

# تغییر شکل کلی و تغییرات زمانی و مکانی آن در سامانه‌های جوّی بارش‌زا در منطقه‌ای شامل ایران

مجید مزرعه فراهانی<sup>۱\*</sup> و مینا جعفریانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران  
<sup>۲</sup> دانشگاه آزاد- واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۱۶)

## چکیده

در بررسی رخداد بارندگی، معمولاً به دو کمیت دینامیکی واگرایی و تاوایی و نیز متغیرهای وابسته به این دو بخصوص تاوایی پتانسیلی توجه زیادی شده است اما به نقش متغیر محاسباتی تغییر شکل، خصوصاً تغییر شکل کلی - به جز موارد معدودی در تحقیقات مربوط به جنبه‌زایی - کمتر توجه شده است. این پژوهش در پی آن است که تغییرات این متغیر را به‌طور کلی و کمیت‌های تغییر شکل کششی، و تغییر شکل چینشی در سامانه‌های همراه با بارش در منطقه شامل ایران را مورد تحقیق و بررسی قرار دهد. برای این کار با استفاده از داده‌های (GFS (Global Forecasting System مؤلفه‌های باد طی پنج سال، مقادیر تغییر شکل کششی، تغییر شکل چینشی و تغییر شکل کلی، در نقاط شبکه‌ای که ناحیه مورد بررسی را پوشش می‌دهد، محاسبه شد. همچنین داده‌های نامنظم بارش اندازه گرفته شده در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور با روش تحلیل عینی کرسمن به نقاط منظم شبکه منتقل شد. مقایسه الگوهای مقادیر تحلیل شده بارش با الگوهای مقادیر تغییر شکل کششی، تغییر شکل چینشی و تغییر شکل کلی در شش، دوازده و هیجده ساعت قبل از وقوع بارش، نشان داد که در منطقه مورد بررسی، مقادیر ۶ ساعت قبل کمیت محاسباتی  $\delta$  که برابر با حاصل ضرب اندازه تغییر شکل کلی در تندی باد تعریف می‌شود، در اکثر موارد منجر به وقوع بارش در منطقه، دارای مقادیر فرین می‌شود. مقدار بیشینه  $\delta$  برای مقادیر متفاوت بارش به صورت پله‌ای محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که بیشینه  $\delta$  برای همه مقادیر بازه پله‌ای بارش در یک بازه مشخص قرار دارد. همچنین راستای غالب محور کشیدگی تغییر شکل کلی در هنگام وقوع بارش، در ناحیه مورد بررسی ترسیم شد و مشخص شد که محور کشیدگی تغییر شکل کلی اکثراً در راستاهای غربی - شرقی، جنوب غربی - شمال شرقی و شمالی - جنوبی قرار دارد.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر شکل کششی، تغییر شکل چینشی، تغییر شکل کلی، بارش، محور کشیدگی

## Total deformation and its spatial-temporal variability in atmospheric precipitable systems in a region including Iran

Majid Mazraeh Farahani<sup>1</sup> and Mina Jafariani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup> Science and Research Branch, Azad University, Tehran, Iran

(Received: 5 March 2011, accepted: 16 March 2012)

## Summary

Divergence and vorticity are two most attractive and popular quantities in the study of severe atmospheric phenomena. On the other side, the role of deformation, especially total deformation – except for a few cases related to the frontogenesis theory – has received less attention of scientists. This study is trying to fill this gap a little. It is trying to examine the role of deformation in general and the stretching deformation, shearing deformation and total deformation in particular on precipitation. In doing so, the GFS (the Global Forecast System) wind components data in five years (2003-2005) were used to compute the stretching deformation, shearing deformation and total deformation in a network covering the Iranian and influential surrounding area.

In order to evaluate the effect of the deformation field on the atmospheric variable here we used the collective 24 hours precipitation reported by the synoptic observatory around the concerned domain. Due to the irregularity of the observatories in the beginning, the reported data of the rainfall from synoptic stations were moved to regular grid points applying Cressman objective analysis method. The distribution maps of precipitation and contours of stretching deformation, shearing deformation and total deformation also were prepared.

Comparison of the precipitation maps and the maps of stretching deformation, shearing deformation and total deformation in six, twelve and eighteen hours before the occurrence of precipitation, showed that in the concerned region the flux of total deformation pattern (dot product of the total deformation and the wind) was more consistent with the precipitation maps in 6 hours later. Therefore, the flux of the total deformation has a predictive value for precipitation and could be used as a precursor of precipitation.

Besides the general matching of the patterns of the total deformation flux and precipitation, the location of the maximum precipitation occurrence is reasonably compatible with the location of maximum flux of total deformation in six hours earlier. In the grid points of significant values of the precipitation, the total deformation fluxes were calculated for comparison. Also for more precise investigation, the values of the cumulative rainfall were divided into three groups (0-10), (10-20), (20-30) mm and the values of the total deformation flux were computed for each of these intervals. It has been verified that the interval of 0-10 has the maximum frequency of happening regardless of value of deformation flux magnitude. The probability that precipitation occurs between 0-10 is 26%. Also the probability of occurrence of larger deformation flux decreases exponentially as the value of deformation flux increases regardless of value of precipitation.

The results of the computation show that the total deformation flux is varying between  $5e-5$  and  $10e-5$  for all intervals of the three groups of rainfall. The elongation of the dilatation axis of the total deformation for all available data was computed. Based on the results of this computation the axis of dilatation in severe rain falls are elongated in the direction of West - East, Southwest - Northeast and North - South depending on the raining area and the core of maximum precipitation.

**Keywords:** Stretching deformation, shearing deformation, total deformation, precipitation, axis of dilatation

## ۱ مقدمه

نقش متغیرهای جوی بر آب‌وهوا و تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هریک بر دیگری از اولین سؤالات مطرح شده برای انسان و به‌خصوص محققان بوده است. یافتن متغیرهایی که بتوانند شرایط متفاوت جوی را توصیف کند و بیانگر مفهومی واحد در همه نقاط زمین برای بیان شرایط جوی باشند اهمیت بسزایی دارد. یکی از متغیرهایی که در این راستا تعریف و ارائه شده است تغییر شکل کلی است که اولین بار ساسیر (۱۹۵۳) آن را فرمول‌بندی و معرفی کرده است. با توجه به فراوانی وقوع الگوهای مشهور به تغییر شکل روی نقشه‌ها در هنگام وقوع پدیده‌های شدید جوی مانند توفان‌ها، برخی از انواع الگوهای منتسب به تغییر شکل به‌خصوص برای افراد شاغل در مراکز پیش‌بینی هوا شناخته شده و آشنا هستند. گاهی اوقات نقشه‌ها با الگوهای شناخته شده برای تغییر شکل همراه نیستند، با وجود این محاسبه تغییر شکل، حضور این شاخص و حتی مقادیر قابل توجه برای این شاخص را نشان می‌دهد لذا محاسبه کردن این شاخص و یافتن مقادیر آستانه برای این کمیت در نقاط گوناگون که می‌تواند مقادیر متفاوتی داشته باشد کمک شایانی به پیش‌بینی‌ها کند. محاسبه این کمیت در برخی مراکز هواشناسی تاکنون صورت گرفته و استفاده عملیاتی از آن آغاز شده است (گائو و همکاران، ۲۰۰۸). در ایران نقش تغییر شکل کلی تاکنون مورد بررسی تفصیلی قرار نگرفته است و اثر چاپ شده‌ای در این خصوص مشاهده نشده است.

