

بررسی جبهه زایی سطوح زبرین از دیدگاه تاوایی پتانسیلی بر روی خاورمیانه و ایران

فرهنگ احمدی گیوی^۱، محمد میرزایی^۲

(تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۸۶/۲/۲۳)

در این مطالعه پدیده جبهه زایی سطوح میانی و زبرین برای سه سامانه چرخندی که خاورمیانه و ایران را تحت تاثیر قرار داده اند، بررسی شده است. برای این کار، مدل میان مقیاس MM5 برای هر سه سامانه اجرا شده و با استفاده از خروجی مدل، نقشه های کمیت هایی همچون تاوایی پتانسیلی (PV)^۲، رطوبت نسبی، دمای پتانسیلی برای سطوح مختلف فشاری ترسیم گردید. به علاوه، نقشه های سطح مقطع قائم PV و سرعت قائم در مراحل مختلف از تحول جبهه زایی نیز مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که با تاشدگی و ردايست، هوای خشک، سرد و پایدار پوش سپهر با مقادیر بالای PV به و ردايست میانی و زیرین نفوذ کرده و سبب ایجاد گرادیان دمایی و تشکیل جبهه های سطوح زبرین و میانی می گردد. الگوی بدست آمده در این بررسی وجود گرادیان های شدید PV در راستای طولی جبهه در ترازهای میانی و زبرین جو را نشان می دهد. در سامانه ۱، عمق تاشدگی و ردايست نسبت به دو سامانه دیگر بیشتر بوده، جبهه در بالادست ناوه دمایی گسترش یافته و دارای طول بزرگ تری در مقایسه با دو جبهه دیگر است. درحالیکه در دو سامانه دیگر، جبهه در پایه ناوه دمایی قرار دارد. در سامانه ۳، برخلاف دو سامانه دیگر، منطبق بر زبانه تاشدگی و ردايست حرکت های بالارو وجود دارد که سبب تضعیف جبهه می شود. بنابراین به نظر می رسد در این سامانه، تنها عوامل سطوح زبرین در جبهه زایی تاثیرگذار هستند. در صورتی که در دو سامانه دیگر عوامل میانی جو مانند گرادیان حرکت های قائم می تواند سبب تقویت جبهه شود.

کلمات کلیدی: جبهه سطوح زبرین، جبهه زایی، تاوایی پتانسیلی، تاشدگی و ردايست.

چکیده

*

*

*

مقدمه

از آنجایی که بسیاری از ناپایداری های جوی در منطقه خاورمیانه و ایران تحت تاثیر سامانه های همراه با جبهه می باشد، مطالعه دینامیکی این پدیده ها حائز اهمیت ویژه است. گرچه مطالعاتی درباره جبهه زایی از دیدگاه همدیدی در مناطق مختلف ایران در سازمان هواشناسی کشور و موسسه ژئوفیزیک انجام شده است، ولی تا آنجا که اطلاع داریم در رابطه با مکانیزم های جبهه زایی از دیدگاه PV در این منطقه، مطالعه ای در کشور انجام نشده و یا بسیار محدود است. لذا این ضرورت ما را بر آن داشت تا در این مطالعه به بررسی فرآیند جبهه زایی در چند سامانه ای که خاورمیانه و ایران را تحت تاثیر قرار داده اند، بپردازیم.

پس از ارایه مقاله بنیادین هاسکینز و همکاران^۱ (۱۹۸۵) در مورد PV، استقبال چشمگیری در استفاده از این کمیت برای مطالعه جبهه زایی و چرخندزایی صورت گرفته است [۶]. در ایران نیز مطالعاتی برای محاسبه کمیت PV و استفاده از این کمیت در بررسی تحول سامانه های چرخندی صورت گرفته است که از آن جمله می توان به کارهای محب الحجه و مرادی (۱۳۸۱) و احمدی گیوی و همکاران (۱۳۸۵) اشاره نمود [۱ و ۲]. سندرز و همکاران^۲ (۱۹۹۱) با استفاده از خاصیت پایستاری PV در سطوح هم آنتروپی، تحول جبهه های سطوح زیرین را مورد مطالعه قرار دادند و افزایش PV در پایه ناوه دمایی سطوح زیرین را عامل گسترش منطقه جبهه ای دانستند [۱۰]. دیویس و روسا^۳ (۱۹۹۸) جبهه های سطوح زیرین را به عنوان مناطق امتداد یافته ای از گرادیان PV بر روی سطوح هم آنتروپی ($\nabla_{\theta} PV$) در نظر گرفتند و نشان دادند که ناحیه ای از مقادیر بالای $\nabla_{\theta} PV$ نزدیک و در ضلع قطب سوی جت استریم قرار می گیرد [۴]. علاوه بر این، مناطقی از $\nabla_{\theta} PV$ قوی در ورود سپهر زیرین و در راستای تاشدگی و رداپست سبب ایجاد جبهه های سطوح زیرین می گردد. با وجود اینکه دیویس و روسا توانستند برخی از ویژگی های جبهه های سطوح زیرین و تاشدگی و رداپست را توضیح دهند، اما اشکالاتی در کار آنها وجود دارد، به طوری که وندیشین و همکاران^۴ (۲۰۰۰) به بیان آنها پرداختند [۱۱]. اولین مورد اینکه آنها وجود گرادیان قوی PV در سطوح هم آنتروپی را علت افزایش کثرفشاری در نظر گرفتند، در صورتی که ممکن است ناپیوستگی PV در و رداپست وجود داشته باشد،

1. Hoskins et al.

2. Sanders et al.

3. Davies and Rossa

4. Wandishin et al.

بدون اینکه کثرفشاری افزایش یابد. دیگر اشکال کار دیویس و روسا این بود که گرادیان PV قوی در یک سطح هم‌انرژی در نظر گرفته می‌شد، حال آنکه برای افزایش کثرفشاری باید گرادیان PV قوی در لایه‌ای از سطوح هم‌انرژی (چند سطح هم‌انرژی) وجود داشته باشد.

