

## مطالعه همدیدی و دینامیکی بیشترین بارش روی منطقه خراسان

حسین اردکانی<sup>۱</sup>، محمدتقی زمانیان<sup>۲</sup> و مهری هاشمی دوفین<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد اداره کل هواشناسی خراسان شمالی، بجنورد، ایران

(دریافت: ۸۵۵۲۸، پذیرش نهایی: ۸۶۱۰۲۵)

### چکیده

در این بررسی الگوهای همدیدی که بیشترین بارش را روی منطقه خراسان طی دوره زمانی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۰ داشته‌اند، بررسی و به سه نوع تقسیم شده‌اند.

نوع الف: شامل سامانه‌های واچرخندی با حرکت نسبتاً سریع و هسته سرد هستند که از کشورهای اسکانداوی و اروپای مرکزی، در طی فصول سرد سال، در جهت شرق یا جنوب شرق حرکت می‌کنند. این سامانه‌ها ابتدا دریای خزر و سپس منطقه خراسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند، که بارش آنها نسبتاً کم ولی با سرمای زیادی همراه هستند و حداکثر حدود ۲۴ الی ۳۶ ساعت بعد، از روی منطقه خارج می‌شود.

نوع ب: شامل چرخندهای جبهه‌ای کژفشار با منشأ شرق مدیترانه‌ای که پس از عبور از مرکز ایران، منطقه خراسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در صورتی که این سامانه‌ها با یک کم فشار دیگری که منشأ آن از دریای سرخ بوده و به شکل یک ناوه گرمایی وارون (Inverted thermal trough)، این ناوه گرمایی وارون از نظر شکل کاملاً شبیه ناوه‌های وارون Inverted trough در مناطق حاره است که روی موج‌های شرقی در شرق اقیانوس‌ها در مناطق حاره شکل می‌گیرد. ولی از نظر منشأ، این ناوه به دلیل بالا رفتن بیشتر دمای سطح زمین شمال شرق قاره آفریقا و تا حدودی شبه جزیره عربستان شکل گرفته و به صورت یک ناوه گرمایی است که دارای قدرت کژفشاری ضعیف است. چنانچه این موج با سامانه‌های جوی همراهی کننده با ناوه تراز بالا، که تا عرض‌های پایین کشیده شده همراهی کند، آن‌گاه قدرت کژفشاری آن به دلیل فرارفت نیروهای واداشتی تقویت گشته و به شکل یک موج بسته درآمده و به سمت شرق یا شمال شرق به حرکت در می‌آید) است، همراه باشند، به علت اثرات نیروی واداشتی تقویت شده و باعث ریزش بارش‌های بیشتری نسبت به نوع الف ولی با سرمای نه چندان زیادی می‌شوند.

نوع ج: شامل واچرخندهای سرد در عرض‌های جغرافیایی بالا (مانند نوع الف) هستند که در حال حرکت با مراکز چرخند (یا ناوه) عبوری از روی دریای مدیترانه و یا دریای سرخ (مانند نوع ب) روی کشور با هم برخورد کرده و باعث گردابان شدید فشاری و دمایی در نوار شمالی کشور می‌شوند و نهایتاً موجب شکل‌گیری منطقه جبهه‌ای روی استان خراسان می‌شوند. با عبور این الگو بارش‌های سنگین برف و باران را در منطقه خراسان داریم. در هر یک از حالات فوق برای گروهی که بارش قابل توجه‌ای نسبت به دو نوع دیگر داشت، کمیت‌های تاوایی نسبی، مطلق، و فرارفت آنها در تراز ۵۰۰ هکتو پاسکالی محاسبه و بررسی شده است. بیشترین بارش در مدت ۲۴ ساعت به مقدار ۴۰ میلی‌متر در مشهد (از نوع ج) در تاریخ ۲۱ بهمن ماه ۱۳۷۶ گزارش شده است که تاوایی نسبی و فرارفت آن در مقایسه با دو نوع دیگر بیشترین مقدار خود را در این نوع به بزرگی  $1 \times 10^{-4} s^{-1}$  و  $2.5 \times 10^{-9} s^{-2}$  داشته است.

واژه‌های کلیدی: ناوه گرمایی وارون، واچرخند اسکانداوی، چرخند مدیترانه‌ای، کژفشار

## The synoptic and dynamic study for maximum precipitation over the Khorasan region

Ardakani, H<sup>1</sup>., Zamanian, M. T<sup>2</sup>. and Hashemi Devin, M<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Lecturer, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Research Assistant, North Khorasan Meteorological Office, Bojnurd, Iran

(Received: 19 Aug 2006 , Accepted: 15 Jan 2008)

### Abstract

In this paper, synoptic patterns associated with maximum precipitation over the Khorasan region, between 1985-2000 with the computation of some forcing functions are studied and classified into three types.

Type A: Consists of the anticyclones that move from the Scandinavian Peninsula and central-Europe in an east and south-east direction during cold seasons, with relatively high speed and cold cores. They first affect the Caspian Sea area and then the Khorasan region, and cause little of precipitation and very cold weather which lasts for 24 to 36 hours in the region. For this type the maximum amount of precipitation for 24 hours recorded was 16mm in Goochan city.

Type B: includes steering frontal cyclones from east of the Mediterranean Sea that after passing the central part of Iran, affect the Khorasan region, and if these systems combine with a low pressure system from the Red Sea, that is a form of inverted thermal trough, which developed due to the effects of forcing functions they produce more precipitation than type A, but with a mild temperature. For this type maximum amount of precipitation recorded for 24 hours was 16mm in a lower latitude compared to type A, in Ferdos city.

Type C: includes cold core anticyclones that move from a high latitude (similar to type A) simultaneously with the steering cyclones (or trough) from the Mediterranean or the Red Sea (similar to type B) and these two systems impact over Iran and produce a strong temperature and pressure gradient along the northern part of Iran, that makes a frontal zone over the Khorasan region and therefore heavy rain and snow is expected to fall over the region. For every type, the group which had considerable precipitation compared to other cases, their relative vorticity, absolute vorticity and advection are computed on 500hpa level. The maximum amount of precipitation in this period of study recorded for 24 hours was 40 mm in Mashhad city (of type C) at time of 1998.2.10. At this time relative vorticity is order of magnitude about  $10 \times 10^{-5} s^{-1}$ , and its advection at 1998.2.9, is order of magnitude  $25 \times 10^{-10} s^{-2}$ . So when a low pressure from a lower latitude, that has sufficient humidity and moves to the center of Iran, impact with a high pressure from upper latitude that has very cold air over Iran we will have high precipitation in the Khorasan region.

**Key words:** Inverted thermal trough, Scandinavian anticyclone, Mediterranean cyclone

### ۱ مقدمه

نیز واچرخند چین قرار می گیرد که دارای هوای سرد و خشک به مدت طولانی است. در فصل تابستان منطقه

استان خراسان (قبل از تقسیمات اخیر) در فصل زمستان در بیشترین حالات تحت تأثیر واچرخندهای سبیری و گاهی

تصاویر ماهواره‌ای مراحل شکل‌گیری و تضعیف چرخند را نشان داده است.

## ۲ روش شناختی

با استفاده از نقشه‌های همدیدی موجود در سازمان هواشناسی کشور، داده‌ها (Data) و نقشه‌های موجود در پایگاه‌های اینترنتی مربوط به هواشناسی و با توجه به آمار بارندگی، سامانه‌های تأثیرگذار روی منطقه خراسان طبقه‌بندی شده‌اند. سپس برای محاسبه تاوایی و فرارفت آن در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال داده‌های اولیه، مؤلفه شرق سوی و شمال‌سوی باد تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و ژئوپتانسیل، از گزارش ایستگاه‌های هواشناسی و با به‌کارگیری روش درون‌یابی کریجینگ (Kriging) به‌دست آمده است. داده‌ها در پرونده (File)‌هایی به همان نام به صورت ماتریسی و با توجه به ابعاد و شبکه تعیین شده، ذخیره شده‌اند. کمیت‌های مورد نظر با استفاده از برنامه رایانه‌ای (با زبان برنامه‌نویسی Matlab6.5) و با روش عددی مرکزی محاسبه شده‌اند. برای این کار از پرونده داده‌های اولیه درحکم ورودی استفاده می‌شود. سپس این کمیت‌ها در همان شبکه به صورت الگوهای (Pattern) ماتریسی با نرم‌افزار Surfer7 رسم شده و مورد بررسی کمی قرار گرفته‌اند. ناحیه موردنظر محدود به طول جغرافیایی ۲۷/۵ تا ۶۷/۵ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۲/۵ تا ۴۷/۵ درجه شمالی است. با انتخاب گام شبکه‌ای ۲۷۵ کیلومتر که معادل با ۲/۵ درجه است، شبکه یک نقشه ۱۷×۱۱ نقطه‌ای است. برای محاسبات عددی از روش مرکزی استفاده شده است (در روش کار شرح داده شده است). تاوایی نسبی و مطلق به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

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

$$\eta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} + f \quad (2)$$

بیشتر تحت تأثیر کم‌فشار گرمایی مرکز ایران قرار دارد که این سامانه بیشتر مناطق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد و هوای خشک و گرم را در منطقه همراه دارد. وضعیت این سامانه جوی، خود در گردش عمومی جو نقش مهمی را بر عهده دارد (اقلیم و گردشگری در استان خراسان). در این تحقیق به جمع‌بندی و تقسیم سامانه‌های مؤثر در بارش منطقه خراسان با استفاده از الگوها و آمار در دسترس و محاسبه و بررسی الگوهای تاوایی مرتبط پرداخته شده است. براین اساس شدت سامانه‌ها و بارش با میزان شدت تاوایی مطابقت دارد. در مواردی که مقدار تاوایی و فرارفت آن بیشینه است بیشترین ناپایداری و بارش بیشینه گزارش شده است. اجرای این تحقیق به پیش‌بینی سریع‌تر و دقیق‌تر سامانه‌های عبوری از روی منطقه خراسان و صدور اطلاعیه و اختاریه‌ها در مواقع ضروری کمک می‌کند. تقسیم‌بندی‌ها براساس مسیر حرکت و شدت آن‌ها به زیرگروه‌هایی تقسیم می‌شوند که در اینجا به محاسبات عددی قوی‌ترین آن‌ها در هر نوع پرداخته شده است.

