



Research Article

Investigation of the relationship between the North-Caspian Sea pattern tele-connection and Iran's precipitation (Case study: Ardabil province)

Bromand Salahi^{1*} , Mahmoud Behrouzi²

1-Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2-Environmental Hazards, Marine Science Institute, Kish International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 19 Mar 2022 Accepted: 08 Jul 2022

Extended Abstract

Introduction

The North-Caspian Sea Pattern (NCP) is an atmospheric phenomenon that originates from the pressure fluctuation at the 500 hectopascals level between the North Sea and the Caspian Sea. A numerical index has been defined for the North-Caspian Sea Pattern, calculated based on the geopotential height difference of 500 hectopascals between the North Sea and the Caspian Sea. After the numerical calculation of this index, the output number is positive or negative, and the output of the positive number indicates the negative phase. The production of the negative number indicates the positive stage of this index.

Materials and Methods

To investigate the relationship between the precipitations of Ardabil province with the North-Caspian Sea Pattern, first, the average rainfall, temperature, and relative humidity of Ardabil, Parsabad, Khalkhal, and Meshgin-Shahr stations during 1987-2015 was prepared from the IRI Meteorological Organization. Then, the data of the North-Caspian Sea Pattern for the period of 1987 to 2005 were prepared and used from the climate research system of East Anglia University. Statistical equations were used to calculate the mentioned index until 2015, and the NCP index's numerical amount was prepared for 1987 to 2015. Then the monthly, seasonal and annual relationship of the North-Caspian sea pattern with the parameters of precipitation, temperature, and relative humidity of Iran during a period of 29 years (1987-2015) was investigated with a Pearson correlation at 95 and 99% levels. The forward perceptron artificial neural network model was used to model the relationship between precipitation and the NCP model.

Results and Discussion

The results showed that the correlation between monthly, seasonal, and annual precipitation in Ardabil with the NCP index is insignificant, and relative humidity has no meaningful relationship with the NCP index. However, the temperature in February and July substantially connected with the NCP index at the 95% level.

Citation: Salahi, B. and Behrouzi, M., 2022. Investigation of the relationship between the North-Caspian Sea pattern tele-connection and Iran's precipitation, *Res. Earth. Sci.* 13(2), (1-20) DOI: 10.48308/esrj.2022.101294

* Corresponding author E-mail address: salahi@uma.ac.ir



Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



The results also showed that the relationship between precipitation and NCP index in Khalkhal is more than in Ardabil, which was signed in November and December, as well as summer and autumn seasons, and the annual average of their relationship was significant at 95 and 99% level. In November and December (autumn season), the correlation coefficient of precipitation and NCP index was positive, which shows that the amount of precipitation increases as the NCP index becomes positive. The correlation between the NCP index and the precipitation of Mashgin-Shahr in January and December was significant and positive at the 95% level. The highest correlation between rainfall and NCP index was observed in Pars-Abad, especially in autumn, and at the 99% level, their correlation was significant and positive; this means that with the positive NCP index, the amount of autumn precipitation in the Moghan Plain will also increase. To fit the best artificial neural network model to the data, a regression line was used, and in this model, the R coefficient was 0.98 for the test data and 0.98 for the validation. Overall, for the mentioned neural network model, its coefficient was equal to 0.98%, which indicates the appropriate fit of the model in predicting the amount of autumn precipitation in Pars Abad.

Conclusion

Moghan Plain, located in a flat area, and Sablan Mountains and high altitudes do not affect its climate are the only Tele-connection patterns that determine its precipitation regime. This is why the relationship between autumn rains is positive and significant with the NCP index. The positive phase of the North-Caspian sea pattern has been associated with the high Mediterranean trough so that the studied area is located in front of the trough, and the transfer of moisture from the Mediterranean Sea, the Atlantic Ocean, and the Black Sea has caused autumn rains in Parsabad. Therefore, despite the influence of ENSO and North Atlantic Oscillation patterns on the precipitation of Ardabil province, the North-Caspian Sea pattern also plays a vital role in its autumn precipitation, especially in the Moghan plain.

Keywords: The North-Caspian Sea Pattern, Correlation, Parsabad, Neural Network, Regression.



بررسی ارتباط الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر با بارش‌های ایران (مطالعه موردی: استان اردبیل)

برومند صلاحی*^۱، محمود بهروزی^۲

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- پژوهشکده علوم دریایی، پردیس بین‌المللی کیش- دانشگاه تهران، تهران، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۴/۱۷

چکیده

در این پژوهش ارتباط الگوی دریای شمال-خزر با بارش‌های استان اردبیل شامل ایستگاه‌های اردبیل، خلخال، مشگین‌شهر و پارس‌آباد در بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ بررسی شد. پس از شناسایی همبستگی بین شاخص NCP و بارش استان اردبیل و بررسی همدیدی فازهای مثبت و منفی الگو، از شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی این رابطه استفاده گردید. نتایج نشان داد که در مشگین‌شهر، همبستگی بارش و NCP در فوریه و دسامبر مثبت و معنادار بود، اما در مقیاس فصلی، ارتباطی بین آن‌ها وجود نداشت. همبستگی بارش‌های اردبیل با شاخص NCP معنادار نبود، ولی در خلخال، بارش ماه‌های نوامبر و دسامبر با شاخص NCP همبستگی مثبت داشت. بیشترین همبستگی بین بارش پاییزه پارس‌آباد و شاخص NCP بود که همبستگی آن‌ها مثبت و در سطح ۹۹ درصد معنادار بود. استقرار ناوه بر روی دریای مدیترانه و قرارگیری منطقه مورد مطالعه در جلوی ناوه، وضعیت چرخندی فراهم آورده که باعث انتقال رطوبت دریای شمال، مدیترانه، دریای سیاه و اقیانوس اطلس به سمت ایران شده که این وضعیت موجب وقوع بارش‌های پاییزه در دشت مغان می‌شود. اما در فاز منفی، با ایجاد پشته‌ی قوی در ایران، شرایط جوی پایدار در منطقه حاکم شده و موجب وزش هوای گرم و خشک آفریقا به سمت ایران می‌گردد که دوره خشکسالی منطقه می‌باشد. ارتباط بین بارش پاییزه پارس‌آباد با شاخص NCP با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد که ضریب رگرسیونی مدل، ۰/۹۸ و مجموع مربع خطاهای آزمون، ۲/۱۶ بود که نشان می‌دهد که مدل از برازش مناسبی برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر، پارس‌آباد، رگرسیون، شبکه عصبی، همبستگی.

مقدمه

آب‌وهوای متنوع خاورمیانه، علی‌رغم توپوگرافی و منابع رطوبتی مختلف، تحت سیطره‌ی الگوهای پیوند از دور نصف‌النهاری است که این الگوها عمدتاً با جهت شرقی- غربی، اتمسفر منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Barcikowska et al, 2020). این الگوها با جهت کشیده نصف‌النهاری در سطوح بالا و تراز میانی جو، اتمسفر خاورمیانه را منقلب نموده و موجب تغییراتی در شرایط اقلیمی آن می‌شوند (Araghi et al, 2017). الگوهای پیوند از دور، در واقع ناشی از تغییرات بزرگ‌مقیاس در الگوهای امواج و رودبادهای جوی است که بر رژیم بارندگی‌ها و رگبارهای بارشی در سرزمین‌های وسیع اثر می‌گذارد (Branstator, 2002)؛ به گونه‌ای که صفت زنجیره‌وار اتمسفر نشان‌گر این است که نوسان در مکانیسم تکوین الگوهای بزرگ‌مقیاس جوی، بر ویژگی‌های آب‌وهوایی مناطق دور از سیستم مرکزی سامانه اثر می‌گذارد. تغییر در رژیم بارندگی که اکوسیستم‌ها حیات خود را با آن تنظیم نموده‌اند، موجب تغییرات منفی در آن می‌شود (Hossain et al, 2015). به گونه‌ای که اکوسیستم جنگلی شمال ایران وابسته به بارش‌های خزری است (Yousefi et al, 2016)؛ گندم‌های دشت اردبیل اگرچه با سیستم آبیاری تنظیم می‌شود، اما در صورت وقوع خشکسالی، مصرف آب زیرزمینی چند برابر شده و موجب خشکیدگی آبخوان‌ها و فرونشست‌های متوالی زمین‌های زراعی می‌شود (صلاحی و بهروزی، ۱۳۹۸).

شالیزارهای جلگه خزری نیز بر مبنای تقویم بارندگی خزری تنظیم شده است که هرگونه نوسان در رژیم بارندگی، اقتصاد زیستی منطقه را با مشکل مواجه می‌سازد (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۴). به این ترتیب، رژیم بارندگی نقش مهمی در حیات زیست‌کره دارد که وقوع دوره‌های خشکسالی و

ترسالی موجب نوسان‌هایی در آن شده که برای مقابله با آن، نیاز به شناخت و پیش‌بینی وقوع بارندگی‌های دوره‌ای می‌باشد. بنابراین شناخت نحوه شکل‌گیری و مکانیسم تکوین سامانه‌های اتمسفری بزرگ‌مقیاس و ردیابی مولفه گردش و حرکت دینامیک آن‌ها طی مسیر، می‌تواند در تدوین راهبردهای اقلیمی و مدیریت آب موردنیاز نقش مهمی ایفا نماید. سامانه‌های بزرگ‌مقیاس جوی ناشی از توازن جرم و انرژی در محیط‌های خشکی- اقیانوسی هستند که تغییر در مکانیسم گردش آن‌ها، اتمسفر مناطق دوردست را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (پژوه، ۱۳۹۶). الگوهای پیوند از دور، از ناهنجاری این الگوهای بزرگ‌مقیاس که دور از هم قرار دارند، نشأت گرفته و تغییراتی را در قلمروهای وسیع به وجود می‌آورد (Boers et al, 2019). الگوهای بزرگ‌مقیاس متنوعی در نیم- کره‌ی شمالی وجود دارد که از پایداری و توازن جرم تشکیل می‌شوند، اما به هنگام نوسان دینامیکی در جرم اقیانوسی- جوی بین این الگوهای بزرگ- مقیاس با نوسان پُرفشار و کم‌فشار اتمسفری، نابه- هنجاری‌هایی در جو به وجود می‌آید که موجب تغییرات اتمسفری در جهات نصف‌النهاری- مداری می‌گردد که می‌توان به نوسان فشاری اطلس شمالی (NAO)، نوسان جنوبی (SO)، ال‌نینو، انسو (ENSO)، نوسان مدیترانه‌ای (MO) و الگوی دریای شمال-خزر (NCP) اشاره نمود (Feldstein, 2003; Yang and DelSole, 2012). الگوی دریای شمال- خزر یکی از پدیده‌های قدرتمند اتمسفری است که از نوسان فشار در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بین دریای شمال و دریای خزر نشأت می‌گیرد (Kutiel and Türkeş, 2005). ناهنجاری‌های فشار در مراکز دریای شمال و دریای خزر، موجب نوسان دینامیکی جرم اتمسفری شده و مکانیسم الگوهای متوسط- مقیاس در تراز میانی جو تغییر می‌نماید (Sezen

