

مقایسه ساختار دینامیکی پدیده بلاکینگ با مودون‌ها در شارهای ژئوفیزیکی

روح آزاد^۱، فرهنگ احمدی گیوی^۱، علی رضا محب الحجه^۲

^۱ مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران (e-mail: roazad@ut.ac.ir)

^۲ دانشگاه سنت اندروز انگلستان

(دریافت: ۸۵/۱۱/۲۹، پذیرش نهایی: ۸۶/۰۴/۳۰)

چکیده

در این مقاله، ضمن معرفی اساس فیزیکی - ریاضی جواب‌های مودونی برای معادله تاوایی پتانسیلی زمین‌گردوار در شارهای ژئوفیزیکی، ارتباط آنها با بلاکینگ بررسی می‌شود. برای این کار، ابتدا یک رویداد بلاکینگ که در بازه زمانی هشتم تا دوازدهم آذر ماه ۱۳۸۳ اتفاق افتاده است و ساختاری دوقطبی شبیه به مودون فشارورد هم ارز دارد، انتخاب شد. سپس، نقشه‌های هم‌دیدگی مربوطه در سطوح فشاری متفاوت بررسی و تاوایی پتانسیلی زمین‌گردوار (q) و تابع جریان (ψ) در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال محاسبه شده است. مشاهده می‌شود که این بلاکینگ با ظهور یک مرکز بریده از مقادیر کم q در نقشه‌های تاوایی پتانسیلی زمین‌گردوار در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال همراه است. این مرکز بریده درست در منطقه پراارتفاع بلاکینگ قرار دارد. به علاوه، نمودار q برحسب ψ برای نواحی بلاک شده و بلاک نشده، ساختار دینامیکی متفاوت و مجزای ناحیه بلاکینگ از محیط اطرافش را نشان می‌دهد. مقایسه این نمودار مشاهداتی با نمودار نظری آن، حاکی از شباهت ساختار این بلاکینگ با یک مودون فشارورد هم ارز در یک جریان غربی است.

کلیدواژه‌ها: بلاکینگ، تاوایی پتانسیلی زمین‌گردوار، مودون، فشارورد هم ارز

۱ مقدمه

دیگر جو را قطع می‌کند. اگر چه بلاکینگ‌های جوی به معنای دقیق کلمه منزوی نیستند، اما برای مدل‌سازی دینامیکی می‌توان از جواب‌های منزوی در حکم سازنده اصلی آنها استفاده کرد.

به رغم بررسی‌های وسیعی که در دهه‌های اخیر روی شناخت دینامیک این پدیده صورت گرفته است، هنوز ساز و کار قطعی و مشخصی که روی آن اتفاق نظر باشد، تعیین نشده است. اصطلاح مودون را نخستین بار، اشترن، اقیانوس‌شناس (۱۹۷۵) در مطالعات خود روی خواص پیچک‌های سیاره‌ای به کار برد. سپس مک و ویلیامز (۱۹۸۰) به طور دقیق ساختار جواب‌های مودونی و بلاکینگ را مورد بررسی قرار داد. هاینز و مارشال (۱۹۸۷) در ادامه کار مک و ویلیامز به مدل‌سازی بلاکینگ با استفاده از جواب‌های مودونی پرداختند و پیشنهاد کردند که جو در صورتی ممکن است تشدید و ناپایداری غیر خطی را

بلاکینگ جوی، پدیده‌ای بزرگ‌مقیاس در عرض‌های میانی است که در دسته‌بندی پدیده‌های جوی برحسب بسامد، در رده پدیده‌های با تغییرپذیری کم بسامد (low frequency variability) قرار می‌گیرد. وقوع این پدیده، همراه با استقرار یک واچرخند قوی در عرض‌های میانی و بالا، واقع در قطب‌سوی بادهای شرقی بی‌هنجار (anomalous) است (پلی و هاسکینز، ۲۰۰۳). این پدیده، علاوه بر مقیاس بزرگ دارای دو ویژگی مهم دیگر نیز هست. ویژگی اول شبه‌ایستور بودن آن است؛ یعنی در طی ظهور این پدیده، مرکز واچرخند آن، برخلاف دیگر سامانه‌های جوی، فقط اندکی به سمت غرب یا شرق جا به جا می‌شود. ویژگی دوم جای‌گزیدگی آن است؛ به این معنا که در غالب رخدادهای بلاکینگ، این اثر به صورت یک زوج تاوه در منطقه‌ای مشخص ظاهر می‌شود و به گونه‌ای، ارتباط شارش این منطقه با شارش در بخش

غیاب فرایندهای دررو و اصطکاک به صورت زیر به دست می آید (هولتون، ۲۰۰۴):

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \vec{V}_g \cdot \nabla\right)q = 0 \quad (1)$$

که تاوایی پتانسیلی زمین گردوار q به صورت زیر است:

$$q = f + \xi_g + f_0 \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\theta'}{d\theta_{ref}/dp} \right) \quad (2)$$

در معادلات فوق، ξ_g تاوایی زمین گرد، f پارامتر کوریولس، θ دمای پتانسیل، θ_{ref} دمای پتانسیل مرجع در هر سطح فشاری، $\theta' = \theta - \theta_{ref}$ پربیشیدگی دمای پتانسیل و f_0 مقدار ثابت f در عرض جغرافیایی مرکزی است.

