

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):

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

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، $\theta' = \theta - \theta_{ref}$ پریشیدگی 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 مودونها

مودونها ساختارهایی نظری در دینامیک شاره‌های ژئوفیزیکی اند که در این بخش، به توضیحی 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 چاهک‌های 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 جواب‌های ایستور را بدون وجود منبع و چاهک‌ها 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:

اجازه بدهد که در آن واداشت پیچک‌های در مقیاس هم دیدی بتواند یک مد آزاد غیرخطی محلی را ایجاد یا تقویت کند. نخستین نمونه این مد آزاد غیرخطی، مودون فشارورد هم ارز در صفحه β است که مک ویلیامز آن را ارائه کرد و تعمیم آن روی کره را، ورکلی (۱۹۸۷) عملی ساخت. بوچارت و همکاران (۱۹۸۹) با توجه به مطالعات هاینز و مارشال، با معرفی تابع پتانسیل $\Lambda \equiv \frac{dq}{d\psi}$ (که q تاوایی پتانسیلی زمین گردوار و ψ تابع جریان است) روشن ساختند که بسیاری از ویژگی‌های شناخته شده امواج منزوی (Solitary Waves) را می توان از توزیع فضائی این کمیت تعیین کرد.

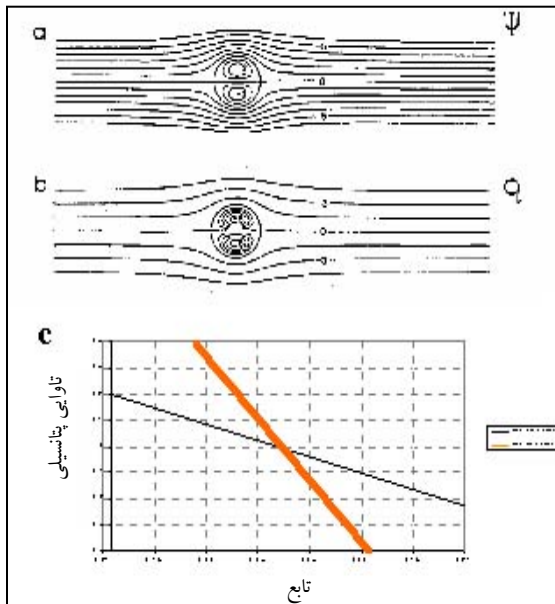
در این مقاله، سعی شده است تا با استفاده از تابع پتانسیل فوق و رسم کردن نمودار پراکنش q بر حسب ψ ، ساختار دینامیکی، مودون فشارورد هم ارز با بلاکینگ جوی مقایسه شود. در بخش ۲، پس از معرفی تاوایی پتانسیلی زمین گردوار، جواب‌های مودونی و ویژگی‌های کلی آن ارائه می شود. در بخش ۳ پس از تحلیل نتایج مطالعات هم دیدی و دینامیکی صورت گرفته روی یک بلاکینگ انتخابی، شباهت جواب‌های 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 کوچک‌تر از یک بودن عدد راسبی و دیگری کوچک بودن مقیاس قائم حرکت در برابر مقیاس افقی آن استوار است. با استفاده از معادله‌های 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} s (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.

