

## شبیه‌سازی جت سطوح پایین (LLJ) توسط طرح‌واره‌های مختلف لایه‌مرزی مدل WRF\_Chem در گردو خاک محلی استان خوزستان

الهام مبارک حسن<sup>۱</sup> و پروین غفاریان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران  
<sup>۲</sup>استادیار پژوهشکده علوم جوی، پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی

تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۱۴ ، تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۳

### چکیده

جت‌های سطوح پایین در شکل‌گیری توفان‌های گردو خاک در مناطق خشک نقش کلیدی دارند. هدف از این مطالعه بررسی توانایی مدل WRF\_Chem در شبیه‌سازی جت سطوح پایین و تعیین معیارهای آن در شکل‌گیری گردو خاک محلی استان خوزستان می‌باشد. به این منظور گردو خاک رخ داده در طی روزهای ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲ (۲۴ و ۲۳ اسفند ۱۳۹۰) انتخاب شد. ساختار همدیدی و میدان باد با استفاده از داده‌های ERA-Interim تحلیل شد. شبیه‌سازی نیز با طرح‌واره گردو خاک GOCART و AFWA و طرح‌واره لایه‌مرزی با حروف اختصاری MYN, ACM, Bo, MYJ, UW و YSU انجام شد.

نتیجه حاصل نشان داد که جت سطوح پایین در ایستگاه‌های واقع شده در سمت راست بیشینه باد شکل گرفته و شکست آن در میانه روز منجر به افزایش سرعت باد ده متری تا ۱۳ متر بر ثانیه و انتشار گردو خاک محلی می‌شود. در شبیه‌سازی معیارهای جت سطوح پایین شامل سرعت باد ۲۰ تا ۲۳، برش مثبت باد بین ۸ تا ۱۸ و برش منفی ۴ تا ۱۳ متر بر ثانیه تعیین شد. مدل WRF\_Chem جت‌های قوی‌تر نسبت به داده‌های ERA\_I بر آورد نمود. درصحت سنجی مدل ضریب همبستگی سرعت باد ده متری ۰/۸۳ و ۰/۷ و ۰/۶۸ و ۰/۷۲ برای گردو خاک GOCART و AFWA در طرح‌واره MYN به دست آمد. هماهنگ‌ترین تغییرات شبانه روزی PM<sub>۱۰</sub> سطحی با طرح‌واره لایه‌مرزی MYN و طرح‌واره گردو خاک AFWA به دست آمد که به عنوان بهترین طرح‌واره در شبیه‌سازی گردو خاک محلی تعیین شد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی جت سطوح پایین، طرح‌واره لایه‌مرزی، برآورد PM<sub>۱۰</sub>، مدل WRF\_Chem

## مقدمه

جت‌های سطوح پایین محدوده باریکی در لایه‌های زیرین جو هستند که سرعت باد افقی بیش از ۱۲ متر بر ثانیه دارند (بلاکادار، ۱۹۵۵؛ هوکر، ۱۹۶۳؛ باس و همکاران، ۲۰۰۹). شکل‌گیری و توسعه جت‌های سطوح پایین تحت شرایط مختلف از جمله نوسان‌های ساکن<sup>۱</sup>، اثر کوهساری و واداشتهای بارو کلینیکی<sup>۲</sup>، بازخورد مثبت گرمایش در رو<sup>۳</sup>، برهم‌کنش رودباد بالا و پایین<sup>۴</sup>، واداشتهای همدیدی<sup>۵</sup> شکل می‌گیرند (مارشام و همکاران، ۲۰۱۳؛ واشنگتن و تد، ۲۰۰۵).

افزایش سرعت باد به آستانه معیار LILJها می‌تواند با واداشتهای سامانه‌های عرض‌های میانی همراه باشد. هنگامی که پرفشار از سمت شمال شرق به سمت کم‌فشار نزدیک می‌شود، نیروی گرادیان فشار تغییر نموده و واداشت خارجی ایجاد می‌شود. گرچه این نیرو در راستای افقی است اما منجر ایجاد مؤلفه آ زمین‌گردی شده (محیط بارو کلینیکی) و شتاب بالاسو شکل می‌گیرد. این فرآیند منجر به افزایش سرعت باد افقی در سطوح پایین جو تا ۳۰ متر بر ثانیه شده و جت‌های سطوح پایین توسعه می‌یابند (یوسلنی و همکاران، ۱۹۸۷، اکسو و همکاران، ۲۰۰۴).

توسعه گرادیان فشار افقی بین دو سامانه ی چرخند (کم‌فشار) و واچرخندی (پرفشار) وجه مشترک تمام توفان‌های گردو خاک است (تسای و همکاران، ۲۰۰۸؛ بارکان و آلپرت، ۲۰۱۰) بنابراین انتظار می‌رود با فراهم شدن برخی شرایط محیطی با توسعه سامانه‌های همدیدی، توفان‌های گردو خاک همراه با جت‌های سطوح پایین انتشار یابند. (اکسو و همکاران، ۲۰۰۴). جت‌های سطوح پایین در شکل‌گیری توفان‌های گردو خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش کلیدی دارند (کنیپرتز، ۲۰۰۸؛ اسچپانسکی و همکاران، ۲۰۰۹؛ فیدلر و همکاران، ۲۰۱۳؛ هینولد و همکاران، ۲۰۱۳؛ مارشام و همکاران،

۲۰۱۳؛ آلن و واشنگتن، ۲۰۱۴)

ویژگی‌ها جت و ساعت شکل‌گیری آن‌ها تأثیر مهمی در شدت و زمان وقوع گردو خاک دارند. یکی از سازوکارهای که منجر به افزایش سرعت باد سطحی می‌شود، انتقال تکانه از جت سطوح پایین<sup>۶</sup> به سطح زمین است (فیدلر و همکاران، ۲۰۱۳؛ کنیپرتز، ۲۰۰۸؛ واشنگتن و تد، ۲۰۰۵) سرعت باد سطحی در انتشار گردو خاک نقش ویژه‌ای دارد. اگر سرعت باد در منطقه‌ای با خاک خشک و پوشش گیاهی تنک از حد آستانه‌ای بیشتر شود؛ ذره‌های گردو خاک را با خود وارد جو می‌نماید (وست پال و همکاران ۱۹۸۸؛ چن و همکاران ۲۰۱۳؛ لیو و شائو، ۱۹۹۹؛ تگن، ۲۰۰۳)

در صورتی که سرعت باد ده متری به بیش از ۷ متر بر ثانیه برسد شرایط برای صعود و گردو خاک فراهم می‌شود (آلن و واشنگتن، ۲۰۱۴؛ مارتیکورنا و برگامتی، ۱۹۹۵؛ مارشام و همکاران، ۲۰۱۳؛ پوخارل و کاپلان، ۲۰۱۷) گرچه آستانه سرعت باد سطحی (نزدیک زمین) مؤثر در انتشار گردو خاک در مناطق مختلف و با توجه به شرایط سطحی خاک متفاوت است.

## مشخصه‌های جت

جت‌های سطوح پایین به‌عنوان بیشینه سرعت باد در لایه‌های پایین جو تعریف می‌شوند. معیارهای شناخت شده جت سطوح پایین شامل بیشینه و ارتفاع سرعت باد و همچنین برش عمودی باد می‌باشند (شکل ۱-الف). گرچه در جزییات این مشخصه‌ها در مناطق مختلف دنیا اختلاف نظر وجود دارد (کالیستروا و کوزنتسو، ۲۰۱۲؛ نونالی و باس، ۲۰۱۳)

تندی حداقل ۱۲ متر بر ثانیه در پروفایل عمودی باد، که در ارتفاع کمتر از ۳۰۰۰ متر شکل بگیرد، به‌عنوان محور جت nose or core در نظر گرفته می‌شود (بونر، ۱۹۶۸). ارتفاع شکل‌گیری بیشینه سرعت باد دومین معیار شناخت جت است که باید در ارتفاعی پایین‌تر از ۳۰۰۰ متری قرار بگیرد. فاصله بین سطح زمین و ارتفاع بیشینه سرعت باد

1 - Inertial Oscillation

2 - Topographic thermal and dynamic forcing

3 - Positive feedback from diabatic heating

4 - Coupling between upper- and lower-level jets

5 - Synoptic forcing

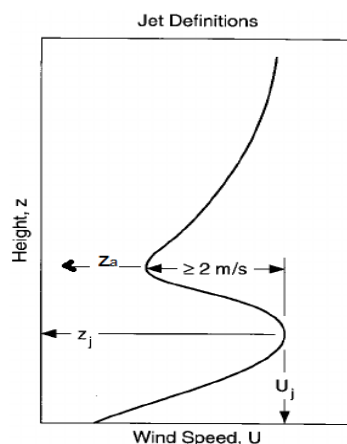
از بین نرفته و در تمام طول روز شرایط برای شکل‌گیری و افزایش شدت گردوخاک مهیا خواهد بود.

با توجه به فعال شدن کانون‌های داخلی در گردوخاک‌های اخیر ایران برخی مطالعه‌ها در این زمینه و در بخش‌های مختلف کشور از جمله انجام شده است، به‌عنوان مثال می‌توان به ناصر زاده و همکاران ۱۳۹۵، عمادی و همکاران ۱۳۹۴، مرشدی و رضازاده ۱۳۹۵، کرمانی و طاهریان ۱۳۹۵ اشاره نمود که بیشتر با دیدگاه همدیدی یا با استفاده از تصویر ماهواره مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این تحقیق شرایط شکل‌گیری و نقش جت در توسعه گردوخاک‌های داخلی و میان‌مقیاس استان و شبیه‌سازی جت سطوح پایین توسط مدل WRF\_Chem مورد نظر است. در ادامه مطلب در بخش داده و روش توضیح مختصری در مورد منطقه مورد بررسی داده خواهد شد و داده‌های و پارامترهای مورد استفاده شرح داده می‌شوند. همچنین در بخش یافته‌ها ساختار همدیدی، نمایه عمودی باد و معیارهای جت سطوح پایین مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. همچنین نتیجه شبیه‌سازی مدل با شش طرح‌واره مختلف لایه‌مرزی ارائه شده و نتیجه حاصله با داده‌های مشاهداتی و ERA\_I مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در پایان نیز نتیجه‌گیری نهایی حاصل از این تحقیق بیان می‌شود.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان به دلیل شرایط خاص جغرافیایی درگیر توفان‌های گردوخاک متعددی است. افزایش تعداد وقوع گردوخاک در استان خوزستان ناشی از سه عامل است. در کشور عراق با برداشت بی‌رویه کشورهای بالادست به‌ویژه ترکیه، رودهای دجله و فرات و تالاب‌ها خشک شده و دجله و فرات کم آب شده‌اند و در نتیجه زمین‌های خشک شده (آب رفتی) حاشیه این دو رودخانه شرایط بسیار مناسبی را برای شکل‌گیری گردوخاک فراهم نموده و به‌عنوان مهم‌ترین کانون فرامرزی گردوخاک‌های استان خوزستان در نظر گرفته می‌شوند. از طرفی کاهش



شکل ۱: قدرت و عمق جت (آندریاس و همکاران، ۲۰۰۰)

عمق جت تعریف می‌شود (شکل ۱) برش باد عمودی از دیگر معیارها است (آندریاس، ۲۰۰۰؛ بونر، ۱۹۶۸، فیدلر و همکاران، ۲۰۱۳؛ زانگ و همکاران، ۲۰۰۶؛ استرنسرو، ۱۹۹۶)

اختلاف بین سرعت باد سطحی و بیشینه سرعت باد ترازهای بالاتر برش مثبت و اختلاف بیشینه سرعت باد و کمینه آن در ارتفاعی کمتر از ۳۰۰۰ متر برش منفی در نظر گرفته می‌شود (ویتمن، ۱۹۹۷؛ باس و همکاران، ۲۰۰۹؛ ماهر، ۲۰۰۲؛ مکرینتا و همکاران، ۲۰۱۱) برش منفی به‌عنوان قدرت جت شناخته می‌شود (شکل ۱). در بیشتر تحقیق‌ها مقدار  $-8/1$  را تعیین نموده‌اند (آندریاس و همکاران، ۲۰۰۰؛ استال، ۱۹۸۸). گرچه در برخی تحقیق‌ها مقدار متفاوتی بر آن تعیین شده است.

