

## مطالعه بسته‌موج‌های کژفشار در فوریه ۲۰۰۳

### II: بررسی دینامیکی بسته‌موج‌ها از دیدگاه انرژی

فرهنگ احمدی گیوی\*، علیرضا محب‌الحجه\* و میترا یاوری\*

\*مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵

(دریافت مقاله: ۸۳/۱۲/۲۴، پذیرش مقاله: ۸۴/۸/۲۴)

#### چکیده

در بخش دوم این مقاله، با استفاده از داده‌های پیش‌بینی مدیریت بین‌المللی اقیانوسی و جوی (NOAA) که از سازمان هواشناسی کشور به دست آمد، انتشار بسته موج‌های شناسایی شده در بخش اول به تفصیل از دیدگاه انرژی مورد بررسی دینامیکی قرار می‌گیرد. بدین منظور شش ناوه از بسته موج‌های فوق که دارای تکوین جریان‌سو بوده‌اند، انتخاب شده و مقدار انرژی جنبشی پیچکی همراه با مقادیر دیگر جملات مهم موجود در رابطه بودجه انرژی در طول چرخه عمر هر یک از ناوه‌ها محاسبه شده‌اند. جملات بررسی شده شامل همگرایی شار آزمین‌گرد، همگرایی شار کل، تبدیل کژفشار انرژی، تبدیل فشارورود انرژی و جمله باقی‌مانده است.

نتایج نشان می‌دهد که تقریباً در همه مواردی که گسترش موج به دلیل پاشندگی جریان‌سو بوده، تبدیل کژفشاری یک منبع عمده انرژی به هنگام بلوغ و میرایی ناوه بوده است. تبدیل کژفشاری سبب پریشیدگی اولیه شده است، سپس این پریشیدگی تکوین جریان‌سو را شروع می‌کند. عامل اصلی در تکوین جریان‌سو، همگرایی شارهای آزمین‌گرد است که باعث تابش انرژی از پادجریان‌سوی پریشیدگی موجود به جریان‌سوی آن می‌شود. زمانی که امواج کژفشار بالغ می‌شوند، این موضوع سبب تضعیف موج و رشد یک موج جدید در جریان‌سو می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انرژی جنبشی پیچکی، بودجه انرژی، تبدیل کژفشار انرژی، تبدیل فشارورود انرژی، همگرایی شار آزمین‌گرد

#### ۱ مقدمه

تکوین جریان‌سو نشان می‌دادند، از دیدگاه انرژی نیز مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها دریافتند پس از آن که تبدیل کژفشاری موجب رشد پریشیدگی آغازین می‌شود، پریشیدگی‌ها خود تکوین جریان‌سو را شروع می‌کنند. آنچه که عامل تکوین جریان‌سو در امواج کژفشار می‌شود، همگرایی شارهای ژئوپتانسیلی آزمین‌گرد است که از پادجریان‌سوی پریشیدگی‌های موجود، انرژی تابش می‌کنند. چنگ (۱۹۹۳) نشان داد که روی منطقه غرب اقیانوس آرام که ناپایداری کژفشار بسیار بالایی وجود دارد، امواج عمدتاً به دلیل تبدیل کژفشاری رشد می‌کنند. زمانی که موج بالغ می‌شود، توسط شارهای ژئوپتانسیلی آزمین‌گرد شروع به تابش انرژی به جریان‌سوی جریان می‌کند. این موضوع موجب تضعیف موج و رشد یک

بررسی‌های صورت گرفته در دو دهه اخیر در ارتباط با بسته موج‌های کژفشار در سطوح میانی و زیرین وردسپهر نشان داده است که تکوین جریان‌سو نقش مهمی در چرخه زندگی امواج کژفشار ایفا می‌کند. لی و هلد (۱۹۹۳) تکوین جریان‌سوی امواج کژفشار را در مدل‌های عددی برای جواب ایدئال و مشاهدات مطالعه کرده‌اند. در همه مدل‌ها نظیر مدل دولایه‌ای شبه زمین‌گرد تا مدل‌های گردش عمومی که پیچیدگی بیشتری دارند، می‌توان بسته‌های موجی را که ضمن حفظ هم‌دوسی با سرعت گروهی بیش از تندی فاز منتشر می‌شوند، آشکار کرد. این نکته، به وضوح تکوین جریان‌سو در مدل‌های عددی را نشان می‌دهد. اورلانسکی و چنگ (۱۹۹۳) امواج کژفشاری را که

می‌کنند. این موضوع همانی است که از آن با عنوان «تکوین جریان سو» یاد می‌کنیم.

چنگ از دیدگاه انرژی نیز به بررسی چرخه عمر این ناوه‌ها پرداخت تا دریابد آیا از نقطه نظر دینامیکی، پاشندگی موجب گسترش ناوه شده یا این که گسترش جریان سوی ناوه‌ها کاملاً تصادفی بوده است. معادله تحول انرژی جنبشی پیچکی (EKE) که چنگ (۲۰۰۰) از آن استفاده کرده یا همان که اورلانسکی و کاتزفی (۱۹۹۱) آن را به کار برده‌اند، به صورت زیر است (برای جزئیات بیشتر ر. ک. اورلانسکی و کاتزفی، ۱۹۹۱).

$$\frac{\partial K}{\partial t} = -\nabla \cdot (\vec{v}K + \vec{v}_a \phi') - \omega' \alpha' - \vec{v} \cdot (\vec{v}_3 \cdot \nabla_3) \vec{v} + \vec{v}' \cdot (\vec{v}_3 \cdot \nabla_3) \vec{v}' - \frac{\partial}{\partial p} \omega K - \frac{\partial}{\partial p} \omega' \phi' + \text{Res} \quad (1)$$

K انرژی جنبشی پیچکی بر جرم واحد و  $v'$ ،  $\omega'$ ،  $\alpha'$  و  $\phi'$  به ترتیب پریشیدگی‌های بردار افقی سرعت، سرعت قائم فشاری، حجم ویژه و ارتفاع ژئوپتانسیلی است. به طور کلی، خط تیره بالای کمیت‌ها نشانگر میانگین زمانی (فصلی یا ماهانه) و علامت پریم، انحراف از میانگین زمانی یا پریشیدگی است. بردارها و علامت گرادیان با اندیس ۳ نشانگر بردارهای سه‌بعدی و بردارهایی که اندیس ندارند، نشان دهنده بردارهای افقی‌اند. اندیس a مؤلفه افقی باد آزمون‌گرد و Res باقی‌مانده بودجه است.

جمله اول رابطه (۱) از دو قسمت شار انرژی فرارفتی و شار انرژی پاشنده تشکیل شده و ترکیب این دو قسمت همگرایی شار انرژی کل است. جمله دوم تبدیل کژفشار انرژی، جمله‌های سوم و چهارم تبدیل فشارورد انرژی، جمله‌های پنجم و ششم به ترتیب همگرایی شارهای فرارفتی و پاشنده در راستای قائم و جمله آخر باقی‌مانده بودجه است. جمله باقی‌مانده در واقع شامل اثر جمعی (الف) فرایندهای ناپایستار در نظر گرفته نشده در رابطه

موج جدید در جریان سو می‌شود. همچنین در منطقه شرق اقیانوس آرام که ناپایداری کژفشار کمتری وجود دارد، امواج عمدتاً به دلیل همگرایی شارهای انرژی در ناحیه پادجریان سوی امواج موجود، رشد می‌کنند. آنچه موجب تضعیف آن‌ها می‌شود، تابش شارهای انرژی به سمت جریان سو است. این امر منجر به رشد یک موج جدید در سمت جریان سو می‌شود.

در ادامه مقاله اول از دو مقاله تکمیلی، اینجا تحول زمانی بودجه انرژی جنبشی پیچکی و هر یک از جملات مهم بودجه انرژی برای چند ناوه مربوط به بسته موج‌های شناسایی شده در ماه فوریه ۲۰۰۳ بررسی خواهد شد. از مقایسه نتایج می‌توان به سهم هر یک از جملات به هنگام تحول ناوه‌ها، پی برد. قبل از ارائه نتایج حاصل از بررسی صورت گرفته در این مقاله، به مبانی نظری مورد نیاز و خلاصه‌ای از پیشینه این موضوع می‌پردازیم.

## ۲ بررسی بسته‌های موج مشاهده شده از دیدگاه انرژی

چنگ (۲۰۰۰) با استفاده از داده‌های تابستان سال‌های ۱۹۸۴ و ۱۹۸۵ نیم‌کره جنوبی که ECMWF تهیه کرده بود، بسته‌های موج در وردسپهر زبرین و چرخه زندگی امواج کژفشار همراه با این بسته‌های موج را مورد مطالعه قرار داد. بسته‌های موج با پوش آن‌ها شناسایی شده‌اند. چنگ پوش را با استفاده از روش وامدوله‌سازی مختلط (بلومفیلد، ۲۰۰۰) که روی  $v'$ ، پریشیدگی مؤلفه نصف‌النهاری باد تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال اعمال کرد، به دست آورد. وی برای بسته موج اول که دوره عمر طولانی‌تری داشت، توانست ده ناوه، برای بسته موج دوم هفت ناوه و برای بسته موج سوم، چهار ناوه شناسایی کند. او مشاهده کرد ناوه‌ها به‌طور متوالی به سمت جریان سو رشد می‌کنند و بسته‌های موج با سرعت گروهی که بسیار بیشتر از تندی فاز ناوه‌هاست، به سمت شرق حرکت

سطح زمین تا سطح ۱۰۰ هکتوپاسکال میانگین گیری شده است. در اینجا، جمله‌های پنجم و ششم با جمله باقی مانده ترکیب شده و این ترکیب در حکم باقی مانده بودجه انرژی در نظر گرفته شده است. برای هر کمیت دلخواه  $X$ ، متوسط وزن دار جرمی در راستای قائم از سطح ۱۰۰۰ تا سطح ۱۰۰ هکتوپاسکال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\langle X \rangle = \frac{\int_{100}^{1000} X dp}{\int_{100}^{1000} dp} \approx \frac{5000 \left[ X_1 + 2 \sum_{i=2}^9 X_i + X_{10} \right]}{90000} = \frac{1}{18} (X_1 + 2 \sum_{i=2}^9 X_i + X_{10}) \quad (2)$$

که در رابطه فوق،  $X_1$  تا  $X_{10}$  معرف مقدار کمیت  $X$  در ترازهای ۱۰۰، ۲۰۰، ... تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال است. برای تعیین شار آزمون گرد، ابتدا پریشیدگی‌های  $\phi$ ،  $u$  و  $v$  نسبت به میانگین زمانی یک ماهه، به ترتیب  $\phi'$ ،  $u'$  و  $v'$  محاسبه شده و آنگاه مؤلفه‌های زمین گرد پریشیدگی باد را از روابط زیر به دست می‌آورند:

$$\begin{cases} u'_g = \frac{-1}{fR} \frac{\partial \phi'}{\partial \varphi} \\ v'_g = \frac{1}{fRCos\varphi} \frac{\partial \phi'}{\partial \lambda} \end{cases} \quad (3)$$

که  $f = 2\Omega \sin \varphi$  پارامتر کوریولیس،  $R$  شعاع زمین،  $\varphi$  عرض جغرافیایی و  $\lambda$  طول جغرافیایی‌اند. مؤلفه‌های غیر زمین گرد پریشیدگی باد نیز از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{cases} u'_a = u' - u'_g \\ v'_a = v' - v'_g \end{cases} \quad (4)$$

برای محاسبه جمله تبدیل کژ فشاری، به کمک معادله حالت، این جمله به صورت  $-\frac{R}{p} \omega' T'$  در می‌آید. با

(۱)، (ب) خطای موجود در داده‌ها و (پ) خطای محاسبه جملات رابطه (۱) است. این سه عامل عدم قطعیت در رابطه (۱) را نمی‌توان فقط با در اختیار داشتن داده‌های NOAA از هم جدا کرد. برای بررسی جامع‌تر، داده‌های کامل‌تر یک مدل عددی لازم است که موضوع پژوهش‌های آتی خواهد بود.

