

## تخمین بارش به وسیله سرعت قائم و آب بارش شو

### چکیده

در این مطالعه یک مدل ساده پیش‌بینی بارش که به دو پارامتر سرعت قائم و آب بارش شو وابسته است، به منظور برآورد میزان بارش بر روی ایران به کار گرفته شده است. در محاسبه سرعت قائم و آب بارش شو از روش‌های مختلفی استفاده شده است. روش جنبش شناختی با تابع تصحیح واگرایی و معادله امگای شبه زمینگرد برای برآورد سرعت قائم و انتگرال‌گیری قائم از نم ویژه در ترازهای مختلف فشاری و استفاده از دما و دمای نقطه شبنم سطح زمین برای برآورد آب بارش شو به کار رفته است. با به کارگیری داده‌های مدل تمام کره‌ای AVN با گام افقی یک درجه و نیز داده‌های بایگانی مرکز NCEP/NCAR با گام افقی دو و نیم درجه‌ای در مختصات کروی و روی ترازهای فشاری مختلف، برای دو حالت موردی مشخص سرعت قائم و آب بارش شو به روش‌های مختلف محاسبه شدند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که برای دو حالت موردی بیست و ششم تا بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۰۴ و دهم تا دوازدهم ژانویه سال ۲۰۰۲، استفاده از روش جنبش‌شناختی با تابع تصحیح واگرایی به سبب بستگی به واگرایی افقی، و در نتیجه به سبب بستگی به مؤلفه‌های افقی باد، چون باد حاصل تمام کنش‌های انرژی‌زای درون جو می‌باشد، سرعت قائم نتیجه مناسبی را به دست می‌دهد. همچنین انتگرال‌گیری قائم از نم ویژه در ترازهای مختلف فشاری به سبب رابطه مستقیم آن با مجموع جرم بخار آب موجود در جو از سطح زمین تا پایان جو، نتیجه مناسبی از آب بارش شو را به دست

می‌دهد. از این رو با مقایسه نتایج به دست آمده از مدل با میزان بارش واقعی ایستگاه‌های موجود، چنین برمی‌آید که این مدل ساده دو پارامتری با وجودی که میزان بارش را به سبب در نظر نگرفتن شار رطوبتی از عرض‌های جنوبی که سهم بزرگی در ریزش‌های جوی ایران دارد، بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند ولی الگوی تغییرات فضایی و زمانی بارش را به خوبی نشان می‌دهد. به علاوه بررسی‌ها نشان می‌دهد که گرمای نهان آزاد شده در فرآیندهای ترمودینامیکی و دینامیکی بر روی دریای عمان بیش از گرمای نهان آزاد شده بر روی شرق دریای مدیترانه است.

کلید واژه‌ها: کم فشار بریده، آب بارش شو، نم ویژه، سرعت قائم.

#### مقدمه

کم فشار بریده<sup>۱</sup> در زمره پدیده‌های مهم و بنیادی هواشناسی است که عموماً در عرض‌های میانی، در اثر گردش نصف‌النهاری جریان‌های جتی<sup>۲</sup> به وجود می‌آیند و دارای هسته سردی هستند. در نقشه‌های همدیدی متداول ترازهای بالا، کم فشار بریده را به صورت خطوط بسته ژئوپتانسیل نشان می‌دهند (بنی‌هاشم و همکاران، ۱۳۷۸، ۳۷). از آنجایی که حرکت بالا سوی هوای مرطوب با تشکیل ابر و پدیده‌های هواشناختی گوناگون همراه است و نیز حرکت پایین سوی هوا موجب از بین رفتن ابر است، از این رو تشخیص مؤلفه قائم تندی باد و بررسی مجموع جرم بخار آب موجود در جو در یک محل خاص و وجود جریان‌های همگرایی رطوبت، زمینه‌ای مناسب برای برآورد مقدار بارش در آن محل است (مرادی و همکاران، ۱۳۸۱، ۶۶).

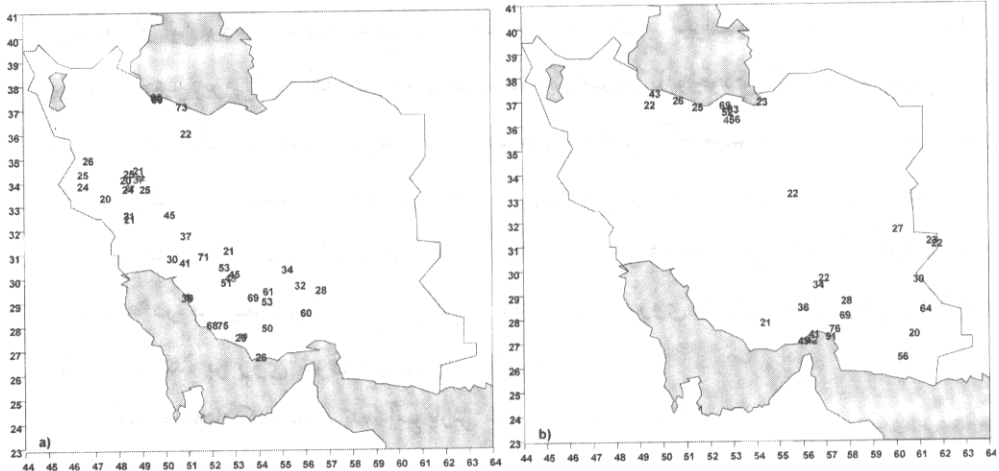
در این بررسی، با مقدمه‌ای از مبانی دینامیکی مسأله، کوشش می‌شود، مؤلفه قائم سرعت باد و آب بارش شو<sup>۳</sup> را بدون در نظر گرفتن فرارفت<sup>۴</sup> رطوبت، در کم فشار بریده‌ای که در روزهای بیست و ششم تا بیست و هشتم دسامبر ۲۰۰۴ ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب ریزش باران‌های شدید در نیمه جنوبی ایران می‌شود، محاسبه کرد و میزان بارش را نیز به کمک رابطه تجربی تخمین زد. شکل ۱ میزان بارش ۲۴ ساعته بیش از بیست میلی‌متر این سامانه را در روزهای (a) بیست و ششم و (b) بیست و هفتم دسامبر ۲۰۰۴ نشان می‌دهد.

1. Cut-off-low.

2. Jet stream.

3. Precipitable Water.

4. Advection.



شکل ۱ میزان بارش ۲۴ ساعته بیش از بیست میلی‌متر در روزهای (a) بیست و ششم و (b) بیست و هفتم دسامبر ۲۰۰۴ ( اعداد روی محورها طول و عرض جغرافیائی بر حسب درجه است).

