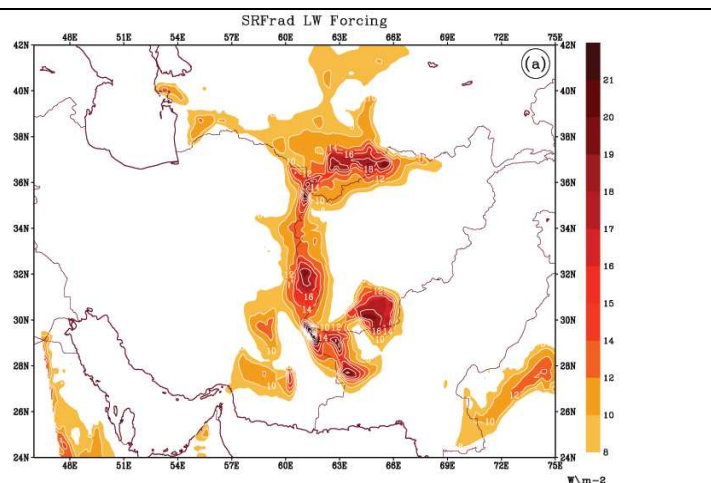


شکل ۳- وضعیت متوسط عمق نوری ذرات و شدت باد برای تعداد ۳۶ توفان گرد و غباری. (a) شرایط متوسط در ترازهای میانی (۸۲۵ تا ۲۵۵ ه پ)، (b) ترازهای زیرین (۹۹۵ تا ۸۷۰ ه پ)

◦- Long Wave Radiation Forcing



شکل ۴- متوسط فشار سطح دریا برای تعداد ۳۶ توفان گردوغباری در اجرای مدل با قدرت تفکیک ۲۰ کیلومتر



شکل ۵- متوسط واداشت تابشی طول موج بلند زمین تاب برای تعداد ۳۶ توفان گردوغباری در اجرای مدل با تفکیک ۲۰ کیلومتر

### گسترش قائم توفان های گردوغباری

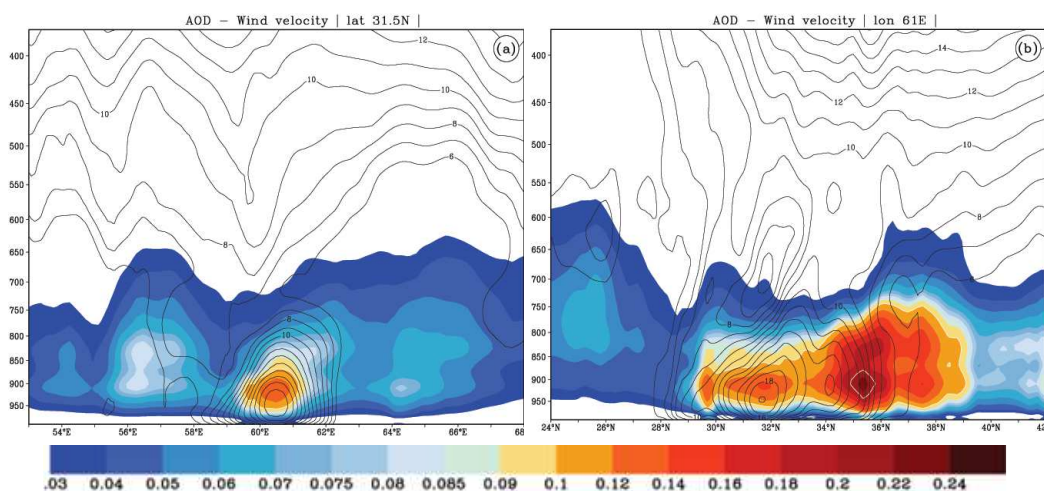
جهت بررسی گسترش قائم توفان های گردوغباری، الگوی متوسط عمق نوری ذرات و شدت باد برای ۳۶ مورد توفان گردوغباری در امتداد عرض ۳۱/۵ درجه شمالی و همچنین طول ۶۱ درجه شرقی برای ترازهای جو تهیه گردیده است. شکل ۶- نیمرخ طولی (مداری) از عمق نوری ذرات و سرعت باد از سطح زمین تا ۴۵۰ هکتوپاسکال در عرض ۳۱/۵ درجه ی شمالی را نشان می دهد. با توجه به شکل، دشت سیستان در ترازهای زیرین جو بالاترین سرعت های باد را تجربه می کند، بطوریکه بیشینه سرعت باد در هسته سرعت مستقر در طول ۶۱/۵ درجه شرقی به ۱۸ متر بر ثانیه بالغ می گردد. بیشینه سرعت باد در ارتفاعی حدود ۵۰۰ متر از سطح زمین (۹۵۰ هکتوپاسکال) مشاهده می گردد و بر خلاف انتظار با افزایش ارتفاع از سرعت های بالای باد کاسته می شود. در اینجا در تناسب با بالاترین سرعت های باد، بیشینه AOD نیز در پایین تر از ترازهای ۹۰۰ هکتوپاسکال بوقوع پیوسته و میزان آن بر روی سیستان به حدود ۰/۱۲ واحد بالغ گردیده است.



