

پیش‌بینی بارش اصفهان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

دربافت مقاله: ۹۰/۱۱/۸ پذیرش نهایی: ۹۱/۶/۱۳

صفحات: ۴۷-۶۳

امیرحسین حلبیان: استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران^۱

Email: halabian_a@yahoo.com

محمد دارند: استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه کردستان

Email: mdarand@uok.ac.ir

چکیده

بارش مهمترین سنجه‌ی هواشناسی و اقلیمی است. در این پژوهش به منظور پیش‌بینی بارش اصفهان از داده‌های بارش ماهانه‌ی ایستگاه همدید اصفهان در بازه‌ی آماری (۱۹۵۱-۲۰۰۹) به مدت ۵۹ سال و به دلیل رفتار غیرخطی بارش از شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی آن بهره گرفته شد. در این ارتباط، ۷۰ درصد داده‌ها جهت آموزش شبکه و ۳۰ درصد داده‌ها برای تست و اعتبار سنجی اختصاص داده شد. نتایج پژوهش بعد از آزمون شبکه با لایه‌های پنهان و با ضرایب یادگیری مختلف آشکار ساخت که استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با یک پرسپکترون با ۲ لایه پنهان و ضریب یادگیری ۴/۰ نسبت به سایر حالت‌ها و معناری شبکه، مدل نسبتاً بهتری را ارائه می‌کند. به بیانی دیگر، داده‌های پیش‌بینی شده بارش ماهانه توسط شبکه با چنین ساختار و معناری، بیشتر با واقعیت انطباق دارد. آموزش مجدد شبکه و آزمون شبکه با لایه‌های پنهان و ضرایب مختلف یادگیری در ترکیب با الگوریتم ژنتیک نیز نشان داد که ترکیب شبکه با ویژگی‌های مذکور با الگوریتم ژنتیک باعث کاهش خطأ و افزایش سرعت محاسبات شده و مدل بهتری را ارائه می‌کند. بطور کلی می‌توان گفت که شبکه عصبی به خوبی رابطه غیر خطی بین مقادیر ماهانه بارش را با توجه به آموزش شبکه با خصوصیات ذکر شده، پیش‌بینی می‌کند. در عین حال، نتایج حاصل از تصادفی کردن داده‌ها تفاوتی چندانی با مرتب بودن داده‌ها برای آموزش شبکه ندارد.

کلید واژگان: بارش، پیش‌بینی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، اصفهان.

^۱. نویسنده مسئول: دانشگاه پیام‌نور، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۳۶۹۷، تهران، ایران

مقدمه

پیش بینی تغییرات سنجه های اقلیمی و هواشناسی یکی از دغدغه های بسیار بزرگ دانشمندان علوم زمین است. اطلاعات دقیق در مورد بارش برای مدیریت منابع آب ضروری و حیاتی است. در عین حال، در مناطق شهری بارش تأثیر بسیار زیادی بر کنترل ترافیک، فاضلاب و فعالیت های دیگر انسان دارد. از آن جایی که حالت غیرخطی ویژگی اصلی فرایند و پارامترهای علوم جوی و هیدرولوژی است؛ در سالهای اخیر شبکه های عصبی مصنوعی در زمینه های مختلفی از جمله حفاظت از محیط زیست، طیف سنجی، باد، تخمين بارش و رواناب در مقیاسهای مختلف زمانی، پیش بینی دمای سطح دریا، آنالیز پارامترهای هواشناسی، پیش بینی ارتفاع موج، تکمیل سری های زمانی عناصر هواشناسی و پیش بینی دمای حداقل استفاده شده است (پلامین و همکاران، ۱۹۹۹؛ آر. لینکر و همکاران، ۲۰۰۵؛ گوساو و همکاران، ۲۰۰۸؛ تونی هال و همکاران، ۱۹۹۸؛ ووگت و ساچر، ۲۰۰۱، ناکاکیتا و همکاران، ۱۹۹۶). در این راستا، هال و همکاران (۱۹۹۹) بارش تگزاس را به کمک شبکه های عصبی مصنوعی پیش بینی کردند. نتایج آنان نشان داد که همبستگی خطی بین مقادیر پیش بینی شده بارش با مقادیر واقعی ۰/۹۵ است. در حال حاضر، نه تنها از شبکه های عصبی مصنوعی برای پیش بینی مقادیر بارش در مقیاسهای مختلف زمانی استفاده می شود؛ بلکه بسیاری از پژوهشگران از آن به عنوان ابزاری جهت پیش بینی رخدادهای فرین بارش نیز بهره برده اند. برای نمونه بدري و سيرماک (۲۰۰۰) از شبکه های عصبی مصنوعی برای پیش بینی مقادیر فرین بارش که در تابستان منجر به رخداد سیل در منطقه مراویا (شرق جمهوری چک) می شود، استفاده کردند. آنها شبکه را به کمک انتشار رو به عقب و با داده های ماهانه ۳۸ سال مربوط به دو ایستگاه در منطقه، آموزش دادند و مقایر بارش ماه بعد و بارش تابستان سال بعد را پیش بینی کردند. نتایج آنان نشان داد که شبکه های عصبی مصنوعی به خوبی مقادیر بارش فرین را پیش بینی می کند؛ چرا که بین مقادیر واقعی و پیش بینی شده بارش اختلاف اندکی دیده می شود. میدا و همکاران^۱ (۲۰۰۱) نیز بارش ژاپن را به کمک شبکه های عصبی مصنوعی پیش بینی کردند و نتایج حاصله را با پیش بینی های ساعتی سازمان هواشناسی ژاپن مقایسه کردند. نتایج آنان نیز نشان داد که شبکه های عصبی مصنوعی ابزار مناسبی برای پیش بینی بارش و کاهش مخاطرات ناشی از آن می باشد. لکشمی و همکاران (۲۰۰۳) به کمک شاخص انسو و چرخه های لکه های خورشیدی بارش تابستانه هند را با ابزار شبکه های عصبی مصنوعی پیش بینی