### معادله‌های پایه

در این بررسی مؤلفه قائم سرعت باد، که در فرایابی و پیش‌یابی برخی پارامترهای جوی و نیز گسترش و توسعه سامانه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است، و همچنین آب بارش شو، که زمینه‌ای مناسب برای برآورد مقدار بارش در یک محل است، مورد بررسی قرار می‌گیرند که به صورت زیر فرمول‌بندی می‌شوند.

### محاسبه سرعت قائم

ساده‌ترین شیوه محاسبه سرعت قائم، روش جنبش‌شناختی<sup>۵</sup> است که در آن از معادله پیوستگی در دستگاه  $P$  روی ترازهای مختلف فشاری انتگرال‌گیری می‌شود، که به دلیل وابستگی این کمیت به واگرایی افقی و در نتیجه مؤلفه‌های افقی باد، مقدار این کمیت در این روش دستخوش خطای زیادی می‌شود (احمدی‌گیوی و همکاران، ۱۳۷۲، ۴۷). برای کاستن از اثر این خطاها، روش‌های گوناگونی برای تصحیح واگرایی افقی وجود دارد که می‌توان به هموار کردن واگرایی در راستای قائم به وسیله توابع تکه‌ای و به کارگیری ضریب تصحیح  $E$  برای واگرایی اشاره کرد (کریشنا مورتی، ۱۹۱۶، ۳۳ تا ۳۴).

در این بررسی علاوه بر تصحیح میدان واگرایی و محاسبه سرعت قائم به صورت زیر:

$$\omega(p) = -\int_{1000}^p [\text{div} + \varepsilon|\text{div}|] dp \quad (1)$$

که در آن ضریب تصحیح واگرایی به صورت زیر است:

$$\varepsilon = -\frac{\int_{1000}^{100} \text{div} dp}{\int_{1000}^{100} |\text{div}| dp} \quad (2)$$

در هر تراز فشاری، سرعت قائم از معادله امگای شبه زمینگرد<sup>۶</sup> نیز به صورت زیر به دست می آید (بلوشتاین، ۱۹۹۲، ۳۲۸ و هولتون، ۱۹۹۲، ۱۶۷):

$$\left( \sigma \nabla_p^2 + f_0^2 \frac{\partial^2}{\partial p^2} \right) \omega = -\frac{R_d}{p} \nabla_p^2 (-\vec{V}_g \cdot \nabla_p T) - f_0 \frac{\partial}{\partial p} [-\vec{V}_g \cdot \nabla_p (\zeta_g + f)] \quad (3)$$

که در آن  $\sigma$  پارامتر پایداری ایستایی<sup>۷</sup> است و به صورت زیر می باشد:

$$\sigma = -\frac{R_d T}{p \theta} \frac{\partial \theta}{\partial p} \quad (4)$$

$\text{div}$  واگرایی<sup>۸</sup> افقی،  $T$  دما،  $\theta$  دمای پتانسیل،  $P$  فشار،  $V$  بردار باد زمینگرد<sup>۹</sup> و  $f$  تاوایی<sup>۱۰</sup> سیاره ای است.

### محاسبه آب بارش شو

آب بارش شو بنا به تعریف عبارت است از مجموع جرم بخار آب موجود در جو در یک محل خاص از سطح زمین تا پایان جو که معمولاً در عرض های میانی مقدار آن یک تا پنج سانتی متر است و با رابطه زیر بیان می شود (کارلسون، ۱۹۹۱، ۱۰۱ و بوکولاری و همکاران، ۲۰۰۱، ۳ تا ۴):

$$P_w = -\frac{1}{\rho_w g_m} \int q dp \quad (5)$$

که در آن  $g_m$  میانگین شتاب جاذبه،  $\rho_m$  چگالی آب و  $q$  نم ویژه از رابطه زیر به دست می آید (هورلی، ۱۹۹۴، ۲۹۰).

$$q = q(T_d) = \frac{0.622 e_s(T_d)}{P - 0.378 e_s(T_d)} \quad (6)$$

$e_s(T_d)$  نیز فشار بخار آب به صورت زیر است (مرادی و همکاران، ۱۳۸۰، ۳۰ و راجر و همکاران، ۱۹۹۶، ۱۴):

$$e_s(T_d) = 6.11 \text{EXP} \left[ \frac{L_v}{R_v} \left( \frac{1}{273.15} - \frac{1}{T_d} \right) \right] \quad (V)$$

$T_d$  دمای نقطه شبنم،  $L_v$  گرمای نهان تبخیر و  $R_v$  ثابت ویژه گاز برای بخار آب است. به دلیل کاهش شدید نم ویژه با ارتفاع و جزئی بودن سهم جرم بخار آب موجود در ارتفاعات بالای هشت کیلومتری سطح زمین (راسموسون، ۱۹۷۷، ۱۳)، با انتگرال گیری از معادله (۵) روی ترازهای فشاری، از سطح زمین تا ۱۰۰ هکتو پاسکال، آب بارش شو به دست می آید. در ایستگاه‌های همدیدی که کمیت دما و نقطه شبنم را به طور مستقیم اندازه گیری می کنند، به سبب وابستگی این دو کمیت با هم (اسمیت، ۱۹۶۶، ۷۲۶)، یک رابطه کاربردی و مناسب برای محاسبه آب بارش شو بر حسب میلی متر به صورت زیر است:

$$P_w = \frac{4.39}{100} \frac{RH}{T} \text{EXP} \left[ \frac{26.23 - \frac{5417.1}{T}}{T} \right] \quad (A)$$

که  $T$  دما بر حسب کلون است و  $RH$  نم نسبی نیز از رابطه  $RH = \frac{e_s(T_d)}{e_s(T)} \times 100$  به دست می آید و  $e_s(T)$  فشار بخار اشباع است (Retallach, 1981, 83). یکی دیگر از روش‌های محاسبه آب بارش شو بر پایه داده‌های GPS بنا شده است که جزئیات بیشتر در منابع (بویس و همکاران، ۱۹۹۴، ۳۸۰؛ بویس و همکاران، ۱۹۹۲، ۱۵۷۹۰؛ دوان و همکاران، ۱۹۹۶، ۳۸۰؛ کیو و همکاران، ۲۰۰۰، ۶؛ و مرادی و همکاران، ۱۳۸۱، ۷۰) آورده شده‌اند.

### تحلیل بارش

برای برآورد تقریبی میزان بارش یک وضعیت جوی بر حسب فراسنج‌های فرایابی سرعت قائم و نم ویژه، رابطه تجربی و ساده‌ای به صورت زیر تعریف می شود (Carlson, 1991, 103).

$$P_T = -0.3\omega_7 P_w \quad (9)$$

که  $P_w$  آب بارش شو بر حسب سانتی متر،  $\omega_7$  مؤلفه قائم سرعت باد در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال بر حسب میکروبار بر ثانیه و  $P_T$  میزان بارش بر حسب سانتی متر بر روز می باشد. این رابطه زمانی درست است که سرعت قائم بالا سو باشد و میانگین نم نسبی لایه ۵۰۰-۱۰۰۰، بیشتر از هفتاد درصد باشد.