شکل ۶-b خصوصیات مورد نظر را در طول جغرافیایی ۶۱ درجه نشان می دهد. این نیمرخ عرضی شدت متوسط باد و عمق نوری ذرات را در عرض جغرافیایی ۲۴ تا ۴۲ درجه شمالی نشان می دهد. هسته ی بیشینه سرعت باد در عرض ۳۱/۵ درجه بسته شده که در حدود ۱۹ متر برثانیه در حدود ۵۰۰ متری از سطح زمین (۹۵۰ هکتوپاسکال) مشاهده می گردد. بیشینه غلظت عمق نوری ذرات نیز در این طول جغرافیایی در حدود ۰/۱۴ واحد و در زیر تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال مشاهده می گردد. آنچه که نقشه های نیمرخ قائم توفان در منطقه مرزی ایران و افغانستان به نمایش می گذارند، شکل گیری یک جت تراز زیرین در دوره گرم سال در مجاورت سطح زمین است. این جت به خوبی شکل گیری توفان های گردوغباری شدید و کم عمق در ترازهای زیرین جو را تبیین می نماید. همانطوری که نیمرخ های قائم باد نشان می دهند، جت تراز زیرین در پایین تر از ارتفاع ۲۰۰۰ متری مشاهده می گردد و در بالاتر از این ارتفاع بسیار ضعیف می گردد.

### ساختار توفان ها براساس تحلیل جریان و میدان تاوایی

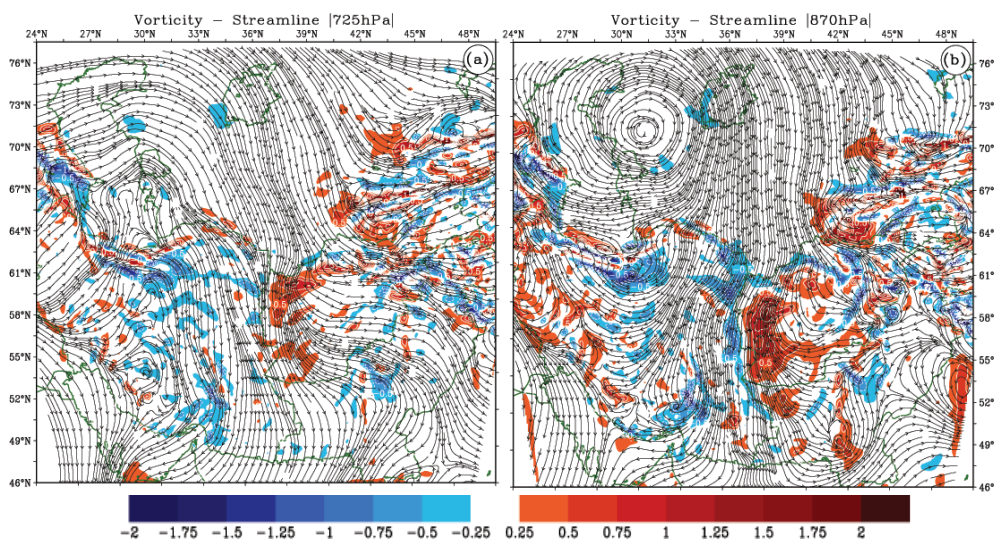
خطوط جریان، خطوط پیوسته ای هستند که جهت باد ناشی از جریانات همگرایی و واگرایی در منطقه را نشان می دهند. در این بخش تحلیل میدان تاوایی و خطوط جریان برای نیمه پایینی اتمسفر (تراز ۸۷۰ و ۷۲۵ هپ) ارائه خواهد شد. شکل ۷-a وضعیت منطقه ای جریان هوا را در تراز ۷۲۵ هکتوپاسکال نشان می دهد. قسمت های مرکزی کشور کاملاً تحت تسلط گردش و اچرخندی ناشی از واگرایی هوا قرار دارند و در بخش هایی از کشور به صورت سلول های بسته درآمده اند. بر روی دشت سیستان جریانات هوا الگوی چرخندی به خود گرفته و تاوایی مثبت بر روی این منطقه تسلط یافته است. در تراز ۸۷۰ هکتوپاسکال (شکل ۷-b) مرکز واگرایی تراز ۷۲۵ هکتوپاسکال به یک و اچرخند بسته بر جانب شمال شرقی دریای خزر مبدل گشته و در عین حال مراکز واگرایی منشعب از این جریان و اچرخندی تا بخش های مرکزی فلات ایران کشیده شده است. در بخش های شرقی ایران و در محدوده مرز ایران و افغانستان تا دشت سیستان یک محدوده گسترده با تاوایی مثبت بالا شکل گرفته که درست بر جانب غربی خود و بر روی کوه های خراسان با تاوایی منفی و گردش و اچرخندی همراه گردیده است. حاکمیت همزمان تاوایی منفی بالا در محدوده کوه های خراسان جنوبی و تاوایی مثبت بالا بر روی مرزهای شرقی و دشت سیستان، شکل گیری جت تراز زیرین و وقوع توفان را در منطقه تبیین می نماید. بر روی دشت سیستان حاکمیت با گردش چرخندی بوده که بصورت توفان های گردوخاک بروز نموده است. با در نظر گرفتن بستر خشک دریاچه های هامون در منطقه دشت سیستان با جریان یافتن هوا از شمال به جنوب، این جریانات از روی بستر خشک هامون ها عبور نموده و توفان های گردوخاک با منشا این دریاچه ها شکل می گیرد.