یکی دیگر از روش‌های مطالعه جبهه‌زایی استفاده از خاصیت وارون‌پذیری PV است. برای اولین بار نیلسن و همکاران^۱ (۱۹۹۱) از این خاصیت PV برای فرایابی جبهه‌زایی استفاده نمودند [۸]. نتایج این مطالعه نشان داد که میدان باد حاصل از بی‌هنجاری‌های PV وردسپهر زیرین دارای ویژگی‌های جنبش‌شناختی است که جبهه‌زایی سطوح زیرین را پشتیبانی می‌کند. مورگان^۲ (۱۹۹۹) چرخندزایی فوق‌حاره‌ای را که در اثر برهم‌کنش ناوه موج کوتاه وردسپهر زیرین با موج دمایی سطحی به وجود می‌آید، مورد بررسی قرار داد [۷]. نتایج نشان می‌دهد زمانیکه چرخند به مرحله تکامل خود می‌رسد، نقش بی‌هنجاری‌های PV وردسپهر زیرین و بی‌هنجاری‌های دمایی نزدیک سطح زمین در جبهه‌زایی سطحی افزایش می‌یابد. همچنین سهم PV‌های وردسپهر میانی و زیرین که در اثر آزاد شدن گرمای نهان به وجود می‌آیند، در جبهه‌زایی سطحی در طول تحول چرخند متغیر است و به موقعیت شکل‌گیری این بی‌هنجاری‌های PV نسبت به مناطق جبهه‌ای بستگی دارد. وندیشین و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از تاوایی پتانسیلی شبه‌زمینگرد به مطالعه جبهه‌زایی سطوح زیرین پرداخته و نشان دادند که باد ناواگرای افقی نقش اساسی در تاشدگی وردایست (که بین ناوه و بالادست پشته به وجود می‌آید) ایفا می‌کند [۱۱]. چینش قائم باد در مقیاس بزرگ نیز به طور محلی شیب وردایست را افزایش داده و سرانجام منجر به تاشدگی آن می‌گردد.

معرفی PV

PV یک کمیت دینامیکی است که برای جریان دررو و دارای اصطکاک به صورت زیر تعریف می‌شود و به تاوایی پتانسیلی ارتل^۳ (۱۹۴۲) - راسبی^۴ (۱۹۴۰) معروف است [۵ و ۹]:

$$\frac{d}{dt}(PV) = \frac{1}{\rho} (\vec{\zeta}_a \cdot \nabla \frac{d\theta}{dt} + \nabla \times \vec{F} \cdot \nabla \theta) \quad (1)$$

1. Nielsen et al.

2. Morgan

3. Ertel

4. Rossby

$$PV = \frac{1}{\rho} \zeta_a \cdot \nabla \theta \quad (2)$$

که \vec{F} و $\vec{\zeta}_a$ به ترتیب بردارهای نیروی اصطکاک و تاوایی مطلق و ρ چگالی جریان می باشد. با استفاده از تقریب هیدرواستاتیک می توان رابطه PV را به صورت زیر نوشت:

$$PV = \frac{1}{\rho} \zeta_a g \frac{\partial \theta}{\partial p} \quad (3)$$

برای جو استاندارد واحد کمیت PV برابر $10^{-6} \text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{Kkg}^{-1}$ در نظر گرفته شده و به صورت PVU نشان داده می شود. با توجه به رابطه (۱)، گرمایش دررو و اصطکاک دو عاملی هستند که می توانند سبب ایجاد بی هنجاری های PV شوند. از سوی دیگر این کمیت در غیاب فرآیندهای دررو و اصطکاک پایستار است و می توان از آن به عنوان یک کمیت فرایابی مفید برای جریان های جوی تقریباً تعادلی استفاده نمود. از دیگر ویژگی های PV وارون پذیری آن است، به طوری که با وارون کردن PV، می توان میدان دما و باد همراه با آن را تعیین نمود. بدینوسیله امکان بررسی نقش PV های با منشا پوش سپهری و وردسپهری در فرآیند جبهه زایی وجود خواهد داشت. علاوه بر این، الگوهای PV ساختار ریز دینامیکی تحول سامانه ها را با جزئیات بیشتری نشان می دهند.

داده ها و روش انجام کار

برای انجام این مطالعه، ابتدا تمام سامانه های جبهه ای بین سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ در منطقه بین دریای مدیترانه و ایران مورد بررسی اولیه قرار گرفت. سپس با در نظر گرفتن داده هایی که در اختیار بود، سه سامانه جبهه ای که با ناوه عمیق در سطوح زیرین همراه بودند، انتخاب گردید. دلیل انتخاب این سه سامانه، منشا متفاوت، مسیر حرکت گوناگون و بارش قابل توجه آنها بر روی ایران می باشد. سامانه ۱ در ناحیه شمالی دریای مدیترانه شکل گرفته و ضمن حرکت به سمت شرق باعث بارش سنگین برف در نواحی شمالی ایران شده است. این سامانه در بازه زمانی ۲ تا ۵ فوریه ۲۰۰۵ (۱۴ تا ۱۷ بهمن ۱۳۸۳) در نواحی شمالی و شرقی دریای مدیترانه بررسی شده است. سامانه ۲ بر روی دریای سیاه تشکیل شده و در حرکت به سمت جنوب شرق، سبب بارندگی شدید در نواحی شمالی و مرکزی ایران گردیده است. این سامانه در بازه زمانی ۱۷ تا ۱۹ دسامبر (۲۷ تا ۲۹ آذر ۱۳۸۳) مطالعه شده است. سامانه ۳ نیز در ناحیه جنوبی دریای مدیترانه و بر روی دریای سرخ شکل

گرفته و در بازه زمانی ۲۷ تا ۲۹ دسامبر ۲۰۰۴ (۷ تا ۹ دی ۱۳۸۳) بر روی ایران مورد بررسی قرار گرفته است. این سامانه در عرض‌های پایین‌تری نسبت به دو سامانه دیگر حرکت کرده و ضمن دریافت رطوبت زیاد از عرض‌های پایین، بارش نسبتاً خوبی در نواحی مرکزی و جنوبی ایران به همراه داشته است.

