

## بررسی الگوی گردش جو در طول دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر

عباس مفیدی<sup>۱\*</sup>، آذر زرین<sup>۱</sup> و میثم کارخانه<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۹/۲۷)

### چکیده

به‌منظور درک سازوکار حاکم بر وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر الگوی همدیدی غالب و ساختار گردش منطقه‌ای جو مورد بررسی قرار گرفت. براین اساس، ابتدا داده‌های بارش ماهانه تعداد ۲۰ ایستگاه هواشناسی واقع در خط ساحلی جنوب دریای خزر برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۴-۲۰۰۳) مورد پردازش قرار گرفت. با بررسی توزیع زمانی بارش، تعداد ۱۰ ماه خشک و ۱۰ ماه مرطوب فراگیر برای منطقه خزری شناسایی شد. سپس به‌منظور تعیین ساختار گردش جو و شناسایی سازوکار حاکم بر وقوع دوره‌های خشک و مرطوب، از داده‌های بارش شبکه‌بندی شده پروژه بارش آسیایی (APHRODITE) با تفکیک افقی ۰/۵ درجه و داده‌های جوی بازتحلیل شده مراکز ملی پیش‌بینی محیطی/مرکز ملی تحقیقات جوی (NCEP/NCAR) با تفکیک افقی ۲/۵ درجه استفاده شد. نتایج تحقیق بیانگر آن است که استقرار یک پشته قوی در ترازهای میانی جو به‌همراه شکل‌گیری واچرخندی قوی در ترازهای زیرین بر جانب شمالی دریای سیاه، از ویژگی‌های اصلی دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می‌شود. یافته‌ها همچنین مبین آن است که جهت وزش باد در ترازهای زیرین جو روی دریای خزر، می‌تواند معیار مناسبی برای تفکیک دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریا باشد. بدین ترتیب که جریانات شمالی غالب در طول دوره‌های مرطوب با جریانات جنوبی غالب در طول دوره‌های خشک جایگزین می‌شود. درعین حال، وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در این منطقه با شکل‌گیری یک الگوی الاکنگی یک‌سویه در مقادیر سرعت قائم روی دریای خزر قابل توضیح است. درحالی‌که در دوره‌های مرطوب، شکل‌گیری جریانات غالب پایین‌سو بر نیمه شمالی دریا منجر به تسلط هم‌زمان جریانات غالب بالاسو در حوضچه جنوبی می‌شود، در دوره‌های خشک، الگوی معکوسی از جریانات بالاسو و پایین‌سو در منطقه خزری تسلط می‌یابد. یافته‌های تحقیق نشان داد که می‌توان از تغییرات فشار تراز دریا در منطقه دریای سیاه به‌منزله یک شاخص مناسب (پیش‌بین) برای تبیین تغییرات زمانی-مکانی بارش در سواحل جنوبی دریای خزر استفاده کرد. بدین ترتیب که در دوره‌های مرطوب، با افزایش فشار هوا در منطقه دریای سیاه، در نتیجه بروز یک سری بازخورد مثبت، گردش واچرخندی در منطقه دریای سیاه، شدت باد شمالی روی دریای خزر و صعود هوا در حوضچه جنوبی این دریا افزایش می‌یابد که در نهایت افزایش بارش در سواحل جنوبی دریای خزر را در پی دارد. همبستگی‌ها شرایطی معکوسی را برای دوره‌های خشک نشان می‌دهند. بررسی مسیر جابه‌جایی و فراوانی وقوع چرخندها و واچرخندها در طول دوره‌های خشک و مرطوب، بیانگر آن است که کریدور شمال دریای سیاه نقش بسیار مهمی در پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر دارد. بدین ترتیب که در طول دوره‌های مرطوب، میزان فعالیت واچرخندها در کریدور شمال دریای سیاه به‌طور برجسته‌ای افزایش می‌یابد. درحالی‌که در طول دوره‌های خشک، کاهش میزان فعالیت واچرخندها در کریدور شمالی با افزایش محسوس فعالیت چرخندها در این منطقه همراه می‌شود. درعین حال افزایش میزان فعالیت واچرخندها در منطقه خاورمیانه و افزایش فعالیت پرفشار سیبری بر جانب شرقی دریای خزر از نشانه‌های دوره‌های خشک محسوب می‌شود. یافته‌های تحقیق همچنین بیانگر آن است که افزایش فعالیت سامانه‌های بندالی در محدوده شرق اروپا، نقش بسیار مهمی در پیدایش دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر دارد.

**واژه‌های کلیدی:** سواحل جنوبی دریای خزر، دوره‌های خشک و مرطوب، کریدور شمال دریای سیاه، سامانه‌های بندالی، واچرخندها

## The investigation of atmospheric circulation patterns during wet and dry spells over the southern coast of the Caspian Sea

Abbas Mofidi<sup>1\*</sup>, Azar Zarrin<sup>1</sup> and Meysam Karkhaneh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

(Received: 26 January 2013, accepted: 18 December 2013)

### Summary

The prevailing synoptic pattern and the characteristics of the regional atmospheric circulation were studied in order to understand the predominant mechanism which governs the dry and wet spells over the southern coast of the Caspian Sea (SCCS). Monthly precipitation data from 20 weather stations located in the SCCS were analyzed for a 30-year period (1974-2003). Over this period, 10 widespread dry and 10 widespread wet months were identified for the Caspian region by investigating the spatial and temporal distributions of precipitation. Gridded precipitation data for the Middle East, provided by Asian Precipitation-Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources (APHRODITE) on 0.5×0.5 degree grid along with the NCEP/NCAR reanalysis dataset on a 2.5×2.5 degree global grid were employed to determine the characteristics of the atmospheric circulation and to identify the predominant synoptic patterns during the dry and wet spells. The results indicated that the existence of a very strong ridge in the middle troposphere along with the formation of a strong anticyclone in the lower atmosphere over the northern-side of the Black Sea can be considered as the main features of the wet spells over the SCCS. The findings also indicated that the wind direction at the lower atmosphere over the Caspian Sea can be used as an appropriate criterion to separate the wet and dry spells over the SCCS so that the northerly prevailing wind during the wet spells is replaced with the southerly prevailing wind during the dry spells. Additionally, the occurrence of the dry and wet spells in the region is associated with the formation of a sea-saw pattern in vertical velocity values over the Caspian Sea. During the wet spells, formation of the descending prevailing motions over the north half of the Sea simultaneously leads to predomination of the ascending prevailing motions over the southern part. Meanwhile, during the dry spells, a reverse pattern resulting from the ascending and descending motions dominates over the Caspian region. The findings also show that it is reasonable to use the sea-level pressure changes in the Black Sea region as an appropriate index (predictor) to interpret the spatial and temporal variations of precipitation over the SCCS. In this way, during the wet spells, an increase in the sea level pressure over the Black Sea and its consequent positive feedbacks including an anticyclonic circulation over the Black Sea, northerly wind strengthening over the Caspian Sea, and air ascending over the southern part of the Caspian Sea will eventually cause an increase in precipitation over the SCCS. A reverse condition will be found in the dry spells. The investigation of the cyclones and anticyclones frequency and track during dry and wet spells indicates that the northern corridor of the Black Sea plays a very significant role in occurrence of the dry and wet spells over the SCCS. It is found that during the wet spells, the activity of the anticyclones in the northern corridor of the Black Sea is considerably increased. On the other hand, during the dry spells, a decrease in the activity of anticyclones in the north corridor is associated with a significant increase in the activity of cyclones in the region. In addition, an increase in the activity of anticyclones over the Middle East region and the Siberian high-pressure activity over the eastern-side of the Caspian Sea are taken into account as the main features of the dry spells.

**Keywords:** Southern Coasts of the Caspian Sea, dry and wet spells, Black Sea corridor, spatial correlation, anticyclones track

## ۱ مقدمه

سواحل جنوبی دریای خزر، در حدفاصل رشته کوه البرز تا دریای خزر، کوچک‌ترین ناحیه اقلیمی کشور محسوب می‌شود (علیجانی، ۱۳۷۶). عبور مکرر پشته‌ها و ناو‌های امواج غربی، مجاورت با قوی‌ترین مرکز پُرفشار نیمکره شمالی، جای‌گیری بین بزرگ‌ترین پیکره آبی داخلی سیاره زمین در شمال و رشته کوه مرتفع البرز در جنوب، موجب پیدایش یکی از متنوع‌ترین و درعین حال برجسته‌ترین نواحی اقلیمی ایران در سواحل جنوبی دریای خزر شده است. در این میان، بی‌گمان بارش‌های منطقه خزری، بارزترین مشخصه اقلیمی این منطقه محسوب می‌شود، به طوری که بیشترین میزان بارش سالانه، فصلی، روزانه و حتی ساعتی کشور در این منطقه به ثبت رسیده است. درعین حال، این منطقه شدیدترین و پردوام‌ترین بارش‌ها را در سطح کشور تجربه کرده و تنوع مکانی و تغییرات زمانی بارش در این منطقه بسیار بارز و برجسته است. چنین ویژگی‌هایی موجب شده تا بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر، موضوع بررسی تعداد بی‌شماری از پژوهش‌ها شود و به همین جهت منطقه خزری نوشتارهای اقلیمی غنی و درعین حال پُرچالشی دارد.

در طی چند دهه گذشته، شناسایی و درک سازوکار حاکم بر وقوع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، بیش از هر موضوع دیگری، توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده و مورد نظریه‌پردازی قرار گرفته است. نظریه‌های اولیه عمدتاً بر نقش پُرفشار سیبری به‌منزله عامل اصلی وقوع بارش‌های دوره سرد تأکید داشته‌اند (خلیلی، ۱۳۵۰؛ علیجانی، ۱۳۷۲؛ ۱۳۷۶؛ قشقایی، ۱۳۷۵؛ جهانبخش و کرمی، ۱۳۷۸). از سویی، در یکی از نخستین بررسی‌ها، گنجی (۱۹۵۴) به نقل از علیجانی، (۱۳۷۲) وقوع بارش در منطقه خزری را ناشی از صعود کوهساری هوای مرطوب

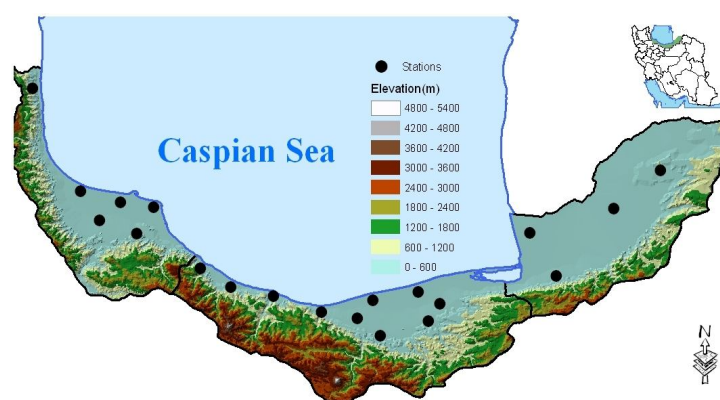
دریای خزر از دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز بیان کرده است. این یافته مجدداً در تحقیقات متعددی مورد تأیید قرار گرفته است (خلیلی، ۱۹۷۳؛ علیجانی، ۱۳۷۲؛ ۱۳۷۳؛ ۱۳۷۴؛ ۱۳۷۶؛ خوشحال دستجردی، ۱۳۷۶). در برخی موارد وقوع بیشینه بارش در منتهی‌الیه جنوب غربی دریای خزر ناشی از شکل‌گیری یک جبهه محلی در زمان گسترش بادهای شمالی در دره سفیدرود دانسته شده (خلیلی، ۱۳۵۰) و یا شکل‌گیری جبهه‌ای موسوم به جبهه نسیم دریا در حد فاصل دریا و خشکی (خوشحال، ۱۳۷۶) سازوکار دیگری است که برای وقوع بیشینه‌های بارش در سواحل جنوبی دریای خزر بیان شده است. درعین حال، برخی محققان نقش جبهه‌های سرد چرخندهای برون‌حاره را در وقوع بارش‌های سواحل جنوبی خزر تشریح کرده‌اند (مفیدی، ۱۳۷۹؛ مرادی، ۱۳۸۳)، درحالی‌که عمده پژوهشگران، وقوع بارش‌های شدید پاییزه در منطقه خزری را ناشی از وقوع همرفت دانسته‌اند (خلیلی، ۱۳۵۰؛ باقری، ۱۳۷۲؛ علیجانی، ۱۳۷۲؛ افشار مقدم، ۱۳۷۳؛ قشقایی، ۱۳۷۵). در این میان برخی از محققان، استقرار ناوۀ موج غربی در ورودسپهر میانی روی دریای خزر را عامل اصلی صعود و وقوع بارش‌های سیل‌زا در سواحل جنوبی این دریا ذکر کرده‌اند (مرادی، ۱۳۸۰؛ ۱۳۸۳؛ ۱۳۸۵).

بررسی پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که اگرچه برخی از پژوهشگران همچنان بر نقش پُرفشار سیبری در وقوع بارش‌های خزری تأکید دارند (مرادی، ۱۳۸۳؛ براتی و عاشوری، ۱۳۸۶)، اما در نظریه غالب، جابه‌جایی شرق‌سوی پُرفشارهای مهاجر غربی و استقرار آنها روی منطقه خزری، عامل اصلی وقوع بارش‌های پاییزه در سواحل جنوبی این دریا دانسته شده است (باقری، ۱۳۷۲؛ وحیدی، ۱۳۷۶؛ خوشحال، ۱۳۷۶؛ علیجانی، ۱۳۸۰؛

(۱۳۸۴) به تحلیل آماری-همدیدی وقوع خشکسالی‌های فراگیر در منطقه خزری مبادرت ورزیده‌اند. ایشان ضمن بررسی چند دوره خشک در منطقه خزری به این نتیجه دست یافتند که علت اصلی وقوع خشکسالی‌ها در سواحل جنوبی دریای خزر نبود و زش جریان‌های سرد شمالی روی دریای خزر در طول دوره‌های خشک است. معصوم‌پور (۱۳۸۴) نیز به تحلیل همدید وقوع خشکسالی‌های فراگیر در منطقه خزری مبادرت ورزیده است. نتایج بررسی ایشان بیانگر آن است که وقوع پدیده بندال روی منطقه و استقرار یک مرکز پُراتفاع روی کوه‌های اورال بیش از هر عامل دیگری در پیدایش دوره‌های مرطوب فراگیر در سواحل جنوبی دریای خزر نقش دارد. علی‌رغم همه بررسی‌های صورت گرفته، هنوز شناخت کافی از ساختار منطقه‌ای گردش جو در زمان وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در منطقه خزری وجود ندارد و اجرای پژوهشی که به‌طور خاص سازوکار حاکم بر وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در منطقه خزری را بررسی و ساختار گردش جو روی منطقه را تحلیل کند، ضروری به نظر می‌رسد. براین اساس هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی ساختار منطقه‌ای گردش جو، به‌منظور درک سازوکار حاکم بر وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر است.

یوسفی، ۱۳۸۲؛ پورآتشی، ۱۳۸۴؛ عزیزی و صمدی، ۱۳۸۶؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ مفیدی و همکاران، ۱۳۸۵؛ ۱۳۸۶؛ ۱۳۹۱؛ رضیئی و همکاران، ۱۳۸۸؛ جانبازقبادی و همکاران، ۱۳۹۰).

علی‌رغم آنکه تمرکز پژوهش‌ها بر نحوه وقوع بارش‌های خزری و سازوکار حاکم بر آن، نوشتارهای اقلیمی غنی‌ای را برای منطقه در پی داشته است، اما برخی جنبه‌های دیگر بارش در منطقه خزری، از جمله وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. با توجه به این نکته که استان‌های واقع در سواحل جنوبی دریای خزر، قطب کشاورزی کشور محسوب می‌شوند و بروز هرگونه ناهنجاری در وقوع بارش، از جمله طولانی شدن دوره‌های مرطوب و یا تداوم و توالی دوره‌های خشک، به‌طور مستقیم اقتصاد این منطقه پرجمعیت کشور را متأثر می‌سازد، لذا درک سازوکار حاکم بر وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در منطقه خزری، اهمیت قابل‌توجهی دارد. اگرچه در پیوند با پدیده خشکسالی و خصوصیات دوره‌های خشک و مرطوب در منطقه خزری پژوهش‌هایی صورت گرفته است، اما در غالب پژوهش‌ها، فقط به ویژگی‌های آماری و روند وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در منطقه خزری توجه شده است (وحیدی، ۱۳۷۶؛ رضانی، ۱۳۸۰؛ سلطانی و همکاران، ۱۳۸۸). باوجوداین، علیجانی و همکاران



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد بررسی همراه با ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده.

## ۲ داده‌ها و روش کار

به منظور بررسی همدیدی ماه‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر داده‌های بارش روزانه تعداد ۲۰ ایستگاه هواشناسی واقع در سواحل جنوبی دریای خزر برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۴-۲۰۰۳) از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد (شکل ۱). در نخستین مرحله از تحقیق، مجموع مقادیر بارش ماهانه ( $X_i$ )، مقادیر متوسط درازمدت بارش‌های ماهانه ( $\mu$ ) و میزان انحراف معیار ( $\sigma$ ) بارش‌ها برای ۲۰ ایستگاه هواشناسی محاسبه شد. سپس با بهره‌گیری از رابطه (۱)، نمره استاندارد (نمره  $Z$ ) بارش‌های ماهانه به تفکیک برای هریک از ایستگاه‌ها محاسبه شد.

$$Z_{(\text{score})} = (X_i - \mu) / \sigma. \quad (1)$$

از آنجا که موضوع اصلی تحقیق حاضر بررسی الگوی منطقه‌ای بارش‌های خزری است، به همین جهت با بهره‌گیری از مقادیر نمره استاندارد بارش‌های ماهانه ۲۰ ایستگاه هواشناسی، متوسط منطقه‌ای انحراف‌های بارش ماهانه برای سواحل جنوبی دریای خزر محاسبه شد. بدین ترتیب با منظور کردن انحراف‌های منطقه‌ای بارش، همه ماه‌هایی که نمره استاندارد بزرگ‌تر از ۱ را تجربه کرده‌اند در حکم ماه‌های خیلی مرطوب و به همین ترتیب همه ماه‌هایی که نمره استاندارد کوچک‌تر از -۱ را تجربه کرده‌اند به منزله ماه‌های خیلی خشک در منطقه خزری تعیین شدند. جدول ۱ خشک‌ترین و مرطوب‌ترین ماه‌های منطقه خزری را برای دوره آماری ۱۹۷۴-۲۰۰۳ نشان می‌دهد. در عین حال، از آنجا که بیش از ۷۵ درصد از بارش سالانه برای بخش اعظم ایستگاه‌های منطقه خزری فقط در طول ماه‌های اکتبر تا مارس فرو می‌ریزد، به همین جهت در این تحقیق فقط از ماه‌های پربارش (اکتبر تا مارس) برای بررسی ماه‌های خشک و مرطوب استفاده شده است.

با بهره‌گیری از خشک‌ترین و مرطوب‌ترین ماه‌ها

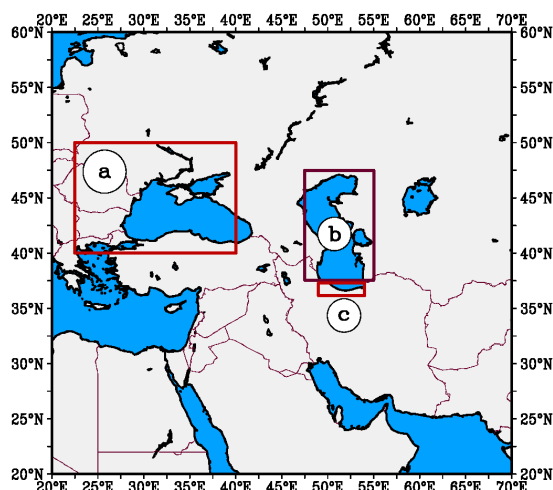
(جدول ۱)، ویژگی‌های همدیدی و الگوی منطقه‌ای گردش جو به تفکیک برای دوره‌های خشک و مرطوب بررسی شد. این بخش از تحقیق در سه مرحله به شرح زیر به انجام رسید:

الف) در مرحله نخست وضعیت همدیدی و ساختار غالب گردش جو در طول دوره‌های خشک و مرطوب مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور با بهره‌گیری از داده‌های تحلیل مجدد مراکز ملی پیش‌بینی محیطی / مرکز ملی پژوهش‌های جوئی (NCEP/NCAR) با تفکیک افقی  $2/5 \times 2/5$  درجه (کالنی و همکاران، ۱۹۹۶)، شرایط جوئی حاکم در مقیاس ماهانه تحلیل شد. داده‌ها شامل فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی، مولفه‌های مداری (u) و نصف‌النهاری (v) باد و سرعت قائم فشاری برای ترازهای ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌شود. با بهره‌گیری از داده‌های فوق، نقشه‌های ترکیبی فشار تراز دریا، میدان برداری باد، تاوایی نسبی، سرعت قائم و همچنین نیم‌رخ‌های قائم و نمودارهای خطی از مؤلفه باد نصف‌النهاری و سرعت قائم به تفکیک برای دوره‌های خشک و مرطوب تولید و تحلیل شد. در نهایت الگوهای همدیدی اصلی تعیین شد.

