

اثر مراکز چرخندزای مدیترانه بر بارش سالانه ایران در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲

پرویز ایران‌نژاد^{۱*}، فرهنگ احمدی گیوی^۱ و علیرضا محمدنژاد^۲

^۱استادیار، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲مربی، گروه فیزیک، دانشگاه بیرجند، ایران

amohmadnj@ut.ac.ir, ahmadig@ut.ac.ir, piran@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۲/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۶/۲۵)

چکیده

در این پژوهش اثر فراوانی سالانه چرخندهای مراکز مهم چرخندزای مدیترانه و همچنین میانگین سالانه فشار سطح دریای این مراکز بر بارش سالانه ایران در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲ بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که بجز مناطق جنوب شرق، شرق و قسمتی از مرکز ایران، بارش سالانه بقیه کشور تحت تاثیر معنی‌دار فراوانی چرخندهای مراکز یادشده است. فراوانی چرخندهای دو مرکز شرق مدیترانه و شمال دریای سرخ، نسبت به دیگر مراکز چرخندزا، در بارش مناطق وسیع‌تری از ایران تاثیر دارد. توزیع جغرافیایی ضریب همبستگی بین بارش سالانه ایران و میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا نیز نشان‌دهنده آن است که دو مرکز شمال دریای سرخ و شرق مدیترانه بیشترین تاثیر را از لحاظ وسعت بر بارش ایران دارند. ضرایب همبستگی بین بارش سالانه مشاهده شده و محاسبه شده ایران براساس معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره (برحسب فراوانی چرخندهای سالانه مراکز چرخندزای مدیترانه) برای ایستگاه‌های غرب، مرکز و شرق کشور معنی‌دار و خطای استاندارد برآورد در بیشتر ایستگاه‌های غرب از ایستگاه‌های شرق کوچک‌تر است. تحلیل براساس میانگین فشار سطح دریای مراکز چرخندزا نیز نشان‌دهنده وجود همبستگی معنی‌دار بین بارش مشاهده شده و محاسبه شده در ایستگاه‌های واقع در مرکز، شمال غرب، شرق و جنوب شرق است. علاوه‌براین، مقادیر بارش محاسبه شده با معادلات رگرسیون که با استفاده از میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا به‌دست می‌آید، نسبت به فراوانی سالانه چرخندهای این مراکز، به مقادیر مشاهده شده بارش نزدیک‌تر است. ضرایب همبستگی بین فراوانی سالانه چرخندها و میانگین سالانه فشار سطح دریا در مراکز شرق و غرب مدیترانه، خلیج جنوا و شمال دریای سرخ در سطح ۵٪ معنی‌دار است، ولی در جنوب ایتالیا و قبرس معنی‌دار نیست.

مقایسه توزیع جغرافیایی ضرایب همبستگی فراوانی سالانه چرخندها و میانگین فشار مراکز چرخندزا با بارش ایران نشان می‌دهد، در صورتی این توزیع‌ها مشابه هستند که همبستگی قوی بین فراوانی سالانه چرخندها و میانگین فشار مراکز چرخندزا وجود داشته باشد و همچنین مرکز چرخندزا در مسیر حرکت چرخندهای مراکز دیگر نباشد. این شرایط تنها در دو مرکز غرب مدیترانه و خلیج جنوا وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: مراکز چرخندزای دریای مدیترانه، فراوانی سالانه چرخندها، فشار سطح دریای مراکز چرخندزا، بارش سالانه ایران، رگرسیون خطی چندمتغیره

Effect of Mediterranean cyclogenesis centers on annual precipitation of Iran during 1960 to 2002

Parviz Irannejad^{1*}, Farhang Ahmadi-Givi¹ and Alireza Mohammadnejad^{1,2}

¹Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²Birjand university, Iran

(Received: 13 May 2009, accepted: 16 September 2009)

*Corresponding author:

piran@ut.ac.ir

*نگارنده رابط:

Summary

The Mediterranean climate is characterized by dry hot summers and rainy winters. In the summer, the Northern Hemisphere high pressure belt migrates northwards, dominating the Mediterranean area. During the winter, the high-pressure belt drifts back towards the equator, and the region becomes more dominated by rain-bearing cyclones. Apart from the seasonal changes in the frequency and intensity of cyclones, the track of the cyclones varies with the season, tending toward the south-east in the summer and to the east in the winter. The main cyclogenesis centers in the Mediterranean are the Gulf of Genova, the North Red Sea, Cyprus, West Mediterranean, East Mediterranean, Southern Italy, and the Iberian Peninsula.

In the present study, the effects of the annual frequency of cyclones generated in different Mediterranean centers and the annual mean sea-level pressure of the centers on annual precipitation of Iran are investigated using data for the period of 1960 to 2002. The geographical distribution of correlation coefficients between the precipitation in Iran and the frequency of cyclones in the Mediterranean cyclogenesis centers indicates that the annual cyclone frequency in the Mediterranean area significantly affects the annual precipitation of almost all regions of Iran, except those in the southeastern, eastern and central parts of the country. The two cyclogenesis centers that affect the precipitation of larger areas of Iran are the East Mediterranean and the North Red Sea. The regions of Iran under the influence of these two centers are located in the north, north-west and south. While precipitation in the south-east and central regions of Iran has no significant correlation with the sea surface pressure at any of the Mediterranean centers, those in the west and north-west are significantly correlated with the sea-level pressure of almost all of the Mediterranean centers.

Two sets of multi-variable linear regression models were developed to regress the annual precipitation from stations throughout Iran to 1) the number of cyclones generated in different Mediterranean centers (cyclone frequency models) and 2) the mean sea-level pressure at representative stations of the Mediterranean centers (sea level pressure models). Correlation coefficients between the measured annual precipitation and that predicted using the cyclone frequency models for the stations in the west, east and center of Iran are significant, and the standard error of estimation is smaller in the west than in the east. The correlation coefficients between the observed annual precipitation and that predicted by the mean sea-level pressure models are significant for stations located in the center, northeast, east and southeast of Iran. The precipitation calculated by the sea-level pressure models is closer to observations compared to that predicted by the cyclone frequency models. During winters with negative precipitation anomaly (drought) in Iran, the subtropical high pressure belt (the Azores high pressure) dominates the Mediterranean and the mean sea-level pressure is anomalously high. This situation decreases the frequency of cyclones in almost all of the Mediterranean centers.

The correlation coefficient between the cyclone frequency and sea-level pressure is significant only in the West Mediterranean and Gulf of Genova centers. It seems there are two specific features that distinguish these two from other Mediterranean centers: a) the migrating cyclones generated in other centers do not pass through these centers and b) the geographical distribution of the correlation coefficients between precipitation in Iran and cyclone frequencies and sea-level pressure of these two centers are very similar.

Key words: Mediterranean cyclogenesis centers, annual cyclone frequency, sea level pressure, linear regression, precipitation, Iran

مؤثر بر اقلیم منطقه مدیترانه شناخته شده‌اند. در پیشینه

تحلیل اقلیمی چرخندهای نیمکره شمالی می‌توان به

۱ مقدمه

چرخندها از دیر باز به‌مثابه یک پدیده مهم هواشناسی

شرق مدیترانه و بارندگی سواحل شرقی، همبستگی بالایی وجود دارد، به طوری که بی‌هنجاری منفی فشار سطح دریا در این ناحیه همراه با ترسالی و بی‌هنجاری مثبت همراه با خشک‌سالی است. نتایج کار تریگو و همکاران (۲۰۰۰) حاکی از آن است که کاهش بارش در فصل مرطوب مدیترانه در طی چهار دهه گذشته به علت تضعیف شدت چرخندهای مدیترانه‌ای بوده و این تضعیف به برهم‌کش جو-اقیانوس در اطلس شمالی مربوط است. پژوهش‌هایی نیز در ارتباط با چرخندزایی مدیترانه و بارش سالانه کشورهای مجاور انجام شده است. برای نمونه می‌توان به کار تریگو و داکامارا (۲۰۰۰) اشاره کرد که وجود همبستگی قوی و معنی‌داری را بین بارش کشور پرتغال و فراوانی چرخندهای مدیترانه در دوره ۱۹۵۸ تا ۱۹۹۷ نشان دادند.

