

بررسی سیر تکامل و زوال دو نظام چرخندی با محاسبه ی کارمایه ی نهفته ی در دسترس

مینا پرده دار^۱، حسین اردکانی^۲ و محمد تقی زمانیان^۳

۱ و ۲- دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی

۳- پژوهشکده هواشناسی

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۰/۵

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۱/۲۶

چکیده

یکی از مهم ترین مسائل جوی که در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، مسئله ی کارمایه های جوی و اندازه گیری موکفه های آن است. برای بررسی، دانشمندان آن را به دو دسته ی کارمایه ی جنبشی و نهفته تقسیم می کنند. قوی یا ضعیف بودن یک نظام چرخندی یا واچرخندی منوط به کارمایه ی جنبشی است که توسط آن نظام تولید می شود، این مقدار کارمایه ی جنبشی بخشی کوچک از کارمایه ی نهفته ی کل است که برای تبدیل شدن به کارمایه ی جنبشی در دست رس قرار می گیرد و کارمایه ی نهفته ی در دست رس نام دارد. در این تحقیق، کارمایه ی نهفته ی در دست رس برای دو نظام جوی به روش تجربی آ.اس. زورف (۱۹۷۲) محاسبه می شود. داده های Fnl برای نظام های جوی برای هر ۶ ساعت تهیه شده است. نظام جوی اول از ۱۷ فوریه ۲۰۰۸ تا پایان ۲۱ فوریه ۲۰۰۸ و نظام جوی دوم از ۲۹ مارس تا ۲ آوریل ۲۰۰۹ می باشد. کار جانبی انجام شده، محاسبه ی زاویه ی محور فضایی برای بررسی نوع نظام جوی می باشد. مشاهده می شود، کارمایه ی نهفته ی در دست رس در اوایل شکل گیری چرخند دارای بیش ترین مقدار (نظام جوی اول ۱۴۵۴۹ kJ/m^2 و نظام جوی دوم ۶۳۷۶ kJ/m^2) می باشد و بسته به جهت حرکت آن (به سمت عرض های بالاتر) سیر نزولی دارد و هم چنین زاویه ی محور فضایی نیز در ابتدای شکل گیری دارای بیش ترین مقدار ($۸۹/۸$ برای نظام جوی اول و $۸۹/۸۵$ برای نظام جوی دوم) می باشد و در هنگام زوال چرخند به کم ترین مقدار می رسد.

واژگان کلیدی

کارمایه ی نهفته ی در دسترس، کارمایه ی جنبشی، نظام چرخندی، محور فضایی، واچرخندی

مسول مکاتبه: mpardehdar @ yahoo.com

مقدمه

تحلیل دینامیکی پدیده های جوی و بررسی رخ دادهای ویران گر از قبیل توفان ها و توفند ها در مطالعه تحولات کارمایه نقش بسزایی دارد. به علت اهمیت این روابط و تحولات در پیش یابی وضع هوا عموماً یک توفان نسبتاً قوی از نظر توسعه دینامیکی و هم دیدی و تحولات کارمایه مورد بررسی قرار می گیرد. در این تحقیق در سطحی متفاوت از نظر کارمایه دو چرخند از لحاظ کارمایه ی نهفته ی در دست رس مورد مطالعه قرار می گیرند.

چشمه ی اصلی کارمایه های جوی، کارمایه ی خورشیدی است. تابش خورشیدی از یک سو و جذب ناهم گون آن توسط سطح زمین و لایه های جو از سوی دیگر سبب بروز اختلاف کارمایه ی نهفته و در نتیجه حرکت های جوی می شود. این حرکت ها در جهت به تعادل برگرداندن جو عمل می کنند و در غیاب هر گونه نیروی مالشی در طی این فرآیند همواره کارمایه ی نهفته به جنبشی و جنبشی به نهفته تبدیل می شود.

در یک جو بی دررو کارمایه ی نهفته ی کل که مجموعه ای از کارمایه داخلی، کارمایه ی نهفته ی گرانشی و کارمایه ی جنبشی است، ثابت می باشد و تنها چشمه و چاه ه ی کارمایه ی جنبشی، کارمایه ی نهفته و داخلی خواهد بود و حال آن که در یک جو واقعی که فرآیند های بی دررو، مانند آزاد شدن گرمای نهان و از بین رفتن کارمایه ی جنبشی توسط نیرو های مالشی وجود دارند کارمایه نهفته کل بعنوان چشمه و محیط اطراف به عنوان چاهه ی کارمایه عمل می کنند.

نسبت بین کارمایه ی داخلی و کارمایه ی نهفته ی گرانشی توسط در نظر گرفتن این دو نوع کارمایه برای یک ستونی از هوا در یک واحد سطح مقطع افقی در گستره ای از سطح زمین تا بالای جو نشان داده می شود. اگر dE_1 کارمایه ی داخلی ما در یک سطح مقطع از ستونی با ارتفاع dz باشد، با استفاده از تعریف کارمایه ی داخلی داریم:

(۱)

$$dE_1 = \rho c_v T dz$$

بنابراین کارمایه ی داخلی برای کل ستون به صورت روبه رو خواهد شد:

(۲)

$$E_1 = c_v \int_0^{\infty} \rho T dz$$

و از سوی دیگر کارمایه ی نهفته ی گرانشی برای یک ناحیه با ضخامت dz در یک ارتفاع z به صورت:

(۳)

$$dE_p = \rho g z dz$$

می باشد. بنا براین کارمایه ی گرانشی برای کل ستون به صورت زیر است:

(۴)

$$E_p = \int_0^{\infty} \rho g z dz = - \int_0^{\infty} z dp$$

برای بدست آوردن آخرین انتگرال مقدار هم ارز آن را از معادله ی ایستابی جایگزین می کنیم. توسط این قسمت ها وبا استفاده از قانون گازهای ایده آل داریم:

(۵)

$$E_p = \int_0^{\infty} p dz = - \int_0^{\infty} \rho T dz$$

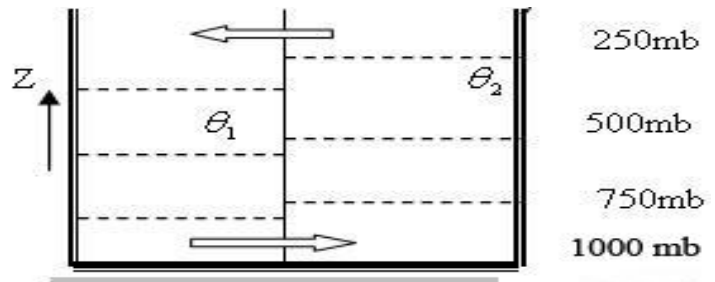
با مقایسه ی معادلات می بینیم که $C_v E_p = R E_1$ بنابر این کارمایه نهفته ی کل ممکن است به صورت زیر باشد:

(۶)

$$E_p + E_1 = \left(\frac{C_p}{C_v} \right) E_1 = \left(\frac{C_p}{R} \right) E_p$$