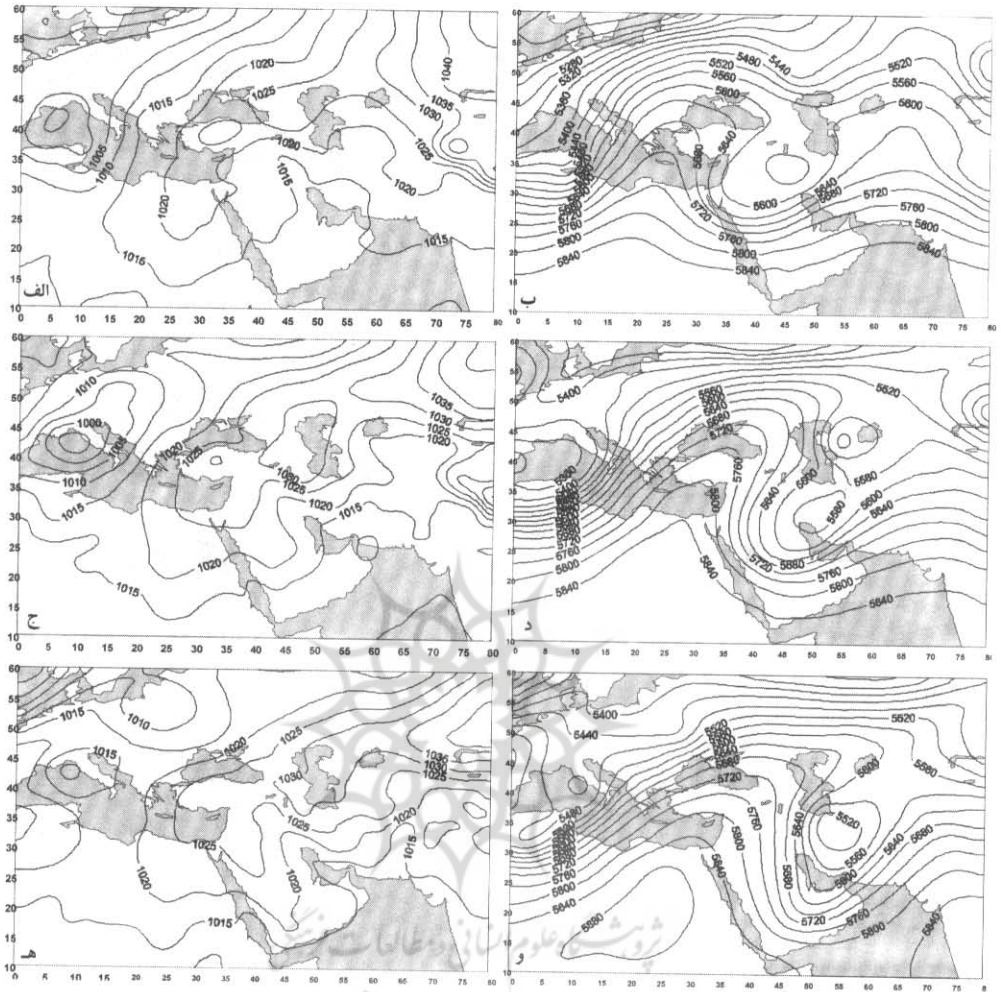
### داده‌ها و شیوه کار

فعالیت یک کم فشار دینامیکی در روزهای ۲۶ تا ۲۸ دسامبر ۲۰۰۴ در روی ایران، سبب ریزش بارش‌های نسبتاً سنگین در بیشتر نقاط نیمه جنوبی ایران از جمله استان‌های خوزستان، فارس، بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان شد که دوره زندگی آن با به کارگیری داده‌های آغازین دما، مؤلفه‌های بردار باد، دمای نقطه شبنم، ارتفاع ترازهای فشاری مختلف و فشار سطح دریا در این مطالعه بررسی شد. این داده‌ها از مدل تمام کره‌ای Avn که تفکیک افقی آن یک درجه و در راستای قائم دارای ۲۳ تراز فشاری است گرفته شد و بخشی از آن که در محدوده ۰ تا ۸۰ درجه طول جغرافیایی و ۱۰ تا ۶۰ درجه عرض جغرافیایی قرار دارند، از بیست و ششم تا بیست و هشتم دسامبر ۲۰۰۴ در ساعات ۰۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. با انتخاب یک شبکه منظم  $۵۱ \times ۸۱$  نقطه‌ای در راستای افقی و گام شبکه‌ای یک درجه و به کارگیری دستگاه مختصات کروی، در هر نقطه این شبکه همچون نقطه  $i$  و  $z$  در هر تراز فشاری  $p$  با اندیس  $k$ ، کمیت‌های فرمول‌بندی شده در بندهای پیشین در هر نقطه از شبکه به دست آمد. همچنین در روزهای دهم تا دوازدهم ژانویه سال ۲۰۰۲ یک کم فشار بریده در شرق دریای مدیترانه تشکیل می‌شود و به تدریج به سوی شرق حرکت می‌کند. برای مقایسه مؤلفه قائم سرعت باد از داده‌های آرشیو  $NCEP/NCAR$  که دارای تفکیک افقی دو و نیم درجه و در راستای قائم دارای ۱۷ تراز فشاری است، استفاده شد و با انتخاب یک شبکه منظم  $۲۱ \times ۳۲$  نقطه‌ای در راستای افقی و گام شبکه‌ای دو و نیم درجه، مؤلفه قائم سرعت باد در این شبکه منظم محاسبه شد. شایان ذکر است که در نقاط داخلی شبکه از روش مشتق مرکزی و در نقاط مرزی از روش مشتق پیش سو و پس سو استفاده شده است.

