

Estimation of the effective rainfall by reverse solution method and using artificial intelligence (Case study: Kermanshah Province)

Soheila Mohtashami¹, Abdolmajid Liaghat^{2*}

¹ M.Sc. Student, Irrigation Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran

² Professor, Irrigation Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran

Abstract

Introduction

Precipitation is one of the most important climatic phenomena affecting the globe. In each round of rainfall, only a part of the rainfall is used by the plant, and the rest is removed from the reach of the plant through different ways such as runoff and passing through the root zone. For this purpose, the concept of effective rainfall is used to express the part of the precipitation that directly responds to the plant's water needs. Estimating effective rainfall is one of the essential components in water resources management, irrigation planning decisions, and a guiding factor for crop production estimation. To make the best possible use of rainfall for the agricultural sector in rainfed lands, estimating the effective rainfall is vital. Since the only source of water supply for rainfed crops is rainfall and the yield of rainfed crops depends on the amount of water absorbed by the plant, almost all of the effective rainfall is spent on evapotranspiration. Therefore, the purpose of this research is to estimate the amount of effective precipitation through the estimation of the evapotranspiration rate of rainfed crops and also to develop a model of effective precipitation estimation based on an artificial neural network.

Materials and Methods

Considering the importance of estimating the effective rainfall and since rainfall is the only source of water supply for rainfed crops and the yield of rainfed crops is dependent on the amount of water absorbed by the plant, almost all of the effective rainfall is spent on evapotranspiration. Therefore, to more accurately estimate the effective rainfall, by having the yield of rainfed crops for a region and using the relationship between evapotranspiration and crop yield, it is possible to obtain the actual evapotranspiration ration and, as a result, the effective rainfall amount. The study area of this research is Kermanshah Province, one of the western Provinces of Iran, where extensive rainfed crops are cultivated every year. The meteorological parameters of 10 meteorological stations in Kermanshah Province were received and calculated a result of the weather condition of Kermanshah Province. Then, the potential evapotranspiration was calculated using meteorological parameters and CROPWAT software. In addition, the amount of cultivated area (ha) and the amount of production (t) of rainfed wheat in Kermanshah Province were extracted from the agricultural statistical yearbooks, and the yield of rainfed wheat for 14 crop years (crop years 2005 to 2019) was calculated. Then, with the crop factor and potential evapotranspiration rate in hand, using the Doorenbos and Kassam equation, the actual rate of evaporation and transpiration during the crop growth period for the aforementioned 14 agricultural years was estimated. Then the correlation between effective precipitation and meteorological parameters (such as maximum temperature, minimum temperature, humidity, wind speed, sunshine hours, growing degree days, and precipitation) was investigated and the most effective parameters were used to develop a model using feedforward neural network (FFNN). 5 networks were developed under different scenarios (with different inputs and outputs of effective precipitation) and the error of the networks was evaluated with the evaluation criteria of root mean square error (RMSE), mean bias error (MBE) and index of agreement (D). Finally, the best network with the least error was introduced to predict effective rainfall.

Results and Discussion

The total rainfall during the growing period of the dry wheat crop in crop years varied between 204.59 and 748.79 mm and the yield of the crop varied between 0.3 and 1.63 t ha⁻¹. The results showed that the highest amount of yield in crop years is not related to the highest amount of rainfall and this result increases the

importance of estimating the effective rainfall. The results show that the amount of effective precipitation estimated using Doorenbos and Kassam's equation during the studied period (14 years) and during the growth of the dry wheat crop varied between 119.85 and 279.90 mm. Then, in order to accurately estimate, an effective rainfall estimation model was created in Kermanshah Province with the help of a neural network. In this model, the effect of each of the meteorological parameters on the effective precipitation estimated by the inverse solution method was investigated with the Pearson correlation method, and the most effective parameters were used for modeling in several scenarios. Among all the meteorological parameters such as temperature, humidity, sunshine hours, wind speed, growing degree days (GDD), and precipitation, the precipitation parameter with a correlation of 0.99 was recognized as the most effective parameter in estimating effective precipitation. Meteorological parameters were prioritized based on correlations and used for modeling by a neural network. Then, networks were trained under different scenarios (various inputs individually and together), among which the network with rainfall input had the best performance in estimating effective rainfall. R^2 (Coefficient of Determination) of effective rainfall prediction with the help of this model was estimated to be 0.99 and its RMSE (root mean square error) and MBE (mean bias error) value was 4.61 and -1.4 mm and index of agreement (D) was estimated 0.997.

Conclusion

In order to use water optimally in agriculture and drainage projects, it is necessary to know and estimate effective rainfall. Several experimental methods have been presented to estimate effective precipitation. However, considering that these experimental methods were developed for areas with special characteristics and their generalization to all areas is not error-free, in this research effective precipitation was estimated by the inverse solution method, and a suitable model was used. Meteorological information and information from crop yearbooks and CROPWAT software were used to calculate effective precipitation by the inverse solution method. In order to present a model based on artificial intelligence, the correlation of meteorological variables with effective precipitation was investigated. Finally, a model based on a neural network was proposed in Kermanshah Province to estimate effective rainfall. The results of this research showed that neural networks, which are based on mathematical and natural theories, are more successful in predicting effective rainfall based on the amount of rainfall directly.

Keywords: Effective rainfall, Evapotranspiration, Inverse solving, Neural network

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: aliaghat@ut.ac.ir

Citation: Mohtashami, S., & Liaghat, A. (2023). Estimation of the effective rainfall by reverse solution method and using artificial intelligence (Case study: Kermanshah Province). *Water and Soil Management and Modeling*, 3(1), 249-261.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.11706.1161

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.1.16.4

Received: 24 October 2022, Received in revised form: 16 November 2022, Accepted: 16 November 2022, Published online: 16 November 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 1, pp. 249-261

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





برآورد بارش مؤثر به روش حل معکوس و تخمین آن با به کارگیری هوش مصنوعی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)

سهیلا محتشمی^۱، عبدالمجید لیاقت^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۲ استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

بارش مؤثر نشان‌دهنده میزان بارندگی ذخیره شده در ناحیه ریشه گیاه برای رفع نیازهای تبخیر-تعرق است. تخمین بارش مؤثر از مؤلفه‌های ضروری در مدیریت منابع آب، تصمیم‌گیری‌های برنامه‌ریزی آبیاری و یک عامل راهنما برای تخمین تولید محصول محسوب می‌شود. در این پژوهش باران مؤثر به روش حل معکوس با استفاده از اطلاعات عملکرد محصول گندم در استان کرمانشاه برآورد شده و میزان هم‌بستگی میان داده‌های مختلف هواشناسی نظیر دمای کمینه و بیشینه، سرعت باد، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، درجه روز رشد (GDD) و بارش با بارش مؤثر بررسی و این پارامترها از نظر میزان هم‌خوانی اولویت‌بندی و مؤثرترین پارامترها برای مدل‌سازی به کار گرفته شدند. با توجه به این که به داده‌های هواشناسی و عملکرد محصول گندم نیاز بود، بنابراین از داده‌های هواشناسی استان کرمانشاه که شامل ۱۰ ایستگاه هواشناسی است، استفاده شد. ابتدا به کمک رابطه دورنبوس و کسام، تبخیر-تعرق واقعی محصول گندم در محدوده مطالعاتی محاسبه و در نتیجه مقدار بارش مؤثر برآورد شد. میزان بارش مؤثر برآورد شده در مقطع زمانی مورد مطالعه و در طی رشد محصول گندم بین ۱۱۹/۸۵ تا ۲۷۹/۹۰ میلی‌متر متغیر بوده است. سپس، به منظور برآورد دقیق، مدل‌هایی برای تخمین بارش مؤثر در استان کرمانشاه به کمک شبکه عصبی توسعه داده شد. ابتدا تأثیر هر یک از داده‌ها بر بارش مؤثر به روش هم‌بستگی پیرسون، بررسی و در چند سناریو، مؤثرترین پارامترها برای مدل‌سازی به کار گرفته شد. مدل‌ها با معیارهای RMSE، MBE و D ارزیابی شدند. در نهایت، بارش با هم‌بستگی ۰/۹۹ به عنوان مؤثرترین پارامتر در تخمین بارش مؤثر شناخته و به عنوان بهترین مدل برای تخمین بارش مؤثر در استان کرمانشاه برگزیده شد. در واقع، می‌توان با داشتن پارامتر بارش با دقت بسیار خوبی میزان بارش مؤثر را برای استان کرمانشاه پیش‌بینی نمود. ضریب تبیین پیش‌بینی بارش مؤثر به کمک این مدل ۰/۹۹ و مقدار RMSE و MBE آن برای داده‌های آزمون ۴/۶۱ و ۱/۴- میلی‌متر برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: بارش مؤثر، حل معکوس، دورنبوس و کسام، شبکه عصبی، هوش مصنوعی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: aliaghat@ut.ac.ir

