

## مقدمه

یکی از نیازهای عملیات آبخیزداری اطلاع از میزان حداکثر رواناب در زیرحوضه‌های کوچک تا بزرگ است. از آنجا که داده‌های آب‌سنگی از پراکنده‌گی متناسب با این نیاز برخوردار نیست برآورد میزان رواناب در حوضه‌های آبخیز و زیرحوضه‌های کوچک تشکیل دهنده آنها با استفاده از مدل‌های بارش-رواناب نظری روش‌های استدلالی<sup>۰</sup> و سازمان حفاظت خاک (SCS) یا نرم‌افزارهای مبتنی بر این مدل‌ها صورت می‌گیرد. مهمترین مؤلفه‌این مدل‌ها میزان بارش با تداومی به طور ارجح معادل زمان تمرکز حوضه است. از سوی دیگر با توجه به در دسترس نبودن داده‌های شدت-مدت-فرآونی و قابلیت دسترسی بیشتر داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته، برآورد بارش‌های کوتاه مدت بر مبنای بارش ۲۴ ساعته اقدامی رایج در مطالعات و عملیات آبخیزداری است. نواقص آماری همیشه در امور پژوهشی و مطالعاتی مشکل‌ساز بوده‌اند. در مطالعات آب‌شناختی و هواشناسی در حوضه‌های آبخیز وجود اطلاعات بارش، زیرینی مطالعات را تشکیل می‌دهد. در اختیار داشتن اطلاعات و آمار صحیح و قابل قبول در بررسی‌های علمی و مطالعات مهندسی منابع آب، طرح‌های توسعه کشاورزی، آبخیزداری و نظایر آن ضروری می‌باشد. اما برخی از موقعیت اطلاعات ناقص می‌باشد و استفاده از آن مشکل بوده و باعث بروز خطأ در نتایج می‌گردد [۱۳]. برای کاربردهای منطقه‌ای آمار ضروری است که پس از انتخاب پایه‌زمانی مشترک بهینه، داده‌های مفقوده با یک روش صحیح بازسازی شده و یا در صورت نیاز توطیل گردند [۳]. حداکثر بارش ۲۴ ساعته یکی از عامل‌های هواشناسی با ماهیتی شبکه ANN در مقایسه با سایر داده‌های مرتبط با بارندگی از جمله بارش‌های ماهانه و سالانه است. با توجه به در دسترس نبودن داده‌های شدت-مدت-فرآونی (I-D-F) و قابلیت دسترسی بیشتر داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته، برآورد بارش‌های کوتاه مدت بر مبنای بارش ۲۴ ساعته اقدامی رایج در مطالعات و عملیات آبخیزداری است. برخی از مواقع این اطلاعات ناقص می‌باشد و استفاده از آن‌ها باعث بروز خطأ در نتایج می‌گردد. در این پژوهش کارآیی استفاده از روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN) در بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در استان چهارمحال و بختیاری، توسط نمایانه‌های آماری RMSE، P و R<sup>۲</sup> مورد ارزیابی قرار گرفت و با روش شبکه عصبی مصنوعی ساده (ANN) مقایسه شد. مقدار نمایانه RMSE حاصل از بهترین شبکه ANN در اقلیم سیار مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه خشک به ترتیب برابر با ۰/۳۸، ۰/۲۵، ۰/۱۱، ۰/۱۱ و ۰/۱۰ میلیمتر و در بهترین شبکه GA-ANN به ترتیب برابر با ۰/۱۹، ۰/۱۴، ۰/۱۶ و ۰/۰۷ میلیمتر می‌باشد. نتایج بازسازی در کلیه نواحی آب و هوایی حکم‌فرما در این استان نشان دهنده برتری معنی‌دار روش ANN نسبت به روش ANN می‌باشد.

تخمین و بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه با استفاده از مدل تلفیقی الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: استان چهارمحال و بختیاری)

محمد مهدی متین‌زاده<sup>۱</sup>، روح‌الله فتاحی<sup>۲</sup>، محمد شایان‌نژاد<sup>۳</sup> و خدایار عبدالله<sup>۴</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۱/۰۲

## چکیده

حداکثر بارش ۲۴ ساعته یکی از عامل‌های هواشناسی با ماهیتی سیار تصادفی در مقایسه با سایر داده‌های مرتبط با بارندگی از جمله بارش‌های ماهانه و سالانه است. با توجه به در دسترس نبودن داده‌های شدت-مدت-فرآونی (I-D-F) و قابلیت دسترسی بیشتر داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته، برآورد بارش‌های کوتاه مدت بر مبنای بارش ۲۴ ساعته اقدامی رایج در مطالعات و عملیات آبخیزداری است. برخی از مواقع این اطلاعات ناقص می‌باشد و استفاده از آن‌ها باعث بروز خطأ در نتایج می‌گردد. در این پژوهش کارآیی استفاده از روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN) در بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در استان چهارمحال و بختیاری، توسط نمایانه‌های آماری RMSE، P و R<sup>۲</sup> مورد ارزیابی قرار گرفت و با روش شبکه عصبی مصنوعی ساده (ANN) مقایسه شد. مقدار نمایانه RMSE حاصل از بهترین شبکه ANN در اقلیم سیار مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه خشک به ترتیب برابر با ۰/۳۸، ۰/۲۵، ۰/۱۱، ۰/۱۱ و ۰/۱۰ میلیمتر و در بهترین شبکه GA-ANN به ترتیب برابر با ۰/۱۹، ۰/۱۴، ۰/۱۶ و ۰/۰۷ میلیمتر می‌باشد. نتایج بازسازی در کلیه نواحی آب و هوایی حکم‌فرما در این استان نشان دهنده برتری معنی‌دار روش ANN نسبت به روش ANN می‌باشد.

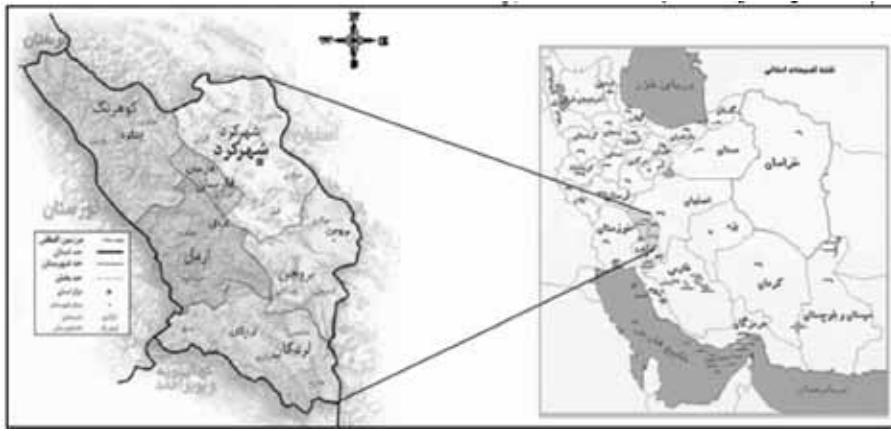
واژه‌های کلیدی: بازسازی، حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه، الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی، چهارمحال و بختیاری.

