



شماره ۱۰۶، بهار ۱۳۹۴

روش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندگانه در برآورد تبخیر از تشت و تعیین مهم‌ترین عوامل هواشناسی موثر به روش تحلیل مولفه‌های اصلی

• نوذر قهرمان

دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

• ابوذر قره‌خانی

تاریخ دریافت: مردادماه ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: خردادماه ۱۳۹۳

Email: nghahreman@ut.ac.ir

چکیده

میزان تبخیر از تشت یکی از عوامل بسیار مهم در برنامه ریزی منابع آب، مدیریت آبیاری و تولیدات زراعی می‌باشد. بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور فاقد آمار طولانی مدت و همگن تبخیر از تشت می‌باشند. لذا مدل‌های تجربی مختلفی به منظور برآورد این کمیت مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف از انجام این تحقیق، برآورد تبخیر از تشت در چهار ایستگاه سینوپتیک کرج، اهواز، شیراز و تبریز در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ با استفاده از دو روش شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network) و رگرسیون چندگانه (Multiple regression) و مشخص نمودن مهمترین متغیرهای تأثیرگذار بر تبخیر از تشت در ایستگاه‌های مطالعاتی با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی (Principal Factors Analysis) می‌باشد. در این رابطه، داده‌های تبخیر از تشت، دمای بیشینه و کمینه، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از روش آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA) نشان داد در ایستگاه اهواز ۹۰ درصد، ایستگاه تبریز ۹۱ درصد و در ایستگاه شیراز ۹۳ درصد از تغییرات تبخیر از تشت بر اساس ساعات آفتابی، سرعت باد و دمای حداکثر و حداقل قابل توجه است. ولی در ایستگاه کرج، تعیین موثرترین عوامل بر تبخیر از تشت با روش PCA عملی نبوده است. نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهداتی تطابق مناسبی داشتند، به طوری که در ایستگاه‌های اهواز، شیراز و تبریز مقدار ضریب تبیین (R^2) برابر ۰/۸۱ و در ایستگاه کرج ۰/۸۸ و مقدار RMSE برای ایستگاه‌های اهواز، شیراز و تبریز ۰/۲ میلی‌متر و برای ایستگاه کرج ۰/۱ میلی‌متر می‌باشد. همچنین مقدار MAE برای ایستگاه‌های کرج، اهواز، شیراز و تبریز به ترتیب برابر ۳/۸۳، ۳۳/۶، ۲۱/۷۹ و ۱۵/۶ میلی‌متر می‌باشد. همچنین بر اساس شاخص MSE_2 مشخص شد مدل پیشنهادی در ایستگاه‌های اهواز، شیراز و تبریز بیش برآورد بوده و تنها در ایستگاه کرج مدل پیشنهادی کم برآورد می‌باشد. نتایج حاصل از روش رگرسیون چندگانه نشان داد که در ایستگاه کرج دمای حداکثر، ایستگاه تبریز سرعت باد، ایستگاه شیراز دمای حداقل مقدار P-value برابر ۰/۰۳، ۰/۰۴، ۰/۱ می‌باشد که بیانگر اینست که این عوامل نسبت به سایر عوامل مورد بررسی تأثیر بیشتری بر روی تبخیر از تشت داشته است.

کلمات کلیدی: آنالیز مولفه‌های اصلی، ضریب تبیین، متغیرهای هواشناسی، میانگین خطای مطلق (MAE)

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 106 pp: 41-51

Comparison of multiple regression and artificial neural network methods in estimation of pan evaporation and determination of most important affecting variables using principal factors analysis

By: N. Ghahreman, University of Tehran (Corresponding Author). A. Gharekhani.

Pan evaporation is a key element in water resource planning, irrigation management and crop production. In most of the weather stations of country long term, homogen pan evaporation (Epan) data are not available. Hence, empirical model are used to estimate this variable.

The objective of this study was to compare the skill of regression and artificial neural network models in estimation of pan evaporation and determination of most affecting weather variables on Epan by principle factors analysis (PCA) approach using historical climatic datasets of four station namely Karaj, Ahvaz, Shiraz and Tabriz during period of 1986 to 2005. Meteorological data including Maximum and Minimum temperature, wind speed and sunshine hours were used as predictors. Results of PCA approach revealed that in Ahvaz, Tabriz and Shiraz stations respectively 90%, 91% and 93% of pan evaporation variations can be attributed to wind speed, sunshine hours and Tmax, Tmin. PCA method did not perform well in Karaj. Application of ANN models showed acceptable results in all study stations. The R2 value was 0.81 in Ahvaz, Shiraz and Tabriz stations and 0.88 in Karaj station. Similarly, the RMSE values for Ahvaz, Shiraz and Tabriz stations was 0.2 mm and 0.1 mm for Karaj station. Besides, based on MSE2 index, the proposed model was overestimating in first three stations and underestimating in Karaj climate. MAE values in Karaj, Ahvaz, Shiraz and Tabriz were 3.83, 33.6, 21.79 and 15.6 respectively. Results of multiple regressions showed that in Karaj, Tmax, in Tabriz station, wind velocity and in Shiraz station; Tmin are the most significant affecting variables on Epan with P values of 0.03, 0.04 and 0.1 respectively.

Keywords: Iran, Meteorological variable, Pan evaporation, Statistical models

تشت با استفاده از تکنیک‌هایی مانند شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و رگرسیون چند گانه انجام شده است. در این پژوهش‌ها، با استفاده از داده‌های طول و عرض جغرافیایی، ساعات آفتابی و ارتفاع، تبخیر از تشتت با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی با دقت مناسبی پیش بینی شده است. (۸،۱۲،۱۵). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی، معادلات تجربی و رگرسیون فازی به منظور برآورد مقادیر روزانه تبخیر از تشتت در ایتالیا و با استفاده با داده‌های بارندگی، دما، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی و سرعت باد برای یک دوره ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۶ انجام گرفته است (۷،۴). نتایج بدست آمده نشان داد میزان تبخیر از تشتت که از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی محاسبه شده، دارای کمترین خطا نسبت به سایر روش‌های برآورد روزانه می باشد (۷، ۱۶).

