



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شماره‌ی ۷۱
پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۱۷۵-۱۵۹

نسیمه خلیلی سامانی^۱
* ابوالفضل عزیزیان^۲
نجمه یرمی^۳

پیش‌یابی بارش سالانه در دو اقلیم خشک و نیمه خشک

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۳

چکیده

برآورد میزان بارش، موفقیت در مدیریت بهتر منابع آب و حوضه‌های آبخیز به‌منظور استفاده بهینه و پایدار از این منابع را تضمین می‌کند. در این تحقیق با استفاده از آمار بارش و دمای روزانه ایستگاه‌های مختلف هواشناسی استان‌های چهارمحال و بختیاری (اقلیم نیمه‌خشک) و یزد (اقلیم خشک) که دارای آمار روزانه بلندمدت بودند، پارامترهای مختلفی محاسبه شد. از میان این پارامترها، مجموع بارش شش ماهه اول سال آبی (R_{6m1} ، میلی‌متر)، طول فاصله زمانی وقوع $47/5$ میلی‌متر بارش از ابتدای پاییز ($t_{47.5}$ ، روز)، میانگین بلندمدت بارش (R_m ، میلی‌متر)، متوسط دمای تابستان قبل از هر سال آبی (T_{su} ، درجه سانتی‌گراد) و متوسط دمای تابستان سال آبی قبل و پاییز هر سال آبی ($T_{su,au}$ ، درجه سانتی‌گراد) که هر یک همبستگی بالایی با بارش سالانه داشتند، در مدل‌های خطی ساده و روش شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش سالانه به‌کار گرفته شد. مدل‌های به‌دست آمده در سطح احتمال کم‌تر از $0/01$ معنی‌دار بودند. نتایج نشان داد هر یک از این روش‌ها می‌تواند بارش سالانه را با دقت مناسبی برآورد نماید. ارزیابی مدل‌ها با شاخص ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) کم‌تر از $0/3$ و شاخص تطابق (d) بالاتر از $0/8$ نیز کارایی مدل‌ها را تصدیق کرد. دمای بالاتر در تابستان و پاییز حاکی از بارش سالانه‌ی بیشتر در استان

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.

* ۲- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان. (نویسنده مسئول). E-mail: aazizian@ardakan.ac.ir

۳- گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.

چهارمحال و بختیاری بود و بارش کم‌تر در استان یزد بود. همچنین در دو استان هر چه فاصله زمانی وقوع ۴۷/۵ میلی‌متر باران از ابتدای پاییز به تأخیر بیفتد بارش سالانه کم‌تر خواهد بود.

کلید واژه‌ها: برآورد بارش سالانه، چهارمحال و بختیاری، شبکه عصبی مصنوعی، مدل رگرسیونی، یزد.

مقدمه

کشور ایران دارای اقلیم غالب خشک و نیمه‌خشک با متوسط بارش سالانه‌ی حدود ۲۴۰ میلی‌متر است که تقریباً یک سوم متوسط بارش جهانی را دارا می‌باشد. از یک سو نقصان بارش‌ها در کشور و توزیع نامناسب مکانی و زمانی باعث کم‌آبی‌ها و خشکسالی‌های متناوب و از سوی دیگر بعضاً شدت زیاد بارش‌ها در زمان بارش باعث سیلاب‌های مخرب می‌گردد. توزیع نامناسب بارش در کشور از نظر مکانی و زمانی یکی از مشکلات اساسی در بخش آب است. افزایش جمعیت از یک طرف و کاهش سرانه مصرف آب شیرین از طرف دیگر، شرایطی را فراهم آورده است که منابع آب شیرین از یک منبع تجدید شونده به یک منبع نیمه تجدیدشونده و میرا تبدیل شود (Fatemi Amin and Mortezaei, 2013: 119).

با توجه به بروز پدیده‌های مختلف و تأثیر عوامل بسیار بر روند نوسان اقلیم، در نگاه اول به نظر می‌رسد که عناصر اقلیمی، از جمله بارش یک منطقه، از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند؛ اما اگر بتوان روند تغییرات بارش یک منطقه را در قالب یک مدل بیان کرد و پیش‌بینی نمود، می‌توان از آن در مدیریت بهتر منابع آب، بهره‌جست و برنامه‌ریزی‌های مناسب را در سطح کلان و خرد اقتصادی-اجتماعی، طراحی و تدوین نمود (Khorshiddoust and Jafarzadeh, 2020: 37). در صورتی که برآوردهای قابل اعتمادی از وضعیت اقلیمی چند ماه یا چند سال آینده در دسترس باشد، برنامه‌ریزان، مدیران و اقشار مختلف اجتماعی می‌توانند ضمن آمادگی مقابله با حوادث نامطلوب، نسبت به بهره‌وری بهینه از منابع آب و خاک و نیروی انسانی اقدام کنند (Mohammadi et al., 2017: 95).

تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که امکان پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت داده‌های اقلیمی نظیر بارش توسط روش‌های مختلف وجود دارد. یکی از ساده‌ترین روش‌ها استفاده از معادلات رگرسیونی برای پیش‌بینی بارش می‌باشد. (8) Ghasemi and Sepaskhah (2004) ارتباط بین زمان وقوع رگبارهای زودرس پاییزه با بارش سالانه، با استفاده از متغیرهای اقلیمی مانند میانگین درازمدت بارش، دمای سطح آب خلیج فارس و مشخصه‌های جغرافیایی ایستگاه‌ها برای افزایش ضریب تعیین مدل‌ها را بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که این ارتباط معکوس بوده و هر چه شروع بارش‌ها به تأخیر بیفتد، مقدار بارش سالانه کاهش می‌یابد. Karimi Goaghari and Sepaskhah (2006: 54) برای تخمین بارش سالانه در استان کرمان، معنی‌دار بودن رابطه بین فاصله زمانی وقوع ۴۷/۵ میلی‌متر باران تجمعی از ابتدای پاییز (47.5، حسب روز) با میزان بارش سالانه را تعیین نموده و به منظور بالا بردن ضریب همبستگی این رابطه، میانگین درازمدت بارش سالانه، ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی را وارد مدل

کردند. در پژوهشی با استفاده از روش رگرسیون خطی چندمتغیره، پیش‌بینی بارش فصلی بر اساس الگوهای سینوپتیکی فشار و اختلاف فشار سطح دریا در خراسان بزرگ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از توانایی مدل‌های آماری در پیش‌بینی بارش بود و در این میان مدل گام به گام ورود متغیرها و مدل حذف تدریجی متغیرها با ریشه میانگین مربعات خطای ۵۰ و ۴۷ میلی‌متر عملکرد بهتری داشتند (Fallha Ghalhari et al., 2009: 125). در مطالعه رابطه بین بارش و ویژگی‌های جغرافیایی و توپوگرافی در دامنه‌های شرقی و غربی منطقه کوهستانی تالش با روش رگرسیون گام به گام، تأثیر متغیرهای توپوگرافی در دامنه‌های شرقی تالش بیش تراز دامنه‌های غربی آن بود و در فصل زمستان کم‌ترین مقدار تأثیرگذاری عوامل توپوگرافی و جغرافیایی بر روی بارش‌های هر دو دامنه مشاهده شد (Sari Sarraf et al., 2009: 63). Khalili Samani and Azizian (2016: 312) به ارزیابی مدل‌های ساده رگرسیونی ارائه شده برای پیش‌بینی بارش در دو استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل ساده رگرسیونی با به‌کارگیری $t_{42.5}$ و $t_{47.5}$ و میانگین درازمدت بارش، در صورت اصلاح ضرایب، با دقت قابل قبولی قادر به پیش‌بینی بارش در دو ایستگاه شهرکرد و یزد می‌باشد.