آستانه سرعت باد ۱۶ متر بر ثانیه در محور جت سطوح پایین برای انتشار گردوخاک تعیین شده است (آلن و همکاران، ۲۰۱۳). سرعت باد افقی در محور جت نقش مؤثری در انتقال افقی گردوخاک به مناطق دورتر دارد. اگر جت سطوح پایین از نوع شبانه بوده و در طی ساعت ۰۰ تا ۰۶ شکل بگیرند، پس از آن ساعت و با شکست جت سرعت باد سطحی افزایش یافته و انتشار گردوخاک آغاز شده و توسعه گردوخاک در ساعت‌های میانی روز رخ می‌دهد (واش‌نگتن و تد، ۲۰۰۵؛ پارکر، ۲۰۰۵؛ کروی و همکاران، ۲۰۱۲). اما اگر جت سطوح پایین به دلیل ساختار همدیدی شکل گرفته باشد، پس از طلوع خورشید

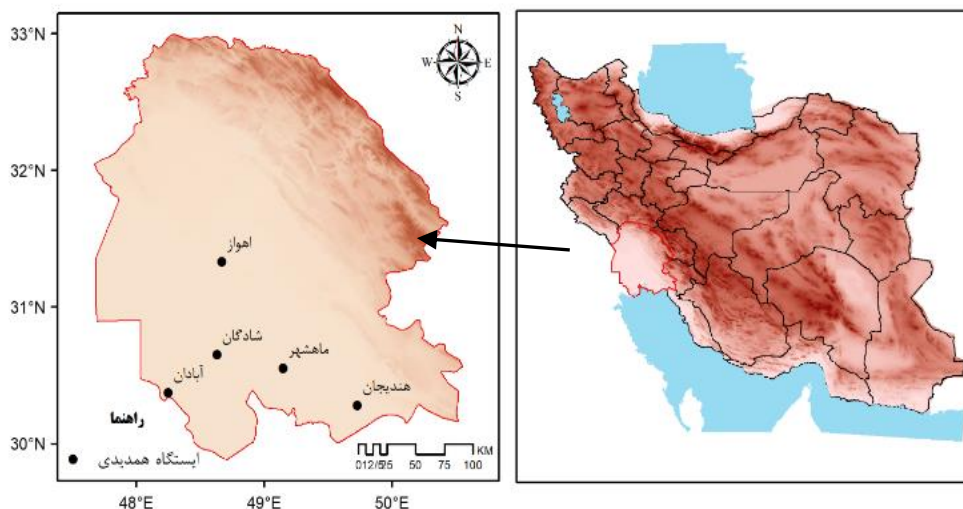
شکل‌گیری این دو با همدیگر متفاوت است. موقعیت استان خوزستان و شهرهای انتخاب‌شده در این مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است.

داده‌ها

یکی از دلایل کاهش دید افقی وقوع گردوخاک است بنابراین در ابتدا دید افقی مربوط به شهرهای استان خوزستان از سازمان هواشناسی تهیه شد. در گزارش ایستگاه‌های همدیدی کد ۰۶ معرف گردوخاک با منشأ بیرون از ایستگاه هواشناسی و کد ۰۷ معرف پدیده گردوخاکی که در ایستگاه هواشناسی شکل‌گرفته باشد بنابراین دو معیار کاهش دید افقی به همراه کد ۰۷ که نشان‌دهنده گردوخاک محلی است، در نظر گرفته شد. بر اساس آن دو گردوخاک رخ داده در روزهای ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲ انتخاب شد. در برخی ساعت‌های این دو روز در برخی شهرهای استان خوزستان شامل آبادان، اهواز، هندیجان، ماهشهر و شادگان (شکل ۲) کد ۰۷ گزارش شده بود.

وجود گردوخاک در منطقه نیز با استفاده از تصویر ماهواره MODIS تأیید شد. به‌منظور تعیین آستانه سرعت باد در بلندشدن گردوخاک در هر ایستگاه از سرعت متری مشاهداتی استفاده شد به‌منظور فرآیندهای منجر به شکل‌گیری گردوخاک،

آب ورودی از دجله و فرات، منجر به خشک شدن جلگه آبرفتی خوزستان شده و منجر به خشک شدن تالاب هورا عظیم، شادگان و بام دژ در منطقه می‌شود که عاملی در جهت افزایش توفان‌های گردوخاک داخلی است. به‌این‌ترتیب کاهش آب دجله و فرات در کانون‌های فرامرزی و کانون‌های داخلی گردوخاک مؤثر نقش دارد. همچنین در داخل کشور تأثیر طرح‌های توسعه ناپایدار در منطقه که عمده‌ترین آن‌ها شامل سدسازی و انتقال آب از حوضه‌ای به حوضه‌ای، برداشت بی‌رویه آب از حوزه آبخیز جهت توسعه طرح‌های کشت نیشکر و آبیاری غیراصولی اراضی کشاورزی در بالادست هست؛ منجر به کاهش شدید دبی رودخانه‌های منتهی به دشت خوزستان از جمله کارون، دز و کرخه می‌شود. از سوی دیگر آلودگی حاصل از توسعه صنعتی در منطقه به همراه کاهش منابع آب می‌تواند باعث تخریب هرچه بیشتر پوشش گیاهی شود. ارزیابی منطقه نشان داده که زمین‌های بایر منطقه تا ۹ درصد افزایش داشته و نشان‌دهنده جایگزینی اراضی نامطلوب به‌جای اراضی ارزشمند اکولوژیکی هست (حیدریان و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین در وقوع گردوخاک در استان خوزستان علاوه بر کانون‌های فرامرزی که در عراق، سوریه و عربستان قرار دارند، کانون‌های درون‌مرزی نیز مؤثر هستند. سازوکار



شکل ۲: موقعیت استان خوزستان و ایستگاه‌های انتخاب‌شده

جدول ۱- پیکربندی مدل WRF\_Chem

		Planetary boundary layer	PBL	surface layer scheme
Dust emission	GOCART AFWA	Yonsei university scheme (YSU)	YSU	MM5 similarity
Microphysics	Lin	Mellor-Yamada Nakasishi Niino(MYNN 2.5)	MYN	MM5 similarity
Long wave radiation	RRTM scheme	Asymmetric convection model2(ACM2)	ACM	MM5 similarity
Short wave radiation	Dudhia	Bougeault-Lacarrere scheme(BouLac)	BO	MM5 similarity
Surface physics	Noah Land Surface Model	University of Washington	UW	MM5 similarity
Cumulus	Kaim-Fritsch	Mellor-Yamada-Janjic (MYJ)	MYJ	Eta similarity

گردو خاک از  $PM_{10}$  استفاده شد. از آن جایی که  $PM_{10}$  در اجرای ساده مدل WRF\_Chem،  $PM_{10}$  به طور مستقیم محاسبه نمی‌گردد، لذا از فرمول زیر استفاده شد (راهنمای مدل)

$$PM_{10} = dust_1 + dust_2 + dust_3 + 0.87 * dust_4$$

با هدف صحت‌سنجی نتیجه مدل  $PM_{10}$  اندازه‌گیری شده در شهر اهواز توسط دستگاه‌های آلودگی سنجی سازمان محیط‌زیست و دید افقی در اهواز گردآوری شد و با نتیجه مدل مقایسه گردید.

### نتایج و بحث

استان خوزستان در مارس ۲۰۱۲ به‌طور متوالی تحت تأثیر توفان گردو خاک بوده است. در طی روزهای ۱۳ و ۱۴ مارس در شهرهای اهواز، شادگان، آبادان، هندیجان و ماهشهر کاهش دید افقی همراه با کد ۰۷ و افزایش سرعت باد گزارش شده بود (شکل ۳)

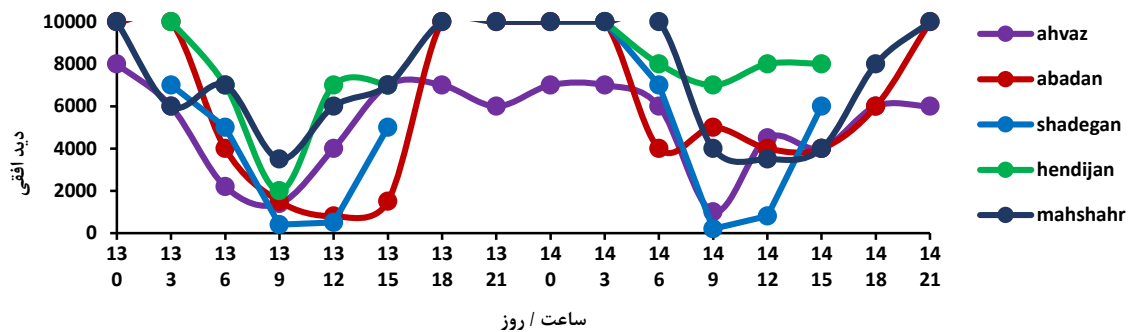
ایستگاه شادگان در روز ۱۳ و ۱۴ مارس دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش یافته است (نمودار ۱) که نشان‌دهنده گردو خاک شدید است. در روز ۱۳ اهواز و آبادان و در روز ۱۴ اهواز نیز کاهش دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ داشته‌اند. در ایستگاه‌های هندیجان، ماهشهر شدت کاهش دید افقی کمتر بوده و گردو خاک مانند سه شهر دیگر شدید نیست.