در مطالعات مختلفی تکنیک‌های شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد تبخیر و تبخیر تعرق مورد استفاده قرار گرفته است. آرکا (۲۰۰۰)، بروتون و همکاران (۲۰۰۰) و کومار و همکاران (۲۰۰۲) مقدار تبخیر تعرق روزانه گیاه مرجع را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی تخمین زدند. سپس با مقایسه این مقادیر با نتایج حاصل از روش متداول محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع یعنی روش پنمن مونتیت، قابلیت شبکه‌های عصبی مصنوعی را برای محاسبه این پارامتر

مقدمه

بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور یا فاقد تجهیزات لازم برای اندازه‌گیری عواملی مانند تبخیر و تابش خورشیدی هستند و یا فاقد آمارهای پیوسته و طولانی مدت می‌باشند. از سویی، اندازه‌گیری مستقیم این متغیرها وقت گیر، هزینه‌بر و دشوار است. به همین دلیل، روش‌های غیرمستقیم مانند روش‌های تحلیلی و تجربی به عنوان راهکاری مناسب برای رفع نسبی این مشکلات ارائه شده است. روش‌های تحلیلی برای پیش‌بینی تابش خورشیدی و تبخیر از سطح آزاد آب به داده‌های هواشناسی زیادی نیاز دارند که بعضی از این داده‌ها در همه ایستگاه‌ها اندازه‌گیری نمی‌شوند. روش‌های تجربی داده‌های کمتری نیاز دارند، ولی دقت آنها در مناطق مختلف متفاوت است و برای هر منطقه باید واسنجی شوند.

ایجاد توابع انتقالی روشی غیرمستقیم برای برآورد عوامل دیریافت است که با استفاده از معادلات رگرسیونی و یا شبکه عصبی مصنوعی میان عوامل زودیافت و دیریافت ارتباط برقرار می‌کند. تجزیه و تحلیل رگرسیونی، یک روش آماری برای بررسی و مدل سازی رابطه بین متغیرها است. در این روش هدف، معادله‌ای است که به بهترین وجه ارتباط بین متغیرها را توجیه کند.

مطالعات متعددی در اکثر نقاط دنیا در زمینه پیش بینی تبخیر از

مختلف از ترکیب شش پارامتر دماهای حداکثر و حداقل، مقادیر رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، سرعت باد و ساعات آفتابی گزارش کردند که از میان مدل‌های بررسی شده، مدل با ترکیب پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی روزانه از دقت بالاتری برای تخمین تبخیر تفرق برخوردار است (۱۹).

تکنیک مولفه‌های اصلی (PCA) که نوعی تحلیل مقادیر ویژه یک ماتریس همبستگی یا کوواریانس است طی دو دهه گذشته در هواشناسی، روابط آب و خاک، هیدرولوژی و منابع آب به طور گسترده‌ای مورد استفاده بوده است. موهان و آروموگام (۱۹۹۶) با استفاده از رهیافت مولفه‌های اصلی اهمیت نسبی متغیرهای هواشناسی موثر بر تبخیر تفرق را در چند منطقه هند مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سه متغیر رطوبت نسبی، دمای هوا و سرعت باد بیشترین تاثیر را بر این کمیت دارند.

تیانشاو و همکاران (۲۰۰۹) از تکنیک مولفه‌های اصلی برای ارزیابی عوامل موثر بر تبخیر در اراضی فاریاب نواحی سردسیر شمال چین استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات مقدار تبخیر، نتیجه تاثیرات ترکیبی عوامل هواشناسی متعدد است، ولی در صورتی که دما ثابت نگه داشته شود، ساعات آفتابی موثرترین عامل خواهد بود. کالادهارا راثو و تیواری (۲۰۰۹) از رهیافت مولفه‌های اصلی در بررسی سری‌های زمانی دیرین-اقلیم‌شناسی استفاده کردند. اسعدی اسکویی (۱۳۸۸) تکنیک مولفه‌های اصلی را برای مدلسازی برآورد غلظت اوزون سطحی مورد استفاده قرار داد. در مجموع نتایج محققان نشان می‌دهد که می‌توان از روش‌های رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد و پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی استفاده کرد و به نتایج قابل قبولی دست یافت.

هدف از انجام این پژوهش، مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندگانه در برآورد تبخیر از تشت و نیز تعیین موثرترین متغیرهای هواشناسی با استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی بر این کمیت در چهار ایستگاه مطالعاتی اهواز، تبریز، شیراز و کرج می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آمار هواشناسی مورد استفاده

در این پژوهش از آمار هواشناسی چهار ایستگاه سینوپتیک کرج، تبریز، شیراز و اهواز در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ استفاده شد. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) آمده است.

برای اجرا و مقایسه مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های مطالعاتی در مقیاس ماهانه شامل میانگین دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد)، میانگین دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)، میانگین متوسط رطوبت نسبی (درصد)، میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه) و میانگین ساعات آفتابی (ساعت) از سازمان هواشناسی کشور تهیه و بعد از کنترل‌های کیفی لازم برای برآورد مقدار ماهانه تبخیر از تشت مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های ناقص و مفقود با استفاده از روش‌های مناسب آماری تکمیل و بازسازی شد. مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول (۱) آمده است.

