مقایسه روش‌های مختلف تخمین داده‌های گم‌شده دبی ماهانه حوزه آبخیز کارون بزرگ

ر. نقدی[۱]، م. شایان نژاد[۲] و س. ج. ساداتی‌نژاد[۳]

چکیده

اساس و پایه مطالعات هیدرولوژی داده‌های آماری مورد قبول می‌باشد با توجه به خلأهای گسسته و پیوسته در اغلب داده‌های هیدولوژی مانند دبی رودخانه‌ها به دلیل عدم ثبت آمار، حذف آمار غلط و خرابی یا از بین رفتن دستگاه‌های اندازه‌گیری، تخمین و برآورد این داده‌ها ضروری می‌باشد. بدین منظور روش‌های متعددی برای تخمین داده‌ها وجود دارد که بسته به شرایط هر ایستگاه ممکن است یک روش خاص بهترین نتیجه را در پی داشته باشد. یکی از روش‌های جدید جهت تخمین داده‌های گم‌شده، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. این شبکه‌ها از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه مخفی و یک لایه خروجی تشکیل می‌شود. در این مقاله روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با روش‌های نسبت نرمال، محور مختصات (گرافیکی)، رگرسیون خطی ساده، رگرسیون خطی چند متغیره و خودهمبستگی سری‌های زمانی برای بازسازی داده‌های گم‌شده دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز کارون بزرگ مورد مقایسه قرار گرفته است. در هر روش پس از حذف داده‌های مشاهده‌ای، مقادیر آنها از طریق روش‌های مذکور برآورد شده و با استفاده از آماره ریشه میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) اولویت هر یک از روش‌ها مورد شناسایی قرار گرفت. نتایج نشان دهنده برتری روش استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با دیگر روش‌ها با درصد فراوانی ۵۹/۲۶ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بازسازی داده‌های گم شده، حوزه آبخیز کارون بزرگ، شبکه‌های عصبی مصنوعی، دبی ماهانه

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد
۲- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد
۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه شهرکرد

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

بیشتر مطالعات هیدرولوژیکی براساس علم آمار پایه‌گذاری شده است. اولین گام در مطالعات مهندسی پروژه‌های آبی، طرح‌های توسعه کشاورزی و نظایر آن داشتن اطلاعات و داده‌های صحیح می‌باشد. اما در حال حاضر داده‌های موجود به دلایل گوناگون، از جمله عدم دیده‌بانی یا مشکوک بودن بخشی از داده‌ها، دارای خلأهای پیوسته و گسسته فراوانی می‌باشد. حال آن که رفع نقایص آماری قبل از بکارگیری این داده‌ها در مطالعات لازم است. لذا دستیابی به یک روش صحیح برآورد داده‌های گم‌شده و یا مشکوک ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی دسترسی به داده‌های کافی و دقیق از یک طرف موجب کوتاه‌تر شدن مدت مطالعات و از طرف دیگر موجب برآورد دقیق‌تر پارامترهای هدف و کاهش هزینه‌های اجرایی و خسارات بعدی ناشی از اجرای طرح‌های عمرانی می‌گردد (۸).

برای رفع خلأهای داده‌های یک ایستگاه اندازه‌گیری معمولاً از روش‌های آماری و با کمک گرفتن از داده‌های ایستگاه‌های مجاور با تشابه هیدرولوژیکی، کلیماتولوژی و فیزیوگرافی نسبتاً یکسان استفاده می‌گردد. تحقیقات گسترده ای در خصوص بازسازی داده‌های هیدرولوژی انجام شده است. در هر کدام از این تحقیقات روش خاصی برای بازسازی پیشنهاد شده است. به‌عنوان مثال لوک زاده (۸) مقایسه‌ای بین روشهای مختلف بازسازی خلاهای آماری بارندگی در مقاطع مختلف زمانی در منطقه البرز مرکزی با روش‌های رگرسیون خطی، نسبت نرمال، محور مختصات و زمین آماری انجام داد. بدین منظور ۱۸ ایستگاه بادوره آماری ۲۷ ساله کامل و بدون خلاء انتخاب گردید. سپس با حذف ۲۰ درصد آمار هر ایستگاه به‌طور مساوی بین سالهای خشک، نرمال و تر، خلاءهای ایجاد شده بازسازی گردید. نتایج ارزیابی با معیار RMSE روش نسبت نرمال را در ۶۹/۲ درصد موارد، به‌عنوان مناسب‌ترین روش نشان داد. یو و همکاران (۱۳) دو روش محور مختصات و رگرسیون را برای بازسازی داده‌های دما استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که روش رگرسیون در نواحی کوهستانی مناسب‌تر از روش محور مختصات است.