پس از انتخاب این سه سامانه، برای بررسی فرآیند جبهه‌زایی از مدل میان‌مقیاس $MM5^1$ استفاده شده است. اجرای این مدل با شرایط تفکیک افقی ۷۵ کیلومتر و ۲۳ تراز در راستای قائم می‌باشد. همچنین با توجه به تفکیک افقی انتخابی (۷۵ کیلومتر)، طرح واره بتس-میلر^۲ برای پارامتره کردن همرفت بکار رفته است [۳]. در ادامه، با استفاده از داده‌های مراکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP)^۳ با تفکیک یک درجه در راستای طول و عرض جغرافیایی، مدل $MM5$ برای هر سامانه اجرا شد. سپس نقشه‌های PV همراه با نقشه‌های دمای پتانسیلی و رطوبت نسبی در ترازهای ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال ترسیم گردید. به علت اینکه ارتفاع برخی از نواحی مورد مطالعه از ارتفاع سطح 850 hPa بالاتر است و نقشه‌های این سطح برای این نواحی فاقد داده‌های مورد نیاز می‌باشد، لذا از سطح 850 hPa استفاده نشده است. در نقشه‌های بکار رفته، از دمای پتانسیلی برای تعیین موقعیت جبهه سطوح زیرین و از رطوبت نسبی برای مجزا کردن PV های با منشأ پوش سپهر و PV های با منشأ وردسپهر استفاده شده است. همچنین سطح مقطع‌های قائمی از کمیت‌هایی همچون PV، سرعت قائم و رطوبت نسبی در منطقه جبهه‌ای تهیه شده است که توسط آنها می‌توان به خوبی نقش تاشدگی وردایست در جبهه‌زایی سطوح زیرین و چگونگی گسترش جبهه در راستای قائم را تعیین نمود.

نتایج حاصل و تحلیل آن‌ها

جبهه‌زایی سامانه ۱

چگونگی تغییرات PV در ترازهای مختلف وردسپهر مربوط به سامانه ۱ در شکل ۱ ترسیم شده است. طبق شکل ۱-الف، در تراز 300 hPa گرادیان شدید پربند‌های PV در یک مسیر منحنی شکل در شمال اروپا از عرض‌های بالا به طرف عرض‌های پایین تر کشیده شده، ولی اثری از گرادیان

1. Mesoscale Model Version 5

2. Betts and Miller

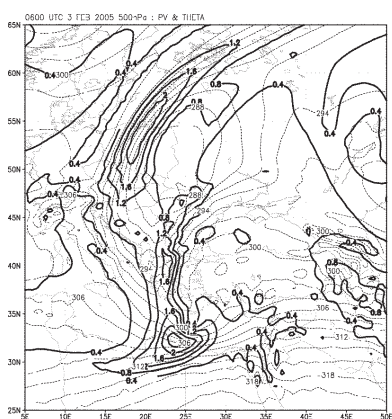
3. National Centers for Environmental Prediction

دمایی دیده نمی شود؛ به عبارتی نمی توان محل جبهه را در این تراز تعیین نمود. گرادیان شدید پربندهای رطوبت نسبی با مقادیر کم همراه با این گرادیان PV در شکل ۲-الف، بیانگر منشأ پوش سپهری این PV ها می باشد. از طرفی در تراز $hPa 500$ (شکل ۱-ب)، اگرچه از مقادیر PV در ناحیه فوق کاسته شده است، گرادیان PV دارای نوار پهن تری بوده و منطبق با آن گرادیان شدید دمایی (جبهه) ایجاد شده است. همچنین گرادیان شدید پربندهای رطوبت نسبی با مقادیر کم در منطقه جبهه ای، به خصوص ناحیه گرم آن، وجود دارد (شکل ۲-ب).

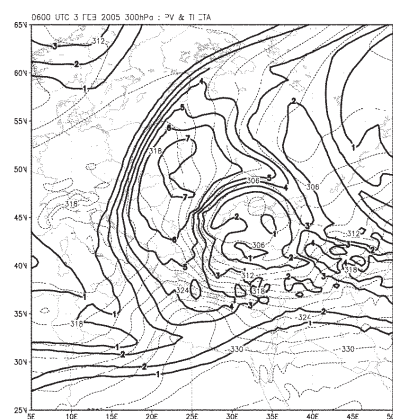
در تراز $hPa 700$ شاهد حضور گرادیان PV در ضلع سرد جبهه فوق هستیم، اگرچه از گرادیان دو کمیت PV و دمای پتانسیلی در این تراز کاسته شده است (شکل ۱-ج). مطابق شکل ۲-ج، وجود رطوبت نسبی با مقادیر کم همراه با جبهه در این تراز، نشانگر نفوذ PV های با منشأ پوش سپهر تا ترازهای پایین وردسپهر است که گسترش جبهه سطوح زیرین تا ترازهای زیرین جو را به همراه دارد. این نکته را بخوبی می توان در سطح مقطع قائم از این جبهه در عرض 56° درجه شمالی که در شکل ۷-الف ارایه شده است، مشاهده نمود. در این شکل، گرادیان دمایی از تراز $hPa 350$ تا تراز $hPa 850$ امتداد یافته که نشان دهنده گسترش جبهه در این راستا می باشد. شکل ۸-الف موقعیت پربندهای سرعت قائم نسبت به جبهه را نشان می دهد. گرادیان شدید پربندهای سرعت قائم منفی در راستای تاشدگی وردایست، بر نقش حرکت های پایین رو در تقویت تاشدگی وردایست و جبهه زایی دلالت دارد. علاوه بر این، در امتداد تاشدگی وردایست، ناحیه ای دارای پایداری ایستایی قوی (شیب مثبت پربندهای دمای پتانسیلی) بوجود آمده است.