### بررسی همدیدی

بررسی همدیدی نقشه‌های واقعی از بیست و پنجم تا بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۰۴ نشان می‌دهند که در سطح زمین عرض‌های میانی دو مرکز پر فشار قرار دارند که

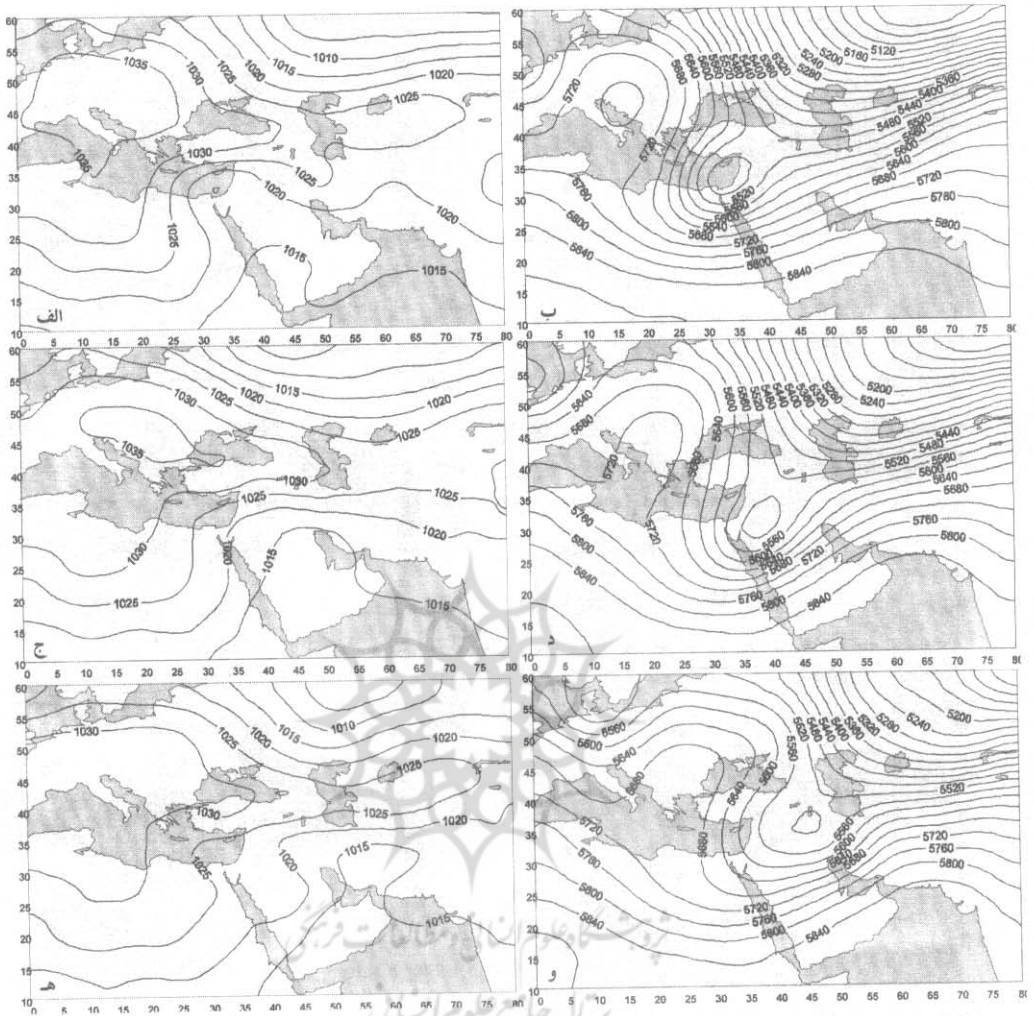
به تدریج با هم ترکیب می‌شوند و یک مرکز پر فشار گسترده را تشکیل می‌دهند. با امتداد پشته فشاری<sup>۱۳</sup> این سامانه به سوی جنوب دریای مدیترانه، ناوه فشاری دریای سرخ<sup>۱۴</sup> به سوی شرق کشیده می‌شود و در روز بیست و ششم دسامبر در روی خلیج فارس قرار می‌گیرد (شکل ۲-الف). با امتداد پشته فشاری ذکر شده به سوی شرق دریای سرخ در ۲۴ ساعت بعد، مرکز کم فشار کوچکی در شرق تنگه هرمز به وجود می‌آید (شکل ۲-ج) که به تدریج در روز بیست و هشتم دسامبر منطقه کم فشار جنوب ایران به سوی شرق جابجا می‌شود (شکل ۲-ه). در تراز میانی جو دیده می‌شود که در اثر تغییر نصف‌النهاری جریان‌های جت قطبی، ناوه ژرف این تراز در شرق دریای مدیترانه به یک کم فشار بریده با هسته سرد تبدیل می‌شود که با تقویت پشته ارتفاع عرض‌های جنوب دریای مدیترانه به سوی دریای سیاه، این سامانه به سوی شرق حرکت می‌کند تا اینکه در روز بیست و ششم دسامبر ۲۰۰۴ این سامانه در غرب ایران قرار می‌گیرد (شکل ۲-ب). گسترش و تقویت پشته ارتفاع به سوی شمال دریای خزر در روز بیست و هفتم دسامبر، سبب حرکت کم فشار بریده به سوی خلیج فارس و مرکز ایران می‌شود (شکل ۲-د) و سپس در روز بیست و هشتم دسامبر به شمال شرق ایران جابجا شده (شکل ۲-و) و ضمن اینکه بیشتر نقاط ایران را به صورت بارش شدید باران و کاهش دما تحت تأثیر قرار می‌دهد، در روز بیست و نهم دسامبر ۲۰۰۴ از ایران خارج می‌شود. در روز دهم ژانویه سال ۲۰۰۲ نیز در سطح زمین یک منطقه پر فشار گسترده در عرض‌های میانی وجود دارد که مرکز آن در روی اروپا است و پشته آن به سوی غرب دریای سرخ امتداد می‌یابد. این ساز و کار سبب می‌شود تا ناوه فشاری دریای سرخ به سوی شرق و شمال شرق امتداد یابد (شکل ۳-الف). در روز یازدهم ژانویه بخش شمالی آن تا شرق دریای مدیترانه و بخش مرکزی آن به سوی خلیج فارس کشیده می‌شود (شکل ۳-ج). در روز دوازدهم ژانویه این سامانه تنگه هرمز را در بر می‌گیرد (شکل ۳-ه). در تراز میانی جو نیز کم فشار بریده شرق دریای مدیترانه (شکل ۳-ب) در حرکت آهسته خود به تدریج به شمال دریای سرخ نزدیک می‌شود (شکل ۳-د) و در روز دوازدهم ژانویه در غرب ایران جای می‌گیرد (شکل ۳-ه) و سبب بارش شدید باران در بیشتر نقاط نیمه غربی ایران می‌شود.



شکل ۲ میدان‌های فشار سطح زمین (برحسب هکتوپاسکال) و ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (برحسب متر) که از مدل Avn گرفته شده است.

- (الف) گرته فشاری سطح زمین در ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۴.
- (ب) گرته ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۴.
- (ج) مانند الف) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هفتم دسامبر سال ۲۰۰۴.
- (د) مانند ب) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هفتم دسامبر سال ۲۰۰۴.
- (ه) مانند الف) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۰۴.
- (و) مانند ب) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۰۴.
- اعداد روی محورهای طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه هستند. فاصله هم‌فشارها ۵ هکتوپاسکال و فاصله پریندهای ارتفاع ۴۰ متر می‌باشد.