با گسترش استفاده از مدل‌های محاسباتی نوین، راه حل‌های بهتر و جدیدتری در پیش بینی داده‌های هیدرولوژیکی نظیر بارندگی و دبی جریان رودخانه‌ها ارائه شده است که در خصوص بازسازی یا تخمین داده‌های گم‌شده خیلی کم‌تر از آنها استفاده شده است. از جمله این مدل‌ها می‌توان از شبکه‌های عصبی مصنوعی(ANNs)[1] نام برد که زیر مجموعه‌ای از مدل‌های هوشمند هستند. در این مدل‌ها با پردازش روی داده‌های تجربی دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها به ساختار شبکه منتقل و براساس محاسبات روی داده‌های عددی یا مثال‌ها قوانین کلی را فرا می‌گیرند (۹).

متداول‌ترین شبکه‌ها در پیش بینی و حل مسایل غیر خطی، شبکه‌هایی موسوم به پرسپترن چند لایه (MLP)[2] است. این شبکه‌ها از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه مخفی و یک لایه خروجی تشکیل می شود

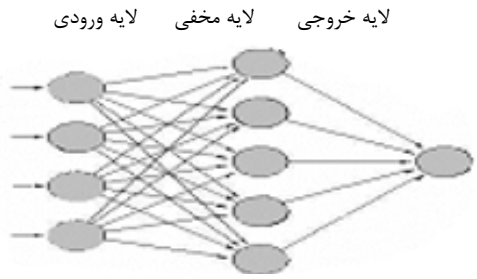
1- Artificial Neural Networks

2- Multi Layers Perceptron

Archive of SID

www.SID.ir

(شکل ۱). آموزش این شبکه‌ها با استفاده از الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا صورت می‌پذیرد. در اغلب موارد به منظور آموزش و تنظیم وزن‌های شبکه از قانون یادگیری دلتا[1] استفاده می‌شود.



شکل ۱- ساختار یک شبکه پرسپترون تک لایه ای.

ANNs با داشتن ویژگی‌های حفظ تجربه، قابلیت یادگیری، قابلیت تعمیم دهی براساس فرآیند درون یابی، تحمل پذیری خطاها (مقاوم بودن)، سرعت عمل، سادگی، آموزش پذیری وخلاصه سازی، هم اکنون در رشته‌های مختلف علوم از جمله مهندسی عمران کاربرد دارد مهدیزاده (۹). به عنوان مثال فرنچ و همکاران (۴) پیش بینی بارندگی در مکان و زمان، تیرمالایان (۱۲) پیش بینی سطح آب در رودخانه‌ها و جین و همکاران (۵) پیش بینی جریان آب ورودی به مخازن را با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه دادند. نتایج این تحقیقات حاکی از کارایی قوی روش شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. اشرف زاده (۳) کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی را در برآورد تبخیر از سطح حوضچه‌های تبخیر کرج، مورد بررسی قرار داد. ایشان از داده‌های ایستگاه سینوپتیک کرج استفاده نمود. او این روش را دقیق‌تر از سایر روش‌ها دانست. نجفی و میثاقی (۱۱) بار رسوب رودخانه دز را در بالادست سد دز با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی تخمین زدند و نتایج خوبی بدست آوردند. ابب و همکاران (۲) برای بازسازی داده‌های بارش استفاده از منطق فازی را با روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و نسبت نرمال در سه ایستگاه باران سنجی واقع در شمال ایتالیا مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که روش منطق فازی نسبت به دو روش دیگر دارای خطای کمتری است.