جبهه زایی سامانه ۲

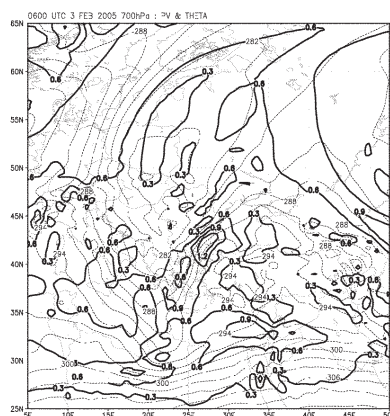
توزیع PV در سطوح فشاری مختلف برای سامانه ۲ در شکل ۳ ترسیم گردیده است. در شکل ۳-الف مربوط به تراز $hPa 300$ ، گرادیان قوی PV با مرکز PVU ۶ بر روی جبهه دیده می شود. در تراز $hPa 500$ ، گرادیان دما در پایه ناوه بوجود آمده و مرکز بسته PV با بزرگی ۳ PVU بر این ناحیه منطبق است (شکل ۳-ب). منطقه جبهه ای در تراز $hPa 700$ (شکل ۳-ج)، نسبت به تراز $hPa 500$ به سمت جنوب منتقل شده و گرادیان PV در این ناحیه کاهش یافته است، به طوری که مرکز ۱ PVU بر روی جبهه به چشم می خورد. با مقایسه الگوهای رطوبت نسبی در شکل ۴ و موقعیت جبهه در شکل ۳، انطباق رطوبت نسبی با مقادیر کم و PV های ناحیه جبهه ای در سه تراز



(ب)



(الف)

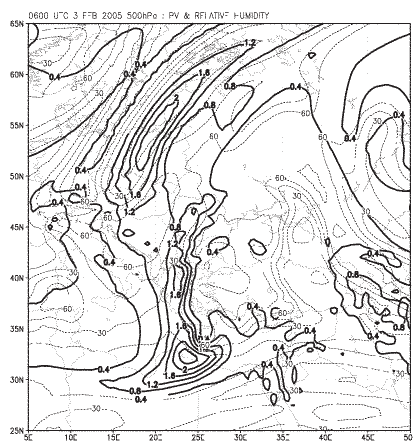


(ج)

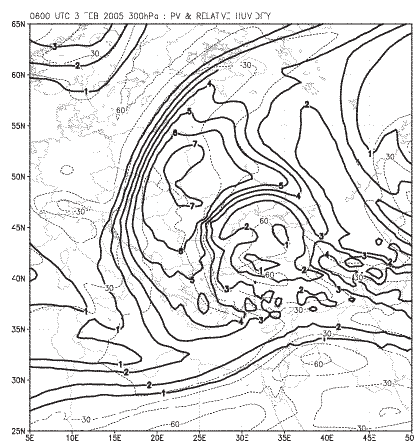
شکل ۱- تاوایی پتانسیلی (خطوط توپر) و دمای پتانسیلی (خطوط خط چین با فاصله K۲) برای سامانه ۱ در ساعت UTC ۰۶۰۰ روز ۳ فوریه ۲۰۰۵ در تراز (الف) ۳۰۰hPa، (ب) ۵۰۰hPa و (ج) ۷۰۰hPa. فاصله خطوط تاوایی پتانسیلی در شکل (الف) ۱ PVU، (ب) ۰٫۴ PVU و (ج) ۰٫۳ PVU.

۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال دیده می‌شود که بر امتداد جبهه سطوح زیرین تا تراز ۷۰۰ hPa دلالت دارد.

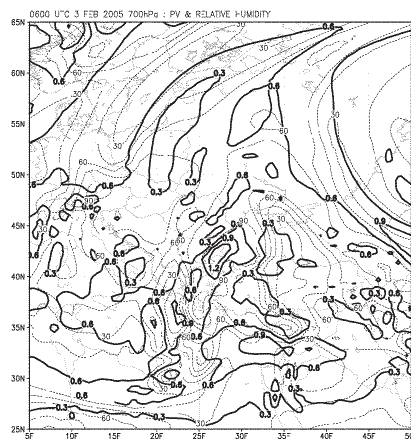
علاوه بر موارد فوق، سطح مقطع قائم تهیه شده از منطقه جبهه‌ای در طول جغرافیایی ۵۸ درجه



(ب)



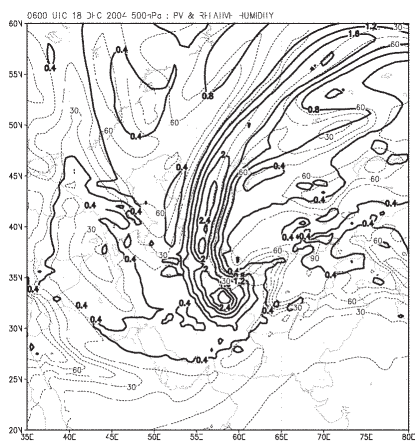
(الف)