برای هر تراز، تابع جریان زمین گرد را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\psi = (\phi - \phi_0(p)) / f_0 \quad (3)$$

۲-۲ مودون ها

مودون ها ساختارهایی نظری در دینامیک شاره های ژئوفیزیکی اند که در این بخش، به توضیح مختصر درباره آنها می پردازیم. شارهای را در نظر می گیریم که معادله تاوایی زمین گردوار در صفحه β برای آن صدق کند. این معادله به صورت زیر نشان داده می شود:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + J(\psi, q) = F + D \quad (4)$$

که D F به ترتیب منبع و چاهک های تاوایی پتانسیلی زمین گردوار و جمله ژاکوبین به صورت زیر است:

$$J(\psi, q) = \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial q}{\partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial q}{\partial x}$$

برای اینکه جواب های ایستور را بدون وجود منبع و چاهک ها به دست آوریم، معادله (۴) به شکل زیر در نظر گرفته می شود:

$$J(\psi, q) = 0 \quad (5)$$

حل عمومی معادله (۵) را می توان به شکل کلی زیر نوشت:

β

$$\Lambda \equiv \frac{dq}{d\psi}$$

ψ

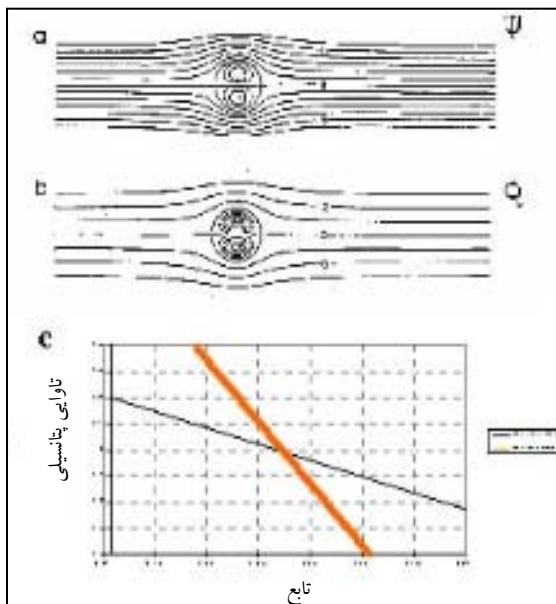
در این مقاله، سعی شده است تا با استفاده از تابع پتانسیل فوق و رسم کردن نمودار پراکنش q بر حسب ψ ، ساختار دینامیکی، مودون فشارورد هم ارز با بلاکینگ جوی مقایسه شود. در بخش ۲، پس از معرفی تاوایی پتانسیلی زمین گردوار، جواب های مودونی و ویژگی های کلی آن ارائه می شود. در بخش ۳ پس از تحلیل نتایج مطالعات هم دیدی و دینامیکی صورت گرفته روی یک بلاکینگ انتخابی، شباهت جواب های مودونی با پدیده بلاکینگ مورد نظر نیز بررسی می شود.

۲ مبانی نظری

۱-۲ تاوایی پتانسیلی زمین گردوار

نظریه زمین گردوار که صورت جامع آن در مقاله چارنی و اشتون (۱۹۶۲) معرفی شده است، بر دو فرض، یکی کوچک تر از یک بودن عدد راسبی و دیگری کوچک بودن مقیاس قائم حرکت در برابر مقیاس افقی آن استوار است. با استفاده از معادله های تاوایی و انرژی ترمودینامیکی زمین گردوار در دستگاه مختصات فشار و در صفحه β ، پایستاری تاوایی پتانسیلی زمین گردوار در

نتیجه از نظر فیزیکی به معنای چاه پتانسیل عمیق تر در ناحیه مودون است و حکایت از حبس پیچک‌ها در داخل آن دارد.



شکل ۱. (a) تابع جریان، (b) تاوایی پتانسیلی زمین‌گردوار برای یک مودون فشارورد هم ارز و محیط اطراف آن و (c) نمودار پراکنش q برحسب ψ برای نواحی داخل و خارج مودون، واحد ψ برابر $10^7 \text{ m}^2/\text{s}$ واحد q برابر $10^{-5} \text{ s} \times 1/35$ (هاینز و مارشال، ۱۹۸۷).

۳ مطالعه بلاکینگ آذرماه ۱۳۸۲

۱-۳ بررسی هم‌دید

برای اینکه موقعیت مکانی و زمانی رویداد بلاکینگ انتخاب شده بهتر نشان داده شود، با استفاده از شاخص بلاکینگ که توسط لژناس و اوکلند (۱۹۸۳) ارائه شده است، نمودار هافمولر آن ترسیم گردید (شکل ۲). نواحی تیره در این شکل، طول‌های جغرافیایی را نشان می‌دهد که در آنها تفاضل ارتفاع ژئوپتانسیلی سطح 500 هکتوپاسکالی بین عرض‌های جغرافیایی 40°N و 60°N مقادیر منفی دارند. مقادیر منفی نشان از حضور پشته‌ای در 60°N دارد که ارتفاعش از مقادیر ارتفاع 40°N بیشتر است. این نکته می‌تواند به معنی وجود پراتفاع بلاکینگ