بر پایه نتایج چنگ (۲۰۰۰)، در مرحله رشد ده ناوه بسته موج شماره ۱، در چهار مورد همگرایی جریان آزمون گرد، در سه مورد تبدیل کژفشاری و در یک مورد تبدیل کژفشاری و همگرایی شار آزمون گرد توأمأ بیشترین سهم را در رابطه (۱) داشته‌اند. برای دو ناوه دیگر، فرارفت بزرگ‌ترین جمله بود. چنگ در این کار نشان داده است چنانچه سهم ناشی از فرارفت و جریان‌های آزمون گرد به صورت شار انرژی کل با هم ترکیب شوند، نتیجه حاصل تقریباً در دو سوم از ده مورد جمله مؤثر خواهد بود. شار انرژی تنها برای دو ناوه سهم مؤثر و برجسته‌ای به هنگام رشد آنها نداشته است.

چنگ (۲۰۰۰) پس از آنکه نتیجه می‌گیرد که به هنگام گسترش ناوه‌ها، انتقال انرژی از پاد جریان سوی ناوه به سمت جریان سو سهم مؤثری در بودجه انرژی آنها دارد، این مسئله را با الگوی پیشنهادی سیمونز و هاسکینز (۱۹۷۸ و ۱۹۸۰) تحت عنوان رشد کژفشاری/ تضعیف فشاروردی مقایسه می‌کند. او نتیجه می‌گیرد که اگرچه الگوی پیشنهادی سیمونز و هاسکینز برای توصیف کلی مجموعه موج‌های کژفشار در یک نیم کره، توصیف خوبی می‌تواند باشد، اما در توضیح تکوین پشته‌ها و ناوه‌ها به صورت جداگانه که دینامیک آنها تحت تأثیر پاشندگی قرار دارد، ناتوان است.

### ۳ مطالعه ناوه‌های شناسایی شده از دیدگاه انرژی

ابتدا به طور خلاصه به چگونگی محاسبه جملات رابطه (۱) اشاره می‌شود. هر جمله به کار رفته در رابطه (۱) از

## ۳-۱ بررسی انرژی ناوهای یک و دو (۳-۵ فوریه)

شکل ۱ تحول انرژی جنبشی پیچکی (EKE) همراه با سهم جملات موجود در بودجه انرژی (رابطه ۱) مربوط به دو ناوه را که از سطح زمین تا سطح ۱۰۰ هکتوپاسکال میانگین گیری شده است، برای روز سوم فوریه نشان می دهد. جمله های همگرایی شار انرژی کل، همگرایی شار آزمین گرد، جمله باقی مانده و تبدیل کثرفشاری از جمله های دیگر بزرگ ترند.

در روز سوم، ناوه یک، بین ۳۰ تا ۹۰ درجه غربی و ناوه دو، بین ۳۰ درجه غربی و ۳۰ درجه شرقی واقع شده است (شکل ۱-۱). ناوه یک در این روز عمیق و ناوه دو ضعیف است. هر دو ناوه، انرژی جنبشی پیچکی بالایی دارند. در روز چهارم (شکل نشان داده نشده است)، ناوه دو عمیق تر شده و مرکز EKE در جریان سوی آن تقویت یافته است. با تضعیف EKE در مرکز و جریان سوی ناوه یک، این ناوه تضعیف شده است. در روز پنجم (شکل ۲-۱)، مرکز EKE در پاد جریان سوی ناوه دو تقویت شده است، اما در ناوه یک تضعیف دیده می شود.

حال به نقش هریک از جملات بودجه انرژی می پردازیم. ابتدا جمله همگرایی شار آزمین گرد بررسی می شود. در روز سوم که ناوه یک قوی و پراثری است، بردارهای شار آزمین گرد از مرکز این ناوه به سمت جریان سوی آن قرار دارند (شکل ۱-۲). مرکز همگرایی در ۵۰ درجه غربی و ۵۷ درجه شمالی واقع شده است. بردارها به خوبی نشان می دهند که انرژی از ناحیه پادجریان سوی این ناوه به سمت مرکز و از مرکز آن به سمت جریان سو در حال انتقال است. با گذشت زمان، همگرایی شدت می یابد و مرکز همگرایی به سوی شرق و پادجریان سوی ناوه دو، جابه جا شده است. نقشه روز چهارم (شکل نشان داده نشده است)، به وضوح تابش انرژی از ناحیه جریان سوی ناوه یک به پادجریان سوی ناوه

استفاده از پریشیدگی های دما ( $T'$ ) و سرعت قائم فشاری ( $\omega'$ ) می توان روابط زیر را نوشت:

$$-\omega'\alpha' = -\frac{R}{P}\omega'T' \quad , \quad \alpha = \frac{RT}{P} \quad , \quad \alpha' = \frac{RT'}{P} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} -\tilde{v}' \cdot (\tilde{v}'_3 \cdot \nabla_3) \tilde{v} &= -\tilde{v}' \cdot \left[ \left( u' \frac{\partial}{\partial x} + v' \frac{\partial}{\partial y} + \omega' \frac{\partial}{\partial p} \right) \right] \\ & \left( \hat{u}i + \hat{v}j \right) = - \left[ u' \left( u' \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + v' \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \omega' \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} \right) + v' \right. \\ & \left. \left( u' \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + v' \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \omega' \frac{\partial \bar{v}}{\partial p} \right) \right] = \\ & - \left[ u'^2 \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + u'v' \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + u'\omega' \frac{\partial \bar{u}}{\partial p} + u'v' \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + v'^2 \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right. \\ & \left. + v'\omega' \frac{\partial \bar{v}}{\partial p} \right] \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{v}' \cdot (\tilde{v}'_3 \cdot \nabla_3) \tilde{v}' &= \tilde{v}' \cdot \left[ \left( u' \frac{\partial}{\partial x} + v' \frac{\partial}{\partial y} + \omega' \frac{\partial}{\partial p} \right) \left( u'i + v'j \right) \right] \\ &= \tilde{v}' \cdot \left[ \left( u' \frac{\partial u'}{\partial x} + v' \frac{\partial u'}{\partial y} + \omega' \frac{\partial u'}{\partial p} \right) \hat{i} + \left( u' \frac{\partial v'}{\partial x} + v' \frac{\partial v'}{\partial y} + \right. \right. \\ & \left. \left. \omega' \frac{\partial v'}{\partial p} \right) \hat{j} \right] \\ &= u' \left( u' \frac{\partial u'}{\partial x} + v' \frac{\partial u'}{\partial y} + \omega' \frac{\partial u'}{\partial p} \right) + v' \left( u' \frac{\partial v'}{\partial x} + v' \frac{\partial v'}{\partial y} + \right. \\ & \left. \omega' \frac{\partial v'}{\partial p} \right) \quad (7) \end{aligned}$$

در این مقاله، شش ناوه از بسته موج های شناسایی شده در مقاله شماره ۱ انتخاب و از دیدگاه انرژی بررسی شده است. درانتخاب ناوه ها به انرژی ناوه و تکوین جریان سوی آن توجه داشته ایم.

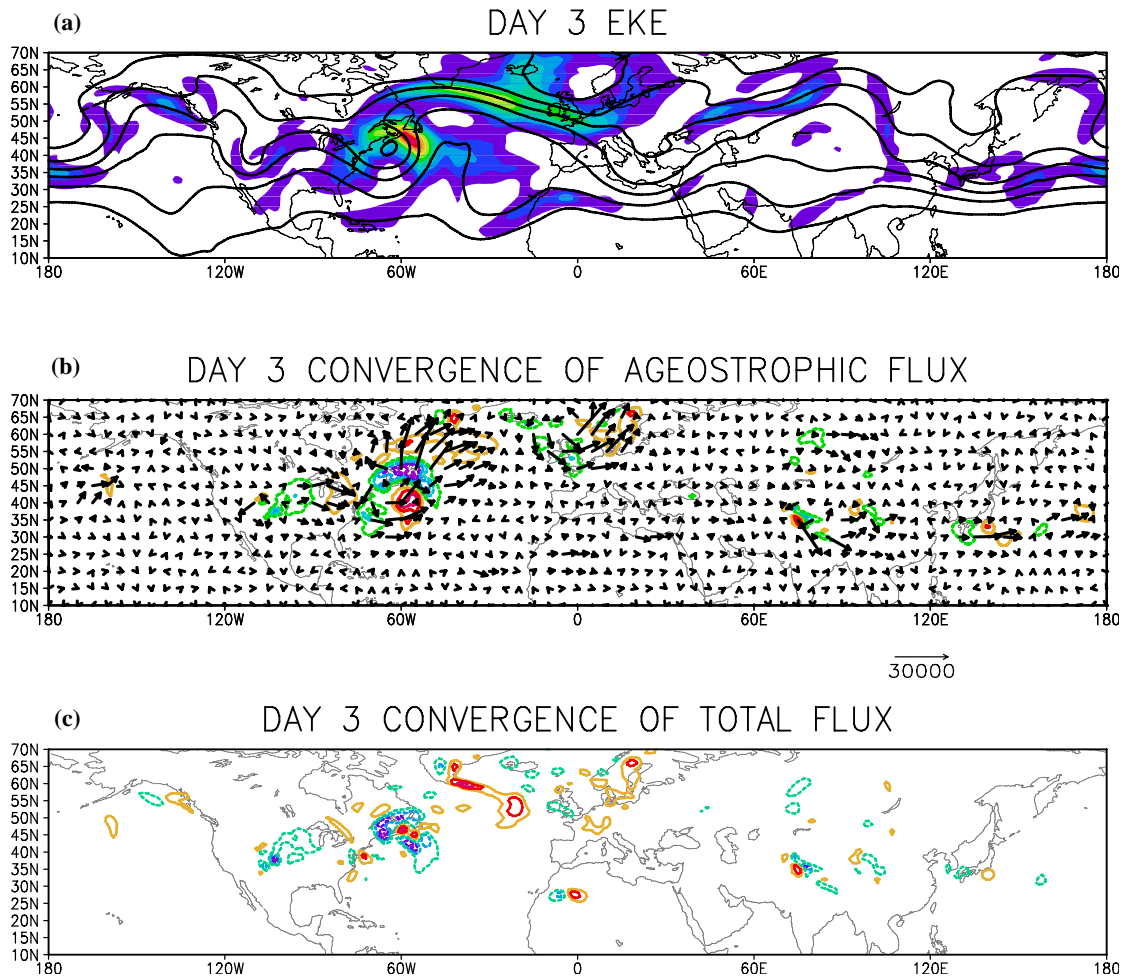
انرژی را در جریان‌سوی ناوه یک کاهش داده است. در کل سهم این جمله به هنگام بلوغ ناوه یک مثبت بوده و تأثیر چندانی در رشد ناوه دو نداشته است.

