

## بررسی پیش‌بینی پذیری بارش شمال شرق ایران با رویکرد پیوند از دور و استفاده از واکاوی تغییرات الگوهای فشار سطح دریا در مقیاس سیاره‌ای

رضا محمدی<sup>۱</sup>، مختار کرمی<sup>۲\*</sup>، عبدالرضا کاشکی<sup>۳</sup>، محمد احمدی<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجوی دکترا اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.
- ۲- استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.
- ۳- دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار.
- ۴- دکترای اقلیم‌شناسی، کارشناس اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه، ایران.

### چکیده

بارش هر منطقه به جز ویژگی‌های محلی، متأثر از عوامل کلان‌گردش عمومی جو در مقیاس سیاره‌ای است. جهت بررسی پیش‌بینی‌پذیر بودن بارش و شناخت تأثیر تغییرات الگوهای فشار سطح دریا بر بارش یک سال آبی (اکتبر تا سپتامبر سال بعد)، نقشه‌های همبستگی تغییرات الگوهای فشار سطح دریا در مقیاس جهانی با بارش سالانه شمال شرق کشور (استان خراسان‌های رضوی، شمالی و جنوبی) و تحلیل رگرسیون چند متغیره در مقیاس ۲/۵ در ۲/۵ درجه قوسی در دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۱ ترسیم و بررسی شد. یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده وجود همبستگی معنی‌دار بارش با الگوهای فشار سطح دریا در تاخیر یک تا شش ماهه است. بیشتر کانون‌های بیشینه همبستگی منفی در اقیانوس آرام و بیشتر کانون‌های بیشینه همبستگی مثبت در شمال اقیانوس هند، دریای عرب، جنوب شرق آسیا و نواحی حاره ای اقیانوس اطلس قرار دارند. بیشترین همبستگی در تاخیر ۱، ۲ و ۶ ماه به ترتیب در خلیج بنگال (۰.۶۶)، اقیانوس اطلس (۰.۶۳) و آمریکای جنوبی (۰.۶۶-) می‌باشد. هم‌چنین کانون‌های بیشینه همبستگی می‌توانند به نحو مطلوبی بارش سالانه را پیش‌بینی کنند. عملکرد مدل‌های برآزش داده شده؛ برای تاخیرهای ۵ و ۶ ماه نسبت به مدل‌های تاخیر دیگر (تاخیر یک تا چهار ماه) بهتر است، این مدل‌ها (تاخیر ۵ و ۶ ماه) به ترتیب ۷۰ و ۶۵ درصد تغییرات بارش را تبیین می‌کنند. با توجه به تغییرات زیاد بارش سالانه در شمال شرق (دامنه تغییرات بارش ۱۹۲ میلی‌متر) نتایج این پژوهش می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های یک‌ساله در پیش‌آگاهی و مدیریت منابع آب در بخش‌های کشاورزی، صنعت، شرب، منابع طبیعی و زیست محیطی مفید و کمک‌کننده باشد.

**کلید واژه‌ها:** پیش‌بینی بارش، پیوند از دور، شمال شرق ایران، همبستگی.

## مقدمه

جو یک سیستم سیال و به هم پیوسته است. هر گونه تغییر به وسیله عوامل شناخته شده و ناشناخته در قسمت محدودی از جو می تواند با گذر زمان باعث تغییرات بزرگ تری در گردش عمومی جو شود و این خود باعث تغییر در سهم آبی هر منطقه از چرخه آب است. در پیش بینی های بلندمدت بارش، روش های گوناگونی برای ایجاد ارتباط بین بارش و الگوهای بزرگ مقیاس اقیانوسی - جوی ارائه شده است. این روش ها را می توان در دو دسته بندی کلی قرار داد: الف) دینامیکی ب) تجربی. مدل های دینامیکی نظیر مدل های گردش عمومی جو بر اساس قوانین فیزیکی پایه ریزی شده است و در پیش بینی اقلیم استفاده می شود و هیچ یک از روش های دینامیکی بی نیاز از روش های تجربی نیست و لازم است خروجی نهایی آنها با استفاده از روش تجربی تصحیح شود. با توجه به پیچیدگی محاسباتی مدل های گردش عمومی جو، روش های تجربی هنوز به طور وسیعی در پیش بینی ها استفاده می شود. مدل های تجربی بر اساس روابط مشاهده شده بین متغیر پیش بینی شونده و متغیرهای پیش بینی کننده پایه ریزی شده است. منطق و اساس این مدل ها پیدا کردن ویژگی ها و روابط مکانی و زمانی داده های تاریخی بارش و متغیرهای پیش بینی کننده است تا از آن در پیش بینی آینده استفاده شود (لی، ۲۰۱۵؛ لیم و همکاران، ۲۰۰۹؛ نورانی و همکاران، ۱۳۹۵).

در مدل های تجربی پیش بینی بارش نیاز به یک متغیر پیش بینی کننده می باشد. در بسیاری از مطالعات از داده های بارش در تاخیرهای زمانی مختلف استفاده می شود. از اولین مدل های تجربی پیش بینی بارش بر اساس تغییرات فشار می توان پیش بینی بارش فصل زمستان و بهار در جنوب شرق استرالیا که در سال ۱۹۲۹ توسط کوالی پیشنهاد شد نام برد در این مدل میانگین فشار هوای داروین به عنوان پیش بینی کننده پیشنهاد شد. در سال ۱۹۸۱ نیکولس و وود کوک پیشنهاد کوالی را مورد تایید قرار دادند و نشان دادند می توان از میانگین فشار هوای داروین برای پیش بینی بارش قسمت های دیگری از استرالیا استفاده نمود. تغییرات فشار هوای داروین با تغییرات بارش شمال استرالیا از همبستگی قوی ۰/۶۶ برای سالهای ۱۹۵۲ تا ۱۹۸۰ برخوردار است.

امروزه تغییرات الکلنگی فشار در دو منطقه داروین و تاهیتی (همبستگی منفی) که به عنوان شاخص نوسانات جنوبی

شناخته می شود برگرفته از مطالعاتی است که به منظور پیش

بینی بارش در نواحی مختلف استرالیا صورت گرفته است. امروزه از شاخص نوسانات جنوبی، الگوی خزر دریای شمالی، نوسان قطب شمال و نوسان اقیانوس اطلس شمالی که از تغییرات فشار در دو مکان دور به دست می آیند برای پیش بینی و بررسی تغییرات بارش و دما در نواحی مختلف به صورت گسترده استفاده می شود (پلات مولر و همکاران، ۲۰۲۲؛ لویی چینی و همکاران، ۲۰۲۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۳).

تحقیقاتی که در چند دهه اخیر به منظور پیش بینی بارش در نواحی مختلف ایران انجام شده است بیشتر با تمرکز بر شاخص های پیوند از دور و در مقیاس ماهانه و فصلی بوده است. تعداد زیادی از این شاخص ها در ابتدا برای پیش بینی بارش یا بررسی تغییرات آب و هوایی نواحی دیگری غیر از ایران ساخته شده اند. این پژوهش ها تاثیر پذیری بارش نواحی مختلف ایران از نوسانات جوی در نواحی خاص را نشان می دهد (ناظم السادات و شیروانی، ۱۳۸۳؛ قویدل و رحیمی، ۱۳۸۴؛ صلاحی و همکاران ۱۳۸۶؛ فتاحی و همکاران، ۱۳۸۷؛ فرج زاده اصل و همکاران، ۲۰۱۳؛ نیک جو و قویدل رحیمی، ۱۳۸۵؛ عقیل پور و همکاران، ۱۳۹۲؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۳؛ دوستان، ۱۳۹۷؛ احمدی و خزائی، ۱۳۹۸؛ محمودی و همکاران، ۲۰۲۰؛ هلالی و همکاران، ۲۰۲۰؛ اسدی و کرمی، ۲۰۲۲؛ حسینی و همکاران، ۲۰۲۲؛ کاشکی و همکاران، ۲۰۲۲؛ غمگامی و بذرافشان، ۲۰۲۳).

در بررسی همبستگی بین تغییرات فشار قزاقستان و دریای عمان با نوسانهای بارش ایران نتایج حاکی از افزایش بارش در جنوب کشور در صورت تقویت کم فشار واقع در عرض ۲۰ درجه شمالی (واقع بر روی دریای عمان)، کاهش بارندگی نوار شمالی کشور با تقویت پرفشار عرض ۵۰ درجه شمالی (واقع بر روی کشور قزاقستان) و همچنین افزایش بارش کشور در صورت تقویت گرادیان فشار شمال شرقی - جنوب غربی است (جوانمرد و همکاران، ۱۳۸۲).