بنا بر این در یک جو ایستابی کارمایه ی نهفته ی کل می تواند به وسیله محاسبه E_1 یا E_p به تنهایی بدست آید. کارمایه ی نهفته ی کل یک اندازه گیری خیلی مفید از کارمایه در جو نمی باشد، زیرا تنها یک اصطکاک کوچک از کارمایه ی نهفته ی کل قابل دست رس برای تبدیل به کارمایه ی جنبشی در توفان ها می باشد. برای نشان دادن کیفی این که چرا اغلب کارمایه ی نهفته ی کل غیر قابل دست رس می باشد، به طور ساده یک مدل از جو را که

شامل دو توده مساوی از هوای خشک مجزا شده توسط یک مجزا کننده قائم که در شکل ۱ نمایش داده شده است، را بررسی می‌کنیم. دو توده هوادر دماهای نهفته ثابت θ_1, θ_2 می‌باشند، با این فرض که $\theta_1 < \theta_2$ است. فشار سطح زمین در هر قسمت از این بخش ها ۱۰۰۰ mb در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. دو توده هوا با دودمای نهفته ی مختلف مجزا شده توسط یک جدا کننده قائم نمایش داده شده است. خط سایه دار سطح فشاری زمین است. فلش ها جهت حرکت را، هنگامی که صفحه مجزا کننده برداشته شود نشان می‌دهند.

ما می‌خواهیم بیشترین کارمایه ی جنبشی را که می‌توان توسط یک تنظیم بی‌دررو مجدد، در یک حجم مشابه هنگامی که صفحه ی مجزا کننده برداشته شود، محاسبه کنیم. برای یک مرحله بی‌دررو کارمایه ی کل پایسته است.

$$E_k + E_p + E_1 = \text{constant}$$

E_k نشان گر کارمایه جنبشی می‌باشد. اگر توده هوا در حالت سکون باشد $E_k = 0$ است. کمیت های پرایم دار بیانگر حالت نهایی می‌باشد.

$$E'_k + E'_p + E'_1 = E_p + E_1$$

بنا بر این با استفاده از معادله ی ۶ کارمایه جنبشی آزاد شده توسط برداشتن صفحه مجزا کننده توسط رابطه ی زیر داده می‌شود.

$$E'_k = (C_p/C_v) (E_1 - E'_1)$$

از آن جا که θ برای یک مرحله ی بی‌دررو پای دار می‌باشد، دو توده هوا نمی‌توانند مخلوط شوند. واضح است که E'_1 هنگامی که توده هوا دوباره تنظیم شود کمترین مقدار خواهد بود که با E''_1 نمایش داده می‌شود. به دلیل این که توده هوا در دمای نهفته θ_1 به طور کامل در زیر توده هوا در دمای نهفته θ_2 قرار می‌گیرد و مرز ۵۰۰ mb مرز افقی بین دو توده هوا قرار می‌گیرد. در این حالت کارمایه ی نهفته ی کل $(C_p/C_v) E''_1$ قابل دست رس برای تبدیل به کارمایه ی جنبشی نمی‌باشد. چون یک مرحله ی بی‌دررو دیگر برای کاهش E''_1 وجود ندارد. کارمایه ی نهفته ی در دست رس (APE: Available potential energy) می‌تواند توسط تفاوت بین کارمایه ی نهفته ی کل از یک نظام جوی بسته و کمترین کارمایه ی نهفته کل که می‌تواند در نتیجه ی پخش مجدد بی‌دررو از دو توده هوا نتیجه شود، بدست آید. بنا بر این برای یک مدل آرمانی که در بالا بیان شد، APE به صورت زیر است:

$$\text{APE} = (C_p/C_v) (E_1 - E''_1)$$

که معادل است با بیشترین کارمایه جنبشی که می‌تواند توسط یک مرحله بی‌دررو آزاد شود. لورنز (Loranz) در سال ۱۹۶۰ نشان داد که کارمایه نهفته در دست رس به طور تقریبی بوسیله انتگرال حجمی درروی تمامی جو از تفاوت دمای نهفته روی سطح هم فشاری بدست می‌آید. بنابر این $\bar{\theta}$ نمایانگر میانگین دمای نهفته برای یک سطح

فشاری داده شده و θ' انحراف محلی از میانگین می باشد. میانگین کارمایه ی نهفته ی در دست رس در واحد حجم از رابطه زیر داده می شود.

$$\overline{APE} \propto V^{-1} \int (\theta'^2 / \theta^2) dV$$

V به عنوان حجم کل می باشد. برای یک مدل شبه زمین گردی این با یک مقدار واقعی از کارمایه نهفته در دست رس متناسب است، که ما آن را در قسمت زیر نشان می دهیم. مشاهدات نشان می دهد که برای جو به طور کلی:

$$\overline{APE} / [c_p / c_v) \overline{E}_1] \sim 5 \times 10^{-3}, \overline{K} / \overline{P} \sim 10^{-1}$$

بنابر این تنها حدود ۵٪ از کارمایه نهفته کل در جو در دست رس می باشد و از قسمت قابل دست رس تنها ۱۰٪ آن قابل تبدیل به کارمایه ی جنبشی می باشد. از این دیدگاه جو یک ماشین گرمایی کم بازده می باشد.

بسته به هدف های متفاوتی که برای محاسبه این کارمایه در نظر گرفته شده دانشمندان روش های متفاوتی را برای محاسبه آن پیشنهاد داده اند. اولین بار در سال ۱۹۰۳ ام. مارگولس (M. Margules) در حین مطالعه توفانها در یک سامانه بسته متوجه شد که بخشی از کارمایه ی نهفته و درونی قابل تبدیل به کارمایه جنبشی است. او این بخش از کارمایه را کارمایه ی در دست رس نامید. لورنز (Lorenz) در سال ۱۹۵۵ با مطالعه گردش عمومی جو متوجه شد که کارمایه جنبشی تولید شده در سامانه های توفان زا دارای ماهیت نهفته می باشد و آن را کارمایه ی نهفته ی در دست رس نامید. در سال ۱۹۵۶ مطالعاتی بر روی فرایند آزاد شدن کارمایه و ناپایداری حرارتی ناشی از حرکت سیال چرخان به نقش پیچک ها در تولید کارمایه در دست رس پی بردند. در سال ۱۹۶۰ وان میهم (Van Mighem) تبدیل کارمایه در دست رس به کارمایه جنبشی را مورد بحث قرار داد. در سال ۱۹۶۲، جمعی از دانشمندان نقش گرمای محسوس منتقل شده به جو در تولید کارمایه در دسترس و جنبشی را بررسی کردند. در سال ۱۹۷۲ آ.اس. زورو (A.S. Zverev) یک روش تجربی را برای محاسبه ی کارمایه ی نهفته ی در دست رس یک چرخند مطرح نمود. در سال ۱۹۹۸ ایوانا هرسیگ (Ivana Herceg) چرخه کارمایه در یک چرخند روی خلیج جنوا و تبدیلات کارمایه ی نهفته ی مداری به پیچشی را محاسبه کرد. در ژانویه ۲۰۰۹ مونیهیکو یاماگوچی (Munehiko Yamaguchi) کارمایه ی نهفته ی در دست رس توفان سین لاکو (Typhoon Sinlaku) را با استفاده از انحراف از مقدار بنیادی دما مورد بررسی قرار داد.