جمله نخست تبدیل فشارورودی در روز سوم (شکل e-1)، انرژی مرکز ناوه یک را افزایش داده و در ناحیه جریان‌سو، موجب کاهش انرژی شده است. این جمله همچنین انرژی مرکز ناوه دو را کاهش داده و نواحی کوچک مثبت اطراف آن، انرژی را افزایش داده‌اند. در روز چهارم (شکل نشان داده نشده است)، روند کاهش انرژی در جریان‌سوی ناوه یک به میزان زیادی کاهش و در مرکز ناوه دو به شدت تقویت شده است. البته نواحی مثبت اطراف آن، انرژی را به میزان جزئی افزایش داده‌اند؛ اما کاهش و اتلاف انرژی در مرکز ناوه دو توسط این جمله بسیار چشم‌گیر است. در روز پنجم (شکل e-2)، ناوه دو عمیق‌تر شده و کاهش انرژی در ناحیه جریان‌سوی آن اندکی کاهش یافته است. در مجموع، این جمله بیشتر سهم منفی دارد و به عبارتی موجب کاهش انرژی ناوه‌ها شده است.

جمله دوم تبدیل فشارورود انرژی در روز سوم (شکل نشان داده نشده است)، انرژی مرکز ناوه یک را کاهش داده و منطقه مثبت تبدیل فشارورود انرژی، موجب افزایش انرژی در ناحیه پادجریان‌سوی ناوه دو شده است. این روند در روز چهارم هم ادامه داشته و تقویت شده است. در روز پنجم (شکل نشان داده نشده است)، انرژی پادجریان‌سوی ناوه یک افزایش یافته، اما انرژی در جریان‌سوی آن در حال کاهش است. در همین روز که ناوه دو عمیق‌تر هم شده است، انرژی در پادجریان‌سو و مرکز آن افزایش نشان می‌دهد. نتایج جمله تبدیل فشارورود، با نتایج جملات شار آزمین‌گرد و شار کل همخوانی دارد. در ارتباط با نقش جمله باقی‌مانده در بودجه انرژی (شکل f-1)، مشاهده می‌شود که این جمله یکی از جملات بزرگ رابطه انرژی است. در روز سوم، این

دو را نشان می‌دهد. ناوه دو در این روز خیلی عمیق نبوده و در حال رشد است. ناوه دو در روز پنجم عمیق‌تر و بردارهای شار آزمین‌گرد در پادجریان‌سوی آن همگرا شده‌اند (شکل b-2). تابش انرژی از ناحیه جریان‌سوی ناوه یک مشاهده می‌شود. بردارهای باد نسبت به روز سوم، بزرگ‌تر شده‌اند. در این روز، پادجریان‌سوی ناوه یک، از جریان‌سوی ناوه سمت چپ مجاور آن در حال دریافت انرژی است. تابش انرژی از ناحیه جریان‌سوی ناوه‌ها به پادجریان‌سوی ناوه مجاور، تکوین جریان‌سوی ناوه‌ها را به وضوح نشان می‌دهد که با نتایج چنگ (۲۰۰۰) سازگار است. نتایج حاصل از نقشه‌های همگرایی شار انرژی کل (شکل‌های c-1 و c-2)، به خوبی با نقشه‌های همگرایی شار آزمین‌گرد همخوانی دارد. شار انرژی کل از دو قسمت شار پاشنده و شار فرارفتی تشکیل شده است. اگر شار فرارفتی از لحاظ مقدار بزرگ باشد، فقط مراکز بیشینه EKE را جابه‌جا می‌کند و هیچ تأثیری در تغییر آن ندارد. طی روزهای سوم تا پنجم، در مناطقی که تابش انرژی به صورت شار آزمین‌گرد است، شار پاشنده هم به اتلاف انرژی کمک می‌کند. از سوی دیگر، در مناطقی که همگرایی شار آزمین‌گرد وجود دارد، مثل پادجریان‌سوی ناوه دو، شار کل موجب افزایش انرژی شده است.

در ارتباط با سهم جمله تبدیل کژ فشاری در انرژی ناوه‌های یک و دو، مشاهده می‌شود که در روز سوم (شکل d-1)، تبدیل کژ فشاری موجب افزایش انرژی در ناحیه جریان‌سوی ناوه یک شده است. منطقه تولید انرژی کژ فشاری، ناحیه کاهش انرژی ناشی از واگرایی شار آزمین‌گرد را کاملاً در بر گرفته است. این جمله همچنین به میزان اندکی انرژی مرکز ناوه دو را کاهش داده است. نقش تبدیل کژ فشاری در روز چهارم (شکل نشان داده نشده است)، کاهش چشم‌گیری دارد. در این روز، انرژی در پادجریان‌سوی ناوه دو و جریان‌سوی ناوه یک، افزایش نشان می‌دهد. در روز پنجم (شکل d-2)، تبدیل کژ فشاری



شکل ۱. انرژی جنبشی پیچکی (EKE) همراه با سهم هریک از جملات بودجه انرژی مربوط به ناهه‌های یک و دو برای روز سوم فوریه ۲۰۰۳.

(a) انرژی جنبشی پیچکی با فاصله پربندی  $100 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  که مناطق سایه‌دار مختلف مقادیر بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ را نشان می‌دهند.

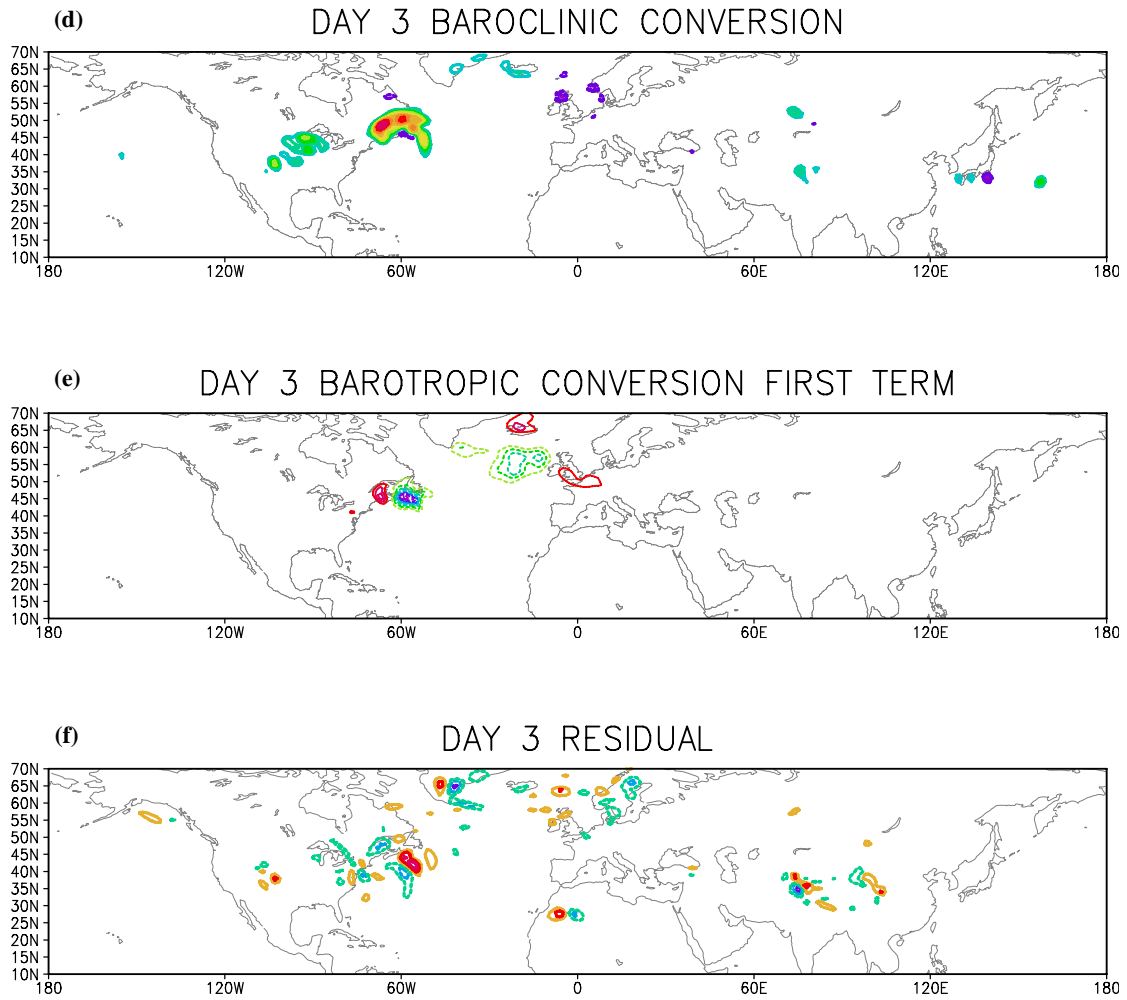
(b و c) همگرایی شار آزمین‌گرد و شار کل با فاصله پربندی  $1000 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  که مقادیر مثبت بزرگ‌تر از ۵۰۰، ۱۵۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۵۰۰ و مقادیر منفی کمتر از ۵۰۰، ۱۵۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۵۰۰ ارائه شده‌اند.

(d) تبدیل کثافت‌شاری با فاصله پربندی  $500 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  که مقادیر مثبت بزرگ‌تر از ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ و مقادیر منفی کمتر از ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ نشان داده شده‌اند.

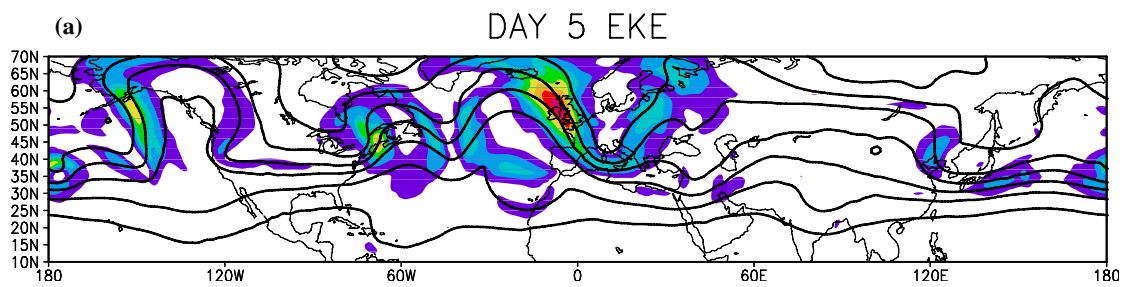
(e) تبدیل فشارورودی با فاصله پربندی  $250 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  که مقادیر مثبت بزرگ‌تر از ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ و مقادیر منفی کمتر از ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ ارائه شده‌اند.

(f) جمله باقی‌مانده با فاصله پربندی  $1000 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  که مقادیر مثبت بزرگ‌تر از ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ و مقادیر منفی کمتر از ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ نشان داده شده‌اند.