در پژوهشی به منظور پیش بینی بارش شمال شرق در بازه دسامبر تا مه (۱۹۷۰-۲۰۰۲) بر پایه الگوهای پیوند از دور انجام شد نشان داده شد که بارش شمال شرق با فشار سطح دریا در غرب دریای مدیترانه ماه نوامبر و در خلیج عدن، جنوب خلیج فارس، شمال دریای سرخ و جنوب دریای سرخ و اختلاف فشار سطح دریا بین آدریاتیک و جنوب خلیج فارس، بین آرال و شمال خزر، بین دریای عمان و جنوب

و زمینه مناسب برای مدل سازی بارش سالانه شمال شرق ایران این پژوهش در مقیاس سیاره ای انجام شد ابتدا با تاخیر گام زمانی همبستگی تغییرات سری زمانی بارش در شمال شرق ایران با تغییرات سری زمانی فشار سطح دریا در همه مناطق سطح زمین (در مقیاس سیاره ای) در باخته های (تقاطع شبکه)  $2/5 \times 2/5$  درجه قوسی مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه با استفاده از مناطق شاخص (بیشینه همبستگی) مدل هایی با استفاده از رگرسیون چند متغیره بر بارش برآزش شد.

## داده و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

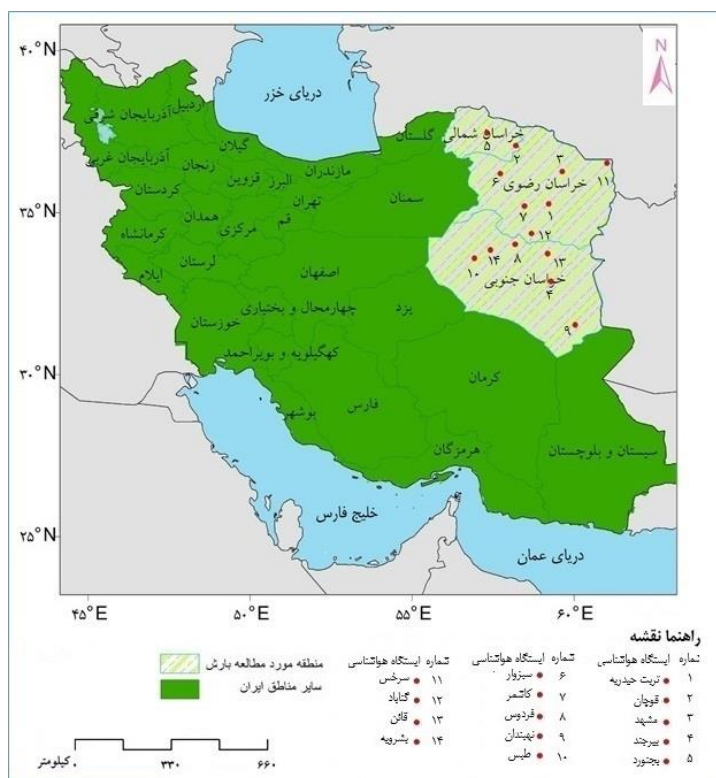
منطقه مورد مطالعه برای تحقیق و بررسی تبیین تغییرات سری زمانی بارش در مقیاس های زمانی سالانه به وسیله تغییرات فضایی فشار سطح دریا در تاخیرهای زمانی یک تا شش ماه، محدوده شمال شرق ایران (استان های خراسان رضوی، شمالی، جنوبی) در نظر گرفته شده است که به نظر می رسد تاکنون پژوهشی در راستای اهداف این تحقیق انجام نشده است. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه بارش در شمال شرق ایران را نشان می دهد.

خلیج فارس، بین جنوب خلیج فارس و دریای عرب، بین جنوب خلیج فارس و جنوب دریای سرخ در بازه زمانی ژوئن تا نوامبر همبستگی مثبت دارد (فلاح و همکاران، ۱۳۸۷).

در تحقیقات دیگری که به منظور پیش بینی بارش ماهانه و فصلی شمال شرق انجام شده است، همبستگی بارش با تغییرات پارامترهای اقلیمی (فشار سطح دریا) در مناطق محدودی از نیمکره شمالی مورد واکاوی قرار گرفته است (فلاح قاهره و همکاران، ۱۳۸۶؛ فلاح قاهره و خوشحال دستجردی، ۱۳۸۸؛ فلاح قاهره و همکاران، ۱۳۸۹؛ فلاح قاهره و شاکری، ۱۳۹۴).

از آنجایی که جو یک سیستم سیال می باشد هر گونه تغییر در ناحیه محدودی از آن (تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است) می تواند با گذر زمان باعث تغییر الگوهای گردش عمومی و در نتیجه سهم بارش سالانه مناطق مختلف شود. برای شناسایی عوامل تاثیر گذار و مرتبط با تغییرات بارش در ایران در راستای تحقیقات گذشته برای نواحی مختلف آب و هوایی ایران باید تحقیقات در مقیاس سیاره ای انجام گیرد به طوری که تمام سطح زمین را پوشش دهد.

در همین راستا برای بررسی ارتباط تغییرات فشار سطح دریا با بارش سالانه در تاخیر یک تا شش ماه و فراهم شدن بستر



شکل ۱ منطقه مورد مطالعه محیط سطحی (خراسان رضوی، شمالی و جنوبی) و ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی منتخب

هواشناسی کشور اخذ شد. با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی منتخب میانگین حسابی بارش شمال شرق به دست آمد.

داده‌های بارش دوره آماری ۳۵ ساله (۱۹۸۷-۲۰۲۱) به صورت روزانه برای ایستگاه‌های همدید منتخب مشهد، سرخس، قوچان، تربت حیدریه، سبزوار، کاشمر، گناباد، بیرجند، نهبندان، طبس، فردوس، قائن، بشرویه و بجنورد از سازمان

جدول ۱ ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه (همدیدی)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	متوسط بارش ۱۲ ماه اکتبر تا سپتامبر سال بعد (میلی متر)
۱	تربت حیدریه	۱۳°۵۹'	۱۶°۳۵'	۱۴۵۱	۲۴۹/۹
۲	سبزوار	۴۳°۵۷'	۱۲°۵۹'	۹۷۷	۱۸۷/۹
۳	سرخس	۰۱°۵۱'	۳۲°۳۶'	۲۳۵	۱۹۴/۳
۴	قوچان	۰۳°۵۸'	۱۷°۳۷'	۱۲۸۷	۳۲۱/۵
۵	کاشمر	۲۸°۵۸'	۱۲°۳۵'	۱۱۱۰	۱۹۴/۴
۶	گناباد	۴۱°۵۸'	۲۱°۳۴'	۱۰۵۶	۱۳۴/۵
۷	مشهد	۳۸°۵۹'	۱۶°۳۶'	۹۹۹	۲۴۱/۹
۸	فردوس	۱۱°۵۸'	۰۱°۳۴'	۱۲۹۲	۱۳۷/۴
۹	قائن	۱۱°۵۹'	۴۴°۳۳'	۱۴۳۹	۱۶۳/۵
۱۰	بیرجند	۱۷°۵۹'	۵۳°۳۲'	۱۵۰۴	۱۵۲/۲
۱۱	نهبندان	۰۲°۵۶'	۳۲°۳۱'	۱۱۸۸	۱۱۸/۴
۱۲	بشرویه	۲۵°۵۷'	۵۱°۳۳'	۸۷۹	۸۸/۳
۱۳	بجنورد	۱۹°۵۷'	۲۸°۳۷'	۱۰۱۹	۲۵۱/۵
۱۴	طبس	۱۷°۵۶'	۳۶°۳۳'	۷۱۱	۸۲/۷

تصادفی استفاده می‌گردد (رضایی، ۱۳۹۰). ضریب همبستگی تعیین کننده شدت و جهت همبستگی بین دو متغیر است. جهت همبستگی توسط علامت ضریب همبستگی (منفی یا مثبت) و شدت همبستگی به وسیله قدرمطلق ضریب همبستگی مشخص می‌شود. باید توجه داشت که شدت همبستگی، مستقل از علامت ضریب همبستگی است (دلور، ۱۳۹۱).

فرمول محاسبه ضریب همبستگی پیرسون از داده‌های خام:

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}][\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}]}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$x$ ،  $y$  و  $n$  به ترتیب متغیر فشار، بارش و دوره زمانی (تعداد مشاهدات) است.  $r$  عبارت است از ضریب همبستگی بین دو متغیر همپراش یا دو متغیر که استاندارد شده اند. مقادیر  $r$

به منظور بررسی ارتباط تغییرات فشار سطح دریا با بارش سالانه شمال شرق ایران، از داده‌های ماهانه فشار سطح دریا استفاده شد. این داده‌ها در تارنمای مرکز ملی مطالعات جو و اقیانوس‌شناسی وابسته به ایالات متحده آمریکا از ۱۹۷۹ ارائه و بروزرسانی می‌شود.