شکل ۳ میدان‌های فشار سطح زمین (برحسب هکتوپاسکال) و ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (برحسب متر) که از آرشیو NCEP/NCAR گرفته شده است.

الف) گرتة فشاری سطح زمین در ساعت ۱۰۰۰ UTC روز دهم ژانویه سال ۲۰۰۲.

ب) گرتة ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ساعت ۱۰۰۰ UTC روز دهم ژانویه سال ۲۰۰۲.

ج) مانند الف) ولی برای ساعت ۱۰۰۰ UTC روز یازدهم ژانویه سال ۲۰۰۲.

د) مانند ب) ولی برای ساعت ۱۰۰۰ UTC روز یازدهم ژانویه سال ۲۰۰۲.

هـ) مانند الف) ولی برای ساعت ۱۰۰۰ UTC روز دوازدهم ژانویه سال ۲۰۰۲.

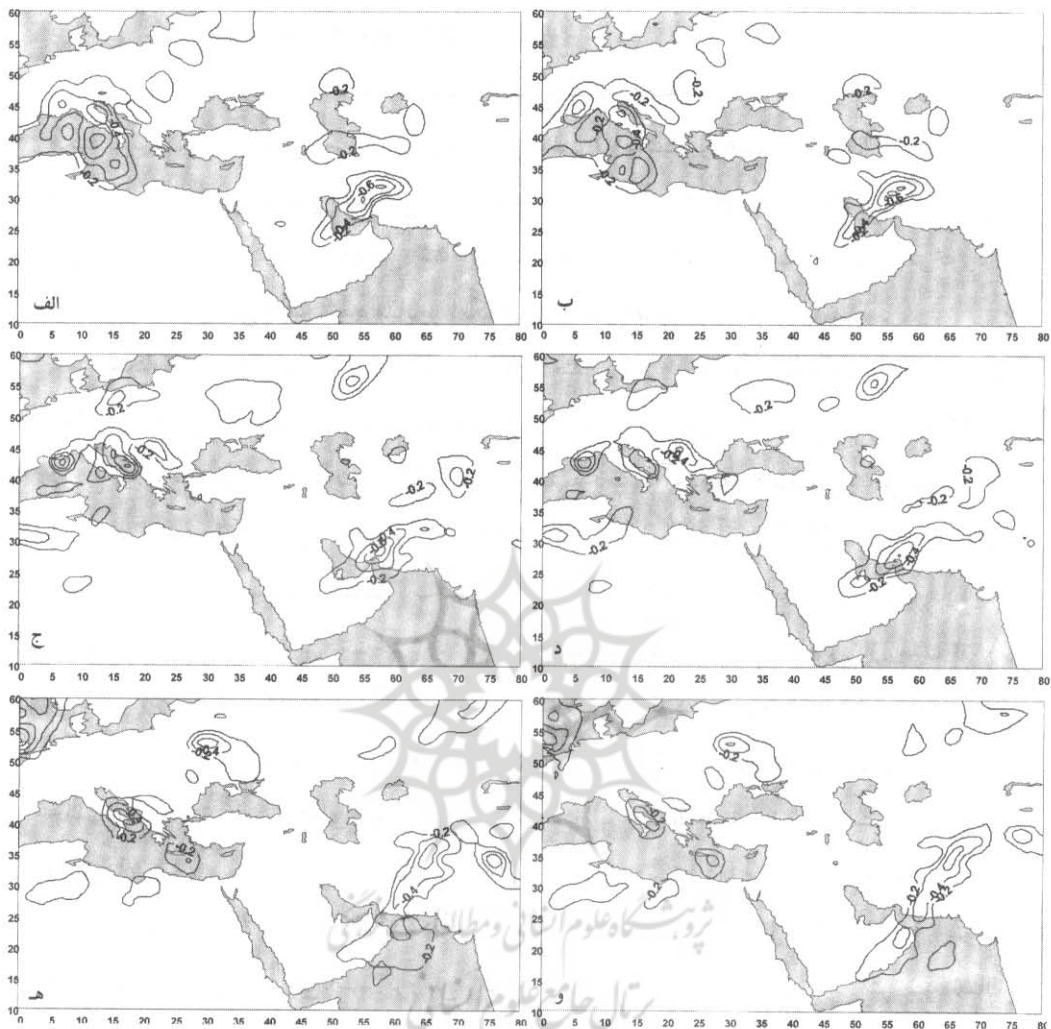
و) مانند ب) ولی برای ساعت ۱۰۰۰ UTC روز دوازدهم ژانویه سال ۲۰۰۲.

اعداد روی محورهای طول و عرض جغرافیایی برحسب درجه هستند. فاصله هم‌فشارها ۵ هکتوپاسکال و فاصله پربندهای ارتفاع ۴۰ متر می‌باشد.