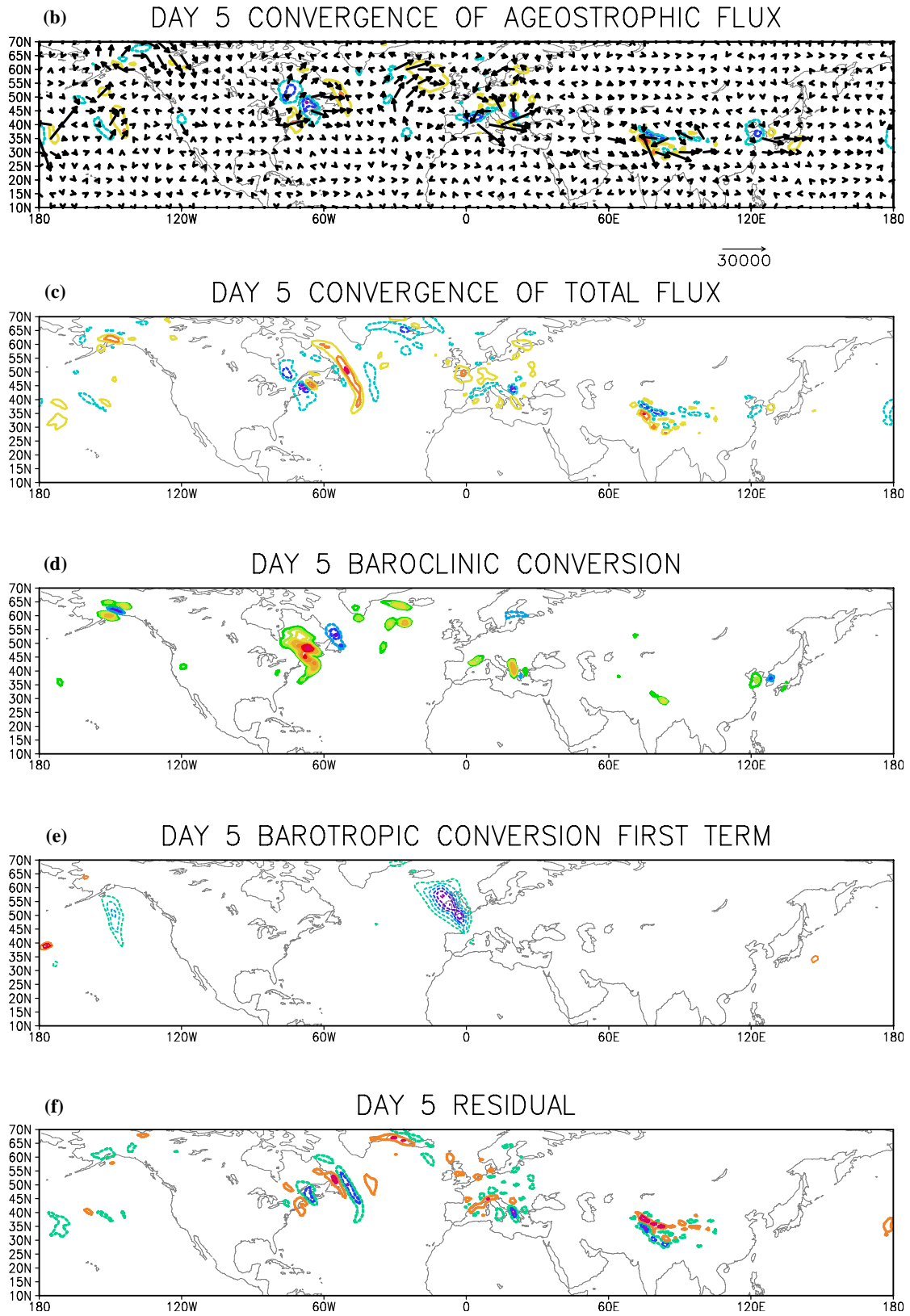
خطوط پر نشانگر مقادیر مثبت و خطوط خط‌چین نشانگر مقادیر منفی بوده و پربند صفر در تمام شکل‌ها حذف شده است.



ادامه شکل ۱



شکل ۲. مانند شکل ۱ ولی برای روز پنجم فوریه ۲۰۰۳.



ادامه شکل ۲



درجه شرقی و ناوه چهار در حوالی ۱۱۰ تا ۱۳۰ درجه شرقی واقع شده‌اند (شکل ۴-ا). هر دو ناوه تا اندازه‌ای عمیق‌اند؛ انرژی جنبشی پیچکی EKE عمدتاً در مرکز و جریان‌سوی ناوه سه و در مرکز و پادجریان‌سوی ناوه چهار توزیع شده و خیلی قوی نیست. در روز بیستم (شکل نشان داده نشده است)، انرژی ناوه سه کاملاً کاهش یافته، اما انرژی ناوه چهار افزایش نشان می‌دهد. ضمن آنکه این ناوه در این روز عمیق تر شده است. این روند افزایش انرژی تا روز بیست و یکم ادامه دارد (شکل ۵-ا).

حال نقش هریک از جمله‌های بودجه انرژی را بررسی می‌کنیم. از آنجا که سهم جمله‌های تبدیل فشارورد انرژی در مقایسه با دیگر جمله‌ها بسیار ناچیز است، از ارائه شکل و تحلیل آنها صرف نظر شده است. در روز نوزدهم که ناوه سه عمیق است، انرژی جنبشی پیچکی عمدتاً در مرکز و جریان‌سوی آن توزیع شده است (شکل ۴-ا)، بردارهای شار آزمین‌گرد از مرکز ناوه به سمت جریان‌سوی ناوه متمایل‌اند و در جریان‌سو همگرا شده‌اند (شکل ۴-ب). همگرایی با گذشت زمان شدت پیدا می‌کند. در روز بیستم (شکل نشان داده نشده است)، با ضعیف شدن ناوه سه، مرکز همگرایی هم تضعیف شده است. در این روز، ناوه چهار عمیق تر شده است و بردارهای شار آزمین‌گرد از مرکز ناوه به جریان‌سوی آن انرژی را منتشر می‌کنند. این بردارها در پادجریان‌سوی این ناوه همگرا می‌شوند. در روز بیست و یکم (شکل ۵-ا)، ناوه سه کاملاً ضعیف شده است. در این روز، بردارهای شار آزمین‌گرد از پادجریان‌سوی ناوه چهار به سوی مرکز آن انتشار می‌یابند (شکل ۵-ب)، در آنجا منطقه همگرایی شار به وجود می‌آوردند و سپس به سمت جریان‌سوی ناوه، انرژی تابش می‌کنند.

همگرایی شار انرژی کل در روز نوزدهم (شکل ۴-ج)، پاشندگی انرژی به سمت مرکز ناوه سه را نشان می‌دهد. مناطق مثبت و منفی مجاور هم نشان از افزایش

جمله انرژی را در سمت جریان‌سوی ناوه یک افزایش و در ناحیه مرکز آن کاهش داده است. روز چهارم، انرژی در پادجریان‌سوی ناوه دو افزایش یافته است و در مجاورت آن، منطقه کاهش انرژی مشاهده می‌شود. در روز پنجم (شکل ۲-ف)، انرژی از پادجریان‌سوی ناوه یک به سمت مرکز آن در حال کاهش است.

از بررسی هریک از جملات رابطه بودجه انرژی، نتیجه می‌شود که در مرحله بلوغ ناوه یک، جمله‌های شار انرژی کل، شار انرژی آزمین‌گرد بیشترین سهم منفی و تبدیل کژفشار انرژی بیشترین سهم مثبت را داشته‌اند. همچنین به هنگام رشد ناوه دو، جمله نخست تبدیل فشارورد انرژی دارای بیشترین سهم منفی و جمله همگرایی شار انرژی کل دارای بیشترین سهم مثبت بوده‌اند.

تغییرات (گرایش) زمانی انرژی جنبشی پیچکی در روزهای سوم تا پنجم در شکل ۳ ارائه شده است. در روز سوم (شکل ۳-ا)، مشاهده می‌شود که انرژی از مرکز ناوه یک به سمت جریان‌سوی آن در حال افزایش است. همچنین در پادجریان‌سوی ناوه دو، انرژی در حال افزایش و در مرکز آن در حال کاهش است. در روز چهارم (شکل ۳-ب)، انرژی ناوه یک، کاهش نشان می‌دهد. در این روز، انرژی در پادجریان‌سوی ناوه دو کاهش یافته، اما در مرکز آن در حال افزایش است. در روز پنجم (شکل ۳-ج)، انرژی هر دو ناوه روند کاهشی دارد. در عین حال در ناوه یک به دلیل دریافت انرژی از ناوه سمت چپ مجاور، انرژی در پادجریان‌سو، افزایش یافته است.

### ۲-۳ بررسی انرژی ناوه‌های سه و چهار (۲۱-۱۹ فوریه)

شکل ۴ تحول EKE همراه با سهم جملات موجود در رابطه بودجه انرژی مربوط به ناوه‌های سه و چهار را نشان می‌دهد. در روز نوزدهم، ناوه سه در حوالی ۶۰ تا ۸۰

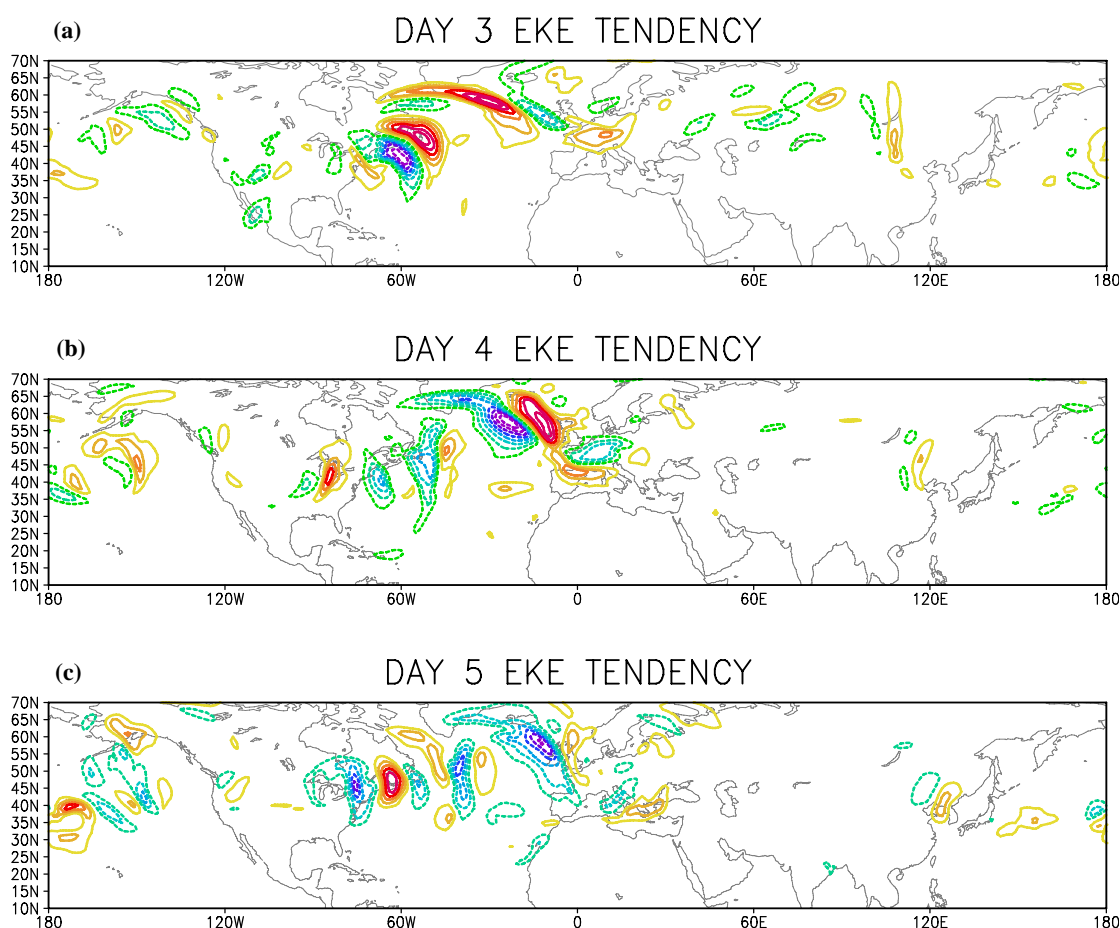
کاهش انرژی در یک ناحیه و کاهش آن در ناحیه مجاور دارند. در روز بیستم (شکل نشان داده نشده است)، سهم همگرایی شار کل در رابطه انرژی ناچیز بوده است و فقط به میزان اندکی انرژی را در جریان سوی ناوه سه و پادجریان سوی ناوه چهار کاهش داده است. در روز بیست و یکم (شکل ۵-۲)، همگرایی شار انرژی کل نشان می‌دهد که انرژی در جریان سوی ناوه چهار در حال کاهش است. به عبارتی در این ناحیه، پاشندگی شار انرژی وجود دارد. در مجموع، این جمله در مرحله بلوغ ناوه سه و چهار، موجب کاهش انرژی شده است.