به‌منظور صحت‌سنجی  $PM_{10}$  برون داد مدل از دید افقی و  $PM_{10}$  مشاهداتی استفاده خواهد شد. از آنجایی که  $PM_{10}$  مشاهداتی برای اهواز در دسترس هست، در

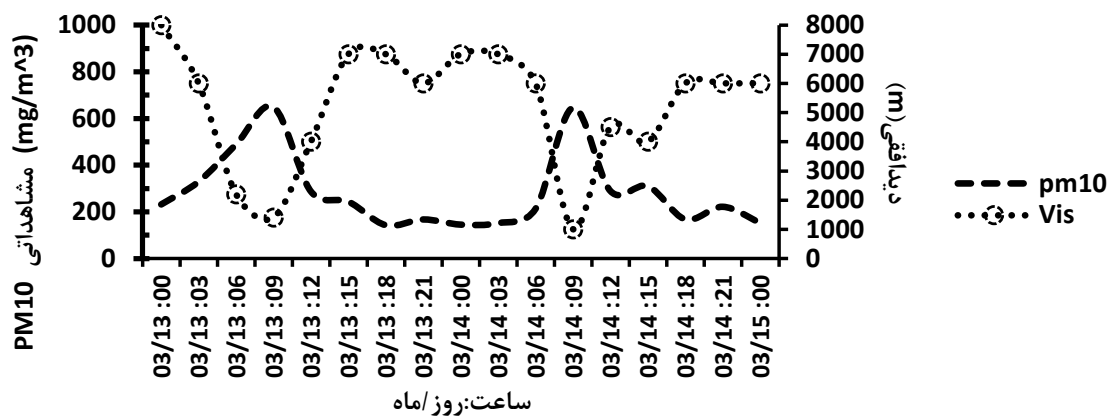
ساختار فشار سطح دریای آزاد، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و میدان باد سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال بررسی شدند. تحقیق نقش جت سطوح پایین نیز توسط پروفایل عمودی باد در طی ساعت‌های ۰۰، ۰۶، ۱۲ و ۱۸ UTC انجام شد. داده‌های اولیه جهت ترسیم ساختارهای یادشده از مرکز ERA-Interim که در متن به‌اختصار ERA\_I نام‌گذاری می‌شود، در تفکیک مکانی ۰/۷۵ درجه و در تفکیک زمانی ۶ ساعته تهیه شد. از همین داده‌ها برای شبیه‌سازی مدل نیز استفاده شد.

در شبیه‌سازی گردو خاک نسخه ۳.۹.۱ مدل WRF\_Chem به کار رفت. مدل بر روی شبکه‌ای با تفکیک افقی ۲۱ کیلومتر با ۱۰۳ نقطه در راستای x، ۹۴ نقطه در راستای y و ۳۸ تراز قائم اجرا شده است. در جدول (۱) پیکربندی طرح‌واره‌های فیزیکی مورد استفاده در این شبیه‌سازی ارائه شده است. اجرای مدل با دو طرح‌واره گردو خاک GOCART و AFWA و با هفت طرح‌واره لایه‌مرزی انجام شد. که در مجموع مدل ۱۴ بار اجرا شد. نتیجه اجرا با طرح‌واره SHIN و YSU شباهت بسیاری داشتند که در تحلیل از ارائه نتایج SHIN صرف‌نظر شد. در طرح‌واره MYJ، طرح‌واره لایه سطحی Eta similarity و در شش مورد دیگر لایه سطحی MM5 انتخاب شد. هر اجرای مدل با یک طرح‌واره لایه‌مرزی با حروف اختصاری آن به شکل YSU, MYJ, MYN, ACM, BO, UW نام‌گذاری شد. طرح‌واره GOCART و AFWA به‌اختصار GO و AF نامیده شدند. در ادامه متن این عبارات‌های اختصاری استفاده می‌شود.

به‌منظور بررسی صحت‌سنجی مدل در پیش‌بینی

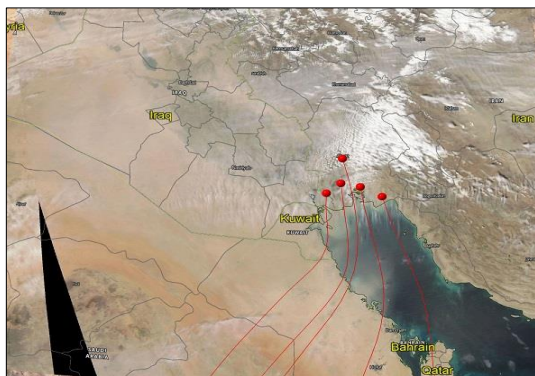


شکل ۳: تغییر زمانی دید افقی (متر) در پنج ایستگاه انتخاب شده



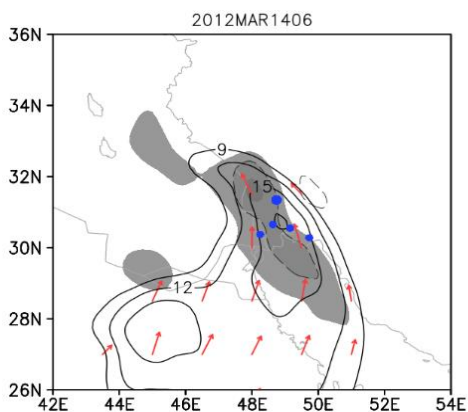
شکل ۴: رابطه دید افقی و PM10 در اهواز، ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲

عربستان (شکل ۵) را در بر گرفته است که نشان می‌دهد گردوخاک مقیاس همدیدی است. اما در طی ساعت‌های ۳، ۶ و ۹ UTC کد ۰۷ همراه با کاهش دید افقی (شکل ۳) گزارش شده است که بیانگر اثر عامل محلی در افزایش شدت گردوخاک در برخی شهرهای استان هست. بنابراین به‌عنوان گردوخاک محلی انتخاب شده است.

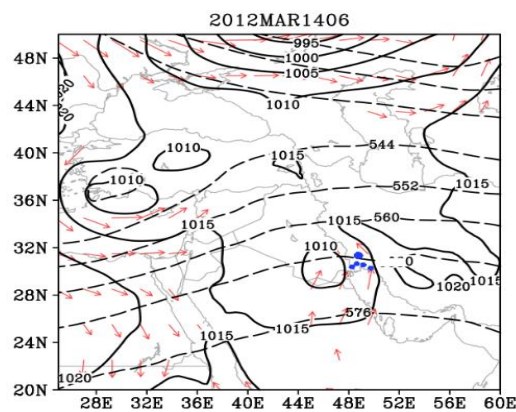


شکل ۵: تصویر گردوخاک تهیه شده توسط ماهواره MODIS در ۱۴ مارس ۲۰۱۲

تحلیل‌های پیش رو صحت سنجی مدل در این ایستگاه انجام می‌شود. گردوخاک و  $PM_{10}$  بادید افقی رابطه عکس دارند. به طوری که با افزایش گردوخاک، غلظت  $PM_{10}$  نیز افزایش یافته و نتیجه آن کاهش دید افقی هست. گرچه  $PM_{10}$  به دلیل‌های مانند حمل‌ونقل شهری و فعالیت صنعتی و... افزایش می‌یابد. همچنین دید افقی نیز به دلیل‌های مانند مه، بارش و... کاهش می‌یابد. در دو روز مورد مطالعه (۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲) ضریب همبستگی  $PM_{10}$  و دید افقی،  $-0.90$  هست که همبستگی بالایی را بین آن دو نشان می‌دهد. همچنین علامت منفی رابطه عکس آن‌دورا تأیید می‌نماید. تغییرات ساعتی در شکل ۴ به نمایش درآمده است. در ساعت ۰۹ UTC روز ۱۳ و ۱۴ مارس غلظت  $PM_{10}$  به بیشترین مقدار ۶۸۰ میکروگرم بر مترمکعب و دید افقی به کم‌تر از ۲۰۰ متر رسیده است. در تصویر ماهواره MODIS در روز ۱۴ مارس گردوخاک ضعیفی بخش‌های از ایران، عراق، کویت و

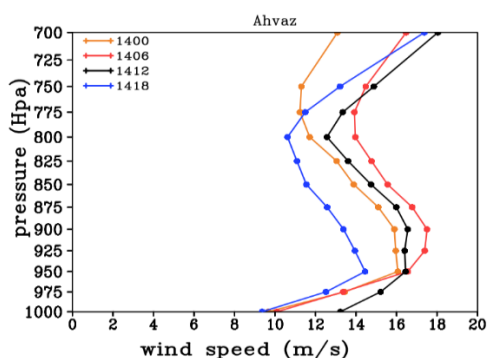


(ب)



(الف)

شکل ۶: الف) ساختار فشار سطح دریای آزاد (خط مشکی) بر حسب هکتوپاسکال، ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال (خط چین مشکی)، پیکان باد (قرمز)؛ ب) سرعت باد (خط مشکی) بر حسب متر بر ثانیه، جهت باد (پیکان قرمز)، سرعت عمودی (هاشور) بر حسب پاسکال بر ثانیه، در ساعت ۰۶ UTC روز ۱۴ مارس ۲۰۱۲. دایره‌های آبی رنگ موقعیت ایستگاه‌های انتخاب‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۷: پروفایل باد در ساعت‌های ۰۰ (نارنجی)، ۰۶ (قرمز)، ۱۲ (مشکی) و ۱۸ (آبی) UTC روز ۱۴ مارس ۲۰۱۲ در ایستگاه اهواز

و شکل‌گیری جت سطوح پایین شده‌اند، این جت از نوع همدیدی هست.

تعیین معیارهای جت سطوح پایین (ERA-I) و تأثیر آن در شکل‌گیری گردوخاک

در این بخش معیارهای جت سطوح پایین در ایستگاه اهواز بررسی می‌شود. در پروفایل باد ساعت‌های ۰۰ و ۰۶ UTC روز ۱۴ مارس، افزایش سرعت باد در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال و کاهش سرعت باد در ترازهای ۸۰۰ تا ۷۷۵ هکتوپاسکال مشاهده می‌شود (شکل ۷). افزایش سرعت باد در زیر ۷۰۰ هکتوپاسکال (۳۰۰ متر) که در روز ۱۴ مارس در ساعت ۰۶ و ۰۰ UTC رخ داده، مهم‌ترین معیار شناخت

سازوکار همدیدی شکل‌گیری گردوخاک

در روز ۱۴ مارس ساعت ۰۶ UTC مرکز بسته کم‌فشار ۱۰۱۰ هکتوپاسکال در جنوب شرق عراق قرار دارد (شکل ۶-الف). این مرکز کم‌فشار در ابتدا کم‌فشار دریای سرخ بوده (شکل نشان داده نشده) که همراه با توسعه ناوه ارتفاعی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال تقویت شده و به سمت شرق حرکت نموده است (شکل ۶-الف). با استقرار پرفشار ۱۰۲۰ هکتوپاسکال در جنوب ایران گرادیان فشار بین آن دو افزایش یافته و بادهای جنوبی و جنوب غربی در حفاصل آن‌ها شکل گرفته است (شکل ۶-الف). در شکل ۶-ب میدان باد سطح ۹۲۵ بادهای جنوب و جنوب شرقی با سرعت باد ۱۸ متر بر ثانیه را بر روی استان خوزستان نشان می‌دهد. اهواز، ماهشهر و شادگان منطبق بر مرکز بیشینه سرعت باد و آبادان در سمت چپ آن قرار دارند. سرعت عمودی بالاسو بر هماهنگ با بیشینه سرعت باد سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال شرایط را برای انتقال ذره گردوخاک به لایه‌های بالاتر فراهم می‌نماید. بیشترین سرعت عمودی در حفاصل اهواز و شادگان هست. با توجه به کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر در این دو شهر نقش میدان باد و سرعت عمودی در افزایش شدت گردوخاک تأیید می‌گردد. همچنین از آنجایی که شرایط همدیدی منجر به افزایش سرعت باد سطح ۹۲۵

جدول ۲: معیارهای جت سطوح پایین حاصل از ERA\_I در ایستگاه اهواز، ساعت ۰۶:۰۰ UTC روز ۱۴ مارس ۲۰۱۲

معیارهای جت سطوح پایین	UTC ساعت ۰۰		UTC ساعت ۰۶	
	ERA_I	Obs	ERA_I	Obs
$V_{10} (ms^{-1})$	۷/۹۷	۶	۱۰/۳۸	۸
$V_{max} (ms^{-1})$	۱۶/۶۴		۱۷/۵۱	
Level $V_{max}$	۹۲۵		۹۲۵	
$+\Delta V (ms^{-1})$	۸/۶۷		۷/۶۴	
$-\Delta V (ms^{-1})$	-۵/۵۸		-۳/۱۰	
Level $V_{min}$	۷۷۵		۸۰۰	

بوده است (جدول ۲). همچنین برش مثبت باد منجر به تلاطم سطحی می‌شود که از ساعت ۰۰ تا ساعت ۰۶ UTC کاهش یافته است.