مورد ارزیابی قرار دادند. کومار و همکاران (۲۰۰۲)، شبکه پرسپترون چند لایه (MLP) با روش پس انتشار خطا، با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه تابش خورشیدی، حداکثر و حداقل دما، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی و سرعت باد به عنوان ورودی مورد آموزش و ارزیابی قرار دادند. در نهایت شبکه‌ای با ساختار ۱-۷-۶ به عنوان بهترین ساختار برای تخمین تبخیر و تفرق به روش پنمن مانیتیت روزانه انتخاب شد (۱۰).

کیسی (۲۰۰۶) روش رگرسیون فازی را در برآورد میزان تبخیر تفرق گیاه مرجع با استفاده از پنج پارامتر ورودی شامل دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد، با دقت خوبی مورد استفاده قرار داد. محققان زیادی با استفاده از سایر عوامل اقلیمی برای پیش‌بینی تبخیر از تشت اقدام کرده‌اند، دقت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در برآورد تبخیر از تشت با استفاده از داده‌های دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی نیز به تایید رسیده است (۹، ۱۷).

مطالعات متعددی نیز در ایران برای ارزیابی توانمندی مدل‌های شبکه عصبی در علوم آب و خاک انجام شده است. رحیمی خوب (۲۰۰۸) عملکرد شبکه عصبی مصنوعی و روش هارگریوز در تخمین تبخیر تفرق گیاه مرجع در ۱۲ ایستگاه هواشناسی را بررسی نمود. در این تحقیق، نتیجه گرفته شد که شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد تبخیر تفرق گیاه مرجع نسبت به روش هارگریوز از دقت بیشتری برخوردارند (۱۴). همچنین، در تحقیقی دیگری، زارع ابیانه و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های لایسیمتری دقت شبکه عصبی MLP را برای تخمین مقدار تبخیر تفرق گیاه سیر با استفاده از پارامترهای هواشناسی، مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که شبکه MLP از دقت خوبی برخوردار است و نسبت به پارامتر دمای حداکثر بیشترین حساسیت و حداقل رطوبت نسبی کم‌ترین حساسیت را داراست (۲۰).

طبری و همکاران (۲۰۱۰) مدل‌های رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی را برای برآورد تبخیر از تشت را در استان همدان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد کمیت تبخیر بیشترین حساسیت را به دما و سرعت باد دارد. همچنین، مدل‌های شبکه عصبی در مقایسه با رگرسیون چندگانه برتری نسبی دارند. قبایی سوق و همکاران (۲۰۱۰) به ارزیابی تاثیر پیش پردازش پارامترهای ورودی به شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از روش‌های رگرسیون و آزمون گاما به منظور تخمین تبخیر و تفرق روزانه پرداختند. آن‌ها گزارش کردند که برتری دقت مدل شبکه عصبی مصنوعی با پارامترهای پردازش شده نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی با داده‌های بدون پردازش ناچیز است و بهترین مدل شامل ترکیب همه پارامترها (دمای حداقل، دمای متوسط، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد) به جز دمای حداکثر می‌باشد (۶).

زارع ابیانه و همکاران (۲۰۱۰) برای پیش‌بینی تبخیر و تفرق گیاه مرجع در منطقه همدان از شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی فازی استفاده نمودند. آن‌ها در تحقیق خود با ایجاد چهار مدل



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	ارتفاع m	متوسط دما (°C)	اقلیم (دومارتن گسترش یافته)	متوسط تبخیر از تشت (mm)	انحراف معیار تبخیر از تشت (mm)	متوسط رطوبت نسبی (%)	متوسط سرعت باد (m.s ⁻¹)	ساعات آفتابی
اهواز	۲۲	۲۵,۳	بیابانی گرم	۳۴۴۸	۹۷,۳	۴۲	۴,۶	۳۰۹۸
کرج	۱۳۱۲	۱۵,۱	نیمه خشک سرد	۱۸۸۰	۱۰۲,۹	۴۸	۴,۵	۲۹۸۳
تبریز	۲۸۹	۱۲,۵	نیمه خشک سرد	۱۸۱۱	۱۰۸,۷	۵۴	۵,۷	۲۷۹۰
شیراز	۳۴۶	۱۷,۷	نیمه خشک معتدل	۲۵۷۰	۹۱,۱	۳۹	۴,۵	۳۳۵۳

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots \quad (1)$$

که در آن: Y متغیر وابسته، X_{in} متغیر مستقل و β_i ضرایب رگرسیون نامیده می‌شوند. تفسیر و استفاده از یک مدل رگرسیون چندگانه اغلب صریحا به برآوردهای تک تک ضرایب رگرسیونی بستگی دارد.

روش شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی مدلی ریاضی است که توانایی مدل سازی و ایجاد روابط ریاضی غیرخطی برای درون‌یابی را دارد. این مدل با ساختار پرسپترون چند لایه به طور کلی از سه لایه و هر لایه از

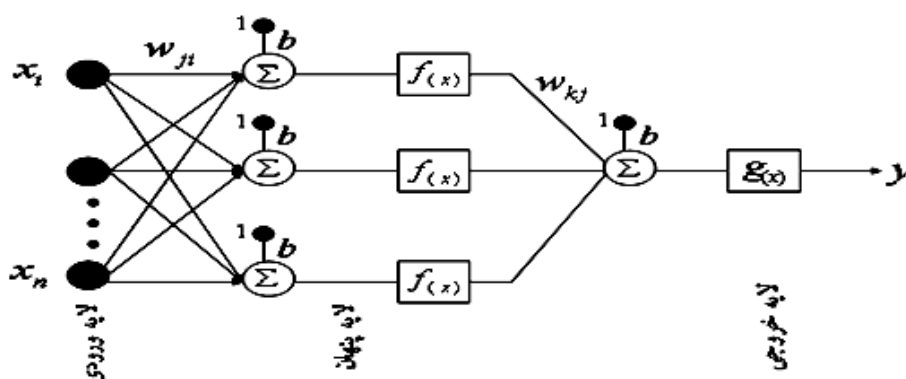
روش پژوهش:

