

مقایسه مدل‌های سری زمانی و شبکه عصبی با نتایج سناریوهای انتشار در پیش‌بینی بارندگی

سحر بابایی حصار^{1*} - رضا قضاوی²

تاریخ دریافت: 1392/11/21

تاریخ پذیرش: 1394/01/30

چکیده

بارش از مهمترین پارامترهای اقلیمی اثرگذار بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز است. روش‌های مختلفی جهت پیش‌بینی میزان بارش ارائه شده است که از جمله آنها می‌توان به مدل‌های سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی اشاره نمود. این مدل‌ها بدون در نظر داشتن مسئله گرمایش جهانی و تغییر اقلیم پارامترهای اقلیمی را پیش‌بینی می‌کنند. هدف از انجام این مطالعه بررسی انطباق نتایج مدل‌های سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی با سناریوهای اقلیمی است. جهت انجام این مطالعه، ابتدا از میان مدل‌های مختلف سری زمانی بهترین مدل در برآورد متغیر بارندگی انتخاب گردید و با استفاده از 50 سال (1961 تا 2010) آمار بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه تبریز و خوی، مقدار متغیر مذکور برای 18 سال آینده (2011 تا 2029) تولید شد. در گام بعد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نیز مقدار بارندگی برای همان سال‌ها پیش‌بینی گردید. در نهایت نتایج این مدل‌ها، با داده‌های تولید شده تحت دو سناریوی B1 و A2 در مدل LARS-WG مقایسه شد. طبق نتایج بدست آمده معلوم شد شبکه عصبی مصنوعی تطابق بیشتری با مدل‌های جهانی اقلیم (GCM) دارد. مدل TS برخلاف سایر مدل‌های مورد استفاده یک روند نزولی برای بارندگی پیش‌بینی کرده است.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه سینوپتیک، بارندگی، تغییر اقلیم، مدل‌های اقلیمی، LARS-WG

مقدمه 2

بارندگی و دمای کره زمین دارد می‌تواند اثر منفی بر منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد داشته باشد (2). اهمیت و خطرات ناشی از تغییر اقلیم توسط سران گروه G8 در سال 2007 بررسی شد و راهکارهای مقابله با آن در حفاظت از منابع آب مد نظر قرار گرفت (10). کوپان و همکاران (16) مدل LARS-WG و AAFC-WG⁵ را در کانادا با استفاده از داده‌های بارندگی، دمای حداقل و حداکثر سه ایستگاه سینوپتیک مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه سال‌های 1911-1940 به عنوان دوره واسنجی و سال‌های 1971-2000 به عنوان دوره اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. بررسی‌ها نشان از قابل اعتماد بودن نتایج دو تولیدگر داده آماری در مطالعات کشاورزی دارد. ایشان ریزمقیاس‌گردانی را برای دستیابی به نتایج معتبر آماری لازم دانسته‌اند. سمنو و استراتونوویچ (22) چند گروه از مدل‌های جهانی آب و هوا را برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در مقیاس محلی مورد استفاده قرار دادند. این تحقیق بر اساس بکارگیری توانایی‌های تولیدگر داده آماری (LARS-WG) در مقیاس روزانه تحت سناریوهای اقلیمی انجام شد. مدل‌های مورد

با توجه به این‌که بارندگی از مهم‌ترین پارامترهای کنترل‌کننده کمیت و کیفیت منابع آب است، برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب، نیازمند آگاهی از نحوه تغییرات این پارامتر در دوره‌های آتی است. دانشمندان برای پیش‌بینی پارامتر بارندگی روش‌های مختلفی را بکار برده‌اند که مدل‌های سری زمانی³ (TS) و شبکه عصبی مصنوعی⁴ (ANN) از جمله این روش‌ها هستند. اما سوالی که مطرح می‌شود اینست که با توجه به پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، آیا استفاده از این مدل‌ها بدون در نظر گرفتن تأثیرات تغییر اقلیم می‌تواند از اعتبار کافی برخوردار باشد؟ کدامیک از این دو مدل در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی مطابقت بیشتری با سناریوهای انتشار دارد؟ بررسی‌ها نشان داده است که پدیده تغییر اقلیم با تأثیری که بر

1 و 2- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه مهندسی مدیریت آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کاشان
* - نویسنده مسئول:
(Email: babaei.sah@gmail.com)

3- Time Seri
4- Artificial Neural Network

SARIMA و پارامترهای مربوط الگوی نهایی بارش ایستگاه‌های ارومیه و تبریز تعیین و در نهایت مقادیر سال‌های آتی پیش‌بینی شد. ضریب همبستگی بالای بارش پیش‌بینی شده و مشاهده شده برای سال‌های 2001 و 2002، حاکی از توانایی الگوی انتخابی در برآورد بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه است. سلطانی و همکاران (23) از مدل‌های سری زمانی بارندگی استفاده کردند و با استفاده از این تکنیک، اقلیم ایران را به سه گروه تقسیم کردند که عبارتند از مناطق با بارش‌های متاثر از ارتفاع، نزدیکی به دریا و جریانات فصلی و غیرفصلی اتمسفر. محققانی همچون ساپلیوگلو و همکاران (18)، کارآموز و همکاران (6)، کی‌کیم و همکاران (9) و احمدی (1) در پیش‌بینی بارندگی و شناسایی الگوی زمانی آن از تکنیک سری‌های زمانی اتو رگرسیو و میانگین متحرک و متدهای ترکیبی، استفاده کردند. ونگ و همکاران (25) از سری زمانی (ARMA) و چندین روش هوش مصنوعی در پیش‌بینی پارامترهای هیدرولوژیکی استفاده کردند. بر اساس آماره‌های خطا روش‌های هوش مصنوعی عملکرد بهتری در پیش‌بینی داشته‌اند. در سال 2009 روش ترکیبی هوش مصنوعی و تئوری موجک در پیش‌بینی بارندگی حوضه لیگوانچای تبریز توسط نواری و همکاران مورد ارزیابی قرار گرفت و معلوم شد روش پیشنهادی قادر است وقایع کوتاه مدت و بلند مدت بارندگی را پیش‌بینی نماید (15).