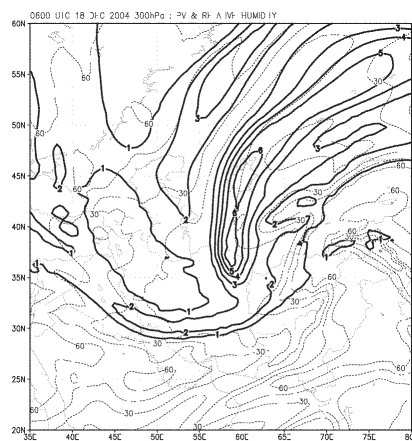
(ج)

شکل ۲- تاوایی پتانسیلی (خطوط توپر) و رطوبت نسبی (خطوط چین با فاصله ۱۵ درصد) برای سامانه ۱ در ساعت ۰۶۰۰ UTC روز ۳ فوریه ۲۰۰۵ در تراز (الف) ۳۰۰ hPa، (ب) ۵۰۰ hPa و (ج) ۷۰۰ hPa. فاصله خطوط تاوایی پتانسیلی در شکل (الف) ۱ PVU، (ب) ۰٫۴ PVU و (ج) ۰٫۳ PVU.

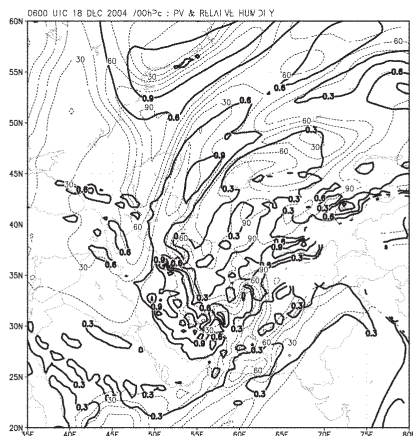
شرقی (شکل ۷-ب)، نشان می دهد که جبهه سطوح زیرین در راستای تاشدگی وردایست تا تراز ۷۰۰ hPa کشیده شده و گرادیان شدید رطوبت نسبی با مقادیر کم در بخش شمالی تاشدگی وردایست



(ب)



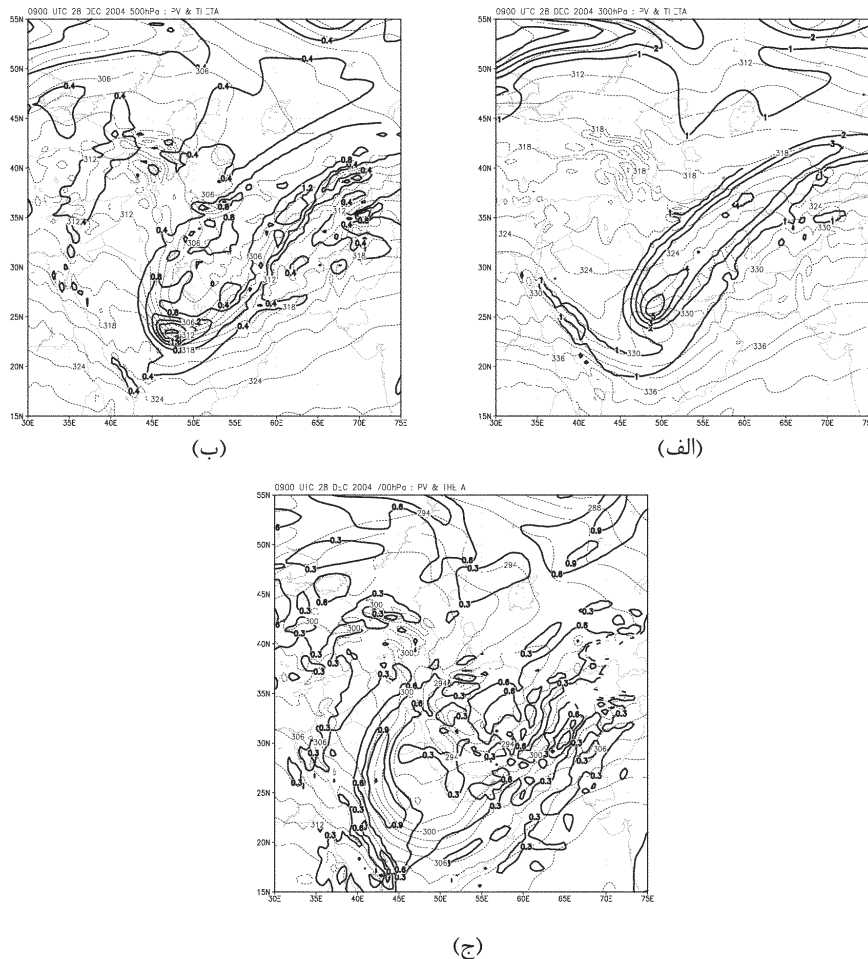
(الف)



(ج)