### بررسی گرده کمیت‌های محاسبه شده

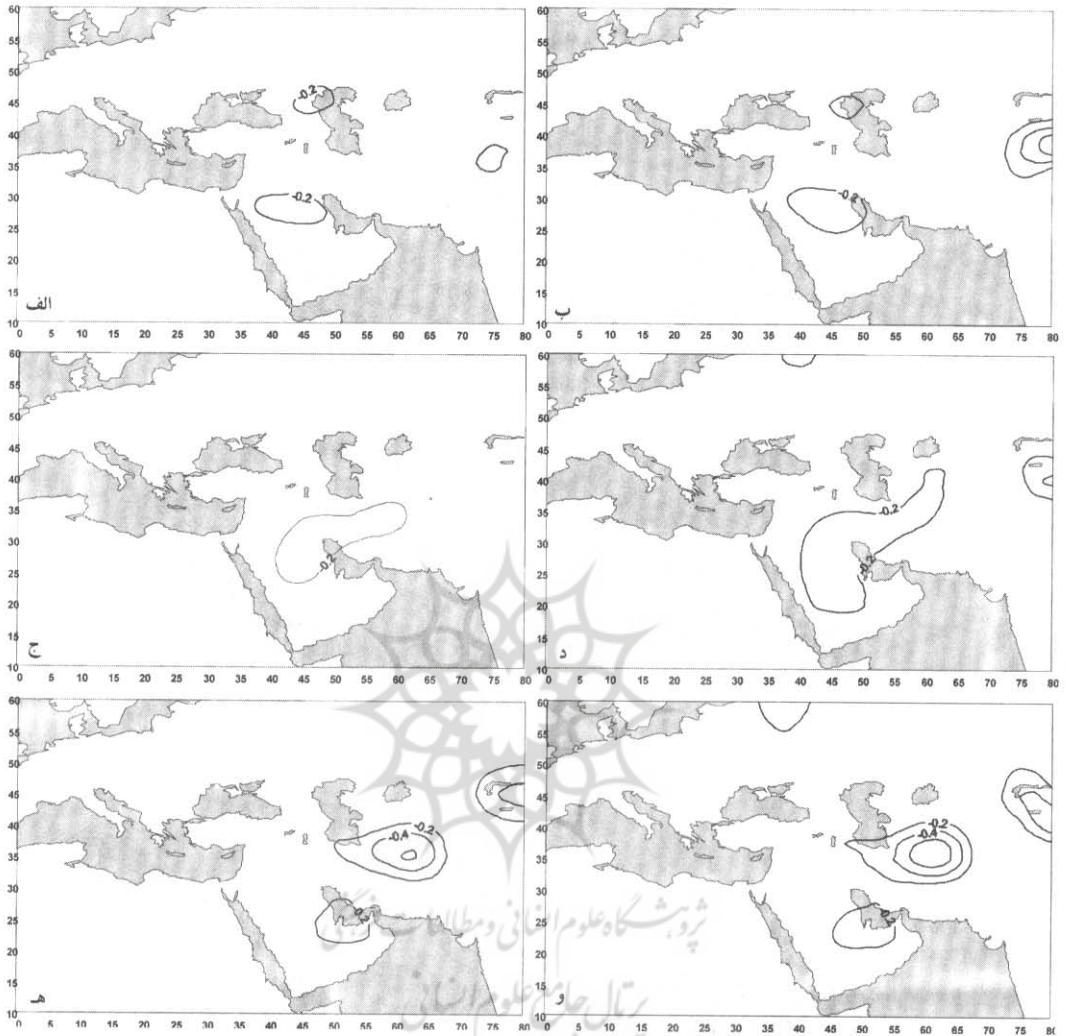
بررسی گرده مؤلفه قائم سرعت باد بر حسب هکتوپاسکال بر ثانیه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای دوره سه روزه بیست و شش تا بیست و هشت دسامبر ۲۰۰۴ نشان می‌دهد که روش جنبش شناختی با توابع تکه‌ای و نیز استفاده از معادله امگای شبه زمینگرد نسبت به روش جنبش شناختی با تابع تصحیح E از دقت کمتری برخوردار هستند. در دو روش ذکر شده مقادیر امگا از نظر قدر مطلق بزرگتر می‌باشند.

شکل‌های ۴-الف و ۴-ب گرده امگای منفی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال را در ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر ۲۰۰۴ نشان می‌دهند که اولی از مدل Avn و دومی از روش جنبش شناختی با تابع تصحیح E به دست آمده‌اند. همچنین شکل‌های ۴-ج و ۴-د و نیز شکل‌های ۴-ه و ۴-و همین کمیت را در ساعت UTC ۰۰۰۰ روزهای بیست و هفتم و بیست و هشتم دسامبر ۲۰۰۴ نشان می‌دهند. از مقایسه این گرده‌ها دیده می‌شود که روش جنبش شناختی با تابع تصحیح E مشابه نتایج حاصل از مدل Avn می‌باشد. این شرایط از مقایسه روش جنبش شناختی با تابع تصحیح E و نتایج حاصل از آرشیو NCEP/NCAR نیز که در شکل ۵ آورده شده‌اند، به دست می‌آید ولی در این حالت به سبب گام شبکه‌ای دو و نیم درجه‌ای در برخی نقاط مرزی به سبب استفاده از مشتق‌های پیش سو و پس سو مقادیر امگال منفی به دست آمده است. همچنین بررسی میدان مؤلفه قائم بالاسو نشان می‌دهد که جایگاه کمینه امگای این تراز در شرق و جنوب شرق کم فشار بریده می‌باشد. بررسی گرده آب بارش شو بر حسب میلی‌متر نیز نشان می‌دهد که روش انتگرال‌گیری قائم از نم ویژه در ترازهای معیار جو نسبت به روش استفاده از دما و دمای نقطه شبنم سطح زمین مناسب‌تر می‌باشد زیرا روش دوم نسبت به روش اول مقادیر بزرگتری از این کمیت را به دست می‌دهد و گرده‌ها نیز پهن‌تر می‌باشند. شکل‌های ۶-الف و ۶-ب آب بارش شو را در ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر ۲۰۰۴ نشان می‌دهند که اولی از مدل Avn و دومی نتیجه محاسبه این کمیت با استفاده از روش انتگرال‌گیری قائم نم ویژه می‌باشد. شکل‌های ۶-ج و ۶-د و همچنین شکل‌های ۶-ه و ۶-و نیز همین گرده را به ترتیب در ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هفتم و بیست و هشتم دسامبر ۲۰۰۴ نشان می‌دهند.



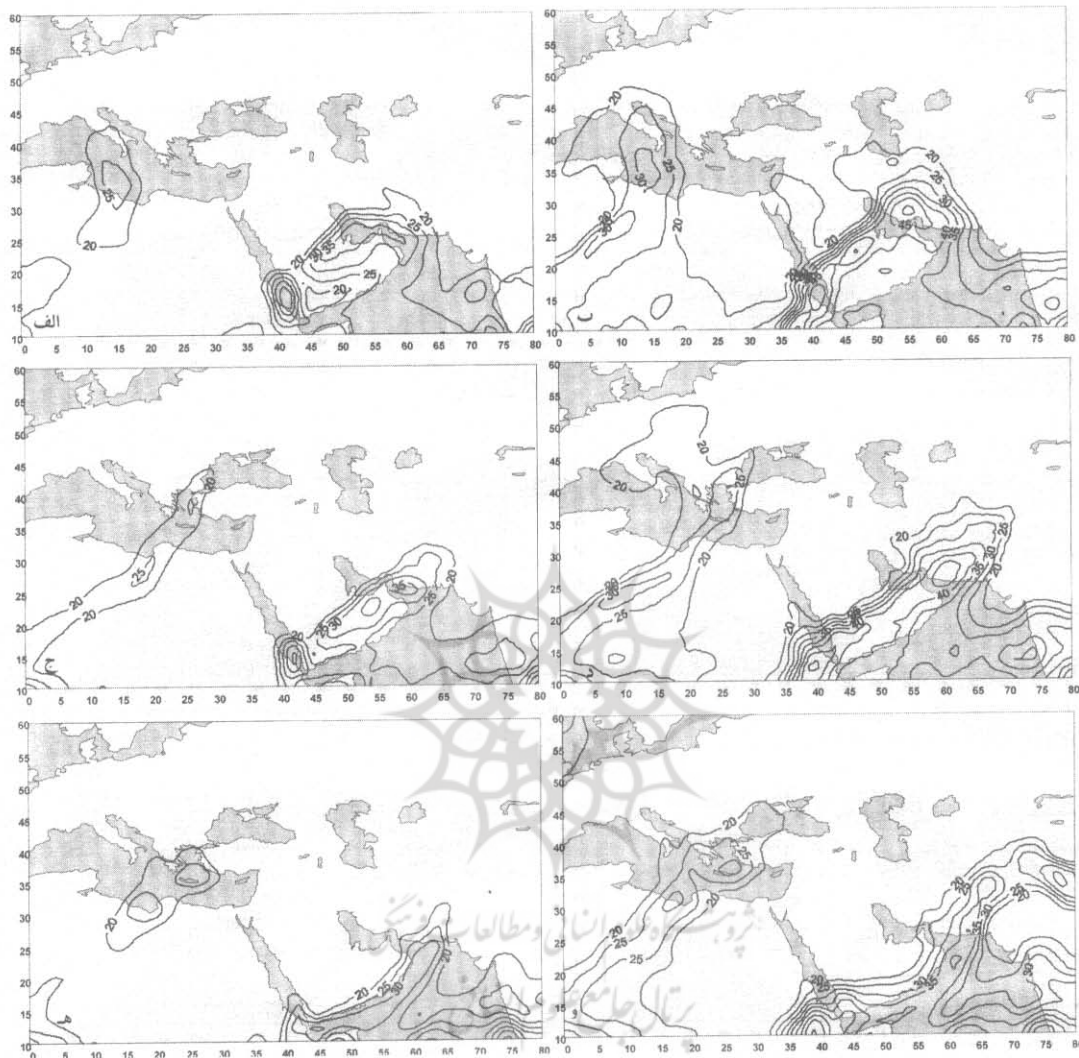
شکل ۴ میدان مؤلفه قائم سرعت باد بالاسو (امگای منفی) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برحسب  
هکتوپاسکال بر ثانیه