از جمله تحقیقات صورت گرفته که ارتباط تغییر شکل با پدیده‌های هواشناختی را نشان می‌دهند، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مورگیتود (۱۹۶۹) نشان داد که خوشه‌های بزرگ مقیاس آلاینده‌ها متناسب با اندازه اولیه شان و همچنین متناسب با مؤلفه‌های تغییر شکل جریانات، منحرف می‌شوند.

کانینگهام و کیزر (۱۹۹۹) مدل جبهه‌زایی دو بُعدی به سبب واداشت میدان تغییر شکلی که محور کشیدگی آن در عرض جبهه منتقل می‌شود را فرمول‌بندی کردند. آنها دریافتند که ساختار جبهه‌زایی نتیجه شده در این مورد با ساختار مورد کلاسیکی که محور تغییر شکل ثابت دارد، تفاوتی ندارد. ولی سرعت انتقال و جهت حرکت محور کشیدگی الگوی تغییر شکل حالت پایه به‌طور قابل توجهی روی مسیر حرکت جبهه‌های سطحی مؤثر است.

در یک شبیه‌سازی عددی آفاناسیو و پلتیر (۲۰۰۱) به بررسی عوامل دخیل در شکست امواج گرانی پرداختند و نتیجه گرفتند که عنصر تغییر شکل، یکی از عوامل تأثیرگذار در شکست امواج گرانی است.

جاگر و اسپرنگر (۲۰۰۹) ویژگی‌های میدان سرعت در عبور از وردایست را با مؤلفه‌های واگرایی، تغییر شکل و تاوایی میدان جریان بررسی کردند. آنها روشن ساختند که جریانات انتقالی پوش سپهر به وردسپهر (STT)، همگرا، چرخندی و دارای تغییر شکل هستند. همچنین میدان جریان در مدت انتقال از وردسپهر به پوش سپهر نسبتاً واگرا و کمتر چرخندی هستند.

اما در مورد ارتباط بین تغییر شکل و بارندگی تحقیقات اندکی صورت گرفته است. بلوشتاین (۱۹۷۷) با توجه به اینکه تغییر شکل میدان باد زمین‌گرد می‌تواند گردش‌های قائم جبهه‌های عرض‌های میانی را سبب شود و اینکه تصاویر ماهواره‌ای مشاهده شده از نوار ابرهای استوایی اغلب به‌طور باورنکردنی شبیه نوار ابرهای جبهه‌ای عرض‌های میانی هستند، پیشنهاد کرد که ارتباطی بین تغییر شکل مقیاس سینوپتیکی و جهت‌گیری نوار ابرهای استوایی وجود دارد. وی با استفاده از تحلیل عینی داده‌ها و تحلیل آماری آنها در ترازهای ۹۵۰ و ۸۵۰ و ۷۰۰ و ۴۵۰ میلی‌باری، همبستگی معنی‌داری بین جهت‌گیری نوار ابر و جهت‌گیری محور کشیدگی تغییر شکل پیدا کرد. این همبستگی با ارتفاع کاهش می‌یافت. زیر ۸۰۰

## ۲ تغییر شکل

کمیت تغییر شکل را می‌توان به سه نوع تغییر شکل کششی و تغییر شکل چینی و تغییر شکل کلی تقسیم‌بندی کرد.

### ۱-۲ تغییر شکل کششی

تغییر شکل کششی کمیتی است که در مختصات دکارتی به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$E_{st} = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}, \quad (1)$$

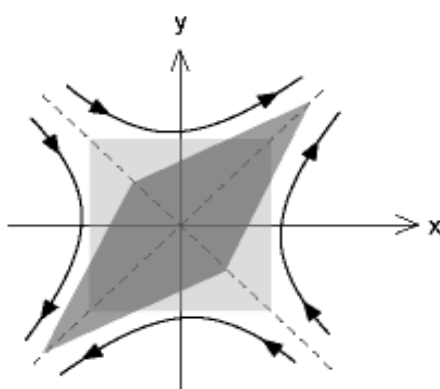
که  $u, v$  به ترتیب مؤلفه‌های باد در راستای محور  $x$  و محور  $y$  هستند.

در شکل ۱- الف خطوط جریان

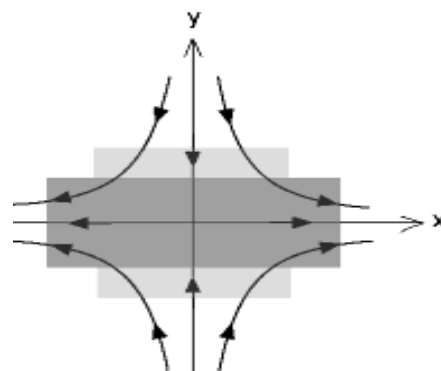
مربوط به میدان سرعتی که دارای تغییر شکل کششی خالص مثبت است، نشان داده شده است. اگر یک شاره مربع شکل در چنین میدان سرعتی قرار گیرد، در راستای محور  $x$  کشیده و در راستای محور  $y$  فشرده خواهد شد. محور  $x$ ، محور کشیدگی و محور  $y$ ، محور فشردگی

میلی‌بار بیشترین همبستگی و در ۴۵۰ میلی‌بار کمترین همبستگی وجود داشت. در روزهایی که نوارهای ابر، مداری جهت‌گیری کرده بودند، جهت میانگین محور کشیدگی مداری بود. همچنین وقتی نوارهای ابر، غیرمداری جهت‌گیری کرده بودند، جهت میانگین محور کشیدگی غیرمداری بود.

گائو و همکاران (۲۰۰۸)، به بررسی نقش تغییر شکل کلی در وقوع بارش پرداختند. آنها برای تحقیق خود از دو مورد بارندگی شدید، که در ژوئیه و اکتبر ۲۰۰۳ به ترتیب بر فراز شرق و شمال چین داده بود استفاده کردند. تحلیل نقشه‌ها نشان داد که قبل از وقوع بارندگی همشاری همراه با تغییر شکل، رطوبت را در منطقه همشاری متمرکز می‌سازد و شرایط مناسب برای بارندگی را ایجاد می‌کند. آنها دریافتند زمانی که تغییر شکل به بیشینه مقدار خود می‌رسد بارندگی با گذشت شش ساعت یا بیشتر، بیشینه مقدارش را بروز می‌دهد. بنابراین بررسی تغییر شکل کلی در بررسی رویدادهای بارش می‌تواند مناسب باشد.

