

تحلیل فضایی و مدلسازی ارتباط مراکز کنش جوی با ناهنجاری‌های فراگیر بارش ایران

حسین محمدی، استاد آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

فراهمز خوش اخلاق، استادیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

قاسم عزیزی، دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

محمدامین حیدری*، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۸/۵/۴ تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۲

چکیده: تغییرات فشار در مراکز کنش جوی اثرات مهمی بر سایر مولفه‌ها و الگوهای جوی موثر در تغییر پذیری بارش دارد. این پژوهش به منظور واکاوی و مدلسازی اثر و ارتباط مراکز کنش جوی بر ناهنجاری فراگیر و شدید بارش در ایران با استفاده از داده‌های ۳۰ ایستگاه همدید در طول دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱ و داده‌های سایت NCEP/NCAR آمریکا در بازه ماه‌های نوامبر تا مه انجام گرفته است. در این پژوهش از روش همبستگی پیرسون و مدل‌سازی رگرسیون چندمتغیره در بازه ماه برابر و پیش‌یابی یک‌ماهه استفاده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده نقش مراکز کنش مورد مطالعه در ناهنجاری‌های بررسی شده بسیار قوی و تعیین‌کننده است. به شکلی که بر اساس مقادیر استاندارد شده ارتفاع جو در این مراکز با استفاده از توابع رگرسیونی ارائه شده در این پژوهش به خوبی می‌توان مقادیر این ناهنجاریها را تعیین و پیش‌یابی کرد. نتایج این پژوهش نشان داد مقادیر استاندارد شده ارتفاع ژئوپتانسیل جو در منطقه همگرایی دریای سرخ در تراز ۷۰۰، ناوه شرق مدیترانه در تراز ۵۰۰، و پرفشار شمال آفریقا نیز در تراز ۵۰۰ به ترتیب مهمترین اثر در ناهنجاری بارش در ایران را دارند. همچنین نقش مراکز پرفشار آزر و کم‌فشار سودان در پیش‌یابی یک ماهه ناهنجاری بارش بسیار پررنگ می‌باشد. صحت‌سنجی عملکرد توابع رگرسیونی ارائه شده به منظور پیش‌یابی یک ماهه ناهنجاری بارش کشور بر اساس مقادیر RMSE و BIAS بجز برای منطقه جنوب شرق کشور، برای سایر مناطق مورد تایید قرار گرفت.

کلمات کلیدی: مراکز کنش جوی، پیوند از دور، ناهنجاری بارش، رگرسیون چندمتغیره، ایران

Spatial Analysis and Modeling the Relationship Between Atmospheric Action Centers with Widespread Anomalies Precipitation of Iran

Hossein Mohammadi, professor of Climatology, Department of Geography, Tehran University

Faramarz khoshaghlagh, assistant professor of Climatology, Department of Geography, Tehran University

Ghasem Azizi, professor of Climatology, Department of Geography, Tehran University

Mohammad Amin Heidari, PhD student of Climatology, Department of Geography, Tehran University

Abstract: Variability is one of inherent properties of the climate system. In addition to the dynamic nature, the climate system is extremely intertwined nature also, so that its components interact with each other and eventually they change each other. In general, the climate of a region or geographic location is controlled by various factors, including Atmospheric Action Centers (AAC's). AAC's behaviors have an effective role in short and long term changes in weather and climate conditions and also their components. AAC's can change the climate system. A climatic index is defined here as a critical value that can be used to describe the states and the changes in the climate system. Changes on climate are much slower than on the weather, that can change strongly day by day. Each climatic index is based on certain parameters and describes only certain aspects of the climate, so there are a variety of climate indices that have been defined and examined in numerous publications. For each climate index there is a defining equation that uses the so-called climate elements. These are measurable parameters that influence the properties of the climate system, primarily, for example, atmospheric parameters such as air pressure, air temperature, precipitation and solar radiation, but also non-atmospheric parameters such as sea surface temperature or ice cover.

Key words: Atmospheric Action centers, Teleconnection, rainfall anomalies, multivariate regression, Iran

مقدمه

بارش و دوره‌ها و ماه‌های خشک و تر بوده است و با توجه به فرض ارتباط و اثر این مراکز بر ناهنجاری‌های بارش ماهانه ایران این پژوهش به منظور تبیین نقش تغییرات فشار در مراکز کنش جوی مهم همجوار ایران در ترازهای زیرین تا میانی جو پرداخته است. در زمینه این پژوهش می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود.

از جمله دیگر پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش‌های وان و انفیلد (۲۰۰۱)، سوینگ و همکاران (۲۰۰۲) و تامپسون و والاس (۲۰۰۰) به بررسی نوسان اطلس شمالی مراکز کنش آزرز و آیسلند و الگوی قطبی-اوراسیا و نوسان قطبی در زمینه تغییرات بارش پرداختند. کای و همکاران (۲۰۰۱) اثر انسورا بر نوسانات بارش شمال استرالیا بررسی کردند و نشان دادند که ارتباط قوی بین تغییرپذیری بارش شمال استرالیا و شاخص‌های دورپیوندی انسورا وجود دارد. کوتیل و همکاران (۲۰۰۲) الگوی دریای شمال-دریای خزر را شناسایی و فازهای مثبت آنرا با کاهش دما و افزایش بارش و فاز منفی آنرا با افزایش دما و کاهش بارش در بالکان و خاورمیانه مرتبط دانستند. سیریت و همکاران (۲۰۰۵) الگوهای فشار موثر بر رخداد بارش‌های سنگین استرالیا را بررسی نمودند. هاتراکی و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی تغییرات الگوهای فشار و تغییر اقلیم در ارتباط با جابجایی فضایی کانون کنترل در مدیترانه شرقی با داده‌های ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از ۱۹۵۸-۲۰۰۳ نشان دادند با افزایش دما به ۲/۳ درجه و ۳/۳ درجه به ترتیب کانون این الگو در مدیترانه شرقی به شمال شرقی و جنوب شرقی تا حدود ۱۰ درجه جابجا می‌شود و تاثیر عمده‌ای بر اقلیم منطقه دارد. سکسیونگ (۲۰۰۶) به بررسی الگوهای میان مقیاس فشار جو به منظور تحلیل بارش‌های منطقه هنگ کنگ پرداخت. لنا و همکاران (۲۰۰۷) نقش سیستم‌های فشار در بارش‌های سنگین آیسلند و کومار و همکاران (۲۰۰۵) نقش این نوع بارش‌ها در ایالت مومیای هندوستان را مطالعه نمودند. مارتین و همکاران (۲۰۰۷) سیستم‌های فشار موثر بر بارش‌های ایالت کاتالونیا را بررسی نمودند.

الگوهای فشار در جو بالا، شرایط جوی نزدیک سطح زمین را تعیین می‌کنند. تغییر الگوهای فشار، تغییرات عناصر اقلیم محلی را به همراه دارد. الگوهای فشار در سطوح بالای جو با داده‌های درازمدت در محدوده‌های جغرافیایی از کره زمین تکرار و تغییرات هماهنگی در طول زمان نشان می‌دهند. این محدوده فضایی به کانون کنش (Centers of Action) معروفند که شرایط اقلیمی سطح زمین را در محدوده‌های منطقه‌ای و محلی تعیین می‌کنند (علیجانی، ۱۳۸۵) و طبیعتاً تغییرات در این کانونهای کنترل، تغییرات در اقلیم محلی و منطقه‌ای را به دنبال دارد، که از طریق الگوهای پیوندازدور می‌تواند تغییر در کلیه الگوهای جوی را در مناطق دوردست موجب شود. عبارت مراکز کنش جو در اصل و برای نخستین بار به وسیله تیسنس^۱ در ۱۸۸۱ استفاده شد. در گذشته این لغت برای مناطق بیشینه و کمینه فشار روزانه بر روی نقشه‌های فشار استفاده میشد. امروزه معنای کلی مراکز کنش جو در نیمکره شمالی برای کم فشار آیسلند، پرفشار آزرز، پرفشار برمودا، پرفشار اقیانوس آرام، پرفشار سیری (در زمستان) و کم فشار آسیا (در تابستان) استفاده می‌شود. بکاربردن عبارت مراکز کنش جوی برای دیگر سیستم‌های متوسط فشار و با شدت کمتر نیز امکانپذیر می‌باشد. نواسانات فشار در این مراکز رابطه تنگاتنگی با تغییرات آب و هوایی گسترده و طولانی مدت دارد (واژه نامه هواشناسی، انجمن هواشناسی آمریکا، ۲۰۱۳؛ به نقل از حیدری، ۱۳۹۲؛ ۴۳). مراکز فشار جو به عنوان سامانه‌های همدید پایستار تا نیمه پایستار که نقش مهمی در کنترل اقلیم مناطق مختلف کره زمین در بازه‌های زمانی مشخصی از سال دارند، می‌توانند موجب تغییرات در پدیده‌های اقلیمی مناطق نزدیک و دوردست خود گردند. مراکز کنش جوی، نقش بسیار کلیدی در سامانه آب و هوای کره زمین دارند، این مراکز در ایجاد تغییر و دگرگونی شرایط جوی و ایجاد تپه‌های هوایی خاص موثرند، که در نهایت شرایط آب و هوایی در منطقه‌ای را شکل داده و کنترل می‌کنند (حیدری، ۱۳۹۲). با توجه به اینکه یکی از مخاطرات و چالش‌های سال‌های دور و نزدیک در کشور پهناور ایران مسئله ناهنجاری

1. L. Teissenenc

شاخص AO مثبت در حال افزایش می‌باشد که موجب افزایش خشکی در این منطقه در آینده خواهد شد و همچنین تغییرات فشار در مدیترانه و فراوانی چرخندزایی در این منطقه با شاخص AO رابطه نزدیکی وجود دارد.