### روش تحقیق

به طور کلی در تعیین وجود یا عدم وجود رابطه بین متغیرها از روش رگرسیون و همبستگی استفاده می‌شود. شاخص همبستگی رابطه بین دو متغیر را نشان می‌دهد که هر دو تحت تاثیر عوامل مشترک قرار می‌گیرند. این گونه متغیرها هر دو تصادفی بوده و در وقوع آنها عوامل ناشناخته دیگری به طور مشترک تاثیر می‌گذارند. بنابراین از شاخص همبستگی برای اندازه‌گیری و تعیین میزان ارتباط متقابل بین تغییرات دو متغیر

بین دو حد ۱+ و ۱- واقع می‌شوند. بهترین حالت مقادیر همبستگی نزدیک به ۱+ و ۱- می‌باشد. برای اینکه بتوان درجه اعتماد به این ضریب را مشخص کرد، از آزمون معنی دار بودن استفاده می‌شود. در این حالت دو فرض  $H_0$  و  $H_1$  در نظر گرفته می‌شود، فرض  $H_0$  بیانگر این است که همبستگی بدست آمده از نمونه مشاهده شده ( $r$ ) در دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۸۷-۲۰۲۱) ناشی از شانسی است و همبستگی بارش و تغییرات فشار در جامعه آماری برابر صفر است ( $H_0: p=0$ ). فرض  $H_1$  مقابل فرض  $H_0$  در نظر گرفته می‌شود. بدین معنی که بین بارش و تغییرات بارش همبستگی وجود دارد و مقدار همبستگی مخالف صفر است.

برای آزمون معنی دار بودن این نوع ضریب همبستگی از آزمون  $Z$  فیشر استفاده می‌شود:

$$Z_f = 1.1513 \log_{10} \frac{(1+r)}{(1-r)} \quad \text{رابطه ۲}$$

پارامتر  $Z_f$  به طور نرمال با میانگین  $\mu_f$  و انحراف معیار  $\delta_f$  توزیع شده که:

$$\mu_f = 1.1513 \log_{10} \frac{(1+p_0)}{(1-p_0)} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\delta_f = \sqrt{\frac{1}{n-3}} \quad \text{رابطه ۴}$$

ارزش استاندارد  $Z_f$  به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_f = \frac{Z_f - \mu_f}{\delta_f} \quad \text{رابطه ۵}$$

در این حالت درجه معنی داری بر اساس تابع معلومی از جدول  $Z$  برآورد می‌شود (فرج زاده، ۱۳۹۱).

سری‌های زمانی ماهانه داده‌های فشار سطح دریا برای دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۱ برای ۱۰۵۱۲ یاخته (۲/۵ در ۲/۵ درجه قوسی) ساخته شد. برای هر یک از یاخته‌ها همبستگی پیرسون بارش شمال شرق (بارش ۱۲ ماهه از اکتبر تا سپتامبر سال بعد) با فشار سطح دریا در ماه‌های سپتامبر، اوت، ژوئیه، ژوئن، مه و آوریل محاسبه شد. ماه‌های سپتامبر، اوت، ژوئیه، ژوئن، مه و آوریل به ترتیب مربوط به تاخیرهای یک تا شش ماه می‌باشد.

به منظور فراهم شدن امکان اینکه نحوه و چگونگی تغییرات کمی و مکانی همبستگی بارش با فشار سطح دریا در شش ماهه قبل از شروع بارش قابل بررسی باشد، نقشه‌های همبستگی برای هر یک از شش ماه (تاخیر زمانی یک تا شش ماهه) ترسیم شد. در گام دوم جهت تعمیم و گسترش همبستگی دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۱ (نمونه) به گذشته و آینده (جامعه آماری) با استفاده از آمار استنباطی (آزمون فرض‌ها) معنی‌داری همبستگی بررسی شد و نقاطی که همبستگی آنها معنی دار بود بر روی نقشه ترسیم شد. در گام سوم برای استفاده عملی از تغییرات فشار سطح دریا برای پیش بینی بارش، نقاطی را که همبستگی آنها قابل ملاحظه بود (مکان‌های با بیشینه همبستگی) به عنوان پیش بینی کننده (متغیر مستقل) انتخاب شد. با استفاده از داده‌های این نقاط منتخب و رگرسیون چند متغیره، مدل‌های پیش بینی بارش برآزش شد.

جدول ۲ متغیرهای مستقل و وابسته

بارش سالانه اکتبر تا سپتامبر سال بعد (شمال شرق ایران)					
تاخیر یک ماه	تاخیر دو ماه	تاخیر سه ماه	تاخیر چهار ماه	تاخیر پنج ماه	تاخیر شش ماه
میانگین فشار سطح دریا ماه سپتامبر	میانگین فشار سطح دریا ماه اوت	میانگین فشار سطح دریا ماه ژوئیه	میانگین فشار سطح دریا ماه ژوئن	میانگین فشار سطح دریا ماه مه	میانگین فشار سطح دریا ماه آوریل

معادله رگرسیون را برای هر تعداد متغیر مستقل  $(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$  به صورت زیر می‌نویسیم:

رابطه ۶

$$\hat{Y} = a + \sum_{i=1}^N b_i X_i = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_N X_N$$

جدول ۲ مربوط به متغیرهای وابسته و مستقل می‌باشد. متغیر وابسته میانگین بارش سالانه (اکتبر تا سپتامبر سال بعد) منطقه مورد مطالعه است و متغیرهای مستقل شامل میانگین‌های فشار سطح دریا در هر یاخته (شبکه ۲/۵ در ۲/۵ درجه قوسی) در ماه‌های سپتامبر، اوت، ژوئیه، ژوئن، مه، آوریل به ترتیب برای تاخیر زمانی یک تا شش ماه می‌باشند.

همبستگی تغییرات فشار سطح دریا و بارش سالانه در دوره آماری (۱۹۸۷-۲۰۲۱)

به منظور بررسی ارتباط تغییرات فشار سطح دریا با بارش سالانه از داده های ماهانه فشار سطح دریا استفاده شد. این داده ها در مقیاس ۲/۵ در ۲/۵ درجه کل سطح زمین را پوشش می دهند.

داده های میانگین ماهانه فشار سطح دریا برای ۱۰۵۱۲ یاخته (گره) از ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۱ اخذ شد. داده ها از واحد پاسکال به هکتو پاسکال (میلی بار) تبدیل شد. سری های زمانی میانگین ماهانه فشار سطح دریا برای دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۱ ساخته شد.

داده های روزانه بارش ایستگاه های هواشناسی واقع در شمال شرق ایران از سازمان هواشناسی اخذ گردید. با بررسی داده های بارش ایستگاه های هواشناسی در شمال شرق، چهارده ایستگاه هواشناسی جهت انجام پژوهش انتخاب شد. ملاک انتخاب این ۱۴ ایستگاه وجود داده های بارش در بازه زمانی مشترک (۱۹۸۷-۲۰۲۱) است. سری زمانی بارش سالانه (۱۲ ماه، اکتبر تا سپتامبر سال بعد) شمال شرق ایران از داده های بارش ۱۴ ایستگاه هواشناسی منتخب برای دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۲۱ به دست آمد.

شش سری زمانی میانگین فشار سطح دریا برای هر یاخته (شبکه ۲/۵ در ۲/۵ درجه قوسی) در ماه های سپتامبر، اوت، ژوئیه، ژوئن، مه، آوریل به ترتیب برای تاخیر زمانی یک تا شش ماه انتخاب شد. ضریب همبستگی پیرسون بین داده های بارش سالانه و میانگین ماهانه فشار سطح دریا برای هر یاخته (۱۰۵۱۲ یاخته) در دوره زمانی مورد نظر محاسبه شد. جهت بررسی مکانی همبستگی، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم افزار ArcGIS نسخه ۱۰.۳ و روش کریجینگ نقشه های همبستگی فشار سطح دریا و بارش سالانه برای کل سطح زمین ترسیم شد.

شش نقشه همبستگی برای تاخیرهای یک تا شش ماه ترسیم شد. این نقشه ها به ترتیب نشان دهنده همبستگی تغییرات بارش سالانه شمال شرق (بارش ۱۲ ماه، اکتبر تا سپتامبر سال بعد) با تغییرات میانگین ماهانه فشار سطح دریا در سپتامبر، اوت، ژوئیه، ژوئن، مه و آوریل است.