برای انجام این پژوهش از توابع انتقالی (رگرسیون چندگانه، شبکه عصبی مصنوعی) و آنالیز مولفه‌های اصلی استفاده گردیده که این روش‌ها عبارتند از:

روش رگرسیون خطی چندگانه

تجزیه رگرسیون یک روش آماری برای بررسی و مدل سازی رابطه بین متغیرهاست. مدل‌های رگرسیونی خطی چندگانه اغلب به صورت توابع تقریبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این توابع رابطه حقیقی بین Y و X_1, X_2, \dots, X_k نامعلوم است، اما در دامنه‌های معینی از متغیرهای مستقل روابط رگرسیونی خطی تقریباً قابل تعریف می‌باشد:

خطی قادر به تخمین هر نگاشت بیچیده‌ای خواهد بود، مشروط بر این‌که در انتخاب تعداد نرون‌های لایه مخفی دقت کافی به عمل آید (۱۳). برای انجام شبیه‌سازی شبکه پرسپترون سه لایه انتخاب شد و حالات سه گانه ذکر شده در جدول (۳) برای مدل‌های سه گانه در تکرارهای بسیار مورد استفاده قرار گرفتند. تعداد نرون‌های لایه میانی از یک تا ۱۰ تغییر کرد. به منظور یکسان کردن ارزش داده‌ها برای شبکه عصبی مصنوعی، عمل نرمال سازی صورت گرفت که این کار مانع از کوچک شدن بیش از حد وزن‌ها و سبب جلوگیری از اشباع زود هنگام نرون‌ها شد.



شکل ۲- نمای یک شبکه عصبی مصنوعی

که در مرحله توسعه و ساخت بکار نرفته اند، استفاده می‌شود. به منظور ارزیابی و بررسی روش‌های مورد استفاده از معیارهای متداول آماری شامل ضریب تبیین ($2R$)، جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و میانگین خطای مطلق (MAE) هستند استفاده شده است. همچنین جهت بررسی بیش برآوردی یا کم برآوردی از شاخص $MSE2$ استفاده گردید. معیار آماری ضریب تبیین برای تعیین همبستگی بین مقادیر واقعی و برآورد شده و هم چنین جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطای مطلق برای تعیین مقادیر خطای برآورد شده، به کار برده شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از روش رگرسیون چندگانه نشان داد که در ایستگاه کرج دمای حداکثر، ایستگاه تبریز سرعت باد، ایستگاه شیراز دمای حداقل نسبت به سایر عوامل مورد بررسی تاثیر بیشتری بر روی تبخیر از تشت داشته است. اما در ایستگاه اهواز با استفاده از روش رگرسیون چندگانه موثرترین عامل مشخص نشد و تمامی عوامل بطور جزئی بر روی تبخیر از تشت تاثیرگذار بودند. نتایج حاصل از روش رگرسیون چندگانه در ایستگاه‌های مطالعاتی در جدول (۲) آمده است. به منظور استفاده از شبکه عصبی مصنوعی سه مدل برای متغیرهای ورودی به شبکه عصبی مصنوعی تهیه شد. پارامترهای ورودی به مدل شبکه عصبی و نوع مدل انتخابی برای ورودی به شبکه عصبی مصنوعی در جدول (۳) آمده است.

تعدادی واحد پردازشگر به نام نرون (سلول، واحد و یا گروه) تشکیل شده است (شکل ۲). بر اساس بررسی‌های انجام شده، حدود ۹۰ درصد شبکه‌های عصبی مصنوعی که در فرآیندهای مرتبط با پارامترهای اقلیمی استفاده شد، از نوع شبکه‌های با الگوریتم پس انتشار خطا می‌باشند (۳). در این پژوهش، برای مدل‌سازی از نرم افزار NEURO SOLUTIONS استفاده شد. داده‌ها به سه دسته آموزش (۶۵ درصد از کل داده‌ها)، اعتبار سنجی (۱۵ درصد از کل داده‌ها) و آزمایش (۲۰ درصد از کل داده‌ها) تقسیم شد. بر اساس قضیه کلموگروف هر شبکه عصبی MLP با یک لایه مخفی زیگموئیدی و لایه خروجی

آنالیز مؤلفه‌های اصلی

آنالیز مؤلفه‌های اصلی یک روش آماری چند متغیره است که با ساختار درونی ماتریس‌ها و تبیین ساختار واریانس-کواریانس، به کمک چند ترکیب خطی از متغیرهای اصلی سر و کار دارد. در آنالیز مؤلفه‌های اصلی ترکیب خطی ناهمبسته متغیرهای اصلی وارد می‌شوند که به آن‌ها بردار می‌گویند. تعداد بردارها که در فضا در چند جهت قرار می‌گیرند و نسبت به یکدیگر متعامد هستند، متناسب با تعداد متغیرهای اصلی می‌باشد. در آنالیز مؤلفه‌های اصلی هر محور با یک مقدار ویژه از ماتریس متناظر است و مقادیر ویژه ماتریس تشابه طبق روند نزولی تلخیص می‌شود، به نحوی که مؤلفه‌های متناظر در آنالیز مؤلفه‌های اصلی معرف روند نزولی تغییرات در ماتریس است. بنابراین، محورهای اولیه در آنالیز مؤلفه‌های اصلی که واحدهای نمونه‌ای بر روی آن موقعیت‌یابی می‌شوند، بیشترین درصد از مجموع تغییرات قابل قبول را معرفی می‌نمایند. در نهایت نتایج به دست آمده به صورت دستگاه مختصات خلاصه شده‌ای است که اطلاعاتی را درباره تاثیرگذارترین عوامل بیان می‌کند (۱۳).