۱- نویسنده مسئول و دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهرکرد Mohammadmatinzadeh@yahoo.com

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴



شکل ۱- نقشه استان چهار محال و بختیاری

از پیش تعیین شده برای مدل نمودن پدیده پیچیده مورد بررسی را ندارند. ساختمان شبکه های عصبی مصنوعی تأثیر به سزایی بر روی بازده آن دارد. اگر تعداد عناصر پردازشی کم باشد، شبکه با توجه به متغیرهای ورودی و خروجی بطور کامل آموزش نمی بیند و اگر تعداد نرون ها زیاد باشد، ساختمان شبکه پیچیده و زمان آموزش آن بیشتر و در نتیجه کارآبی شبکه پایین می آید. این درست همان چیزی است که ایده تلفیق شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم ژنتیک جهت ایجاد ساختار بهینه شبکه عصبی و در نتیجه بهتر شدن جواب ها GA-ANN [۱۱] از روش [۴] برای پیش بینی بارندگی استفاده کردند. اب و همکاران [۴] برای بازسازی داده های مفقوده بارندگی روش منطق فازی را با شبکه های عصبی مصنوعی و نسبت نرمال در سه ایستگاه باران سنجی واقع در شمال ایتالیا مورد مقایسه قرار دادند نتایج نشان داد که منطق فازی نسبت به دو روش دیگر خطای کمتری ایجاد می کند. لوسيو [۹] بوسیله شبکه عصبی مصنوعی خلاه های آماری بارش ماهیانه را در طول سال های [۱۹۶۱-۲۰۰۵] در ریوگراندو بربزیل بازسازی کردند و نسبت به دیگر روش ها نتایج قابل قبولی را گرفتند. کولیبالی و همکاران [۶] با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی داده های مفقوده روزانه بارش و دما را بازسازی نمودند. کیم و همکاران [۷] با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و همبستگی درختی، داده های مفقوده روزانه بارش را بازسازی نمودند و روش تلفیقی شبکه عصبی به همراه همبستگی درختی را جهت بازسازی داده های مذکور پیشنهاد نمودند. بررسی منابع نشان می دهد علیرغم اهمیت حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته بویژه در زمینه هایی نظیر عملیات آبخیزداری در این مورد پژوهش های ویژه ای صورت نگرفته است. همچنین کاربرد روش GA-ANN در مهندسی آب پسیار اندک بوده است.

این پژوهش با هدف بررسی کارآبی روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN) در بازسازی آمار مفقوده حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه و مقایسه آن با روش شبکه عصبی مصنوعی ساده (ANN) و تعیین میزان دقت هر یک از این روش ها و انتخاب

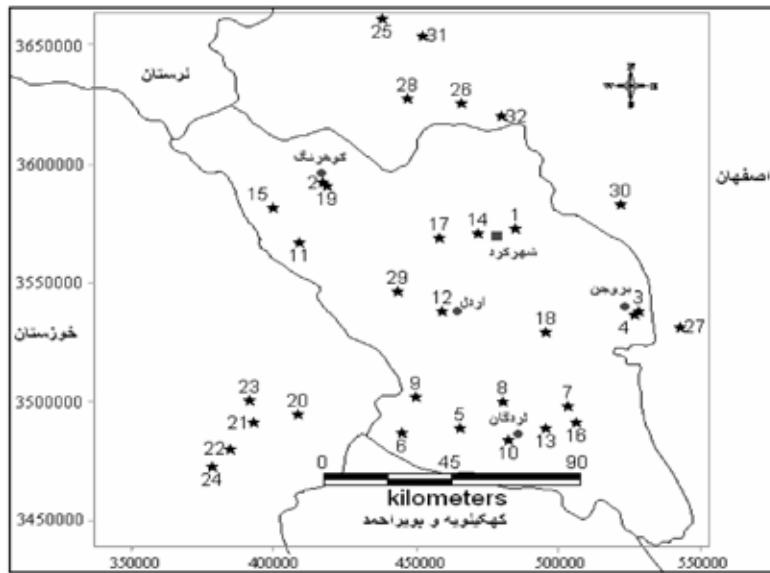
بارش ۲۴ ساعته برای برآورده زمان تمرکز با معادلاتی نظری، معادله اورتون - میدوز است. در این معادله  $P_e$  میانگین حداکثر بارش ۲۴ ساعته است [۱۱]. با توجه به فقدان داده های مربوط به بارش های کوتاه مدت در بسیاری از مناطق دنیا برآورده این قبیل اطلاعات بر اساس روش هایی مانند روش SCS انجام می شود که وابسته به بارندگی حداکثر بارش ۲۴ ساعته است [۱۴]. برای برآورده مقدار بارندگی  $R_t^T$  (میلیمتر) در تنابوب T (سال) و تداوم t (دقیقه)، از مدل هایی استفاده می شود که وابسته به حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال می باشد که از جمله کوتیاری و گارد [۸] در هندوستان رابطه (۱) را پیشنهاد نمودند همچنین قهرمان و آبخض [۲] برای برآورده باران ساعتی ۱۰ ساله ( $R_{60}^{10}$ ) برای کل ایستگاه های ایران رابطه (۲) را ارائه دادند:

$$R_t^T = c \frac{T^{0.2}}{t^{0.71}} \left( R_{1440}^2 \right)^{0.33} \left( \frac{60}{t} \right) \quad (1)$$

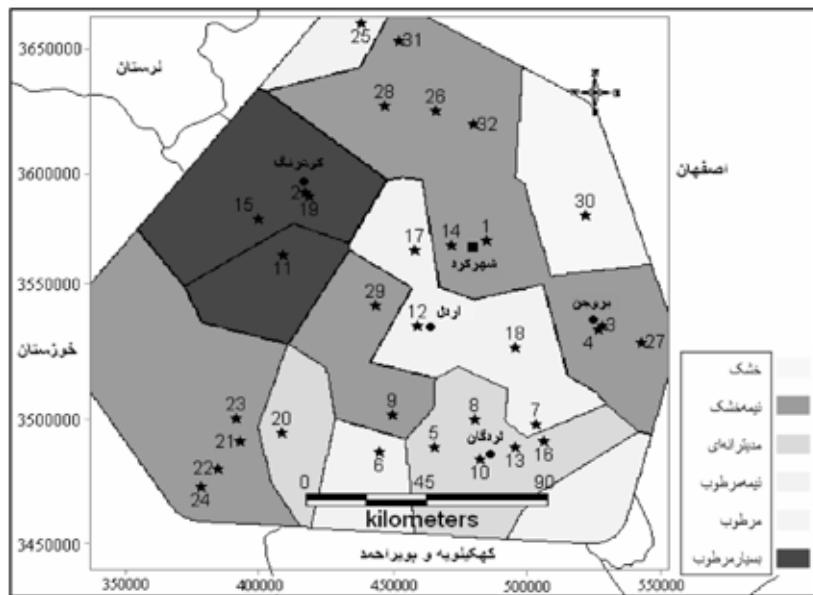
$$R_{60}^{10} = e^{0.291} \left( R_{1440}^2 \right)^{0.694} \quad (2)$$

که در آنها  $R_{1440}^2$  حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال می باشد. ( $R_{60}^{10}$ : باران ساعتی ۱۰ ساله).