با توجه به تحقیقات فوق، مشخص می‌شود که تحقیقی در مورد استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در بازسازی داده‌های دبی ماهانه صورت نگرفته است. بنابراین لازم است روش شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت بازسازی داده‌های هیدرولوژی از جمله دبی ماهانه مورد ارزیابی قرار گیرد.

آنچه در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است ارزیابی توانایی شبکه‌های عصبی مصنوعی در بازسازی داده‌های دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری کارون بزرگ می‌باشد. نتایج حاصل از بازسازی داده‌ها به این روش با

1- Delta Learning Rule

Archive of SID

www.SID.ir

پنج روش بازسازی دیگر شامل رگرسیون خطی ساده[1]، رگرسیون خطی چند متغیره[2]، خودهمبستگی[3]، نسبت نرمال[4] و محور مختصات[5] مورد مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه و جمع آوری داده‌ها

رودخانه کارون بزرگ که موضوع تحقیق حاضر می‌باشد از اتصال رودخانه‌های دز و کارون در محل بند قیر، واقع در ۴۰ کیلومتری شمال اهواز تشکیل می‌شود. حوزه‌های آبخیز رودخانه‌های دز و کارون در داخل ارتفاعات زاگرس میانی قرار دارند و محدود به مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و۱۰ دقیقه تا ۵۲ درجه و۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی به صورت ارائه شده در شکل ۲ می‌باشد.

در ابتدا تمامی داده‌های دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه کارون بزرگ از مراجع ذی‌صلاح (دفتر پژوهش‌های مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو) از سال ۱۳۲۹ تا ۱۳۷۸ جمع آوری گردید. داده‌های جمع آوری شده فاقد هرگونه بازسازی یا دخل و تصرف کارشناسی بوده و به‌همین دلیل دارای نواقص آماری زیادی می‌باشد.

برای بازسازی داده‌های دبی ماهانه حداقل ۴ ایستگاه مجاور هم که دارای طول دوره آماری مشترک و بدون خلأ آماری و دارای شرایط هیدرولوژیکی، کلیماتولوژی و یا فیزیوگرافی مشابه باشند مورد نیاز است کارآموز و عراقی نژاد (۶). بنابراین در ابتدا ایستگاه‌های دارای ارتباط هیدرولوژیکی در محدوده هر زیرحوزه و یا زیرحوزه‌های مجاور (با استفاده از نقشه شبکه آبراهه‌ها و موقعیت مکانی ایستگاه‌ها) و دارای طولانی‌ترین دوره مشترک فاقد خلأ آماری در قالب گروه‌های مختلف بازسازی به صورت مندرج در جدول ۱ تعیین شدند. این گروه‌ها براساس تقسیم بندی زیر حوزه‌ای و بر مبنای شباهت فیزیوگرافی انجام شد. بررسی همگنی داده‌های دبی ماهانه در دوره آماری مورد مطالعه با استفاده از آزمون توالی یا گردش[6] مورد تأیید قرار گرفت. روش‌های بازسازی استفاده شده در این تحقیق در زیر تشریح شده است:

۱- روش محور مختصات

پس از مشخص کردن موقعیت ایستگاه‌های منطقه روی نقشه توپوگرافی که با استفاده از مختصات جغرافیایی آنها صورت می‌گیرد، ایستگاه ناقص به‌عنوان مرکز محور مختصات قرار داده می‌شود و سپس مختصات هر یک از ایستگاه‌های اطراف آن را نسبت به این محور مختصات بدست می‌آوریم. مسلم است که ایستگاه‌های نزدیک تر به ایستگاه ناقص سهم بیشتری در بازسازی آن داشته و در نتیجه باید ضریب وزنی بیشتری به آن اختصاص یابد. این ضریب وزنی ازطریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$W = \frac{1}{x^2+y^2} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که x و y طول و عرض مختصاتی ایستگاه شاهد می‌باشد.