- الف) امگای مدل Avni برای ساعت UTC ۱۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 ب) امگای محاسبه شده برای ساعت UTC ۱۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 ج) مانند الف) ولی برای ساعت UTC ۱۰۰۰ روز بیست و هفتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 د) مانند ب) ولی برای ساعت UTC ۱۰۰۰ روز بیست و هفتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 ه) مانند الف) ولی برای ساعت UTC ۱۰۰۰ روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 و) مانند ب) ولی برای ساعت UTC ۱۰۰۰ روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 اعداد روی محورها طول و عرض جغرافیایی برحسب درجه هستند. فاصله هم مقادارها  $۱/۲$  واحد می باشد.



شکل ۵ میدان مؤلفه قائم سرعت باد بالاسو (امگای منفی) در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برحسب هکتوپاسکال بر ثانیه

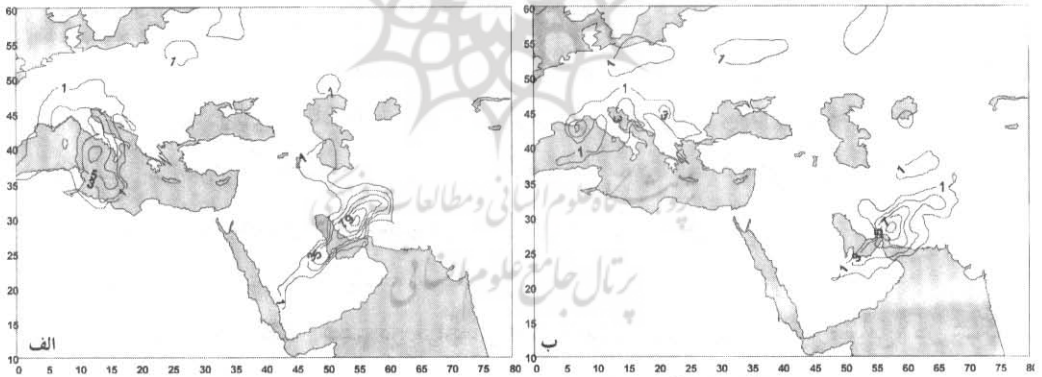
- الف) امگای آرشیو NCEP/NCAR برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 ب) امگای محاسبه شده برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 ج) مانند الف) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هفتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 د) مانند ب) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هفتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 ه) مانند الف) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 و) مانند ب) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 اعداد روی محورهای طول و عرض جغرافیایی برحسب درجه هستند. فاصله هم مقادارها ۰/۲ واحد می‌باشد.



شکل ۶ گرتة آب بارش شو بر حسب میلی متر. هم مقدارهای بیش از بیست میلی متر رسم شده‌اند.

- الف) آب بارش شو مدل Avn برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 ب) آب بارش شو محاسبه شده برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 ج) مانند الف) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هفتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 د) مانند ب) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هفتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 هـ) مانند الف) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 و) مانند ب) ولی برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هشتم دسامبر سال ۲۰۰۴.  
 اعداد روی محورها طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه هستند. فاصله هم مقادیر ۵ واحد می باشد.

از مقایسه این دو مشاهده می‌شود که این روش محاسبه، مقادیر این کمیت را کمی بیشتر و همچنین گردها را نیز پهن‌تر نشان می‌دهد ولی نسبت به روش‌های دیگر به گردهای مدل Avn نزدیکتر می‌باشد. همچنین دیده می‌شود که یکی از مراکز بیشینه این کمیت از دریای سرخ به سوی سواحل دریای عمان و خلیج فارس کشیده می‌شود و یک مرکز بیشینه دیگری نیز در روی دریای مدیترانه قرار گرفته است به طوری که مقدار مرکز بیشینه اولی نسبت به دومی به مراتب بزرگتر می‌باشد. چنین برمی‌آید که گرمای نهان آزاد شده در فرآیندهای دینامیکی و ترمودینامیکی بر روی آب‌های منطقه حاره بیش از گرمای نهان آزاد شده بر روی دریای مدیترانه است. شکل ۷ گرده مقدار بارش برآورد شده بر حسب سانتی‌متر بر روز را در ساعت UTC ۰۰۰۰ روزهای بیست و ششم و بیست و هفتم دسامبر ۲۰۰۴ نشان می‌دهد. دیده می‌شود که در جنوب شرق و شرق کم فشار بریده مقادیر بارش برآورد شده بیشینه می‌باشد. از مقایسه این شکل با شکل ۱ که میزان بارش واقعی را نشان می‌دهد، چنین برمی‌آید که در برخی مناطق بارش‌های برآورد شده بیشتر و در برخی مناطق دیگر کمتر از مقدار واقعی می‌باشد ولی گرده منطقه بارش را به خوبی به دست می‌دهد.



شکل ۷ گرده مقدار بارش بر حسب سانتی‌متر بر روز

الف) برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و ششم دسامبر سال ۲۰۰۴.

ب) برای ساعت UTC ۰۰۰۰ روز بیست و هفتم دسامبر سال ۲۰۰۴.

اعداد روی محورها طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه هستند. فاصله هم مقادیرها ۲ واحد می‌باشد.