Stewart (1988) بیان نمود که مقدار بارش سالانه و به همان اندازه مدت و شدت آن با تاریخ شروع بارش‌ها ارتباط و همبستگی دارد. Sepaskhah and Taghvaei (2006: 65) در توسعه مدل ساده برای پیش‌بینی بارش سالانه برای سال کشت مورد نظر در استان‌های جنوبی و غربی ایران، به نحوی که بتوان کشت دیم را در این مناطق به‌درستی برنامه‌ریزی کرد، رابطه بین بارش سالانه و تعداد روزهای لازم برای ریزش $37/5$ ، $42/5$ و $47/5$ میلی‌متر بارش از اول پاییز ($t_{47.5}$ ، $t_{42.5}$ ، $t_{37.5}$) به کمک روش رگرسیون ساده برای تمام ایستگاه‌های باران‌سنجی مناطق مورد مطالعه را تحلیل نموده و گزارش کردند که $t_{47.5}$ همبستگی بهتری با میزان بارش سالانه در مقایسه با $t_{37.5}$ و $t_{42.5}$ دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که $t_{47.5}$ در تمام ایستگاه‌ها به‌طور معکوس با بارش سالانه ارتباط داشته است. در میان عوامل مختلف مانند میانگین بارش سالانه، P_{ma} (میلی‌متر) ارتفاع ایستگاه از سطح دریای آزاد، طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی ایستگاه، میانگین بارش سالانه مناسب‌ترین عاملی بوده که به همراه $t_{47.5}$ در مدل ساده برای پیش‌بینی بارش سالانه سال آبی (P_a میلی‌متر) به کار برده شده است.

Munot and Krishna Kumar (2007: 73) پیش‌بینی بلندمدت باران موسمی تابستان هند را به کمک رگرسیون چندگانه ارزیابی نمودند. آن‌ها مدل نهایی را با واریانس 87% و ضریب همبستگی 0.93 با پارامترهای دما، باد مداری و نصف‌النهاری در سطوح مختلف فشار به‌دست آوردند. Zaw and Naing (2008: 3419) پیش‌بینی بارش میانمار را با استفاده از مدل‌سازی آماری رگرسیون چندجمله‌ای^۴ (MPR) انجام دادند و در مقایسه با مدل رگرسیون خطی چندگانه (MLR) گزارش کردند که پیش‌بینی بارش بر اساس مدل MPR دقت بالاتری نسبت به MLR دارد. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز توسط برخی محققین برای پیش‌بینی میزان بارش استفاده شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. در پژوهشی با استفاده از اطلاعات بارش میانگین ماهیانه، به‌عنوان ورودی‌های شبکه

عصبی پرسپترون پیشخور چندلایه^۵ (MLP) در یک مدل جعبه سیاه، در پیش‌بینی ماهیانه بارش در ایستگاه سینوپتیک مشهد پس از بررسی معیارهای آماری برازش، از جمله ضرایب روابط رگرسیونی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده بارش و همچنین میانگین مجذور مربعات خطا، نشان داده شد که پیش‌بینی ماهیانه بارش، با دقت قابل قبولی انجام شده است (Khalili et al., 2008: 89). در پژوهشی با تکیه بر توانایی‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی مدلی جهت پیش‌بینی بارندگی سالانه در استان کرمان ارائه شد. در این تحقیق با وجود همبستگی مناسب میان طول فاصله زمانی وقوع ۴۷/۵ میلی‌متر بارش از ابتدای پاییز با مقدار بارندگی سالانه و دیگر متغیرهای مستقل مانند بارندگی سالانه ۱، ۲ و ۳ سال گذشته و میانگین درازمدت هر ایستگاه، مدلی برای پیش‌بینی بارندگی سالانه با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره و شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه گردید (Karimi Goaghari and Eslami, 2008: 123).

Ghafari and Vafakhah (2013: 133) به شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و فازی عصبی تطبیقی در حوزه آبخیز حاجی قوشان اقدام نمودند. نتایج نشان داد که مدل فازی عصبی تطبیقی نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی فرآیند بارش-رواناب را با دقت بالاتری پیش‌بینی نموده است. در پژوهش دیگری به پیش‌بینی بارش و دمای متوسط ماهانه با استفاده از الگوهای پیوند از دور به کمک شبکه عصبی مصنوعی در ایستگاه سینوپتیک مشهد پرداخته شد. نتایج نشان داد که پیش پردازش به روش‌های رگرسیون، رگرسیون محدود و آزمون گاما به ترتیب بهترین نتایج را برای هر دو پارامتر بارش و دما ارائه کرده و پیش‌بینی با شبکه عصبی بدون پیش پردازش داده‌های ورودی به‌ویژه برای پارامتر بارش، نتایج مناسبی نداشته است (Erfanian et al., 2013: 53).

Moustris et al (2011: 142) بارش‌های مناطق خاصی از یونان را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و روش‌های آماری کلاسیک پیش‌بینی و مقایسه نمودند و بر اساس شاخص‌های آماری مانند ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا، گزارش نمودند که شبکه عصبی مصنوعی توانایی بهتری نسبت به روش‌های آماری کلاسیک در پیش‌بینی بارش چهار ماه متوالی را دارد. در مطالعه‌ای از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش اسکندریه مصر استفاده شد. نتایج مطالعه نشان داد که مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی مناسب‌تر و دقیق‌تر از روش رگرسیون خطی است (El-Shafie et al., 2011: 1306). در پژوهشی الگوریتم شبکه عصبی انتشار خطا به عقب (BPNN) را برای مدل‌سازی و پیش‌بینی بارش در اندونزی به‌کار برده شد. نتایج تحقیق نشان داد که مدل BPNN دارای دقت پیش‌بینی خوبی برای مدل‌سازی بارش می‌باشد. نتایج پیش‌بینی نشان داد که کم‌ترین درصد خطا از ساختار 2-50-1 به‌دست آمده است (Mislani et al., 2015: 142). در تحقیقی به پیش‌بینی بارش ماهانه در سوریه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته شد. ارزیابی مدل حاکی از تطابق قابل قبول بارش پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده بود. آنالیز حساسیت نیز نشان داد که پارامترهای رطوبت نسبی به همراه دمای هوا از مهم‌ترین فاکتورهای تاثیرگذار بر پیش‌بینی بارش هستند (Ammar et al., 2017: 240). پیش‌بینی مقدار بارش در استان چهارمحال و بختیاری در برنامه‌ریزی سطح زیر کشت دیم و آبی و مدیریت مصرف منابع آب نقش بسزائی دارد. در

استان یزد با اقلیم خشک نیز برآورد میزان بارش قابل انتظار، در مدیریت مصرف منابع اندک آب به‌ویژه در مناطق کوهستانی اهمیت دارد. لذا ارائه روش‌هایی برای تخمین مقدار بارش سالانه با پارامترهای زودپافت و ساده اقلیمی که در ایستگاه‌های معمولی هواشناسی اندازه‌گیری می‌شود ابزار مدیریتی مناسبی است. در این پژوهش با استفاده از آمار بلندمدت بارش روزانه ۱۱ ایستگاه هواشناسی (دارای دوره مشترک آماری) در هر یک از استان‌های چهارمحال و بختیاری و یزد، مدل‌های ساده رگرسیونی و همچنین شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌یابی بارش سالانه ارائه شده است.