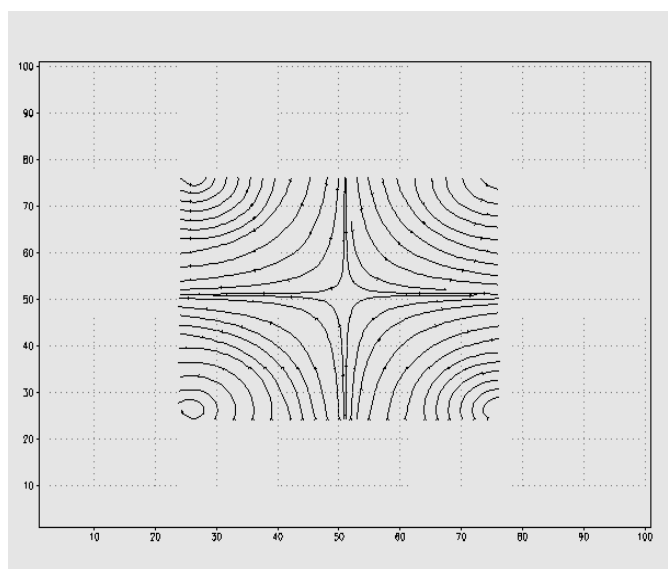


(ب)

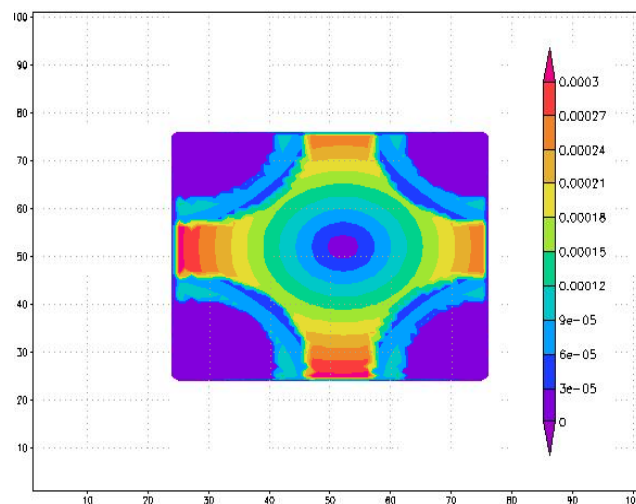


(الف)

شکل ۱. تغییر شکل یک بسته شاره به شکل مربع در (الف) یک میدان سرعت دارای تغییر شکل کششی خالص مثبت و (ب) یک میدان سرعت دارای تغییر شکل چینی خالص مثبت نشان داده شده است. بسته شاره اولیه با رنگ روشن و بسته شاره تغییر شکل یافته با رنگ تیره نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۲. (الف) خطوط جریان در شارش مشهور به الگوی زینی (ب) مقادیر تغییر شکل کلی مربوط به الگوی زینی.

در شکل ۱-ب خطوط جریان مربوط به میدان سرعتی که دارای تغییر شکل چینی خالص مثبت است، نشان داده شده است. تغییر شکل همان بسته شاره مربع شکل در چنین میدان سرعتی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، تغییر شکل چینی مشابه تغییر شکل کششی است که ۴۵ درجه در جهت خلاف عقربه‌های ساعت چرخیده شده است.

نامیده می‌شود. بسته شاره، تغییر شکل می‌یابد در حالی که مساحت آن ثابت می‌ماند.

## ۲-۲ تغییر شکل چینی

تغییر شکل چینی در مختصات دکارتی به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$E_{Sh} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \quad (2)$$



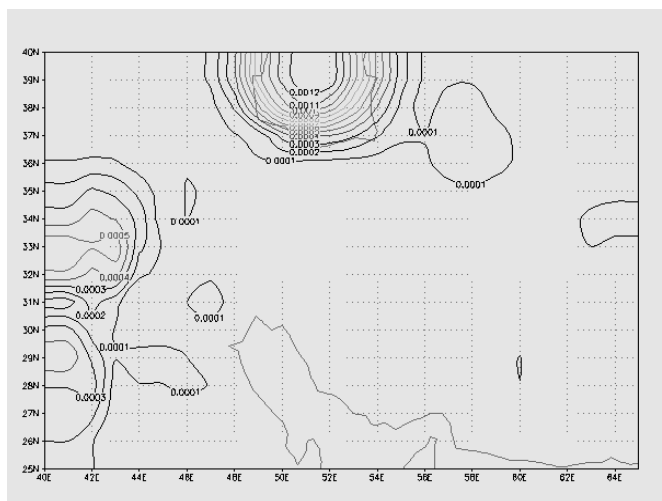
## ۴-۲ گرادیان رطوبت در منطقه دارای تغییر شکل

در نواحی که تغییر شکل جریان زیاد است، چون هوای سرد و خشکی که از سمت شمال در حال فرونشست است به سمت محور کشیدگی فرارفت می‌یابد و هوای گرم و مرطوب نیز از سمت جنوب به این ناحیه منتقل می‌شود، گرادیان رطوبت مقادیر بزرگی دارد. در این نواحی حتی در غیاب یک گرادیان دمایی شدید که بتواند منجر به جبهه‌زایی کلاسیکی شود، بارندگی شدید ممکن است به سبب تمرکز رطوبت، رخ دهد. وفور رطوبت در منطقه

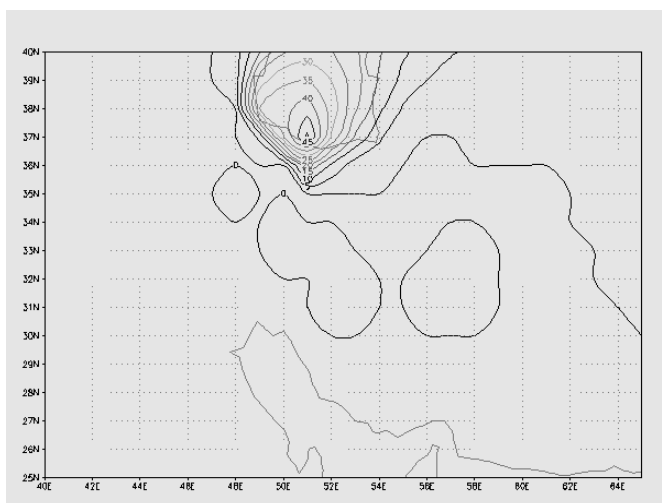
همشاری شرایط مناسب برای همرفت رطوبت را فراهم می‌کند.

## ۳ داده‌ها و روش کار

ابتدا برای به دست آوردن تجربه در محاسبات مربوط به تغییر شکل از داده‌های تحلیلی (غیر واقعی) استفاده شد. مؤلفه‌های سرعت مربوط به میدان جریان الگوی زینی در حکم داده‌های تحلیلی در نظر گرفته شد. این میدان سرعت به صورت ترکیب خطی از سرعت مماسی ناشی



(الف)



(ب)

شکل ۴. (الف)  $\delta$  ( $ms^{-2}$ ) در ساعت 06 UTC روز ۱۳ اکتبر ۲۰۰۴ و (ب) بارش (mm) در شش ساعت بعد.