^۱ - Maeda

کردند. بسطامی و همکاران (۲۰۰۷) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش و تراز آب رودخانه بوداپ استفاده کردند. نتایج این پژوهش آشکار ساخت که دقت پیش‌بینی مقادیر بارش $\frac{۹۶}{۴}$ درصد است. همچنین آنان به کمک خروجی پیش‌بینی شده بارش، تراز آب رودخانه را با دقت $\frac{۸۵}{۳}$ درصد محاسبه کردند. این نتایج بیانگر کارایی خوب و مناسب شبکه‌های عصبی مصنوعی برای بارش و تراز آب است که یکی از ضروری‌ترین ورودی‌های هیدرولوژیکی است. هانگ و همکاران (۲۰۰۸) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش بانکوک تایلند استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که مدل توسعه یافته‌ی شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی زمان واقعی بارش و مدیریت سیلاب در بانکوک تایلند مناسب است. سلیمانی (۲۰۰۹) بارش-رواناب را به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی در حوضه آبریز جراحی پیش‌بینی کرد. نتایج وی نشان داد که تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی رواناب رودخانه بسیار مناسب‌تر و کارآمدتر از مدل رگرسیون کلاسیک است. وانگ و شینگ (۲۰۱۰) بارش ژینگ ژوی چین را به کمک رگرسیون عمومی شبکه‌های عصبی پیش‌بینی کردند. نتایج این پژوهش حکایت از این داشت که رگرسیون عمومی شبکه‌های عصبی مقادیر خطای پیش‌بینی کمتری را نسبت به شبکه‌های مصنوعی انتشار به عقب داردند. کارین (۲۰۱۰) روش‌های رگرسیون چندمتغیره اسپی لاین و شبکه‌های عصبی مصنوعی انتشار به عقب را برای پیش‌بینی بارش و دمای حوضه رودخانه سازمانه مقایسه کردند. شافعی و همکاران (۲۰۱۱) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش اسکندریه مصر استفاده کردند. آنها مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون چند متغیره را با هم مقایسه کردند.

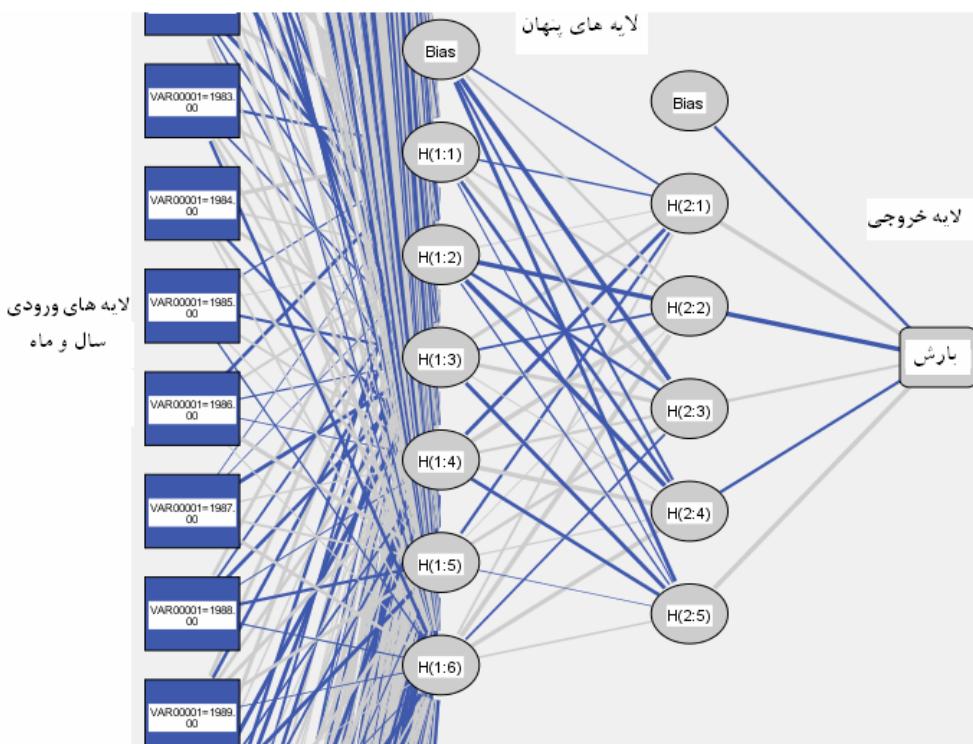
نتایج مطالعه آنها نشان داد که مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی مناسب‌تر و دقیق‌تر است. احمدی (۱۳۸۲) به طبقه‌بندی تغییرات بارش بوشهر با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی مبتنی بر مدل خود سازمانده کوهون پرداخت و به این نتیجه رسید که روش شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌تواند برای بیشتر پارامترهای اقلیمی و بازه زمانی بلندتر به کار رود. علیجانی و قویدل رحیمی (۱۳۸۴) به مقایسه و پیش‌بینی تغییرات دمای سالانه‌ی تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج آنان نشان داد که روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی در مقایسه با روش‌های رگرسیون خطی ساده و رگرسیون نیمه خطی چند جمله‌ای درجه ۶ ، روش بهتر و دقیق‌تری است. خلیلی (۱۳۸۵) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک مشهد را بررسی کرد. نتایج وی نیز آشکار ساخت که شبکه‌های عصبی مصنوعی به خوبی روند بارش ماهانه را در ایستگاه مذکور پیش‌بینی می‌کند. خوشحال و قویدل رحیمی