امینی (۱۳۷۴) نیز سامانه‌های مؤثر در آب و هوای منطقه شمال غرب کشور را بررسی و طبقه‌بندی کرده است. چن و همکاران (۱۹۷۹) سامانه‌های مؤثر بر بارش‌های سنگین در شمال آمریکا را بررسی کرده‌اند. کری چاک و همکاران (۱۹۹۷) روشن ساختند که تقویت ناوه دریای سرخ عامل مهمی در ایجاد توفان در شمال این دریا است. آلپرت و همکاران (۱۹۹۰) با بررسی چرخندزایی در شرق مدیترانه، نفوذ ناوه دریای سرخ را عامل اساسی تشکیل چرخند در جنوب شرق مدیترانه می‌دانند.

اردکانی و همکاران (۱۳۸۵) بارش جبهه‌ای روی خراسان را بررسی کرده‌اند. سبزی‌پرور (۱۳۷۰) نیز در بررسی سامانه‌های باران‌زا روی ایران به این نتیجه رسیده است که ۳۰٪ سامانه‌های باران‌زا روی کشور از دریای سرخ سرچشمه می‌گیرند. کانوی (۱۹۹۷) نیز با استفاده از

که در اینجا،  $u$  مؤلفه شرق سوی باد و  $v$  مؤلفه شمال سوی باد است.

$$\zeta = \frac{[v(x + \Delta x, y) - v(x - \Delta x, y)] / 2\Delta x}{[u(x, y + \Delta y) - u(x, y - \Delta y)] / 2\Delta y} \quad (3)$$

مقدار تاوایی برحسب  $10^{-5} s^{-1}$  به دست می آید.

$$\Delta x \approx a\Delta\lambda \cos\phi \quad (4)$$

$a =$  شعاع متوسط کره زمین = ۶۳۷۱ کیلومتر

$\lambda =$  طول جغرافیایی

$\phi =$  عرض جغرافیایی

که میزان تغییرات طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی برحسب رادیان بیان می شود. همان گونه که ذکر شد فواصل نقاط شبکه ۲/۵ درجه انتخاب شده است که برحسب رادیان عبارت است از:

$$\Delta\lambda = 2.5^\circ = 2.5 * \frac{\pi}{180} = 0.0436(\text{radian})$$

$\Delta x$  و  $\Delta y$  برحسب متر بیان می شود.

$$\Delta y = a\Delta\phi \quad (5)$$

$$\Delta\phi = 2.5^\circ = 2.5 * \frac{\pi}{180} = 0.043$$

$$\Delta y = 6371000 * 0.0436 = 277987.3 \text{ m}$$

(۶)

بنابراین در راستای محور  $x, y$  ها، با ثابت ماندن شعاع کره زمین و  $\Delta\phi$ ،  $\Delta y$  تغییر نمی کند.

تاوایی مطلق با داشتن مقادیر تاوایی نسبی و پارامتر

کورولیس، چنین محاسبه می شود:

$$\eta = \zeta + f$$

که برحسب  $10^{-5} s^{-1}$  بیان می شود.

فرارفت تاوایی انتقال افقی و قائم تاوایی به وسیله میدان باد است. در اینجا به فرارفت افقی تاوایی اشاره می شود. فرارفت تاوایی (مطلق یا نسبی) برابر با منفی حاصل ضرب داخلی بردار باد و شیو (گرادیان) تاوایی (مطلق یا نسبی) است (کارلسون، ۱۹۹۱؛ داتن ۱۹۹۵؛

هولتون، ۲۰۰۴).

$$-\vec{V} \cdot \nabla \zeta = -u \frac{\partial \zeta}{\partial x} - v \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (7)$$

$$-\vec{V} \cdot \nabla \zeta_a = -u \frac{\partial \zeta_a}{\partial x} - v \frac{\partial \zeta_a}{\partial y} \quad (8)$$

بسیاری از دانشمندان هواشناسی گسترش و تقویت سامانه ها را در نتیجه فرارفت تاوایی مثبت در تراز میانی جو می دانند. نظیر کارلسون که تقویت کم فشار سطح زمین را در شرایط کم فشار در نتیجه فرارفت تاوایی مثبت در تراز میانی جو می داند (کارلسون، ۱۹۹۱).

فرارفت تاوایی نسبی و مطلق نیز با استفاده از روش مرکزی محاسبه شده اند:

$$-\vec{V} \cdot \nabla \zeta = -u.[\zeta(x + \Delta x, y) - \zeta(x - \Delta x, y)] / 2\Delta x - v.[\zeta(x, y + \Delta y) - \zeta(x, y - \Delta y)] / 2\Delta y \quad (9)$$

که واحد آن  $10^{-10} s^{-2}$  است (هالتینر و ویلیامز، ۱۹۸۰ و بلوشتاین، ۱۹۹۲).

### ۳ نتایج و بحث

#### ۳-۱ بررسی مقدماتی نقشه های هم دیدی

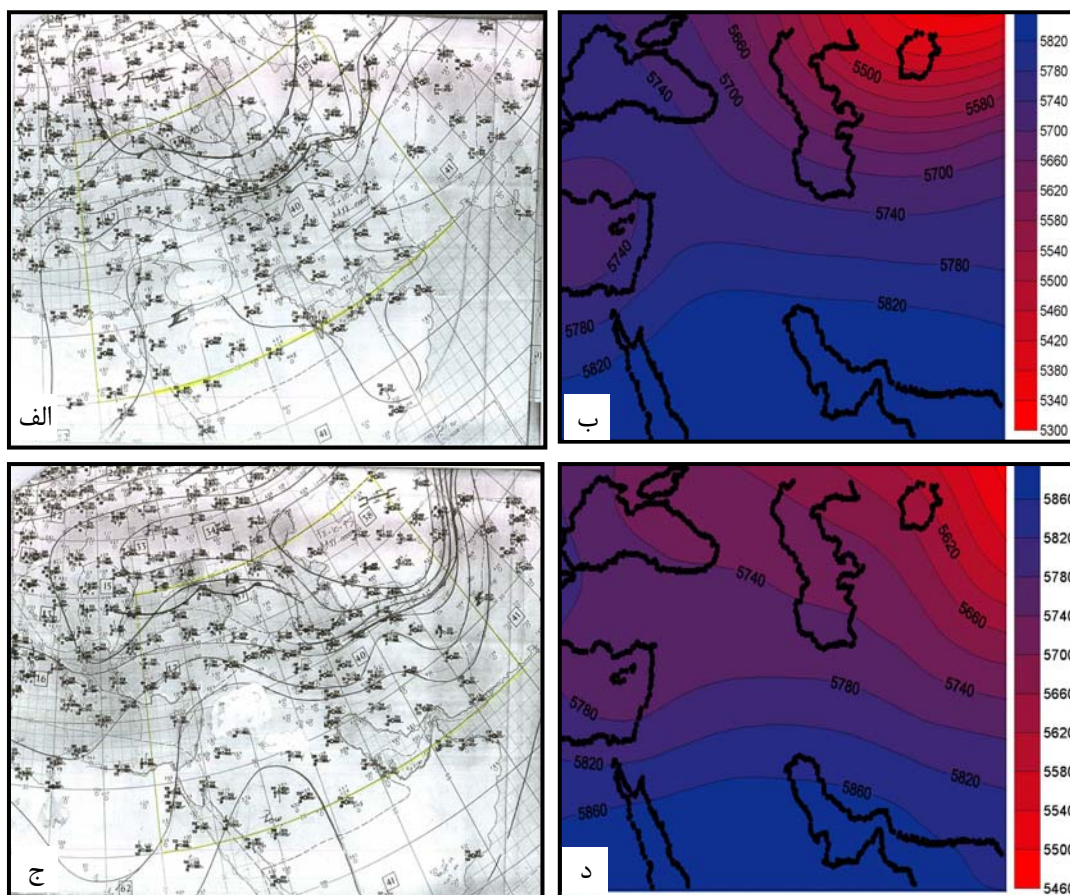
جهت تقسیم بندی سامانه ها به طور کلی ۱۶ نمونه مورد بررسی قرار گرفت که از بین آنها سامانه های قوی تر انتخاب شده است.