از دریای سیاه و اقیانوس اطلس به سمت سواحل خزری شده که موجب وقوع بارندگی در نیمه سرد سال به‌ویژه در ماه دسامبر (آذرماه) می‌شود؛ اما در فاز منفی این شاخص، منطقه ساحلی دریای خزر در زیر محور پشته قرار گرفته و موجب تشکیل سیستم واچرخند قوی همراه با پایداری هوا و وزش هوای گرم و خشک آفریقا به سمت ایران و سواحل خزری می‌شود (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲؛ سلیقه و همکاران، ۱۳۹۵). بارش مناطق شمال-غربی ایران تحت تأثیر الگوهای پیوند از دور به‌ویژه الگوی جوی-اقیانوسی انسو قرار دارد که در فاز گرم (ال نینو) موجب افزایش بارش و در فاز سرد (لانینا) موجب کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی در شمال غربی ایران می‌شود؛ اما الگوی پیوند از دور دریای شمال- خزر نیز که ناشی از برهم خوردن توازن جرم اتمسفری در نقاط شبکه‌ای دریای شمال و دریای خزر می‌باشد، بر بارش‌های پاییزه فلات آذربایجان تأثیرگذار است که اوج اثرگذاری آن را می‌توان در ماه دسامبر (آذرماه) در ایستگاه خوی مشاهده نمود. البته ایستگاه‌هایی که در نزدیکی دریای خزر که مرکز عمل این الگو می‌باشد، قرار دارند، تأثیر زیادی از این الگو پذیرفته و با فاصله از آن به‌ویژه به سمت جنوب، اثرگذاری فازهای این الگو بر بارش این مناطق کاهش می‌یابد (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳). بارش‌های سواحل جنوب غربی خزر بیشتر از سواحل جنوب شرقی آن است، حتی همبستگی الگوی دریای شمال- خزر نیز در سواحل جنوب غربی بیشتر است؛ همچنین در استان گلستان که در سواحل جنوب شرقی خزر قرار دارد، ارتباط توزیع مکانی بارش‌ها با الگوی دریای شمال- خزر در مناطق غربی و مرکزی آن بیشتر از مناطق شرقی آن بوده که در فاز مثبت این الگو، بارش‌های غربی استان گلستان بیشتر از بارش‌های شرقی آن است (لک‌زاشکور و همکاران،

2019, and Partal). در نهایت این تغییرات موجب وقوع ترسالی و خشکسالی‌های متوالی به‌ویژه در زمستان و فصول انتقالی در قلمروهای وسیع عرض-های معتدل در نیم کره‌ی شمالی می‌گردد (Tatli, 2007). به‌طور کلی، شاخص الگوی دریای شمال- خزر یکی از الگوهای پیونداز دوری است که در سال ۲۰۰۲ توسط کوتیل و بناروش وضع گردید که این الگو میان نقاط شبکه‌ای که در دو منطقه‌ی جغرافیایی دریای شمال و دریای خزر واقع است، شناسایی شد. برای الگوی مذکور، یک شاخص عددی تعریف شده است که بر پایه اختلاف ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بین دریای شمال و دریای خزر محاسبه می‌گردد. پس از محاسبه عددی این شاخص، عدد خروجی مثبت یا منفی بوده که خروجی عدد مثبت آن بیان‌گر فاز منفی و خروجی عدد منفی آن بیان‌گر فاز مثبت این شاخص می‌باشد (Kutiel and Benaroch, 2002). با توجه به هم‌زمانی رژیم‌های اقلیمی متفاوت با تغییرات الگوهای پیوند از دور، پژوهشگران به بررسی ارتباط بین فازهای متفاوت الگوی دریای شمال- خزر و پارامترهای جوی همچون بارش و دما پرداخته‌اند. بارش‌ها در سواحل جنوبی خزر عمدتاً ناشی از عملکرد سیستم‌های جوی در مرکز فعالیت دریای خزر است؛ به‌طوری که در سواحل غربی خزر، بارش‌ها بیشتر از مناطق شرقی آن در جلگه گرگان است. تغییرات فشاری در تراز ارتفاعی ۵۰۰ هکتوپاسکال میان دریای شمال و دریای خزر موجب نوسان بارشی در سواحل جنوبی خزر می‌گردد. در زمانی که فرود عمیقی بر روی دریای خزر تشکیل می‌گردد، شاخص عددی NCP منفی بوده و نشان‌گر فاز مثبت الگوی دریای شمال- خزر است که در این زمان دریای خزر در جلوی ناوه قرار گرفته و سیستم چرخندی در منطقه حاکم است. این شرایط باعث انتقال رطوبت

بارندگی و دمای در فلات آناتولی تحت تأثیر الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر است؛ به گونه‌ای که دماهای حداکثری مناطق مرکزی ترکیه با فاز منفی شاخص NCP رابطه مثبت و معناداری دارد و دماهای حداقل ماهانه در فاز منفی به وضوح بیشتر از فاز مثبت است. همچنین بارش‌های پاییزه آن با فاز مثبت این شاخص رابطه مثبت و مستقیمی دارد (Kutiel and Turkes, 2005). فلات آناتولی در بخش شرقی منابع رطوبتی دریای مدیترانه، اژه و جنوب دریای سیاه قرار دارد که در زمان فاز مثبت شاخص NCP، شارش‌های سطحی با مسیر غربی - شرقی آن افزایش یافته و موجب وقوع دوره‌های ترسالی در پاییز و زمستان می‌شود (Gunduz and Ozsoy, 2005). حتی هیدروکلیمای ترکیه به ویژه مناطق ساحلی شمال آن که در نزدیکی دریای سیاه قرار دارد، تحت سیطره‌ی نوسان اتمسفری دریای شمال - خزر است که بیشترین اثر را در بین دیگر الگوهای پیوند از دور بر هیدروکلیمای آن دارد؛ به طوری که اوج بارش‌ها و بیشینه‌ی دبی رودخانه‌های شمالی و غربی ترکیه به‌ویژه طی ماه‌های ژانویه و فوریه در زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص عددی NCP نشان - گر فاز مثبت آن باشد (Göktürk and Karaca, 2006). دمای ماهانه در ناحیه کوهستانی آفیون در مناطق غربی ترکیه تحت تأثیر الگوی دریای شمال - خزر است که در ماه‌های سرد سال، فاز مثبت شاخص NCP موجب افزایش دمای هوای منطقه‌ی کوهستانی آفیون شده و برای آسایش سکونتگاهی - تفریحی مناسب است (Yetmen and Yalcin, 2009). به‌طور کلی، بارش‌های زمستانی ترکیه با فاز مثبت الگوی دریای شمال - خزر رابطه دارد و دمای آن نیز با فاز منفی این الگو افزایش و با فاز مثبت آن کاهش می‌یابد (Sezen and Partal, 2019). الگوهای دمایی خاورمیانه نیز به الگوی

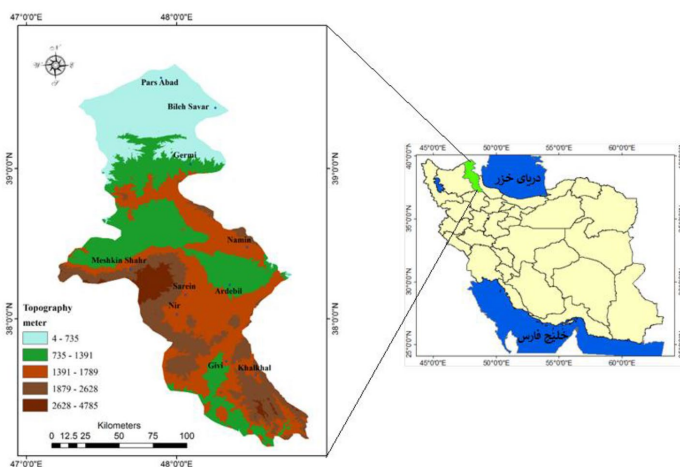
(۱۳۹۷). تداوم دوره‌های ترسالی و تعداد روزهای بارشی در ایستگاه‌های ساحلی بندرانزلی، رامسر، بابلسر، گرگان و رشت با فاز مثبت و دوره‌های خشکسالی نیز با فاز منفی الگوی دریای شمال - خزر ارتباط دارد (یوسفی، ۱۳۹۵؛ Molavi-Arabshahi et al, 2016). استان کردستان در غرب ایران بوده و اگرچه فاصله‌ی زیادی از مرکز عمل الگوی دریای شمال - خزر دارد، اما بارش‌های نیمه‌ی سرد سال در اغلب ایستگاه‌های آن با فاز مثبت شاخص NCP ارتباط داشته و همبستگی آنها مثبت است؛ ولی در نیمه گرم سال ارتباط آنها منفی و معکوس است (دارند و رحمانی، ۱۳۹۷). علاوه بر نوسان‌های رژیم بارندگی، الگوی دریای شمال - خزر بر شاخص‌های دمایی مناطق مختلف ایران نیز اثر دارد که پژوهشگران در بررسی بازه زمانی ۶۱ ساله (۲۰۱۰ - ۱۹۵۰) نشان دادند دمای حداقل ایستگاه‌های ایران با فاز مثبت NCP رابطه مستقیمی دارد که بیشینه همبستگی در ماه‌های ژانویه، مارس و فوریه به‌ویژه در سواحل جنوبی خزر بود؛ کم‌ترین رابطه در زاهدان بوده که شرقی‌ترین و دورترین ایستگاه از مرکز عمل دریای خزر است. همچنین بیشترین همبستگی بین دمای حداقل با فاز مثبت الگوی دریای شمال - خزر در فصل زمستان و سپس پاییز بود (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴). بارش‌های پراکنده‌ی آسیای مرکزی و شمال چین که اغلب در ماه‌های سرد سال به صورت برف ظاهر می‌شود، تحت تأثیر الگوی دریای شمال - خزر است که ارتباط آن با فاز مثبت NCP مستقیم است، چون در فاز مثبت آن، فرود بلندی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال تشکیل می‌شود که آسیای میانه در جلوی این ناوه قرار می‌گیرد و انتقال رطوبت از دریای خلیج فارس به سمت مناطق خشکی دشت - های شمالی چین و آسیای میانه، موجب وقوع بارندگی می‌شود (Carvalho et al, 2020). رژیم

پیوند از دور دریای شمال- خزر بر بارش‌های استان اردبیل را بررسی نماید، انجام نشده و در این پژوهش سعی در بررسی و مدل‌سازی این ارتباط است که با شبکه عصبی مصنوعی انجام شد.

منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل با مساحتی بالغ بر ۱۷/۹۵۳ کیلومترمربع (۱/۰۹ درصد مساحت کشور ایران) در شمال فلات ایران بین عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۰۸ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی از خط استوا و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱).

دریای شمال- خزر حساس است و این حساسیت در فاز منفی بیشتر بوده که موجب افزایش دمای خاورمیانه می‌شود (Kutiel, 2010). الگوی دریای شمال- خزر بر دبی و آبرگیری رودخانه‌های دجله و فرات نیز اثر دارد؛ به گونه‌ای که بیشترین افزایش دبی رودخانه‌ها به هنگام وقوع فاز منفی و در ماه مارس رخ می‌دهد و شدیدترین کاهش دبی آب در فاز مثبت و در ماه می صورت می‌گیرد (Sen et al, 2011). استان اردبیل در شمال غربی ایران دارای رژیم بارندگی همسانی با آذربایجان شرقی و غربی می‌باشد که الگوهای پیوند از دور نیز نقش مهمی در رخداد آن دارند؛ به گونه‌ای که شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) با میانگین دمای استان، همبستگی منفی دارد (سبحانی و همکاران، ۱۳۹۳). اما مطالعه جامعی که ارتباط بین الگوی



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی استان اردبیل

سبلان و پارس آباد در دشت پهناور مغان گسترش یافته است. میزان بارش در دشت مغان کمتر از نقاط مرتفع جنوبی بوده و میزان دما در آن بیشتر از نقاط مرتفع است (جدول ۱). الگوهای جوی متفاوتی در اقلیم این استان نقش دارند که می‌توان به توده هوای سیبری، مدیترانه‌ای و نوسان اطلس شمالی اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

کوهستان سبلان و ارتفاعات طالش در نیمه جنوبی استان اردبیل، موجب اختلاف ارتفاع زیاد بین نیمه شمالی و جنوبی شده است. خلخال در ارتفاعات جنوبی، اردبیل در دامنه‌ی شرقی سبلان و در میان دشت اردبیل، مشگین‌شهر در دامنه‌ی شمال غربی

جدول ۱: میانگین سالانه‌ی پارامترهای آب و هوایی استان اردبیل

ایستگاه	بارش (mm)	دما (c)	رطوبت نسبی (%)	روزهای یخبندان
اردبیل	۳۰۳	۹	۷۰	۱۲۷
پارس آباد	۲۶۴	۱۵/۱	۷۲	۵۲
خلخال	۳۷۵	۷/۹	۶۶	۱۵۲
مشکین شهر	۳۶۷	۱۰/۶	۵۹	۹۸

(منبع: نگارندگان)

در راستای بررسی ارتباط بین بارش‌های استان اردبیل با الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر (NCP)، ابتدا میانگین بارش، دما و رطوبت نسبی ماهانه، فصلی و سالانه ایستگاه‌های اردبیل، پارس آباد، خلخال و مشکین شهر طی بازه زمانی (۲۰۱۵-۱۹۸۷) از سازمان هواشناسی تهیه گردید. بخش دوم داده‌های موردنیاز پژوهش، اطلاعات مربوط به داده‌های شاخص الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر بود که برای بازه زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۵ از سامانه تحقیقات اقلیمی دانشگاه آنجلیای شرقی تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. به منظور محاسبه شاخص مزبور تا سال ۲۰۱۵، از معادله رابطه ۱ استفاده گردید که در این معادله، از داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (Brunetti and Kutiel, 2011) از داده‌های NCEP/NCAR در دو منطقه جغرافیایی دریای شمال (شمال غربی اروپا) و دریای خزر (شمال ایران) استفاده شده و با جایگذاری در رابطه ذیل، شاخص ماهانه NCP از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ برآورد گردید. بنابراین، میزان عددی شاخص NCP برای سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ تهیه شد.

رابطه ۱)

$$NCP_i = \overline{gpm}(0^{\circ}.55'N; 10^{\circ}.55'E) - \overline{gpm}(50^{\circ}.45'E; 60^{\circ}.45'E)$$

در معادله فوق، NCP شاخص الگوی دریای شمال - خزر و \overline{gpm} میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) بین دو منطقه جغرافیایی مزبور است. اساس تفکیک فاز

منفی از فاز مثبت آستانه استاندارد شده ماهانه‌ی ۵ ± است. شاخص ماهانه‌ای که فازهای منفی و مثبت با آن شناسایی می‌شوند، بر اساس معادله رابطه ۲ مورد محاسبه قرار می‌گیرد:

رابطه ۲)

$$Z_i = \frac{NCP_i - \overline{NCP}}{\sigma}$$

که در آن، NCP_i مقدار ماهانه شاخص دریای شمال - خزر در سال i ، \overline{NCP} میانگین بلندمدت ماهانه شاخص دریای شمال - خزر و σ انحراف از معیار بلندمدت شاخص هستند (Kutiel and Benaroch, 2002). به طور کلی، اگر مقدار عددی Z_i مثبت باشد، به این معناست که در منطقه جغرافیایی دریای خزر، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بیشتر از منطقه جغرافیایی دریای شمال است که در این زمان، فاز NCP منفی خواهد بود؛ اما برعکس آن، یعنی اگر ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در منطقه جغرافیایی دریای شمال بیشتر از دریای خزر باشد، مقدار عددی Z_i منفی است که در این زمان، فاز NCP مثبت می‌باشد. بنابراین در صورتی که خروجی معادله فوق منفی باشد، فاز مثبت و اگر خروجی معادله عددی مثبت باشد، فاز شاخص NCP منفی خواهد بود (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴). پس از تهیه پایگاه اطلاعات جوی شامل میانگین ماهانه بارش، دما و رطوبت نسبی در ایستگاه‌های استان اردبیل و همچنین محاسبه شاخص عددی الگوی دریای شمال - خزر (NCP)، مولفه‌های همبستگی تشکیل

نتایج پیش‌بینی‌شده با مقادیر واقعی بارش مقایسه شده و میزان خطای آن‌ها محاسبه گردید. میزان خطا باید در کمترین مقدار خود باشد که جهت اجرای آن، شبکه مناسب تدوین شده و چندین بار عملیات آموزش، آزمون و اعتبارسنجی مدل تکرار شد تا میزان خطای احتمالی به حداقل خود کاهش یافت. ورودی‌های مدل شبکه به شکل یک بردار X (x_1, x_2, \dots, x_n) بوده و هر ورودی توسط یک وزن به گرهی پردازشگر مربوط می‌شود و در نهایت تسلسلی از وزن‌ها به شکل بردار وزن Y (y_1, y_2, \dots, y_n) به گرهی موردنظر مرتبط می‌گردد. خروجی گره که y نامیده می‌شود، طبق رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

رابطه (۴)

$$y = f(xw - b) \quad (12)$$

در معادله فوق، x داده‌های ورودی، w بردار وزن و b مقدار آستانه یا بایاس می‌باشد. به منظور ارزیابی عملکرد شبکه و انتخاب مناسب‌ترین حالت از روش میانگین مربعات خطا به صورت معادله رابطه ۵ استفاده گردید:

رابطه (۵)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (y_0 - \bar{y}_f)^2}{n}}$$

بحث و نتایج

بررسی ارتباط شاخص عددی الگوی دریای شمال-خزر (NCP) با میانگین بارش، دما و رطوبت نسبی ایستگاه اردبیل بیان‌گر این است که همبستگی بین بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه با شاخص NCP معنادار نیست؛ همچنین رطوبت نسبی با شاخص NCP رابطه معناداری ندارد. تنها دما در ماه‌های فوریه و جولای با شاخص NCP در سطح ۹۵ درصد ارتباط معناداری داشت. ارتباط بین بارش و شاخص NCP در خلخال بیشتر از اردبیل بوده که در ماه‌های نوامبر و دسامبر و هم‌چنین فصول تابستان و

در این بخش از پژوهش، ارتباط ماهانه، فصلی و سالانه الگوی دریای شمال-خزر با پارامترهای بارش، دما و رطوبت نسبی طی بازه زمانی ۲۹ ساله (۲۰۱۵-۱۹۸۷) با همبستگی پیرسون (معادله رابطه ۳) در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد بررسی شد.

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

که در این معادله، y مقدار عددی پارامترهای جوی ایستگاه‌های اردبیل در هر یک از ماه‌ها، فصول و میانگین سالانه و x شاخص عددی الگوی دریای شمال-خزر (NCP) می‌باشد. به منظور آشکارسازی اثر فازهای مثبت و منفی الگوی دریای شمال-خزر بر بارش‌های استان اردبیل، از علم آب‌وهواشناسی همدید بهره گرفته شد؛ به گونه‌ای که میانگین داده‌های ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و میزان شاخص امگا در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از داده‌های داده‌های NCEP/NCAR استخراج شده و نقشه‌های آن با برنامه‌نویسی در محیط گرس ترسیم شد. پس از شناسایی ارتباط بین شاخص دریای شمال-خزر با پارامترهای جوی در ایستگاه‌های منتخب استان اردبیل، به منظور مدل‌سازی ارتباط بین بارش‌ایستگاه‌ها و الگوی پیوند از دور NCP، از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون پیش‌خور استفاده گردید. برای دستیابی به این رهیافت، ورودی شبکه شامل بارشبه شبکه عصبی مصنوعی برای انجام عملیات آموزش وارد شده و برای عمل آزمایش یا تست شبکه استفاده شد. در این میان، ۷۰ درصد از داده‌ها (۴۵ عدد) برای انجام عملیات آموزش، ۱۵ درصد برای آزمون شبکه (۹ عدد) و ۱۵ درصد نیز برای اعتبارسنجی مدل (۹ عدد) مورد استفاده قرار گرفت که از داده‌های آموزشی جهت یافتن ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های مشاهده‌ای و از داده‌های آزمون و اعتبارسنجی جهت ارزیابی عملکرد سیستم شبکه پیشنهادی استفاده گردید.