منتقل شد. از روش تحلیل عینی کرسمن بدین دلیل استفاده شد که در عین سادگی این روش نتایج نسبتاً قابل قبولی به دست می‌دهد. البته شایان ذکر است به خصوص در مورد بارش هیچ روش تحلیل عینی شناخته شده‌ای نتایج با دقت زیاد به دست نمی‌دهد و ناگزیر از استفاده روش‌های موجود هستیم، هرچند از قبل می‌دانیم دارای خطا هستند. با کمک مؤلفه‌های باد مقادیر تغییر شکل کششی و تغییر شکل چینی در دستگاه مختصات کروی در نقاط شبکه در زمان‌های متفاوت محاسبه شدند.

روابط (۵) و (۶) به ترتیب معادلات تغییر شکل کششی و تغییر شکل چینی را در دستگاه مختصات کروی نشان می‌دهند.

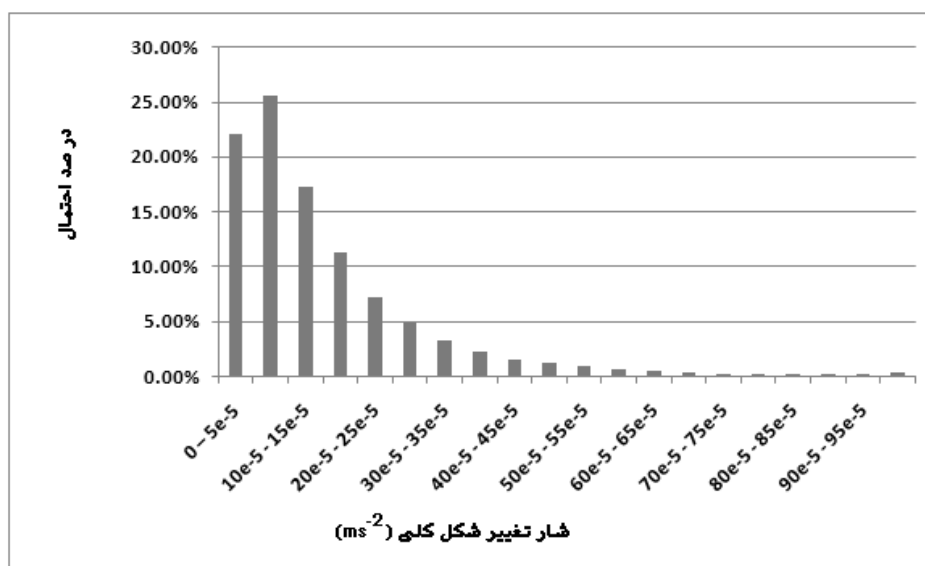
$$F_1 = \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} - \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial (v \cos \phi)}{\partial \phi}, \quad (5)$$

$$F_2 = \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial v}{\partial \lambda} + \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial (u \cos \phi)}{\partial \phi}, \quad (6)$$

که  $R$  شعاع کره زمین،  $\phi$  عرض جغرافیایی و  $\lambda$  طول جغرافیایی است.

شده از تاوه‌ای که صورت هموار شده‌ای از تاوه ترکیبی رنگین است (در آن از نقطه تکنیکی تاوه ترکیبی رنگین اجتناب شده است) و میدان سرعت با تغییر شکل کششی خالص به دست آورده می‌شود (گائو و همکاران، ۲۰۰۸). ترسیم خطوط جریان و میدان تغییر شکل کلی مربوط به این میدان سرعت نشان داد که در نواحی که همشاری جریان شدیدتر است، تغییر شکل مقادیر بزرگ‌تری دارد (شکل ۲).

ناحیه مورد بررسی در محدوده ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۰ تا ۶۵ درجه طول شرقی انتخاب شد. مؤلفه‌های میدان باد در ساعت‌های ۰۶، ۱۲ و ۱۸ گرینویچ برای دوره پنج‌ساله مورد بررسی (۲۰۰۳-۲۰۰۷) از داده‌های تحلیل شده سامانه پیش‌بینی جهانی (GFS) با تفکیک افقی یک درجه استفاده شد. همچنین داده‌های بارندگی تجمعی شش ساعته ایستگاه‌های سینوپتیک کشور (۱۴۹ ایستگاه) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. سپس داده‌های نامنظم بارش ایستگاه‌های سینوپتیک کشور با روش تحلیل عینی کرسمن (۱۹۵۹) به نقاط منظم شبکه



شکل ۵. درصد احتمال وقوع مقادیر ۵ شش ساعت قبل از رخداد بارش.



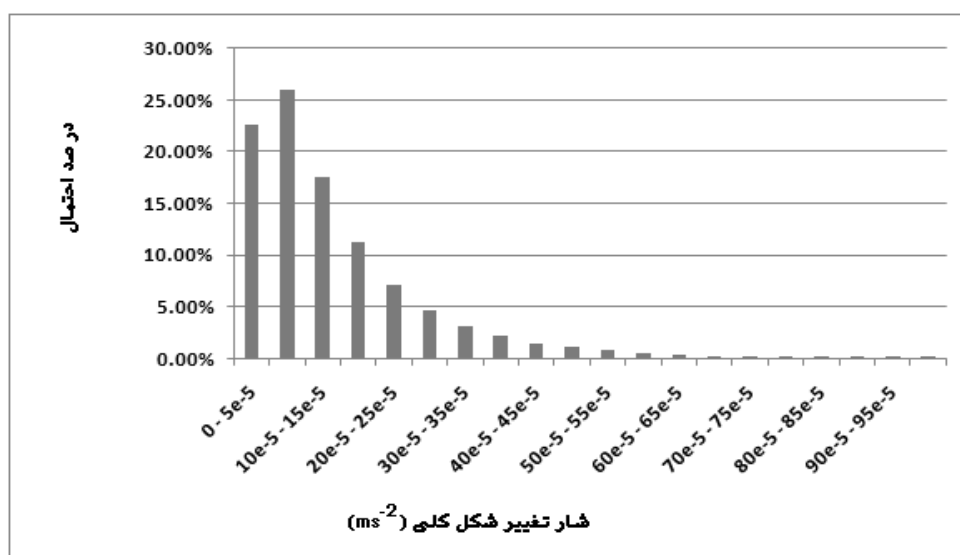
وقوع بارش و میزان بارش با متغیرهای محاسبه شده صورت گرفت.

نتایج مقایسه نشان می‌دهد که در منطقه مورد بررسی  $\delta$  (حاصل ضرب تغییر شکل کلی در تندی باد) در اکثر موارد منجر به وقوع بارش در شش ساعت آینده دارای مقادیر فرین هستند. همچنین ناحیه بیشینه  $\delta$  بر ناحیه بیشینه بارش شش ساعت بعد منطبق است. برای نمونه در تصاویر شکل ۳ - الف و ب به ترتیب مقادیر  $\delta$  در ساعت ۰ گرنویچ و مقادیر بارش ۶ ساعت بعد (۰۶ گرنویچ) در روز ۱۳ دسامبر را ۲۰۰۴ نشان می‌دهد. تصاویر شکل ۴ مشابه تصاویر شکل ۳ ولی برای روز ۱۳ اکتبر ۲۰۰۴ و ساعت ۰۶ هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود کنتورهای بارش در ناحیه بیشینه  $\delta$  منطبق هستند. ارتباط دقیق محل و مقدار دو کمیت ذکر شده نیاز به تحقیقات آماری پیشرفته دارد که موضوع این تحقیق نیست ولی بررسی کیفی الگوهای به دست آمده برای  $\delta$  و بارش در قریب به اتفاق موارد بر یکدیگر منطبق هستند. بنابراین از میان متغیرهای مرتبط به تغییر شکل،  $\delta$  دارای بیشترین

کمیت‌های تغییر شکل کششی، تغییر شکل چینی و تغییر شکل کلی با تفاضل گیری متناهی مرتبه دوم مرکزی در داخل حوزه و تفاضل گیری متناهی مرتبه اول یک‌سویه روی مرزها به دست آورده شد. پس از محاسبه این کمیت‌ها برای نقاط شبکه‌ای، الگوهای مربوط به هر یک از این کمیت‌ها و همچنین الگو مقادیر تحلیل شده بارش ترسیم شد.