محدوده مورد مطالعه

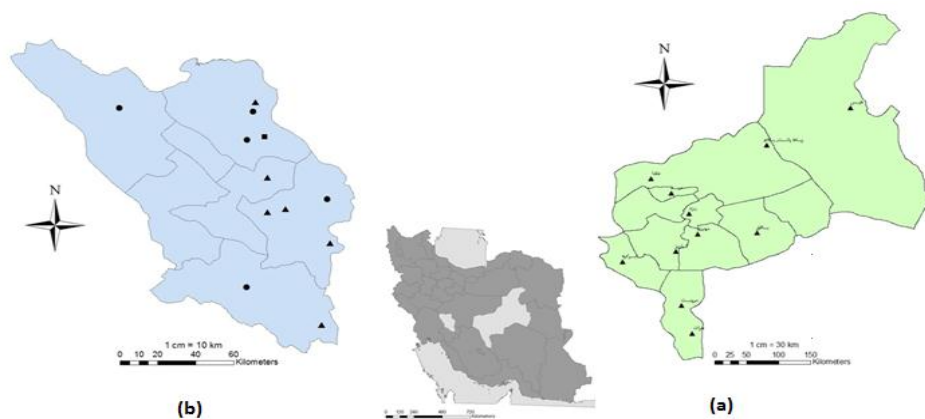
استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و نیز ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی قرار دارد. داشتن ماهیت کوهستانی مرتفع و قرار گرفتن در مسیر جریان‌های جوی مدیترانه‌ای باعث شده این منطقه از نظر بارش‌های جوی از وضعیت مناسبی برخوردار باشد. متوسط بارش سالانه استان در حدود ۵۶۰ میلی‌متر می‌باشد. آب‌وهوای این استان در نواحی شرقی، نواحی غرب و جنوب‌غربی و نواحی شمال‌غربی به‌ترتیب نیمه‌خشک، گرم و نیمه مرطوب و سرد و معتدل است (Meteorological Organization of Chaharmahal-Bakhtiari Province, 2014). استان یزد با مساحتی حدود ۱۳۱۵۵۱ کیلومتر مربع، بین ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۷ دقیقه طول شرقی قرار دارد. سیستم بارش استان یزد از نوع مدیترانه‌ای است. بارش اندک همراه با تبخیر زیاد، دور بودن از دریا، نزدیکی با کویر خشک و پهناور نمک و رطوبت نسبی کم همراه با گرمای زیاد، از عواملی هستند که استان یزد را به‌عنوان یکی از خشک‌ترین استان‌های ایران درآورده است. آب‌وهوای استان یزد به علت قرار گرفتن در کمربند خشک جهانی، دارای زمستان کوتاه، سرد و خشک و تابستان گرم، طولانی و خشک است. میانگین بارش سالانه در مناطق کویری استان ۵۰ میلی‌متر و در ارتفاعات استان در حدود ۳۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر متغیر است (Meteorological Organization of Yazd Province, 2014). در شکل (۱) موقعیت دو استان چهارمحال و بختیاری و یزد در کشور و نحوه پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی در هر استان آورده شده است.

مواد و روش‌ها

مدل‌های رگرسیونی

برای پیش‌بینی بارش سالانه (P_a) با روش رگرسیون، از داده‌های روزانه بارش و دمای ۱۱ ایستگاهی که آمار کافی با دوره مشترک یکسان داشتند و یا امکان تکمیل آمار ناکافی وجود داشت، در هر یک از استان‌های چهارمحال و بختیاری و یزد و در یک بازه زمانی مشترک ۱۰ سال استفاده شد. در شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی در هر استان نشان داده شده است. آمار سال‌های آبی ۸۱-۱۳۸۰ الی ۹۰-۱۳۸۹ در ایستگاه‌های انتخابی استان چهارمحال و بختیاری و ۸۳-۱۳۸۲ الی ۹۲-۱۳۹۱ در ایستگاه‌های انتخابی استان یزد که در ادارات کل

هواشناسی هر استان ثبت شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. ۷۰ درصد داده‌ها به‌طور تصادفی برای استخراج مدل انتخاب شدند و ۳۰ درصد باقی مانده داده‌ها جهت ارزیابی مدل به‌کار گرفته شد. در هر یک از ایستگاه‌های مربوط به هر استان و در هر سال آماری، طول فاصله زمانی وقوع $37/5$ ، $42/5$ ، $47/5$ میلی‌متر بارش از ابتدای فصل پاییز ($t_{37.5}$ ، $t_{42.5}$ ، $t_{47.5}$) و سایر پارامترهای مؤثر بر بارش محاسبه شد. این پارامترها شامل مجموع بارش ۶ ماهه اول سال آبی (R_{6m1})، میانگین درازمدت بارش (R_m)، دمای متوسط تابستان قبل از هر سال آبی (T_{su}) و متوسط دمای تابستان سال قبل و پاییز هر سال آبی ($T_{su.au}$) به‌عنوان متغیرهای مستقل در روابط خطی مختلف مورد استفاده قرار گرفتند. در خصوص انتخاب دما هدف آزمون این نظریه محلی بود که دمای غیرمعمول تابستان و پاییز (کم‌تر یا بیش‌تر از نرمال) می‌تواند نشانه‌ای از الگوی خاص بارش در فصل بارش باشد.



شکل ۱: موقعیت و نحوه پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی در استان‌های مورد مطالعه (a: استان یزد و b: استان چهارمحال و بختیاری)

Figure 1: Position of the climatological stations in the study provinces (a: yazd and b: Chahrmahal-Bakhtiari)

پس از تحلیل همبستگی بین ایستگاه‌های مجاور و بازسازی آمار مربوط به ایستگاه‌های دارای آمار ناقص، همگنی داده‌ها توسط آزمون دنباله (RUNTEST) کنترل گردید. سپس همبستگی بین هر یک از متغیرهای مستقل با P_a به‌عنوان متغیر وابسته بررسی شد. پارامترهایی که بیش‌ترین همبستگی را با بارش سالانه داشتند به‌عنوان مناسب‌ترین متغیرها انتخاب شدند. سپس رابطه بین متغیرهای مستقل و مقدار P_a تعیین گردید. در پژوهش حاضر برای به‌دست آوردن مدل رگرسیونی از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. برای این منظور روش گام‌به‌گام (Stepwise) و روش ورود متغیرها (Enter) انتخاب شد.

مدل شبکه عصبی مصنوعی

در مدل‌سازی بارش سالانه توسط شبکه عصبی، کل داده‌ها به‌صورت تصادفی توزیع شد. ۷۰ درصد داده‌ها جهت آموزش شبکه، ۱۵ درصد جهت واسنجی و ۱۵ درصد جهت اعتبارسنجی مدل‌ها استفاده شد. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با آرایش‌های مختلف توسعه داده شد. چندین ساختار مختلف از نوع پرسپترون طراحی شدند که در آن‌ها، لایه ورودی مربوط به پارامترهای مستقلی بود که به‌عنوان فاکتورهای مؤثر در مدل‌های رگرسیونی به‌کار رفته بود.

لایه خروجی، مقدار بارش سالانه بود. تعداد نرون‌های لایه پنهان نیز به گونه‌ای انتخاب شدند که بهترین تقریب را از شبکه بتوان به دست آورد. مقدار مناسب آموزش با استفاده از سعی و خطا برای هر شبکه به دست آمد. توابع فعالیت مورد استفاده در لایه پنهان و خروجی شبکه‌ها به ترتیب سیگموئید و خطی بودند. ساختارهای مختلف شبکه پرسپترون از نظر تعداد نرون در نرم افزار نروسولوشن^۶ طراحی شدند.

شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها

مقایسه یک به یک مقادیر تخمین زده شده توسط مدل‌ها و مقادیر اندازه گیری شده جهت ارزیابی مدل‌ها توسط شاخص‌های ریشه میانگین مربع خطای نرمال شده (NRMSE)، شاخص توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) که روابط آن‌ها به صورت زیر می‌باشد، انجام شد.

$$NRMSE = \frac{1}{O_m} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / N} \quad (1)$$

$$d = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O_m| + |O_i - O_m|)^2} \quad (2)$$

