

## Variation in the Spatial Factors Affecting Precipitation in Relation to the Decadal Changes of Annual Precipitation in Iran

Hossein Asakereh<sup>1\*</sup>, Seyed Abolfazl Masoodian<sup>2</sup>, Fatemeh Tarkarani<sup>3</sup>

1- Professor in Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(\*Corresponding Author Email: asakereh@znu.ac.ir)

2- Professor in Climatology, Department of Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran

3- Ph.D candidate in Climatology, Department of Geography, University of Zanjan, Zanjan, Iran

### Extended Abstract:

#### Introduction

Some mechanisms of climate change, particularly changes in precipitation, are the result of changes in local mechanisms, while some others are caused by the interaction of events on larger scales, e.g., regional, synoptic, hemispherical, or planetary scales. However, in all these changes, the reactions of spatial factors like geographical coordinates (latitude and longitude) and topographic features, including altitude, terrain slope, and terrain aspect, on a local scale can be a proper signal of large-scale changes. In particular, numerous studies have shown that spatial variations, as well as temporal variability of precipitation, are in relation with spatial coordinates (longitude and latitude) and topography (altitude, terrain slope, and terrain aspect). Nevertheless, the fact that the temporal variation of precipitation is in relation with the roles of spatial factors has been neglected.

Using the Artificial Neural Network (ANN) technique, the present study aimed to provide inferences about the decadal changes in the overt and covert links of spatial factors with the precipitation climatology of Iran. Thus, using the national network data (Asfazari), 3<sup>rd</sup> version, the spatial distributions of precipitation for the last four decades were compared based on spatial factors. Also, an attempt was made to show the decadal variation of precipitation in Iran in relation to spatial factors, which could serve as an index of climate change as an essential field of research on precipitation.

#### Data and Methodology

Two datasets were employed to conduct this investigation; the 3<sup>rd</sup> version of Asfazari Precipitation Dataset and the data of a Digital Elevation Model (DEM) related to Iran. The first dataset with the dimensions of 16801×205×167 and a resolution of 10 km was applied to study the temporal and spatial behaviors of precipitation within Iranian borders. The second dataset with a resolution of 10 km belonged to the US Geological Survey produced via ASTER satellite imagery with a global coverage.

Based on the two above-mentioned datasets, the following steps and methods were taken and adopted to conduct the current study:

- 1- The average precipitation for the whole period (1969-2015) was calculated and its spatial relationships were examined. To investigate the variability of decadal precipitation, the average precipitation for each decade up to the decade of 2006-2015 was measured. Thus, the first 6 years (1969-1975) did not fit into the study decades to provide a comparison. Accordingly, the spatial characteristics of precipitation in Iran during the four decades of 1976-1985, 1986-1995, 1996-2005, and 2006-2015 were studied.

2. Precipitation is considered as one of the elements, phenomena, and climatic processes, as well as an important indicator, in climate change tracking. One of the notable features of precipitation is its strong and often nonlinear relationship with geographical coordinates (latitude and longitude) and topographic factors (altitude, slope, and slope direction). There are several ways to study this relationship. In this regard, we can refer to regression methods, control methods, ANN methods, etc. In recent years, the use of regression techniques (for example, Singh et al., 1995; Glazin, 1997; Alijani, 1373; Ghayyur and Masoudian, 1375; Mojarad and Moradifar, 1382; Asakereh, 1384; Razi'i and Azizi, 1387) has been in focus.

Modeling the time series of climate like precipitation and chaotic spatial relationships of such nonlinear series are difficult and complex task due to atmospheric dynamics and its nonlinear relationships with spatial variables and since temporal change (variability) of precipitation in a continuous and chaotic system reflects a complex and nonlinear atmospheric behavior in the "geographical space". The spatial analysis showed that the relationships between precipitation and spatial factors had undergone a change on the tempo-spatial scale. Accordingly, complex algorithms, such as ANN methods, were more suitable for modeling these chaotic time series in a broad space like Iran.

To study the characteristics of precipitation in Iran and compare the spatial relationships of precipitation in the current research, the spatial distribution of precipitation on the decadal scale and the decadal variability of precipitation were first investigated. Based on the selected spatial-topographic factors in all 16203 cells on the map of Iran as the ANN inputs, a model could be extracted to better fit the data. In this paper, the precipitation in Iran was regarded as the target variable to be compared with the model outputs.

## **Results and discussion**

### **General characteristics of annual rainfall**

The spatial average of precipitation was about 250.5 mm. There was a very large spatial difference of precipitation in Iran. The spatial variability of precipitation was estimated based on geographic coordinates and topographic variables by using the ANN technique. Although the model's error rate (88809.3) was noticeable, the correlation coefficient (0.95) showed that the estimated spatial distribution pattern of precipitation and the spatial distribution of real precipitation were very similar (90%). The absolute values of the model's coefficients revealed that longitude, latitude, and altitude played the most important roles, respectively. The terrain aspect played the least important role in justifying precipitation.

### **Decadal changes of precipitation**

The average precipitation in the country demonstrated a significant decrease from 268.1 to 220.3 mm from the first to the fourth decade. Nonetheless, the second decade had experienced a relatively significant increase and thus disrupted the general downward trend. The average precipitation anomaly was negative in the last two decades as well. This was evidence of the impact of the decreasing trend of precipitation in all regions of the country. Consequently, in the last two decades, 76.1 and 81% of Iran's territory had received less precipitation than the long-term average precipitation between 1969 and 2015, respectively. The amounts of precipitation in the models fitted to each decade were compatible with the actual precipitation amounts. Therefore, the role of spatial factors in estimating rainfall had an acceptable capability.

### Decadal changes in the effects of spatial factors

Assessment of latitude coefficients revealed that both the pattern and coefficient values were corresponding to the first, third, and fourth decades. It seemed that the negative values of latitude increased towards the last decade. For the second decade, which was associated with a relative enhancement in rainfall, the coefficients were different from those of the other decades. In this decade, coefficient variability was higher than those of the other decades. The average longitude coefficients of 10 neurons for the four studied decades were 1.76, 29.35, 0.91, and -1.19, respectively. The average altitude coefficients of neurons for these decades were about -2.87, -7.3, 0.1, and 3.75, respectively. Also, the average slope coefficients for the decades were almost similar to those of the altitude pattern (-2.29, 29.91, 0.3, and -0.22, respectively). However, the degrees of influence (coefficient values) and their signs were highly different for these two factors. Finally, the average coefficients for slope for the mentioned decades were about -0.71, 31.18, 0.34, and -2.83, respectively.

### Conclusion

In this investigation, the diversity of spatial factors, such as geographical coordinates and topographic features, were found to have led to the spatial diversity of climatic elements like precipitation. In association with the temporal changes of precipitation, spatial factors played different roles in the process. Therefore, despite the relative stability of spatial factors, it could be inferred that these factors played different roles in the context of precipitation changes. To track the roles of geographical coordinates and topographic factors, i.e., altitude, terrain slope, and terrain aspect, in precipitation, the Artificial Neural Network (ANN) model was utilized. The research findings could be presented in two categories as follows:

**Keywords:** Iran, Artificial Neural Network (ANN), decadal variation, precipitation variability, spatial variable, topographic factor

### References

- Alpert, P., Neeman, B. U., and Shay-El, Y. (1990). "Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data". *TellusA*, 42, 65-77.
- Alpert, P., Osetinky, I., Ziv, B., & Shafir, H. (2004). "Semi-Objective Classification for Daily Synoptic System: Application to the Eastern Mediterranean Climate Change". *International journal of climatology*, 24:1001–101.
- Asakereh, H. (2004). Spatial change modeling of climate data (A case study: Annual precipitation of Esfahan province). *Geographical Research*, 19(374), 213-231.
- Asakereh, H. (2007). Spatio–Temporal Changes of Iran Inland Precipitation during Recent Decades. *Geography and Development Iranian Journal*, No. 10, pp. 145-164.
- Asakereh, H. (2008). Kriging Application in Climatic Element Interpolation (A Case Study: Iran Precipitation in 1996). *Geography and Development Iranian Journal*, No. 12, pp. 25-42.
- Asakereh, H. and Seifipour, Z. (2013). Spatial Modeling of Annual Precipitation in Iran. *Geography and Development*, 10(29), 6-9.
- Asakereh, H., Jahanbakhsh, S., & Ashrafi, S. (2019). *On the frequency changes of cyclones affecting precipitation in the Rood Zard basin, Iran*. *Arabian Journal of Geosciences*, 12. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4523-9>

- Bengtsson, L., Hodges, K. I., & Roeckner, E. (2006). "Storm Tracks and Climate Change". *Journal of Climate*, 19, 3518-3543.
- Blender, R. & Schubert, M. (1999). "*Cyclone Tracking in Different Spatial and Temporal Resolutions*". American Meteorological Society: 377-384.
- Flocas, H., Kouroutzoglou, j., Keay, K., & Simmonds, I. (2010). "*On Cyclonic Tracks over the Eastern Mediterranean*". *Journal of Climate*, Vol. 23, October 2010.
- Geng, Q. & Sugi, M. (2001). "Possible Change of Extratropical Cyclone Activity due to Enhanced Greenhouse Gases and Sulfate Aerosols—Study with a High-Resolution AGCM". *Journal of climate*, No. 16. 2262-2274.
- Glazirin, G. E. (1997). *Precipitation Distribution with Altitude*. Theoretical and applied climatology, Vol. 58, pp. 141-145.
- Goudi, A. (1992). *Environmental change*. Oxford University Press, 3<sup>rd</sup> edition.
- Lionello, P., Dalan, F., & Elvini, E. (2002). *Cyclones in the Mediterranean region: the present and the doubled co<sub>2</sub> climate scenarios*. CLIMATE RESEARCH, 147–159.
- Maduako, I. D., Yun, Z., & Patrick, B. (2016). Simulation and prediction of land surface temperature (LST) dynamics within Ikom City in Nigeria using artificial neural network (ANN). *Journal of Remote Sensing & GIS*, 5(1), 1-7.
- Singh, P., Ramasastri, K. S., & Kumar, N. (1995). *Topographical Influence on Precipitation Distribution in Different Ranges of Western Himalayas*. Nordic Hydrology, Vol. 26, pp. 259-284.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۲، پیاپی ۸۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، صص ۱۴۶-۱۲۹

