

Feasibility study of using Climate Teleconnection Indices in prediction of spring precipitation in Iran Basins

JALIL HELALI^{1*}, TURAN HOSSEINZADEH², MAJID CHERAGHALIZADEH¹, MAHDI MOHAMMADI GHALENI³

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2. Department of Natural Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3. Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran.

(Received: Jan. 11, 2021- Revised: Feb. 3, 2021- Accepted: Feb. 8, 2021)

ABSTRACT

Management and planning in the field of water resources in different seasons, especially in spring, is very vital for exploitation in the agricultural, industrial and drinking sectors in arid and semi-arid regions of the world, especially Iran. Climate Teleconnection Indices (CTI) as large-scale indices can be important in hydrological behavior at the basin scale. In this study, the relationship between these indices and spring rainfall in the basins of Iran was investigated and the possibility of using them as predictor variables was identified. For this purpose, the correlation of 40 CTI in time delays of 6 to 1 month with spring rainfall was investigated. The results showed that the percentage of stations that have a significant correlation with spring precipitation, varies depending on the location of the basin, but in general, the indicators related to ENSO and SSTs have the most frequent significant correlations with spring rainfall in the northern half, northwest, northeast and sometimes southwest springs. These indicators in the Caspian Sea basin with a delay of 3 to 6 months, Persian Gulf-Oman Sea with a delay of 1 to 3 months, Lake Urmia with a delay of 3 months, Central Plateau with a delay of 1 to 4 months, Eastern border with a delay of 1 and 6 months, and Qarahqom basin with a delay of 1 and 3 months have the highest amount. In general, it can be said that the spring rainfall in many stations located in the watersheds of the northern half of Iran have a significant correlation with the CTI, but in the southern, the central plateau and the eastern part have the lowest correlation, which is due to the low rainfall in this season in the southern regions. The results showed that the efficiency of predicting spring precipitation by MLP model is better than MLR model.

Keywords: Climate Teleconnection Indices, Basin, Spring Precipitation, Multi Layer Perceptron, Multi Linear Regression.

امکان‌سنجی استفاده از شاخص‌های پیوند از دور در پیش‌بینی بارش فصل بهار حوضه‌های آبریز ایران

جلیل هلالی^{۱*}، توران حسین‌زاده^۲، مجید چراغعلی‌زاده^۱، مهدی محمدی قلعه‌نی^۳

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط‌زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰)

چکیده

مدیریت و برنامه‌ریزی در زمینه منابع آب در فصول مختلف به خصوص فصل بهار به منظور بهره‌برداری در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شرب در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به خصوص ایران بسیار حیاتی است. شاخص‌های پیوندازدور به عنوان شاخص‌های بزرگ‌مقیاس می‌توانند در رفتار هیدرولوژیکی در سطح حوضه آبریز موثر باشند. در این مطالعه سعی شد ارتباط بین این شاخص‌ها و بارش‌های فصل بهار در حوضه‌های آبریز ایران مورد بررسی قرار گرفته و امکان استفاده از آن‌ها به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده مورد ارزیابی قرار گیرد. به این منظور همبستگی ۴۰ شاخص پیوندازدور با فرکانس‌های مختلف در تاخیرهای زمانی ۶ تا ۱ ماهه با بارش فصل بهار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد درصد ایستگاه‌هایی که همبستگی بارش فصل بهار آن‌ها با شاخص‌های پیوندازدور معنادار است بسته به حوضه آبریز متغیر است. به طور کلی، شاخص‌های مرتبط با ENSO و SST بیشترین فراوانی همبستگی‌های معنادار با بارش بهار در نیمه شمالی، شمال غربی، شمال شرقی و گاهی جنوب غربی را دارند. این شاخص‌ها در حوضه دریای خزر در تأخیر ۳ تا ۶ ماهه، خلیج فارس-دریای عمان ۱ تا ۳ ماهه، دریاچه ارومیه ۳ ماهه، فلات مرکزی ۱ تا ۴ ماهه، مرز شرقی ۱ و ۶ ماهه، و حوزه قره‌قوم تأخیر ۱ و ۳ ماهه بیشترین مقدار را دارند. به طور کلی، می‌توان گفت بارش فصل بهار در بسیاری از ایستگاه‌های واقع در حوضه‌های آبریز نیمه شمالی ایران با شاخص‌های پیوندازدور همبستگی معنادار دارند ولی در بخش جنوبی، فلات مرکزی و بخش شرقی کمترین همبستگی را دارند که این امر به دلیل بارش کم در مناطق جنوبی در این فصل است. بررسی نتایج نشان داد کارایی مدل MLP نسبت به مدل MLR در مدلسازی مقدار بارش فصل بهار عمده حوضه‌های آبریز بالاتر است.

واژه‌های کلیدی: بارش بهار، شاخص‌های پیوندازدور، حوضه‌های آبریز، شبکه عصبی پرسپترون چند لایه، رگرسیون خطی چند متغیره.

مقدمه

اهمیت بارش به عنوان مهم‌ترین عامل اقلیمی و هیدرولوژیکی بر هیچکس پوشیده نیست. این اهمیت به خصوص در بخش مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی و همچنین کشاورزی به خصوص کشت دیم بارز بوده و دستیابی به احتمال وقوع و پیش‌بینی آن امری اجتناب‌ناپذیر است. کشور ایران نیز به عنوان منطقه‌ای خشک و نیمه خشک در بخش جنوب غربی آسیا از چالش‌های پیش‌رو رنج می‌برد. یکی از عوامل مهم در مکانیزم شکل‌گیری توده‌های هوا و در نتیجه بارش شاخص‌های پیوندازدور هستند. این شاخص‌ها در مقیاس‌های مکانی و زمانی متغیر شکل می‌گیرند که تغییرات‌شان در دما یا فشار سطح آب‌های آزاد با توجه به ظرفیت گرمایی بالا می‌تواند تغییرات بزرگی در دمای مناطق مجاور ایجاد کرده و سبب جابجایی توده‌های هوا گردد

(Karamouz *et al.*, 2006). مطالعات انجام شده نشان داده است این شاخص‌های می‌توانند بر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی تاثیرگذار باشند که از آن جمله می‌توان به بارش (Ahmadi *et al.*, 2019؛ Helali *et al.*, 2020a)، جریان و دبی رودخانه‌ها (Nalley *et al.*, 2019) و عملکرد محصولات کشاورزی (Araghi *et al.*, 2019) اشاره نمود.

مطالعات انجام شده ارتباطات نزدیک بین این متغیرها و بارش را در ایران و مناطق مختلف جهان نشان داده است. مطالعه Ghavidel Rahimi (2004) نشان داده است که بین شاخص Nino1.2 و Nino3 با بارش بهاره آذربایجان ارتباط مستقیم وجود دارد به طوری که در فاز النینو بارش فصل بهار افزایش می‌یابد. Rahimi Khoob (2011) نشان داد حداکثر بارش ماهانه منطقه ایلام با استفاده از دمای سطح خلیج فارس و دریای سرخ با اعتماد

در زمینه تأثیر شاخص‌های پیوندازدور بر بارش ایران Helali *et al.*, (2020 a,b) تاکید می‌کنند که الگوهای پیوندازدور می‌توانند بر بارش پاییزه حوضه‌های آبریز ایران مؤثر بوده و به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده استفاده شوند. مزیت این مطالعه دیدگاه حوضه‌ای ارتباط بین شاخص پیوندازدور و بارش بوده است که در سایر مطالعات صورت نگرفته است. از سوی دیگر، استفاده از مدل‌های مختلف پیش‌بینی کننده بارش با کمک شاخص‌های پیوندازدور نشان می‌دهد مدل‌های رگرسیونی (Kim *et al.*, 2020؛ Doblas-Reyes, 2020؛ Qian and Xu, 2020)، شبکه عصبی مصنوعی (Fatehi Marj and Canchala *et al.*, 2020؛ *et al.*, 2013؛ Mahdian, 2009) و نروفازی (Choubin *et al.*, 2014) می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. یکی دیگر از خلاءهای موجود عدم بررسی بارش بهار ایران و ارتباط آن با شاخص‌های پیوندازدور هم از دیدگاه منطقه‌ای (حوضه آبریز) و هم ایستگاهی بوده است. در این زمینه عمده مطالعات بر تحلیل‌های آماری-سینوپتیکی سازوکار رخداد بارش‌های بهاری (Khorshidoust *et al.*, 2016؛ Dargahain *et al.*, 2019, 2020؛ Nazemosadat and Ghavidel Rahimi, 2004؛ Ghasemi, 2005؛ Yarahmadi and Azizi, 2007) و سیگنال‌های بزرگ مقیاس (Fallah Ghalhary, 2012) با بارش متمرکز بوده است. شاخص‌های پیوندازدور نیز می‌توانند بر بارش فصل بهار مؤثر باشند که هدف اصلی این پژوهش نیز بررسی همبستگی آن‌ها با بارش بهار حوضه‌های آبریز و شناسایی بهترین شاخص‌های پیوندازدور مؤثر بر آن با در نظر گرفتن تأخیرهای زمانی ۱ تا ۶ ماهه است. دلیل انتخاب این تأخیر زمانی بررسی امکان‌سنجی استفاده از این شاخص‌ها به عنوان متغیرهای مستقل در زمینه برنامه‌ریزی‌های مدیریتی منابع آب و بخش کشاورزی به خصوص کشت دیم است. بنابراین تلاش گردید مهمترین شاخص‌های پیوندازدور مؤثر بر بارش فصل بهار در مقیاس حوضه‌های آبریز ایران با تراکم ایستگاهی بالا که پوشش مکانی مناسب داشته باشد با لحاظ تأخیر زمانی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و بتوان با استفاده از این شاخص‌ها بارش فصل بهار را با دو مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و رگرسیون خطی چندگانه مدل‌سازی نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، حوضه‌های آبریز درجه ۲ شامل ۳۰ حوضه می‌باشد که در جدول (۱) مشخصه‌های آن‌ها شامل مساحت، تعداد ایستگاه‌ها، متوسط بارش فصل بهار و سالانه

۶۶/۸ درصد و با یک ماه تأخیر قابل پیش‌بینی است. Fatehi Marj *et al.* (2015) ارتباط بین سیگنال‌های اقلیمی و خشک‌سالی هواشناسی در استان کرمان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سیگنال‌های SOI، MEI و Nino بیشترین تأثیر را بر نوسانات بارندگی ماهانه، فصلی و سالانه در استان کرمان دارند. Ghaedamini *et al.* (2014) رخداد خشک‌سالی و ترسالی‌های پاییزه جنوب ایران را از دیدگاه اثر همزمان و جداگانه پدیده‌های PDO و ENSO مورد بررسی قرار دادند و مشخص کردند در هنگام رخداد پدیده النینو یا لانینا بارش جنوب غرب ایران به گونه‌ای معنی‌دار به ترتیب افزایش یا کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، در جنوب ایران بیشترین افزایش بارش در زمانی که پدیده النینو با فاز مثبت PDO همزمان شده به وقوع پیوسته است. Goudarzi *et al.* (2017) به بررسی ارتباط شاخص‌های پیوند از دور با ۹ مؤلفه دمایی و بارشی به صورت ماهانه در ایستگاه همدید کرج پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین ارتباط بین شاخص‌های NAO و SOI با مؤلفه‌های دمایی و بارشی در ماه‌های فصل پاییز و زمستان مشاهده می‌شود در حالی که شاخص‌های PNA و MEI با مؤلفه‌های دمایی ارتباط بیشتری دارند. همچنین بیشترین ارتباط شاخص PDO بر مؤلفه‌های بارشی و دمایی منطقه نیز در ماه می در اواسط فصل بهار مشاهده می‌شود. تعدادی از مطالعات اثرگذاری شاخص‌هایی از خانواده ENSO به ویژه SOI^۱، MEI^۲ و Nino 3.4 بر بارش ایران را مطالعه کرده‌اند که نشان می‌دهد با تأخیر زمانی همراه بوده و همبستگی منفی و گاهی مثبت دارد (Nazemosadat & Cordery, 2000؛ Sadatinejad *et al.*, 2016). مطالعات متعدد دیگری نیز نشان داده‌اند علاوه بر متغیرهای اقلیمی، متغیرهای هیدرولوژیکی نیز با شاخص‌های پیوندازدور همبستگی دارند (Amirmoradi *et al.*, 2015). نتایج مطالعه Fatehi Marj *et al.* (2006) نشان می‌دهد در حوضه دریاچه ارومیه بارندگی پاییزه بیشتر تحت تأثیر ENSO و بارندگی زمستانه عمدتاً تحت تأثیر شاخص NAO است. در شمال شرق ایران مهمترین شاخص پیوندازدور مؤثر بر ترسالی و خشک‌سالی SST ها هستند (Mousavi baygi *et al.*, 2008). نتیجه بررسی تأثیر شاخص‌های اقلیمی بر بارش ناحیه مرکزی ایران تاکید می‌کنند شاخص ENSO در مناطق Nino1.2 و Nino3 موثرترین شاخص دورپیوندی بوده و تأخیر ۳ و ۶ ماهه موجب قوی شدن ضریب همبستگی شده است (Hejazizadeh *et al.*, 2013)، در حالی که Fatemi *et al.* (2017) شاخص‌های SCA، EA و TSA را موثرترین شاخص‌های دورپیوندی مؤثر بر SPI مناطق اصفهان، کرمان و یزد دانسته‌اند. در تازه‌ترین مطالعه

مدلسازی بارش فصل بهار

به منظور پیش‌بینی و مدلسازی بارش فصل بهار با استفاده از شاخص‌های پیوندازدور از روش گام به گام استفاده شد. در این روش ابتدا همه متغیرهای پیش‌بینی کننده وارد مدل شده و به روش گام به گام حذف شدند. در انتها سه متغیر اول که بیشترین ضریب تعیین را داشتند به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده استفاده شدند.

مدل رگرسیون خطی چند متغیره^۱

مدل رگرسیون خطی چندمتغیره (MLR)، یک مدل پارامتری است که برای مدلسازی روابط خطی میان متغیرهای وابسته و مستقل به عنوان یک مدل پایه به کار می‌رود. در شرایطی که رابطه خطی میان متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده وجود داشته باشد این مدل قادر است این روابط را مدلسازی نماید. فرم ریاضی از مدل به صورت زیر خواهد بود:

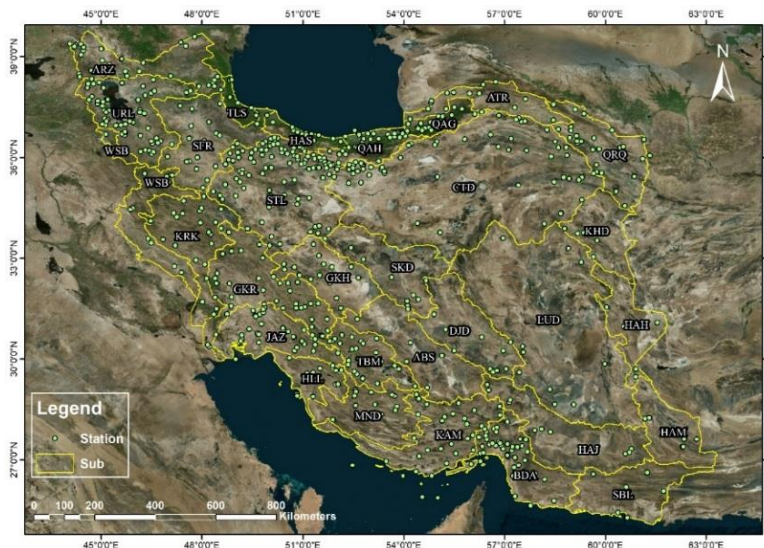
$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن $x_i (i=1,2,\dots,n)$: متغیرهای مستقل (پیش‌بینی کننده)، y_i : متغیره وابسته (پیش‌بینی شونده) و $\alpha_i (i=1,2,\dots,n)$ ضرایب متغیرهای مستقل هستند. نمایی شماتیک از مدل MLR در شکل (۲) ارائه شده است. برای تعیین این ضرایب در مدل رگرسیونی خطی چندمتغیره از روش حداقل مربعات استفاده می‌شود به گونه‌ای که مجموع مربعات خطای مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده (توسط مدل) حداقل گردد. ضرایب متغیرهای مستقل، مقدار ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل شده در جدول (۳) ارائه شده است.