ب) در دومین مرحله از تحقیق سعی شد نقش متغیرهای جوئی بر وقوع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر در مقیاس منطقه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد. بدین منظور میزان همبستگی فضایی بین برخی از مهم‌ترین متغیرهای جوئی و بارش در سواحل جنوبی خزر در مقیاس روزانه محاسبه شد. در واقع هدف اصلی از این بخش، شناسایی مهم‌ترین مؤلفه جوئی مؤثر بر وقوع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر است تا در نهایت امکان عرضه یک «شاخص منطقه‌ای» برای بررسی‌های اقلیمی بارش در سواحل خزری میسر شود. در بررسی‌های اولیه و در تحلیل الگوهای همدیدی ماهانه برای دوره‌های خشک و مرطوب (بخش اول)، مشخص شد که متغیرهای فشار در

طرح APHRODITE با تفکیک افقی  $0.5 \times 0.5$  درجه است (یاتاگای و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۲۰۰۹؛ ۲۰۱۲). هدف از به‌کارگیری داده‌های بارش APHRODITE، فراهم کردن داده‌های شبکه‌بندی شده با تفکیک افقی زیاد، به‌منظور عملی ساختن تحلیل‌های فضایی است. در طرح بارش آسیایی APHRODITE، از تعداد ۳۳۷ ایستگاه هواشناسی، متعلق به سازمان هواشناسی ایران، برای تولید داده‌های بارش رقومی استفاده شده است. ایستگاه‌های هواشناسی یادشده ترکیبی از تعداد ۱۵۴ ایستگاه هواشناسی مورد استفاده سازمان هواشناسی جهانی و تعداد ۱۸۳ ایستگاه هواشناسی استفاده نشده است (یاتاگای و همکاران، ۲۰۰۸). پژوهش‌های صورت گرفته روی منطقه، بیانگر آن است که داده‌های بارش یادشده اعتبار لازم برای تحقیق در مقیاس روزانه را دارند (رضی و همکاران، ۲۰۱۲؛ ۲۰۱۳). جدول ۲ میزان همبستگی بین مقادیر بارش ماهانه در برخی از ایستگاه‌های سواحل جنوبی دریای خزر با داده‌های APHRODITE را نشان می‌دهد. همبستگی‌ها اعتبار داده‌های شبکه‌بندی را برای اجرای پژوهش تأیید می‌کند.

تراز دریا، تندی و جهت باد، سرعت قائم و تاوایی نسبی در تبیین سازوکار حاکم بر وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر بیش از سایر متغیرها به کار می‌آیند. به همین علت تحلیل همبستگی فضایی بین بارش و متغیرهای یادشده، موضوع اصلی این بخش از تحقیق است. براین‌اساس، در مرحله نخست ارتباط بین متغیرهای جوئی با یکدیگر مورد آزمون قرار گرفت و در مرحله دوم ارتباط متغیرها با تغییرات روزانه بارش در سواحل خزر به تفکیک برای ۱۰ ماه خشک و ۱۰ ماه مرطوب بررسی شد. برای رسیدن به نتیجه مطلوب، برای برخی از متغیرها، محدوده‌های جغرافیایی شاخص تعریف شد. شکل ۲ محدوده‌های جغرافیایی شاخص را به‌ترتیب برای فشار در تراز دریا (محدوده a)، مؤلفه نصف‌النهاری باد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (محدوده b) و بارش منطقه خزری (محدوده c) نشان می‌دهد. متغیرهای مورد استفاده در این قسمت از تحقیق شامل فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی، مؤلفه نصف‌النهاری باد (v)، سرعت قائم و تاوایی نسبی با تفکیک افقی  $2/5 \times 2/5$  درجه از مجموعه داده‌های بازتحلیل NCAR/NCEP، داده‌های بارش روزانه شبکه‌بندی شده منطقه خاورمیانه از



شکل ۲. محدوده‌های جغرافیایی شاخص برای محاسبه همبستگی. (a) کریدور دریای سیاه، عرض  $40^\circ$  تا  $50^\circ$  شمالی و طول  $22/5^\circ$  تا  $40^\circ$  شرقی. (b) منطقه دریای خزر، عرض  $37/5^\circ$  تا  $47/5^\circ$  شمالی و طول  $47/5^\circ$  تا  $55^\circ$  شرقی. (c) محدوده بارشی سواحل جنوبی دریای خزر، عرض  $36/15^\circ$  تا  $37/30^\circ$  شمالی و طول  $49^\circ$  تا  $54^\circ$  شرقی.

درعین حال چنین مرکزی با مقادیر بیشینه تاوایی مثبت و مرکز همگرایی جریان هوا همراه شده باشد. برای تعیین مراکز پُرفشار، معیار مشابهی استفاده شد. براین اساس، یک مرکز پُرفشار عبارت است از منطقه‌ای که حداقل با یک منحنی هم‌فشار بسته محصور شده و فشار هوا در مرکز منطقه در قیاس با نواحی مجاور افزایش یافته باشد. درعین حال چنین مرکزی با مقادیر کمینه تاوایی منفی (گردش واچرخندی) و مرکز واگرایی جریان هوا همراه شده باشد. با تعیین نقطه مرکزی استقرار چرخندها و واچرخندها در هر روز خاص و متصل کردن این نقاط در طی روزهای متوالی براساس همجواری، مشابهت و جریان غالب، مسیر روزانه مراکز فشار به تفکیک برای ۱۰ ماه مرطوب و ۱۰ ماه خشک به دست آمد. در این قسمت از تحقیق از داده‌های فشار تراز دریا، مولفه مداری (u) و نصف‌النهاری باد (v) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال با تفکیک افقی  $2/5 \times 2/5$  درجه از مجموعه داده‌های بازتحلیل NCEP/NCAR استفاده شد.

ج) در مرحله سوم مسیر روزانه چرخندها و واچرخندها برای ۱۰ ماه خشک و ۱۰ ماه مرطوب ترسیم شد. بررسی تحقیقات صورت گرفته مبین آن است که شرایط همدیدی حاکم در ترازهای زیرین جو به نحو مناسب‌تری وقوع بارش در منطقه خزری را آشکار می‌سازد (رضیثی و همکاران، ۱۳۸۷؛ ۲۰۱۳). در این ارتباط، نحوه استقرار و مسیر جابه‌جایی سامانه‌های فشاری -به‌ویژه سامانه‌های پُرفشار مهاجر- نقش مهمی در وقوع بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر دارد (مفیدی و همکاران، ۱۳۸۶؛ ۱۳۹۱؛ جانبازقبادی و همکاران، ۱۳۹۰). براین اساس و در راستای تبیین دوره‌های خشک و مرطوب در منطقه خزر، مسیر روزانه سامانه‌های فشاری روی منطقه مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین مسیر چرخندها و واچرخندها، ابتدا نقشه‌های ترکیبی فشار تراز دریا به همراه تاوایی نسبی و خطوط جریان تولید شد. در تحقیق حاضر یک مرکز کم‌فشار عبارت است از منطقه‌ای که حداقل با یک منحنی هم‌فشار بسته محصور شده و فشار هوا در مرکز منطقه در قیاس با نواحی مجاور کاهش یافته باشد.

جدول ۱. مقادیر متوسط منطقه‌ای انحراف معیار برای خشک‌ترین و مرطوب‌ترین ماه‌ها در سواحل جنوبی دریای خزر.

سال	ژانویه	فوریه	مارس	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۱۹۷۴				-۱/۶۴		
۱۹۷۵					۱/۱۰	
۱۹۷۶	-۱/۱۸	۱/۲۹				
۱۹۷۷	۱/۳۲	-۱/۱۷				
۱۹۷۸					۱/۴۵	
۱۹۸۲	۱/۰۳	۱/۳۶				
۱۹۸۳		-۱/۴۷				
۱۹۸۷			۱/۱۳	۱/۴۲		
۱۹۹۰					۱/۱۷	
۱۹۹۱				-۱/۱۱		
۱۹۹۳					۱/۱۸	
۱۹۹۵	-۱/۱۹		-۱/۲۳			
۱۹۹۸			-۱/۲۷			
۱۹۹۹		-۱/۴۸				
۲۰۰۱		-۱/۱۰				

جدول ۲. میزان همبستگی بین مجموع بارش ماهانه ایستگاه‌های منتخب در سواحل جنوبی دریای خزر و بارش ماهانه طرح APHRODITE برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۴-۲۰۰۳). داده‌های APHRODITE برای نزدیک‌ترین شبکه مرتبط با هر ایستگاه تهیه شده است.

میزان همبستگی	انزلی	رشت	رامسر	بابلسر	گرگان
۰/۸۹**	۰/۹۳۴**	۰/۹۳۱**	۰/۹۱۳**	۰/۸۷۵**	

\*\* همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی دار است.

می‌آید، برای بالغ بر  $30^\circ$  طول جغرافیایی و برای یک دوره زمانی ۵ روزه یا بیشتر منفی بوده باشد. اما نتایج بررسی‌های TM90 نشان داد که جابه‌جایی قطب‌سوی کم‌ارتفاع‌های بریده نیز می‌تواند سبب پیدایش مقادیر منفی در محاسبات مربوط به شاخص مداری شود. به همین علت در راستای رفع مشکل یادشده، TM90 معیار دیگری را که نشان‌دهنده مقادیر شیب ارتفاعی منفی در شمال‌سوی عرض  $60^\circ$  شمالی است به معیارهای خود افزودند. بدین ترتیب، شاخص TM90 که از رایج‌ترین شاخص‌های تحلیل کمی (Objective) برای شناسایی سامانه‌های بندالی به شمار می‌رود (ریمبو و لوهمن، ۲۰۱۱)، مقادیر شیب نصف‌النهاری ارتفاع ژئوپتانسیلی را در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای هر طول جغرافیایی در عرض‌های پایین (GHGS) و عرض‌های قطبی (GHGN) محاسبه می‌کند. شاخص TM90 به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$GHGS = (Z(\lambda, \Phi_0) - Z(\lambda, \Phi_S)) / (\Phi_0 - \Phi_S), \quad (2)$$

$$GHGN = (Z(\lambda, \Phi_N) - Z(\lambda, \Phi_0)) / (\Phi_N - \Phi_0), \quad (3)$$

$$\Phi_N = 80^\circ N + \Delta,$$

$$\Phi_0 = 60^\circ N + \Delta,$$

$$\Phi_S = 40^\circ N + \Delta,$$

$$\Delta = -4^\circ, 0, 4^\circ$$

که  $Z(\lambda, \Phi)$  عبارت است از ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در عرض  $\Phi$  و برای طول جغرافیایی  $\lambda$ . GHGS ارتباط تنگاتنگی با مؤلفه باد زمین‌گرد مداری دارد و بیانگر شدت باد مداری برای هر طول جغرافیایی است، در عین حال GHGN به‌منظور حذف جریان‌های بند نیامده (Non-blocked) در معادله اعمال شده است.

بررسی‌های پیشین در پیوند با وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر (معصوم‌پور، ۱۳۸۴)، همچنین نتایج اولیه به‌دست آمده در تحقیق حاضر، حاکی از آن است که پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با ساختار گردش بزرگ‌مقیاس جو در برون‌حاره شمالی، به‌ویژه با میزان فعالیت سامانه‌های بندالی در شرق اروپا، در ارتباط است. به‌منظور ارزیابی درستی نظریه فوق، ضمن استفاده از یک روش کمی، میزان فعالیت، فراوانی وقوع و میزان تداوم زمانی سامانه‌های بندالی در طول دوره‌های خشک و مرطوب تحلیل شد.

با توجه به اینکه سامانه‌های بندالی به واسطه تفاوت قابل‌ملاحظه جرم بین عرض‌های جغرافیایی پایین و بالا و شکل‌گیری بادهای شرقی نابهنجار مشخص می‌شوند (آستین، ۱۹۸۰)، در این تحقیق به‌منظور شناسایی میزان فعالیت سامانه‌های بندالی در طول دوره‌های خشک و مرطوب از شاخص بندالی تک‌بعدی طراحی شده تیالیدی و مولتینی (۱۹۹۰)، از اینجا به بعد TM90، استفاده شد. شاخص یادشده نسخه‌ای تکامل‌یافته از شاخص پیشنهادی لچیناس و اوکلند (۱۹۸۳) محسوب می‌شود که عمدتاً برای شناسایی میزان فعالیت سامانه‌های بندالی در امتداد طول جغرافیایی طراحی شده است (باریوپدرو و همکاران، ۲۰۰۶؛ دیانو و همکاران، ۲۰۰۶). با در نظر گرفتن معیارهای لچیناس و اوکلند (۱۹۸۳)، زمانی می‌توان یک رخداد بندالی را شناسایی کرد که شاخص مداری، که خود از تفاوت ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بین عرض‌های جغرافیایی  $40^\circ$  و  $60^\circ$  شمالی به‌دست



مرطوب، وقوع مکرر مقادیر کم شاخص چرخه (نیمیاس، ۱۹۵۰) و به تبع آن، دفعات زیاد نصف‌النهاری شدن جریانات برون‌حاره، فراوانی زیاد استقرار پشته امواج راسی و تشکیل مکرر سامانه‌های بندالی را در محدوده شرق اروپا در پی دارد. نتیجه شرایط یادشده، همان‌طوری که در شکل ۴-الف، ۴-ج و ۴-ه مشاهده می‌شود، استقرار یک پشته/پُراتفاح قوی در ترازهای میانی جو به همراه شکل‌گیری و تداوم واچرخندی قوی در ترازهای زیرین بر جانب شمالی دریای سیاه، در حدفاصل غرب رشته‌کوه‌های اورال تا شرق اروپا، است. بدین ترتیب فعالیت سامانه‌های بندالی یکی از ویژگی‌های دوره‌های مرطوب محسوب می‌شود. استقرار واچرخندی قوی بر جانب شمالی دریای سیاه، همراه با شکل‌گیری و تداوم گردش واچرخندی شدید و جریانات غالب شمالی روی منطقه خزری از ویژگی‌های همدیدی اصلی دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر به شمار می‌آید. استقرار پشته/پُراتفاح یادشده در شرق اروپا با شکل‌گیری ناوهای در محدوده شرق مدیترانه همراه می‌شود، که در نهایت استقرار هم‌زمان یک مرکز گردش چرخندی بر جانب غربی خاورمیانه و یک مرکز گردش واچرخندی قوی بر جانب شمالی دریای سیاه را در پی دارد. براین اساس، شکل‌گیری هم‌زمان جریانات غالب شمالی روی دریای خزر و جریانات جنوبی در مناطق داخلی ایران و تداوم جریانات یاد شده روی منطقه، پیدایش یک منطقه همگرایی و صعود هوا در منتهی‌الیه جنوبی دریای خزر را در پی دارد (شکل ۴-ج)، که در نهایت دوره‌های پُربارش سواحل جنوبی دریای خزر را تبیین می‌کند. نکته قابل ذکر آنکه، استقرار الگوی جریان یادشده روی دریای خزر، چنان‌که برخی از پژوهش‌های اخیر نیز در پیوند با بارش‌های سنگین و فراگیر منطقه خزری نشان داده‌اند (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۱)، از برهم‌کنش جریانات شمالی با عوامل جغرافیایی مقیاس محلی در پایین‌ترین

براساس شاخص TM90، زمانی یک طول جغرافیایی معین «بندآمده» تلقی می‌شود که هر دوی GHGS و GHGN برای حداقل یکی از مقادیر  $\Delta$ ، شرایط مندرج در رابطه (۴) را احراز کنند:

$$\text{GHGN} < -10 \text{ gpm/}^\circ\text{lat.} \ \& \ \text{GHGS} > 0 \quad (۴)$$

لحاظ کردن شرایط فوق، مشکل احتساب کم ارتفاع‌های بریده درحکم یک جریان بندآمده را نیز به حداقل میزان خود می‌رساند (باریوپدرو و همکاران، ۲۰۰۶). با توجه به شاخص TM90 یک رخداد بندالی عبارت است از رخدادی که جریان برون‌حاره حداقل در ۳ نقطه شبکه طولی متوالی بندآمده و درعین حال وضعیت یادشده برای حداقل ۵ روز متوالی تداوم یافته باشد. شایان ذکر است که در تحقیق حاضر به علت استفاده از داده‌های NCEP/NCAR با تفکیک افقی ۲/۵ درجه، در محاسبه  $\Delta$  از بازه درجات ۵°، ۰°- به جای ۴°، ۰°- استفاده شده است.

### ۳ نتایج و بحث

#### ۱-۳ الگوهای همدیدی و ساختار غالب گردش جو

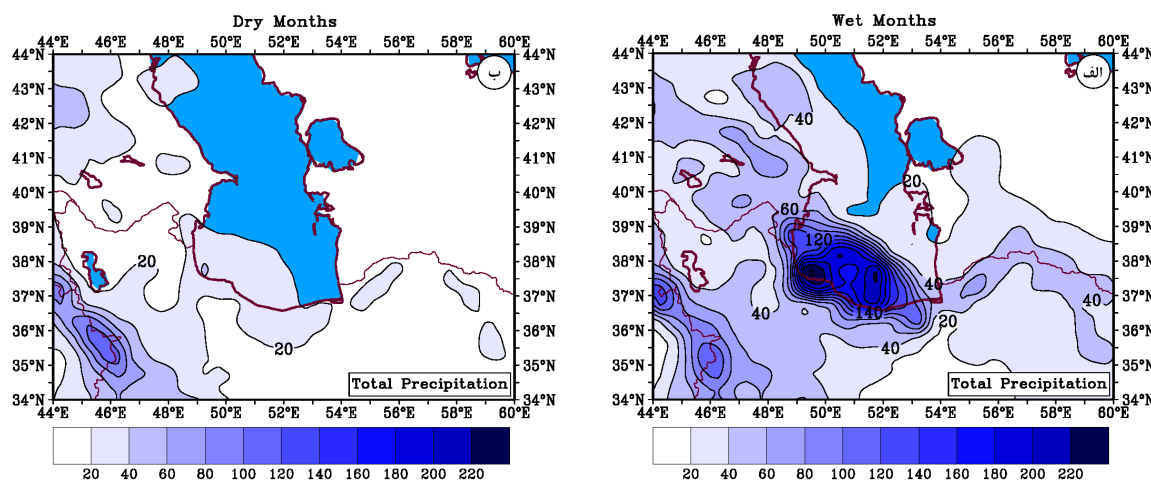
شکل ۳ مقادیر متوسط بارش ماهانه را برای مرطوب‌ترین و خشک‌ترین ماه‌ها در سواحل جنوبی دریای خزر نشان می‌دهد. با توجه به شکل، سواحل جنوبی دریای خزر افزایش بارش قابل‌ملاحظه‌ای را در طول ماه‌های پرباران تجربه می‌کنند. درعین حال در طی ماه‌های مرطوب میزان بارش متوسط ماهانه در مناطق واقع در منتهی‌الیه جنوب غرب دریای خزر افزایش می‌یابد و از مرز ۲۰۰ میلی‌متر نیز عبور می‌کند.