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی روش‌های مورد استفاده، صحت و اعتبار آنها با تطابق دادن مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده مورد سنجش قرار می‌گیرد. برای ارزیابی صحت مدل‌ها از داده‌هایی استفاده می‌شود که در ساخت مدل نیز به کاررفته اند، اما برای سنجش اعتبار از داده‌هایی

جدول ۴- مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین فاکتورهای خاکی و مقادیر کل و قابل استخراج با DTPA فلزات سنگین در کل منطقه و سه نوع کاربری اراضی

ایستگاه	عوامل مورد بررسی	P-value	ضریب رگرسیون
اهواز	Tmin	0.9	15
	Tmax	0.2	-206.3
	RH	0.4	-36.3
	Sunshine	0.2	1.1
	Wind	0.7	-96
تبریز	Tmin	0.5	70
	Tmax	0.7	-30
	RH	0.2	0.4
	Sunshine	0.7	3.3
	Wind	0.04	92.3
کرج	Tmin	0.4	-86.2
	Tmax	0.03	282.7
	RH	0.3	27.2
	Sunshine	0.7	0.2
	Wind	0.9	-6.5
شیراز	Tmin	0.01	181
	Tmax	0.1	-65
	RH	0.2	-43.8
	Sunshine	0.8	-0.2
	Wind	0.1	-141

جدول ۳- پارامترهای ورودی به مدل شبکه عصبی

مدل	پارامترهای ورودی
ANN1	Tmin, Tmax, sunshine, RH, Pan Evaporation, Wind
ANN2	sunshine, RH, Pan Evaporation, Tmin
ANN3	Wind, Pan Evaporation, Tmin

جدول ۴- حالت‌های سه گانه آزمایش شده برای معماری‌های مختلف مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی.

ردیف	لایه میانی		لایه خروجی	
	تابع انتقال	الگوریتم آموزش	تابع انتقال	الگوریتم آموزش
حالت اول	تانژانت هیپرپولیک	مومنتوم	خطی	مومنتوم
حالت دوم	سیگموئید	مومنتوم	خطی	مارکوت لونبرگ
حالت سوم	تانژانت هیپرپولیک	سیگموئید	خطی	مومنتوم

مقدار MAE برای ایستگاه‌های کرج، اهواز، شیراز و تبریز به ترتیب برابر ۳/۸۳، ۳۳/۶، ۲۱/۷۹ و ۱۵/۶ می‌باشد. همچنین بر اساس شاخص MSE2 مشخص شد مدل پیشنهادی در ایستگاه‌های اهواز، شیراز و تبریز بیش برآورد بوده و تنها در ایستگاه کرج مدل پیشنهادی کم برآورد می‌باشد. داده‌های واقعی و تخمین زده شده در فاز آزمون برای مدل بهینه در شکل‌های (۳) تا (۶) نشان داده شده است.

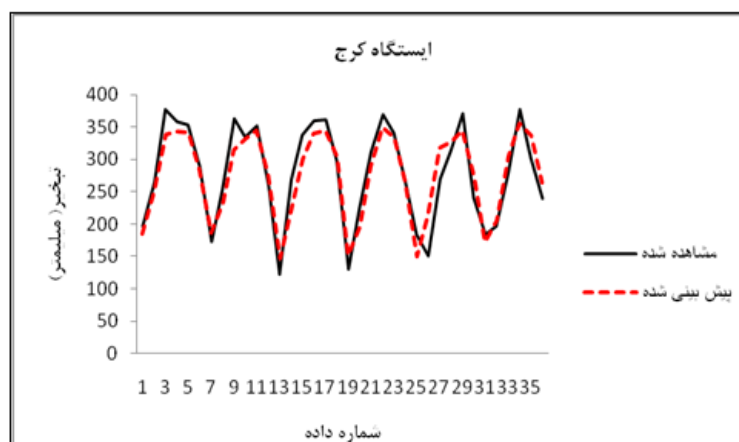
بهترین نتایج مدل‌های در نظر گرفته شده در مرحله آزمون برای هر ایستگاه در جدول (۵) آمده است. نتایج نشان از توانایی شبکه عصبی مصنوعی در مدل سازی تبخیر از تشت داشتند. به طوری که در ایستگاه‌های اهواز، شیراز و تبریز مقدار ضریب تبیین (R2) برابر ۰/۸۱ و در ایستگاه کرج ۰/۸۸ که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار می‌باشند. مقدار RMSE برای ایستگاه‌های اهواز، شیراز و تبریز ۰/۲ میلی‌متر و برای ایستگاه کرج ۰/۱ میلی‌متر می‌باشد. همچنین

جدول ۵- نتایج ارزیابی مدل (مرحله آزمون) برای پیش بینی تبخیر از تشت در ایستگاه مطالعاتی

