

## تحلیل و فرایابی بندال دوقطبی در یک مطالعه موردی

رضا جوان نژاد<sup>۱\*</sup> و مریم رضائی

<sup>۱</sup> دکتر تخصصی هواشناسی، گروه هوافضا، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه هوایی شهید ستاری، تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار بخش تحقیقات جانورشناسی کشاورزی، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۳، پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳)

### چکیده

رویداد بندال معمولاً بزرگ مقیاس است و در عرض‌های جغرافیایی میانی اتفاق می‌افتد. بندال‌ها تأثیرات بسزایی بر وضع هوا در منطقه تحت قلمرو خود دارند؛ از این رو شناخت بندال نقش مهمی در پیش‌بینی‌های میان‌مدت و کوتاه‌مدت هواشناسی دارد. پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های ERA5 مرکز ECMWF با فاصله زمانی یک ساعته انجام شده است. این داده‌ها از نوع بازتحلیل و با فواصل شبکه‌ای ۰/۲۵×۰/۲۵ در راستای افقی (طول و عرض جغرافیایی) در ۳۷ تراز قائم فشاری هستند. ابعاد حوزه محاسباتی نیز برای تحلیل و شبیه‌سازی بندال دوقطبی از ۱۰ تا ۹۰ درجه طول جغرافیایی و ۲۰ تا ۷۰ درجه عرض جغرافیایی را شامل می‌شود.

این پژوهش بر پایه یک روش پیشنهادی برای فرایابی بندال دوقطبی، به مطالعه و تحلیل هم‌مدیدی موردی چرخه زندگی یک بندال دوقطبی در منطقه خاورمیانه پرداخته است. این بندال در دوره زمانی ۱۳ تا ۲۰ نوامبر ۲۰۱۹ به وقوع پیوسته است. بررسی پربندهای بسته، میدان باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و باد گرمایی در زمان تشکیل بندال دوقطبی، حاکی از بسته شدن دست کم یک پربند با فاصله پربندی ۴ ژئوپتانسیل دکامتر به‌طور هم‌زمان برای هر دو مرکز پراارتفاع و کم‌ارتفاع است. از طرفی، در هنگام بلوغ این بندال نیز اختلاف ارتفاع دو مرکز به بیشترین مقدار خود رسیده است. دوشاخه شدن بادهای غربی در ورودی بندال نیز برای این رویداد مشهود است. البته در هنگام تشکیل این بندال، سرعت بادهای غربی در ورودی بندال کاهش یافته و باد گرمایی در این ناحیه هم‌زمان با شکل‌گیری بندال دوقطبی شروع به کم شدن کرده و در زمان بلوغ بندال به کمترین مقدار خود رسیده است که در این زمان، بادهای غربی ترازهای بالا از بادهای غربی ترازهای پایین کمتر هستند. از نتایج دیگر این پژوهش، قرار گرفتن مرکز پراارتفاع بندال بالاتر از عرض جغرافیایی ۴۰ درجه است.

**واژه‌های کلیدی:** بندال دوقطبی، شاخص بندال، تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، باد گرمایی، تحلیل هم‌مدیدی

## ۱ مقدمه

پدیده بندال که اغلب در یک جو بزرگ مقیاس و در عرض‌های جغرافیایی میانی و بالاتر روی می‌دهد، تأثیرات چشمگیری بر وضع هوای ناحیه و منطقه تحت قلمرو دارد (برای مثال رکس، ۱۹۵۰ و ایلاری، ۱۹۸۴). شناخت بندال، نقش مهمی در پیش‌بینی‌های میان‌مدت و کوتاه‌مدت وضع هوا دارد. پژوهش‌های بسیاری در زمینه دینامیک بندال‌ها انجام پذیرفته است که برای مثال می‌توان به پیتان و همکاران (۲۰۱۶)، وولینگ و همکاران (۲۰۱۸) و مدیسون و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد. در کشور نیز می‌توان به مطالعات محب‌الحجه و همکاران (۱۳۷۴)، احمدی‌گیوی و همکاران (۱۳۸۵)، آزاد و همکاران (۱۳۸۶)، علی‌اکبری بیدختی و شرعی‌پور (۱۳۸۸)، فهیمی و همکاران (۱۳۹۲)، حافظی و همکاران (۱۳۹۴) و علیزاده و همکاران (۱۳۹۶) اشاره کرد. اولین بار، رکس (۱۹۵۰) الگوی دوقطبی را پیشنهاد داد. باین حال اغلب الگوی بندال در جو به صورت تک‌قطبی، دوقطبی (برای مثال مک‌ویلیامز، ۱۹۸۰؛ مالگوتزی و مالانوتی - ریتزولی، ۱۹۸۴) و چندقطبی (برای مثال بجران و همکاران، ۱۹۴۹) مطرح می‌شود (هوآنگ و همکاران، ۲۰۰۶).

هنگامی که گرادیان دما در راستای نصف‌النهاری کم و در حد مقیاس محلی باشد، جریان بادهای غربی از راستای مداری به راستای نصف‌النهاری تغییر جهت می‌دهد و در نتیجه، ناهم‌موج، عمیق و به عرض‌های پایین‌تر کشیده می‌شود. فرارفت هوای سرد عرض‌های بالا به داخل گودی موج و در ادامه، کاهش پارامتر کوریولیس، سبب افزایش تاوایی نسبی و در نتیجه، افزایش انحنا و خطوط جریان می‌شود. هجوم هوای گرم عرض‌های پایین به عرض‌های بالاتر و در نتیجه، افزایش پارامتر کوریولیس نیز موجب کاهش تاوایی نسبی می‌شود. در این حالت موج از حالت معمول خود یعنی شکل سینوسی خارج می‌شود. این تغییر شکل خطوط

جریان در وردسپهر میانی و زبرین باعث شکل‌گیری مرکز کم‌ارتفاع بندال دوقطبی می‌شود. این مراحل اغلب در چرخه زندگی امواج کژفشار در جو شکل می‌گیرد. دوره زندگی بندال دوقطبی با تفکیک جریان باد غربی وردسپهر در عرض‌های میانی همراه است که در اثر دو شاخه شدن جریان جتی مداری و ماندگاری پشته در عرض‌های جغرافیایی بالاتر روی می‌دهد (رکس، ۱۹۵۰ و ایلاری، ۱۹۸۴)؛ بنابراین بندال دوقطبی، همیشه در تراز پایینی بادهای غربی با زمینه بادهای ضعیف اتفاق می‌افتد (شوتس، ۱۹۸۳).