جمله تبدیل کثرتشار انرژی در روز نوزدهم، انرژی را اندکی در مرکز ناوه سه افزایش داده و همچنین موجب

کاهش انرژی در جریان سوی آن شده است (شکل ۴-۲). در پادجریان سوی ناوه چهار هم، انرژی اندکی کاهش یافته است. در روز بیستم (شکل نشان داده نشده است)، تبدیل کثرتشاری، انرژی را در جریان سوی ناوه سه کاهش داده و سبب کاهش انرژی از مرکز به سمت جریان سوی ناوه چهار شده است. ناوه چهار در روز بیست و یکم عمیق‌تر شده و جمله تبدیل کثرتشاری، انرژی را به مقدار زیادی در جریان سوی این ناوه افزایش داده است (شکل ۵-۲). همچنین انرژی در مرکز ناوه چهار هم اندکی افزایش نشان می‌دهد. در مجموع، نقش این جمله در مرحله بلوغ و میرایی ناوه سه و بلوغ ناوه چهار مثبت بوده است.

انرژی در یک ناحیه و کاهش آن در ناحیه مجاور دارند. در روز بیستم (شکل نشان داده نشده است)، سهم همگرایی شار کل در رابطه انرژی ناچیز بوده است و فقط به میزان اندکی انرژی را در جریان سوی ناوه سه و پادجریان سوی ناوه چهار کاهش داده است. در روز بیست و یکم (شکل ۵-۲)، همگرایی شار انرژی کل نشان می‌دهد که انرژی در جریان سوی ناوه چهار در حال کاهش است. به عبارتی در این ناحیه، پاشندگی شار انرژی وجود دارد. در مجموع، این جمله در مرحله بلوغ ناوه سه و چهار، موجب کاهش انرژی شده است.

جمله تبدیل کثرتشار انرژی در روز نوزدهم، انرژی را اندکی در مرکز ناوه سه افزایش داده و همچنین موجب



شکل ۳. گرایش زمانی EKE برای ناوه‌های یک و دو. فاصله پربندی برابر  $100 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  است و مقادیر مثبت بزرگ‌تر از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ و مقادیر منفی کوچک‌تر از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ ارائه شده‌اند. خطوط پر، مقادیر منفی و خطوط خطچین مقادیر مثبت را نشان داده و پربند صفر حذف شده است.

این روند تا روز بیست و چهار ادامه داشته و تقویت شده است. در روز بیست و پنجم (شکل a-8)، ناوه پنج کاملاً تضعیف شده، و انرژی آن به میزان زیادی کاهش یافته است و انرژی ناوه شش هم در این روز کاهش نشان می‌دهد.

حال به بررسی نقش هر یک از جملات رابطه بودجه انرژی می‌پردازیم. شکل b-7 همگرایی شار آزمین‌گرد در روز بیست و سوم را نشان می‌دهد. هر دو ناوه در این روز عمیق‌اند. بردارهای شار آزمین‌گرد از مرکز ناوه‌ها به سمت جریان‌سوی آنها تمایل دارد. به عبارت دیگر، انرژی از مرکز ناوه به سمت جریان‌سو انتشار می‌یابد. مرکز بیشترین همگرایی در ۶۰ درجه غربی و ۴۷ درجه شمالی (پادجریان‌سوی ناوه شش) به چشم می‌خورد. با گذشت زمان، روند تابش انرژی افزایش پیدا کرده است. تابش انرژی از جریان‌سوی ناوه پنج به سمت پادجریان‌سوی ناوه مجاور (شش) در روز بیست و چهارم (شکل نشان داده نشده است)، به وضوح تکوین جریان‌سوی ناوه شش را نشان می‌دهد که با نتایج چنگ (۲۰۰۰) سازگار است. در این روز، ناوه شش عمیق است. همچنین انرژی با روند ضعیف‌تری از پادجریان‌سوی این ناوه به سمت جریان‌سوی آن در حال تابش است. در روز بیست و پنجم (شکل b-8)، ناوه پنج کاملاً ضعیف شده است و بردارهای شار آزمین‌گرد، تابش انرژی از پادجریان‌سوی ناوه شش به سمت جریان‌سوی آن را نشان می‌دهند. با توجه به شکل a-8 مشاهده می‌شود که در این روز، انرژی در جریان‌سوی ناوه افزایش یافته است.

در روز بیست و سوم، همگرایی شار انرژی کل (شار پاشنده) نشانگر کاهش انرژی در جریان‌سوی ناوه پنج و افزایش انرژی در پادجریان‌سوی ناوه شش است (شکل c-7). این روند در روز بیست و چهارم تقویت شده است. در روز بیست و پنجم (شکل c-8)، انرژی به سمت جریان‌سوی ناوه شش در حال افزایش است. همگرایی

جمله باقی‌مانده در بودجه انرژی، در روز نوزدهم (شکل e-4) انرژی را در مرکز ناوه سه به مقدار زیادی کاهش داده و در روز بعد، روند کاهش انرژی کندتر شده است. در روز بیست و یکم (شکل e-5)، انرژی در مرکز ناوه چهار کاهش نشان می‌دهد؛ اما در سمت جریان‌سو، انرژی در حال افزایش و در پادجریان‌سوی ناوه مجاور، انرژی در حال کاهش است. به طور کلی، سهم این جمله در مرحله بلوغ و میرایی ناوه سه و بلوغ ناوه چهار منفی است.

بررسی و مقایسه جمله‌های رابطه بودجه انرژی نشان می‌دهد که در مرحله بلوغ ناوه سه، جمله‌های شار آزمین‌گرد و شار پاشنده، بیشترین نقش مثبت و جمله باقی‌مانده بودجه بیشترین نقش منفی را داشته‌اند. در مرحله بلوغ ناوه چهار نیز شار آزمین‌گرد، تبدیل کُرفشاری و باقی‌مانده بودجه دارای بیشترین سهم بوده‌اند.

تغییرات (گرایش) زمانی EKE ناوه‌های سه و چهار در شکل ۶ ارائه شده است. گرایش EKE در روز نوزدهم (شکل a-6)، نشان می‌دهد که روند تغییرات انرژی به سمت مرکز هر دو ناوه افزایشی است؛ اما در روز بیستم (شکل b-6)، این روند از پادجریان‌سوی ناوه چهار به سمت جریان‌سوی آن دارای افزایش است. در روز بیست و یکم (شکل c-6)، انرژی از پادجریان‌سوی ناوه چهار به سمت مرکز و جریان‌سو افزایش نشان می‌دهد.

### ۳-۳ بررسی انرژی ناوه‌های پنج و شش (۲۵-۲۳ فوریه)

شکل ۷ تحول انرژی جنبشی پیچکی ناوه‌های پنج و شش به همراه جملات رابطه بودجه انرژی را نشان می‌دهد. در روز بیست و سوم، ناوه پنج بین ۹۰ تا ۱۲۰ درجه غربی و ناوه شش بین ۰ تا ۶۰ درجه غربی واقع شده است (شکل a-7). در این روز، مراکز EKE عمدتاً در جریان‌سوی ناوه پنج و پادجریان‌سوی ناوه شش توزیع شده و نسبتاً قوی‌اند.

شار انرژی کل در این سه روز، روند افزایش انرژی از جریان سوی ناوه به سمت پادجریان سوی ناوه دیگر را نشان می‌دهد.

در ارتباط با نقش جمله تبدیل کثرفشار انرژی در روز بیست و سوم (شکل d-۷)، مشاهده می‌شود که انرژی در جریان سوی ناوه پنج به مقدار زیادی افزایش یافته است. در روز بیست و چهارم، روند افزایش انرژی در جریان سوی این ناوه تقویت شده است. نقش این جمله در روز بیست و پنجم (شکل d-۸)، بسیار ضعیف است و تنها اندکی انرژی در مرکز ناوه پنج را کاهش داده است. در مجموع می‌توان گفت که سهم این جمله در مرحله بلوغ ناوه پنج مثبت بوده، در حالی که هیچ تأثیری در انرژی ناوه شش نداشته است.

جمله نخست تبدیل فشارورد انرژی در روز بیست و سوم (شکل e-۷)، منجر به کاهش انرژی به مقدار زیادی در پادجریان سوی ناوه شش شده است. این روند در روز بیست و چهارم اندکی تضعیف شده است و در روز بیست و پنجم (شکل e-۸)، اثری از این جمله دیده نمی‌شود. به طور کلی، نقش این جمله در بلوغ ناوه شش، منفی است.

جمله دوم تبدیل فشارورد انرژی در روز بیست و سوم (شکل نشان داده نشده است)، انرژی را در جریان سوی ناوه پنج کاهش و در پادجریان سوی ناوه شش افزایش داده است. به سمت مرکز و جریان سوی ناوه شش، انرژی با این جمله کاهش نشان می‌دهد. روند کاهش انرژی در جریان سوی ناوه‌ها و افزایش آن در پادجریان سوی ناوه شش در روز بیست و چهارم ادامه دارد. در روز بیست و پنجم، نقش این جمله بسیار ضعیف می‌شود و فقط اندکی انرژی را در مرکز ناوه شش افزایش و در پادجریان سوی آن کاهش داده است. جمله‌های تبدیل فشارورد انرژی، در مقایسه با دیگر جملات بودجه انرژی، کوچک بوده‌اند.