ترکیب پیچیده و ناشناخته ای از عوامل اقلیمی مختلف در رخداد حداکثر بارش ۲۴ ساعته مؤثر می باشد (داده حدى). بنابراین تهیه یک مدل ریاضی برای برآورده و بازسازی آن با در نظر گرفتن تمام عوامل اقلیمی مؤثر در آن، کاری مشکل، دارای خطاهای قابل توجه و یا نیاز به اطلاعات زیادی دارد که اندازه گیری آنها مشکل و وقت گیر است. بنابراین با توجه به ماهیت حداکثر بارش ۲۴ ساعته، در بازسازی و تکمیل این قبیل داده ها، روش های رایج در برآورده و بازسازی سایر داده های آب اقلیم شناختی، کارآمد نیستند. استفاده از مدل های همبستگی هوشمند نظری شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) بدین منظور می تواند نتایج دقیق تری بهمراه داشته باشد. بطور کلی شبکه های عصبی مصنوعی، ابزار مؤثری برای مدل کردن سامانه های غیر خطی هستند. زیرا این شبکه ها نیاز به رابطه ریاضی



شکل ۲- نقشه پراکنش و موقعیت ۳۲ ایستگاه انتخابی



شکل ۳- پهنه‌بندی اقلیمی استان چهارمحال و بختیاری بر اساس ایستگاه‌های واقع در محدوده استان و مزهای مجاور آن

(۱۰٪ کشور) جایگاهی ممتاز و ویژه را در بین حوضه‌های آبخیز غرب کشور به خود اختصاص داده است. در این پژوهش ایستگاه‌های باران‌سنگی، کلیماتولوژی و سینوپتیک واقع در استان چهارمحال و بختیاری و برخی ایستگاه‌های اطراف مورد بررسی و شناسایی قرار گرفته و داده‌های حداقل بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های مذکور (بدون هیچ‌گونه بازسازی) از مراجع ذیصلاح جمع‌آوری گردید و سپس با بکار بردن فرمول ماکوس (رابطه ۳) تعداد ۳۲ ایستگاه با پایه مشترک آماری ۲۰ ساله (از سال آبی ۶۸-۷۰ تا ۱۳۶۷-۷۸) انتخاب گردیدند که در جدول (۱) نام و موقعیت و در شکل (۳) پراکنش این ایستگاه‌ها مشخص شده است. داده‌های حداقل بارش ۲۴ ساعته در دوره آماری مورد مطالعه

بهترین روش جهت بازسازی این داده‌ها در کاربردهای مربوط به عملیات آبخیزداری بصورت یک مطالعه موردي در اقلیم‌های واقع در استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفته است.

### مواد و روش‌ها

استان چهارمحال و بختیاری با دارا بودن مساحتی بالغ بر ۱۶۵۳۳ کیلومترمربع، که حدود ۱ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص می‌دهد در حد فاصل مختصات جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی، با میانگین بارش سالانه معادل ۷۰۷ میلی‌متر و حجم نزویلات جوی برابر با ۱۱/۵ میلیارد مترمکعب

## جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ۱۳۹۲ ایستگاه هواشناسی و بارانسنجی انتخابی

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	منطقه اقلیمی	طول دوره آماری (year)	نوع ایستگاه
۱	شهرکرد	۵۰°۰۰'۲۳"	۳۲°۱۷'۳۴"	۲۰۴۹	نیمه خشک	۲۸	سینوپتیک
۲	کوهرنگ	۵۰°۰۷'۳۱"	۳۲°۲۷'۲۵"	۲۲۸۵	بسیار مرطوب	۲۱	سینوپتیک
۳	بروجن	۵۱°۱۷'۵۷"	۳۱°۰۵'۴۴"	۲۱۹۷	نیمه خشک	۲۰	سینوپتیک
۴	بروجن	۵۱°۱۶'۰۹"	۳۱°۰۵'۰۸"	۲۲۴۵	نیمه خشک	۲۵	بارانسنجی وزارت نیرو
۵	منج	۵۰°۳۸'۰۱"	۳۱°۳۲'۰۴"	۱۴۱۶	مدیترانه‌ای	۳۷	بارانسنجی وزارت نیرو
۶	بارز	۵۰°۲۵'۰۰"	۳۱°۳۱'۰۰"	۹۷۰	نیمه مرطوب	۲۱	بارانسنجی وزارت نیرو
۷	سولگان	۵۱°۰۱'۵۴"	۳۱°۳۷'۰۲"	۲۱۰۹	نیمه مرطوب	۲۲	بارانسنجی وزارت نیرو
۸	ارمند	۵۰°۴۷'۳۵"	۳۱°۳۸'۱۱"	۱۲۹۵	مدیترانه‌ای	۲۶	بارانسنجی وزارت نیرو
۹	مرغک	۵۰°۲۷'۵۸"	۳۱°۳۸'۰۹"	۹۴۹	نیمه خشک	۲۷	بارانسنجی وزارت نیرو
۱۰	لرگان	۵۰°۴۸'۵۷"	۳۱°۲۹'۲۷"	۱۵۸۲	مدیترانه‌ای	۳۸	سینوپتیک
۱۱	دزک آباد	۵۰°۰۲'۰۱"	۳۲°۱۴'۰۳"	۲۲۶۱	بسیار مرطوب	۲۲	بارانسنجی وزارت نیرو
۱۲	بهشت آباد	۵۰°۳۳'۵۸"	۳۱°۰۵'۲۸"	۱۶۸۶	نیمه مرطوب	۲۳	بارانسنجی وزارت نیرو
۱۳	زرین درخت	۵۰°۵۷'۰۰"	۳۱°۳۲'۰۰"	۱۸۰۷	مدیترانه‌ای	۲۳	بارانسنجی وزارت نیرو
۱۴	شهرکرد	۵۰°۴۱'۵۱"	۳۲°۱۶'۲۷"	۲۰۵۸	نیمه خشک	۲۷	بارانسنجی وزارت نیرو
۱۵	آب ترکی	۴۹°۰۵'۵۹"	۳۲°۲۱'۰۸"	۱۷۱۲	بسیار مرطوب	۲۳	بارانسنجی وزارت نیرو
۱۶	آلونی	۵۱°۰۳'۴۷"	۳۱°۳۳'۲۶"	۱۸۸۶	مدیترانه‌ای	۲۱	بارانسنجی وزارت نیرو
۱۷	فارسان	۵۰°۳۳'۲۰"	۳۲°۱۵'۱۹"	۲۰۸۹	نیمه مرطوب	۲۰	بارانسنجی وزارت نیرو
۱۸	آورگان	۵۰°۵۶'۵۸"	۳۱°۰۵'۰۱"	۲۴۰۵	نیمه مرطوب	۲۰	بارانسنجی وزارت نیرو
۱۹	چلگرد	۵۰°۰۸'۱۰"	۳۲°۲۶'۰۵"	۲۳۷۲	بسیار مرطوب	۴۱	بارانسنجی وزارت نیرو
۲۰	مال آقا	۵۰°۰۲'۰۸"	۳۱°۳۴'۱۱"	۱۸۰	مدیترانه‌ای	۳۴	بارانسنجی وزارت نیرو
۲۱	باغ ملک	۴۹°۵۲'۰۱"	۳۱°۳۱'۵۸"	۶۷۵	نیمه خشک	۳۵	بارانسنجی وزارت نیرو
۲۲	گنداب	۴۹°۴۷'۰۲"	۳۱°۲۶'۵۶"	۷۴۰	نیمه خشک	۳۰	بارانسنجی وزارت نیرو
۲۳	قلعه تل	۴۹°۵۱'۱۲"	۳۱°۳۷'۰۷"	۹۰۰	نیمه خشک	۲۹	بارانسنجی وزارت نیرو
۲۴	ماشین	۴۹°۴۲'۵۷"	۳۱°۲۳'۰۵"	۳۸۰	نیمه خشک	۲۹	بارانسنجی وزارت نیرو
۲۵	بادیجان	۵۰°۲۰'۰۹"	۳۳°۰۰'۴۵'۵۵"	۲۳۰۰	نیمه مرطوب	۲۵	کلیماتولوژی
۲۶	چادگان	۵۰°۳۸'۲۱"	۳۲°۴۶'۰۶"	۲۱۰۰	نیمه خشک	۲۴	کلیماتولوژی
۲۷	همگین	۵۱°۲۵'۵۸"	۳۱°۰۵'۰۳"	۲۱۵۰	نیمه خشک	۴۰	کلیماتولوژی
۲۸	سینگرد	۵۰°۲۶'۱۳"	۳۲°۴۵'۵۲"	۲۱۰۰	نیمه خشک	۳۵	کلیماتولوژی
۲۹	پل زمانخان	۵۰°۲۳'۴۸"	۳۲°۰۲'۱۶"	۱۸۸۰	نیمه خشک	۴۱	بارانسنجی وزارت نیرو
۳۰	پل کله	۵۱°۱۳'۳۵"	۳۲°۲۳'۲۸"	۱۷۶۰	خشک	۳۰	بارانسنجی وزارت نیرو
۳۱	سد زاینده رود	۵۰°۲۹'۱۹"	۳۳°۰۰'۱۶'	۲۳۰۰	نیمه خشک	۳۵	کلیماتولوژی
۳۲		۵۰°۴۶'۴۷"	۳۲°۴۳'۱۴"	۱۹۹۰	نیمه خشک	۳۵	بارانسنجی وزارت نیرو