استناد: محتشمی، س.، و لیاقت، ع. (۱۴۰۲). برآورد بارش مؤثر به روش حل معکوس و تخمین آن با به کارگیری هوش مصنوعی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۱)، ۲۴۹-۲۶۱.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.11706.1161

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.1.16.4

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۲، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۸/۲۵

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۱، صفحه ۲۴۹ تا ۲۶۱

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی © نویسندگان



۱- مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین پدیده‌های اقلیمی است که سرتاسر کرهٔ خاکی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. در هر نوبت از بارندگی، تنها قسمتی از نزولات مورد استفادهٔ گیاه قرار گرفته و بقیه از راه‌های مختلفی مثل رواناب و عبور از ناحیهٔ ریشه از دسترس گیاه خارج می‌شود. به‌همین منظور مفهوم باران مؤثر جهت بیان آن قسمت از بارش که به‌طور مستقیم جوابگوی نیاز آبی گیاه است، به‌کار برده می‌شود (Ghamarnia et al., 2007). برآورد بارش مؤثر به‌عنوان بخشی از بارندگی ذخیره شده در ناحیهٔ ریشهٔ گیاه برای برآورد نیازهای تبخیر-تعرق، همواره یک مشکل مدیریت آب در کشاورزی است (Tsai et al., 2005). روش‌های برآورد بارش مؤثر عبارتند از: اندازه‌گیری مستقیم، روش‌های تجربی و مدل بیان آب در خاک. به‌دلیل هزینه‌های زیاد نگهداری ادوات روش‌های مستقیم اندازه‌گیری، معمولاً از روش‌های تجربی و بیان آب برای برآورد بارش مؤثر استفاده می‌شود (Khaleghi, 2016). روش‌های تجربی متعددی برای برآورد بارش مؤثر ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روش‌های درصدی، بارش قابل اطمینان، USDA و SCS اشاره کرد (Alidosti Shahraki, 2013). تاکنون، مطالعات متعددی در رابطه با بررسی دقت روش‌های تجربی برای برآورد بارش مؤثر در مناطق مختلف انجام شده است. Khoshhal (2013) و Dastjerdi and Joshani (2013) به برآورد مناسب‌ترین شیوهٔ محاسبهٔ بارش مؤثر برای کشت گندم پاییزه در حوضهٔ دریاچهٔ نمک پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که روش SCS به‌دلیل این که به داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل، ضریب گیاهی، بارش و عمق آبیاری وابسته است و هم‌چنین فاقد محدودیت‌های مکانی است، مناسب‌ترین شیوهٔ محاسبهٔ بارش مؤثر در حوضهٔ دریاچهٔ نمک است. Koulaian and Gholami (2012) به بررسی بهترین روش تعیین بارندگی مؤثر کشت برنج در شهرستان قائم‌شهر پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش‌های سرویس حفاظت خاک آمریکا، روش درصدی، روش USDA و فرمول تجربی نتایج نزدیک به هم برای منطقهٔ مورد مطالعه ارائه می‌دهند. در پژوهشی (Rahimi et al., 2013) به بررسی روش‌های برآورد بارش مؤثر برای کشت محصول گندم در نمونه‌های اقلیمی ایران پرداختند، نتایج نشان داد که در مناطقی با اقلیم نیمه‌خشک، روش نسبت تبخیر-تعرق پتانسیل به بارندگی با میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) ۲۹/۷ میلی‌متر و در مناطق با اقلیم نیمه‌مرطوب روش FAO با RMSE برابر با ۲۸/۴ میلی‌متر نسبت به روش‌های تجربی دیگر برای برآورد بارش مؤثر مناسب‌ترند. et al. (2015) Asadzade Sharafeh به بررسی مناسب‌ترین شیوهٔ محاسبهٔ بارش مؤثر در دشت اردبیل پرداختند. نتایج حاصل از تحلیل روش‌های مورد مطالعه در این تحقیق نشان داد که روش

USDA مناسب‌ترین روش محاسبهٔ بارش مؤثر در این دشت است. Pourgholam Amiji et al. (2020) به پهنه‌بندی باران مؤثر در استان خوزستان تحت کشت گندم دیم پرداختند. در این پژوهش، مقادیر بارش مؤثر به روش‌های USDA، FAO، تجربی و حل معکوس برآورد شدند و نتایج نشان داد که در ماه‌های پر بارش نوامبر، دسامبر و ژانویه، روش تجربی با میانگین خطای ۹/۸- درصد و در ماه‌های کم بارش فوریه و مارس، روش USDA با میزان خطای ۴۸/۶- و ۲۱/۷- درصد بهترین روش برای برآورد باران مؤثر است. در پژوهشی (Mostafavi Darani et al., 2021) به برآورد بارش مؤثر در کشت گندم به روش مستقیم رامداس و مقایسهٔ آن با شش روش تجربی پرداختند. روش نسبت تبخیر-تعرق به بارش، $RMSE = 0.31$ و روش FAO، $RMSE = 0.75/1.5$ میلی‌متر را در این پژوهش نشان دادند.

بررسی مطالعات انجام شده، حاکی از آن است که استفاده از روش‌های تجربی در برآورد بارش مؤثر با خطا همراه است و این روابط بایستی متناسب با شرایط هر منطقه‌ای، واسنجی شوند. بر این مبنای، Taheri et al. (2010) عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون نمایی را در پیش‌بینی بارش مؤثر بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که شبکهٔ عصبی مصنوعی (با عملکرد و دقت بیش‌تری می‌تواند بارش مؤثر را پیش‌بینی نماید. Azimi et al. (2019) استفاده از سیستم استنتاج تطبیقی عصبی - فازی باران مؤثر را در چهار ایستگاه استان آذربایجان شرقی برآورد نمودند. نتایج به‌دست آمده از تحقیق آن‌ها حاکی از این است که خطای به‌دست آمده در مدل‌های به‌کارگیری شده ناچیز بوده و هم‌چنین مدل توانایی برآورد باران مؤثر را از روی میزان بارش دریافتی به‌طور مستقیم دارد.