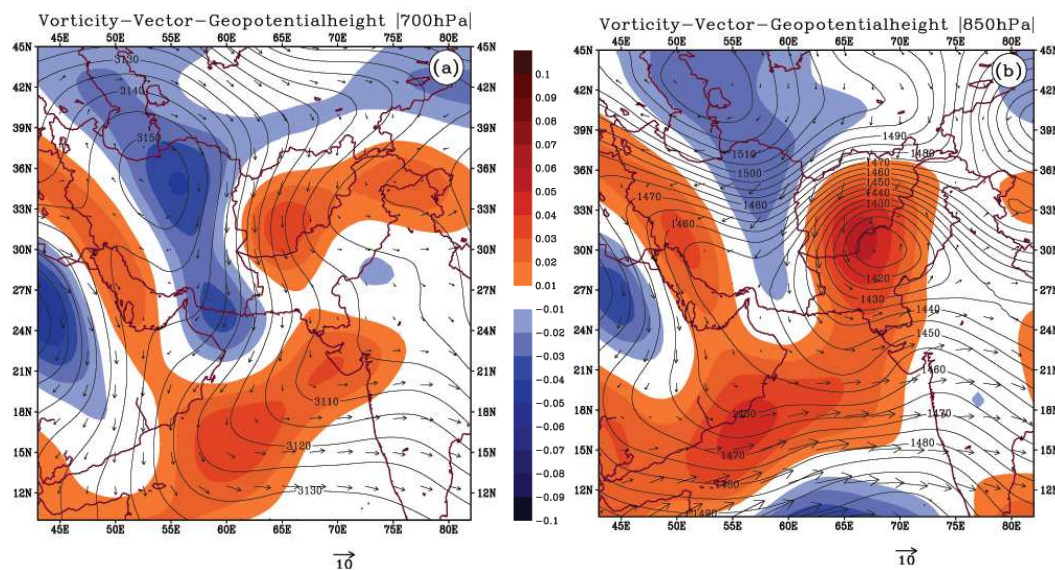
شکل ۶- نیمرخ قائم شدت متوسط باد و عمق نوری ذرات برای تعداد ۳۶ توفان گرد و غباری در دوره ی گرم سال. (a) در عرض ۳۱/۵ درجه شمالی، (b) طول ۶۱ درجه شرقی