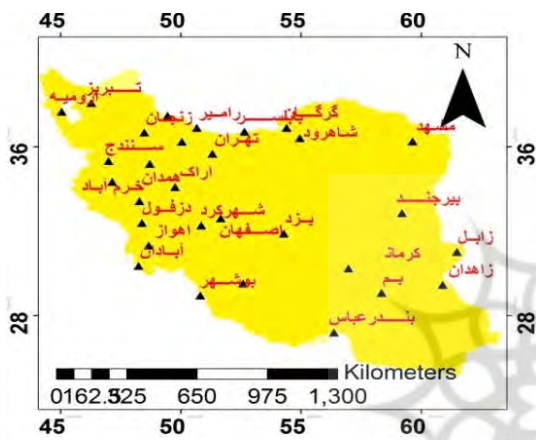
در زمینه پژوهش‌های داخلی اکبری و مسعودیان (۱۳۸۶) نقش الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی بر دمای ایران را بررسی نمودند. شاهرخ‌وندی و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی الگوی بهنجار موقعیت مراکز عمل جوی در فصل زمستان بر روی ایران پرداخت. اردکانی و همکاران (۱۳۸۷) شرایط همدیدی و دینامیکی بیشترین بارش روی منطقه خراسان را مورد بحث و بررسی قرار دادند. ایران نژاد و همکاران (۱۳۸۸) اثر مراکز چرخندزایی مدیترانه بر بارش سالانه ایران در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲ را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دادند. محمدنژاد و همکاران (۱۳۸۸) نوسان سالانه کمربند پرفشار جنب حاره و پرفشار سیبری بر چرخندزایی مدیترانه و بارش ایران را بررسی و موثر تشخیص دادند. عزیزی و همکاران (۱۳۸۸) تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین در غرب کشور با توجه به ناوه مدیترانه تجزیه و تحلیل نمودند. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۸۹) امکان پیشبینی بارش پاییزه زمستانه نیمه غربی ایران، با استفاده از SST مدیترانه در فصول تابستان و پاییز را بررسی نمودند. اسعدی و همکاران (۱۳۹۰) مسیر توفان‌های مدیترانه از دیدگاه شار فعالیت موج راسبی مورد مطالعه قرار دادند. زارعی (۱۳۹۰) نیز در پایان نامه خود نقش و مکان قرارگیری مراکز کنش جوی همجوار ایران را در رخداد ناهنجاری آب و هوایی در غرب میانی را موثر دانست. جهان‌بخش اصل و همکاران (۱۳۹۱) تأثیر نوسان‌های دمای سطح آب دریای مدیترانه بر بارش پای کوه‌های شرقی زاگرس و چاله‌های مرکزی ایران را ضعیف نشان دادند. علیزاده و همکاران (۱۳۹۱) الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جو هنگام رخداد بارش‌های فراگیر و غیرفراگیر در ایران را واکاوی نمودند. امیدوار و همکاران (۱۳۹۲) الگوهای همدیدی سیلاب‌های رودخانه بواناتمروست در استان یزد را مورد بررسی قرار دادند. حیدری (۱۳۹۲) در پایان نامه خود اثر گرمایش جهانی بر مراکز کنش جوی موثر

قاسمی و خلیلی (۲۰۰۸) به بررسی ارتباط الگوهای منطقه‌ای و جهانی در ارتباط با بارش زمستانه ایران پرداختند، که بر اساس نتایج به دست آمده طبق روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) در تراز دریا مراکز فشار همجوار ایران از جمله قزاقستان، سوریه، شمال شرق و شمال غرب آفریقا، و به ویژه مراکز فشار مدیترانه و دریای سیاه در این رابطه نقش بارز و بسیار مهمی داشته‌اند. گومش و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی ارتباط همدید مدیترانه و تغییرات چرخندزایی در این منطقه در ارتباط با شاخصهای دورپیوندی AO, NAO، پرداختند و نتایج کار ایشان ارتباط نسبتاً قوی را در این رابطه نشان داد. ماتلیک و پیاپوست (۲۰۰۸) اثر الگوهای فشار بر تیپ‌های مختلف هوا موثر بر بارش‌های سنگین منطقه استونیا در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵ را تحلیل نمودند. هوس و لولیس (۲۰۰۸) به بررسی گردش‌های جوی موثر بر وقوع بارش کشور یونان پرداختند. سونسون و همکاران (۲۰۰۱) الگوهای فشار موثر بر رخداد بارش‌های سنگین اسکاتلند را مطالعه نمودند. صرابی والحتروشی (۲۰۰۹) در بررسی ناهنجاریهای بارشی عمان با استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی تغییرات ناوه مدیترانه را به‌عنوان مهمترین مولفه موثر بر ناهنجاری‌های بارشی ماهانه این کشور معرفی کردند. بنایان و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی شاخصهای دورپیوندی (AO, NAO) بر تغییرات بارش شمال شرقی ایران پرداختند و اثر آن را بر زراعت گندم دیم در این منطقه مورد تأکید قرار دادند که بر اساس نتایج به دست آمده از کار ایشان این شاخص‌ها ارتباط قوی با تغییرات بارش و به ویژه خشکسالی‌های منطقه داشته و در این زمینه جهت پیش‌بینی ماهانه بارش می‌توان از این شاخص‌ها در منطقه مورد مطالعه بهره برد. جانوجیانگ (۲۰۱۳) تغییرپذیری دمای جو منطقه حاره و اثرات آنها را بر روی اقلیم مناطق برون حاره در ارتباط با انسو بررسی کرده و گرمایش جو آزاد درون حاره‌ای را متاثر از النینو دانسته‌اند. گیواتیب و روزنفلد (۲۰۱۳) در بررسی ارتباط منفی AO و گرمایش جهانی و اثر آن بر تغییرات بارش فلسطین اشغالی، ارتباط قوی را بین تغییرات بارش این منطقه و شاخص AO به دست می‌آورند؛ بر اساس نتایج به دست آمده از پژوهش ایشان

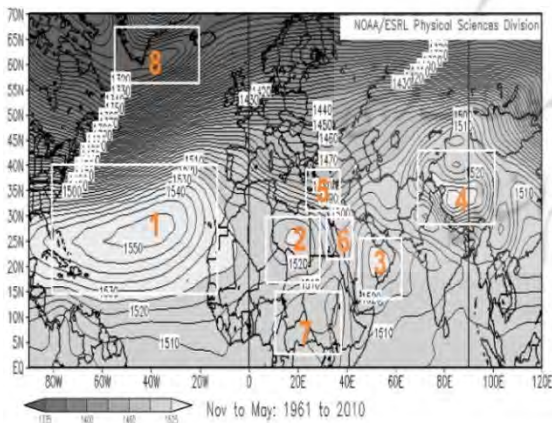
رخداد ناهنجاری‌های فراگیر بارش در پهنه سرزمین ایران می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این پژوهش، پهنه کشور ایران با حداکثر ۳۰ ایستگاه همدید دارای داده طولانی مدت دوره ۱۹۶۱-۲۰۱۰ (شکل ۱) و مهمترین مراکز فعال فشار جو در همجواری پهنه کشور ایران (شکل ۲) بوده‌اند، که به شرح زیر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.



شکل (۱): موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه



شکل (۲): موقعیت مراکز کنش مورد مطالعه بر روی نقشه متوسط دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

داده‌ها و روش کار

در این پژوهش از داده‌های ۳۰ ایستگاه همدید منتخب کشور که دارای یک دوره آماری پنجاه ساله (از ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰) استفاده شده است (شکل ۱). با توجه به اینکه بخش اصلی و

بر آب و هوای ایران پرداخت و با توجه به تغییرات دهه‌های اخیر و مقادیر و مقادیر پیش‌یابی شده در دهه‌های اتی رخداد خشکسالی‌های فراگیر و شدید در ایران را محتمل ارزیابی نمود. کاووسی و موحدی (۱۳۹۳) به بررسی همدید کنش‌های چرخندی روی ایران در طول سال ۱۳۷۱ پرداختند که بر اساس نتایج ایشان مهم‌ترین مراکز چرخندی موثر بر اقلیم ایران در طول دوره مورد مطالعه شامل منطقه چرخندزایی ژنوا، جنوب ایتالیا، جزایر سیسیل و کم فشار گنگ می‌باشد. قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) دماهای بیشینه ایران را بر اساس الگوی پیوند از دور دریای شمال- خزر بررسی و مطالعه نمودند. قاسمی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بارش ماهانه منطقه فلات مرکزی ایران را بر اساس مقادیر شاخص‌های پیوند از دور جوی و اقیانوسی پیس بینی نمودند. فاطمی و همکاران (۱۳۹۶) تحلیل فضایی الگوهای پیوند از دور با خشکسالی‌های منطقه ایران مرکزی را تحلیل و ارزیابی نمودند. لک‌زاشکور و همکاران (۱۳۹۷) اثر الگوها و شاخص‌های پیوند از دور بر رخداد خشکسالی‌های گلستان را مورد بررسی قرار دادند.

با توجه به واقع شدن ایران در عرض‌های نزدیک به جنب حاره تا عرض‌های میانی رخداد نوسانات آب و هوایی از ویژگی‌های ذاتی اقلیم این کشور می‌باشد. به طور کلی اقلیم‌های خشک و نیمه خشک که بیشتر پهنه ایران را شامل می‌شوند دارای نوسانات آب و هوایی نسبتاً شدید و گاهی مخاطره‌آمیز می‌باشند. از این رو پایش و واکاوی تغییرات و نوسانات کوتاه و درازمدت اقلیم کشور می‌تواند به راه‌هایی موثر به منظور مقابله با عوارض ناگوار نوسانات آب و هوایی مانند خشکسالی‌های شدید و یا ترسالی‌های ناهنجار منجر شود. در این زمینه مطالعه خشکسالی و یا ترسالی‌های فرین و فراگیر و عوامل تاثیرگذار بر این پدیده‌ها، نقش موثری در جهت پیش‌یابی نوسانات و همچنین اخذ تصمیمات دقیق‌تر در حوزه‌های کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی را در پی خواهد داشت. بر این اساس هدف مهم این پژوهش در واقع تحلیل و مدل‌سازی ارتباط مراکز فشار جوی با

مشترک بارش‌های کشور تقریباً از نوامبر-مه می‌باشد، لذا بررسی ماه‌های ناهنجار خشک و تر در طول این هفت ماه انجام شده است. از آنجا که هدف اولیه این پژوهش مربوط به ناهنجاری‌های فراگیر بارش بوده است، لذا با استفاده از مقدار استاندارد شده بارش ماهانه (رابطه ۱) ماه‌هایی که در پهنه ایران حداقل ۱۰ ایستگاه از مجموع ۳۰ ایستگاه دارای ناهنجاری بیشتر از +۱ و یا کمتر از -۱ بوده اند، به عنوان موردهای مطالعاتی انتخاب شدند که از مجموع ۳۵۰ ماه بررسی شده، ۶۶ مورد دارای این ویژگی بوده‌اند. در رابطه (۱)، Z عدد استاندارد، x_i و \bar{x} به ترتیب مجموع بارش ماه i و متوسط بارش بلندمدت ماه یادشده در یک دوره طولانی و σ انحراف معیار بارش آن ماه است. از این رابطه برای استانداردسازی و بی‌بعدسازی مقادیر شاخص ارتفاع جو در مراکز کنش نیز استفاده شده است.

رابطه (۱)

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$$

در این پژوهش برای دستیابی به داده‌های جوی از وبگاه سازمان مطالعات محیطی ایالات متحده (NCEP/NCAR) در بازه زمانی یادشده استفاده شده است. بدین منظور با استفاده از نقشه‌های مستخرج از وبگاه ۸ مرکز کنش به عنوان مراکز کنش جوی موثر بر ناهنجاری بارش ایران براساس نقشه‌های ژئوپتانسیل جو در ترازهای زیرین تا میانی تعیین گردیدند. مراکز یادشده شامل پرفشارهای آزرورز، شمال آفریقا، عربستان و تبت (به ترتیب مراکز ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ در شکل ۲) و همچنین ناوه مرکز شرق مدیترانه، منطقه همگرایی دریای سرخ، کم‌فشارسودان و کم‌فشار آیسلند در شمال اقیانوس اطلس (به ترتیب مراکز ۶، ۷، ۸ در شکل ۲) بوده‌اند. به منظور تعیین چهارچوب مکانی این مراکز از نقشه متوسط دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ در بازه ماههای نوامبر تا مه (شکل ۲) استفاده شد. از آنجا که این مراکز در تراز ۸۵۰ بهترین نمود را دارند، برای تعیین چهارچوب مکانی از موقعیت مراکز اشاره شده در این تراز استفاده شده است. با توجه به هدف پژوهش ارتباط مقدار استانداردشده، ارتفاع ژئوپتانسیل جو (Z) در متوسط چهارچوب این مراکز با مقدار بارش ماهانه استاندارد شده هر ایستگاه در چهار تراز ۹۲۵، ۸۵۰

۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال با استفاده از روش همبستگی پیرسون در ۶۶ مورد مطالعاتی مورد آزمون قرار گرفت. لازم به ذکر است برخی از مراکز مانند کم‌فشار سودان که ماهیت گرمایی دارد غالباً در تراز ۷۰۰ و یا ۵۰۰ هکتوپاسکال دیده نمی‌شوند، اما با توجه به برهمکنش و تاثیرپذیری ترازهای زیرین از ترازهای بالایی و بالعکس لازم به نظر رسید ارتباطات ممکنه در این ترازها نیز آزمون گردد.