ارائه شده و در شکل (۱) نیز نمایی از ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. در این مطالعه نخست، داده‌های بارش ماهانه ۷۱۷ ایستگاه باران‌سنجی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی در دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۷ مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعد، داده‌های مربوط به شاخص‌های پیوندازدور از تارنمای مرکز ملی اقیانوس و جوی ایالات متحده آمریکا (NCEP/NCAR) دریافت شد که مشخصات آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. به منظور بررسی ارتباط شاخص‌های پیوندازدور با بارش بهاره حوضه‌های آبریز ایران و تعیین شاخص‌های پیوندازدور از معادله همبستگی پیرسون به صورت زیر استفاده شد:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن x_i و y_i به ترتیب متغیر مستقل (شاخص پیوندازدور) و وابسته (بارش بهاره هر حوضه آبریز)، \bar{x} و \bar{y} میانگین متغیرهای مستقل و وابسته می‌باشد. استفاده از ضریب همبستگی به منظور شناسایی مقدار همبستگی‌های بین بارش فصل بهار و شاخص‌های پیوندازدور است. ضریب همبستگی بین بارش بهاره با ۴۰ شاخص دورپیوندی در ۶ گام زمانی از طریق ماتریس همبستگی به دست آمد. همچنین متغیرهای پیوندازدور با بیشترین فراوانی معنادار بسته به نوع شاخص و همچنین تاخیرهای زمانی مختلف مورد بررسی و تحلیل شدند. سپس همبستگی‌های مثبت و منفی در گستره مورد مطالعه به وسیله بسته نرم‌افزاری ArcGIS 10.1 با روش کریجینگ پهنه‌بندی گردید.



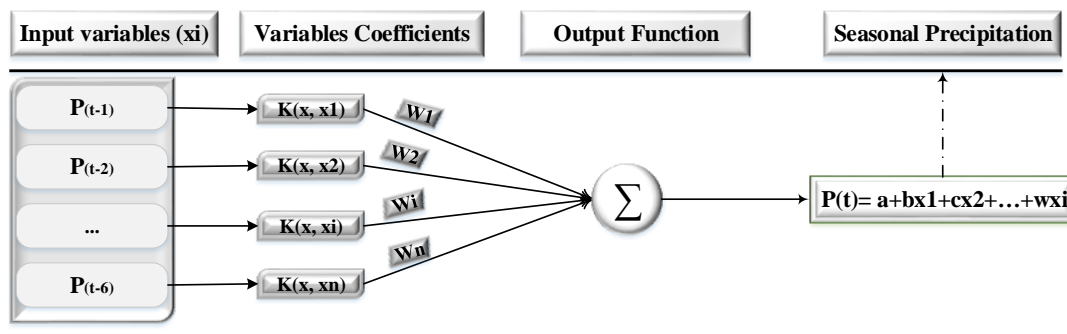
شکل ۱- توزیع مکانی حوضه‌های آبریز و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی حوضه‌های آبریز ایران

حوضه اصلی	حوضه فرعی	علامت اختصاری	مساحت (میلیون هکتار)	تعداد ایستگاه‌ها	متوسط بارش بهاره (میلیمتر)	متوسط بارش سالانه (میلیمتر)
دریای خزر	ارس	ARZ	۴۰۰۹	۳۲	۱۲۵/۶	۳۰۰
	اترک	ATR	۲/۶۹۹	۱۴	۹۰/۹	۳۲۵/۲
	هراز-سفیدرود	HAS	۱/۱۰	۱۴	۱۶۴/۷	۱۰۹۱/۱
	قره‌سو-گرگان	QAG	۱/۳۲۵	۱۹	۱۲۳/۴	۵۲۱/۲
	قره‌سو-هراز	QAH	۱/۸۸۴	۳۰	۱۲۰/۹	۶۵۹/۳
	سفیدرود	SFR	۵/۹۶۱	۳۴	۱۳۷/۸	۴۵۷/۷
	تالش	TLS	۰/۹۶	۸	۱۸۴/۴	۱۲۵۳/۶
خلیج فارس-دریای عمان	بندرعباس-سدیج	BDA	۴/۲۶۸	۴۵	۲۰/۱	۲۰۱/۱
	کارون بزرگ	GKR	۴۳/۶	۴۴	۱۰۰/۰	۵۱۷/۴
	حله	HLL	۱/۹۸	۱۳	۳۵/۸	۳۳۶/۶
	جراحی-زهره	JAZ	۳/۸۴۲	۳۶	۵۹/۸	۴۱۹/۴
	کل-مهران	KAM	۵/۷۵۷	۳۰	۲۶/۶	۱۹۱
	کرخه	KRK	۵/۰۱۱	۲۴	۹۵/۲	۳۹۳/۵
	مند	MND	۴/۳۸۷	۱۵	۵۱/۴	۳۶۶/۷
	بلوچستان جنوبی	SBL	۴/۳۷۹	۷	۱۹/۸	۱۴۱/۴
	مرز غربی	WSB	۳/۸۸۹	۱۳	۱۱۸/۵	۴۸۴
	دریاچه ارومیه	URL	۵/۲۷۲	۵۸	۱۱۶/۳	۳۲۵/۶
فلات مرکزی	ابركوه-سیرجان	ABS	۵/۳۵۷	۷	۳۷/۱	۱۶۸/۳
	کویر مرکزی	CTD	۲۲/۴۱۸	۵۵	۶۶/۲	۲۱۱/۷
	کویر درنجان	DJD	۴/۷۶۷	۱۰	۳۵/۲	۱۵۲/۲
	گلوخونی	GKH	۳/۹۸۸	۱۸	۷۵/۵	۳۱۲/۱
	هامون-جازموریان	HAI	۶/۳۵۲	۱۱	۲۴/۱	۱۴۴/۸
	دشت کویر	LUD	۱۹/۴۹۹	۱۱	۲۷/۹	۱۱۸/۶
	کویر سیاه کوه	SKD	۴/۷۰۶	۸	۳۶/۷	۱۲۸/۴
	دریاچه نمک	STL	۹/۱۳۵	۹۲	۱۰۷/۰	۳۴۱/۲
	تشک-بختگان-مهاریلو	TBM	۲/۹۴۴	۲۳	۶۷/۹	۳۸۵/۱
	مرز شرقی	هامون-هیرمند	HAH	۳/۱۸۹	۵	۱۶/۶
هامون-مشکیل		HAM	۳/۳۴۳	۶	۱۷/۷	۹۵/۲
نمکزار خواف		KHD	۳/۲۰۸	۶	۴۱/۶	۱۷۷/۴
قره‌قوم	QRQ	۴/۴۲۱	۲۹	۸۸/۴	۲۴۳/۷	

جدول ۲- شاخص‌های پیونداز دور مورد استفاده

ردیف	نام شاخص	تعریف	ردیف	نام شاخص	تعریف
۱	SOI	Southern Oscillation Index	۲۱	EAWR	East Atlantic-West Russian
۲	SST1.2	Sea Surface Temperature in Nino 1.2 regional	۲۲	POL	Polar/Eurasia patterns
۳	SST3.4	Sea Surface Temperature in Nino 3.4 regional	۲۳	SFlux	Solar Flux
۴	AO	Arctic Oscillation	۲۴	SSPOT	Sun Spot
۵	AMO	Atlantic Multidecadal Oscillation	۲۵	NAO2	North Atlantic Oscillation 2
۶	SCN	Scandinavia Index	۲۶	TNli	SST differ of Nino1.2-Nino4
۷	QBO	Quasi Biannual Oscillation at 30 hPa	۲۷	POI	SST Differ of East Pacific from West Pacific
۸	SST3	Sea Surface Temperature in Nino 3 regional	۲۸	WPSST	West Pacific SST
۹	SST4	Sea Surface Temperature in Nino 4 regional	۲۹	IOBSST	Indian Ocean Basin SST
۱۰	SSTas	Sea Surface Temperature in 4 region of Nino	۳۰	TNA-TSA	Tropical North and South Atlantic
۱۱	SSTs	Sea Surface Temperature in all Niño regional	۳۱	Nino1.2	Extreme Eastern Tropical Pacific SST
۱۲	TNA	Tropical North Atlantic	۳۲	Nino3.4	East Central Tropical Pacific SST
۱۳	TSA	Tropical South Atlantic	۳۳	Nino3	Tropical Pacific SST
۱۴	MEI	Multi ENSO Index	۳۴	Nino4	Central Tropical Pacific SST
۱۵	TNI	Trans Nino Index	۳۵	NPI	North Pacific Index
۱۶	PDO	Pacific Decadal Oscillation	۳۶	TPI	SST Differ of North Pacific from South Pacific
۱۷	PNA	Pacific North American	۳۷	NCP	North Sea-Caspian Sea Pattern
۱۸	WHWP	Western Hemisphere Warm Pool	۳۸	PSST	Persian Gulf SST
۱۹	EA	East Atlantic	۳۹	CSST	Caspian SST
۲۰	WP	West Pacific	۴۰	MSST	Mediterranean SST



شکل ۲- نمایش شماتیک از مدل MLR

جدول ۳- ضرایب ثابت متغیرهای پیونداز دور پیش‌بینی کننده بارش فصل بهار حوضه‌های آبریز ایران در مدل MLR

R2 adj	R2	انحراف معیار	متغیر سوم		متغیر دوم		متغیر اول		عرض از مبدا		حوضه فرعی	حوضه اصلی
			P-value	مقدار	P-value	مقدار	P-value	مقدار	P-value	مقدار		
۵۵/۶	۶۰/۵	۲۳/۹	۰/۰۲۳	۱۱/۹	۰/۰۰۰	۱۶۳/۶	۰/۰۰۱	-۱۸۳/۹	۰/۰۰۰	۵۳۵۸	ARZ	دریای خزر
۶۰/۹	۶۵/۲	۲۶/۰	۰/۰۰۳	-۱۰/۸	۰/۰۰۲	۱۸/۹	۰/۰۰۷	-۱۷/۷	۰/۰۰۰	۹۲/۳	ATR	
۵۷/۶	۶۲/۳	۳۳/۶	۰/۰۰۰	۱۲۰/۴	۰/۰۰۰	۶۵/۹	۰/۰۰۱	-۷۱/۱	۰/۰۰۰	۱۲۸۲	HAS	
۶۱/۱	۶۵/۴	۲۹/۸	۰/۰۰۶	۱۹/۲	۰/۰۰۴	۱۵۴/۷	۰/۰۱۱	-۱۴۱/۳	۰/۰۰۹	۳۹۰۲	QAG	
۵۶/۰	۶۰/۹	۲۹/۲	۰/۰۰۹	۶۶/۲	۰/۰۰۰	۵۰/۹	۰/۰۰۳	۲۲/۰	۰/۰۰۰	۱۲۲	QAH	
۶۰/۶	۶۴/۹	۳۰/۹	۰/۰۱۲	۲۳/۵	۰/۰۰۱	-۲۷/۳	۰/۰۰۱	۲۴/۸	۰/۰۰۰	۱۳۴/۵	SFR	
۴۰/۱	۴۶/۸	۴۸/۶	۰/۰۰۴	۱۱۲/۶	۰/۰۰۰	۶۹/۰	۰/۰۲۴	-۰/۴۸	۰/۰۰۱	۱۰۰/۰	TLS	
۶۰/۰	۶۴/۴	۱۴/۴	۰/۰۰۰	-۱۹/۲	۰/۰۱۵	-۱۰/۰	۰/۰۰۱	-۲۱/۷	۰/۰۰۱	۵۴۲/۲	BDA	خلیج فارس-دریای عمان
۶۶/۰	۶۹/۸	۲۸/۷	۰/۰۰۲	۱۹/۳	۰/۰۰۰	۳۶/۱	۰/۰۰۰	۳۱/۵	۰/۰۰۰	۱۰۸/۳	GKR	
۶۰/۳	۶۴/۷	۱۸/۳	۰/۰۰۰	-۱۹/۹	۰/۰۱۱	۹/۶	۰/۰۰۰	-۲۹/۸	۰/۰۰۰	۷۵۲/۱	HLL	
۴۶/۲	۵۲/۲	۳۰/۳	۰/۰۰۳	۶۲/۷	۰/۰۲۶	-۳۳/۴	۰/۰۱۶	-۲۶/۲	۰/۰۰۰	۱۵۳۳	JAZ	
۶۲/۰	۶۶/۲	۱۶/۲	۰/۰۰۰	-۱۷/۳	۰/۰۱۵	-۷/۹	۰/۰۰۰	-۳۲/۳	۰/۰۰۰	۸۰۷/۵	KAM	
۶۴/۷	۶۸/۶	۲۵/۷	۰/۰۱۰	۳۷/۸	۰/۰۰۲	-۲۶/۶	۰/۰۰۰	۲۲/۸	۰/۰۰۱	۶۵۳/۵	KRK	
۵۷/۵	۶۲/۲	۲۱/۹	۰/۰۰۶	-۱۵/۱	۰/۰۰۰	۲۳/۱	۰/۰۰۰	۱/۲۶/۷	۰/۰۰۰	۶۱/۴	MND	
۵۳/۴	۵۸/۶	۱۶/۳	۰/۰۱۱	۱۷/۹	۰/۰۰۱	۳۱/۷	۰/۰۰۰	-۲۵/۷	۰/۰۱۰	-۲۵۹/۳	SBL	
۵۹/۴	۶۳/۹	۳۳/۸	۰/۰۰۱	۳۹/۰	۰/۰۰۱	۲۳/۵	۰/۰۰۴	-۱۳/۴	۰/۰۰۰	۱۱۳/۳	WSB	
۵۳/۵	۵۸/۶	۳۰/۴	۰/۰۰۳	-۲۳/۶	۰/۰۰۰	۴۹/۹	۰/۰۲۶	۲۱/۷	۰/۰۰۰	۱۲۶/۰	URL	
۶۱/۰	۶۵/۳	۱۵/۷	۰/۰۰۱	-۱/۰	۰/۰۰۰	۶/۱	۰/۰۰۲	-۲۱/۰	۰/۰۰۰	-۵۶۵۰	ABS	فلات مرکزی
۵۵/۶	۶۰/۵	۱۹/۳	۰/۰۰۴	۱/۳	۰/۰۰۸	۱۵/۷	۰/۰۰۰	۳۹/۸	۰/۰۰۰	-۱۰۶۴/۰	CTD	
۴۶/۷	۵۲/۶	۱۷/۴	۰/۰۱۰	-۰/۹	۰/۰۲۲	-۸/۶	۰/۰۰۱	-۱۶/۲	۰/۰۰۰	۳۷/۷	DJD	
۶۰/۱	۶۴/۵	۲۰/۳	۰/۰۰۰	۱۹/۹	۰/۰۰۱	۵/۷	۰/۰۰۶	-۱۸/۴	۰/۰۰۱	-۵۳۳۶	GKH	
۵۷/۵	۶۲/۲	۱۲/۹	۰/۰۰۰	-۱۵/۶	۰/۰۱۷	-۸/۸	۰/۰۰۱	-۱۹/۷	۰/۰۰۰	۴۹۹/۴	HAI	
۵۵/۷	۶۰/۶	۱۰/۷	۰/۰۰۰	۱۱/۱	۰/۰۰۰	-۲/۵	۰/۰۰۸	-۷/۹	۰/۰۰۰	۲۷۵۴	LUD	
۵۶/۳	۶۱/۱	۱۴/۴	۰/۰۰۰	۲۲/۳	۰/۰۰۴	-۱۰/۶	۰/۰۰۱	-۱۳/۷	۰/۰۰۰	۳۶/۳	SKD	
۶۲/۵	۶۶/۷	۲۷/۹	۰/۰۰۰	۲۴/۲	۰/۰۱۰	۲۱/۹	۰/۰۰۱	-۲۴/۶	۰/۰۰۰	۳۰/۶	STL	
۶۱/۷	۶۵/۹	۲۷/۲	۰/۰۰۰	۸/۰	۰/۰۰۱	۲۰/۹	۰/۰۰۰	-۵۹/۱	۰/۰۰۲	-۶۶۷۰	TBM	
۵۱/۵	۵۶/۹	۹/۲	۰/۰۰۸	-۵/۲	۰/۰۰۳	-۶/۸	۰/۰۰۰	-۱۳/۴	۰/۰۰۰	۳۰۱/۰	HAH	
۵۷/۹	۶۲/۶	۱۰/۲	۰/۰۰۰	-۹/۰	۰/۰۰۱	-۸/۸	۰/۰۰۴	-۱۵/۹	۰/۰۰۰	۶۴۷/۲	HAM	
۵۹/۸	۶۴/۳	۱۵/۲	۰/۰۰۵	۹/۱	۰/۰۰۹	۸/۴	۰/۰۰۰	-۱۹/۴	۰/۰۰۰	۴۵۶/۳	KHD	
۷۱/۳	۷۴/۵	۲۱/۷	۰/۰۱۲	-۳/۵	۰/۰۰۱	۵/۲	۰/۰۰۰	-۱۶/۶	۰/۰۰۰	۹۶/۸	QRQ	قره‌قوم