گرچه در ساعت ۰۰ سرعت باد در دماغه جت کمتر از ساعت ۰۶ است اما به دلیل قدرت بیشتر، جت قوی‌تر و مؤثرتر هست. در ساعت ۰۶ به دلیل آغاز روز و گرم شدن سطح و آغاز ناپایداری جت سطوح پایین تا حدی تضعیف می‌شود (شکل ۷). باشکست یا تضعیف جت سطوح پایین از ساعت ۰۰ تا ۱۲ UTC، سرعت باد ده متری از ۶ متر بر ثانیه در ساعت ۰۰ به ۱۳ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد (جدول ۲) که به برخاستن و شکل‌گیری گردو خاک منجر می‌شود. هماهنگ با تحقیق‌های پیشین از جمله (فیلدler و همکاران، ۲۰۱۳؛ واشنگتن و تد، ۲۰۰۵) هست.

به این ترتیب با توجه به شکل‌گیری جت سطوح پایین در طی ساعت ۰۰ تا ۰۶ UTC و همچنین شکست جت بین ساعت ۰۶ تا ۱۲ UTC می‌توان دریافت که تکانه ناشی از آن به سطح زمین انتقال یافته و منجر به افزایش سرعت باد ده متری تا ۱۳ متر بر ثانیه شده است (شکل ۸). افزایش ۷ متر بر ثانیه سرعت باد در طی ۱۲ ساعت قابل توجه بوده و منجر به برخاستن گردو خاک در منطقه شده است. سرعت باد ده متری در ساعت ۰۶ به ۸ متر بر ثانیه می‌رسد که با آستانه تعیین شده (اندریاس و همکاران، ۲۰۰۰) برای برخاستن گردو خاک منطبق است.

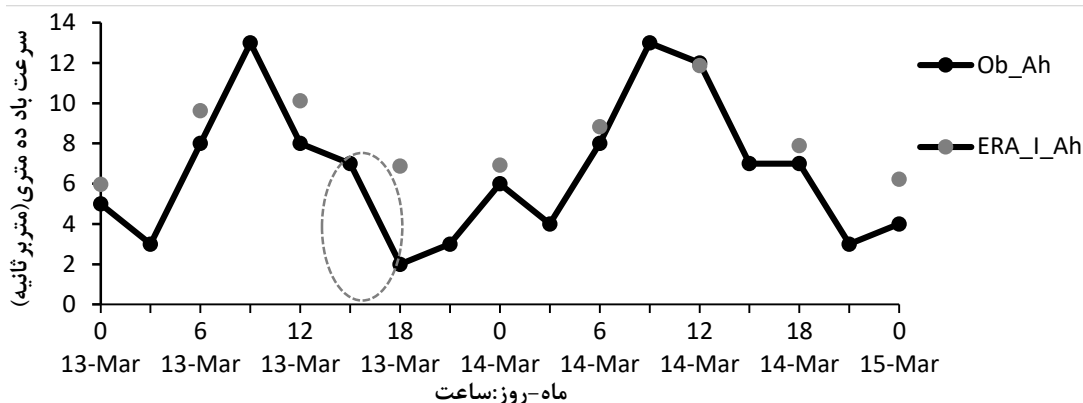
نکته دیگر آن که سرعت باد ده متری مشاهداتی و ERA\_I در برخی ساعت متفاوت است (شکل ۸). داده‌های ERA\_I تغییرات ناگهانی باد در شب یا روز را نشان نمی‌دهند. گرچه داده‌های ERA\_I با داده‌ها مشاهداتی هماهنگی کامل ندارد اما از آنجایی که برای شناخت ساختار لایه‌های بالاتر جو داده‌ی در دسترس نیست در بخش‌های بعدی برای بررسی نتیجه مدل به ناچار از این داده‌ها استفاده می‌شود.

معیارهای جت سطوح پایین شبیه‌سازی شده با مدل  $WRF\_Chem$

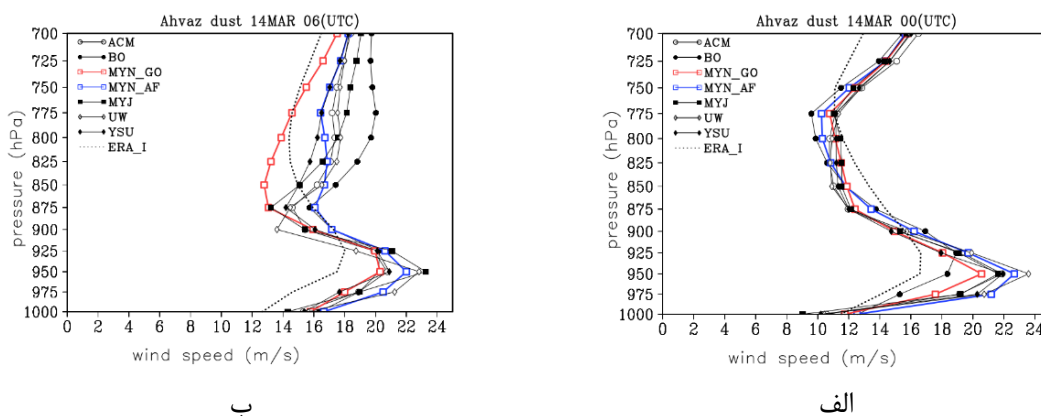
در بخش اول ابتدا معیارهای جت سطوح پایین

جت سطوح پایین هست. در تحقیق آلن و واشنگتن (۲۰۱۴) و فیلدler و همکاران (۲۰۱۳) آستانه سرعت باد بیش از ۱۶ متر بر ثانیه بوده در لایه‌های زیرین جو برای برخاستن گردو خاک مناسب است. در روز ۱۴ مارس بیشینه سرعت باد در محور جت (دماغه<sup>۷</sup>) نیز به ترتیب ۱۶/۶۴ و ۱۷/۵۱ متر بر ثانیه است (جدول ۲) که با توجه مطالعه‌های دیگران به آستانه شکل‌گیری گیری گردو خاک رسیده است. سرعت باد از ساعت ۰۰ تا ۰۶ UTC افزایش یافته است. تراز بیشینه سرعت باد که دماغه جت گفته می‌شود در ساعت ۰۰ و ۰۶ در ۹۲۵ هکتوپاسکال واقع شده است. برش مثبت باد ۸/۶۷ و ۷/۶۴ و برش منفی ۵/۵۸- و ۳/۱۰- متر بر ثانیه تعیین شد (جدول ۲) که به عنوان دیگر ویژگی‌های جت سطوح پایین بوده تأیید می‌گردد. مقدار آن دو نسبت به آستانه برش باد تعیین شده در تحقیق‌های پیشین مانند باس و همکاران (۲۰۰۹)، ماهر (۲۰۰۲) و مکرینتا و همکاران (۲۰۱۱) بیشتر است. به این ترتیب در ساعت‌های ۰۰ تا ۰۶ UTC تمامی معیارهای جت سطوح پایین در پروفایل باد اهواز مشاهده می‌شود (شکل ۷). با توجه به قرار گرفتن اهواز در سمت راست بیشینه سرعت باد سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال (شکل ۶-الف) و وجود معیارهای جت سطوح پایین (شکل ۷) می‌توان دریافت ایستگاه‌های که در سمت راست میدان باد قرار می‌گیرند، مشخصه‌های جت سطوح پایین را دارند.

با توجه به این که برش منفی باد معرف قدرت جت است، در ساعت ۰۰ جت سطوح پایین قوی‌تر از ۰۶ UTC



شکل ۸: تغییر زمانی سرعت باد ده متری (متر بر ثانیه) مشاهداتی و ERA\_I در ایستگاه اهواز، ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲



شکل ۹: پروفایل باد حاصل از برون داد مدل برای طرح‌واره‌های مختلف لایه‌مرزی (الف) ساعت ۰۰ UTC روز ۱۴ مارس، (ب) ساعت ۰۶ UTC طرح‌واره GO-ACM CART دایره توخالی، BO دایره تو خالی، MYJ مربع تو پر، UW لوزی تو خالی، YSU لوزی تو پر و ERA\_I خط چین؛ روز ۱۴ مارس ۲۰۱۲

به هم برآورد کرده‌اند (شکل ۹-الف). سرعت باد در دماغه جت توسط تمام طرح‌واره‌ها بیشتر از ERA\_I برآورد شده است (شکل ۹-الف، جدول ۳). مقایسه سرعت باد حاصل از طرح‌واره MYN با دو مدل AF و GO مقدار ۲۰/۵۶ و ۲۲/۶۷ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد. به این ترتیب طرح‌واره MYN با مدل گردوخاک AF سرعت باد را در ترازهای زیرین جو، نسبت به GO کمتر برآورد می‌نماید. برش مثبت باد و برش منفی باد توسط تمام طرح‌واره‌ها نسبت به داده ERA\_I بیشتر برآورد شده است (جدول ۳). بنابراین در ساعت ۰۰ UTC قدرت جت و سرعت باد در دماغه جت توسط تمام طرح‌واره‌ها بیشتر از ERA\_I برآورد شده است (شکل ۹-الف). بیشترین قدرت جت در ساعت ۰۰ UTC در طرح‌واره MYN\_GO و