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مدل‌های سری‌زمانی و شبکه عصبی مصنوعی از جمله پرکاربردترین مدل‌ها در پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بوده و به طور گسترده مورد استفاده محققین قرار می‌گیرند. مطالعات انجام شده گویای اهمیت تاثیر تغییر اقلیم بر پارامترهای بارش و دما است که می‌تواند بر دیگر متغیرهای هیدرولوژیکی سیستم‌های آبی اثرگذار باشد و نباید اثرات ناشی از این پدیده را در مطالعات اجرایی از نظر دور داشت. هدف از انجام این مطالعه بررسی میزان مشابهت نتایج مدل‌های سری‌زمانی و روش‌های هوش مصنوعی با پیش‌بینی‌های انجام شده توسط سناریوهای انتشار طی سال‌های 2011 تا 2029 (یک سوم دوره آماری منتخب) در سه ایستگاه سینوپتیک واقع در حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. به این منظور ابتدا با استفاده از داده‌های بارندگی 50 سال اخیر (1961 تا 2010)، بهترین مدل خودهمبسته انتخاب و برای پیش‌بینی بارندگی طی 18 سال آینده مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله بعد با استفاده از شبکه عصبی نیز پارامتر بارندگی برای دوره مذکور برآورد گردید. با استفاده از تولیدگر آماری داده، داده‌های بارندگی برای همان دوره تولید شد و در نهایت نتایج حاصل مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

استفاده شامل 15 مدل از گروه مدل‌های جهانی اقلیمی ارائه شده در گزارش چهارم IPCC است. سمنو (21) مطالعه دیگری در زمینه توسعه مجموعه‌ای از داده‌های محلی با استفاده از سناریوهای اقلیمی برای اروپا انجام داده است. این مجموعه در مساحتی به وسعت 25 کیلومتر مربع تحت عنوان ¹ELPIS توسعه پیدا کرده است. در این مطالعه پارامترهای بارش، تابش و دمای حداقل و حداکثر با استفاده از 15 مدل گردش جوی ارائه شده در چهارمین گزارش IPCC پیش‌بینی گردید. روشن و همکاران (17) به منظور پیش‌بینی مقادیر دما و بارندگی ایران تحت شرایط گرمایش جهانی، مناسب‌ترین مدل‌های گردش عمومی را مورد آزمون قرار دادند. نتایج حاکی از افزایش دما و بارندگی طی سال‌های 2025 تا 2050 برای کشور می‌باشد. در مطالعه انجام شده توسط خزایی و همکاران (7) اثر پدیده تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ای با استفاده از تولیدگر داده و یک مدل پیوسته بارش - رواناب ارزیابی شد. نتایج حاکی از افزایش قابل ملاحظه جریان رودخانه‌ای در حوضه مورد مطالعه است. ذهبیون و همکاران (26) تاثیر پدیده تغییر اقلیم را بر رواناب خروجی حوضه قره سو در دوره 2040-2069 بررسی کردند. در این تحقیق از مدل توزیعی SWAT در ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی حوضه آبریز قره سو استفاده گردید. مقایسه پارامترهای اقلیمی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره 2040-2069 نشان داد دمای منطقه در ماه‌های مختلف بین 1 تا 4 درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه گرم‌تر می‌شود. بارش نیز به جز در ماه‌های بدون بارش، تغییری بین 30- تا 30 خواهد داشت.

تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه کارایی مدل‌های TS و ANN در تخمین پارامترهای اقلیمی انجام شده است. توماس و فایرینگ (24) اولین کسانی بودند که از مدل‌های سری‌زمانی در هیدرولوژی در چهار دهه قبل استفاده کردند. مک کرچار و دلور (12) از محققانی بودند که گام‌های مهمی در استفاده از سری‌های زمانی برداشتند و با توجه به ویژگی‌های فصلی در پارامتر جریان رودخانه از مدل‌های SARIMA² و PARMA³ برای شبیه‌سازی استفاده کردند. بارابولسکو و پلیکن (4) از مدل ARMA⁴ و روش ANN در تحلیل بارندگی ایستگاه سولینا در منطقه دابروجا بهره بردند. نتایج نشان داد پرسپترون چند لایه بهترین برآورد را در پیش‌بینی بارندگی سالانه در این منطقه دارد. زاهدی و همکاران (27) بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه و تبریز را در مقیاس فصلی با استفاده از مدل SARIMA الگوسازی نمودند. به طوریکه بر اساس روش

1 - مجموعه‌ای است از پارامترهای محلی Lars-WG در سراسر اروپا به همراه یک پروژه اقلیمی از مدل‌های چندگانه CMIP3 و EU-ENSEMBLES
2 - Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average
3 - periodic Auto Regressive Moving Average
4 - Auto Regressive Moving Average

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر شامل شهرستان‌های ارومیه، تبریز و خوی است. جهت انجام این مطالعه برای هر منطقه یک ایستگاه سینوپتیک مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات

جغرافیایی و اقلیمی سه ایستگاه مذکور در جدول 1 ارائه شده است. آمار مورد نیاز تحقیق شامل 50 سال آمار روزانه بارندگی برای سال‌های 1961 تا 2010 می‌باشد که از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ شده است.