براساس نتایج پژوهش‌های تریگو و همکاران (۱۹۹۹)، ماهراس و همکاران (۲۰۰۱) و گوجارو و همکاران (۲۰۰۶)، بیشترین چرخندهای مدیترانه‌ای در ماه‌های سرد ایجاد می‌شود و مسیر غالب آنها در این مدت به سمت شرق و خاورمیانه است. بنابراین، انتظار می‌رود که بارش منطقه خاورمیانه و ایران به فراوانی چرخندهای حوزه مدیترانه و مکان‌های ایجاد این چرخندها، یعنی مراکز مهم چرخندزای مدیترانه بستگی داشته باشد. در پژوهش حاضر به میزان تاثیر فراوانی چرخندهای هر یک از مراکز چرخندزای مدیترانه و شمال دریای سرخ و همچنین میانگین سالانه فشار سطحی مراکز چرخندزا بر بارش سالانه ایران پرداخته شده است.

۲ داده‌ها و روش کار

داده‌های بارش سالانه ایران از پایگاه اینترنتی سازمان هواشناسی ایران (<http://www.weather.ir>)، داده‌های فراوانی سالانه چرخندهای دریای مدیترانه از پایگاه اینترنتی مرکز اطلاعات آزمایش مدیترانه (<http://www.MEDEX.ihm.uib.es>) و داده‌های مورد

پیترسن (۱۹۵۶) اشاره کرد که اولین بار تعدادی از مراکز فعال چرخندزای مدیترانه مثل شبه جزیره ایتالیا (فعال در زمستان) و شمال غرب آفریقا (فعال در تابستان) را شناسایی و معرفی کرد. تحقیقات اقلیم‌شناختی چرخندهای مدیترانه‌ای با کارهای رادینویک (۱۹۷۸) ادامه یافت که با عملیات ذهنی و دستی همراه بود. روش‌های عینی آشکارسازی چرخندها و تعیین فراوانی آنها به طور گسترده‌ای در دو دهه اخیر به کار رفته است (برای مثال: آلپرت و همکاران، ۱۹۹۰؛ پیکورنل و همکاران، ۲۰۰۱). فراوانی چرخندهای مدیترانه‌ای عمدتاً در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار است و در تابستان به شدت کاهش می‌یابد. چرخندهای تابستانی بیشتر ماهیت گرمایی دارند (کاراس و زانگویل، ۱۹۹۹؛ گوجارو و همکاران، ۲۰۰۶). در ماه‌های گرم محل تشکیل چرخندها با ماه‌های سرد متفاوت است و چرخندزایی بیشتر در نواحی غرب دریای مدیترانه صورت می‌گیرد. به علاوه، مسیر چرخندها نیز در ماه‌های متفاوت سال یکسان نیست. در ماه‌های سرد، مسیر بیشتر چرخندها به سمت شرق و شمال شرق، یعنی خاورمیانه است. با گرم شدن هوا، در اثر استقرار پرفشار جنب حاره‌ای روی مدیترانه، هم چرخندزایی آن کاهش می‌یابد و هم با تغییر جهت (شمالی شدن) باد، قسمتی از رطوبت دریا به تامین بارش ساحل آفریقا و هند کمک می‌کند (آلپرت و همکاران، ۱۹۹۰؛ ریسبیچ و همکاران، ۲۰۰۳).

زوپلاکی و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که حدود ۳۰٪ از تغییرات بارش منطقه مدیترانه در طی فصل‌های مرطوب، ناشی از تاثیر توام الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی سطوح فوقانی و فشار سطح دریا است. اشل و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از میانگین فشار سطح دریا در نقاطی از اقیانوس اطلس شمالی، خشک‌سالی در شرق مدیترانه را با استفاده از روش‌های آماری، از ۷/۵ تا ۱۳ ماه قبل از رخداد آن پیش‌بینی کرده‌اند. کوتیل و پاز (۱۹۹۸) نیز نتیجه گرفته‌اند که بین بی‌هنجاری فشار سطح دریا در

کار اثر هریک از مراکز چرخندزا به تنهایی بر بارش ایران مشخص می‌شود. این کار برای بررسی اثر میانگین سالانه فشار مراکز چرخندزا بر بارش کشور نیز انجام شده و توزیع جغرافیایی ضریب همبستگی به دست آمده است. با مقایسه دو توزیع جغرافیایی ضرایب همبستگی بین فراوانی سالانه چرخندها و میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا با بارش سالانه مناطق گوناگون کشور، می‌توان شرایط استفاده از میانگین فشار سطح دریای مراکز چرخندزا (که دسترسی به آن نسبت به فراوانی چرخندها آسانتر است) به جای فراوانی چرخندها را تعیین کرد.

نیاز برای میانگین‌های ماهانه و سالانه فشار سطح دریا از پایگاه اینترنتی <http://www.tutiempo.net/en/Climate> به دست آمده است. داده‌های استفاده شده در این پژوهش، مربوط به دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲ است.

برای بررسی اثر فراوانی سالانه چرخندهای مراکز مهم چرخندزای مدیترانه و مرکز شمال دریای سرخ بر بارش سالانه نقاط گوناگون ایران، ضریب همبستگی بین بارش سالانه ایستگاه‌های مورد بررسی در ایران و فراوانی سالانه چرخندهای هر مرکز محاسبه و براساس آن نقشه توزیع جغرافیایی ضرایب در گستره کشور رسم شده است. با این

جدول ۱. معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره بین بارش سالانه (R) چند ایستگاه واقع در شرق و جنوب شرق کشور و فراوانی چرخندهای سالانه (C) مراکز چرخندزای مدیترانه. نام مراکز چرخندزا در جدول ۲ آورده شده است.

ردیف	نام ایستگاه	معادلات پیش‌بینی بارش سالانه برحسب فراوانی سالانه چرخندهای مراکز چرخندزا	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری	خطای استاندارد برآورد (mm)
۱	بیرجند	$R = 40.8 + 0.35 C_{SEM} + 9.9 C_{IBP}$	0.360	0.05	48
۲	زابل	$R = -0.19 + 0.45 C_{MDM} + 1.03 C_{RSM}$	0.501	0.031	25
۳	زاهدان	$R = -27.3 + 0.43 C_{EST} - 1.1 C_{CYP} - 0.88 C_{SIT} + 1.53 C_{MDM}$	0.729	0.001	30.6
۴	ایرانشهر	$R = 303.44 + 2.30 C_{GNO} - 1.33 C_{WST}$	0.584	0.015	48
۵	بجستان	$R = -102.6 + 0.89 C_{SIT} + 16.9 C_{IBP} + 1.6 C_{MDM} - 2.7 C_{RSM}$	0.703	0.007	45
۶	چابهار	$R = 352.04 - 0.95 C_{SEM}$	0.406	0.04	72
۷	تربت حیدریه	$R = -129.32 + 1.27 C_{SIT} + 16.55 C_{IBP} + 0.97 C_{GNO} - 1.73 C_{CYP} + 3.46 C_{MDM} - 2.98 C_{RSM}$	0.718	0.006	59.6
۸	کرمان	$R = 149.93 - 10.27 C_{SIT} + 16.43 C_{IBP}$	0.416	0.030	44

فراوانی چرخندهای مرکز جنوب ایتالیا (شکل ۱-و) بر بارش جنوب غرب کشور دیده می‌شود و اثر این مرکز در نواحی مرکزی و شرق ایران کم است. به‌طور کلی از شکل‌های ۱-الف تا ۱-و نتیجه می‌شود که تاثیر فراوانی چرخندهای مراکز مدیترانه و شمال دریای سرخ بر نواحی غرب، شمال‌غرب و جنوب غرب (تقریباً شامل دامنه‌های زاگرس و البرز و استان‌های ساحلی جنوبی) کشور مثبت و معنی‌دار است. در سایر نقاط کشور این اثر معنی‌دار نیست. از نتایج قابل توجه آنکه ضریب همبستگی بین بارش نیمه شرقی ایران و فراوانی چرخندهای هیچ‌یک از مراکز مدیترانه معنی‌دار نیست. یکی از دلایل احتمالی آن این است که برخی از چرخندهای مدیترانه قبل از رسیدن به شرق ایران بیشتر رطوبت خود را روی رشته‌کوه زاگرس از دست می‌دهند. از سوی دیگر تعدادی دیگر از چرخندهایی که از شرق ایران عبور می‌کنند، از دریای سرخ، اقیانوس هند و خلیج فارس نیز رطوبت دریافت می‌کنند (نصر اصفهانی، ۱۳۸۲؛ احمدی گیوی و دستمالچی تبریزی، ۱۳۸۵؛ سلطانزاده و همکاران، ۱۳۸۶) که این در بعضی موارد، باعث تقویت آنها می‌شود. در نتیجه نواحی شرق ایران همه رطوبت خود را از مدیترانه دریافت نمی‌کنند و قسمتی از آن از جریان‌های جنوبی تامین می‌شود.