مواد و روش ها

الف: اطلاعات مورد نیاز

برای رسم نقشه ها و محاسبات از داده های Fnl استفاده شده است، سطوح مورد نیاز فشار تراز متوسط سطح دریا و سطح فشاری ۵۰۰ هکتو پاسگال می باشد. این داده ها برای دو تاریخ مختلف، سری اول از ۱۷ فوریه ۲۰۰۸ تا پایان روز ۲۱ فوریه ۲۰۰۸ و سری دوم از ۲۹ مارس تا ۲ آوریل ۲۰۰۹ می باشد. بررسی ها برای هر ۶ ساعت انجام شده است.

ب: رسم نقشه های هم دیدی

توسط برنامه ی GrADS، ابتدا نقشه های خطوط هم فشار سطح متوسط دریا رسم شد، سپس موقعیت نظام چرخندی و مرکز آن در روی نقشه های مورد نظر مشخص شد. توسط نرم افزار C++، با داشتن موقعیت جغرافیایی مرکز چرخند، محاسبات شامل مشخص کردن ناحیه ای به مساحت $1433596/65 \text{ Km}^2$ و مشخص نمودن ابتدا و انتهای طول و عرض جغرافیایی انجام شد. توسط برنامه ی GrADS خطوط هم ضخامت لایه ی بین ۱۰۰۰ hpa - ۵۰۰ برای هر ۶ ساعت رسم شد و کارمایه نهفته در دست رس محاسبه گردید.

برای محاسبه ی زاویه ی محور فضایی، ابتدا خطوط هم ارتفاع ۵۰۰ hpa و خطوط هم فشار سطح متوسط دریا توسط نرم افزار GRADS رسم شد. موقعیت کم ترین ارتفاع ۵۰۰ hpa و کم ترین فشار منطقه مورد نظر مشخص شد، هم چنین خطوط هم دما ی ۱۰۰۰ hpa و ۵۰۰ hpa رسم و مقادیر آن برای نقاط مورد نظر از داده ها و نقشه ها برای هر ۶ ساعت دریافت شد. پس از آن با داشتن داده ها و توسط نرم افزار ++C زاویه فضایی و طول محور محاسبه شد.

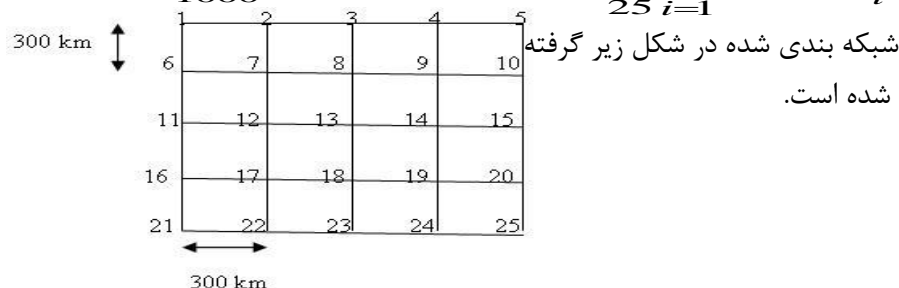
پ:روش محاسبه کار مایه نهفته در دست رس

به طور میانگین ۲۴ ساعت، پس از رسیدن به بیش ترین مقدار در کار مایه نهفته در دست رس، یک چرخند به تدریج زوال می یابد. واحد کار مایه ی نهفته ی در دست رس (APE) kJ/m^2 می باشد. در این روش کار مایه ی نهفته ی در دست رس در مرکز یک چرخند، برای یک سطح $1200 \times 1200 \text{ km}^2$ از یک سطح مقطع عرضی از یک ستون هوای عمودی محدود شده به وسیله سطح فشاری بین ۵۰۰-۱۰۰۰ hpa (H_{1000}^{500}) به وسیله ی معادله زیر حساب می شود.

در صورتی که

$$\overline{H_{1000}^{500}} = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} (H_{1000}^{500})_i$$

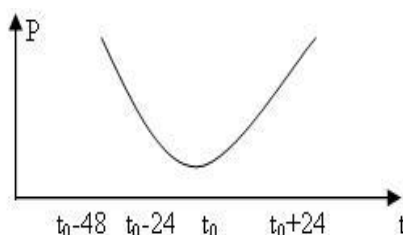
مقدار میانگین H_{1000}^{500} می باشد. مقدار H_{1000}^{500} از نقاط



شکل ۲. شبکه بندی برای محاسبه ی کار مایه ی نهفته ی در دست رس. مرکز عمیق شدن در نقطه ۱۳ می باشد.

محاسبه برای نقطه ۱۳ شبکه اجرا می شود، بنا براین برای بدست آوردن APE نقطه ۱۳ را در مرکز چرخند قرار می دهیم. لازم است که $\overline{H_{1000}^{500}}$ با استفاده از مقادیر H_{1000}^{500} برای ۲۵ نقطه شبکه که در شکل بالا آورده شد محاسبه شود و سپس با استفاده از معادله $APE = \frac{132}{\overline{H_{1000}^{500}}} \sum_{i=1}^{25} (H_{1000}^{500} - \overline{H_{1000}^{500}})_i^2$ مقدار کارمایه ی نهفته ی در دست رس را محاسبه می نماییم.

محاسبه ی کارمایه ی نهفته ی در دست رس در هر ۶ ساعت ما را قادر می سازد تا لحظه ای را که این مقدار به بیشینه می رسد مشخص کنیم. (لازم به ذکر است که این روش تجربی است که توسط (۱۹۷۲) A.S.Zverev ارائه شده است).



شکل ۳. برون یابی نموداری از تکامل تدریجی یک چرخند.