#### ۳-۱-۱ نوع الف

در تاریخ ۱۳۷۴/۷/۲۵ ساعت UTC ۰۰۰۰ در سطح زمین واچرخندی با مرکز بیش از ۱۰۳۵ هکتوپاسکال از سمت اسکاندیناوی به عرض های پایین کشیده شده و زبانه آن نوار شمالی کشور را تحت تأثیر قرار داده است. جبهه سردی در جلوی این مرکز در روی خزر دیده می شود. شیب فشاری در حاشیه شمالی کشور شدید است که موجب ایجاد منطقه جبهه ای در نوار شمالی کشور شده

هکتوپاسکال رسیده و در حال خروج از روی منطقه است. شیب فشاری در نوار شمالی کشور همچنان شدید است. منطقه جبهه سردی نیز در جلوی این واچرخند به چشم می‌خورد که تا روی شمال خراسان امتداد یافته است. با عبور واچرخند از روی منطقه، فشار ایستگاه‌ها نسبت به ۱۲ ساعت گذشته بین ۱ تا ۷ هکتوپاسکال افزایش و دما کاهش می‌یابد، به نحوی که در شمال خراسان دما به زیر صفر رسیده است (شکل ۱-ج). ناوه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال از روی منطقه عبور کرده و به سمت شرق کشیده شده شرق دریاچه آرال و قسمتی از شمال شرق کشور را تحت تأثیر قرار داده است. ناوه‌ای نیز از غرب دریای خزر تا روی دریای سیاه کشیده شده است (شکل ۱-د).

است. (شکل ۱-الف). آسمان نوار شمالی کشور نیمه ابری تا تمام ابری است که به تدریج به سمت جنوب از میزان ابرناکی آن کاسته شده است. در ایستگاه‌های شمالی خراسان، بارندگی به میزان ۱ تا ۱۶ میلی‌متر گزارش شده است، که بیشترین آن مربوط به ایستگاه قوچان است و فشار ایستگاه‌ها نسبت به ۱۲ ساعت گذشته افزایش یافته است که این خود موجب افت دما شده است. در سطوح فوقانی نیز فرارفت هوای سرد را روی نوار شمالی داریم (به دلیل حجم زیاد نقشه‌ها آورده نشده است). در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه عرض‌های بالا تا دریای خزر و حاشیه شمالی کشور کشیده شده است. (شکل ۱-ب). در تاریخ ۱۳۷۴/۷/۲۶ ساعت ۰۰:۰۰ UTC واچرخند به سمت شرق کشیده شده، مرکز آن افزایش یافته و به ۱۰۴۰

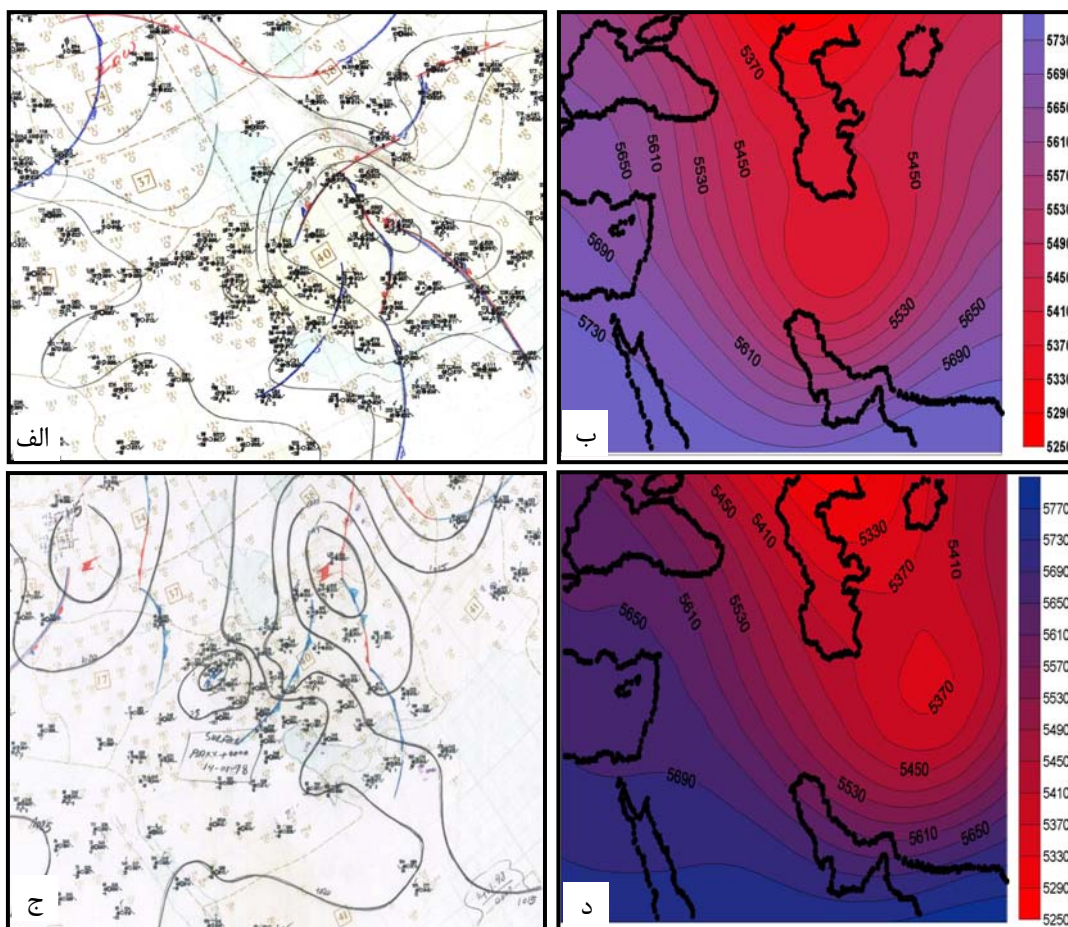


شکل ۱. الف) نقشه سطح زمین، (ب) نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال تاریخ ۱۳۷۴/۷/۲۵ ساعت ۰۰:۰۰ UTC (ج) نقشه سطح زمین، (د) نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال تاریخ ۱۳۷۴/۷/۲۶ ساعت ۰۰:۰۰ UTC.

## ۳-۱-۲ نوع ب

در تاریخ ۱۳۷۶/۱۰/۲۳ ساعت ۱۲:۰۰ UTC چرخندی به مرکز کمتر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در شرق کشور دیده می‌شود که نسبت به ساعات قبل که در مرکز واقع شده بود به سمت شرق و شمال شرق پیشروی کرده و موجب افت فشار ایستگاه‌های خراسان شده است. مرکز چرخند دیگری نیز در شمال غرب دریای خزر روی کشور روسیه با مرکز ۱۰۱۰ هکتوپاسکال وجود دارد. منطقه جبهه‌ای، شمال شرق کشور و سواحل خزر را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۲-الف). در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال چرخندی در عرض‌های بالا وجود دارد که زبانه آن تا عرض‌های خیلی پایین کشیده شده است، عراق و عربستان را می‌پوشاند و به دلیل طول

موج بلندش پیشروی ضعیفی دارد. شیب خطوط هم‌ارتفاعی در این سطح روی کشور دیده می‌شود (شکل ۲-ب). بیشترین بارندگی این روز مربوط به ایستگاه بیرجند به میزان ۹ میلی‌متر است. در تاریخ ۱۳۷۶/۱۰/۲۴ ساعت ۰۰:۰۰ UTC مرکز چرخند به سمت شمال شرق پیشروی کرده و مقدار آن به کمتر از ۱۰۰۵ هکتوپاسکال رسیده است و منطقه جبهه‌ای نیز به سمت شرق جابه‌جا شده است. بیش‌ترین بارندگی این روز مربوط به ایستگاه فردوس به میزان ۱۶ میلی‌متر است (شکل ۲-ج). در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز محور ناوه به سمت شرق پیشروی کرده است و محور آن کج منفی (negative tilt) است. همچنان شیب شدید خطوط هم‌ارتفاعی دیده می‌شود (شکل ۲-د).



شکل ۲. الف) نقشه سطح زمین، (ب) نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال تاریخ ۱۳۷۶/۱۰/۲۳ ساعت ۱۲:۰۰ UTC، (ج) نقشه سطح زمین، (د) نقشه سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال تاریخ ۱۳۷۶/۱۰/۲۴ ساعت ۰۰:۰۰ UTC.

## ۳-۱-۳ نوع ج

در تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۰ ساعت ۰۰:۰۰ UTC (شکل ۳-۳) الف) مرکز چرخند روی شمال دریاچه آرال با مقدار کمتر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بسته شده است. این مرکز همراه با جبهه‌های گرم و سرد و نسبتاً فعال است. چرخندی نیز در غرب روسیه واقع شده است که امتداد جبهه خانوادگی از چرخند واقع بر دریاچه آرال تا این چرخند امتداد یافته است. چرخند دیگری نیز روی ایران با مرکز کمتر از ۱۰۱۰ هکتوپاسکال بسته شده است که منطقه وسیعی از کشور را فرا گرفته است. و اچرخندی با مرکز بیش از ۱۰۳۰ هکتوپاسکال منطقه وسیعی از اروپا را فرا گرفته است که زبانه‌ای از آن، نوار شمالی کشور را تحت تأثیر قرار داده است. در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-الف) ناوه واقع شده در غرب ایران به صورت کج مثبت است (هرچه به طرف عرض‌های پایین می‌رویم ناوه کج‌تر می‌شود که دلیل آن گردش زمین (اثر  $\beta$ ) است). مرکز آن در شمال غرب دریای خزر است و در سمت جریان سوی آن نیز منطقه جبهه‌ای واقع شده است. در تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۰ ساعت ۱۲:۰۰ UTC (شکل ۳-ب) مرکز و اچرخند به سمت شرق کشیده شده است و همچنان نوار شمالی کشور را تحت تأثیر قرار داده است. شیو فشاری نیز در نوار شمالی شدید است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز مرکز چرخند واقع شده روی غرب دریای خزر و محور پشته واقع شده روی دریای سیاه به سمت شرق کشیده شده‌اند. بیشترین بارندگی در این روز از ایستگاه مشهد به میزان ۴۰ میلی‌متر گزارش شد (شکل ۴-ب).

در تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۱ ساعت ۰۰:۰۰ UTC (شکل ۳-ج) روی نقشه سطح زمین کمربندی از و اچرخند نسبتاً قوی سرتاسر شمال دریاچه آرال تا غرب اروپای مرکزی را پوشانیده است، که دارای سه یاخته بسته یکی با مرکز ۱۰۳۰ هکتوپاسکال روی شمال دریاچه آرال و یک مرکز

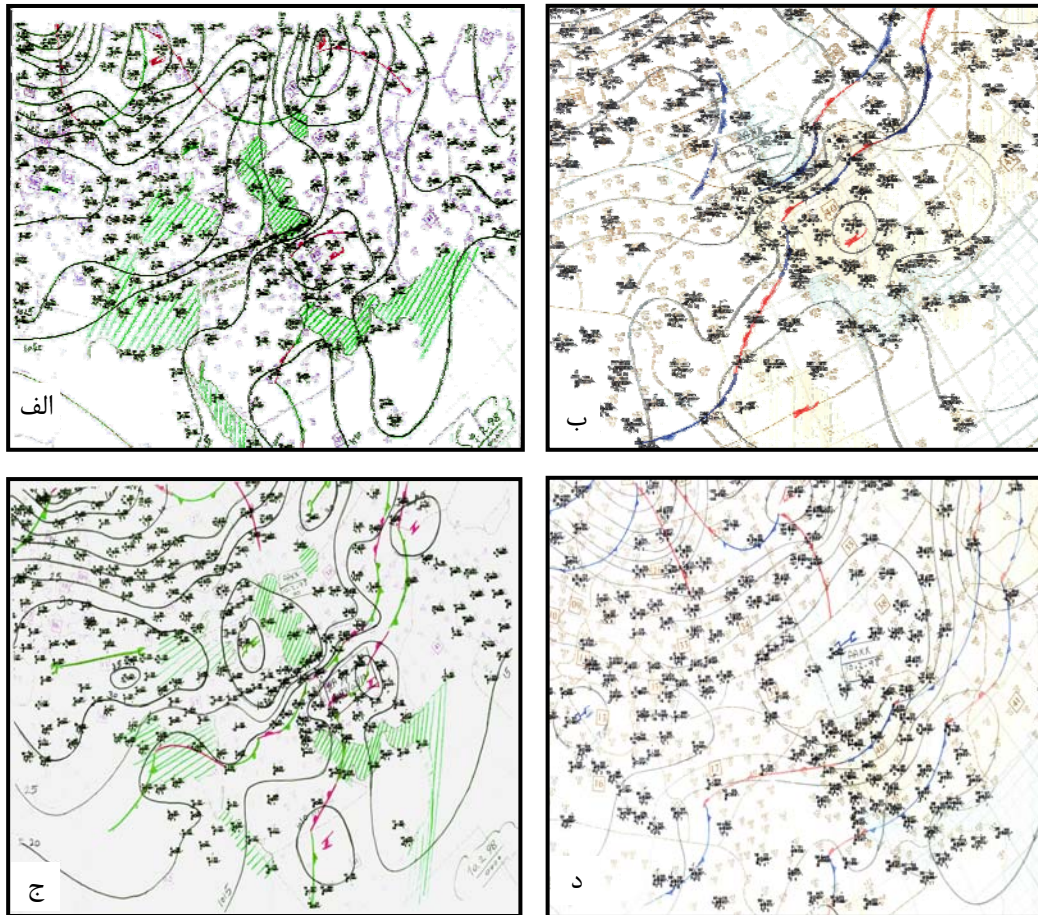
بسته قوی روی کشور آذربایجان و منطقه قفقاز به مرکز ۱۰۳۵ هکتوپاسکال و دیگری روی غرب دریای سیاه با مرکز ۱۰۳۵ هکتوپاسکال دیده می‌شود. جبهه‌ای روی ایران، افغانستان و عراق تا شرق مدیترانه دیده می‌شود. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود، دو سامانه موازی در منطقه جنوبی این سامانه مهم شکل می‌گیرد، امواج کوتاه به سرعت در امتداد این منطقه جبهه‌ای حرکت می‌کنند و باعث ناپایداری‌های کم‌عمقی می‌شوند. این سامانه از سامانه‌هایی است که شاخص مهمی را در منطقه ایران شکل می‌دهد، یعنی جبهه تقریباً ساکنی از شمال شرق ایران (خراسان)، روی جنوب رشته‌کوه‌های البرز تا مرکز عراق و شرق مدیترانه را شکل می‌دهد. در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-ج) با پیشروی مرکز چرخند به سمت شرق زبانه آن در این ساعت شمال و شمال شرق را فرا گرفته است. یک موج کج مثبت در شرق دریای مدیترانه تا شمال مصر و دریای سرخ ادامه دارد که باعث به وجود آمدن جریان‌های نسبتاً شدید غربی یا جنوب غربی در غرب، مرکز و شمال شرق ایران شده است. بدیهی است که این موج بلند به آهستگی به طرف شرق حرکت خواهد کرد. در تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۱ ساعت ۱۲:۰۰ UTC (شکل ۳-د) الگو نقشه مشابه ۱۲ ساعت گذشته است، با این تفاوت که سامانه و اچرخند واقع شده روی دریای خزر در حال عبور از روی منطقه است. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۴-د) نیز مرکز چرخند واقع شده در شرق دریای خزر به سمت شرق کشیده شده، زبانه آن نیز به سمت عرض‌های بالاتر کشیده شد و پشت سر آن پشته‌ای روی دریای خزر حاکم شده است که نشان دهنده عبور سامانه از روی منطقه است.

## ۳-۲ تفسیر نقشه‌های تاوایی

۳-۲-۱ نوع الف: محاسبه تاوایی نسبی از راه معادله (۳) در نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در تاریخ ۱۳۷۴/۷/۲۵ ساعت

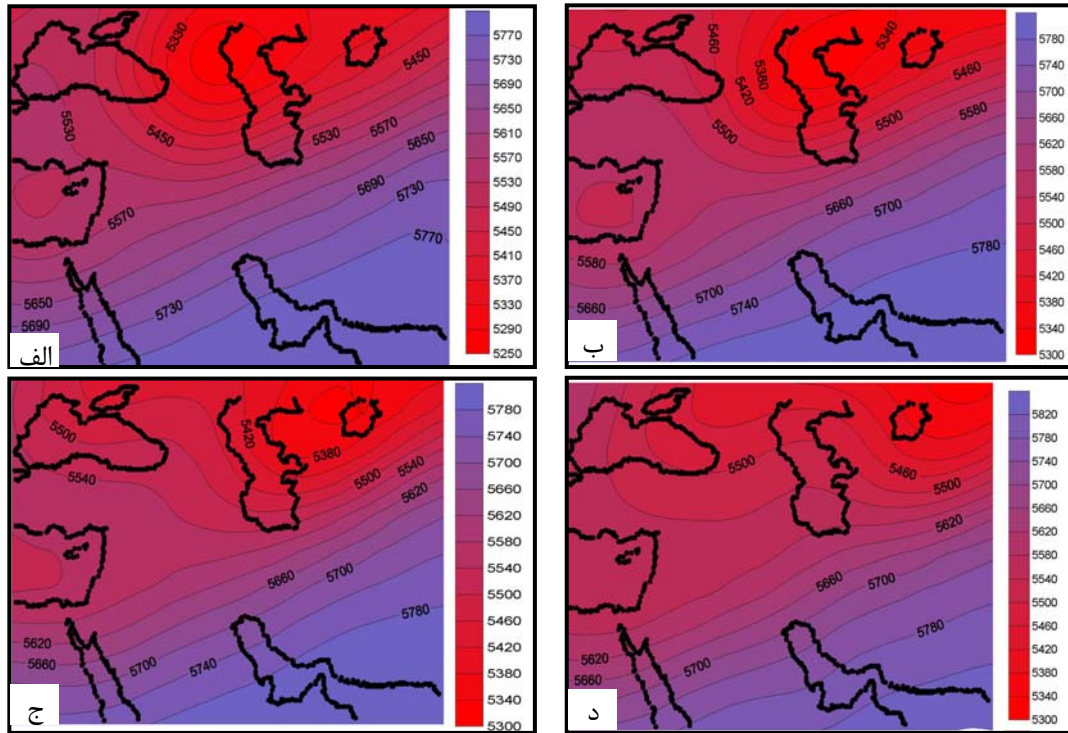
نسبی از معادله (۹) سه مرکز فرارفت مثبت (شکل ۵-الف پایین) به ترتیب روی سواحل دریای خزر با مقدار  $8 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ ، روی شرق دریای سرخ و کشور عربستان با مقدار  $8 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  و سومی روی جنوب شرق دریاچه آرال و شمال افغانستان با بزرگی  $16 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود. در شمال خلیج فارس که دامنه آن تا غرب ایران نیز کشیده شده، فرارفت تاوایی منفی بزرگی با بزرگی  $2 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود. تاوایی مطلق با استفاده از معادله‌های (۲) و (۳)

UTC ۰۰۰۰، نشان‌دهنده مرکز تاوایی مثبت با مقدار  $7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  روی دریاچه آرال (شکل ۵-الف بالا) است که با ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال انطباق دارد و موجب بارندگی در منطقه خراسان شده است. مرکز تاوایی مثبت دیگری روی شرق دریای مدیترانه با بزرگی  $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  دیده می‌شود. روی خلیج فارس و همچنین شمال دریای سیاه و افغانستان، مرکز تاوایی منفی با بزرگی  $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  دیده می‌شود که با محور پشته تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مطابقت می‌کند. با محاسبه فرارفت تاوایی



شکل ۳. (الف) نقشه سطح زمین تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۰ ساعت UTC ۰۰۰۰، (ب) نقشه سطح زمین تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۰ ساعت UTC ۱۲۰۰ (ج) نقشه سطح زمین تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۱ ساعت UTC ۰۰۰۰، (د) نقشه سطح زمین تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۱ ساعت UTC ۱۲۰۰.