همبستگی منفی و معناداری دارد که نشان می‌دهد با مثبت شدن شاخص NCP، دمای خلخال در نیمه سرد سال کاهش می‌یابد. همچنین همبستگی رطوبت نسبی با شاخص NCP در بهار و پاییز مثبت و در سطح ۹۵ درصد معنادار بود (جدول ۲).

پاییز و میانگین سالانه‌ی ارتباط آن‌ها در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار بود. در نوامبر و دسامبر (فصل پاییز) ضریب همبستگی بارش و شاخص NCP مثبت بوده و نشان می‌دهد که با مثبت شدن شاخص NCP، میزان بارش افزایش می‌یابد. میانگین دما نیز در پاییز و زمستان با شاخص NCP

جدول ۲: ضریب همبستگی بین شاخص NCP با پارامترهای جوی ایستگاه‌های خلخال و اردبیل

زمان	شاخص NCP		اردبیل		خلخال	
	بارش	دما	رطوبت نسبی	بارش	دما	رطوبت نسبی
ژانویه	۰/۱۸۳	-۰/۰۴۷	۰/۰۷۶	-۰/۱۸۱	-۰/۷۵۹**	-۰/۰۹۷
فوریه	۰/۰۶۷	۰/۴۲۵*	-۰/۱۶۲	-۰/۰۹۳	-۰/۳۴۸	۰/۱۸۰
مارس	-۰/۰۱۰	-۰/۲۸۹	۰/۲۷۳	۰/۲۲۱	-۰/۵۹۹**	۰/۳۳۱
آوریل	-۰/۰۴۳	-۰/۱۵۱	-۰/۱۷۸	۰/۴۲۹	-۰/۵۷۹**	۰/۲۱۳
می	۰/۴۷۹	-۰/۳۵۸	۰/۱۰۴	-۰/۲۷۷	-۰/۰۷۸	۰/۰۲۸
ژوئن	-۰/۱۹۷	۰/۰۵۹	-۰/۰۲۴	۰/۳۰۱	-۰/۵۵۶*	۰/۴۰۷
جولای	۰/۰۳۸	-۰/۴۰۷*	۰/۲۶۵	-۰/۳۳۱	-۰/۱۹۲	۰/۲۸۵
اوت	۰/۰۷۸	۰/۰۹۹	-۰/۲۴۴	-۰/۴۵۵	-۰/۱۵۵	۰/۱۸۵
سپتامبر	-۰/۰۰۴	-۰/۰۵۱	-۰/۰۷۴	-۰/۰۵۸	-۰/۰۳۴	۰/۳۵۰
اکتبر	-۰/۲۵۶	۰/۱۷۸	۰/۱۴۳	۰/۲۲۰	-۰/۲۱۷	۰/۱۸۷
نوامبر	۰/۰۸۶	-۰/۰۶۵	۰/۰۸۸	۰/۴۶۸*	-۰/۰۸۹	۰/۰۶۲
دسامبر	۰/۲۴۹	-۰/۱۴۸	۰/۲۸۰	۰/۵۳۵*	-۰/۵۰۹*	۰/۳۱۳
بهار	۰/۰۸۰	-۰/۰۳۳	-۰/۰۵۵	۰/۲۱۷	-۰/۲۸۰*	۰/۲۶۲*
تابستان	۰/۰۷۹	-۰/۰۷۲	-۰/۰۵۶	-۰/۲۸۰*	-۰/۰۲۸	۰/۲۴۱
پاییز	۰/۰۳۷	-۰/۰۳۹	۰/۱۷۵	۰/۱۴۹	-۰/۳۸۲**	۰/۳۲۰*
زمستان	۰/۰۲۶	۰/۰۳۱	۰/۰۵۴	-۰/۰۳۷	-۰/۴۶**	۰/۱۸۸
سالانه	۰/۰۵۶	-۰/۰۰۷	۰/۰۵۱	۰/۱۴۲*	-۰/۱۲۹	۰/۱۵۰*

(منبع: نگارندگان)

همبستگی آن‌ها معنادار و مثبت بود؛ به این معنا که با مثبت شدن شاخص NCP، میزان بارش پاییزه دشت مغان نیز افزایش می‌یابد. همچنین دمای پاییز و زمستان در پارس آباد با شاخص NCP ارتباط قوی داشته و همبستگی آن‌ها منفی بود. رطوبت نسبی کمترین ارتباط با شاخص NCP داشته و تنها در زمستان همبستگی آن‌ها منفی و معنادار بود (جدول ۳).

همبستگی شاخص NCP و بارش مشکین شهر در ماه‌های ژانویه و دسامبر در سطح ۹۵ درصد معنادار و مثبت بود؛ اما در ماه‌های مارس، آوریل، ژوئن، اوت و دسامبر، همبستگی شاخص NCP و میانگین دما در سطوح ۹۵ و ۹۹ درصد منفی بود. در ضمن، طی ماه‌های مختلف سال، همبستگی منفی بین دما و شاخص NCP وجود داشت. بیشترین ارتباط و همبستگی بین بارش و شاخص NCP در پارس آباد به ویژه در پاییز مشاهده شد که در سطح ۹۹ درصد،

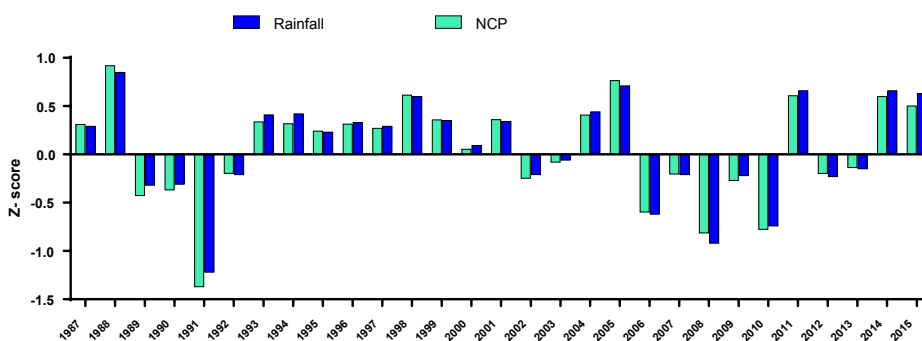
جدول ۳: ضریب همبستگی بین شاخص NCP با پارامترهای جوی ایستگاه‌های خلخال و اردبیل

زمان	شاخص NCP		مشگین شهر		پارس آباد	
	بارش	رطوبت نسبی	بارش	رطوبت نسبی	دما	رطوبت نسبی
ژانویه	۰/۱۸۳	۰/۷۰۰*	۰/۵۲۰	۰/۳۰۹	-۰/۴۱۸	-۰/۶۸۸**
فوریه	۰/۰۶۷	۰/۵۶۸	۰/۵۱۸	۰/۲۳۳	-۰/۶۳۸**	-۰/۰۷۲
مارس	-۰/۰۱۰	۰/۴۹۱	-۰/۸۳۶**	۰/۵۵۰	-۰/۴۳۵*	-۰/۰۵۵
آوریل	-۰/۰۴۳	۰/۴۶۱	-۰/۸۵۱**	۰/۶۰۴	-۰/۶۵۲**	۰/۱۲۷
می	۰/۴۷۹	-۰/۳۳۴	-۰/۴۸۱	۰/۱۷۱	-۰/۴۵۴*	۰/۰۹۴
ژوئن	-۰/۱۹۷	-۰/۵۰۹	-۰/۹۲۲**	۰/۳۶۴	-۰/۶۵۵**	۰/۴۵۷*
جولای	۰/۰۳۸	-۰/۰۴۴	-۰/۶۰۲	۰/۴۲۷	-۰/۱۳۱	-۰/۳۲۱
اوت	۰/۰۷۸	-۰/۵۷۰	-۰/۸۰۳**	۰/۶۴۶*	-۰/۱۴۷	-۰/۱۲۵
سپتامبر	-۰/۰۰۴	۰/۶۰۹	-۰/۴۸۵	۰/۴۶۷	-۰/۳۶۱	۰/۴۶۰*
اکتبر	-۰/۲۵۶	۰/۲۸۵	-۰/۶۲۲	۰/۶۳۷*	-۰/۴۰۲	-۰/۱۲۳
نوامبر	۰/۰۸۶	۰/۰۰۲	-۰/۰۱۵	-۰/۴۸۹	-۰/۳۸۱	۰/۰۲۰
دسامبر	۰/۲۴۹	۰/۷۲۱*	-۰/۷۵۰*	۰/۳۸۱	-۰/۳۸۴	۰/۱۵۵
بهار	۰/۰۸۰	-۰/۰۴۰	-۰/۳۸۹*	۰/۴۲۷*	-۰/۲۵۶*	۰/۲۱۶
تابستان	۰/۰۷۹	-۰/۰۹۷	-۰/۴۰۵*	۰/۴۹**	-۰/۰۶۸	-۰/۰۲۴
پاییز	۰/۰۳۷	۰/۲۶۰	-۰/۴۰۴*	۰/۱۷۴	-۰/۳۲۷**	۰/۰۴۰
زمستان	۰/۰۲۶	۰/۲۱۱	-۰/۴۴۹*	۰/۳۶۴*	-۰/۳۵۰**	-۰/۲۹۱*
سالانه	۰/۰۵۶	۰/۱۱۲	-۰/۱۵۹	۰/۳۵۰**	-۰/۱۱۵	۰/۰۱۵

(منبع: نگارندگان)

ارتباط قوی بین شاخص NCP و بارش پاییزه وجود دارد.