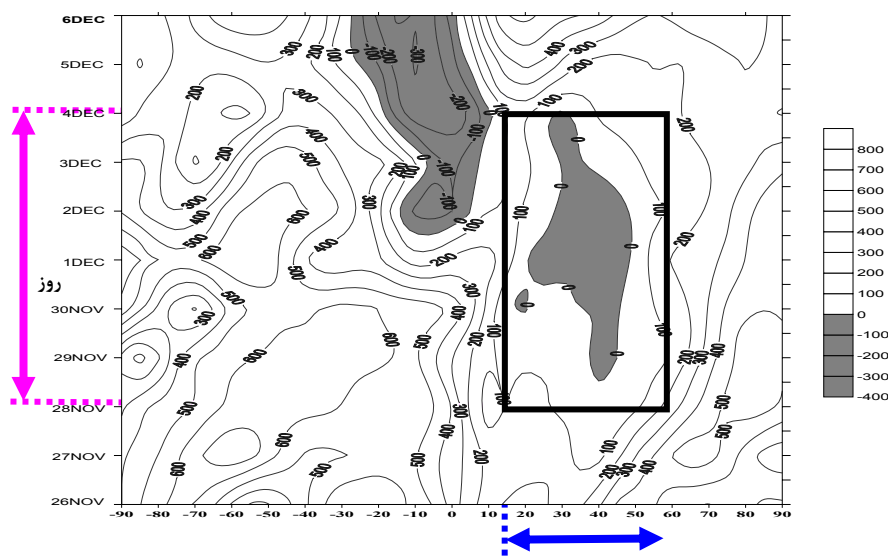
هاینز و مارشال برای حل معادله (۵) و به دست آوردن رابطه (۶) از فرض‌هایی استفاده کردند تا جواب‌های مودونی طوری به دست آید که بتوان از آنها برای مدل‌سازی بلاکینگ جوی استفاده کرد. جواب‌های مودونی بررسی هاینز و مارشال (۱۹۸۷) همراه با نمودار پراکنش q برحسب ψ در شکل (۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده 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 جای‌گرفته 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

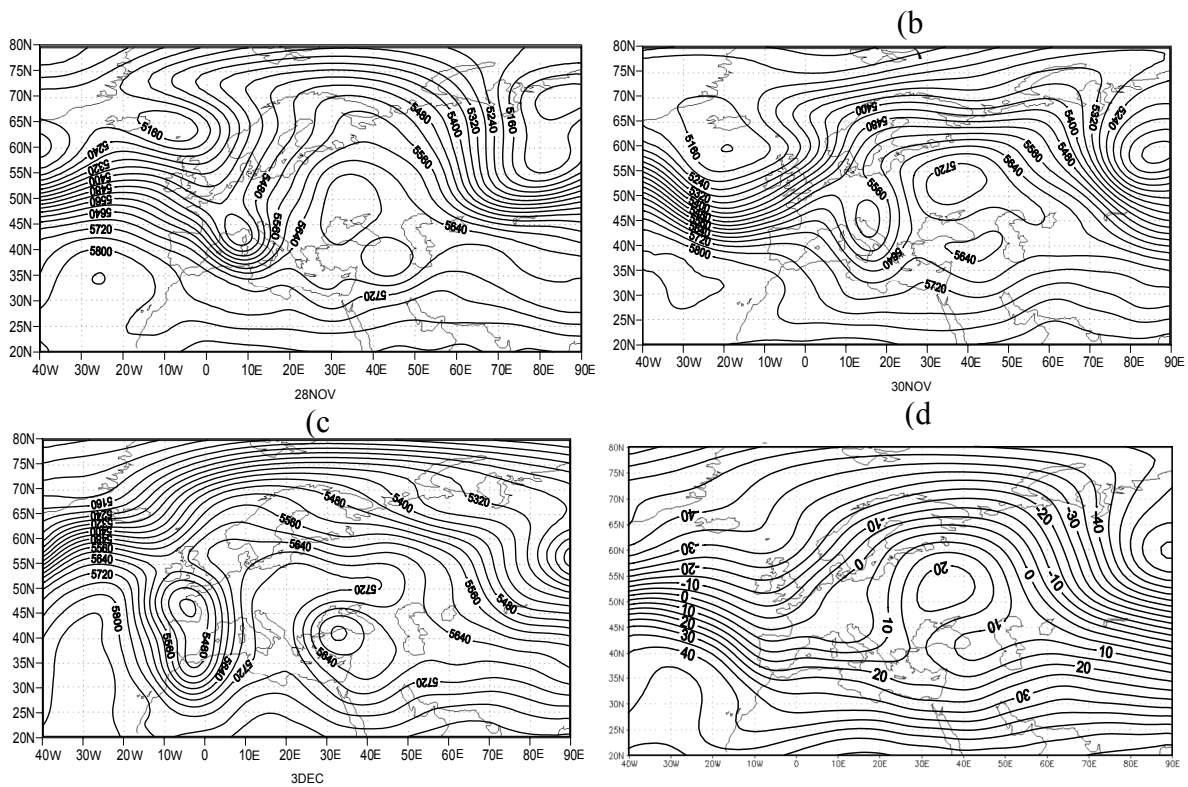
ندارد، اما جریان‌های مداری واقع روی اقیانوس اطلس، به هنگام رسیدن به این ساختار، منحرف شده‌اند و بخش اعظم آنها به صورت نصف‌النهاری درآمده و به سمت قطب جریان می‌یابند. در ساعت 0000UTC روز ۳۰ نوامبر (شکل ۳b)، بلاکینگ شکل کامل یک دوقطبی را گرفته، ولی مکان مراکز پرارتفاع و کم‌ارتفاع آن تغییر چندانی نکرده 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 دوقطبی 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 0000UTC روز ۳ دسامبر (شکل ۳c)، ساختار دوقطبی 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 دوقطبی مؤثر است.