در مجموع یافته‌های این پژوهش در سه بخش ارائه شده است. در بخش اول به صورت مختصر به ارتباط مقدار استانداردشده ارتفاع ژئوپتانسیل جو در چهار تراز مورد مطالعه برای هر مرکز و تعداد ایستگاههای دارای ارتباط معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۰٪ و بیشتر پرداخته شده و همچنین الگوی فضایی ارتباط ایستگاههای کشور با مهمترین تراز جوی برای هر مرکز بارش IDW و بصورت نقشه ایران ترسیم شده است. در بخش دوم با استفاده از داده‌های جوی ۸ مرکز یادشده مدل‌سازی رگرسیون خطی برای تبیین مهمترین مولفه‌های موثر بر ناهنجاری بارش در ایران در دو گام ماه همزمان و پیش‌یابی یک ماهه (به منظور ارائه مدل پیش‌بینی ناهنجاری بارش) محاسبه و تفسیر گردیده است. لازم به ذکر است در بخش مدل‌سازی با توجه به الگوی ارتباط و معناداری، ایستگاههای کشور به سه گروه تقسیم شده‌اند. به عبارت بهتر از آنجا که ارائه رابطه رگرسیونی برای هر ایستگاه مقدور نبود، براساس مقادیر استاندارد بارش ماهانه، ایستگاههای کشور به سه دسته شامل ایستگاههای دارای معناداری در سطح خطای ۰/۱ و بیشتر، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و کمتر مدل رگرسیونی در دو گام ماه همزمان و یک ماه پیشتر ارائه شده است.

به منظور مدل‌سازی آماری نیز از روش رگرسیون خطی چندمتغیره به روش پسرو استفاده شد. در این روش در طی فرایند مدل‌سازی متغیرهای مستقلی که توانایی تبیین واریانس زیادی از داده‌های متغیر وابسته را نداشته و یا اینکه وجودشان به بهبود معادله رگرسیونی کمک نمی‌کند و یا sig آنها بیشتر از ۰/۱ بود، از فرایند مدل‌سازی حذف و مدل با کمترین تعداد متغیر مستقل ارائه شد. بنابراین در روش پسرو همه متغیرهای

آیسلند به ترتیب با ۶ و ۱۲ ایستگاه کشور همبستگی معنی‌دار داشته‌اند، اما در متوسط همبستگی ایستگاه کشور ارتباط آنها قابل‌پذیرش نیست. از سوی دیگر نیز با توجه به اینکه تنها مرکز پرفشار تبت در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال قویترین ارتباط معنی‌دار را نشان می‌دهد. دیگر مراکز کنش در ترازهای بالا و میانی جو (۵۰۰ هکتوپاسکال) برای پرفشار شمال آفریقا، عربستان، ناوه شرق مدیترانه و تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال برای منطقه همگرایی دریای سرخ، کم‌فشار سودان و کم‌فشار آیسلند مهمترین نقش را داشته‌اند. از اینرو ناهنجاری‌های آب‌وهوایی ایران از ترازهای بالا و میانی جو در مراکز کنش مورد مطالعه بیش از ترازهای زیرین جو تاثیر می‌پذیرد.

شکل‌های ۳ تا ۱۰ الگوی فضایی همبستگی مهمترین تراز هر مرکز کنش در ارتباط با ناهنجاری فراگیر بارش در ایران را در ماه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر ارائه در شکل (۳) پرفشار آزرورز ارتباط معنی‌دار قابل‌قبولی را با بیشتر بخش‌های کشور نشان نمی‌دهد. به غیر از نوار کناره دریای خزر و قسمتهایی از جنوب شرق کشور که در سطح خطای ۱۰٪ دارای ارتباط معنی‌دار و مستقیم با ارتفاع استاندارد شده ژئوپتانسیل تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال آزرورز هستند، سایر قسمت‌های کشور ارتباط معنی‌داری را نشان نمی‌دهد و در کل می‌توان گفت اثر منطقه مورد مطالعه در پرفشار آزرورز بر ناهنجاری بارش ایران قابل‌پذیرش نیست. شکل (۴) ارتباط پرفشار شمال آفریقا را در این رابطه نشان می‌دهد که بیشتر قسمت‌های کشور در سطح اعتماد ۹۹٪ ارتباط معنی‌دار را نشان می‌دهند؛ همچنین هسته اصلی بیشترین ارتباط جنوب و شمال شرق کشور با میزان همبستگی فراتر از ۰/۵- است. کمترین میزان همبستگی در ارتباط با این مرکز در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مربوط به قسمت شمال غرب و جنوب شرق کشور می‌باشد که ارتباط وارون بین آنها در سطح اعتماد ۹۵٪ قابل‌پذیرش است.

مستقل (ارتفاع استاندارد شده جو در مراکز کنش در چهار تراز مورد بررسی) وارد مدل می‌شوند و بعد اگر سهم معنی‌داری در معادله نداشته باشند، به ترتیب حذف می‌شوند و تنها متغیرهای بسیار موثر در پایان در مدل باقی می‌مانند. همچنین در بخش سوم این پژوهش به منظور بررسی صحت و کیفیت عملکرد توابع رگرسیونی ارائه شده از آماره‌های تحلیل خطا RMSE و BIAS استفاده شد. با توجه به تعداد موارد ناهنجار تحت بررسی (۶۶ مورد) در این پژوهش مقادیر همبستگی $\pm 0/2$ ، $\pm 0/24$ و $\pm 0/3$ به ترتیب آستانه‌های بحرانی معناداری در سطح ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد محسوب می‌شوند.

شرح و تفسیر نتایج

جدول (۱) مقادیر متوسط همبستگی ۳۰ ایستگاه کشور در هر یک از ترازهای چهارگانه و هر مرکز کنش جوی و همچنین تعداد ایستگاه دارای معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۰٪ در این رابطه را نشان می‌دهد. بر اساس مقادیر محاسبه و ارائه شده در این جدول کمترین مقادیر همبستگی در بین تمامی مراکز مورد مطالعه مربوط به پرفشار آزرورز می‌باشد که تنها با ۶ ایستگاه کشور دارای همبستگی معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۰٪ و بر اساس مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال قابل‌پذیرش است. بیشترین همبستگی متوسط ایستگاه‌های کشور به ترتیب مربوط به مرکز همگرایی دریای سرخ، ناوه شرق مدیترانه و پرفشار شمال آفریقا که به ترتیب مربوط به تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال با ۲۹ ایستگاه، تراز ۵۰۰ با ۲۷ ایستگاه و همچنین تراز ۵۰۰ با ۳۰ ایستگاه می‌باشد. در رتبه‌بندی بعدی نیز می‌توان به ارتباط وارون پرفشار عربستان در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال با ۲۶ ایستگاه کشور، پرفشار تبت در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال با ۲۲ ایستگاه و منطقه کم‌فشاری آیسلند در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال با ۲۴ ایستگاه کشور اشاره داشت. لازم به ذکر است ممکن است ترازهای دیگر یک مرکز کنش نیز رابطه معنی‌دار و قوی با ایستگاه‌های مورد مطالعه داشته باشد، اما در این بخش مهمترین ترازهای دارای بیشترین ارتباط در هر مرکز کنش مورد تاکید قرار می‌گیرد. در مجموع مراکز پرفشار آزرورز و کم‌فشار

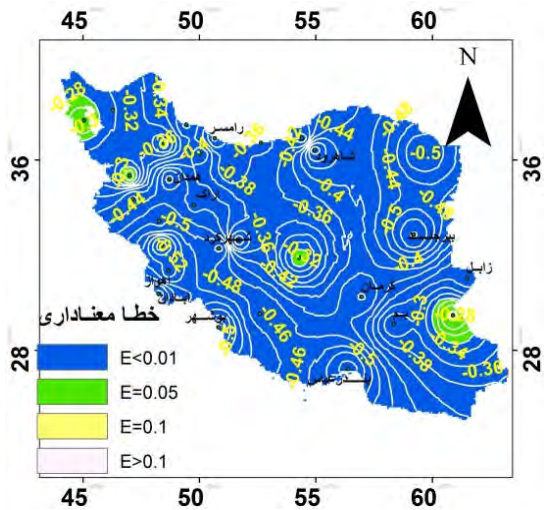
جدول (۱): مقادیر متوسط همبستگی ۳۰ ایستگاه کشور و همچنین تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی در سطح اعتماد ۹۰٪ و بیشتر با مراکز کنش مطالعاتی در ترازهای مختلف جوی

نام مرکز	سطح	متوسط همبستگی ۳۰ ایستگاه	تعداد ایستگاه معنی دار همبستگی	نام مرکز	سطح	متوسط همبستگی ۳۰ ایستگاه	تعداد ایستگاه معنی دار همبستگی
پرفشار آزرز	۹۲۵H.P.	0.110	<u>6</u>	ناوه شرق مدیترانه	۹۲۵H.P.	-0.090	12
	۸۵۰ H.P.	0.086	4		۸۵۰ H.P.	-0.204	14
	۷۰۰ H.P.	-0.035	0		۷۰۰ H.P.	-0.356	24
	۵۰۰ H.P.	0.001	0		<u>27</u> H.P.	<u>-0.412</u>	
پرفشار شمال افریقا	۹۲۵H.P.	-0.096	5	همگرایی دریای سرخ	۹۲۵H.P.	-0.211	16
	۸۵۰ H.P.	-0.148	10		۸۵۰ H.P.	-0.379	28
	۷۰۰ H.P.	-0.225	18		<u>29</u> H.P.	<u>-0.479</u>	
	۵۰۰ H.P.	<u>-0.404</u>	<u>30</u>		۵۰۰ H.P.	-0.412	27
پرفشار عربستان	۹۲۵H.P.	-0.061	0	کمفشاری سودان	۹۲۵H.P.	-0.097	6
	۸۵۰ H.P.	-0.195	13		۸۵۰ H.P.	-0.128	9
	۷۰۰ H.P.	-0.186	13		<u>12</u> H.P.	-0.167	
	۵۰۰ H.P.	<u>-0.299</u>	<u>26</u>		۵۰۰ H.P.	-0.119	6
پرفشار تبت	۹۲۵H.P.	<u>-0.288</u>	<u>22</u>	کمفشاری آیسلند	۹۲۵H.P.	-0.252	22
	۸۵۰ H.P.	-0.260	18		۸۵۰ H.P.	-0.256	23
	۷۰۰ H.P.	-0.157	10		<u>24</u> H.P.	<u>-0.263</u>	
	۵۰۰ H.P.	-0.177	12		۵۰۰ H.P.	-0.261	23

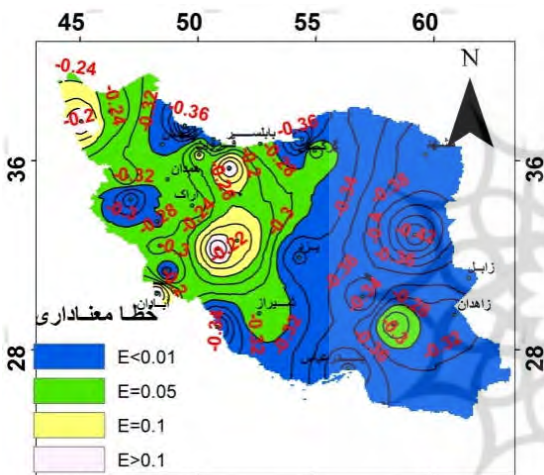
*مهمترین تراز هر مرکز پررنگ و با زیرخط مشخص شده است.