شکل ۳- مشابه شکل ۱ اما برای سامانه ۲ در ساعت UTC ۰۶۰۰ روز ۱۸ دسامبر ۲۰۰۴

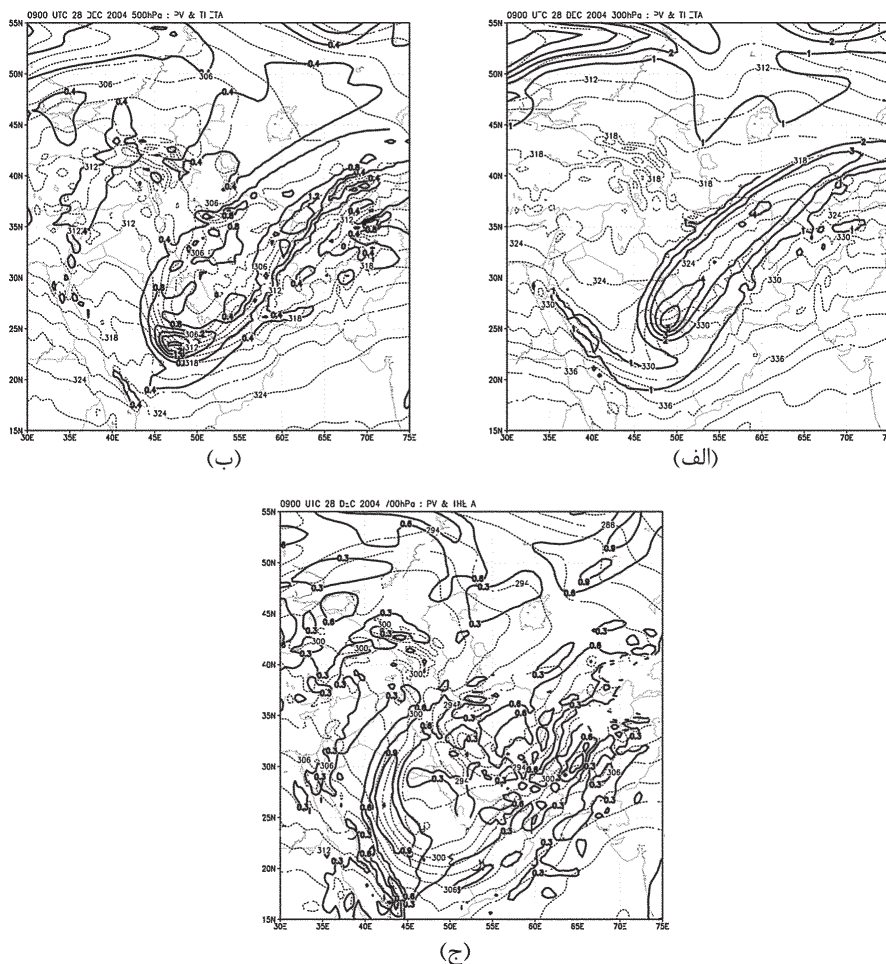
و بر روی جبهه ایجاد شده است. همچنین در شکل ۸-ب، در راستای تاشدگی وردایست و منطق بر محل جبهه، حرکت‌های پایین رو گسترش یافته است. با توجه به شیب مثبت پربندهای دمای پتانسیلی، جوی پایدار نیز در این ناحیه حاکم است.



شکل ۴- مشابه شکل ۲ اما برای سامانه ۲ در ساعت ۰۶۰۰ UTC روز ۱۸ دسامبر ۲۰۰۴

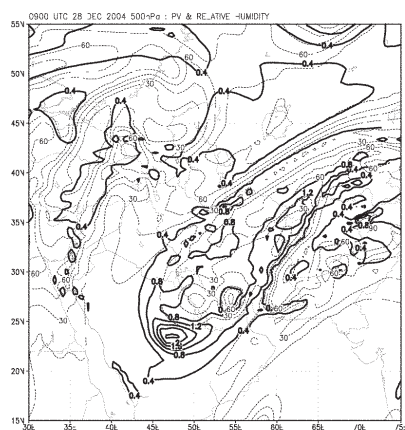
جبهه زایی سامانه ۳

شکل ۵ نشانگر ارتباط بین تغییرات PV و جبهه زایی سطوح زیرین در سامانه ۳ می باشد. در تراز ۳۰۰ hPa (شکل ۵-الف)، مرکز بسته ۵/PVU در جنوب غرب ایران قرار دارد که منطبق بر آن، گردادیان دمای پتانسیلی (جبهه) نیز ایجاد شده است. در تراز ۵۰۰ hPa، مرکز بسته PV با مقادیر

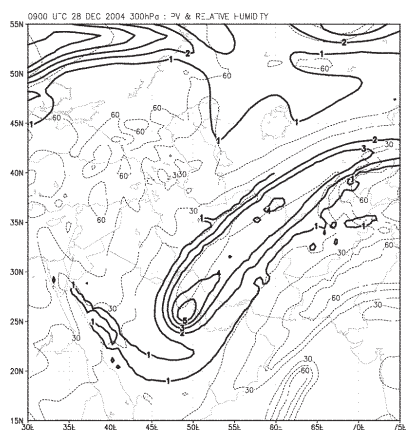


شکل ۵- مشابه شکل ۱ اما برای سامانه ۳ در ساعت ۰۹:۰۰ UTC روز ۲۸ دسامبر ۲۰۰۴

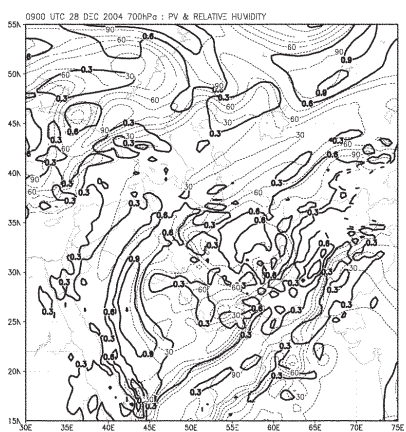
بزرگ در پایه ناوه شکل گرفته که سبب تقویت جبهه در این ناحیه گردیده است (شکل ۵-ب). در تراز 700 hPa (شکل ۵-ج)، گرادیان PV نسبت به تراز 500 hPa به طرف جنوب انتقال یافته و در بالادست ناوه دمایی واقع شده است. علاوه بر این، پریندهای رطوبت نسبی در سه تراز 300 ، 500 و 700 هکتوپاسکال (شکل ۶)، نشان می‌دهد که مقدار این کمیت بر روی جبهه کم بوده و بیانگر حضور PV هایی با منشا پوش سپهر در این نواحی می‌باشد.