مدل‌ها شبیه به مغز انسان است که مهمترین عنصر در پردازش آن نرون‌ها هستند. در نرون تعداد ورودی را از داده‌های اصلی و یا خروجی نرون‌های دیگر دریافت می‌کند. اتصالات بین نرون‌ها از

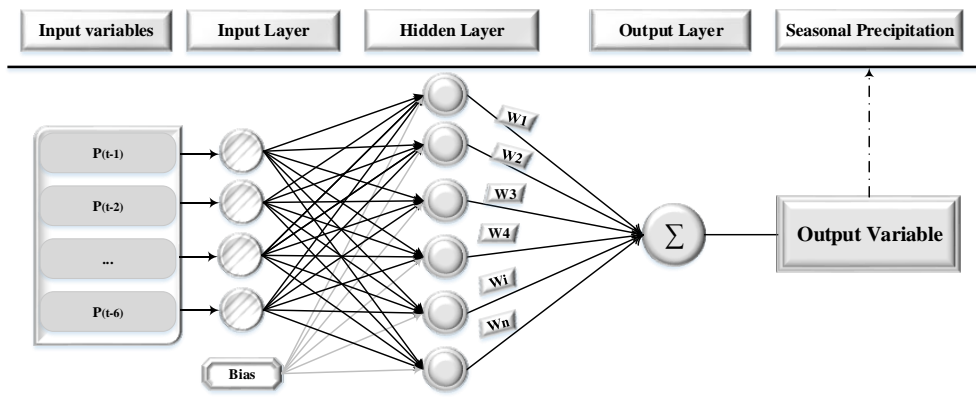
شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۱ کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی از اوایل قرن ۲۰ شروع شده و در دهه‌های اخیر توسعه بیشتری یافت. الگوریتم پردازشی این

پیش‌رو عمل می‌کند. تابع پایه (Hi) به صورت معادله زیر می‌باشد:

$$H_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} \times x_j + b_i \quad (\text{رابطه ۳})$$

که i : مشخص‌کننده نرون i ام، j : مشخص‌کننده لایه زام، b_i : مقدار آستانه هر نرون می‌باشد (Fatehi Marj and Mahdian, 2009). نمایی از الگوریتم مدل MLP در شکل (۳) نشان داده شده است. در جدول (۴) نیز مشخصات مدل ارائه شده است.

طرق وزندهی به آن‌ها بیان می‌شود. این وزن‌ها در هنگام عبور داده‌ها از آن اتصال، در داده عبوری ضرب می‌شوند. نوع شبکه عصبی استفاده شده در این مطالعه شبکه عصبی پرسپترون چند لایه است که در مطالعات منابع آب به وفور مورد استفاده قرار گرفته است (Fatehi Marj and Mahdian., 2009). در این روش از قانون یادگیری پس انتشار خطا (BP) برای آموزش استفاده می‌شود. شبکه طراحی شده برای پیش‌بینی از یک لایه ورودی، یک لایه میانی و یک لایه خروجی تشکیل شده است که به صورت



شکل ۳- نمایی از الگوریتم و ساختار مدل MLP

$$NRMSE = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - M_i)^2}{n}} \right) \cdot \frac{100}{\bar{O}} \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن O و M مقادیر مشاهده شده و مدل شده، n تعداد داده‌ها و \bar{O} میانگین داده‌های مشاهده شده است. مقادیر R^2 بین صفر تا ۱، مقادیر RMSE بین صفر تا بی‌نهایت، MBE مثبت و منفی می‌باشد. مقادیر نزدیک به ۱ معیار R^2 ، و مقادیر نزدیک به صفر معیارهای RMSE و MBE نشان‌دهنده مدل بهتر خواهد بود. مقادیر NRMSE نیز که به عنوان معیاری برای ارزیابی کارایی مدل می‌باشد به ترتیب عالی (کمتر از ۱۰ درصد)، خوب (۱۰ تا ۲۰ درصد)، قابل قبول (۲۰ تا ۳۰ درصد) و ضعیف (بیشتر از ۳۰ درصد) می‌باشد (Jameison et al., 1991).

یافته‌ها

تحلیل فراوانی همبستگی‌های معنادار بر اساس شاخص‌های پیوندازدور بررسی همبستگی‌ها بر اساس آماره p-value نشان می‌دهد همبستگی‌های ۰,۳۷۴ ± و ۰,۴۷۸ ± آستانه معناداری در سطح ۵ و ۱ درصد هستند. به این ترتیب درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنادار برای هر حوضه بر اساس مقادیر مقدار فوق

جدول ۴- مشخصات شبکه عصبی پرسپترون چندلایه مورد استفاده

تعداد لایه مخفی	تابع تقسیم داده‌ها	درصد نسبت داده‌ها (آموزش-تست)
۵	تابع تصادفی	۳۰-۷۰
تعداد تکرارها	تابع فعالیت	تعداد نرون‌ها
۵۰۰	سیگموئید	۱۰

به منظور بررسی دقت مدل‌های مورد استفاده از آماره‌های ضریب تعیین (R^2) (Behar et al., 2015)، جذرمیانگین مربعات خطا (RMSE) (Willmott and Matsuura, 2006)، جذرمیانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) (Jamieson et al., 1991) و MBE (Ma and Iqbal, 1984) به صورت معادلات زیر استفاده شد:

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(M_i - \bar{M})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2 \right)}} \right]^2 \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - M_i)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - O_i) \quad (\text{رابطه ۶})$$

ندارد. به طور خلاصه نتایج نشان می‌دهد بارش فصل بهار حوضه‌ها و زیرحوضه‌های آبریز ایران بیشترین فراوانی همبستگی‌های معنادار بالاتر از ۳۰ درصد را با شاخص‌های خانواده ENSO، SST، ها، TNI، POI و TPI دارند. به عبارتی دیگر، این شاخص‌ها با تعداد بیشتری از ایستگاه‌های حوضه‌های آبریز ایران همبستگی داشته و معنادار می‌باشند.

بررسی فراوانی نوع همبستگی‌ها با لحاظ تأخیر زمانی

بررسی نوع همبستگی‌ها در شکل (۴) ارائه شده است. بررسی فراوانی بیشترین همبستگی‌های منفی نشان می‌دهد در حوضه دریای خزر عمدتاً در تأخیر ۳ ماهه، حوضه خلیج فارس-دریای عمان در تأخیر ۱ ماهه (و گاهی ۵، ۴ و ۳ ماهه)، در حوضه دریاچه ارومیه تأخیر ۳ و ۶ ماهه، حوضه فلات مرکزی ۱ ماهه (گاهی ۳ و ۴ ماهه)، حوضه مرز شرقی ۱ و ۵ ماهه، و حوضه قره‌قوم ۱ ماهه است (شکل ۴-الف). بررسی فراوانی بیشترین همبستگی مثبت نیز نشان می‌دهد در حوضه دریای خزر در تأخیر ۳ تا ۵ ماهه، حوضه خلیج فارس-دریای عمان تأخیر ۱ تا ۶ ماهه، حوضه دریاچه ارومیه ۲ ماهه، حوضه فلات مرکزی تأخیر ۱ تا ۶ ماهه، حوضه مرز شرقی تأخیر ۱ تا ۶ ماهه، و حوضه قره‌قوم ۳ و ۴ ماهه می‌باشد (شکل ۴-ب). بررسی جمع بیشترین فراوانی همبستگی‌های معنادار مثبت و منفی نیز نشان می‌دهد در حوضه دریای خزر در تأخیر ۳ تا ۶ ماهه، خلیج فارس-دریای عمان ۱ تا ۳ ماهه، دریاچه ارومیه ۳ ماهه، فلات مرکزی ۱ تا ۴ ماهه، مرز شرقی ۱ و ۶ ماهه، و حوضه قره‌قوم تأخیر ۱ و ۳ ماهه است (شکل ۴-ج). بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده مشخص می‌شود فراوانی همبستگی مثبت بین بارش بهاره و شاخص‌های پیوندازدور عمدتاً بیشتر از همبستگی‌های منفی است که از تاخیرهای ۱ تا ۶ ماهه تغییر می‌کنند. به این ترتیب می‌توان گفت بارش‌های فصل بهار حوضه‌های آبریز ایران با شاخص‌های پیوندازدور در تاخیرهای ۱ تا ۶ ماهه همبستگی‌های معنادار دارد. تاثیرگذاری شاخص‌های پیوندازدور با تاخیرهای مختلف بر مقدار بارش فصل بهار حوضه‌های آبریز به دلیل فرکانس مختلف این شاخص‌ها می‌باشد.

تحلیل گردیده است. تحلیل نتایج فراوانی درصد همبستگی‌های معنادار در جدول (۵) ارائه شده است. در نتایج ارائه شده فراوانی‌های بیشتر از ۳۰ درصد تحلیل شده‌اند. در حوضه آبریز دریای خزر عمدتاً شاخص‌های مرتبط با ENSO (SOI، MEI، Nino ها)، SST ها (SST1.2، SST3.4، SST3، SST4، SSTas و SSTs)، TNI و TPI درصد فراوانی همبستگی‌های معنادار بیشتر از ۳۰ درصد با بارش فصل بهاره نشان می‌دهند که نشان از اثرگذاری بیشتر این شاخص‌ها می‌باشد. در حوضه آبریز خلیج فارس-دریای عمان زیرحوضه‌های محدودی دارای فراوانی همبستگی‌های معنادار بیش از ۳۰ درصد با بارش فصل بهار هستند که می‌توان به سه زیرحوضه GKR، WSB KKRK اشاره نمود. مهم‌ترین شاخص‌های پیوندازدور مؤثر نیز شامل شاخص‌های خانواده ENSO (SOI، MEI، Nino3.4، Nino3، Nino4)، SST ها (SST3.4، SST3، SST4، SSTas، SSTs)، POI و TPI هستند که مقدار فراوانی همبستگی‌های معنادارشان بیشتر از ۳۰ درصد است. در حوضه دریاچه ارومیه شاخص‌های مرتبط با ENSO و SST ها به همراه TNI، POI و TPI فراوانی همبستگی‌های معنادار بیشتر از ۳۰ درصد با بارش فصل بهار نشان می‌دهد. در حوضه فلات مرکزی تنها زیرحوضه‌های CTD، GKH و STL هستند که با تعداد بیشتری از شاخص‌ها همبستگی معنادار بیشتر از ۳۰ درصد داشته‌اند که عمدتاً شاخص‌های مربوط به ENSO، SST ها، TNI، POI و TPI هستند. در حوضه مرز شرقی نیز تنها زیرحوضه KHD می‌باشد که با تعداد بیشتری از شاخص‌های پیوندازدور دارای فراوانی همبستگی بالاتر از ۳۰ درصد است که شامل AO، SST4، POL، POI، MMST، Nino3.4، Nino 4 و CSST هستند. بارش بهاره حوضه قره‌قوم نیز با تعداد بیشتری از شاخص‌های پیوندازدور همبستگی معنادار نشان می‌دهد که در شاخص‌های خانواده ENSO، SST ها، TPI، WHWP و POI فراوانی همبستگی‌های معنادار بیشتر از ۳۰ درصد می‌باشد. مطالعات مشابه نشان داده است که شاخص‌های پیوندازدور مختلف از جمله AO، SOI، NAO، SST3.4، MEI، PDO و TNI کمترین همبستگی را با بارش‌های فصل بهار ایران دارد (Yarahmadi and Azizi, 2007) که با نتایج این مطالعه همخوانی

جدول ۵- درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنادار بین شاخص‌های دورپیوندی با بارش بهاره هر حوضه آبریز در گستره ایران

خلیج فارس-دریای عمان									دریای خزر						
SBL	MND	KRK	KAM	JAZ	HLL	GKR	BDA	TLS	SFR	QAH	QAG	HAS	ATR	ARZ	
۰	۲	۴۳	۰	۱۸	۳	۴۰	۱	۱۰	۴۱	۵۹	۶۹	۱۴	۶۱	۲۱	SOI
۰	۰	۳۷	۰	۱	۱	۶	۰	۰	۱۶	۳۳	۳۳	۸	۱۲	۵	SST1.2