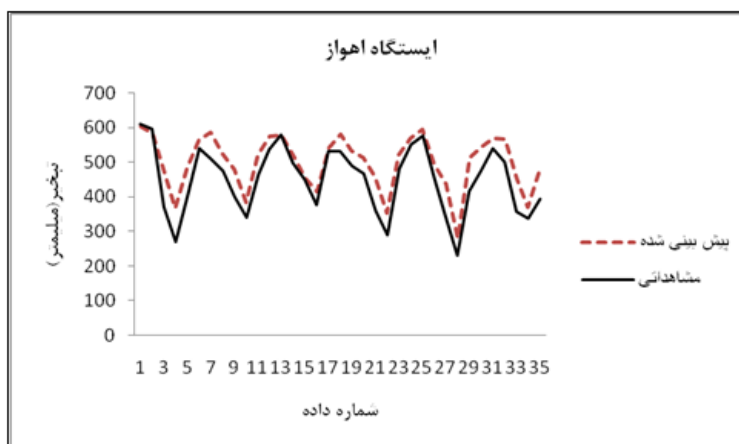
ایستگاه	نوع مدل داده‌های ورودی	الگوریتم آموزش	تعداد دور آموزش	لایه پنهان		ارزیابی آماری (آزمون)			
				تایع انتقال	تعداد نرون	R2	RMSE	MAE	MSE2
کرج	ANN1	سیگموئید	7000	خطی	1	0.88	0.1	3.83	-3.72
	ANN2	مومنتوم	6530	خطی	2	0.81	0.7	5.21	4.67
	ANN3	تانژانت هیپرپولیک	4500	خطی	4	0.64	0.3	6.38	-21.5
اهواز	ANN1	مومنتوم	654	خطی	2	0.81	0.2	33.6	21.4
	ANN2	مارکوت لونیگ	1000	خطی	1	0.49	0.3	34.10	29.7
	ANN3	تانژانت هیپرپولیک	8210	خطی	2	0.64	0.2	32.71	24.8
شیراز	ANN1	تانژانت هیپرپولیک	6000	خطی	1	0.81	0.2	21.79	21.19
	ANN2	سیگموئید	6030	خطی	2	0.49	0.2	29.48	22.1
	ANN3	مومنتوم	5000	خطی	3	0.64	0.3	31.54	-12.5
تبریز	ANN1	مومنتوم	680	خطی	2	0.49	0.4	23.51	-18.3
	ANN2	مارکوت لونیگ	10000	خطی	3	0.49	0.3	18.74	16.7
	ANN3	تانژانت هیپرپولیک	8000	خطی	2	0.81	0.2	15.6	15.7

تبعیت می‌کند. شکل‌های (۳) تا (۶) مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تبخیر از تشت را برای بهترین مدل پیش‌بینی در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد.

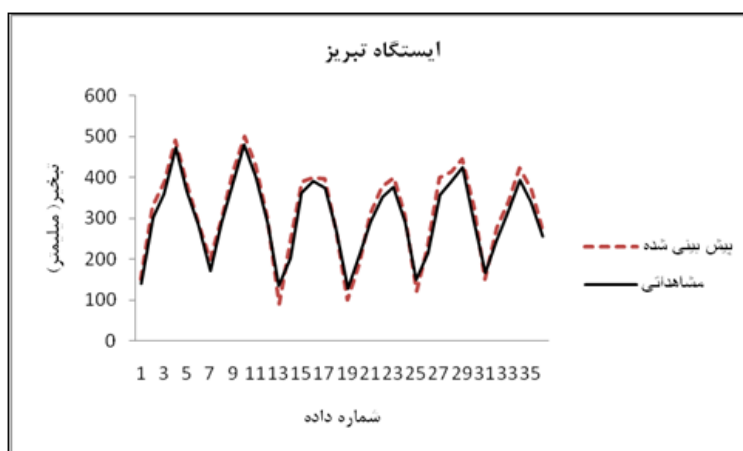
نتایج پیش‌بینی تبخیر از تشت نشان دادند که در ایستگاه‌های اهواز، کرج و شیراز با استفاده از مدل ANN1 که شامل تمامی متغیرهای مورد استفاده به عنوان ورودی می‌باشد، جواب بهتری می‌دهد. در ایستگاه تبریز از پیش‌بینی تبخیر با استفاده از مدل ANN3 بیشتر



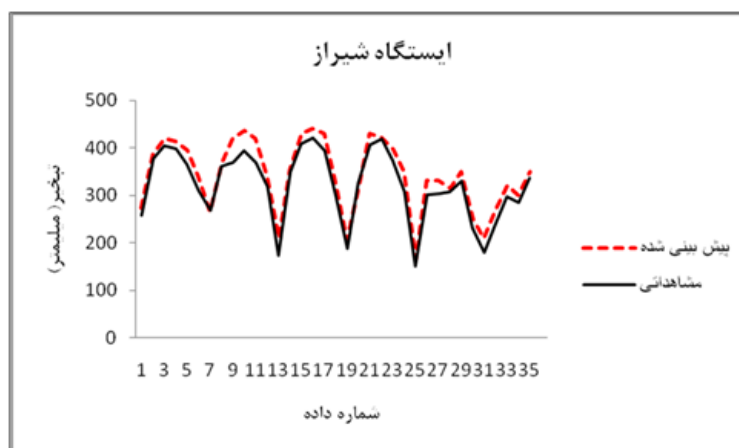
شکل ۳- نتایج حاصل از مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده تبخیر از تشت در ایستگاه کرج