#### ۴ تغییرات $\delta$ پیش از وقوع بارش

پس از ترسیم نقشه‌ها، از آنجا که نتایج حاصل از تحقیقات گائو و همکاران (۲۰۰۸) نقش تغییر شکل کلی را در وقوع بارش در شش تا دوازده ساعت بعد نشان داده بود، مقادیر تحلیل شده بارش با مقادیر تغییر شکل چینی، تغییر شکل کششی و تغییر شکل کلی در شش، دوازده و هیجده ساعت قبل از وقوع بارش، مقایسه شدند. با توجه به مقایسه‌ای که صورت گرفت، هیچ کدام از متغیرهای ذکر شده به تنهایی انطباق کافی با پدیده بارش و میزان آن نداشتند لذا متغیرهای محاسباتی متفاوتی بررسی و الگوهای آنها ترسیم شد، همچنین مقایسه چشمی بین محل



شکل ۶. درصد احتمال وقوع مقادیر  $\delta$  برای وقوع بارش در بازه  $(0-10)$  mm.

کرد که طی ۶ ساعت آینده بارش به احتمال زیاد رخ خواهد داد.

#### ۲-۴ محاسبه مقادیر آستانه $\delta$ برای وقوع بارش با

##### مقادیر متفاوت

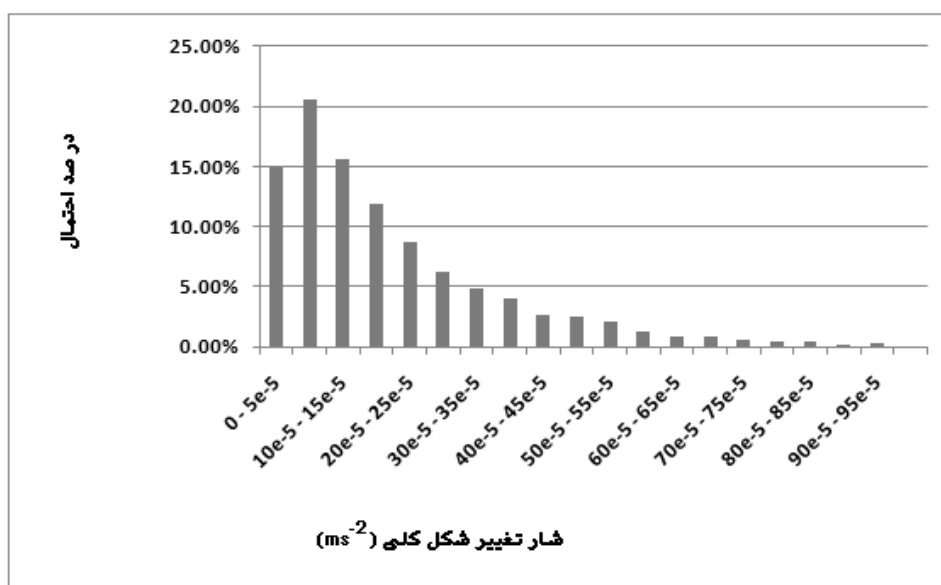
برای محاسبه مقدار آستانه  $\delta$  برای وقوع بارش با مقادیر متفاوت، با توجه به اینکه تعداد وقوع بارش با مقادیر بیشتر از ۳۰ mm در نقاط شبکه و در دوره مورد بررسی قابل توجه نیست، از مقادیر بارش بیشتر از ۳۰mm صرف نظر شد و مقادیر بارش نقاط شبکه به سه بازه mm (۲۰-۳۰)، (۱۰-۲۰)، (۰-۱۰) تفکیک شد و مقدار آستانه شار تغییر شکل کلی برای هر بازه محاسبه شد. نتایج در شکل ۶ نشان داده شده است.

شکل ۶ نشان می‌دهد که در هنگام وقوع بارش در بازه mm (۰-۱۰)، مقادیر  $\delta$  شش ساعت قبل که در بازه  $ms^{-2}$  (۵e-5 - 10e-5) قرار دارند، با احتمال ۲۶٪ بیشترین احتمال وقوع را دارند.

انطباق، نخست با وقوع بارش و دوم محل آن است و با توجه به محاسبه  $\delta$  در ۶ ساعت قبل پیش نشانگر قابل برای رخداد بارش است.

#### ۱-۴ محاسبه مقدار بحرانی $\delta$ پیش از وقوع بارش

به منظور محاسبه مقدار بحرانی  $\delta$  که منجر به وقوع بارش می‌شود، در فاصله‌های زمانی که بارش رخ داده بود و در نقاطی از شبکه که مقدار بارش غیر صفر بود، مقادیر بحرانی  $\delta$  شش ساعت قبل، دسته‌بندی و فراوانی هر دسته مشخص و درصد احتمال وقوع آن دسته محاسبه شد. نمودار توزیع احتمال مقادیر  $\delta$  در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در هنگام وقوع بارش مقادیر شش ساعت قبل  $\delta$  که در بازه  $ms^{-2}$  (5e-5 - 10e-5) قرار دارند، بیشترین احتمال وقوع را دارند. به بیان دیگر، هرگاه  $\delta$  مقداری در بازه  $ms^{-2}$  (5e-5 - 10e-5) داشته باشد، احتمال وقوع بارش در طول شش ساعت آینده بیشترین مقدار خواهد بود. با توجه به تجمعی بودن مقادیر مورد استفاده بارش در این تحقیق امکان تعیین زمان دقیق شروع بارش نسبت و تنها می‌توان ادعا



شکل ۷. همانند شکل ۵ ولی برای وقوع بارش در بازه mm (۰-۱۰).

می‌توان گفت که الگوی احتمال شار تغییر شکل کلی رابطه معینی با میزان بارش دارد به گونه‌ای که می‌توان از الگوی احتمال مقادیر  $\delta$  شش ساعت قبل در یک منطقه برای پیش‌بینی بارش در بازه‌های گوناگون استفاده کرد.