بررسی ساختار منطقه‌ای گردش جو در طول دوره‌های خشک و مرطوب بیانگر آن است که به‌طور کلی دوره‌های پُربارش در سواحل جنوبی دریای خزر با دفعات بالای شکل‌گیری سامانه‌های بندالی در نیمه غربی روسیه و شمال دریای سیاه همراه می‌شود. به‌عبارتی، در طول دوره‌های

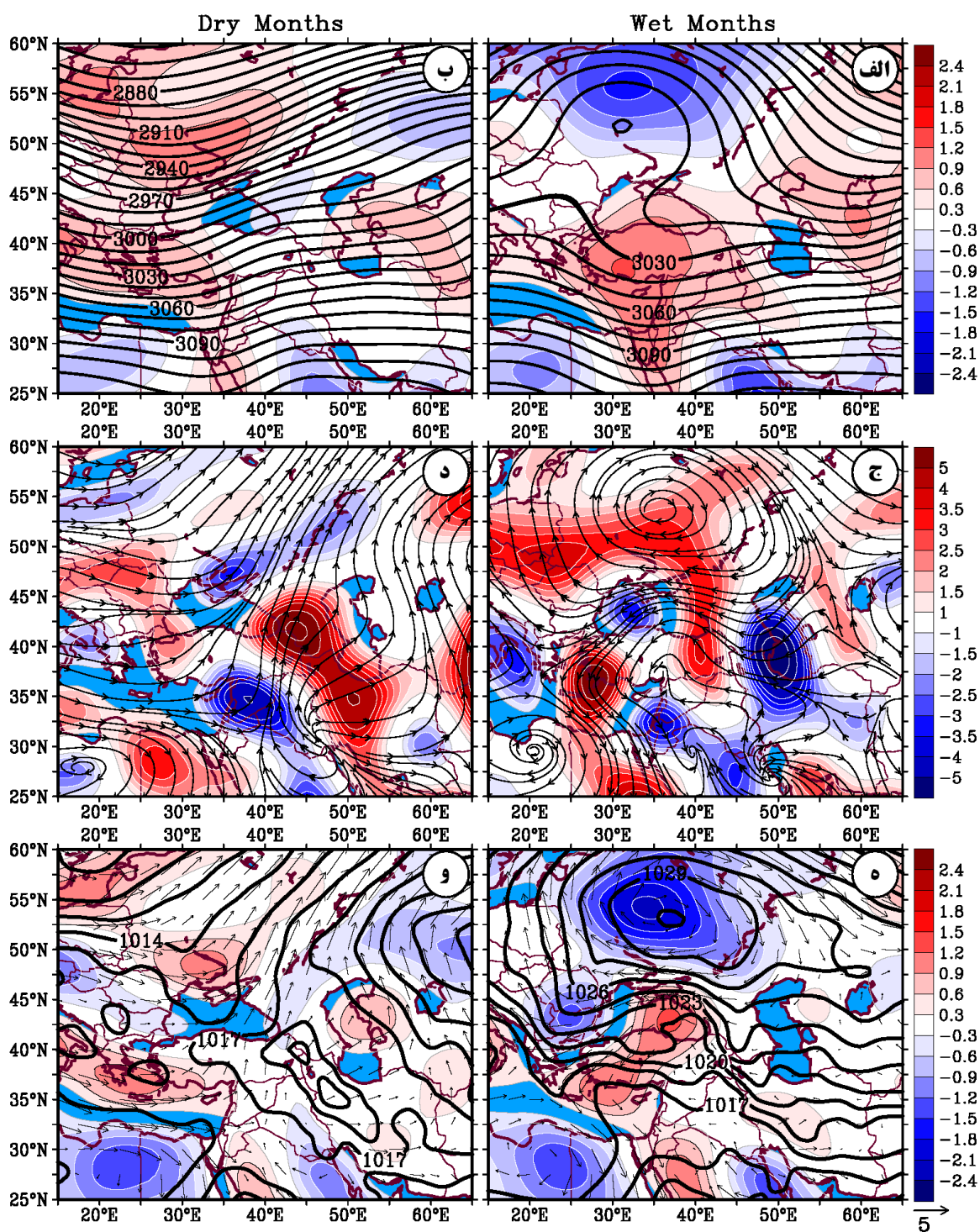
جو در حد فاصل سواحل جنوبی دریای خزر تا دامنه‌های مرتفع البرز، بیش از آنکه با شرایط گردشی حاکم در ترازهای میانی جو انطباق داشته باشد، نقش برجسته واداشتهای میان‌مقیاس و محلی در وقوع دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر را مورد تأکید قرار می‌دهد.

در مقابل، شرایط همدیدی دوره‌های کم‌بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، مبین کاهش محسوس دفعات استقرار مراکز پرفشار و افزایش تعداد روزهای همراه با استقرار سامانه‌های کم‌فشار و گردش چرخندی در نیمه غربی روسیه و شمال دریای سیاه است. نتیجه چنین شرایطی، همان‌طور که در شکل‌های ۴-ب، ۴-د و ۴-و قابل مشاهده است، استقرار یک ناوه در ترازهای میانی، همراه با تسلط گردش چرخندی و صعود نسبتاً گسترده در ترازهای میانی و زیرین وردسپهر در محدوده‌ای از مرکز و شرق اروپا تا مدیترانه شرقی است. از مشخصه‌های دیگر دوره‌های کم‌بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، تسلط جریانات جنوب-جنوب غربی روی بخش‌های وسیعی از اروپا، خاورمیانه و منطقه خزری است. نکته قابل توجه دیگری که در دوره‌های خشک و کم‌بارش مشاهده

ترازهای جو نشأت می‌گیرد. جریانات شمالی مرطوب، در گذر از خط ساحلی و در مواجهه با دامنه‌های شمالی رشته‌کوه البرز، به واسطه شکل‌گیری خط همگرایی ساحلی و صعود کوهساری جریان مرطوب، جریانات بالاسوی شدیدی را در پایین‌ترین ترازهای جو در حد فاصل سواحل جنوبی دریای خزر تا دامنه‌های مرتفع البرز تجربه می‌کنند. شکل ۴-ج چنین صعودی را در پایین‌ترین ترازهای جو، علی‌رغم به‌کارگیری داده‌های میانگین ماهانه، نشان می‌دهد. در منطقه جنوبی دریای خزر، الگوی جریان یادشده، با تسلط یک جریان جنوب-جنوب غربی در ترازهای میانی وردسپهر جایگزین می‌شود (در اینجا نشان داده نشده است). به نظر می‌رسد صعود شدید ایجاد شده در محدوده سواحل جنوبی دریای خزر بیش از آنکه با شرایط گردشی حاکم در ترازهای میانی وردسپهر مرتبط باشد، به برهم‌کنش پیچیده دریا-خشکی-جو و واداشتهای میان‌مقیاس ناشی از تفاوت کشال سطحی و وجود رشته‌کوه البرز در زمان تسلط جریانات شمالی روی دریای خزر وابسته است. اگرچه تحلیل در مقیاس ماهانه و بهره‌گیری از داده‌های با تفکیک افقی کم، تبیین سازوکار حاکم بر بارش‌های منطقه خزری را مشکل ساخته است، اما به نظر می‌رسد که صعود شدید در پایین‌ترین ترازهای



شکل ۳. مقادیر متوسط ماهانه بارش برای ۱۰ ماه مرطوب (الف) و ۱۰ ماه خشک (ب) برحسب میلی‌متر.



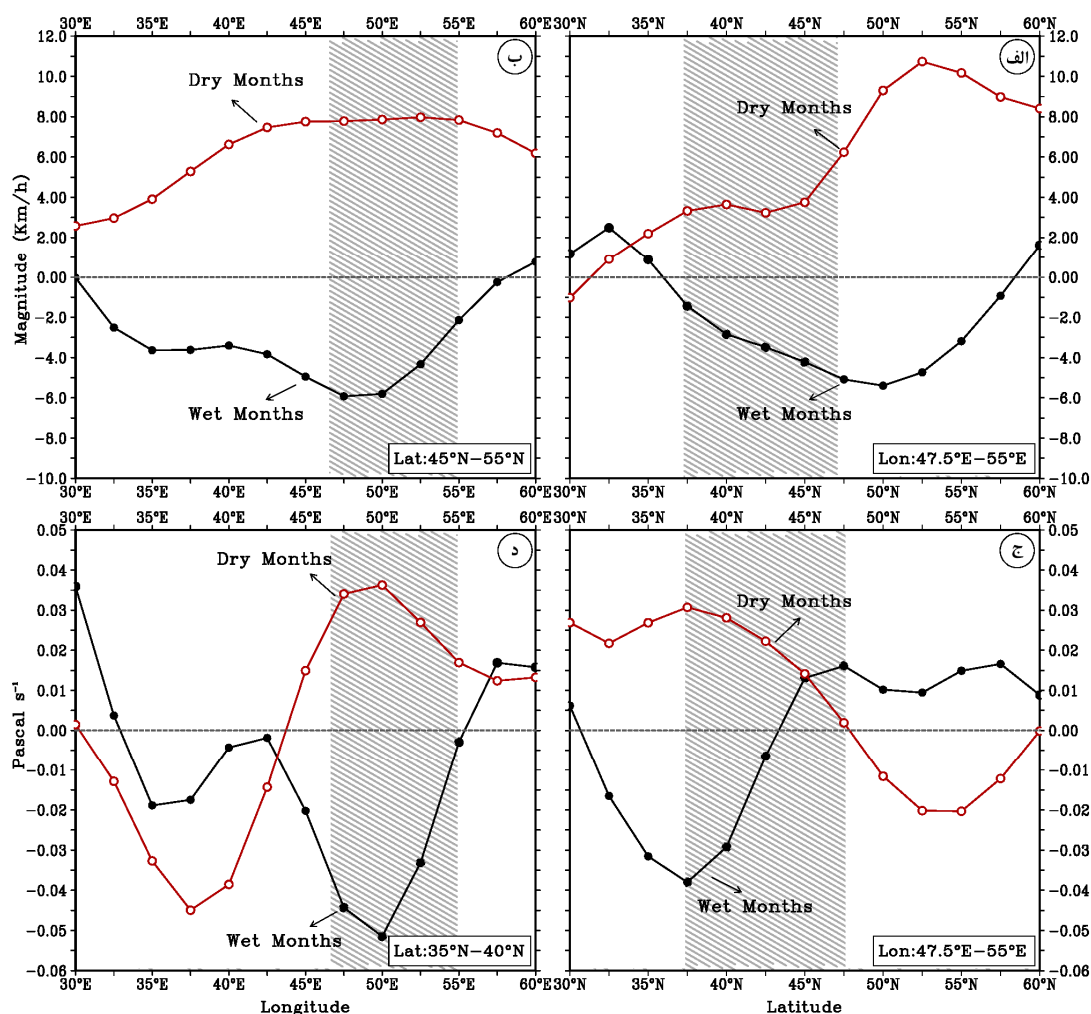
شکل ۴. وضعیت همدیدی متوسط مربوط به ماه‌های مرطوب (سمت راست) و ماه‌های خشک (سمت چپ) در سواحل جنوبی دریای خزر. (الف) و (ب) وضعیت متوسط ارتفاع ژئوپتانسیلی و تاوایی نسبی در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال. (ج) و (د) مقادیر متوسط سرعت قائم و وضعیت خطوط جریان در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال. (ه) و (و) وضعیت متوسط فشار در تراز دریا و تاوایی نسبی و باد برداری در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال. تاوایی برحسب  $10^{-5} s^{-1}$ ، فشار برحسب هکتوپاسکال، تندی باد برحسب  $m s^{-1}$  و سرعت قائم برحسب  $10^{-1} Pa s^{-1}$  است. در شکل‌ها از نشان دادن سرعت قائم ۱- تا  $+1$  و تاوایی  $-0.3$  تا  $+0.3$  صرف‌نظر شده است.

ترازهای زیرین جوّ روی دریای خزر، می‌تواند معیار مناسبی برای تفکیک دوره‌های پُربارش و کم‌بارش در سواحل جنوبی دریای خزر باشد.

وضعیت متوسط سرعت قائم روی منطقه خزری، معیار دیگری است که می‌تواند تمایز دوره‌های خشک و مرطوب را در منطقه خزری به‌خوبی نمایان سازد. بررسی وضعیت متوسط سرعت قائم در مقیاس همدید، بیانگر آن است که افزایش بارش در طول دوره‌های مرطوب به‌واسطه شکل‌گیری و تداوم جریانات صعودی شدید در حوضچه جنوبی دریای خزر - به‌ویژه در خط ساحلی - است (شکل ۴-ج). در واقع از دیگر مشخصه‌های گردش منطقه‌ای جوّ در طول دوره‌های مرطوب، می‌توان به شکل‌گیری هم‌زمان جریانات غالب بالاسو و پایین‌سو به‌ترتیب بر نیمه جنوبی و شمالی دریای خزر اشاره کرد. در این ارتباط، مفیدی و همکاران (۱۳۹۱) وقوع بارش‌های فراگیر در سواحل جنوبی دریای خزر را با استقرار یک «الگوی الاکلنگی» در امتداد نصف‌النهاری روی دریای خزر مرتبط دانسته‌اند. ایشان در توضیح وضعیت یادشده، عنوان می‌دارند که استقرار مراکز پُرفشار دینامیکی بر جانب غربی دریای خزر با تسلط گردش واچرخندی و نزول هوا در محدوده غرب و شمال دریای خزر همراه می‌شود. تسلط گردش واچرخندی یادشده، شکل‌گیری جریانات شمالی در ترازهای زیرین جوّ را به همراه خواهد داشت. با تداوم جریانات شمالی روی منطقه، امکان انتقال رطوبت دریای خزر به حوضچه جنوبی آن فراهم، و در نهایت صعود همرفتی هوا و وقوع بارش در سواحل جنوبی دریا ممکن می‌شود. براین اساس، گردش واچرخندی شدیدتر، با جریانات شمالی گسترده‌تر و قوی‌تر روی دریای خزر و صعود شدیدتر و گسترده‌تر در سواحل جنوبی دریا همراه خواهد شد.

می‌شود، گسترش غرب‌سوی پُرفشار سیبری تا شمال شرق ایران و استقرار مراکز پُرفشار محلی در مناطق کوهستانی غرب ایران و منطقه قفقاز است (شکل ۴-و). بررسی روزانه موقعیت و مسیر جابه‌جایی واچرخندها در طول دوره‌های خشک و مرطوب، به‌نحو مطلوب‌تری میزان فعالیت مراکز پُرفشار یادشده را نشان خواهد داد (رجوع شود به صفحه‌های پایانی از بخش نتایج). مقایسه وضعیت متوسط ساختار گردش منطقه‌ای جوّ در دوره‌های خشک و مرطوب بیانگر نقش مهم مراکز پُرفشار بر جانب شمالی دریای سیاه و جریانات شمالی روی دریای خزر در وقوع بارش در سواحل جنوبی این دریا است. شکل‌های ۵-الف و ۵-ب به‌نحو بارزتری نقش جریانات شمالی را در پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها، وقوع دوره‌های مرطوب و پُربارش در سواحل خزری، نتیجه شکل‌گیری جریانات شمالی در ترازهای زیرین جوّ روی دریای خزر و تداوم وزش آن در این منطقه است.

بررسی وضعیت متوسط جریان هوا در طول دوره‌های پُربارش بیانگر آن است که در هر دو امتداد مداری و نصف‌النهاری، کل منطقه خزر یک جریان غالب شمالی را تجربه می‌کند. با این تفاوت که جریان شمالی در امتداد مداری (شرقی-غربی) در مرکز دریا بیشینه شدت را تجربه می‌نماید (شکل ۵-ب)، اما در امتداد نصف‌النهاری با افزایش عرض جغرافیایی بر شدت وزش باد افزوده می‌شود (شکل ۵-الف). مقایسه وضعیت متوسط مؤلفه باد نصف‌النهاری برای دوره‌های خشک و مرطوب نکته جالب‌توجهی را آشکار می‌سازد؛ بدین ترتیب که جریانات غالب شمالی مشاهده شده در طول دوره‌های مرطوب با جریانات غالب جنوبی در طول دوره‌های خشک جایگزین می‌شوند (خط‌های سیاه و سرخ در شکل ۵-ب و ۵-الف). براین اساس، تفاوت در جهت وزش باد در



شکل ۵. مقادیر متوسط مؤلفه نصف‌النهاری باد برای ماه‌های مرطوب (خط سیاه) و ماه‌های خشک (خط سرخ) در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، متوسط‌گیری شده برای طول ۴۷/۵° تا ۵۵° شرقی (الف) و عرض ۴۵° تا ۵۵° شمالی (ب). (ج) و (د) مقادیر متوسط سرعت قائم فشاری برای شرایطی مشابه، با این تفاوت که در شکل ۵-د متوسط‌گیری برای عرض ۳۵° تا ۴۰° شمالی صورت گرفته است. در شکل‌ها منطقه هاشور خورده موقعیت دریای خزر را نشان می‌دهد. مقادیر منفی و مثبت در مؤلفه باد به ترتیب بیانگر شمالی و جنوبی بودن جهت باد و در سرعت قائم بیانگر صعودی و نزولی بودن جریان هوا است.

همه مناطق واقع در بخش شمالی دریای خزر (بالا تر از عرض ۴۵° شمالی)، به واسطه فرارفت منفی تاوایی ناشی از استقرار پشته در شمال شرق اروپا (شکل ۴-ه)، نزول گسترده و فراگیری را در ترازهای زیرین جو تجربه می‌کنند (شکل ۴-ج، ۵-ج و ۶-الف). در این پیوند، می‌توان گفت که وقوع بیشینه بارش منطقه خزری در سواحل جنوب غربی دریای خزر (شکل ۳-الف)، باید ارتباط بسیار نزدیکی با منطقه کمینه امگا (بیشینه صعود) (شکل ۴-ج و ۵-د) در طول دوره‌های مرطوب داشته

بررسی شکل‌های ۴-ج، ۵-د، ۶-الف، ضمن تأیید نتایج مفیدی و همکاران (۱۳۹۱)، بیانگر تسلط شرایط مشابهی در طول دوره‌های مرطوب در منطقه خزری است. با توجه به شکل‌ها، دریای خزر در پایین‌تر از عرض ۴۵° شمالی (حوضچه جنوبی دریای خزر) صعود نسبتاً شدیدی را در طول ماه‌های مرطوب تجربه می‌کند. به طوری که میزان متوسط سرعت قائم فشاری (امگا) در محدوده ۳۷/۵° شمالی (خط ساحلی) و در پایین‌ترین ترازهای جو به کمینه خود می‌رسد (شکل ۵-ج و ۶-الف). در مقابل،

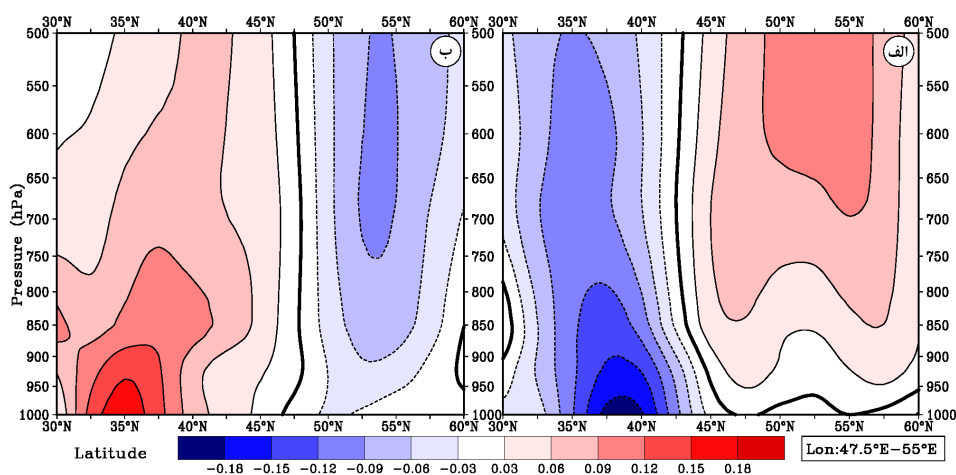


داشت که مناطق واقع در حد فاصل سواحل جنوبی دریای خزر تا دامنه‌های مرتفع البرز بیشینه‌های صعود و نزول خود را به ترتیب در هر دو دوره مرطوب و خشک در پایین‌ترین ترازهای جو تجربه کرده‌اند که این امر خود نشانه دیگری است که نقش واداشت‌های میان‌مقیاس و عوامل محلی را در شکل‌گیری بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر مورد تأیید قرار می‌دهد.

### ۲-۳ تحلیل همبستگی فضایی

بررسی شرایط همدیدی در مقیاس ماهانه، بیانگر نقش کلیدی مولفه‌های مقیاس منطقه‌ای گردش جو در ترازهای زیرین بر وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر است. نتایج بررسی نشان‌دهنده آن است که استقرار و اچرخند دینامیکی مهاجر بر جانب شمالی دریای سیاه، تسلط گردش و اچرخندی بر جانب شمالی و غربی دریای خزر و شکل‌گیری جریانات شمالی روی دریای خزر، بیش از سایر مؤلفه‌های جو در وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی این دریا نقش بازی می‌کنند. براین اساس، در این بخش از تحقیق،

باشد. در مقابل، بررسی وضعیت متوسط سرعت قائم در دوره‌های خشک، بیانگر شکل‌گیری و تداوم الگوی معکوسی از جریانات بالاسو و پایین‌سو در منطقه خزری است. با توجه به شکل‌های ۴-د، ۵-ج، ۵-د و ۶-ب، کاهش بارش در سواحل جنوبی دریای خزر و پیدایش دوره‌های خشک در این منطقه، نتیجه تسلط جریانات نزولی (پایین‌سو) در حدفاصل سواحل جنوبی دریای خزر تا بخش‌های مرتفع رشته‌کوه البرز است. شکل ۶ به وضوح تفاوت بین دوره‌های خشک و مرطوب را از نظر توزیع قائم جریانات بالاسو و پایین‌سو در امتداد دریای خزر و در راستای عرضی (شمالی-جنوبی) نشان می‌دهد. نکته‌ای که در بررسی شکل‌های مربوط به سرعت قائم می‌باید به آن اشاره کرد این است که، علی‌رغم مشاهده بیشینه صعود هوا در محدوده خط ساحلی برای دوره‌های مرطوب، همچنین تسلط بیشینه نزول روی رشته‌کوه‌های البرز در دوره‌های خشک، امکان اظهار نظر دقیق در این خصوص به علت تفکیک افقی کم داده‌ها (تفکیک افقی از شرایط حاکم، نیازمند بهره‌گیری از داده‌های با تفکیک افقی زیاد است. با وجود این، می‌توان به این نکته اشاره



شکل ۶. نیم‌رخ قائم از مقادیر متوسط سرعت قائم در امتداد عرض جغرافیایی، متوسط‌گیری شده برای طول  $47/5^\circ$  تا  $55^\circ$  شرقی. (الف) ماه‌های مرطوب (ب) ماه‌های خشک. سرعت قائم برحسب  $\text{Pa s}^{-1}$  است.