بندال در میان هواشناسان پدیده‌ای شناخته شده است، اما هنوز هم ارائه تعریفی عمومی برای بندال‌ها دشوار است (لیجنس و اکلند، ۱۹۸۳). باین حال مواردی از دسته‌بندی‌های معمول و مورد استفاده برای الگوی بندال در ادامه آورده می‌شود. دسته‌بندی اول مربوط به پیشنهاد رکس (۱۹۵۰) برای بندال‌ها است. این تعریف را سامنر (۱۹۵۴) و وایت و کلارک (۱۹۷۵) به‌روز کردند. در این دسته‌بندی هویت بندال‌ها با استفاده از بررسی‌های مشاهداتی، شناسایی و سپس با استفاده از معیارهای تقریباً رسمی و با اطلاعات دقیق شکل‌گیری، طول عمر بندال مشخص و با نقشه‌های هواشناسی روزانه نیز امتحان می‌شد. دسته‌بندی دوم را ابتدا الیوت و اسمیت (۱۹۴۹) مطرح کردند. این دسته‌بندی با استفاده از معیارهای مشاهداتی ارائه شد که بر اساس بزرگی و ماندگاری فشارهای غیرعادی و بی‌هنجار در جو بیان می‌شد. دسته‌بندی سوم با تحلیل الگوی فشار سطح زمین تصحیح‌شده به تراز دریای آزاد با وقوع ماندگاری ارتفاع ژئوپتانسیلی بی‌هنجار در ترازهای بالای جو گسترش یافت (برای مثال هارتمن و گان، ۱۹۸۰؛ دال و گوردن، ۱۹۸۳ و دال، ۱۹۸۶).

لیجنس و اکلند (۱۹۸۳) با استفاده از گرادیان شمالی - جنوبی (نصف‌النهاری) خطوط هم‌ارتفاع ژئوپتانسیلی بر

## ۲ روش کار

هوآنگ و همکاران (۲۰۰۶) ویژگی‌های برجسته‌ای را برای شناسایی بندال دوقطبی به شرح زیر مطرح کردند:

- دست کم یک پریند بسته ۴ ژئوپتانسیل دکامتری (۲/۵ ژئوپتانسیل دکامتری) به طور هم‌زمان برای هر دو مرکز پراارتفاع و کم‌ارتفاع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (۱۰۰۰ هکتوپاسکال) وجود داشته باشد و فاصله این دو مرکز بیشتر از ۳۰ درجه طول جغرافیایی نباشد؛
- بادهای غربی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به دو شاخه تقسیم شوند و فاصله جدایی تا به هم رسیدن کمتر از ۴۵ درجه طول جغرافیایی نباشد؛
- عمر مراکز کم‌ارتفاع و پراارتفاع بسته شده دست کم پنج روز باشد؛
- سرعت حرکت بندال در هر روز بیشتر از ۱۰ درجه طول جغرافیایی نباشد؛
- مرکز پراارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال دست کم باید در عرض جغرافیایی ۴۰ درجه باشد؛
- شاخص بندال  $BI$  نباید کمتر از ۲۰ m/s باشد.

### ۱-۲ شاخص بندال $BI$

شاخص بندال  $BI$  با رابطه زیر تعریف می‌شود (هوآنگ و همکاران، ۲۰۰۶):

$$BI = U_{WM} - 3U_{EM} \quad (1)$$

که  $U_{EM}$  میانگین سرعت باد شرقی زمین‌گرد روی حداکثر ۲۰ نقطه در ناحیه‌ای به وسعت حدود ۲۰ درجه طول جغرافیایی در سمت راست و چپ مرکز پراارتفاع و در محدوده ۳۰ درجه پایین‌تر از مرکز پراارتفاع  $U_{WM}$  بیشینه بادهای غربی زمین‌گرد همین ناحیه است. چون بادهای شرقی جنوب مرکز پراارتفاع حدود سه برابر کوچک‌تر از بادهای غربی این ناحیه هستند، این اختلاف سه برابری اساس شاخص بندال  $BI$  پیشنهادی مذکور قرار گرفته است.

اساس رابطه بین رخداد و ماندگاری غیرعادی جریان‌ات شرقی در عرض‌های میانی و وقوع بندال، معیاری را برای رخداد بندال مطرح کردند. مزیت این روش قابل مشاهده، سادگی آن برای محاسبه خودکار و بنابراین استفاده مکرر از آن است (برای مثال تیبالدی و مولنتی، ۱۹۹۰ و دآندرا و همکاران، ۱۹۹۸).

با توجه به اهمیت تاوایی پتانسیلی (PV) برای شناخت پدیده‌هایی با گستره وسیعی از شارش‌های جوئی (برای مثال هاسکینز و همکاران، ۱۹۸۵؛ هینز و مک‌این‌تایر، ۱۹۸۷ و تورنکرافت و همکاران، ۱۹۹۳) و از طرفی، ابداع و به‌کارگیری شاخص‌هایی برای شناسایی، آشکارسازی و تعیین کمی وقوع بندال بر پایه تاوایی پتانسیلی (برای مثال حافظی و همکاران، ۱۳۹۴؛ محب‌الحجه و مرادی، ۱۳۸۱ و احمدی‌گیوی و همکاران، ۱۳۸۴) دسته‌بندی چهارمی برای شناسایی و تفکیک بندال‌ها شکل گرفته است. در همین راستا برای مثال پلی و هاسکینز (۲۰۰۳) شاخص دینامیکی جدیدی برای بندال معرفی کردند که بر پایه واژگونی گرادیان نصف‌النهاری (PV) روی سطح هم‌دمای پتانسیلی است. آنها دریافتند شاخص تاوایی پتانسیلی (PV) برای آشکارسازی بندال نوع امگا از توانایی بهتری برخوردار است (هوآنگ و همکاران، ۲۰۰۶).

بر همین اساس و با توجه به تمرکز کار حاضر بر بندال دوقطبی و نیز نتایج پژوهش‌های قبلی، برای فرایابی و شناسایی این بندال از ویژگی‌های پیشنهادی مطرح شده هوآنگ و همکاران (۲۰۰۶) استفاده خواهد شد. در ادامه با ارائه این ویژگی‌ها برای شناسایی بندال دوقطبی به بررسی موردی بندال دوقطبی پرداخته خواهد شد. در این کار باد گرمایی نیز برای تحلیل بهتر بندال دوقطبی محاسبه شده است.