جدول 1- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه
Table 1- Geographic and climatic properties of study area

مشخصات Properties	ارومیه Urmia	تبریز Tabriz	خوی Khoy
عرض جغرافیایی (درجه اعشاری) Latitude (Decimal degree)	37.68	38.08	38.55
طول جغرافیایی (درجه اعشاری) Longitude (Decimal degree)	45.05	46.28	44.97
ارتفاع (متر) Height (meter)	1361	1361	1103
بارندگی سالانه (میلیمتر) Annual rainfall (mm)	341	289	293
میانگین دمای حداقل (درجه سانتیگراد) Mean minimum temperature (C°)	5.4	6.9	5.4
میانگین دمای حداکثر (درجه سانتیگراد) Mean maximum temperature (C°)	17.6	18.0	18.5
طبقه اقلیمی (به روش کاپن) Climate class (Koppen method)	استپ نیمه‌خشک Semiarid steppe	استپ نیمه‌خشک Semiarid steppe	استپ نیمه‌خشک Semiarid steppe

مدل‌های سری زمانی

مدل‌های سری زمانی ابزاری برای مطالعه و پیش‌بینی مقادیر آتی سری‌هایی می‌باشد که در چند دهه گذشته در مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی رونق چشم‌گیری پیدا کرده است. این مدل‌ها شامل دو بخش خودهمبسته¹ به اختصار AR و میانگین متحرک² به اختصار MA و یا بصورت ترکیبی ARMA است که حالت خاصی از مدل غیرخطی بی‌لینیر محسوب می‌شود. مرتبه مدل AR با حرف p و مرتبه مدل MA با حرف q نمایش داده می‌شود. مرتبه مدل ARMA به صورت (p, q) بیان می‌گردد. روابط 1 تا 3 به ترتیب مدل‌های AR، MA و ARMA را نمایش می‌دهد:

$$Z_t = \sum_{i=1}^p (\phi_i \cdot Z_{t-i}) - \sum_{j=1}^q (\theta_j \cdot \varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (3)$$

در مدل‌های ذکر شده Z_t سری زمانی نرمال و استاندارد، ϕ ضریب مدل AR، θ ضریب مدل MA و ε_t سری زمانی مستقل است. (14)

جهت مدل‌سازی سری‌ها زمانی ابتدا سری زمانی به سری نرمال و استاندارد تبدیل شد. جهت نرمال کردن از رابطه 4 استفاده گردید.

$$Y_t = \sqrt{X_t} \quad (4)$$

که در آن Y_t سری نرمال شده و X_t سری زمانی اصلی است. برای استاندارد کردن داده‌ها نیز روابط چندی ارائه شده است که رابطه 5 متداول تر است.

$$Z_t = \frac{Y_t - \bar{Y}}{S} \quad (5)$$

در روابط فوق Z_t سری استاندارد شده، \bar{Y} و S نیز به ترتیب میانگین و انحراف معیار سری زمانی نرمال می‌باشد. در گام بعد بر اساس نتیجه تست آکائیک بهترین مدل انتخاب گردید. با توجه به مدل انتخاب شده و ضرایب به دست آمده، پارامتر بارندگی برای 18 سال

$$Z_t = \sum_{i=1}^p (\phi_i \cdot Z_{t-i}) + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$Z_t = \sum_{j=1}^q (\theta_j \cdot \varepsilon_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (2)$$

1 - Autoregressive
2 - Moving Average

نیست، لذا از سناریوهای انتشار¹ که در بردارنده چگونگی تغییرات این گازها طی دوره‌های آتی است استفاده می‌گردد (19). سری جدید این سناریوها از سال 2013 و همزمان با تهیه گزارش پنجم IPCC انتشار یافته است. اما به دلیل عدم دسترسی به این داده‌ها، از سناریوهای اقلیمی گزارش چهارم IPCC که در سال 2007 انتشار یافته است، استفاده گردید. جدول 2 خلاصه‌ای از ویژگی‌های این سناریوها را تا سال 2100 نشان می‌دهد.

در تحقیق حاضر از خروجی مدل HadCM3 (از مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم Hadley انگلستان) تحت سناریوهای A2 (بدینانه‌ترین حالت) و B1 (خوش‌بینانه‌ترین حالت) برای تولید داده‌های بارندگی روزانه با نرم‌افزار LARS-WG استفاده شده است که یک تولیدگر داده از نوع آماری می‌باشد.

ورودی مدل شامل آمار بارندگی روزانه، تابش و دمای حداقل و حداکثر طی 50 سال گذشته به اضافه سناریوهای اقلیمی بوده و خروجی آن شامل داده‌های مذکور برای سال‌های آینده می‌باشد. جهت تولید داده بارندگی برای دهه‌های آتی، نصف داده‌ها به عنوان دوره پایه (Baseline) و نصف دیگر آن به عنوان دوره اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. بر همین اساس بارندگی روزانه از سال 2011 تا 2029 تولید شد.

در نرم‌افزار LARS-WG، شبیه‌سازی بارش بر اساس دوره‌های متناوب تر و خشک انجام می‌شود. دوره‌های تر مربوط به روزهایی با بارش بیش از صفر میلی‌متر است. طول هر یک از سری‌ها به صورت تصادفی و براساس توزیع نیمه‌تجربی تر یا خشک ماهی که سری آغاز می‌شود تعیین می‌گردد. در تعیین توزیع‌ها، سری مشاهداتی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای یک روز تر، مقدار بارش تولید شده از توزیع نیمه‌تجربی برای یک ماه مشخص مستقل از طول سری و مقدار بارندگی روز قبل است (20)، که در این مطالعه از داده‌های دیدبانی یک دوره 50 ساله آماری استفاده شده است.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و سری زمانی، با داده‌های دمای بارندگی تولید شده توسط مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B1 مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج حاصل به شرح زیر است:

آینده پیش‌بینی گردید. در نهایت داده‌های تولید شده از حالت استاندارد خارج و به حالت اولیه برگردانده شد. روشی که برای تبدیل کردن داده‌ها به یک سری نرمال استفاده شده بود به صورت معکوس اجرا گردید تا سری ایجاد شده توسط مدل‌های منتخب به اعداد حقیقی تبدیل شوند.

مدل شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی یک سامانه پردازشی داده‌ها است که از مغز انسان ایده گرفته و پردازش داده‌ها را به عهده پردازنده‌های کوچکی به نام نورون سپرده که به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و موازی با یکدیگر رفتار می‌کنند تا یک مسئله را حل نمایند. با ایجاد شبکه‌ای بین این نورون‌ها و اعمال یک الگوریتم آموزشی به آن، شبکه را آموزش می‌دهند. یک نورون نیز خود متشکل از وزن (W)، بایاس (b) و تابع انتقال (f) می‌باشد. به این ترتیب که بردار ورودی در وزن ضرب شده و با بایاس جمع می‌شود. با اضافه کردن بایاس، تابع به سمت جلو شیفت داده می‌شود. استفاده از بایاس در شبکه اختیاری است اما استفاده از آن موجب قوی‌تر شدن شبکه می‌گردد (8).