منطقه خزر، تابعی از تغییرات شدت فشار هوا در مرکز و اچرخند خواهد بود. با توجه به توضیحات بالا، استقرار یک چرخند در محدوده دریای سیاه، شرایط معکوسی را از نظر الگوی وزش باد روی منطقه خزری در پی خواهد داشت. براین اساس، در طول دوره‌های مرطوب با وقوع مکرر روزهای همراه با فشار بالا در منطقه دریای سیاه، به همان نسبت بر تعداد روزهای با باد شمالی در منطقه خزری افزوده می‌شود (شکل ۷-الف). با توجه به بررسی موقعیت و مسیر جابه‌جایی چرخندها و اچرخندها که در بخش بعدی این تحقیق عرضه خواهد شد، افزایش تعداد روزهای با فشار زیاد در منطقه دریای سیاه در طول دوره‌های مرطوب، ناشی از تعداد دفعات زیاد عبور مراکز پُرفشار از روی منطقه دریای سیاه و به‌طور کلی شرق اروپا است. بدین ترتیب می‌توان گفت در طول دوره‌های پُربارش، افزایش فشار در مرکز پُرفشار مستقر در منطقه دریای سیاه با شکل‌گیری مداوم جریان شمالی در منطقه خزر و افزایش شدت آن در این منطقه همراه می‌شود. همبستگی منفی بسیار قوی (۰/۷۵-) بین دو مؤلفه یادشده، به‌وضوح سازوکار اصلی حاکم بر وقوع دوره‌های پُربارش را در سواحل جنوبی دریای خزر نشان می‌دهد (شکل ۷-الف). در مقابل، در دوره‌های خشک و کم‌بارش اگرچه همبستگی بین فشار هوا در منطقه دریای سیاه و فراوانی وقوع باد شمالی در منطقه خزر و تغییرات شدت آن همچنان معنی‌دار است (بیشینه ۰/۴۰-)، اما کاهش محسوس و چشمگیر در مقادیر بارش سواحل خزر، حکایت از کاهش قابل‌ملاحظه در تعداد مراکز پُرفشار عبوری از منطقه دریای سیاه دارد. بررسی موقعیت و مسیر جابه‌جایی چرخندها و اچرخندها، کاهش محسوس فعالیت مراکز پُرفشار در منطقه شرق اروپا را در طول دوره‌های خشک تأیید می‌کند (شکل ۱۰-الف و ۱۱-الف). بدین ترتیب، بین بارش کمتر در سواحل خزری و کاهش قابل‌ملاحظه تعداد مراکز پُرفشار عبوری از روی

روابط بین مؤلفه‌های جوّی مقیاس منطقه‌ای و وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در گام زمانی روزانه مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

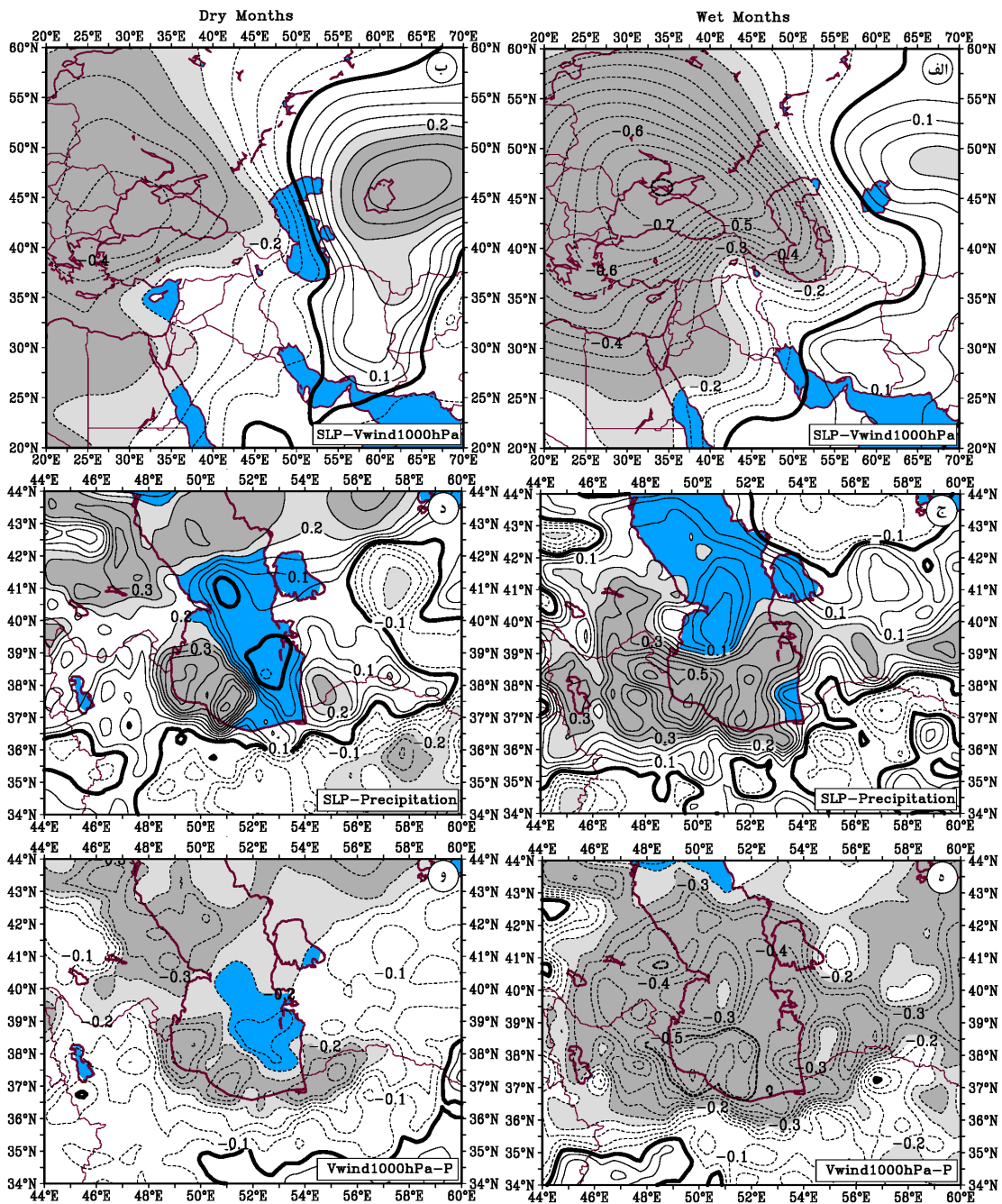
از آنجاکه وقوع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر تابعی از جهت و شدت وزش باد در منطقه خزری است (کارخانه، ۱۳۹۰)، ابتدا ارتباط بین فراوانی وقوع باد شمالی و شدت آن روی دریای خزر با تغییرات روزانه فشار تراز دریا بررسی می‌شود. برای این منظور متوسط منطقه‌ای مؤلفه نصف‌النهاری باد برای منطقه خزری (مستطیل سرخ‌رنگ در شکل ۲) در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال تهیه و میزان همبستگی آن با تغییرات فشار در تراز دریا برای ۱۰ ماه خشک و ۱۰ ماه مرطوب محاسبه شد. شکل‌های ۷-الف و ۷-ب به ترتیب میزان همبستگی بین مقادیر متوسط روزانه مؤلفه نصف‌النهاری باد روی دریای خزر و فشار تراز دریا را برای ۱۰ ماه مرطوب و ۱۰ ماه خشک نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها، مقادیر متوسط منطقه‌ای مؤلفه نصف‌النهاری باد روی دریای خزر بیش از هر جایی با تغییرات فشار هوا در محدوده دریای سیاه ارتباط دارد. از آنجاکه مؤلفه نصف‌النهاری باد دارای مقادیر مثبت (باد جنوبی) و منفی (باد شمالی) و فشار تراز دریا فقط دارای مقادیر مثبت است، بنابراین همبستگی منفی بین مؤلفه نصف‌النهاری باد و فشار تراز دریا بدین معنی است که تداوم باد شمالی (مقادیر منفی) و تغییرات شدت آن روی دریای خزر با افزایش فشار در منطقه دریای سیاه در ارتباط است. توضیح بیشتر اینکه، به علت بُرداری بودن میدان باد، افزایش میزان فشار هوا روی منطقه دریای سیاه، علاوه بر ایجاد بادهای شمالی در منطقه خزر، به‌طور هم‌زمان افزایش شدت باد شمالی در این منطقه را نیز به همراه خواهد داشت. به‌عبارتی، استقرار یک و اچرخند در منطقه دریای سیاه سبب شکل‌گیری بادهای شمالی در منطقه خزر می‌شود، درحالی‌که تغییرات شدت باد شمالی در

منطقه دریای سیاه و کاهش فراوانی وقوع باد شمالی در منطقه خزری، ارتباط مستقیمی وجود دارد. نکته جالب دیگری که می‌باید در پیوند با دوره‌های خشک یادآور شد، شکل‌گیری یک منطقه همبستگی مثبت معنی‌دار بر جانب شرقی دریای خزر است (شکل ۷-ب). با توجه به علامت همبستگی، می‌توان چنین تفسیر کرد که در طی دوره‌های خشک به‌واسطه افزایش مکرر فشار هوا بر جانب شرقی دریای خزر، همه مناطق واقع در منتهالیه شرقی دریای خزر، نیمه شرقی فلات ایران و به‌ویژه منطقه آسیای مرکزی، به دفعات یک جریان جنوبی را تجربه می‌کنند. بررسی موقعیت و مسیر جابه‌جایی چرخندها و واچرخندها، بیانگر آن است که همبستگی مثبت یادشده ناشی از دفعات به‌نسبت زیاد گسترش غرب‌سوی پرفشار سیری روی منطقه است (شکل ۱۰-ب و ۱۲-ه).

شکل‌های ۷-ه و ۷-و میزان همبستگی بین مؤلفه باد نصف‌النهاری روی دریای خزر (محدوده b در شکل ۲) و بارش سواحل جنوبی دریای خزر را به‌ترتیب برای دوره‌های مرطوب و خشک نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها، میزان همبستگی بین مؤلفه‌های یادشده به‌طور کاملاً چشمگیری در طول دوره‌های مرطوب بیشتر از دوره‌های خشک است. در این شکل‌ها همبستگی منفی بیانگر آن است که هرچه فراوانی وقوع باد شمالی روی دریای خزر بیشتر باشد و درعین حال شدت بیشتری نیز داشته باشد، مقدار و وسعت منطقه بارش در سواحل جنوبی دریای خزر بیشتر خواهد بود. بدین ترتیب باد شمالی (مقادیر منفی) با فراوانی وقوع و شدت بیشتر با بارش بیشتر و گسترده‌تر در منطقه خزر همراه خواهد بود. در حقیقت، وقوع دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر، نه فقط به افزایش تعداد روزهای همراه با باد شمالی وابسته است، بلکه به‌طور هم‌زمان با میزان تغییرات در شدت باد شمالی روی دریای خزر نیز ارتباط دارد (شکل ۷-ه). درمقابل، وقوع بارش‌های کمتر و کم‌وسعت‌تر در دوره‌های خشک، با کاهش قابل‌ملاحظه تعداد روزهای همراه با باد شمالی در ارتباط است (شکل ۷-و).

شکل‌های ۷-ج و ۷-د میزان همبستگی بین فشار تراز دریا در منطقه دریای سیاه (محدوده الف در شکل ۲) و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر را در طول ۱۰ ماه خشک و ۱۰ ماه مرطوب نشان می‌دهند. مقایسه میزان همبستگی برای دوره‌های خشک و مرطوب به‌خوبی بیانگر آن است که در طول دوره‌های مرطوب به‌واسطه افزایش فشار هوا در منطقه دریای سیاه، بر مقدار بارش در منطقه خزری افزوده می‌شود. به‌عبارتی، تغییرات فشار هوا در تراز دریا روی منطقه دریای سیاه شاخص بسیار مهمی در تبیین دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر به شمار می‌آید. به‌طوری‌که افزایش میزان فشار تراز دریا در منطقه دریای سیاه (عمدتاً ناشی از افزایش تعداد مراکز پرفشار عبوری از روی منطقه دریای سیاه)، موجب پیدایش دوره‌های مرطوب (شکل ۷-ج)، و در مقابل کاهش میزان فشار هوا در این منطقه موجب پیدایش دوره‌های خشک در سواحل جنوبی دریای خزر می‌شود (شکل ۷-د). افزایش قابل‌ملاحظه میزان همبستگی، همراه با وسعت چشمگیر منطقه دارای





شکل ۷. الف) و ب) میزان همبستگی بین مقادیر متوسط روزانه مؤلفه نصف‌النهاری باد روی دریای خزر (محدوده b در شکل ۲) و فشار در تراز دریا. ج) و د) همبستگی بین مقادیر فشار در تراز دریا روی منطقه دریای سیاه (محدوده a در شکل ۲) و بارش در منطقه خزر. ه) و و) همبستگی بین مقادیر متوسط روزانه مؤلفه نصف‌النهاری باد روی دریای خزر (محدوده b در شکل ۲) و بارش در منطقه خزر. شکل‌های سمت راست وضعیت را در طی ماه‌های مرطوب و شکل‌های سمت چپ وضعیت را در ماه‌های خشک نشان داده است و رنگ‌های خاکستری کم‌رنگ و پررنگ به ترتیب بیانگر سطوح معنی‌داری ۹۵٪ و ۹۹٪ هستند.

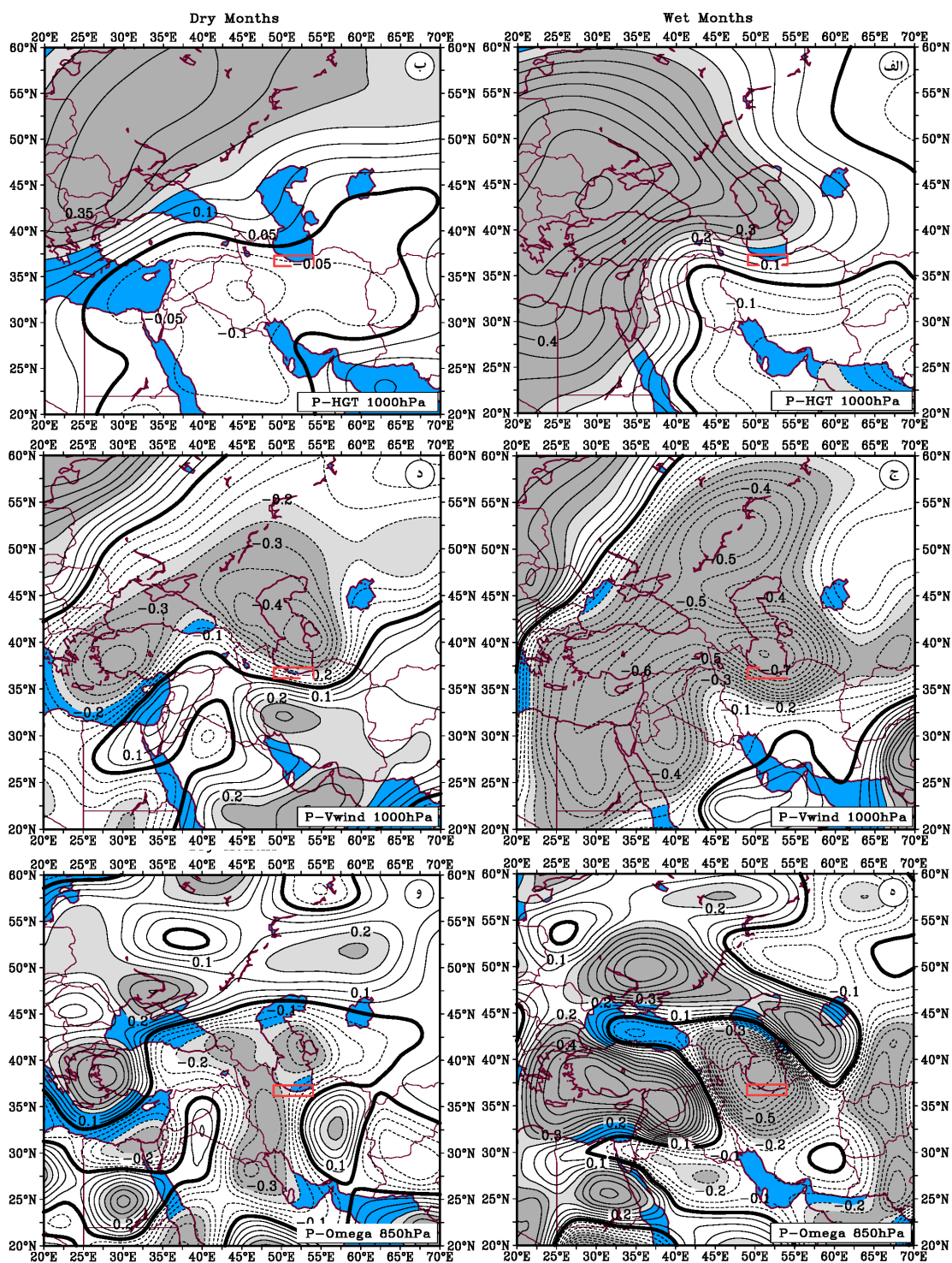
ژئوپتانسیلی، مؤلفه نصف‌النهاری باد، تاوایی نسبی و سرعت قائم در ترازهای زیرین جو و مقادیر متوسط منطقه‌ای بارش در سواحل جنوبی دریای خزر ارزیابی

در ادامه به منظور فراهم کردن درک دقیق‌تری از نقش برخی مؤلفه‌های جو مهم، در وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر، ارتباط بین ارتفاع

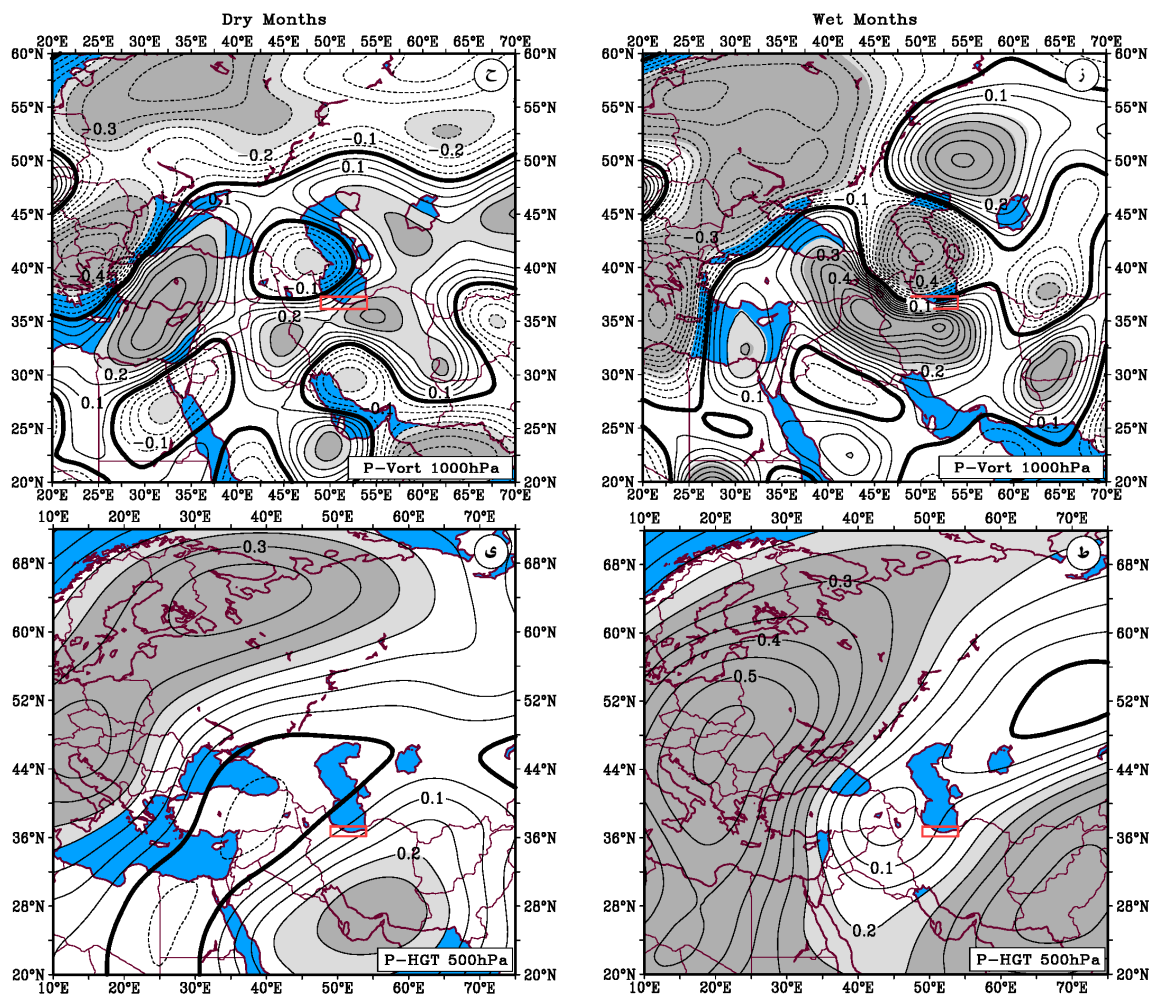
به طوری که بیشینه همبستگی بین بارش خزر و ارتفاع ژئوپتانسیلی بر جانب غربی دریای سیاه به  $0/60$  بالغ می شود. بدین ترتیب، وقوع دوره های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر ناشی از افزایش مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیلی در منطقه دریای سیاه است. در واقع در طول دوره های مرطوب، به علت افزایش تعداد مراکز پرفشار در منطقه شرق اروپا و دریای سیاه، ارتفاع ژئوپتانسیلی در بسیاری از روزهای دوره بررسی افزایش یافته است. با در نظر گرفتن روابط بین مؤلفه های گردش نشان داده شده در شکل ۸، می توان سازوکار وقوع دوره های مرطوب در منطقه خزری را به شکل زیر تشریح کرد.