ت: روش محاسبه ی زاویه ی محور فضایی در یک نظام چرخندی

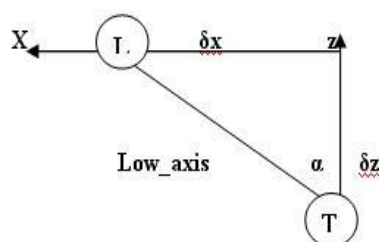
در اینجا از یک سو کج شدن محور عمودی و از سوی دیگر تغییرات با ارتفاع مورد توجه است. ملاحظات در سیستم فشاری P صورت می گیرد. برای مرکز یک کم فشار مراحل زیر مورد توجه است. اگر z بیانگر ارتفاع از یک سطح فشاری باشد:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial z}{\partial y} \geq 0$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} > 0, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} > 0$$

و چون این شرایط در امتداد خم شدن محور در جهت محور x مورد معتبر است، (به شکل توجه کنید). پس:

$$\delta \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right) = 0, \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right) \delta x + \frac{\partial}{\partial p} \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right) \delta p = 0$$



شکل ۴: خم شدن محور فضایی در یک نظام چرخندی

برای زاویه خم α نسبت به حالت

عمود:

$$tg \alpha \equiv \frac{\partial x}{\partial z} = -gl \frac{\partial x}{\partial p} = gl \frac{\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial z}{\partial p} \right)}{\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}}, (1)$$

$$\frac{\partial z}{\partial p} = -\frac{1}{gl}, tg \alpha = gl \frac{\partial \left(-\frac{1}{gl} \right) / \partial x}{\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}}, tg \alpha = \frac{1}{l} \frac{\partial l / \partial x}{\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}}, p = const \dots, T \left(\frac{\partial l}{\partial x} \right) + \partial \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) = 0 \Rightarrow tg \alpha = \frac{1}{T} \frac{(-\partial T / \partial x)}{\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}}$$

اگر جمله $\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_p$ مساوی صفر شود، محور کاملاً عمودی است و با $\alpha > 0$ و $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} > 0$ جمله $\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_p$ باید هم چنان مثبت باشد، با علامت یک کاهش دما در امتداد محور x، به این معنی که محور عمودی یک کم فشار تمایل به رفتن به سمت هوای سردتر را دارد. برای ارتفاع از سوی دیگر $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} < 0$ تمایل به رفتن به سمت هوای گرم تر را دارد.

نتایج

الف: جدول شماره ۱، نتایج نظام اول (نظام قوی) تاریخ: (18_21FEB_2008) _ (00_17 FEB_2008)

Date	P(hpa)	Lat_Lon at the center of depression (msl)	Lat_Lon at the center of depression (500hpa)	APE(kj/m ²)	A(DEG)	d(m)
00z17FEB2008	1006.74	37_32	42.2_25.2	12488	89.7	805608
06z17FEB2008	1007.94	36.8_33.65	40.1_24.65	11030	89.54	849472
12z17FEB2008	1009.5	35.25_31.5	38.2_26	14549	89.72	576315
18z17FEB2008	1009.6	35.8_33	37.5_27	13353	89.65	562439
00z18FEB2008	1009.9	36.65_35.1	37.2_27.8	12352	89.41	649906
06z18FEB2008	1010.5	36_34.5	36.5_28.6	12113	89.37	551899
12z18FEB2008	1006.64	34.62_37.9	36.2_29.7	12768	89.86	750611
18z18FEB2008	1006.5	37.2_38.65	36.2_32	11260	89.78	607401
00z19FEB2008	1003.6	39.3_41.75	39.2_32.5	7969	89.54	797705
06z19FEB2008	1002.49	40.1_45.1	40.25_39.75	6859	88.87	454663
12z19FEB2008	999.1	42.8_50.9	44_43.54	8546	89.06	641282
18z19FEB2008	995.8	44.7_53.25	45.8_46	9234	89.78	575576
00z20FEB2008	990.8	47.1_55.8	46_49.2	7574	89.45	524620
06z20FEB2008	985.3	49_56.5	48_54.9	5602	83.7	165746
12z20FEB2008	982	50.3_58	49_57	3665	82.52	162022
18z20FEB2008	977.5	52.1_61.9	49.75_60.2	2634	89.73	288628
00z21FEB2008	975.5	52.6_60.9	51.75_63.8	1220	89.45	221018
06z21FEB2008	976	53.25_62.2	53.59_65.45	613	87.19	217944
12z21FEB2008	979	54.4_64.27	55_65.25	386	86.92	91477
18z21FEB2008	983	55.7_66.15	55.7_66.15	404	0	0

ب: جدول شماره ۲، نتایج نظام دوم (نظام ضعیف تر) تاریخ: (18_29 Mar_2009) _ (00_2 Apr_2009)

Date	P(hpa)	Lat_Lon at the center of depression (Msl)	Lat_Lon at the center of depression (500 hpa)	APE(kj/m ²)	A(DEG)	d(m)
18z29Mar2009	1002.85	25_48	29.5_42	6376	89.85	767089
00z30Mar2009	1001.45	23_50	29_43.5	5246	89.73	923375
06z30Mar2009	1001.94	24.5_51.75	29.1_45.95	5276	89.82	743725
12z30Mar2009	1001.5	30.75_53.7	30_47.2	3679	89.44	631927
18z30Mar2009	1001.2	31_55	30.8_47.5	3642	89.42	718243
00z31Mar2009	1000.24	32.9_54	30.6_48.1	3278	89.07	620348
06z31Mar2009	1000.15	33_55.7	30.25_49.25	3862	89.16	691398
12z31Mar2009	997.4	31.8_58.6	35.1_51.2	4088	89.82	716024
18z31Mar2009	1004	32.5_58.6	35.8_52.7	3798	88.04	637873
00z1Apr2009	1004.78	31.4_62.4	37.6_56.8	4037	89.15	844965
06z1Apr2009	1008	31.3_63	38.8_57	4061	89.23	965467
12z1Apr2009	1005.1	30.3_63.5	41_59.2	4283	89.41	1244222
18z1Apr2009	1008.65	31_64	42.7_60	4402	89.67	1342402
00z2Apr2009	1010.5	30.9_63.6	46.9_60.6	4340	89.55	1794974

پ: جدول شماره ۳، نتایج نظام دوم (نظام ضعیف) قسمت دوم؛ تاریخ: (2 _ 18) _ (00 _ 31 Mar _ 2009) **Apr_ 2009**

Date	P(hpa)	Lat_Lon at the center of depression (Msl)	Lat_Lon at the center of depression (500 hpa)	APE(kj/m ²)	A(DEG)	d(m)
00z31Mar2009	1015	37.5_67.1	30.5_48	2762	-89.15	1984006
06z31Mar2009	1013.5	37.2_66.2	30.25_49.2	2737	-89.61	1803549
12z31Mar2009	1006	36.8_66.3	35.1_51.2	2745	89.8	1318485
18z31Mar2009	1003	37.2_66.1	35.8_52.7	2851	89.74	1250967
00z1Apr2009	1003	37.5_66.75	37.5_56.8	2659	89.4	904884
06z1Apr2009	1006	37.6_68	38.8_57	2621	89.33	964384
12z1Apr2009	1006	41.9_68.1	41_59.2	2183	89.71	754107
18z1Apr2009	1008	42.65_66.15	43_60	1522	89.61	488287
00z2Apr2009	1008	44_63.25	47_60.5	1071	89.57	395712
06z2Apr2009	1008.5	45_63.25	48_60	1086	89.56	401660
12z2Apr2009	1008.5	46.25_63.5	49.6_61.2	770	89.53	408006
18z2Apr2009	1008.5	47.5_64	50.7_62.3	571	89.04	375692

ت: شرح نتایج جدول: (سری اول، نظام قوی تر)

۱_ ستون اول تاریخ می باشد که از ساعت (UTC) ۰۰ روز ۱۷ فوریه ۲۰۰۸ شروع شده و به ترتیب مقادیر را برای هر ۶ ساعت تا ساعت ۱۸ روز ۲۱ فوریه ۲۰۰۸ بررسی می کند.