در طول جغرافیایی خاص باشد، هرچند حضور یک کم‌ارتفاع قوی در $40^{\circ}N$ نیز می‌تواند چنین مقدار منفی را ایجاد کند. ویژگی ایستور بودن بلاکینگ را می‌توان در این نمودار مشاهده کرد (قسمتی که در داخل کادر قرار دارد). با توجه به شکل، ناحیه تیره در طی حضور ۶ روزه خود (۲۸ نوامبر تا سوم دسامبر) تقریباً ثابت مانده است؛ در حالی که پرندهای بیشینه مثبت که نشان از وجود جریان‌های معمول در بازه زمانی و مکانی دیگر دارند، به سمت غرب حرکت می‌کنند.

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 0000UTC روز ۲۸ نوامبر (شکل ۳a)، ساختار دوقطبی بلاکینگ بر روی دریای سیاه و غرب دریای خزر در حال شکل‌گیری است. پرارتفاع این دوقطبی 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 دوقطبی هنوز راستای مداری



شکل ۲. نمودار هافمولر برای دوره زمانی ۲۶ نوامبر تا ۶ دسامبر ۲۰۰۴ و بازه مکانی $90^{\circ}E - 90^{\circ}W$. پرندها، مقادیر درون‌یابی شده برای اختلاف ارتفاع ژئوپتانسیلی بین عرض جغرافیایی $60^{\circ}N$ و $40^{\circ}N$ را نشان می‌دهند.



شکل ۳. نقشه‌های ارتفاع ژئوپتانسیلی سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت 0000UTC برای روزهای ۲۸ و ۳۰ نوامبر (a, b) و ۳ دسامبر (c) سال ۲۰۰۴. فاصله پربندها ۴۰ متر است.

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 $\bar{\theta}_g$ در معادله تاوایی پتانسیلی زمین‌گردوار 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 $\bar{\theta}_g$ ، از $\bar{\theta}_g$ 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 زمین‌گردوار، 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.

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 0000UTC 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 زمین‌گردوار 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

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 جریان هوای 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 ۴c)، 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

و ثابت است. مشابه این نتیجه، در مطالعات ایلاری (۱۹۸۴) و دیروم (۱۹۸۴) نیز به دست آمده است.

برای ناحیه بلاک شده در نمودار پراکنش (شکل ۴c)، روابط متفاوتی مشاهده می شود. 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 می کند، بی هنجاری های بریده زیاد q در داخل الگوی بلاکینگ است. علت وجود شیب منفی تر در داخل ناحیه بلاک شده، به طیف پیوسته مقادیر بی هنجاری بریده q مربوط می شود که در نواحی بلاک نشده وجود ندارد. به عبارتی دیگر، با توجه به این دو نمودار، مشاهده می شود که در داخل ناحیه بلاک شده، تابع جریان تغییرات کمی دارد، در حالی که تاوایی پتانسیلی زمین گردوار دارای مقادیر گوناگونی است. هر دوی این ویژگی ها، به نوعی جای گزیده و مجزا بودن ساختار بلاکینگ را مشخص می کند؛ به طوری که در ناحیه شارش های ضعیف (گرادیان های ضعیف ψ)، بی هنجاری های بریده q به دام افتاده اند. در روز ۳ دسامبر (شکل ۴f) که ویژگی جای گزیدگی 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 شده اند، شباهت هایی را با نمودار نظری آن (شکل ۱c) که برای جواب های مودونی به دست آمده، نشان می دهند. در نتیجه می توان از تعریف تابع پتانسیل برای این نمودارها استفاده کرد. در داخل ناحیه بلاک شده، شیب نقاط بیشتر است و این به معنی چاه پتانسیل عمیق تر در ناحیه بلاکینگ است. این چاه پتانسیل عمیق تر می تواند به دام افتادن جریان های جوی در ناحیه دوقطبی بلاکینگ را توجیه کند. به عبارتی دیگر، این شکل از تابع پتانسیل (مقادیر زیاد منفی) در ناحیه