در طول دوره های مرطوب، افزایش فعالیت مراکز پرفشار در منطقه دریای سیاه، به طور هم زمان با افزایش گردش و اچرخندی در محدوده دریای سیاه تا دریای خزر همراه می شود. در چنین شرایطی یک همبستگی منفی بسیار قوی بین بارش در سواحل جنوبی دریای خزر و آهنگ تغییرات تاوایی نسبی در محدوده دریای خزر و دریای سیاه مشاهده می شود، به طوری که بیشینه همبستگی بین بارش و تاوایی نسبی در نیمه جنوبی دریای خزر به  $0/60$  می رسد (شکل ۸-ز). وضعیت همدیدی یاد شده سبب افزایش تعداد روزهای دارای باد شمالی روی دریای خزر می شود. بدین ترتیب، در طول دوره های مرطوب و در پی افزایش فعالیت مراکز پرفشار در منطقه دریای سیاه، یک سری بازخوردهای مثبت ایجاد می شود که در نهایت افزایش بارش در سواحل جنوبی دریای خزر را به دنبال خواهد داشت. می توان زنجیره بازخوردهای مثبت را به شکل زیر تعریف کرد. در پی افزایش فعالیت مراکز پرفشار در منطقه دریای سیاه، روزهای همراه با باد شمالی روی دریای خزر افزایش می یابد. همبستگی بسیار زیاد بین وزش باد شمالی و افزایش فشار تراز دریا در منطقه دریای سیاه مؤید این ویژگی است (شکل ۷-الف). در پی وزش باد شمالی در منطقه خزری، یک الگوی الاکلنگی

می شود. در عین حال، میزان همبستگی بین بارش در سواحل جنوبی دریای خزر و الگوی ارتفاعی تراز  $500$  هکتوپاسکال نیز بررسی می شود. در این مرحله از تحقیق سعی بر آن است تا روابط بین مؤلفه های گوناگون گردش جو به صورت ترکیبی مورد بررسی قرار گیرد؛ چرا که بررسی ترکیبی مؤلفه های منطقه ای گردش جو به نحو مناسب تری امکان شناسایی سازوکار حاکم بر وقوع دوره های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر را فراهم می کند. شکل های ۸-الف و ۸-ب میزان همبستگی بین مقادیر متوسط منطقه ای بارش در سواحل خزر و تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیلی در تراز  $1000$  هکتوپاسکال را به ترتیب در دوره های مرطوب و خشک نشان می دهند (شایان ذکر است که محاسبه میزان همبستگی بین فشار تراز دریا و بارش، الگوی مشابهی از ضرایب همبستگی را نشان می دهد که به همین علت از آوردن آن صرف نظر شد). مشابه نتایج به دست آمده از روابط بین مؤلفه نصف النهاری باد و فشار تراز دریا (شکل های ۷-الف و ۷-ب)، تغییرات مقدار بارش منطقه ای در سواحل جنوبی دریای خزر نیز بالاترین همبستگی ها را با تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیلی در منطقه دریای سیاه نشان می دهد. بنابراین می توان چنین نتیجه گرفت که تغییرات منطقه ای بارش در سواحل جنوبی دریای خزر ارتباط مستقیمی با آهنگ تغییرات روزانه ارتفاع ژئوپتانسیلی در پایین ترین ترازهای جو روی منطقه دریای سیاه دارد؛ با این تفاوت که در بررسی ارتباط بین بارش و ارتفاع ژئوپتانسیلی، علامت همبستگی ها مثبت است و بنابراین بدیهی است که افزایش بارش در سواحل جنوبی دریای خزر ناشی از افزایش ارتفاع ژئوپتانسیلی در منطقه دریای سیاه خواهد بود. شکل ۸-الف بیانگر آن است که در طول دوره های مرطوب میزان همبستگی بین بارش در سواحل جنوبی دریای خزر و تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیلی در منطقه دریای سیاه بسیار زیاد است،



شکل ۸. میزان همبستگی بین بارش‌های روزانه در سواحل جنوبی دریای خزر (محدوده C در شکل ۲) و برخی متغیرهای جوی برای ماه‌های مرطوب (سمت راست) و ماه‌های خشک (سمت چپ). (الف) و (ب) همبستگی بین بارش و ارتفاع ژئوپتانسیلی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال. (ج) و (د) همبستگی بین بارش و مؤلفه نصف‌النهاری باد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال. (ه) و (و) بارش و سرعت قائم در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال. (ز) و (ح) بارش و تاوایی نسبی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال. (ط) و (ی) همبستگی بین بارش و ارتفاع ژئوپتانسیلی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال. همبستگی‌های معنی‌دار در سطوح ۹۵٪ و ۹۹٪ به ترتیب با رنگ خاکستری کم‌رنگ و پررنگ نشان داده شده‌اند.



ادامه شکل ۸. شکل‌های زالی ی.

می‌شود.

چنین شرایطی در ادامه، دفعات شکل‌گیری خط همگرایی ساحلی و صعود کوهساری جریان مرطوب شمالی بر دامنه‌های رشته‌کوه البرز را افزایش خواهد داد. حاصل نهایی توالی بازخوردهای مثبت یادشده، به شکل‌گیری و توسعه جریانات قائم بالاسو در حدفاصل سواحل جنوبی دریای خزر و دامنه‌های شمالی البرز و در نهایت وقوع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر و دامنه‌های البرز منجر می‌شود. بر این اساس، شکل‌گیری جریانات پایین‌سو بر جانب شمالی دریای خزر با تقویت هم‌زمان جریانات قائم بالاسو در محدوده جنوبی دریا همراه می‌شود (شکل ۸-۵). در حقیقت، می‌توان گفت،

یک‌سویه در سرعت قائم روی دریای خزر شکل می‌گیرد. بدین معنی که تقویت گردش و اچرخندی در منطقه دریای سیاه و جانب شمالی دریای خزر، به‌طور هم‌زمان سبب افزایش نزول هوا بر جانب شمالی دریای خزر، شکل‌گیری و تقویت باد شمالی روی منطقه خزری و صعود هوا بر جانب جنوبی دریای خزر می‌شود. در طول دوره‌های مرطوب، افزایش فعالیت مراکز پُرفشار در منطقه دریای سیاه، افزایش تعداد روزهای دارای گردش و اچرخندی همچنین افزایش شدت گردش و اچرخندی را بر جانب شمالی دریای خزر به همراه خواهد داشت، که آن نیز به نوبه خود، سبب افزایش تعداد روزهای وزش باد شمالی و افزایش شدت وزش این نوع باد در منطقه خزری



جنوبی دریای خزر و کاهش میزان همبستگی‌ها بین بارش سواحل خزری و مؤلفه‌های گردش مقیاس منطقه‌ای جو است (شکل ۸-ب، ۸-د، ۸-و و ۸-ح).

شکل‌های ۸-ط و ۸-ی به‌منظور بررسی میزان ارتباط بین بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر و تغییرات روزانه ارتفاع ژئوپتانسیلی در ترازهای میانی جو به‌ترتیب در طول دوره‌های مرطوب و دوره‌های خشک تهیه شده‌اند. همچون ترازهای زیرین جو، در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز تفاوت آشکاری در روابط بین بارش و ارتفاع ژئوپتانسیلی در طول دوره‌های خشک و مرطوب مشاهده می‌شود. درحالی‌که در طول دوره‌های مرطوب به علت دفعات زیاد استقرار پشته/پُرفشار ارتفاع و یا وقوع مکرر سامانه‌های بندالی روی اروپا (شکل ۴-الف)، میزان همبستگی بین بارش در سواحل جنوبی دریای خزر و ارتفاع ژئوپتانسیلی بر جانب شرقی اروپا به بیشینه ۰/۵۵ می‌رسد، در طول دوره‌های خشک میزان بیشینه همبستگی در منطقه فوق از ۰/۳۵ تجاوز نمی‌کند. بررسی دوره‌های مرطوب نشان‌دهنده آن است که پشته‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با استقرار بر بخش‌های میانی تا شرقی اروپا (طول ۲۰° شرقی)، سبب تشکیل سامانه‌های واچرخندی سطحی در جریان سوی خود و بر جانب غربی دریای سیاه (طول ۳۰° شرقی) شده‌اند. به همین علت، منطقه بیشینه همبستگی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با یک ارب شرق سو به منطقه بیشینه همبستگی سطحی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸-ط و ۸-الف) مرتبط شده است. در واقع، الگوی به‌دست آمده از همبستگی بین بارش و ارتفاع ژئوپتانسیلی در ترازهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال، ضمن آنکه به‌طور آشکاری بر دینامیکی بودن سامانه‌های پُرفشار سطحی در منطقه دریای سیاه دلالت دارد، درعین‌حال، بیانگر کنترل بزرگ مقیاس وقوع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر با پشته‌ها/پُرفشارهایی است که در حرکت شرق سوی امواج غربی در منطقه اروپا و غرب روسیه استقرار

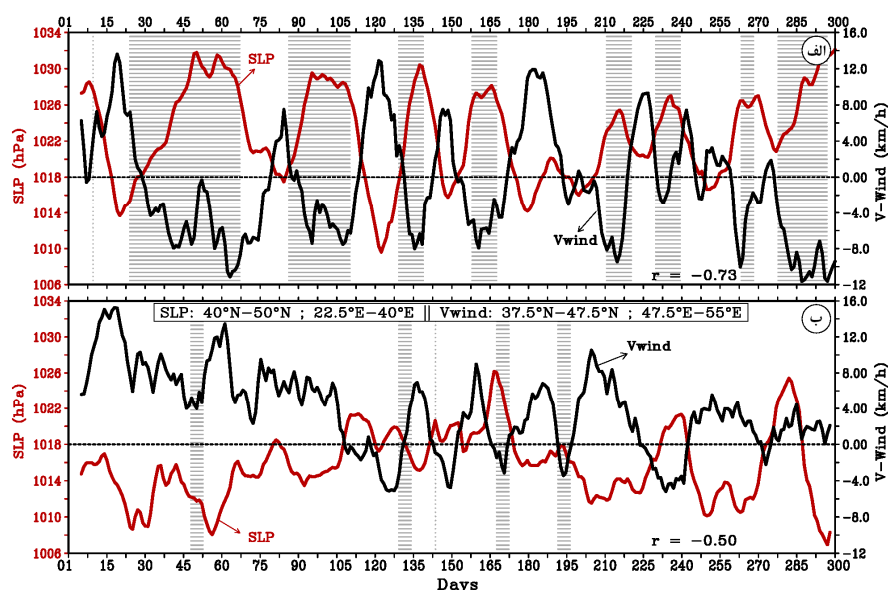
اگرچه میزان صعود هوا و گستردگی و شدت بارش در سواحل جنوبی دریای خزر تابعی از وزش باد شمالی و میزان شدت آن روی منطقه خزری است (شکل ۸-ج)، اما میزان نزول و آهنگ تغییرات آن بر جانب شمالی دریای خزر به‌سبب کنترل باد شمالی و شدت آن روی دریای خزر، میزان صعود و تغییرات آن را بر جانب جنوبی دریا کنترل می‌کند (شکل ۸-ه). مقادیر همبستگی زیاد به‌دست آمده بین بارش منطقه‌ای در سواحل جنوبی دریای خزر و ارتفاع ژئوپتانسیلی (شکل ۸-الف)، مؤلفه نصف‌النهاری باد (شکل ۸-ج)، سرعت قائم (شکل ۸-ه) و تاوایی نسبی (شکل ۸-ز) سازوکار تشریح شده را مورد تأیید قرار می‌دهد. همبستگی منفی بسیار قوی (با بیشینه ۰/۷۵) بین بارش و مؤلفه نصف‌النهاری باد در حوضچه جنوبی دریای خزر (شکل ۸-ج)، در کنار همبستگی منفی بسیار قوی بین بارش و جریانات بالاسو بر جانب جنوبی دریا (با بیشینه ۰/۷۰) و همبستگی مثبت قوی با جریانات پایین سو بر جانب شمالی و شمال غربی آن، وجود سازوکار فوق را در پیدایش دوره‌های مرطوب تأیید می‌کند (شکل ۸-ه). در مقابل، بررسی ماه‌های کم‌بارش و دوره‌های خشک بیانگر آن است که ارتباط بین تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیلی در منطقه دریای سیاه و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر به‌طور محسوس در طول دوره‌های خشک تضعیف می‌شود (شکل ۸-ب). نتایج بررسی حاکی از آن است که کاهش محسوس فعالیت مراکز پُرفشار در منطقه دریای سیاه علت اصلی کاهش میزان همبستگی‌ها در دوره‌های خشک است. بدین ترتیب دوره‌های همراه با کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی در منطقه دریای سیاه، در نتیجه بروز یک سری بازخورد منفی، با کاهش گردش واچرخندی در منطقه شرق اروپا تا دریای خزر، کاهش تعداد روزهای دارای باد شمالی در منطقه خزر و کاهش صعود هوا در حوضچه جنوبی دریای خزر همراه می‌شود. نتیجه آشکار تسلط چنین شرایطی، به حداقل رسیدن بارش در سواحل

زمانی به وقوع می‌پیوندد که فشار در منطقه دریای سیاه افزایش یافته و به‌طور هم‌زمان باد شمالی روی دریای خزر تسلط یابد. در عین حال افزایش میزان فشار در منطقه دریای سیاه با افزایش شدت وزش باد شمالی روی دریای خزر همراه می‌شود. نکته جالب توجه اینکه، در طول دوره‌های مرطوب، میزان همبستگی بین تغییرات روزانه جهت و شدت باد در منطقه خزر و تغییرات روزانه فشار در منطقه دریای سیاه بسیار زیاد است و به  $0.73-$  بالغ می‌شود (شکل ۹-الف).

به‌منظور تبیین علل کاهش بارش در سواحل جنوبی دریای خزر در طول دوره‌های خشک، کافی است نمودارهای فشار، مؤلفه نصف‌النهاری باد و بارش ماه‌های خشک با وضعیت حاکم در ماه‌های مرطوب مقایسه شود. به وضوح می‌توان مشاهده کرد که در طول ماه‌های خشک، کاهش قابل‌ملاحظه فشار در منطقه دریای سیاه، با کاهش چشمگیر تعداد روزهای دارای باد شمالی و به‌عکس افزایش قابل‌ملاحظه روزهای دارای باد جنوبی در منطقه خزری همراه شده است (شکل ۹-ب). نتیجه نهایی اینکه، کاهش قابل‌ملاحظه بارش در سواحل جنوبی دریای خزر و پیدایش دوره‌های خشک در این منطقه، حاصل کاهش محسوس میزان فشار (کاهش فعالیت مراکز پُرفشار) در منطقه دریای سیاه و به تبع آن کاهش تعداد روزهای دارای باد شمالی در منطقه خزری است. نکته دیگری که ذکر آن در اینجا لازم است آنکه، علی‌رغم آنکه کاهش میزان فشار در منطقه دریای سیاه با کاهش قابل‌ملاحظه بارش در سواحل جنوبی دریای خزر همراه می‌شود، اما در دوره‌های خشک نیز هم‌چنان میزان همبستگی بین تغییرات فشار در منطقه دریای سیاه و جریان هوا در منطقه خزری زیاد ( $0.50-$ ) و کاملاً معنی‌دار است. از این رو می‌توان از تغییرات فشار تراز دریا در منطقه

می‌یابد. می‌توان نقش واکنش‌های دینامیکی بزرگ‌مقیاس برون‌حاره در پیدایش دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر را به این شکل توضیح داد که وقوع مکرر مقادیر پایین شاخص مداری با افزایش دفعات نصف‌النهاری شدن جریانات غربی روی اروپا، سبب افزایش قابل‌ملاحظه در تشکیل پشته‌ها و سامانه‌های بندالی در این منطقه می‌شود (شکل ۴-الف). پیدایش دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر را می‌توان به‌منزله یکی از آثار منطقه‌ای تسلط چنین الگویی از گردش بزرگ‌مقیاس برشمرد. در مقابل، به‌وضوح می‌توان کاهش قابل‌ملاحظه در نصف‌النهاری شدن امواج غربی روی اروپا و دفعات کم استقرار پشته‌ها روی این منطقه (شکل ۴-ب) را عامل اصلی کاهش میزان همبستگی بین بارش در سواحل جنوبی دریای خزر و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز  $500$  هکتوپاسکال دانست (شکل ۸-ی). برخی ویژگی‌های مرتبط با واکنش‌های بزرگ‌مقیاس امواج برون‌حاره در ارزیابی میزان فعالیت سامانه‌های بندالی در طول دوره‌های خشک و مرطوب مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

شکل ۹ به‌منظور مقایسه تطبیقی شرایط حاکم در دوره‌های خشک و مرطوب در منطقه خزر، با هدف آشکار کردن نحوه ارتباط بین تغییرات روزانه فشار تراز دریا در منطقه دریای سیاه، جریان هوا روی دریای خزر و تغییرات بارش در سواحل جنوبی دریای خزر تهیه شده است. مقایسه شکل ۹-الف با ۹-ب به‌طور کاملاً آشکاری ارتباط بین وقوع بارش در سواحل خزر، فراوانی و شدت وقوع باد شمالی و تغییرات روزانه فشار در منطقه دریای سیاه را برای دوره‌های خشک و مرطوب نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها، وقوع بارش در منطقه خزر ارتباط مستقیمی با آهنگ تغییرات فشار در منطقه دریای سیاه و تسلط باد شمالی روی دریای خزر و تقویت آن در این منطقه دارد. در واقع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر



شکل ۹. رابطه بین تغییرات روزانه فشارتراز دریا (خط سرخ) در منطقه دریای سیاه (محدوده a در شکل ۲) و تغییرات جهت و شدت مولفه نصف‌النهاری باد (خط ممتد سیاه) روی دریای خزر در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (محدوده b در شکل ۲) و ارتباط این دو با وقوع بارش (سایه خاکستری) در سواحل جنوبی دریای خزر برای ماه‌های مرطوب (الف) و ماه‌های خشک (ب). در تهیه نمودار از میانگین متحرک ۵ عضوی استفاده شد. هاشورها مقادیر متوسط منطقه‌ای بارش ۵ میلی‌متر و بیشتر را در سواحل جنوبی دریای خزر (محدوده c در شکل ۲) نشان می‌دهند.

آنها را به ترتیب برای ۱۰ ماه مرطوب و ۱۰ ماه خشک در سواحل جنوبی دریای خزر نشان می‌دهند. مقایسه دو شکل، بیانگر آن است که در طی دوره‌های پُربارش، میزان فعالیت مراکز پُرفشار مهاجر در عرض‌های میانی به‌طور برجسته‌ای افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۱۰-الف، در طول دوره‌های مرطوب، تعداد واچرخندهای عبوری در عرض‌های میانی بسیار چشمگیر است و واچرخندها به دفعات مسیری را از شرق اروپا تا شرق سبیری در حدفاصل عرض  $45^{\circ}$  تا  $60^{\circ}$  شمالی طی می‌کنند. تمرکز بالای فعالیت مراکز پُرفشار بر جانب شمالی دریای سیاه و در حدفاصل کوه‌های اورال تا غرب روسیه (طول  $22/5^{\circ}$  تا  $40^{\circ}$  شرقی) به‌خوبی نتایج به‌دست آمده در بخش‌های قبلی را تأیید می‌کند.

در مقابل، در ماه‌های خشک، میزان فعالیت مراکز پُرفشار روی منطقه به‌شدت کاهش می‌یابد. بررسی موقعیت و مسیر روزانه واچرخندها در طی ماه‌های خشک، کاهش چشمگیر تعداد پُرفشارهای عبوری از

دریای سیاه به منزله یک شاخص مناسب و ارزشمند (پیش‌بین) برای تبیین تغییرات منطقه‌ای بارش در سواحل جنوبی دریای خزر استفاده کرد.