در بررسی نقش جمله باقی‌مانده انرژی در روز بیست

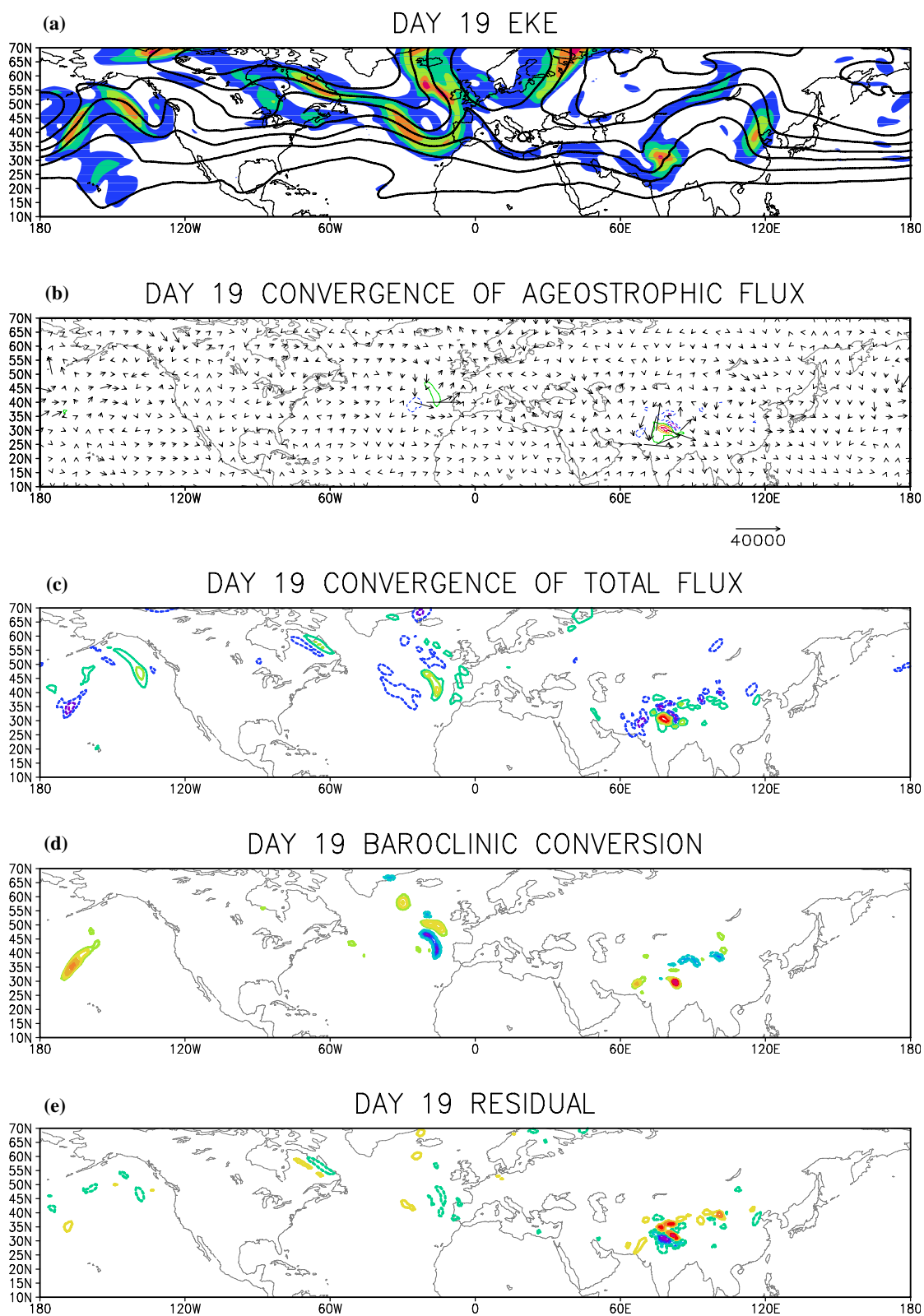
و سوم (شکل f-۷)، مشاهده می‌شود که انرژی در مرکز ناوه پنج و پادجریان سوی ناوه شش اندکی کاهش یافته، اما در پادجریان سوی ناوه پنج افزایش داشته است. در روز بیست و چهارم، انرژی از مرکز به سمت جریان سوی ناوه پنج کاهش نشان می‌دهد. روند کاهش انرژی تا پادجریان سوی ناوه شش هم دیده می‌شود. اگرچه افزایش انرژی ضعیفی در پادجریان سوی ناوه شش به چشم می‌خورد، این افزایش در مقایسه با کاهش مشاهده شده، چندان قابل توجه نیست.

از بررسی جملات بودجه انرژی نتیجه می‌شود که در مرحله بلوغ ناوه پنج، جمله تبدیل کثرفشار سهم افزایشنده و مثبت دارند و جمله‌های همگرایی شار آزمین‌گرد، همگرایی شار انرژی کل (شار پاشنده) و جمله نخست تبدیل فشارورد انرژی به ترتیب بیشترین سهم منفی را داشته‌اند. در مرحله بلوغ ناوه شش نیز جمله‌های همگرایی شار آزمین‌گرد، همگرایی شار کل (شار پاشنده) و جمله دوم تبدیل فشارورد انرژی دارای بیشترین سهم مثبت‌اند. این نتایج به خوبی با نتایج چنگ (۲۰۰۰) سازگار است.

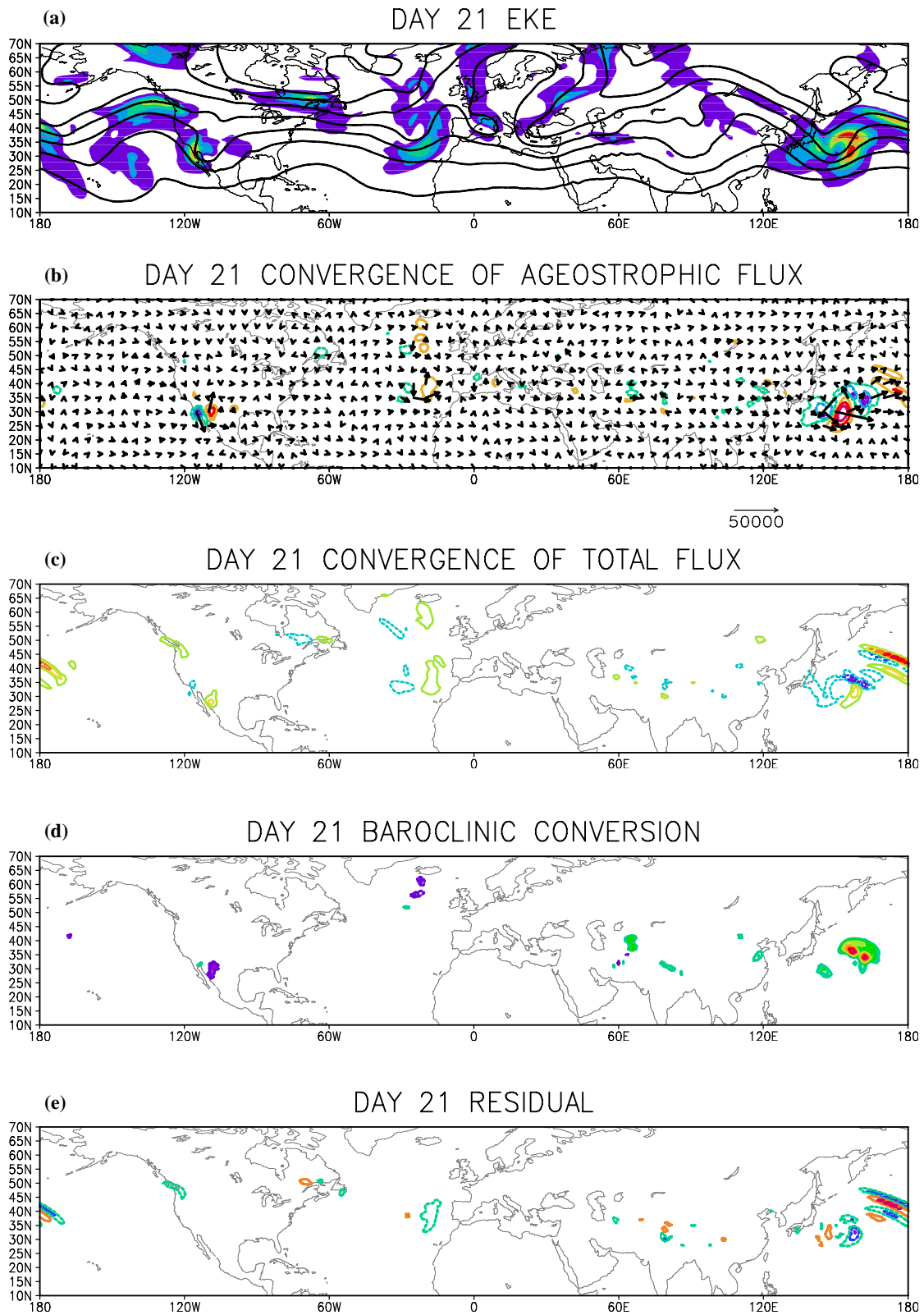
شکل ۹ تغییرات (گرایش) زمانی EKE را از روز بیست و سوم تا روز بیست و پنجم نشان می‌دهد. مطابق شکل ۹-a، روند تغییرات EKE در روز بیست و سوم، روند افزایش انرژی از مرکز به سمت جریان سوی ناوه پنج و از پادجریان سوی ناوه شش به سمت مرکز آن است. این روند در روز بیست و چهارم (شکل ۹-b) هم ادامه داشته و روند کاهش انرژی نیز تقویت شده است. در روز بیست و پنجم (شکل ۹-c)، ناوه پنج کاملاً ضعیف و روند افزایش انرژی از پادجریان سوی ناوه شش به سمت مرکز آن ادامه دارد.