$$q = q(\psi) \quad (6)$$

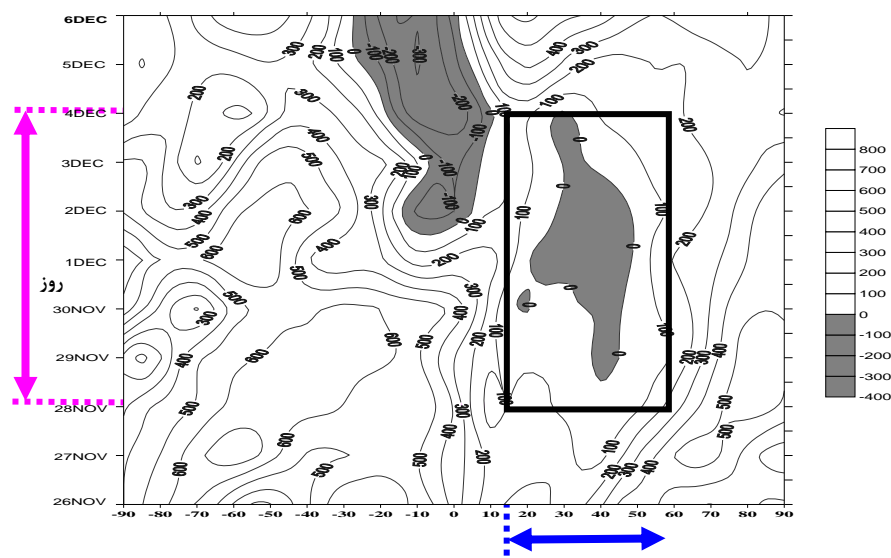
در دینامیک زمین‌گردوار، مد آزاد به طور صریح با رابطه (۶) معرفی می‌شود.

هاینز و مارشال برای حل معادله (۵) و به دست آوردن رابطه (۶) از فرض‌هایی استفاده کردند تا جواب‌های مودونی طوری به دست آید که بتوان از آنها برای مدل‌سازی بلاکینگ جوی استفاده کرد. جواب‌های مودونی بررسی هاینز و مارشال (۱۹۸۷) همراه با نمودار پراکنش q برحسب ψ در شکل (۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، پربندهای تابع جریان و تاوایی پتانسیلی زمین‌گردوار بر هم منطبق‌اند. در درون دایره به شعاع r_0 که ناحیه جایگزیده و مجزای مودون است، خطوط جریان بسته و در خارج آن خطوط جریان باز است. چنین شکلی برای پربندهای تاوایی پتانسیلی با ضرایب متفاوت نیز به چشم می‌خورد. برای هر دو کمیت در فواصل دور از مودون، پربندها به صورت یک خط راست است که نشان می‌دهد مودون جای‌گزیده هیچ تأثیری بر نواحی بسیار دور نمی‌گذارد، همانطوری که نواحی خارج از مودون منزوی نیز روی آن تأثیری ندارد. نمودار q برحسب ψ (شکل ۱c) برای داخل و خارج دایره نشانگر آن است که در ناحیه مودون، شیب خط بیشتر از نواحی بیرون آن است. این بدان معناست که q نسبت به ψ در داخل ناحیه مودون تغییرات شدیدتری دارد.

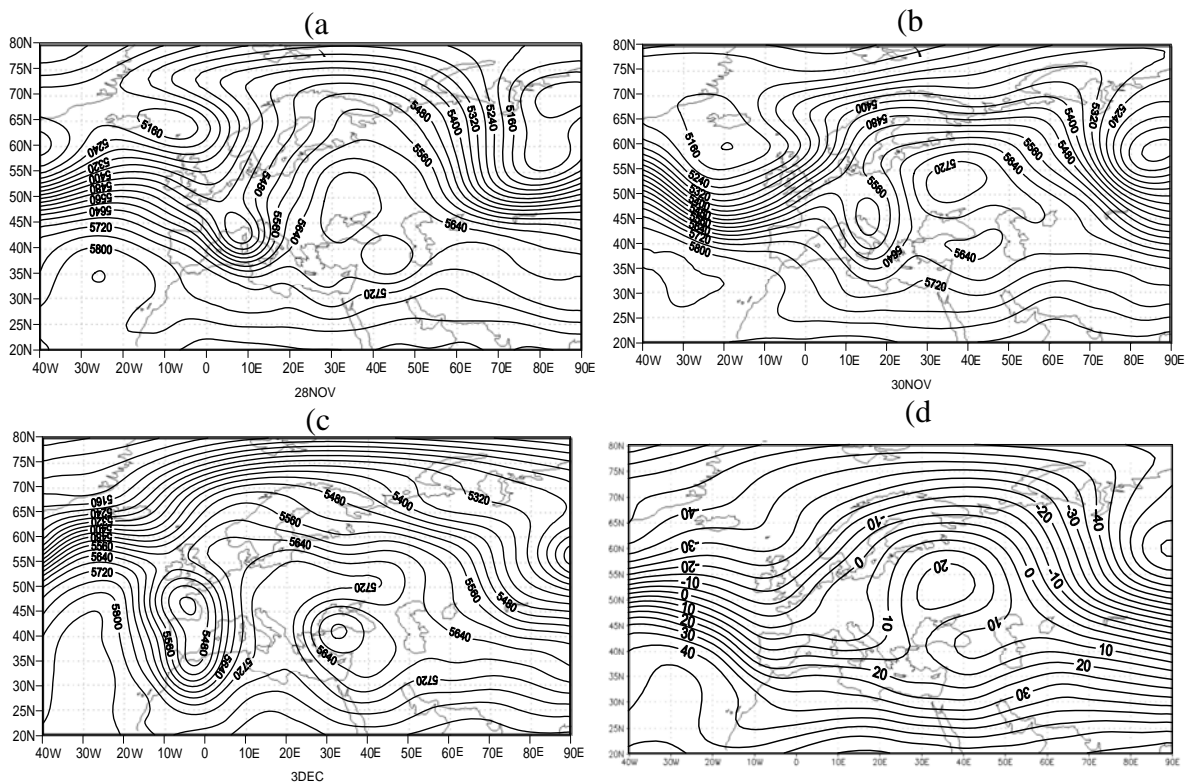
با توجه به رابطه تابع پتانسیل که بوچارت و همکاران (۱۹۸۹) ارائه کردند، نتایج دیگری از نمودار پراکنش حاصل می‌شود. طبق این رابطه، $\Lambda \equiv \frac{dq}{d\psi}$ ، تابع پتانسیل در همه نواحی، مقداری منفی دارد که نشانگر قرار داشتن کل سامانه در یک چاه پتانسیل است. اما نکته جالب توجه در این است که در داخل دایره (ناحیه مودون فشارورد هم ارز) تابع پتانسیل دارای مقدار منفی بیشتری است. این