از آن‌جایی که شناخت باران مؤثر از نظر پیش‌بینی میزان آب قابل استفاده برای رشد گیاه حائز اهمیت است و از طرفی تأمین آب برای مصارف کشاورزی اراضی دیم به‌طور کامل از طریق بارشی که بر سطح زمین فرو می‌ریزد و برای گیاه قابل دسترس است، حاصل می‌شود (Hasheminasab, 2014)؛ بنابراین در این پژوهش، بارش مؤثر به روش حل معکوس برآورد شد. به این صورت که با داشتن میزان عملکرد محصول دیم و با استفاده از رابطهٔ میان تبخیر-تعرق و عملکرد محصول (دورنوس و کسام)، میزان تبخیر-تعرق واقعی محاسبه شد. از آن‌جایی که تقریباً تمام آب جذب شده توسط محصولات صرف تبخیر-تعرق می‌شود؛ بنابراین، میزان تبخیر-تعرق واقعی معادل بارش مؤثر است (Pourgholam Amiji et al., 2020). علاوه‌بر این، ارائه مدلی از برآورد بارش مؤثر با داده‌های هواشناسی در منطقهٔ مورد نظر نیز، مطلوب این تحقیق است. از این‌رو، تأثیر داده‌های مختلف هواشناسی نظیر دمای کمینه و بیشینه،

¹ Artificial Neural Networks

۲-۲- برآورد بارش مؤثر به روش حل معکوس

روش‌های تجربی متعددی برای برآورد بارش مؤثر وجود دارد. به دلیل این که توسعه روش‌های تجربی در تمامی نقاط جغرافیایی عاری از خطا نبوده و با تغییر شرایط جغرافیایی ممکن است این روابط برای منطقه دیگر با شرایط متفاوت اقلیمی دقت بالایی نداشته باشند، از روش حل معکوس (رابطه دورنبوس و کسام) که بر مبنای تبخیر-تعرق و میزان عملکرد محصولات است، به منظور برآورد بارش مؤثر استفاده شد. رابطه دورنبوس و کسام طبق رابطه (۱) تعریف می‌شود که در آن، ET_a : مقدار تبخیر-تعرق واقعی، ET_c : تبخیر-تعرق پتانسیل، Y_a : عملکرد خشک محصول، Y_{max} : بیشینه عملکرد خشک محصول و K_y : ضریب پاسخ عملکرد گیاه است (Doorenbos and Kassam, 1979).

$$1 - \frac{Y_a}{Y_{max}} = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_c}\right) \quad (1)$$

به منظور برآورد بارش مؤثر به روش حل معکوس به اطلاعات عملکرد محصولات نیاز است. بنابراین، اطلاعات سطح زیرکشت (بر حسب هکتار) و میزان برداشت محصول گندم دیم (بر حسب تن) از سال‌نامه‌های زراعی برای ۱۴ سال آماری (۸۴-۱۳۸۳ تا ۹۸-۱۳۹۷) دریافت و میزان عملکرد محصول (تن بر هکتار) محاسبه شد. علاوه بر میزان عملکرد محصولات، تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 محاسبه شد. نرم‌افزار CROPWAT 8.0 میزان تبخیر-تعرق را بدون در نظر گرفتن هرگونه تنش و تحت شرایط استاندارد برآورد می‌کند (Lashkari et al., 2009). سپس تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه (ET_c) طبق رابطه (۲) محاسبه شد که در آن، ET_c : تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه، K_c : ضریب گیاهی محصول مورد نظر و ET_0 : تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع است (Rahimi et al., 2013; Alizade, 1988). ضرایب رشد گیاهی (K_c) بر اساس تجربیات پژوهشگران برآورد شده و دارای ارزش جهانی است و از جداول FAO برای گیاه گندم استخراج شد.

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

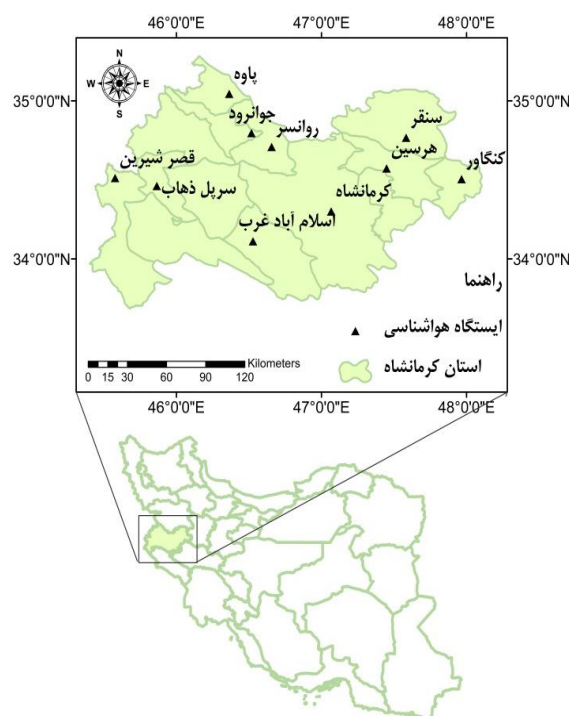
سپس با در دست داشتن ET_c و عملکرد محصول گندم دیم مستخرج از سالنامه‌های زراعی، با استفاده از رابطه (۱) مقدار تبخیر-تعرق واقعی برای هر سال زراعی از سال زراعی ۸۵- تا ۱۳۸۴ تا ۹۸-۱۳۹۷ برای محصول گندم دیم محاسبه شد. از آن جایی که تقریباً تمام آب مصرفی محصولات صرف تبخیر-تعرق شده و تنها منبع تأمین نیاز آبی محصولات دیم عامل بارش است. با توجه به تعریف بارش مؤثر در حوضه کشاورزی، مقدار تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده برابر باران مؤثر در نظر گرفته شد.

سرعت باد، ساعت آفتابی و سایر داده‌های هواشناسی با میزان بارش مؤثر برآورد شده به روش حل معکوس مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای دارای بیشترین هم‌بستگی با بارش مؤثر تعیین و مدلی بر مبنای شبکه عصبی برای تخمین بارش مؤثر ارائه شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه از استان‌های غربی کشور به حساب می‌آید و دارای آب و هوای معتدل کوهستانی است. مختصات جغرافیایی استان کرمانشاه از طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۹ ثانیه شرقی تا ۴۸ درجه و ۱ دقیقه و ۵۸ ثانیه شرقی و از عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی است. این استان دارای ۱۴ شهرستان است. به منظور انجام پژوهش حاضر از آمارهای هواشناسی ماهانه متوسط دمای کمینه، متوسط دمای بیشینه، سرعت باد، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی و بارش برای ۱۰ ایستگاه هواشناسی استان کرمانشاه با طول دوره آماری ۱۴ سال (سال‌های زراعی ۸۴-۱۳۸۳ تا ۹۸-۱۳۹۷) برای طول دوره رشد محصول گندم دیم پاییزه (اوایل آبان تا اواخر فروردین) استفاده شد. شکل ۱ پراکنش ایستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

Figure 1- Distribution of studied meteorological stations

با در نظر گرفتن میزان تأثیر هر یک از پارامترها، شبکه‌هایی با ورودی‌های مختلف (به‌صورت دوه‌دو و در نهایت با مؤثرترین پارامتر) آموزش داده شدند. در ادامه، مقدمه‌ای از نحوه کارکرد شبکه عصبی بیان شده و در بخش بعد، ساختار و نوع شبکه به کار گرفته شده در این پژوهش معرفی خواهد شد.

۲-۵-۱- معرفی اجمالی شبکه عصبی

با به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی می‌توان سیستمی را براساس ورودی و خروجی‌های موجود آموزش داد تا قادر باشد به ازای هر ورودی خارج از مجموعه موجود، یک خروجی با حداقل خطای ممکن ارائه نماید. روش کار شبکه عصبی به این صورت است که در ابتدا داده‌های ورودی و خروجی به شبکه معرفی شده و ماتریس‌های وزن شبکه با توجه به میزان خطا تنظیم شده و در هر گام آموزش، میزان خطا کم و کم‌تر خواهد شد. می‌توان بخشی از داده‌ها را به‌عنوان اعتبارسنجی^۳ و آزمون شبکه به کار گرفت. بدین‌صورت که پس از آموزش شبکه، به کمک داده‌های آزمون می‌توان نحوه آموزش شبکه را مورد بررسی قرار داد. در نهایت، با رسم هیستوگرام خطا و میانگین مربع خطاها می‌توان عملکرد کلی شبکه را ارزیابی نمود. همچنین می‌توان از ماتریس‌های وزن نهایی شبکه به‌عنوان سیستمی با قابلیت تخمین خروجی ناشی از داده‌های ورودی استفاده نمود (Khanna, 1990; Aqil et al., 2007; Ghafari and Vafakhah, 2013; Khosravi and Shakiba, 2010).