جدول ۵- درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنادار بین شاخص‌های دورپیوندی با بارش بهاره هر حوضه آبریز در گستره ایران

خلیج فارس- دریای عمان								دریای خزر							
SBL	MND	KRK	KAM	JAZ	HLL	GKR	BDA	TLS	SFR	QAH	QAG	HAS	ATR	ARZ	
۰	۰	۷۲	۰	۱۰	۰	۳۹	۱	۲۴	۷۱	۸۱	۱۰۰	۳۰	۹۴	۴۱	SST3.4
۱۰	۰	۷	۱	۰	۰	۲	۱	۴	۷	۲	۳	۴	۴	۱۸	AO
۰	۶	۴	۱	۰	۰	۲	۲	۰	۱۱	۰	۰	۱	۱	۱۵	AMO
۲	۲	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۲	۴	۵	۱	۴	۱	۱۰	SCN
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲	۵	۰	۲	۰	۷	QBO
۰	۰	۶۱	۰	۵	۱	۲۰	۰	۰	۶۷	۹۷	۹۷	۲۲	۷۷	۲۵	SST3
۰	۲	۶۸	۰	۳۴	۲	۷۵	۰	۳۳	۷۸	۷۷	۸۹	۳۶	۸۳	۵۵	SST4
۰	۰	۶۵	۰	۱۱	۱	۳۱	۰	۰	۶۰	۷۴	۹۸	۲۴	۸۸	۳۰	SSTas
۰	۰	۶۵	۰	۱۰	۱	۳۰	۰	۰	۶۰	۷۳	۹۸	۲۴	۸۸	۳۱	SSTs
۱۴	۰	۳۱	۰	۷	۰	۹	۱	۰	۳۱	۱	۰	۲	۱	۲۶	TNA
۰	۰	۸	۱	۱۳	۵	۸	۱	۰	۲	۱	۱۱	۱	۷	۶	TSA
۰	۱	۶۷	۰	۱۳	۱	۳۴	۰	۲	۵۹	۷۷	۹۸	۲۱	۷۹	۲۸	MEI
۰	۰	۱۷	۰	۶	۰	۴۱	۰	۱۹	۳۰	۳۳	۳۷	۸	۳۰	۳۴	TNI
۰	۱	۱۲	۰	۶	۱	۱۷	۰	۱۹	۴	۱۹	۶	۱۴	۴	۱۰	PDO
۰	۱۳	۸	۱۷	۴	۱۴	۴	۱۶	۸	۱۱	۷	۲۱	۶	۲۱	۶	PNA
۰	۰	۲۵	۰	۷	۰	۴	۱	۰	۴	۷	۱۱	۲	۱۱	۱۱	WHWP
۷	۶	۱۶	۲	۱۷	۲	۱۹	۱	۱۰	۱۲	۳	۷	۱	۵	۸	EA
۷	۱۴	۳	۹	۴	۹	۴	۲	۲	۱	۴	۵	۲	۱۵	۵	WP
۲	۲	۸	۳	۳	۰	۱۰	۴	۶	۵	۱۴	۲۱	۵	۲۰	۴	EAWR
۰	۱۲	۱۳	۱۱	۴	۹	۷	۸	۰	۸	۵	۹	۶	۶	۶	POL
۱۹	۳	۶	۴	۱۰	۱۳	۵	۲	۰	۱۸	۰	۳	۱	۱	۵	SFlux
۱۹	۷	۶	۶	۱۴	۱۸	۹	۳	۰	۱۸	۰	۳	۰	۵	۱	SSPOT
۱۷	۲	۱۲	۱	۰	۰	۴	۲	۴	۱۶	۲	۱	۸	۵	۱۵	NAO2
۰	۱	۶	۰	۱	۰	۱۲	۰	۱۰	۲۹	۸	۴	۵	۷	۱۷	TNI
۰	۲	۶۰	۰	۲۳	۰	۳۳	۱	۱۳	۸۹	۷۴	۹۷	۱۷	۹۰	۲۲	POI
۵	۴	۲۲	۰	۹	۴	۲۴	۲	۲	۱۳	۲۸	۶۸	۶	۷۶	۲۲	WPSST
۰	۰	۷	۰	۱۰	۰	۴	۰	۰	۸	۹	۱۸	۰	۳۵	۷	IOBSST
۰	۳	۸	۶	۰	۰	۱	۹	۰	۲۰	۰	۱	۲	۱۵	۱۸	TNA-TSA
۰	۰	۳۶	۰	۲	۳	۶	۰	۰	۱۱	۳۱	۳۶	۷	۱۸	۵	Nino1.2
۰	۰	۷۶	۰	۱۱	۰	۴۴	۰	۱۵	۷۱	۷۸	۱۰۰	۲۹	۹۲	۳۷	Nino3.4
۰	۰	۶۵	۰	۶	۲	۲۳	۰	۲	۴۸	۶۸	۹۶	۲۰	۸۳	۲۴	Nino3
۰	۴	۷۹	۰	۴۴	۵	۷۱	۰	۲۲	۸۴	۷۲	۸۹	۲۵	۸۵	۴۸	Nino4
۰	۱۶	۸	۸	۴	۱۲	۴	۱۴	۲۴	۱۰	۷	۱۱	۴	۱۳	۷	NPI
۰	۶	۷۹	۰	۴۱	۱۰	۶۲	۰	۱۳	۷۳	۷۷	۹۸	۲۶	۸۱	۳۱	TP1
۰	۱	۱	۱	۶	۲	۳	۱	۴	۲	۱۳	۱۸	۲	۲۳	۸	NCP
۲۱	۱	۷	۲	۲	۲	۵	۹	۰	۱۲	۴	۰	۱۷	۰	۸	PSST
۱۷	۱۴	۲۴	۲۵	۴۰	۳۰	۲۰	۲۰	۰	۲	۱۸	۱۹	۱۲	۱۷	۱۰	CSST
۷	۶	۲	۰	۸	۱۷	۵	۲	۰	۰	۱۱	۱۶	۶	۵	۱۳	MSST

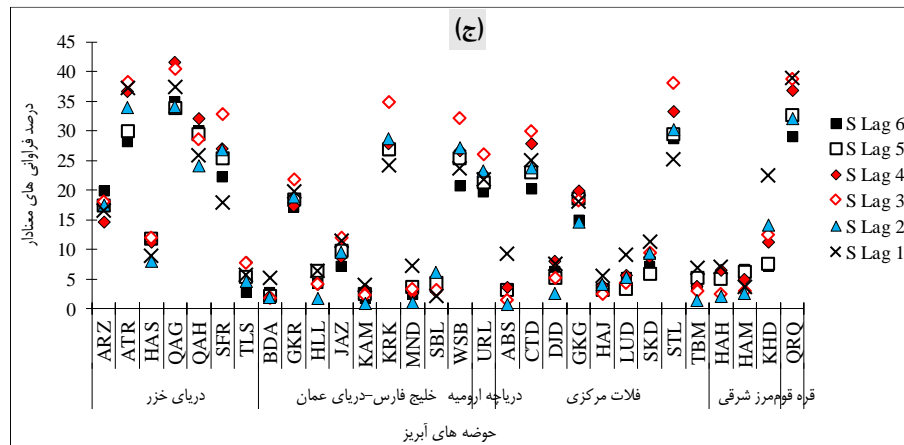
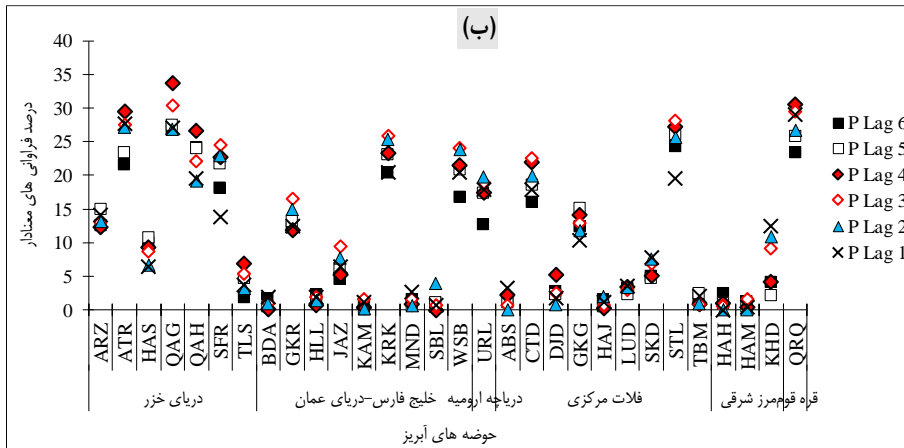
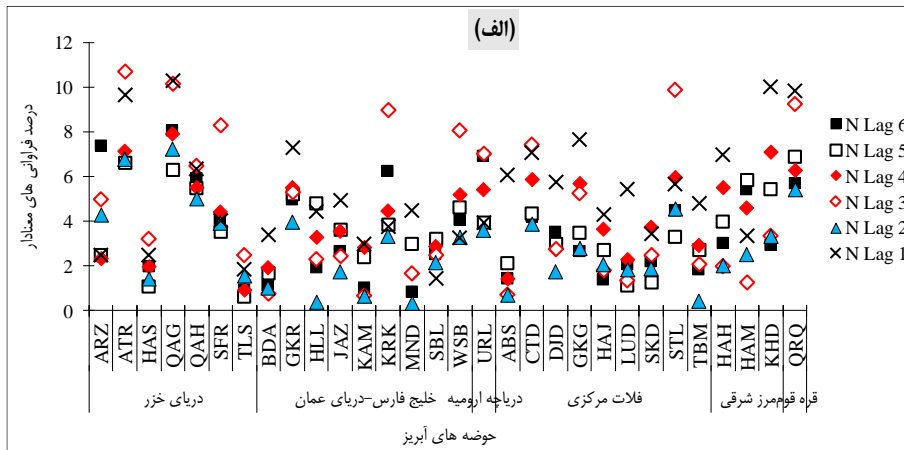
ادامه جدول ۵

قره قوم	مرز شرقی			فلات مرکزی									دریاچه ارومیه		
QRQ	KHD	HAM	HAH	TBM	STL	SKD	LUD	HAJ	GKH	DJD	CTD	ABS	URL		
۵۸	۱۹	۰	۰	۲	۵۱	۱۰	۹	۲	۲۳	۳	۴۰	۲	۴۹	SOI	
۴۰	۰	۰	۰	۰	۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲	۰	۴	SST1.2	
۱۹	۲۲	۰	۰	۱	۸۸	۲۱	۱۵	۰	۴۳	۷	۷۶	۰	۷۰	SST3.4	
۰	۱۱	۰	۱۰	۰	۹	۲	۰	۲	۲	۰	۴	۰	۷	AO	
۵	۲۹	۳۱	۳۳	۰	۴	۰	۲	۱۱	۰	۱۲	۲	۰	۲	AMO	
۲	۲	۰	۰	۲	۷	۲	۰	۰	۷	۲	۸	۵	۱	SCN	
۲۵	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۴	۰	۲	QBO	
۷۶	۶	۰	۰	۱	۷۰	۲	۰	۰	۲۶	۰	۴۷	۰	۳۲	SST3	
۸۳	۳۳	۰	۰	۱۰	۸۹	۵۸	۱۷	۲	۷۰	۱۰	۸۰	۰	۷۹	SST4	
۸۳	۳۲	۰	۰	۱	۷۹	۸	۲	۰	۴۰	۲	۶۰	۰	۵۰	SSTas	
۸۱	۱۹	۰	۰	۱	۷۸	۸	۲	۰	۴۱	۵	۵۹	۰	۴۸	SSTs	
۵	۰	۸	۲	۰	۳۰	۰	۵	۰	۰	۱۰	۴	۰	۳	TNA	
۷	۶	۶	۳	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۲	۲	۰	۴	TSA	
۸۳	۱۴	۰	۰	۰	۷۷	۱۰	۸	۰	۳۶	۵	۵۵	۰	۶۸	MEI	
۱۴	۰	۰	۰	۷	۳۵	۴۰	۹	۶	۵۵	۱۵	۲۹	۱۴	۵۱	TNI	
۹	۰	۰	۱۰	۰	۹	۰	۰	۰	۱۴	۰	۳	۰	۱۱	PDO	
۸	۳	۱۹	۲۰	۱۴	۱۶	۲	۱۷	۲۶	۶	۱۸	۱۲	۲۴	۵	PNA	
۳۳	۰	۶	۳	۰	۴	۰	۰	۲	۰	۳	۴	۰	۱	WHWP	
۱۴	۶	۶	۷	۱۰	۱۱	۴	۲	۲	۱۳	۳	۱۰	۷	۱۷	EA	
۱۱	۱۴	۳	۰	۱۳	۳	۴	۹	۹	۲	۱۲	۷	۱۲	۲	WP	
۱۳	۳	۱۱	۳	۱	۱۰	۱۰	۳	۲	۸	۱۵	۱۲	۵	۵	EAWR	
۶	۰	۳۱	۱۹	۱۳	۱	۷	۴	۱۸	۸	۶	۱۵	۷	۱۴	۱۱	POL
۰	۰	۳	۳	۷	۴	۹	۰	۰	۲	۵	۰	۰	۵	۱	SFlux
۵	۱۱	۰	۰	۳	۷	۱۰	۰	۰	۳	۷	۰	۰	۵	۱	SSPOT
۵	۰	۰	۰	۳	۱۵	۰	۲	۲	۱	۰	۵	۲	۹	NAO2	
۵	۰	۰	۰	۰	۶	۱۰	۹	۲	۶	۲	۷	۲	۲۰	TNI	
۱۶	۳۶	۰	۰	۴	۵۸	۱۹	۸	۲	۳۷	۷	۵۸	۰	۴۳	POI	
۱۳	۵۶	۰	۱۰	۵	۲۱	۲۵	۲۲	۳	۲۶	۱۵	۴۷	۵	۲۵	WPSST	
۳۳	۰	۶	۰	۰	۲۲	۰	۰	۰	۲	۰	۱۵	۰	۱	IOBSST	
۲	۰	۶	۳	۰	۷	۰	۲	۲	۰	۵	۳	۲	۴	TNA-TSA	
۴۵	۰	۰	۰	۰	۲۴	۰	۰	۰	۲	۰	۱۱	۰	۳	Nino1.2	

جدول ۵- درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنادار بین شاخص‌های دورپیوندی با بارش بهاره هر حوضه آبریز در گستره ایران