مقدار  $a$  و ضرایب  $b$  در این معادله باید محاسبه شود. این محاسبات باید چنان صورت گیرد که مجموع مربعات انحرافات یا باقی مانده ها به حداقل برسد. برای تبیین عملکرد مدل های پیش بینی با استفاده روش رگرسیونی از سه شاخص ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب تعیین و همبستگی استفاده می شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{obs} - P_{sim})^2}{n}}$$

رابطه ۷

$R^2$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_{obs} - P_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{obs} - \bar{P}_{sim})^2}$$

رابطه ۸

رابطه ۹

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$P_{obs}$ ،  $X$ ،  $P_{sim}$ ،  $Y$ ،  $i$  شماره آزمودنی و  $n$  تعداد کل مشاهدات می باشد.  $RMSE$  ریشه میانگین مربعات خطاها می باشد. مقدار همبستگی  $r$  بین دو حد  $+1$  و  $-1$  واقع می شود. بهترین حالت مقادیر همبستگی نزدیک به  $+1$  و  $-1$  می باشد.  $R^2$  ضریب تعیین و مقدار آن بین صفر و یک تغییر می کند. بهترین و بدترین مقادیر آن به ترتیب مقادیر یک و صفر می باشد. مدلی که کمترین مقدار ریشه میانگین مربعات خطاها، بیشترین ضریب همبستگی و ضریب تعیین را داشته باشد به عنوان بهترین مدل انتخاب می شود.

عملکرد مدل ها در پیش بینی بارش با استفاده از شاخص های ضریب همبستگی، ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطاها مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل هایی با بهترین عملکرد در پیش بینی بارش در تاخیر یک تا شش ماه انتخاب شد. مکان هایی که مدل های پیش بینی با استفاده از داده های آن مناطق بهترین عملکرد را در ماه های مختلف (سپتامبر، اوت، ژوئیه، ژوئن، مه و آوریل) داشتند، به عنوان مناطق شاخص در پیش بینی معرفی شدند. این نقاط می تواند در برآورد و پیش بینی بارش (سالانه ۱۲ ماهه اکتبر تا سپتامبر) قبل از وقوع در تاخیرهای مختلف به عنوان نقاط شاخص مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج و بحث



همبستگی بیشتر از ۰/۶ (رنگ آبی) در هیچ ناحیه ای وجود ندارد.

#### نوسات جنوبی

با توجه به همبستگی منفی بارش در شرق اقیانوس آرام جنوبی و همبستگی مثبت در نواحی شمال استرالیا، خلیج بنگال و جنوب شرق آسیا در تاخیر ۱ تا ۴ ماه می تواند نشان دهنده اثر نوسانات جنوبی بر بارش (همبستگی منفی) شمال شرق ایران باشد که در ماه سپتامبر، اوت، ژوئیه و ژوئن به ترتیب از تاخیر یک تا چهار ماه در نقشه های همبستگی شکل ۲ قابل مشاهده است.

#### جنوبگان

با توجه به شکل ۲ در قطب جنوب در تاخیرهای ۴، ۵ و ۶ ماه به ترتیب نقشه های ت، ث، ج فشار سطح دریا در جنوبگان با بارش همبستگی مثبت دارد. با کاهش بازه زمانی تا شروع دوره بارش (تاخیرهای ۱، ۲، ۳)، گستره و شدت همبستگی کاهش پیدا می کند و به تدریج همبستگی منفی در جنوبگان افزایش می یابد.

#### آلاسکا، خلیج الاسکا و شرق کانادا

آلاسکا، خلیج الاسکا و شرق کانادا در شکل ۲ از نواحی به شمار می رود که در بیشتر تاخیرهای زمانی همبستگی مثبت با بارش شمال شرق داشته است.

#### ۲-۳ بررسی معنی داری همبستگی فشار سطح دریا و بارش سالانه (آزمون فرض ها)

با توجه به این که همبستگی محاسبه شده از یک نمونه ۳۵ ساله ۱۹۸۷-۲۰۲۱ می باشد. جهت بسط و تعمیم نتایج حاصله به دوره زمانی آینده و گذشته (جامعه) آزمون معنی داری ضریب همبستگی بین بارش و تغییرات فشار سطح دریا در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای تک تک یاخته ها محاسبه شد. یاخته هایی که مقادیر معنی داری آنها کمتر از ۰/۰۵ است و در سطح اطمینان ۹۵ درصد فرض صفر (همبستگی ناشی از شانس و عدم همبستگی) رد می شود در نقشه های شکل ۳ ترسیم شده است.

فشار سطح دریا در اغلب ماه ها منفی (معکوس) می باشد. گستردگی نواحی همبستگی منفی در ماه های مختلف ثابت نیست، در بعضی ماه ها (تاخیرها) گستردگی همبستگی منفی در قسمت غرب اقیانوس آرام علاوه بر آمریکای جنوبی تا اقیانوس اطلس گسترش می یابد. با توجه به همبستگی منفی به نظر می رسد عواملی که باعث کاهش فشار سطح دریا در این نواحی شده است با تاخیر سبب افزایش بارش سالانه (۱۲) ماه اکتبر تا سپتامبر سال بعد) در شمال شرق در دوره زمانی ۱۹۸۷-۲۰۲۱ شده است.

تغییرات فشار سطح دریا در قسمت جنوب غرب اقیانوس آرام مدار ۵۰ تا ۸۰ درجه جنوبی با بارش سالانه شمال شرق ایران همبستگی مثبت (مستقیم) داشته است. به نظر می رسد عوامل افزایش فشار سطح دریا در این نواحی موجب افزایش بارش در شمال شرق در تاخیر زمانی یک تا شش ماه بوده است. یکی از نکات قابل توجه این منطقه وجود همبستگی مثبت در تمام تاخیرها می باشد به طوری که در تاخیر یک تا شش ماه در تمام نقشه ها مرکز بیشینه همبستگی مثبت در این منطقه وجود دارد.

#### کانون های اقیانوس اطلس، اقیانوس هند و دریای عرب

فشار سطح دریا در مناطق حاره و جنب حاره در اقیانوس هند و اطلس و دریای عرب با بارش سالانه در دوره زمانی مورد مطالعه (۱۹۸۷-۲۰۲۱) همبستگی مثبت دارد. در تاخیر یک ماهه (سپتامبر نقشه شکل ۲- الف) کانون های بیشینه همبستگی مثبت در نواحی شمال شرق اقیانوس هند و جنوب شرق آسیا قرار دارد. در ماه اوت تاخیر دو ماهه (اوت شکل ۲- ب) منطقه همبستگی مثبت گسترش قابل ملاحظه پیدا می کند، تمام مناطق حاره و جنب حاره در اقیانوس های هند و اطلس را همبستگی مثبت در بر می گیرد. در اوت (تاخیر دو ماهه شکل ۲- ب) مرکز بیشینه همبستگی مثبت برعکس سپتامبر در غرب اقیانوس اطلس (نزدیک سواحل برزیل و ونزوئلا) در غربی ترین ناحیه بیشینه همبستگی مثبت قرار می گیرد. با افزایش تاخیر زمانی، همبستگی مثبت در مناطق حاره و جنب حاره اقیانوس های اطلس و هند از لحاظ وسعت و شدت کاهش پیدا می کند به طوری که از تاخیر ۳ ماه به بعد

تاخیر یک ماه (شکل ۳-الف) بر پهنه‌های آبی اقیانوس هند، دریای مدیترانه، دریای عرب، دریای سرخ و خلیج فارس قرار گرفته است.