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲۲

## تغییرپذیری نقش عوامل مکانی مؤثر بر بارش در ارتباط با تحولات دهه‌ای بارش سالانه ایران زمین

حسین عساکره\*، استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

asakereh@znu.ac.ir

سید ابوالفضل مسعودیان، استاد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

s.a.masoodian@geo.ui.ac.ir

فاطمه ترکارانی، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

f.tarkarani@yahoo.com

### چکیده


تنوع عوامل مکانی (نظیر موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافیک) موجب تنوع مکانی عناصر اقلیمی از جمله بارش را فراهم کرده است. همراه با تغییرات زمانی بارش، عوامل مکانی نقش‌های مختلفی ایفا می‌کنند؛ از این رو برخلاف ثبات نسبی عوامل مکانی، می‌توان استنباط کرد که این عوامل در بستر تغییرات بارش نقش‌های مختلف ایفا می‌کنند. به منظور ردیابی نقش عوامل مکانی نظیر موقعیت (مختصات جغرافیایی) و عوامل توپوگرافیک (ارتفاع، شیب و جهت شیب) در بارش، از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد از دهه اول (۱۳۵۵-۱۳۶۴) به سمت دهه چهارم (۱۳۸۵-۱۳۹۴) میانگین بارش کشور کاهش زیادی داشته است. در این میان دهه دوم (۱۳۶۵-۱۳۷۴) افزایش نسبتاً زیادی را تجربه و روند عمومی کاهش را مختل کرده است. میزان بارش حاصل از مدل‌های برازش یافته در هر یک از دهه‌ها، الگوی تغییرات زمانی مکانی بارش واقعی را به خوبی بازتاب می‌دهد و توجیه می‌کند. براساس یافته‌های الگوی برازش یافته مشخص شد نقش بعضی از متغیرهای موقعیت جغرافیایی و عوامل توپوگرافیک از دهه‌ای به دهه دیگر بسیار تغییرپذیر بوده است و بعضی از متغیرها نقش‌های نسبتاً ثابتی داشته‌اند. این امر گواهی بر این واقعیت است که تغییر کاهنده اثر یک متغیر با تغییر فزاینده اثر متغیرهای دیگر جبران می‌شود و نیز متناسب با تغییرات دهه‌ای بارش شکل می‌گیرد. در این میان نقش عرض جغرافیایی تغییرات زیادی داشته است. بیشترین و کمترین نقش این متغیر به ترتیب در دهه اول و دوم بوده است. در دو دهه انتهایی، تغییر همزمان نقش عرض جغرافیایی با تغییر میزان میانگین بارش بسیار چشمگیرتر از دو دهه دیگر است. این واقعیت را می‌توان به تغییراتی نسبت داد که در مسیر چرخندها رخ داده است. این تغییر مسیر چرخندها در مطالعات پیشین بررسی و تأیید شده است؛ علاوه بر این افزایش بارندگی در دهه دوم با ضریب‌های متفاوت از دهه‌های دیگر، نقش منحصر به فرد عوامل مکانی - توپوگرافیک را در دوره‌های پربارش و کم‌بارش نشان می‌دهد.


واژه‌های کلیدی: ایران، شبکه عصبی مصنوعی، وردایی دهه‌ای، تغییرپذیری بارش، متغیرهای مکانی، عوامل توپوگرافیک

\*نویسنده مسئول

2252- 0910/ © 2021 The Authors. Published by University of Isfahan

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

 <http://dx.doi.org/10.22108/gep.2021.127032.1395>

 [20.1001.1.20085362.1400.32.3.6.1](https://doi.org/10.22108/gep.2021.127032.1395)



## مقدمه

بعضی سازوکارهای تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات حاکم بر بارش حاصل تغییر سازوکارهای محلی و بعضی حاصل برهم‌کنش رویدادهایی در مقیاس‌های بزرگ‌تر (مثلاً مقیاس‌های منطقه‌ای، همدید، نیمکره‌ای یا سیاره‌ای) است (Goudi, 1992: 102)؛ اما در تمامی این تغییرات، واکنش عوامل مکانی در مقیاس‌های محلی (نظیر مختصات جغرافیایی شامل طول و عرض جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافیک شامل ارتفاع، میزان و جهت شیب) بازتاب مناسبی از تغییرات کلان به شمار می‌آید؛ به‌ویژه اینکه در پژوهش‌های بی‌شماری (Singh et al., 1995: 259-284؛ Glazirin, 1997: 141-145؛ غیور و مسعودیان، ۱۳۷۵: ۲-۶۰؛ مجرد و مرادی‌فر، ۱۳۸۲: ۱۶۳-۱۸۲؛ عساکره، ۱۳۸۳: ۲۱۳-۲۳۱؛ عساکره، ۱۳۸۶: ۱۴۵-۱۶۴؛ عساکره و سیفی‌پور، ۱۳۹۱: ۱۵-۳۰؛ علیجانی، ۱۳۹۵: ۱۲۶-۱۲۸) نشان داده شده است که تغییرات مکانی و نیز وردایی زمانی بارش، تابعی از مختصات مکانی (طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی) و توپوگرافی (ارتفاع، جهت و میزان شیب دامنه‌ها) است؛ با وجود این از این واقعیت غفلت شده است که تا چه حد تغییرات زمانی بارش در نقش متغیرهای مکانی بازتاب می‌یابد.

پژوهش حاضر با به‌کارگیری شگرد شبکه عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۱</sup> از روی تظاهرات معینی (تغییرات مکانی بارش)، درباره تغییرات دهه‌ای پیوندهای آشکار و نهان عوامل مکانی با اقلیم بارشی ایران استنباط‌هایی ارائه کرده است؛ بدین ترتیب با استفاده از داده‌های شبکه‌ای ملی (اسفزاری) نسخه سوم، توزیع مکانی بارش برای چهار دهه اخیر و براساس متغیرهای مکانی مقایسه شد؛ بنابراین در پژوهش حاضر تلاش می‌شود وردایی دهه‌ای بارش در ارتباط با نقش عوامل مکانی و به‌مثابه نمود و نمایه‌ای از تغییرات اقلیمی و نیز یکی از زمینه‌های پژوهشی ضروری درباره بارش‌های ایران در مرکز توجه قرار گیرد؛ بدین ترتیب تغییرات دهه‌به‌دهه بارش و میزان تأثیر این عوامل مکانی بر تغییرات بارش مدنظر قرار خواهد گرفت.

## داده‌ها و روش‌ها

برای انجام این پژوهش از دو گروه پایگاه داده‌ای استفاده شد؛ پایگاه نخست، نسخه سوم پایگاه داده اسفزاری بارش است. پایگاه دوم، داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM)<sup>۲</sup> مربوط به ایران است.

پایگاه داده‌ای اسفزاری نسخه سوم حاصل میان‌یابی داده‌های بارش روزانه ۲۱۸۸ ایستگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی سازمان هواشناسی از ۱۳۴۹/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۴/۱۲/۲۹ به مدت ۱۶۸۰۱ روز و با تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر است (مسعودیان، ۱۳۹۸: ۱۴-۱۹). توزیع مکانی ایستگاه‌های استفاده‌شده در شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به مشخصات کارتوگرافیک سیستم تصویر استفاده‌شده در این روش میان‌یابی (لامبرت مخروطی هم‌شکل) و با توجه به مختصات جغرافیایی ایران (بین مدار ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی) براساس بیضوی مرجع

1. Artificial Neural Network

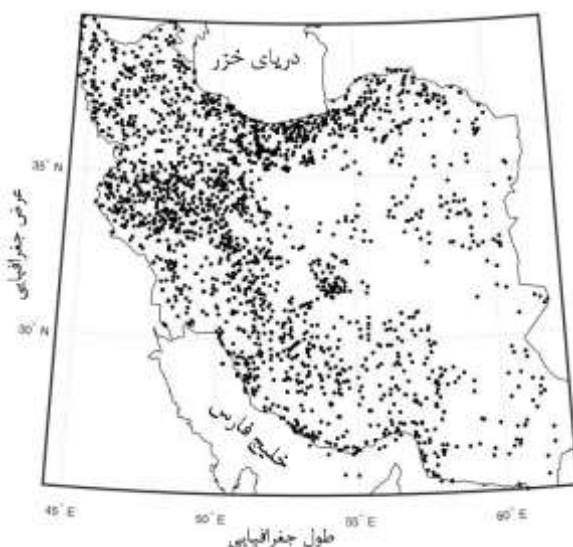
2. Digital Elevation Model

(WGS84) و تفکیک مکانی، ده کیلومتر شبکه جغرافیایی پایگاه داده به ابعاد  $167 \times 205$  به دست آمد. تعداد کل یاخته‌های درون این شبکه ۳۴۲۳۵ است که ۱۶۲۰۳ از آنها در درون مرزهای خاک اصلی ایران جا می‌گیرد. از سوی دیگر با توجه به زمان آغاز و پایان پایگاه داده که بر ۱۶۸۰۱ روز مشتمل است، ابعاد نهایی پایگاه داده  $167 \times 205 \times 16801$  خواهد بود. به کمک این پایگاه داده می‌توان رفتار زمانی و مکانی بارش را در درون مرزهای ایران زمین بررسی کرد.

داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۱۰ متری به سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا مربوط است که از تصاویر ماهواره‌ای Astet برای پوشش جهانی در دسترس است. این داده‌ها از آدرس زیر در دسترس است:

[https://earthexplorer.usgs.gov/fgdc/4220/ASTGDENV20\\_0S37E175](https://earthexplorer.usgs.gov/fgdc/4220/ASTGDENV20_0S37E175)

برای محاسبه متغیرهای مکانی متناظر با یاخته‌های نقشه بارش، داده‌های ارتفاعی با توان تفکیک ۱۰ کیلومتر ایجاد شد.