جدول ۲- عامل‌های بهترین مدل GA-ANN در بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته

عامل	کمیت	عامل	کمیت
تعداد کروموزوم	۰/۰۰۵	درصد احتمال جهش	۵۰ نمونه
تعداد نسل	۰/۹	درصد احتمال ترکیب	۱۰۰ نمونه
نوع ترکیب	۰/۹	درصد احتمال انتخاب	یکنواخت

جدول ۳- ارزیابی روش‌های مختلف بازسازی حداکثر بارش ۲۴ ساعته در هر اقلیم

اقلیم	روش بازسازی	آماره	RMSE (mm)	P %	R%
بسیار مرطوب	همبستگی چند متغیره	۴۹/۲	۳۵/۹	۰/۳۰	۳۵/۹
	محورهای مختصات (عکس فاصله)	۵۳/۷	۴۴/۳	۰/۲۷	۴۴/۳
	شبکه عصبی مصنوعی	۳۸/۰	۲۹/۱	۰/۳۴	۲۹/۱
	الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی	۱۹/۲	۱۷/۳	۰/۸۷	۱۷/۳
نیمه مرطوب	همبستگی چند متغیره	۳۵/۱	۳۲/۵	۰/۴۴	۳۲/۵
	محورهای مختصات (عکس فاصله)	۴۲/۴	۳۸/۸	۰/۳۸	۳۸/۸
	شبکه عصبی مصنوعی	۲۵/۹	۲۸/۴	۰/۴۹	۲۸/۴
	الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی	۱۴/۳	۱۶/۵	۰/۹۲	۱۶/۵
مدیترانه‌ای	همبستگی چند متغیره	۲۹/۷	۲۸/۶	۰/۴۹	۲۸/۶
	محورهای مختصات (عکس فاصله)	۳۵/۶	۳۰/۷	۰/۴۱	۳۰/۷
	شبکه عصبی مصنوعی	۱۱/۸	۲۲/۴	۰/۷۲	۲۲/۴
	الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی	۱۰/۸	۱۴/۳	۰/۹۴	۱۴/۳
نیمه خشک	همبستگی چند متغیره	۲۵/۱	۲۲/۸	۰/۵۱	۲۲/۸
	محورهای مختصات (عکس فاصله)	۳۰/۰	۲۷/۴	۰/۴۴	۲۷/۴
	شبکه عصبی مصنوعی	۱۱/۴	۱۷/۹	۰/۸۳	۱۷/۹
	الگوریتم ژنتیک - شبکه عصبی	۷/۴	۱۰/۱	۰/۹۸	۱۰/۱

از آنجا که بارش، یک پدیده آب‌شناختی و عاملی اقلیمی است که تابع فشار، رطوبت، دما، پستی و بلندی و...، بنابراین می‌توان گروه‌بندی ایستگاه‌های مورد نیاز جهت بازسازی حداکثر بارش ۲۴ ساعته بر مبنای اقلیم را تعیین کرد که گزینه مناسب مدنظر قرار داد. بدین منظور پهنه‌بندی اقلیمی منطقه موردمطالعه توسط طبقه‌بندی دو مارتین انجام گردید و براساس آن چهار اقلیم بسیار مرطوب، نیمه‌مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه‌خشک در این استان تشخیص داده شد که در شکل (۳) ارایه شده است.

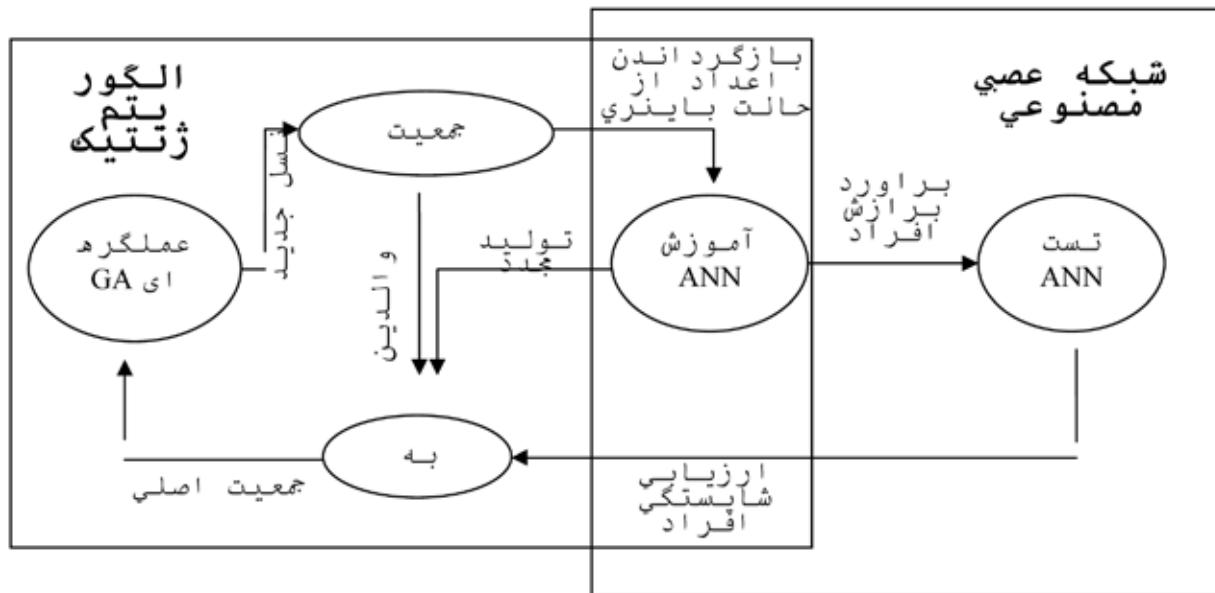
### مدل تلفیقی الگوریتم ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی

امروزه علیرغم دامنه وسیعی از کاربردها و انعطاف پذیری شبکه‌های عصبی مصنوعی، طراحی ساختار شبکه عصبی مصنوعی به شدت

با استفاده از آزمون توالی<sup>۱</sup> بررسی گردید و تمامی این داده‌ها همگن بودند همچنین آزمون کنترل داده‌های پرت به روش Grubbs-Beck در سطح ۱ درصد انجام شد. از آنجا که مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته از جمله داده‌های مزین بشمار می‌روند، همانگونه که انتظار می‌رفت بررسی‌های آماری نشان داد که، تمامی داده‌های ایستگاه‌ها از توزیع گامبل پیروی می‌کنند.

رابطه (۳)  $y = [(4.3t) \text{ Log } R]^2 +$  که در آن  $y$  حداقل قابل قبول تعداد داده‌ها برای تجزیه و تحلیل،  $t$  مقدار استیوونت در سطح اعتماد ۹۰ درصد به ازای درجه آزادی  $(-4y)$ ، و  $R$  نسبت مقدار متغیر در دوره بازگشت ۱۰۰ سال به مقدار آن در دوره بازگشت ۲ سال براساس داده‌های موجود می‌باشد.

1- Run Test



شکل ۴- آموزش شبکه عصبی مصنوعی توسط الگوریتم ژنتیک

پردازشی<sup>۱</sup> در لایه میانی<sup>۲</sup> را دارا می‌باشد. همچنین نرخ یادگیری و ضریب ممتومن بطور خودکار با هر کروموزوم واقع در جمعیت تولید شده، تنظیم می‌شود در ضمن مقادیر اولیه این پارامترها بطور خودکار با توجه به جمعیت کروموزوم‌ها و داده‌ها تنظیم می‌شود.

در این پژوهش شبکه‌ها از نوع چند لایه‌ای پرسپترون<sup>۳</sup> و شبکه با پایه شعاعی<sup>۴</sup> می‌باشند. ۶۰ درصد از داده‌های ورودی جهت آموزش شبکه، ۲۰ درصد از داده‌ها جهت تست شبکه و ۲۰ درصد از داده‌ها جهت اعتبار سنجی شبکه در نظر گرفته شد.

آمار ۲۰ ساله هرایستگاه که قرار است داده‌هایش بازسازی گردد به عنوان لایه خروجی شبکه عصبی، و آمارایستگاه‌های دیگر واقع در آن اقلیم به عنوان لایه ورودی شبکه عصبی در نظر گرفته شده است. به دلیل آنکه طول دوره آماری ۲۰ سال است، در نتیجه ۲۰ ردیف داده‌ی حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه در هر گروه بازسازی (اقليم) وجود دارد، اما این تعداد ردیف داده برای شبکه عصبی کم است در نتیجه برای افزایش تعداد این ردیف‌ها، داده‌های تمام‌ایستگاه‌های موجود در یک گروه (ایستگاه‌های موجود در هر اقلیم) را زیر هم قرار داده تا بتوان از روش شبکه عصبی استفاده کرد و در نتیجه خروجی آن مربوط به همان اقلیم است نه تک تک ایستگاه‌های موجود در آن اقلیم. (در فرآیند بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه کشف رابطه‌ای که میان داده‌های هرایستگاه با ایستگاه‌های مجاورش که در آن اقلیم واقع شده مهم است که می‌بایست این رابطه توسط شبکه عصبی شناسایی شود).

در حالت کلی نمی‌توان در مورد تعداد مناسب نرون‌های لایه

وابسته به تجربه طراح می‌باشد که در واقع بزرگترین عیوب شبکه عصبی مصنوعی است. برای تغییر این مشکل، یک روش طراحی خودکار شبکه عصبی مصنوعی استفاده از الگوریتم ژنتیک<sup>۵</sup> می‌باشد [۱۵]. توپولوژی و ساختمان شبکه عصبی مصنوعی تأثیر بسزایی بر روی بازده و کارایی اش دارد [۱]. اگر شبکه عصبی مصنوعی توسط GA، با تولید نسل‌های شایسته خوب آموزش بینند، نتایج بسیار قابل قبولی ارایه خواهد داد [۵]. الگوریتم ژنتیک به همراه شبکه عصبی (GA-ANN) روشی است که از GA برای تکامل جنبه‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی از جمله: وزن‌ها، تعداد نرون‌ها در لایه مخفی، نرخ یادگیری<sup>۶</sup>، ضریب ممتومن<sup>۷</sup>، ساختار، توابع یادگیری و بطور کلی آموزش شبکه استفاده می‌شود [۱۲]. در شکل (۴) روند نمایمای آموزش شبکه عصبی مصنوعی توسط GA نشان داده شده است. باید توجه داشت که استفاده از GA برای یادگیری وزن‌های یک شبکه عصبی می‌تواند بسیار سریعتر از روش استاندارد Back Propagation عمل نماید اما در عوض استفاده از GA برای یادگیری ساختار شبکه عصبی مشکل تر و زمان‌بر می‌باشد.

در این پژوهش، به منظور اهمیت مدل‌های هوشمند نظری روش‌های ANN و GA-ANN در بازسازی داده‌های حدی مانند حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه، از روش‌های سنتی و رایج بازسازی داده‌ها، ۲ روش همبستگی چند متغیره و محورهای مختصات (عکس فاصله) به کار برده شد. جهت استفاده از روش GA-ANN، از نسخه ۶ نرم‌افزار NeuroSolutions استفاده شده است. این نرم‌افزار قابلیت تعیین خودکار طول بینه کروموزوم‌ها، تعیین خودکار تعداد عناصر