و غرب میانی بیشترین تاثیر را داشته باشد (شکل ۶). در این راستا کمترین ارتباط مربوط به شمال شرق کشور و در امتداد آن کمترین سطح معنی داری از شمال غرب به جنوب شرق و نیمه شمالی کشور و به ویژه چاله‌های ایران مرکزی دیده می‌شود (شکل ۶). ارتباط ناه همبستگی در تراز ۵۰۰ با ناهنجاریهای بارش ایران به صورت مشهود در جنوب شرق کشور به کمترین میزان خود می‌رسد. به جز ایستگاههای کرمان، بم، زاهدان و زابل در حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد دارای معنی داری قابل اعتماد است. دیگر قسمتهای کشور دارای

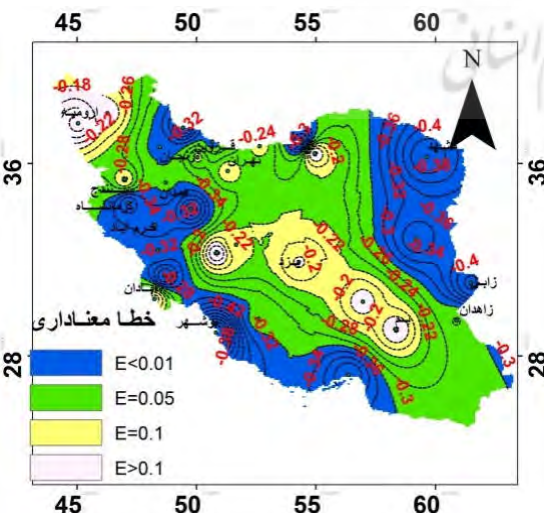
الگوی مکانی همبستگی‌های مربوط به پرفشار عربستان در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان می‌دهد نیمه شرقی کشور در این راستا ارتباط معنی دار و قویتری را نشان می‌دهد. در مجموع نیمه شرقی کشور همبستگی بین ۰/۳- تا ۰/۴۲- را دارد. که بیشینه آن مربوط به خراسان جنوبی به نمایندگی ایستگاه بیرجند است. در نیمه غربی کشور مقادیر همبستگیها تا ۰/۲- و معنی داری بین ۹۵ تا ۹۰ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۵). همچنین به نظر می‌رسد نقش پرفشار تبت در ناهنجاریهای ایران به صورت وارون بوده و به ویژه در شمال شرق و نوار جنوب و جنوب غرب



شکل (۴): الگوی مکانی همبستگی ناهنجاری فراگیر بارش در پهنه ایران با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال پرفشار شمال آفریقا

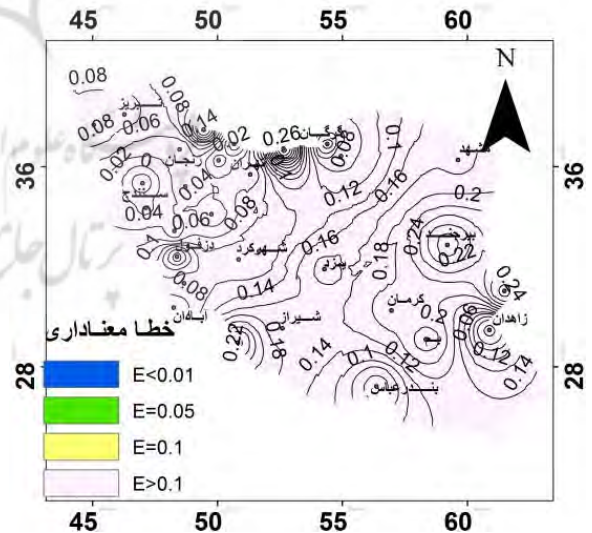


شکل (۵): الگوی مکانی همبستگی ناهنجاری فراگیر بارش در پهنه ایران با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال پرفشار عربستان

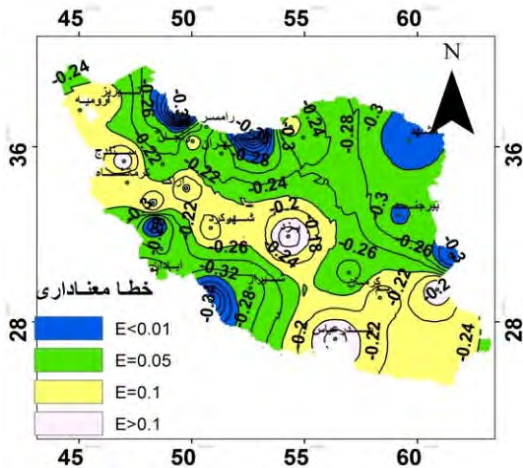


شکل (۶): الگوی مکانی همبستگی ناهنجاری فراگیر بارش در پهنه ایران با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال پرفشار تبت

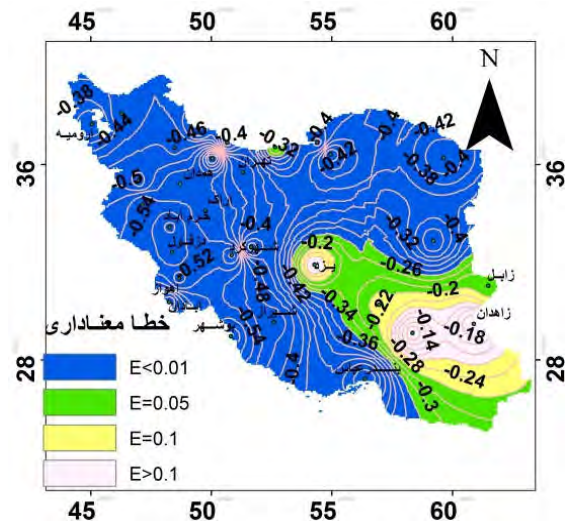
معنی‌داری بیش از ۹۹ درصد و جنوب‌غرب و غرب کشور دارای هسته بیشترین ارتباط باشند (شکل ۷). الگوی ارتباط ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در چهارچوب منطقه همگرایی دریای سرخ با ناهنجاری بارش ایران در شکل (۸) الگوی مشابه شکل (۷) را نشان می‌دهد. بیشترین ارتباط در غرب و جنوب‌غرب (۰/۶-) و کمترین سطح اعتماد معنی‌داری در جنوب‌شرق در حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد می‌باشد. شکل (۹) الگوی مکانی ارتباط ناهنجاری فراگیر بارش در کشور با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال در کم‌فشار سودان را نشان می‌دهد. بیشترین میزان همبستگی در غرب و جنوب‌غرب کشور در سطح اعتماد معنی‌داری ۹۰ تا ۹۵ درصد می‌باشد. نیمه شرقی کشور ارتباط معنی‌داری را در این رابطه نشان می‌دهد (شکل ۹). شکل (۱۰) الگوی همبستگی مربوط به کم‌فشار آیسلند را نشان می‌دهد. بیشترین همبستگی در جنوب‌غرب و شمال و شمال‌شرق کشور در حدود ۰/۲۴- تا ۰/۳۴- می‌باشد و به شکل چشمگیری در امتداد شمال‌غرب به جنوب‌شرق و به ویژه در امتداد رشته کوه زاگرس از سطح اعتماد معنی‌داری همبستگی کاسته می‌شود.



شکل (۳): الگوی مکانی همبستگی ناهنجاری فراگیر بارش در پهنه ایران با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال آزرورز

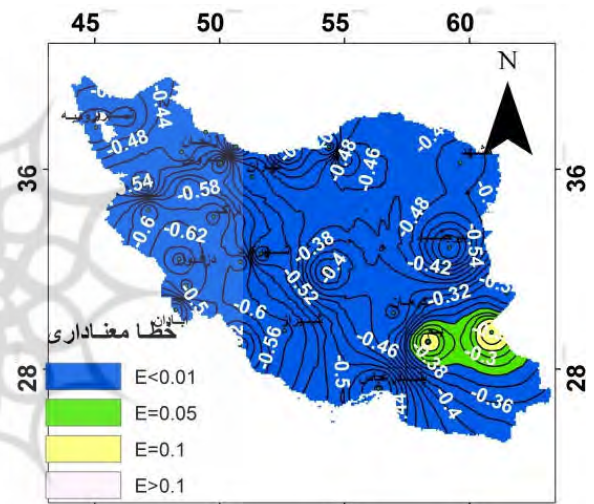


شکل (۱۰): الگوی مکانی همبستگی ناهنجاری فراگیر بارش در پهنه ایران با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال کم فشار آیسلند مدل سازی رگرسیون چندمتغیره

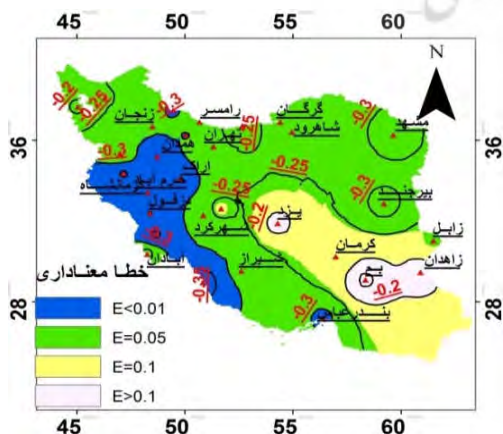


شکل (۷): الگوی مکانی همبستگی ناهنجاری فراگیر بارش در پهنه ایران با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ناوه شرق مدیترانه

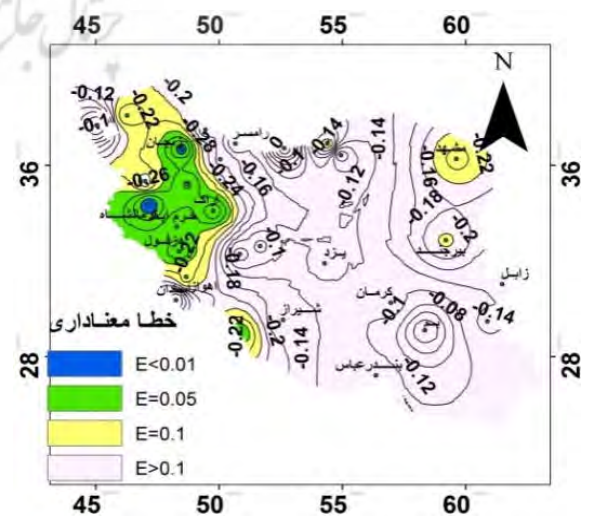
در این بخش از پژوهش به منظور ارائه مدل رگرسیونی تبیین کننده ناهنجاری بارش کشور از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شده است. از آنجا که مدل سازی و ارائه تابع خطی به منظور تبیین و پیش یابی بارش استاندارد ماهانه هر ایستگاه فراتر از ابعاد ارائه مطالب در این پژوهش می باشد، از اینرو ایستگاه هایی که به لحاظ ارتباط با مراکز کنش وضعیت مشابهی دارند در یک گروه قرار داده شده، و متوسط مقدار استاندارد بارش ماهانه آنها به عنوان متغیر وابسته به مدل وارد شده است. از این رو ۸ نقشه بالا در ۸ لایه با یکدیگر ادغام و نتایج در شکل (۱۱) ارائه شده است. بر اساس این شکل کل ۳۰ ایستگاه مورد مطالعه بر اساس سطح اعتماد معنی داری ارتباط با مراکز کنش جوی را می توان در سه گروه دسته بندی کرد (جدول ۲).