شکل ۱. توزیع مکانی ایستگاههای استفاده‌شده در ایجاد پایگاه داده‌ای بارش اسفزاری نسخه سوم (مسعودیان، ۱۳۹۸)

Figure 1. Spatial distribution of station used in third version of Asfazari dataset

براساس دو گروه داده یادشده در بالا برای انجام پژوهش حاضر مراحل و روش‌های زیر انجام شد:

- ابتدا میانگین بارش برای کل دوره (۱۳۴۹-۱۳۹۴) محاسبه و روابط مکانی برای این دوره بررسی شد. به منظور بررسی وردایی دهه‌ای بارش، میانگین بارش دهه‌های منتهی به دهه ۱۳۸۵-۱۳۹۴ محاسبه شد. بدین ترتیب ۶ ساله اول (۱۳۴۹-۱۳۵۴) در بررسی، مقایسه و مطالعه دهه‌ها جای نگرفت؛ بنابراین ویژگی‌های مکانی بارش ایران طی چهار دوره ده‌ساله (۱۳۵۵-۱۳۶۴، ۱۳۶۵-۱۳۷۴، ۱۳۷۵-۱۳۸۴ و ۱۳۸۵-۱۳۹۴) بررسی و مطالعه شد.
- بارش یکی از عناصر، پدیده‌ها و فرایندهای اقلیمی و نمایه‌ای مهم در ردیابی تغییر اقلیم به شمار می‌رود. یکی از ویژگی‌های قابل تأمل بارش، رابطه قوی و غالباً غیرخطی با مختصات جغرافیایی (طول و عرض جغرافیایی) و

عوامل توپوگرافیک (ارتفاع، شیب و جهت شیب) است. روش‌های بی‌شماری برای مطالعه این رابطه وجود دارد. در این زمینه می‌توان به روش‌های رگرسیونی، روش‌های کنترل، روش‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی و... اشاره کرد. طی چند ساله اخیر استفاده از شگردهای رگرسیونی (برای نمونه در پژوهش علیجانی، ۱۳۹۵: ۱۲۱-۱۲۴؛ غیور و مسعودیان، ۱۳۷۵: ۲-۶۰؛ مجرد و مرادی‌فر، ۱۳۸۲: ۱۶۳-۱۸۲؛ عساکره، ۱۳۸۶: ۱۴۵-۱۶۴؛ Singh et al., 1995: 259-284؛ Glazirin, 1997: 141-145) رایج‌ترین روش‌ها بوده است.

مدل‌سازی سری‌های زمانی اقلیمی نظیر بارش و روابط آشوبناک مکانی این سری‌های غیرخطی به دلیل دینامیک جو و روابط غیرخطی آن با متغیرهای مکانی، کاری بسیار دشوار و پیچیده است؛ زیرا تغییر (پذیری) زمانی بارش در دستگاه پیوسته و آشوبناک جو، رفتاری پیچیده و غیرخطی را در «فضای جغرافیایی» بازتاب می‌دهد؛ به طوری که تحلیل‌های مکانی نشان داده است روابط این عنصر با مختصات جغرافیایی و عوامل توپوگرافیک نیز دچار تغییر (پذیری) می‌شود؛ از این رو الگوریتم‌های مدل‌سازی رایج (نظیر رگرسیون‌های خطی، غیرخطی، منطقی و...) اگرچه از قابلیت‌های زیادی برخوردارند (Maduako, 2016: 1-7)، توانایی دقیق و کاملی در بیان ویژگی‌های زمانی مکانی فرم و فرایندهای غیرخطی (نظیر بارش) ندارند؛ از این رو ابزارهای مفید، ابزارهایی خواهند بود که به شکل واضح‌تری پیچیدگی‌های حاکم بر الگوها و روابط زمانی مکانی را بازتاب دهند. از این میان، روش‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN) برای مدل‌سازی فرایندهای اساسی به‌خوبی شناخته‌نشده مناسب هستند (پیری صحراگرد و همکاران، ۱۳۹۵: ۲).

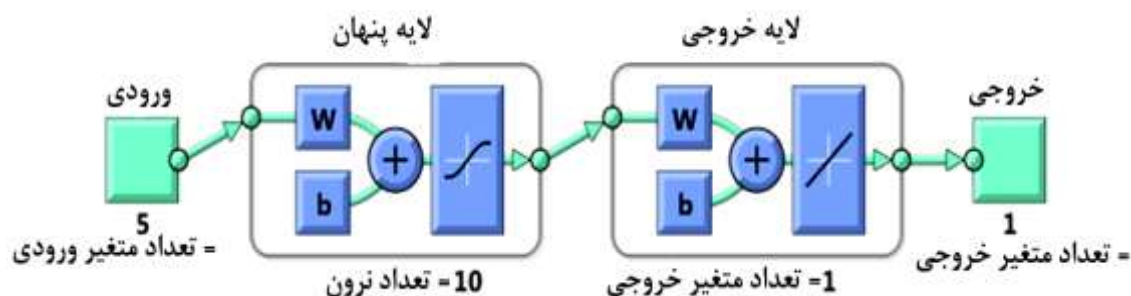
اگر هر یک از اجزای تحریک‌پذیر آب‌وهوا را یک نرون<sup>۱</sup> تلقی کنیم و نیز عوامل مؤثر بر هر یک از این اجزا را یک محرک بیرونی در نظر بگیریم، آنگاه دستگاه اقلیم را می‌توان یک پیکره زنده تجسم و تصور کرد که قوانین حاکم بر دستگاه عصبی موجود زنده بر آن روا خواهد بود؛ بنابراین کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در آب و هواشناسی به منظور شناخت محرک‌های آب‌وهوایی، تأثیر آنها بر عناصر، پدیده‌ها و رویدادهای آب‌وهوایی در جهت الگوسازی و شبیه‌سازی آنهاست؛ از این رو شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه الگوسازی خطی و غیرخطی، پویا و ایستای رفتار عناصر، پدیده‌ها و فرایندهای آب‌وهوایی کاربرد فراوان دارند. در این زمینه می‌توان از الگوسازی و شبیه‌سازی عوامل مؤثر بر انواع دگرگونی‌های زمانی (روند، چرخه، افت و خیز و...) و تنوع مکانی و نیز ردیابی و تشخیص نقاط عطف در مشاهدات آب‌وهوایی، پیش‌بینی ترتیب، شدت، دوام و فراوانی رویدادها و همچنین الگوسازی پویا از فرایندها، عناصر، رویدادها و مخاطرات آب‌وهوایی و نیز تیپ‌بندی و طبقه‌بندی زمانی مکانی مشاهدات آب‌وهوایی یاد کرد. در

۱. نرون (Neuron) واژه‌ای یونانی به معنی سلول عصبی است. نرون واحد اساسی دستگاه عصبی به‌ویژه مغز و یک ترکیب بیوشیمی پیچیده و عامل اساسی واکاوی نشانگرهای (سیگنال‌های) الکتریکی است. مجموعه شبکه (به هم پیوسته و پیچیده) عصبی در بدن انسان از شمار بسیاری نرون عصبی زنده تشکیل شده است که خود با واسطه نرون‌ها به هم وصل هستند. در واقع نرون‌ها ساختاری از بافت‌ها و فعل و انفعالات شیمیایی دارند. وظیفه نرون‌ها، انتقال پیغام از محرک‌های درونی یا بیرونی به مغز انسان است. بعضی از ساختارهای عصبی (نرون‌ها) از همان ابتدای تولد تعریف می‌شوند و بعضی دیگر در طول زندگی با کسب تجربیات و با فرایند یادگیری شکل می‌گیرند، توسعه می‌یابند و وظایف خود را انجام می‌دهند. در شبکه‌های عصبی مصنوعی، گره‌هایی بین شبکه‌ها وجود دارد که درحقیقت مدلی محاسباتی از نرون‌های عصبی واقعی انسان است.



این زمینه‌ها برای نمونه پژوهش‌های فلاح قالهری و همکاران (۱۳۸۸)، خوشحال دستجردی و حسینی (۱۳۸۹)، مهدوی و همکاران (۱۳۹۰)، عزیزی و منتظری (۱۳۹۴)، عساکره و حسامی (۱۳۹۸) و خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۹) را ببینید. شناخت حاصل از این مدل‌ها، تصویر ذهنی قابل قبولی را از توزیع مکانی تغییرات احتمالی آینده و تجسم پاسخ‌های احتمالی بارش به آن تغییرات ارائه می‌کند و راهگشای برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مبتنی بر دانسته‌های اقلیمی است. بدین ترتیب شبکه‌های عصبی مصنوعی، ابزار بسیار مناسبی برای برآزش توابع و تشخیص الگوهاست. هنگامی که هدف، برقراری ارتباط و تخمین یک مجموعه عددی (در اینجا برای نمونه بارش به‌عنوان بردار هدف) از یک مجموعه ورودی (در اینجا مختصات جغرافیایی - متغیرهای توپوگرافیک) است، رویکرد برآزش منحنی (الگوسازی) در این مدل‌ها مدنظر قرار می‌گیرد (کوثری و اسماعیل‌زاده، ۱۳۹۵: ۲۵۵).

در پژوهش حاضر به‌منظور بررسی ویژگی‌ها و مقایسه روابط مکانی بارش و تعبیر و تفسیر آنها، نخست توزیع مکانی بارش برای کل دوره ۱۳۴۹-۱۳۹۴ و نیز در مقیاس دهه‌ای بررسی و وردایی دهه‌ای بارش واریسی شد. با کمک شبکه عصبی مصنوعی و وزن‌های مربوط به نرون‌های بارش، مدل مبتنی بر متغیرهای مکانی - توپوگرافیک بر بارش برآزش یافت. براساس الگوی ارائه‌شده در شکل ۲، متغیرهای مکانی منتخب (شامل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب و جهت شیب) در تمامی یاخته‌های روی نقشه ایران (۱۶۲۰۳ یاخته) به‌عنوان ورودی هوشمند شبکه عصبی مصنوعی، به شبکه عصبی وارد شدند تا بتوان مناسب‌ترین معماری، آموزش، برآورد و درنهایت خروجی را برای هر یاخته به دست آورد. در این نوشتار بارش ایران، متغیر هدف برای مقایسه با خروجی‌ها در نظر گرفته شد.