1- Processing Elements

2- Middle Layer

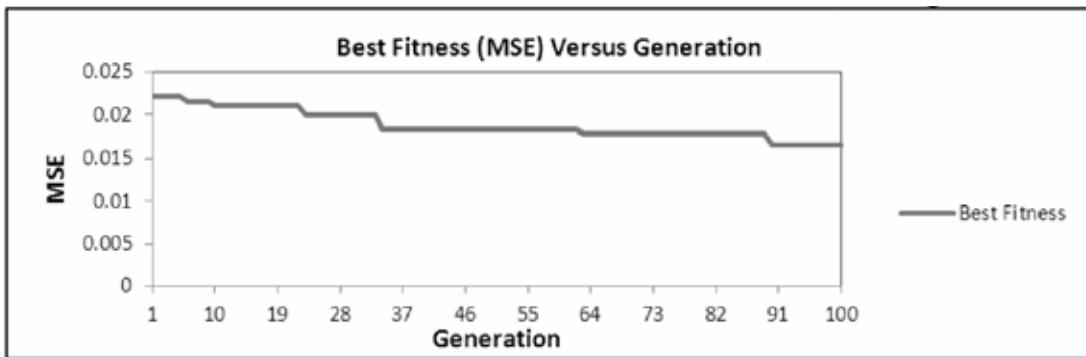
3- Multilayer Perceptrons- MLP

4- Radial Basis Function- RBF

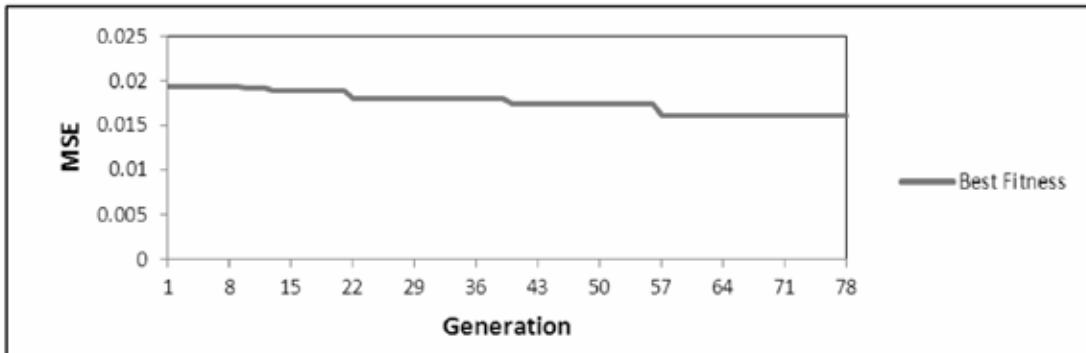
1- Genetic Algorithm

2- Learning Rate

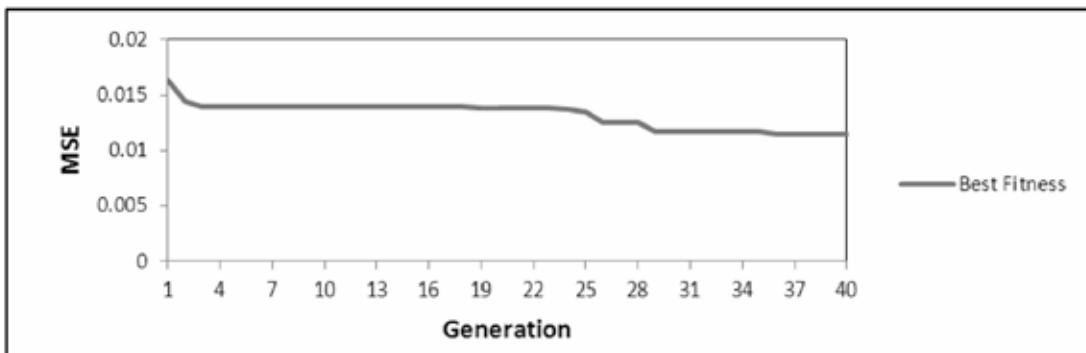
3- Momentum Coefficient



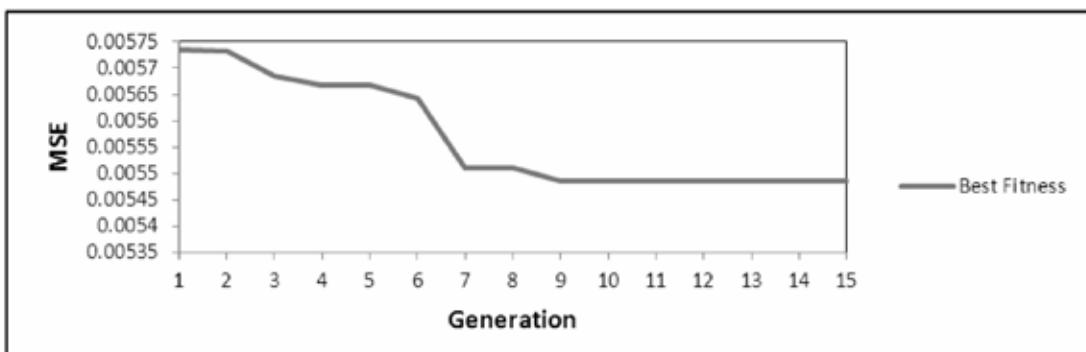
۵- الف- اقلیم بسیار مرطوب



۵- ب- اقلیم نیمه مرطوب

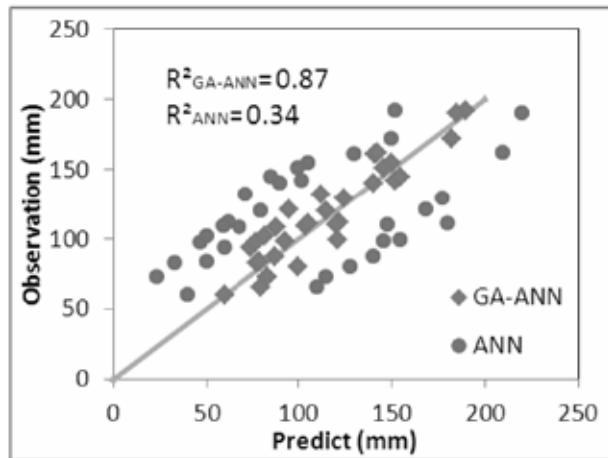


۵- ج- اقلیم مدیترانه‌ای

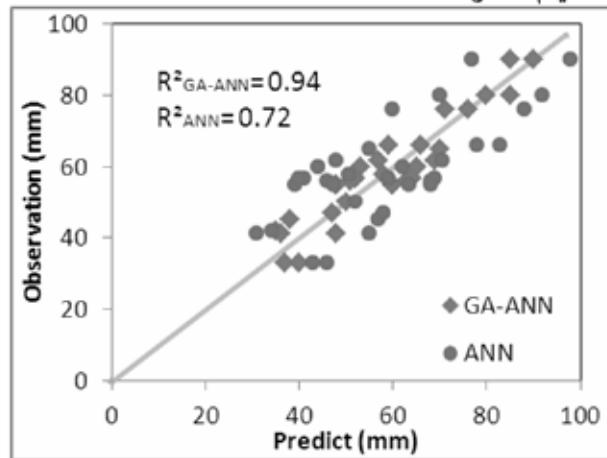


۵- د- اقلیم نیمه خشک

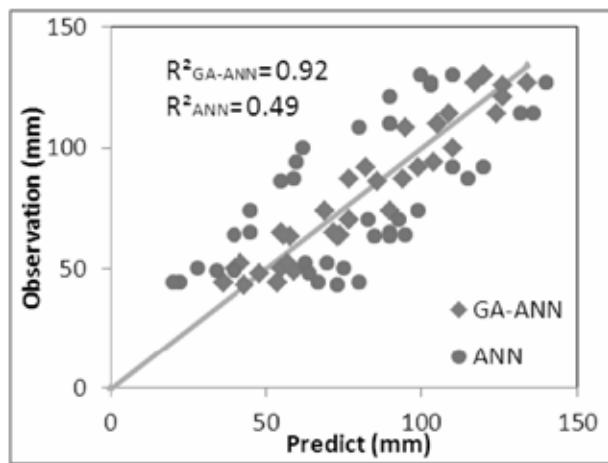
شکل ۵ (الف الی د)- تغییرات MSE در مقابل تولید نسل‌های جدید، در مورد بهترین شبکه GA-ANN در هر اقلیم