(۱۳۸۷) نوسانات بارش سالانه‌ی تبریز را در ارتباط با ناهنجاریهای دمایی کره‌ی زمین به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی شبیه سازی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش پرسپترون چند لایه با ۳ لایه مخفی و الگوریتم آموزش پس انتشار قابلیت بسیار عالی در پیش‌بینی همبستگی بین سری‌ها دارد. همچنین قویدل رحیمی (۱۳۸۹) به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی اثر گرمایش جهانی بر ناهنجاریهای بارش سالانه‌ی جلفا را مطالعه کرد و به نتایجی مشابه دست یافت و نشان داد که روش پرسپترون چند لایه با چهار لایه مخفی و الگوریتم آموزش پس انتشار دارای قابلیت بسیار عالی در پیش‌بینی همبستگی بین سری‌هاست. با توجه به استفاده موفق پژوهشگران از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدلسازی بارش و به جهت دقت آن در برآورد سنجه‌های اقلیمی، در این پژوهش سعی بر آن است تا دقت شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد بارش ماهانه‌ی ایستگاه همدید اصفهان را مورد آزمون و ارزیابی قرار دهیم.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش از داده‌های ماهانه بارش ایستگاه همدید اصفهان طی بازه زمانی ۱۹۵۱-۲۰۰۹ که از واحد خدمات ماشینی سازمان هواسناسی اخذ گردیده استفاده شده است. در عین حال، از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان ابزاری نیرومند جهت پیش‌بینی مقادیر بارش طی زمان بهره گرفته شده است. تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی در این پژوهش شامل دو مرحله است: (۱) مرحله آموزش و (۲) مرحله تست. در این پژوهش ۶۹/۹ درصد داده‌ها (۴۹۵ داده) برای آموزش و ۳۰/۱ درصد داده‌ها (۲۱۳) برای تست و اعتبار سنجی در نظر گرفته شد. این که چه درصدی از داده‌ها برای آموزش شبکه کافی است و آیا حد آستانه‌ای وجود دارد که با داده‌های کمتر از آن شبکه کارآمد نباشد؛ به پیچیدگی مسئله و کیفیت داده‌ها بستگی دارد. میزان خطا در طول آموزش شبکه نیز به تعداد مثال‌های به کار رفته برای آموزش شبکه وابسته است. اگر تعداد الگوها و یا تعداد نمونه‌های لایه‌ی میانی کم باشد، شبکه نمی‌تواند ارتباط موجود بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را به درستی فراگیرد. علاوه بر آن اگر تعداد نمونه‌ای لایه‌ی میانی از حد لازم بیشتر باشد؛ شبکه شروع به حفظ کردن الگوها می‌کند؛ به طوری که در مرحله آموزش خوب ولی برای داده‌های آزمون ضعیف عمل نموده و قابلیت تعمیم‌پذیری ندارد (دزفولیان و اکبرپورشیرازی، ۱۳۹۰). به طور کلی، در اغلب پژوهش‌ها از ۷۰، ۷۵ و ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش شبکه استفاده شده است و مابقی داده‌ها جهت آزمون و اعتبارسنجی مدل شبکه بکار گرفته شده‌اند. در مرحله آموزش، شبکه‌های عصبی به کمک

داده‌های بارش و زمان، ارتباط بین نرخ بارش با گذشت زمان را فرا می‌گیرند. به بیانی دیگر شبکه می‌آموزد که مقادیر بارش در زمانهای مختلف چه رفتاری از خود نشان می‌دهد. در این پژوهش، زمان (سال، ماه) به عنوان پارامتر ورودی و مقادیر بارش به عنوان خروجی به شبکه داده شد. در مرحله تست و آزمون مقادیر خروجی با مقادیر واقعی مقایسه گردید و اختلاف یا خطأ محاسبه شد. این مرحله آنقدر تکرار می‌شود تا این که میزان خطای برآورد مقادیر بارش به حداقل خود برسد و بهینه‌ترین حالت شبکه بدست آید. ساختار شبکه عصبی مصنوعی در این پژوهش شامل سه لایه‌ی رشتہ‌ای است: لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی. شبکه‌های عصبی مصنوعی یک شبیه سازی از دستگاه عصبی طبیعی است و شامل مجموعه‌ای از واحدهای عصبی بنام نرون می‌باشد که توسط ارتباطاتی موسوم به آکسون به هم متصل شده‌اند (شکل ۱).