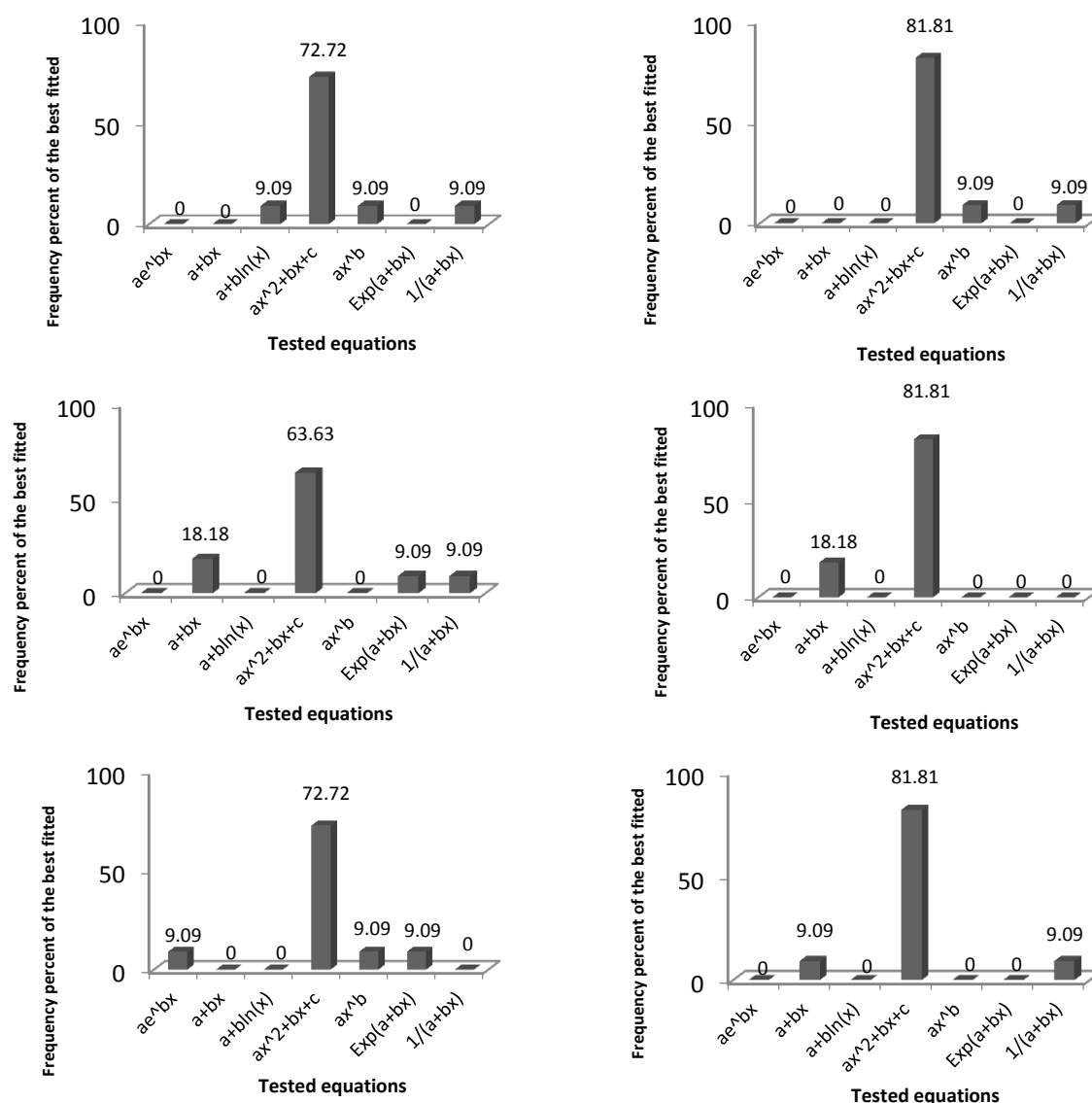
$$R^2 = 1 - \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (P_i - O_m)^2} \quad (3)$$

که در آن‌ها، P_i : مقدار برآورد شده توسط مدل، O_i : مقدار مشاهده شده (واقعی)، O_m : میانگین مقادیر مشاهده شده و N : تعداد داده‌ها می‌باشد.

یافته‌ها و بحث

تعیین بهترین رابطه بین بارش و پارامترهای موثر بر آن

برای بررسی رابطه بین باران سالانه و طول فاصله زمانی وقوع هر یک از مقادیر ۳۷/۵، ۴۲/۵ و ۴۷/۵ میلی‌متر باران از ابتدای پاییز که به ترتیب با علائم $t_{37.5}$ ، $t_{42.5}$ و $t_{47.5}$ نشان داده شدند، در هر یک از ایستگاه‌ها در دو استان، از معادلات خطی و غیرخطی استفاده شد. شکل (۲) درصد فراوانی روابطی که ضریب تعیین و شاخص توافق بالاتر و NRMSE کم‌تری داشته‌اند را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد ارتباط بین بارش سالانه و زمان رسیدن به میزان مشخصی از بارش نسبت به اول پاییز، در بهترین حالت به وسیله یک معادله چندجمله‌ای درجه دو (ax^2+bx+c) در هر دو استان بیان شد.

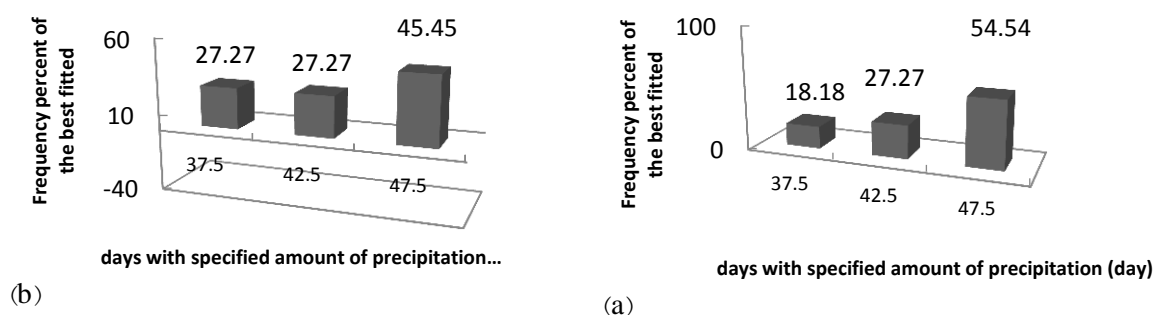


شکل ۲: درصد فراوانی معادله‌های آزمون شده برای فاصله زمانی وقوع مقدار مشخص بارش از اول پاییز (شکل‌های a, b و c به ترتیب برای فواصل زمانی ۳۷/۵، ۴۲/۵ و ۴۷/۵ میلی‌متر بارش در استان چهارمحال و بختیاری و شکل‌های d, e و f به ترتیب برای فواصل زمانی ۳۷/۵، ۴۲/۵ و ۴۷/۵ میلی‌متر بارش در استان یزد)

Figure 2: Frequency percent of tested equations for time to a specified cumulative precipitation from the beginning of autumn (a, b and c and also d, e and f respectively belong to 37.5, 42.5 and 47.5 mm cumulative precipitation in Chaharmahal-Bakhtiari and Yazd Provinces respectively)

ارتباط بین زمان وقوع هر یک از مقادیر ۳۷/۵، ۴۲/۵ و ۴۷/۵ میلی‌متر باران از ابتدای پاییز و بارش سالانه نیز در شکل (۳) به صورت درصد فراوانی برازش بهتر ارائه شده است. طبق نتایج حاصل فاصله زمانی نزول ۴۷/۵ میلی‌متر بارش از ابتدای پاییز بیش‌ترین فراوانی را از نظر مقدار مناسب‌تر شاخص‌های R^2 و d NRMSE در هر دو استان دارد (به ترتیب ۵۴/۵ و ۴۵/۵ درصد در استان‌های چهارمحال و بختیاری و یزد)؛ به عبارت دیگر این شاخص بر

بارش سالانه از دو شاخص دیگر مؤثرتر است لذا در مدل‌های پیش‌بینی پارامتر $t_{47.5}$ به‌عنوان یکی از پارامترهای مستقل ورودی در نظر گرفته شد. کم‌ترین درصد فراوانی نیز مربوط به فاصله زمانی $37/5$ میلی‌متر بارش از ابتدای پاییز در استان‌های مزبور بود (به‌ترتیب $18/2$ و $27/3$ درصد در استان‌های چهارمحال و بختیاری و یزد). Ghasemi and Sepaskhah (2004) رابطه معکوس $(1/(a+bx))$ را به‌عنوان بهترین معادله در استان خوزستان برای ارتباط بین بارش سالانه و زمان وقوع $42/5$ میلی‌متر بارش از ابتدای پاییز ($t_{42.5}$)، پیشنهاد نمودند.