شکل (۸): الگوی مکانی همبستگی ناهنجاری فراگیر بارش در ایران با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال منطقه همگرایی دریای سرخ



شکل (۱۱): متوسط ارتباط ایستگاه ها با ۸ مرکز کنش جوی مورد مطالعه



شکل (۹): الگوی مکانی همبستگی ناهنجاری فراگیر بارش در پهنه ایران با ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال کم فشار سودان

جدول (۲): دسته بندی ایستگاه‌ها بر اساس مقادیر همبستگی و سطح معناداری در ارتباط با مراکز کنش جوی مورد مطالعه

گروه	ایستگاه	سطح معناداری
اول	زاهدان، بم، کرمان، یزد	$X \leq 90\%$
دوم	بوشهر، اهواز، دزفول، اراک، همدان، خرم آباد، کرمانشاه، سنندج	$X \geq 99\%$
سوم	بندرعباس، شیراز، شهرکرد، اصفهان، بیرجند، ارومیه، زنجان، تبریز، تهران، قزوین، مشهد، شاهرود، گرگان، بندرانزلی، بابلسر، انزلی، آبادان	$X \approx 95\%$

جدول شماره (۳) مربوط به مدل‌سازی نمره استاندارد بارش (Z) متغیرهای مستقل انتخاب شده در این مدل، مقدار Z ارتفاع ماه‌های ناهنجار منتخب در متوسط ایستگاه‌های گروه اول در ارتباط با مراکز کنش جوی در ماه همزمان است. بر این اساس مقدار استاندارد شده ارتفاع ژئوپتانسیل جو در ۸ مرکز و ۴ تراز (۳۲=۴*۸) به مدل رگرسیون خطی وارد شد. بر اساس جدول (۳) مقدار همبستگی (۰/۷۳۳)، ارتباط نسبتاً مناسبی بین مراکز کنش مورد مطالعه و متغیر وابسته در جنوب شرق ایران وجود دارد. براساس نتایج بدست آمده در گام ۲۲ مدل رگرسیونی

جدول (۳): ضرایب متغیرهای مستقل انتخاب شده (Coefficients^a) مدل‌سازی ماه همزمان برای گروه شماره ۱ ایستگاه‌های کشور

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
(Constant)	.128	.100		1.279	.206	-.072	.328
TABAT.L.700	.840	.280	.878	2.995	.004	.278	1.401
TABAT.L.500	-.751	.247	-.810	-3.039	.004	-1.247	-.256
AR.H.L.925	-.466	.172	-.498	-2.702	.009	-.811	-.121
AR.H.L.700	1.189	.446	1.308	2.666	.010	.295	2.082
AR.H.L.500	-1.098	.258	-1.263	-4.249	.000	-1.615	-.580
AF.H.L.500	-.506	.137	-.547	-3.690	.001	-.780	-.231
E.MED.L.700	.337	.117	.397	2.881	.006	.103	.572
SUDAN.L.700	-.908	.398	-.931	-2.282	.026	-1.706	-.111
SUDAN.L.500	1.011	.332	.956	3.049	.003	.347	1.676

R=0.733, R Square=0.538, Adjusted R Square=0.463, Std. Error of the Estimate=0.697804

a. Dependent Variable: Group1

$$0.506)+(E.MED.L.700*0.337)+(SUDAN.L.700*-0.908)+(SUDAN.L.500*1.011))$$

جدول ۴ مربوط به مدل‌سازی رگرسیونی با گام ماه همزمان برای ایستگاه‌های گروه دوم می‌باشد. براساس مقادیر ارائه شده در جدول ۴ مقدار R معناداری رابطه رگرسیونی برابر با ۰/۸۶ می‌باشد که رابطه بسیار قوی بین مدل طراحی شده و متغیر وابسته را نشان می‌دهد. ضریب تعیین نیز نشان‌دهنده ارتباط بیش از ۷۰٪ ناهنجاریها با مراکز و ترازهای انتخاب شده در گام ۲۳

بر اساس مقادیر جدول (۳) و با توجه به مقدار sig کمتر از ۰/۰۵ مربوط به تمامی متغیرهای مستقل، مدل رگرسیون خطی زیر به منظور تبیین متوسط Z ناهنجاری بارش ایستگاه‌های گروه ۱ (جنوب شرق) در ماه همزمان بر اساس مقادیر B ارائه می‌گردد:

$$Z_{PG1,M=M}=0.128+((TABAT.L.700*0.84)+(TABAT.L.500*-.0751)+(AR.H.L.925*-.466)+(AR.H.L.700*1.189)+(AR.H.L.500*-.1098)+(AF.H.L.500*-.506))$$

مدلسازی در این رابطه است. بر اساس مقادیر جدول ۴ مقدار Sig بسیار پایین و خطای اندکی را نشان می‌دهد. در این رابطه مدل ارائه شده در زمینه متغیرهای مستقل متشکل از پرفشار تراز ۹۲۵ تبت و عربستان، و پرفشار شمال آفریقا در تراز ۸۵۰

مقادیر Z ارتفاع ژئوپتانسیل جو در ناوه شرق مدیترانه در سه تراز ۹۲۵، ۸۵۰ و ۷۰۰ و ترازهای ۹۲۵ و ۷۰۰ هکتوپاسکال در منطقه همگرایی دریای سرخ می‌باشد.

جدول (۴): ضرایب متغیرهای مستقل انتخاب شده (Coefficients) مدلسازی ماه برابر برای گروه ۲ ایستگاههای کشور

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
(Constant)	.195	.092		2.131	.037	.012	.379
TABAT.L.925H.P.	-.370	.109	-.307	-3.392	.001	-.589	-.152
AR.H.L.925	.832	.140	.663	5.932	.000	.551	1.113
AF.H.L.850	.675	.177	.554	3.812	.000	.321	1.030
23 E.MED.L.925	3.836	1.260	3.324	3.044	.004	1.312	6.359
E.MED.L.850	-4.895	1.912	-4.162	-2.559	.013	-8.724	-1.065
E.MED.L.700	1.443	.756	1.265	1.909	.061	-.071	2.957
R.S.L.925	-1.483	.262	-1.287	-5.668	.000	-2.007	-.959
R.S.L.700	-.320	.141	-.292	-2.269	.027	-.603	-.038

R=0.864, R Square=0.747, Adjusted R Square=0.712, Std. Error of the Estimate=0.686678

a. Dependent Variable: Group2

مقادیر Sig خطا معنی‌داری برای اغلب این متغیرها کمتر از ۰/۰۵ است. با توجه به مقادیر B جدول (۵) رابطه رگرسیونی مربوط به این گروه از ایستگاهها به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$ZP_{G2,M=M} = 0.195 + ((TABAT.L.925H.P.* - 0.370) + (AR.H.L.925*0.832) + (AF.H.L.850*0.675) + (E.MED.L.925*3.836) + (E.MED.L.850*-4.895) + (E.MED.L.700*1.443) + (R.S.L.925*-1.483) + (R.S.L.700*-0.320))$$

بر اساس مقادیر جدول (۴) مدل رگرسیونی مربوط به گروه ۲ در ماه همزمان به صورت زیر است:

$$ZP_{G2,M=M} = 0.195 + ((TABAT.L.925H.P.* - 0.370) + (AR.H.L.925*0.832) + (AF.H.L.850*0.675) + (E.MED.L.925*3.836) + (E.MED.L.850*-4.895) + (E.MED.L.700*1.443) + (R.S.L.925*-1.483) + (R.S.L.700*-0.320))$$

جدول (۵) مربوط به مولفه‌های مدل رگرسیونی استاندارد بارش (zp) ایستگاههای مربوط به گروه ۳ در بازه ماه همزمان در ارتباط با مراکز کنش جوی مورد مطالعه است. بر اساس

مقادیر جدول (۵) مقدار R محاسباتی مدل در گام ۱۸ برابر با ۰/۹۰۹ و ضریب تعیین حدود ۰/۸ با خطای برآورد پایینی است. در گام ۱۸ مدل از ۱۳ متغیر مستقل به ترتیب شامل پرفشار تبت در ترازهای ۹۲۵، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، پرفشار عربستان در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، پرفشار شمال آفریقا در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، ناوه شرق مدیترانه در تراز ۹۲۵ هکتوپاسکال، همگرایی دریای سرخ در تراز ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، منطقه کم‌فشاری سودان در چهار تراز ۹۲۵، ۸۵۰، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال استفاده کرده است. بر اساس

در مجموع به نظر می‌رسد با وجود تنوعی که بین سه گروه مورد بررسی در زمینه نقش مراکز کنش در تبیین ناهنجاری در بازه ماه همزمان وجود دارد، اما برخی از مراکز مانند پرفشار تبت، ناوه شرق مدیترانه و منطقه همگرایی دریای سرخ و پرفشار شمال آفریقا از موثرترین مراکز باشند. همچنین حذف متغیرهای مربوط به کم‌فشار آیسلند و پرفشار آزرورز در تمامی ترازها در جریان مدلسازی نشان‌دهنده نقش کم‌رنج و قابل‌اغماض تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل این دو مرکز در ماه همزمان بر رخداد ناهنجاری بارش در کشور باشد.