### بررسی الگوی همدیدی توفان های گرد و غباری تابستانه

شکل ۸ نقشه های ترکیبی متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل، باد برداری و تاوایی نسبی را برای توفان های گردوغباری دوره ی گرم سال در دو تراز فشاری ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال نشان می دهد. نقشه تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال استقرار مرکز پرفشاری با مقادیر تاوایی منفی  $-0.3$  بر روی بخش های مرکزی ایران از شرق خزر تا روی خلیج فارس و دریای عمان را نشان می دهد. میزان تاوایی منفی در بخش های بین خزر و خراسان به حدود  $-0.6$  واحد بر ثانیه می رسد. در این محدوده مرکز پراارتفاع بسته ای با حدود ۳۱۵۰ ژئوپتانسیل متر، تقریبا بر روی ارتفاعات شمالی ایران بسته شده است. در قسمت های مرزی ایران، پاکستان و افغانستان شاهد گردش چرخندی هوا هستیم. زبانه های مرکز کم ارتفاعی که از بخش های شمالی هندوستان تا روی ایران کشیده شده در محدوده سیستان تاوایی مثبت را بوجود آورده است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مرکز پراارتفاع بسته به عرض بالاتر جابجا شده و مقادیر تاوایی منفی در مرکز آن به حدود  $-0.3$  واحد بر ثانیه بر روی بخش های میانی دریای خزر رسیده است. در مقابل بر روی بخش های شرقی ایران و بر روی کشورهای افغانستان و پاکستان یک مرکز کم ارتفاع بسته با مقادیر تاوایی مثبت بالا و گردش چرخندی استقرار یافته است. در این تراز شاهد عمیق شدن مرکز کم ارتفاع بسته و تقویت تاوایی مثبت در منطقه شرق ایران هستیم. شکل گیری شیب فشار زیاد بین سیستم کم فشار مستقر بر روی سیستان و مرکز پرفشار مستقر بر روی دریای خزر و خراسان، بادهای شمالی و وقوع توفان های گردوغباری در شرق فلات ایران را به خوبی توضیح می دهد.



شکل ۷- متوسط الگوی جریان و میدان تاوایی در زمان وقوع تعداد ۳۶ توفان گردوغباری در دوره ی گرم سال. (a) الگوی متوسط جریان در تراز ۷۲۵ هکتوپاسکال. (b) ۸۷۰ هکتوپاسکال



شکل ۸- وضعیت متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل، تاوایی نسبی و باد برداری برای تعداد ۲۶ توفان گرد و غباری در دوره ی گرم سال. (a) تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال، (b) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

### نتیجه گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از خروجی های مدل RegCM به شناسایی پدیده گردوغبار و خصوصیات آن در منطقه دشت سیستان پرداخته شد. با استفاده از توانمندی های مدل یاد شده، شرایط وقوع و ویژگی های توفان های گردوغباری در دو قدرت تفکیک ۲۰ و ۸۰ کیلومتر و در ۲۳ تراز فشاری مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق برای نخستین بار گستره قائم توفان ها بطور مناسبی شبیه سازی گردید.

یافته ها بیانگر آن است که مدل RegCM4، اگر چه ارزیابی آشکاری را در برآورد غبار برای محدوده جنوب ترکمنستان نشان می دهد، اما در مقابل، نتایج ارزشمندی را در مطالعه توفان های گردوغباری در دشت سیستان، بویژه ساختار منطقه ای گردش جو، فراهم می نماید.

خروجی های مدل مبین آن است که وقوع توفان های گردوغباری نتیجه شکل گیری و استقرار همزمان کم فشاری در دشت سیستان و مرکز پرفشاری بر جانب شرقی دریای خزر تا بخش های شمال شرق ایران است که با شکل گیری مرکز پرفشار محلی در محدوده کوه های خراسان جنوبی همراه می گردد.

در تحلیل میان مقیاس، استقرار مرکز پرفشاری با هم فشار بسته مرکزی ۱۰۱۲ هکتوپاسکال بر روی کوه های خراسان جنوبی و تاوایی منفی ناشی از آن از یک سو و استقرار مرکز کم فشاری با هم فشار بسته ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بر روی دشت سیستان و تاوایی مثبت ناشی از آن از سوی دیگر، با ایجاد شیب فشاری محلی قوی در محدوده مرزهای شرقی ایران، سبب بروز بادهای شدید و در نتیجه وقوع توفان های گردوغباری بر روی منطقه می گردند. نتایج تحقیق همچنین بیانگر آن است که توفان های گردوغباری تابستانه درگسترش قائم خود، در زیر تراز ۹۰۰ هکتوپاسکال بوقوع می پیوندند. این امر نتیجه استقرار یک جت تراز زیرین در امتداد مرزهای شرقی ایران و با هسته بیشینه سرعت در حدود ۵۰۰ متری از سطح زمین است که متعاقب شکل گیری آن، امکان حمل حجم بالایی از ذرات غبار در پایین ترین ترازهای جو در محدوده دشت سیستان میسّر می گردد. مطالعه حاضر بیانگر آن است که، شکل گیری توفان های گرد و غباری در دشت سیستان با تئوری تشکیل جت های تراز زیرین در منطقه ی سیستان و وردایی زمانی- مکانی آن در محدوده مرزهای شرقی ایران در ارتباط است.