شکل ۳: درصد فراوانی برازش معادلات برای انتخاب مناسب‌ترین فاصله زمانی وقوع مقدار مشخص بارش در استان‌های (a) چهارمحال و بختیاری و (b) یزد

Figure 3: Frequency percent of the fitted equations based on the most appropriate time to a specified cumulative amount of precipitation in a) Chaharmahal-Bakhtiari and b) Yazd Provinces, respectively

برآورد بارش به روش رگرسیون چند متغیره به‌منظور تعیین رابطه بین بارش سالانه و متغیرهای $t_{47.5}$ ، بارش ۶ ماهه اول سال آبی، میانگین بلندمدت بارش سالانه، دمای تابستان و متوسط دمای تابستان و پاییز که بر اساس نتایج تحلیل آماری جزء پارامترهای موثر بر بارش بود، از روابط رگرسیون چند متغیره خطی در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. در این مدل‌های ساده بارش سالانه به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مذکور به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد شد. مدل‌های مناسب توسط 70 درصد داده‌ها به‌دست آمد و با 30 درصد باقی‌مانده داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌منظور ارزیابی هر یک از مدل‌ها، شاخص‌های $NRMSE$ ، d و R^2 محاسبه شد. نتایج حاصل از بررسی مدل‌های ساده خطی با یک متغیر مستقل نشان داد که رابطه خطی، پارامتر R_{6m1} با بارش سالانه بیش‌ترین ضریب تعیین را در دو استان دارا بود. پس از آن رابطه، R_m با P_a در استان چهارمحال و بختیاری بهترین معادله می‌باشد اما در استان یزد رابطه $t_{47.5}$ با بارش سالانه بیش‌ترین ضریب تعیین را پس از R_{6m1} دارا بود. روابط دو پارامتر $T_{su,au}$ و P_a با T_{su} ضریب تعیین مشابهی داشتند و در ردیف بعدی روابط مناسب در هر دو استان قرار گرفتند (نتایج ارائه نشده است). در روابط مورد بررسی وجود ضرایب مثبت برای $T_{su,au}$ و T_{su} در استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد که با افزایش دما تابستان و پاییز، بارش سالانه نیز افزایش می‌یابد اما منفی بودن این ضرایب در استان یزد نشان دهنده رابطه عکس بین $T_{su,au}$ و T_{su} با P_a می‌باشد. رابطه چند متغیره خطی بین پنج پارامتر تاثیرگذار بر بارش و بارش سالانه نیز در دو استان برازش داده شد که نتایج آن در

جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است ضریب تعیین این روابط با و بدون در نظر گرفتن عرض از مبدأ در استان چهارمحال و بختیاری حدود ۰/۹ و در استان یزد حدود ۰/۸۷ می‌باشد و کلیه روابط از نظر آماری در سطح بالایی معنی‌دار می‌باشند و قادرند بارش سالانه را با ضریب همبستگی بالا برآورد نمایند. نتایج مدل‌های به‌دست‌آمده از روش گام‌به‌گام ورود متغیرها در جدول (۲) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هر دو استان پارامتر R_{6m1} بیش‌ترین تأثیر را بر بارش سالانه دارد. در این جدول مدل دیگری نیز برای هر دو استان ارائه شده که متغیر بارش ۶ ماهه اول سال آبی و متوسط دمای تابستان و پاییز را شامل می‌شود و از دقت قابل قبولی برخوردار است. همچنین در جدول (۳) مدل‌هایی ارائه شده که عامل بارش ۶ ماهه اول را در برآورد بارش سالانه لحاظ نمی‌کند. در صورتیکه پیش از آغاز سال آبی نیاز به برآورد بارش سالانه باشد می‌توان از مدل‌های ارائه شده در جدول (۳) استفاده کرد؛ اما اگر هدف برنامه‌ریزی منابع آب برای استفاده در دیم‌کاری پس از اتمام پاییز و زمستان سال آبی باشد می‌توان از مدل‌های جدول (۲) که دقت بسیار خوبی دارد استفاده نمود؛ زیرا مقدار بارش ۶ ماهه اول سال آبی در انتهای فصل زمستان مشخص شده است. همان‌طور که در جداول (۱) و (۳) ملاحظه می‌شود ضرایب متغیر $t_{47.5}$ منفی است که نشان از رابطه معکوس بین فاصله نزول $47/5$ میلی‌متر باران از ابتدای پاییز و بارش سالانه دارد یعنی هر چه فاصله زمانی وقوع $47/5$ میلی‌متر باران از ابتدای پاییز به تأخیر بیفتد بارش سالانه نیز کاهش خواهد یافت. این روند کاهش با نتایج گزارش شده در پژوهش‌های مشابه مطابقت دارد (Ghasemi and Sepaskhah, 2004; Sepaskhah and Taghvaei, 2006). نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های NRMSE و d در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها در دو استان چهارمحال و بختیاری و یزد به‌ترتیب در جداول (۴) و (۵) آمده است. بیش‌ترین مقدار d (بالاتر از ۰/۹) و کم‌ترین مقدار شاخص NRMSE (کم‌تر از ۰/۲) مربوط به معادلات ۱ و ۲ برای استان چهارمحال و بختیاری و معادلات ۳ و ۸ برای استان یزد می‌باشد. مقادیر شاخص‌های آماری تعیین شده برای مدل‌های ارائه شده حاکی از دقت مناسب و قابل قبول مدل‌ها در پیش‌بینی بارش می‌باشد.

جدول ۱- روابط خطی بین کل پارامترهای مستقل و بارش سالانه در دو استان مورد مطالعه

Table 1- Regression equations between annual precipitation and independent parameters in the study provinces

| شماره مدل | نام استان | ضریب تعیین (R^2) | سطح معنی‌داری (Significancy) | مدل‌ها |
|-----------|--------------------|----------------------|------------------------------|--|
| ۱ | چهارمحال و بختیاری | ۰/۹۰۶ | <۰/۰۰۱ | $P_a=130.216+1.230 \times (R_{6m1})-0.092 \times (t_{47.5}) + 15.642 \times (T_{su})-27.571 \times (T_{su,au}) + 0.052 \times (R_m)$ |
| ۲ | یزد | ۰/۹۰۵ | <۰/۰۰۱ | $P_a=1.237 \times (R_{6m1})-0.024 \times (t_{47.5}) + 28.444 \times (T_{su})-37.172 \times (T_{su,au}) + 0.019 \times (R_m)$ |
| ۳ | چهارمحال و بختیاری | ۰/۸۷۸ | <۰/۰۰۱ | $P_a=55.590+1.146 \times (R_{6m1})-0.036 \times (t_{47.5}) + 5.542 \times (T_{su})-8.918 \times (T_{su,au}) - 0.039 \times (R_m)$ |
| ۴ | یزد | ۰/۸۷۳ | <۰/۰۰۱ | $P_a=1.192 \times (R_{6m1})+0.008 \times (t_{47.5}) + 7.592 \times (T_{su})-9.809 \times (T_{su,au}) + 0.002 \times (R_m)$ |

جدول ۲- معادلات رگرسیون خطی چند متغیره انتخاب شده به روش گام به گام ورود متغیرها (Stepwise) با استفاده از پارامترهای R_{6m1} , $t_{47.5}$,