SBL	MND	خلیج فارس- دریای عمان										دریای خزر					
		KRK	KAM	JAZ	HLL	GKR	BDA	TLS	SFR	QAH	QAG	HAS	ATR	ARZ			
۱۷	۱۰	۳۱	۰	۰	۱	۱۷	۲۱	۱۴	۰	۲۶	۵	۷۵	۰	۶۷	Nino3.4		
۱۰	۱۰	۸	۰	۰	۱۰	۷	۰	۲	۰	۲۲	۲	۵۱	۰	۲۹	Nino3		
۱۰	۱۰	۳۳	۰	۰	۱۰	۹	۵۸	۱۸	۵	۶۹	۸	۱۴	۰	۱۰	Nino4		
۱۴	۱۰	۳	۴	۷	۱۰	۱۴	۱۰	۲	۱۱	۱۳	۷	۸	۱۹	۵	NPI		
۳۱	۳۱	۲۸	۴	۲	۰	۱۵	۱۰	۶	۲	۴۴	۵	۶۳	۲	۱۷	TPI		
۰	۰	۸	۴	۲	۴	۵	۰	۲	۸	۶	۱۲	۱۳	۲	۳	NCP		
۲۶	۲۶	۰	۴	۷	۳	۱۰	۰	۹	۲۹	۱۷	۰	۱۵	۱۲	۵	PSST		
۹	۹	۶	۰	۳	۱	۱	۴	۲	۲	۲	۷	۴	۰	۲	CSST		
														۲	MSST		

اعداد ایتالیک و خط دار فراوانی بیشتر از ۳۰ درصد



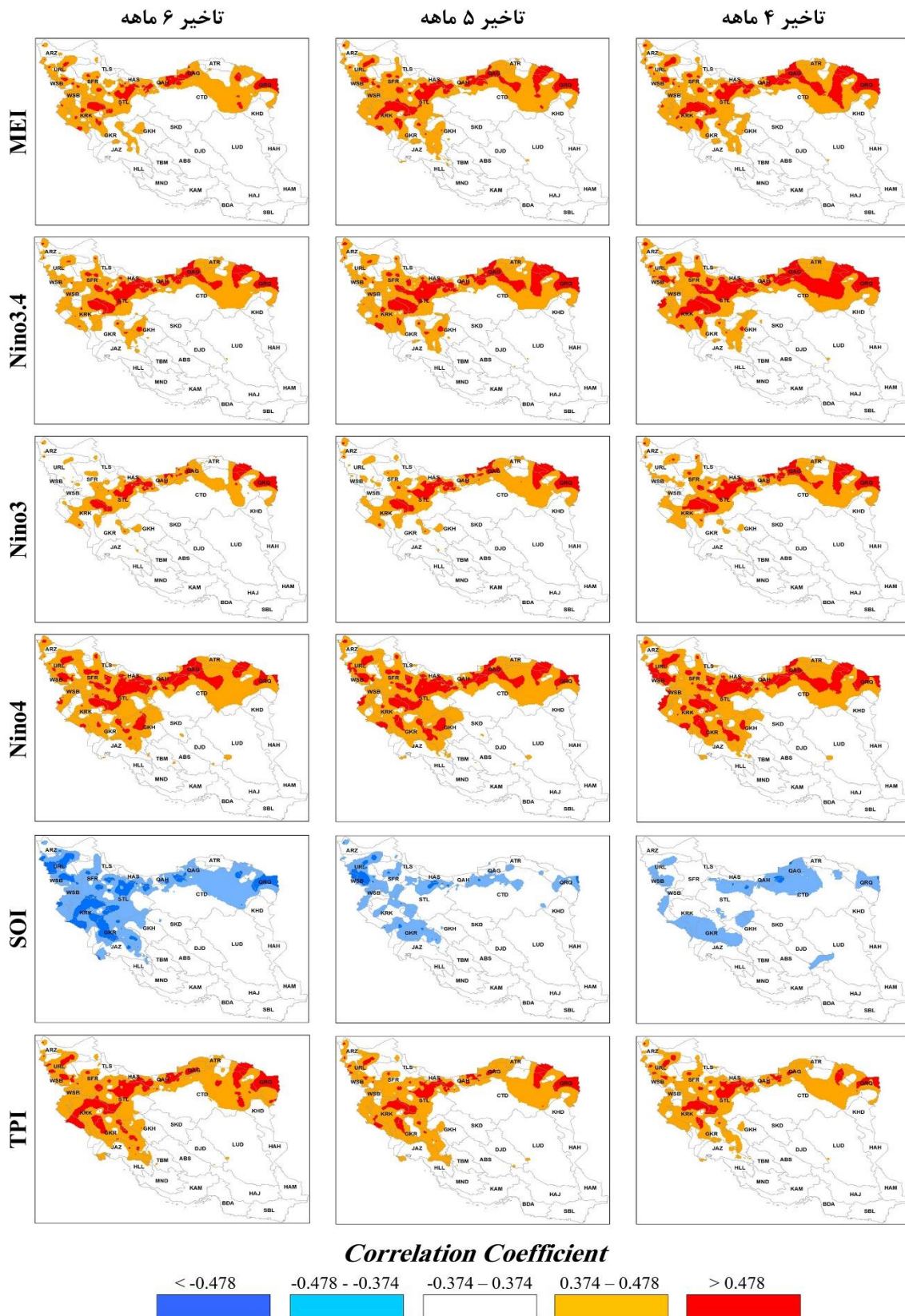
شکل ۴- درصد فراوانی‌های معنادار منفی (الف)، مثبت (ب) و کل (ج) شاخص‌های پیوندازدور با بارش فصل بهار حوضه‌های آبریز ایران

پتانسیل پیش‌بینی بارش فصل بهار حوضه‌های آبریز ایران (عمدتاً نیمه شمالی، شمال غربی، شمال شرقی و جنوب غربی) را دارند. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید در حوضه دریای خزر عمده شاخص‌های پیوندازدور مؤثر بر بارش فصل بهار عمدتاً از خانواده ENSO و SST ها هستند که مقدار فراوانی شاخص‌های معنادار بین ۳۰ تا ۱۰۰ درصد را در برمی‌گیرد (جدول ۵). در همین حوضه آبریز مهمترین تاخیرهای زمانی که دارای بالاترین فراوانی همبستگی‌های معنادار هستند بر اساس زیرحوضه تغییر می‌کند که مقدار آن بین ۶ تا ۴۲ درصد ایستگاه‌ها را در برمی‌گیرد. در حوضه خلیج فارس-دریای عمان نیز شاخص‌هایی که بالاترین درصد فراوانی همبستگی‌های معنادار را به خود اختصاص داده‌اند علاوه بر شاخص‌های مرتبط با خانواده ENSO و SST ها شامل TPI، NPI، PNA و SSPOT نیز می‌گردد که مقادیر آن بین ۱۱ تا ۸۷ درصد ایستگاه‌ها را پوشش می‌دهند. از دیدگاه تأخیر زمانی نیز در زیرحوضه‌های این حوضه مهم‌ترین تأخیر زمانی ۱، ۳، ۵ و ۶ ماهه هستند که درصد فراوانی همبستگی‌های معنادار بین ۵ تا ۳۵ درصد می‌باشند. در حوضه دریاچه ارومیه نیز مهمترین شاخص‌های پیوندازدور مؤثر بر بارش فصل بهار Nino4، SST4 و TPI هستند که مقدار فراوانی همبستگی‌های معنادار بین ۷۸ تا ۸۰ درصد متغیر است و بر مبنای تأخیر زمانی نیز با تأخیر ۲ تا ۴ ماه بیشترین مقدار فراوانی همبستگی‌های معنادار (۲۳ تا ۲۶ درصد) به دست آمده است. این در حالی است که در مطالعه مشابه Ghavidel Rahimi (2004) مهمترین شاخص پیوندازدور مؤثر بر منطقه آذربایجان را دو شاخص Nino و Nino1.2 می‌داند. در حوضه فلات مرکزی نیز مهمترین شاخص‌های پیوندازدور از خانواده ENSO و SST ها هستند که بر حسب زیرحوضه از ۱۱ تا ۹۰ درصد ایستگاه‌ها را شامل می‌شوند و از لحاظ تأخیر زمانی نیز عمدتاً تاخیرهای ۱ و ۴ ماهه بیشترین مقدار فراوانی همبستگی‌های معنادار را شامل می‌شوند (۳ تا ۸۰ درصد). در حوضه مرز شرقی مهمترین شاخص‌ها شامل SST ها، AMO و PNA (۱۹ تا ۵۶ درصد ایستگاه‌ها) و تاخیرهای زمانی ۱ و ۴ ماهه هستند. در حوضه قره‌قوم شاخص‌های SST و Nino ها با ۸۶ تا ۸۹ درصد ایستگاه‌ها و گام‌های زمانی ۱ تا ۴ ماه با ۳۷ تا ۳۹ درصد ایستگاه‌ها همبستگی معنادار نشان داده است. به طور کلی، درصد فراوانی همبستگی‌های معنادار بین بارش بهاره حوضه‌های آبریز ایران بسته به نوع شاخص پیوندازدور و تأخیر زمانی متفاوت بوده و می‌توان از این شاخص‌ها به عنوان معیار و متغیری برای پیش‌بینی بارش بهاره استفاده کرد هرچند در بعضی زیرحوضه‌های آبریز این معیار دقت لازم را ندارد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص می‌شود تاثیرگذاری شاخص‌های دورپیوند مرتبط با ENSO و

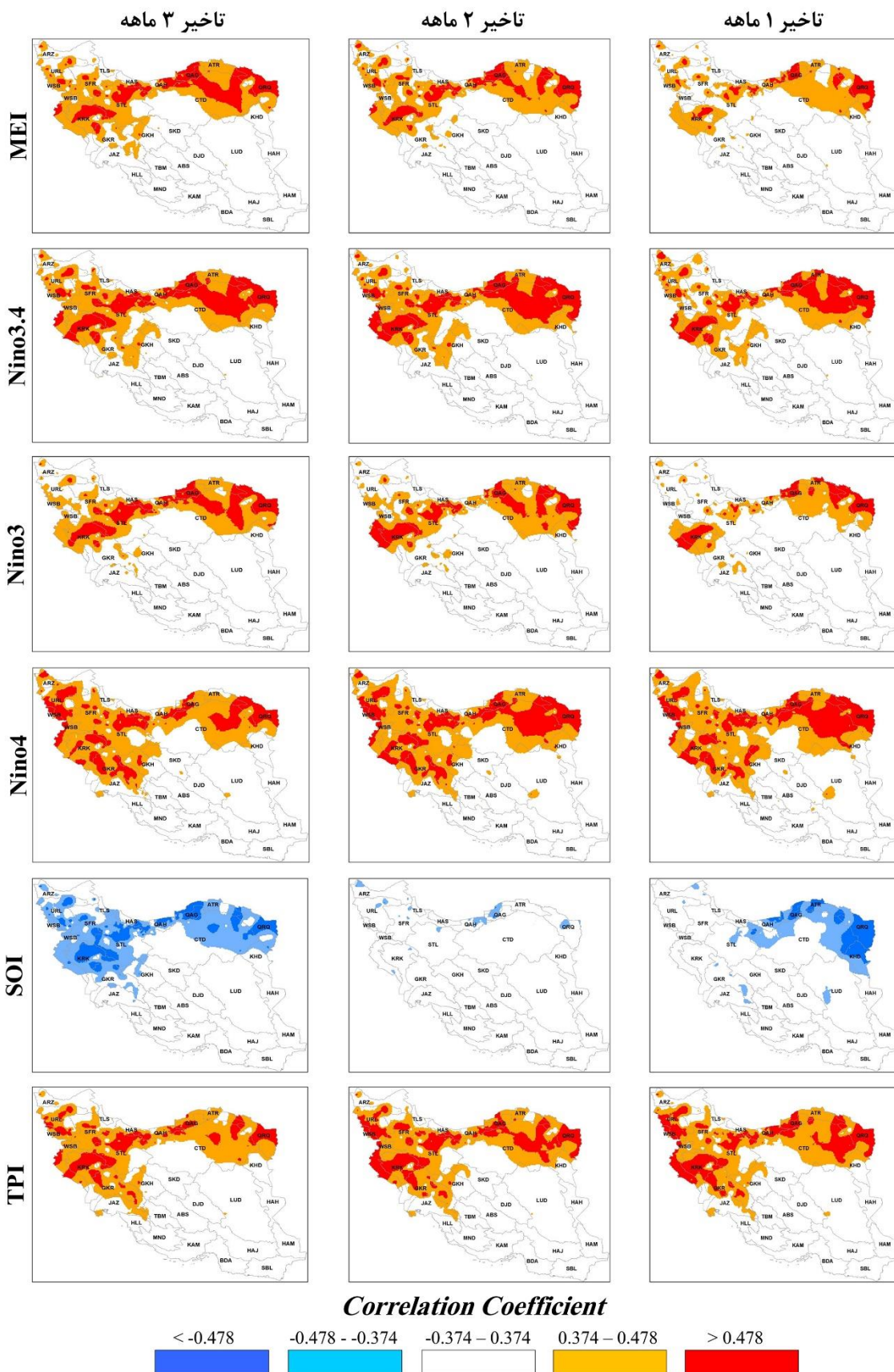
پهنه‌بندی مکانی ضریب همبستگی در تاخیرهای زمانی مختلف با توجه به نتایج به دست آمده از جدول (۵) مشخص شده است که عمده شاخص‌های پیوندازدور مؤثر بر بارش بهاره حوضه‌های آبریز ایران از خانواده ENSO و SST ها به همراه شاخص‌های TPI و POI می‌باشند. در شکل (۴ و ۵) پراکنش همبستگی شاخص‌های مرتبط با ENSO و TPI با بارش فصل بهار به ترتیب در تاخیرهای زمانی ۶ تا ۴ ماه (اکتبر تا دسامبر) و ۳ تا ۱ ماه (ژانویه تا مارس) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد به طور کلی شاخص‌های خانواده ENSO و TPI عمدتاً در نیمه شمالی ایران دارای همبستگی معنادار بارش هستند به طوری که توانسته‌اند در ماه‌ها و تاخیرهای زمانی مختلف بخش شمال غربی، غربی، رشته کوه البرز و شمال شرق کشور معنادار باشند. بیشترین گستره مکانی همبستگی‌های معنادار شاخص‌های MEI، Nino3.4، Nino3، Nino4، SOI و TPI در ماه‌های دسامبر، فوریه، ژانویه، فوریه، اکتبر و اکتبر بوده است. از سوی دیگر نوع همبستگی معنادار همه شاخص‌ها مثبت بوده است در حالی که برای شاخص SOI منفی می‌باشد (شکل ۴ و ۵). نتایج فوق نحوه پراکنش و اثرگذاری معنادار شاخص‌های مرتبط با ENSO و TPI بر بارش فصل بهار حوضه‌های آبریز ایران را نشان می‌دهد که می‌تواند بیانگر استفاده از این شاخص‌ها در مناطق فوق به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده در تحقیقات بیشتر باشد. در شکل (۶ و ۷) نیز پهنه‌بندی ضرایب همبستگی شاخص‌های SST و POI به ترتیب برای تاخیرهای زمانی ۶ تا ۴ ماه (اکتبر تا دسامبر) و ۳ تا ۱ ماه (ژانویه تا مارس) ارائه شده است. بررسی پراکنش مکانی همبستگی‌های معنادار شاخص‌های مرتبط با SST ها و همچنین POI مشابه با شاخص‌های خانواده ENSO و TPI می‌باشد. در حالی که همبستگی شاخص‌های مرتبط با SST ها مثبت است ولی نوع همبستگی شاخص POI منفی است. گسترش مکانی همبستگی‌های معنادار عمدتاً نیمه شمالی، شمال غربی، غربی، شمال شرقی و گاهی بخش جنوب غربی را پوشش می‌دهد. بیشترین پراکنش مکانی شاخص‌های POI، SST3.4، SST3، SST4، SSTas و SSTs به ترتیب در دسامبر، ژانویه، مارس، نوامبر، فوریه و فوریه می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت مهمترین شاخص‌های پیوندازدور مؤثر بر بارش بهاره ایران تنها در نیمه شمالی ایران، شمال غرب، غرب، شمال شرقی، رشته کوه‌های البرز و جنوب غربی اثر معنادار داشته‌اند و گاهی توانسته‌اند تا بخش شمالی حوضه فلات مرکزی نیز گسترش یابند. با توجه به نتایج فوق بارش بهاره بخش جنوبی کشور، در بیشتر ایستگاه‌های واقع در فلات مرکزی، بخش شرقی و جنوب شرقی از شاخص‌های پیوندازدور اثر معناداری نپذیرفته‌اند. به طور خلاصه می‌توان بیان کرد شاخص‌های پیوندازدور با تاخیرهای زمانی ۶ تا ۱ ماهه

به دلیل ماهیت گسترده مکانی و فرکانس رخداد تاثیرگذاری بیشتری بر بارش بهاره ایران دارد هرچند این نوع تحلیل‌ها بیشتر در مورد بارش‌های پاییزه ایران اثبات شده است. این نتایج الزام تحلیل فیزیکی و دینامیکی ارتباط این نوع شاخص‌ها را با بارش مقیاس حوضه‌ای ایران در مطالعات بیشتر نشان می‌دهد.