تابع انتقال یک تابع خطی یا غیرخطی از n است که دارای انواع مختلفی می‌باشد. مانند تابع انتقال لگاریتمی، رقابتی، مثلثی، سیگموئیدی و از تابع انتقال برای تعیین خصوصیات نورون در جهت حل مسئله استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی برای اولین بار در سال 1943 توسط مک کولاک و پیترس معرفی شد و در سال‌های بعد با ظهور رایانه و الگوریتم آموزش پس‌انتشار خطا به مرحله جدیدی وارد شد (11).

داده‌های ورودی مدل شامل دو ستون ماه و سال بوده و از داده‌های بارندگی ماهانه طی سال‌های 1961-2010 به عنوان خروجی مدل استفاده شد. به ترتیب 60 و 30 درصد از داده‌ها برای آموزش و تست شبکه اختصاص یافت. از 10 درصد داده‌ها نیز برای Cross Validation استفاده گردید. به منظور مدل‌سازی بارش، شبکه‌هایی با المنت‌ها و اجزای مختلف ساخته شد. برای انتخاب مناسب‌ترین شبکه با بهترین تابع انتقال و الگوریتم آموزشی، از دو عامل مقدار خطا (MSE) و ضریب همبستگی (r) استفاده گردید. لازم به ذکر است بهترین شبکه، شبکه‌ای است که کمترین خطا و بیشترین ضریب همبستگی را خصوصاً در مرحله تست داشته باشد.

مدل جهانی اقلیمی

از آنجا که مهم‌ترین ورودی مدل‌های جهانی اقلیمی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی است و به علت اینکه تعیین میزان انتشار این گازها برای دوره‌های آینده به طور قطعی ممکن

جدول 2- پیش‌بینی سناریوهای انتشار از وضعیت آینده جهان در افق 2100 (طبق گزارش چهارم IPCC)

Table 2- Predicting situation of next 100 years by Emission scenario

خصوصیت سناریو Scenario properties	1990	A1	A2	B1	B2
جمعیت (میلیارد نفر) Population (Billion)	5.252	7.1	15.1	7	10.4
غلظت CO ₂ (ppmv) concentration of carbon dioxide (ppmv)	354	680	834	547	601
تغییر متوسط دمای میانگین کره زمین (°C) changes in the average temperature of earth	-	2.5 (7.1-7.3)	3.1 (1.2-4.4)	2 (3-4.1)	2.1 (3.1-5.1)
افزایش جهانی سطح آب دریا (cm) Increases in global sea level	-	58 (23-101)	62 (27-107)	50 (19-90)	52 20-93
GDP جهانی (10 ¹² \$) Global GDP	21	550	243	328	235

جدول 3- مقدار آزمون آکائیک و ضرایب مدل‌های منتخب در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 3- AIC test and coefficient of TS models in study area

ایستگاه Station	AIC	θ	ϕ	مدل مناسب Suitable model
ارومیه Urmia	52.62	-	-0.36	MA(1)
تبریز Tabriz	53.67	0.31	-	AR(1)
خوی Khoy	47.44	-	0.28	AR(1)

نتایج حاصل از مدل‌سازی با سری زمانی

بر اساس 50 سال آمار سالانه بارندگی (1961-2010) در سه ایستگاه سینوپتیک ارومیه، تبریز و خوی، مدل‌های اولیه سری زمانی با توجه به مقدار توابع خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی (PACF) انتخاب و مرتبه مدل‌ها تعیین شد. در گام بعد بر اساس آزمون آکائیک و مقادیر ضرایب θ و ϕ بهترین مدل مشخص گردید. جدول 3 مقادیر تست آکائیک و ضرایب مدل‌ها را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

در انتخاب بهترین مدل سری زمانی، مدلی مناسب‌تر است که معیار AIC کوچکتری داشته باشد. در برخی منابع ذکر شده است هراندازه قدر مطلق ضرایب θ و ϕ کوچکتر از یک باشد مدل از اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود (13). پس از استاندارد سازی داده‌ها، بر اساس روش آزمون و خطا مدل‌های AR، MA و ARMA در هر سه ایستگاه مورد ارزیابی قرار گرفت و هر کدام معیار AIC و ضرایب کوچکتری داشت به عنوان مدل مناسب‌تر انتخاب شد. نتایج نشان داد در ایستگاه تبریز و خوی AR(1) و در ایستگاه ارومیه MA(1) بهترین نتایج را ارائه می‌کند. لذا از مدل‌های منتخب برای تولید سری بارندگی تا سال 2029 استفاده شد.

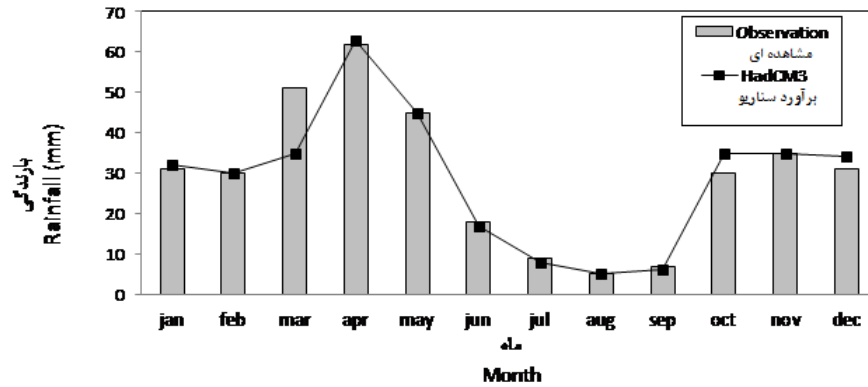
نتایج حاصل از مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی

پس از بررسی شبکه‌های مختلف، معلوم شد پرسپترون چند لایه (MLP) با یک لایه پنهان متشکل از 10 نورون و لایه خروجی با پنج نورون دارای کمترین مقدار MSE و بیشترین ضریب همبستگی در مدل‌سازی مقادیر بارش سالانه است. مقدار خطا در مرحله تست مدل برای ایستگاه‌های ارومیه، تبریز و خوی، بترتیب 0/045، 0/066 و 0/068 و مقدار R² مدل‌ها 0/86، 0/82 و 0/79 می‌باشد.