۲-۵-۲- ایجاد شبکه

در این پژوهش از شبکه عصبی پیش‌خور^۴ و از ۱۴ سری داده‌های موجود، ۱۱ سری از داده‌ها برای آموزش و سه سری از داده‌ها (سال‌های زراعی ۹۶-۱۳۹۵، ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) به‌عنوان آزمون و اعتبارسنجی شبکه استفاده شد. با انتخاب الگوریتم، شبکه تعریف شده و آموزش می‌بیند. داده‌های ورودی (بر اساس میزان همبستگی‌ها) انتخاب و به کمک ابزار متلب به‌عنوان ورودی شبکه معرفی شدند. در این پژوهش، برای آموزش شبکه از الگوریتم تنظیم بایاس^۵ استفاده شد. با توجه به تعداد محدود داده‌های موجود (۱۴ سری) امکان لحاظ نمودن بیش از دو نرون و یک لایه مخفی امکان‌پذیر نبود. تعداد سیکل‌های آموزش نیز ۱۰۰ در نظر گرفته شد. شکل ۲ ساختار شبکه آموزشی با یک ورودی و یک لایه مخفی را نشان می‌دهد.

۲-۳- بررسی اثر پارامترهای مختلف هواشناسی بر بارش مؤثر

به‌منظور بررسی تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی بر بارش مؤثر برای ارائه یک مدل برای تخمین دقیق بارش مؤثر از میانگین اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمانشاه استفاده شد (شکل ۱). بنابراین، همبستگی میان بارش مؤثر و پارامترهای هواشناسی هم‌چون دمای کمینه ماهانه، دمای بیشینه ماهانه، رطوبت نسبی، بارش، ساعات آفتابی و سرعت باد بررسی شد و همچنین پارامتر درجه روز رشد (GDD)، به‌عنوان یکی از پارامترهای مورد بررسی محاسبه شد که در ادامه به نحوه محاسبه آن اشاره خواهد شد. بررسی همبستگی‌ها به کمک مدل ریاضی موجود در محیط متلب (تابع CORR) انجام شد. این تابع بر اساس روش پیرسون میزان همبستگی ورودی با خروجی را تعیین می‌نماید.

۲-۴- درجه حرارت رشد روزانه یا واحدهای حرارتی (GDD)

دما یک عامل کنترل‌کننده برای تعیین میزان رشد بسیاری از ریزموجودات‌ها است. مهندسان کشاورزی از مفهوم درجه حرارت رشد روزانه یا GDD برای بررسی تأثیر دما بر رشد محصولات کشاورزی استفاده می‌کنند. مفهوم GDD بر این اساس است که رشد گیاه زمانی رخ می‌دهد که دما، از دمای پایه آن (T_{base}) بیش‌تر باشد. دمای پایه بسته به نوع گیاه متفاوت است و پژوهشگران برای محصولات مختلف این مقدار را برآورد نموده‌اند. به‌منظور محاسبه مقدار GDD به روش استاندارد می‌توان از رابطه (۳) استفاده کرد که در آن، GDD درجه حرارت رشد روزانه، T_{min} دمای کمینه روزانه، T_{max} دمای بیشینه روزانه و T_{base} دمای پایه است (McMaster and Smika, 1988; Helali et al., 2013; Ayu et al., 2018). مقدار دمای پایه برای محصول گندم ۴/۴ درجه سلسیوس (۴۰ درجه فارنهایت) است (Fraiss et al., 2016). این مقدار به‌عنوان T_{base} در محاسبه GDD مورد استفاده قرار گرفت.

$$GDD = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_{base} \quad (3)$$

برای محاسبه پارامتر GDD اطلاعات متوسط دمای کمینه ماهانه و متوسط دمای بیشینه ماهانه به روش خط شکسته به اطلاعات روزانه تبدیل شدند. سپس مجموع درجه حرارت رشد (GDD) روزانه در طول دوره رشد محصول گندم دیم محاسبه شد. مقادیر به‌دست آمده برای بررسی همبستگی GDD با بارش مؤثر به کار گرفته شدند.

۲-۵- تخمین بارش مؤثر به کمک شبکه عصبی

³ Train

⁴ Validation

⁵ Error Histogram

⁶ Feedforward net

⁷ Bayesian Regularization

¹Growing Degree Days

² Matlab

زراعی ۸۷-۸۶ و ۹۱-۹۰ با میزان بارش به ترتیب، ۲۱۲/۶۹ و ۲۷۲/۶۲ میلی متر است. با توجه به جدول ۱، بیشترین میزان بارش در سال زراعی ۹۸-۹۷ است، در صورتی که، بیشترین میزان عملکرد را دارا است. بنابراین، می توان نتیجه گرفت از مقدار کل بارش، تنها قسمتی از آن قابل استفاده برای گیاه بوده و در میزان عملکرد محصول مؤثر واقع می شود که اهمیت برآورد میزان بارش مؤثر را مرتفع می سازد. همان طور که بیان شد در این پژوهش، روش حل معکوس به عنوان روش برآورد بارش مؤثر برگزیده شد و با در دست داشتن اطلاعات عملکرد محصول گندم و رابطه دورنبوس و کسام میزان تبخیر تعرق واقعی محصول گندم در استان کرمانشاه برآورد شد. در ادامه، به بررسی نتایج برآورد بارش مؤثر به روش حل معکوس پرداخته شده است.

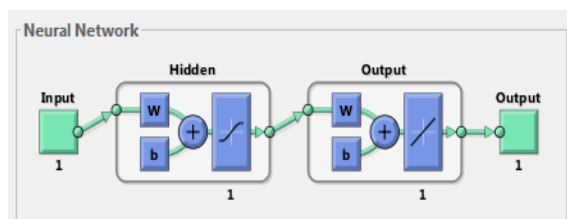
جدول ۱- عملکرد محصول گندم در سال های زراعی مورد نظر در استان کرمانشاه

Table 1- The yield of the dry wheat crop for the crop years in Kermanshah Province

سال زراعی	تولید (تن)	سطح (هکتار)	عملکرد (تن/هکتار)	بارش (میلی متر)
1384-85	541561.5	359275	1.51	408.37
1385-86	443995	320558	1.39	423.52
1386-87	73776	246743	0.3	212.69
1387-88	360688	347238	1.04	266.02
1388-89	474395	374954	1.27	284.86
1389-90	266174	322541	0.83	246.97
1390-91	269788	405072	0.67	272.62
1391-92	289914	337037	0.86	361.04
1392-93	388860	324644	1.2	360.81
1393-94	219885	293125	0.75	204.59
1394-95	512134	314000	1.63	487.53
1395-96	365597	314000	1.16	431.68
1396-97	361030	314000	1.15	571.38
1397-98	389380	295000	1.32	748.79

۳-۱- نتایج برآورد بارش مؤثر به روش حل معکوس

جدول ۲ مجموع تبخیر-تعرق پتانسیل و تبخیر-تعرق واقعی محاسبه شده طی دوره رشد گندم در پاییزه برای سال های زراعی مورد نظر را نشان می دهد. همان طور که بیان شد، تبخیر-تعرق واقعی در مناطق دیم خیز معادل بارش مؤثر است. با توجه به جدول ۲، کمترین میزان مؤثر بارش مربوط به سال زراعی ۸۷-۸۶ و ۱۳۸۶-۹۱ و بیشترین میزان بارش مؤثر مربوط به سال زراعی ۹۵-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵ است. با توجه به جدول های ۱ و ۲ سال های زراعی که بیشترین و کمترین میزان بارش مؤثر را دارند با سال های زراعی که دارای بیشترین و کمترین میزان عملکردها می باشند، متناسب است. شکل ۳ روند تغییرات عملکرد محصول، بارش و بارش مؤثر را نشان می دهد. با توجه به شکل ۳ روند تغییرات بارش مؤثر و عملکرد محصول مشابه یکدیگر



شکل ۲- ساختار شبکه عصبی مورد استفاده (شبکه عصبی پیشخور)
Figure 2- The structure of the neural network used (Feedforwardnet)

۲-۶- معیار ارزیابی خطا

به منظور ارزیابی عملکرد شبکه ها، خطای داده های آزمون بر اساس معیار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)؛ شاخص توافق (D) و میانگین خطای اریبی (MBE) طبق رابطه (۴) تا (۶) محاسبه شد، که در این روابط P_i و O_i به ترتیب نشان دهنده مقادیر پیش بینی شده، مقادیر مشاهده شده (واقعی) و تعداد داده ها است. در رابطه (۵)، O'_i ، P'_i به ترتیب نشان دهنده اختلاف متغیر پیش بینی شده و مشاهده شده با میانگین متغیر مشاهده شده است.