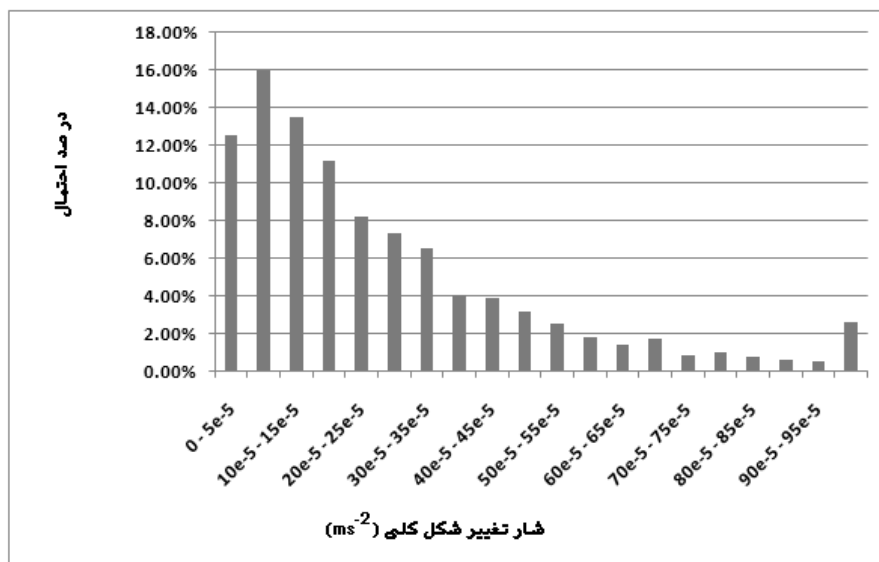
#### ۳-۴ محاسبه راستای غالب محور کشیدگی تغییر شکل کلی در منطقه در هنگام وقوع بارش

به منظور یافتن راستای چیره محور کشیدگی تغییر شکل کلی در منطقه مورد بررسی، ابتدا در زمان‌های وقوع بارش ناحیه دارای تغییر شکل بیشینه مشخص شد. بدین صورت که ابتدا طول و عرض نقطه‌ای از شبکه که دارای بیشینه مقدار تغییر شکل کلی است تعیین شد، سپس یک شبکه  $5 \times 5$  اطراف این نقطه بیشینه طوری در نظر گرفته شد که این نقطه بیشینه در مرکز شبکه قرار گیرد. برای آنکه مقادیر تغییر شکلی کلی که در شبکه  $5 \times 5$  در نظر گرفته شده، دارای بیشینه‌ای منحصر به نقطه مرکزی نباشد، مقادیر تغییر شکل کلی در نقاط شبکه با استفاده از رابطه (۶)، (شاپیرو، ۱۹۵۴) هموارسازی شد.

از شکل ۷ و ۸ نتایج مشابهی دریافت می‌شود. در هنگام وقوع بارش در بازه  $mm(10-20)$ ، مقادیر  $\delta$  مشابه بازه قبلی بوده و با احتمالی حدود ۲۰٪ بیشترین احتمال وقوع را دارد. این احتمال برای بارش در بازه  $mm(20-30)$  تقریباً ۱۶٪ محاسبه شده است.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگر  $\delta$  مقداری در بازه  $ms^{-2}(5e-5 - 10e-5)$  داشته باشد، احتمال زیادی برای وقوع بارش در شش ساعت آتی وجود خواهد داشت. در این صورت وقوع بارش با شدت کمتر محتمل تر خواهد بود.

نمودار توزیع احتمال مقادیر  $\delta$  شش ساعت قبل از وقوع بارش با مقادیر متفاوت در شکل ۹ نشان داده شده است. از شکل مشاهده می‌شود که به‌طور کلی در مقادیر کم بارش، احتمال برای مقادیر کوچک نسبی  $\delta$  دارای یک بیشینه است و برای مقادیر بزرگ  $\delta$  به سرعت به صفر نزدیک می‌شود. با افزایش میزان بارش مقدار احتمال بیشینه مقادیر  $\delta$  قدری کاهش می‌یابد و در عوض احتمال برای مقادیر بزرگ  $\delta$  افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر



شکل ۸. همانند شکل ۵ ولی برای وقوع بارش در بازه  $mm(20-30)$ .

محور کشیدگی تغییر شکل نیز در همین راستاها باشد. شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ نمونه‌هایی از راستاهای غالب محور کشیدگی تغییر شکل کلی را نشان می‌دهند.

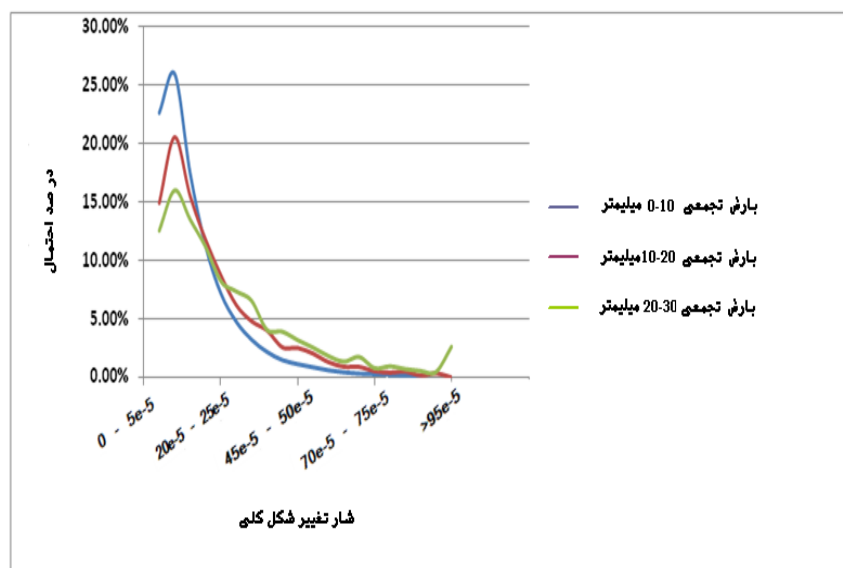
### ۵ نتیجه‌گیری

در این پژوهش مشخص شد که در منطقه مورد بررسی  $\delta$  کمیتی است که می‌توان برای پیش‌بینی احتمالی بارش در شش ساعت آینده از آن استفاده کرد. همچنین  $\delta$  بیشینه منجر به وقوع بارش بیشینه در شش ساعت آینده خواهد شد. با محاسبه احتمال وقوع مقادیر  $\delta$  شش ساعت قبل از رخداد بارش، مشخص شد که مقادیر که در بازه  $ms^{-2}$  (5e-5 - 10e-5) قرار دارند، احتمال وقوع بیشتری دارند. میزان این احتمال با افزایش میزان بارش کاهش می‌یابد. در دوره مورد بررسی بیشترین وقوع بارش در بازه mm (۱۰-۰) رخ داد که احتمال وقوع شار تغییر شکل کلی

$$f_{ij} = (1-s)f_{ij} + s(f_{i-1j} + f_{i+1j} + f_{ij-1} + f_{ij+1})/4, \quad (6)$$

که مقدار  $s = 1$  در نظر گرفته شد. بدین ترتیب، مقدار تغییر شکل کلی در هر نقطه برابر میانگین مقادیر چهار نقطه اطراف آن است. پس از تعیین ناحیه تغییر شکل بیشینه، زاویه بردار باد با محور  $x$  برای همه نقاط شبکه  $5 \times 5$  در نظر گرفته شده حول نقطه بیشینه، محاسبه شد. سپس میانگین این زوایا محاسبه شد. برای همه گام‌های زمانی وقوع بارش این زاویه به صورت جداگانه محاسبه شد. در نهایت فراوانی و احتمال وقوع این زوایا محاسبه شد. شکل ۱۰ نمودار توزیع احتمال وقوع این زوایا را نشان می‌دهد.

از شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که محور کشیدگی در سه راستا احتمال وقوع بیشتری دارد. این راستاها، راستای غربی - شرقی، جنوب غربی - شمال شرقی و شمالی - جنوبی هستند. از آنجا که بیشتر سامانه‌هایی که منطقه مورد بررسی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و باعث بارش قابل توجهی روی منطقه مورد بررسی می‌شوند، چنین مسیرهایی دارند. بنابراین انتظار می‌رود که راستای غالب



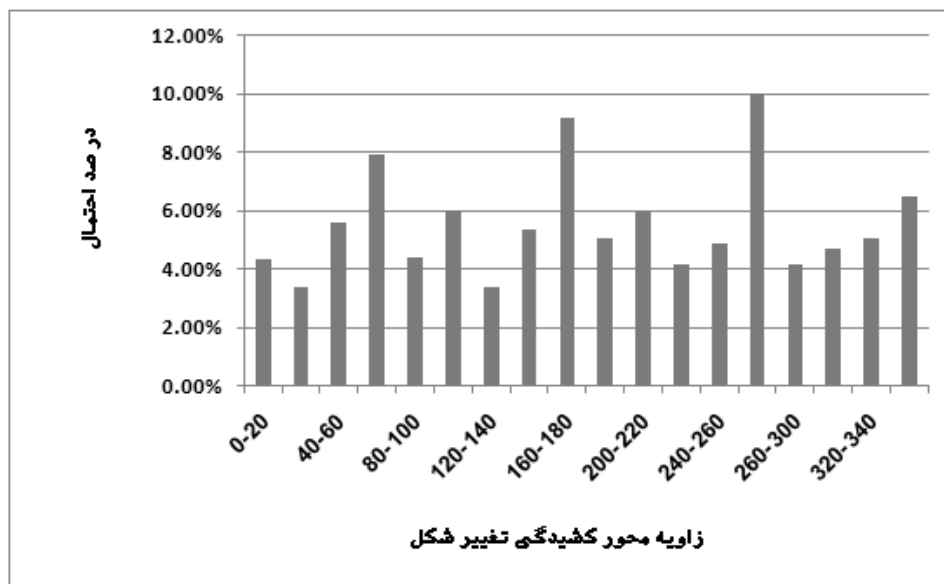
شکل ۹. نمودار توزیع احتمال مقادیر  $\delta$  شش ساعت قبل از وقوع بارش با مقادیر متفاوت.

کاهش می‌یابد و در مقابل احتمال رخداد برای مقادیر بزرگ  $\delta$  افزایش می‌یابد. به بیان دیگر میزان بارش، طیف تغییرات  $\delta$  را گسترده‌تر می‌سازد، بنابراین می‌توان از الگوی توزیع احتمال مقادیر  $\delta$  شش ساعت قبل در یک منطقه برای پیش‌بینی بارش در بازه‌های متفاوت استفاده کرد.

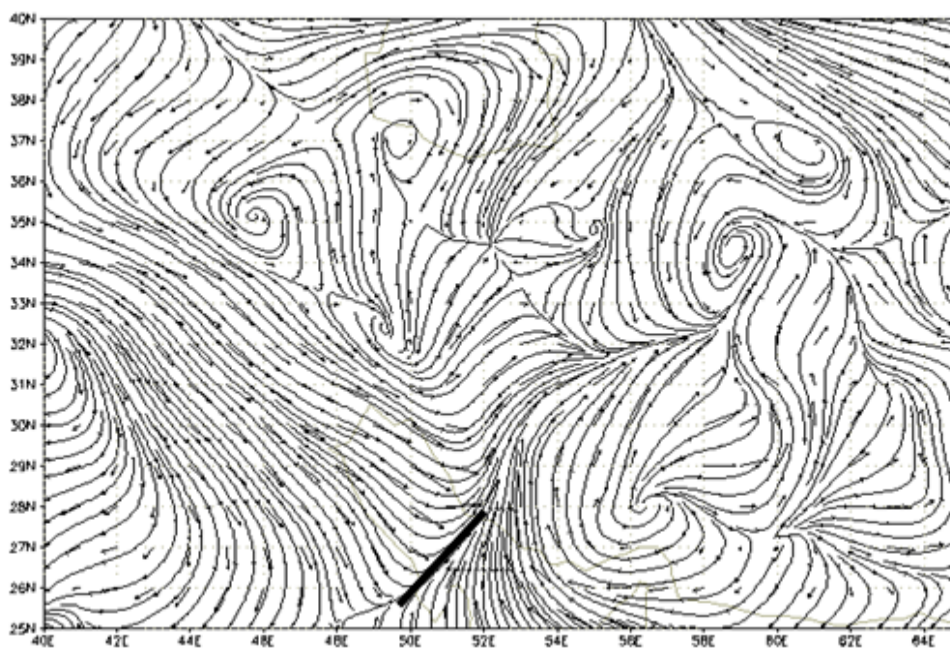
با محاسبه راستای محور کشیدگی تغییر شکل کلی در منطقه در هنگام وقوع بارش (شکل ۱۰) مشخص شد که محور کشیدگی اکثر موارد راستاهایی غربی - شرقی، جنوب غربی - شمال شرقی و شمالی - جنوبی دارد. با توجه به اینکه بیشتر سامانه‌هایی که باعث بارش قابل توجهی روی منطقه مورد بررسی می‌شوند، چنین مسیرهایی دارند، بنابراین انتظار می‌رود که راستای غالب محور کشیدگی تغییر شکل نیز در همین راستاها باشد و محاسبات در اینجا نیز آن را تأیید می‌کند.

در بازه  $ms^{-2} (5e-5 - 10e-5)$  برای این میزان بارش، حدود ۲۶٪ محاسبه شد.