اگرچه بارش سالانه ایستگاه‌های شرق ایران تحت تاثیر معنی‌دار (در سطح ۵٪) فراوانی چرخندهای هیچ‌یک از مراکز چرخندزایی به‌تنهایی نیست، ولی در نظر گرفتن اثر دو یا چند مرکز چرخندزا در بارش این مناطق می‌تواند بامعنی باشد. برای نمونه، این نکته در جدول ۱ که مقادیر محاسبه شده بارش سالانه هفت ایستگاه واقع در شرق کشور با استفاده از معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره برحسب فراوانی چرخندهای سالانه برخی از مراکز چرخندزای مدیترانه را نشان می‌دهد، به چشم می‌خورد. در این جدول، علاوه بر معادلات یادشده، ضریب همبستگی بین بارش سالانه محاسبه شده و مقادیر مشاهده

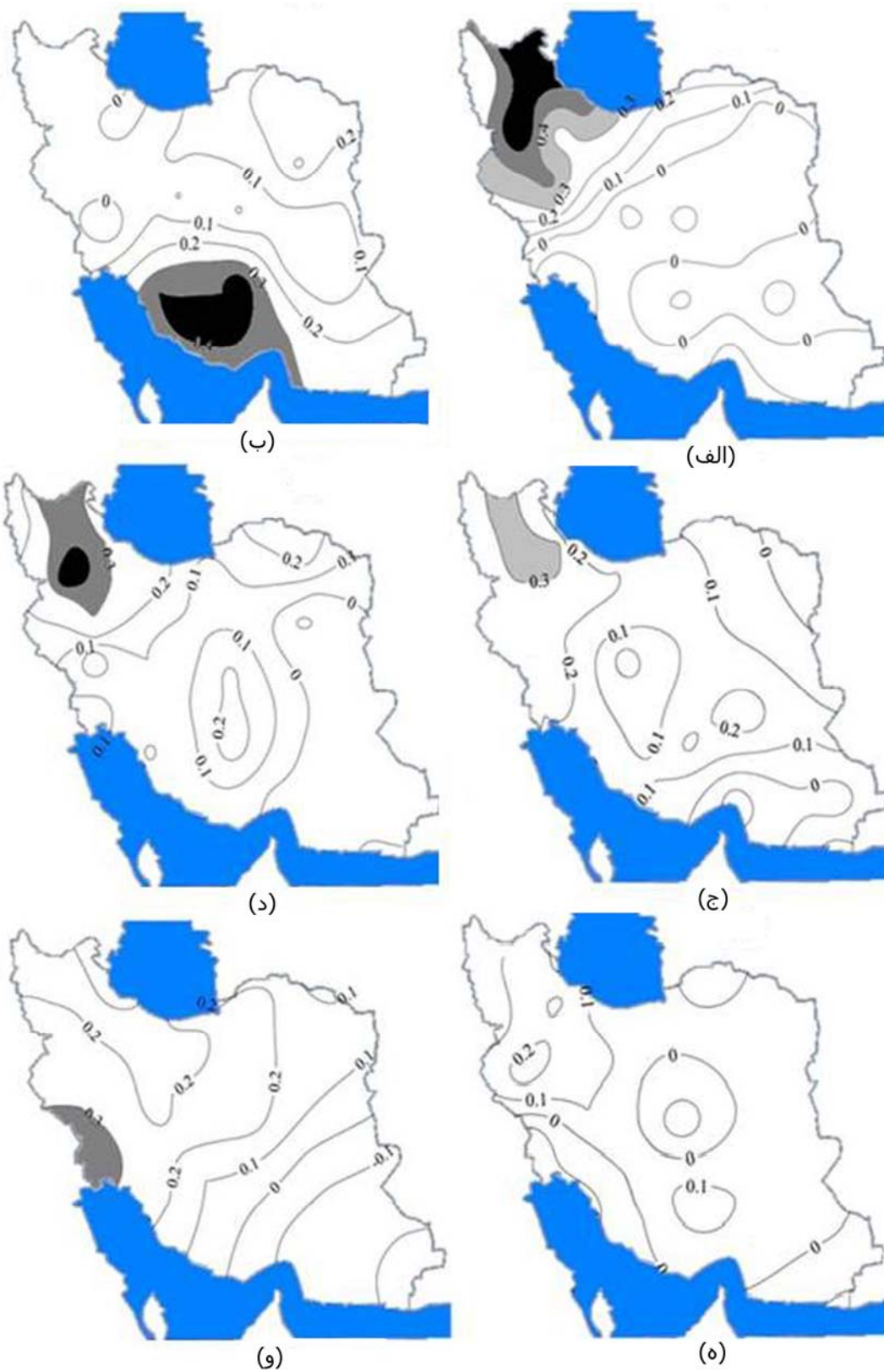
در ادامه با به کار بردن مدل رگرسیون خطی چندمتغیره، معادلات پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه برحسب فراوانی سالانه چرخندهای مراکز چرخندزا و همچنین میانگین سالانه فشار سطح دریای آن مراکز به‌دست آمده و نتایج آنها مقایسه شده است.

۳ اثر فراوانی سالانه چرخندهای مراکز چرخندزای مدیترانه بر بارش سالانه ایران

برای تعیین اثر هر یک از مراکز چرخندزای مدیترانه بر بارش سالانه ایران، ابتدا ضریب همبستگی بین فراوانی سالانه چرخندهای آن مراکز با بارش سالانه ایستگاه‌های گوناگون کشور به روش پیرسون (Pearson) محاسبه شده است. با توجه به پراکندگی ایستگاه‌های هم‌دیدی ایران، از داده‌های ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی نیز استفاده شده است. در شکل ۱ توزیع جغرافیایی همبستگی بین بارش سالانه ایران و فراوانی سالانه چرخندهای مراکز شرق مدیترانه، شمال دریای سرخ، غرب مدیترانه، خلیج جنوا، قبرس و جنوب ایتالیا دیده می‌شود. با توجه به شکل‌های ۱-الف و ۱-ب، بارش منطقه شمال و شمال‌غرب ایران تحت تاثیر فراوانی چرخندهای شرق مدیترانه و و بارش جنوب و جنوب غرب کشور تحت تاثیر معنی‌دار چرخندهای شمال دریای سرخ است.

شکل ۱-ج توزیع ضرایب همبستگی بین فراوانی چرخندهای مرکز غرب مدیترانه و بارش سالانه ایران را نشان می‌دهد. فراوانی چرخندهای مرکز غرب مدیترانه بر بارش سالانه شمال غرب کشور موثر است. خطوط ضرایب همبستگی بین فراوانی چرخندهای خلیج جنوا با بارش سالانه کشور در شکل ۱-د نشان داده شده است. منطقه تحت تاثیر این مرکز، شمال غرب ایران است.