ندارد، اما جریان‌های مداری واقع روی اقیانوس اطلس، به هنگام رسیدن به این ساختار، منحرف شده‌اند و بخش اعظم آنها به صورت نصف‌النهاری درآمده و به سمت قطب جریان می‌یابند. در ساعت ۰۰:۰۰ UTC روز ۳۰ نوامبر (شکل ۳b)، بلاکینگ شکل کامل یک دو قطبی را گرفته، ولی مکان مراکز پرارتفاع و کم‌ارتفاع آن تغییر چندانی نکرده است. با توجه به این ساختار پایدار و قرار گرفتن کم‌ارتفاع و ناوه آن روی بخش‌های وسیعی از ایران، بارش‌های گزارش شده در این دوره زمانی قابل انتظار است. جریان‌های نصف‌النهاری در بالا و پایین دو قطبی شدت می‌یابد و با انتقال گرما و تکانه از عرض‌های پایین به بالا و بالعکس، شرایط جوی متفاوتی نسبت به حالت معمول به وجود می‌آید. در ساعت ۰۰:۰۰ UTC روز ۳ دسامبر (شکل ۳c)، ساختار دو قطبی به یک پشته ضعیف تبدیل شده که نسبت به مکان اولیه، اندکی به سمت غرب جا به جا شده است. کم‌ارتفاع قوی که در غرب این پشته قرار دارد، احتمالاً در فعالیت و ساختار بلاکینگ دو قطبی مؤثر است.

در بررسی هم‌دید، نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در روزهای شروع، بیشینه تقویت و میرایی تهیه و در شکل ۳ ارائه شده‌اند. در ساعت ۰۰:۰۰ UTC روز ۲۸ نوامبر (شکل ۳a)، ساختار دو قطبی بلاکینگ بر روی دریای سیاه و غرب دریای خزر در حال شکل‌گیری است. پرارتفاع این دو قطبی روی دریای سیاه گسترده شده، در حالی که کم‌ارتفاع آن در غرب دریای خزر قرار دارد و ناوه آن شمال، شمال غرب و غرب ایران را پوشانیده است. محور دو قطبی هنوز راستای مداری



شکل ۲. نمودار هافمولر برای دوره زمانی ۲۶ نوامبر تا ۶ دسامبر ۲۰۰۴ و بازه مکانی ۹۰°E - ۹۰°W. پربندها، مقادیر درون‌یابی شده برای اختلاف ارتفاع ژئوپتانسیلی بین عرض جغرافیایی ۶۰° N و ۴۰° N را نشان می‌دهند.



شکل ۳. نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۰۰۰۰ UTC برای روزهای ۲۸ و ۳۰ نوامبر (a, b) و ۳ دسامبر (c) سال ۲۰۰۴. فاصله پربندها ۴۰ متر است.

۲-۳ بررسی دینامیکی

الف) داده‌ها و روش عددی مورد استفاده

در این بخش، از داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی محیطی امریکا (NCEP-NCAR) در ساعت ۰۰۰۰ UTC برای هر روز از دوره زمانی مورد مطالعه (۲۸ نوامبر تا ۳ دسامبر)، روی شبکه‌ای با تفکیک افقی $2/5 \times 2/5$ درجه استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه در بازه $90^\circ N - 0^\circ N$ و $40^\circ W - 90^\circ E$ قرار دارد. داده‌های مورد نظر شامل دما، ارتفاع ژئوپتانسیلی و سرعت روی سطوح ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۷۰۰ هکتوپاسکالی است. برای محاسبه تاوایی پتانسیلی زمین گردوار از رابطه (۲) استفاده شده است. ثابت f_0 مقدار f در $60^\circ N$ بوده و θ_{ref} که تابعی از فشار است، بدین صورت به دست می‌آید که ابتدا مقادیر میانگین