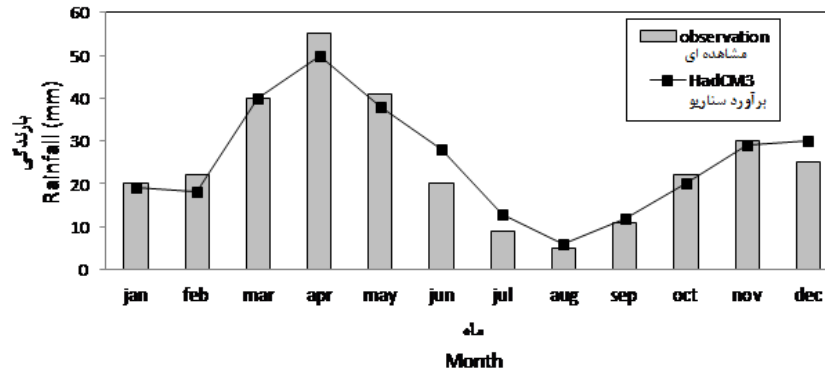
نتایج حاصل از مدل جهانی اقلیم

در این تحقیق از قابلیت‌های نرم‌افزار LARS-WG برای تولید داده بارش استفاده شد و با بکارگیری مدل اقلیمی HadCM3 و تحت دو سناریوی A2 و B1 بارندگی روزانه برای 18 سال آینده تولید گردید. شکل‌های 1 تا 3 میانگین ماهانه 50 سال بارندگی مشاهده‌ای و تولید شده توسط HadCM3 را در ایستگاه‌های ارومیه، تبریز و خوی نمایش می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل، الگوی ماهانه مدل HadCM3 در دوره پایه به بارندگی مشاهده‌ای شباهت قابل

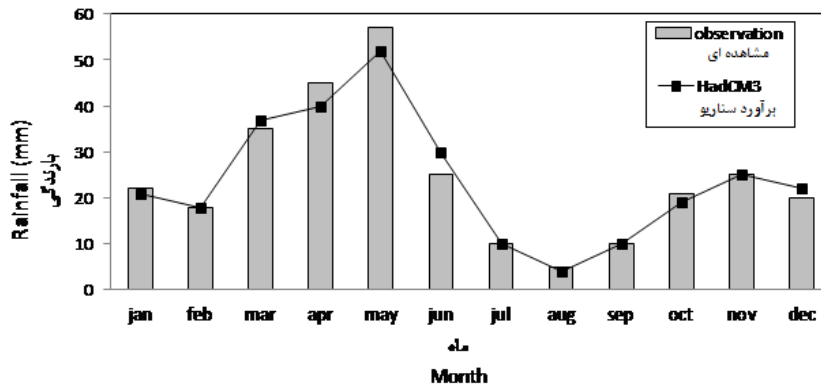
ملاحظه‌ای دارد. این تشابه در فصل تابستان بیش از سایر فصول است.



شکل 1- میانگین بارندگی ماهانه در ایستگاه سینوپتیک ارومیه در دوره پایه (1961-2010)
Figure1- Average monthly rainfall in Urmia station at the base period (1961-2010)



شکل 2- میانگین بارندگی ماهانه در ایستگاه سینوپتیک تبریز در دوره پایه
Figure 2- Average monthly rainfall in Tabriz station at the base period (1961-2010)



شکل 3- میانگین بارندگی ماهانه در ایستگاه سینوپتیک خوی در دوره پایه
Figure3- Average monthly rainfall in Khoy station at the base period (1961-2010)

سناریوی A2 و B1 نشان می‌دهد. میانگین بارندگی پیش‌بینی شده توسط دو سناریوی A2 و B1 اختلاف بیشتری در ایستگاه ارومیه

جدول 4 نتایج پیش‌بینی‌های انجام شده توسط مدل‌های سری زمانی، شبکه عصبی مصنوعی و مدل HadCM3 را تحت دو

بیشترین نوسانات را دارد که نشان‌دهنده میزان اختلاف در نتایج بدست آمده از روش‌های مورد استفاده است.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به بحران منابع آب در چند دهه گذشته، برخورداری از یک برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت مناسب بیش از پیش ضرورت یافته است. علی‌الخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشکی مانند ایران، اهمیت مسئله دو چندان می‌باشد. برای دستیابی به این هدف، آگاهی از نحوه تغییرات پارامترهای مهم چرخه هیدرولوژیک همچون بارندگی، طی دهه‌های آتی ضرورت دارد تا بدینوسیله بتوان با یک برنامه‌ریزی منسجم در جهت کاهش هرچه بیشتر مشکلات ناشی از کمبود آب اقدام نمود. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های سری زمانی و شبکه عصبی مصنوعی رونق چشم‌گیری پیدا کرده است.

از طرف دیگر، بر اثر پدیده تغییر اقلیم، کره زمین با یک گرمایش جهانی در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای مواجه شده است که می‌تواند اثرات سوء بر منابع آب سطحی و زیرزمینی داشته باشد. اینکه تا چه اندازه نتایج حاصل از این مدل‌ها با نتایج سناریوهای اقلیمی هم‌خوانی دارد مسئله‌ای است که تاکنون به آن پرداخته نشده است، لذا در تحقیق حاضر تلاش گردید تا چنین بررسی‌هایی هرچند در مقیاس نقطه‌ای انجام شود.