شکل ۴. (الف) نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۰ ساعت ۰۰:۰۰ UTC، (ب) نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۰ ساعت ۰۶:۰۰ UTC (ج) نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۱ ساعت ۰۰:۰۰ UTC (د) نقشه ۵۰۰ هکتوپاسکال تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۱ ساعت ۰۶:۰۰ UTC.

۲۴ ساعت قبل و به سمت شرق است که با مقدار  $5.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  روی شرق دریاچه آرال (شکل ۶-الف بالا) بسته شده است. با توجه به نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۱-د) این مرکز بیشینه با حرکت ناوهای که در حال عبور از روی قزاقستان است، هماهنگی دارد و محور ناوه کج منفی است. مرکز کمینه این کمیت، روی شرق دریای خزر و دریاچه آرال با مقدار  $-4.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  دیده می‌شود. نقشه فرارفت تاوایی نسبی مراکز فرارفت مثبت (شکل ۶-الف پایین) را به ترتیب روی قزاقستان و شرق ایران با مقدار  $4 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  نشان می‌دهد. ولی در شرق دریاچه آرال که دامنه آن تا روی استان خراسان کشیده شده، مرکز کمینه این کمیت با مقدار  $-26 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده

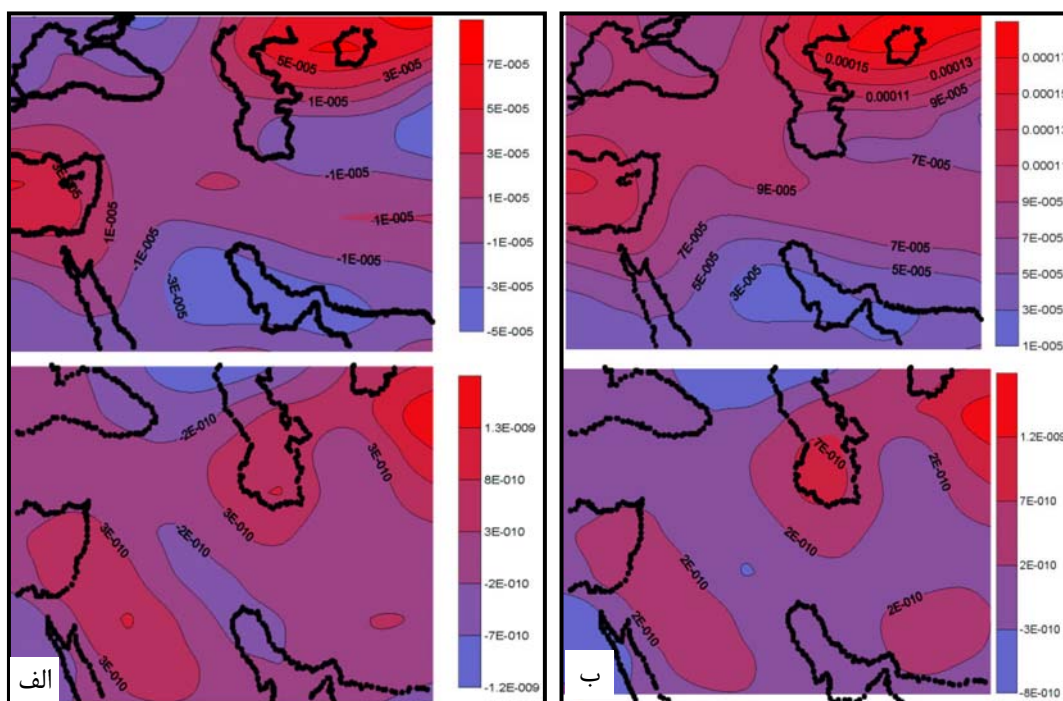
روی نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به دست می‌آید که مرکز تاوایی مطلق بیشینه‌ای (شکل ۵-ب بالا) با مقدار  $17 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  روی دریاچه آرال دیده می‌شود. با استفاده از رابطه (۱۰) فرارفت تاوایی مطلق در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال محاسبه شده است که مرکز مثبت فرارفت تاوایی مطلق (شکل ۵-ب پایین) روی جنوب دریای خزر با مقدار  $7 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود. مرکز بیشینه دیگری نیز روی جنوب شرق دریاچه آرال با مرکز  $12 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود. مرکز کمینه‌ای نیز بر شمال دریای خزر با مقدار  $-8 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود. بررسی نقشه تاوایی نسبی در تاریخ ۱۳۷۴/۷/۲۶ ساعت ۰۰:۰۰ UTC روی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان‌دهنده جابه‌جایی مرکز بیشینه تاوایی نسبی نسبت به

مرکز بیشینه این کمیت در مرکز و جنوب غرب کشور با مقدار  $9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  که با مرکز چرخند تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همخوانی دارد و موجب بارندگی در جنوب خراسان شده است. در شمال دریای خزر مرکزی با مقدار  $7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  وجود دارد که با ناوه واقع شده روی دریای خزر مطابقت دارد. سه مرکز کمینه این کمیت با مقدار  $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ، یکی روی جنوب شرق کشور، عربستان و سومی روی ترکیه واقع شده‌اند و با پشته واقع شده در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همخوانی دارند (شکل ۷-الف بالا). بررسی نقشه فرارفت تاوایی نسبی مرکز بیشینه این کمیت را در جنوب شرق کشور با مقدار  $30 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  نشان می‌دهد. مرکز بیشینه دیگری با مقدار  $5 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  روی شمال دریای خزر دیده می‌شود. مرکز کمینه‌ای نیز روی جنوب غرب ایران و عربستان با مقدار  $30 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود.

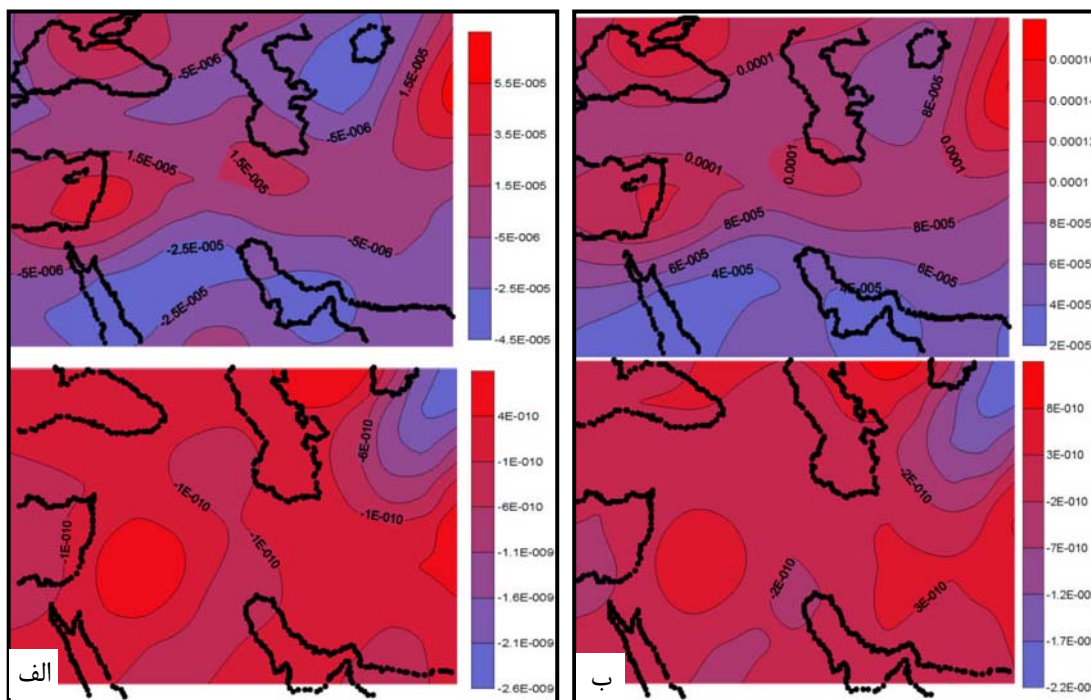
می‌شود. مقادیر بیشینه تاوایی مطلق نیز مشابه با تاوایی نسبی (شکل ۶-ب بالا) با مرکز  $16 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  روی شرق دریاچه آرال دیده می‌شود. دو مرکز کمینه این کمیت یکی روی شرق دریای خزر و دریاچه آرال با مقدار  $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  و دیگری روی خلیج فارس و عربستان با بزرگی  $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  دیده می‌شود. مرکز بیشینه فرارفت تاوایی مطلق (۶-ب پایین) روی غرب دریاچه آرال و شمال دریای خزر با مقدار  $8 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  و مرکز کمینه‌ای، یکی در شرق دریاچه آرال با مقدار  $22 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود، که تا شمال خراسان کشیده شده است.