با توجه به شکل ۱-ه فراوانی چرخندهای مرکز قبرس بر بارش سالانه هیچ منطقه‌ای از ایران موثر نیست. لازم به ذکر است که بیشتر فعالیت چرخندزایی مرکز قبرس در فصل بهار است (تریگو و همکاران، ۱۹۹۹). بیشترین تاثیر



شکل ۱. توزیع ضریب همبستگی بین بارش سالانه ایران و فراوانی چرخندهای (الف) شرق مدیترانه، (ب) شمال دریای سرخ، (ج) غرب دریای مدیترانه، (د) خلیج جنوا، (ه) قبرس و (و) جنوب ایتالیا. مناطق تیره‌تر دارای ضریب همبستگی معنی‌دار هستند.

و بارش سالانه شمال غرب ایران وجود دارد. مطابق شکل ۲-۵، بارش سالانه شمال و قسمت کوچکی از شرق کشور تحت تاثیر معنی‌دار میانگین سالانه فشار سطح دریای مرکز قبرس است. شکل ۲-۶ و نشان می‌دهد که بارش منطقه وسیعی از شمال غرب تا مرکز ایران تحت تاثیر میانگین سالانه فشار مرکز جنوب ایتالیا است.

همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، همبستگی معنی‌داری (در سطح ۰/۵) بین بارش سالانه برخی از مناطق ایران و میانگین سالانه فشار سطح دریای چند مرکز چرخندزای مدیترانه وجود دارد. در این بخش معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره بین بارش سالانه برخی از ایستگاه‌ها و میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز گوناگون چرخندزا به دست آمده و در جدول ۴ آورده شده است. در این معادلات، R میزان بارش سالانه محاسبه شده و ΔP اختلاف فشار مرکز چرخندزا از فشار استاندارد سطح دریا (۱۰۰۰ هکتوپاسکال) است.

نام کامل مراکز چرخندزایی که در معادلات جدول ۴ به صورت اختصار به کار رفته است، در جدول ۵ آورده شده است. برای نمونه، در این معادلات ΔP_{SEM} به معنای اختلاف میانگین سالانه فشار سطح دریای مرکز چرخندزای جنوب شرق مدیترانه از فشار استاندارد ۱۰۰۰ هکتوپاسکال است. برای افزایش دقت نتایج، در برخی از مراکز چرخندزا از داده‌های دو ایستگاه مجاور هم استفاده شده است. برای نمونه، داده‌های فشار سطحی ایستگاه‌های مدینه و لاکسور برای مرکز دریای سرخ، پافوس برای قبرس، اسکندریه برای جنوب شرق مدیترانه، گروستو برای خلیج جنوا، و پدگوریکا و مسینا برای مرکز جنوب ایتالیا به کار رفته است. در جدول ۴، فشار سطحی دو مرکز شرق مدیترانه و شمال دریای سرخ بیش از فشار سطحی دیگر مراکز چرخندزا در معادلات رگرسیون دیده می‌شود، که نشان‌دهنده تاثیر این دو مرکز چرخندزا بر بارش سالانه منطقه گسترده‌تری از ایران است.

شده، سطح معنی‌دار بودن و خطای استاندارد برآورد برای هر ایستگاه نشان داده شده است. در جدول ۲ نیز علامت‌های اختصاری به کار گرفته شده در جدول ۱ برای مراکز چرخندزا، همراه با نام و محدوده جغرافیایی آنها آورده شده است.

در جدول ۳ معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره بین بارش سالانه چند ایستگاه انتخابی واقع در غرب و مرکز ایران و فراوانی سالانه چرخندهای برخی از مراکز چرخندزای مدیترانه آورده شده است. با توجه به این جدول، ضرایب همبستگی بین مقادیر سالانه بارش برآورد شده و بارش مشاهده شده مثبت و معنی‌دار و به‌طور کلی بزرگ‌تر از ضرایب همبستگی جدول ۱ هستند. همچنین به نظر می‌رسد که خطای استاندارد برآورد (نسبت به میانگین بارش هر ایستگاه) در جدول ۳ کم‌تر از جدول ۱ است.

۴ اثر میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزای مدیترانه بر بارش سالانه ایران

در این قسمت ضریب همبستگی بین بارش سالانه ایران و میانگین سالانه فشار سطح دریای شش مرکز چرخندزا واقع در شرق مدیترانه، شمال دریای سرخ، غرب مدیترانه، خلیج جنوا، قبرس و جنوب ایتالیا محاسبه و نتایج در شکل ۲ آورده شده است. با توجه به شکل‌های ۲-الف و ۲-ب مشاهده می‌شود که منطقه وسیعی از جنوب غرب تا شمال و شمال شرق ایران تحت تاثیر میانگین سالانه فشار سطح دریای مرکز شرق مدیترانه و دو منطقه وسیع واقع در شرق و مرکز ایران تحت تاثیر فشار سطح دریای مرکز شمال دریای سرخ است.

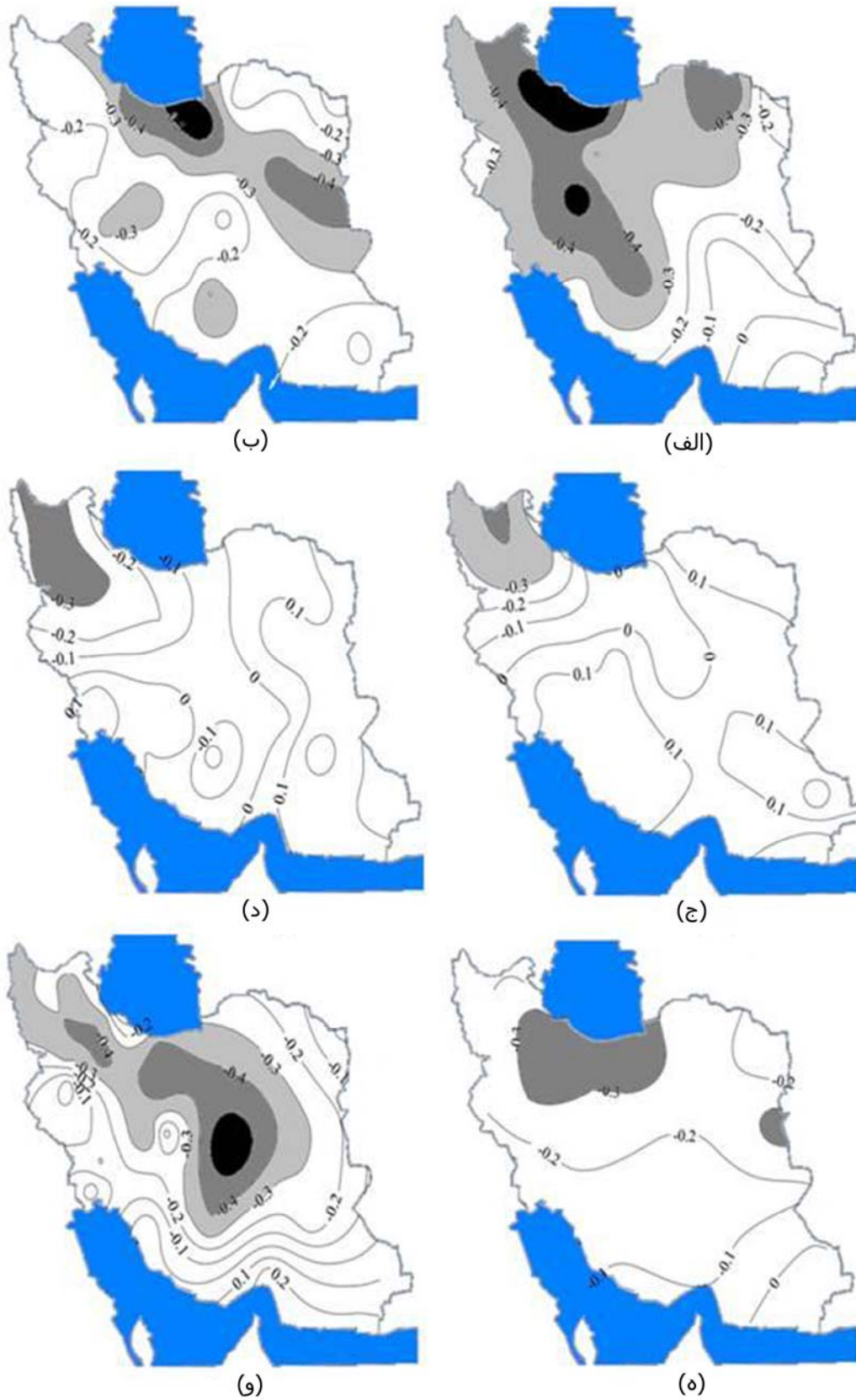
شبهات زیادی بین نتایج مربوط به مرکز خلیج جنوا (شکل ۲-د) و غرب مدیترانه (شکل ۲-ج) دیده می‌شود. هر دو مرکز چرخندزا در غرب مدیترانه هستند و همبستگی معنی‌داری بین میانگین سالانه فشار سطحی آنها

جدول ۲. نام مراکز چرخندزای مدیترانه همراه با علامت اختصاری و محدوده جغرافیایی آنها.