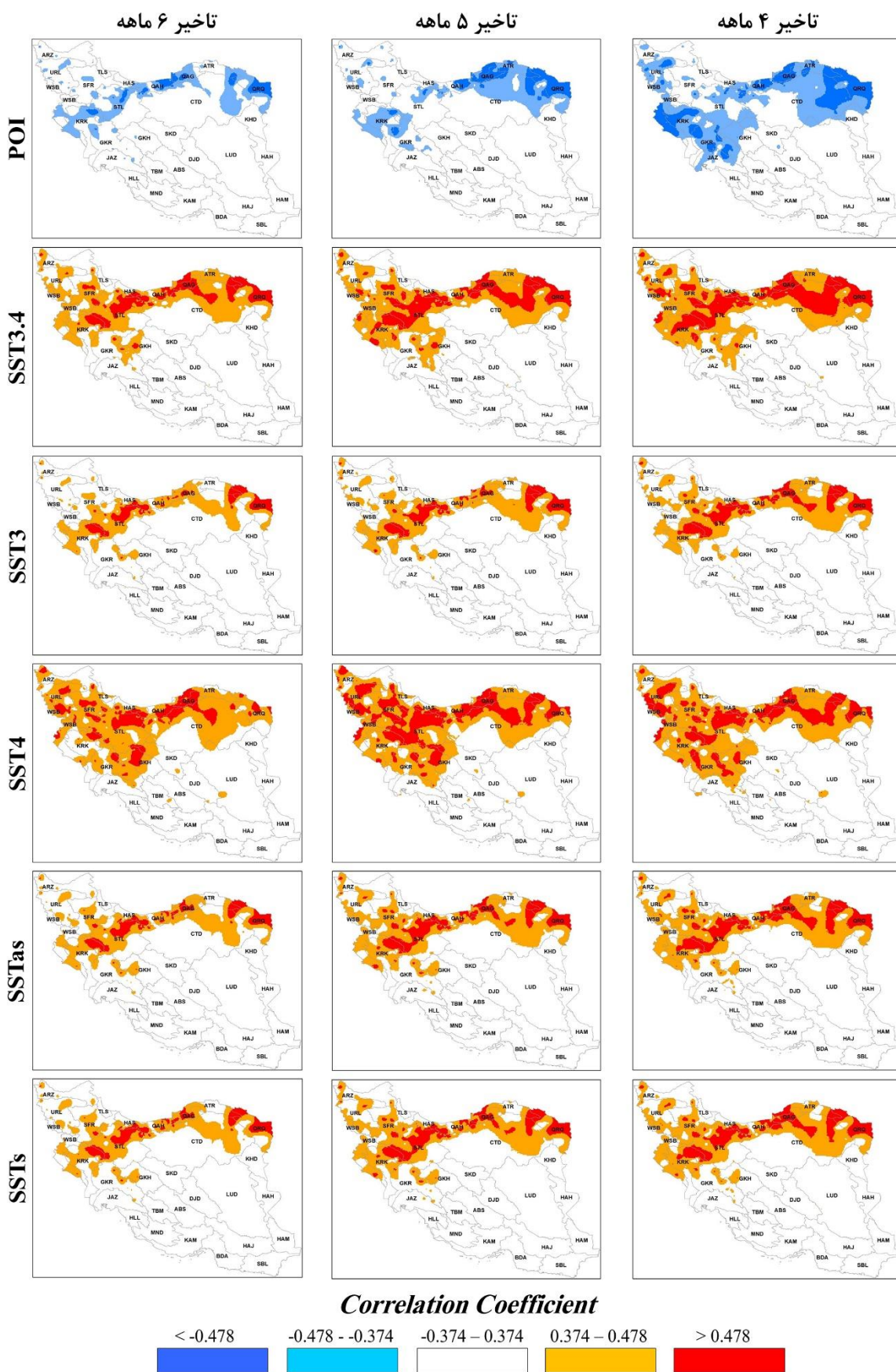
تاخیر ۶ ماهه تاخیر ۵ ماهه تاخیر ۴ ماهه



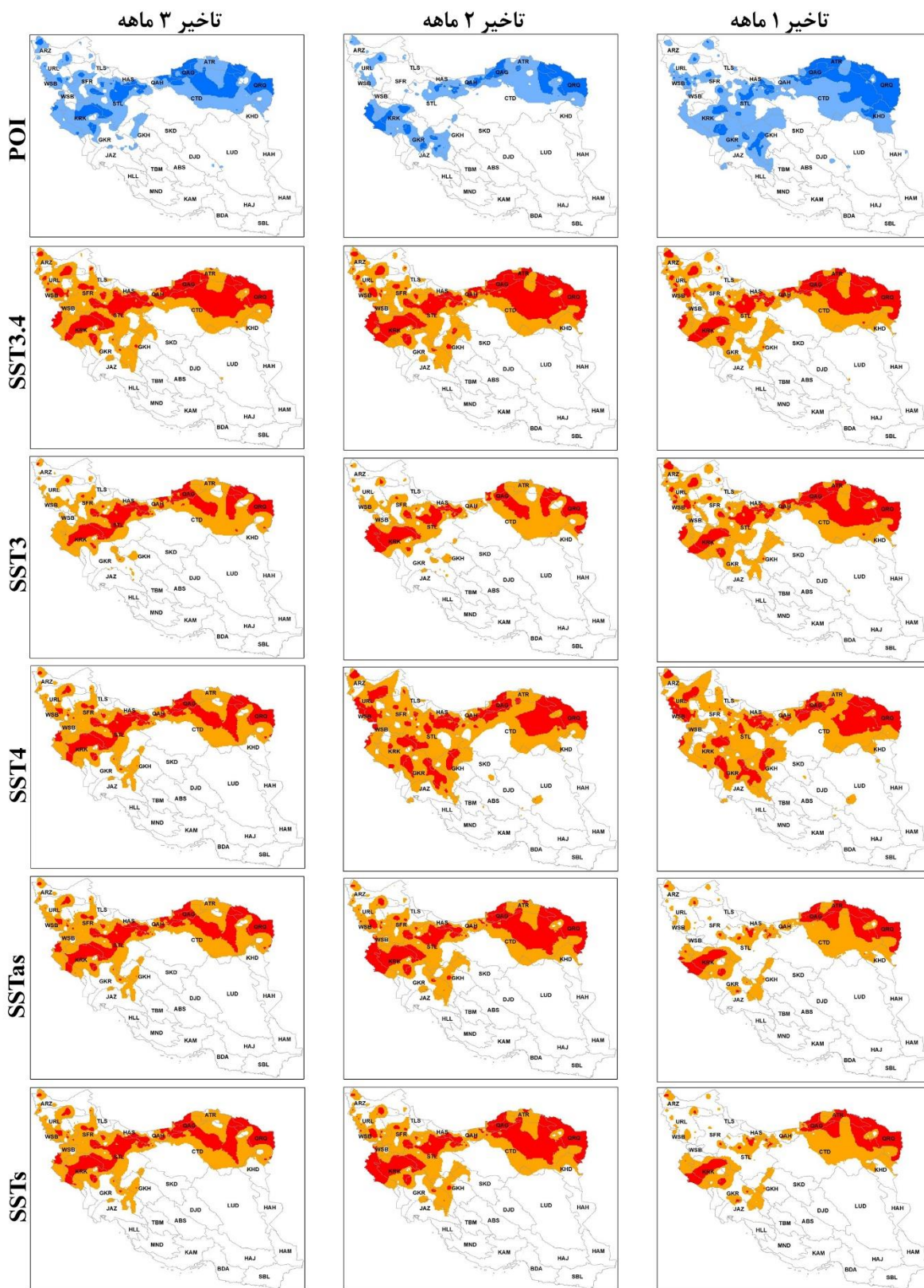
شکل ۴- پراکنش ضریب همبستگی شاخص‌های مرتبط با ENSO و TPI با تاخیر ۶ تا ۴ ماه (اکتبر تا دسامبر)



شکل ۵- پراکنش ضریب همبستگی شاخص‌های مرتبط با ENSO و TPI با تاخیر ۳ تا ۱ ماه (ژانویه تا مارس)



شکل ۶- پراکنش ضریب همبستگی شاخص‌های مرتبط با SST ها و POI با تاخیر ۴ تا ۶ (اکتبر تا دسامبر)



شکل ۷- پراکنش ضریب همبستگی شاخص‌های مرتبط با SST ها و POI با تاخیر ۱ تا ۳ ماه (ژانویه تا مارس)

جدول ۶- مهم ترین شاخص های پیوندازدور مؤثر بر بارش فصل بهار حوضه های آبریز بر مبنای نوع شاخص و تأخیر زمان (درصد فراوانی همبستگی های معنادار)

حوضه	زیرحوضه	بر مبنای شاخص				بر مبنای تأخیر زمانی			
		شاخص اول		شاخص دوم		اول		دوم	
		نام	مقدار	نام	مقدار	تأخیر	مقدار	تأخیر	مقدار
دریای خزر	ARZ	SST4	۵۵	Nino4	۴۸	۶	۲۰	۳	۱۸
	ATR	SST3.4	۹۴	Nino3.4	۹۲	۳	۳۸	۱	۳۷
	HAS	SST4	۳۶	SST3.4	۳۰	۶	۱۲	۳	۱۲
	QAG	Nino3.4	۱۰۰	SST3.4	۱۰۰	۴	۴۲	۳	۴۱
	QAH	SST3.4	۸۱	Nino3.4	۷۸	۴	۳۲	۶	۳۰
	SFR	Nino4	۸۴	SST4	۷۸	۳	۳۳	۴	۲۷
	TLS	SST4	۳۳	SST3.4	۲۳	۴	۸	۳	۸
	BDA	CSST	۲۰	PNA	۱۶	۱	۱۴	۵	۳
	GKR	SST4	۷۵	Nino4	۷۱	۳	۲۲	۱	۲۰
	HLL	CSST	۴۰	SSPOT	۱۸	۵	۱۷	۶	۶
خلیج فارس-دریای عمان	JAZ	Nino4	۴۴	TPI	۴۱	۳	۱۲	۱	۱۱
	KAM	CSST	۲۴	PNA	۱۷	۱	۱۱	۴	۳
	KRK	TPI	۷۹	SST3.4	۷۲	۳	۳۵	۲	۲۹
	MND	NPI	۱۶	WP	۱۴	۱	۱۴	۵	۳
	SBL	PSST	۲۱	SFlux	۱۴	۲	۱۹	۵	۴
	WSB	SST4	۸۷	Nino4	۸۶	۳	۳۲	۲	۲۷
	URL	Nino4	۸۰	SST4	۷۹	۳	۲۶	۲	۲۳
	ABS	PNA	۲۴	NPI	۱۹	۱	۱۴	۴	۵
	CTD	Nino4	۸۴	SST4	۸۰	۳	۳۰	۴	۲۸
	DJD	CSST	۱۸	PNA	۱۸	۴	۱۵	۱	۸
فلات مرکزی	GKH	SST4	۷۰	Nino4	۶۹	۴	۲۰	۵	۱۹
	HAI	CSST	۲۹	PNA	۲۶	۱	۱۱	۲	۴
	LUD	WPSST	۲۳	POL	۱۸	۱	۱۸	۴	۶
	SKD	Nino4	۵۸	SST4	۵۸	۱	۴۰	۲	۹
	STL	Nino4	۹۰	SST4	۸۹	۳	۳۸	۴	۳۳
	TBM	CSST	۳۸	PNA	۱۴	۱	۱۳	۵	۶
	HAH	AMO	۴۳	CSST	۳۰	۱	۲۰	۴	۷
	HAM	CSST	۵۰	AMO	۳۱	۶۰	۱۹	۵	۴
	KHD	WPSST	۵۶	AMO	۳۹	۱	۳۶	۲	۱۴
	QRQ	SST3.4	۸۹	Nino3.4	۸۷	۱	۳۹	۳	۳۹
مرز شرقی									