شکل (۱) معماری سه لایه‌ای الگوریتم انتشار رو به عقب شبکه‌های عصبی مصنوعی

الگوریتم های زیادی برای آموزش شبکه وجود دارد که در میان آنها غالباً از انتشار رو به عقب^۱ استفاده می شود. هدف از آموزش شبکه یادگیری رفتار بارش توسط شبکه برای برآورد مقادیر پیش‌بینی شده است. این الگوریتم به طور مستقل توسط چندین پژوهشگر از جمله ویربُس (۱۹۷۴) و پارکر (۱۹۸۲) و رومرلهارت، هینتون و ویلیامز (۱۹۸۶) بسط و گسترش یافت. روش آموزش آن شهودی و مبتنی بر درک و انتقال مستقیم است و وزن ها را طوری تنظیم می کند که میزان خطا به حداقل خود برسد. لایه ها کاملاً با همدیگر ارتباط دارند و نرون ها داده های ورودی را از لایهی ورودی می گیرند. در این پژوهش نیز با توجه به موارد فوق از الگوریتم انتشار رو به عقب برای آموزش داده ها بهره گرفته شد.تابع تان اکسون^۲ که تابع معروفی در روش انتشار پس انتشار است نیز به عنوان تابع تحریک استفاده گردید. همان گونه که یک سلول بیولوژیک باید به سطح آستانه تحریک خاصی برسد تا یک سیگنال تولید کند، توابع تحریک نیز تا زمانی که ورودی های ترکیب شده و وزن دار شده به یک حد آستانه ای خاصی نرسند مقدار خروجی نظیر بسیار کوچکی تولید میکنند. تابع تحریک تابع انتقال نیز گفته می شود. در عین حال، به منظور کاهش خطای پیش‌بینی چندین بار سعی و خطا روی پارامترهای شبکه انجام شد و در نهایت پارامترها به صورت زیر تنظیم گردیدند. برای آموزش شبکه نیز از مدل پرسپترون چندلایه^۳ استفاده شد که در جدول ۱ آمده است.

جدول (۱) پارامترهای شبکه آموزش داده شده پس از سعی و خطا

مدل و یا نوع شبکه	پرسپترون چند لایه ای
تعداد لایه های مخفی	۲
روش آموزش	دلتا بار دلتا
نرخ یادگیری اولیه	۰/۴
مومنتوم	۰/۹
تابع تحریک یا فشردگی	در لایه های پنهان سیگموئید در لایه های خروجی هایبریوپلیک تانژانت
تعداد نرون های در دو لایه مخفی	۵,۶
تعداد اپاک	۱۰۰۰

^۱-Back-propagation^۲-TanhAxon^۳-Multilayer perceptron

در شبیه‌سازی زمانی که طی فرایند یادگیری، وزن خاصی افزایش می‌یابد پس از آن معمولاً تا انتها افزایش می‌یابد و بالعکس اگر وزن باید کاهش یابد تا انتها کاهش می‌یابد و به ندرت پیش می‌آید که یک وزن بطور متواتی کم و زیاد شود. از این رو پارامتری به نام مومنتوم بر روی تغییر وزن تأثیر داده می‌شود. معمولاً یکی از دو روند آموزش الگو به الگو (Epoch) و آموزش گروهی (Batch) در تدوین مدل‌های شبکه‌های عصبی به کار برد همیشه شود. در این پژوهش از آموزش الگو به الگو (اپاک) استفاده شد.

در ادامه، هم در مراحل آموزش و تست شبکه و هم در مراحل نهایی مقادیر بارش واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده بارش توسط شبکه از رابطه‌ی ساده‌ی ضریب همبستگی استفاده گردید. در مراحل آموزش و تست بارها شبکه با معماری که به آن داده می‌شود خود را سازگار می‌کند تا بهترین حالت در آن معماری به دست آید و بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده بارش توسط شبکه بیشترین ضریب همبستگی وجود داشته باشد. همبستگی بین مقادیر بارش مشاهده شده و پیش‌بینی به کمک رابطه‌ی زیر محاسبه شد.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [P_a - \bar{P}_a] [P_s - \bar{P}_s]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} [P_a - \bar{P}_a]^2 \sum_{i=1}^{i=n} [P_s - \bar{P}_s]^2}}$$

\bar{P}_a بارش مشاهده شده

\bar{P}_s میانگین بارش مشاهده شده

P_a بارش پیش‌بینی شده

\bar{P}_s میانگین بارش پیش‌بینی شده

یافته‌های پژوهش

داده‌های منظم و نتایج شبکه در ترکیب با الگوریتم ژنتیک

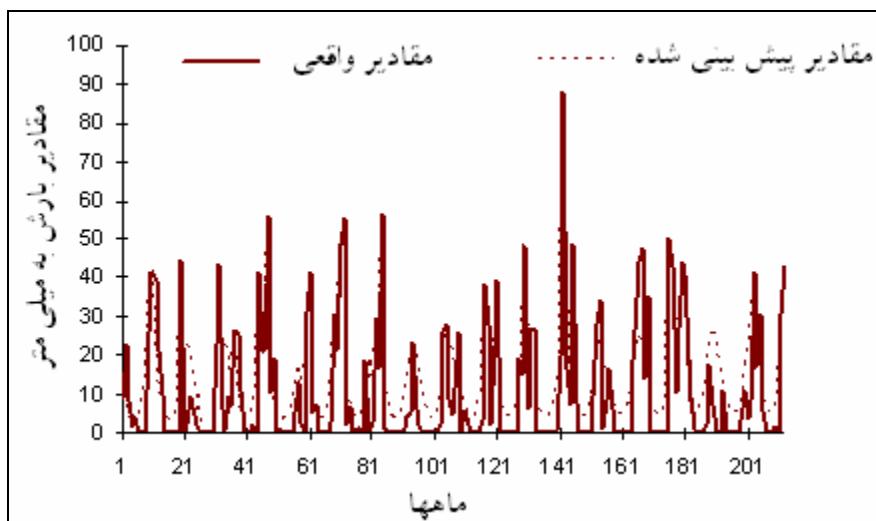
از آن جایی که الگوریتم پس انتشار غالباً برای مسائل واقعی بسیار کند عمل می‌کند؛ جهت غلبه بر این مشکل از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب بهترین وزن‌های اولیه استفاده می‌شود. به عبارت دیگر با استفاده از شبکه عصبی و ترکیب آن با الگوریتم ژنتیک می‌توان سریعتر به نتیجه رسید و علاوه بر آن دقیق‌تر نیز افزایش داد و سرانجام به نتیجه بهتری دست یافت. در این پژوهش هم در مرحله آموزش و هم در مرحله تست از الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شده و الگوریتم در پی بهینه سازی تابع دلتا باردلتا که به عنوان تابع انتقال استفاده شده بوده است.