نسبت به دو ایستگاه دیگر دارد. بر اساس سناریوی B1 بارندگی طی دو دهه آتی 11 درصد افزایش و مطابق سناریوی A2، 10/7 درصد کاهش خواهد داشت که با توجه به خوش‌بینانه بودن سناریوی B1 چنین نتایجی دور از انتظار نیست. بارش پیش‌بایی شده توسط مدل ANN با سناریوی A2 دارای نتایج نزدیک‌تری است اما با سناریوی B1 اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارد. نتایج حاصل از مدل ANN و دو سناریوی A2 و B1 در ایستگاه‌های تبریز و خوی حاکی از افزایش میزان بارندگی‌ها است. این در حالی است که مدل TS بر خلاف سایر روش‌ها یک روند کاهشی 5/94 و 3/63 درصدی را به ترتیب برای این دو ایستگاه طی سال‌های آتی پیش‌بینی می‌کند. بارش پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های مذکور در ایستگاه تبریز کمتر از هر دو سناریوی انتشار است. سناریوهای A2 و B1 در ایستگاه تبریز دارای نتایج نزدیک‌تری هستند.

برای درک بهتر نتایج، نمودار جعبه‌ای مدل‌های مورد استفاده ارائه شده است (شکل 4). در این نمودارها میانگین بارندگی در دوره پیش‌بینی نیز با ترسیم یک خط نمایش داده شده است. به طور میانگین میزان بارش پیش‌بینی شده توسط سناریوی B1 بیش از سایر مدل‌ها است. مدل TS نیز کمترین میزان بارش را طی دو دهه آتی برای ایستگاه‌های مورد مطالعه پیش‌بینی نموده است. خط میانگین در ایستگاه‌های تبریز (نمودار b) و ارومیه (نمودار a) به ترتیب کمترین و

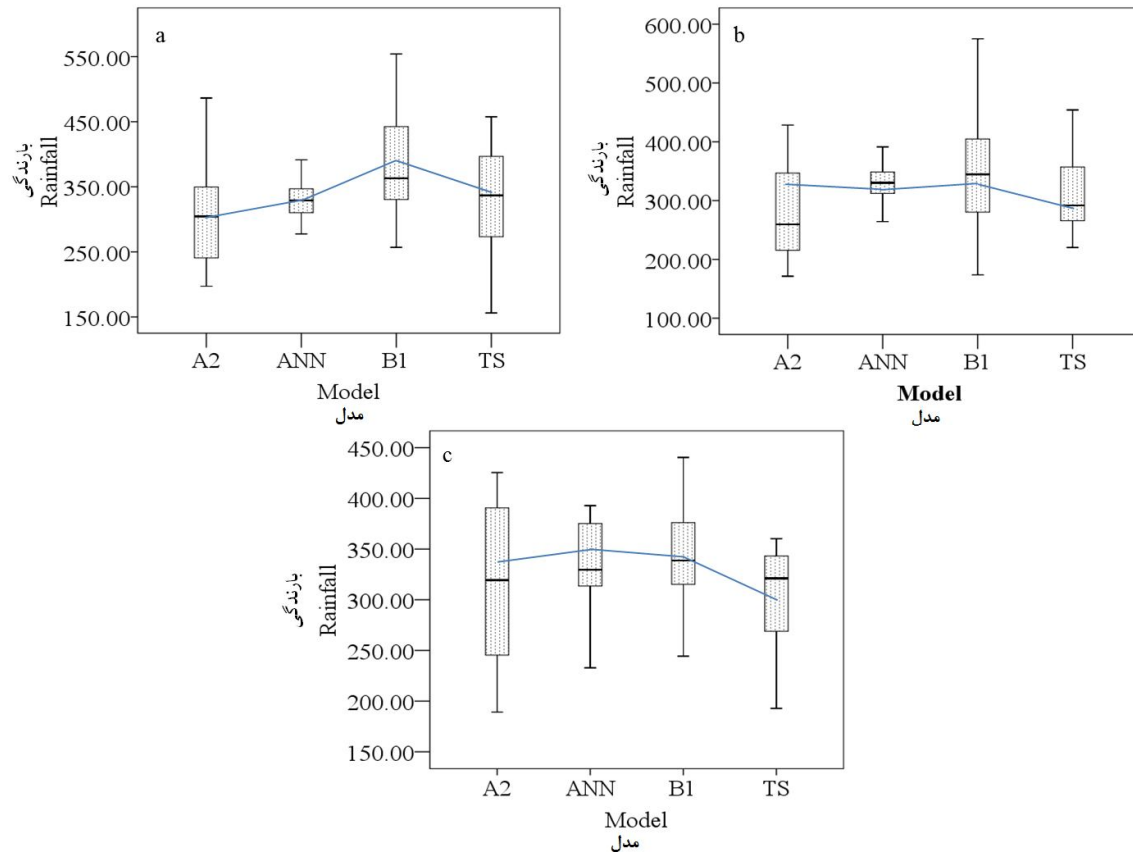
جدول 4- میانگین بارندگی سالانه، پیش‌بینی شده توسط مدل‌های مختلف طی دو دهه آتی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 4- Average annual rainfall, predicted by various models over the next two decades

ایستگاه Station	دهه Decade	ANN	TS	HadCM3	
				A2	B1
ارومیه Urmia	2011-2020	315.74	331.19	303.10	379.8
	2021-2029	311.03	335.40	306.03	377.54
	کل دوره (%) ΔP^*	313.38	333.30	304.57	378.67
تبریز Tabriz	2011-2020	304.22	260.05	337.57	355.96
	2021-2029	322.32	238.60	313.11	290.61
	کل دوره (%) ΔP	313.27	271.82	325.43	323.29
خوی Khoy	2011-2020	334.22	279.24	330.62	341.60
	2021-2029	364.73	285.50	328.41	340.66
	کل دوره (%) ΔP	349.47	282.37	329.52	341.13
		19.27	-3.63	12.46	16.43

* درصد تغییرات بارندگی نسبت به میانگین دوره پایه

Percentage changes compared to the average base period



شکل 4- نمودارهای جعبه‌ای بارندگی پیش‌بینی شده توسط مدل‌های ANN و TS و سناریوهای انتشار (a: ارومیه، b: تبریز و c: خوی). خط ترسیم شده میانگین بارندگی را برای دوره آتی نشان می‌دهد.