### ۲-۲-۳ نوع ب

بررسی میدان تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در تاریخ ۱۳۷۶/۱۰/۲۳ ساعت ۱۲:۰۰ UTC بیانگر وجود



شکل ۵. الف) نقشه هم‌مقدارهای تاوایی نسبی (بالا) با فواصل  $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ؛ نقشه هم‌مقدارهای فرارفت تاوایی نسبی (پایین) با فواصل  $5 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ ، (ب) نقشه هم‌مقدارهای تاوایی مطلق (بالا) و فرارفت آن (پایین) تاریخ ۱۳۷۶/۱۰/۲۵ ساعت ۱۲:۰۰ UTC.



شکل ۶. الف) نقشه هم‌مقدارهای تاوایی نسبی (بالا) با فواصل  $2 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ ؛ نقشه هم‌مقدارهای فرارفت تاوایی نسبی (پایین) با فواصل  $5 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ ، (ب) نقشه هم‌مقدارهای تاوایی مطلق (بالا) و فرارفت آن (پایین) تاریخ ۱۳۷۶/۷/۲۶ ساعت ۰۰:۰۰ UTC.

#### ۷-ب-پایین).

بررسی میدان تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در تاریخ ۱۳۷۶/۱۰/۲۴ ساعت ۰۰:۰۰ UTC نشان‌دهنده مرکز بیشینه این کمیت در شمال شرق کشور با مقدار  $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  است که با مرکز کم‌ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همخوانی دارد. با پیشروی این مرکز به سمت شمال شرق، بارندگی‌ها در شمال خراسان شدت یافته است. مرکز کمینه‌ای نیز با مقدار  $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  روی عربستان دیده می‌شود (شکل ۸-الف بالا).

مرکز بیشینه فرارفت تاوایی نسبی در شرق کشور روی افغانستان با مقدار  $20 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود. مرکز کمینه این کمیت روی شرق ایران با مقدار

(شکل ۷-الف پایین). میدان تاوایی مطلق مشابه تاوایی نسبی دارای دو مرکز بیشینه روی جنوب غرب کشور با مقدار  $16 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  و در شمال دریای خزر با مقدار  $18 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  است که با نقشه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مطابقت دارند. سه مرکز کمینه این کمیت روی جنوب شرق کشور، عربستان و ترکیه با مقدار  $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  دیده می‌شوند (شکل ۷-ب بالا). مرکز بیشینه فرارفت تاوایی مطلق مشابه فرارفت تاوایی نسبی در جنوب شرق کشور با مقدار  $25 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  مشاهده می‌شود که فرارفت مثبت نیمه شرقی کشور را در بر گرفته است. دو مرکز کمینه این کمیت روی خلیج فارس و عربستان با مقدار  $30 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  و دیگری روی ترکیه با مقدار  $15 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود (شکل

دیده می‌شود که مقادیر مثبت فرارفت سبب تقویت ناوه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال شده است. میدان تاوایی مطلق (شکل ۱۰-الف بالا) مشابه تاوایی نسبی است. مرکز بیشینه این کمیت در غرب دریای خزر با مقدار  $19 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  و در جنوب دریای مدیترانه و شمال مصر با مقدار  $13 \times 10^{-5} \text{ s}^{-5}$  دیده می‌شود که با ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مطابقت دارد. مرکز کمینه این کمیت در شمال دریای سیاه با مقدار  $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-5}$  و شمال افغانستان با مقدار  $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-5}$  است، که با پشته تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال سازگار است. مقدار بیشینه فرارفت تاوایی مطلق (شکل ۱۰-الف پایین) از شمال غرب تا جنوب غرب ایران با مقدار  $7 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  و مرکز آن روی نیمه دریای خزر با مقدار  $12 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  است. مرکز کمینه این کمیت نیز روی دریای سیاه با مقدار  $18 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود. در تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۰ ساعت ۱۲:۰۰ UTC (شکل ۹-ب بالا) الگو تاوایی نسبی تغییر خاصی نکرده و فقط کمی به سمت شرق جابه‌جا شده است که با الگو ۵۰۰ هکتوپاسکال این ساعت همخوانی دارد (شکل ۴-ب). بیشینه مقدار تاوایی نسبی روی دریای خزر واقع شده است و بیشترین بارندگی‌ها در این ساعات گزارش شده است. مقدار فرارفت تاوایی نسبی نیز روی کشور افزایش یافته است که نشان‌دهنده تقویت ناوه تراز میانی است (شکل ۹-ب پایین). فرارفت تاوایی نسبی در این ساعات بیشترین مقدار خود،  $20 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  را دارد که باعث افزایش مقدار تاوایی نسبی در ساعات بعدی و همین‌طور افزایش بارندگی می‌شود. تغییرات الگو تاوایی مطلق (شکل ۱۰-ب بالا) و فرارفت آن (شکل ۱۰-ب پایین) مشابه فرارفت تاوایی نسبی است. در تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۱ ساعت ۱۲:۰۰ UTC (شکل ۹-ج بالا) بیشینه تاوایی نسبی در شرق دریای خزر با مقدار

$30 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود که نسبت به ۱۲ ساعت گذشته به سمت شرق پیشروی کرده است (شکل ۸-الف پایین).

میدان تاوایی مطلق مشابه تاوایی نسبی است. مرکز بیشینه این کمیت در شرق کشور با مقدار  $18 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  است. مرکز بیشینه دیگری در شمال دریای خزر با مقدار  $16 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  دیده می‌شود که با ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال همخوانی دارد (شکل ۸-ب بالا). مرکز بیشینه فرارفت تاوایی مطلق در غرب کشور روی افغانستان دیده می‌شود که مقدار آن  $15 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  است. مرکز کمینه این کمیت روی شرق ایران با مقدار  $30 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود که نسبت به ۱۲ ساعت گذشته به سمت شمال شرق پیشروی کرده است (شکل ۸-ب پایین).

### ۳-۲-۳ نوع ج

بررسی میدان تاوایی نسبی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۰ ساعت ۱۲:۰۰ UTC (شکل ۹-الف بالا) مرکز بیشینه این کمیت را در غرب دریای خزر با مقدار  $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  و در جنوب دریای مدیترانه و شمال مصر با مقدار  $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-5}$  نشان می‌دهد که با ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مطابقت دارند (شکل ۴-الف). مرکز کمینه این کمیت در شمال دریای سیاه با مقدار  $10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-5}$  و شمال افغانستان با مقدار  $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-5}$  داریم که با پشته تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال سازگار است. در نقشه فرارفت تاوایی نسبی (شکل ۹-الف پایین) مقدار بیشینه‌ای را از شمال غرب تا جنوب غرب ایران با مقدار  $13 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  و روی سوریه و اردن با مقدار  $8 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود. مرکز کمینه این کمیت نیز روی دریای سیاه با مقدار  $22 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  و روی شمال شرق ایران با مقدار  $17 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$

کمک کند. با بررسی نقشه‌های هم‌دیدگی مربوط به بیشترین بارش روی منطقه خراسان و محاسبات تاوایی و فرارفت آن می‌توان به نتایج زیر رسید:

۱. نوع الف سامانه‌های واچرخند اروپایی که از روی منطقه خراسان (شمالی، رضوی، جنوبی) عبور می‌کنند و با کاهش قابل توجه دما و افزایش فشار همراه‌اند. با حضور این نوع سامانه اغلب از ایستگاه‌های شمالی استان بارش گزارش شده است. این سامانه براساس مسیر حرکت و شدت به سه گروه تقسیم شده‌اند.

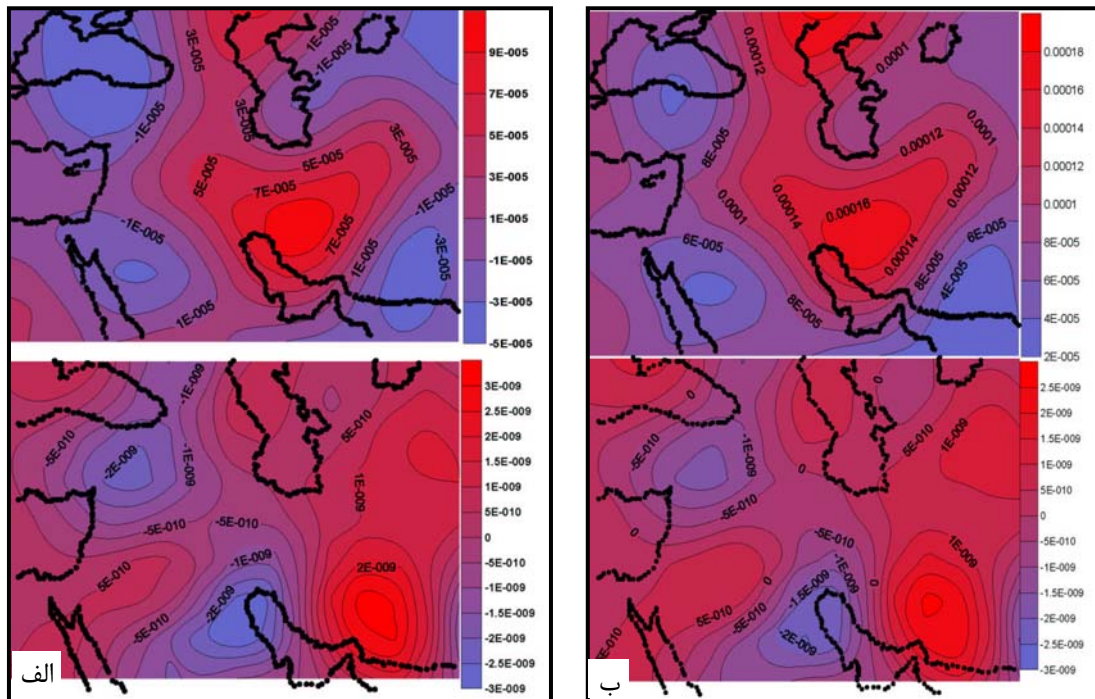
۲. نوع ب به دو گروه تقسیم شده است. سامانه‌هایی که به صورت کژفشار همراه با چرخندهای جبهه‌ای با منشا مدیترانه‌ای ظاهر می‌شوند و گاهی با الحاق ناوه گرمایی وارون که به صورت کژفشار در آمده است از روی منطقه ایران می‌گذرند خراسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند و بارش نسبتاً بیشتر و گسترده‌تری نسبت به نوع الف دارند. با عبور سامانه کاهش قابل توجه دما در منطقه ایجاد نمی‌شود. سامانه‌های گروه دوم شامل دو مرکز چرخندی است که یکی از روی دریای مدیترانه و دیگری از روی دریای سرخ (ممکن است به صورت ناوه گرمایی وارون باشد) حرکت می‌کنند و با یکدیگر ترکیب می‌شوند و تشکیل سامانه بارش‌زای نسبتاً خوبی می‌دهند.