۲_ ستون دوم مربوط به فشار مرکز چرخند می باشد. آن چه ملاحظه می شود در ۳۶ ساعت اولیه مرکز کم فشار رو به پر شدن می رود و به اندازه ۳/۵ هکتو پاسگال فشار آن افزایش می یابد، پس از آن در طی ۶۶ ساعت مرکز این کم فشار از ۱۰۱۰/۵ هکتو پاسگال تا ۹۷۵/۵ هکتو پاسگال (۳۵ هکتو پاسگال) کاهش می یابد و در ۱۸ ساعت پس از آن زوال می یابد.

۳_ ستون سوم تغییرات طول و عرض جغرافیایی مرکز کم فشار را به نمایش می گذارد. در طی ۳۶ ساعت اولیه که مرکز کم فشار رو به پر شدن است، با توجه به باد hpa ۵۰۰ که در نقشه ها مشاهده می شود، جهت حرکت مرکز چرخند به سمت جنوب شرقی می باشد. اما پس از آن در جهت شمال شرقی از طول جغرافیایی ۳۷ و عرض جغرافیایی ۳۴/۶۲ (با موقعیت قسمت شرق دریای مدیترانه) در جهت شمال شرقی تا طول جغرافیایی ۶۶/۱۵ درجه و عرض جغرافیایی ۵۵/۷ درجه (شرق سیبری) پیش می رود. (مسیر حرکت قسمت هایی از ایران از جمله آذر با یجان و دریای خزر را در بر می گیرد).

۴_ ستون چهارم مربوط به موقعیت جغرافیایی مرکز کم ارتفاع سطح فشاری hpa ۵۰۰ می باشد، که به درستی و به ترتیب قبلی با چرخند متوسط فشاری سطح دریا همراهی می کند و در نهایت کاملاً بر آن منطبق می شود.

۵_ ستون پنجم مربوط به مقادیر محاسبه شده ی کارمایه ی نهفته ی در دست رس می باشد. مشاهده می شود که در ساعاتی که حرکت چرخند به سمت عرض های پایین تر است مقدار کارمایه ی نهفته ی در دست رس افزایش می یابد، سپس بعد از آن این مقدار کاهش یافته و این کاهش تا شروع به پر شدن مرکز چرخند نیز ادامه می یابد. در ساعت (UTC) ۱۲ روز ۱۹ فوریه ۲۰۰۸ افزایشی در کارمایه ی نهفته ی در دست رس مشاهده می شود که علت آن می تواند وجود ابرهای کومه ای بار (cb) باشد، که آزاد شدن گرمای نهان در قسمت پایین این ابرها و بازتاب

تابش خورشیدی در بالای ابر سبب گرم شدن لایه‌های پایینی و سرد شدن لایه‌های بالاتر و در نتیجه افزایش کارمایه‌ی نهفته‌ی در دست رس شود.

۶_ستون ششم تغییرات زاویه‌ی محور فضایی می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این زاویه روند کاهشی دارد تا هنگامی که کاملاً مرکز کم فشار پر می‌شود، به صفر می‌رسد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود تغییرات این زاویه با تقریب خوبی با تغییرات کارمایه‌ی نهفته‌ی در دست رس همراهی می‌کند.

۷_ستون هفتم مربوط به طول محور فضایی می‌باشد که مقدار آن کاهش می‌یابد تا در هنگام پر شدن کامل چرخند، کاملاً بر کم فشار سطح زمین منطبق می‌شود.

ث: شرح نتایج جدول: (سری دوم نظام ضعیف تر)

۱. جدول دوم

شروع شکل‌گیری چرخند دوم از ساعت (UTC) ۱۸، روز ۲۹ مارس ۲۰۰۹ تا ساعت (UTC) ۰۰، ۲ آوریل ۲۰۰۹ می‌باشد. یک چرخند دیگر در ساعت (UTC) ۰۰ تاریخ ۳۱ مارس ۲۰۰۹ در نزدیکی آن شکل می‌گیرد، از آن جا که مرکز کم ارتفاع ۵۰۰ hpa پس از آن با چرخند دوم همراهی می‌کند، مقادیر آن بررسی شده است که در جدول سوم آمده است.

موقعیت جغرافیایی شکل‌گیری مرکز چرخند دوم از عرض جغرافیایی ۲۵ درجه و طول جغرافیایی ۴۸ است، که تقریباً دریای سرخ و عربستان می‌باشد، حرکت آن به سمت شمال شرق تا رسیدن به کم‌ترین فشار در مرکز چرخند در قسمت مرکز ایران می‌باشد سپس با حرکت آهسته تری به سمت شرق و تا کمی جنوب شرقی تا جنوب افغانستان و شمال پاکستان حرکت می‌کند و سپس کاملاً زوال می‌یابد.

تغییرات فشار در این چرخند قبل از این که شروع به زوال نماید، تقریباً ۶ هکتو پاسگال می‌باشد که نسبت به مورد قبلی بسیار کمتر است. این چرخند ۴۲ ساعت قبل از این که شروع به زوال کند، دارای بیشترین کارمایه‌ی نهفته‌ی در دست رس است. که در مورد چرخند قبلی این مقدار به ۸۴ ساعت می‌رسد.

موقعیت مرکز کم ارتفاع ۵۰۰ hpa، کاملاً با موقعیت مرکز چرخند سطح زمین همراهی می‌کند تا زمانی که شروع به پر شدن کند و از همراهی مرکز کم ارتفاع ۵۰۰ hpa جدا شود. تا این زمان مقدار کارمایه‌ی نهفته‌ی در دست رس کاهش می‌یابد و هر گونه کاهش یا افزایشی در مقدار کارمایه‌ی نهفته‌ی در دست رس با کاهش و یا افزایش زاویه‌ی محور فضایی هماهنگ است. از این زمان به بعد با توجه به نقشه‌های همدیدی، جهت باد ۵۰۰ hpa و همچنین با توجه به موقعیت خطوط هم‌ضخامت لایه بین (۱۰۰۰_۵۰۰ hpa) و خطوط هم‌فشار سطح متوسط دریا و با توجه به این که حرکت چرخند به سمت عرض‌های پایین‌تر و تقریباً روی یک عرض جغرافیایی است، در این شرایط مقدار کارمایه‌ی نهفته‌ی در یک حد متعادلی که به طور میانگین 4000 kJ/m^2 است، باقی می‌ماند. که می‌توان نتیجه گرفت با حرکت چرخند به سمت عرض‌های بالاتر مقدار کارمایه‌ی نهفته‌ی در دست رس کم‌تر شده و در عرض‌های پایین‌تر این مقدار بیشتر است. که با توجه به تفاوت دمایی در این عرض‌ها می‌توان آن را توجیه کرد.