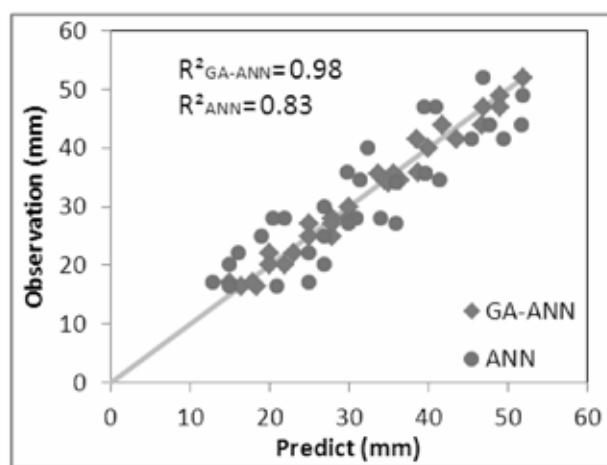
۶- الف- اقلیم بسیار مرطوب



۶- ج- اقلیم مدیترانه‌ای



۶- ب- اقلیم نیمه مرطوب



۶- د- اقلیم نیمه خشک

شکل ۶ (الف الی د)- مقایسه مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه برآورد شده توسط بهترین شبکه ANN و GA-ANN با اندازگیری شده

توسط مدل با  $M_{Pre}$  نشان داده شود،تابع خطرا می‌توان بصورت زیر نشان داد:

$$E = M_0 - M_{Pre} \quad (4)$$

حال برای مقادیر مختلف حداکثر بارش ۲۴ ساعته در دوره آماری می‌توان مجموع خطای مربعات<sup>۱</sup> SSE را محاسبه کرد:

$$SSE = \sum_{i=1}^N (M_{oi} - M_{Prei})^2 \quad (5)$$

$$F(x) = SSE \quad (6)$$

که N تعداد داده‌های مشاهده‌ای حداکثر بارش ۲۴ ساعته و  $f(x)$  تابع هدف می‌باشد.

1- Sum of Square Errors- SSE

پنهان اظهار نظر قطعی کرد و انتخاب تعداد نرون‌های لایه پنهان به صورت سعی و خطأ انجام می‌گیرد. در این پژوهش تعداد لایه‌های پنهان و نرون‌های حاصل از بهترین شبکه GA-ANN در اقلیم بسیار مرطوب به ترتیب برابر ۲ لایه پنهان که در لایه اول ۴ نرون و در لایه دوم ۲ نرون، در اقلیم نیمه مرطوب ۲ لایه پنهان که در لایه اول ۳ نرون و در لایه دوم ۱ نرون، در اقلیم مدیترانه‌ای ۲ لایه پنهان که در لایه اول ۲ نرون و در لایه دوم ۲ نرون، در اقلیم نیمه خشک ۱ لایه پنهان با ۳ نرون بدست آمد.

### فرمول‌بندی تابع هدف

تابع هدف، تابعی است که قصد کمینه کردن آن می‌باشد. اگر مقادیر مشاهده‌ای حداکثر بارش ۲۴ ساعته را با  $M_0$  و مقادیر پیش‌بینی شده

بهترین نسل جهت بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته، از اقلیم بسیار مرتبط تا اقلیم نیمه خشک کاهش می‌یابد (شکل ۵ الف الى د). علت زیاد بودن تعداد نسل‌های تولیدی در اقلیم بسیار مرتبط، قرار گرفتن این اقلیم در مناطق کوهستانی استان چهارمحال و بختیاری و در نتیجه شرایط خاص مناطق کوهستانی از قبیل پستی و بلندی و تغییرات دمایی، فشار و رطوبتی شدید آن است که باعث پیچیده شدن فرآیند وقوع بارش و مشکل‌تر شدن عمل بازسازی و در نهایت باعث تولید نسل‌های بیشتر تا رسیدن به بهترین نسل خواهد شد.

در شکل ۶ (الف الى د) مقایسه نتایج پیش‌بینی شده توسط بهترین شبکه GA-ANN در مقابل داده‌های مشاهده‌ای حداکثر بارش ۲۴ ساعته در هر اقلیم ارائه شده است.

## نتیجه گیری

حداکثر بارش ۲۴ ساعته از جمله داده‌های با اهمیت هواشناسی در مطالعات و تصمیم گیری‌های آب‌شناختی در مدیریت حوضه‌های آبخیز و بیوژه طراحی سازه‌های کنترل مکانیکی فرسایش و رسوب در عملیات آبخیزداری بشمار می‌رود. به علت حدی بودن داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه واینکه برخلاف داده‌های بارش سالانه و ماهانه، دارای تغییرات بسیار شدید مکانی و زمانی هستند، بازسازی آنها با استفاده از روش‌های رایج بازسازی نظری همبستگی چند متغیره و محورهای مختلف نتایج مناسبی بهمراه نداشت. در این پژوهش استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی بدون حضور الگوریتم ژنتیک، نتایج قابل قبولی را در بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته ارایه نداد بطوریکه مقدار شاخص‌های آماری RMSE بر حسب میلیمتر و  $R^*$  حاصل از بهترین شبکه ANN در اقلیم بسیار مرتبط، نیمه مرتبط، مدیرانه‌ای و نیمه خشک به ترتیب برابر با ۰/۳۸ و ۰/۳۴، ۰/۴۹ و ۰/۷۲ و ۱۱/۸ و ۰/۸۳ و ۱۱/۴ و ۰/۸۷ و ۰/۹۲ و ۰/۹۴ و ۰/۶۴ و ۰/۹۸ حاصل گردید و بیانگر آن است که در بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه در کلیه اقلیم‌های موجود در این استان اعم از اقلیم بسیار مرتبط، نیمه مرتبط، مدیرانه‌ای و نیمه خشک روش GA-ANN برتری معنی‌داری نسبت به روش ANN دارد و دقت‌این روش از اقلیم بسیار مرتبط تا اقلیم نیمه خشک افزایش می‌یابد بطوریکه در اقلیم نیمه خشک این روش بیشترین دقت و در اقلیم بسیار مرتبط کمترین دقت را دارد می‌باشد. در واقع‌این الگوریتم ژنتیک است که می‌تواند با تولید نسل‌های شایسته، شبکه عصبی را با تپیلوژی و ساختار بهینه آموزش داده و در نتیجه نتایج قابل قبولی ارائه دهد در صورتیکه شبکه عصبی مصنوعی ساده، قادر به انجام‌این کار نمی‌باشد. در واقع الگوریتم ژنتیک با توجه به مهمترین قابلیت‌های خود از جمله: جستجوی تصادفی در مجموعه جواب‌ها از چندین نقطه بطور همزمان و در نتیجه ممانعت از افتادن الگوریتم در مینیمم‌های محلی، بصورت