که توسط طرح‌واره‌های مختلف لایه‌مرزی و طرح‌واره گردوخاک GO شبیه‌سازی شده با داده‌های ERA\_I مقایسه می‌شوند. در مقایسه برون داد AF و GO به جز MYN هر پنج طرح‌واره دیگر لایه‌مرزی مشابه بوده و مشخصه‌های جت در آن‌ها یکسان است. بنابراین خروجی MYN\_AF بارنگ آبی، MYN\_GO بارنگ قرمز و برون داد طرح‌واره‌های مشابه بارنگ مشکی ترسیم شده‌اند. در ساعت ۰۰ UTC تمام طرح‌واره‌ها به جز BO، بیشینه سرعت باد را در تراز ۹۵۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهند. (شکل ۹-الف و جدول ۳). طرح‌واره BO هماهنگ با پروفایل ERA\_I در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال بیشینه سرعت باد را تعیین می‌نماید. به جز BO و MYN\_AF دیگر طرح‌واره‌ها سرعت باد را تقریباً نزدیک

جدول ۳: معیارهای جت سطوح پایین حاصل از طرح‌واره‌های مختلف لایه‌مرزی در شهر اهواز، ساعت ۰۶ و ۰۰ UTC روز ۱۴ مارس ۲۰۱۲

ساعت	معیارهای جت سطوح پایین	ACM	BO	MYN_GO	MYN_AF	MYJ	UW	YSU	ERA_I	مشاهده
۰۰ UTC	$V_{10}(ms^{-1})$	۵/۶۱	۸/۰۵	۳/۶۷	۷/۶۶	۵/۶۳	۵/۰۲	۴/۸۲	۷/۹۷	۶
	$V_{max}(ms^{-1})$	۲۱/۸۹	۱۹/۸۲	۲۲/۶۷	۲۰/۵۶	۲۱/۶۳	۲۳/۵۹	۲۱/۹۶	۱۶/۶۴	
	Level $V_{max}$	۹۵۰	۹۲۵	۹۵۰	۹۵۰	۹۵۰	۹۵۰	۹۵۰	۹۲۵	
	$+\Delta V(ms^{-1})$	۱۶/۲۸	۱۰/۸۷	۱۹	۱۲/۹۰	۱۶/۰۰	۱۸/۵۶	۱۷/۱۵	۸/۶۷	
	$-\Delta V(ms^{-1})$	-۱۱/۱۳	-۹/۳۳	-۱۲/۴۳	-۹/۷۹	-۱۰/۵۸	-۱۲/۷۹	-۱۰/۸۴	-۵/۵۸	
	Level $V_{min}$	۸۲۵	۷۷۵	۷۷۵	۷۷۵	۷۷۵	۸۲۵	۷۷۵	۷۷۵	
۰۶ UTC	$V_{10}(ms^{-1})$	۱۰/۴۶	۱۱/۸۵	۱۰/۵۸	۱۲/۲۲	۱۱/۸۵	۱۰/۹۸	۱۰/۵۴	۱۰/۳۸	۸
	$V_{max}(ms^{-1})$	۲۰/۷۶	۲۰/۲۳	۲۲/۰۰	۲۰/۳۰	۲۳/۲۶	۲۲/۸۲	۲۰/۸۰	۱۷/۵۱	
	Level $V_{max}$	۹۵۰	۹۵۰	۹۵۰	۹۵۰	۹۵۰	۹۵۰	۹۵۰	۹۲۵	
	$+\Delta V(ms^{-1})$	۱۰/۳۰	۸/۳۸	۱۱/۴۲	۸/۰۸	۱۱/۴۱	۱۱/۸۴	۱۰/۲۷	۷/۶۴	
	$-\Delta V(ms^{-1})$	-۶/۱۶	-۴/۵۱	-۵/۹۳	-۷/۵۲	-۱۰/۰۴	-۹/۲۲	-۶/۴۶	-۳/۱۰	
	Level $V_{min}$	۸۷۵	۸۷۵	۸۷۵	۸۵۰	۸۷۵	۹۰۰	۸۷۵	۸۰۰	

سرعت باد از ساعت ۰۰ تا ۰۶ UTC در BO\_GO و MYJ\_GO با ERA\_I هماهنگ است اما از نظر مقداری کمتر است. ارتفاع جت تعیین شده توسط مدل ۹۵۰ هکتوپاسکال بوده و نسبت به ساعت ۰۰ UTC افزایش ارتفاع دیده نمی‌شود. در حالی که داده‌های ERA\_I در ساعت ۰۶ UTC دماغه جت به ۹۰۰ هکتوپاسکال انتقال یافته است. کاهش سرعت باد نیز در مدل در ارتفاعی کمتر از داده‌های اولیه ERA\_I تعیین شده است. در تمام طرح‌واره‌ها برش مثبت و منفی باد نسبت به ساعت ۰۰ UTC کاهش دارد که نشان‌دهنده تضعیف شدن جت است. به این ترتیب در ساعت ۰۰ UTC ارتفاع جت شبیه‌سازی شده با مدل مشابه داده‌های ERA\_I اما سرعت، برش مثبت و منفی باد بیشتر بوده و در نتیجه جت قوی‌تری برآورد شده است. همین شرایط در ساعت ۰۶ UTC نیز جت رخ داده اما ارتفاع دماغه جت کمتر از ERA\_I تعیین شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل با تمام اجراها جت سطوح پایین را قوی‌تر و در ارتفاع کمتری نسبت به ERA\_I برآورد می‌نماید.

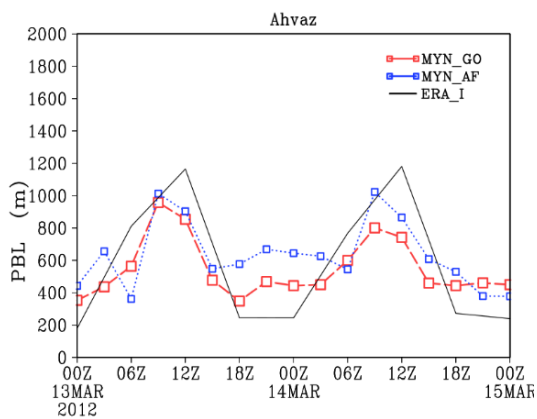
تفاوت پروفایل باد در برون داد AF در ساعت ۰۶ UTC روز ۱۴ نسبت دیگر طرح‌واره‌ها به خوبی مشاهده می‌شود به طوری که کمینه باد در سطحی بالاتر از دیگر طرح‌واره‌ها قرار می‌گیرد (شکل ۹-ب) طرح‌واره BO در ساعت‌های ۰۰ و ۰۶ UTC کمترین

UW با ۱۲/۴۳- و ۱۲/۷۹- و بیشترین برش مثبت باد نیز با ۱۸/۵۶ با UW به دست آمده است.

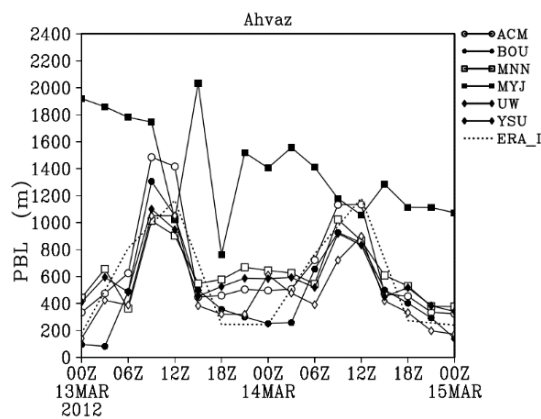
طرح‌واره BO کمترین مقدار سرعت باد ۱۹/۸۲، برش مثبت ۱۰/۸۷ و برش منفی ۹/۳۳- متر بر ثانیه را نسبت به دیگر طرح‌واره‌ها داشته و جت ضعیف‌تری را برآورد می‌کند گرچه مشخصه‌های جت سطوح پایین BO به ERA\_I نزدیک است. (جدول ۳).

در ساعت ۰۶ UTC بیشینه سرعت باد تمامی طرح‌واره‌ها بیش از ERA\_I بوده و کمترین مقدار را BO و MYN\_AF با ۲۰/۲۳ و ۲۰/۳۰ متر بر ثانیه دارند (جدول ۳). تراز دماغه جت نیز در ۹۲۵ هکتوپاسکال بوده که نسبت به ERA\_I در ارتفاع کمتری قرار می‌گیرد (جدول ۳ و شکل ۹-ب). برش مثبت و منفی باد در تمام طرح‌واره‌ها نسبت به ERA\_I بیشتر است. کمترین برش مثبت MYN\_AF و BO با ۸/۰۸ و ۸/۳۸ متر بر ثانیه و کمترین برش منفی BO و MYN\_GO با ۵/۹۳- و ۴/۵۱- دارند (جدول ۳ و شکل ۹-ب). نکته قابل توجه آن که سرعت باد در بیشتر طرح‌واره‌ها در ۸۵۰ هکتوپاسکال کمینه شده است، در حالی که MYN\_AF در تراز ۸۵۰ و UW در تراز ۹۰۰ را رخ داده است.

در ساعت ۰۶ بیشینه سرعت باد در دماغه جت توسط BO\_GO و MYJ\_GO بیش‌تر و دیگر طرح‌واره‌ها کمتر از ساعت ۰۰ برآورد شده است (شکل ۹-ب). افزایش



(ب)



(الف)

شکل ۱۰: تغییر زمانی ارتفاع لایه مرزی (الف) طرح‌واره‌های مختلف لایه مرزی و GOCART (ب) طرح‌واره MYN با GOCART و AFWA، ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲

در مقدار ارتفاع لایه مرزی و هم در تغییراتی ساعتی آن دیده می‌شود. ارتفاع لایه مرزی برآورد شده توسط MYJ در ساعت ۱۲ روز ۱۴ مارس به دیگر طرح‌واره‌ها نزدیک می‌شود. در این ساعت ارتفاع لایه مرزی توسط همه طرح‌واره‌ها افزایش یافته، درحالی‌که طرح‌واره MYJ روند کاهشی را نشان می‌دهد. با توجه به ساختار محاسبه (محلی) در طرح‌واره MYJ انتظار می‌رود ارتفاع لایه مرزی نسبت به طرح‌واره‌های محلی MYJ و YSU کمتر برآورد شود. اما با توجه به این‌که طرح‌واره سطحی انتخاب شده در MYJ با دیگر طرح‌واره‌ها متفاوت است می‌توان به نقش شرایط سطحی در شبیه‌سازی ارتفاع لایه مرزی اذعان نمود.

در طی شب با افزایش پایدار جو و ، طرح‌واره در برآورد کاهش ارتفاع لایه مرزی اختلاف بیشتری نسبت به میانه روز دارند همچنین روند تغییرات آن‌ها متفاوت است. در شرایط پایداری ایستای لایه‌های زیرین جو، عمل کرد مدل‌ها متفاوت است.

ارتفاع لایه مرزی در مدل GO و AF به جز MYJ در دیگر طرح‌واره‌ها مشابه است (شکل ۱۰-ب). در روز ۱۴ مارس، MYN\_AF ارتفاع لایه مرزی را بیش از MYN\_GO برآورد نموده و در ساعت ۱۲ UTC به ERA\_I نزدیک می‌شود. مدل ارتفاع لایه مرزی را طی شب و روز بیش از ERA\_I برآورد می‌کند.