#### همبستگی منفی

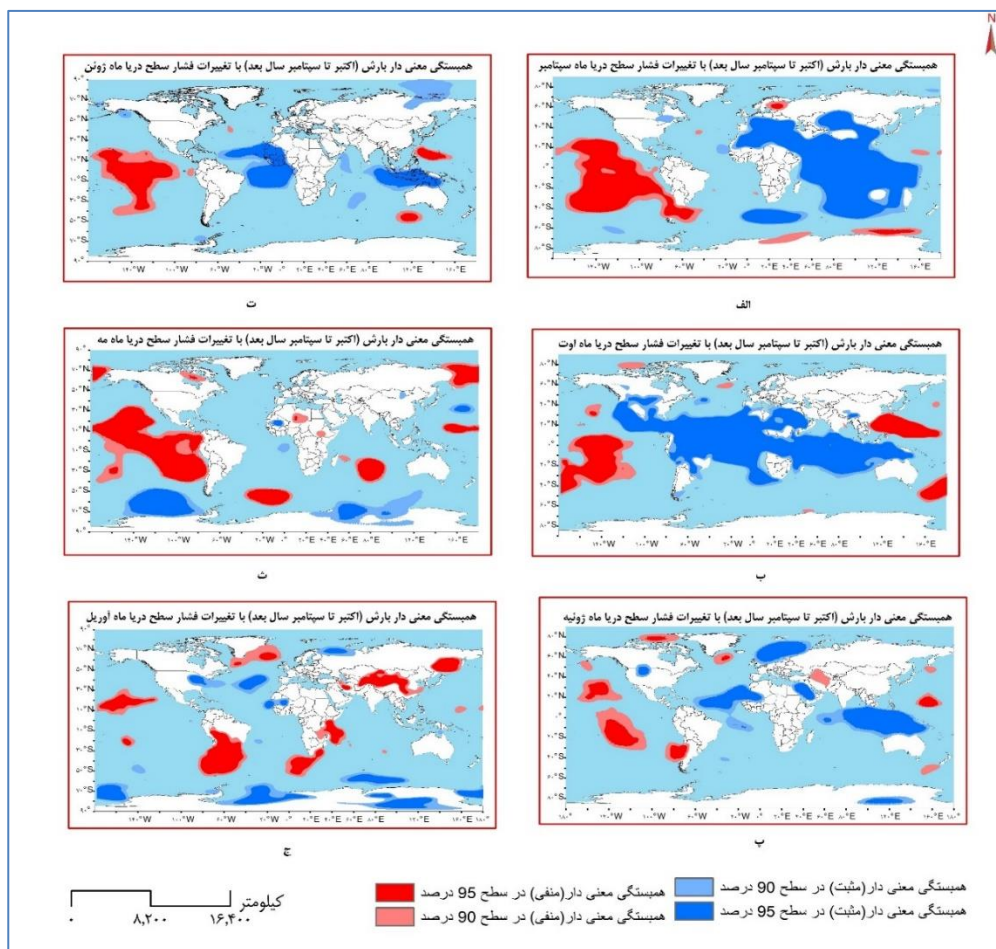
همبستگی منفی (معکوس) بارش با تغییرات فشار بر خلاف همبستگی مثبت با نزدیک شدن به شروع دوره بارش در مکان‌های دورتر قرار می‌گیرند. همبستگی منفی در نواحی از شمال غرب کشور (ایران) در تاخیر شش ماه (شکل ۳-ج) (آوریل) معنی دار می‌باشد. در تاخیر ۳ ماهه (شکل ۳-پ) (ماه ژوئن) دو قطبی همبستگی منفی و مثبت به ترتیب در شمال شرق و جنوب شرق ایران قابل مشاهده است. به نظر می‌رسد افزایش اختلاف فشار در این دو ناحیه همراه با افزایش بارش در شمال شرق بوده است. در تاخیر یک و دو ماه بیشتر مناطق همبستگی منفی بر روی اقیانوس آرام قرار دارند. کاهش و افزایش فشار سطح دریا در نواحی با همبستگی منفی در اقیانوس آرام به ترتیب همراه با افزایش و کاهش بارش سالانه در منطقه مورد مطالعه است.

در شکل ۳ نقشه‌های الف تا ج به ترتیب مربوط به نواحی می‌باشد که در تاخیر ۱ تا ۶ ماه همبستگی بین بارش و تغییرات فشار سطح دریا در سطح اطمینان ۹۰ و ۹۵ درصد معنی دار است. نواحی قرمز و آبی به ترتیب مربوط به همبستگی منفی و مثبت می‌باشد.

توزیع مکانی و زمانی همبستگی مثبت و منفی به شرح ذیل می‌باشد:

#### همبستگی مثبت

بارش در تاخیر زمانی ۶ و ۵ ماه (شکل ۳-ج و شکل ۳-ث) با تغییرات فشار سطح دریا در نواحی از جنوبگان و جنب قطب در نیمکره جنوبی همبستگی مثبت دارد. با کم شدن تاخیر زمانی تا شروع بارش سالانه، نواحی همبستگی مثبت معنی دار در مناطق حاره و جنب حاره اقیانوس اطلس و هند قرار می‌گیرند و بدین وسیله به منطقه بارش (شمال شرق ایران) نزدیک می‌شوند. به طوری که در ماه سپتامبر (تاخیر یک ماه (شکل ۳-الف) نواحی همبستگی مثبت کشور ایران را از جنوب، غرب و شرق در بر گرفته اند. همبستگی مثبت در



شکل ۳ نقشه های الف، ب، پ، ت، ث، ج به ترتیب مربوط به تاخیر یک تا شش ماه (آوریل، مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر) همبستگی

بین بارش و تغییرات فشار سطح دریا در سطح اطمینان ۹۰ و ۹۵ درصد معنی دار می باشد

هواهای ورودی به منطقه را در پی داشته باشد و این عامل باعث تغییرات سالانه بارش در منطقه مورد مطالعه می شود. برازش مدل بارش سالانه با تغییرات فشار سطح دریا از نقاط منتخب کانون ها با بیشترین همبستگی (شکل ۲) در ماه های آوریل تا سپتامبر برای برازش مدل پیش بینی بارش شمال شرق استفاده شد. دوره آماری (۱۹۸۷-۲۰۲۱) به دو بازه زمانی تقسیم شد. دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۴ برای برازش و دوره ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱ برای آزمون مدل است. با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و الگوریتم های انتخاب متغیرهای مستقل (گام به گام، پسرو و پیشرو) در نرم افزار SPSS مدل های مختلفی در تاخیرهای یک تا شش ماهه برازش شد. برای ارزیابی این مدل ها، مقادیر همبستگی، ضریب تعیین، ریشه میانگین مربع خطاها برای دوره برازش و آزمون و مقادیر معنی داری روابط رگرسیونی محاسبه شد که در جدول ۳ آورده شده است..

معنی داری همبستگی تغییرات فشار سطح دریا با بارش سالانه نشان می دهد، می توان جهت بررسی تغییرات بارش و مدل سازی بارش در شمال شرق بجای استفاده از شاخص های پیوند از دور مرتبط با فشار از قبیل نوسانات جنوبی و اطلس شمالی از تغییرات فشار سطح دریا استفاده نمود. عمده بارش شمال شرق ایران از سامانه های بارشی است که در بستر گردش عمومی جو به منطقه مورد مطالعه می رسند. به نظر می رسد تغییر در الگوهای گردش سطح دریا می تواند با گذر زمان بر گردش عمومی جو تاثیر گذاشته و باعث وضعیت متفاوتی در عناصر گردش عمومی جو از قبیل بادهای غربی، مراکز پر فشار جنب حاره ای (مراکز فعال در تشکیل توده هوا)، جبهه قطبی (شدت و تغییر موقعیت مکانی) و کم فشار های جنب قطبی (سیکلون زایی) شود. وضعیت متفاوت گردش عمومی جو در هر سال می تواند تغییر مسیر سامانه های بارش زا و یا تغییر در خواص بارش زایی توده

جدول ۳ آماره های مربوط به مدل های برازشی مقادیر همبستگی، ضریب تعیین، ریشه میانگین مربع خطاها، مقدار دوربین واتسون، معنی داری مدل برازشی