## ارزیابی مدل

ارزیابی مدل‌های بازسازی توسط سه آماره ریشه میانگین مربعات خطأ (RMSE)، درصد مدول میانگین انحراف نسبی (P%) و ضریب تعیین ( $R^*$ ) صورت گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{O_i} - M_{Pre_i})^2}{N}} \quad (7)$$

$$P\% = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|M_{O_i} - M_{Pre_i}|}{M_{O_i}} \quad (8)$$

$$R^2 = \frac{\left( \sum_{i=1}^N (M_{O_i} - \bar{M}_o)(M_{Pre_i} - \bar{M}_{Pre}) \right)^2}{\sum_{i=1}^N (M_{O_i} - \bar{M}_o)^2 (M_{Pre_i} - \bar{M}_{Pre})^2} \quad (9)$$

## نتایج و بحث

در جدول (۲) عامل‌های مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک آورده شده است. در شکل ۵ (الف الى د) تغییرات MSE مرحله آموزش شبکه عصبی مصنوعی توسط GA در مقابل تولید نسل‌های جدید، در مورد بهترین شبکه GA-ANN که در اولویت اول بازسازی داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در هر یک از اقلیم‌ها قرار دارد را نشان می‌دهد. هنگامی که نمودار به حالت خط افقی ثابت درآید، بهترین نسل ممکن ایجاد شده و با ایجاد نسل‌های جدید بعد از آن نسل، تغییری در نمایانه MSE ایجاد نخواهد شد و سپس تولید نسل جدید متوقف خواهد شد. در اقلیم‌های بسیار مرتبط، نیمه مرتبط، مدیرانه‌ای و نیمه خشک به ترتیب به طور تقریب ایجاد ۹۰، ۶۴، ۳۵ و ۹ نسل، بهترین نسل و در نتیجه بهترین بازسازی داده‌های حداکثر ۲۴ ساعته تولید شده است. نتایج حاصل از روش‌های مختلف بازسازی اعمال شده در هریک از اقلیم‌های موجود در استان چهارمحال و بختیاری در جدول (۳) ارائه شده است.

همچنین مقایسه داده‌های بازسازی شده توسط روش‌های GA-ANN و ANN در هر اقلیم با استفاده از آزمون  $t$  انجام شد بهاین صورت که مقادیر  $t$  محاسبه شده در اقلیم بسیار مرتبط، نیمه مرتبط، مدیرانه‌ای و نیمه خشک به ترتیب برابر با ۱۱/۸، ۹/۸۲، ۶/۷۷ و ۵/۴۸ می‌باشد که همگی حاکی از معنی‌دار بودن (در سطح ۱ درصد) تفاوت دو روش مورد مقایسه می‌باشند.

جدول فوق بیانگر آن است که دقت کلیه روش‌های بازسازی GA-ANN از همبستگی چند متغیره، محورهای مختلف، ANN و GA-ANN از اقلیم بسیار مرتبط تا اقلیم نیمه خشک افزایش می‌یابد بطوریکه در هر روش بازسازی، بیشترین دقت مربوط به اقلیم نیمه خشک و کمترین دقت مربوط به اقلیم بسیار مرتبط می‌باشد و از بین روش‌های فوق، روش GA-ANN در کلیه اقلیم‌ها بهترین روش بازسازی محسوب می‌شود. نتایج این پژوهش نشان در روش GA-ANN تعداد نسل‌های جدید تولید شده و در نتیجه تشکیل

- 8- Lucio, C. 2007. Spatiotemporal monthly rainfall reconstruction via artificial neural network case study: south of Brazil. *Advances in Geosciences*. 10:67-76.
- 9- Mahdavi, M. 2002. *Applied Hydrology*. Tehran University Press. First edition. 364 p. (In persian).
- 10- Marshall, S.J. and Harrison, R.F. 1991. Optimization and Training of FeedForward Neural Networks by GAs. Proceeding of IEE Second International Conference on Artificial Neural Networks. 39-43.
- 11- Nasseri, M., Asghari, K. and Abedini, M.J. 2008. Optimized Scenario for Rainfall Forecasting Using Genetic Algorithm Coupled with Artificial Neural Network. *Expert Systems with Applications*. 35:1415-1421.
- 12- Niculescu, S.P. 2003. Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms in QSAR. *Journal Model Structure*. 622:71-83.
- 13- Saraless, N. and Dongseok, C. 2007. Maximum Daily Rainfall in South Korea. *Journal. Earth System Science*. 116:311-321.
- 14- Unkasievic, M. and Radinovic, D. 2000. Statistical Analysis of Daily Maximum and Monthly Precipitation at Belgrade. *Theoretical and Applied Climatology*. 66:241-250.
- 15- Van Rooij, A.J.F., Jain, L.C. and Johnson, R.P. 1996. *Neural Network Training Using Genetic Algorithms*. World Scientific Publishing Co. Pvt. Ltd, Singapore.
- 16- Wallis, J.R., Schaefer, M.G., Barker, B.L. and Taylor, G.H. 2007. Regional Precipitation Frequency Analysis and Spatial Mapping of Precipitation for 24-Hour and 2-Hour duration in Washington. *Journal of Hydrology and Earth system Science*. 11:415-442.
- 17- Yuste, L.d. 2006. Maximum Rainfall Intensity Analysis Using L-Moments in Spain. The 7 th International Conference on Hydroscience and Engineering. Philadelphia, Drexel University. 341-352.

کامل‌تر و بهینه‌تر نسبت به سایر روش‌های استاندارد آموزش شبکه عصبی مصنوعی، مانند الگوریتم Back Propagation قادر به آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی است. با توجه به کارایی روش GA-ANN که روش‌های سنتی قادر آنها می‌باشند، برای برآورد و بازسازی داده‌های حدی با ماهیت پیچیده، نظری مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالانه که روش‌های سنتی بازسازی نمی‌توانند برآورد قابل قبولی ارایه دهنده ازین تکنیک استفاده کرد. براین اساس می‌توان انتظار داشت که روش GA-ANN در مورد سایر داده‌های حدی آب‌شناختی نظری حداکثر سیلاب سالانه که ضریب تغییرات آن کمتر از داده‌های مورد استفاده در این پژوهش است کاربرد کارآمدتری از روش‌های موجود بازسازی داشته باشد. بدیهی است تأیید این نکته نیاز به پژوهش دارد.

## منابع

- 1- Abebe, A.J., Solomatine, D.P. and Venneker, R.G.W. 2000. Application of adaptive fuzzy rule-based models for reconstruction of missing precipitation events. *Hydrological Sciences Journal* 45 (3):425–436.
- 2- Alizadeh, A. 2005. *Principles of applied hydrology*. Astan Quds Razavi Press. First edition. 815 p. (In persian).
- 3- Bean, M. and Jutten, C. 2000. Neural Networks in Geophysical Applications. *Geophysics*. 65:1032-1047.
- 4- Coulibaly, P., Evora, N.D. 2007. Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records. *Journal of Hydrology* 341 (2):27–41.
- 5- Ghahreman, B. and Abkhazar. H. 2004. Modified relations intensity - duration - frequency of precipitation. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources Journal*, 8 (2):232–238. (In persian).
- 6- Kim, J.W. and Pachepsky, Y.A. 2010. Reconstructing missing daily precipitation data using regression trees and artificial neural networks for SWAT streamflow simulation. *Journal of Hydrology* 394 (2010) 305–314.
- 7- Kothyari, U.C. and Garde, R.J. 1992. Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formula for India. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 118:323-326.