در نمودار ستونی ذیل (شکل ۲)، نمره استاندارد بارش پارس آباد و شاخص NCP طی فصل پاییز به نمایش درآمده است و می‌توان مشاهده نمود که



شکل ۲: نمره استاندارد بارش پارس آباد و شاخص الگوی دریای شمال - خزر (NCP) طی فصل پاییز

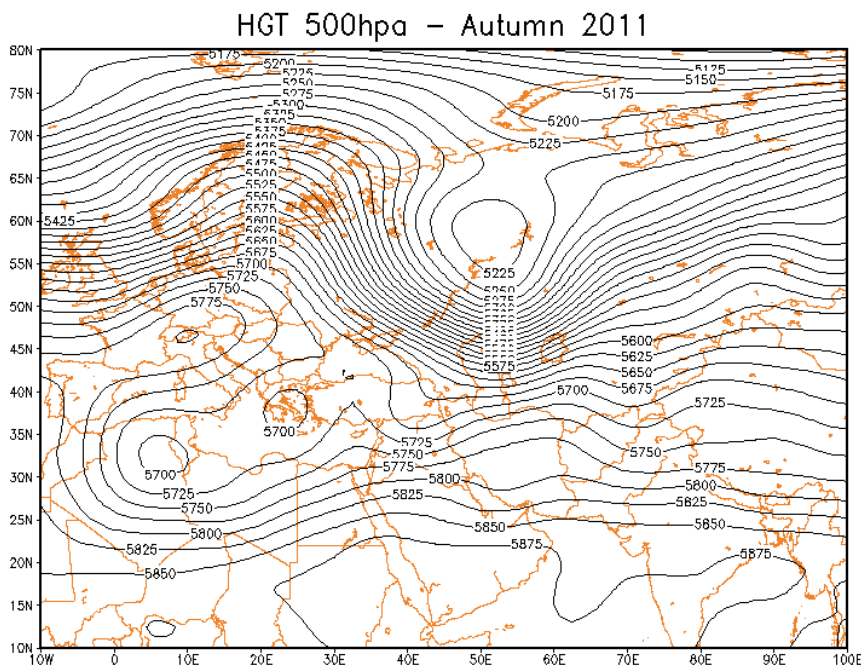
نقش مهمی دارد. به همین دلیل، با توجه به ارتباط معنی دار بین بارش پاییزه استان اردبیل و الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر، از نقشه‌های ارتفاعی و امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای فاز

بررسی هم‌دیدگی فازهای مثبت و منفی

در شناسایی اثر الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر بر میزان بارش، بررسی هم‌دیدگی و شرایط اتمسفری در فازهای مثبت و منفی شاخص NCP،

بادهای غربی در دریای شمال که در شرق بریتانیا و جنوب اسکاندیناوی قرار دارد، باعث ایجاد پشته (فراز) شده است. اختلاف ارتفاع بین دریای شمال و دریای خزر حدود ۲۰۰ متر است که ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دریای شمال بیشتر از دریای خزر است (شکل ۳). ناوه عمیق دریای خزر موجب ناپایداری اتمسفر مناطق مجاور خود و به ویژه استان اردبیل شده است. همچنین بادهای غربی با تزریق رطوبت از دریای مدیترانه و دریای سیاه به مناطق شمال غربی ایران باعث وقوع بارندگی های پاییزه شده است.

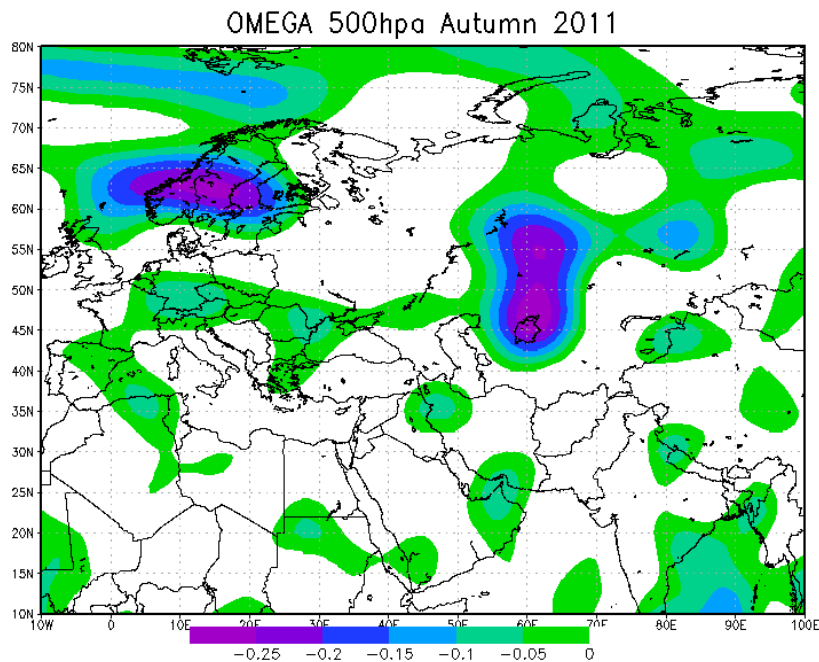
مثبت (پاییز سال ۲۰۱۱) و برای فاز منفی (پاییز سال ۲۰۱۰) استفاده شد. فاز مثبت شاخص NCP: در پاییز سال ۲۰۱۱ که دوره ترسالی استان اردبیل به ویژه دشت مغان بوده است، با فاز مثبت الگوی دریای شمال - خزر همگام است. بررسی نقشه میانگین ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در پاییز سال ۲۰۱۱ بیان گر این است که در این فصل موج بادهای غربی باعث ایجاد ناوه عمیقی (فرود) در مرکز روسیه و شمال دریای خزر شده است که با بسته شدن منحنی ارتفاع ۵۲۲۵ متر، سردچال در روسیه تشکیل شده است؛ اما موج



شکل ۳: نقشه میانگین ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در فصل پاییز سال ۲۰۱۱ (فاز مثبت شاخص NCP)

شمال شرقی دریای خزر مشاهده می شود که نشان - گر ناپایداری شدید اتمسفر این منطقه است (شکل ۴). امگای منفی که بیان گر ناپایداری و صعود قائم و بالاسوی اتمسفر می باشد، ناشی از ناوه و قرارگیری منطقه مورد مطالعه در جلوی فرود است که موجب وقوع بارش های پاییزه و دوره ی ترسالی در استان اردبیل شده است.

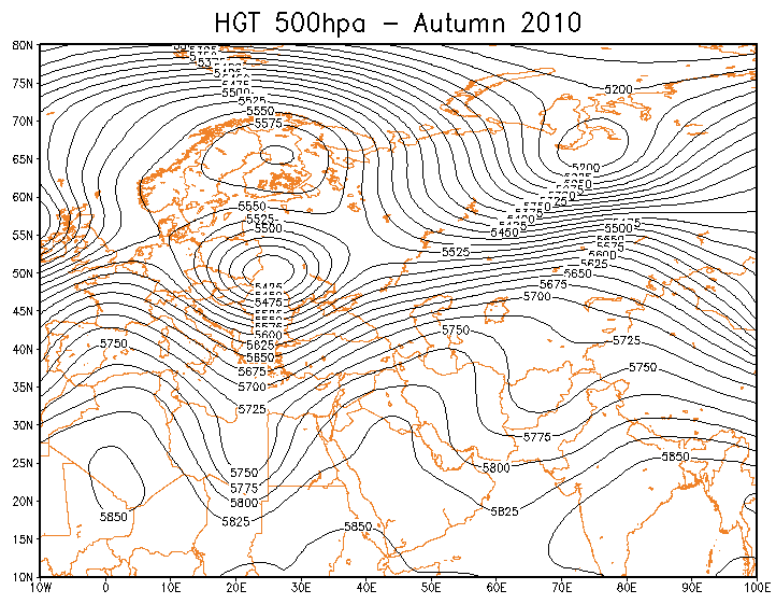
علاوه بر نقشه ارتفاعی، از نقشه امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز استفاده شد که در پاییز سال ۲۰۱۱ (فاز مثبت)، استان اردبیل را هسته امگای منفی با میزان $-0/1$ پاسکال بر ثانیه فرا گرفته که نشان از اتمسفر ناپایدار و صعود هوا (سرعت قائم بالاسو) در منطقه دارد. همچنین هسته بیشینه امگای منفی با میزان $-0/25$ پاسکال بر ثانیه در



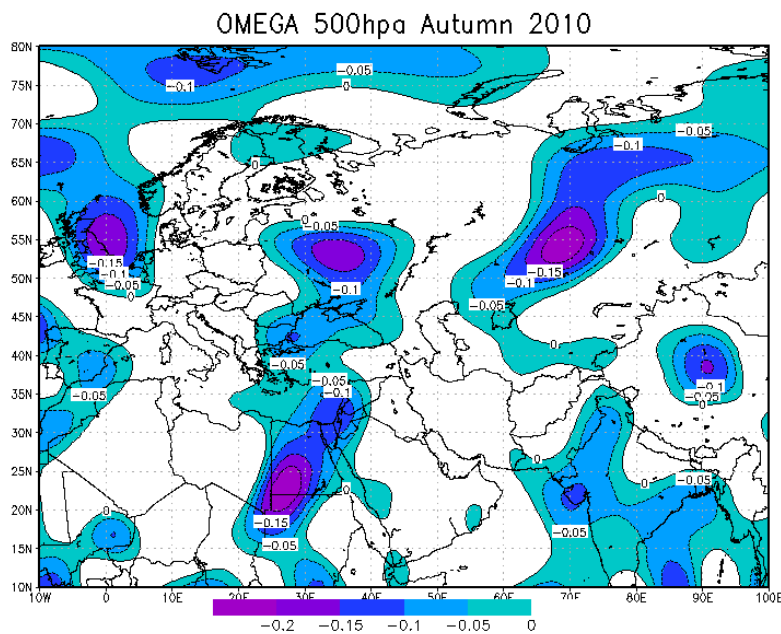
شکل ۴: نقشه میانگین امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در پاییز سال ۲۰۱۱ (فاز مثبت شاخص NCP)

انتقال گردوغبارهای بیابانی همراه با هوای گرم به اتمسفر مناطق غربی و شمال غربی ایران شده است. بنابراین، در فاز منفی الگوی پیوند از دور دریای شمال- خزر، ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دریای خزر بیشتر از دریای شمال بوده و فراز قوی در ایران موجب پایداری هوا و عدم وقوع بارندگی و وقوع دوره‌ی خشکسالی در استان اردبیل شده است. پس از بررسی آماری و همبستگی بین شاخص NCP و پارامترهای جوی در ایستگاه‌های استان اردبیل، مشخص شد که بیشترین رابطه بین بارش پاییزه و الگوی دریای شمال- خزر در ایستگاه پارس‌آباد وجود دارد؛ به همین دلیل برای شناخت ارتباط بین آن‌ها از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. در مدل مزبور، شاخص NCP و میانگین رطوبت نسبی به‌عنوان متغیر مستقل و بارش پاییزه پارس‌آباد به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های آموزشی وارد مدل شبکه عصبی مصنوعی شد (شکل ۷).