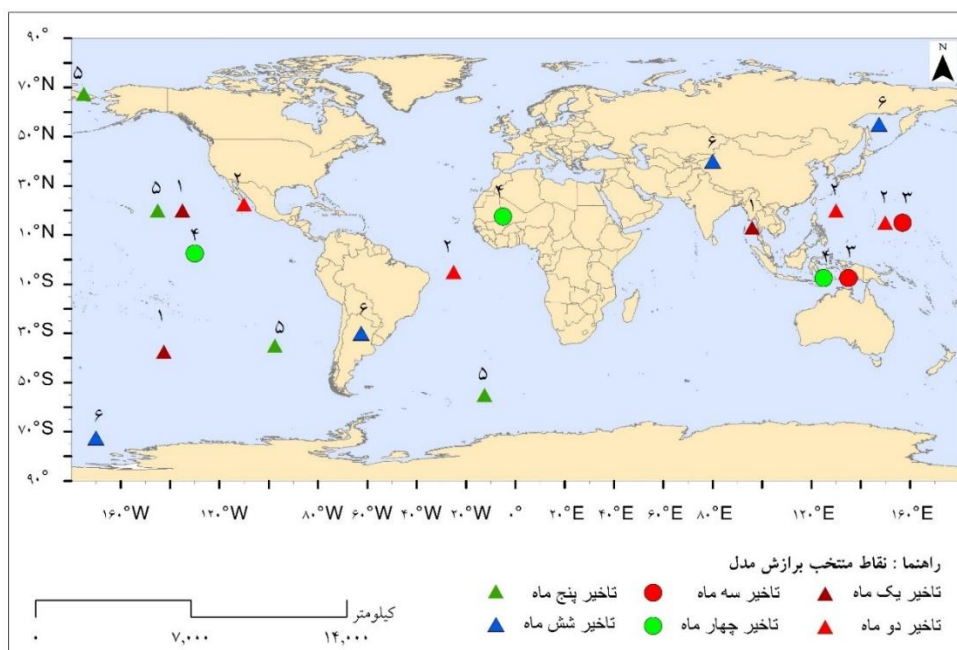
معنی داری رابطه رگرسیون	ریشه میانگین مربع خطاها آزمون	ریشه میانگین مربع خطاها برازش	ضریب دوربین واتسون	ضریب تعیین تطبیق شده	ضریب تعیین	همبستگی (R)	تاخیر	
۰/۰۰۰	۳۷/۲	۲۸/۵	۲/۱۷	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۸۳	شش ماهه (آوریل)	مدل گام به گام ماه آوریل
۰/۰۰۰	۳۷/۲	۲۸/۵	۲/۱۷	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۸۴		مدل پسر و ماه آوریل
۰/۰۰۰	۳۷/۲	۲۸/۵	۲/۱۷	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۸۴		مدل پیشرو ماه آوریل
۰/۰۰۰	۴۳/۱	۲۶/۵	۲/۴۶	۰/۷۰	۰/۷۴	۰/۸۶	پنج ماهه (مه)	مدل گام به گام ماه مه
۰/۰۰۰	۴۳/۱	۲۶/۵	۲/۴۶	۰/۷۰	۰/۷۴	۰/۸۶		مدل پسر و ماه مه
۰/۰۰۰	۴۳/۱	۲۶/۵	۲/۴۶	۰/۷۰	۰/۷۴	۰/۸۶		مدل پیشرو ماه مه
۰/۰۰۰	۴۰/۱	۳۲/۸	۲/۲۲	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۷۸	چهار ماهه (ژوئن)	مدل گام به گام ماه ژوئن
۰/۰۰۰	۴۰/۱	۳۲/۸	۲/۲۲	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۷۸		مدل پسر و ماه ژوئن
۰/۰۰۰	۴۰/۱	۳۲/۸	۲/۲۲	۰/۵۵	۰/۶۱	۰/۷۸		مدل پیشرو ماه ژوئن
۰/۰۰۵	۳۲/۵	۴۴/۴	۱/۹۴	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۵۳	سه ماهه (ژوئیه)	مدل گام به گام ماه ژوئیه
۰/۰۰۳	۴۱/۶	۴۱/۳	۲/۱۲	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۶۱		مدل پسر و ماه ژوئیه
۰/۰۰۵	۳۲/۵	۴۴/۴	۱/۹۴	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۵۳		مدل پیشرو ماه ژوئیه
۰/۰۰۰	۵۲/۴	۳۵/۳	۲/۱۲	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۷۴	دو ماهه (اوت)	مدل گام به گام ماه اوت
۰/۰۰۰	۴۱/۵	۳۰/۷	۲/۱۲	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۸۱		مدل پسر و ماه اوت
۰/۰۰۰	۵۲/۴	۳۵/۳	۲/۱۲	۰/۵۱	۰/۵۴	۰/۷۴		مدل پیشرو ماه اوت
۰/۰۰۰	۴۴/۲	۳۹/۰	۲/۲۱	۰/۴۲	۰/۴۴	۰/۶۷	یک ماهه (سپتامبر)	مدل گام به گام ماه سپتامبر
۰/۰۰۰	۴۴/۹	۳۲/۸	۱/۸۹	۰/۵۶	۰/۶۱	۰/۷۸		مدل پسر و ماه سپتامبر
۰/۰۰۰	۴۴/۲	۳۹/۰	۲/۲۱	۰/۴۲	۰/۴۴	۰/۶۷		مدل پیشرو ماه سپتامبر

این تغییرات می‌تواند در تعیین سهم بارشی شمال شرق ایران موثر باشند. تغییرات فشار در شرق و غرب اقیانوس آرام به خصوص شرق اقیانوس به عنوان یک پیش‌بینی کننده در تمام مدل‌های پیش‌بینی بارش سالانه در بیشتر تاخیرها انتخاب شده است. این نشان می‌دهد در دوره زمانی شش ماهه (مه تا سپتامبر) قبل از شروع بارش تغییرات فشار سطح دریا در اقیانوس آرام در پیش‌بینی بارش سالانه منطقه شمال شرق ایران نقش مهمی بازی می‌کند و این می‌تواند به نوعی تایید کننده نتایج تحقیقات دیگر پژوهشگران مبنی بر ارتباط بارش ایران با نوسانات جنوبی باشد. علاوه بر اقیانوس آرام، جنوب شرق آسیا و نواحی از جنوب دریای چین شرقی و جزیره گوام تا شمال استرالیا می‌تواند از مناطق شاخص مهم دیگر در پیش‌بینی بارش یک ساله باشد.

در ارزیابی مدل‌های برازشی با استفاده از سه الگوریتم (گام به گام، پسر و پیشرو) جدول شماره ۳ مشخص شد که مدل‌های برازشی با الگوریتم پسر و در تاخیرهای مختلف (یک تا شش ماه) عملکرد بهتری دارند. بنابراین الگوریتم پسر و برای برازش مدل‌ها در تاخیرهای یک تا شش ماه انتخاب شد. جدول ۴ و شکل ۴ مربوط به نقاط منتخب و موقعیت جغرافیایی این نقاط (متغیرهای پیش‌بینی کننده) به وسیله الگوریتم پسر و در مدل‌های پیش‌بینی می‌باشد. همچنین در جدول شماره ۴ مقادیر همبستگی و معنی داری همبستگی بارش شمال شرق ایران با تغییرات فشار سطح دریا در نقاط منتخب آورده شده است. با توجه به مقادیر همبستگی و موقعیت جغرافیایی نقاط منتخب به نظر می‌رسد تغییرات فشار سطح دریا در دو سوی اقیانوس آرام (غرب و شرق) می‌تواند نشان دهنده تغییرات در الگوهای گردش باشد که

تاخیرهای کوتاه تر (تاخیر یک و دو ماه) تغییرات نصف النهاری نقش برجسته تری دارند. در تاخیر ۶ و ۵ ماه دامنه مداری انتخاب متغیرهای مستقل ۶۷/۵ درجه شمالی تا ۷۲/۵ درجه جنوبی است ولی در تاخیرهای ۱ تا ۴ ماه به جز یک نقطه (۳۷/۵-) بقیه نقاط در دامنه مداری ۲۰ درجه شمالی تا ۷/۵- جنوبی قرار دارند.

شکل ۴ مربوط به موقعیت مکانی نقاط منتخب است. داده های فشار سطح دریا در این نقاط برای برازش مدل های پیش بینی بارش سالانه در تاخیر های یک و شش ماهه استفاده شده است. با توجه به موقعیت جغرافیایی نقاط منتخب به نظر می رسد در تاخیرهای ۵ و ۶ ماه، تغییرات مداری فشار سطح دریا در پیش بینی بارش سالانه اهمیت بیشتری دارند، اما در



شکل ۴ نقاط منتخب به وسیله الگوریتم پرسو برای مدل های پیش بینی بارش ۱۲ ماه (اکتبر تا سپتامبر سال بعد) در تاخیر های یک تا شش ماه جدول ۴ نقاط منتخب (پیش بینی کننده) به وسیله الگوریتم پرسو برای مدل های پیش بینی در تاخیر های مختلف