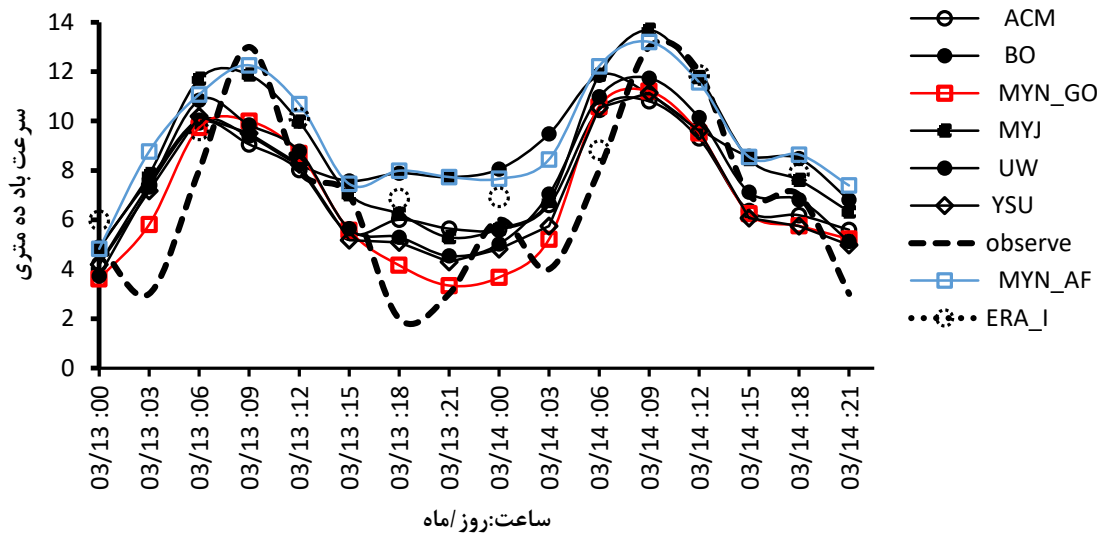
سرعت باد، برش منفی و برش مثبت را نسبت به دیگر طرح‌واره‌ها داشته و به داده‌های ERA\_I نزدیک‌تر است. سرعت باد ده متری در ساعت ۰۰ UTC در برخی طرح‌واره‌ها کمتر از مشاهداتی و در برخی بیشتر است. نزدیک‌ترین مقدار را MYJ و ACM با ۵/۶۳ و ۵/۶۱ متر بر ثانیه دارند. در ساعت ۰۶ سرعت باد ده متری در همه طرح‌واره بیش از مشاهداتی بوده و MYN\_، YSU و GO و ACM\_GO کمترین مقدار را برآورد نموده‌اند.

• ارتفاع لایه مرزی شبیه‌سازی شده با مدل *WRF\_Chem* در این بخش ارتفاع لایه مرزی که توسط طرح‌واره‌های مختلف مدل برآورد شده مقایسه می‌شود (شکل ۱۰). ارتفاع لایه مرزی حاصل از همه طرح‌واره‌ها به جز MYJ در طی روز به هم نزدیک‌تر بوده و در محدوده ۷۰۰ تا ۹۰۰ متر است (شکل ۱۰-الف). با توجه به فیزیک متفاوت به کاررفته در طرح‌واره‌های لایه مرزی در طی روز که شرایط همرفتی وجود دارد، ارتفاع لایه مرزی توسط پنج طرح‌واره هماهنگ‌تر بوده است. در طی ساعت ۹ تا ۱۲ UTC طرح‌واره BO، ارتفاع لایه مرزی را بیش از دیگر طرح‌واره‌ها نشان داده و به ERA\_I نزدیک‌تر است.

رفتار طرح‌واره MYJ در برآورد ارتفاع لایه مرزی نسبت به دیگر طرح‌واره متفاوت است. این تفاوت هم

جدول ۴: ضریب تبیین سرعت باد ده متری مشاهداتی و برون داد مدل

	ACM	BO	MYN_GO	MYN_AF	MYJ	UW	YSU
اهواز	۰/۷۲	۰/۶۰	۰/۸۳	۰/۷۸	۰/۸۴	۰/۷۷	۰/۷۸



شکل ۱۱: سری زمانی سرعت باد ده متری (متربر ثانیه) مشاهداتی، ERA\_I و برون داد شش طرح‌واره لایه‌مرزی در اهواز، در ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲

داشته و برآورد درست آن توسط مدل به پیش‌بینی صحیح گردوخاک منجر خواهد شد. بنابراین بخش دیگر صحت سنجی مقایسه تغییرات شبانه‌روزی سرعت باد ده متری مشاهداتی و حاصل از اجراهای مختلف مدل هست (شکل ۱۱). کاهش سرعت باد در ساعت ۰۳ و افزایش در ساعت ۱۸ UTC روز ۱۴ مارس توسط هیچ‌یک از اجراهای مدل برآورد نشده است. بنابراین مدل WRF\_Chem تغییر ناگهانی سرعت باد ده متری را شبیه‌سازی نمی‌نماید (شکل ۱۱).

سرعت باد ده متری در طی روز و از ساعت ۰۳ تا ۱۲ UTC تقریباً در تمام طرح‌واره‌ها نزدیک به هم بوده اما در ساعت ۱۲ طرح‌واره MYJ بیشینه باد را با تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به دیگر طرح‌واره‌ها و تقریباً نزدیک به مقدار مشاهداتی برآورد نموده است (شکل ۱۱). در ساعت شب کمینه سرعت باد توسط BO بیش از دیگر طرح‌واره‌ها و داده‌های مشاهداتی تعیین شده است. طرح‌واره BO در ساعت ۰۰ و ۰۶ UTC روز ۱۴ مارس بیشترین هماهنگی را در لایه‌های زیرین جو و پروفایل

#### صحت سنجی برون داد مدل WRF\_Chem

صحت سنجی نتیجه به‌دست‌آمده از مدل WRF\_Chem با داده‌های مشاهداتی سرعت باد ده متری، PM<sub>۱۰</sub> و دید افقی انجام می‌شود.

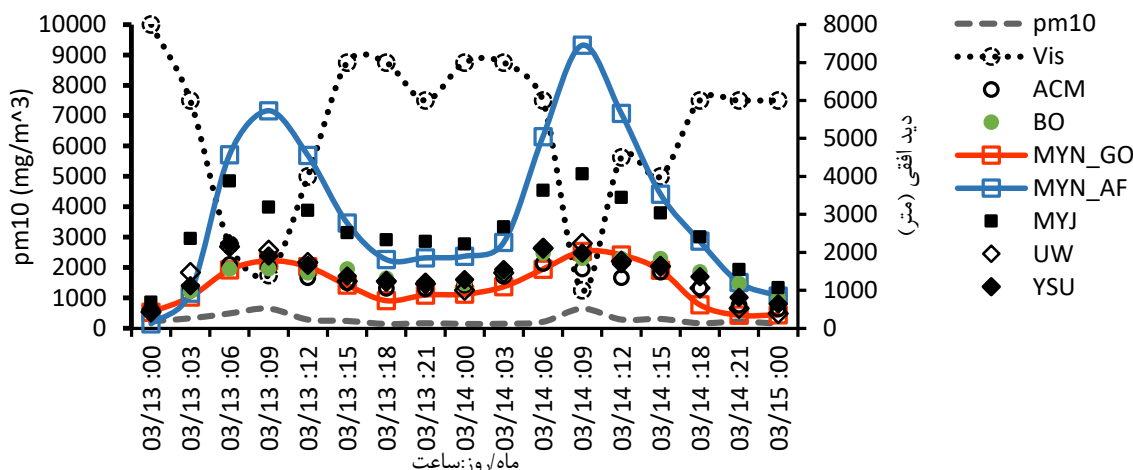
#### • سرعت باد ده متری

میزان همبستگی سرعت باد ده متری مشاهداتی و برون داد مدل با تمامی طرح‌واره‌ها بیش از ۰/۵ بوده و نشان‌دهنده همبستگی مناسب آن‌هاست (جدول ۴). طرح‌واره‌های MYN\_GO و MYJ با ۰/۸۳ و ۰/۸۴ بیشترین و BO با ۰/۶۰ کمترین ضریب تبیین را دارند (جدول ۴). ضریب همبستگی سرعت باد ده متری MYN\_AF نسبت به MYN\_GO کمتر هست به این معنا که سرعت باد ده متری حاصل از GO نسبت به AF همبستگی بیشتری با داده مشاهداتی دارد.

ضریب همبستگی مقدار مناسبی را برای سرعت باد ده متری به دست می‌دهد درحالی‌که نوسان شبانه‌روزی سرعت باد ده متری در شکل‌گیری گردوخاک اهمیت

جدول ۵: ضریب همبستگی دید افقی،  $PM_{10}$  مشاهداتی و مدل در ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲

	ضریب همبستگی	YSU	MYJ	MYN	ACM	BO	UW
GO	PM10	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۶۸	۰/۵۶	۰/۳۹	۰/۶۷
	Vis	-۰/۶۹	-۰/۷۲	-۰/۷۶	-۰/۶۴	-۰/۵۵	-۰/۷۳
AF	PM10	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۲	۰/۸۰	۰/۵۷	۰/۸۰
	Vis	-۰/۸۵	-۰/۸۵	-۰/۸۲	-۰/۸۶	-۰/۶۹	-۰/۸۶



شکل ۱۲: سری زمانی  $PM_{10}$  مشاهداتی و برون داد شش طرح‌واره لایه‌مرزی در اهواز، در ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲

مدل گردو خاک AF، طرح‌واره‌های UW و ACM با ۰/۸ و در GO، طرح‌واره‌های MYN و UW با ۰/۶۸ و ۰/۶۷ بیشترین ضریب همبستگی را با  $PM_{10}$  مشاهداتی دارند (جدول ۵). همچنین همبستگی دید افقی با  $PM_{10}$  حاصل از AF نسبت به GO بیشتر است. به‌طور مثال  $PM_{10}$  ACM\_AF با  $PM_{10}$  مشاهداتی ۰/۸۰ و با دید افقی ۰/۸۶ همبستگی دارد. بنابراین  $PM_{10}$  حاصل از مدل با دید افقی و  $PM_{10}$  مشاهداتی نسبت به GO همبستگی بالاتری دارد.