محدوده جغرافیایی	علامت اختصاری	نام مرکز
29-40 N 15-38 E	EST	مرکز شرق مدیترانه
35-45 N 10W -18 E	WST	مرکز غرب مدیترانه
25-30 N 30-45 E	RDN	مرکز شمال دریای سرخ
40-45 N 7.5-12.5 E	GNO	مرکز خلیج جنوا
38-42 N 15-19 E	SIT	مرکز جنوب ایتالیا
34-48 N 32.5-37.5 E	CYP	مرکز قبرس
25-42 N 15-38 E	SEM	مرکز جنوب شرق مدیترانه
30-35 N 14-38 E	MDM	مرکز نیمه جنوب شرق مدیترانه
25-30 N 12-38 E	RSM	مرکز شمال دریای سرخ و جنوب مدیترانه
36-42 N 0-10W	IBP	مرکز جنوب غرب مدیترانه

جدول ۳. مانند جدول ۱ اما برای چند ایستگاه واقع در غرب و مرکز کشور.

خطای استاندارد برآورد (mm)	سطح معنی داری	ضریب همبستگی	معادلات پیش‌بینی بارش سالانه برحسب فراوانی سالانه چرخندهای مراکز چرخندزا	نام ایستگاه	ردیف
105	0.001	0.508	$R = 115.2 + 18.6 C_{RDN}$	تهران	۱
87	0.004	0.630	$R = -301.2 + 2.8 C_{GNO} + 2.9 C_{MDM} + 21.1 C_{IBP}$	شیراز	۲
89	0.005	0.728	$R = 242.2 + 2.34 C_{EST} + 3.4 C_{GNO} - 2.8 C_{CYP} - 2 C_{WST} + 21.7 C_{IBP} - 3.4 C_{RSM}$	سنندج	۳
86	0.001	0.635	$R = -48 + 1.2 C_{EST} + 27.1 C_{IBP}$	خرم‌آباد	۴
73	0.002	0.521	$R = -54.2 + 0.91 C_{EST} + 13.5 C_{IBP}$	زنجان	۵
68	0.008	0.632	$R = -65.5 - 2 C_{CYP} + 2.2 C_{MDM} + 23.2 C_{IBP}$	اهواز	۶
102	0.005	0.618	$R = -42.52 + 32.28 C_{IBP} + 1.5 C_{EST} - 0.75 C_{WST}$	کرمانشاه	۷
78	0.043	0.455	$R = 161.51 - 0.79 C_{MDM} + 0.85 C_{EST}$	تبریز	۸
84	0.036	0.735	$R = -30.47 + 13.61 C_{RDN} - 2.1 C_{SIT} + 24.9 C_{IBP} + 3.65 C_{GNO} - 2.71 C_{CYP} + 1.6 C_{MDM} - 2.74 C_{RSM} + 1.7 C_{EST} - 1.45 C_{WST}$	اراک	۹
52	0.01	0.700	$R = -127.42 + 1.09 C_{SIT} + 16.78 C_{IBP} + 1.2 C_{GNO} - 0.94 C_{CYP} + 2.69 C_{MDM} - 0.74 C_{EST}$	آبادان	۱۰



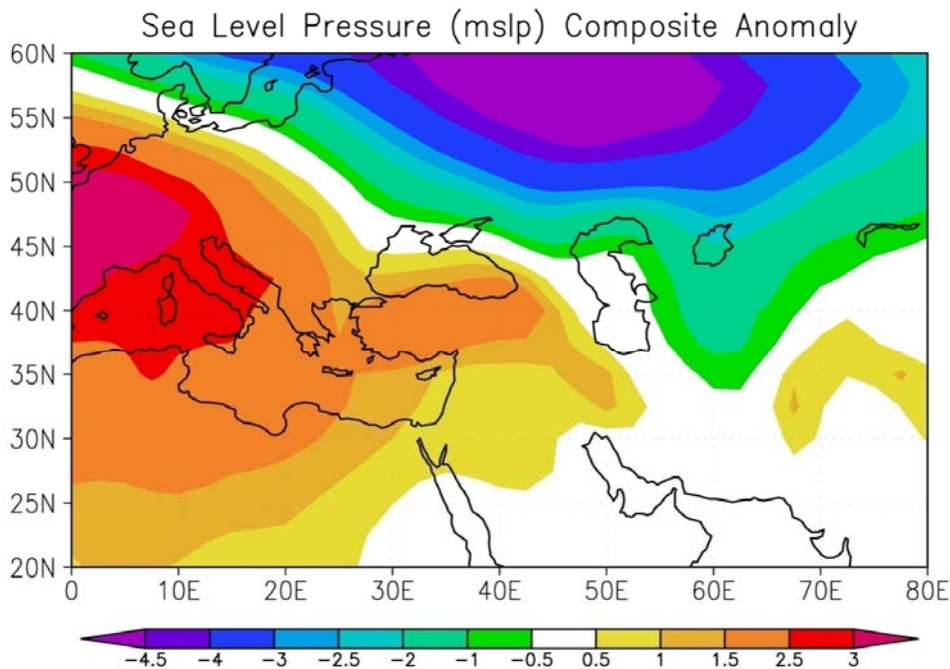
شکل ۲. توزیع ضریب همبستگی بین بارش سالانه ایران و میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزای (الف) شرق مدیترانه، (ب) شمال دریای سرخ، (ج) غرب مدیترانه، (د) خلیج جنوا، (ه) قبرس و (و) جنوب ایتالیا.

جدول ۴. معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره بین بارش سالانه چند ایستگاه ایران و فشار سطح دریای مراکز چرخندزای مدیترانه و شمال دریای سرخ. نام مراکز در جدول ۵ آورده شده است.