۳. نوع ج، سامانه‌هایی که از الحاق واچرخندهای عرض‌های شمالی همزمان با عبور چرخندهای مدیترانه‌ای به سمت کشور شکل می‌گیرند و موجب تشکیل شدن منطقه جبهه‌ای در نوار شمالی می‌شوند و خراسان را نیز دربر می‌گیرند. این سامانه‌ها بارش بیشتری نسبت به نوع دیگر دارند و شامل سه گروه‌اند. بیشترین مقدار تاوایی و فرارفت آن نیز از این نوع سامانه گزارش شده است.

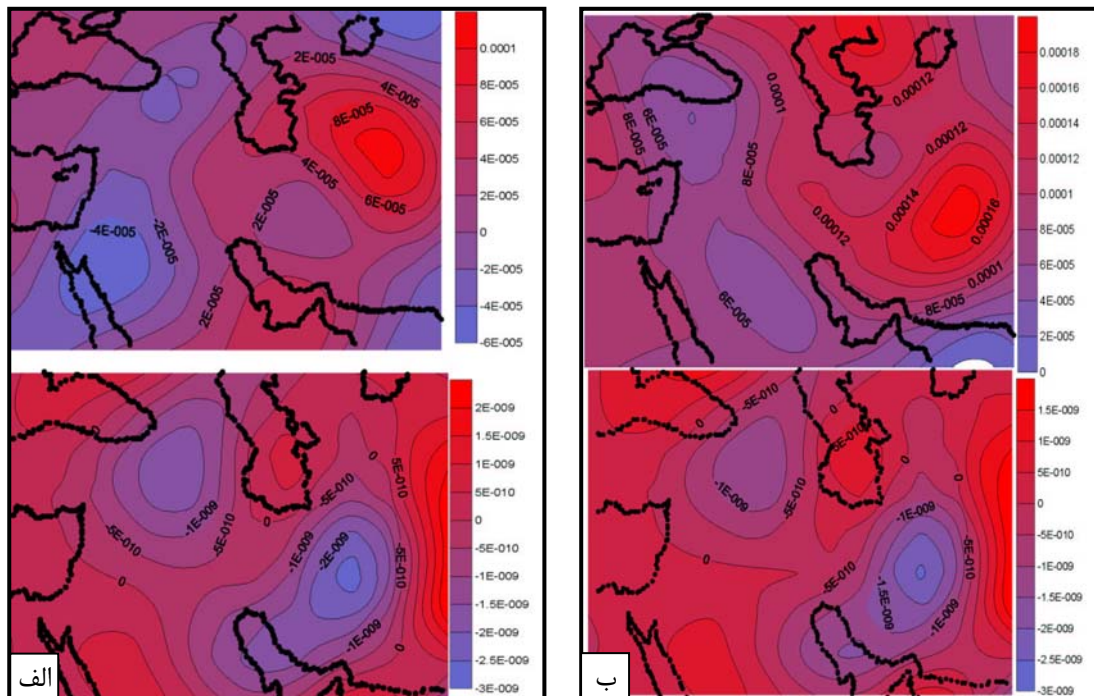
$10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  و در جنوب دریای مدیترانه با مقدار  $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-5}$  دیده می‌شود که با ناوه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مطابقت دارند (شکل ۴-ج). مرکز کمینه این کمیت در شمال غرب دریای خزر و شرق دریای سیاه با مقدار  $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-5}$  و از شمال افغانستان تا شمال شرق کشور با مقدار  $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-5}$  است که با پشته تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال سازگاری دارد. مقدار بیشینه فرارفت تاوایی نسبی (شکل ۹-ج پایین) در نیمه خراسان با مقدار  $20 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  و دو مرکز بیشینه‌ای یکی روی شرق دریاچه آرال با مقدار  $20 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  و دیگری در شمال دریای سیاه با مقدار  $15 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود. مرکز کمینه این کمیت روی نیمه شمالی خزر با مقدار  $30 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$  دیده می‌شود. موقعیت بیشینه و کمینه تاوایی مطلق و فرارفت آن (شکل ۱۰-ج بالا و پایین) مشابه با تاوایی نسبی است. در تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۱ ساعت ۱۲:۰۰ UTC الگو تاوایی نسبی (شکل ۹-د بالا) نشان می‌دهد که مرکز بیشینه این کمیت که در ۱۲ ساعت گذشته در شمال خراسان واقع شده بود، به سمت عرض‌های بالاتر کشیده شده است، این امر نشان‌دهنده عبور ناوه تراز میانی از روی منطقه است. مشابه با الگو تاوایی نسبی و فرارفت آن (شکل ۹-د پایین) الگو تاوایی مطلق (شکل ۱۰-د بالا و پایین) نیز نشان‌دهنده دور شدن سامانه از روی منطقه است.

#### ۴ نتیجه‌گیری

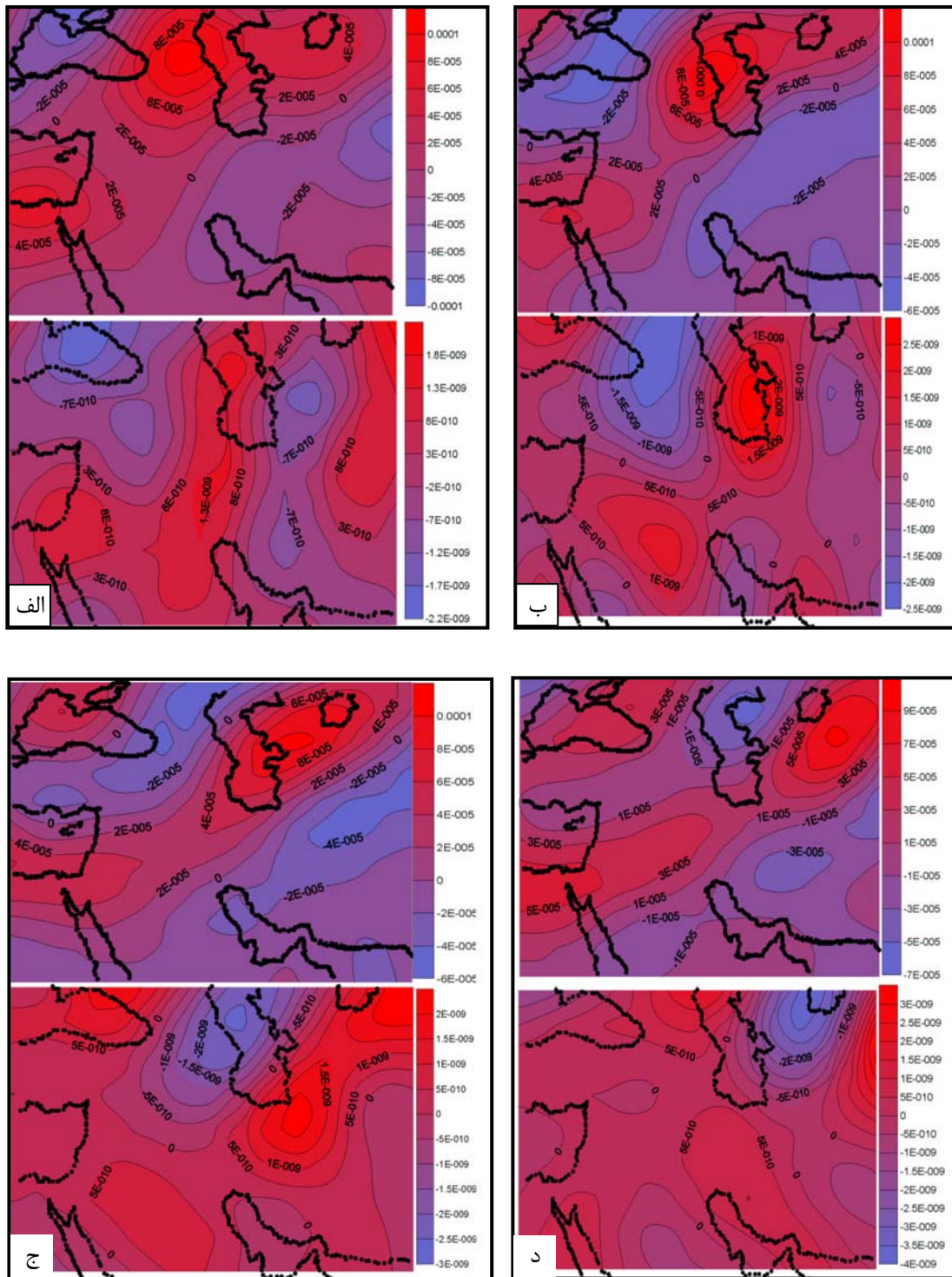
سامانه‌های تأثیرگذار روی منطقه خراسان، با توجه به مسیر حرکت آنها و شدت بارش روی استان به سه نوع تقسیم می‌شوند (هاشمی دوین، ۱۳۸۴). شناخت این سامانه‌ها می‌تواند به پیش‌بینی بارش روی منطقه خراسان