### نتیجه گیری

بر پایه مبانی دینامیکی و مفاهیم همدیدی ارایه شده در بندهای پیشین، برداشت‌های

زیر به عنوان نتیجه حاصل از این مطالعه موردی، بیان می‌شوند.

- چون باد، حاصل تمام کنش‌های انرژی‌زای درون جو می‌باشد از این رو اگر سمت و سرعت باد با دقت زیاد اندازه‌گیری شود، سرعت قائم به دست آمده از طریق همگرایی نتیجه مناسبی را به دست می‌دهد.

- محاسبه سرعت قائم به روش جنبش شناختی با تابع تصحیح  $E$  نسبت به روش حل معادله امگای شبه زمینگرد و نیز روش تصحیح با تابع پله‌ای از دقت بیشتری برخوردار است که دلیل آن را می‌توان در تقریب‌های به کار گرفته شده و نیز دقت روش‌های عددی اعمال شده جستجو کرد.

- جایگاه تقریبی امگای منفی در شرق و جنوب شرق ناوه ارتفاع منطبق بر کم فشار سطح زمین است و در کم فشار بریده که هسته سردی دارد، در بزرگ مقیاس، امگای منفی نمی‌تواند وجود داشته باشد.

- سرعت قائم با پارامتر پایداری ایستایی رابطه نزدیکی دارد به گونه‌ای که جایگاه بیشینه امگای منفی بر کمینه پارامتر پایداری ایستایی منطبق است و چون آزاد شدن گرمای نهان و گرمای محسوس موجب کاهش این پارامتر می‌شود لذا، آزاد شدن گرمای نهان و گرمای محسوس، موجب افزایش امگای منفی می‌شوند.

- در ناحیه مورد مطالعه دو هسته که توانایی بارش زیاد را دارند، وجود دارد که یکی در شرق دریای عمان با مرکز ۳۵ میلی‌متر و دیگری روی دریای مدیترانه با مرکز ۲۵ میلی‌متر قرار گرفته‌اند. از این رو مشاهده می‌شود که گرمای نهان آزاد شده در فرآیندهای دینامیکی و ترمودینامیکی بر روی دریای مناطق حاره بیش از گرمای نهان آزاد شده بر روی دریای مدیترانه است.

- چون دمای نقطه شبنم در ترازهای بالا و میانی جو، نسبت به درون‌یابی، در شبکه مورد مطالعه، حساس است، لذا محاسبه آب بارش شو در روش‌های ارایه شده در مبنای دما و دمای نقطه شبنم، از دقت کمتری برخوردار است. اگرچه این روش‌ها برای ایستگاه‌های نقطه‌ای مناسب است.

- چون شار رطوبتی در این محاسبات به کار نرفته است، میزان بارش به دست آمده در مقایسه با بارش مشاهده شده از دقت زیادی برخوردار نیست. به ویژه که شار رطوبتی از عرض‌های جنوبی سهم بزرگی در ریزش‌های جوی ایران دارند. با این حال برآورد بارش الگوی بارش و منطقه آن را مشخص می‌کند.

## تشکر و قدردانی

از مرکز پیش بینی سازمان هواشناسی به سبب در اختیار گذاشتن داده‌های واقعی تشکر می‌شود.

## منابع و مأخذ

۱. احمدی گیوی، ف. و قائمی، ه (۱۳۷۲)؛ محاسبه سرعت قائم با استفاده از روش جنبش‌شناختی. ن. فیزیک زمین و فضا، سال بیستم، شماره ۱، ۴۵-۶۴.
۲. بنی‌هاشم، ت.، اردکانی، ح. و مرادی، م (۱۳۷۸)؛ حرکت و رفتار یک کم فشار بریده از دیدگاه کزفشاری. ن. فیزیک زمین و فضا، جلد بیست و پنجم، شماره‌های ۱ و ۲، ۳۷-۴۶.
۳. مرادی، م.، قائمی، ه.، پرهیزکار، د.، و رضازاده، پ (۱۳۸۰)؛ SKEW-T و محاسبه چند کمیت ترمودینامیکی. اولین کارگاه آموزشی پیش‌بینی عددی، تهران، ۸ مرداد ۱۳۸۰، ۳۵-۳۰.
۴. مرادی، م. و قائمی، ه (۱۳۸۱)؛ حرکت قائم و آب بارش شو در یک کم فشار بریده. دومین کارگاه آموزشی پیش‌بینی عددی، تهران، ۱۷ مهر ۱۳۸۱، ۶۴-۷۲.
5. Bevis, M.S. businger, S.chiswell (1994); **GPS Meteorology: Mapping zenith wet delays on to precipitable water**. Journal of applied meteorology. vol.33,379-386.
6. Bevis, M., S. Businger, T.A. Herring, C. Rocken, R.A. Anthes, and R.h. Ware (1992); **GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System**. J.Geophys. Res.97,15784-15801.
7. Bluestein, H.B. (1992); **synoptic - dynamic meteorology in midlatitudes**; oxford university press, 431 pp.
8. Bocolari, M., Fazlgic, S., Pugnaghi, S. and Santangelo, R (2001); **Radio sounde vertical profile validation data specification document**. Barcelon 16 march 2001.
9. Carlson, T.N (1991); **Mid-Latitude Weather System**. University Press, cambridge.
10. Duan, J., and Coauthors (1996); **GPS meteorology, Direct estimation of the absolute value of precipitable water**. J.Appl. Meteor., 35,830-838.
11. Haltiner. G.J., R.T. williams (1980); **Numerical Prediction and Dynamic Meteorological** John Wiley, New York, 477 pp.
12. Holton, J.R. (1992); **An introduction to dynamic Meteorology**, Academic Press Inc., San Diego, 511 pp.
13. Hurlly, P.J (1994); **A lagrangian partic/puff approach for plume dispersion modelling applications** J.Apel. Met, 33,285-295.
14. Liou, Y.A., Y.T. Teng, T.V. Hove., J.C. Liljergren (2000); **Comparison of precipitable water observation in the near tropics by GPS, microwave radiometer and radiosond**. J.Appl. Meteor vol 40, 5-15.
15. Krishnamurti, T.N (1986); **workbook on NWP for the tropics**, WMO-No 669, Geneva. p 33-34.
16. Rasmusson, E.M. (1977); **Hydrological application of atmospheric water-vapor flux analyses**. WMO operational hydrology rep, 11, WMO publ. 476. 50 pp.
17. Retallach, B.J. (1981); **compendium of meteorology**, vol 1, part 2, physical meteorology, Geneva. WMO Publ. 364, 211 pp.
18. Rogers, R.R. and M.K. yau (1996); **A Short Course in Cloud Physics**. Pergamon Press.
19. Smith, W.L (1966); **Note on the relationship between total precipitable water and surface dew point** Journal of applied meteorology, 5, 726-727.