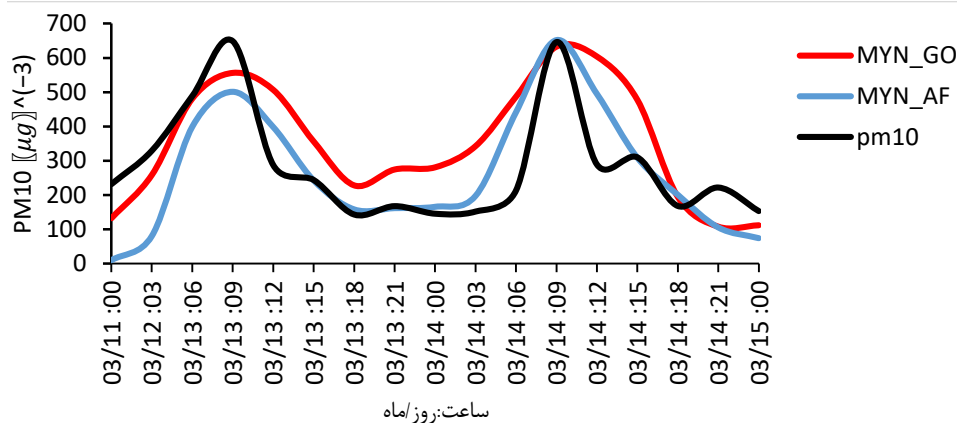
تغییرات ساعتی  $PM_{10}$  مشاهداتی، دید افقی و  $PM_{10}$  مدل در شکل ۱۲ ارائه شده است. تغییرات نوسان  $PM_{10}$  حاصل از مدل در طی شبانه‌روز با تغییرات  $PM_{10}$  مشاهداتی هماهنگ است اما غلظت آن در تمام طرح‌واره‌ها بیش برآورد شده است. تمامی طرح‌واره‌ها به‌جز MYJ غلظت  $PM_{10}$  را محدود‌های نزدیک به هم برآورد نموده‌اند.

$PM_{10}$  برآورد شده توسط طرح‌واره‌های لایه‌مرزی در

باد داده‌ها ERA دارد اما سرعت باد ده متری را در طی ساعت شب با نسب به دیگر طرح‌واره‌ها بیشتر برآورد می‌نماید. با توجه به نقش سرعت باد شبانه در گردو خاک محلی، BO طرح‌واره مناسبی در برآورد سرعت باد ده متری و گردو خاک نیست و طرح‌واره MYN\_GO در طی ساعت شب کمترین سرعت باد ده متری را تعیین می‌نماید بنابراین می‌تواند به‌عنوان طرح‌واره مناسب در برآورد سرعت باد ده متری و گردو خاک محلی انتخاب گردد. MYN\_AF نسبت به MYN\_GO سرعت باد ده متری را بیشتر برآورد نموده و در طی روز به بیشینه مشاهداتی نزدیک می‌شود. در ادامه تحلیل‌های بیشتری انجام خواهد شد.

#### • $PM_{10}$ سطحی

در ابتدا همبستگی بین  $PM_{10}$  سطحی مشاهداتی با برون داد مدل بررسی می‌شود. همبستگی  $PM_{10}$  مشاهداتی با  $PM_{10}$  سطحی نسبت به GO بیشتر است (جدول ۵). با



شکل ۱۳: مقایسه تغییر زمانی  $PM_{10}$  مشاهداتی و حاصل از GO و AF با اعمال ضرب ۰/۲۵ و ۰/۰۷ و ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲

با داده مشاهداتی داشت (شکل ۱۳). به‌ویژه AF که نوسان شبانه‌روزی  $PM_{10}$  را خوبی آشکار نموده و کمینه شب و بیشینه روز کاملاً بر مشاهده منطبق است (شکل ۱۳). در حالی که در GO کمینه شبانه بیش از مشاهده بود. طرح‌واره MYN در سرعت باد ده متری و  $PM_{10}$  ضرب همبستگی کمتری نسبت به دیگر طرح‌واره‌ها داشت، از طرفی در معیارهای جت در ساعت ۰۶ UTC روز ۱۴ مارس در تراز کاهش سرعت باد و قدرت جت نسبت به دیگر طرح‌واره‌ها تفاوت داشت. که نتیجه آن برآورد تغییرات شبانه‌روزی کاملاً هماهنگ با  $PM_{10}$  مشاهداتی هست.

### جمع‌بندی

هدف از این مطالعه تعیین معیارهای جت سطوح پایین و شبیه‌سازی آن توسط طرح‌واره‌های مختلف لایه‌مرزی مدل WRF\_Chem در گردو خاک محلی استان خوزستان در ۱۳ و ۱۴ مارس ۲۰۱۲ بود. توسعه کم‌فشار دریای سرخ در جنوب شرق عراق و شمال غرب عربستان پرفشار در جنوب ایران که منجر به شکل‌گیری گرادیان فشار شده همراه با ناوه ارتفاعی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و نتیجه آن توسعه بادهای جنوبی در جنوب غرب ایران و در استان خوزستان شده است، توسعه بادهای سطحی در حدفاصل کم‌فشار و پرفشار مطابق با مطالعه‌های پیشین است (بارکان و آلپرت، ۲۰۱۰؛ آواد و ماشات، ۲۰۱۴؛ آکسو و همکاران، ۲۰۰۴) باد جنوبی سطح

طی روز اختلاف بیشتر داشته و در طی شب منطبق‌تر هستند. BO و ACM نوسان شبانه‌روزی کمتری نسبت به دیگر طرح‌واره‌ها دارند. MYN در طی شب کمترین و BO در طی روز بیشترین غلظت  $PM_{10}$  را به خود اختصاص داده‌اند.

طرح‌واره MYJ در طی روز سرعت باد ده متری و غلظت  $PM_{10}$  را بیش از دیگر طرح‌واره برآورد می‌نماید. گرچه با داده مشاهداتی هماهنگ است اما منجر به برآورد غیر صحیح در  $PM_{10}$  می‌شود. MYJ با اختلاف بسیار زیادی نسبت به دیگر طرح‌واره‌ها قرار گرفته است (شکل ۱۲) در طی روز بیشینه  $PM_{10}$  توسط طرح‌واره MYJ تفاوت بارزی نسبت به دیگر طرح‌واره‌ها داشته و غلظت را بیشتر از دیگر طرح‌واره‌ها برآورد می‌نماید.

طرح‌واره MYN\_GO در شب کمترین سرعت باد ده متری و کمترین غلظت  $PM_{10}$  را برآورد نموده است.  $PM_{10}$  برآورد شده توسط MYN\_AF از نظر مقدار به‌طور قابل‌توجهی نسبت به MYN\_GO بیشتر است، اما نوسان شبانه‌روزی آن بیشتر است. همچنین بیشینه آن با کمینه دید افقی و بیشینه  $PM_{10}$  مشاهداتی مطابقت دارد. بنابراین گرچه طرح AF از نظر مقدار  $PM_{10}$  بیشتری را برآورد می‌نماید اما نوسان و تغییرات شبانه‌روزی هماهنگ‌تری با داده‌های مشاهداتی دارند.

$PM_{10}$  حاصل از طرح‌واره MYN با احتساب GO به‌ویژه در روز ۱۴ مارس ۲۰۱۲ هماهنگی بسیار خوبی

۹۲۵ هکتوپاسکال با سرعت ۱۸ متر بر ثانیه در استان خوزستان شکل گرفته بود. آستانه سرعت باد ده متری در ایجاد گردوخاک‌های میان‌مقیاس در اهواز ۷ متر بر ثانیه است؛ که با مطالعه‌های دیگر هماهنگ است (پوخارال و کاپلان، ۲۰۱۷؛ آلن و واشنگتن، ۲۰۱۴)

نتیجه بررسی نقش جت سطوح پایین در گردوخاک در اهواز، مشخص نمود که در ایستگاه‌های واقع در سمت راست بیشینه باد مانند اهواز مشخصه‌های جت‌های سطوح پایین دیده می‌شود. در ساعت ۰۰ و ۰۶ UTC روز ۱۴ مارس افزایش سرعت باد در زیر ۳۰۰۰ متر اول جو، برش مثبت و منفی باد در راستای عمودی جو دلیلی بر وجود جت سطوح پایین در اهواز هست. سرعت باد ۱۷/۵۱ تا ۱۶/۶۴ متر بر ثانیه در سطح ۹۲۵ هکتوپاسکال، بیش از آستانه تعیین شده برای وقوع گردوخاک در مطالعه‌های پیشین است.

انتقال تکانه از جت به سطح منجر به افزایش سرعت باد ده متری تا ۱۳ متر بر ثانیه شده که در نتیجه آن شکل‌گیری گردوخاک داخلی است. به این ترتیب شکل‌گیری جت‌های سطوح پایین همراه با ایجاد برش باد در سمت راست آن‌ها نقش ویژه‌ای در انتشار گردوخاک‌های داخلی در استان خوزستان دارد.

معیارهای جت سطوح پایین شامل سرعت باد بین ۲۰ تا ۲۳ متر بر ثانیه، برش منفی باد بین ۴ تا ۱۳ متر بر ثانیه و برش مثبت باد بین ۸ تا ۱۸ متر بر ثانیه توسط مدل WRF\_Chem، در ساعت ۰۰ و ۰۶ UTC روز ۱۴ مارس را برآورد شد. در ساعت ۰۶ UTC طرح‌واره MYN\_AF با جت سطوح پایین را متفاوت از دیگر طرح‌واره‌ها برآورد نمود.

مدل جت‌های سطوح پایین را قوی‌تر و در ارتفاع کمتری نسبت به ERA\_I شبیه‌سازی نمود. از بین تمامی طرح‌واره‌ها BO در ساعت‌های ۰۰ و ۰۶ UTC مشخصه‌های جت سطوح پایین مانند، سرعت باد در دماغه، برش منفی و برش مثبت کمتری نسبت به دیگر طرح‌واره‌ها داشته و به داده‌های ERA\_I نزدیک‌تر بود.

طرح‌واره BO در لایه‌های زیرین جو بیشترین هماهنگی را با داده‌های ERA\_I دارد.

صحت سنجی مدل با  $PM_{10}$  سطحی نشان داد که تمامی طرح‌واره‌ها غلظت  $PM_{10}$  را بیش از آن برآورد نموده‌اند. غلظت شبیه‌سازی شده توسط AF تقریباً دو برابر بیشتر از GOCART بود. روند تغییرات شبانه‌روزی  $PM_{10}$  حاصل از AFWA با داده‌های مشاهداتی هماهنگی خوبی داشت.

از آنجایی که گردوخاک میان محلی است، سرعت باد ده متری بیشترین تأثیر را در وقوع آن دارد. طرح‌واره MYN بهترین ضریب همبستگی را با داده‌های مشاهداتی باد ده متری داشته و در طی شب کمترین سرعت باد ده متری و کمترین  $PM_{10}$  را برآورد نمود. با توجه به نقش جت سطوح پایین، افزایش سرعت باد ده متری در طی ساعت شب تا اوایل صبح و ارتفاع لایه‌مرزی در شدت گردوخاک و  $PM_{10}$  سطحی، بیشترین هماهنگی با طرح‌واره MYN به دست آمد. به نظر می‌رسد در گردوخاک محلی مورد بررسی طرح‌واره MYN با مدل گردوخاک AF برای شبیه‌سازی گردوخاک مناسب‌ترین باشد. با توجه به مطالعه موردی حاضر در گردوخاک محلی استان خوزستان طرح‌واره MYN همراه با مدل گردوخاک AFWA پیشنهاد می‌گردد. به عنوان پیشنهاد آن‌که گردوخاک‌های محلی دیگر نیز شبیه‌سازی شده تا نتیجه آن‌ها با مطالعه حاضر مقایسه گردد.