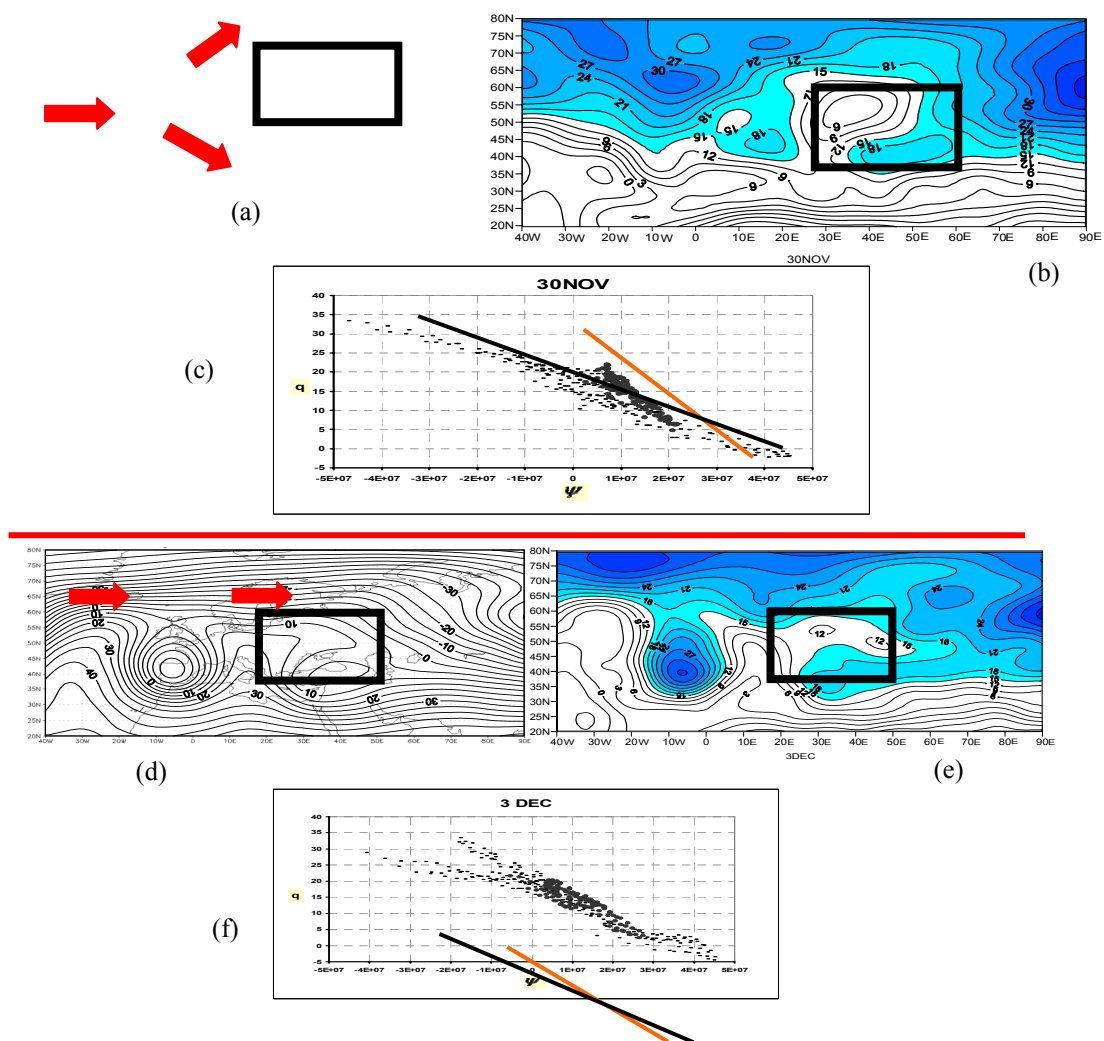
بلاکینگ و شباهت آن با تابع پتانسیل در مودون ها، علاوه بر آشکارسازی شباهت ساختار بلاکینگ و مودون فشارورد هم ارز، نشان می دهد که سازوکار به دام افتادن که در مودون ها هم مشاهده می شود، نقش مهمی در پایداری ساختار جای گزیده بلاکینگ دارد. در روز ۳ دسامبر (شکل ۴f)، به علت کاهش مقادیر تابع پتانسیل (کاهش شیب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