(ب)

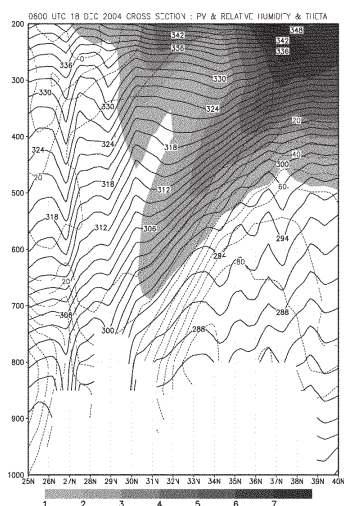


(الف)

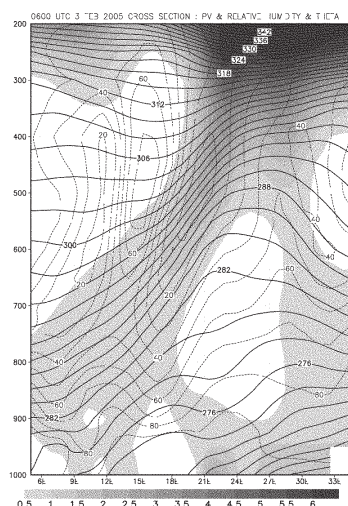


(ج)

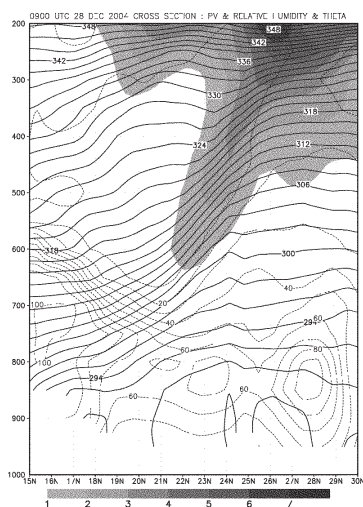
شکل ۶- مشابه شکل ۲ اما برای سامانه ۳ در ساعت ۰۹:۰۰ UTC روز ۲۸ دسامبر ۲۰۰۴



(ب)

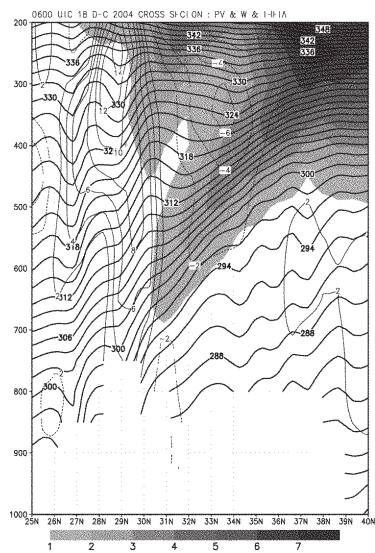


(الف)

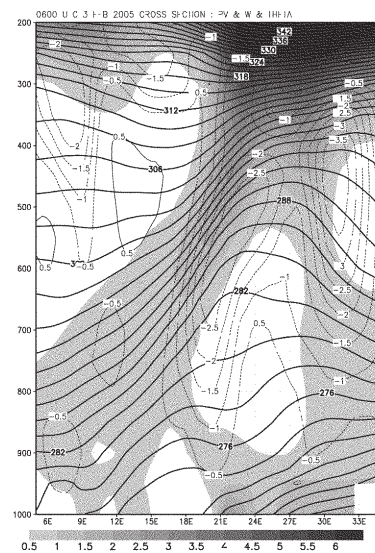


(ج)

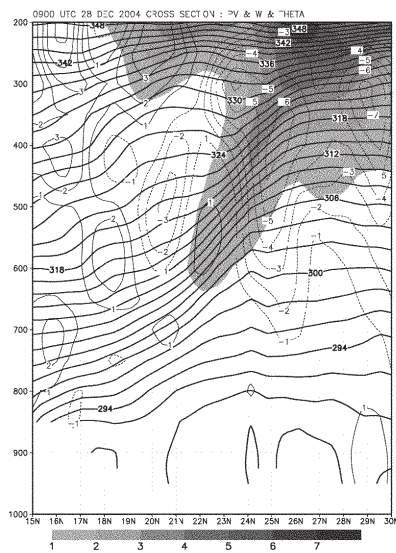
شکل ۷- سطح مقطع قائم از منطقه جبهه‌ای شامل تاوایی پتانسیلی (بصورت سایه روشن)، دمای پتانسیلی (خطوط توپر با فاصله $K2$) و رطوبت نسبی (خطوط خط چین با فاصله ۱۰ درصد) در (الف) عرض جغرافیایی $N56$ برای سامانه ۱ در ساعت $UTC 0600$ روز ۳ فوریه ۲۰۰۵، (ب) طول جغرافیایی $E58$ برای سامانه ۲ در ساعت $UTC 0600$ روز ۱۸ دسامبر ۲۰۰۴ و (ج) طول جغرافیایی $E48$ برای سامانه ۳ در ساعت $UTC 0900$ روز ۲۸ دسامبر ۲۰۰۴



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۸- مشابه شکل ۷ اما سرعت قائم (خطوط کم رنگ توپر (خط چین) نشانگر حرکت های بالارو (پایین رو) است) به جای رطوبت نسبی