طرح‌واره MYJ سرعت باد ده متری، ارتفاع لایه‌مرزی، غلظت  $PM_{10}$  را با اختلاف قابل توجهی نسبت به دیگر طرح‌واره‌ها شبیه‌سازی نمود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله از طرح پژوهشی درون دانشگاهی تحت عنوان "بررسی نقش طرح‌واره‌های لایه‌مرزی مدل WRF/Chem در توفان‌های گردوخاک و تعیین چشمه گردوخاک با استفاده از مدل HYSPLIT در جنوب غرب ایران" استخراج شده است.

## مراجع

- Fiedler, S., Schepanski, K., Heinold, B., Knippertz, P., & Tegen, I. (2013). Climatology of nocturnal low-level jets over North Africa and implications for modeling mineral dust emission. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(12), 6100-612. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50394>.
- Heinold, B., Knippertz, P., Marsham, J. H., Fiedler, S., Dixon, N. S., Schepanski, K., ... & Tegen, I. (2013). The role of deep convection and nocturnal low-level jets for dust emission in summertime West Africa: Estimates from convection-permitting simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(10), 4385-4400.
- Hoecker, W. H. (1963). Three southerly low-level jet systems delineated by the Weather Bureau special pibal network of 1961. *Mon. Wea. Rev.*, 91, 573-582
- Kallistratova, M. A., & Kouznetsov, R. D. (2012). Low-level jets in the Moscow region in summer and winter observed with a sodar network. *Boundary-layer meteorology*, 143(1), 159-175.
- Knippertz, P. (2008). Dust emissions in the West African heat trough—the role of the diurnal cycle and of extratropical disturbances. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(5), 553-563
- Liu, H., He, M., Wang, B., & Zhang, Q. (2014). Advances in low-level jet research and future prospects. *Journal of Meteorological Research*, 28(1), 57-75
- Lu, H., & Shao, Y. (1999). A new model for dust emission by saltation bombardment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D14), 16827-16842.
- Mäkiranta, E., Vihma, T., Sjöblom, A., & Tastula, E. M. (2011). Observations and modelling of the atmospheric boundary layer over sea-ice in a Svalbard Fjord. *Boundary-Layer Meteorology*, 140(1), 105.
- Marticorena, B., & Bergametti, G. (1995). Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100(D8), 16415-16430
- Marsham, J. H., Hobby, M., Allen, C. J. T., Banks, J. R., Bart, M., Brooks, B. J., ... & Martins, J. V. (2013). Meteorology and dust in the central Sahara: Observations from Fennec supersite-1 during the June 2011 Intensive Observation Period. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(10), 4069-4089
- † Nunalee, C. G., & Basu, S. (2014). Mesoscale modeling of coastal low-level jets: implications for offshore wind resource estimation. *Wind Energy*, 17(8), 1199-1216
- Parker, D. J., Burton, R. R., Diongue-Niang, A., Ellis, R. J., Felton, M., Taylor, C. M., ... & Tompkins, A. M. (2005). The diurnal cycle of the West African monsoon circulation. *Quarterly* *Journal of Royal Meteorological Society*, 131(611), 2533-2550
- حیدریان، پ.، اژدری، ع.، جودکی، م.، درویشی خاتونی، ج.، و رضا شهبازی، ر. (۱۳۹۶). شناسایی منشأهای داخلی توفان‌های گردوغبار با استفاده از سنجش‌ازدور، GIS و زمین‌شناسی (مطالعه موردی خوزستان). ۱۰۵: ۳۳-۴۰.
- عمادی، ل.، پویان فر، ن.، سامانی پور، ع. (۱۳۹۴). بررسی روند تولید گردوخاک محلی در کانون‌های تولید گردوخاک (مطالعه موردی ایستگاه سینوپتیک فرودگاهی یزد)، پنجمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران.
- کرمانی، م.، طاهریان، ا. (۱۳۹۵). تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ریز گرد‌ها و طوفان‌های گردوغباری در ایران به‌منظور بررسی منشأهای داخلی و خارجی و روش‌های کنترل آن‌ها، مجله راه‌آورد سلامت، ۲ (۱): ۳۹-۵۱.
- مرشدی، ط.، رضازاده، م. (۱۳۹۵). بررسی و تحلیل گردوغبارهای محلی در هرمزگان مطالعه موردی: بندرعباس، دومین همایش ملی توسعه پایدار در سیستم‌های مهندسی انرژی، آب و محیط‌زیست، تهران.
- ناصر زاده م.ج.، فتحی ح. (۱۳۹۵). شناسایی عوامل سینوپتیک و محلی مقیاس در رویدادهای گردوغباری استان ایلام، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۶ (۱۲): ۵۷-۷۴.
- Allen, C. J. & Washington, R. (2014). The low-level jet dust emission mechanism in the central Sahara: Observations from Bordj-Badji Mokhtar during the June 2011 Fennec Intensive Observation Period. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(6), 2990-3015
- Andreas, E. L., Claffy, K. J., & Makshtas, A. P. (2000). Low-level atmospheric jets and inversions over the western Weddell Sea. *Boundary-layer meteorology*, 97(3), 459-486
- Awad, A. M., & Mashat, A. W. S. (2014). Synoptic features associated with dust transition processes from North Africa to Asia. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(6), 2451-2467
- Baas, P., Bosveld, F. C., Klein Baltink, H., & Holtslag, A. A. M. (2009). A climatology of nocturnal low-level jets at Cabauw. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(8), 1627-1642
- Barkan, J., & Alpert, P. (2010). Synoptic analysis of a rare event of Saharan dust reaching the Arctic region. *Weather*, 65(8), 208-211.
- Blackadar, A. K. (1955). *The low-level jet phenomenon*. Institute of the Aeronautical Sciences
- Bonner, W. D. (1968). Climatology of the low level jet. *Mon. Wea. Rev.*, 96(12), 833-850
- Chen, S., Huang, J., Zhao, C., Qian, Y., Leung, L. R., & Yang, B. (2013). Modeling the transport and radiative forcing of Taklimakan dust over the Tibetan Plateau: A case study in the summer of 2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(2), 797-812
- Crouvi, O., Schepanski, K., Amit, R., Gillespie, A. R., & Enzel, Y. (2012). Multiple dust sources in the Sahara Desert: The importance of sand dunes. *Geophysical Research Letters*, 39(13)

- Tu, J. Y. (2008). Characterizing the transport pathways of Asian dust. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 113(D17)
- Uccellini, L. W., Petersen, R. A., Kocin, P. J., Brill, K. F., & Tuccillo, J. J. (1987). Synergistic interactions between an upper-level jet streak and diabatic processes that influence the development of a low-level jet and a secondary coastal cyclone. *Monthly weather review*, 115(10), 2227-2261
- Xu, M. L., Duan, X., & Sun, J. H. (2004). Diagnostic study on the torrential rains coupling with the lower southwest jets in Yunnan. *Journal-Yunnan university natural sciences*, 26(4), 320-324.
- Westphal, D. L., Toon, O. B., & Carlson, T. N. (1988). A case study of mobilization and transport of Saharan dust. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 45(15), 2145-2175.
- Washington, R., & Todd, M. C. (2005). Atmospheric controls on mineral dust emission from the Bodélé Depression, Chad: The role of the low level jet. *Geophysical Research Letters*, 32(17)
- Whiteman, C. D., Bian, X., & Zhong, S. (1997). Low-level jet climatology from enhanced rawinsonde observations at a site in the southern Great Plains. *Journal of Applied Meteorology*, 36(10), 1363-1376
- Zhang, D. L., Zhang, S., & Weaver, S. J. (2006). Low-level jets over the mid-Atlantic states: Warm-season climatology and a case study. *Journal of applied meteorology and climatology*, 45(1), 194-209
- Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 131(611), 2839-2860
- Pokharel, A., & Kaplan, M. (2017). Dust Climatology of the NASA Dryden Flight Research Center (DFRC) in Lancaster, California, USA. *Climate*, 5(1), 15.
- Schepanski, K., Tegen, I., Todd, M. C., Heinold, B., Bönisch, G., Laurent, B., & Macke, A. (2009). Meteorological processes forcing Saharan dust emission inferred from MSG-SEVIRI observations of subdaily dust source activation and numerical models. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 114(D10). <http://doi:10.1029/2008JD010325>
- Stensrud, D. J. (2009). *Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models*. Cambridge University Press.
- Stull, R. B. (1988) *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Kluwer Academic, 666 pp., Dordrecht, the Netherlands,
- Tegen, I. (2003). Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system. *Quaternary Science Reviews*, 22(18-19), 1821-1834
- Todd, M. C., Washington, R., Martins, J. V., Dubovik, O., Lizcano, G., M'bainayel, S., & Engelstaedter, S. (2007). Mineral dust emission from the Bodélé Depression, northern Chad, during BoDEx 2005. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D6)
- Tsai, F., Chen, G. T. J., Liu, T. H., Lin, W. D., &

## Low-level Jet (LLJ) Simulation by Different WRF\_Chem Boundary Layer Schema in Khuzestan province

*Elham Mobarak Hassan<sup>1</sup>, Parvin Ghafarian<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran*

<sup>2</sup>*Department of Atmospheric Science, Iranian national institute for oceanography and atmospheric science, Tehran, Iran.*

\*Corresponding Author Email: *mobarak\_e@yahoo.com*

Received: 05 August 2018, accepted: 24 November 2018

### ABSTRACT

Low-level Jets play a key role in the formation of dust storms in arid regions. The purpose of this study was to investigate the ability of the WRF\_Chem model to simulate low-level jet and determine its criteria in local dust formation in Khuzestan province. For this purpose, dust was selected during March 13 and 14, 2012. The synoptic structure and wind field were analyzed using ERA-Interim data. The simulation was also performed with dust scheme GOCART and AFWA and planetary boundary layer scheme ACM, Bo, MYN, MYJ, UW and YSU.

Wind profiles with LLJ characteristics were illustrated of those stations that located to the right of the maximum wind 925 hPa. The LLJ broke in the mid-day results in a increasing surface wind speed up to  $13 \text{ m s}^{-1}$  and local dust emissions.

The model simulated low-level jet metrics, including wind speeds 20 to 23, positive wind shear between 8 and 18 and negative shear 4 to  $13 \text{ m s}^{-1}$ . The WRF\_Chem model simulated stronger LLJ than the ERA\_I data. The correlation coefficients of 0.83 and 0.7 for surface wind speed and of 0.68 and 0.72 for PM10 obtained by MYN scheme with GOCART and AFWA models, respectively. The most matching daily variation of PM10 was obtained with the MYN boundary layer and the AFWA dust scheme. The MYN boundary layer scheme was chosen as the best scheme for local dust simulation in this dust storm. However, all of the schemes showed a surface PM10 concentration of more than PM10 observations.

**Keywords:** *WRF\_Chem model, LLJ simulation, PM10 estimated, Boundary layer scheme*

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Mobarak Hass, E.; Ghafarian, P. (2018). Low-level Jet (LLJ) Simulation by Different WRF\_Chem Boundary Layer Schema in Khuzestan province. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 1(2): 287-303.

### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JM AS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