Figure 4- Box plot of predicted rainfall via TS, ANN and Emission Scenario (a: Urmia, b: Tabriz & C: Khoy). Delineated line shows the mean rainfall for the next period.

مورد مطالعه توصیه نمی‌شود، هر چند می‌تواند به عنوان یک سناریوی محتمل اقلیمی برای پیش‌بینی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در آینده در نظر گرفته شود. بر خلاف نتایج سناریوهای اقلیمی و مدل ANN که یک روند افزایشی را در ایستگاه‌های تبریز و خوی برای دو دهه آتی پیش‌بینی نموده‌اند، مدل TS کاهش حدوداً 6 و 4 درصدی را برای بارندگی در این ایستگاه‌ها پیش‌بینی کرده است. بر اساس یافته‌های تحقیق مدل ANN تطابق خوبی با نتایج حاصل از سناریوهای انتشار مخصوصاً در دو ایستگاه تبریز و خوی دارد (به طوریکه بارش پیش‌بینی شده توسط آن متناسب با سناریوهای انتشار افزایش و یا کاهش یافته است). در پایان پیشنهاد می‌شود در تعداد بیشتری از ایستگاه‌های کشور تحقیقات مشابه انجام شود تا با توجه به پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، اعتبار روش‌هایی که در پیش‌بینی بارندگی مورد استفاده قرار می‌گیرد معلوم گردد.

بر اساس نتایج حاصله معلوم شد مدل ANN بهتر از مدل TS توانسته است مطابق سناریوهای اقلیمی عمل نماید. نتایج مشابهی در مطالعات صورت گرفته توسط ونگ و همکاران (25) و نورانی و همکاران (15) بدست آمده است و کارایی هرچه بیشتر مدل‌های هوش مصنوعی نسبت به روش‌های سری زمانی اثبات شده است. یافته‌های تحقیقات روشن و همکاران (17) و گل‌محمدی و مساح (5)، مبنی بر افزایش نرخ بارندگی‌ها، موید نتایج تحقیق حاضر است. به طوریکه طی دو دهه آتی در ایستگاه‌های تبریز و خوی تحت سناریوهای انتشار، بارندگی روند افزایشی خواهد داشت. در ایستگاه ارومیه سناریوی B1 روند افزایشی 11 درصدی و سناریوی A2 روند کاهش 10/5 درصدی را پیش‌بینی کرده است. در یک نتیجه‌گیری کلی باید گفت با توجه به چشمگیر بودن اختلاف میان مدل TS و سناریوهای اقلیمی استفاده از آن در منطقه

منابع

- 1- Ahmadi F. 2004. Prediction of annual Rainfall using Time Seri in Khorasan, MA thesis. Ferdowsi Mashhad University, 284 P. (In Persian with English abstract).
- 2- Aivazi M., and Mosaedi A. 2010. Comparison of monthly rainfall forecasting based on time series ARMA and nonlinear functions in meteorological stations of Naharkhoran Gorgan. Second National Conference of Integrated Water Resources Management, Kerman. (In Persian).
- 3- Ashofteh P., and Massah B. A. 2010. The impact of climate change on Maximum discharge, Case study, Aydughmush basin West Azerbaijan. Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resource, 53:25-39. (In Persian).
- 4- Barbulescu A., and Pelican E. 2008. On the sulina precipitation data analysis using the ARMA models and a Neural Network technique. Proceedings of the 10th Wseas International Conference on Mathematical and Computational Method in Science and Engineering.
- 5- Golmohammadi M., and Massah B.A. 2011. The perusal of climate change impact on drought intensity and duration. Journal of Water and Soil, 25: 315-326. (In Persian with English abstract).
- 6- Karamouz M., Fallahi M., Nazif S., and Rahimi Farahani M. 2010. Long lead rainfall prediction using statistical downscaling and artificial Neural Network modeling. Civil Engineering, 16(2): 165-172.
- 7- Khazaei M.R., Zahabiyoum B., and Saghaian B. 2011. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. International Journal of Climatology. doi: 10.1002/joc.2416.
- 8- Kia S.M. 2011. Neural Network in MATLAB. Second edition, Publications of Kia Rayaneh Sabz, 409 P.
- 9- Ki kim M., Sik kang I., Kyupark C., and Myong kim K. 2004. Super ensemble prediction of regional precipitation over Korea. International Journal of Climatology.
- 10- Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC), Climate Change. 2007. Synthesis report of the forth assessment report, IPCC.
- 11- Mahdizadeh M. 2004. Artificial Neural Networks and Its Application in Civil Engineering. Publications of Abedi, 130 P.
- 12- Mckerchar A.I., and Delleur L.W. 1974. Application of seasonal parametric linear stochastic models to monthly flow data. J. water resource reservoir. 10: 246-255.
- 13- Mirzavand M., Ghasemieh h., and Vali A. 2012. Using uncertain Models in the prediction of monthly average discharge using Time Series models, (Case study: Cheshmeh Soleiman of Kashan). Journal of Engineering ecosystems desert, 1: 51-58. (In Persian).
- 14- Naveh H., Khalili K., Alami M.T., and Behmanesh J. 2012. Forecasting river flow by bilinear nonlinear Time Series model, (Case study: Barandoz chai and Shahar chai rivers). Journal of Water and Soil, 5: 1299-1307. (In Persian with English abstract).
- 15- Nourani V., Alami M.T., and Aminfar M.H. 2009. A combined neural-wavelet model for prediction of Ligvanchai watershed precipitation. Engineering Applications of Artificial intelligence, 22: 466-472.
- 16- Qian B., Hayhoe H., and Gameda S. 2005. Evaluation of the stochastic weather generators LARS-WG and AAFC-WG for climate change impact studies. Climate Research, 29: 3-21.
- 17- Roshan G., Khoshakhlage F., and Azizi G. 2012. Testing suitable general circulation model for prediction temperature and precipitation of Iran under the situation of global warming. Geography and Development, 27: 19-36. (In Persian).
- 18- Saplioglu K., Cimen M., and Akman B. 2010. Daily precipitation prediction in Isparta station by Artificial Neural Network. Ohrid, Republic of Macedonia. 25-29.
- 19- Semenov M.A., Barrow E.M. 2002. A stochastic weather generator for use in climate impact studies. User manual, Version 3.2.
- 20- Semenov M.A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. Climate Research, 35: 203-212, doi: 10.3354/cr00731.
- 21- Semenov M.A., Bennett S.P., and Calanca P. 2013. Validation of ELPIS 1980–2010 baseline scenarios using the observed European Climate Assessment data set. Climate Research, 57:1-9.
- 22- Semenov M.A., and Stratonovitch P. 2010. Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. Climate Research, 41:1-14, doi: 10.3354/cr00836.
- 23- Soltani S., Modarres R., and Eslamian S. S. 2007. The use of time series modeling for the determination of rainfall climates of Iran. Intl. J. Climatol. 819-829.
- 24- Thomas H.A. and Fiering M.B. 1962. Mathematical synthesis of stream flow sequences for the analysis of river basin by simulation. Harward university press, cambrige, 751p.
- 25- Wang W., Chau K.W Cheng C.T., and Qiu L. 2009. A Comparison of performance of several artificial intelligence methods for forecasting monthly discharge time series. Journal of Hydrology, 374: 294-306.
- 26- Zahabiun b., Gudarzi M., and Massah B. A. 2010. Application of SWAT model in estimation of runoff in the future periods affected by climate change. Journal of Climate Research, 34: 43-58. (In Persian).
- 27- Zahedi M., Sarraf B.H., and Jameei J. 2010. Modeling rainfall in the stations Urmia and Tabriz. Journal of Geography and Regional Development, 7:1-16. (In Persian).