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (4)$$

$$D = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P'_i| + |O'_i|)^2} \right] \quad (5)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (6)$$

بر اساس شاخص RMSE مقادیر کم تر نشان دهنده خطای کم تر و بالعکس و بر اساس شاخص D، مقادیر نزدیک تر به یک، نشان دهنده تطابق بیشتر میان دو متغیر مقایسه شده و بالعکس (Andarzian et al., 2011). خطای میانگین اریبی (MBE) انحراف میانگین در پیش بینی را نشان می دهد. اریبی مثبت یا خطا در یک متغیر نشان می دهد که داده های پیش بینی بیش از حد تخمین زده شده و اریبی منفی در یک متغیر نشان می دهد که داده های پیش بینی کم تر از داده های واقعی برآورد شدند (Kato, 2016).

۳- نتایج و بحث

میزان تولید و سطح زیر کشت گندم دیم استخراج شده از سالنامه های زراعی برای سال های مورد مطالعه (۸۵-۱۳۸۴ تا ۹۸-۹۷۱۳) در استان کرمانشاه و همچنین مقدار عملکرد محاسبه شده در سطح در جدول ۱ نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۱، بیشترین میزان عملکرد محصول گندم دیم در استان کرمانشاه مربوط به سال زراعی ۹۵-۹۴ و ۱۳۹۴-۹۵ با میزان بارش ۴۸۷/۵۳ میلی متر در طول دوره رشد و کمترین آن مربوط به سال

1 Root Mean Square Error

2 Index of agreement

3 Mean Bias Error

با هم‌بستگی ۰/۹۹ بیش‌ترین هم‌بستگی را با بارش مؤثر نشان داد. بر اساس پژوهش Laaboudi et al. (2012)، متغیرهای دما و سرعت باد با میزان تبخیر-تعرق هم‌بستگی مثبت دارند که هم‌سو با مطالعه حاضر است؛ در صورتی‌که، با هم‌بستگی متغیر رطوبت و میزان تبخیر-تعرق در پژوهش حاضر مغایرت دارد. بر اساس پژوهش Najafi et al. (2014)، متغیر رطوبت نسبی با میزان تبخیر-تعرق دارای هم‌بستگی مثبت بوده و هم‌سو با پژوهش حاضر است. نتایج میزان هم‌بستگی‌ها در انتخاب و لحاظ نمودن متغیرهای ورودی در مدل پیش‌بینی بارش مؤثر کمک خواهد کرد. در ادامه، به بررسی نتایج توسعه مدل‌ها تحت سناریوهای مختلف با به‌کارگیری شبکه عصبی پرداخته می‌شود.

جدول ۳- مجموع مقادیر GDD در طی طول دوره رشد گندم دیم پاییزه در

سال‌های زراعی مورد مطالعه

Table 3- The sum of GDD values during the growth period of autumn dry wheat in the studied crop years

سال زراعی	مجموع GDD در طول دوره رشد (درجه سانتی‌گراد)
1384-85	632.87
1385-86	363.53
1386-87	424.69
1387-88	495.81
1388-89	778.87
1389-90	595.41
1390-91	363.31
1391-92	683.74
1392-93	448.57
1393-94	635.52
1394-95	559.88
1395-96	433.44
1396-97	811.77
1397-98	654.45

جدول ۴- میزان هم‌بستگی بارش مؤثر با پارامترهای مورد بررسی
Table 4- The correlation between the effective precipitation and the studied parameters

میزان هم‌بستگی	پارامتر
0.40	دمای بیشینه
0.43	دمای کمینه
0.41	رطوبت
0.99	بارش
0.27	درجه روز رشد (GDD)
0.63	سرعت باد
-0.31	ساعات آفتابی

۳-۳- تحلیل شبکه و مدل‌سازی تخمین بارش مؤثر

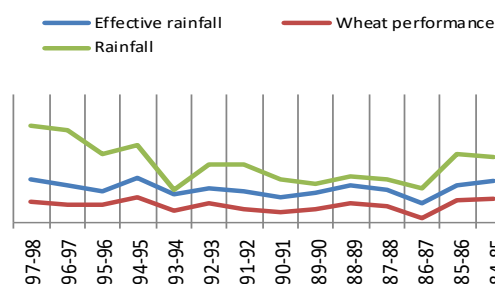
همان‌طور که در بخش بررسی هم‌بستگی‌ها مشخص شد، مؤثرترین پارامتر بر بارش مؤثر، پارامتر بارش است. بنابراین، شبکه‌هایی با ورودی‌های مختلف نظیر بارش (پارامتر ثابت ورودی)

هستند و در تمامی تاریخ‌ها مقدار بارش بیش‌تر از بارش مؤثر است که نشان‌دهنده هدر رفت بارش از طریق رواناب و نفوذ عمقی است.

جدول ۲- تبخیر-تعرق پتانسیل و واقعی گندم در طی دوره رشد

Table 2- Potential and actual evapotranspiration of wheat

سال زراعی	تبخیر-تعرق پتانسیل (میلی‌متر)	تبخیر-تعرق واقعی (میلی‌متر)
1384-85	279.45	265.73
1385-86	257.85	232.54
1386-87	262.8	119.85
1387-88	266.4	202.12
1388-89	274.05	233.70
1389-90	276.75	186.20
1390-91	264.15	160.43
1391-92	282.6	193.60
1392-93	266.4	219.55
1393-94	281.7	180.31
1394-95	279.9	279.90
1395-96	242.73	196.07
1396-97	286.65	230.38
1397-98	306.9	267.99



شکل ۳- روند تغییرات بارش، بارش مؤثر و عملکرد محصول

Figure 3- Changes in rainfall, effective rainfall and crop yield

۲-۳- نتایج بررسی هم‌بستگی‌ها

به‌منظور انتخاب مؤثرترین پارامترها بر بارش مؤثر برای توسعه مدل بر مبنای شبکه عصبی، ابتدا تأثیر هر یک از پارامترهای هواشناسی بر بارش مؤثر به روش هم‌بستگی پیرسون بررسی شد (جدول ۴). همان‌طور که در بخش قبل بیان شد، پارامتر GDD نیز به‌عنوان یکی از پارامترهای مورد بررسی محاسبه شد که مجموع مقادیر GDD محاسبه شده در طول دوره رشد گندم دیم پاییزه در سال‌های زراعی مورد مطالعه در جدول ۳ نمایش داده شده است. با توجه به جدول ۳، مقادیر GDD در سال‌های مورد مطالعه بین ۳۶۳/۳۱ تا ۸۱۱/۷۷ درجه سلسیوس متغیر بوده است. با توجه به جدول ۴، مؤثرترین پارامترهای مورد بررسی بر میزان بارش مؤثر در این پژوهش به ترتیب عبارتند از: بارش، سرعت باد، دمای کمینه، رطوبت، دمای بیشینه، ساعات آفتابی و GDD. بر اساس نتایج هم‌بستگی‌ها، تمامی پارامترها به جز ساعات آفتابی هم‌بستگی مثبت و پارامتر بارش