جدول (۵): ضرایب متغیرهای مستقل انتخاب شده (Coefficientsa) مدل‌سازی ماه برابر برای گروه شماره ۳ ایستگاه‌های کشور

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	95.0% Confidence Interval for B	
	B	Std. Error	Beta			Lower Bound	Upper Bound
(Constant)	.051	.063		.808	.423	-.075	.177
TABAT.L.925H.P.	-.325	.089	-.377	-3.640	.001	-.503	-.146
TABATL.700	.686	.199	.747	3.446	.001	.287	1.086
TABATL.500	-.317	.156	-.356	-2.027	.048	-.630	-.003
AR.H.L.700	1.487	.211	1.704	7.054	.000	1.064	1.910
AR.H.L.500	-.775	.155	-.928	-4.993	.000	-1.086	-.464
AF.H.L.850	.258	.143	.296	1.800	.078	-.030	.546
E.MED.L.925	.311	.099	.376	3.144	.003	.112	.509
R.S.L.925	.444	.226	.538	1.964	.055	-.010	.898
R.S.L.850	-1.342	.167	-1.644	-8.030	.000	-1.678	-1.007
SUDAN.L.925	-3.155	.967	-3.621	-3.261	.002	-5.097	-1.214
SUDAN.L.850	4.313	1.395	4.877	3.091	.003	1.513	7.113
SUDAN.L.700	-2.630	.632	-2.808	-4.162	.000	-3.898	-1.362
SUDAN.L.500	.690	.219	.680	3.147	.003	.250	1.131

R=0.909, R Square=0.827, Adjusted R Square=0.783, Std. Error of the Estimate=0.425904

a. Dependent Variable: Group3

مدل رگرسیونی پیش‌بینی

مقادیر متغیرهای مستقل (ارتفاع استاندارد شده مراکز کنش) را نشان می‌دهند. بر اساس مقادیر بدست آمده R برابر با ۰/۳۷ که نسبتاً ضعیف است و مقدار ضریب تعیین نیز که در جدول (۶) مشخص شده است، نشان می‌دهد مراکز منتخب توانایی مناسبی در این رابطه ندارند. در مجموع بر اساس مولفه‌های ۵ تراز و مراکزی که بیشترین نقش معنی‌دار را در رابطه با ناهنجاری بارش ایستگاه‌های گروه (۱) داشته‌اند، می‌توان تابع رگرسیونی ذیل را بر اساس مقادیر B جدول ۱۰ ارائه کرد.

ZP_{G1,M=M}-

$$=0.214+((AR.H.L.700*0.517)+(AR.H.L.500*0.435) + (AF.H.L.925*0.440) + (E.MED.L.850*0.977)+(E.MED.L.700*0.977))$$

پیش‌بینی مهم‌ترین هدف واکاوی رفتار جو در زمان رخداد ناهنجاری می‌باشد. در واقع تمامی تلاش آب و هواشناسان در زمینه درک رفتار جو به منظور تبیین ارتباط عناصر آن و پیش‌بینی تغییرات دور و نزدیک آن می‌باشد. از این رو در این بخش با استفاده از مقادیر استاندارد شده ارتفاع ژئوپتانسیل جو در مراکز و ترازهای مورد مطالعه یک تابع رگرسیونی به منظور پیش‌بینی یک ماهه بارش هر گروه از ایستگاه‌ها ارائه شده است.

جدول (۶) مقادیر مربوط به خلاصه نتایج مدل‌سازی گام ۲۶ مربوط به گروه ۱ با یک گام پیشتر (یک ماه جلوتر) بر اساس

جدول (۶): ضرایب متغیرهای مستقل انتخاب شده (Coefficientsa) مدل‌سازی یک ماه پیشتر برای گروه ۱ ایستگاه‌های کشور

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.214	.125		1.706	.093
AR.H.L.700	.517	.286	.556	1.809	.076
AR.H.L.500	-.435	.257	-.467	-1.691	.096
AF.H.L.925	-.440	.220	-.539	-1.998	.050
E.MED.L.850	.977	.507	1.087	1.927	.059
E.MED.L.700	-1.003	.433	-1.030	-2.318	.024

R=0.372, R Square=0.138, Adjusted R Square=0.067, Std. Error of the Estimate=0.920408

a. Dependent Variable: Group1

مقدار sig هر یک از مراکز کنش کمتر از ۰/۰۵ می باشد. بر اساس مقدار B می توان تابع این گروه را به شکل زیر ارائه کرد.

$$ZP_{G2,M=M-1}=0.105+((\text{TABATL}.850*-0.592)+(\text{AR.H.L}.850*1.364)+(\text{AR.H.L}.500*-0.540)+(\text{AF.H.L}.925*-0.560)+(\text{AZ.L}.925*1.929)+(\text{AZ.L}.850*-2.655)+(\text{AZ.L}.500*1.228)+(\text{SUDAN.L}.500*-0.571))$$

جدول (۷) مربوط به مدلسازی پیش یابی یک ماهه برای گروه ۲ ایستگاه های کشور می باشد. بر اساس مقادیر R برابر با ۰/۵۷ و همچنین ضریب تعیین برابر ۰/۲۴ نشان دهنده عملکرد نسبی و مناسب مدل در این زمینه می باشد. بر اساس مقادیر جدول ۷ که

جدول (۷): ضرایب متغیرهای مستقل انتخاب شده (Coefficientsa) مدلسازی یک ماه پیشتر برای گروه ۲ ایستگاه های کشور

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.105	.169		.618	.539
TABATL.850	-.592	.187	-.466	-3.159	.003
AR.H.L.850	1.364	.299	1.069	4.555	.000
AR.H.L.500	-.540	.263	-.432	-2.052	.045
23 AF.H.L.925	-.560	.180	-.512	-3.117	.003
AZ.L.925	1.929	.769	1.602	2.508	.015
AZ.L.850	-2.655	1.029	-2.225	-2.580	.012
AZ.L.500	1.228	.519	.929	2.368	.021
SUDAN.L.500	-.571	.281	-.434	-2.030	.047

R=0.577, R Square=0.333, Adjusted R Square=0.240, Std. Error of the Estimate=0. 1.115144

a. Dependent Variable: Group2

پرفشار عربستان، ۹۲۵ شمال آفریقا، ۹۲۵ و ۸۵۰ هکتوپاسکال پرفشار آزرز، ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال سودان می باشد. بدین ترتیب بر اساس مقادیر B جدول ۸ می توان تابع رگرسیونی این گروه را به صورت زیر ارائه کرد:

$$ZP_{G3,M=M-1}=0.051+((\text{TABATL}.850*-0.271)+(\text{AR.H.L}.925*0.565)+(\text{AF.H.L}.925*-0.656)+(\text{AZ.L}.925*0.931)+(\text{AZ.L}.850*-0.767)+(\text{SUDAN.L}.850*0.537)+(\text{SUDAN.L}.500*-0.507))$$

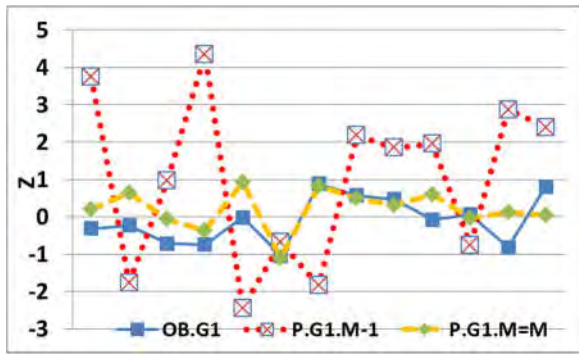
جدول (۸) مقادیر مربوط به مدل رگرسیونی در گام ۲۴ به منظور پیش یابی یک ماهه مقدار بارش استاندارد شده متوسط ایستگاه های گروه ۳ را ارائه می کند. بر اساس مقادیر ارائه شده در این رابطه R برابر با ۰/۵۲ و ضریب تعیین ۰/۱۸ تناسب نسبتاً مناسب پیش بینی کننده های این گروه در بازه پیش یابی یک ماهه شامل ارتفاع ژئوپتانسیل جو در تراز ۸۵۰ پرفشار تبت، ۹۲۵

جدول (۸): ضرایب متغیرهای مستقل انتخاب شده (Coefficients^a) مدلسازی یک ماه پیشتر برای گروه شماره ۳ ایستگاه های کشور

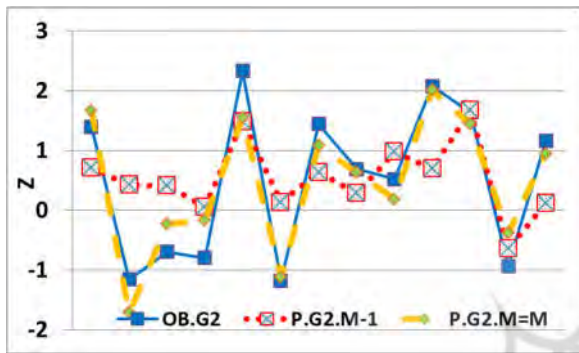
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.051	.122		.417	.678
TABATL.850	-.271	.133	-.299	-2.034	.047
AR.H.L.925	.565	.167	.628	3.391	.001
24 AF.H.L.925	-.656	.188	-.838	-3.484	.001
AZ.L.925	.931	.481	1.081	1.934	.058
AZ.L.850	-.767	.459	-.899	-1.673	.100
SUDAN.L.850	.537	.318	.628	1.685	.097
SUDAN.L.500	-.507	.237	-.539	-2.144	.036

0.275, Adjusted R Square=0.188, Std. Error of the Estimate=0. 824465=R=0.525, R Square

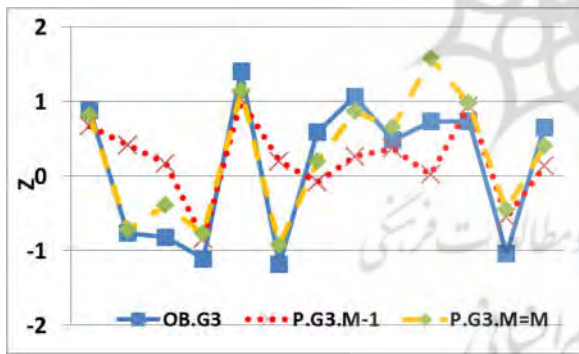
a. Dependent Variable: Group3



شکل (۱۲): تطابق مقادیر مشاهداتی (OB) و پیش‌یابی مدل (P.) برای گروه ۱ در دو بازه ماه همزمان (M=M) و پیش‌یابی یک ماهه (M-1) گروه اول ایستگاه‌ها



شکل (۱۳): تطابق مقادیر مشاهداتی (OB) و پیش‌یابی مدل (P.) برای گروه ۲ در دو بازه ماه همزمان (M=M) و پیش‌یابی یک ماهه (M-1) گروه دوم ایستگاه‌ها



شکل (۱۴): تطابق مقادیر مشاهداتی (OB) و پیش‌یابی مدل (P.) برای گروه ۳ در دو بازه ماه همزمان (M=M) و پیش‌یابی یک ماهه (M-1) گروه سوم ایستگاه‌ها

جدول (۹): آماره‌های آزمون عملکرد مدل‌های رگرسیونی

	BIAS		RMSE		
	M-1	M=M	M-1	M=M	
گروه اول	1.08	0.29	3.89	1.04	
گروه دوم	0.04	-0.05	0.16	0.13	
گروه سوم	0.13	0.08	0.48	0.30	

در مجموع به نظر می‌رسد در بازه پیش‌یابی یک ماهه نقش مراکز کنش دورتر پررنگ‌تر می‌شود. برای مثال نقش محسوس پرفشار آزرورز در این بازه قابل‌تامل است. همچنین منطقه جنوب‌شرق ایران دارای الگوی بارشی پیچیده‌ای است و پیش‌بینی آن بر اساس مقادیر مطالعه‌شده در مورد مراکز کنش در بازه پیش‌یابی یک ماهه قدری دشوار به نظر می‌رسد. نهایتاً نتایج این قسمت نشانگر این است که پرفشار آزرورز، شمال آفریقا و عربستان، کم‌فشار سودان و پرفشار تبت مهمترین سازه‌های جوی برای پیش‌بینی بارش ایستگاه‌ها در بازه پیش‌تر از یک ماه هستند.