شکل ۲. معماری شبکه عصبی مصنوعی به‌کاررفته در پژوهش حاضر

Figure 2. The artificial neural network architecture used in the present study

بسیاری از شبکه‌های عصبی که در آب‌وهواشناسی به کار رفته‌اند (برای نمونه عساکره و صیادی، ۱۳۹۵؛ عساکره و مطلبی‌زاده، ۱۳۹۶؛ عساکره و حسامی، ۱۳۹۸) یک لایه ورودی و یک لایه خروجی دارند که در آن فعال‌سازی هر واحد برابر با نشان‌گر ورودی بیرونی آن لایه است. شبکه‌های عصبی با توابع سیگموئید در لایه اول و تابع خطی در لایه دوم می‌توانند هر تابع خطی دلخواه و بسیاری توابع غیرخطی را با تعداد محدود نقاط ناپیوستگی تخمین بزنند. براساس اصل امساک<sup>۱</sup> تلاش شد شبکه مدنظر با کمترین شمار لایه و نرون طراحی شود؛ زیرا با زیاد شدن فراسنج‌های

۱. براساس اصل امساک (Law of Parsimony)، ساده‌ترین توضیحی که قادر به توضیح اطلاعات علمی دردسترس است، بر سایر توضیحات پیچیده‌تر برتری دارد؛ به بیان دیگر در میان مدل‌های متعدد با توان توجیه یکسان، آن مدل که کمترین پیش‌فرض‌ها و پیچیدگی را دارد، بر دیگر مدل‌ها

طراحی، تعبیر و تفسیر شبکه و نیز محاسبات مربوط بسیار دشوار به نظر خواهد رسید. براساس روش‌های آزمون و خطا در طول اجرا، آموزش و اتصالات بین نرون‌ها بهینه شده است تا خطای حاصل کمینه شود. به منظور آزمون شبکه از دو ملاک «ضریب همبستگی» بین بردار هدف و خروجی مدل‌سازی شده و «میانگین مربعات خطا (MSE)»<sup>۱</sup> استفاده شد. بیشینه ضریب همبستگی و کمینه میانگین مربعات خطا بیان‌کننده آموزش مناسب شبکه است.

در نهایت پس از آموزش<sup>۲</sup> (با استفاده از الگوریتم آموزش شبکه لونیگ-مارکواردت<sup>۳</sup>)، نتایج مناسب آزمون و تثبیت معماری و ساختار شبکه، معماری شبکه با یک لایه پنهان شامل ۱۰ نرون و تابع انتقال سیگموئید اختیار شد (شکل ۲). یک لایه خروجی نیز با یک متغیر و یک تابع خطی (همانی) انتخاب شد. خروجی حاصل از این مدل، نزدیک‌ترین مقادیر به مشاهدات بارش ایران بوده است. تمام مراحل ساخت شبکه عصبی شامل انتخاب تعداد نرون‌ها و لایه‌های پنهانی، وزن‌دهی، تعیین تابع شبکه‌ای، تقسیم داده‌ها، آموزش، راستی‌آزمایی و آزمون مدل اجرا شد. شایان یادآوری است که در تمام این روش‌ها در مرحله تقسیم داده‌ها، ۷۰ درصد از کل ورودی‌ها (۱۱۳۴۳) یاخته نقشه) برای آموزش، ۱۵ درصد برای راستی‌آزمایی (۲۴۳۰ یاخته نقشه) و ۱۵ درصد به منظور آزمون مدل (۲۴۳۰ یاخته نقشه) در نظر گرفته شده‌اند.

## یافته‌های پژوهش

### ویژگی‌های عمومی بارش سالیانه

شکل ۳. الف توزیع مکانی متوسط بارش سالیانه ایران را برای دوره ۱۳۴۹-۱۳۹۴ نشان می‌دهد. میانگین مکانی بارش حدود ۲۵۰/۵ میلی‌متر است. انحراف معیار مکانی بارش نیز حدود ۱۷۰/۵ میلی‌متر است؛ یعنی تفاوت‌های

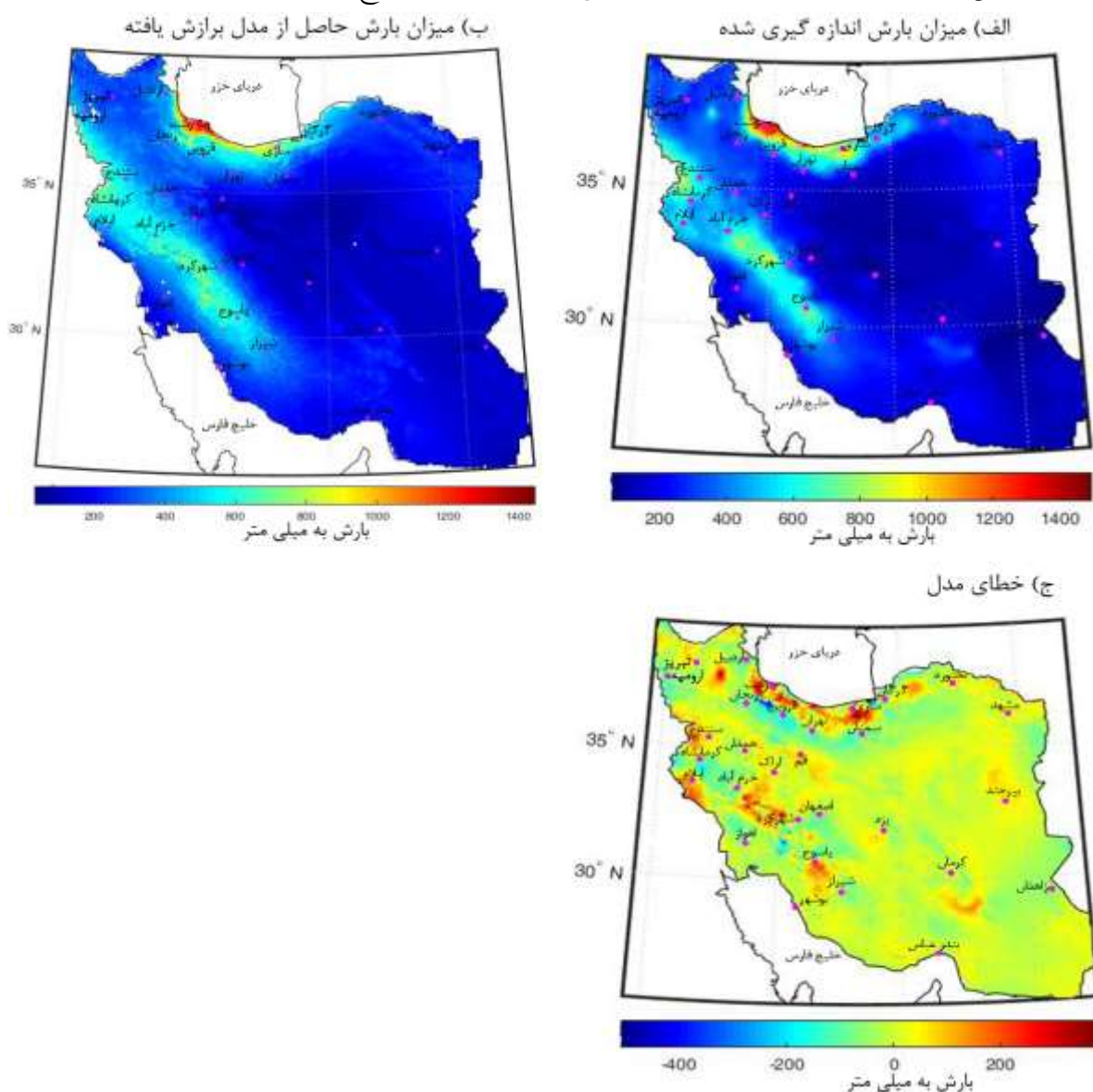
ارجح است.

### 1. Mean Squared Error

۲. یادگیری (آموزش) به معنای آغاز برقراری یک ارتباط جدید بین نرون‌ها یا تغییر ارتباط موجود است. در واقع یادگیری عبارت از ایجاد اتصالات‌های جدید یا قطع کردن بعضی اتصالات قدیمی است. قابلیت یادگیری نحوه انجام وظایف بر پایه اطلاعات داده شده برای تمرین و تجربه‌های مقدماتی از برتری‌های شبکه عصبی مصنوعی است. مزیت اصلی استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، قابلیت فوق‌العاده شبکه عصبی در یادگیری و نیز پایداری شبکه عصبی در مقابل اغتشاشات است. محاسبات شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند به صورت موازی انجام شود. در شبکه عصبی مصنوعی ورودی به شکل اعداد حقیقی تعریف می‌شود. تنوع بسیار زیادی (به لحاظ میزان و علامت وزن‌های یک شبکه عصبی به عنوان انتقال‌دهنده خروجی و به لحاظ توابع آستانه‌گذاری نظیر *sigmoid*, *arctan*, *arcsin*، تعداد گره‌های ورودی و...) وجود دارد. به این دلیل شبکه با استفاده از قواعد و داده‌ها آموزش داده می‌شود و با استفاده از قابلیت یادگیری شبکه، الگوریتم‌های متنوعی پیشنهاد می‌شود که همگی سعی در نزدیک کردن خروجی تولید شده با شبکه به خروجی ایدئال و مورد انتظار دارند. این کار با واسطه فرایندی با نام تنظیم وزن انجام می‌شود. تنظیم وزن به معنی انتخاب کارآمدترین شیوه آموزش و تلفیق آن با مناسب‌ترین شبکه عصبی است. به طور کلی آموزش فرایندی است که پس از تعدیل مناسب فرانسج‌های شبکه پاسخ مطلوب را ارائه دهد. در واقع شبکه در فرایند آموزش، فرانسج‌های خود (یعنی وزن‌های سیناپسی) را در پاسخ به ورودی محرک تعدیل می‌کند؛ به نحوی که خروجی واقعی شبکه به خروجی مطلوب همگرا شود. هنگامی که خروجی واقعی همان خروجی مطلوب شود، آموزش شبکه خاتمه می‌یابد و به اصطلاح شبکه دانش را فراگرفته است. در شبکه‌های عصبی مصنوعی قوانین آموزش به شکل ریاضی بیان می‌شود که به «معادلات آموزش» موسوم‌اند. معادلات آموزش، شیوه فراگیری شبکه (نحوه تبدیل وزن‌ها) را بیان می‌دارد که برای هر شبکه منحصر به فرد است.