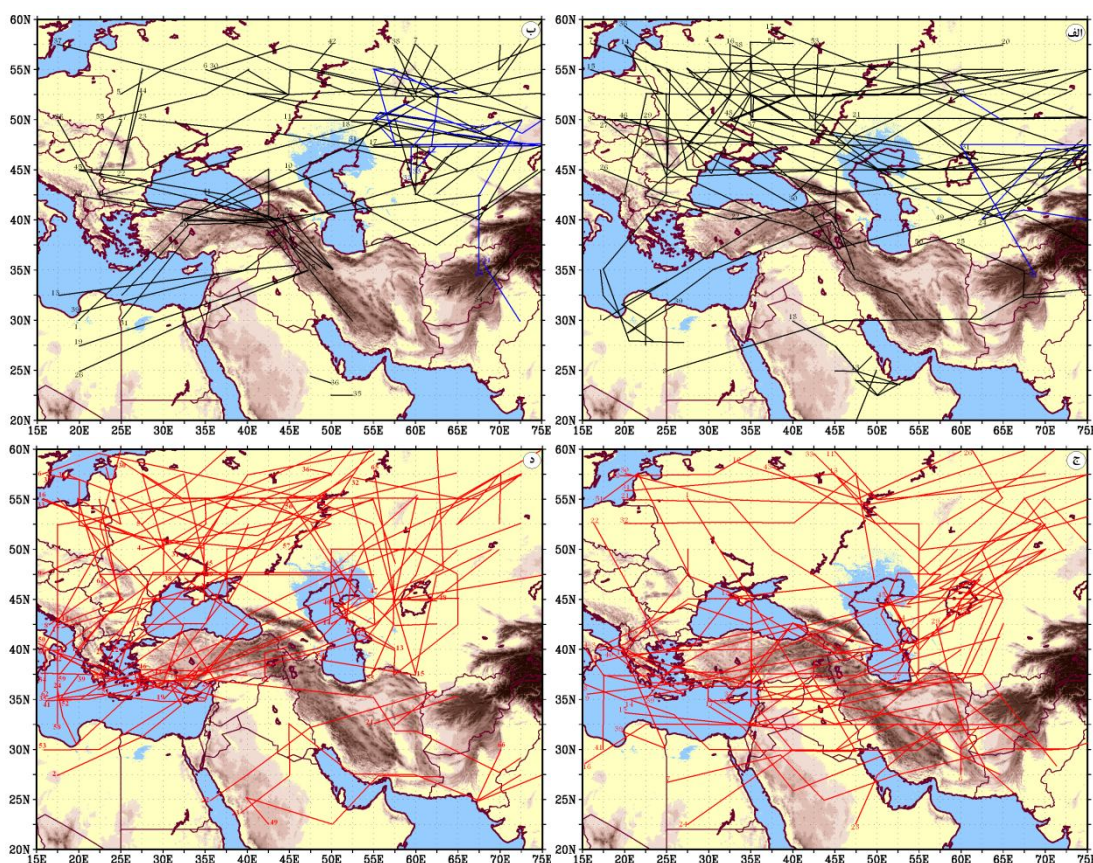
### ۳-۳ مسیر چرخندها و واچرخندها و فراوانی وقوع آنها

بررسی‌های صورت گرفته در بخش‌های قبلی بیانگر آن است که فراوانی وقوع مراکز کم‌فشار و پُرفشار روی منطقه، همچنین مسیر جابه‌جایی این مراکز فشاری، به‌ویژه در محدوده شرق اروپا و شمال دریای سیاه، نقش بسیار مهمی در پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر دارند. براین اساس، در این بخش از تحقیق، میزان فعالیت سامانه‌های کم‌فشار و پُرفشار و مسیرهای جابه‌جایی آنها به تفکیک برای ۱۰ ماه مرطوب و ۱۰ ماه خشک بررسی می‌شود. شکل‌های ۱۰-الف و ۱۰-ب موقعیت مراکز پُرفشار و مسیر جابه‌جایی روزانه

پُرفشار سبیری در ایجاد دوره‌های خشک و کم‌بارش در سواحل جنوبی دریای خزر دلالت دارد.

بررسی موقعیت چرخندها و مسیر جابه‌جایی روزانه آنها، تفاوت‌های دیگری را برای دوره‌های خشک و مرطوب آشکار می‌سازد؛ بدین ترتیب که در ماه‌های مرطوب، هم‌زمان با افزایش میزان فعالیت مراکز پُرفشار در کریدور شمال دریای سیاه، میزان فعالیت چرخندها در منطقه خاورمیانه (پایین تر از عرض  $45^\circ$  شمالی) در قیاس با دوره‌های خشک به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد (شکل ۱۰-ج). در واقع می‌توان گفت در طول دوره‌های مرطوب و پُربارش در سواحل جنوبی دریای خزر، شکل‌گیری مکرر پشته‌های قوی در عرض‌های میانی و در حدفاصل کوه‌های اورال تا شرق اروپا، عمیق شدن مکرر

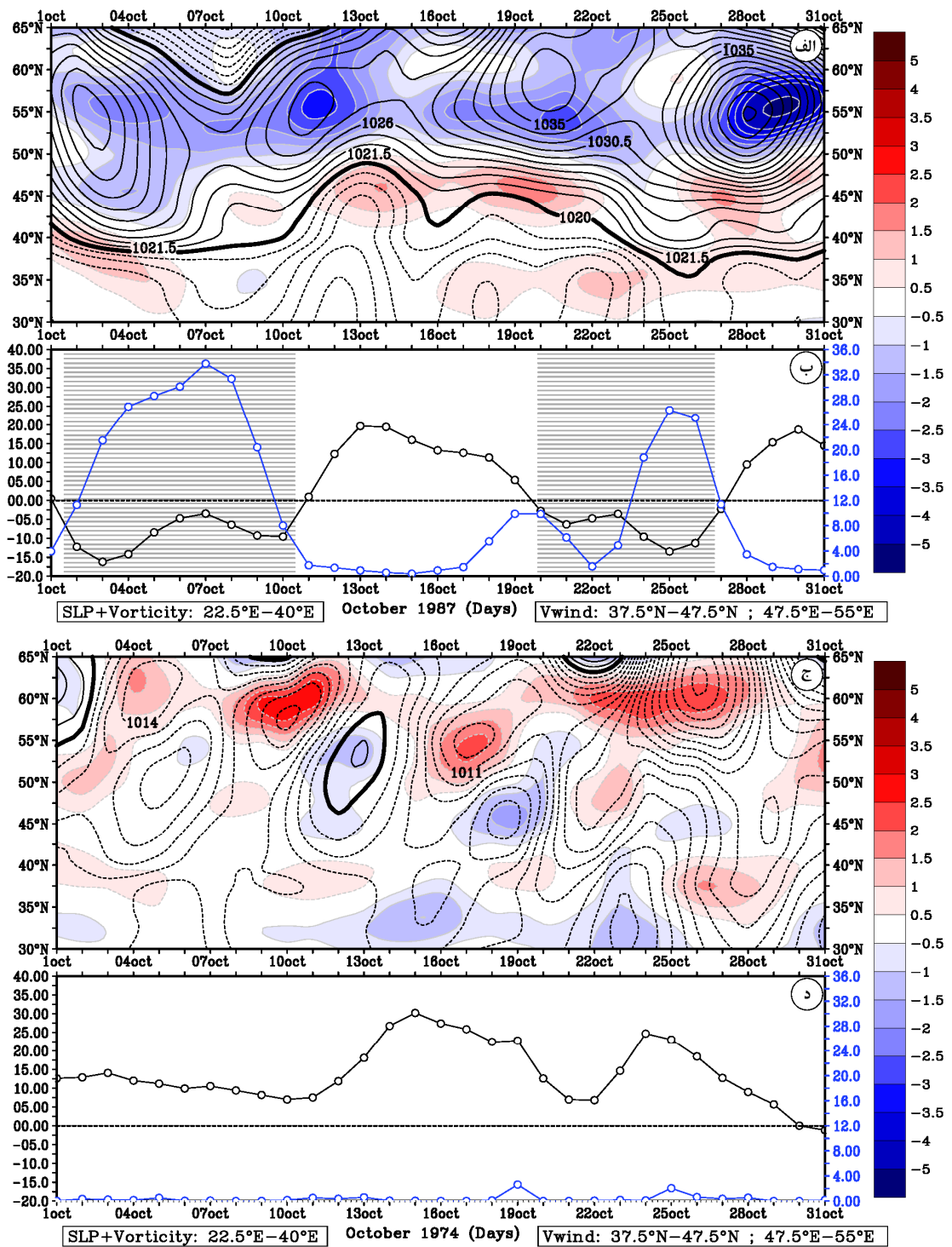
کریدور واقع در شمال دریای سیاه را نشان می‌دهد. نکته جالب‌توجه در ارتباط با دوره‌های خشک آن است که، علی‌رغم کاهش چشمگیر میزان فعالیت مراکز پُرفشار بر جانب شمالی دریای سیاه، میزان فعالیت مراکز پُرفشار در پایین‌تر از عرض  $45^\circ$  شمالی بر غرب خاورمیانه، همچنین بر جانب شرقی دریای خزر افزایش یافته است (شکل ۱۰-ب). به نظر می‌رسد که پیدایش دوره‌های خشک در سواحل جنوبی دریای خزر، با افزایش میزان فعالیت سامانه‌های واچرخندی بر جانب شرقی دریای خزر، همچنین افزایش فعالیت پُرفشار سبیری (خط ممتد آبی‌رنگ) در این منطقه در ارتباط باشد. نتیجه فوق، شواهد عرضه شده در بخش‌های گذشته (شکل‌های ۴-و، ۷-ب و ۸-ح) را مورد تأیید مجدد قرار می‌دهد و بر نقش



شکل ۱۰. مسیرهای روزانه واچرخندها (شکل‌های بالا) و چرخندها (شکل‌های پایین) برای ۱۰ ماه مرطوب (سمت راست) و ۱۰ ماه خشک (سمت چپ). خطوط

ممتد سیاه، سرخ و آبی به‌ترتیب مسیرهای روزانه واچرخندها، چرخندها و پُرفشار سبیری را نشان می‌دهند.





شکل ۱۱. نمودار هافمولر (y-t) نشان‌دهنده مقادیر متوسط روزانه فشار در تراز دریا، تاوایی نسبی و مولفه نصف‌النهاری باد در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال به‌همراه مقادیر منطقه‌ای بارش برای مرطوب‌ترین (الف) و (ب) و خشک‌ترین ماه (ج) و (د) در سواحل جنوبی دریای خزر. در ترسیم شکل، از محدوده‌های جغرافیایی a, b و c در شکل ۲ استفاده شده است. محور افقی در شکل‌ها بیانگر زمان است و در شکل‌های (ب) و (د) خطوط ممتد سیاه و آبی به‌ترتیب بیانگر شدت باد نصف‌النهاری و بارش منطقه‌ای در سواحل جنوبی دریای خزر می‌باشند. هاشورها در شکل‌های (ب) و (د) بارش‌های منطقه‌ای بیش از ۵ میلی‌متر را نشان می‌دهند.

زیاد را تجربه می‌کند، برعکس در اکتبر ۱۹۷۴، منطقه کریدور شمالی به دفعات تحت تسلط گردش چرخندی و مقادیر فشار سطحی کمتر از ۱۰۲۰ هکتوپاسکال قرار دارد. می‌توان نتیجه تفاوت یادشده در منطقه کریدور شمالی را با تفاوت‌های ایجاد شده از نظر شدت و جهت باد روی دریای خزر و میزان بارش در سواحل جنوبی خزر مقایسه کرد؛ بدین ترتیب که در ماه اکتبر ۱۹۸۷ دریای خزر تعداد ۱۷ روز با جریان مسلط و گسترده شمالی (خط ممتد سیاه در شکل ۱۱-ب) را تجربه کرده که به تبع آن سواحل جنوبی دریای خزر بارش‌های قابل ملاحظه‌ای را (خط ممتد آبی و هاشورها در شکل ۱۱-ب) دریافت کرده است. در مقابل، در ماه اکتبر ۱۹۷۴، جریان مسلط روی دریای خزر به‌طور کامل جنوبی است (خط ممتد سیاه در شکل ۱۱-د) و تقریباً در هیچ‌یک از روزهای ماه اکتبر ۱۹۷۴ سواحل جنوبی دریای خزر بارش منطقه‌ای قابل توجهی دریافت نکرده است (شکل ۱۱-د).

#### ۳-۴ بررسی فعالیت سامانه‌های بندالی

همان‌طور که در بخش‌های قبلی اشاره شد (شکل‌های ۴-الف، ۴-ب، ۸-ط و ۸-ی)، وقوع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر بیش از آنکه به سامانه‌های همدید و گردش‌های منطقه‌ای و بزرگ‌مقیاس جنب حاره‌ای و یا حاره‌ای مرتبط باشد، از ویژگی‌های همدید و تحولات بزرگ‌مقیاس گردش جو در عرض‌های برون‌حاره متأثر می‌شود. اگرچه تاکنون، پژوهش‌های بسیار اندکی نقش واداشت دینامیکی برون‌حاره در وقوع بارش و تغییرات زمانی و مکانی آن در سواحل جنوبی دریای خزر را مورد توجه قرار داده‌اند، اما نتایج اولیه تحقیق حاضر حاکی از نقش برجسته و بسیار مهم گردش بزرگ‌مقیاس برون‌حاره و نحوه فعالیت امواج غربی در پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر است. در واقع،

ناوه امواج غربی را در منطقه شرق مدیترانه و غرب خاورمیانه در پی دارد. براین اساس، فعالیت زیاد مراکز پُرفشار در کریدور شمالی (بالا تر از عرض  $45^\circ$  شمالی و بر جانب شمالی دریای سیاه)، همراه با افزایش فعالیت چرخندها در کریدور جنوبی (پایین تر از عرض  $45^\circ$  شمالی، روی شرق مدیترانه و غرب خاورمیانه) از مشخصه‌های بارز دوره‌های پُربارش در سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می‌شود (شکل ۱۰-الف و ۱۰-ج). در طی دوره‌های خشک، الگوی معکوسی از فعالیت چرخندها و واچرخندها و مسیر جابه‌جایی روزانه آنها روی منطقه به چشم می‌خورد؛ بدین ترتیب که فعالیت بالای چرخندها در کریدور شمالی (کاهش فعالیت مراکز پُرفشار در کریدور شمالی) با افزایش فعالیت مراکز پُرفشار در کریدور جنوبی همراه می‌شود و این دو از مشخصه‌های بارز دوره‌های خشک در سواحل جنوبی دریای خزر به شمار می‌آیند.

به‌منظور فراهم کردن درک بهتری از نقش کریدور شمالی بر وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل خزری، نمودارهای هافمولر برای مرطوب‌ترین (اکتبر ۱۹۸۷) و خشک‌ترین ماه (اکتبر ۱۹۷۴) در طول دوره بررسی تهیه شد. در شکل‌ها، وضعیت متوسط روزانه تاوایی نسبی و فشار تراز دریا در کریدور شمالی، جهت و شدت جریان هوا روی دریای خزر (محدوده b در شکل ۲) و بارش منطقه‌ای در سواحل جنوبی خزر (محدوده c در شکل ۲) به‌طور هم‌زمان و به تفکیک برای ماه خشک و ماه مرطوب نشان داده شد. شکل‌های ۱۱-الف و ۱۱-ج مقادیر متوسط روزانه فشار در تراز دریا و تاوایی در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال را در محدوده کریدور شمالی به ترتیب برای ماه اکتبر ۱۹۸۷ و اکتبر ۱۹۷۴ نشان می‌دهند.

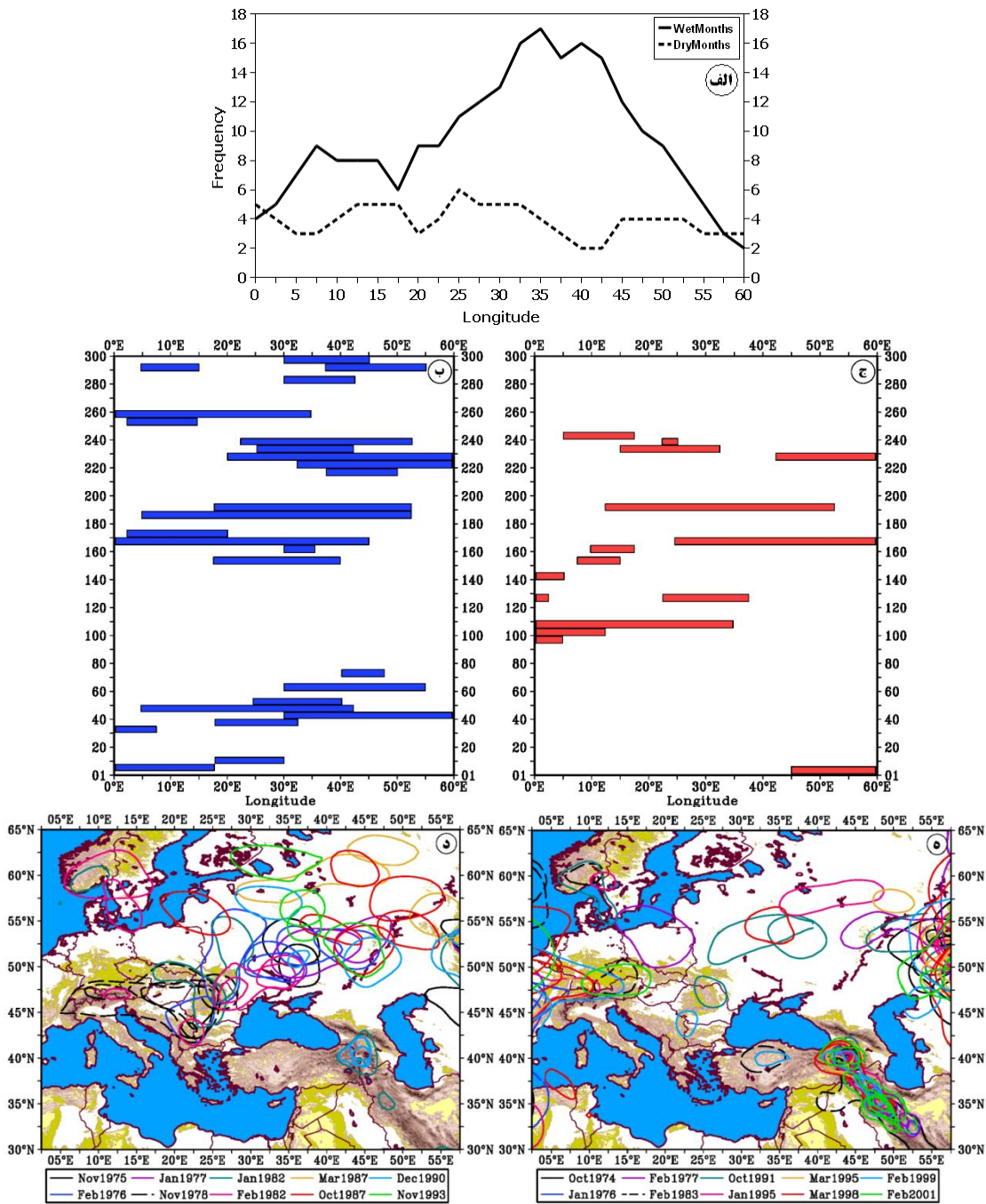
با توجه به شکل‌ها، درحالی که در اکتبر ۱۹۸۷، منطقه کریدور شمالی در بالاتر از عرض  $45^\circ$  شمالی، در همه روزها استقرار مراکز پُرفشار، تاوایی منفی و فشار سطحی

در این تحقیق (طول جغرافیایی صفر تا  $60^{\circ}$  شرقی)؛ به‌ویژه نیمه غربی آن، از فعال‌ترین مراکز وقوع سامانه‌های بندالی در نیمکره شمالی به شمار می‌آید، به‌طوری که بیشترین میزان فعالیت فصلی و سالانه سامانه‌های بندالی در کل نیمکره شمالی در این محدوده، به‌ویژه در طول جغرافیایی صفر تا  $45^{\circ}$  شرقی، گزارش شده است (باریوپدرو و همکاران، ۲۰۰۶؛ دیانو و همکاران، ۲۰۰۶؛ پلی و هاسکینز، ۲۰۰۳). با در نظر گرفتن پژوهش شلگی و همکاران (۲۰۱۱)، میزان متوسط سالانه سامانه‌های بندآمده روی نیمه غربی این منطقه (صفر تا  $30^{\circ}$  شرقی) به حدود ۱۸ مورد بالغ می‌شود. این تعداد سامانه با لحاظ کردن حداقل ۵ روز ماندگاری محاسبه شده است. نکته جالب دیگری که در بررسی شکل ۱۲-الف می‌باید به آن اشاره کرد، مطابقت طول جغرافیایی بالاترین میزان فعالیت سامانه‌های بندالی (طول  $32/5^{\circ}$  تا  $35^{\circ}$  شرقی) با منطقه پیشینه همبستگی بین بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر و ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (شکل ۸-الف) است. درعین حال، می‌توان ظهور سامانه بندالی در الگوی متوسط ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال مربوط به دوره‌های مرطوب (شکل ۴-الف) را ناشی از وجود پیشینه فعالیت سامانه‌های بندالی در این طول جغرافیایی (طول  $30^{\circ}$  تا  $35^{\circ}$  شرقی) دانست.