با توجه به پژوهش‌های پیشین، بندال دوقطبی بیشتر در فصول زمستان و بهار شکل می‌گیرد و سبب بارش‌های فراوانی در ناحیه کم‌ارتفاع خود می‌شود (برای مثال جوان نژاد، ۱۳۸۸). در همین راستا و در ادامه، با استفاده از ویژگی‌های مطرح‌شده برای این سامانه جوئی و تعریف باد گرمایی به تحلیل موردی آن پرداخته می‌شود.

### ۳ وضعیت همدیدی

#### ۳-۱ حوزه محاسباتی

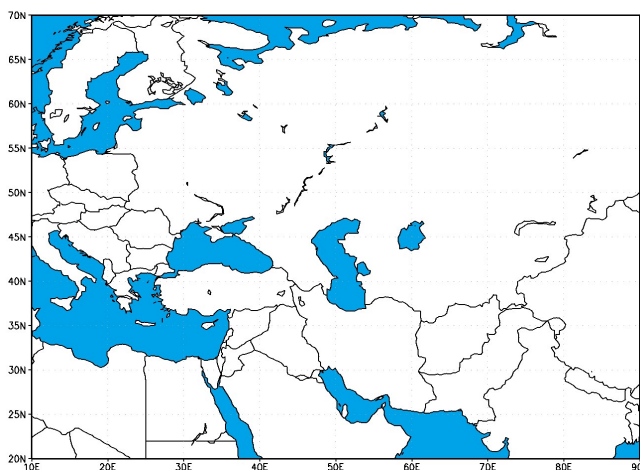
کار حاضر با استفاده از داده‌های ERA5 مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا (ECMWF) با فاصله‌های زمانی یک ساعته انجام شده است. این داده‌ها که به بازه زمانی ۱۳ تا ۲۱ نوامبر ۲۰۱۹ تعلق دارند، از نوع بازتحلیل و برای متغیرهای ارتفاع ژئوپتانسیلی ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال به همراه مؤلفه بادهای شرقی و غربی با فواصل شبکه‌ای  $0.25 \times 0.25$  در راستای افقی (طول و عرض جغرافیایی) و ۳۷ تراز قائم فشاری هستند. ابعاد حوزه محاسباتی نیز برای تحلیل و شبیه‌سازی بندال دوقطبی از ۱۰ تا ۹۰ درجه طول جغرافیایی و ۲۰ تا ۷۰ درجه عرض جغرافیایی را شامل می‌شود. شکل ۱ نمایی از حوزه محاسباتی را نشان می‌دهد.

در این پژوهش علاوه بر ویژگی‌های مطرح‌شده هوآنگک و همکاران (۲۰۰۶)، باد گرمایی نیز برای بندال دوقطبی محاسبه شده است. هدف از محاسبه باد گرمایی، بررسی تغییرات آن در قسمت ورودی بندال دوقطبی و هم‌زمان با شکل‌گیری و دوشاخه شدن خطوط پربندی ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همبسته با این الگوی جوئی است. مؤلفه‌های باد گرمایی به صورت زیر است (هلتون و حکیم، ۲۰۱۳):

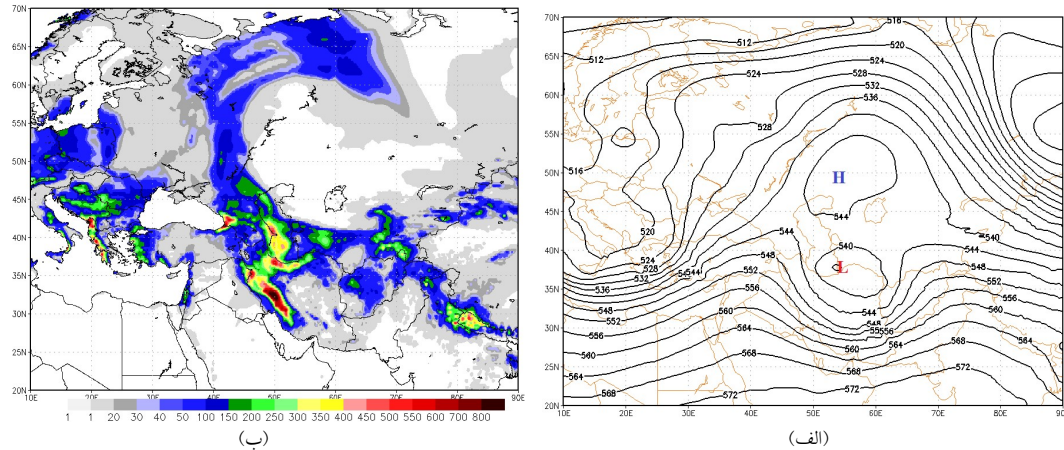
$$u_T = -\frac{1}{f} \frac{\partial}{\partial y} (\Phi_2 - \Phi_1) \quad (2)$$

$$v_T = \frac{1}{f} \frac{\partial}{\partial x} (\Phi_2 - \Phi_1) \quad (3)$$

که  $u_T$  و  $v_T$  به ترتیب مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد گرمایی،  $\Phi$  ژئوپتانسیل و  $f$  پارامتر کوریولیس است. در این پژوهش با توجه به اینکه اختلاف ارتفاع ترازهای مورد استفاده نسبت به سطح دریای آزاد زیاد است، باد زمین‌گرد و باد واقعی تقریباً منطبق فرض شده‌اند و محاسبات بر اساس تفاضل باد واقعی دو تراز انجام گرفته است.



شکل ۱. حوزه محاسباتی مورد استفاده در کار حاضر.



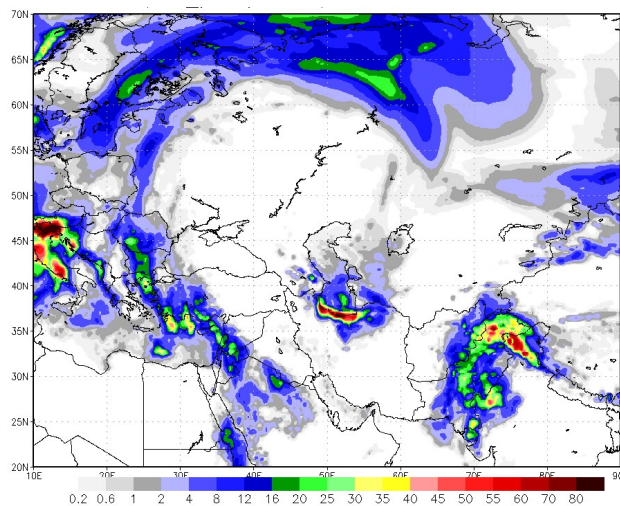
شکل ۲. بندال دوقطبی فوریه ۲۰۰۹ (الف) ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با فاصله پربندی ۴ ژئوپتانسیل دکامتر (ب) توزیع مکانی بارش تجمعی برحسب میلیمتر. محور افقی طول جغرافیایی و محور قائم عرض جغرافیایی است.