جدول ۵- ارزیابی داده‌های آزمون شبکه‌ها تحت سناریوهای مختلف با

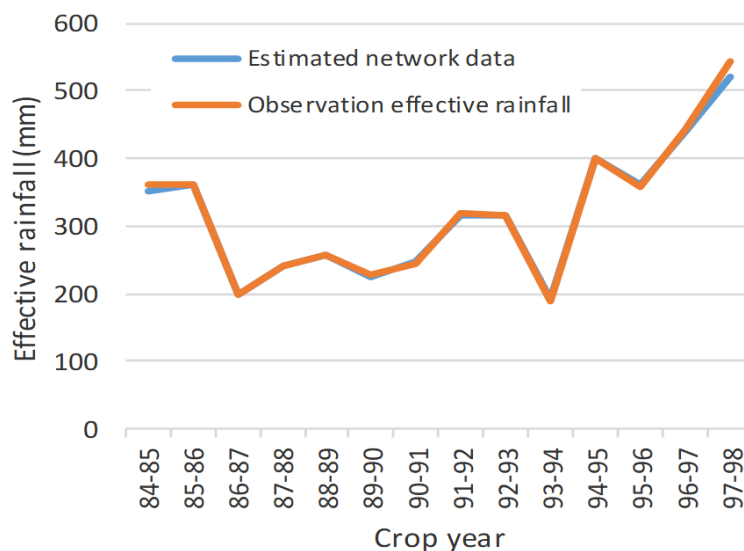
معیارهای RMSE، D و MBE

Table 5- Evaluation of network test data under different scenarios with RMSE, D, and MBE

سناریو	متغیر ورودی	RMSE (میلی‌متر)	D	MBE (میلی‌متر)
۱	بارش	4.61	0.997	-1.4
۲	بارش و دمای بیشینه	19.31	0.975	-8.14
۳	بارش و دمای کمینه	21.56	0.975	-11.8
۴	بارش و رطوبت نسبی	14.70	0.971	-3.0
۵	بارش و سرعت باد	81.23	0.160	-76.0

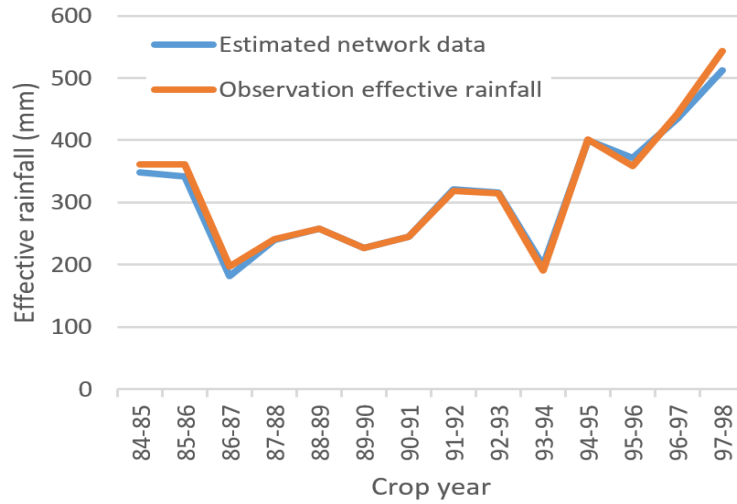
رفتار شبکه در تخمین بارش مؤثر تحت سناریوهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۸ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴، نمودار بارش مؤثر پیش‌بینی شده توسط مدل تحت سناریوی ۱ نسبت به سایر نمودارها انطباق بیشتری با مقادیر واقعی دارد که، نشان از دقت مناسب و توانایی مدل در پیش‌بینی بارش مؤثر دارد. نتایج این پژوهش، هم‌راستا با مطالعات Taheri et al. (2010) و Azimi et al. (2019) است. نتایج نشان داد که شبکه‌های عصبی که مبتنی بر نظریه‌های ریاضی و طبیعی هستند، در پیش‌بینی بارش مؤثر از روی میزان بارش به‌طور مستقیم و به تنهایی موفق‌تر هستند.

و متوسط دمای کمینه، متوسط دمای بیشینه، رطوبت نسبی، سرعت باد (پارامترهای متغیر ورودی) و خروجی بارش مؤثر آموزش داده شد. خطای داده‌های آزمون برای هر یک از شبکه‌های توسعه داده شده با معیار خطای RMSE، MBE و D در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۵ و بر اساس نتایج RMSE، مدل با ورودی بارش به تنهایی (سناریوی ۱) دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌های توأم دارد و بیش‌ترین RMSE مربوط به مدل با ورودی بارش و سرعت باد (سناریوی ۵) است. بر اساس معیار خطای D، داده‌های آزمون شبکه در سناریوهای ۲ و ۳ نتایج مشابهی را ارائه دادند. کم‌ترین D مربوط به سناریوی ۵ و بیش‌ترین D مربوط به مدل با ورودی بارش (سناریوی ۱) است که نشان از تطابق بیش‌تر میان متغیرهای مقایسه شده (بارش مؤثر پیش‌بینی شده و مشاهده شده) دارد. بر اساس معیار ارزیابی MBE، تمامی مدل‌ها به‌صورت کم برآورد، بارش مؤثر را تخمین می‌زنند و کم‌ترین MBE مربوط به سناریوی ۱ و بیش‌ترین آن مربوط به مدل با ورودی توأم بارش و سرعت باد (سناریوی ۵) است. نتایج نشان داد که پارامتر بارش به تنهایی قادر است برآورد دقیق‌تری از بارش مؤثر، با مجذور میانگین مربعات خطای داده‌های آزمون کم‌تر (۴/۶۱ میلی‌متر در طول دوره رشد) نسبت به در نظر گرفتن توأم بارش با پارامترهای دیگر داشته باشد. همان‌طور که در مدل‌های ارائه شده تجربی هم‌چون USDA، FAO و درصدی، تنها متغیر در برآورد بارش مؤثر، متغیر بارش در نظر گرفته شده است.



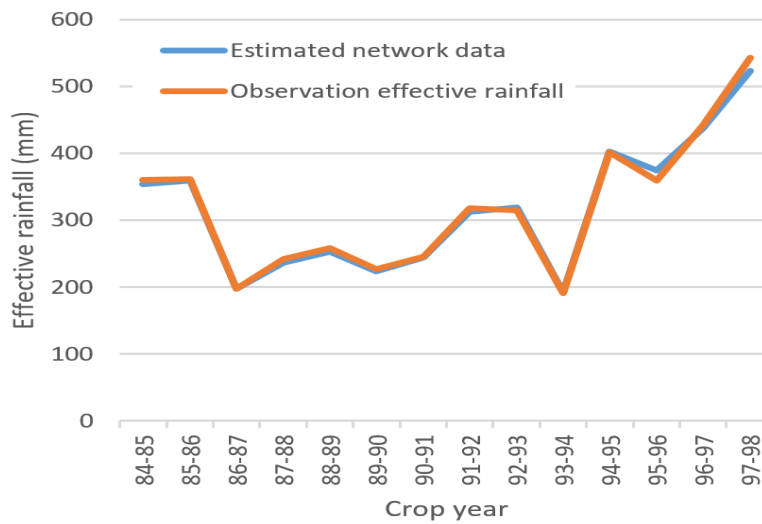
شکل ۴- رفتار شبکه در تخمین بارش مؤثر (سناریوی ۱)

Figure 4- Network behavior in estimation of effective precipitation (scenario 1)