### 3. Train Network Algorithm Levenberg - Marquardt

مکانی بارش ایران بسیار زیاد است. در کشور ایران روند عمومی کاهش میزان بارندگی از غرب به شرق و شمال به جنوب است؛ همچنین تمرکز بارش بیشینه در دو ناحیه خزری و ستیغ‌های زاگرس از غرب تا جنوب غرب کشور است. کاهش بارندگی به سمت شرق کشور و آن هم به دلیل کاهش توان بارشی سامانه‌های باران‌زاست. ارتفاعات، قدرتمندترین عامل در توزیع مکانی بارش کشور به شمار می‌آید (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۵: ۲۷-۶۰؛ مسعودیان، ۱۳۹۸: ۱۰-۱۶؛ علیجانی، ۱۳۹۵: ۲۰-۲۳؛ عساکره و سیفی‌پور، ۱۳۹۱: ۱۵-۳۰). توجیه تنوع مکانی بارش براساس مجموع مختصات جغرافیایی - متغیرهای توپوگرافیک و با استفاده از شگرد شبکه عصبی مصنوعی برآورد شد. نتیجه این برآورد در شکل ۳. ب ارائه شده است. آماره‌های ارزیابی برای این مدل به شرح جدول ۱ است:



شکل ۳. الف. توزیع مکانی مجموع بارش سالیانه ایران، ب. مقادیر حاصل از برازش مدل شبکه عصبی مصنوعی و ج.

خطای مدل برای دوره ۱۳۴۹-۱۳۹۴

Figure 3. a. Spatial distribution of Iran annual precipitation, b. the fitted values and c. the error of

model for the period of 1970-2016

میزان خطای مدل جالب توجه است، اما از مقادیر ضریب همبستگی ارائه شده در جدول ۱ می‌توان استنباط کرد که الگوی توزیع مکانی بارش برآورد شده و بارش رخ داده بسیار شبیه به هم است. این شباهت حدود ۹۰ درصد (ضریب تعیین) و در سه ملاک (آموزش، ارزیابی و آزمون) قابل مشاهده است. بر مبنای شکل ۳، خطای بیش‌برآوردی در نواحی پرباران (ناحیه خزری، زاگرس، شمال غرب ایران و ارتفاعات کرمان) و خطای کم‌برآوردی در حاشیه‌های این نواحی و به‌طور پراکنده دیده می‌شود. با وجود این، عمده نواحی کشور با خطاهای کم مقدار قابل مشاهده هستند.

جدول ۱. آماره‌های نیکویی برآزش شبکه عصبی مصنوعی بارش حاصل از مختصات جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک

برای دوره ۱۳۹۴-۱۳۴۹

Table 1. Best fitting statistics of neural network of precipitation based on geographical coordinate and topographic factors for the period of 1970-2016

MSE	ضریب همبستگی		
	آزمون	ارزیابی	آموزش
۸۸۸۰۹/۳	۰/۹۵۱	۰/۹۴۷	۰/۹۵۱

ضرایب مربوط به نرون‌های هریک از متغیرهای ورودی در جدول ۲ ارائه شده است. قدر مطلق این ضرایب نقش هریک از متغیرها در نرون‌های ده‌گانه را در توجیه بارش نشان می‌دهد. علاوه بر قدر مطلق مقادیر، علامت آنها نیز جالب توجه است. می‌توان دید که بیشترین نقش را به ترتیب طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع دارند. کمترین نقش در توجیه بارش را جهت شیب داشته است. می‌دانیم و در بالا نیز اشاره شد که ارتفاعات نقش عمده‌ای در توزیع مکانی بارش کشور دارند، اما به دلیل تمرکز ارتفاعات در نواحی غربی و نیز شمالی کشور، تأثیر ارتفاعات در ضرایب به‌دست آمده که برای کل پهنه محاسبه شده است، جالب توجه به نظر نمی‌رسد. این نقش در ضرایب مربوط به طول جغرافیایی بازتاب یافته است.

جدول ۲. ضرایب مربوط به نرون‌های ده‌گانه مختصات جغرافیایی - متغیرهای توپوگرافیک مؤثر بر بارش

Table 2. The neuron's coefficients of geographic coordinate and topographic factors effecting precipitation

جهت شیب	شیب	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۰/۰۳	-۰/۰۵	۰/۶۱	-۳/۴۷	۱/۴۳
-۰/۱۶	-۲/۱۷	۰/۸۴	۵/۳۱	۱/۶۹
-۰/۰۳	۰/۰۰۴	-۰/۳۱	۲/۸۷	-۲/۰۸
-۰/۰۵	-۰/۸۱	۰/۲۸	۴/۵۱	۴/۳۸
-۰/۱۵	-۲/۳۴	۱/۰۲	۵/۳۱	۱/۴۴
۰/۰۳	۱/۰۱	-۰/۱۸	-۳/۸۲	-۵/۴
۰/۰۷	-۲/۷۹	۴/۲۷	۱/۲۹	-۴/۶۸
-۰/۰۳	۰/۰۸	-۱/۰۶	۴/۱۸	-۰/۶۷
-۰/۰۲	۳/۰۶	-۲/۶۲	۱/۹۲	۴/۴۳
-۰/۱۱	-۰/۳۶	-۲/۳۴	۱/۲۹	۰/۹۱

## تغییرات دهه‌ای بارش و مدل‌سازی آن

شکل ۴. الف توزیع مکانی بارش ایران زمین، ب. ناهنجاری بارش نسبت به دوره ۱۳۴۹-۱۳۹۴، ج. میزان بارش براساس مدل برازنده و نیز د. خطای مدل را برای چهار دهه بررسی شده نشان می‌دهد. مشخصات پهنه‌ای بعضی از این ویژگی‌ها در جدول ۳ ارائه شده‌است.

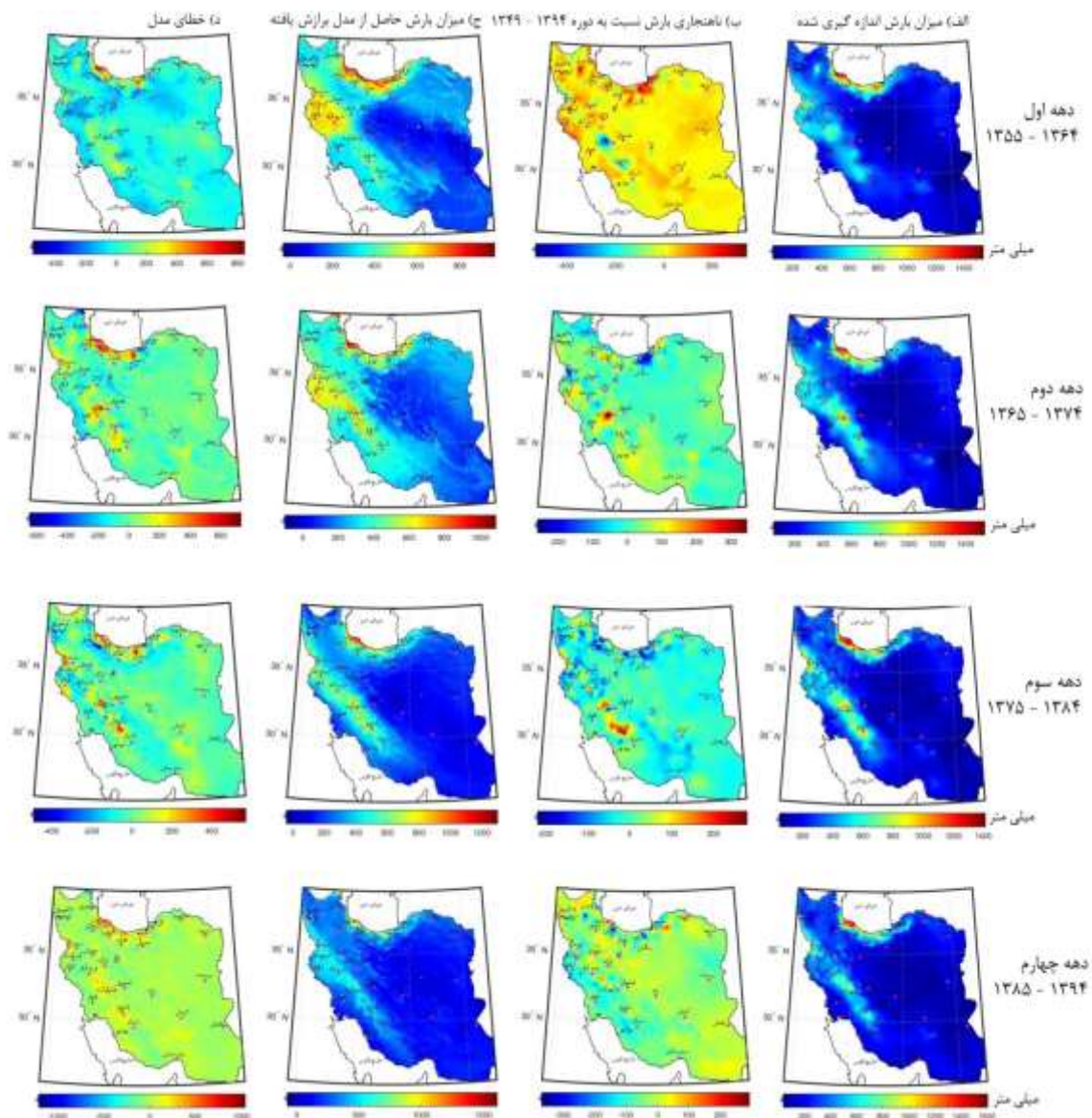
جدول ۳. ویژگی‌های آماری بارش، ناهنجاری بارش و همبستگی بارش واقعی - برآورد شده مربوط به شکل ۴

Table 3. Statistical features of precipitation, precipitation anomaly, and correlation coefficient of real precipitation- estimated precipitation for data of figure 4

ضریب همبستگی بارش و برآورد مدل	نسبت پهنه با ناهنجاری منفی	... ناهنجاری بارش		... بارش		
		انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
۰/۸۶۸	۲۰/۵	۴۲/۶	۱۷/۶	۱۷۲/۴	۲۶۸/۱	دهه اول ۱۳۵۵-۱۳۶۴
۰/۸۶۹	۲۲/۴	۳۸/۱	۲۱/۴	۱۸۰/۸	۲۷۱/۹	دهه دوم ۱۳۶۵-۱۳۷۴
۰/۹۱۳	۷۶/۱	۳۵/۴	-۱۳/۸	۱۷۷/۹	۲۳۶/۷	دهه سوم ۱۳۷۵-۱۳۸۴
۰/۸۸۹	۸۱	۴۰/۱	-۳۰/۲	۱۶۲/۲	۲۲۰/۳	دهه چهارم ۱۳۸۵-۱۳۹۴

از شکل ۴ و جدول ۳ می‌توان دریافت که از دهه اول (۱۳۵۵-۱۳۶۴) به سمت دهه چهارم (۱۳۸۵-۱۳۹۴) میانگین بارش کشور کاهش زیادی (از ۲۶۸/۱ به ۲۲۰/۳ میلی‌متر) داشته است. در این میان دهه دوم (۱۳۶۵-۱۳۷۴) افزایشی نسبتاً زیاد را تجربه و روند عمومی کاهشی را مختل کرده است. انحراف معیار مکانی بارش نشان می‌دهد با کاهش میانگین بارش، تباین مکانی بارش کاهش می‌یافته است. مقایسه این آماره و ناهنجاری بارش دهه‌ها (شکل ۴. ب) بر این واقعیت گواهی می‌دهد که کاهش میانگین بارندگی عمدتاً حاصل کاهش بارندگی در نواحی پربارش است. این ویژگی در پژوهش عساکره (۱۳۸۶) نیز مشاهده شده است. توجه کنید که در دو دهه انتهایی میانگین ناهنجاری بارش منفی بوده است. این امر گواهی بر تأثیرپذیری تمامی نواحی کشور (نواحی کم‌باران و پرباران) از روند کاهشی بارش است؛ به طوری که در دو دهه انتهایی به ترتیب ۷۶/۱ و ۸۱ درصد از پهنه ایران بارشی کمتر از متوسط بارش دوره ۱۳۴۹-۱۳۹۴ دریافت داشته است. این مقادیر در قیاس با دو دهه اول (به ترتیب ۲۰/۵ و ۲۲/۴ درصد) بسیار شایان تأمل و توجه است.