### ۲-۳ تحلیل همدیدی (انتخاب موردی)

طی بررسی‌های به‌عمل‌آمده، در سال‌های اخیر، تعدادی بندال دوقطبی در منطقه خاورمیانه شکل گرفته است که برای مثال می‌توان به بندال دوقطبی ۸ تا ۱۴ فوریه ۲۰۰۹ اشاره کرد (شکل ۲-الف). این بندال بیشتر مناطق کشور را تحت تأثیر خود قرار داد و سبب بارش‌های به‌نسبت خوبی شد (شکل ۲-ب). یکی از جدیدترین بندال‌های شکل گرفته در منطقه، مربوط به بندال دوقطبی به‌نسبت

قوی ۱۴ تا ۲۰ نوامبر ۲۰۱۹ است. میزان بارش شش روزه این سامانه در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نواحی مرکزی و جنوبی دریای خزر، نوار ساحلی شمال، دامنه‌های مرکزی البرز و تا حدودی شمال شرق کشور شاهد بارش چشمگیری طی این مدت بوده است.

در ادامه برای بررسی موقعیت مکانی، زمانی و بررسی ویژگی‌های مطرح‌شده برای این نوع بندال، چرخه زندگی



شکل ۳. توزیع مکانی بارش تجمعی پنج روزه برای تاریخ ۱۴ تا ۲۰ نوامبر ۲۰۱۹ برحسب میلیمتر.

۴- ز مشاهده می‌شود، دست کم یک پربند بسته با فاصله پربندی ۴ ژئوپتانسیل دکامتر از سایر پربندها و به طور هم‌زمان برای هر دو مرکز پراارتفاع و کم‌ارتفاع در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال وجود دارد و فاصله این دو مرکز از ۳۰ درجه طول جغرافیایی بیشتر نیست. با توجه به شکل‌های ۴- ز و ۵- الف، بادهای غربی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکالی به دو شاخه تقسیم و از حدود ۲۰ درجه شرقی جدا می‌شوند و تا حدود ۷۰ درجه عرض جغرافیایی به هم می‌رسند که بالاتر از عرض ۴۵ درجه است. از آنجا که پربندهای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این پژوهش با نرم‌افزار رسم شده است، این امکان وجود دارد که روزهایی مانند ۱۳ و ۲۰ نوامبر نیز وجود داشته باشد که مرکز پراارتفاع بسته شکل گرفته ولی رسم نشده است؛ لذا طبق بررسی‌های به عمل آمده، عمر مراکز پراارتفاع و کم‌ارتفاع بسته شده دست کم پنج روز است. با توجه به چرخه زندگی بندال دوقطبی در شکل ۴، سرعت حرکت این بندال نیز در هر روز از ۱۰ درجه طول جغرافیایی بیشتر نبوده است. از طرفی، مرکز پراارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز در عرض جغرافیایی حدود ۵۰ تا ۶۰ درجه قرار دارد که بالاتر از عرض ۴۰ درجه شمالی است. برای محاسبه شاخص بندال نیز باید بادهای غربی و شرقی در ناحیه بندال مشخص شوند؛ لذا در شکل‌های ۵- الف و ۶- الف میدان باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ۱۸ و ۱۹ نوامبر آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اختلاف سرعت بیشینه تندی بادهای غربی نسبت به میانگین بادهای شرقی در نواحی جنوبی مرکز پراارتفاع و در منطقه مورد نظر برای برآورد شاخص بندال برقرار است. از طرفی، در شکل ۷ تحول زمانی شاخص پیشنهادی بندال آورده شده است. مطابق شکل، طی یک روند افزایشی، مقدار شاخص در مرحله بلوغ بندال (۱۵ تا ۱۸ نوامبر ۲۰۱۹) به بیشترین میزان خود می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد.

آن در شکل ۴ همراه با موقعیت مراکز پراارتفاع و کم‌ارتفاع نشان داده شده است. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر، رسم خطوط پربندی با نرم‌افزار انجام شده است، در بعضی مناطق، خطوط پربند بسته ارتفاعی که در تحلیل‌های هواشناسی باید لحاظ شوند، نشان داده نشده است که در هنگام بررسی رویداد بندال به آن اشاره می‌شود.

چرخه زندگی این بندال در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شامل سه مرحله است که عبارت‌اند از: مرحله رشد (۱۳ و ۱۴ نوامبر ۲۰۱۹)؛ مرحله بلوغ (۱۵ تا ۱۸ نوامبر ۲۰۱۹) و مرحله زوال (۱۹ تا ۲۰ نوامبر ۲۰۱۹). بر این اساس، مراحل چرخه زندگی بندال به صورت زیر است:

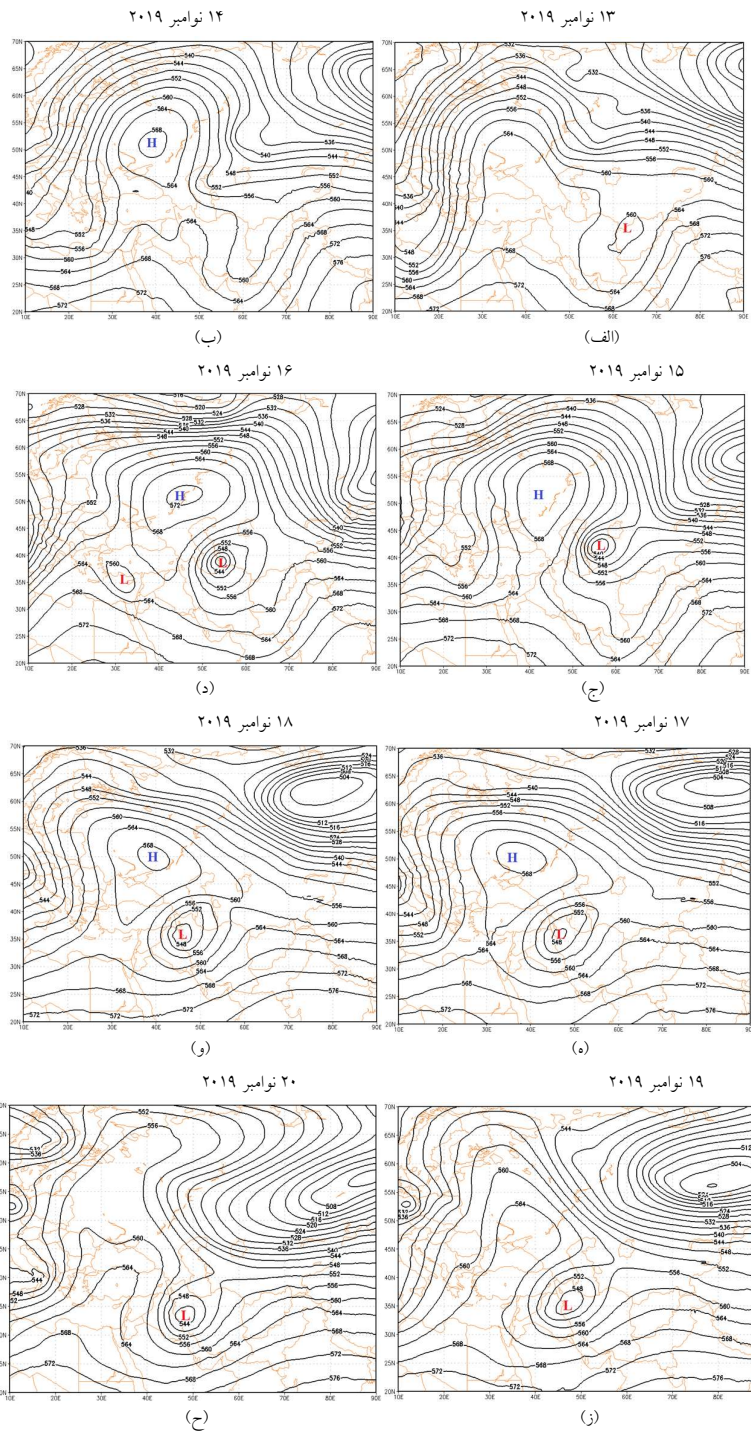
الف) مرحله رشد: در این مرحله، بندال در پشت موج بلند راسبی که در راستای شمال غربی کشیده شده است، شروع به شکل‌گیری می‌کند و از طرفی، در بخش ناوه این موج نیز هم‌زمان با کشیده شدن به سمت جنوب شرق، کم‌ارتفاع بریده در حال شکل‌گیری است (شکل‌های ۴- الف، ب)؛

ب) مرحله بلوغ: در این مرحله با تقویت پراارتفاع و کم‌ارتفاع بریده، دو مرکز بسته پراارتفاع (ناحیه شمالی) و کم‌ارتفاع (ناحیه جنوبی) به شکل دوقطبی درآمده است (شکل‌های ۴- ج، د، ه، و)؛

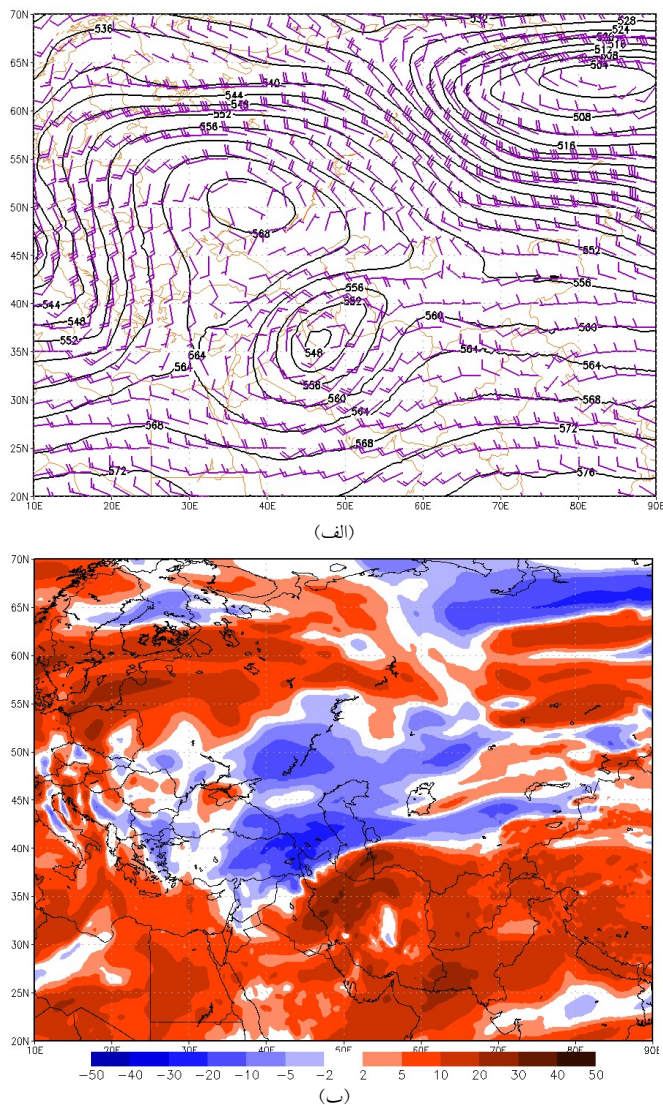
ج) مرحله زوال: با گذشت زمان و در ادامه، ابتدا مرکز پراارتفاع شروع به ناپدید شدن می‌کند و در پی آن، مرکز بسته کم‌ارتفاع نیز ضعیف می‌شود و از بین می‌رود (شکل‌های ۴- ز، ح) و در نهایت، مرکز بسته نیز به پشت موج راسبی تبدیل می‌شود و به سمت شرق حرکت می‌کند (برای اختصار شکل‌ها ارائه نشده است).

### ۳-۳ بررسی ویژگی‌های بندال

این بخش اختصاص به بررسی ویژگی‌های معرفی شده برای شناسایی بندال دوقطبی دارد. همان‌طور که در شکل



شکل ۴. ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای بندال دوقطبی از ۱۳ تا ۲۰ نوامبر ۲۰۱۹. فاصله پرنندی ۴ ژئوپتانسیل دکامتر است. محور افقی طول جغرافیایی و محور قائم عرض جغرافیایی است.