لازم به ذکر است که مشخصات آموزش شبکه در ترکیب با الگوریتم ژنتیک دقیقاً همان خصوصیات آموزش شبکه بدون ترکیب با الگوریتم ژنتیک می‌باشد. شکل ۲ میزان برآش حداقل مجدور متوسط خطاهای آموزش منظم داده‌ها در ترکیب با الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد. مجدور متوسط خطاهای (MSE^1) برای شبکه بدون ترکیب با الگوریتم ژنتیک برابر با 0.004 می‌باشد. مقایسه داده‌های ماهانه بارش با میزان پیش‌بینی شده توسط شبکه در حالت قرارگیری منظم داده‌ها در ترکیب با الگوریتم ژنتیک در شکل ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشخص است شبکه عصبی مصنوعی به خوبی توانسته است که روند غیر خطی میزان بارش را با توجه به آموزشی که به شبکه داده شده است پیدا کند. شکل ۴ پراکنش نگار و خط برآش یافته بین مقادیر واقعی ماهانه بارش و پیش‌بینی شده توسط شبکه بدون ترکیب با الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد که ضریب بدست آمده برابر با 0.87 و ضریب تعیین برابر با 0.76 می‌باشد.

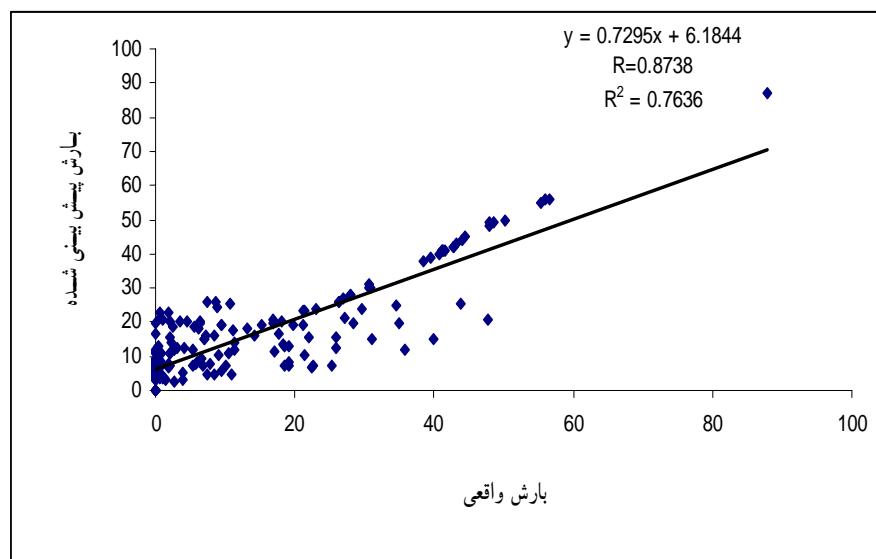


شکل(۲) برآش حداقل مجدور متوسط خطاهای آموزش منظم داده‌ها در ترکیب با الگوریتم ژنتیک

¹- Mean Square Error



شکل(۳) مقایسه مقادیر واقعی ماهانه بارش با میزان بارش پیش‌بینی شده شبکه با آموزش منظم داده‌ها در ترکیب با الگوریتم ژنتیک



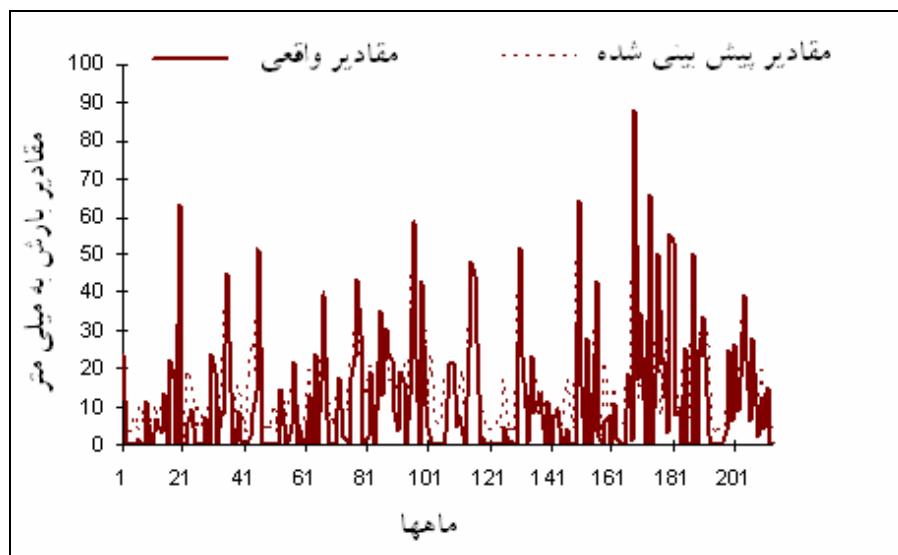
شکل(۴) پراکنش نگار و خط برآورد یافته بین مقادیر واقعی ماهانه بارش و پیش‌آگاهی شده توسط شبکه در حالت آموزش منظم داده‌ها در ترکیب با الگوریتم ژنتیک