اجرای مدل با قدرت های تفکیک ۲۰ و ۸۰ کیلومتر نیز بیانگر این حقیقت است که شکل گیری توفان های گردوغباری در دشت سیستان به شدت از ویژگی های جغرافیایی محلی، به ویژه توپوگرافی، متأثر می گردد. بطوری که

با کاهش قدرت تفکیک مدل، به واسطه کاهش نقش عوامل محلی، شدت جت تراز زیرین در مرزهای شرقی ایران و به تبع آن شدت و گستره توفان های گردوغباری در دشت سیستان به شدت کاهش می یابند.

**تقدیر و تشکر:** از پشتیبانی فنی دانشگاه فردوسی مشهد در اجرای مدل RegCM، همچنین از همکاری و پشتیبانی فنی جناب آقای مهندس منصوری مسئول بخش رایانه دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه فردوسی تشکر می گردد.

## منابع

- بابائیان، ا.، بداد جمالی، ج.، کاظمی، ع.، محمدی، م.، احمدی، م.، و علی آبادی، م (۱۳۸۲) تحلیل گرادبان فشار سطح متوسط دریا برای وقوع بادهای شدید تابستانه در شرق کشور، مجموعه مقالات همایش عددی وضع هوا.
- جعفری، سجاد (۱۳۹۰) بررسی ساختار گردش جو در زمان وقوع توفانهای گردوغباری در جنوبغرب ایران با استفاده از مدل اقلیمی مقیاس منطقه ای RegCM4، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی- اقلیم شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۶۶ص.
- حسینزاده، سیدرضا (۱۳۷۶) بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۴۶: ۱۰۲ تا ۱۲۷.
- خسروی، محمود (۱۳۸۷) تاثیرات محیطی اندرکنش نوسانهای رودخانه هیرمند با بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۹۹: ۴۹-۱۹.
- خسروی، محمود (۱۳۸۹) بررسی توزیع عمودی گردو غبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با استفاده از مدل NAAPS در منطقه‌ی سیستان ایران، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ایران، زاهدان، فروردین.
- راشکی، علی‌رضا و زرین، هدایت‌الله (۱۳۸۶) پیامدهای بادهای ۱۲۰ روزه سیستان در خشکسالی اخیر دشت سیستان، باشگاه پژوهشگران جوان، بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند.
- زرین، آذر (۱۳۸۶) تحلیل پرفشار جنب حاره تابستانه ایران، رساله دکتری جغرافیای طبیعی-گرایش اقلیم شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- علیجانی، بهلول و رئیس پور، کوهزاد (۱۳۹۰) تحلیل آماری، همدیدی طوفان‌های گرد و خاک در جنوب شرق ایران، (مطالعه موردی: منطقه‌ی سیستان)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲ (۵): ۱۰۷-۱۳۲.
- گندمکار، امیر (۱۳۸۵) بررسی سینوپتیک انرژی باد در منطقه سیستان، پایان‌نامه‌ی دکتری رشته اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان.
- گندمکار، امیر (۱۳۸۹) تعیین گستره افقی باد سیستان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، فصلنامه جغرافیایی طبیعی، ۳ (۱۰): ۶۷-۷۶.
- مفیدی، عباس و زرین، آذر (۱۳۹۱) بررسی ماهیت، ساختار و وردایی زمانی گردش بزرگ مقیاس جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا، پژوهش های اقلیم شناسی، زیر چاپ.
- نجار سلیقه، محمد (۱۳۸۹) آثار مشترک تقابل حرارتی سیستم‌های جوی در کشورهای اسلامی مطالعه موردی: بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ایران، زاهدان، فروردین.
- Agacayak T, Kindap T, Unal A, Mallet M, Pozzoli L, Karaca M, Solmon F (2012) Impact of Dust on air quality and radiative forcing: an episodic study for the megacity Istanbul using RegCM4.1, *EGU General Assembly 2012* (EGU2012-4479): 14.
- Ganji MH., (1968) The climate of Iran, in Fisher, W.B., ed., *The land of Iran—The Cambridge history of Iran*, Vol: 1, Cambridge, University Press, 212–245.
- Goudie A, and Middleton NJ, (2006) *Desert Dust in the Global System*, Springer, Heidelberg.1-90.
- Huntington E (1905) The Depression of Sistan in Eastern Persia, *Bulletin of the American Geographical Society*, **37**(5): 271-281.
- Kalnay E, and 21Co-authors (1996) The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Amr. Meteorol. Soc.*, **77**: 437-471.
- Marcella M, Eltahir EA (2010) Effects of mineral aerosols on the summertime climate of southwest Asia: Incorporating sub grid variability in a dust emission scheme, *Journal of Geophysical Research*, **115**: 14-27.
- McMahon H, (1906a) Recent Survey and Exploration in Seistan, *Journal of the Royal Geographical Society*, **28** (3): 209-228.
- McMahon H, (1906b) Recent Survey and Exploration in Seistan, *Journal of the Royal Geographical Society*, **28** (4): 333-240.
- Middleton NJ, (1986) A Geography of dust storms in South-west Asia, *Int. J. Climatol.* **6**: 183–196.