روزانه θ برای همه نقاط شبکه محاسبه می‌شود. سپس برای هر روز، از همه نقاط شبکه واقع در عرض‌های بالاتر از $30^\circ N$ ، میانگین‌گیری و θ_{ref} برای آن روز تعیین می‌شود. از آنجا که استفاده از ξ_g^2 در معادله تاوایی پتانسیلی زمین گردوار منجر به میدان مغشوشی برای q می‌شود که تفسیر آن را دشوار می‌کند، به همین منظور به مانند ایلاری (۱۹۸۴)، بوچارت و همکاران (۱۹۸۹) به جای ξ_g^2 ، از ξ_g استفاده شده است (محب‌الحجه و همکاران، ۱۳۷۴). کمیت تاوایی با استفاده از مؤلفه‌های سرعت در مختصات کروی محاسبه می‌شود. برای محاسبه جمله سوم در رابطه تاوایی پتانسیلی زمین گردوار، روش تفاضل متناهی مرکزی مرتبه دوم در راستای قائم به کار رفته است. تابع جریان از رابطه (۳) و فقط با استفاده از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی به دست می‌آید.

گیرد و از بین برود. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، جریان‌های مداری عرض‌ها بالا، بدون انحرافی در مسیر اولیه خود شارش دارند.

در نقشه تاوایی پتانسیلی زمین گردوار مربوط به روز ۳۰ نوامبر (شکل ۴b)، پیشروی جریان‌های با مقادیر کم q از عرض‌های پایین به عرض‌های بالا در ناحیه بلاک شده، به خوبی مشاهده می‌شود. مناطقی دارای مقادیر زیاد q ، به صورت زبانه‌ای از عرض‌های بالاتر، در جنوب شرق و جنوب غرب ناحیه فوق قرار گرفته است. در نواحی بلاک نشده، چینش منظم و پیوسته‌ای برای q از عرض‌های پایین (مقادیر کم) به سمت عرض‌های بالا (مقادیر زیاد) به چشم می‌خورد که توزیع نصف‌النهاری q در شرایط معمول جوی را نشان می‌دهد. در این شکل، ناحیه بلاک شده دارای بی‌هنجاری بریده q است که طیفی پیوسته از مقادیر کم تا مقادیر زیاد را شامل می‌شود. این ویژگی، منحصر به ناحیه بلاک شده است و در نواحی بلاک نشده، مشاهده نمی‌شود. در روز ۳ دسامبر (شکل ۴e)، هوای نفوذی عرض‌های پایین با مقادیر کم q در حال انتقال به مکان اولیه خود است که نشان از میرایی بلاکینگ دارد. در این روز، کم‌ارتفاعی قوی در سمت غرب پشته بلاکینگ ظاهر شده و دارای مقادیر بسیار بالای q است. همانطور که دیده می‌شود، نقشه‌های q ضمن شباهت با شکل ۲b، ساختار بلاکینگ را نسبت به تابع جریان بهتر و آشکارتر نشان می‌دهد.

در نمودارهای پراکنش (شکل‌های ۴c، ۴f) که محور قائم q و محور افقی ψ است، دایره‌های پررنگ مربوط به نواحی بلاک شده و دایره‌های تیره کوچک‌تر مربوط به نواحی بلاک نشده است. در هر دو نمودار پراکنش، برای نواحی بلاک نشده رابطه‌ای تقریباً خطی با شیب (منفی) کم بین q و ψ وجود دارد که نشان می‌دهد تابع پتانسیل $\Lambda(\equiv \frac{dq}{d\psi})$ در نواحی بلاک نشده دارای مقادیر (منفی) کم

ب) رسم نقشه‌ها و نمودارهای پراکنش

اگر الگوی شارش دارای مد آزاد باشد (q فقط تابعی از ψ است)، آن‌گاه نقاط واقع بر نمودار پراکنش روی منحنی $q = q(\psi)$ قرار می‌گیرند. رسم نمودار پراکنش در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال صورت می‌گیرد؛ سطحی که شارش‌های جوی بسیار شدید است و آثار غیرخطی، بیشترین تأثیر خود را دارند، زیرا مودون‌ها جواب‌های یک معادله غیرخطی‌اند (بوچارت و همکاران، ۱۹۸۹). برای رسیدن به نموداری با پراکنندگی کمتر، مشابه کار بوچارت و همکاران (۱۹۸۹)، از میانگین‌های ۵ روزه برای تاوایی پتانسیلی زمین گردوار و تابع جریان استفاده شده است. به این صورت که برای هر روز مورد نظر، علاوه بر داده‌های آن روز، از داده‌های ۲ روز قبل و ۲ روز بعد از آن نیز استفاده شده و با میانگین‌گیری از این داده‌ها، نقشه کمیت‌های فوق برای آن روز رسم شده است. برای رسم نمودار پراکنش، نقشه‌های این کمیت‌ها برای هر روز تهیه شده است.