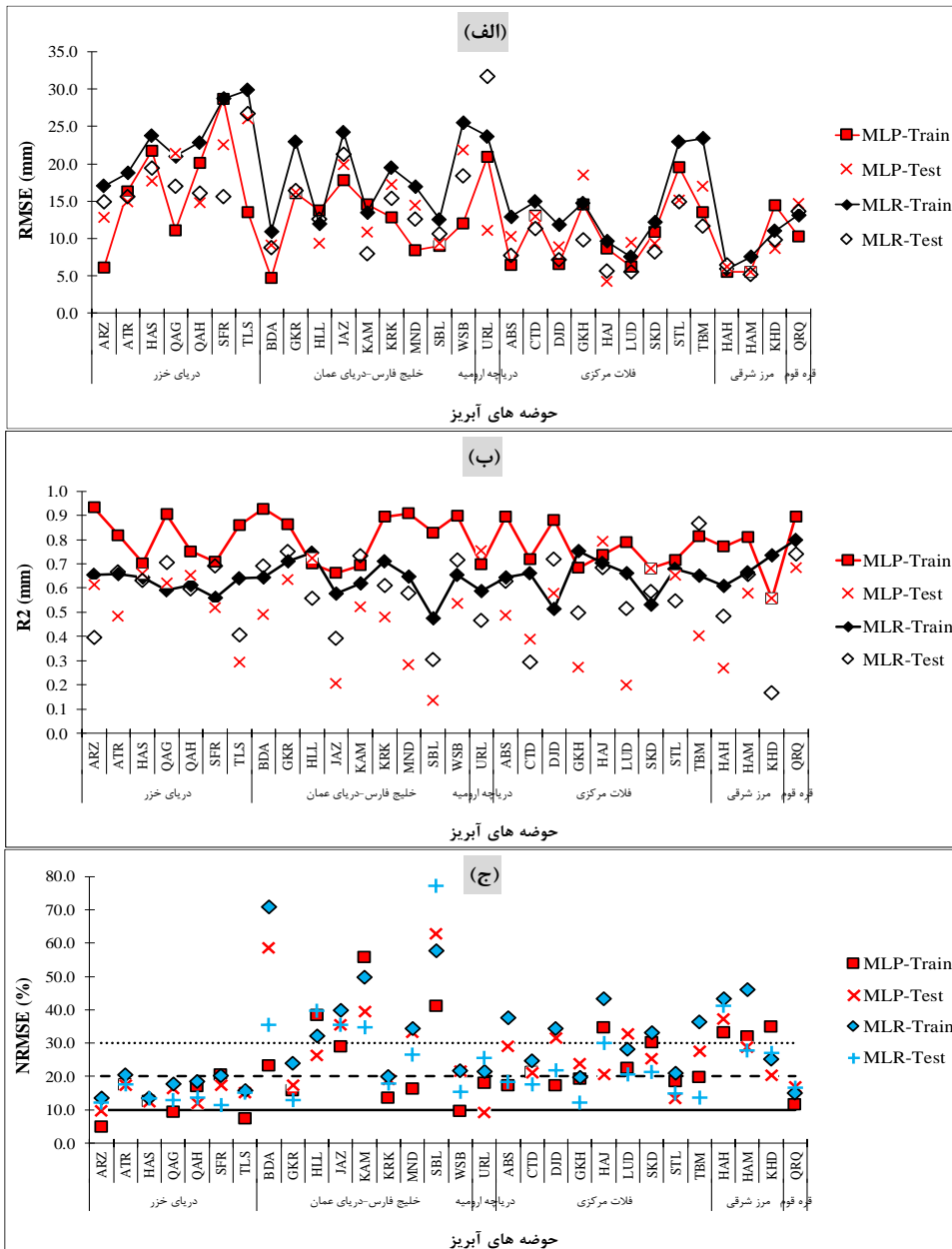
مدلسازی بارش بهاره

MLR بهتر است (شکل ۸-ب). دلیل تفاوت در مقادیر مختلف RMSE و R2 در دوره آموزش و تست را می توان در کوتاه بودن طول دوره تست جستجو کرد. در دوره تست کوتاه مدت نمی توان اثر بارش های حدی را مورد بررسی قرار داد بنابراین لازم است در مطالعات آتی طول دوره آماری بلندمدت استفاده گردد. بررسی کارایی مدلسازی بارش فصل بهار در دوره آموزش و تست در حوضه های آبریز نشان می دهد در حوضه دریای خزر کارایی خوب تا قابل قبول (هر دو مدل MLP و MLR)، در حوضه خلیج فارس-دریای عمان هر دو مدل خوب تا قابل قبول (در حوضه های فرعی JAZ، KAM و SBL هر دو مدل ضعیف)، در حوضه دریاچه ارومیه، فلات مرکزی، مرز شرقی و قره قوم مدل MLP بهتر از مدل MLR (در دوره آموزش و تست) می باشد. بنابراین بر مبنای آماره NRMSE کارایی مدل MLP نسبت به مدل MLR در عمده حوضه های آبریز بهتر است (شکل ۸-ج). نتایج نشان می دهد در

مقایسه آماره های RMSE، R2 و NRMSE در دو دوره آموزش و تست برای همه حوضه های آبریز اصلی و فرعی در شکل (۸) ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد مقدار RMSE در مرحله آموزش در مدل MLP نسبت به مدل MLR در اکثر حوضه های اصلی و فرعی کمتر است ولی در دوره تست این وضعیت صدق نمی کند. با بررسی دقیق حوضه های مشخص می شود این وضعیت در حوضه دریای خزر (حوضه های فرعی QAG و SFR)، حوضه خلیج فارس-دریای عمان (حوضه های فرعی KAM، KRK و MND)، حوضه فلات مرکزی (حوضه فرعی CTD، ABS، DJD، GKH، LUD و TBM) خطای کمتر مدل MLR را نشان می دهد (شکل ۸-الف). در مورد آماره R2 نیز در دوره آموزش دقت مدل MLP نسبت به مدل MLR بالاتر است ولی در دوره تست در بعضی حوضه های آبریز ضریب R2 مدل

فرعی مدل MLR بهتر عمل کرده است.

دوره آموزش در اکثر حوضه‌های اصلی و فرعی کارایی مدل MLP بهتر از مدل MLR می‌باشد و در دوره تست در بعضی حوضه‌های



شکل ۸- مقایسه آماره‌های مختلف در دوره آموزش و تست: (الف) RMSE، (ب) R^2 ، (ج) NRMSE (خط سیاه ممتد، منقطع و نقطه چین در شکل ج به ترتیب آستانه عالی، خوب و قابل قبول شاخص NRMSE)

۰/۷۹ می‌باشد که در مقایسه با مدل MLR بیشتر است. بر پایه معیار RMSE نیز مدل MLP کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است که تغییرات آن در حوضه‌های فوق به ترتیب ۱۰/۶ تا ۲۸/۶، ۲۰/۳ تا ۶۴/۰، ۱۳/۴ تا ۳۸/۲، ۱۲/۰ تا ۲۲/۷ و ۱۶/۱ میلیمتر است که نشان از دقت بالاتر مدل MLP نسبت به مدل MLR می‌باشد. بر اساس معیار MBE نیز می‌توان برتری مدل MLP نسبت به مدل MLR را مشاهده نمود. با توجه به نتایج فوق می‌توان گفت مدل MLP در مقایسه با مدل MLR

بررسی دقت دو مدل MLP و MLR در کل دوره مورد مطالعه در مدلسازی بارش بهاره حوضه‌های آبریز در جدول (۷) ارائه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در اکثر زیرحوضه‌های مورد مطالعه مقدار ضریب تعیین مدل MLP بیشتر از مدل MLR می‌باشد (به استثناء حوضه KRK). مقدار ضریب تعیین مدل MLP در حوضه‌های دریای خزر، خلیج فارس-دریای عمان، ارومیه، فلات مرکزی، مرز شرقی و قره‌قوم به ترتیب ۰/۶۴ تا ۰/۸۵، ۰/۶۳ تا ۰/۸۷، ۰/۵۸ تا ۰/۶۲، ۰/۹۱ تا ۰/۷۱ تا ۰/۷۵ و

و MLR قابل قبول تا ضعیف است ولی در زیرحوضه‌های CTD، DJD، SKD و TBM مدل MLP کارایی بهتری نشان می‌دهد. در حوضه مرز شرقی تفاوتی بین دو مدل دیده نمی‌شود به طوری که کارایی آن‌ها در همه زیرحوضه‌ها ضعیف ارزیابی گردیده است. در حوضه قره‌قوم نیز کارایی مدل MLP خوب و مدل MLR قابل قبول می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید استفاده از شاخص‌های پیوندازدور به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده بارش فصل بهار با دو مدل MLP و MLR بسته به نوع حوضه و زیرحوضه مورد مطالعه متفاوت باشد ولی در مجموع کارایی مدل MLP بهتر از مدل MLR است.

توانسته است مقدار بارش بهاره حوضه‌های آبریز ایران را با استفاده از شاخص‌های پیوندازدور به طور قابل ملاحظه‌ای بهتر مدل‌سازی نماید. معیار NRMSE نشان می‌دهد کارایی دو مدل MLP و MLR در حوضه دریای خزر خوب و قابل قبول بوده ولی در زیرحوضه ARZ، GAG و QAH مدل MLP ارجح‌تر است. در حوضه خلیج فارس-دریای عمان کارایی دو مدل بسته به زیرحوضه‌های مختلف بین خوب، قابل قبول و ضعیف تغییر می‌کند ولی در زیرحوضه‌های KRK، MND و WSB مدل MLP بهتر از مدل MLR می‌باشد. در حوضه دریاچه ارومیه نیز کارایی مدل MLP خوب و مدل MLR قابل قبول است. در حوضه فلات مرکزی ایران بسته به زیرحوضه‌های مختلف کارایی دو مدل MLP

جدول ۷- معیار ضریب تعیین، RMSE، NRMSE و MBE بارش بهاره بین مدل‌های MLP و MLR در حوضه‌های آبریز ایران

MBE (میلیمتر)		NRMSE		RMSE (میلیمتر)		R ²		حوضه درجه ۲	حوضه اصلی
MLR	MLP	MLR	MLP	MLR	MLP	MLR	MLP		
۰/۶۹	-۰/۰۶	۱۸/۱	۱۱/۴	۱۰/۱	۱۰/۶	۰/۴۵	۰/۶۴	ARZ	دریای خزر
-۱/۷۴	۱/۵۶	۲۷/۱	۲۵/۰	۱۹/۱	۱۰/۹	۰/۶۵	۰/۷۸	ATR	
-۲/۱۰	-۴/۵۱	۱۹/۰	۱۷/۲	۲۵/۲	۱۷/۲	۰/۷۲	۰/۸۰	HAS	
-۱/۹۹	-۰/۸۳	۲۲/۲	۱۹/۶	۳۲/۳	۲۲/۹	۰/۴۱	۰/۶۷	QAG	
-۱/۲۳	۰/۱۱	۲۳/۲	۲۱/۰	۲۸/۳	۱۵/۰	۰/۶۷	۰/۸۵	QAH	
۰/۳۶	۳/۹۴	۲۳/۲	۲۶/۷	۱۹/۹	۱۶/۰	۰/۶۵	۰/۸۱	SFR	
۳/۱۵	-۲/۸۹	۲۱/۳	۱۷/۶	۳۶/۰	۲۸/۶	۰/۶۴	۰/۸۱	TLS	
۱/۷۶	۲/۱۵	۷۶/۴	۵۱/۳	۵۵/۹	۴۱/۲	۰/۶۱	۰/۸۰	BDA	
-۱/۷۰	-۰/۶۴	۲۷/۲	۲۳/۰	۶۸/۹	۴۶/۲	۰/۶۲	۰/۷۴	GKR	
۱۶/۸۸	۶/۴۸	۴۹/۳	۴۶/۶	۶۲/۰	۴۱/۲	۰/۵۸	۰/۷۷	HLL	
-۱۴/۹۳	۱/۴۶	۷۲/۷	۴۶/۰	۶۰/۹	۵۴/۳	۰/۶۲	۰/۷۱	JAZ	
۲/۰۲	۱/۳۲	۶۱/۱	۷۱/۰	۳۶/۸	۲۱/۲	۰/۴۳	۰/۸۲	KAM	
۲/۵۹	-۷/۴۸	۲۶/۳	۲۲/۶	۲۷/۵	۲۸/۳	۰/۷۸	۰/۷۲	KRK	خلیج فارس-دریای عمان
-۳/۵۶	۸/۷۳	۴۲/۰	۳۳/۹	۷۲/۵	۶۴/۰	۰/۳۶	۰/۶۳	MND	
-۰/۶۸	-۰/۳۰	۸۳/۷	۶۶/۴	۲۹/۸	۲۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۸۱	SBL	
۴/۰۳	۳/۹۳	۲۶/۸	۲۲/۱	۳۱/۱	۲۰/۳	۰/۶۱	۰/۸۷	WSB	
۱/۱۱	۲/۲۵	۳۶/۲	۲۰/۷	۱۷/۲	۱۳/۶	۰/۴۰	۰/۵۸	URL	دریاچه ارومیه
-۴/۲۳	۰/۶۹	۴۱/۰	۳۳/۸	۲۸/۷	۲۶/۴	۰/۶۰	۰/۶۲	ABS	فلات مرکزی
-۳/۲۰	۱/۵۸	۳۰/۲	۳۰/۳	۲۰/۳	۱۵/۳	۰/۵۱	۰/۸۱	CTD	
-۱/۳۱	-۴/۴۲	۴۰/۹	۳۲/۳	۲۴/۸	۲۱/۹	۰/۶۰	۰/۷۲	DJD	
-۵/۱۷	-۴/۷۹	۲۳/۱	۳۲/۹	۴۷/۴	۲۱/۱	۰/۴۵	۰/۹۱	GKH	
۱/۵۹	-۴/۴۱	۵۳/۰	۴۰/۲	۳۴/۷	۲۲/۳	۰/۵۳	۰/۸۱	HAI	
-۰/۹۲	۰/۷۰	۳۵/۷	۴۱/۵	۲۹/۷	۱۳/۴	۰/۳۶	۰/۸۳	LUD	
۰/۸۰	-۰/۵۶	۳۹/۵	۴۰/۴	۲۰/۸	۱۵/۰	۰/۵۱	۰/۷۹	SKD	
۵/۳۱	۲/۸۱	۲۰/۹	۲۳/۵	۲۶/۲	۱۹/۲	۰/۶۶	۰/۷۶	STL	
-۲/۹۶	۶/۲۴	۳۷/۱	۳۲/۲	۵۶/۰	۳۸/۲	۰/۵۶	۰/۸۸	TBM	
-۰/۶۴	-۰/۲۳	۶۲/۷	۵۱/۰	۲۵/۷	۱۸/۰	۰/۵۰	۰/۷۲	HAH	
-۰/۳۶	-۰/۷۸	۵۳/۶	۴۴/۱	۲۳/۸	۱۲/۰	۰/۶۰	۰/۷۵	HAM	
۰/۴۱	-۱/۹۵	۳۵/۹	۴۰/۴	۳۳/۸	۲۲/۷	۰/۴۴	۰/۷۱	KHD	مرز شرقی
-۱/۶۶	۰/۳۳	۲۲/۴	۲۰/۶	۲۰/۴	۱۶/۱	۰/۶۲	۰/۷۹	QRQ	قره‌قوم

مقادیر NRMSE: کمتر از ۱۰ درصد عالی، ۱۰ تا ۲۰ درصد خوب، ۲۰ تا ۳۰ درصد قابل قبول، بیشتر از ۳۰ درصد ضعیف