میزان بارش حاصل از مدل‌های برازش یافته در هر یک از دهه‌ها در شکل ۴. ج ارائه شده است. از این نقشه‌ها و نیز ضریب همبستگی بین این نقشه‌ها و نقشه‌های بارش واقعی (ستون آخر جدول ۳) می‌توان دریافت که تغییرات مکانی بارش با مدل برازش یافته از حداقل ۷۵٪ (برای دهه اول) تا حدود ۸۳٪ (برای دهه سوم) توجیه‌پذیر است. عموماً در دو دهه انتهایی که همزمان با کاهش بارش بوده، میزان همبستگی به‌طور نسبی افزایش داشته است؛ بنابراین نقش عوامل مکانی در برآورد بارش در دهه‌های انتهایی افزایش داشته است. در شکل ۴. د می‌توان دید که عمده خطاهای مدل در بخش‌های پربارش کشور (عمدتاً در ارتفاعات زاگرس و سواحل خزر) رخ می‌داده است.



شکل ۴. الف. توزیع مکانی بارش ایران زمین، ب. ناهنجاری بارش نسبت به دوره ۱۳۴۹-۱۳۹۴، ج. میزان بارش

براساس مدل برازنده و د. خطای مدل برای چهار دهه بررسی شده

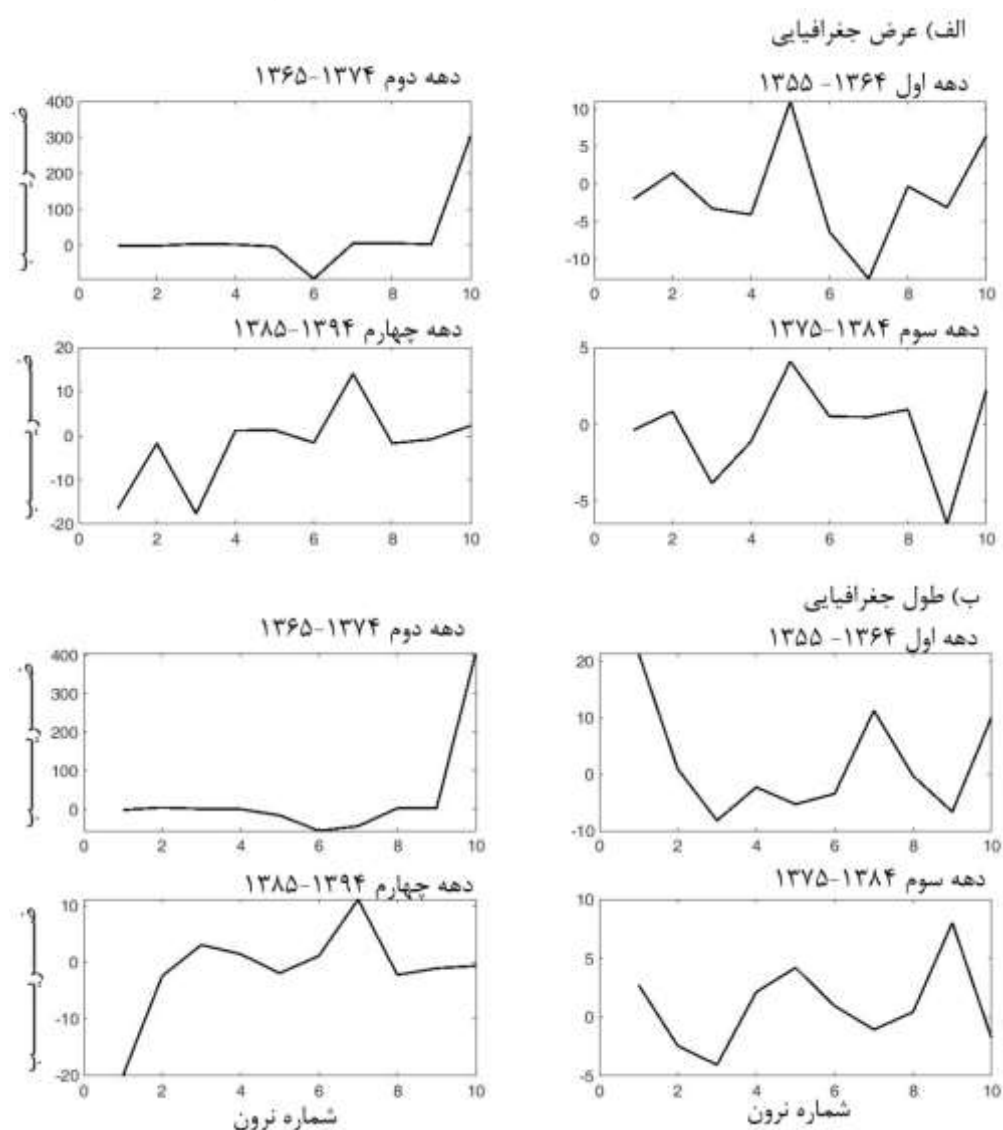
Figure 4. a. Spatial distribution of Iran precipitation, b. precipitation anomaly, c. model estimated precipitation, and d. the model error for the four under study period

### تغییرات دهه‌ای نقش عوامل مکانی

برای بررسی نقش مختصات جغرافیایی و عوامل توپوگرافی در دهه‌های مختلف و همزمان با وردایی بارش، شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. شکل ۵ تغییرات دهه‌ای ده نرون مربوط به ضرایب مختصات جغرافیایی (عرض و طول جغرافیایی) را نشان می‌دهد. شکل ۵ الف تغییرات ضرایب ده نرون مربوط به عرض جغرافیایی را برای چهار دهه بررسی شده نشان می‌دهد. می‌توان دید که هم الگو و هم مقادیر ضرایب برای سه دهه اول، سوم و چهارم مشابه بوده است. برای دهه اول، سوم و چهارم میانگین ضرایب به ترتیب تقریباً  $-۱/۳$ ،  $-۰/۳$  و  $-۲/۱$  بوده است. به نظر

می‌رسد نقش منفی عرض جغرافیایی به سمت دهه‌های انتهایی افزایش می‌یابد. برای دهه دوم که با افزایش نسبی بارش همراه بوده، ضرایب با ضرایب بقیه دهه‌ها متفاوت بوده است. در این دهه جز برای نرون ششم و دهم (به ترتیب با ضرایب  $۹۹/۷-$  و  $۳۰۴/۵$ )، کمترین ضریب  $۴/۲-$  و بیشترین آن حدود  $۵/۵$  بوده است. میانگین ضرایب نرون‌های عرض جغرافیایی حدود  $۲۲/۱$  بوده است. ضرایب این دهه با ضریب تغییرات زیادی مواجه بودند.

شکل ۵. ب نقش ضرایب طول جغرافیایی را در الگوی مکانی بارش ایران برای چهار دهه بررسی شده نشان می‌دهد. میانگین ضرایب ده نرون برای این عامل برای چهار دهه به ترتیب  $۱/۷۶$ ،  $۲۹/۳۵$ ،  $۰/۹۱$  و  $۱/۱۹-$  بوده است. رفتار تقریباً قرینه ضرایب دهه اول و دهه آخر به خوبی مشهود است، همچنان که نقش منحصربه‌فرد دهه دوم نمایان است؛ علاوه بر این قرینه‌بودن نسبی رفتار ضرایب برای ده نرون این دهه با دهه سوم نیز قابل مشاهده است.