ج) تحلیل نتایج

شکل ۴ نقشه‌های تابع جریان و تاوایی پتانسیلی زمین گردوار در سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال و نمودار پراکنش این دو کمیت برای روزهای ۳۰ نوامبر و ۳ دسامبر را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه تابع جریان در روز ۳۰ نوامبر (شکل ۴a)، پراارتفاع بلاکینگ، ساختاری دوقطبی یافته است و با تقویت در این روز، موجب انحراف شدیدتر جریان‌های مداری شده و آنها را به شکل نصف‌النهاری در آورده است. شباهت بین این شکل و شکل ۱a نشانگر حبس شدن جریان در داخل دوقطبی بلاکینگ است. در روز ۳ دسامبر (شکل ۴d)، ساختار دوقطبی از هم پاشیده شده و فقط پشته‌ای ضعیف از بلاکینگ باقی‌مانده است که انتظار می‌رود در روزهای آینده، تحت تأثیر دو کم‌ارتفاع بریده در اطراف خود قرار

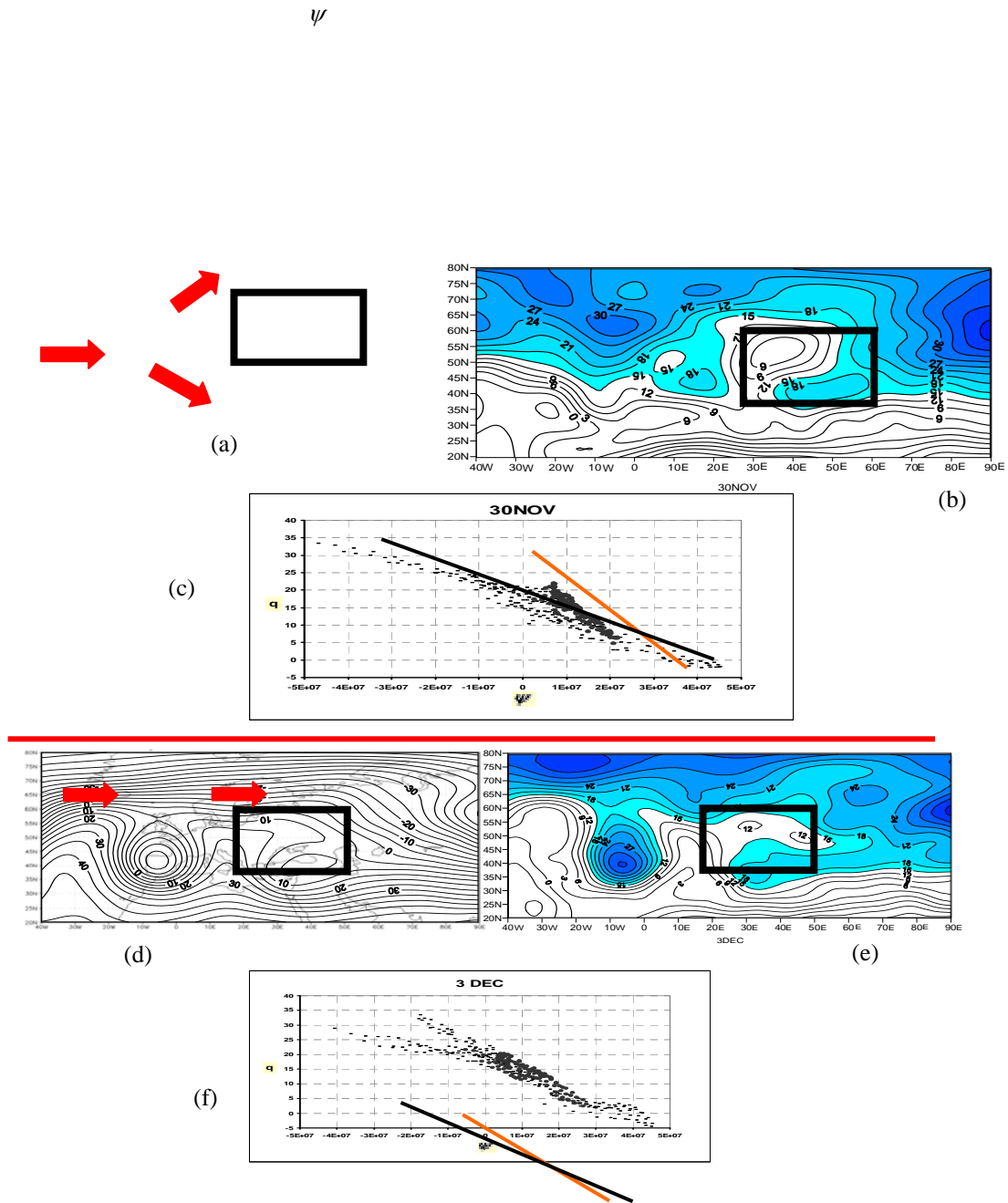
بلاکینگ و شباهت آن با تابع پتانسیل در مودون‌ها، علاوه بر آشکارسازی شباهت ساختار بلاکینگ و مودون فشارورد هم ارز، نشان می‌دهد که سازوکار به دام افتادن که در مودون‌ها هم مشاهده می‌شود، نقش مهمی در پایداری ساختار جای‌گزیده بلاکینگ دارد. در روز ۳ دسامبر (شکل ۴f)، به علت کاهش مقادیر تابع پتانسیل (کاهش شیب نمودار)، چاه پتانسیل عمیقی در ناحیه بلاکینگ وجود ندارد تا شارش‌های جوی را به دام اندازد و از انتشار به سمت شرق این امواج جلوگیری کند.