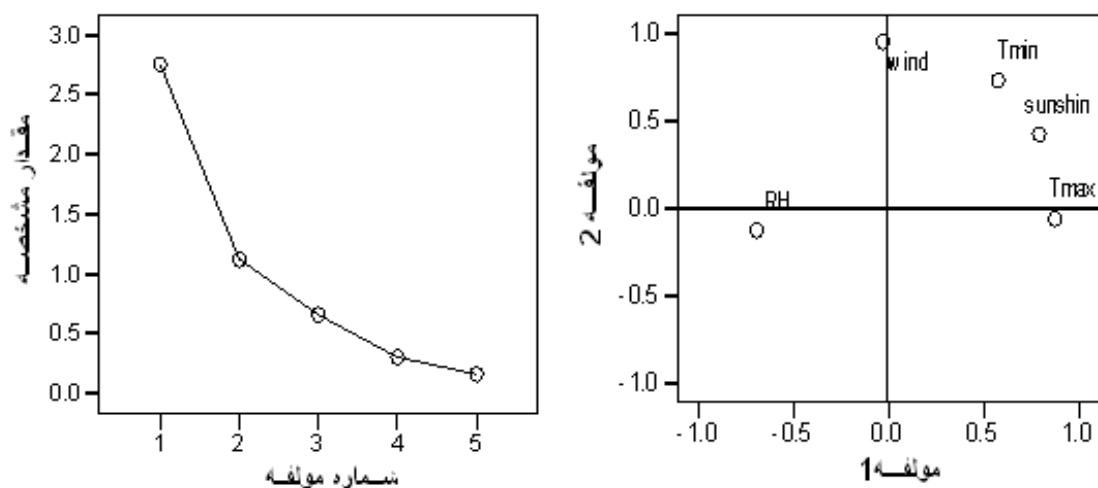
شکل ۴- نتایج حاصل از مقادیر مشاهداتی و پیش بینی شده تبخیر از تشت در ایستگاه اهواز



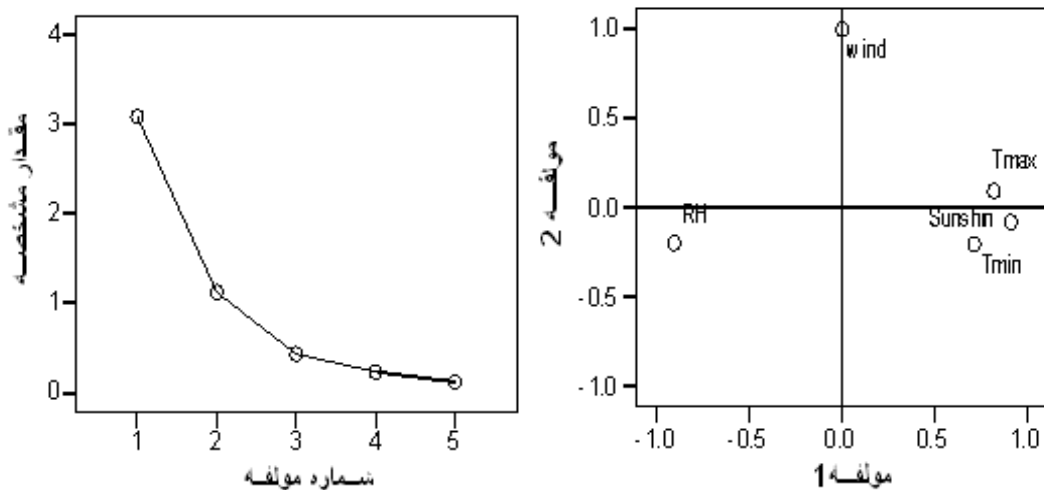
شکل ۵- نتایج حاصل از مقادیر مشاهداتی و پیش بینی شده تبخیر از تشت در ایستگاه تبریز



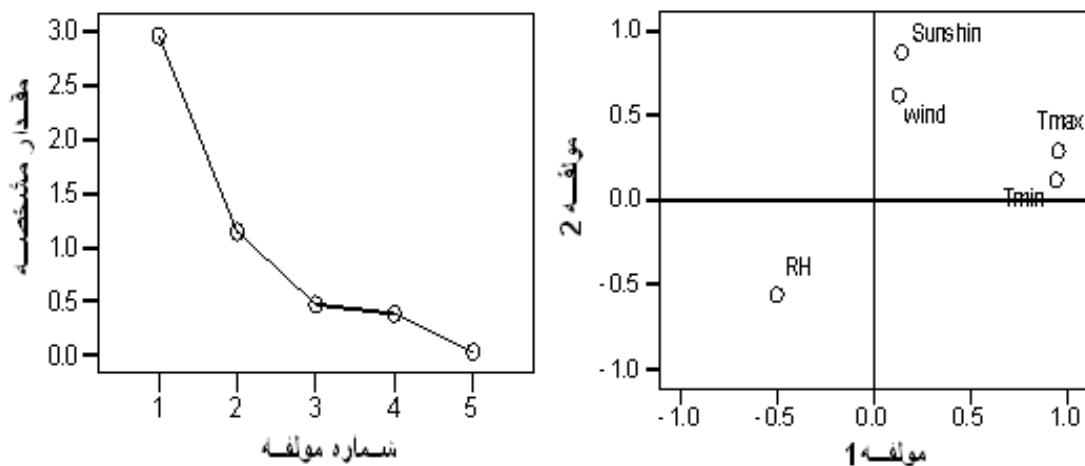
شکل ۶- نتایج حاصل از مقادیر مشاهداتی و پیش بینی شده تبخیر از تشت در ایستگاه شیراز



شکل ۷- نمودار عصبی و آنالیز مولفه‌های اصلی عوامل تاثیر گذار بر روی تبخیر از تشت در ایستگاه اهواز



شکل ۸- نمودار عصبی و آنالیز مولفه‌های اصلی عوامل تاثیر گذار بر روی تبخیر از تشت در ایستگاه شیراز



شکل ۹- نمودار عصبی و آنالیز مولفه‌های اصلی عوامل تاثیر گذار بر روی تبخیر از تشت در ایستگاه تبریز

بیشتر باشد، شبکه عصبی عملکرد بهتری خواهد داشت.