R_m , $T_{su,au}$, T_{su}

Table 2- Selected multiple regression equations based on the stepwise method using R_{6m1} , R_m , $T_{su,au}$, T_{su} , $t_{47.5}$

| شماره مدل | نام استان | ضریب تعیین (R^2) | سطح معنی‌داری (Significance) | معادلات پیش‌بینی بارش سالانه (P_a) |
|-----------|-----------|----------------------|------------------------------|--|
| ۵ | چهارمحال | ۰/۸۹۴ | <۰/۰۰۱ | $P_a = 65.056 + 1.177 \times (R_{6m1})$ |
| ۶ | و بختیاری | ۰/۹۰۲ | <۰/۰۰۱ | $P_a = 215.595 + 1.268 \times (R_{6m1}) - 10.820 \times (T_{su,au})$ |
| ۷ | یزد | ۰/۸۶۲ | <۰/۰۰۱ | $P_a = 8.204 + 1.174 \times (R_{6m1})$ |
| ۸ | | ۰/۸۷۳ | <۰/۰۰۱ | $P_a = 72.009 + 1.158 \times (R_{6m1}) - 2.626 \times (T_{su,au})$ |

جدول ۳- معادلات رگرسیون خطی چند متغیره انتخاب شده به روش گام به گام ورود متغیرها (Stepwise) با استفاده از پارامترهای T_{su} , $t_{47.5}$,

R_m , $T_{su,au}$

Table 3- Selected multiple regression equations based on the stepwise method using R_m , $T_{su,au}$, T_{su} , $t_{47.5}$

| شماره مدل | نام استان | ضریب تعیین (R^2) | سطح معنی‌داری (Significance) | معادلات پیش‌بینی بارش سالانه (P_a) |
|-----------|--------------------|----------------------|------------------------------|--|
| ۹ | چهارمحال و بختیاری | ۰/۵۴۳ | <۰/۰۰۱ | $P_a = 188.434 + 0.788 \times (R_m) - 1.462 \times (t_{47.5})$ |
| ۱۰ | یزد | ۰/۶۱۰ | <۰/۰۰۱ | $P_a = 205.120 - 0.894 \times (t_{47.5})$ |

در یک نگاه کلی بهترین مدل برای برآورد بارش استان چهارمحال و بختیاری مدل شماره ۲ (شامل متغیرهای بارش شش ماهه اول، متوسط بارش سالانه، زمان نزول ۴۷/۵ میلی‌متر بارش از اول سال آبی، متوسط دمای تابستان و متوسط دمای تابستان و پاییز) و برای استان یزد مدل شماره ۸ (شامل متغیرهای بارش شش ماهه اول و متوسط دمای تابستان و پاییز) انتخاب می‌شود. (Ghasemi and Sepaskhah (2004) و karimi Goaghari and Sepaskhah (2006) نیز در پژوهش‌های خود قابلیت مدل‌های ساده رگرسیونی را در برآورد بارش سالانه مورد تأیید قرار دادند.

جدول ۴- مقادیر NRMSE و d مدل‌های رگرسیونی در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی برای استان چهارمحال و بختیاری

Table 4- The NRMSE and d values of the regression models in calibration and validation stages for Chaharmahal-Bakhtiari Province

| شماره مدل | مدل‌ها | مرحله واسنجی | | مرحله اعتبارسنجی | |
|-----------|--|--------------|-------|------------------|-------|
| | | NRMSE | d | NRMSE | d |
| ۱ | $P_a = 130.216 + 1.230 \times (R_{6m1}) - 0.092 \times (t_{47.5}) + 15.642 \times (T_{su}) - 27.571 \times (T_{su,au}) + 0.052 \times (R_m)$ | ۰/۱۵۲ | ۰/۹۷۵ | ۰/۱۰۷ | ۰/۹۹۲ |
| ۲ | $P_a = 1.237 \times (R_{6m1}) - 0.024 \times (t_{47.5}) + 28.444 \times (T_{su}) - 37.172 \times (T_{su,au}) + 0.019 \times (R_m)$ | ۰/۱۵۴ | ۰/۹۷۴ | ۰/۱۰۴ | ۰/۹۹۳ |
| ۵ | $P_a = 65.056 + 1.177 \times (R_{6m1})$ | ۰/۱۶۲ | ۰/۹۷۲ | ۰/۱۲۰ | ۰/۹۹۰ |
| ۶ | $P_a = 215.595 + 1.268 \times (R_{6m1}) - 10.820 \times (T_{su,au})$ | ۰/۱۵۵ | ۰/۹۷۴ | ۰/۱۰۸ | ۰/۹۹۲ |
| ۹ | $P_a = 188.434 + 0.788 \times (R_m) - 1.462 \times (t_{47.5})$ | ۰/۳۳۶ | ۰/۸۲۹ | ۰/۵۵۸ | ۰/۶۳۵ |

جدول ۵- مقادیر NRMSE و d مدل‌های رگرسیونی در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی برای استان یزد

Table 5- The NRMSE and d values of the regression models in calibration and validation stages for Yazd Province

| شماره مدل | مدل‌ها | مرحله واسنجی | | مرحله اعتبارسنجی | |
|-----------|---|--------------|-------|------------------|-------|
| | | NRMSE | d | NRMSE | d |
| ۳ | $P_a=55.590+1.146 \times (R_{6m1})-0.036 \times (t_{47.5})+5.542 \times (T_{su})-8.918 \times (T_{su.au})-0.039 \times (R_m)$ | ۰/۱۹۲ | ۰/۹۶۶ | ۰/۲۴۶ | ۰/۹۲۷ |
| ۴ | $P_a=1.192 \times (R_{6m1})+0.008 \times (t_{47.5})+7.592 \times (T_{su})-9.809 \times (T_{su.au})+0.002 \times (R_m)$ | ۰/۱۹۶ | ۰/۹۶۵ | ۰/۲۴۴ | ۰/۹۲۸ |
| ۷ | $P_a=8.204+1.174 \times (R_{6m1})$ | ۰/۲۰۴ | ۰/۹۶۲ | ۰/۲۳۹ | ۰/۹۲۵ |
| ۸ | $P_a=72.009+1.158 \times (R_{6m1})-2.626 \times (T_{su.au})$ | ۰/۱۹۶ | ۰/۹۶۵ | ۰/۲۳۸ | ۰/۹۲۹ |
| ۱۰ | $P_a=205.120-0.894 \times (t_{47.5})$ | ۰/۳۴۳ | ۰/۸۶۶ | ۰/۲۹۸ | ۰/۸۸۱ |

برآورد بارش به روش شبکه عصبی مصنوعی

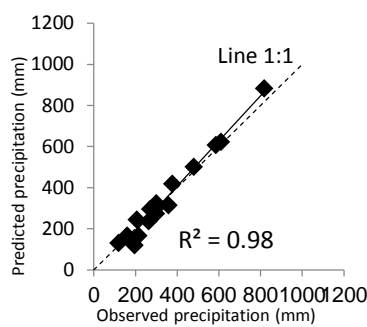
مدل‌های شبکه عصبی استفاده شده در این پژوهش، از نوع شبکه پرسپترون پیشخور سه لایه بود که از قانون آموزش پس انتشار خطا به همراه الگوریتم کاهش گرادیان، در آموزش آن‌ها استفاده شد. پس از بررسی شاخص‌های ارزیابی برای مدل‌های به دست آمده، بهترین مدل‌های به دست آمده به شرح جدول (۶) می‌باشند. مقایسه همبستگی مقادیر برآورد شده شبکه عصبی مصنوعی و مشاهده‌ای بارش سالانه با خط یک به یک برای بهترین مدل‌های تعیین شده در شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب برای استان‌های چهارمحال و بختیاری و یزد ارائه شده است. با توجه به جدول (۶) ملاحظه می‌شود که شبکه عصبی مصنوعی با آرایش ۱-۵-۲ و ۱-۸-۲ که در آن از ۲ نرون در لایه ورودی استفاده شده و همچنین شبکه عصبی مصنوعی با آرایش ۱-۶-۵ با ۵ نرون در لایه ورودی نتایج بهتری را برای استان چهارمحال و بختیاری داشته است. در این مدل‌ها مقادیر بارش پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی بارش از همبستگی بالایی برخوردار بود و پراکنش یکنواختی نسبت به خط یک به یک داشت (شکل ۴) چنان‌که ضریب تعیین (R^2) در هر دو شبکه برابر با ۰/۹۸ به دست آمد. مدل‌های ۱ تا ۳ شبکه عصبی کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی را در برآورد بارش سالانه نشان داد و مقادیر NRMSE و d نیز نتایج فوق را تأیید کرد (جدول ۶). نتایج حاصل از کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در استان یزد، با استفاده از ۲ و ۵ پارامتر ورودی با آرایش ۱-۴-۲، ۱-۵-۱ و ۱-۱۰-۱ نشان داد که هر یک از مدل‌های ۴ تا ۶ کارایی تقریباً یکسان و بالایی را در پیش‌بینی بارش سالانه داشت. چنانچه (R^2) در آن‌ها بالاتر از ۰/۹ و مقادیر NRMSE و d نیز در حد رضایت‌بخش بود (جدول ۶) و مقادیر بارش پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی بارش نیز پراکنش مناسبی نسبت به خط یک به یک داشت (شکل ۴ و ۵). Karimi Goaghari and Eslami (2008)، Khalili et al., (2008) و Halbian and Darand (2012) نیز در پژوهش‌های خود قابلیت روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد بارش سالانه را گزارش کردند. در مجموع برای استان چهارمحال و بختیاری مدل شبکه عصب مصنوعی با توپولوژی ۱-۵-۲ با ورودی‌های بارش شش ماهه اول و دمای تابستان و برای استان یزد مدل شبکه عصب مصنوعی با توپولوژی ۱-۱۰-۵ با ورودی‌های شامل متغیرهای بارش شش ماهه اول، متوسط