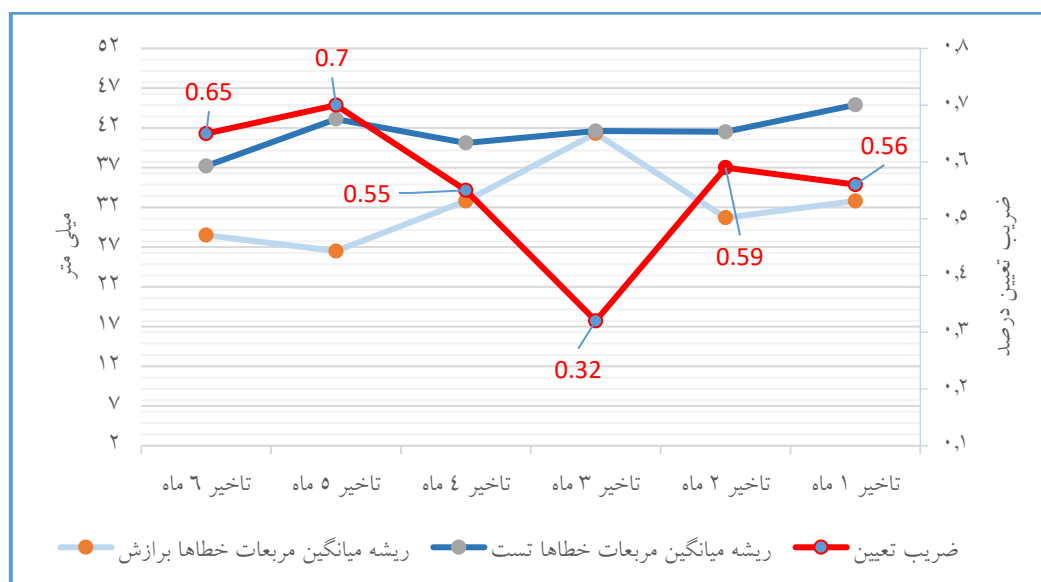
مدل	ماه	نقاط منتخب		منطقه جغرافیایی انتخاب پیش بینی کننده	همبستگی بارش و فشار سطح دریا	معنی داری همبستگی
		عرض	طول			
تاخیر یک ماه	سپتامبر	۱۳	۹۶	شرق خلیج بنگال	۰/۶۶۷	۰
	سپتامبر	۲۰	۱۳۵-	شرق اقیانوس آرام	-۰/۵۲	۰/۰۰۱
	سپتامبر	- ۳۷/۵	- ۱۴۲/۵	شرق اقیانوس آرام	-۰/۵	۰/۰۰۲
تاخیر دو ماه	اوت	۵-	۲۵-	اقیانوس اطلس	۰/۶۳۸	۰
	اوت	۲۲.۵	۱۱۰-	سواحل غرب مکزیک	۰/۵۶	۰
	اوت	۲۰	۱۳۰	غرب اقیانوس آرام	-۰/۵۴۴	۰/۰۰۱
	اوت	۱۵	۱۵۰	غرب اقیانوس آرام	-۰/۶	۰
تاخیر سه ماه	ژوئیه	- ۷/۵	۱۳۵	دریای آرافورا سواحل شمال استرالیا	۰/۵۰۱	۰/۰۰۲
	ژوئیه	۱۵	۱۵۷	غرب اقیانوس آرام	۰/۴۲۴	۰/۰۱۱
تاخیر چهار ماه	ژوئن	۲/۵	۱۳۰-	شرق اقیانوس آرام	-۰/۴۳	۰/۰۰۸
	ژوئن	۱۷/۵	۵-	غرب آفریقا	۰/۵۹۴	۰
	ژوئن	- ۷/۵	۱۲۵	دریای باندا سواحل شمال استرالیا	۰/۵۰۴	۰/۰۰۲
تاخیر پنج ماه	مه	۶۷/۵	۱۷۵-	قطب شمال	-۰/۵۸	۰/۰۰۰۲
	مه	۲۰	۱۴۵-	شرق اقیانوس آرام	-۰/۵۵	۰

۰/۰۰۲	-۰/۵	اقیانوس اطلس جنب قطب جنوب	۵۵-	- ۱۲/۵	مه	تاخیر شش ماه
۰/۰۰۶۳	-۰/۵	شرق اقیانوس آرام	۳۵-	- ۹۷/۵	مه	
۰/۰۰۰۵۳	-۰/۶۳	امریکای جنوبی آرزانتین	۳۰-	- ۶۲/۵	آوریل	
۰/۰۰۶۳	-۰/۵۶	دریای اختسک جنب قطب شمال	-۵۵	۱۴۷/۵	آوریل	
۰/۰۰۲	۰/۵۱	دریای راس قطب جنوب	- ۷۲/۵	۱۷۰-	آوریل	
۰/۰۰۲	-۰/۵۰۹	غرب چین	۴۰	۸۰	آوریل	

توانسته اند ۷۰ و ۶۵ درصد تغییرات بارش ۱۲ ماه را تبیین کنند (نمودار شکل ۷-۳). با توجه به این که بازه زمانی بارش (۱۲ ماه) یک سال است ۷۰ تا ۶۵ درصد تبیین می‌تواند قابل توجه باشد. همبستگی بین مقادیر پیش بینی شده و مقادیر واقعی برای مدل‌های برازشی تاخیر ۵ و ۶ ماه به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۸۴ است (جدول ۳). از نظر شاخص ریشه میانگین مربعات خطاها در دوره برازش و آزمون دوباره بهترین عملکرد را تاخیرهای ۵ و ۶ ماه داشته‌اند. بعد از مدل‌های برازش تاخیر ۵ و ۶ ماه به ترتیب مدل‌های تاخیر یک و دو ماه (اوت و سپتامبر) بهترین عملکرد را دارند. مقادیر ضریب تعیین برای تاخیر ۵ و ۶ ماه به ترتیب ۰/۵۹ و ۰/۵۶ درصد می‌باشد.

بارش سالانه با استفاده از نقاط منتخب در تاخیرهای یک تا شش ماه در دوره برازش و آزمون با استفاده از تغییرات فشار سطح دریا در نقاط منتخب (جدول شماره ۴) محاسبه شد. در شکل ۵ و ۶ مقادیر پیش بینی و مقادیر بارندگی شمال شرق در دوره برازش و آزمون در تاخیرهای یک تا شش ماه ترسیم شده‌اند.

برای انتخاب بهترین مدل‌ها، با استفاده از شاخص‌های عملکرد ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطاها در دوره برازش، توانایی مدل‌های منتخب در تاخیرهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. بهترین عملکرد از نظر شاخص ضریب تعیین به ترتیب مربوط به تاخیر ۵ و ۶ ماه (مه و آوریل) است. مدل‌های برازش تاخیر ۵ و ۶ ماه به ترتیب



شکل ۵ شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها در تاخیر ۱ تا ۶ ماه

بودن بارش یک سال آبی شمال شرق ایران به وسیله آزمون‌های همبستگی در مقیاس سیاره‌ای در دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۲۱ و تحلیل رگرسیون چند متغیره بررسی شد. واکاوی همبستگی

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بررسی همبستگی بین بارش و الگوهای فشار جهانی در تاخیرهای زمانی مختلف، پیش‌بینی‌پذیر

نمی تواند مفید و موثر باشد. نتایج این تحقیق می تواند راهگشا باشد.

رویکرد نوین این پژوهش برخلاف بیشتر کارهای انجام شده در کشور (که از شاخص های کلاسیک دورپیوندی استفاده شده است) بر پایه و نقطه آغاز تعریف دورپیوندها و واداشت های خالص اولیه الگوهای فشار و دمای آب اقیانوس جهانی است؛ به طوری که با گسترش آن، امکان تعریف شاخص های نوین دورپیوندی نیز وجود دارد.

### منابع

- Ahmadi, Mohammad; Khazaei, Mahnaz (2018). Simulation of Iranian temperature and precipitation anomalies using remote link statistical modeling. The sixth regional climate change conference. <https://civilica.com/doc/1002622>
- Javanmard, S., Bodaghjamaali, J., Babaeian, I., Shahabfar, A.R., & Khazanedari, L. (2004). the correlation between the variability of kazakhstan - omman golf and precipitation changes in Iran. *Geographical research*, 18(4(71)), 2219-2220. Sid. <https://sid.ir/paper/395119/en>
- Delawar, Ali (2011). Applied probabilities and statistics in psychology and educational sciences. (Ninth edition, 174-175). Tehran: Roshd Publications.
- Doostan, R. (2018). World Teleconnection and Regional Teleconnections of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(3), 625-640. Doi: 10.22059/jesphys.2018.238493.1006920
- Rezaei, Abdul Majid (2010). *Statistics and Probability*. 8 th edition, Mashhad Publishing House
- Salahi, B., Khourshiddoust, A.M., & Ghavidel Rahimi, Y. (2007). linking between oscillations of north Atlantic atmospheric - oceanic circulation and droughts in east Azerbaijan. *Geographical research quarterly*, 39(60), 147-156. Sid. <https://sid.ir/paper/5497/en>
- Fatahi, E., & Hejazizadeh, Z. (2006). Spatial synoptic classification air masses in basins of southwestern of Iran. *Geography and development*, 3(6), 135-156. Sid. <https://sid.ir/paper/76988/en>
- Farajzadeh, M., Ahmadi, M., Alijani, B., Qavidel Rahimi, Y., Mofidi, A., & Babaeian, I. (2013). Study on Variation of Major Teleconnection Patterns (MTP) associated

بارش شمال شرق ایران با میانگین ماهانه فشار سطح دریا (آوریل تا سپتامبر) با تاخیر گام زمانی تاخیر ۱ تا ۶ ماه در یک شبکه ۲/۵ در ۲/۵ درجه (کل سطح زمین) نشان می دهد، همبستگی بارش ۱۲ ماه (اکتبر تا سپتامبر سال بعد) با الگوهای فشار سطح دریا در تاخیر ۱ تا ۶ ماه معنی دار است. نتایج این تحقیق به نوعی یافته های دیگر پژوهش ها را در ارتباط با وجود همبستگی بارش با تغییرات فشار سطح دریا در نیمکره شمالی تایید می کند. هم چنین یافته های این پژوهش نشان می دهد همبستگی بارش سالانه با تغییرات الگوهای فشار سطح دریا (شکل ۳) در نواحی امریکای جنوبی، نواحی قطبی، جنب قطبی و اقیانوس آرام در نیمکره جنوبی معنی دار است. از نظر توزیع مکانی بیشتر کانون های بیشینه همبستگی منفی در اقیانوس آرام و بیشتر کانون های بیشینه همبستگی مثبت در شمال اقیانوس هند، دریای عرب، جنوب شرق آسیا و نواحی حاره ای اقیانوس اطلس قرار دارند، این نتایج به طریقی با یافته های دیگر پژوهشگران مبنی بر تاثیر پذیری بارش شمال شرق از نوسانات جنوبی هم خوانی دارد.