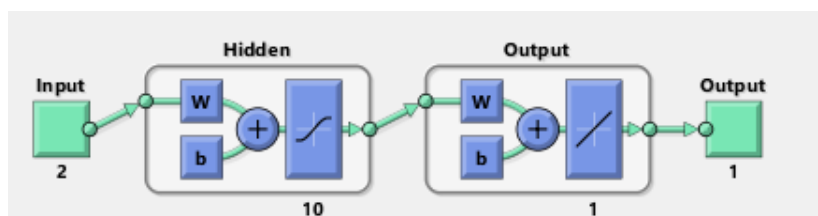
فاز منفی شاخص NCP: پاییز سال ۲۰۱۰ میلادی، الگوهای اتمسفری تراز میانی جو و الگوی پیوند از دور دریای شمال- خزر موجب وقوع دوره خشکسالی در استان اردبیل شد. جریان موج بادهای غربی در این فصل از سال ۲۰۱۰ به گونه‌ای بود که در اروپا پدیده بلوکینگ رکس در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال ایجاد شده که در آن ناوه جنوبی از پشته شمالی جدا شده است (شکل ۵). دلیل اصلی ایجاد پدیده بلوکینگ رکس، گردان شدید دمایی است که باعث جدایی ناوه و پشته می‌شود. خاورمیانه و به‌ویژه کشور ایران تحت سیطره‌ی فراز قوی با ارتفاع ۵۷۷۵ تا ۵۸۰۰ متر قرار دارد که موجب پایداری اتمسفر منطقه مورد مطالعه شده است (شکل ۶). نقشه امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز بیان‌گر عدم حرکات قائم و بالاسوی هوا در ایران است. فراز مستقر در اتمسفر خاورمیانه موجب کاهش جریان بادهای مدیترانه‌ای به سمت ایران شده و به‌جای آن، هوای گرم شمال آفریقا با عبور از بیان‌های سوریه و عراق وارد ایران شده و موجب



شکل ۵: نقشه‌ی میانگین ارتفاعی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در فصل پاییز سال ۲۰۱۰ (فاز منفی شاخص NCP)

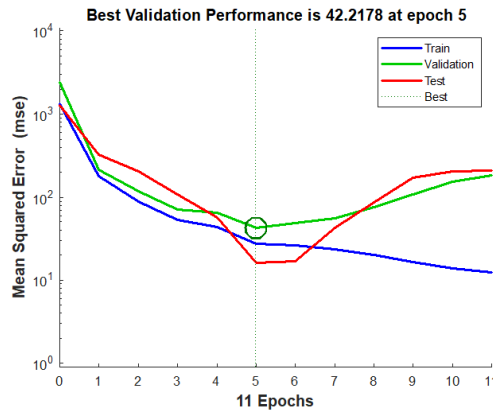


شکل ۶: نقشه‌ی میانگین امگای تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در فصل پاییز سال ۲۰۱۰ (فاز منفی شاخص NCP)



شکل ۷: دیاگرام شبکه عصبی مصنوعی در مدل سازی بارش پاییزه پارس آباد با دو متغیر ورودی رطوبت نسبی و شاخص NCP

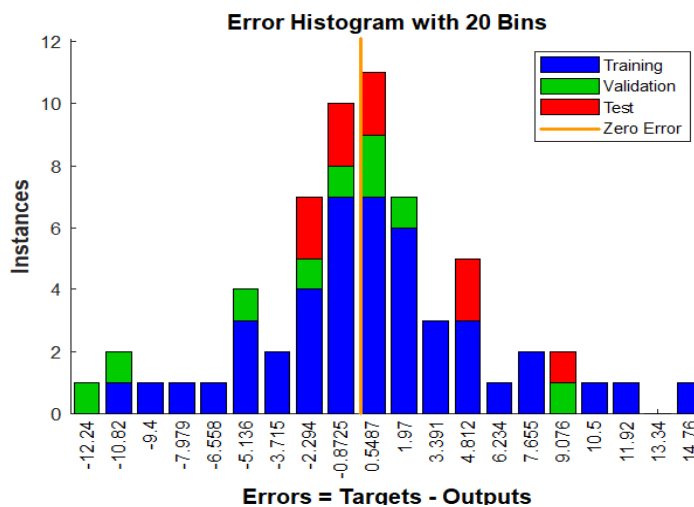
در مدل شبکه مزبور، طی گام پنجم از مدل، بهترین نقطه تعیین شد که در آن میانگین مربعات خطا (MSE) به حداقل خود رسیده و در این نقطه، شبکه بهترین مدل را ارائه نمود (شکل ۸).



شکل ۸: میزان خطای شبکه و نقطه بهترین در انتخاب مدل

اعتبارسنجی بیشترین پراکنش را در محور صفر دارد که نشان می‌دهد مدل دارای خطای بسیار کمی است.

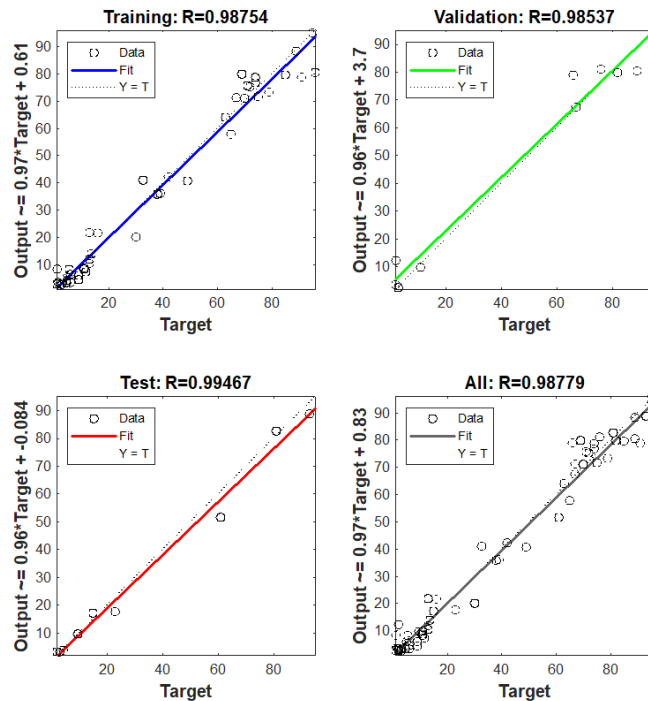
در صورتی که میزان خطای بین نقاط پراکنش با خط رگرسیون به کمترین حد خود برسد، مدل مناسب مشخص می‌شود که هیستوگرام خطای زیر (شکل ۹)، میزان خطای ناشی از آزمایش، آزمون و



شکل ۹: هیستوگرام خطای مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی بارش پاییزه پارس آباد

آن برابر ۰/۹۸ درصد بود که بیان‌گر برازش مناسب مدل در پیش‌بینی میزان بارش پاییزه پارس آباد می‌باشد (شکل ۱۰).

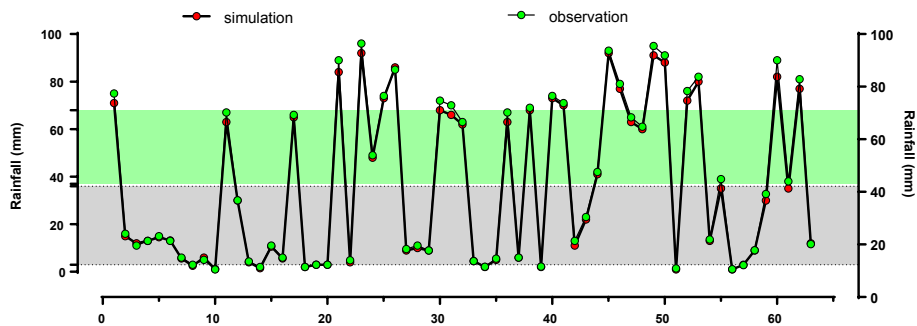
در نهایت، به‌منظور برازش بهترین مدل بر داده‌های آزمایش، از خط رگرسیونی استفاده گردید که در این مدل، ضریب R برای داده‌های آزمایش ۰/۹۸، برای اعتبارسنجی ۰/۹۸، برای آزمون ۰/۹۹ و به صورت کلی برای مدل شبکه عصبی مزبور، ضریب



شکل ۱۰: برآورد معادله خطی رگرسیون در شبکه عصبی مصنوعی

برازش مناسب مدل و ارائه‌ی الگوی پیش‌بینی بارش پاییزه می‌باشد و اختلاف آن‌ها بسیار ناچیز است.

در نهایت، میزان بارش پاییزه مشاهده شده و پیش‌بینی شده با مدل شبکه عصبی مصنوعی در یک گراف ترسیم شد (شکل ۱۱) که نتایج آن بیان‌گر



شکل ۱۱: نمودار بارش پاییزه مشاهده‌ای پارس‌آباد و پیش‌بینی با شبکه عصبی مصنوعی

نتایج مطالعات پژوهشگران بیان‌گر این است که الگوهای پیوند از دور نقش مهمی در وقوع بارش‌های پاییزه مناطق شمال و شمال‌غربی ایران دارد که می‌توان به الگوی جوی-اقیانوسی انسو اشاره نمود. فاز گرم (ال‌نینو) آن موجب وقوع ترسالی و فاز سرد (لانینا) موجب وقوع خشکسالی‌های شدیدی می‌شود (Biabanaki et al, 2014; Nazemosadat and Cordery, 2000). از طرف دیگر، شاخص نوسان اطلس شمالی نیز یکی دیگر از الگوهای پیوند از دور موثر در وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی ایران به‌ویژه در مناطق شمال-غربی کشور می‌باشد (مرادی، ۱۳۸۳؛ فرج‌زاده اصل و همکاران، ۱۳۹۲؛ طولابی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷).