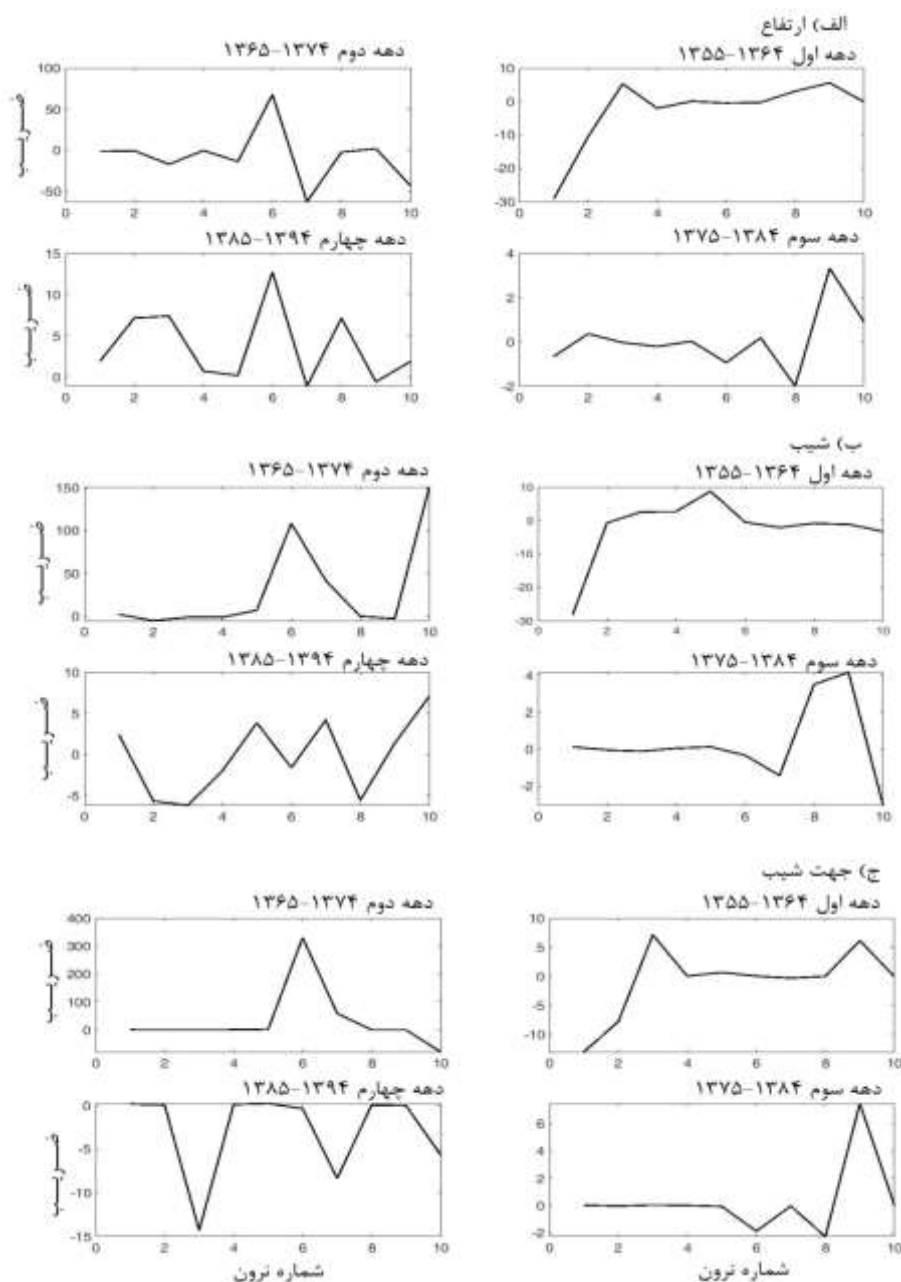


شکل ۵. ضرایب نرون‌های ده‌گانه مختصات جغرافیایی برای مدل‌های برازش‌یافته بر بارش چهار دهه بررسی شده

Figure 5. Neuron's coefficient of geographical coordinate for the fitted models on decadal precipitation



شکل ۶ تغییرات دهه‌ای ده نرون مربوط به ضرایب عوامل توپوگرافیک (ارتفاع، شیب و جهت شیب) را نشان می‌دهد.



شکل ۶. ضرایب نرون‌های ده‌گانه عوامل توپوگرافی برای مدل‌های برازش‌یافته بر بارش چهار دهه بررسی شده

Figure 6. Neuron's coefficient of topographic factors for the fitted models on decadal precipitation

شکل ۶ الف تغییر ضرایب نرون‌ها را برای چهار دهه مدنظر نشان می‌دهد. میانگین ضرایب نرون‌ها در چهار دهه به ترتیب حدود  $۲/۸۷$ ،  $-۷/۳$ ،  $۰/۱$  و  $۳/۷۵$  است. می‌توان دید که ضرایب دهه اول پس از یک جهش به ثبات نسبی رسیده است. این جهش موجب شده است ضرایب این دهه پس از دهه دوم، بیشترین تغییرات را متحمل شود. دهه دوم با بیشترین تغییرات و نیز بزرگ‌ترین قدر مطلق ضرایب (منفی) مشخص می‌شود. کمترین ضرایب و نیز نوسانات نرون به



نرون مربوط به دهه سوم است. دهه چهارم نیز پس از دهه سوم، کمترین ضرایب و کمترین تغییرپذیری را دارد. تغییرات دهه‌ای ضرایب نرون‌های ده‌گانه شیب در شکل ۶. ب ارائه شده است. میانگین چهار دهه به ترتیب ۲/۲۹-، ۲۹/۹۱، ۰/۳ و ۰/۲۲- است. می‌توان دید که بیشترین تغییرات ضرایب به ترتیب مربوط به دهه دوم، اول، چهارم و سوم است. الگوی تغییر ضرایب شیب تقریباً مشابه الگوهای ضرایب ارتفاع است. به نظر می‌رسد این دو عامل (ارتفاع و شیب) تغییرات بارش را به‌طور مشابه متأثر می‌سازند؛ با وجود این میزان تأثیرگذاری (مقدار ضرایب) و جهت آن (علامت) برای این دو عامل بسیار متفاوت است.

شکل ۶. ج تغییرات دهه‌ای ضرایب جهت شیب را برای نرون‌های ده‌گانه نشان می‌دهد. میانگین برای این چهار دهه به ترتیب حدود ۰/۷۱-، ۳۱/۱۸، ۰/۳۴ و ۲/۸۳- است. میزان تغییرات دهه دوم همچنان بیش از دهه‌های دیگر است و دهه اول در مرتبه بعد قرار دارد. دهه آخر مقام سوم را دارد؛ علاوه بر این می‌توان دید که عموماً (به‌جز در جهش‌های انجام‌شده در نرون‌ها) مقادیر حول صفر و نیز منفی بوده‌اند؛ بنابراین هرچند جهت شیب نقش زیادی در میزان بارش ندارد، متناسب با تغییرات بارش تغییر می‌یابد.

### نتیجه‌گیری

تنوع عوامل مکانی (نظیر موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافیک) موجبات تنوع مکانی عناصر اقلیمی از جمله بارش را فراهم کرده است. همزمان با تغییرات زمانی بارش، عوامل مکانی نقش‌های مختلفی ایفا می‌کنند؛ از این رو با وجود ثبات نسبی عوامل مکانی، می‌توان استنباط کرد که این عوامل در بستر تغییرات بارش، نقش‌های مختلف ایفا می‌کنند. به‌منظور ردیابی نقش موقعیت (مختصات جغرافیایی) - عوامل توپوگرافیک (ارتفاع، شیب و جهت شیب) در ارتباط با تغییرات بارش، از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. با هدف دستیابی به شبکه‌ای با معماری و ساختار مناسب به‌منظور مدل‌سازی فضایی بارش ایران، متغیرهای مکانی منتخب (طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، شیب و جهت شیب) به‌مثابه ورودی و بارش به‌مثابه بردار هدف، به شبکه معرفی و تمام مراحل ساخت یک شبکه عصبی شامل انتخاب تعداد نرون‌ها و لایه‌های پنهانی، وزن‌دهی، تعیین تابع شبکه‌ای، تقسیم داده‌ها، آموزش، راستی‌آزمایی و آزمون مدل اجرا شد. در تمام این روش‌ها در مرحله تقسیم داده‌ها، ۷۰ درصد از کل ورودی‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد برای راستی‌آزمایی و ۱۵ درصد به‌منظور آزمون مدل در نظر گرفته شدند؛ سپس خروجی حاصل (مقادیر مدل‌سازی‌شده) از هر روش براساس ضریب همبستگی، میانگین مربعات خطا مقایسه شدند. این عملیات برای کل دوره آماری و برای چهار دهه منتهی به ۱۳۸۵-۱۳۹۴ انجام شد.

یافته‌های پژوهش در دو گروه به شرح زیر ارائه شد:

۱. از دهه اول (۱۳۵۵-۱۳۶۴) به سمت دهه چهارم (۱۳۸۵-۱۳۹۴) میانگین بارش کشور کاهش یافته است؛ به طوری که در دو دهه انتهایی میانگین ناهنجاری بارش برای کل کشور منفی بوده است. در دو دهه انتهایی به ترتیب ۷۶/۱ و ۸۱ درصد از کشور بارشی کمتر از متوسط کل دوره دریافت داشته است. در این میان، دهه دوم (۱۳۶۵-۱۳۷۴) افزایشی نسبتاً زیاد را تجربه و روند عمومی کاهشی را مختل کرده است. تغییرات مکانی زمانی بارش با مدل

برازش‌یافته، تطبیق خوبی با تغییرات مکانی زمانی بارش واقعی داشته است.

۲. براساس مدل‌های برازش‌یافته معلوم شد نقش بعضی از متغیرهای موقعیت جغرافیایی - عوامل توپوگرافیک از دهه‌ای به دهه دیگر بسیار تغییرپذیر بوده است و بعضی از متغیرها به ندرت نقش‌های نسبتاً ثابتی داشته‌اند. این امر گواهی بر این واقعیت است که تغییر کاهنده اثر یک متغیر با تغییر فزاینده اثر متغیرهای دیگر جبران می‌شود و نیز متناسب با تغییرات دهه‌ای بارش شکل می‌گیرد. در این میان عرض جغرافیایی تغییرات شدیدی داشته است. بیشترین و کمترین نقش این متغیر به ترتیب در دهه اول و دوم بوده است. در دهه انتهایی، بزرگ‌ترین اثر را پس از دهه اول برای عرض جغرافیایی می‌توان مشاهده کرد؛ بنابراین در دو دهه انتهایی، نقش عرض جغرافیایی در میزان میانگین دهه‌ای بارش بسیار چشمگیرتر از دو دهه میانی است. این واقعیت را می‌توان به تغییرات رخ داده در مسیر چرخندها نسبت داد. این تغییر مسیر در مطالعات پیشین بررسی و تأیید شده است. در این زمینه برای نمونه آلپرت و همکاران<sup>۱</sup> (1990)، آلپرت و همکاران (2004)، بلندر و شابرث<sup>۲</sup> (1999)، بنگسون و همکاران<sup>۳</sup> (2006)، فلوکاس و همکاران<sup>۴</sup> (2010)، گنگ و ساگی<sup>۵</sup> (2001)، لیونلو و همکاران<sup>۶</sup> (2002) را ببینید. این تغییرات برای ایران نیز مطالعه و تأیید شده است. در این زمینه پژوهش‌های عساکره و همکاران<sup>۷</sup> (2019)، عساکره و خجسته (۱۴۰۰)، و جهانبخش و همکاران (۱۴۰۰) را ببینید.