تغییرات تاوایی پتانسیلی زمین گردوار 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 شده اند. در هر سه منحنی، وابستگی مداری q و ψ در داخل و خارج ناحیه بلاکینگ به چشم می خورد. با توجه به این شکل، در خارج از ناحیه بلاک شده، حلقه هایی نازک با مساحت کم وجود دارد (این حلقه ها را می توان با وضوح بیشتر در شکل بزرگ شده در کنار شکل ۵ مشاهده کرد؛ نواحی حلقه ای شکل ۱ و ۲ به ترتیب برای بالادست و پایین دست منطقه بلاکینگ است). رید و همکاران (۱۹۸۶) نشان داده اند که این نواحی بسته بیانگر شار نصف النهاری q در بازه طول جغرافیایی و در عرض جغرافیایی معین است. از این رو، سطح کوچک این نواحی نشانگر اندک بودن شارهای نصف النهاری q در مجاورت ناحیه بلاک شده است.

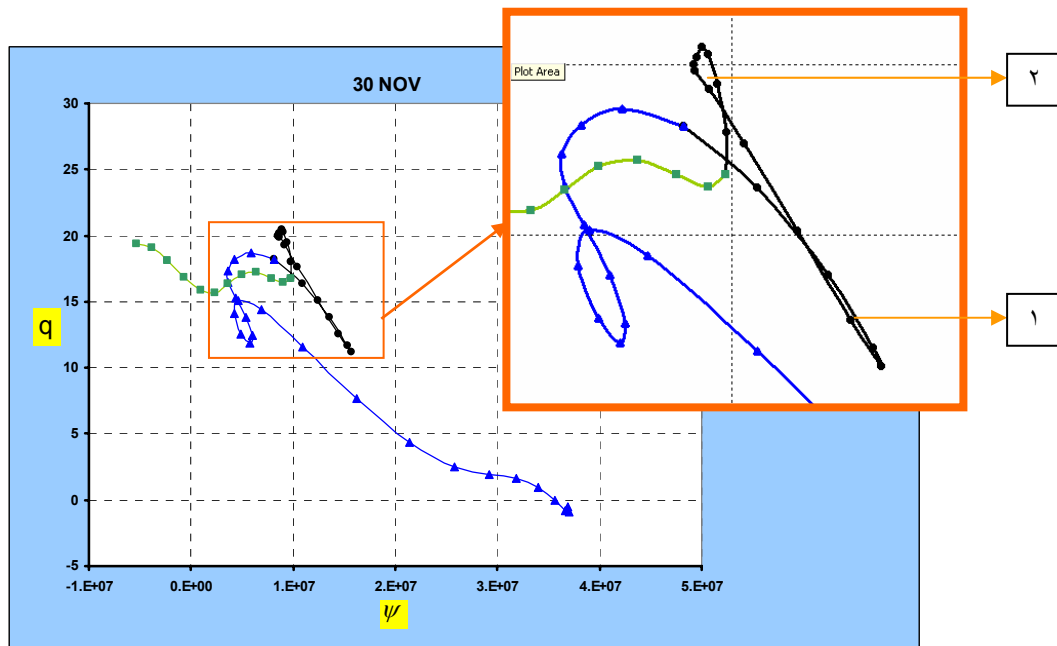
با توجه به شکل، در عرض جغرافیایی مورد نظر و در ناحیه بلاک شده، منحنی (آبی رنگ) شیب بیشتری را نشان می دهد. این منحنی دارای کمینه و بیشینه متمایزی است که نشان از دو بی هنجاری بریده q در داخل ناحیه