- Nabat P, Solmon F, Mallet M, Kok J.F, and Somot S (2012) Dust emission size distribution impact on aerosol budget and radiative forcing over the Mediterranean region: a regional climate model approach, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **12**: 17835-17886.
- Pal JS, et al., (2007) Regional Climate Modeling for the Developing World: The ICTP RegCM3 and RegCNET, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **88**, 1395–1409.
- Rashki A., (2012) Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran, *Aeolian Research*, **5**: 51–62.
- Santese M, Perrone M.R, Zakey A.S, and De Tomasi F, Giorgi F (2010) Modeling of Saharan dust outbreaks over the Mediterranean by RegCM3: case studies, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **10**:133-156.
- Sivall T.R., (1977) Synoptic-climatological study of the Asian summer monsoon in Afghanistan: *Geografiska Annaler*, **59**: 67–87.
- Whitney JW., (2006) Geology, water, and wind in the lower Helmand Basin, southern Afghanistan: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006–5182, 40 p.
- Zakey A.S., Solmon F., Giorgi F., (2006) Desert Dust module in a regional climate model, *Atmospheric Chemistry and Physics*, **6**: 4687-4704.
- Zhang D.F, Zakey A.S, Gao X.J, Giorgi F (2008) Simulation of Dust aerosol and its regional feedbacks over East Asia using a regional climate model, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, **8**: 4625-4667.

## Evaluation of the RegCM4 model coupled with Dust module on identification of dust storm features over the Sistan region

Abbas Mofidi<sup>1</sup>, Somayeh Kamali<sup>2</sup>, Azar Zarrin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor of Climatology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran  
E-mail: abbasnofidi@um.ac.ir

<sup>2</sup>MA Student of Climatology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran  
E-mail: ka.so90@yahoo.com

<sup>3</sup>Assistant Professor of Climatology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran  
E-mail: zarrin@um.ac.ir

### Abstract

This study aims to clarify the performance of a regional climate model (RegCM4) on identification of dust storm features over the Sistan region. The model coupled with a dust module to capture the intensity and development of dust storms occurred over Sistan region during warm period of the year. The hourly visibility data of Zabol weather station is used to extract the widespread dust storms date. This study focused on 36 widespread storms of 2001 and 2003 which have been remarkable in terms of the intensity, persistence and frequency of dust storm events. The NCEP/NCAR reanalysis data along with RegCM4 outputs were used to clarify the structure and regional scale characteristics of dust storms over the study area. Aerosol Optical Depth (AOD), Sea level pressure, geopotential height, outgoing long wave radiation forcing and zonal (U) and meridional (V) wind components at different pressure levels were used to determine the regional and synoptic patterns of dust storms. The results show that the Sistan low pressure and the Khorasan high pressure play the key roles on formation of regional scale dust storms over Sistan region during the warm period of the year. These two adjacent pressure systems associated with the enhanced cyclonic circulation in Sistan region and an anticyclonic circulation in southern Khorasan mountainous area can increase the horizontal wind shear in the lower atmosphere due to the formation and intensification of a Low Level Jet (LLJ) in eastern borders of Iran. The low-level jet over this area can provide the horizontal dust transportation in a shallow layer and prohibit its vertical dispersion into the middle troposphere. However, RegCM4 model faced a challenge in enhancing the magnitude and existence of dust storm events over southern Turkmenistan, even though; it is a reliable model to identify the structure and features of dust storms and regional atmospheric circulation patterns over Sistan region.

**Key word:** Dust storms, Sistan region, RegCM4, AOD.