خطای استاندارد برآورد (mm)	ضریب همبستگی	سطح معنی داری	معادلات محاسبه بارش سالانه برحسب انحراف میانگین سالانه فشار سطحی مراکز چرخندزا از فشار استاندارد سطح دریا (ΔP)	نام ایستگاه	شماره
38	0.790	0.000	$R=1315 - 64.9 \Delta P_{SEM}$	تهران	۱
106	0.620	0.007	$R=1147.1 - 94.4 \Delta P_{SEM} + 141 \Delta P_{EMG} - 55.8 \Delta P_{CYA}$	خرم آباد	۲
86	0.773	0.000	$R= 953.2 - 136.4 \Delta P_{SEM} - 23.3 \Delta P_{SI} + 183.8 \Delta P_{EMI}$	سنندج	۳
53	0.693	0.000	$R=1283.5 - 76.6 \Delta P_{SEM} + 24.9 \Delta P_{RSL}$	زنجان	۴
73	0.614	0.007	$R=1934.5 - 54 \Delta P_{SEM} + 19.8 \Delta P_{RSM} - 62 \Delta P_{EMG}$	شیراز	۵
72	0.603	0.003	$R= 1309.8 - 74 \Delta P_{SEM} + 9 \Delta P_{SI}$	اهواز	۶
45	0.596	0.027	$R = 525.3 - 10.7 \Delta P_{SIP} + 18.5 \Delta P_{SI} - 27.5 \Delta P_{CYP} - 8.9 \Delta P_{RSL}$	کاشان	۷
84	0.626	0.015	$R= 682.8 + 119.1 \Delta P_{EMG} - 111.7 \Delta P_{SEM} - 11 \Delta P_{SI} + 20.2 \Delta P_{RSM}$	ارومیه	۸
51	0.686	0.004	$R= 480.3 + 89.4 \Delta P_{EMG} - 72 \Delta P_{SEM} - 13.7 \Delta P_{SI} + 12.1 \Delta P_{RSM}$	تبریز	۹
65	0.747	0.002	$R= 839 + 24.3 \Delta P_{EMI} + 72.1 \Delta P_{EMG} - 12.7 \Delta P_{SEM} + 6.6 \Delta P_{SI} - 46.6 \Delta P_{CYP}$	اراک	۱۰
45	0.752	0.003	$R = 1037.8 - 35.9 \Delta P_{CYA} - 11 \Delta P_{SIP} + 15.1 \Delta P_{GEN} - 45 \Delta P_{SEM} + 9.1 \Delta P_{SI} + 12.5 \Delta P_{RSM}$	آبادان	۱۱
24	0.660	0.002	$R= 438.8 - 18.5 \Delta P_{RSL} + 5.2 \Delta P_{SI} - 14 \Delta P_{CYP}$	زابل	۱۲
53	0.480	0.010	$R=807 - 38.8 \Delta P_{SEM}$	بیرجند	۱۳
36	0.564	0.007	$R=537.8 - 40.1 \Delta P_{SEM} + 14.45 \Delta P_{CYP}$	زاهدان	۱۴
72	0.535	0.035	$R= 130.2 + 81.8 \Delta P_{EMG} - 80.08 \Delta P_{SEM}$	مشهد	۱۵
72	0.535	0.035	$R= 689 + 80.8 \Delta P_{EMG} - 55.6 \Delta P_{SEM} - 30.1 \Delta P_{RSL}$	تربت حیدریه	۱۶
107	0.600	0.021	$R= 446 + 138.5 \Delta P_{EMG} + 12.2 \Delta P_{SIP} - 18.6 \Delta P_{GEN} - 109.4 \Delta P_{SEM}$	بندرعباس	۱۷

جدول ۵. مراکز چرخندزای به کار رفته در معادلات جدول ۴ همراه با نام اختصاری آنها. نام ایستگاه‌هایی که از فشار سطحیشان به عنوان نماینده مرکز چرخندزا استفاده شده، در داخل کمانک‌ها آورده شده است.

نام اختصاری	مرکز چرخندزا	نام اختصاری	مرکز چرخندزا
EMI	شرق مدیترانه (ایلات)	SI	جنوب ایتالیا (مسینا)
EMG	شرق مدیترانه (قدس)	SIP	جنوب ایتالیا (پدگوریکا)
CYP	قبرس (پافوس)	SEM	جنوب شرق مدیترانه (اسکندریه)
CYA	قبرس (فرودگاه پافوس)	RSL	دریای سرخ (لاکسور)
GEN	خلیج جنوا (گروستو)	RSM	دریای سرخ (مدینه)



شکل ۳. توزیع جغرافیایی بی‌هنجاری میانگین فشار سطح دریای حوزه مدیترانه در زمستان سال‌های خشک غرب ایران. مقیاس برحسب هکتوپاسکال است.

شرایط می‌تواند بر فراوانی چرخندهای مدیترانه نیز تاثیر منفی داشته باشد (محمدنژاد و همکاران، ۱۳۸۸). از مقایسه ضرایب همبستگی بین بارش سالانه واقعی در ایستگاه‌ها و مقادیر محاسبه شده بارش توسط معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره برحسب میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا (جدول ۴) و مقادیر محاسبه شده بارش با استفاده از فراوانی سالانه چرخندهای مراکز چرخندزا (جدول‌های ۱ و ۲) می‌توان نتیجه گرفت که،

شکل ۳ نشان می‌دهد که میانگین فشار سطح دریای منطقه مدیترانه در فصل زمستان سال‌های خشک غرب ایران دارای بی‌هنجاری مثبت است. این شکل به روشنی وجود همبستگی منفی بین بارش سالانه ایران و فشار سطح دریای مراکز مدیترانه را توجیه می‌کند. این بی‌هنجاری‌های مثبت فشار احتمالا ناشی از جابه‌جایی پرفشار جنب‌حاره به عرض‌های شمالی‌تر و استقرار آن در منطقه مدیترانه در ابتدای سال‌های خشک باشد. این

می‌تواند ناشی از عبور چرخندهای مراکز دیگر و افزایش دمای میانگین کره زمین، ناشی از تغییر اقلیم (هانسن و همکاران، ۲۰۰۱؛ جونز و همکاران، ۱۹۹۹) و اثر آن بر تغییر مکان کمربند پرفشار جنب حاره‌ای و توزیع فشار باشد (جیمز، ۱۹۹۴). فراوانی چرخندها نیز می‌تواند وابسته به مکان کمربند پرفشار (محمدنژاد و همکاران، ۱۳۸۸) و واداشتهای ناشی از توپوگرافی اطراف مدیترانه یا جزایر داخل آن باشد (پیترسن، ۱۹۵۶؛ آلپرت و همکاران، ۱۹۹۰؛ ماهراس و همکاران، ۲۰۰۱؛ رسیچ و همکاران، ۲۰۰۳).