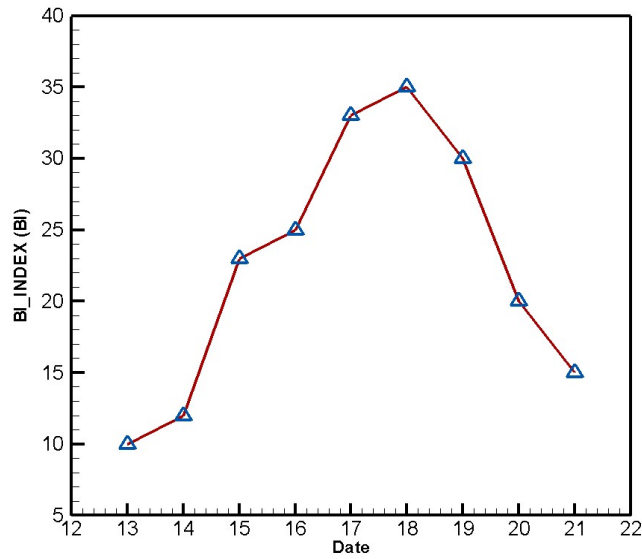
شکل ۵. بندال دوقطبی در تاریخ ۱۸ نوامبر ۲۰۱۹ (الف) ارتفاع ژئوپتانسیلی (خطوط پر) با فاصله پربندی ۴ ژئوپتانسل دکامتر به همراه میدان باد (پیکان) برای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (ب) تندی باد گرمایی بین ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال برحسب متر بر ثانیه. محور افقی طول جغرافیایی و محور قائم عرض جغرافیایی است.

### ۳-۴ باد گرمایی

در این پژوهش باد گرمایی بین ترازهای ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال محاسبه شده است. در شکل های ۵-ب و ۶-ب تندی باد گرمایی در ناحیه مورد مطالعه نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، باد گرمایی در هنگام وقوع بندال به کمترین مقدار ممکن خود (تقریباً صفر) در قسمت ورودی بندال رسیده است. همچنین با بررسی بیشتر

مشاهده می شود با کاهش تندی باد گرمایی در قسمت ورودی بندال، بادهای غربی نیز در این ناحیه کاهش یافته است. با گذشت زمان، تندی باد گرمایی و سپس بادهای غربی افزایش می یابد و بندال شروع به ضعیف شدن و از بین رفتن می کند (شکل های مربوط به آن زمان آورده نشده اند). در زمان شکل گیری بندال، ابتدا تندی باد گرمایی شروع به کاهش می کند و در ادامه، بادهای غربی



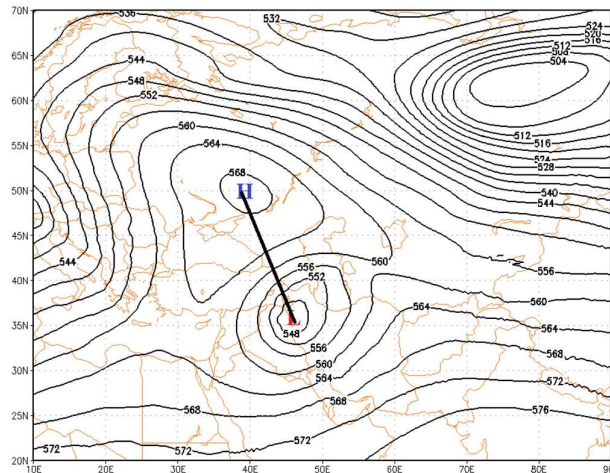


شکل ۷. تغییر زمانی شاخص پیشنهادی بندال دوقطبی.

و خط واصل مابین این دو مرکز از راستای نصف‌النهاری مقداری انحراف دارد. البته با توجه به بررسی‌های به‌عمل آمده برای چند نمونه بندال دوقطبی، مشخص شد با نزدیک شدن خط واصل دو مرکز به راستای نصف‌النهاری، سامانه بارشی مرکز کم‌ارتفاع قوی‌تر می‌شود.

در این ناحیه کاهش می‌یابد و بندال شکل می‌گیرد (شکل‌های مربوط به آن زمان آورده نشده است).

در شکل ۸ امتداد دو مرکز پرارتفاع و کم‌ارتفاع در هنگام بلوغ بندال دوقطبی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این زمان دو مرکز پرارتفاع و کم‌ارتفاع کاملاً در راستای شمالی - جنوبی قرار نگرفته‌اند



شکل ۸. ارتفاع ژئوپتانسیلی بندال دوقطبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای ۱۹ نوامبر ۲۰۱۹. فاصله پرنندی ۴ ژئوپتانسیل دکامتر است. محور افقی طول جغرافیایی و محور قائم عرض جغرافیایی است.

#### ۴ نتیجه‌گیری

یک رویداد موردی در منطقه خاورمیانه بر پایه روشی پیشنهادی برای فرایابی بندال دوقطبی به همراه محاسبه باد گرمایی تحلیل شده است. برای شکل‌گیری بندال دوقطبی باید باد در ترازهای میانی جو به کمترین مقدار خود برسد و به دو شاخه تقسیم شود. به عبارت دیگر، بندال در سطوح فشاری پایین‌تر نسبت به سطوح فشاری بالاتری اتفاق می‌افتد که بادهای غربی ضعیف‌تری نسبت به سطوح فشاری بالاتر دارد و لذا دوره زندگی آن نیز با افزایش تندی بادهای غربی در سطوح فشاری بالایی کوتاه‌تر می‌شود. از دیدگاه دیگر، با کاهش باد گرمایی، باد زمین‌گرد ضعیف می‌شود و در نتیجه، باعث ضعیف شدن بادهای زمینه می‌شود که این خود سبب دو شاخه شدن بادهای تراز میانی جو و رویداد بندال خواهد شد. در بررسی‌های به‌عمل‌آمده مشاهده شد تندی باد گرمایی در زمان شکل‌گیری و در محل ورودی بندال نزدیک به صفر می‌شود. با در نظر گرفتن ارتفاع ژئوپتانسیلی، میدان باد، مؤلفه‌های غربی و شرقی باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، با استفاده از روش پیشنهادی هوآنگ و همکاران (۲۰۰۶) و محاسبه باد گرمایی مشاهده شد در زمان رویداد این بندال، دست‌کم یک پربند بسته با فاصله پربندی ۴ ژئوپتانسیل دکامتر و به‌طور هم‌زمان برای هر دو مرکز پرارتفاع و کم‌ارتفاع وجود داشته است. دو شاخه شدن بادهای غربی در ورودی بندال نیز برای این رویداد مشهود است. همچنین در زمان شکل‌گیری بندال، تندی باد گرمایی و سپس بادهای غربی نیز کاهش می‌یابد. با این روند کاهشی، تندی بادهای غربی در ورودی بندال تا زمان بلوغ بندال به کمترین میزان خود می‌رسد. از طرفی، همان‌طور که ملاحظه شد، در بندال دوقطبی برخلاف بندال تک‌قطبی، تندی باد به نسبت شدیدی در قسمت ورودی بندال مشاهده نمی‌شود و بندال در هر روز زندگی خود کمتر از ۱۰ درجه طول جغرافیایی جابه‌جا می‌شود و