در برازش مدل های برآورد مقدار بارش ۱۲ ماهه، کانون های بیشینه همبستگی می توانند به عنوان پیش بینی کننده مورد استفاده قرار گیرند. مدل های برازشی با استفاده از نقاط منتخب از کانون های بیشینه همبستگی در هر ماه می تواند مقدار زیادی از تغییرات بارش را تبیین کند. بیشترین مقادیر تبیین بارش مربوط به تاخیرهای ۵ و ۶ ماه (مه و آوریل) می باشد به طوری که ۷۰ و ۶۵ درصد تغییرات بارش به ترتیب با تغییرات فشار سطح دریا در ماه های آوریل و مه تبیین شده است. یافته های این تحقیق نشان می دهد می توان در پیش بینی بارش (۱۲ ماه اکتبر تا سپتامبر سال بعد) از تغییرات الگو های فشار سطح دریا در نیمکره شمالی و جنوبی استفاده کرد. همچنین این امکان را فراهم می کند ما بتوانیم چند ماه قبل از شروع بارش یک پیش بینی از مقدار بارش برای مدت یک سال داشته باشیم. از آنجایی که برای سیاست گذاری های یک ساله در مدیریت منابع آب در بخش های کشاورزی، صنعت، آب شرب، منابع طبیعی و زیست محیطی پیش بینی بارش ۱۲ ماه وجود ندارد و از طرفی استفاده از میانگین بارش به علت زیاد بودن دامنه تغییرات بارش سالانه در شمال شرق

- scale climatic signals with rainfall in the Khorasan. *Journal of agricultural sciences and natural resources*, 15(2), 217-224. Sid. <https://sid.ir/paper/9646/en>
18. Nazem alsadat, S.M.J., & Shirvani, A. (2004). the application of CCA for the assessment and comparison of the capability of SOI and Nino's sst for the prediction of winter precipitation over the Caspian sea coasts. *Water and soil science (journal of science and technology of agriculture and natural resources)*, 8(1), 25-25. SID. <https://sid.ir/paper/357323/en>
  19. Nourani, Vahid, Sattari, Mohammad Taghi, & Molajou, Amir. (2017). A hybrid decision tree/ association rules approach for long-term precipitation forecasting. *Journal of water and irrigation management*, 6(2), 331-346. Sid. <https://sid.ir/paper/240082/en>
  20. Nikjou, M.R., & Gavideleh Rahimi, Y. (2006). effect of North Atlantic oscillation (nao) on rainfall variability and incidence of wintertime dry and wet periods in east Azerbaijan. *Journal of agricultural knowledge*, 16(3), 33-44. Sid. <https://sid.ir/paper/28825/en>
  21. Aghelpour, P., Bahrami-Pichaghchi, H., Varshavian, V., & Norooz-Valashedi, R. (2023). Evaluating the predictability of eight Atmospheric-Oceanic signals affecting Iran's Droughts, employing intelligence based and stochastic methods. *Advances in Space Research*, 71(5), 2394-2415.
  22. Asadi, M. and Karami, M. (2022): Modeling of relative humidity trends in Iran, *Model. Syst. Environ* 8, 1035-1045, <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01093-9>.
  23. Ghamghami, M., & Bazrafshan, J. (2023). Improved teleconnective predictability of monthly precipitation amounts using canonical correlation analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 16(2), 109.
  24. Helali, J., Salimi, S., Lotfi, M., Hosseini, S. A., Bayat, A., Ahmadi, M., & Naderizarneh, S. (2020). Investigation of the effect of large-scale atmospheric signals at different time lags on the autumn precipitation of Iran's watersheds. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-24.
  25. Hosseini, S.M., Kashki, A. & Karami, M. (2022). Analysis of the North Atlantic Oscillation Index and rainfall in Iran. *Model. Earth Syst. Environ.* 8, 3647-3656. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01309-y>
  26. Kashki, A., Karami, M. & Hosseini, S.M. (2022). Analysis of El Niño-Southern Oscillation and its impact on precipitation distribution over Iran. *Arab J Geosci* 15, 1295. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10452-4>
  9. Farajzadeh, M. (2012). *Climatology Techniques (4) Organization for the study and compilation of humanities books of universities (SAMT)*
  10. Fallah Ghalhari, GH.A, Mousavi Bygi, M., & Habibi Nowkhandan, M. (2007). seasonal rainfall forecasting based on synoptical patterns and sea level pressure gradient (dslp) using statistical models. *Agricultural sciences and technology*, 21(2 (special issue in soil, water and air)), 95-104. Sid. <https://sid.ir/paper/22488/en>
  11. Falah Ghalhari, GH.A, & Khoushhal, J. (2009). spring rainfall prediction of khorasan-e Razavi province, based upon climatic large-scale signals by using artificial neural network. *Physical geography research quarterly*, (69), 115-133. Sid. <https://sid.ir/paper/138731/en>
  12. Falah Ghalhari, GH.A, Mousavi Baigi, S.M., Habibi Noukhandan, M., & Khoushhal Dastjerdi, J. (2009). annual rainfall forecasting based on synoptic patterns of teleconnection using statistical models. *Journal of range and watershed management (Iranian journal of natural resources)*, 62(1), 111-123. SID. <https://sid.ir/paper/162612/en>
  13. Fallah Ghalhary, GH.A. Khoshha, J., & Habibi Nokhandan, M (2010). the application of fuzzy logic and multiple regressions in long-term rainfall prediction in Khorasan Razavi province. *Iranian journal of watershed management science and engineering*, 4(12), 37-52. Sid. <https://sid.ir/paper/134865/en>
  14. Fallah Ghalhari, G., & Shakeri, F. (2016). The application of artificial neural networks in rainfall prediction. *Iranian journal of watershed management science and engineering*, 9(31), 99-110. Sid. <https://sid.ir/paper/134735/en>
  15. Ghavidel Rahimi, Yousef, Hatami Zarneh, Dariuosh, & Rezaei, Mohammad. (2014). the role of the North Sea - Caspian upper atmospheric teleconnection pattern (NCP) in temporal variability of rainfall in southern coastal of Caspian Sea. *Journal of geographical sciences*, 13(31), 29-46. SID. <https://sid.ir/paper/102241/en>
  16. Mahmoudi, P., Razmjoo, S., & Amir Jahanshahi, S. M. (2020). Overlap of North Atlantic Oscillation (NAO) periodicities with periodicities of droughts and wet years of Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 14(1), 91-104. Doi: 10.30499/ijg.2020.104299
  17. Mousavi bayegi, S.M., Falah Ghalhari, GH.A. & Habibi Noukhandan, M.. (2008). assessment of the relation between the large-

30. McBride, J. L., & Nicholls, N. (1983). Seasonal relationships between Australian rainfall and the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 111(10), 1998-2004. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1983\)111<1998:SRBARA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1983)111<1998:SRBARA>2.0.CO;2)
31. Müller-Plath, G., Lüdecke, H. J., & Lüning, S. (2022). Long-distance air pressure differences correlate with European rain. *Scientific Reports*, 12(1), 10191. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14028-w>
32. Nicholls, N., McBride, J., & Ormerod, R. (1981). On predicting the onset of the Australian wet-season at Darwin: Australian Numerical Meteorology Research Centre.
33. Wang, S., Wyser, K., & Koenigk, T. (2023). Sensitivity of seasonal circulation response to snow reduction in the Northern Hemisphere and Eurasia and its impact on Eurasian climate. *Climate Dynamics*, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s00382-023-06867-8>
27. Lim, E.-P., Hendon, H. H., Hudson, D., Wang, G., & Alves, O. (2009). Dynamical forecast of inter-El Niño variations of tropical SST and Australian spring rainfall. *Monthly Weather Review*, 137(11), 3796-3810. <https://doi.org/10.1175/2009MWR2904.1>
28. Lee, H. S. (2015). General rainfall patterns in Indonesia and the potential impacts of local seas on rainfall intensity. *Water*, 7(4), 1751-1768. <http://dx.doi.org/10.3390/w7041751>
29. Luppichini, M., Bini, M., Barsanti, M., Giannecchini, R., & Zanchetta, G. (2022). Seasonal rainfall trends of a key Mediterranean area in relation to large-scale atmospheric circulation: How does current global change affect the rainfall regime? *Journal of Hydrology*, 612, 128233. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128233>