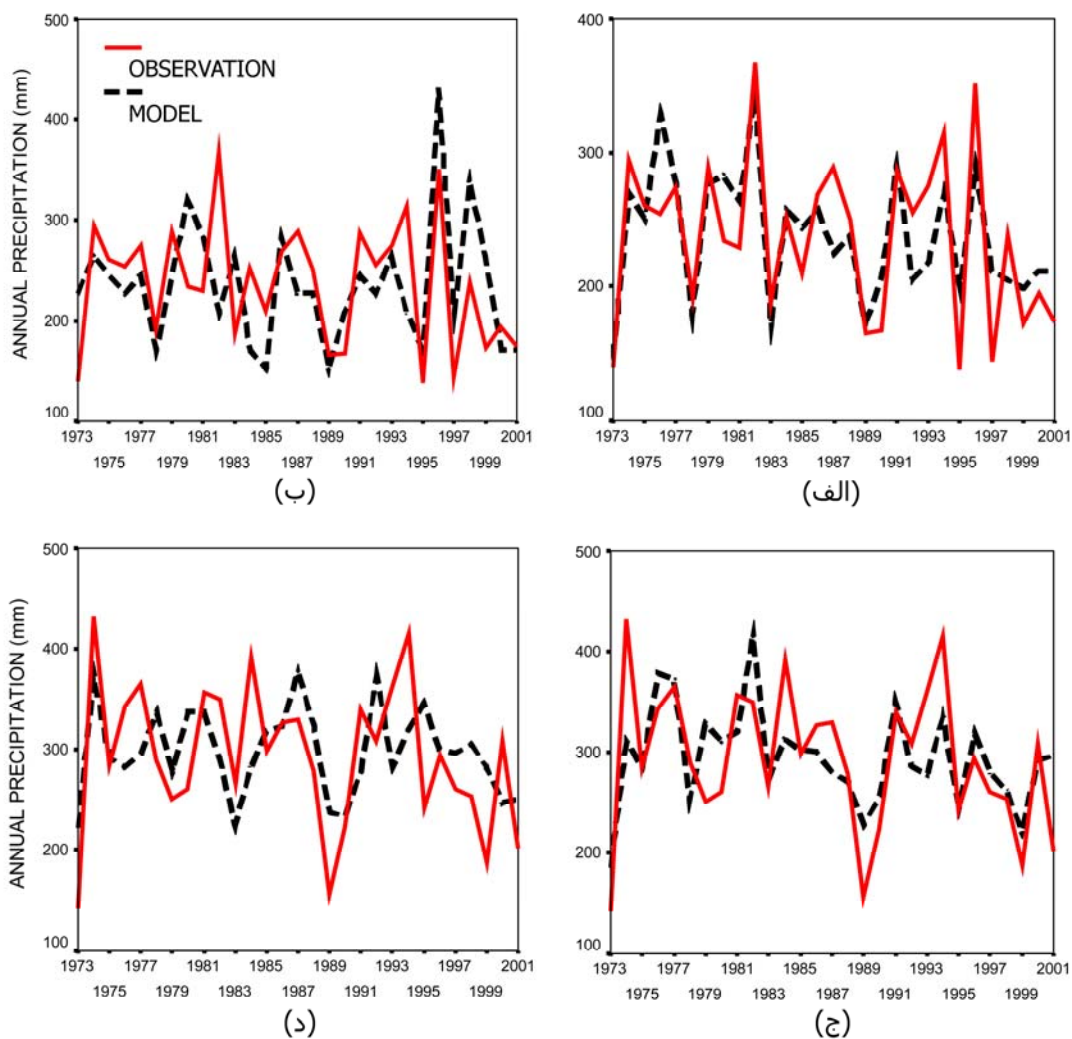
در اینجا شرایط جایگزینی میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا به جای فراوانی سالانه چرخندها برای بررسی توزیع بارش سالانه ایران، ارزیابی می‌شود. در این راستا، نخست ضریب همبستگی بین میانگین سالانه فشار سطح دریا و فراوانی چرخندهای مراکز گوناگون محاسبه شده است. ضرایب همبستگی برای جنوب شرق مدیترانه (۰/۳۷۷-)، خلیج جنوا (۰/۴۲۷-)، شمال دریای سرخ (۰/۴۲۰-) و غرب مدیترانه (۰/۵۳۰-) در سطح ۵٪ معنی‌دار است. همبستگی معنی‌داری بین این دو متغیر در مراکز جنوب ایتالیا و قبرس وجود ندارد. میدان‌های اثر فشار سطح دریا و فراوانی چرخندهای مراکز قبرس (شکل‌های ۱-ه و ۲-ه) و جنوب ایتالیا (شکل‌های ۱-و و ۲-و) بر بارش سالانه ایران بسیار متفاوت است. هرچند که ضرایب همبستگی بین فشار سطح دریا و فراوانی چرخندها در مراکز جنوب شرق مدیترانه و شمال دریای سرخ معنی‌دار است، توزیع ضرایب همبستگی بین بارش ایران و فشار سطح دریا و بین بارش ایران و فراوانی چرخندهای این دو مرکز، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای دارند. دلیل این تفاوت به احتمال زیاد قرار گرفتن این مراکز در مسیر چرخندهای مراکز غرب مدیترانه، جنوب غرب مدیترانه و خلیج جنوا در ماه‌های دسامبر تا آوریل (آلپرت و همکاران، ۱۹۹۰) است.

الف- برای اغلب ایستگاه‌ها، ضریب همبستگی بین بارش مشاهده شده و محاسبه شده در جدول ۴ اندکی بزرگ‌تر از جدول‌های ۱ و ۲ است و ب- خطای استاندارد برآورد بارش در اغلب ایستگاه‌های جدول ۴ کوچک‌تر از خطای نظیر آن ایستگاه‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ است.

با توجه به نتایج فوق، بارش سالانه محاسبه شده ایستگاه‌ها با استفاده از مقادیر میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا، نسبت به فراوانی سالانه چرخندها در مراکز چرخندزا، به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر است. برای نمونه، در شکل ۴ نمودارهای بارش سالانه مشاهده شده ایستگاه‌های تهران و زنجان با بارش سالانه محاسبه شده به دو روش فوق برای سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۱ مقایسه شده است.

۵ مقایسه اثر میانگین سالانه فشار سطحی مراکز چرخندزا و فراوانی سالانه چرخندها بر بارش سالانه ایران

در بخش‌های ۳ و ۴ معادلاتی برای برآورد بارش سالانه ایستگاه‌های مورد بررسی با استفاده از دو روش فراوانی سالانه چرخندهای مراکز چرخندزا و میانگین فشار سطح دریای آنها آورده شد. مقایسه ضرایب همبستگی بین بارش سالانه واقعی و بارش پیش‌بینی شده به دو روش و همچنین خطای استاندارد برآورد بارش در بیشتر موارد حاکی از بزرگ‌تر بودن ضریب همبستگی و کوچک‌تر بودن خطای استاندارد برآورد بارش (نسبت به میانگین بارش هر ایستگاه) با معادلاتی است که بر پایه میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا هستند. دلیل احتمالی می‌تواند آن باشد که فشار سطح دریا به‌طور مستقیم اندازه‌گیری می‌شود و خطای تعیین آن نسبت به فراوانی چرخندها که از راه محاسبات عددی به دست می‌آید، کمتر است. باید توجه داشت که فشار یک مرکز چرخندزا ممکن است با عوامل دیگری، غیر از عوامل دینامیکی موثر در تولید چرخند، تغییر کند. این تغییر



شکل ۴. مقایسه بارش سالانه مشاهده شده و بارش محاسبه شده با استفاده از میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا (شکل‌های سمت راست) و فراوانی سالانه چرخندهای آن مراکز (شکل‌های سمت چپ) در دوره ۱۹۷۳ تا ۲۰۰۱ برای ایستگاه‌های تهران (الف) و (ب) و زنجان (ج) و (د).

جایگزینی فراوانی چرخندها با فشار سطح دریای مراکز چرخندزا برای بررسی توزیع بارش ایران باید دو شرط ۱- همبستگی بزرگ و معنی‌دار بین فراوانی سالانه چرخندهای مراکز چرخندزا و میانگین سالانه فشار سطح دریای آنها و ۲- واقع نبودن این مراکز در مسیر عبور چرخندهای مراکز دیگر وجود داشته باشد.

۶ نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر فراوانی چرخندها و فشار سطح دریای مراکز چرخندزای مدیترانه و شمال دریای سرخ بر بارش

تنها در دو مرکز غرب مدیترانه و خلیج جنوا، همبستگی معنی‌دار بین فشار سطح دریا و فراوانی چرخندها وجود دارد و هم نقشه‌های توزیع ضرایب همبستگی بین بارش ایران و فراوانی چرخندها (شکل‌های ۱-د) و بین بارش ایران و فشار سطح دریای مراکز چرخندزا (شکل‌های ۲-ج و ۲-د) مشابهت زیادی باهم دارند. این دو مرکز به دلیل قرار گرفتن در بخش‌های غربی مدیترانه در مسیر رو به غرب چرخندهای سایر مراکز قرار ندارند (آلپرت و همکاران، ۱۹۹۰). با توجه به این یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت که برای

مرکز ایران بین ۰/۵۹۶ تا ۰/۷۹۰ و در ایستگاه‌های شرق بین ۰/۴۸۰ تا ۰/۶۶۰ به دست آمده است.

به طور کلی، در بیشتر ایستگاه‌ها ضرایب همبستگی بین بارش سالانه مشاهده شده ایستگاه‌های مورد بررسی و بارش محاسبه شده با استفاده از معادلات رگرسیون خطی برحسب میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا، نسبت به فراوانی سالانه چرخندهای آن مراکز، بزرگ‌تر است. به علاوه، در اکثر این ایستگاه‌ها خطای استاندارد برآورد بارش نیز در روش اول (روش استفاده از میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا) کمتر است. به بیان دیگر، بارش محاسبه شده با استفاده از روش اول، به داده‌های واقعی نزدیک‌تر است. علت احتمالی می‌تواند وجود خطای بیشتر در محاسبه تعداد چرخندها، نسبت به اندازه‌گیری مستقیم فشار باشد.