بارش سالانه، زمان نزول ۴۷/۵ میلی‌متر بارش از اول سال آبی، متوسط دمای پاییز و متوسط دمای تابستان و پاییز به‌عنوان بهترین شبکه انتخاب می‌شود.

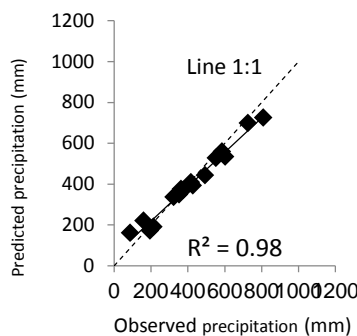
جدول ۶- نتایج حاصل از کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در برآورد بارش سالانه در دو استان چهارمحال و بختیاری و یزد

Table 6- Results of the ANN application for annual precipitation of Chaharmahal-Bakhtiari and Yazd Provinces

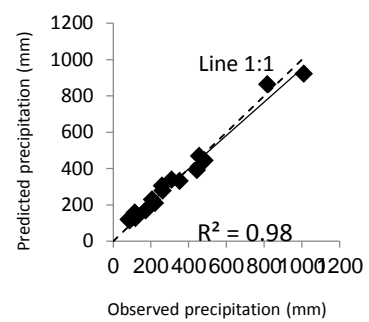
| نام استان | پارامترهای به کار رفته | شماره مدل | توپولوژی شبکه | تعداد چرخش | تابع لایه میانی | تابع لایه خروجی | R2 | NRMSE | d |
|--------------------|------------------------------|-----------|---------------|------------|-----------------|-----------------|------|-------|------|
| چهارمحال و بختیاری | R6m1, Tsu | ۱ | ۱-۵-۲ | ۱۰۰۰ | سیگموئید | خطی | ۰/۹۸ | ۰/۱۰۱ | ۰/۹۸ |
| | | ۲ | ۱-۸-۲ | ۱۰۰۰ | سیگموئید | خطی | ۰/۹۸ | ۰/۱۰۵ | ۰/۹۹ |
| | R6m1, t47.5, Rm, Tsu, Tsu.au | ۳ | ۱-۶-۵ | ۱۰۰۰ | سیگموئید | خطی | ۰/۹۸ | ۰/۱۱۲ | ۰/۹۹ |
| یزد | R6m1, Tsu | ۴ | ۱-۴-۲ | ۱۰۰۰ | سیگموئید | خطی | ۰/۹۰ | ۰/۲۰۵ | ۰/۹۶ |
| | | ۵ | ۱-۱-۵ | ۱۰۰۰ | سیگموئید | خطی | ۰/۹۲ | ۰/۲۴۲ | ۰/۹۵ |
| | R6m1, t47.5, Rm, Tsu, Tsu.au | ۶ | ۱-۱۰-۵ | ۱۰۰۰ | سیگموئید | خطی | ۰/۹۱ | ۰/۱۸۲ | ۰/۹۹ |



Model 1



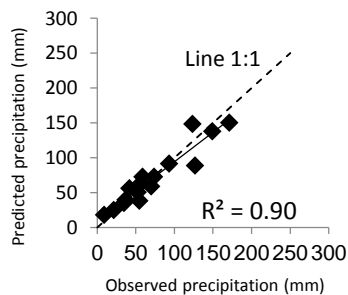
Model 2



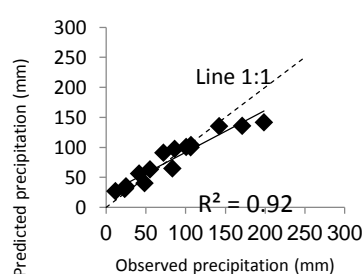
Model 3

شکل ۴: مقایسه مقادیر برآورد شده شبکه عصبی مصنوعی و مشاهده‌ای بارش سالانه برای مدل‌های ۱ تا ۳ برای استان چهارمحال و بختیاری

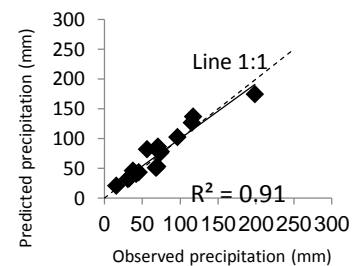
Figure 4: Comparison between the observed and predicted annual precipitation by ANN using models 1 to 3 in Chaharmahal-Bakhtiari Province



Model 4



Model 5



Model 6

شکل ۵: مقایسه مقادیر برآورد شده شبکه عصبی مصنوعی و مشاهده‌ای بارش سالانه برای مدل‌های ۴ تا ۶ برای استان یزد

Figure 5: Comparison between the observed and predicted annual precipitation by ANN using models 4 to 6 in Yazd Province

نتیجه گیری

پیش‌بینی بلندمدت بارش در برنامه‌ریزی و مدیریت مصرف منابع آب (به‌ویژه منابع آب سطحی) و موضوع کنترل سیلاب (از جنبه لزوم یا عدم لزوم تخلیه مخازن سدها) اهمیت دارد. این موضوع در اقلیم‌های خشک و نیمه خشکی مانند استان‌های یزد و چهارمحال و بختیاری به‌منظور تعیین الگوی کشت و مدیریت اختصاص آب به بخش‌های مصرف غیرقابل اجتناب است. در این پژوهش به‌منظور برآورد بارش سالانه در دو استان چهارمحال و بختیاری و یزد، با رژیم بارش یکسان اما مقادیر متفاوت، از دو روش رگرسیون چند متغیره خطی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. پس از بررسی این روش‌ها نتایج نشان داد که کاربرد روش رگرسیون خطی با دارا بودن کم‌ترین خطای نرمال (NRMSE کم‌تر از ۰/۳ و d بالاتر از ۰/۹) و ضریب تعیین (R^2) بالاتر از ۰/۸۵ در هر دو استان برای برآورد بارش سالانه موفق‌آمیز بوده است. مهم‌ترین پارامتر مؤثر در روش رگرسیون مجموع بارش شش ماهه اول سال آبی به همراه میانگین دمای تابستان و پاییز و سپس میانگین بلندمدت بارش و طول فاصله نزول ۴۷/۵ میلی‌متر بارش از ابتدای پاییز بوده است. به‌گواه تحلیل انجام شده دمای بیش‌تر هوا در تابستان و پاییز نشانه‌ای از بارش بیش‌تر در سال آبی در استان چهارمحال و بختیاری بود در حالی که در استان یزد عکس این حالت رخ داد. همچنین هرچه زمان برای رسیدن به مقدار بارش تجمعی ۴۷/۵ میلی‌متر از ابتدای پاییز به تعویق بیفتد بارش کل کمتری در هر دو استان انتظار می‌رود. در مجموع بر اساس شاخص‌های آماری بهترین مدل رگرسیونی پیش‌یابی بارش استان چهارمحال و بختیاری مدلی با ۵ ورودی شامل: متغیرهای بارش شش ماهه اول، متوسط بارش سالانه، زمان نزول ۴۷/۵ میلی‌متر بارش از اول سال آبی، متوسط دمای تابستان و متوسط دمای تابستان و پاییز و برای استان یزد مدلی با ۲ ورودی شامل: متغیرهای بارش شش ماهه اول و متوسط دمای تابستان و پاییز بود.