۲. جدول سوم

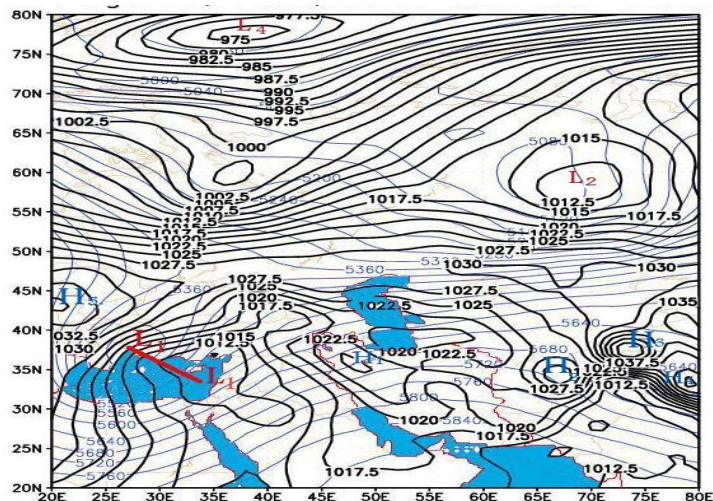
مقادیر چرخند سوم از ساعت (UTC) ۰۰ روز ۳۱ مارس ۲۰۰۹ تا ساعت (UTC) ۱۸، دوم آوریل ۲۰۰۹ مورد بررسی قرار گرفته است، مسیر بررسی شده برای چرخند سوم از شمال افغانستان تا شرق دریاچه آرال می‌باشد. فشار مرکز آن ۱۲ هکتو پاسگال کاهش یافته و سپس افزایش یافته و زوال می‌یابد. مقدار کارمایه‌ی نهفته‌ی در

دست رس کاملاً سیر نزولی دارد و در ابتدای شکل گیری دارای بیشترین مقدار است. زاویه‌ی محور فضایی نیز تا زوال کامل چرخند سیر نزولی دارد و طول محور فضایی کم می‌شود تا چرخند زوال یابد.

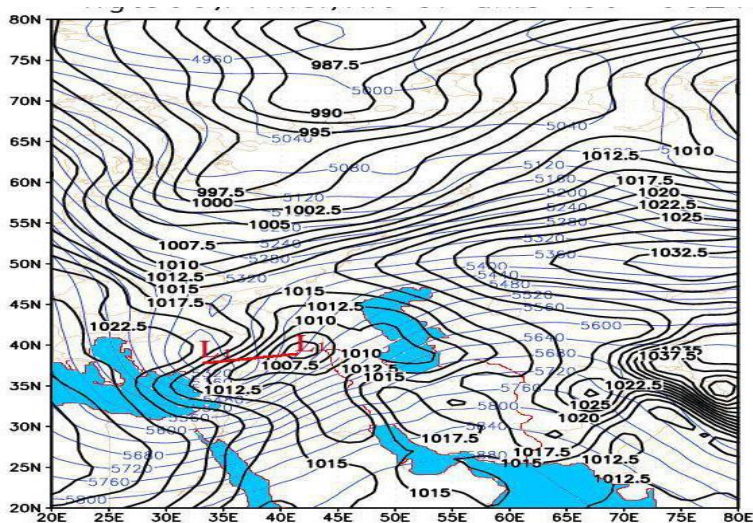
ج: نقشه‌ها به همراه موقعیت هم دیدی و مرکز کم فشار در سطح متوسط دریا و همچنین موقعیت مرکز کم ارتفاع ۵۰۰hpa

نقشه‌های مربوط به نظام اول

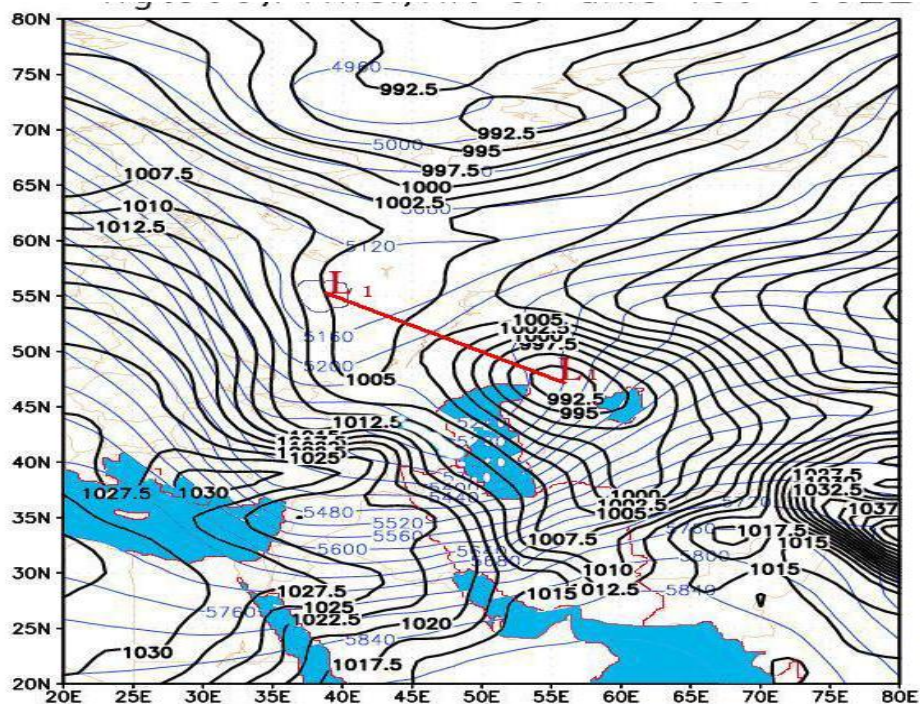
در نقشه‌های زیر چرخند L_1 مورد نظر است. بنابراین در نقشه‌های بعدی تنها مسیر این چرخند تعقیب شده است.