همچنین ضریب همبستگی بین فراوانی سالانه چرخندها و میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزای مدیترانه محاسبه شد. این ضرایب در مراکز شرق مدیترانه، غرب مدیترانه، خلیج جنوا و شمال دریای سرخ معنی‌دار است، ولی در دو مرکز قبرس و جنوب ایتالیا معنی‌دار نیست. مقایسه توزیع ضرایب همبستگی بین بارش سالانه ایران و فراوانی سالانه چرخندهای مراکز شرق مدیترانه و شمال دریای سرخ و همچنین بین بارش سالانه ایران و میانگین سالانه فشار سطح دریای این دو مرکز حاکی از تفاوت چشمگیر در الگوی توزیع ضریب همبستگی است. در نتیجه، علی‌رغم وجود ضریب همبستگی بالا و معنی‌دار بین فراوانی سالانه چرخندهای یک مرکز با میانگین سالانه فشار سطح دریای آن مرکز، نمی‌توان از میانگین سالانه فشار سطح دریای یک مرکز چرخندزا به جای فراوانی سالانه آن استفاده کرد. از این رو، شرایط لازم برای جابه‌جایی‌پذیری فراوانی سالانه چرخندها و میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا وجود همبستگی قوی و معنی‌دار بین این دو متغیر و قرار نداشتن مرکز چرخندزا در مسیر حرکت

سالانه ایران بررسی شده است. نخست، ضریب همبستگی بین فراوانی سالانه چرخندهای هر یک از مراکز چرخندزا و بارش سالانه ایران به دست آمد. براساس نتایج، فراوانی سالانه چرخندهای دو مرکز شرق مدیترانه و شمال دریای سرخ بیشترین اثر را از نظر وسعت منطقه بر بارش ایران دارند. نواحی عمده تحت‌تاثیر این دو مرکز چرخندزا، شمال، شمال غرب و جنوب ایران است. فراوانی سالانه چرخندهای مراکز غرب مدیترانه، خلیج جنوا و جنوب ایتالیا بر بارش سالانه مناطق شمال غرب و جنوب غرب کشور اثر قابل توجهی دارند. فراوانی چرخندهای مرکز قبرس بر بارش سالانه هیچ نقطه‌ای از کشور تاثیر معنی‌داری ندارد. به علاوه، مناطق جنوب شرق، شرق و مرکز ایران نیز تحت تاثیر فراوانی چرخندهای هیچ یک از مراکز چرخندزا نیستند.

توزیع ضرایب همبستگی بین میانگین فشار سطح دریای مراکز چرخندزا و بارش سالانه کشور نیز نشان می‌دهد که میانگین سالانه فشار مرکز شرق مدیترانه بر بارش منطقه وسیعی در شمال و شمال غرب تا جنوب کشور، مرکز شمال دریای سرخ بر بارش شمال و شرق کشور، دو مرکز غرب مدیترانه و خلیج جنوا بر بارش شمال غرب کشور، مرکز جنوب ایتالیا بر بارش مرکز و شمال غرب کشور و مرکز قبرس بر بارش شمال و ناحیه کوچکی از شرق ایران موثرند.

در ادامه، معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره بین بارش سالانه چند ایستگاه واقع در شرق، مرکز و غرب ایران و فراوانی سالانه چرخندهای مراکز چرخندزای مدیترانه به دست آمده است. ضریب همبستگی بین بارش سالانه مشاهده شده و بارش محاسبه شده با معادلات در ایستگاه‌های شرق از ۰/۳۶۰ تا ۰/۷۲۹ و در غرب و مرکز ایران از ۰/۴۵۵ تا ۰/۷۳۵ تغییر می‌کند. این کار برحسب میانگین سالانه فشار سطح دریای مراکز چرخندزا نیز صورت گرفته و ضریب همبستگی بین بارش سالانه مشاهده شده و محاسبه شده ایستگاه‌ها در شمال غرب و

- James, I. N., 1994, Introduction to Circulating Atmospheres: Cambridge University Press, New York, 422pp.
- Jones, P. D., New, M., Parker, D. E., Martin, S., and Rigor, I. G., 1999, Surface air temperature and its changes over the past 150 years: *Rev. Geophysics*, **37**, 173-199.
- Karas, S., and Zangvil, A., 1999, A preliminary analysis of disturbance tracks over the Mediterranean basin: *Theor. Appl. Climatol.*, **64**, 239-248.
- Kutieli, H., and Paz, S., 1998, Sea Level pressure departures in the Mediterranean and their relationship with monthly rainfall condition in Israel: *Theor. Appl. Climatol.*, **60**, 93-109.
- Maheras, P., Flocas, H. A., Patrikas, I., and Anagnostopoulou, C., 2001, A 40-year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: spatial and temporal distribution: *Int. J. Climatol.*, **21**, 109-130.
- Petterssen, S., 1956, Weather analysis and Forecasting: Vol. I, Motion and Motion Systems: McGraw-Hill, 428pp.
- Picornell, M. A., Jansa, A., Genoves, A., and Campins, J., 2001, Automated database of mesocyclones from HIRLAM (INM)-0.5° analyses in Western Mediterranean: *Int. J. Climatol.*, **21**, 335-354.
- Radinovic, D., 1978, Numerical model requirements for the Mediterranean area: *Riv. Met. Aer.*, **38**, 191-205.
- Raichich, F., Pinardi, N., and Navarra, A., 2003, Teleconnections between Indian monsoon and Sahel rainfall and the Mediterranean: *Int. J. Climatol.*, **23**, 173 - 186.
- Trigo, I. F., Davis, T. D., and Bigg, G. R., 1999, Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region: *J. Climate*, **12**, 1685-1696.
- Trigo, I. F., Davies, T. D., and Bigg, G. R., 2000, Decline in Mediterranean rainfall caused by weakening of Mediterranean cyclones: *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 2913-2916.
- Trigo, R. M., and DaCamara, C. C., 2000, Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal: *Int. J. Climatol.*, **20**, 1559-1581.
- Xoplaki, E., González-Rouco, J. F., Luterbacher, J., and Wanner, H., 2004, Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and predictability: *Clim. Dyn.*, **23**, 63-78.
- چرخندهای مراکز دیگر است. از شش مرکز چرخندزای ذکرشده فقط مراکز غرب مدیترانه و خلیج جنوا دارای هر دو شرط هستند.
- منابع
- احمدی گیوی، ف. و دستمالچی تبریزی، ش.، ۱۳۸۵، مطالعه ساختار ترمودینامیکی ورودسپهر در منطقه خاورمیانه برای دوره ۱۹۸۰-۱۹۹۳، م. فیزیک زمین و فضا، **۳۲**، (۱)، ۴۹-۶۵.
- سلطانزاده، ا.، احمدی گیوی، ف. و ایران‌نژاد، پ.، ۱۳۸۶، بررسی سه‌ماهه تاثیر رشته‌کوه زاگرس بر جریان‌های میان‌مقیاس منطقه شرق زاگرس با استفاده از مدل منطقه‌ای RegCM، م. فیزیک زمین و فضا، **۳۳**، (۱)، ۳۱-۵۰.
- محمدنژاد، ع.، احمدی گیوی، ف. و ایران‌نژاد، پ.، ۱۳۸۸، اثر بازه‌های نوسان سالانه کمربند پرفشار جنب حاره و پرفشار سیری بر چرخندزایی مدیترانه و بارش ایران، م. فیزیک زمین و فضا، **۳۵**، (۴)، ۱۱۵-۱۳۰.
- نصراصفهان‌نی، م.، (۱۳۸۲): بررسی دوره یک‌ساله چرخندزایی در شرق مدیترانه و اثرات آن بر آب‌وهوای خاورمیانه و ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی، دانشگاه تهران.
- Alpert, P., Neumann, B. U., and Shay-El, Y., 1990, Intermontly variability of cyclone tracks in the Mediterranean: *J. Climate*, **3**, 1474-1478.
- Eshel, G., Cane, M. A., and Farrell, B. F., 2000, Forecasting eastern Mediterranean droughts: *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3618-3630.
- Guijarro, J. A., Jansa, A., and Campins, J., 2006, Time variability of cyclonic geostrophic circulation in the Mediterranean: *Advances in Geosciences*, **7**, 45-49.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., and Kharecha, P., 2001, A closer look at United States and global surface temperature change: *J. Geophys. Res.*, **106**, 23947-23963.