شاخص الگوی پیوند از دور جدیدی که توسط

دارد. البته همبستگی این شاخص با بارش‌های نوامبر و دسامبر منطقه کوهستانی خلخال و همچنین بارش نوامبر مشکین‌شهر نیز مثبت بود؛ اما در کل دوره پاییز تنها در ایستگاه پارس‌آباد، رابطه بارش و الگوی دریای شمال- خزر معنادار و همبستگی آن‌ها مثبت بود. به‌طور کلی، داده‌های هواشناسی و بارش ایستگاه اردبیل که به‌عنوان نماینده دشت اردبیل در این پژوهش استفاده گردید، تحت‌تأثیر شرایط محیطی، توپوگرافی، ناپایداری‌های همرفتی ناشی از کوهستان سبلان و توده‌های جوی مختلف، دارای بارش‌های متنوعی بوده و ارتباطی بین بارش این دشت با الگوی دریای شمال-خزر وجود نداشت. مطالعه‌ی قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد که تنها بارش ماه دسامبر در اردبیل با شاخص NCP در سطح ۹۵ درصد معنادار بوده و همبستگی آن‌ها مثبت است، ولی در کل دوره پاییز، همبستگی آن‌ها معنادار نیست که دلیل اصلی آن تأثیر الگوهای مختلف جوی بر وقوع بارش‌های پاییزه در دشت اردبیل می‌باشد. منطقه کوهستانی خلخال نیز تحت‌تأثیر شرایط توپوگرافی، دارای اقلیم سرد و پربارانی است که الگوهای دریای خزر، ناپایداری همرفتی، فرود بلند مدیترانه و پُرفشارهای سرد عرض‌های جغرافیایی بالا موجب تعیین رژیم بارندگی خاصی در خلخال می‌شوند. الگوی پیوند از دور دریای شمال- خزر در ماه‌های نوامبر و دسامبر با بارش‌های خلخال همبستگی مثبت و معناداری دارد که در فاز مثبت این الگو، فرود بلند مدیترانه موجب تشکیل ناوه‌ی عمیق در ترکیه شده و منطقه مورد مطالعه در جلوی فرود قرار گرفته و همچنین رطوبت از دریای سیاه، اطلس و مدیترانه به منطقه منتقل شده که موجب وقوع بارش‌های پاییزه در شمال غربی ایران می‌شود (Abolhasan and Maryam, 2013). مهم‌ترین تأثیر الگوی پیوند از

کوتیل و بناروش (۲۰۰۲) ارائه شده، شاخص دریای شمال- خزر است که بر مبنای اختلاف ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دو منطقه جغرافیایی دریای خزر و دریای شمال در اروپا محاسبه می‌شود. پژوهشگران عمدتاً به بررسی اثر این الگوی پیوند از دور بر بارش‌های ترکیه (Sezen and Partal, 2019) و نیمه شمالی ایران (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳) پرداخته‌اند. فاز مثبت شاخص NCP با بارش‌های پاییزه در نوار ساحلی خزر و همچنین فلات آذربایجان ارتباط مستقیمی دارد که در این فاز مثبت، فرود بلند مدیترانه بر روی ترکیه و ایران تشکیل شده و موج‌های کوتاه به صورت متواتر در بستر موج بلند به سمت شرق جریان می‌یابد. محور فرود در نواحی غربی ترکیه بوده و فلات آذربایجان و نوار ساحلی خزر در جلوی فرود بلند قرار می‌گیرد (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ یوسفی، ۱۳۹۵). شرایط اتمسفری در فلات آذربایجان و ساحل خزری ناپایدار شده و حرکت چرخندی موجب صعود توده‌ی هوای سطحی می‌شود. همچنین فرود مدیترانه‌ای موجب انتقال رطوبت از اقیانوس اطلس، دریای سیاه و دریای مدیترانه به سمت شرق و ایران شده و در نهایت منجر به وقوع بارش در نواحی ساحلی خزر و شمال- غربی ایران می‌گردد (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۳). در فاز منفی شاخص دریای شمال- خزر، فراز پُراتفافی بر ایران مستولی گردیده و موجب تشکیل پشته می‌گردد که در آن گردش اتمسفری به شکل واچرخندی بوده و شرایط جوی پایدار است. در این وضعیت، وزش هوای گرم و خشک از آفریقا و عربستان موجب خشکی اتمسفر شمال- غربی ایران می‌گردد و در نهایت باعث وقوع دوره خشکسالی می‌گردد. پژوهش حاضر نشان داد که الگوی شاخص دریای شمال- خزر بیشترین تأثیر را بر بارش‌های پاییزه دشت مغان (ایستگاه پارس‌آباد)

حاضر در فازهای مثبت و منفی الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر با نتایج قویدل رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد. با توجه به ارتباط نزدیک و همبستگی قوی که بین بارش پاییزه دشت مغان با الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر وجود داشت، ارتباط آن‌ها با مدل شبکه عصبی مصنوعی، شبیه‌سازی شد؛ به‌گونه‌ای که شاخص NCP و رطوبت نسبی هوا به‌عنوان متغیرهای ورودی (مستقل) و بارش پاییزه پارس آباد به‌عنوان خروجی مدل (متغیر وابسته) در نظر گرفته شد. نتایج آن بیان‌گر معادله رگرسیونی قوی در شبکه عصبی بوده و مدل توانسته وقوع بارش‌های پاییزه را بر مبنای شاخص NCP و رطوبت نسبی، برآورد کند. مدل شبکه عصبی مصنوعی کاربرد فراوانی در حوزه علوم جوی دارد که با آزمودن مدل، نتایج آن در پیش‌بینی شرایط جوی مناسب است؛ در خشکسالی‌های حوزه‌ی قره‌قوم، الگوهای پیوند از دور نقش مهمی دارند که برای پیش‌بینی خشکسالی‌ها از مدل شبکه عصبی استفاده شده و نتایج آن بیان‌گر مطلوب بودن مدل در برآورد خشکسالی است (فلاح‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). در پژوهش حاضر از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای ارتباط بین شاخص NCP و بارش پاییزه دشت مغان استفاده شد که نتایج پیش‌بینی آن اختلاف ناچیزی با داده‌های مشاهداتی داشت.

نتیجه‌گیری

درک ماهیت نوسان‌های اقلیمی و شناخت ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور می‌تواند در پیشبرد راهبردهای مدیریتی علوم جوی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین شناخت سازوکار و تکوین الگوهای پیوند از دور جوی که عمدتاً ناشی از نوسان جرم و انرژی بین اقیانوس و جو می‌باشد، منجر به پیش‌بینی‌های دقیق پارامترهای اقلیمی و وقوع دوره‌های

دوردریای شمال - خزر بر بارش‌های پاییزه دشت مغان بوده که ایستگاه پارس آباد در این دشت وسیع قرار دارد. همبستگی بین بارش پاییزه و شاخص NCP در پارس آباد مثبت (۰/۴۴۲) بود و حتی بارش سالانه نیز دارای همبستگی مثبت و معناداری با شاخص NCP بود. دشت مغان عاری از توپوگرافی و کوهستان‌های مرتفع است که بارش‌های آن تنها متأثر از الگوهای اتمسفری ترازهای میانی جو می‌باشد. همان‌طور که بیان شد، در فاز مثبت شاخص NCP، منطقه مورد مطالعه در جلوی فرود بلند مدیترانه قرار گرفته و اتمسفر منطقه ناپایدار می‌شود که با تزریق رطوبت از دریا‌های غربی، بارش در منطقه اتفاق می‌افتد؛ اما در فاز منفی، پشته‌ی پُراترفاع موجب پایداری و خشکی هوای منطقه شده که بارش‌ها در این فاز کاهش می‌یابد. در دشت مغان، هم‌زمان با فاز مثبت شاخص NCP، بارش افزایش یافته و منطقه وارد دوره ترسالی می‌گردد، اما در فاز منفی شاخص NCP، بارش منطقه کاهش یافته و خشکسالی بر دشت مغان حاکم می‌گردد. در فاز مثبت شاخص NCP، ناوه‌ی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در روسیه و شمال دریای خزر موجب ناپایداری اتمسفر مناطق مجاور خود شده و بادهای غربی با عبور از دریای مدیترانه و دریای سیاه، رطوبت کافی به شمال‌غربی ایران تزریق نموده و موجب وقوع بارش‌های پاییزه در این منطقه و به‌ویژه دشت مغان شده است؛ اما در فاز منفی، فرازی که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی ایران گسترش یافته است، موجب پایداری و خشکی هوای منطقه شده که بارش‌ها در این فاز کاهش می‌یابد. در دشت مغان، هم‌زمان با فاز مثبت شاخص NCP، بارش افزایش یافته و منطقه وارد دوره ترسالی می‌گردد، اما در فاز منفی شاخص NCP، بارش منطقه کاهش یافته و خشکسالی بر دشت مغان حاکم می‌گردد. نتایج بررسی هم‌دیدگی و شرایط اتمسفری پژوهش

فاز مثبت الگوی دریای شمال- خزر که با دوره‌ی ترسالی فصل پاییز استان اردبیل و به‌ویژه دشت مغان همراه بود، با ناوهای روسیه و شمال دریای خزر در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در ارتباط است که موجب ناپایداری اتمسفر استان اردبیل شده است. در بخش جنوبی این ناوه، موج بادهای غربی باعث انتقال بادهای مرطوب مدیترانه و دریای سیاه به سمت مناطق شمال غربی ایران شده که در نهایت با ریزش بارش‌های جوی همراه می‌شود. بنابراین علی‌رغم تأثیر الگوهای پیوند از دور انسو و نوسان اطلس شمالی بر بارش‌های استان اردبیل، الگوی دریای شمال- خزر نیز نقش مهمی در بارش‌های پاییزه‌ی آن به‌ویژه در دشت مغان دارد. به‌منظور شناخت ارتباط بین بارش و الگوی دریای شمال- خزر و تعیین رابطه‌ی بین آنها، از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد که در این معادله، اگر داده‌های شاخص NCP و رطوبت نسبی وارد مدل شود، میزان بارش پاییزه در دشت مغان برآورد می‌گردد. بنابراین نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در اختیار کارشناسان علوم جوی قرار گرفته و در پیش‌بینی وقوع بارش‌های پاییزه استفاده شود.

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۴، شماره ۳۳، ص ۷۵-۹۰.
-سلیقه، م.، ناصرزاده، م.ح. و چهره آرا، ت.، ۱۳۹۵.
بررسی رابطه شاخص‌های NCPI و CACO با بارش‌های فراگیر پاییزه، سواحل خزر جنوبی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۶، شماره ۴۳، ص ۲۱۷-۲۳۸.
-صلاحی، ب. و بهروزی، م.، ۱۳۹۸. ارزیابی نوسانات دما و بارش آینده‌ی دشت اردبیل به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی تاریخ شروع کشت و طول دوره رشد گندم، فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، سال ۹، شماره ۴، ص ۲۷۷-۲۸۸.