منابع

1. Ahmadzadeh Gharah Gwiz, K., S, Mirlatifi., K , Mohamadi. 2010. Comparison of Artificial Intelligence Systems (ANN & ANFIS) for Reference Evapotranspiration Estimation in the Extreme Arid Regions of Iran. J. Water and Soil, Vol. 4)24).
2. Arca, B. 2000. Evaluation of neural network techniques for estimating evapotranspiration. J. Hydrology, -235:117 136.
3. Bruton, J., R. McClendon and G. Hoogenboom. 2000. Estimating daily pan evaporation with artificial network. Trans. ASAE, 496-43:492.
4. Hastenrath, S. and L. Greischar. 1999. Prediction of the summer rainfall over South Africa. J. Climate, -8:1511 1518.
5. Dehghani, A., M, Piri. M, Hesam and N, Dehghani. 2010. Estimation of Daily Pan Evaporation by Using MLP, RBF and Recurrent Neural Networks. J. Water and soil Conservation, Vol. 2)17).
6. Ggabaei Sough, M. Mosaedi, A.M. Hesem and A. Hezarjarib. 2010. Evaluation effect of input parameters preprocessing in Artificial Neural Networks (Anns) by Using Stepwise Regression and Gamma Test Techniques for Fast Estimation of Daily Evapotranspiration. Journal of Water and Soil, 624-610 :(3)24.
7. Hall, T., H. Brooks and C. Doswell. 1999. Precipitation forecasting use a neural network. J. Weather and Forecasting, 345-14:338.
8. Imrie, C., S. Durucan and A. Korre 2000. River flow prediction using articial neural networks: Generalization beyond the calibration range. J. Hydrology, 153- 233:138.
9. Keskin, M. and Z. Terzi. 2006. Artificial Neural Network Models of Daily Pan Evaporation. J. Hydrologic Engin, 22 1:11.
10. Kumar, M., A. Raghuvashi and R. Aingh. 2002. Estimating evaporation using artificial neural network. J. Irrig. Drain. Engin. ASCE, 233-128:224.
11. Kisi, H. 2006. Daily pan evaporation modeling using a neuro-fuzzy computing technique. J. Hydrology, -329:636 646.
12. Luk, K., J. Ball and A. Sharma. 2000. A study of optimal model lag and spatial inputs to artificial neural network for

نتایج آنالیز روش PCA ایستگاه کرج نشان داد که نمی‌توان از این روش برای مشخص نمودن موثرترین عوامل تاثیر گذار بر روی تبخیر از تشت را در ایستگاه کرج مشخص کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از آنالیز مولفه‌های اصلی عواملی که تاثیر بیشتری بر روی متغیر تبخیر از تشت در چهار ایستگاه سینوپتیک کرج، شیراز، تبریز و اهواز داشتند، مشخص شد. بر اساس نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی، ایستگاه اهواز ۹۰ درصد، ایستگاه تبریز ۹۱ درصد و در ایستگاه شیراز ۹۳ درصد از تغییرات تبخیر از تشت بر اساس ساعات آفتابی، سرعت باد و دمای حداکثر و حداقل قابل توجیه است. سپس، مقدار تبخیر از تشت با استفاده از روش رگرسیون چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی برآورد شد. نتایج روش شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهداتی تطابق مناسبی داشتند، به طوری که در ایستگاه‌های اهواز، شیراز و تبریز مقدار ضریب تبیین (R²) برابر ۰/۸۱ و در ایستگاه کرج ۰/۸۸ که در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار می‌باشند. که این یافته‌ها با نتایج دهقانی و همکاران (۲۰۱۰) و احمدزاده قره‌گویز و همکاران (۲۰۱۰) که به پیش بینی تبخیر از تشت و تبخیر- تعرق پرداخته اند مطابقت دارد. نتایج حاصل از روش رگرسیون چندگانه نشان داد که در ایستگاه کرج دمای حداکثر، ایستگاه تبریز سرعت باد، ایستگاه شیراز دمای حداقل مقدار P-value برابر ۰/۰۳، ۰/۰۴، ۰/۱ می‌باشد که بیانگر اینست که این عوامل نسبت به سایر عوامل مورد بررسی تاثیر بیشتری بر روی تبخیر از تشت داشته است. اما در ایستگاه اهواز با استفاده از روش رگرسیون چندگانه موثرترین عامل مشخص نشد و تمامی عوامل بطور جزیی بر روی تبخیر از تشت تاثیر گذار بودند که این یافته‌ها با نتایج مطالعه طبری و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. کاربست روش رگرسیون چندگانه نتایج قابل قبولی در برآورد تبخیر از تشت در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه نشان داد. بررسی دقیق تر نتایج حاصله شبکه عصبی مصنوعی بیانگر این است که استفاده از اطلاعات تبخیر از تشت در گام‌های زمانی کم و یا زیاد قبل از زمان مورد پیش‌بینی، موجب کاهش دقت پیش‌بینی شبکه عصبی می‌شود. علت این امر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که اگر گام‌های زمانی قبل از زمان مورد پیش‌بینی کم در نظر گرفته شود، شبکه عصبی به قدر کافی با روند تغییرات آشنا نشده و در واقع در یادگیری دچار مشکل می‌شود، حتی ممکن است در حداقل‌های محلی گرفتار آید و موجب به خطا رفتن نتایج شود. آنالیز داده‌های مورد استفاده با استفاده از روش PCA و رگرسیون چندگانه نشان داد که استفاده از این روش‌ها بستگی به منطقه مورد مطالعه دارد و نتایج هر منطقه را نمی‌توان به مناطق دیگر تعمیم داد که این نتیجه با مطالعه موهان و آروموگام (۱۹۹۶) در هند مطابقت دارد. متأسفانه داده‌های موجود تبخیر از تشت در آرشیو سازمان هواشناسی کشور از کمیت و همگنی لازم برخوردار نیست و طبیعتاً با افزایش حجم و دقت این داده‌ها، امکان آموزش بهتر و دقیقتر شبکه‌های عصبی مصنوعی، در سال‌های آتی فراهم و نتایج این روش بهبود خواهد یافت. مسلماً هر چه تعداد سال‌های آماری