تغییرات تاوایی پتانسیلی زمین‌گردوار برحسب تابع جریان در مرحله تقویت بلاکینگ در بازه طول جغرافیایی $90^{\circ} E - 40^{\circ} W$ (شامل ناحیه بلاک شده و خارج آن) برای عرض جغرافیایی $45^{\circ} N$ در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل، مقادیر q برحسب ψ برای هریک از نقاط شبکه واقع در بازه طول جغرافیایی فوق، برحسب بالادست بودن ناحیه بلاک، داخل ناحیه بلاک و پایین دست آن تفکیک شده‌اند. در هر سه منحنی، وابستگی مداری q و ψ در داخل و خارج ناحیه بلاکینگ به چشم می‌خورد. با توجه به این شکل، در خارج از ناحیه بلاک شده، حلقه‌هایی نازک با مساحت کم وجود دارد (این حلقه‌ها را می‌توان با وضوح بیشتر در شکل بزرگ شده در کنار شکل ۵ مشاهده کرد؛ نواحی حلقه‌ای شکل ۱ و ۲ به ترتیب برای بالادست و پایین دست منطقه بلاکینگ است). رید و همکاران (۱۹۸۶) نشان داده‌اند که این نواحی بسته بیانگر شار نصف‌النهار q در بازه طول جغرافیایی و در عرض جغرافیایی معین است. از این رو، سطح کوچک این نواحی نشانگر اندک بودن شارهای نصف‌النهار q در مجاورت ناحیه بلاک شده است.

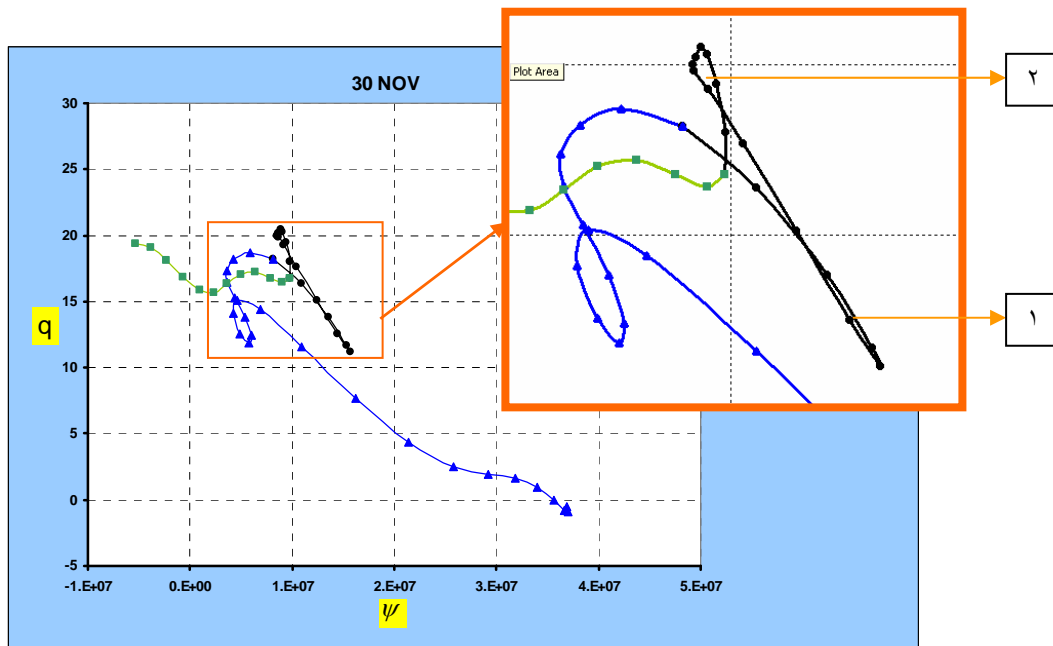
با توجه به شکل، در عرض جغرافیایی موردنظر و در ناحیه بلاک شده، منحنی (آبی رنگ) شیب بیشتری را نشان می‌دهد. این منحنی دارای کمینه و بیشینه متمایزی است که نشان از دو بی‌هنجاری بریده q در داخل ناحیه

برای ناحیه بلاک شده در نمودار پراکنش (شکل ۴c)، روابط متفاوتی مشاهده می‌شود. در روز ۳۰ نوامبر که بلاکینگ ساختار کامل خود را دارد، شیب نقاط بلاک شده بیشتر از شیب نقاط مربوط به نواحی بلاک نشده است. آنچه که نمودار q برحسب ψ در داخل ناحیه بلاک شده را از خارج آن متمایز می‌کند، بی‌هنجاری‌های بریده زیاد q در داخل الگوی بلاکینگ است. علت وجود شیب منفی تر در داخل ناحیه بلاک شده، به طیف پیوسته مقادیر بی‌هنجاری بریده q مربوط می‌شود که در نواحی بلاک نشده وجود ندارد. به عبارتی دیگر، با توجه به این دو نمودار، مشاهده می‌شود که در داخل ناحیه بلاک شده، تابع جریان تغییرات کمی دارد، در حالی که تاوایی پتانسیلی زمین‌گردوار دارای مقادیر گوناگونی است. هر دوی این ویژگی‌ها، به نوعی جای‌گزیده و مجزا بودن ساختار بلاکینگ را مشخص می‌کند؛ به طوری که در ناحیه شارش‌های ضعیف (گرادیان‌های ضعیف ψ)، بی‌هنجاری‌های بریده q به دام افتاده‌اند. در روز ۳ دسامبر (شکل ۴f) که ویژگی جای‌گزیده بلاکینگ در حال تضعیف و میرایی است، شیب نقاط برای هر دو ناحیه بلاک شده و غیر بلاک شده تقریباً یکسان است.