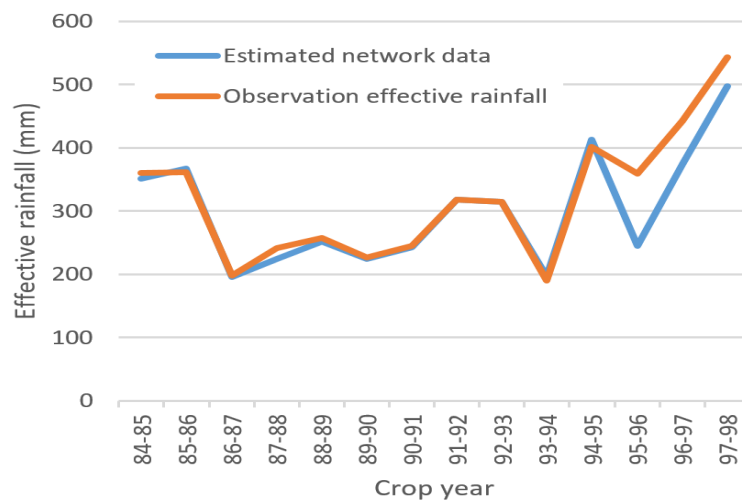
شکل ۵- رفتار شبکه در تخمین بارش مؤثر (سناریو ۲)

Figure 5- Network behavior in estimation of effective precipitation (scenario 2)



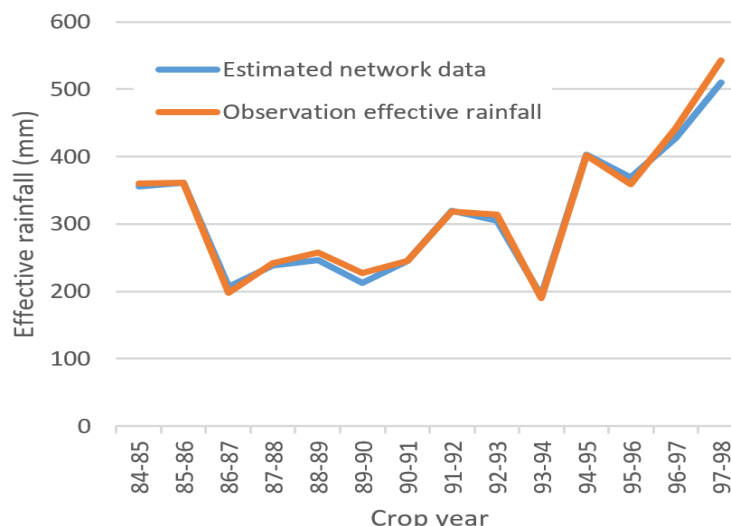
شکل ۶- رفتار شبکه در تخمین بارش مؤثر (سناریوی ۳)

Figure 6- Network behavior in estimation of effective precipitation (scenario 3)



شکل ۷- رفتار شبکه در تخمین بارش مؤثر (سناریوی ۴)

Figure 7- Network behavior in estimation of effective precipitation (scenario 4)



شکل ۸- رفتار شبکه در تخمین بارش مؤثر (سناریوی ۵)

Figure 8- Network behavior in estimation of effective precipitation (scenario 5)

پارامتر بارش است. بنابراین، مدل‌هایی با ورودی‌های توأم بارش و پارامترهای هواشناسی و خروجی بارش مؤثر با استفاده از شبکه عصبی تحت چند سناریو توسعه داده شد که این شبکه‌ها با استفاده از معیارهای RMSE، D و MBE مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که پارامتر بارش به تنهایی با RMSE، $4/61$ میلی‌متر، MBE $1/4$ میلی‌متر و ضریب توافق نزدیک به یک قادر است بارش مؤثر را به صورت دقیق‌تری نسبت به شبکه‌های توأم در منطقه مطالعاتی برای گندم تخمین بزند.

سپاسگزاری

از مساعدت سازمان هواشناسی استان کرمانشاه و سازمان جهاد کشاورزی بابت در اختیار قرار دادن داده‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان. خوشحال دستجردی، ج. و جوشنی، ع. (۱۳۹۱). برآورد مناسب‌ترین شیوه محاسبه بارش مؤثر برای کشت گندم پاییزه در حوزه دریاچه نمک. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۳(۹)، ۱۵۳-۱۶۹.

رحیمی، ج.، بذرافشان، ج. و خلیلی، ع. (۱۳۹۲). مطالعه تطبیقی روش‌های برآورد بارش مؤثر در زراعت گندم دیم در اقلیم‌های مختلف ایران. *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، ۳۱(۳)، ۴۶-۳۱. طاهری، پ.، افضل، ع. و طاهری، پ. (۱۳۸۹). مطالعه عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون نمایی در پیش‌بینی باران مؤثر. *مهندسی آب*، ۱(۱)، ۷۵-۸۳.

عظیمی، و.، شیخعلی‌پور، ز. و طباطبایی، س.م. (۱۳۹۱). برآورد باران مؤثر با استفاده از سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی

۴- نتیجه‌گیری

به‌منظور استفاده بهینه آب در بخش کشاورزی و پروژه‌های زهکشی، شناخت و برآورد بارش مؤثر ضروری است. روش‌های تجربی متعددی برای برآورد بارش مؤثر ارائه شده‌اند. اما با توجه به این‌که روش‌های تجربی برای مناطقی با ویژگی‌های خاص توسعه داده شدند و تعمیم آن‌ها به تمامی مناطق عاری از خطا است، در این پژوهش بارش مؤثر از روش حل معکوس برآورد شد و مدل مناسبی به‌منظور برآورد دقیق از بارش مؤثر در منطقه کرمانشاه پیشنهاد شد. اطلاعات هواشناسی و اطلاعات سال‌نامه‌های زراعی و نرم‌افزار CROPWAT برای محاسبه بارش مؤثر به روش حل معکوس به‌کار گرفته شدند. به‌منظور ارائه مدل بر مبنای هوش مصنوعی، هم‌بستگی متغیرهای هواشناسی با بارش مؤثر بررسی شد. بررسی‌ها نشان داد که مؤثرترین پارامتر برای تخمین بارش مؤثر با هم‌بستگی $0/99$ ،

منابع

اسدزاده شرفه، ح.، رئوف، م. و محمودی فرد گرمی، ز. (۱۳۹۴). برآورد مناسب‌ترین شیوه محاسبه بارش مؤثر در دشت اردبیل. دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه محقق اردبیلی.
پورغلام آمیجی، م.، هوشمند، م.، رجا، ا. و لیاقت، ع. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی باران مؤثر در استان خوزستان تحت کشت گندم دیم پاییزه. *مدیریت آب و آبیاری*، ۲(۹)، ۲۱۱-۲۳۰.
خالقی، ن. (۱۳۹۴). مقایسه روش‌های برآورد بارش مؤثر در کشاورزی. *آب و توسعه پایدار*، ۲(۲)، ۵۱-۵۸.
خسروی، م. و شکبیا، ه. (۱۳۸۹). پیش‌بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌منظور مدیریت سیل، مورد: شهرستان ایرانشهر،

CROPWAT در برآورد نیاز آبی محصول گندم در غرب کرمانشاه: شهرستان‌های اسلام آباد غرب، سر پل ذهاب و روانسر. *مدرس علوم انسانی*، ۱۱۳(۱)، ۲۴۸-۲۷۰.

مصطفوی دارانی، س.م.، نصراصفہانی، م.، و محمودزاده، ع. (۱۴۰۰). بررسی و برآورد بارش مؤثر در کشت گندم-مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کبوترآباد اصفهان. *نیوار*، ۴۵(۱۱۲)، ۱۲۳-۱۳۶.

نجفی، م.، عظیمی، و.، و شایان‌نژاد، م. (۱۳۹۳). ارزیابی دقت روش‌های هوشمند و آنالیز حساسیت تخییر-تعلق گیاه مرجع به پارامترهای هواشناسی در دو اقلیم مختلف. *اکوهیدرولوژی*، ۱۱(۱)، ۲۴-۱۷.

هاشمی نسب خبیسی، ف.ا.، موسوی بایگی، م.، بختیاری، ب.، و بنایان اول، م. (۱۳۹۳). اثر بارش بر عملکرد گندم دیم و شاخص رضایتمندی نیاز آبی در مقیاس زمانی مختلف. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۵(۱)، ۱-۱۳.