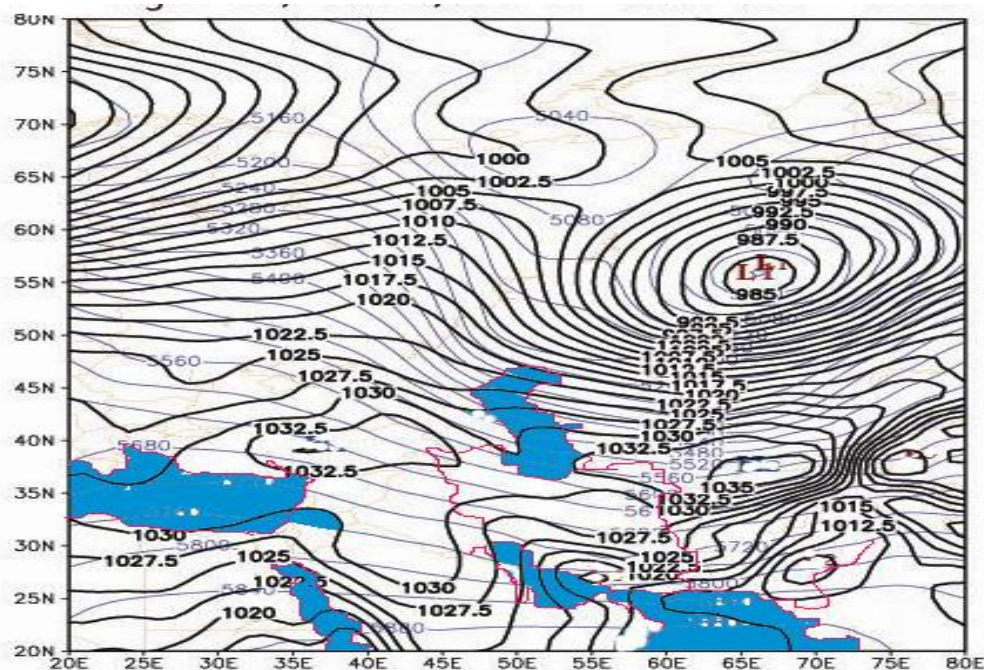
شکل ۵. خطوط مشکی، خطوط هم فشار در سطح متوسط دریا و خطوط آبی، خطوط هم ارتفاع ۵۰۰ hpa می‌باشند. خط قرمز مرکز چرخند مورد نظر (L_1) را به مرکز کم ارتفاع ۵۰۰ hpa وصل می‌کند. (ساعت (UTC) ۰۰ روز ۱۸ فوریه ۲۰۰۸)



شکل ۶. خطوط مشکی، خطوط هم فشار در سطح متوسط دریا و خطوط آبی، خطوط هم ارتفاع ۵۰۰ hpa می‌باشند. خط قرمز مرکز چرخند مورد نظر (L_1) را به مرکز کم ارتفاع ۵۰۰ hpa وصل می‌کند. (ساعت (UTC) ۰۰ روز ۱۹ فوریه ۲۰۰۸).

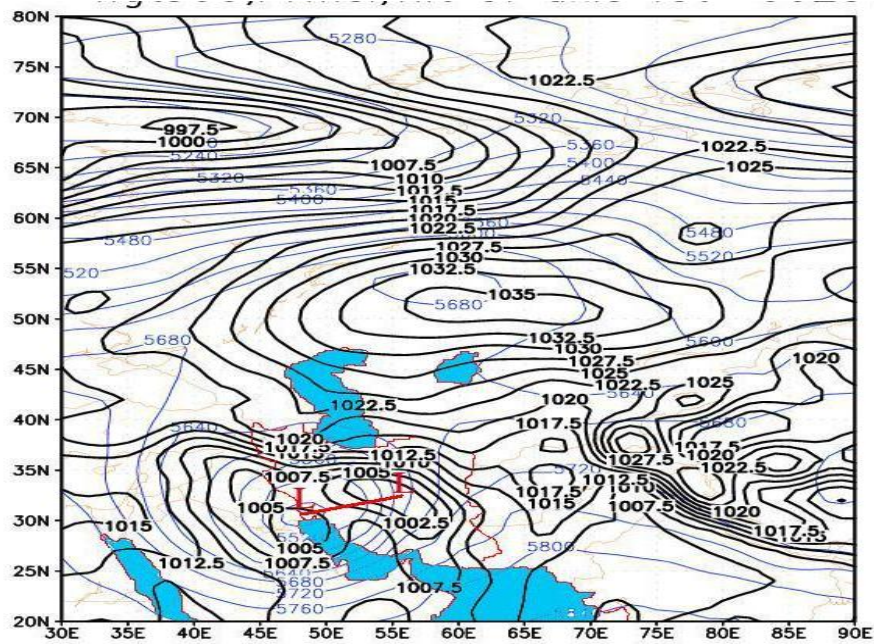


شکل ۷. خطوط مشکی، خطوط هم فشار در سطح متوسط دریا و خطوط آبی، خطوط هم ارتفاع 500 hPa می باشند. خط قرمز مرکز چرخند مورد نظر (L_1) را به مرکز کم ارتفاع 500 hPa وصل می کند. (ساعت UTC) ۰۰ روز ۲۰ فوریه ۲۰۰۸).



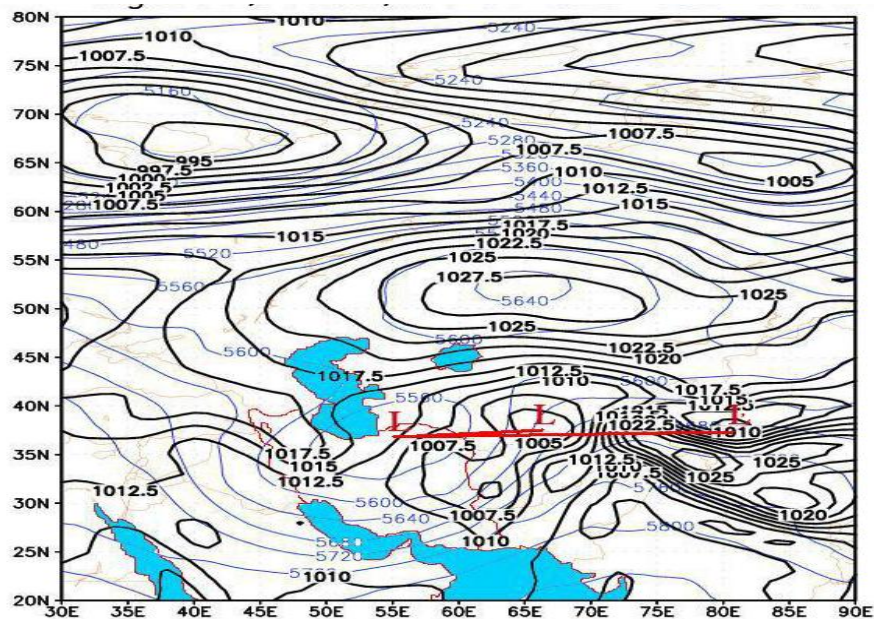
شکل ۸. خطوط مشکی، خطوط هم فشار در سطح متوسط دریا و خطوط آبی، خطوط هم ارتفاع 500 hPa می باشند. خط قرمز مرکز چرخند مورد نظر (L_1) را به مرکز کم ارتفاع 500 hPa وصل می کند. (ساعت UTC) ۱۸ روز ۲۱ فوریه ۲۰۰۸).