نمودارهای پراکنش q برحسب ψ که برای پدیده بلاکینگ مورد نظر ترسیم شده‌اند، شباهت‌هایی را با نمودار نظری آن (شکل ۱c) که برای جواب‌های مودونی به دست آمده، نشان می‌دهند. در نتیجه می‌توان از تعریف تابع پتانسیل برای این نمودارها استفاده کرد. در داخل ناحیه بلاک شده، شیب نقاط بیشتر است و این به معنی چاه پتانسیل عمیق‌تر در ناحیه بلاکینگ است. این چاه پتانسیل عمیق‌تر می‌تواند به دام افتادن جریان‌های جوی در ناحیه دوقطبی بلاکینگ را توجیه کند. به عبارتی دیگر، این شکل از تابع پتانسیل (مقادیر زیاد منفی) در ناحیه



شکل ۴. نقشه‌های تابع جریان و تاوایی پتانسیلی زمین‌گردوار برای سطح ۳۰۰ هکتوپاسکال همراه با نمودار پراکنش این دو کمیت برای روزهای ۳۰ نوامبر (شکل‌های a تا c) و ۳ دسامبر (شکل‌های d تا f). واحد ψ برابر m^2/s و واحد q برابر $10^{-5}/s$ است و مقادیر تابع جریان بر 10^6 تقسیم شده‌اند. در شکل c و f، خط سیاه‌رنگ مربوط به خارج و خط سرخ‌رنگ مربوط به داخل ناحیه بلاک شده است.



شکل ۵. نمودار پراکنش تاوایی پتانسیلی زمین گردوار برحسب تابع جریان در سطح ۳۰۰ هکتو پاسکال در روز ۳۰ نوامبر برای بازه طول جغرافیایی ۹۰°E - ۴۰°W و عرض جغرافیایی ۴۵°N، همراه با شکل بزرگ شده برای ناحیه داخل بلاکینگ. خطوط آبی رنگ (نقاط مثلثی شکل)، خطوط تیره رنگ (نقاط دایره‌ای شکل) و خطوط سبزرنگ (نقاط مربعی شکل) به ترتیب به نواحی بالادست، داخلی و پایین دست ناحیه بلاک شده مربوط هستند. نواحی ۱ و ۲ نیز نشان دهنده شار نصف‌النهاری q در بالادست و پایین دست ناحیه بلاک شده‌اند.

Haines, K., and J. C. Marshall, ۱۹۸۷, Eddy-forced coherent structures as a prototype of atmospheric blocking. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, ۱۱۳, ۶۸۱-۷۰۴.

Holton, J. R., ۲۰۰۴, *An Introduction to Dynamic Meteorology* (۴th Edition), Elsevier Academic Press.

Illari, L., ۱۹۸۴, A diagnostic study of the potential vorticity in a warm blocking anti-cyclone. *J. Atmos. Sci.*, ۴۱, ۳۵۱۸-۳۵۲۶.

Lejenäs, H., and H. Øakland, ۱۹۸۳, Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from long time series of observational data. *Tellus*, ۳۵A, ۳۵۰-۳۶۲.

McWilliams, J. C., ۱۹۸۰, An application of equivalent modons to atmospheric blocking. *Dyn. Atmos. Oceans*, ۵, ۴۳-۷۲.

Pelly, J. L. and B. J. Hoskins. ۲۰۰۳, A New Perspective on Blocking. *J. Atmos. Sci.* ۶۰, ۷۴۳-۷۵۵.

منابع

محب‌الحجه، ع.، احمدی گیوی، ف. و قائمی، ه.، ۱۳۷۴، بررسی بی‌هنجاری فشار زیاد مستقر در اروپا و تأثیر آن بر روی آب و هوای ایران در اردیبهشت ۱۳۷۱. گزارش نهایی طرح پژوهشی، سازمان هواشناسی کشور.

Butchart, N., K. Haines, and J. C. Marshall, ۱۹۸۹, A theoretical and diagnostic study of solitary waves and atmospheric blocking. *J. Atmos. Sci.*, ۴۶, ۲۰۶۳-۲۰۷۸.

Charney, J. G., and M. E. Stern, ۱۹۶۲, On the stability of internal baroclinic jets in a rotating atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, ۱۹, ۱۵۹-۱۷۲.

Derome, J., ۱۹۸۴, On quasi-geostrophic, finite-amplitude disturbances forced by topography and diabatic heating. *Tellus*, ۳۶۴ ۳۱۳-۳۱۹.

- Read, P. L., P. B. Rhines and A. A. White, ۱۹۸۶,
Geostrophic scatter diagrams and potential
vorticity dynamics. *J. Atmos. Sci.*, **۴۳**, ۳۲۲۶-
۳۲۴۰.
- Stern, M. E., ۱۹۷۵, Minimal properties of
planetary eddies. *J. Mar. Res.*, **۳۳**, ۱-۱۳.
- Verkley, W. T. M., ۱۹۸۴: The construction of
barotropic modons on a sphere. *J. Atmos.
Sci.*, **۴۱**, ۲۴۹۲-۲۵۰۴.