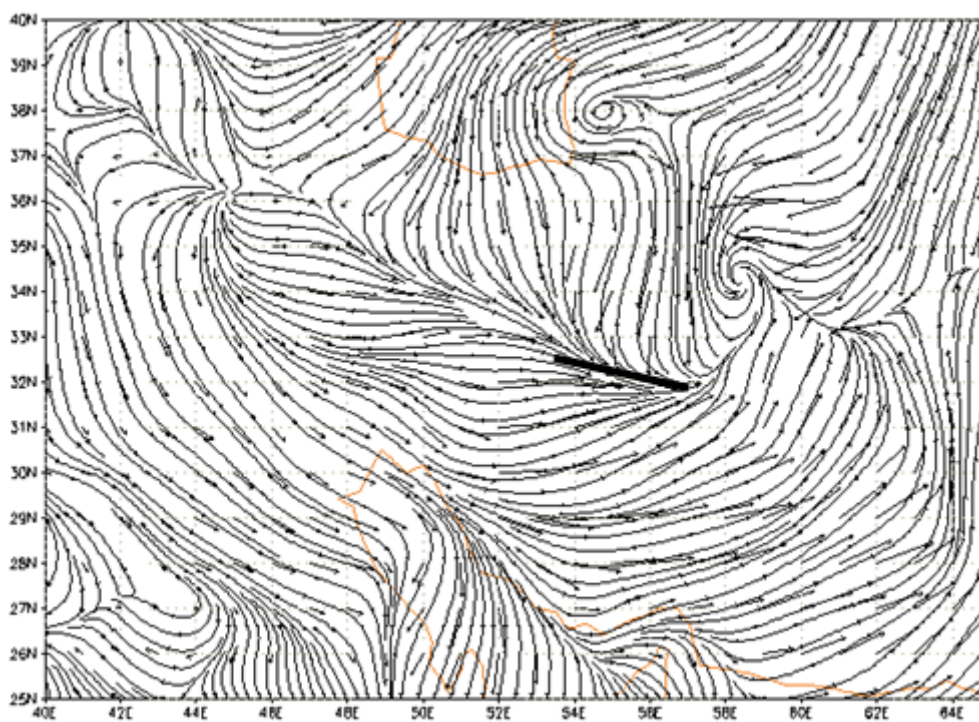
با توجه به نمودار توزیع احتمال مقادیر  $\delta$  شش ساعت قبل برای وقوع بارش با مقادیر مختلف (شکل ۹) مشخص شد که الگوی احتمال وقوع شار تغییر شکل کلی برای همه مقادیر بارش به صورت نمایی با افزایش بزرگی شار کاهش می‌یابد. در واقع افزایش  $\delta$  که عمدتاً ناشی از بزرگی سرعت باد است موید این است که انرژی موجود در جو به صورت افزایش مقدار  $\delta$  بروز می‌کند و به دلیل نبود شرایط مناسب فیزیکی - دینامیکی برای بارش، مانند ناکافی بودن آب قابل بارش وابستگی خطی بین میزان بارش و بزرگی شار، تغییر شکل مشاهده نمی‌شود. با این توجیه  $\delta$  بزرگ‌تر لزوماً منجر به بارش شدیدتر نمی‌شود. در سوی دیگر در مقادیر کم بارش، احتمال رخداد مقادیر کوچک  $\delta$  دارای یک بیشینه است و برای مقادیر بزرگ  $\delta$  به سرعت به صفر نزدیک می‌شود. با افزایش میزان بارش مقدار احتمال رخداد بیشینه مقادیر کوچک  $\delta$ ، تا اندازه‌ای



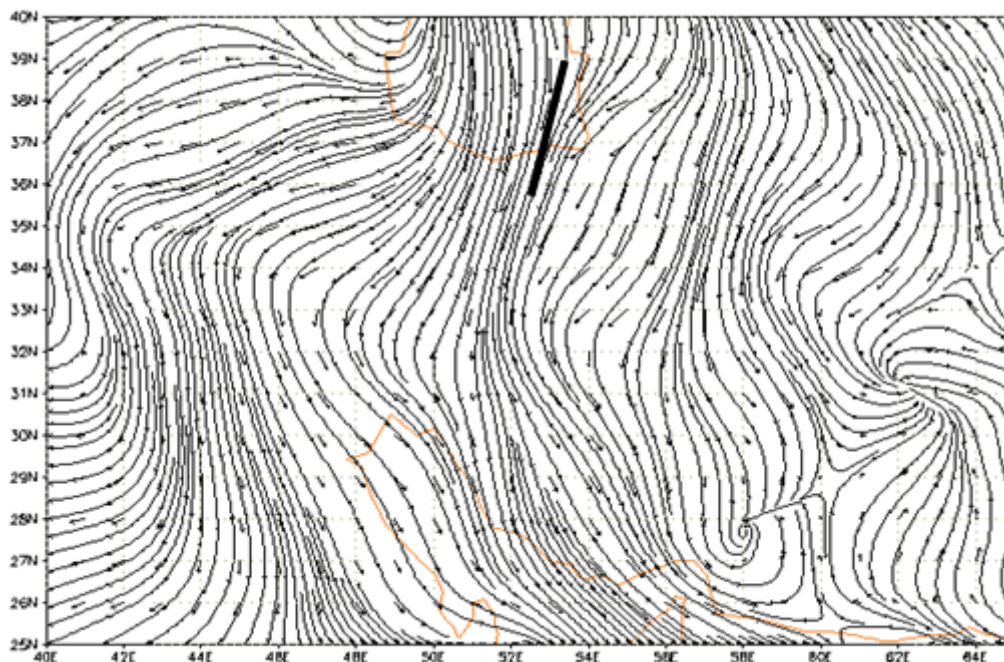
شکل ۱۰. نمودار توزیع احتمال زاویه محور کشیدگی تغییر شکل کلی هنگام رخداد بارش.



شکل ۱۱. خطوط جریان و میانگین راستای محور کشیدگی تغییر شکل کلی در هنگام وقوع بارش در ساعت ۰۶ گرینویچ روز ۱۳ دسامبر ۲۰۰۴.



شکل ۱۲. همانند شکل ۱۰ ولی برای وقوع بارش در ساعت ۱۲۰۰ گرینویچ روز ۱۷ آوریل ۲۰۰۳.



شکل ۱۳. همانند شکل ۱۰ ولی برای وقوع بارش در ساعت ۰۶ گرینویچ روز ۱۱ دسامبر ۲۰۰۳.

#### منابع

- Gao, S., Yang, S., Xue, M., and Cui, C., 2008, Total deformation and its role in heavy precipitation events associated with deformation-dominant flow patterns: *Adv. Atmos. Sci.*, **25**, 11-23.
- Jaeger, E. B., and Sprenger, M., 2009, Vorticity, deformation and divergence signals associated with stratosphere-troposphere exchange: *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **135**, 1684-1696.
- Martin, E. J., 2006, *Mid-Latitude Atmospheric Dynamic*: John Wiley, 324.
- Murgatroyd, R. J., 1969, The dispersion of pollutants in free atmosphere by the large scale wind systems: *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A.*, **265**, 273-294.
- Saucier, Walter J., 1953, Horizontal deformation in atmospheric motion: *Trans. Amer. Geophys. Union*, **34**, 709-719.
- Afanasyev, Ya. D., and Peltier W. R., 2001, Numerical simulations of internal gravity wave breaking in the middle atmosphere: The influence of dispersion and three dimensionalization: *J. Atmos. Sci.*, **58**, 132-153.
- Bluestein, H. B., 1977, Synoptic-scale deformation and tropical bands: *J. Atmos. Sci.*, **34**, 891-900.
- Cressman, G. P., 1959, An operational objective analysis system: *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367-374.
- Cunningham, P., and Keyser, D., 1999, Frontogenesis and frontal motion due to confluent deformation with a translating dilatation axis: *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **125**, 2563-2573.