داده های تصادفی و نتایج شبکه در ترکیب با الگوریتم ژنتیک

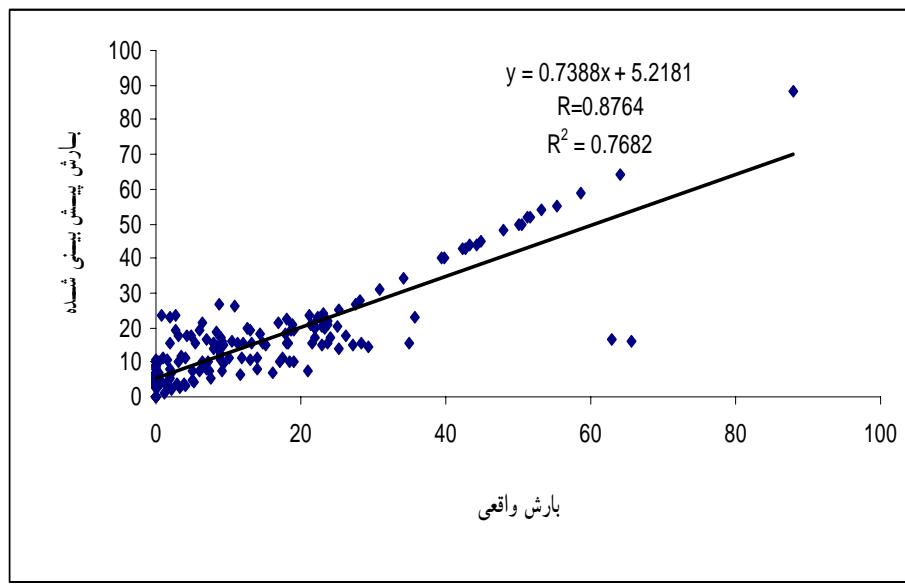
در این پژوهش داده های تصاویی نیز برای آموزش شبکه نیز مورد آزمون قرار گرفت. شکل ۵ برآش مجذور میانگین خطای هنگام آموزش داده ها با داده های تصادفی را نشان می دهد. مجذور میانگین خطای در این حالت برابر با 0.004 است. همانطور که ملاحظه می شود نتایج حاصل از تصادفی کردن داده ها برای آموزش شبکه با نتایج حاصله از حالت قرارگیری منظم داده ها تفاوت چندانی ندارد. میزان حداقل مجذور خطای در هر دو حالت به یکدیگر نزدیک است. در شکل ۶ میزان بارش برآورد شده در حالت تصادفی کردن داده ها آمده است. همانطور که ملاحظه می شود در این حالت نیز شبکه توانسته است که رفتار غیرخطی بارش را در بازه زمان پیدا کند و میزان آن را برآش کند. پراکنش نگار میزان همبستگی بین مقادیر پیش بینی شده با مقادیر واقعی در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود میزان همبستگی برابر با 0.87 و میزان ضریب تبیین برابر با 0.76 است.



شکل(۵) برآش حداقل مجذور متوسط خطای آموزش تصادفی داده ها در ترکیب با الگوریتم ژنتیک



شکل (۶) مقایسه مقادیر واقعی ماهانه بارش با میزان بارش پیش‌بینی شده شبکه در حالت تصادفی
داده‌ها ترکیب با الگوریتم ژنتیک



شکل (۷) پراکنش نگار و خط برآش یافته بین مقادیر واقعی ماهانه بارش و پیش‌بینی شده توسط
شبکه در حالت تصادفی داده‌ها در ترکیب با الگوریتم ژنتیک

بنابراین می‌توان گفت که استفاده از داده‌های منظم و یا داده‌های تصادفی برای آموزش شبکه تفاوتی در نتایج برازش مدل ایجاد نمی‌کند؛ چرا که نتایج مدل در دو حالت مزبور اختلاف چندانی با هم ندارد. میزان بارش پیش‌بینی شده طی سالهای ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ در جدول ۲ آمده است. همانطور که ملاحظه می‌شود بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده بارش هماهنگی نسبتاً خوبی برقرار است.

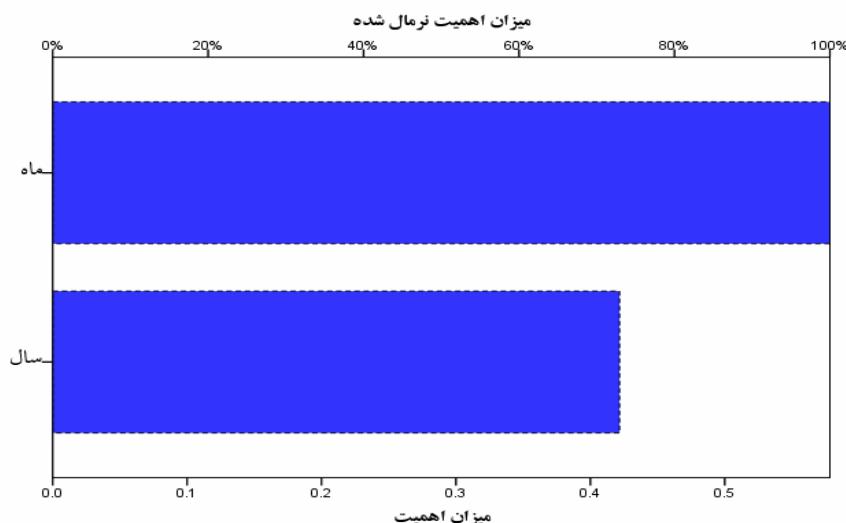
جدول (۲) مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده توسط شبکه برای سالهای ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹

داده‌های ورودی به شبکه بدون مقادیر واقعی بارش	پیش‌بینی ۲۰۰۹	واقعی ۲۰۰۹	پیش‌بینی ۲۰۰۸	واقعی ۲۰۰۸		
					داده‌های ورودی به شبکه با مقادیر واقعی بارش	
۲۸,۱	۸,۷	۵,۶	۷,۴	۱	۲۰۰۹	۱
۲۴,۴	۴۱,۲	۴,۶	۰,۷	۲	۲۰۰۹	۲
۱۶,۹	۱۷,۶	۰	۰	۳	۲۰۰۹	۳
۳۱,۴	۳۰,۸	۶,۴	۱۱,۳	۴	۲۰۰۹	۴
۶,۶	۵,۹	۱,۵	۰	۵	۲۰۰۹	۵
۱,۵	۰	۰,۷	۰	۶	۲۰۰۹	۶
۱,۱	۰	۰,۶	۰	۷	۲۰۰۹	۷
۱	۰	۰,۶	۰	۸	۲۰۰۹	۸
۱,۲	۱,۸	۰,۶	۰	۹	۲۰۰۹	۹
۱,۸	۰,۱	۵,۶	۶,۵	۱۰	۲۰۰۹	۱۰
۲۱,۴	۳۰,۶	۴	۱۱,۳	۱۱	۲۰۰۹	۱۱
۳۲	۴۲,۸	۶,۵	۳,۵	۱۲	۲۰۰۹	۱۲

تحلیل حساسیت

در تحلیل حساسیت نقش هر کدام از متغیرهای ورودی (زمان: سال و ماه) بر متغیر خروجی (بارش) سنجیده می‌شود.

همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، نقش پارامتر ورودی سال در برآورد بارش برابر با $۰/۴۲۲$ است ولی نقش پارامتر ورودی ماه برابر با $۰/۵۷۸$ است. این موضوع نشان می‌دهد که تغییرات بارش نسبت به بردار زمان بیشتر تحت تأثیر تغییرات ماههای مختلف است. بارش در ماههای سرد سال (فصل پاییز و زمستان) افزایش ولی در ماههای گرم سال (فصل تابستان و بهار) کاهش می‌یابد. در عین حال، نوسانات بارش اصفهان طی سالهای مورد مطالعه بسیار اندک است. به بیان دیگر با گذشت زمان تغییرات بارش بسیار ناچیز می‌باشد.



شکل(۸) میزان اهمیت و نقش پارامترهای ورودی شبکه

نتیجه گیری

اساساً پیش‌بینی بارش به سبب رفتار بسیار نامنظم و آشوبمندی که از خود نشان می‌دهد؛ دشوار، پیچیده و در عین حال حائز اهمیت است. اخیراً پژوهشگران متعددی از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان ابزاری جهت پیش‌بینی بارش در نقاط مختلف جهان استفاده کرده‌اند. یافته‌های این پژوهشگران نیز حکایت از کارآمدی شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با سایر روش‌های آماری در مدلسازی بارش دارد. از این رو، در پژوهش حاضر نیز بر آن شدیم تا توانمندی این شبکه را در خصوص پیش‌بینی بارش اصفهان به بوقت آزمون گذاریم. نتایج حاصله نشان داد که آموزش شبکه با لایه‌های پنهان و با ضرایب یادگیری با یک پرسپترون چند لایه همراه با ۳ لایه پنهان و با ضریب یادگیری $0/1$ نسبت به سایر حالت‌ها و معماری شبکه مدل نسبتاً بهتری را ارائه می‌کند. یافته‌های این پژوهش نیز به نوعی نتایج سایر پژوهشگران (خلیلی، ۱۳۸۵، خوشحال و قویدل رحیمی، ۱۳۸۷؛ قویدل رحیمی، ۱۳۸۹ و) را تأیید می‌کند. در عین حال، نتایج این پژوهش آشکار ساخت که استفاده از داده‌های منظم و یا داده‌های تصادفی تفاوتی در برآورد و پیش‌بینی مقادیر بارش ایجاد نمی‌کند. در مناطق دیگر ممکن است نتایج حاصل از آموزش شبکه با داده‌های تصادفی با آموزش آن با داده‌های منظم متفاوت باشد که دلیل آن نیاز به تحقیق بیشتر دارد. برای نمونه قلیزاده و دارند (۱۳۸۹) نشان دادند که آموزش شبکه با داده‌های منظم بهتر از داده‌های تصادفی مقادیر بارش را برای تهران برآورده

می‌کند. میزان همبستگی مقادیر واقعی با مقادیر پیش‌بینی شده در حالت استفاده از داده‌های تصادفی برابر با 0.869 و در حالت استفاده از داده‌های منظم برابر با 0.875 است. حداقل محدود خطا نیز در حالت استفاده از داده‌های منظم و یا داده‌های تصادفی برابر با 0.004 است. از دیگر یافته‌های این پژوهش می‌توان به این نکته اشاره کرد که ترکیب شبکه با الگوریتم ژنتیک منجر به افزایش دقت و سرعت عمل در برآورد و پیش‌بینی مقادیر بارش می‌شود؛ زیرا در این حالت شبکه تمام داده‌ها را کدبندی می‌کند و رفتار بارش را سریعتر شناسایی و آشکار می‌سازد. این در حالی است که بدون ترکیب با الگوریتم ژنتیک مقادیر، کدبندی نشده و شبکه مدت زمان بیشتری را صرف آموزش خود می‌کند و میزان دقت آن نیز نسبت به ترکیب با الگوریتم ژنتیک کمتر است.