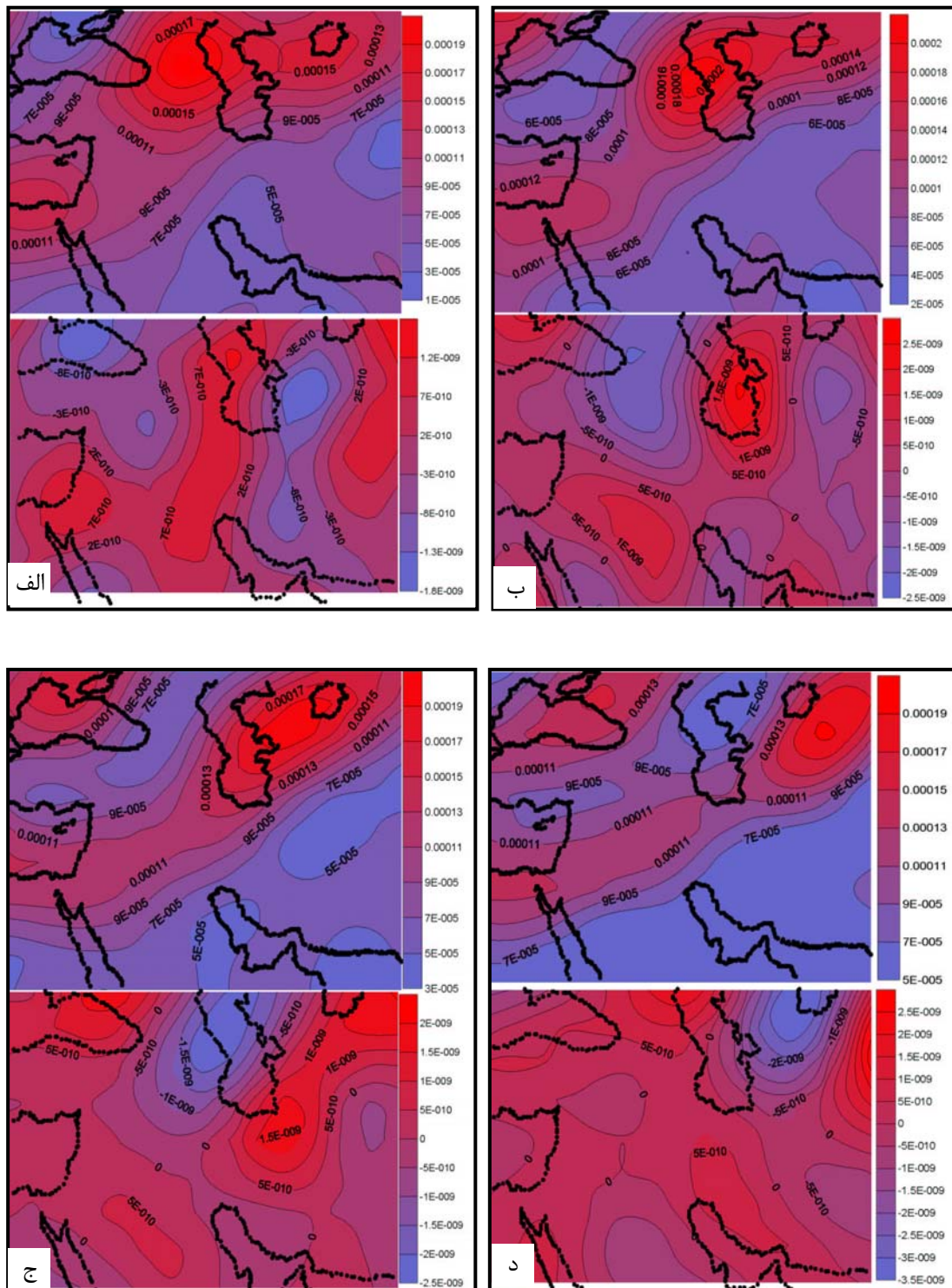
شکل ۷. الف) نقشه هم‌مقدارهای تاوایی نسبی (بالا) با فواصل  $2 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ ؛ نقشه هم‌مقدارهای فرافت تاوایی نسبی (پایین) با فواصل  $5 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ ، (ب) نقشه هم‌مقدارهای تاوایی مطلق (بالا) و فرافت آن (پایین) تاریخ ۱۳۷۶/۱۰/۲۳ ساعت ۱۲:۰۰ UTC.



شکل ۸. الف) نقشه هم‌مقدارهای تاوایی نسبی (بالا) با فواصل  $2 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$ ؛ نقشه هم‌مقدارهای فرافت تاوایی نسبی (پایین) با فواصل  $5 \times 10^{-10} \text{ s}^{-2}$ ، (ب) نقشه هم‌مقدارهای تاوایی مطلق (بالا) و فرافت آن (پایین) تاریخ ۱۳۷۶/۱۰/۲۴ ساعت ۰۰:۰۰ UTC.



شکل ۹. نقشه هم‌مقدارهای تاوایی نسبی (بالا) با فواصل  $2 \times 10^{-5} s^{-1}$ ؛ نقشه هم‌مقدارهای فراغت تاوایی نسبی (پایین) با فواصل  $5 \times 10^{-10} s^{-2}$ ، (الف) تاریخ ۱۳۷۷/۱۱/۲۰ ساعت ۰۰:۰۰ UTC، (ب) ۱۳۷۷/۱۱/۲۰ ساعت ۱۲:۰۰ UTC، (ج) ۱۳۷۷/۱۱/۲۱ ساعت ۰۰:۰۰ UTC، (د) ۱۳۷۷/۱۱/۲۱ ساعت ۱۲:۰۰ UTC



شکل ۱۰. نقشه هم‌مقدارهای تاوایی مطلق (بالا) با فواصل  $2 \times 10^5 s^{-1}$ ؛ نقشه هم‌مقدارهای فرارفت تاوایی مطلق (پایین) با فواصل  $5 \times 10^{-10} s^{-2}$ . (الف) تاریخ ۱۳۷۶/۱۱/۲۰ ساعت ۰۰:۰۰ UTC، (ب) ۱۳۷۶/۱۱/۲۰ ساعت ۱۲:۰۰ UTC، (ج) ۱۳۷۶/۱۱/۲۱ ساعت ۰۰:۰۰ UTC، (د) ۱۳۷۶/۱۱/۲۱ ساعت ۱۲:۰۰ UTC.



- Conway, E. D., 1997, An Introduction to Satellite Image Interpretation, John Hopkins University Press, Baltimore, 255 pp.
- Dutton, J. A., 1995, Dynamics of Atmospheric motion, 617pp. Dover Publications, Inc., New York. 617 pp.
- Haltiner, G. J., and Williams, R. T., 1980, Numerical Prediction and Dynamic Meteorology John Wiley, New York. 477pp.
- Holton, J. R., 2004, An Introduction to Dynamic Meteorology, 3dr Ed., Academic Press, 535 pp.
- Krichak, S. O., Alpert, P., and Krishnamurti, T., 1997, Interaction of topography and troposphere flow-a Possible generator for red sea trough, mete. Atmos. Phys., **63**, 149-158.
- منابع  
اردکانی، ح.، ۱۳۸۴، ضمیمه سینوپتیک، کتابخانه دانشکده علوم و فنون دریایی تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- اردکانی، ح.، زمانیان، م. ت. و هاشمی دوین، م.، ۱۳۸۵، بررسی کیفی و کمی جبهه‌زایی برای بیشینه بارش جبهه‌ای با توجه به نظام‌های هم‌دیدگی مؤثر بر روی منطقه خراسان، دهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد.
- اقلیم و گردشگری در استان خراسان، ۱۳۸۰، سازمان هواشناسی کشور.
- امینی، م. ت.، ۱۳۷۴، بررسی سیستم‌های مؤثر در آب و هوای شمال غرب کشور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- زمانیان، م. ت.، ۱۳۸۲، باد در سواحل ایران، طرح پژوهشی، سازمان هواشناسی کشور.
- سبزی‌پرور، ع. ا.، ۱۳۷۰، بررسی سیستم‌های سیل‌زا در جنوب غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک.
- هاشمی دوین، م.، ۱۳۸۴، بررسی هم‌دیدگی بیشترین بارش با توجه به سیستم‌های جوی مؤثر روی منطقه خراسان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- Alpert, P., Neeman, B., and Shay-El, Y., 1990, Intermonthly variability of cyclone tracks in the Mediterranean. J. Climate, **3**, 1474-78.
- Bluestein, H. B., 1992, Synoptic-Dynamic Meteorology in Mid-latitudes, Oxford University Press. 594 pp.
- Carlson, T. N., 1991, Mid-Latitude Weather System, University Press, Cambridge, 342-403.
- Chen, T. G., and Bosart, L. F., 1979, A quasi-lagrangian vorticity budget of composite cyclone-anticyclone couple accompany north America polar air outbreak, Atmos. Sci., **36**, 185-194.