حرکت کند و بطئی دارد. از نتایج دیگر کار حاضر، وجود مرکز پرارتفاع بندال بالاتر از عرض جغرافیایی ۴۰ درجه است. در هنگام بلوغ این بندال، اختلاف ارتفاع مراکز پرارتفاع و کم‌ارتفاع به بیشترین میزان خود می‌رسد یا به عبارت دیگر، شیب خط واصل دو مرکز در راستای قائم به مقدار بیشینه خود می‌رسد. البته با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده در چند مورد دیگر، هر اندازه این شیب خط واصل دو مرکز در امتداد قائم بیشتر باشد، دو مرکز به یکدیگر نزدیک‌تر و سامانه بارشی همراهی‌کننده با کم‌ارتفاع، قوی‌تر خواهد بود. شاخص بندال  $BI$  نیز کمتر از  $20 \text{ m/s}$  نیست. بیشتر فعالیت بارشی این سامانه جوئی در قسمت کم‌فشار بریده، زمانی است که محور قائم آن در جهت شمال غرب- جنوب شرق کشیده شده باشد (ناوه به‌صورت منفی کج می‌شود).

در پایان تأکید بر این نکته ضروری است که استفاده از ویژگی‌های مطرح‌شده هوآنگ و همکاران (۲۰۰۶) و محاسبه باد گرمایی در دوره زندگی بندال دوقطبی برای بندال موردی، گویای توانمند بودن این روش برای شناسایی بندال دوقطبی است که کاربست آن را برای تعداد زیادی از موارد لازم می‌کند.

#### منابع

- آزاد، ر.، احمدی گیوی، ف.، محب‌الحجه، ع.، ۱۳۸۶، مقایسه ساختار دینامیکی پدیده بلاکینگ با مودون‌ها در شارهای ژئوفیزیکی: مجله ژئوفیزیک ایران، ۱، ۵۱-۵۹.
- احمدی گیوی، ف.، آزاد، ر.، محب‌الحجه، ع.، ۱۳۸۵، مطالعه دینامیکی پدیده بندال با استفاده از تاوایی پتانسیلی شبه‌زمین‌گرد: مجموعه مقالات همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا، تهران، ۲۹ آذر ۱۳۸۵.
- احمدی گیوی، ف.، محب‌الحجه، ع.، قرایلو، م.، ۱۳۸۴، مطالعه دینامیک سامانه‌های چرخندی روی ایران از

- Dole, R. M., 1986, Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: Structure: *Monthly Weather Review*, **114**, 178–207.
- Elliott, R. D., and Smith, T. B., 1949, A study of the effects of large blocking highs on the general circulation in the Northern Hemisphere westerlies: *Journal of Meteorology*, **6**, 67–85.
- Fahimi, S., Ahmadi-Givi, F., and Mazraeh Farahani, M., 2014, Climatological study of Asian and European blockings by means of two indices in the period of 1950–2010: *Journal of Iranian Geophysics*, **7**(4), 31–51.
- Hafezi, M., Rezaeimanesh, M., Mohebalhojeh, A., Ali Akbari Bidokhti, A.A. and Nasr Esfahani, M.A., 2015, Application of the split jet and Rossby-wave breaking indices to study the critical air pollution episodes in Tehran during Nov. and Dec. 2010: *Iranian Journal of Geophysics*, **9**(1), 134–149.
- Hartman, D. L., and Ghan, S. J., 1980, A statistical study of the dynamics of blocking: *Monthly Weather Review*, **108**, 1144–1159.
- Haynes, P. H., and McIntyre, M. E., 1987, On the evolution of vorticity and potential vorticity in the presence of diabatic heating and other forces: *Journal of the Atmospheric Sciences*, **44**, 828–841.
- Holton, J. R., and Hakim, G. J., 2013, *An Introduction to Dynamic Meteorology: Fifth Edition*, Academic Press, 528 pp.
- Hoskins, B. J., McIntyre, M. E., and Robertson, A. W., 1985, On the use and significance of isentropic potential vorticity maps: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **111**, 877–946.
- Huang, F., Tang, X., Lou, S. Y., and Lu, C., 2006, Evolution of dipole-type blocking life cycles: Analytical diagnoses and observations: *Journal of the Atmospheric Sciences*, **64**, 52–73.
- Illari, L., 1984, A diagnostic study of the potential vorticity in a warm blocking anticyclone: *Journal of the Atmospheric Sciences*, **41**, 3518–3526.
- Lejenäs, H., and H. Økland. 1983, Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data: *Tellus*, **35A**, 350–362.
- Maddison, J. W., and Gray, S. L., Martinez-Alvarado, O., Williams, K. D., 2019, Upstream cyclone influence on the predictability of block onsets over the Euro-  
دیدگاه تاوایی پتانسیلی: مطالعه موردی برای آذرماه ۱۳۸۲: *مجله فیزیک فضا و زمین*، ۳۲، ۱–۱۳.
- جوان‌نژاد، ر.، ۱۳۸۸، رفتار و حرکت کم‌فشار جداشده از نوع شبه‌دوقطبی در روی منطقه خاورمیانه در دوره زمانی ۲۰–۲۷ بهمن ۱۳۸۷: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- علی‌اکبری بیدختی، ع.، شرعی‌پور، ز.، ۱۳۸۸، شرایط هواشناختی جوّ بالا و وضعیت حاد آلودگی هوا (مطالعه موردی: شهر تهران): *مجله محیط‌شناسی*، ۵۲، ۱۴–۱.
- علیزاده، ز.، محب‌الحجه، ع.، احمدی گیوی، ف.، ۱۳۹۶، بررسی بی‌هنجاری اقلیمی ایران در آبان‌ماه ۱۳۹۰ از دیدگاه دینامیک بزرگ‌مقیاس: فیزیک زمین و فضا، ۴۳، ۱۴۹–۱۶۴.
- محب‌الحجه، ع.، احمدی گیوی، ف.، قائمی، ه.، ۱۳۷۴، بررسی بی‌هنجاری فشار زیاد مستقر در اروپا و تأثیر آن بر روی آب‌وهوای ایران در اردیبهشت ۱۳۷۱: گزارش نهایی طرح پژوهشی، سازمان هواشناسی کشور.
- محب‌الحجه، ع.، مرادی، م.، ۱۳۸۱، فرایابی تاوایی پتانسیلی راسبی-ارتل روی سطوح هم‌دمای پتانسیلی: همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا، تهران، سازمان هواشناسی کشور. ۱۷ مهرماه ۱۳۸۱.
- Berggren, R., Bolin, B., and Rossby, C. G., 1949, An aerological study of zonal motion, its perturbations and breakdown: *Tellus*, **1**, 14–37.
- D'Andrea, F., Tibaldi, S., and Blackburn, M., 1998, Northern Hemisphere atmospheric blocking as simulated by 15 atmospheric general circulation models in the period 1979–1988: *Climate Dynamics*, **14**, 385–407.
- Dole, R. M., and Gordon, N. D., 1983, Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: Geographical distribution and regional persistence characteristics: *Monthly Weather Review*, **111**, 1567–1586.