منابع و مأخذ

۱. احمدی، اسماعیل (۱۳۸۲) طبقه‌بندی تغییرات بارش بوشهر با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی(ANN) مبتنی بر مدل خود سازمانده کوهونن(SOM)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، گروه جغرافیا.
۲. خلیلی، نجمه (۱۳۸۵) پیش‌بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی.
۳. قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۹) آشکارسازی آماری اثر گرمایش جهانی بر ناهنجاری‌های بارش سالانه جلفا با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۶۵-۸۲.
۴. خوشحال دستجردی، جواد و قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۷) بررسی رابطه تغییرات بارش سالانه تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین و شبیه‌سازی عددی آن با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله علوم انسانی مدرس، ۲۹-۵۲.
۵. علیجانی، بهلول و قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۴) مقایسه و پیش‌بینی تغییرات دمای سالانه تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی، مجله جغرافیا و توسعه، ۲۱-۳۸.

۶. قلیزاده، محمدحسین، دارند، محمد (۱۳۸۹) پیش‌بینی بارش ماهانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (مورد: تهران)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۱، ۵۱-۶۳.
۷. دزفولیان، محمدامین، اکبرپور شیرازی، محسن (۱۳۹۰) مدل سازی سنگ شناسی در میدان گازی پارس جنوبی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، پژوهش نفت، ۲۱(۶۶)، ۱۲-۲۲.

Nakakita, E., Sh. Ikebuchi, M. Nakamura, M. Okuda, A. Yamaji and T. Takasao (1996) *Short-term rainfall prediction method using a volume scanning radar and GPV data from numerical weather prediction*. Journal of Geophysical Research, 101, No.D21; 26, 181-26,197.

Wang, Z.L and H.H sheng (2010) *Rainfall Prediction Using Generalized Regression Neural Network: Case study Zhengzhou*. International Conference on Computational and Information Sciences. 17-19 December, 1265-1268.

Bustami,R., N. Bessaih, Ch. Bong and S. Suhaili (2007) *Artificial Neural Network for Precipitation and Water Level Predictions of Bedup River*. IAENG International Journal of Computer Science, 34:2, IJCS_34_2_10.

Lakshmi, S.S., R.K. Tiwari and V.K. Somvanshi (2003) *Prediction of Indian Rainfall Index(IRF) using the ENSO variability and sunspot cycles-An artifivial neural network approach*. Journal of Indian Geophysics Union, Vol.7, 173-181.

Bodri, L and V. Cermak (2000) *Prediction of extreme precipitation using a neural network: application to summer flood occurrence in Moravia*. Advances in Engineering Software, Vol. 31, 311–321

Hall, T, H.E. Brooks and Ch.A. Doswell (1999) *Precipitation Forecasting Using a Neural Network*. Weather and forecasting, Vol.14, 338-345.

Shafie, A.H, A. El-Shafie, Hasan G. El Mazoghi, A. Shehata and Mohd. R. Taha (2011) *Artificial neural network technique for*

rainfall forecasting applied to Alexandria, Egypt, International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(6), 1306-1316.

Hung, N.Q., M. S. Babel, S. Weesakul, and N. K. Tripathi (2008) *An artificial neural network model for rainfall forecasting in Bangkok, Thailand*, Hydrology and Earth Sciences Discussion, Vol. 5, 183-218.

Karen, A.L.S, (2010) *Comparison of adaptive methods using multivariate regression splines (MARS) and artificial neural networks backpropagation (ANNB) for the forecast of rain and temperatures in the Mantaro river basin*, Hydrology Days, 58-68.

Maeda, N. K. Shun'ichi,I. Kaoru IZUMI,K. Shigekazu and A.Michihiro (2001) *Prediction of Precipitation by A neural Network Method*, Journal of Natural Disaster Science, Volume 23, Number 1, pp23-33.

Plamen N. Penchev, George N. Andreev, Kurt Varmuza, 1999, *Automatic classification of infrared spectra using a set of improved expert-based features*, Anal. Chim. Acta, 388, 145–159.

Parker, D.B (1982) *Learning Logic: Stanford university*. Stanford, Claifornia, Offoce of Technology Licensing, Invention Report S81-64, File1, pp119.

Linker, R., I. Shmulevich, A. Kenny and A. Shaviv (2005) *Soil identification and chemometrics for direct determination of nitrate in soils using FTIR-ATR mid-infrared spectroscopy*. Chemosphere, 61, 5, 652–658.

Gosav, S., R. Dinica and M. Praisler (2008) *Choosing between GC-FTIR and GC-MS spectra for an efficient intelligent identification of illicit amphetamines*. J. Mol. Struct., 887, 1-3, 269–278 .

Hall, T., E.B. Harold and A.D Charles (1998) *Precipitation Forecasting Using a Neural Network*. Wea. Forecasting, 14, 338–345.

S. Vogt and D. Sacher (2001) *A neural network method for wind estimation using wind profiler data*. Meteorologische Zeitschrift, 10, 6, 479–487.

Solamani, K (2009) *Rainfall-runoff Prediction Based on Artificial Neural Network (A Case Study: Jarahi Watershed)*. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 5 (6): 856-865.

Werbos, P. (1974) *beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioural science*.PhD dissertation, Committee on Appl. Math., Harvard Univ., Cambridge, MA.

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E and Williams, R. J. (1986) **Learning internal representations by error propagation**. *Parallel Distributed Processing*, Vol. 1, 318-362.