دامنه تأثیرگذاری عمومی طول جغرافیایی طی چهار دهه بررسی شده کاهش داشته و نیز از نمایه‌ای مثبت به منفی تغییر یافته است. ضرایب مربوط به ارتفاع نیز متناسب با کاهش بارش کاهش می‌یابند؛ اما این رابطه خطی و کامل نیست. همچنین در دوره‌های پربارش، نقش این عامل عموماً با ضرایب منفی و در دوره‌های کم‌بارش به صورت مثبت نشان داده شده است. این قضیه را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که در دوره‌های پربارش نواحی کم‌ارتفاع نیز از بارش‌ها سهم دارند و ارتفاعات تباین شدیدی با نواحی کم‌ارتفاع ندارند؛ اما در دوره‌های کم‌بارش نواحی مرتفع اختلاف زیادی با نواحی کم‌ارتفاع نشان می‌دهند که با ضرایب مثبت رخنمون می‌یابند. به نظر می‌رسد دو عامل ارتفاع و شیب، تغییرات بارش را به طور مشابه، اما با میزان و جهت تأثیرگذاری (مقدار و علامت ضرایب) بسیار متفاوت متأثر می‌سازند. الگوی تغییر ضرایب شیب تقریباً مشابه الگوهای ضرایب ارتفاع است. به نظر می‌رسد این دو عامل (ارتفاع و شیب) تغییرات بارش را به طور مشابهی متأثر می‌سازند؛ با وجود این، میزان تأثیرگذاری (مقدار ضرایب) و جهت (علامت) این دو عامل بسیار متفاوت هستند؛ بنابراین جهت شیب هرچند نقش زیادی در میزان بارش ندارد، متناسب با تغییرات بارش تغییر می‌یابد.

سیاسگزار

1. Alpert et al.
2. Blender and Schubert
3. Bengtsson et al.
4. Flocas et al.
5. Geng and Sugi
6. Lionello and Elvini
7. Asakereh et al.

نگارندگان این مقاله از تمامی کسانی که به هر شکل در این پژوهش آنها را یاری کرده‌اند، سپاسگزارند؛ به‌ویژه قدردانی خود را از زحمات جناب آقای دکتر کوهزاد رئیس‌پور ابراز و اعلام می‌دارند.

## منابع

- پیری صحراگرد، حسین، پیری، جمشید، بهمنی، فاطمه، (۱۳۹۵). شبیه‌سازی دمای خاک در اعماق مختلف با استفاده از شبکه عصبی (ANN) و مدل شبکه استنتاج تطبیقی عصبی - فازی (ANFIS): منطقه موردی: ایستگاه سینوپتیک زابل، پنجمین همایش ملی علمی پژوهشی مدیریت جامع منابع آب، انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران، کرمان.
- جهانبخش، سعید، اشرفی، سعیده، عساکره، حسین، (۱۴۰۰). بررسی تغییرات دهه‌ای سامانه‌های باران‌زای مؤثر بر حوضه آبریز رود زرد، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۵، شماره ۷۵، ۱۱۲-۱۰۱.
- خورشیددوست، علی محمد، محمدپور، کاوه، حسینی، سید اسعد، (۱۳۹۹). مقایسه مدل‌های لاجیت و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی میزان مراجعه‌کنندگان بیماری آسم در ارتباط با پارامترهای اقلیمی شهر سنج، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۴، شماره ۷۱، ۶۶-۴۵.
- خوشحال دستجردی، جواد، حسینی، سید محمد، (۱۳۸۹). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی عناصر اقلیمی و پیش‌بینی سیکل خشکسالی؛ مطالعه موردی: استان اصفهان، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۱، شماره ۳۹، ۱۲۰-۱۰۷.
- عزیزی، حمیدرضا، منتظری، مجید، (۱۳۹۴). پیش‌بینی دمای ماهانه ایستگاههای همدید منتخب استان اصفهان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳، شماره ۳۰، ۲۵۸-۲۴۱.
- عساکره، حسین، (۱۳۸۳). مدل‌سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی؛ مطالعه موردی: بارش سالانه استان اصفهان، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۳، ۲۳۱-۲۱۳.
- عساکره، حسین، (۱۳۸۶). تغییرات زمانی و مکانی بارش ایران طی دهه‌های اخیر، جغرافیا و توسعه، دوره ۵، شماره ۱۰، ۱۶۴-۱۴۵.
- عساکره، حسین، سیفی‌پور، زهرا، (۱۳۹۱). مدل‌سازی مکانی بارش سالانه ایران، جغرافیا و توسعه، دوره ۱۰، شماره ۲۹، ۱۵-۳۰.
- عساکره، حسین، صیادی، فریبا، (۱۳۹۵). تحلیل و پیش‌بینی روزهای خشک با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی؛ مطالعه موردی: ایستگاه تهران، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۱، شماره ۶۰، ۱۶۷-۱۶۱.
- عساکره، حسین، مطلبی‌زاده، سلماز، (۱۳۹۶). مقایسه عملکرد دو مدل SDSM و شبکه‌های عصبی مصنوعی در

پیش‌بینی تغییرات دمای حداقل؛ ایستگاه موردی: ارومیه، نشریه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۲۱، شماره ۴، ۱۶۰-۱۴۰.

عساکره، حسین، حسامی، نرگس، (۱۳۹۸). ارزیابی کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و SDSM به‌منظور شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه ایستگاه اصفهان، کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، دوره ۶، شماره ۲، ۱۳۳-۱۵۸.

عساکره، حسین، خجسته، آتوسا، (۱۴۰۰). فراوانی ورود چرخندهای مدیترانه‌ای به ایران و اثر آنها بر بارش‌های فراگیر، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۲۷، ۱۷۶-۱۵۹.

علیجانی، بهلول، (۱۳۹۵). آب‌وهوای ایران، چاپ ۱۳، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.

غیور، حسنعلی، مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۷۵). بررسی نظام تغییرات مجموع بارش سالانه در ایران‌زمین، نشریه نیوار، دوره ۱۵، شماره ۲۹، ۶۰-۲.

فلاح‌قاله‌ری، غلامعباس، موسوی بایگی، سید محمد، حبیبی نوخندان، مجید، (۱۳۸۸). مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از کاربرد سیستم استنباط فازی ممدانی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی بارش فصلی؛ مطالعه موردی: منطقه خراسان، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۵، شماره ۲، ۵۲-۴۰.

کوثری، محمدرضا، اسماعیل‌زاده حسینی، میترا سادات، (۱۳۹۵)، *متلب در علوم محیطی*، پارک علم و فناوری یزد.

مجرد، فیروز، مرادی‌فر، حاجی‌مراد، (۱۳۸۲). مدل‌سازی رابطه بارش با ارتفاع در منطقه زاگرس، فصلنامه مدرس، دوره ۷، شماره ۲، ۱۶۳-۱۸۲.

مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۹۰). آب‌وهوای ایران، مشهد، چاپ اول، انتشارات شریعه توس.

مسعودیان، سید ابوالفضل، (۱۳۹۸). گزارش بارش‌های اسفند ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ حوضه‌های سیل‌زده ایران، هیئت ویژه گزارش ملی سیلاب، کارگروه اقلیم‌شناسی و هواشناسی، منتشر نشده.

مهدوی، سامره، رحیمی خوب، علی، منتظر، علی اصغر، (۱۳۹۰). مدل شبکه عصبی مصنوعی تبخیر ماهانه از تشت با استفاده از داده‌های هواشناسی؛ مطالعه موردی: منطقه حاشیه دریای خزر، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۷، شماره ۲، ۷۹-۷۱.

Alpert, P., Neeman, B.U., and Shay-El, Y., (1990), "Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data", *TellusA*, 42, 65-77.

Alpert, P., Osetinky, I., Ziv, B., Shafir, H., (2004), "Semi-Objective Classification for Daily Synoptic System: Application To The Eastern Mediterranean climate Change", *International journal of climatology*, 24:1001-101.

Asakereh, H., (2004), **Spatial change modeling of climate data A case study: Annual precipitation of Esfahan province**, *Geographical Research*, 19 (374), 213-231.

Asakereh, H., (2007), **Spatio – Temporal Changes of Iran Inland Precipitation during Recent Decades**, *Geography and Development Iranian Journal*, No. 10, PP. 145-164.

- Asakereh, H., (2008), **Kriging Application in Climatic Element Interpolation A Case Study: Iran Precipitation in 1996.12.16**, Geography and Development Iranian Journal, No. 12, PP. 25-42.
- Asakereh, H., Seifipour, Z., (2013), **Spatial Modeling of Annual Precipitation in Iran, Geography and Development**, 10 (29), 6-9.
- Asakereh, H., Jahanbakhsh, Saeed, and Ashrafi, Saeideh, (2019). **On the frequency changes of cyclones affecting precipitation in the Rood Zard basin, Iran**. Arabian Journal of Geosciences 12, <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4523-9>.
- Bengtsson, L., Hodges, K.I., Roeckner, E., (2006), **"Storm Tracks and Climate Change"**, Journal of Climate, 19, 3518-3543.
- Blender, R., Schubert, M., (1999), **"Cyclone Tracking in Different Spatial and Temporal Resolutions"**, American Meteorological Society: 377-384.
- Flocas, H., Kouroutzoglou, j., keay, K., Simmonds, I., (2010), **"On Cyclonic Tracks over the Eastern Mediterranean"**, Journal of Climate, Volume 23, October 2010.
- Geng, Quanzhen, Sugi, Masato, (2001), **"Possible Change of Extratropical Cyclone Activity due to Enhanced Greenhouse Gases and Sulfate Aerosols—Study with a High-Resolution AGCM"**, Journal of climate, NO 16. 2262-2274.
- Glazirin, G.E., (1997). **Precipitation Distribution with Altitude, Theoretical and applied climatology**, Vol. 58, PP.141-145.
- Goudi, A., (1992). **Environmental change**, Oxford University Press; 3 editions.
- Lionello, P., Dalan, F., Elvini, E., (2002). **Cyclones in the Mediterranean region: the present and the doubled co<sub>2</sub> climate scenarios**, CLIMATE RESEARCH, 147–159.
- Maduako, I.D., Yun, Z., & Patrick, B., (2016). **Simulation and prediction of land surface temperature (LST) dynamics within Ikom City in Nigeria using artificial neural network (ANN)**, Journal of Remote Sensing & GIS, 5 (1), 1-7.
- Singh, P., Ramasastry, K.S., Kumar, N., (1995). **Topographical Influence on Precipitation Distribution in Different Ranges of Western Himalayas**, Nordic Hydrology, Vol. 26, PP. 259-284.