سطح مقطع قائم تهیه شده از منطقه جبهه‌ای در طول جغرافیایی ۴۸ درجه شرقی (شکل ۷-ج) تا شدگی وردایست را تا زیر تراز ۶۰۰hPa نشان می‌دهد. جبهه سطوح زیرین نیز تا حدود تراز ۸۰۰hPa امتداد یافته است. با توجه به این شکل، رطوبت نسبی با مقادیر کم در ناحیه شمالی و منطبق بر محل جبهه وجود داشته که تاییدی بر منشا پوش سپهری PV ها در این ناحیه می‌باشد. از دیگر ویژگی‌های شکل ۷-ج، افزایش پایداری ایستایی با ارتفاع در راستای جبهه و جوی خنثی در ترازهای زیرین و در بخش جنوبی تا شدگی وردایست است. علاوه بر این موارد، سطح مقطع قائم ارائه شده در شکل ۸-ج، حرکت‌های پایین روی قوی در ضلع شمالی جبهه و حرکت‌های بالارو منطبق بر زبانه تا شدگی وردایست را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه جبهه‌زایی سطوح زیرین در سه سامانه فوق‌دالت بر وجود ویژگی‌های مشابه و ویژگی‌های متفاوت دارد. ابتدا به ذکر ویژگی‌های مشابه می‌پردازیم. تا شدگی وردایست سبب نفوذ PV هایی با منشا پوش سپهر تا ترازهای پایین وردسپهر شده و حرکت‌های پایین روی بسیار قوی در منطقه جبهه‌ای بوجود می‌آورد. ریزش هوای سرد از پوش سپهر به وردسپهر می‌تواند عامل شکل‌گیری جبهه (گرادیان دمای پتانسیلی) باشد. همچنین، در راستای تا شدگی وردایست، جوی پایدار بر روی جبهه ایجاد می‌شود. علاوه بر این، گرادیان قوی PV منطبق بر محل جبهه در ترازهای زیرین و میانی جو سبب ایجاد تاوایی نسبی مثبت و چرخش چرخندی پربندهای دما نسبت به میدان جریان شده که تقویت جبهه را به دنبال دارد.

حال برخی از ویژگی‌های متفاوت سه سامانه مورد مطالعه ذکر می‌شود. در سامانه ۱، عمق تا شدگی وردایست نسبت به دو سامانه دیگر بیشتر بوده و جبهه در بالادست ناوه دمایی گسترش دارد. همچنین این جبهه دارای طول بزرگ‌تری در مقایسه با دو جبهه دیگر است. در حالی که در دو سامانه دیگر، جبهه در پایه ناوه دمایی قرار دارد. به علاوه، در سامانه ۳، برخلاف دو سامانه دیگر، منطبق بر زبانه تا شدگی وردایست حرکت‌های بالارو دیده می‌شود که سبب تضعیف جبهه می‌گردد. بنابراین به نظر می‌رسد در این سامانه، تنها عوامل سطوح زیرین در تقویت جبهه تأثیرگذار هستند،

در صورتیکه در دو سامانه دیگر، عوامل سطوح میانی مانند گرادیان حرکت های قائم می تواند سبب تقویت جبهه باشد.

منابع

- ۱- احمدی گیوی، فرهنگ، علیرضا، محب الحجه و مریم، قرايلو، ۱۳۸۵، مطالعه دینامیک سامانه های چرخندی روی ایران از دیدگاه تاوایی پتانسیلی، مجله فیزیک زمین و فضا جلد ۳۲، شماره ۱، صفحه ۱۳-۱.
- ۲- محب الحجه، علیرضا، محمد، مرادی، ۱۳۸۱، فرایابی تاوایی پتانسیلی راسبی-ارتل روی سطوح هم دمای پتانسیل، دومین همایش پیش بینی عددی وضع هوا، سازمان هواشناسی کشور، مهرماه ۱۳۸۱.
3. Betts, A. K. and M. J. Miller, 1993, The Betts-Miller Scheme, Chapter in the Representation of Cumulus Convection in Numerical Models of the Atmosphere, Eds. K.A., Emanuel and D.J., Raymond. American Meteorological Society.
4. Davies, H. C., and A. M., Rossa, 1998, PV Frontogenesis and Upper Tropospheric Fronts, Mon. Wea. Rev., 126, 1528-1539.
5. Ertel, H., 1942, Ein Neuer Hydrodynamischer Wirbelsatz, Meteor. Z., 59, 271-281.
6. Hoskins, B. J., M. E., McIntyre and A. W., Robertson, 1985, On the Use and Significance of Isentropic Potential Vorticity Maps, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 111, 877-946.
7. Morgan, M. C., 1999, Using Piecewise Potential Vorticity Inversion to Diagnose Frontogenesis, Part I: A Partitioning of the Q Vector Applied to Diagnosing Surface Frontogenesis and Vertical Motion, Mon. Wea.Rev., 127, 2796-2821.
8. Nielsen, J., C., Davis and D., Keyser, 1991, Upper-level Frontogenesis Made Easy- Preprints, First Int. Symp. on Winter Storms, New Orleans, LA, Amer.

Meteor. Soc., 82-87.

9. Rossby, C. G., 1940, Planetary Flow Patterns in the Atmosphere, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 66, 68-87.
10. Sanders, F., L. F. Bosart and C.-C., Lai, 1991, Initiation and Evolution of an Intense Upper-level Front, Mon. Wea. Rev., 119, 1337-1367.
11. Wandishin, M. S., J. W., Nilsen-Gammon and D. Keyser, 2000, A Potential Vorticity Diagnostic Approach to Upper-level Frontogenesis within a Developing Baroclinic Wave, J. Atmos. Sci., 57, 3918-3938.