خشکسالی و ترسالی می‌گردد. یکی از این الگوهای پیوند از دور، شاخص دریای شمال- خزر (NCP) است که ناشی از اختلاف تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در دریای شمال و دریای خزر محاسبه می‌گردد. این شاخص دارای دو فاز مثبت و منفی است که فاز مثبت آن موجب وقوع بارش‌های پاییزه و دوره ترسالی در ترکیه و ایران و فاز منفی آن موجب کاهش بارندگی پاییزه و دوره خشکسالی می‌گردد. پژوهش حاضر نیز در همین راستا انجام شد و نتایج نشان داد که در استان اردبیل بیشترین ارتباط بین بارندگی و شاخص NCP، در پارس آباد بوده و همبستگی مثبت و معناداری بین آنها بود، اما در دشت اردبیل، خلخال و مشگین‌شهر، رابطه‌ای بین آنها وجود نداشت. دلیل اصلی آن نیز می‌تواند تأثیر کوهستان سبلان و ارتفاعات اسالم بر بارش‌های استان اردبیل باشد. ولی دشت مغان که در منطقه‌ی مسطح قرار دارد و کوهستان سبلان و ارتفاعات تأثیری در اقلیم آن ندارند، تنها الگوهای پیوند از راه دور است که رژیم بارندگی آن را تعیین می‌کند و به‌همین دلیل است که ارتباط بارش‌های پاییزه‌ی آن با شاخص NCP مثبت و معنادار است.

منابع

-پژوه، ف.، ۱۳۹۶. الگوهای پیوند از دور و نقش آن در تغییرات اقلیمی ایران، چاپ اول، انتشارات آثار فکر، ۲۵۰ ص.
-دارند، م. و رحمانی، ه.، ۱۳۹۷. واکاوی نقش سیگنال‌های اقلیمی بر بارش استان کردستان، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال ۱۸، شماره ۶۳، ص ۲۴۹-۲۷۲.
-سبحانی، ب.، صلاحی، ب. و گل‌دوست، ا.، ۱۳۹۳. ارتباط شاخص اقلیمی NAO با مقادیر میانگین، حداکثر و حداقل دمای ماهانه شمال غرب ایران،

-قویدل رحیمی، ی.، فرج زاده اصل، م. و حاتمی زرنه، د.، ۱۳۹۴. تحلیل رابطه پیوند از دور بین الگوی دریای شمال - خزر و دماهای حداقل ایران، فصلنامه فضای جغرافیایی اهر، شماره ۵۲، ص ۱۳۷-۱۵۹.

-قویدل رحیمی، ی.، فرج زاده اصل، م. و کاکاپور، س.، ۱۳۹۳. بررسی اثر الگوی پیوند از دور دریای شمال - خزر بر نوسانات بارش‌های پاییزی مناطق غرب و شمال غرب ایران، نشریه جغرافیا و برنامه-ریزی، سال ۱۸، شماره ۴۹، ص ۲۱۷-۲۳۰.

-لکزشکور، ق.، روشن، غ.ر. و شاهکویی، ا.، ۱۳۹۷. واسنجی اثر الگوها و شاخص‌های پیوند از دور بر رخداد خشکسالی‌های استان گلستان، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال ۸، شماره ۲۹، ص ۱۰۷-۱۲۴.

-مرادی، ح.ر.، ۱۳۸۳. شاخص نوسانات اطلس شمالی و تأثیر آن بر اقلیم ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۸، ص ۱۷-۳۰.

-یوسفی، ی.، ۱۳۹۵. تغییرپذیری بارش و دوره‌های تر و خشک در بخش‌های جنوبی دریای خزر، پژوهش‌های دانش زمین، سال ۷، شماره ۲۵، ص ۱۶-۳۰.

-طولایی نژاد، م.، حجازی زاده، ز.، بساک، ع. و بزمی، ن.، ۱۳۹۷. اثرات نوسان اطلس شمالی بر ناهنجاری تراز میانی جو و بارش ایران (مطالعه موردی: غرب ایران)، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۸، شماره ۴۹، ص ۱۹-۳۵.

-علیجانی، ب.، جعفرپور، ز. و جانباز قبادی، غ.ر.، ۱۳۸۴. تحلیل خشکسالی‌های دوره سرد سواحل جنوبی دریای خزر، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال ۲، شماره ۷، ص ۱۱-۲۳.

-فرج‌زاده اصل، م.، احمدی، م.، علیجانی، ب.، قویدل رحیمی، ی.، مفیدی، ع. و بابائیان، ا.، ۱۳۹۲. بررسی وردایی الگوهای پیوند از دور و اثر آنها بر بارش ایران. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۱۵ و ۱۶، ص ۳۱-۴۵.

-فلاح‌زاده، م.، رضایی، پ.، اسلامیان، س. و عباسی، ع.ر.، ۱۳۹۷. تحلیل ارتباط الگوهای پیوند از دور با خشکسالی حوضه قره‌قوم با استفاده از مدل شبکه عصبی، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴۲، ص ۶۷-۸۰.

-قویدل رحیمی، ی.، حاتمی زرنه، د. و رضایی، م.، ۱۳۹۲. نقش الگوی پیوند از دور جو بالای دریای شمال - مازندران در تغییرات زمانی بارش سواحل جنوبی دریای خزر، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۳، شماره ۳۱، ص ۲۹-۴۶.

-Abolhasan, G. and Maryam, N., 2013. Case study: ENSO events, rainfall variability and the potential of SOI for the seasonal precipitation predictions in Iran.

-Araghi, A., Mousavi-Baygi, M., Adamowski, J. and Martinez, C., 2017. Association between three prominent climatic teleconnections and precipitation in Iran using wavelet coherence, *International Journal of Climatology*, v. 37(6), p. 2809-2830.

-Barcikowska, M.J., Kapnick, S.B., Krishnamurty, L., Russo, S., Cherchi, A.

and Folland, C.K., 2020. Changes in the future summer Mediterranean climate: contribution of teleconnections and local factors, *Earth System Dynamics*, v. 11(1), p. 161-181.

-Biabanaki, M., Eslamian, S.S., Koupai, J.A., Cañón, J., Boni, G. and Gheysari, M., 2014. A principal components/singular spectrum analysis approach to ENSO and PDO influences on rainfall in western Iran, *Hydrology Research*, v. 45(2), p. 250-262.

-Boers, N., Goswami, B., Rheinwalt, A., Bookhagen, B., Hoskins, B. and Kurths,

- J., 2019. Complex networks reveal global pattern of extreme-rainfall teleconnections, *Nature*, v. 566(7744), p. 373-377.
- Branstator, G., 2002. Circumglobal teleconnections, the jet stream waveguide, and the North Atlantic Oscillation, *Journal of Climate*, v. 15(14), p. 1893-1910.
- Brunetti, M. and Kutiel, H., 2011. The relevance of the North-Sea Caspian Pattern (NCP) in explaining temperature variability in Europe and the Mediterranean, *Natural Hazards & Earth System Sciences*, v. 11, p. 128-141.
- Carvalho, M.J., Milton, S.F. and Rodríguez, J.M., 2020. Assessment of the teleconnection patterns affecting July precipitation in China and their forcing mechanisms in the Met Office Unified Model, *Journal of Climate*, v. 33(13), p. 5727-5742.
- Feldstein, S.B., 2003. The dynamics of NAO teleconnection pattern growth and decay, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, v. 129(589), p. 901-924.
- Gokturk, O.M. and Karaca, M., 2006. influence of north sea-caspian pattern on the hydro climate of turkey. *geophysical research abstracts*.
- Gündüz, M. and Özsoy, E., 2005. Effects of the North Sea Caspian pattern on surface fluxes of Euro-Asian-Mediterranean seas, *Geophysical Research Letters*, v. 32, p. 1241-1262.
- Hossain, M.S., Hein, L., Rip, F.I. and Dearing, J.A., 2015. Integrating ecosystem services and climate change responses in coastal wetlands development plans for Bangladesh, *Mitigation and Adaptation strategies for global Change*, v. 20(2), p. 241-261.
- Kutiel, H., 2010. A review on the impact of the North Sea-Caspian Pattern (NCP) on temperature and precipitation regimes in the Middle East, In *Survival and Sustainability*, Springer, Berlin, Heidelberg, p. 1301-1312.
- Kutiel, H. and Benaroch, Y., 2002. North Sea-Caspian Pattern (NCP)-an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition, *Theoretical and Applied Climatology*, v. 71(1-2), p. 17-28.
- Kutiel, H. and Türkeş, M., 2005. New evidence for the role of the North Sea-Caspian Pattern on the temperature and precipitation regimes in continental central Turkey, *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, v. 87(4), p. 501-513.
- Molavi-Arabshahi, M., Arpe, K. and Leroy, S.A.G., 2016. Precipitation and temperature of the southwest Caspian Sea region during the last 55 years: Their trends and teleconnections with large-scale atmospheric phenomena, *International Journal of Climatology*, v. 36(5), p. 2156-2172.
- Nazemosadat, M.J. and Cordero, I., 2000. On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran, *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 20(1), p. 47-61.
- Sen, O.L., Unal, A., Bozkurt, D. and Kindap, T., 2011. Temporal changes in the Euphrates and Tigris discharges and teleconnections, *Environmental Research Letters*, v. 6(2), p. 24-39.
- Sezen, C. and Partal, T., 2019. The impacts of Arctic oscillation and the North Sea Caspian pattern on the temperature and precipitation regime in Turkey, *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 131(6), p. 1677-1696.
- Yang, X. and DelSole, T., 2012. Systematic comparison of ENSO teleconnection patterns between models

and observations, *Journal of climate*, v. 25(2), p. 425-446.
-Yetemen, O. and Yalcin, T., 2009. Climatic parameters and evaluation of energy consumption of the Afyon geothermal district heating system, Afyon, Turkey, *Renewable Energy*, v. 34(3), p. 706-710.

-Yousefi, S., Moradi, H., Boll, J. and Schönbrodt-Stitt, S., 2016. Effects of road construction on soil degradation and nutrient transport in Caspian Hyrcanian mixed forests. *Geoderma*, v. 284, p. 103-112.