به‌منظور فراهم کردن درک کامل‌تری از میزان تأثیر سامانه‌های بندالی بر بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر، فراوانی زمانی وقوع سامانه‌های بندالی با لحاظ کردن حداقل ماندگاری ۵ روز در امتداد طول جغرافیایی در شکل‌های ۱۲-ب و ۱۲-ج نشان داده شد. علاوه‌براین، برای برقراری ارتباط بین فعالیت سامانه‌های بندالی با شرایط همدیدی حاکم در ترازهای زیرین جو، همه مراکز پُرفشار به تفکیک برای ۱۰ ماه خشک و ۱۰ ماه مرطوب برای محدوده مورد بررسی استخراج شد. شکل‌های ۱۲-د و ۱۲-ه توزیع فضایی مراکز پُرفشار را

علی‌رغم آنکه برخی از خصوصیات بارش از جمله شدت وقوع، تغییرات مکانی و توزیع فصلی آن در سواحل جنوبی دریای خزر شدیداً از عوامل محلی و منطقه‌ای متأثر می‌شود (کارخانه، ۱۳۹۰؛ بیات، ۱۳۹۰). درعین حال، به نظر می‌رسد که برخی از ویژگی‌های بارش در سواحل جنوبی دریای خزر از جمله وردایی‌های سال به سال در مقدار بارش و وقوع دوره‌های خشک و مرطوب، به‌طور قابل ملاحظه‌ای از واداشت‌های دینامیکی برون‌حاره و به‌طور خاص نحوه فعالیت امواج غربی در منطقه اروپا و غرب روسیه پیروی می‌کند. به همین علت، در این بخش میزان فعالیت سامانه‌های بندالی در رابطه با پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. شایان ذکر است که معصوم‌پور (۱۳۸۴) در بررسی چند ماه خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر به نقش سامانه‌های بندالی در پیدایش ماه‌های پُرفشار و دوره‌های مرطوب اشاره کرده است.

شکل ۱۲-الف میزان فعالیت سامانه‌های بندالی را براساس شاخص TM90 در امتداد طول جغرافیایی صفر تا  $60^{\circ}$  شرقی به تفکیک برای دوره‌های خشک و مرطوب نشان می‌دهد. مقایسه دو نمودار مربوط به ۱۰ ماه خشک و ۱۰ ماه مرطوب، به‌وضوح بیانگر فعالیت برجسته سامانه‌های بندالی در طول دوره‌های مرطوب روی منطقه مورد بررسی است. درعین حال، در طول دوره‌های مرطوب پیشینه فعالیت سامانه‌های بندالی در حدفاصل طول جغرافیایی  $30^{\circ}$  تا  $45^{\circ}$  شرقی مشاهده می‌شود، جایی که فراوانی سامانه‌های بندالی در طول دوره از ۱۲ مورد بیشتر است و در طول جغرافیایی  $35^{\circ}$  شرقی به بالاترین میزان خود یعنی ۱۷ سامانه رسیده است. در مقابل، در طول ماه‌های خشک، هیچ‌یک از طول‌های جغرافیایی مورد بررسی تعداد سامانه‌ای بیش از ۶ مورد را تجربه نکرده‌اند. براساس تحقیقات صورت گرفته، محدوده مورد بررسی



**شکل ۱۲.** (الف) فراوانی وقوع سامانه‌های بندالی در امتداد طول جغرافیایی به تفکیک برای ۱۰ ماه مرطوب (خط ممتد) و ۱۰ ماه خشک (خط چین). (ب) و (ج) نمودارهای هافملر (X-t)، فراوانی زمانی وقوع سامانه‌های بندالی را در امتداد طول جغرافیایی به ترتیب برای ۱۰ ماه مرطوب و ۱۰ ماه خشک نشان می‌دهند. در نمودارها، محور افقی طول جغرافیایی و محور قائم روزها را نشان می‌دهد. (د) و (ه) هم‌فشار بسته مرکزی و اچرخندها در تراز دریا به ترتیب برای ۱۰ ماه مرطوب و ۱۰ ماه خشک. و اچرخندهای مربوط به هر ماه با رنگی خاص نشان داده شده‌اند. برای شناسایی ماه‌ها به جدول علامت‌ها مراجعه کنید. در همه شکل‌ها، وضعیت سامانه‌ها براساس متوسط‌های ۵ روزه (pentad) نشان داده شده است.

اگر تشکیل سامانه‌های بندالی در منطقه شرق اروپا را عامل مهمی برای شکل‌گیری واچرخندهای سطحی بدانیم، در طول ۱۰ ماه خشک، به علت تعداد کم سامانه‌های بندالی و درعین حال شرایط نامناسب سامانه‌های شبه‌بندالی موجود، امکان تشکیل واچرخندهای سطحی در محدوده شرق اروپا به‌طور محسوس کاهش یافته است (شکل ۱۲-ه). با توجه به نتایج تحقیق حاضر، کاهش تعداد واچرخندها در محدوده دریای سیاه و شرق اروپا، کاهش محسوس تعداد روزهای با باد شمالی روی دریای خزر را در پی دارد که درنهایت به کاهش قابل‌ملاحظه بارش در سواحل جنوبی دریای خزر و پیدایش دوره‌های خشک در این منطقه منجر می‌شود. شکل ۱۲-ه کاهش محسوس واچرخندها را در محدوده دریای سیاه و شرق اروپا در طول ماه‌های خشک نشان می‌دهد.

در مقابل، کثرت وقوع سامانه‌های بندالی در طی دوره‌های مرطوب (شکل ۱۲-ب)، موجب تشکیل تعداد قابل‌ملاحظه‌ای مراکز پُرفشار در محدوده مرکز اروپا، شرق اروپا، شمال دریای سیاه و جانب شمالی دریای خزر شده است (شکل ۱۲-د). نکته جالب آنکه، از میان ۱۰ ماه مرطوب، تعداد ۸ ماه آن حداقل ۱۰ روز (۲ دوره) سامانه‌های بندالی را تجربه کرده‌اند. جالب‌تر آنکه، ۴ ماه از ۱۰ ماه مرطوب (فوریه ۱۹۷۶، فوریه ۱۹۸۲، اکتبر ۱۹۸۷ و نوامبر ۱۹۹۳)، بیش از ۲۰ روز متوالی (۴ دوره) سامانه‌های بندالی گسترده‌ای را تجربه کرده‌اند. موقعیت واچرخندهای تشکیل شده در طی ماه‌های یاد شده در شکل ۱۲-د قابل‌شناسایی است. در میان ماه‌های مرطوب، ماه اکتبر ۱۹۸۷ با بیش از ۵ دوره (۲۵ روز) تداوم فعالیت سامانه‌های بندالی، بیشترین میزان فعالیت جریان‌های بندآمده را به خود اختصاص داده است. از جمله ویژگی‌هایی که می‌توان برای سامانه‌های بندالی ۱۰ ماه مرطوب برشمرد، تداوم زمانی نسبتاً بالای بندال‌های تشکیل شده، گستره طولی زیاد سامانه‌ها و مهم‌تر از همه،

براساس هم‌فشار بسته مرکزی واچرخندهای استخراج شده به تفکیک برای دوره‌های ۵ روزه در طول دوره‌های مرطوب و خشک نشان می‌دهد.

شکل ۱۲-ج نشان‌دهنده میزان فعالیت سامانه‌های بندالی در طول ماه‌های خشک است. شکل یادشده به‌وضوح بیانگر آن است که میزان فعالیت سامانه‌های بندالی در طول ۱۰ ماه خشک بسیار پایین‌تر از دوره‌های زمانی مشابه در ماه‌های مرطوب است (شکل ۱۲-ب)، درعین حال، در طول ۱۰ ماه خشک، بخش اعظم سامانه‌های بندآمده شرایط کامل یک بندال واقعی را احراز نمی‌کنند. توضیح بیشتر اینکه برای آنکه یک سامانه بندآمده یک سامانه بندالی واقعی محسوب شود، علاوه بر تداوم در حداقل ۵ روز متوالی، می‌باید حداقل  $10^{\circ}$  طول جغرافیایی را اشغال کند. این در حالی است که بسیاری از سامانه‌های بندآمده در طول ۱۰ ماه خشک، حداقل گسترش طولی برای در نظر گرفتن شدن به‌منزله یک بندال واقعی را ندارند و درواقع یک شبه‌بندال محسوب می‌شوند. درعین حال به این نکته نیز می‌باید توجه داشت که سامانه‌های بندالی بزرگ و واقعی علاوه بر گسترش طولی زیاد، تداوم زمانی زیادی نیز دارند. تداوم زمانی زیاد که بنابر تعریف اولیه رکس (۱۹۵۰) نمی‌باید از ۱۰ روز کمتر باشد، فرصت لازم را برای ایجاد بی‌نظمی‌های منطقه‌ای گردش جو، آن‌چنانکه از یک سامانه بندالی واقعی انتظار می‌رود، فراهم می‌آورد. با توجه نکته فوق، در طول ۱۰ ماه خشک فقط یک مورد بندال واقعی که تداوم ۱۵ روزه دارد، مشاهده شده است (سامانه‌ای که در فوریه ۱۹۸۳ و در طی روزهای ۹۵م تا ۱۱۰م از دوره خشک اتفاق افتاده و برجانب غربی منطقه استقرار داشته است). نکته دیگری که می‌باید در بررسی سامانه‌های بندالی دوره‌های خشک متذکر شد آن است که بخش اعظم این شبه‌سامانه‌ها بسیار دور از دریای خزر و روی اروپای غربی شکل گرفته‌اند. با توجه به جمیع موارد فوق،

محلی یکی از بارزترین ویژگی‌های موجود در ارتباط با میزان فعالیت سامانه‌های پُرفشار در منطقه مورد بررسی محسوب می‌شوند. شاید بتوان این مسئله را چنین توضیح داد که در دوره‌های خشک به سبب کمتر متاثر شدن منطقه خاورمیانه از سامانه‌های برون‌حاره (یا به اصطلاح بالا بودن میزان شاخص مداری و کاهش جریانات نصف‌النهاری روی خاورمیانه) شرایط بازتابش و سرمایه‌های محلی امکان شکل‌گیری مراکز پُرفشار کوهستانی را افزایش می‌دهد.

یافته‌های این بخش، بیانگر آن است که افزایش فعالیت سامانه‌های بندالی در محدوده شرق اروپا نقش بسیار مهمی در بروز دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر دارد.

۳-۵ کربدور دریای سیاه و بارش در سواحل خزری نتایج پژوهش حاضر به‌طور آشکار مبین وجود یک رابطه فیزیکی علی و درعین حال بلافصل بین تغییرات فشار تراز دریا در محدوده دریای سیاه و وقوع بارش در سواحل جنوبی دریای خزر است. در واقع می‌توان از تغییرات فشار تراز دریا در منطقه دریای سیاه (کربدور دریای سیاه) به‌منزله یک شاخص منطقه‌ای قدرتمند یا «پیش‌بین» به‌منظور تبیین ویژگی‌های بارش در سواحل جنوبی دریای خزر استفاده کرد. در این ارتباط، واکر (۱۹۲۴) معیارهای زیر را برای تعیین یک پیش‌بین مناسب بر شمرده است که می‌تواند در ارزیابی شاخص فوق مورد استفاده قرار گیرد (واکر، ۱۹۲۴؛ وبستر و یانگ، ۱۹۹۲):

- از نظر گستره مکانی، پیش‌بین (Predictor)، پیش‌بینی شونده (Predictant) را در بر گرفته و در حیطه فضایی تأثیر خود داشته باشد.

- از نظر وقوع، پیش‌بین می‌باید از مقیاس زمانی بسیار طولانی‌تری در قیاس با پدیده مورد پیش‌بینی برخوردار باشد. این امر از این نظر حائز اهمیت

تشکیل بخش عمده سامانه‌های بندالی در طول  $30^{\circ}$  تا  $35^{\circ}$  شرقی (شکل ۱۲-الف و ۱۲-ب) و میل به تشکیل آنها در بخش شرقی منطقه، که سبب تشکیل تعداد بی شماری مراکز پُرفشار در محدوده دریای سیاه (غرب، شمال غرب، شمال و شمال شرق دریای سیاه) شده است (شکل ۱۲-د). در مقابل، به این نکته نیز می‌باید اشاره کرد که در طی دو ماه مرطوب نوامبر ۱۹۷۸ و ژانویه ۱۹۸۲ (روزهای ۹۱م تا ۱۲۱م در شکل ۱۲-ب) حتی یک مورد سامانه بندالی نیز شکل نگرفته است. براساس شکل ۱۲-د هر یک از دو ماه یاد شده، تعداد ۲ تا ۳ واچرخند را در حول و حوش دریای سیاه تجربه کرده‌اند. این امر بیانگر آن است که علی‌رغم نقش مهم سامانه‌های بندالی در تشکیل واچرخندها، در برخی از ماه‌های مرطوب، امکان تشکیل واچرخند و به‌دنبال آن امکان وقوع بارش‌های گسترده و بالاتر از نرمال، بدون حضور و تسلط سامانه‌های بندالی نیز وجود دارد. نکته دیگر آنکه، به‌نظر می‌رسد که کاهش فعالیت واچرخندها در طول ماه‌های خشک روی منطقه دریای سیاه و به‌طور کلی اروپا، با افزایش میزان فعالیت سامانه‌های واچرخندی در شرق دریای خزر، مناطق کوهستانی غرب و شمال غرب ایران و متتالیه غرب اروپا همراه است (شکل ۱۲-ه). در حقیقت، شکل ۱۲-ه تایید دیگری است بر این نظریه که، وقوع دوره‌های خشک و کم‌بارش در سواحل جنوبی دریای خزر با دفعات زیاد گسترش غرب‌سوی پُرفشار سبیری و افزایش فعالیت آن بر جانب شرقی دریای خزر در ارتباط است. همچنین مقایسه دو شکل ۱۲-د و ۱۲-ه نشان‌دهنده آن است که میزان فعالیت و فراوانی وقوع مراکز پُرفشار محلی در غرب ایران و منطقه قفقاز می‌تواند معیار خوبی برای شناسایی و تفکیک دوره‌های مرطوب و خشک در منطقه خزر باشد. براین‌اساس، علی‌رغم تعداد بسیار اندک و فراوانی کم این مراکز پُرفشار محلی در دوره‌های مرطوب (شکل ۱۲-د)، در دوره‌های خشک استقرار مراکز پُرفشار



دارد. نکته جالب توجه اینکه، تغییرات روزانه فشار در کریدور دریای سیاه با بارش در سایر مناطق ایران همبستگی معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. این امر به‌وضوح نشان می‌دهد که سازوکار وقوع بارش در منطقه خزری با سازوکار وقوع بارش در سایر مناطق کشور تفاوت دارد. در واقع همان‌طوری که شکل ۱۳-ب نشان می‌دهد، برخلاف سایر مناطق ایران، بارش‌های منطقه خزری به‌شدت از تغییرات روزانه فشار در کریدور دریای سیاه متأثر می‌شود. ارزش شاخص فوق، زمانی بیشتر آشکار می‌شود که ارتباط تغییرات ماهانه فشار در کریدور دریای سیاه (BSPI) با تغییرات بارش در سواحل خزری و تغییرات هم‌زمان جهت و شدت باد روی دریای خزر مورد ارزیابی قرار گیرد. شکل‌های ۱۳-د و ۱۳-ه به ترتیب بیانگر میزان نقش تغییرات فشار در کریدور دریای سیاه بر ویژگی‌های بارش و ساختار باد در منطقه خزری هستند. با توجه به شکل‌ها، بارش‌های ماهانه بیشتر در سواحل جنوبی دریای خزر، ناشی از مقادیر فشار ماهانه بیشتر در کریدور دریای سیاه است (با همبستگی منطقه‌ای ۰/۵۳ در شکل ۱۳-د). درعین‌حال، مقادیر متوسط فشار ماهانه بالاتر در کریدور دریای سیاه، وقوع بادهای شمالی بیشتر را روی دریای خزر در پی دارد. در واقع تغییرات فشار در کریدور دریای سیاه، هم سمت و هم سرعت باد را روی دریای خزر کنترل می‌کند (با همبستگی منطقه‌ای ۰/۶۰ در شکل ۱۳-ه). به‌عبارت‌دیگر، تغییرات فشار در کریدور دریای سیاه به‌واسطه کنترل شرایط وقوع باد روی دریای خزر، وقوع بارش در سواحل جنوبی این دریا را نیز کنترل می‌کند. شکل ۱۳-ج میزان همبستگی فضایی بین تغییرات ماهانه سمت و سرعت مؤلفه نصف‌النهاری باد روی دریای خزر و تغییرات فشار روی منطقه را نشان می‌دهد. همه یافته‌ها، نقش بنیادین تغییرات فشار در منطقه دریای سیاه را بر ساختار باد و ویژگی‌های بارش در منطقه خزری تأیید می‌کند. بر همین اساس، تغییرات فشار تراز دریا در

است که پیش‌بین، زمان کافی برای درک و پیش‌بینی رفتار پدیده پیش‌بینی شونده را در اختیار قرار دهد.

- پیش‌بین می‌باید یک گردش «فعال (Active)» و پیش‌بینی شونده می‌باید یک گردش یا پدیده «غیرفعال (Passive)» باشد. درعین‌حال، وجود یک رابطه علی بین پیش‌بین و پیش‌بینی شونده الزامی است تا تبیین فیزیکی روابط بین دو پدیده امکان پذیر شود.

با در نظر گرفتن معیارهای فوق، می‌توان گفت تغییرات فشار تراز دریا در کریدور دریای سیاه همه شرط‌های لازم را برای انتخاب به‌منزله پیش‌بین دارد و می‌توان آن را درحکم یک پیش‌بین قوی برای پیش‌بینی بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر مورد استفاده قرار داد. درعین‌حال، از آنجا که تغییرات فشار در کریدور دریای سیاه تابعی از میزان فعالیت امواج غربی در منطقه برون‌حاره شمالی است، بر همین اساس، شاخص فوق، امکان استفاده در سراسر سال را خواهد داشت. در واقع تغییرات فشار در کریدور دریای سیاه، می‌تواند هم برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت (پیش‌بینی عملیاتی) و هم در بررسی‌های درازمدت بارش در سواحل جنوبی دریای خزر مورد استفاده قرار گیرد. برای فراهم کردن درک بهتر از نحوه عمل این پیش‌بین در مقیاس‌های کوتاه مدت (پیش‌بینی‌های عملیاتی) و درازمدت (پیش‌بینی‌های اقلیمی)، میزان همبستگی فضایی بین تغییرات درازمدت فشار هوا در کریدور دریای سیاه با بارش‌های منطقه‌ای در گستره ایران محاسبه شد. بررسی با استفاده از داده‌های روزانه و ماهانه برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۴-۲۰۰۴) و برای ماه‌های اکتبر تا مارس صورت گرفت. با توجه به شکل ۱۳-الف، تغییرات روزانه فشار تراز دریا در کریدور دریای سیاه، با وقوع بارش و وردایی زمانی آن در سواحل جنوبی و جنوب غربی دریای خزر همبستگی مثبت قوی

خزر، ساختار گردش منطقه‌ای جو مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن هدف اصلی تحقیق، یافته‌ها ویژگی‌های زیر را در ارتباط با دوره‌های خشک و مرطوب نشان می‌دهند.

- بررسی وضعیت همدیدی بیانگر آن است که استقرار یک پشته/پُراتفاح قوی در ترازهای میانی جو به همراه شکل‌گیری واچرخندی قوی در ترازهای زیرین بر جانب شمالی دریای سیاه، از ویژگی‌های اصلی دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می‌شود. استقرار پشته یاد شده در شرق اروپا با شکل‌گیری ناوهای در محدوده شرق مدیترانه همراه می‌شود که در ادامه به

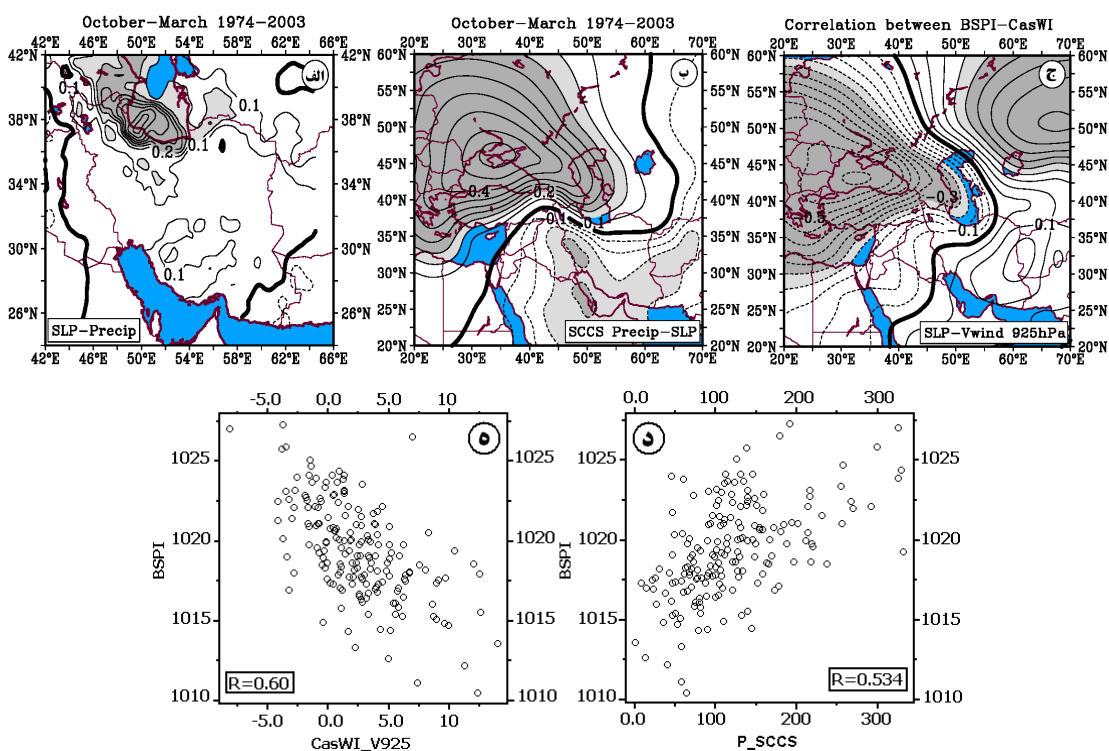
کریدور دریای سیاه، به‌منزله یک شاخص اقلیمی، در بررسی و تحلیل منطقه‌ای خصوصیات بارش در سواحل جنوبی دریای خزر پیشنهاد می‌شود.

$$BSPI = SLP(40^{\circ}N-50^{\circ}N; 22.5^{\circ}E-40^{\circ}E)$$

جایی که BSPI نماد تغییرات فشار در کریدور دریای سیاه (Black Sea Pressure Index) و SLP میزان متوسط روزانه فشار تراز دریا در محدوده جغرافیایی دریای سیاه (کریدور دریای سیاه) است (محدوده a در شکل ۲).