روش شبکه عصبی مصنوعی نیز با ضریب تعیین (R^2) بالاتر از ۰/۹ و خطا خیلی کم می‌تواند با گرفتن پارامترهای اقلیمی به‌عنوان ورودی، با دقت مناسبی بارش سالانه را برآورد نماید. در استان چهارمحال و بختیاری بهترین شبکه عصب مصنوعی ۲ نرون ورودی و در استان یزد با ۵ نرون ورودی داشت. همچنین بهترین تابع فعالیت برای این شبکه‌ها تابع فعال‌سازی سیگموئید بود. در نهایت بر اساس شاخص‌های آماری بهترین شبکه عصبی برای استان چهارمحال و بختیاری شبکه‌ای با توپولوژی ۱-۵-۲ و ورودی‌های بارش شش ماهه اول و دمای تابستان و برای استان یزد شبکه‌ای با توپولوژی ۱-۱۰-۵ با ورودی‌های بارش شش ماهه اول، متوسط بارش سالانه، زمان نزول ۴۷/۵ میلی‌متر بارش از اول سال آبی، متوسط دمای پاییز و متوسط دمای تابستان و پاییز انتخاب شد.

استفاده از بارش شش ماهه اول سال آبی در مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصب مصنوعی که موجب افزایش دقت مدل در برآورد بارش سالانه شده است به تخمین بارش فصلی (فصل بهار) کمک شایانی می‌کند. چراکه با کسر بارش شش ماهه اول سال آبی از کل بارش پیش‌یابی شده، میزان بارش شش ماهه دوم سال به‌دست می‌آید که در اقلیم مناطق بررسی شده عمدتاً مربوط به فصل بهار است. پیش‌آگاهی از مقدار بارش فصل بهار در دیم‌کاری و نیاز یا عدم نیاز به آبیاری تکمیلی محصولات دیم حیاتی است و در برنامه‌ریزی منابع آبی برای تأمین این اهداف کمک

شایانی خواهد کرد. مزیت روش‌های استفاده شده در این بررسی در ورودی‌های ساده، زودیافت و در دسترس آنها است. ضمن این‌که مدل‌های رگرسیونی ارائه شده به راحتی قابل استفاده بوده و از دقت قابل قبولی برخوردار است.

References

- Ammar, G. A., Haidar, B.Y., AlDarwish, A. Q., (2017), "An artificial neural network model for monthly precipitation forecasting Inhoms station, Syria", *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 4 (6): 240-246.
- El-Shafie, A. H., El-Shafie, A., El-Mazoghi, H. G., Shehata, A., Taha, M. R., (2011), "Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to Alexandria, Egypt", *International Journal of the Physical Sciences*, 6 (6): 1306-1316.
- Erfanian, M., Ansari, H., Alizadeh, A., (2013), "Prediction of monthly rainfall and mean temperature by using teleconnection patterns by artificial neural network (Case study: synoptic station of Mashhad)", *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 11: 53-73. [In Persian].
- Fallah Ghalhary, Gh. A., Mousavi Baygi, M. S., Habibi Nokhandan, M., (2009), "Using statistical model for seasonal rainfall forecasting based on synoptic patterns of atmospheric upper levels", *Water and Soil Science*, 19 (1): 125-144. [In Persian].
- Fatemi Amin, S. R., Mortezaei, A., (2013), "*Guideline plan of food chain products. Vice President of Planning, Ministry of Industry, Mine and Trade*", Jihad-Daneshgahi Press, University of Shahid-Beheshti: Tehran. [In Persian].
- 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].
- Ghasemi, M. M., Sepaskhah, A. R., (2004), "Predicting of annual precipitation in Khuzestan Province based on early rain events in fall", *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources (Water and Soil Science)*, 8 (1): 1-9. [In Persian].
- Goutami, B., (2007), "The prediction of indian monsoon rainfall: A regression approach", *An Electronic Journal of Geography and Mathematics*, 1 (18): 1-7.
- Halbani, A. H., Darand, M., (2012), "Prediction of annual precipitation by artificial neural network in Esfahan", *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 12 (26): 47-63. [In Persian].
- Karimi Goaghari, Sh., Sepaskhah, A. R., (2006), "A model for prediction of annual precipitation in Kerman Province", *Iran-Water Resources Research*, 2 (1): 54-60. [In Persian].
- Karimi Goaghari, Sh., Eslami, A., (2008), "Prediction of annual precipitation using artificial neural networks in Kerman province", *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2 (2): 123-132. [In Persian].
- Khalili Samani, N., Azizian, A., (2016), "Modification and application of simple regression models to predict annual precipitation in Shahrekord and Yazd weather stations", *Journal of Water and Soil*, 30 (1): 312-321. [In Persian].
- Khorshiddoust, A., Jafarzadeh, F., (2020), "Forecasting and analyzing of rainfall changes in the southern coasts of caspian sea in order to environmental planning using SDSM model", *Journal of Geographical Space*, 70: 37-59. [In Persian].
- Khalili, N., Khodashenas, S. R., Davari, K., Moosavi Baygi, M., (2008), "Monthly precipitation forecasting using artificial neural networks (A case study: Synoptic station of Mashhad)", *Agricultural Sciences and Technology Journal (water and soil)*, 22(1): 89-99. [In Persian].

- Meteorological Organization of Chaharmahal-Bakhtiari Province, (2014), "*Meteorological Report of Chaharmahal-Bakhtiari Synoptic Weather Stations*", [on line]: <http://www.chaharmahalmnet.ir>.
- Meteorological Organization of Yazd Province, (2014), "*Meteorological Report of Yazd Synoptic Weather Stations*". [on line]: <http://www.yazdmet.ir>.
- Mislan, H., Hardwinarto, S., Aipassa, M., (2015), "Rainfall monthly prediction based on artificial neural network: A case study in Tenggarong station, East Kalimantan-Indonesia", *Procedia Computer Science*, 59: 142-151.
- Mohammadi, H., Azizi, G., Rabbani, F., Mazahei, D., (2017), " Long-term prediction of the climate variables in northern shore of iran on uncertainty of global climate models", *Journal of Geographical Space*, 56: 95-113. [In Persian].
- Moustiris, K. P., Larissi, I. K., Nastos, P. T., Paliatsos, A. G., (2011), "Precipitation forecast using artificial neural networks in specific regions of Greece", *Water resources management*, 25 (8): 1979-1993.
- Munot, A. A., Krishna Kumar, K., (2007), "Long range prediction of Indian summer monsoon rainfall", *Journal of earth system science*, 116 (1): 73-79.
- Sari Saraf, B., Rajaei, A., Mesri Alamdari, P., (2009), "Investigation of the relationship between precipitation and topography in eastern and western slopes of Talesh", *Geography and Environmental Planning*, 20 (3): 63-84. [In Persian].
- Sepaskhah, A. R., Taghvae, A. R., (2006), "A simple model for prediction of annual precipitation in the southern and western provinces of Iran", *Iran Agriculture Research*, 23 (2): 60-69. [In Persian].
- Stewart, J. I., (1988), "*Response farming in rain fed agriculture*", WHARF Foundation Press: Davis California.
- Zaw, W. T., Naing, T. T., (2008), "Empirical statistical modeling of rainfall prediction over Myanmar", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2 (10): 3418-3421.