صحت‌سنجی عملکرد مدل‌های رگرسیونی

به منظور صحت‌سنجی عملکرد توابع ارائه شده در این پژوهش ۲۰٪ از موارد ناهنجار به عنوان آزمون کنار گذاشته شده که در این بخش بر اساس مقادیر BIAS و RMSE صحت عملکرد توابع مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ به منظور نمایش مقادیر برآورد شده توسط تابع رگرسیونی در ماه همزمان و پیش‌یابی یک ماهه در مقایسه با متوسط مقادیر مشاهداتی عدد استاندارد بارش در هر یک از سه گروه از ایستگاه‌ها ارائه شده است. گروه اول که مربوط به ایستگاه‌های جنوب‌شرق ایران با سطح اطمینان متوسط حدود ۹۰٪ می‌باشد، در بازه ماه همزمان عملکردی نسبتاً قابل‌قبولی را در ۱۳ مورد تصادفی ناهنجار مطالعه شده نشان می‌دهد. اما در بازه یک گام بیشتر ضریب خطای مدل بسیار بالاست. مقادیر BIAS و RMSE مربوط به گروه دوم ایستگاه‌ها در محدوده غرب و جنوب‌غرب کمترین خطا و بهترین عملکرد مدل را نشان می‌دهد (شکل ۱۳). مقادیر BIAS نشان می‌دهد توابع ارائه شده برای این گروه در دو بازه ماه همزمان و یک ماه پیش‌تر در حدود ۵٪ خطا داشته است و از این رو قابل اطمینان است.

مقادیر مربوط به شکل ۱۴ و جدول ۹ مربوط به گروه سوم ایستگاههای کشور نیز عملکرد نسبتاً مناسب و قابل قبول توابع ارائه شده در این پژوهش را تایید می‌نماید. مقدار خطای پیش‌بینی مدل به طور متوسط در هر ماه ناهنجاری بین ۰/۰۸ تا ۰/۱۳ مقدار بارش استاندارد شده ایستگاههای متوسط‌گیری شده می‌باشد. در مجموع به جز برای منطقه جنوبشرق کشور به نظر می‌رسد توابع ارائه شده به ویژه به منظور پیش‌یابی یک ماهه استاندارد بارش در پهنه کشور ایران در ارتباط با تغییرات فشار در مراکز کنش جوی منتخب عملکرد مناسبی داشته و از این رو می‌توان از این توابع در این راستا استفاده کرد.

نتیجه گیری

مراکز کنش جوی از جمله اثرگذارترین سازه‌های جوی هستند که با اثرگذاری بر الگوها و مولفه‌های جوی می‌توانند اقلیم کوتاه و درازمدت مناطق مختلف کره زمین را کنترل نمایند. در این پژوهش که به منظور واکاوی و مدلسازی ارتباط این مراکز با ناهنجاری‌های ماهانه بارش در پهنه ایران انجام شده است نتایج متعددی به دست آمد که به شرح زیر می‌توان آنها را جمع‌بندی کرد. بر اساس یافته‌های پژوهش ناهنجاری بارش در ایران دارای بیشترین ارتباط با مرکز همگرایی دریای سرخ، ناهیه شرق مدیترانه و پرفشار شمال آفریقا می‌باشد. بیشترین ارتباط در این مراکز به ترتیب مربوط به تراز ۷۰۰، و ۵۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. اگرچه تمامی ترازهای جوی منتخب در این مراکز اثرگذار و مهم هستند، اما به نظر می‌رسد در این راستا تغییرات در ترازهای میانی جو مهمتر و دارای ارتباطی قویتر است. همچنین پرفشار عربستان در تراز ۵۰۰ و پرفشار تبت در تراز ۹۲۵ و کمفشار آیسلند نیز در تراز ۷۰۰ به ترتیب دارای همبستگی ۰/۲۹-، ۰/۲۸- و ۰/۲۶- با ناهنجاری‌های بارش ایران هستند و در سطح ۹۵٪ ارتباط این مراکز معنی‌دار و قابل‌پذیرش است. بر اساس یافته‌ها ارتباط پرفشار آزرورز در ماه همزمان با ناهنجاری بارش در ایران بسیار ضعیف است. در زمینه پراکنش الگوی همبستگی مراکز مورد مطالعه پرفشار آزرورز ارتباط ضعیفی را با ایستگاههای شمالی و شمال‌شرقی ایران به

صورت مستقیم نشان می‌دهد، که البته عمدتاً پایین‌تر از سطح اطمینان ۹۰٪ می‌باشد. پرفشار شمال آفریقا نیز دارای یک ارتباط نسبتاً قوی و معکوس با تمام پهنه ایران می‌باشد، که البته ضعیف‌ترین ارتباط را با جنوب‌شرق ایران دارد. برخلاف پرفشار شمال آفریقا؛ پرفشار عربستان ارتباط قوی و در سطح ۹۹٪ معنی‌دار با نیمه شرقی ایران و در سطح ۹۵٪ و ۹۰٪ با نیمه غربی ایران را نشان می‌دهد. ارتباط ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۷۰۰ هکتوپاسکالی منطقه همگرایی دریای سرخ با تمام پهنه ایران در سطح بیش از ۹۹٪ بجز در جنوب‌شرق (۹۵ تا ۹۰ درصد) بسیار قوی می‌باشد. پرفشار تبت بیشترین ارتباط خود را در تراز ۹۲۵ با بارشهای ایران نشان می‌دهد که بیشینه این ارتباط مربوط به شمال‌شرق و جنوب و جنوب‌غرب ایران می‌باشد. کم‌فشار سودان تنها با نیمه غربی ایران ارتباط مناسبی را در تراز ۷۰۰ و کم‌فشار آیسلند نیز با جنوب‌غرب و شمال و شمال‌شرق ایران ارتباط مناسب و معکوسی را نشان داد. بر اساس یافته‌های پژوهش بین فشار و ارتفاع جو در مراکز مزبور و ناهنجاری بارش در پهنه ایران بجز در پرفشار آزرورز ارتباط معکوس دیده می‌شود. بر اساس الگوی همبستگی و سطح معنی‌داری در متوسط ارتباط این مراکز با ۳۰ ایستگاه مورد مطالعه، پهنه ایران را به سه دسته بر اساس سطوح معنی‌داری ۹۰، ۹۵ و ۹۹٪ می‌توان تقسیم کرد، که در این راستا جنوب‌شرق ایران در سطح ۹۰٪ و کمتر و غرب و جنوب‌غرب در سطح ۹۹٪ و بیشتر و دیگر بخش‌های پهنه ایران نیز در حدود ۹۵٪ دارای ارتباط معنی‌دار هستند.

نتایج مدل رگرسیونی نشان داد، گروه اول ایستگاه‌ها (جنوب شرق ایران) در ماه همزمان دارای ارتباط ۰/۷۳ و ضریب تعیین ۰/۴۳ و با استفاده از ارتفاع ژئوپتانسیل مراکز پرفشار عربستان در تراز ۵۰۰، ۷۰۰ و ۹۲۵، پرفشار تبت در تراز ۵۰۰ و ۷۰۰ و کمفشار سودان در تراز ۵۰۰ و ۷۰۰ و پرفشار شمال آفریقا در تراز ۵۰۰ و مرکز شرق مدیترانه در تراز ۷۰۰ مهمترین مراکز موثر بر ناهنجاری بارش در این راستا هستند. همچنین پیش‌یابی یک ماهه بارش متوسط مدل رگرسیونی برای منطقه جنوب‌شرق ایران (گروه ۱) بر اساس مقادیر ارتفاع ژئوپتانسیل

بر اساس نتایج بدست آمده از صحت‌سنجی عملکرد توابع رگرسیونی ارائه شده ضمن تایید توابع و مولفه‌های مشخص شده به منظور تبیین و پیش‌یابی بارش ماهانه و پیش‌یابی یک ماهه آن، بالاترین صحت عملکرد بر اساس مقادیر RMSE و BIAS مربوط به ایستگاههای غرب و جنوب غرب کشور و بیشترین خطا مربوط به جنوب شرق کشور می‌باشد. در مجموع با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش می‌توان گفت نقش مراکز کنش مورد مطالعه در ناهنجاری‌های بررسی شده بسیار قوی و تعیین‌کننده است. به شکلی که بر اساس مقادیر استاندارد شده ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای مختلف جو در این مراکز با استفاده از توابع رگرسیونی ارائه شده در این پژوهش با ضریب اطمینان قابل قبولی می‌توان مقادیر ناهنجاری بارش را در بیشتر بخشهای ایران تبیین و حتی پیش‌یابی کرد. در پایان لازم به ذکر است توابع ارائه شده در مورد متوسط استاندارد شده منطقه‌ای بارش کشور بوده و بهتر است به منظور دقت بیشتر در پیش‌بینی از متغیر وابسته بارش تک ایستگاه بدین منظور بهره برد، که این مهم در ابعاد این پژوهش با توجه به تعداد بالای ایستگاهها و اهداف ساختاری پژوهش حاضر امکان پذیر نبوده است.

منابع

۱. اردکانی، حسین، زمانیان، محمدتقی، هاشمی دوین، مه‌ری، ۱۳۸۷، مطالعه هم‌دیدگی و دینامیکی بیشترین بارش روی منطقه خراسان، مجله فیزیک زمین و فضا؛ ۳۴(۲): ۱۰۷-۱۲۳.
۲. اسعدی، علی، احمدی گیوی، فرهنگ، قادر، سرمد، محب‌الحجه، علیرضا، ۱۳۹۰، بررسی دینامیک مسیر توفان مدیترانه از دیدگاه شار فعالیت موج راسبی، مجله ژئوفیزیک ایران، ۳۱(۴): ۳۱-۴۵.
۳. اکبری، طیبه، ابوالفضل، مسعودیان، ۱۳۸۶، شناسایی نقش الگوهای پیوند از دور نیمکره شمالی بر دمای ایران، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان شماره ۲۲.
۴. امیدوار، کمال، دهقان، حمیده، فرودی، منوچهر، ۱۳۹۲، بررسی الگوهای هم‌دیدگی سیلاب‌های رودخانه بوانات مروسست در استان یزد، جغرافیا و آمایش شهری - منطقه ای؛ ۳(۸): ۲۷-۴۰.

تراز ۵۰۰ و ۷۰۰ پرفشار عربستان، تراز ۹۲۵ پرفشار شمال آفریقا و تراز ۷۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال مرکز شرق مدیترانه با میزان $R=0/37$ و ضریب تعیین $0/67$ تا اندازه‌ای دشوار و با ضریب خطای بالایی همراه است.

مدل رگرسیونی مربوط به گروه دوم (غرب و جنوب غرب ایران) در ماه همزمان با $R=0/86$ و ضریب تعیین $0/68$ عملکرد نسبتاً مناسب این مدل را بر اساس مقادیر استاندارد شده ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۹۲۵، ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی شرق دریای مدیترانه و ترازهای ۹۲۵ و ۷۰۰ هکتوپاسکال منطقه همگرایی دریای سرخ نشان می‌دهد. این منطقه در مدل رگرسیونی پیش‌یابی یک ماهه ناهنجاری بارش با مقدار $R=0/58$ و ضریب تعیین $0/24$ با استفاده از مقادیر استاندارد شده ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکالی پرفشار تبت، و ترازهای ۸۵۰ و ۵۰۰ پرفشار عربستان، تراز ۹۲۵ پرفشار شمال آفریقا و ۹۲۵ و ۸۵۰ و ۵۰۰ آزرورز و ۵۰۰ هکتوپاسکال سودان نشان‌دهنده اثر پیوند از دور این مراکز در پیش‌یابی یک ماهه مقدار استاندارد شده بارش در ایستگاه‌های جنوب غرب ایران است.