منحنی تیره، شیب دو منحنی آبی و سبز تقریباً یکسان است. این ویژگی حاکی از آن است که در بازه‌ای که شارش، شکل تقریبی مد آزاد را دارد، رابطه خطی یکسانی بین q و ψ در بالادست و پایین دست ناحیه بلاکینگ برقرار است و نشان می‌دهد که چاه پتانسیل منفی در این نواحی، مقادیری یکسان و کمتر از نواحی داخلی بلاکینگ دارد.

بلاکینگ دارد. بی‌هنجاری مثبت ناشی از پراترفاع بلاکینگ و بی‌هنجاری منفی مربوط به کم‌ارتفاع است. در حقیقت، این تمایز پدید آمده در منحنی فوق، مشخصه اصلی ظهور یک ساختار دو قطبی در ناحیه مورد نظر است. تغییرات شدیدتر بی‌هنجاری منفی با طول جغرافیایی، نسبت به تغییرات کند بی‌هنجاری مثبت، به خوبی ماهیت هموارتر بودن تغییرات q در ناحیه پراترفاع بلاکینگ را نشان می‌دهد. همچنین درست در بالادست و پایین دست



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 زمین‌گردوار برحسب تابع جریان در سطح ۳۰۰ هکتو پاسکال در روز ۳۰ نوامبر برای بازه طول جغرافیایی $90^{\circ}E - 40^{\circ}W$ و عرض جغرافیایی $45^{\circ}N$ ، همراه با شکل بزرگ شده برای ناحیه داخل بلاکینگ. خطوط آبی‌رنگ (نقاط مثلثی شکل)، خطوط تیره رنگ (نقاط دایره‌ای شکل) و خطوط سبزرنگ (نقاط مربعی شکل) به ترتیب به نواحی بالادست، داخلی و پایین‌دست ناحیه بلاک شده مربوط هستند. نواحی ۱ و ۲ نیز نشان دهنده شار نصف‌النهاری q در بالادست و پایین دست ناحیه بلاک شده‌اند.

- Holton, J. R., 2004, An Introduction to Dynamic Meteorology (4th Edition), Elsevier Academic Press.
- Illari, L., 1984, A diagnostic study of the potential vorticity in a warm blocking anticyclone. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 3518-3526.
- Lejenäs, H., and H. Øakland, 1983, Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from long time series of observational data. *Tellus*, **35A**, 350-362.
- McWilliams, J. C., 1980, An application of equivalent modons to atmospheric blocking. *Dyn. Atmos. Oceans*, **5**, 43-72.
- Pelly, J. L. and B. J. Hoskins. 2003, A New Perspective on Blocking. *J. Atmos. Sci.* **60**, 743-755.
- Read, P. L., P. B. Rhines and A. A. White, 1986, Geostrophic scatter diagrams and potential vorticity dynamics. *J. Atmos. Sci.*, **43**, 3226-3240.
- Stern, M. E., 1975, Minimal properties of planetary eddies. *J. Mar. Res.*, **33**, 1-13.
- Verkley, W. T. M., 1984: The construction of barotropic modons on a sphere. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 2492-2504.

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, 1989, A theoretical and diagnostic study of solitary waves and atmospheric blocking. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 2063-2078.
- Charney, J. G., and M. E. Stern, 1962, On the stability of internal baroclinic jets in a rotating atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, **19**, 159-172.
- Derome, J., 1984, On quasi-geostrophic, finite-amplitude disturbances forced by topography and diabatic heating. *Tellus*, **36**, 313-319.
- Haines, K., and J. C. Marshall, 1987, Eddy-forced coherent structures as a prototype of atmospheric blocking. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **113**, 681-704.