هلالی، ج.، قهرمان، ن.، و خلیلی، ع. (۱۳۹۵). مقایسه مقادیر درجه روز رشد (GDD) گندم با استفاده از داده‌های ساعتی و روزانه دما در دو نمونه اقلیمی ایران. *پژوهش‌های کاربردی زراعی*، ۲۹(۱۱۰)، ۸-۱۸.

(ANFIS). سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

علیدوستی شهرکی، م.، عظیمی، و.، و شریفی بناب، ص. (۱۳۹۲). مقایسه روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و شبکه عصبی-موجک در تخمین بارش مؤثر با استفاده از داده‌های هواشناسی. دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

علیزاده، ا. (۱۳۶۷). اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ یازدهم، انتشارات آستان قدس رضوی، صفحه ۱۵۶.

غفاری، غ.، و وفاخواه، م. (۱۳۹۲). شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی-عصبی تطبیقی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حاجی قوشان). *پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۴(۸)، ۱۲۰-۱۳۶.

قمرنیا، ه.، و جوادی بایگی، م. (۱۳۸۶). برآورد باران مؤثر در ارتباط با کشت گندم دیم در کرمانشاه. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تخییر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

کولاتیان، ع.، و غلامی سفیدکوهی، م. (۱۳۹۱). معرفی بهترین روش تعیین بارندگی مؤثر کشت برنج در شهرستان قائمشهر. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

لشکری، ح.، کیخسروی، ق.، و رضایی، ع. (۱۳۸۸). تحلیل کارایی مدل

Reference

- Alidosti Shahraki, M., Azimi, V., & Sharifi bonab, S. (2013). Comparison of artificial neural network and wavelet neural network methods in estimating effective precipitation using meteorological data. The 2nd International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling, Kerman, Iran, (in Persian).
- Alizadeh, A. (1988). *The principles of applied hydrology*. 11th edition: Astan Quds Razavi Publications, 156 pages (in Persian).
- Andarzian, B., Bannayan, M., Stedutoc, P., Mazraeha, H., Baratid, M.E., Baratie, M.A., & Rahnamaa A. (2011). Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*, 100(1), 1- 8.
- Aqil, M., Kita, I., Yano, A., & Nishiyama, S. (2007). A comparative study of artificial neural networks and neuro-fuzzy in continuous modeling of the daily and hourly behavior of runoff. *Journal of Hydrology*, 337(2), 22-34.
- Asadzadeh Sharafteh, H., Raof, M., & Mahmoodifard Garmi, Z. (2015). The best method of calculation in Ardabil plain. The 2nd National Conference on Conservation of Natural Resources and Environment, Ardabil, Iran, Pp. 1-8 (in Persian).
- Ayu, I.W., Sebayang, H.T., & Soemarno, P.S. (2018). Assessment of rice water requirement by using cropwat model in sumbawa regency, west Nusa Tenggara, Indonesia. *International Journal of Plant Research*, 31(2), 2-6.
- Azimi, V., Sheikhalipour, Z., & Tabatabaei, S.M. (2019). Estimating effective rain using adaptive neural fuzzy inference system (ANFIS). The 3rd National Conference on Comprehensive Water Resources Management, Sari, Iran, (in Persian).
- Doorenbos, J., & Kassam, A.H. (1979). Yield response to water. *Irrigation and Drainage*, FAO, Rome. 33 pages.
- Fraiss, C., Staub, C.G., Gelcer, E., Dourte, D., Montone, V., Kohmann, M., Hawkins, G., Payero, J., Knox, P., Zierden, D., & Krantz, Sh. (2016). A Guide for Climate and Agriculture in the Southeastern U.S.. The AgroClimate Workbook, University of Florida, 31-35.
- Ghafari, GH., & Vafakhah, M. (2013). Simulation of rainfall-runoff process using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy interface system (Case study: Hajighoshan Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 4(8), 120-136 (in Persian).
- Ghamarnia, H., & Javadi Baigi, M. (2007). Estimation of effective rain related to dry wheat cultivation in Kermanshah. The 9nd National Seminar on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman,

- Iran, (in Persian).
- Hasheminasab, F.S., Mousavi baygi, M., Bakhtiyari, B., & Bannayan, M. (2014). The Effects of Rainfall on Dryland Wheat Yield and Water Requirement Satisfaction Index at Different Time Scales. *Irrigation and Water Engineering*, 5(1), 1-13 (in Persian).
- Helali, J., Ghahreman, N., & Khalili, A. (2013). Comparison of winter wheat GDD values calculated using daily and hourly temperature data in two climatic regions of Iran. *Applied Field Crops Research*, 29(110), 8-18 (in Persian).
- Kato, T. (2016). Integration of Distributed Energy Resources in Power Systems Prediction of photovoltaic power generation output and network operation, 77–108.
- Khaleghi, N. (2016). Comparison of effective rainfall estimation methods in agriculture. *Journal of Water and Sustainable Development*, 2(2), 51-58 (in Persian).
- Khanna, T. (1990). *Foundation of neural networks*. Addison-Wesley Publishing Company, U.S.A., 327 pages.
- Khoshhal Dastjerdi, J., & Joshani, A. (2013). Estimating the most appropriate method of calculating effective rainfall for autumn wheat cultivation in the Namak lake area. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 3(9), 153-169 (in Persian).
- Khosravi, M., & Shakiba, H. (2010). Precipitation forecasting using artificial neural network for flood management case study; Iranshahr region (South East of Iran). The 4th International Congress of The Islamic World Geographers, Zahedan, Iran, Pp. 1-21 (in Persian).
- Koulaian, A., & Gholami Sefidkoobi, M.A. (2012). Introducing the best method to determine rice cultivation effective rainfall in Ghaemshahr. The 3rd National Conference on Comprehensive Water Resources Management, Sari, Iran, Pp. 1-8 (in Persian).
- Laaboudi, A., Mouhouche, B., & Draoui, B. (2012). Neural network approach to reference evapotranspiration modeling from limited climatic data in arid regions. *International Journal of Biometeorology*, 56(5), 831–841.
- Lashkari, H., Keikhosravi, G., & Rezaei, A. (2009). The analysis of the cropwat model efficiency estimating water requirement of wheat in the west of Kermanshah townships of the Islamabad Gharb, Sarpol Zahab and Ravansar. *Human Sciences Modares*, 13(1), 248-270 (in Persian).
- McMaster, G.S., & Smika, D.E. (1988). Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the central Great Plains. *Agricultural and Forest Meteorology*, 43(1), 1-18.
- Mostafavi Darani, S.M., Nasr Esfahani, M., & Mahmoodzadeh, A. (2021). Investigation and estimation of effective rainfall in wheat cultivation Case study: Isfahan Kabootarabad. Agrometeorological Research Station. *Nivar*, 45(112), 123-136 (in Persian).
- Najafi, M., Azimi, V., & Shayannejad, M. (2014). An evaluation of accuracy of intelligent methods and sensitivity analysis of reference crop evapotranspiration to meteorological parameters in two different climates. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 1(1), 17-24.
- Pourgholam Amiji, M., Hooshmand, M., Raja, O., & Liaghat, A. (2020). Effective rain zoning in Khuzestan Province under autumn rainfed wheat cultivation. *Journal of Water and Irrigation Management*, 9(2), 211-230 (in Persian).
- Rahimi, J., Bazrafshan, J., & Khalili, A. (2013). A comparative study on empirical methods for estimating effective rainfall for rainfed wheat crop in different climates of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 45(3), 31-46 (in Persian).
- Taheri, P., Afzal, A., & Taheri, P. (2010). Studying the performance of artificial neural networks and exponential regression in forecasting effective rain. *Water Engineering*, 1(1), 75-83 (in Persian).
- Tsai, S.M., Chen, S., & Wang, H.Y. (2005). A study on the practical model of planned effective rainfall for paddy fields in Taiwan. *Journal of Marine Science and Technology*, 13(2), 73-82.