- Atlantic region: *Monthly Weather Review*, **147**(4), 1277–1296.
- Malguzzi, P., and Malanotte-Rizzoli, P., 1984, Nonlinear stationary Rossby waves on nonuniform zonal winds and atmospheric blocking, Part I: The analytical theory: *Journal of the Atmospheric Sciences*, **41**, 2620–2628.
- McWilliams, J. C., 1980, An application of equivalent modons to atmospheric blocking: *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **5**, 43–66.
- Pelly, J. L., and Hoskins, B. J., 2003, How well does the ECMWF ensemble prediction system predict blocking?: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **129**, 1683–1702.
- Pithan, F., Shepherd, T. G., Zappa, G., and Sandu, I., 2016, Climate model biases in jet streams, blocking and storm tracks resulting from missing orographic drag: *Geophysical Research Letters*, **43**, 7231–7240.
- Rex, D. F., 1950, Blocking action in the middle troposphere and its effects upon regional climate: I. An aerological study of blocking action: *Tellus*, **2**, 196–211.
- Shutts, G. J., 1983, The propagation of eddies in diffluent jetstreams: Eddy vorticity forcing of blocking flow fields: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **109**, 737–761.
- Sumner, E. J., 1954, A study of blocking in the Atlantic–European sector of the Northern Hemisphere: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **80**, 402–416.
- Thorncroft, C. D., Hoskins, B. J., and McIntyre, M. E., 1993, Two paradigms of baroclinic wave life-cycle behaviour: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **119**, 17–55.
- Tibaldi, S., and Molteni, F., 1990, On the operational predictability of blocking: *Tellus*, **42A**, 343–365.
- White, E. B., and Clark, N. E., 1975, On the development of blocking ridge activity over the central North Pacific: *Journal of the Atmospheric Sciences*, **32**, 489–501.
- Woollings, T., Barriopedro, D., Methven, J., Olivia Martius, S. S., Harvey, B., Sillmann, J., Lupo, A. R., and Seneviratne, S., 2018, Blocking and its response to climate change: *Current Climate Change Reports*, **4**, 287–300.

## Analysis and Diagnosis of Dipole Blocking in a Case Study

Reza JavanNezhad <sup>1\*</sup> and Maryam Rezaie <sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Ph. D. of Meteorology, Graduate Center, Shahid Sattari Aeronautical University, Tehran, Iran*

<sup>2</sup> *Assistant Professor, Zoology Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran*

(Received: 14 October 2020, Accepted: 13 March 2021)

### Summary

Atmospheric blocking is an important large-scale weather phenomenon at mid-high latitudes in the atmosphere which has a profound effect on local and regional climates in the immediate blocking domain as well as in regions upstream and/or downstream of the blocking event.

Commonly used definitions can be divided into four categories of methods to identify blocking. All of the definitions of blocking do not wholly address dipole-type blocking, so new criteria for identifying dipole-type blocking have to be established. In this research, diagnostic case of dipole-type blocking life in the Middle East region for the period time from 13 to 20 November 2019 was studied. Several basic features of the dipole-type blocking, along with the calculation of the thermal wind, are introduced to identify and distinguish the dipole-type blocking from the other blockings.

The results showed that the dipole-type blocking event usually occurs at lower-tropospheric pressure levels compared to the upper-tropospheric pressure as they have weaker westerly winds. The life time of the blocking event considered was made shorter by increasing of the westerly winds on higher pressure levels. For the occurrence of a blocking event, the wind must reach the minimum at the mid-tropospheric pressure levels of the atmosphere and the flow must be split into two branches. However, with the reduction of the thermal wind, the geostrophic wind as well as the total are weakened, resulting in the formation of split flow and blocking event. It was observed that the magnitude of the thermal wind at the time of the formation of the blocking tends to zero. The thermal wind and its westerly and easterly parts over the dipole were determined at the 500 hPa pressure level. At the time of the event, a dipole-type blocking of at least one closed contour with 4 geopotential decameters interval, simultaneously occurred for both high and low centers. Moreover, examining the westerly winds over the blocking entrance showed that during the time of this event, the speed of westerly winds decreased to a minimum amount. For the dipole-type blocking, unlike the cut-off low single-pole type, there is no sign of a fairly intense wind at the entrance of blocking. During the life cycle, the movement of blocking is less than 10 degrees per day. Furthermore, the high of blocking rests in a latitude above 40° N. The computed blocking index is also no lower than 20 m/s. The use of some features blocking and the calculation of thermal wind during the life time of a typical case of dipole-type blocking illustrates the utility of this method for identifying dipole-type blocking. The analysis, however, needs to be extended to several other cases for a more definite conclusion.

**Keywords:** Dipole blocking, blocking index, 500 hPa pressure level, thermal wind, analysis, synoptic

---

\*Corresponding author:

rjavannezhad@srbiau.ac.ir