گروه سوم ایستگاه‌ها (ارتباط متوسط سطح اعتماد $0/95$) با مقدار $R=0/99$ و ضریب تعیین $0/42$ ارتباطی نسبتاً قوی بین مدل رگرسیون طراحی شده و ناهنجاری بارش با سایر قسمت‌های ایران را نشان می‌دهد. مدل رگرسیونی مذکور برای تبیین ماهانه بارش ناهنجار این گروه از ایستگاهها از مولفه‌های ارتفاع ژئوپتانسیل استاندارد شده پرفشار تبت در ترازهای ۹۲۵، ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، و ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ پرفشار عربستان، و تراز ۸۵۰ پرفشار شمال آفریقا، و ۹۲۵ شرق مدیترانه و ۹۲۵ و ۸۵۰ منطقه همگرایی دریای سرخ، و ترازهای ۹۲۵ و ۸۵۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکال منطقه کم‌فشاری سودان استفاده می‌کند. مدل رگرسیون پیش‌یابی یک ماهه این بخش از کشور از مقادیر استاندارد شده ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ تبت، ۹۲۵ پرفشار عربستان و شمال آفریقا، و ۹۲۵ و ۸۵۰ آزرورز و ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال سودان با مقدار $R=0/52$ و ضریب تعیین $0/18$ می‌توان استفاده نمود.

۵. ایران نژاد، پرویز، احمدی گیوی، فرهنگ، محمدنژاد، علیرضا، ۱۳۸۸، اثر مراکز چرخندزای مدیترانه بر بارش سالانه ایران در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲، مجله ژئوفیزیک ایران؛ ۳(۱):۹۱-۱۰۵.
۶. جهانبخش اصل سعید، زینالی، بتول، جلالی، طاهره، ۱۳۹۱ تأثیر نوسانهای دمای سطح آب دریای مدیترانه بر بارش پای کوه‌های شرقی زاگرس و چاله‌های مرکزی ایران، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۱۶، شماره ۳۹، صفحه ۲۵-۴۹.
۷. حیدری، محمدمین، ۱۳۹۲، اثر گرمایش جهانی بر مراکز کنش جوی موثر بر آب و هوای ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۸. رضایی بنفشه، مجید، جهانبخش، سعید، بیاتی، مریم، زینالی، بتول، ۱۳۸۹، پیش‌بینی بارش پاییزه و زمستانه نیمه غربی ایران، با استفاده از SST مدیترانه در فصول تابستان و پاییز، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی) زمستان؛ ۴۲(۷۴):۴۷-۶۲.
۹. زارعی، کبری، ۱۳۹۰، پیش‌یابی تغییرات فرین دما و بارش در غرب میانی ایران در رابطه با موقعیت و فشار مراکز کنش جوی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۱۰. شاهرخوندی، سیدمنصور، غیور، حسنعلی، کاویانی، محمدرضا، ۱۳۸۶، گردش بهنجار جو و پارامترهای شاخص مراکز عمل در فصل زمستان بر روی ایران، مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان، دوره ۲۲، شماره ۱ (ویژه‌نامه جغرافیا)، صفحه ۸۵ تا ۱۰۰.
۱۱. عزیزی قاسم، نیری معصومه، رستمی جلیلیان، شیما، ۱۳۸۸، تحلیل سینوپتیک بارش‌های سنگین در غرب کشور (مطالعه موردی: بارش دوره ۷ - ۱۴ مارس ۲۰۰۵، ۱۶ تا ۲۴ اسفند ۱۳۸۵)، جغرافیای طبیعی تابستان ۱۳۸۸؛ ۱(۴):۱-۱۳.
۱۲. علیجانی، بهلول، ۱۳۸۵، آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام‌نور.
۱۳. علیزاده، تیمور، عزیزی، قاسم، روستا، ایمان، ۱۳۹۱، واکاوی الگوهای گردشی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال جو هنگام رخداد بارش‌های فراگیر و غیر فراگیر در ایران، برنامه ریزی و آمایش فضا (مدرس علوم انسانی) زمستان ۱۳۹۱؛ ۱۶(۴) (پیاپی ۷۶):۱-۲۴.
۱۴. کاوسی، رضا، موحدی، سعید، ۱۳۹۳، بررسی همبند کنش‌های چرخندی بر روی ایران در طول سال ۱۳۷۱، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره ۴، ۹۷-۱۱۲.
۱۵. محمدنژاد علیرضا، احمدی گیوی، فرهنگ، ایران نژاد، پرویز، ۱۳۸۸، اثر بازه‌های نوسان سالانه کمربند پرفشار جنب حاره و پرفشار سبیری بر چرخندزایی مدیترانه و بارش ایران، مجله فیزیک زمین و فضا؛ ۳۵(۴):۱۱۵-۱۳۰.
۱۶. لکزشکور قاسم، روشن غلامرضا، شاهکویی اسماعیل، ۱۳۹۷، واسنجی اثر الگوها و شاخص‌های پیوند از دور بر رخداد خشکسالی‌های استان گلستان، نشریه برنامه ریزی منطقه‌ای، دوره ۸، شماره ۲۹، از صفحه ۱۰۷ تا صفحه ۱۲۳.
۱۷. قاسمیه هدی، بذرافشان ام البنین، بخشایش منش کبری، ۱۳۹۶، پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از الگوهای پیوند از دور و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوزه فلات مرکزی ایران)، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۳، شماره ۲، از صفحه ۴۰۵ تا صفحه ۴۱۸.
۱۸. فاطمی مهران*، امیدوار کمال، مزیدی احمد، مسگری ابراهیم، دهقان حمیده، ۱۳۹۶، تحلیل فضایی و بررسی روابط الگوهای پیوند از دور با خشکسالی‌های ایران مرکزی، نشریه خشکبوم، دوره ۷، شماره ۱ از صفحه ۵۱ تا صفحه ۶۵.
۱۹. قویدل رحیمی یوسف*، فرج زاده اصل منوچهر، حاتمی زرنه داریوش، ۱۳۹۵، نقش اثرات الگوی پیوند از دور دریای شمال-خزر در نوسان پذیری دماهای بیشینه ایران، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، دوره ۲۰، شماره ۵۶؛ از صفحه ۲۳۹ تا صفحه ۲۵۵.
20. Al-Hatrushi, S., Yassine, C., 2009, Synoptic aspects of winter rainfall variability in Oman, Atmospheric Research 95, 470-486.
21. Anil, Kumar, J. Dudhia, R. Rotunno, Devniyogi and V. c Mohanty, 2005, Analysis of the 26 July 2005 heavy rain event over Mumbai, India using the Weather Research and forecasting (WRF) model, Quarterly journal of the royal meteorological society 134:1897-1910.
22. Bannayana, M., Sanjania, S., Alizadeha, A. Sadeghi, S. Lotfabadia, A., 2010, Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran, Field Crops Research 118 105-114.
23. Cai, W., Whetton, P.H., Pittock, A.B., 2001, "Fluctuations of the relationship between ENSO and northeast Australian rainfall", Climate Dynamics, Volume 17, Issue 5/6, pp. 421-432.
24. Cecilia Svensson, Dorte Jakob and Duncan W. Reed., 2001, Diurnal characteristics of heavy precipitation according to weather type at an

- catalonia :synoptic patterns and Wemo influence, EMS7 / ECAM, vol. 4, 200.
33. Matlik, Olga, Post, Piia, 2008, Synoptic Weather types that have caused heavy precipitation in Estonia in the period 1961-2005 ,Estonia Journal of Engineering , 195-208.
34. Robert Oglesby, Song Feng, Qi Hu, Clinton Rowe, 2012, The role of the Atlantic Multidecadal Oscillation on medieval drought in North America: Synthesizing results from proxy data and climate models, Global and Planetary Change, Volumes 84–85, March, Pages 56-65.
35. Schwing, F. B., Murphree, T. and P.M. Green. ,2002, The Northern Oscillation Index (NOI): a new climate index. Progress in Oceanography, 53: 115–139.
36. seibert Petra, ,Andreas frank and Herbert formayer, 2005, Synoptic and Regional Patterns of heavy precipitation in Austria, Institute of Meteorology, university of Natural resource and Applied life science Vienna.
37. sixing ZHAO, Bel Nafang, and Sun Jianhua, 2006, Mesoscale Analysis of a Heavy Rain fall Event over Hong kong During a pre – rainy season in south china, Advance in Atmospheric sciences, Vol. 24, No. 4, 2007.
38. Tang B. H, Neelin, J. D, ,2004, "ENSO influence on Atlantic hurricanes via tropospheric warming", Geophysical Research Letters, VOL. 31, L24204.
39. Thompson, D. W. J. and J. M. Wallace. ,2000, Annular modes in the extra tropical circulation. Part I: month-to-month variability. Journal of Climate, 13:1000-1016.
40. Wang, C. and D. B. Enfield. ,2001, The tropical western hemisphere warm pool. Geophysical research letters, 28: 1635-1638.
41. www.glossary.ametsoc.org
- upland site in Scotland ,International of climatology ,22:569-585.
25. Ghasemia, A., Khalili, D., 2008, The association between regional and global atmospheric patterns and winter precipitation in Iran, Atmospheric Research 88 (2008) 116–133.
26. Givatib, A., , Rosenfelda, D, 2013, The Arctic Oscillation, climate change and the effects on precipitation in Israel, Atmospheric Research, Volumes 132–133.
27. Gomisa, D., Ruiza, S., Marcos G., Álvarez-Fanjulc, E., Terradasb, J., 2008, Low frequency Mediterranean sea level variability: The contribution of atmospheric pressure and wind, Global and Planetary Change Volume 63, Issues 2–3, Pages 215–229.
28. Hossos, E, C. J Lolis, and A. Bartzokas, 2008, Atmospheric Circulation Patterns associated with extreme precipitation amounts in Greece , Adv. Geosice, 17, 5 -11.
29. Jiang Peng, Zhongbo, Yu, Mahesh, R., Gautam, 2013, Pacific and Atlantic Ocean influence on the spatiotemporal variability of heavy precipitation in the western United States, Global and Planetary Change, Volume 109, October 2013, Pages 38-45.
30. Kutiel, H., Maheras, P., Tulkes, M., Paz, S., 2002, North Sea-Caspian Pattern (NCP) an Upper Level Atmospheric Teleconnection Affecting the Eastern Mediterranean Implications on the Regional Climate, Theoretical and Applied Climatology.
31. Lana, A., J. campains, A ,Genoves and A. Jansa, 2007, Atmospheric patterns for heavy rain events in the Balearic islands ,Adv .Geosci, 12, 27-32, 2007.
32. Martin, J., vide, J., sanchoz –lorenzo, A., lopez, J. A., Bustins, A., Garcia, J., raso, M., M. cordobilla, J., 2007, Torrential rain fall in