۲. نقشه‌های مربوط به نظام دوم

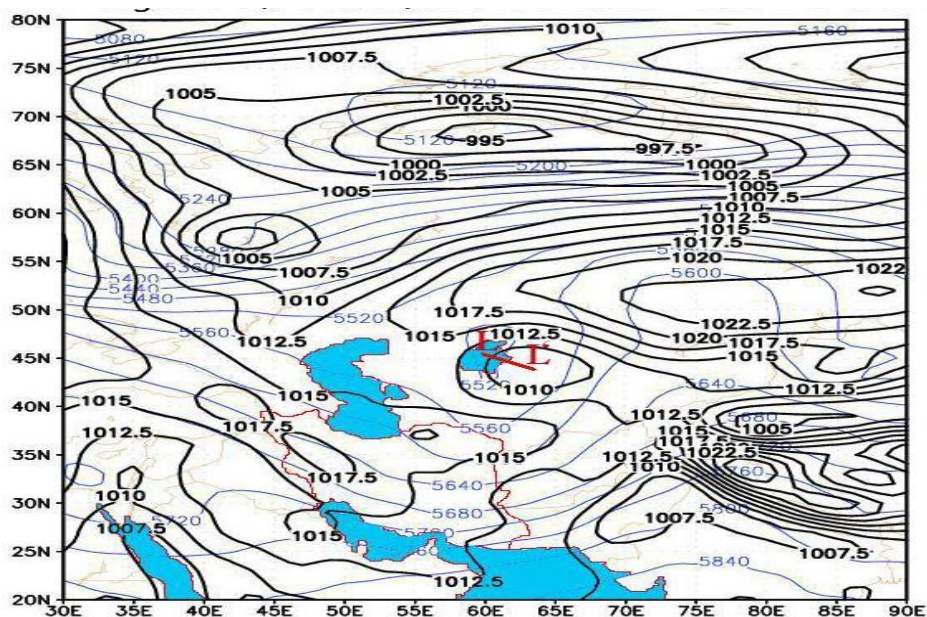


شکل ۹. خطوط مشکی، خطوط هم فشار در سطح متوسط دریا و خطوط آبی، خطوط هم ارتفاع hpa ۵۰۰ می باشند. خط قرمز مرکز چرخند مورد نظر (L) را به مرکز کم ارتفاع hpa ۵۰۰ وصل می کند. (ساعت (UTC) ۰۰ روز

۳۱ مارس ۲۰۰۹)



شکل ۱۰. خطوط مشکی، خطوط هم فشار در سطح متوسط دریا و خطوط آبی، خطوط هم ارتفاع hpa ۵۰۰ می باشند. خطوط قرمز مرکز چرخند های مورد نظر (L,L') (L' چرخند بررسی شده در جدول سوم است.) را به مرکز کم ارتفاع hpa ۵۰۰ وصل می کند. (ساعت (UTC) ۰۰ روز ۱ آوریل ۲۰۰۹)



شکل ۱۱. خطوط مشکی، خطوط هم فشار در سطح متوسط دریا و خطوط آبی، خطوط هم ارتفاع 500 hpa می باشند. خط قرمز مرکز چرخند مورد نظر (L) را به مرکز کم ارتفاع 500 hpa وصل می کند. (چرخند L در اینجا کاملاً از بین رفته و تنها L باقی مانده است.) (ساعت (UTC) ۰۰ روز ۲ آوریل ۲۰۰۹).

بحث و نتیجه گیری کلی

در مورد یک نظام چگال گرای با کاهش فشار مرکز چرخند مقدار کارمایه ی نهفته ی در دست رس کاهش می یابد و در شروع این کاهش (اوایل شکل گیری چرخند) دارای بیشترین کارمایه نهفته در دست رس می باشد، در مورد یک نظام ضعیف تر مقدار کارمایه ی نهفته ی در دست رس کم تر است. این مقدار در عرض های جغرافیایی پایین تر دارای مقادیر بیش تر و هر چه به سمت عرض های بالاتر می رویم مقدارش کم تر می شود. موارد بالا منطبق بر کار تجربی انجام شده توسط (A.S.Zverev ۱۹۷۲) می باشد (مقدار کارمایه ی نهفته ی در دست رس به طور میانگین ۲۴ ساعت قبل از این که چرخند شروع به زوال کند، دارای بیش ترین مقدار است). برای نظام اول این زمان ۵۶ ساعت و برای دومی ۴۲ ساعت و برای سومین نظام ۱۲ ساعت می باشد. تغییرات کارمایه نهفته در دست رس با مقدار زاویه ی محور فضایی در هماهنگی خوبی است. با زوال چرخند مقدار زاویه محور فضایی کم می شود. مقادیر محاسبه شده در این مورد منطبق بر کار (Manfred Kurz ۱۹۹۸) می باشد.

در پیش بینی ها از روی مقدار کارمایه ی نهفته ی در دست رس می توان به قدرت مندی نظام جوی پی برد. و هم چنین دوره زندگی یک چرخند را بررسی کرد. سه نظام جوی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت، بیش ترین مقدار کارمایه ی نهفته ی در دست رس برای نظام جوی اول در این تحقیق 14549 kJ/m^2 می باشد و دوره زندگی آن ۱۲۰ ساعت است. برای نظام دوم بیش ترین مقدار انرژی 6376 kJ/m^2 و دوره زندگی آن ۸۴ ساعت است. در سومین نظام جوی بررسی شده بیشترین کارمایه نهفته در دست رس 2571 kJ/m^2 و دوره زندگی آن ۷۲ ساعت است.

برای بررسی‌های بیشتر می‌توان کارمایه‌ی نهفته‌ی مداری و کارمایه‌ی نهفته‌ی پیچه‌ای و مقادیر کارمایه جنبشی آن را محاسبه نمود و یا مقدار کارمایه‌ی جوی را در یک منطقه هنگام عبور یک چرخند از آن منطقه بررسی کرد.

منابع

امینی، لیلا. ۱۳۷۹. اول، مقدمه. گسترش چرخند از دیدگاه فشار ورد. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی. نور. ایران.

پرهیزگار، داوود. ۱۳۷۵. مطالعه انرژی‌تیکی سیستم‌های سینوپتیکی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

پرهیزگار، داوود (گرد آورنده). دانشگاه تهران مؤسسه ژئوفیزیک و فیزیک فضا. تهران. ایران.

Carlson, T. N. 1991. Quasi_ geostrophic energetics, 1, available potential energy. In: Mid Latitude weather systems. Carlson, T. N. (editor). Harper Collins Academic, New York, USA.

Holton, J. R. 1972. Synoptic scale motion 2, Baroclinic instability, 3, The energetic of baroclinic wave, 1, available potential energy. In: An introduction to dynamic meteorology. Holton, R. & Domoska, R. (editor). Academic Press Limited. London, UK.

Kurz, M. 1998. Relations between wind, pressure and temperature fields, vertical structure of pressure systems. In: Synoptic meteorology. Kurz, M. & Offendach. A. N. (editor), Deutscher Wetterdienst. Germany.

Zverev, A. S. 1972. Practical work No. 6. forecast of the synoptic situation forecasting the movement of depressions and anticyclones by the roll of steering in general form. In: practical work in synoptic meteorology. Zverev, A. S. (editor). Hydrometeorological publishing house. Leningrad.

Herceg, I. 1998. The energy cycle in a cyclone over the Bay of Genova. Geofizika, 15:15-23.

Winston, J. S. & Krueger, A. F. Septehpaer 1961. Some aspects of a cycle of available potential energy. Monthly weather review, 89, 9 :307-318.

<http://www.noaa.fnl>