Comparison of TS and ANN Models with the Results of Emission Scenarios in Rainfall Prediction

S. Babaei Hessar^{1*} - R. Ghazavi²

Received: 10-02-2014

Accepted: 19-04-2015

Introduction: Precipitation is one of the most important and sensitive parameters of the tropical climate that influence the catchments hydrological regime. The prediction of rainfall is vital for strategic planning and water resources management. Despite its importance, statistical rainfall forecasting, especially for long-term, has been proven to be a great challenge due to the dynamic nature of climate phenomena and random fluctuations involved in the process. Various methods, such as time series and artificial neural network models, have been proposed to predict the level of rainfall. But there is not enough attention to global warming and climate change issues. The main aim of this study is to investigate the conformity of artificial neural network and time series models with climate scenarios.

Materials and Methods: For this study, 50 years of daily rainfall data (1961 to 2010) of the synoptic station of Urmia, Tabriz and Khoy was investigated. Data was obtained from Meteorological Organization of Iran. In the present study, the results of two Artificial Neural Network (ANN) and Time Seri (TS) methods were compared with the result of the Emission Scenarios (A2 & B1). HadCM3 model in LARS-WG software was used to generate rainfall for the next 18 years (2011-2029). The results of models were compared with climate scenarios over the next 18 years in the three synoptic stations located in the basin of the Lake Urmia. At the first stage, the best model of time series method was selected. The precipitation was estimated for the next 18 years using these models. For the same period, precipitation was forecast using artificial neural networks. Finally, the results of two models were compared with data generated under two scenarios (B1 and A2) in LARS-WG.

Results and Discussion: Different order of AR, MA and ARMA was examined to select the best model of TS. The results show that AR(1) was suitable for Tabriz and Khoy stations. In the Urmia station MA(1) was the best performance. Multiple Layer Perceptron with a 10 neurons in hidden layer and the output layer consists of five neurons had the lowest MSE and the highest correlation coefficient in modeling the values of annual precipitation. So MLP was determined as the best structure of neural network for rainfall prediction. According to results, precipitation predicted by the ANN model was very close to the results of A2 and B1 scenario, whereas TS has a significant difference with these scenarios. Average rainfall predicted by two A2 and B1 scenarios in Urmia station has more difference than other stations. Based on the B1 scenario, precipitation will increase 11 percent over the next two decades. It will decrease 10.7 percent according to A2 emissions scenario. According to ANN models and two A2 and B1 scenarios, the rates of rainfall will increase in Tabriz and Khoy stations. However, according to TS model, rainfall will decline 5.94 and 3.63 percent for these two stations, respectively.

Conclusion: Global warming and climate change should have adverse effects on groundwater and surface water resources. Different models are used for simulating of these effects. But, conformity of these models with the results of climate scenarios is an issue that has not been addressed. In the present research coincidence of TS model, ANN model and climate change scenarios was investigated. Results show under emissions scenarios, during the next two decades in Tabriz and Khoy stations, precipitation will increase. In Urmia station B1 and A2 scenario percent increase by 11 percent and 10.5 percent decline predicted, respectively. The results of Roshan and et al (4) and Golmohammad and et al, (7) investigations show increasing trend in the rainfall rate and confirming the results of this study. According to results, the performance of ANN model is better than TS model for rainfall prediction and its result is similar to climate change scenarios. Similar results have been reported by Wang et al (29) and the Norani et al (20). Due to the significant difference between the TS and climate scenarios used in the study area, is not recommended, though it can be used as a plausible climate scenario to predict the precipitation of stations in the future studied. At the end, it is suggested that the similar studies carried out in a

1,2- Ph.D Student and Associate Professor of Watershed Management Engineering Department, Faculty of Natural Resources, Kashan University

(* - Corresponding Author Email: babaei.sah@gmail.com)

larger number of stations in the country with respect to global warming and climate change, to determine the validity of the methods used to the predicted rainfall.

Keywords: Climate Change, Emission Scenario, Neural Network, LARS-WG, Time Seri