#### ۴ نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به‌منظور تبیین سازوکار حاکم بر وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای



**شکل ۱۳.** میزان همبستگی بین مقادیر فشار در کریدور دریای سیاه (BSPI) و بارش و باد در منطقه خزری. همبستگی‌ها در دو مقیاس روزانه (الف و ب) و ماهانه (ج، د و ه)، برای ماه‌های اکتبر تا مارس در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۴-۲۰۰۳) محاسبه شده است. (الف) همبستگی بین تغییرات روزانه فشار هوا در کریدور دریای سیاه (محدوده a در شکل ۲) و بارش روی ایران. (ب) همبستگی بین بارش‌های روزانه سواحل جنوبی دریای خزر (محدوده c در شکل ۲) و فشار در تراز دریا. (ج) همبستگی بین مقادیر متوسط ماهانه باد نصف‌النهاری روی دریای خزر (محدوده b در شکل ۲) و فشار در تراز دریا. (د) نمودار پراکنش بارش در سواحل جنوبی دریای خزر (P\_SCCS) و فشار در کریدور دریای سیاه (BSPI) در مقیاس ماهانه. (ه) نمودار پراکنش مؤلفه نصف‌النهاری باد روی دریای خزر (محدوده b در شکل ۲ | CasWI\_V925) در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال و BSPI. همبستگی‌های معنی‌دار در سطوح ۹۵٪ و ۹۹٪ به‌ترتیب با رنگ خاکستری کم‌رنگ و پررنگ نشان داده شده است. در محاسبه همبستگی روزانه از میانگین متحرک ۵ عضوی استفاده شد.



منطقه‌ای بارش در سواحل جنوبی دریای خزر استفاده کرد. یافته‌ها مبین وجود یک همبستگی بسیار قوی بین تغییرات میزان فشار تراز دریا در منطقه دریای سیاه و وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر است. درحالی‌که افزایش فشار در منطقه دریای سیاه با وقوع دوره‌های مرطوب در سواحل خزری همراه می‌شود، کاهش میزان فشار هوا در منطقه یادشده، سبب پیدایش دوره‌های خشک در سواحل جنوبی دریای خزر می‌شود. در این ارتباط، بیشینه همبستگی بین بارش خزری و فشار تراز دریا بر جانب غربی دریای سیاه مشاهده می‌شود. یافته‌ها بیانگر آن است که با استقرار مراکز پُرفشار در شرق اروپا و افزایش گردش و اچرخندی در منطقه دریای سیاه، در نتیجه بروز یک سری بازخورد مثبت، شدت باد شمالی روی دریای خزر، صعود هوا در حوضچه جنوبی دریای خزر و درنهایت بارش در سواحل خزری افزایش می‌یابد. نتایج همبستگی‌ها وجود شرایطی معکوسی را برای دوره‌های خشک نشان می‌دهد.

- بررسی مسیر جابه‌جایی روزانه چرخندها و اچرخندها و فراوانی وقوع آنها در طول دوره‌های خشک و مرطوب بیانگر آن است که کریدور شمال دریای سیاه در حدفاصل کوه‌های اورال تا غرب روسیه، نقش بسیار مهمی در پیدایش دوره‌های خشک و مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر دارد. یافته‌ها مبین آن است که در طول دوره‌های مرطوب، میزان فعالیت و اچرخندها در کریدور شمال دریای سیاه در حدفاصل عرض  $45^{\circ}$  تا  $60^{\circ}$  شمالی به‌طور برجسته‌ای افزایش می‌یابد. درحالی‌که در طول دوره‌های خشک، کاهش میزان فعالیت و اچرخندها در کریدور شمالی با افزایش محسوس فعالیت چرخندها در این منطقه همراه می‌شود. درعین‌حال میزان فعالیت و اچرخندها در منطقه خاورمیانه و فعالیت پُرفشار سیبری بر جانب شرقی دریای خزر افزایش می‌یابد.

- بررسی روزانه میزان فعالیت و فراوانی وقوع

شکل‌گیری هم‌زمان جریانات شمالی روی دریای خزر و جریانات جنوبی در مناطق داخلی ایران و پیدایش یک منطقه همگرایی و صعود هوا در منتهی‌الیه جنوبی دریای خزر منجر می‌شود. نتایج فوق، با الگوی همدیدی عرضه شده رضیثی و همکاران (۲۰۱۲) در ارتباط با بارش‌های فراگیر دوره سرد در منطقه خزری انطباق دارد و مورد تأیید قرار می‌گیرد.

- مقایسه وضعیت متوسط مؤلفه نصف‌النهاری باد برای دوره‌های خشک و مرطوب بیانگر آن است که جهت وزش باد در ترازهای زیرین جو روی دریای خزر، می‌تواند معیار مناسبی برای تفکیک دوره‌های پُربارش و کم‌بارش در سواحل جنوبی دریا باشد؛ بدین‌ترتیب که جریانات غالب شمالی مشاهده شده در طول دوره‌های مرطوب، با جریانات غالب جنوبی در طول دوره‌های خشک جایگزین می‌شوند.

- وضعیت متوسط سرعت قائم روی منطقه خزری، معیار دیگری است که می‌تواند تمایز دوره‌های خشک و مرطوب را در منطقه خزری به‌خوبی نمایان سازد. یافته‌ها مبین آن است که وقوع دوره‌های خشک و مرطوب در این منطقه با شکل‌گیری یک الگوی الاکلنگی در مقادیر سرعت قائم روی دریای خزر قابل توضیح است. به‌عبارتی، در دوره‌های مرطوب، شکل‌گیری جریانات غالب پایین‌سو (نزولی) بر نیمه شمالی دریای خزر با تسلط هم‌زمان جریانات غالب بالاسو (صعودی) در حوضچه جنوبی دریا همراه می‌شود. در مقابل، در دوره‌های خشک، الگوی معکوسی از جریانات بالاسو و پایین‌سو در منطقه خزری تسلط می‌یابد. یافته فوق با نتایج به‌دست آمده مفیدی و همکاران (۱۳۹۱) انطباق دارد و آن را تأیید می‌کند.

- تحلیل همبستگی‌ها بیانگر آن است که می‌توان از تغییرات فشار تراز دریا در منطقه دریای سیاه در حکم یک شاخص مناسب و ارزشمند (پیش‌بین) برای تبیین تغییرات

داشته است. بدین وسیله از آن معاونت سپاسگزاری می‌شود. نویسندگان همچنین از یکی از داوران ناشناس مقاله به جهت یادداشت‌های ارزنده و پیشنهادات مفید ایشان که سبب بهبود کیفیت مقاله شده است، کمال تشکر را دارند.

#### منابع

افشار مقدم، ی.، ۱۳۷۳، آنالیز ورتیستی و دیورژانس بر روی دریای خزر: پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

باقری، س.، ۱۳۷۲، بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل زا در شمال ایران: پایان نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

براتی، غ.، و عاشوری، ف.، ۱۳۸۶، طراحی الگوهای همدید شدیدترین بادهای کرانه‌های جنوبی دریای خزر: پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۲، ۸۰-۶۷.

بیات، ع.، ۱۳۹۰، مطالعه نقش رشته کوه‌های البرز در توزیع بارش‌های منطقه خزر: پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی-گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

پورآتشی، م.، ۱۳۸۴، مطالعه همدیدی بارش‌های سنگین (۲۰۰ میلی‌متر و بیشتر در مدت ۲۴ ساعت) ناشی از فرارفت گرمایی در لایه‌های میانی جو روی سواحل جنوبی دریای خزر: پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

جانبازقبادی، غ.، مفیدی، ع.، و زرین، آ.، ۱۳۹۰، شناسایی الگوهای همدید بارش‌های شدید زمستانه در سواحل جنوبی دریای خزر: مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲(۲)، ۴۰-۲۳.

جهانبخش، س.، و کرمی، فریبا، ۱۳۷۸، تحلیل سینوپتیکی تأثیر پُرفشار سبیری بر بارش سواحل جنوبی دریای خزر: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۵۴-۵۵، ۱۳۱-۱۰۷.

سامانه‌های واچرخندی حکایت از آن دارد که میزان فعالیت و فراوانی وقوع مراکز پُرفشار محلی در غرب ایران و منطقه قفقاز می‌تواند معیار خوبی برای شناسایی و تفکیک دوره‌های مرطوب و خشک در منطقه خزری باشد. توضیح آنکه، علی‌رغم تعداد ناچیز و فراوانی کم مراکز پُرفشار محلی در دوره‌های مرطوب، فراوانی وقوع این سامانه‌های محلی در دوره‌های خشک به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته و از بارزترین ویژگی‌های دوره‌های خشک محسوب می‌شود. به‌نظر می‌رسد که افزایش تعداد مراکز پُرفشار محلی در مناطق کوهستانی مرتفع غرب ایران و قفقاز، ناشی از بالا بودن میزان شاخص مداری و در نتیجه کمتر متأثر شدن منطقه خاورمیانه از سامانه‌های برون‌حاره باشد. در شرایط یادشده وجود بازتابش و سرمایه‌های محلی، امکان شکل‌گیری مراکز پُرفشار کوهستانی را افزایش می‌دهد.

- یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که افزایش فعالیت سامانه‌های بندالی در محدوده شرق اروپا، نقش بسیار مهمی در بروز دوره‌های مرطوب در سواحل جنوبی دریای خزر دارد. همچنین یافته‌ها روشن می‌سازد که کاهش فعالیت واچرخندها در طول ماه‌های خشک روی منطقه دریای سیاه و به‌طور کلی اروپا، با افزایش میزان فعالیت سامانه‌های واچرخندی در شرق دریای خزر، مناطق کوهستانی غرب و شمال غرب ایران و منتهالیه غرب اروپا همراه است. درحقیقت، نتایج پژوهش حاضر تأیید دیگری است بر این نظریه که، وقوع دوره‌های خشک و کم‌بارش در سواحل جنوبی دریای خزر با دفعات زیاد گسترش غرب‌سوی پُرفشار سبیری و افزایش فعالیت آن بر جانب شرقی دریای خزر در ارتباط است.

#### تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از یک طرح پژوهشی است که مورد حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد قرار

- خلیلی، ع.، ۱۳۵۰، منشأ بارندگی کرانه‌های خزر، نیوار، شماره فروردین ۱۳۵۰، ۳۹-۴۶.
- علیجانی، ب.، ۱۳۸۰، تیپ‌های هوا و اثر آنها بر اقلیم ایران: کاوش نامه، ۲(۳)، ۴۹-۲۱.
- علیجانی، ب.، جعفرپور، ز.، و جانبازقبادی، غ.، ۱۳۸۴، تحلیل خشکسالی‌های دوره سرد سواحل جنوبی دریای خزر: سرزمین، سال دوم، ۷، ۲۳-۱۱.
- علیجانی، ب.، محمدی، ح.، و بیگدلی، آ.، ۱۳۸۶، نقش الگوهای فشار در بارش‌های سواحل جنوبی دریای خزر: سرزمین، سال چهارم، ۱۶، ۵۱-۳۷.
- عزیزی، ق.، و صمدی، ز.، ۱۳۸۶، تحلیل الگوی سینوپتیکی سیل ۲۸ مهرماه ۱۳۸۲ استان‌های گیلان و مازندران: پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۰، ۷۴-۶۱.
- قشقائی، ق.، ۱۳۷۵، بررسی اثر فرابار سبیری بر بارش‌های پاییزی سواحل جنوبی خزر: پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت معلم.
- کارخانه، م.، ۱۳۹۰، بررسی نقش دریای خزر در وقوع بارش‌های سواحل جنوبی آن (مدل‌سازی اقلیمی مقیاس منطقه‌ای): پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی-گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- مرادی، ح.، ۱۳۸۰، بررسی سینوپتیک سیلاب ۲۱ آبان ماه سال ۱۳۷۵ در نواحی مرکزی استان مازندران: رشد آموزش جغرافیا، ۵۷، ۴۱-۳۳.
- مرادی، ح.، ۱۳۸۳، نقش دریای خزر در شرایط بارشی سواحل شمال کشور: مجله علوم و فنون دریایی ایران، دوره دوم ۳-۲، ۸۸-۷۷.
- مرادی، ح.، ۱۳۸۵، پیش‌بینی وقوع سیلاب‌ها براساس موقعیت‌های سینوپتیکی در ساحل جنوبی دریای خزر: پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۵، ۱۳۱-۱۰۹.
- معصوم‌پور، ج.، ۱۳۸۴، مطالعه سینوپتیکی خشکسالی‌های فراگیر در سواحل جنوبی خزر: پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی-اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.
- موشی، ع.، ۱۳۵۰، منشأ بارندگی کرانه‌های خزر، نیوار، شماره فروردین ۱۳۵۰، ۳۹-۴۶.
- خوشحال دستجردی، ج.، ۱۳۷۶، تحلیل و ارائه مدل‌های سینوپتیکی کلیماتولوژی برای بارش‌های بیش از صد میلی‌متر در سواحل جنوبی دریای خزر: رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- سازمان هواشناسی کشور، داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های سینوپتیکی سواحل خزر.
- سلطانی، م.، محمدی، ح.، و حنفی، ع.، ۱۳۸۸، تحلیل و برآورد خشکسالی در ایستگاه سینوپتیکی گرگان: فصلنامه چشم‌انداز جغرافیایی، ۱۵، ۲۹-۲۵.
- رضیعی، ط.، مفیدی، ع.، و زرین، آ.، ۱۳۸۸، مراکز فعالیت و الگوهای گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روی خاورمیانه و ارتباط آنها با بارش ایران: مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۵(۱)، ۱۴۱-۱۲۱.
- رمضانی، ن.، ۱۳۸۰، تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های سواحل جنوبی دریای خزر: پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی-اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم.
- علیجانی، ب.، ۱۳۷۲، مکانیزم‌های صعود بارندگی‌های ایران، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تربیت معلم، تابستان ۱۳۷۲، دوره جدید ۱، ۸۵-۱۰۱.
- علیجانی، ب.، ۱۳۷۳، توزیع مکانی بارش در رشته‌کوه‌های البرز: مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تربیت معلم، دوره جدید ۴-۵، ۹۹-۱۲۰.
- علیجانی، ب.، ۱۳۷۴، نقش رشته‌کوه‌های البرز در توزیع ارتفاعی بارش: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۳۸، ۵۲-۳۷.
- علیجانی، ب.، ۱۳۷۶، آب‌وهوای ایران: انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ سوم، ۲۲۱ صفحه.

- Diao, Y., Li, J., and Luo, D., 2006, A new blocking index and its application: Blocking action in the Northern Hemisphere. *J. Climate*, **19**, 4819–4839.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R., and Joseph, D., 1996, The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437–471.
- Khalili, A., 1973, Precipitation patterns of Central Elburz: *Arch. Met. Geoph. Biokl., Seri. B* **21**(2-3), 215–232.
- Lejenäs, H., and Øakland, H., 1983, Characteristics of northern hemisphere blocking as determined from long time series of observational data: *Tellus*, **35A**, 350–362.
- Namias, J., 1950, The Index cycle and its role in the general circulation, *J. Meteo.*, **7**, 130–139.
- Pelly, J., and Hoskins, B., 2003, A new perspective on blocking: *J. Atmos. Sci.*, **60**, 743–755.
- Raziei T., Mofidi A., Santos J. A., and Bordi I., 2012, Spatial patterns and regimes of daily precipitation in Iran in relation to large-scale atmospheric circulation: *Int. J. Climatology*, **32**, 1226–1237.
- Raziei, T., Bordi I., Santos, J. A., and Mofidi, A., 2013, Atmospheric circulation types and winter daily precipitation in Iran: *Int. J. Climatology*, **33**, 2232–2246. DOI: 10.1002/joc.3596.
- Rex, D. F., 1950, Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate. Part I: An aerological study of blocking action: *Tellus*, **2**, 196–211.
- Rimbu, N., and Lohmann, G., 2011, Winter and summer blocking variability in the North Atlantic region – evidence from long-term observational and proxy data from southwestern Greenland: *Clim. Past*, **7**, 543–555. Doi: 10.5194/cp-7-543-2011.
- Schalge, B., Blender, R., and Fraedrich, K., 2011, Blocking detection based on synoptic filters: *Advances in Meteorology*, Article ID:717812, 1–11. Doi:10.1155/2011/717812
- Tibaldi, S., and Molteni, F., 1990, On the operational predictability of blocking: *Tellus*, **42A**, 343–365.
- Walker, G., T., 1924, Correlation in Seasonal variations of weather, IX: A further study of world weather: *Memoires of the Indian*
- مفیدی، ع.، ۱۳۷۹، بررسی همدیدی نقش دریای سیاه در بارش‌های ایران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (گرایش اقلیم‌شناسی)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.
- مفیدی، ع.، زرین، آ.، و جانبازقبادی، غ.، ۱۳۸۵، بررسی سینوپتیکی بارش‌های شدید و سیل‌زای پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر: مجموعه مقالات همایش منطقه‌ای منابع طبیعی و توسعه پایدار در عرصه‌های جنوبی دریای خزر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، ۷۱–۸۴.
- مفیدی، ع.، زرین، آ.، و جانبازقبادی، غ.، ۱۳۸۶، تعیین الگوی همدیدی بارش‌های شدید و حدی پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر: *مجله فیزیک زمین و فضا*، **۳۳**(۳)، ۱۵۴–۱۳۱.
- مفیدی، ع.، زرین، آ.، و جانبازقبادی، غ.، ۱۳۹۱، تبیین علل کاهش یافتن مقدار و شدت بارش‌های زمستانه در قیاس با بارش‌های پاییزه در سواحل جنوبی دریای خزر: *مجله فیزیک زمین و فضا*، **۳۸**(۱)، ۲۰۳–۱۷۷.
- وحیدی، ج.، ۱۳۷۶، مطالعه و بررسی سینوپتیکی-آماری بارندگی‌های سواحل جنوبی دریای خزر: پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
- یوسفی، ح.، ۱۳۸۲، زمانیابی ورود پرفشار سبیری به سواحل جنوبی دریای خزر و تأثیر سینوپتیکی آن بر بارش‌های پاییزی منطقه: پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (گرایش اقلیم‌شناسی)، دانشگاه تهران.
- Austin, J. F., 1980, The blocking of middle latitude westerly winds by planetary waves: *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **106**, 327–350.
- Barriopedro, D., Herrera, R. G., Lupo, A. R., and Hernández, E., 2006, A climatology of Northern Hemisphere blocking: *J. Climate*, **19**, 1042–1063.

- dataset for Asia based on a dense network of rain gauges, *SOLA*, **5**, 137-140
- Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N., and Kitoh, A., 2012, APHRODITE: Constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **93**, 1401–1415. DOI: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00122.1>
- Meteorological Department, Calcutta, **24**(9), 275–332.
- Webster, P. J., and Yang, S., 1992, Monsoon and ENSO: selectively interactive systems, *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, **118**, 877–926.
- Yatagai, A., Xie, P., and Alpert, P., 2008, Development of a daily gridded precipitation data set for the Middle East: *Advances in Geosciences*, **12**, 165-170.
- Yatagai, A., Arakawa, O., Kamiguchi, A., Kawamoto K., Nodzu H., and Hamada M.I., 2009, A 44-year daily gridded precipitation,