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعات اقلیمی بررسی تاثیرگذاری پدیده‌های بزرگ‌مقیاس از جمله شاخص‌های پیوندازدور بر متغیرهای اقلیمی و هیدرولوژیکی به خصوص بارش بسیار اهمیت دارد. این اهمیت زمانی ملموس‌تر می‌شود که این بررسی از دیدگاه حوضه آبریز به عنوان معیار مکانی تغییرات بارش مورد مطالعه قرار گیرد. در اکثر این مطالعات تاثیرگذاری شاخص‌های پیوندازدور بر بارش عمدتاً بر فصول پاییز و گاهی زمستان متمرکز شده و به فصل بهار پرداخته نشده است (Nazemosadat, Helali et al. 2020 a,b; and Cordery, 2000). بررسی علل فیزیکی حاکم بر این پدیده با توجه به تنوع شاخص‌های پیوندازدور مورد استفاده و اثرات بهمکنش این شاخص‌ها بر یکدیگر، و در نتیجه تاثیر آن بر بارش فصل بهار حوضه‌های آبریز باید در مطالعات دیگر و کامل‌تر انجام شود. با توجه به مطالعات صورت گرفته در مناطق مختلف ایران این شاخص‌ها بر بارش فصل بهار تاثیرگذار هستند. به عنوان نمونه Fallah Ghalhary (2011) فشار سطح دریا و اختلاف فشار سطح دریا در ماه‌های مارس تا اکتبر را عامل تاثیرگذار بر بارش بهاری استان خراسان دانسته و پیشنهاد کرده است از مقادیر عددی آن‌ها در جهت پیش‌بینی بارش فصل بهار استفاده شود. در مطالعه کنونی نیز مشخص گردید بارش فصل بهار حوضه قره‌قوم که استان خراسان را نیز پوشش می‌دهد شاخص‌های SST و Nino می‌توانند به عنوان شاخص‌های پیش‌بینی کننده مورد استفاده قرار گیرند. همچنین در مطالعه Ghavidel Rahimi (2004) تاثیرپذیری بارش فصل بهار منطقه آذربایجان از شاخص‌های Nino1.2 و Nino3 اثبات شده است در حالی که در مطالعه کنونی علاوه بر شاخص‌های فوق شاخص‌های SST، Nino4 و TPI نیز (حوضه دریاچه ارومیه و ارس) همبستگی معنادار نشان می‌دهند. برخلاف دو مطالعه فوق، بعضی از محققین تاثیرگذاری این نوع شاخص‌ها بر بارش فصل بهار ایران را غیرمعنادار نشان داده‌اند (Yarahmadi and Azizi, 2007) در حالی که مطالعه کنونی خلاف این را ثابت کرد و نشان داد درصد بیشتری از ایستگاه‌های مورد مطالعه با شاخص‌های پیوندازدور همبستگی معنادار دارند. علت این اختلاف نتایج را می‌توان در تراکم ایستگاهی مورد استفاده، نوع مقیاس مکانی و طول دوره آماری دانست. به عبارتی مطالعه کنونی، همبستگی بارش فصل بهار با شاخص‌های پیوندازدور را نه از دیدگاه ایستگاهی بلکه از دیدگاه حوضه آبریز تحلیل نموده است. از دیدگاه سینوپتیکی نیز مطالعات نشان می‌دهد بارش فصل بهار شمال غرب ایران تحت حاکمیت ۴ الگوی

سینوپتیکی (سیکلون دینامیکی مهاجر ناشی از آنتی‌سیکلون دریای عرب، سامانه بندالی از نوع زوجی در تراز میانی وردسپهر، وجود منطقه سیکلونی بر روی ایران و سامانه بندالی از نوع امگا در عرض‌های میانی) (Khorshiddoust et al., 2016)؛ شیب شدید الگوی پرفشار دریای خزر، کم‌فشار شرق ترکیه و کم‌فشار عربستان، الگوی پرفشار سیبری-کم‌فشار عربستان و کم‌فشار سودان (Dargahian et al., 2019, 2020)؛ و چهار الگوی کم‌فشار عربستان-کم‌فشار ایران مرکزی، کم‌فشار اروپا-کم‌فشار سودان، کم‌فشار خلیج فارس-پرفشار سیبری، و الگوی چندهسته‌ای کم-فشار خاورمیانه (Haghighi et al., 2017) می‌باشد. با توجه به اینکه شاخص‌های پیوندازدور مورد استفاده در این مطالعه نیز ماهیتاً از جنس دما و فشار هستند می‌توان ارتباطشان را با شاخص‌های سینوپتیکی و در نتیجه بارش بهار در مطالعات آتی مورد بررسی قرار داد. این در حالی است که مطالعه کنونی نشان می‌دهد شاخص‌های پیوندازدور ENSO (Nino) و SST توانسته است بر بارش فصل بهار عمده حوضه‌های آبریز ایران تاثیر معنادار داشته باشد که بیانگر استفاده از آن‌ها به عنوان متغیرهای پیش-بینی کننده بارش است به طوری که درصد ایستگاه‌های دارای همبستگی معنادار در بخش شمالی، شمال غربی، شمال شرقی، دامنه البرز و گاهی بخش جنوب غربی و تا حدودی بخش شمالی فلات مرکزی ایران تاثیر معنادار داشته باشند. با توجه به اینکه مطالعه کنونی از دیدگاه کاربرد شاخص‌های پیوندازدور در مطالعات منابع آب انجام شده لازم است در مطالعات آتی تحلیل و قوانین فیزیکی حاکم بر این پدیده نیز مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. همچنین، با توجه به گستردگی منطقه مورد مطالعه و تاثیرگذاری متقابل بین الگوهای پیوندازدور بر یکدیگر، بررسی علل سینوپتیکی و دینامیکی این موضوع می‌تواند موضوع مطالعات جدید باشد. نتیجه بررسی مدلسازی بارش نیز نشان می‌دهد مدل MLP دقت پیش‌بینی بهتری از مدل MLR در اکثر حوضه‌ها دارد که کارایی آن از خوب تا قابل قبول می‌باشد. این امر را می‌توان در ساختار و الگوریتم دقیق‌تر مدل MLP نسبت به مدل MLR دانست. بررسی سایر محققین نشان می‌دهد مدل رگرسیونی نیز می‌تواند کارایی خوبی در پیش‌بینی بارش ماهانه داشته باشد (Kim et al., 2020) که با مطالعه کنونی در برخی از زیرحوضه‌ها تطبیق می‌کند. در برخی از مناطق به خصوص حوضه‌های زیرمجموعه خلیج فارس-دریای عمان، فلات مرکزی و شرقی کارایی دو مدل MLP و MLR ضعیف و گاهی قابل قبول است که می‌تواند با مدل‌های دیگر مثل نروفازی (Chubin et al., 2014) و رگرسیون بردار پشتیبان (Modaresi et al., 2018) مورد

یابد.

سپاس‌گزاری

به این وسیله از شرکت مدیریت منابع آب ایران و سازمان هواشناسی کشور به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های بارش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Ahmadi, M. Salimi, S., Hosseini, S.A., Poorantiyosh, H.A. and Bayat, A., (2019). Iran's precipitation analysis using synoptic modeling of major teleconnection forces (MTF), *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 85:41–56. DOI:10.1016/j.dynatmoce.2018.12.001
- Amirmoradi, K., Sabziparvar, A.A., Deihimi, A., (2015). Analysis of the Relationship between Seasonal Streamflow Variations and some Teleconnection Indices by Wavelet Analysis Method (Case study: Northwest Rivers), *Water and Soil Science Journal*, 4(1):269-284.
- Araghi, A., Martinez, C.J., Adamowski, J., Olesen, J.E., (2019). Associations between large-scale climate oscillations and land surface phenology in Iran, *Agricultural and Forest Meteorology*, 278:107682. DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.107682
- Behar, O., Khellaf, A. and Mohammadi, K., (2015). Comparison of solar radiation models and their validation under Algerian climate—the case of direct irradiance. *Energy Convers. Manage.* 98:236-251. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.03.067
- Canchala, T., Alfonso-Morales, W., Carvajal-Escobar, Y., Cerón, W.L. and Caicedo-Bravo, E., (2020). Monthly Rainfall Anomalies Forecasting for Southwestern Colombia Using Artificial Neural Networks Approaches, *Water*, 12, 2628. DOI:10.3390/w12092628
- Choubin, B., Khalighi Sigaroodi, S., Malekian, A., Ahmad, S. and Attarod, P.M, (2014). Drought Forecasting in a Semi-arid Watershed Using Climate Signals: a Neuro-fuzzy Modeling Approach, *J. Mt. Sci.* 11(6):1593-1605. DOI: 10.1007/s11629-014-3020-6
- Dargahian, F., Doostkamian, M. and Taherian, A., (2019). Analysis of synoptic -dynamic weather Changes spring precipitation Comprehensive Iran, *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 8(24):19-36. DOI:10.22052/deej.2018.7.24.11
- Dargahian F., Doostkamian M. and Taherian M., (2020). Statistical and synoptic analysis of temperature advection role in Iran spring rainfalls (1961-2013), *Environ. Water Eng.*, 5(4), 276–291. DOI:10.22034/jewe.2019.198398.1329.
- Doblas-Reyes, F.J., Garcia-Serrano, J., Lienert, F., Biescas, A.P. and Rodrigues, L.R.L., (2013). Seasonal climate predictability and forecasting: status and prospects. *WIREs Clim. Chan.* 4:245-268. DOI:10.1002/wcc.217.
- Fallah Ghalhary, G., (2012). The assessment of the role of climatic signal changes on spring rainfall oscillations, Case study: Khorasan Razavi Province, *Journal of the Earth and Space Physics*, 37(3):155-171.
- Fatehi Marj, A. and M.H.Mahdian, (2009). Autumn rainfall forecasting using ENSO indices by Neural Network method, *Watershed Management Researches (Pajouhesh & Sazandegi)*, 84: 42-52.
- Fatehi Marj, A., Borhani Darian, A. and Mahdian, M.H., (2006). Streamflow forecasting using climatic signals in the Urmia Lake Basin, *Pajouhesh & Sazandegi*, 71:41-51.
- Fatehi Marj, A., Tajaddini, M. and Salajagheh, A., (2015). Study of the relationship between the some climate signals (SOI, NAO, MEI, NINO) and meteorological drought in Kerman province, Iran, *Journal of Agricultural Meteorology*, 3 (1):25-39.
- Fatemi, M., Omidvar, K., Mazidi, A., Mesgari, E. and Dehghan, H., (2017). Spatial analysis and study of Tele-connection patterns of drought in central Iran, *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 7(1):51-65. DOI:10.29252/ARIDBIOM.7.1.51
- Ghaedamini, H., Nazemosadat, S.M.J., Kouhizadeh, M. and Sabziparvar, A.A., (2014). Individual and coupled effects of the ENSO and PDO on autumnal dry and wet periods in the southern parts of Iran, *Iranian Journal of Geophysics*, 8 (2):92-109.
- Ghavidel Rahimi, Y., (2004). Due to the large scale atmospheric circulation patterns-Ocean on ENSO variability in seasonal climatic effects of El Nino and La Nina spring rainfall variability in East Azarbaijan, *Journal of Human Sciences Lecturer, Geography Supplement*, 35:44-49.
- Goudarzi, M., Ahmadi, H. and Hosseini, S.A., (2017). Examination of relationship between teleconnection indexes on temperature and precipitation components (Case Study: Karaj Synoptic Stations), *Iranian Journal of Ecohydrology*, 4 (3):641-651. DOI: 10.22059/IJE.2017.62414.
- Haghighi, E., Gholizadeh, M.H., Doostkamian, M. and Ghaderi, F., (2017). Nature and structure of the atmospheric circulation in pervasive rains of spring, Iran, *Physical Geography Research Quarterly*, 49(3):523-539. www.SID.ir

- 10.22059/JPHGR.2017.218909.1006955
- Hejazizadeh, Z., Fatahi, E., Saligheh, M. and Arsalani, F., (2013). Study on the impact of climate signals on the precipitation of the central of Iran using ANN, *Applied researches on Geographical Sciences*, 29: 75-89.
- Helali, J., Salimi, S., Lotfi, M., Hosseini, S.A., Bayat, A., Ahmadi, M. and Naderizarneh, S., (2020a). Investigation of the effect of large-scale atmospheric signals at different time lags on the autumn precipitation of Iran's watersheds, *Arabian Journal of Geoscience*, 13(18):1-24. DOI: 10.1007/s12517-020-05840-7
- Helali, J., Pishdad, E., Alidadi, M., Loukzadeh, S., Asaadi Oskouei, E. and Norooz R., (2020b). Investigating the relationship between climate Teleconnection Indices and Autumnal Rainfall in Iran Watersheds, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51 (8):1921-1936. DOI:10.22059/ijswr.2020.294238.668434
- Jamieson, P.D., Porter, J.R. and Wilson, D.R., (1991). A test of computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crop grown in New Zealand. *Field Crop Res.*, 27: 337-350. DOI: 10.1016/0378-4290(91)90040-3
- Karamouz, M., Ramazani, F. and Razavi, S. (2006). Long-term forecasting of precipitation using meteorological signals: Application of artificial neural networks, 7th International Congress of Civil Engineering, Tehran, 11 p.
- Khorshiddoust, A.M., Mofidi, A., Rasuly, A.A. and Azarm, K., (2016). A Synoptic analysis for the occurrence of springtime heavy rainfall in the Northwest of Iran, *Journal of Natural Environmental Hazards*, 5(8):53-82.
- Kim, C.G., Lee, J. Lee, J.E., Kim, N.W., and Kim, H., (2020). Monthly Precipitation Forecasting in the Han River Basin, South Korea, Using Large-Scale Teleconnections and Multiple Regression Models, *Water*, 12, 1590; DOI:10.3390/w12061590.
- Ma, C. and Iqbal, M., (1984). Statistical comparison of solar radiation correlations monthly average global and diffuse radiation on horizontal surfaces. *Sol. Energy* 33:143-148. DOI: 10.1016/0038-092X(84)90231-7
- Modaresi, F., Araghinejad, S. and Ebrahimi, K., (2018). A Comparative Assessment of Artificial Neural Network, Generalized Regression Neural Network, Least-Square Support Vector Regression, and K-Nearest Neighbor Regression for Monthly Streamflow Forecasting in Linear and Nonlinear Conditions, *Water Resour Manage*, 32:243-258. DOI: 10.1007/s11269-017-1807-2.
- Mousavi Baygi, M., Fallah Ghalhari, G.A., Habibi, M., Nokhandan, M., (2008). Assessment of the relation between the large scale climatic signals with rainfall in the Khorassan, *Journal of Agriculture Sciences Natural Resources*, 15(2):217-224.
- Nalley, D., Adamowski, J., Biswas, A., Gharabaghi, B. and Hu, W., (2019). A multiscale and multivariate analysis of precipitation and streamflow variability in relation to ENSO, NAO and PDO, *Journal of Hydrology*, 574:288-307. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.04.024.
- Nazemosadat, M.J. and Cordery, I., (2000). On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran, *International Journal of Climatology*, 20 (1): 47-61. DOI: 10.1002/(SICI) 1097-0088(200001)20:1<47: AID-JOC461>3.0.CO; 2-P
- Nazemosadat, S.M.J. and Ghasemi, A.R., (2005). The Influence of the Caspian Sea SSTs on winter and Spring Precipitation over Northern and Southwestern Parts of Iran, *Journal of Water and Soil Science*, 8(4):1-15.
- Rahimi Khoob, A., (2011). A Prediction of Maximum Monthly Precipitation Recorded at Ilam Meteorological Station Based on Persian Gulf and Red Sea Surface Temperature through Recordings Data Mining Method, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 42 (1):1-7.
- Qian, H. and Xu, S. (2020). Prediction of Autumn Precipitation over the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Basin Based on Climate Indices, *Climate*, 8, 53, DOI:10.3390/cli8040053
- Sadatinejad, S.J., Shekari, M.R. and Vali, A., (2016). Forecasting of Monthly rainfall using teleconnection climate indices using of artificial neural network and statical models (Case study: Sheshde and gharebolagh adjacent stations), *Ecology*, 3(3):391-403. DOI: 10.22059/IJE.2016.60027
- Willmott, C.J. and Matsuura, K., (2006). On the use of dimensioned measures of error to evaluate the performance of spatial interpolators. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 20:89-102. DOI: 10.1080/13658810500286976