#### ۴ نتیجه‌گیری

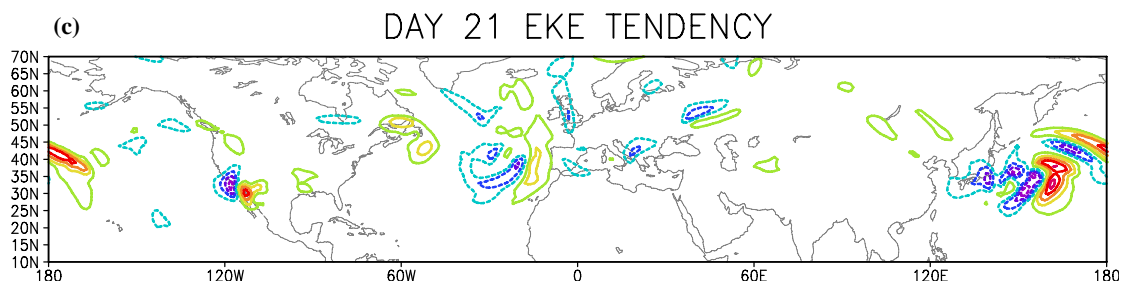
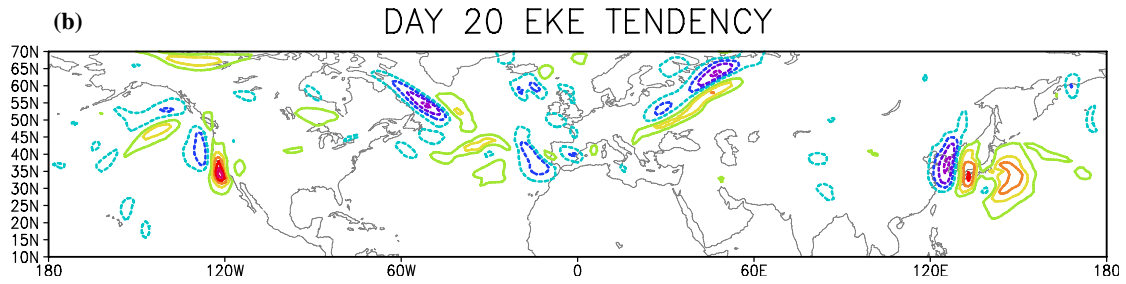
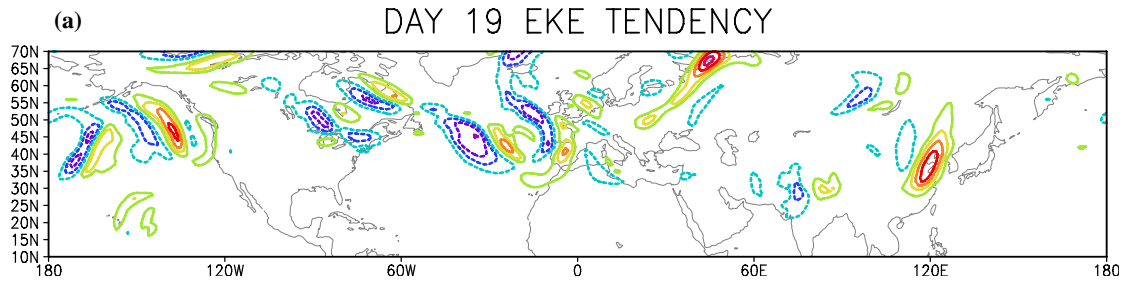
در نظریه ناپایداری کثرفشار، چگونگی انتشار و گسترش یک موج کثرفشار نیز بررسی می‌شود. بدین منظور نحوه



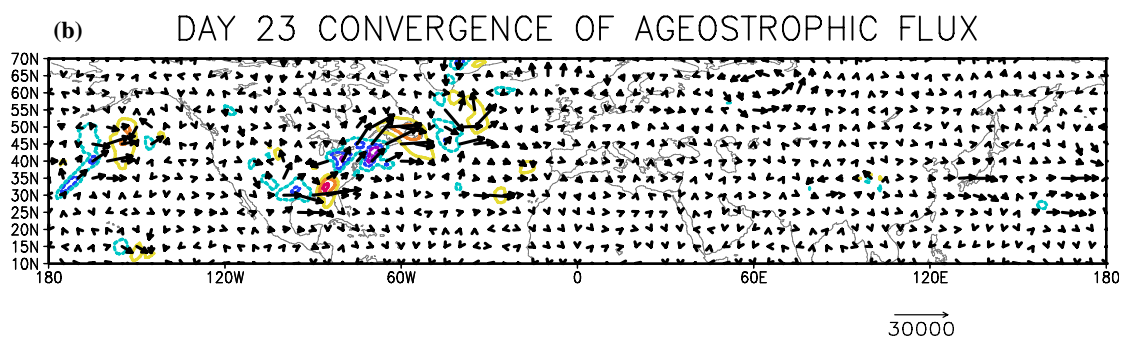
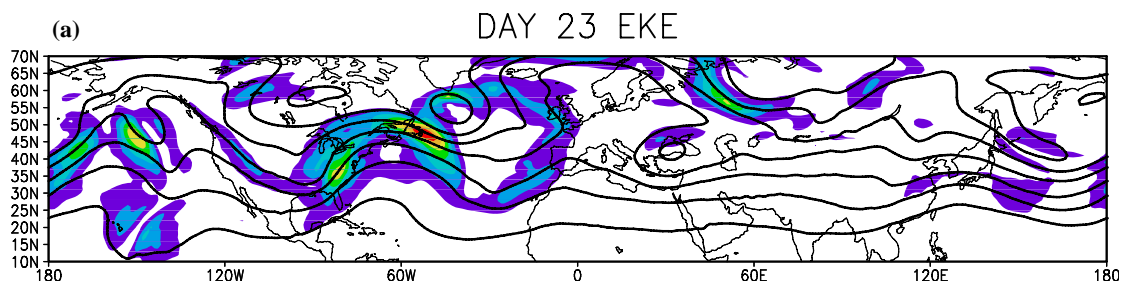
شکل ۴. مانند شکل ۱ ولی برای روز نوزدهم فوریه ۲۰۰۳؛ شکل مربوط به نقش جمله تبدیل فشاروردی به علت بسیار کوچک بودن در مقایسه با جمله‌های دیگر حذف شده است. فواصل پرنندی مشابه شکل ۱ است.

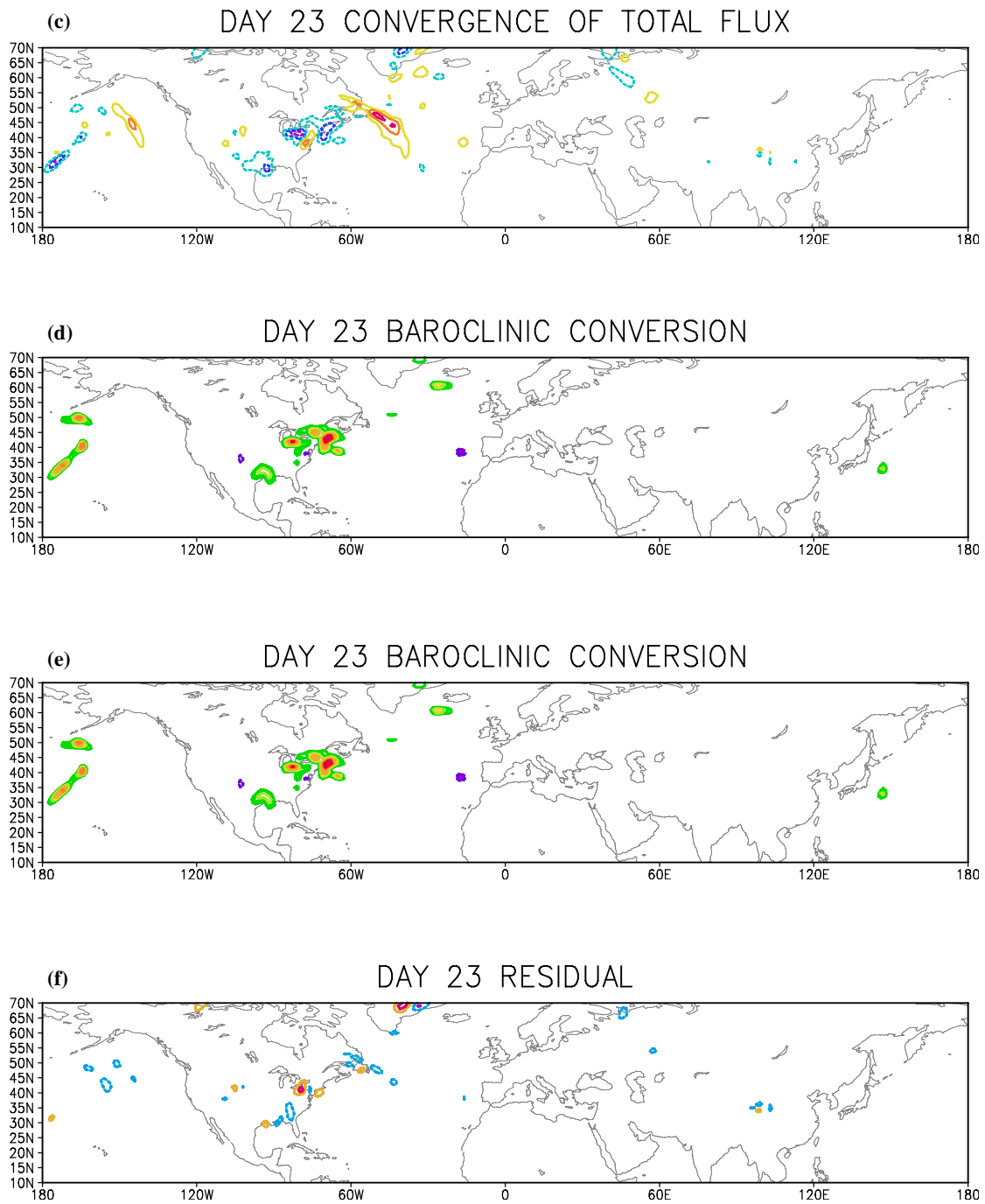


شکل ۵. مانند شکل ۴ ولی برای روز بیست و یکم فوریه ۲۰۰۳.



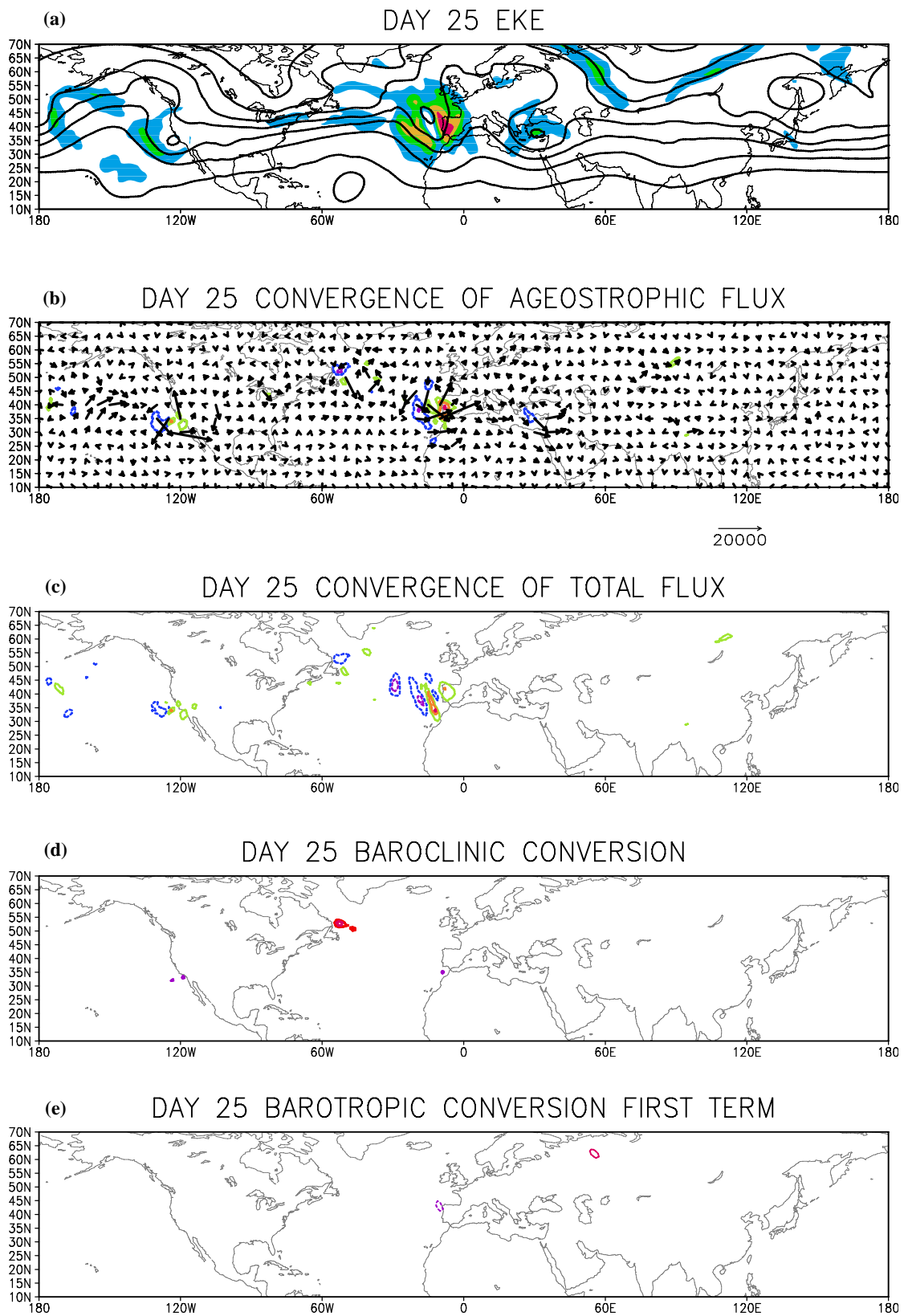
شکل ۶. مانند شکل ۳ ولی برای ناهه‌های ۳ و ۴.

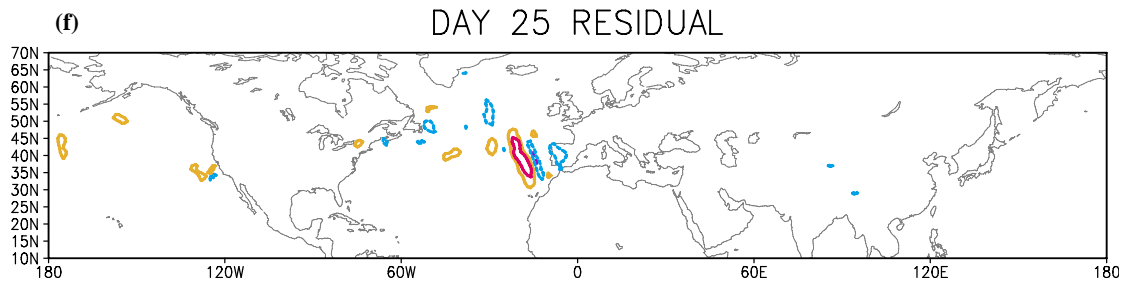




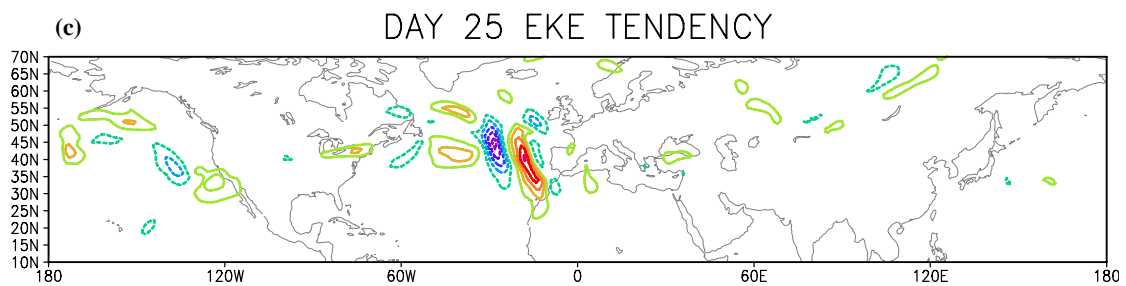
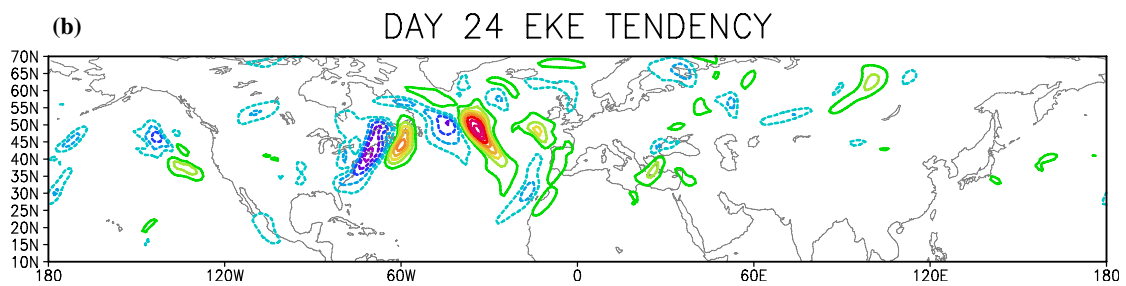
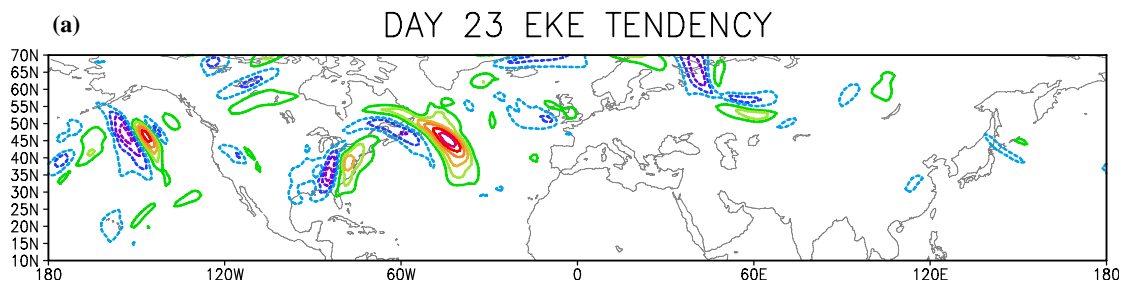
شکل ۷. مانند شکل ۱ ولی برای روز بیست و سوم فوریه ۲۰۰۳. فواصل پرنندی مشابه شکل ۱ است.







شکل ۸. مانند شکل ۷ ولی برای روز بیست و پنجم فوریه ۲۰۰۳.



شکل ۹. مانند شکل ۳ ولی برای ناهه‌های پنج و شش.

جریان‌سو قرار دارند، تبدیل کُزفشاری، عامل مهمی در تغییرات انرژی در دوره بلوغ و میرایی چرخه زندگی یک ناوه بوده است. این حالت‌ها را می‌توان در زمرة «گسترش کُزفشار جریان‌سو» قرار داد (اورلانسکی و شلدن، ۱۹۹۵). این موضوع نشان می‌دهد که فرضیه «گسترش فشارورد جریان‌سو» به‌صورت خالص فقط بر مبنای انتشار بسته موج‌های راسبی برای توضیح تحول دینامیکی امواج هم‌دیدگی کافی نیست و نیاز به تعدیل دارد.

#### منابع

- Berberry, E. H., and Vera, C. S., 1996, Characteristics of Southern Hemisphere winter storm track with filtered and unfiltered data: *J. Atmos. Sci.*, **53**, 468-481.
- Bloomfield, P., 2000, *Fourier Analysis of Time Series: An Introduction*. Wiley-Inter Science, New York, 258.
- Chang, E. K. M., 1993, Downstream development of baroclinic waves as inferred from regression analysis: *J. Atmos. Sci.*, **50**, 2038-2053.
- Chang, E. K. M., 2000, Wave packets and life cycles of troughs in the upper troposphere: Examples from the Southern Hemisphere summer season of 1984-1985: *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 25-50.
- Chang, E. K. M., and YU, D. B., 1999, Characteristics of wave packets in the upper troposphere. Part I: Northern Hemisphere winter: *J. Atmos. Sci.*, **56**, 1708-1728.
- Lee, S., and Held, I. M., 1993, Baroclinic wave packets in models and observations: *J. Atmos. Sci.*, **50**, 1413-1428.
- Orlanski, I., and Chang, E. K. M., 1993, Ageostrophic geopotential fluxes in downstream and upstream development of baroclinic waves: *J. Atmos. Sci.*, **50**, 212-225.
- Orlanski, I., and Katzfey, J., 1991, The life cycle of a cyclone wave in the Southern Hemisphere. Part I: Eddy energy budget: *J. Atmos. Sci.*, **48**, 1972-1998.
- Orlanski, I., and Sheldon, J., 1995, Stages in the energetics of baroclinic systems: *Tellus*, **47A**, 605-628.
- Simmons, A. J., and Hoskins, B. J., 1978, The life cycles of some nonlinear baroclinic waves: *J. Atmos. Sci.*, **35**, 414-432.

دریافت انرژی پریشیدگی‌ها از حالت پایه شارش بزرگ‌مقیاس، بررسی می‌شود. در امواج پاشنده این احتمال وجود دارد که پاشندگی پریشیدگی‌های موجود منجر به گسترش پریشیدگی‌های جدید شود. چنگ (۱۹۹۳)، لی و هلد (۱۹۹۳)، بربری و ورا (۱۹۹۶) و چنگ و یو (۱۹۹۹) نشان داده‌اند که گسترش جریان‌سوی امواج کُزفشاری که با بسته‌های موج هم‌دوس همراه‌اند، در

وردسپهر زبرین مناطق عرض‌های میانی بسیار رایج است. در مقاله اول از این دو مقاله تکمیلی، ابتدا با استفاده از داده‌های ماه فوریه ۲۰۰۳ بسته‌های موج در وردسپهر میانی و زبرین به روش‌های "نمودار هافمولر" و "وامدوله‌سازی مختلط" شناسایی و تحلیل شدند. در این مقاله بسته موج‌های شناسایی شده از دیدگاه انرژی بررسی شده‌اند. بدین منظور انرژی جنبشی پیچکی و دیگر جمله‌های مهم رابطه بودجه انرژی در طول چرخه عمر ناوه‌های مربوط به امواج کُزفشار محاسبه شدند. جمله‌های دارای اهمیت در رابطه بودجه انرژی شامل همگرایی شارهای آزمین‌گرد و شار کل، تبدیل کُزفشاری و تبدیل فشارورد انرژی و جمله باقی‌مانده است.

در بررسی نتایج مربوط به ناوه‌های مورد بررسی، مشاهده می‌شود که به‌علت متفاوت بودن محل تشکیل ناوه‌ها، نقش جمله‌های موجود در بودجه انرژی نیز تغییر می‌کند. برای مثال به‌علت وجود ناپایداری کُزفشار قوی در غرب اقیانوس‌های آرام و اطلس، امواج عمدتاً در اثر تبدیل کُزفشاری رشد می‌کنند. مشابه چنین نتیجه‌ای، در کار چنگ (۱۹۹۳) نیز مشاهده و ذکر شده است.

به‌طور کلی از بررسی چرخه زندگی ناوه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که همگرایی شارهای انرژی به هنگام رشد اولیه ناوه‌ها، نقش عمده‌ای نسبت به تبدیل انرژی کُزفشاری یا فشاروردی دارد. این نکته دلیل روشنی بر تأیید «گسترش جریان‌سوی» امواج کُزفشار است. همچنین در همه مواردی که گسترش ناوه‌ها تحت تأثیر پاشندگی

Simmons, A. J., and Hoskins, B. J., 1980,  
Barotropic influences on the growth and decay  
of nonlinear baroclinic waves: J. Atmos. Sci.,  
**37**, 1679-1684.