سپس بارندگی در ایستگاه ناقص از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

1- Simple Linear Regression (SLR)
2- Multivariable Linear Regression (MLR)
3- Auto Regressive (AR)
4- Delta Learning Rule
5- Graphic (GR)
6-Run Test

Archive of SID

www.SID.ir

رابطه (۲)

$$P_x = \frac{W_A P_A + W_B P_B + \dots}{W_A + W_B + \dots} = \frac{\sum W_i P_i}{\sum W_i}$$

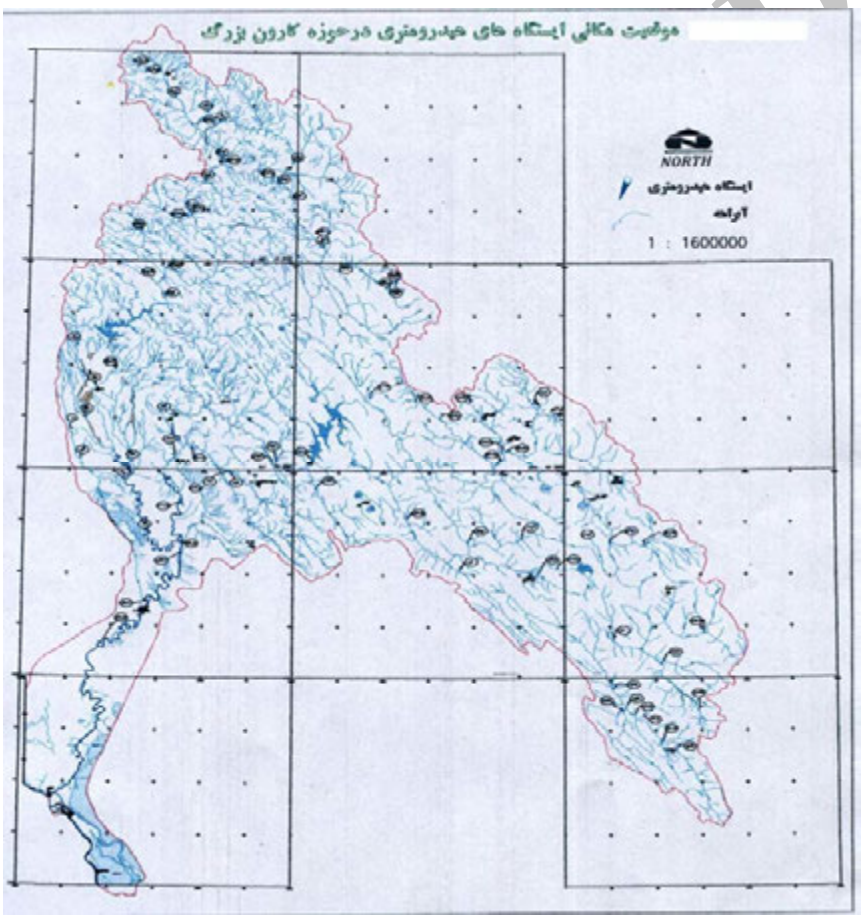
این روش به منظور تخمین داده‌های بارندگی پیشنهاد شده است که در این تحقیق در خصوص دبی مورد بررسی قرار داده شده است.

۲- روش نسبت نرمال

در این روش دبی در ایستگاه ناقص متناسب با نسبت میانگین دبی درآن ایستگاه به میانگین دبی در ایستگاه‌های شاهد ضربدر دبی همزمان ایستگاه شاهد می‌باشد که از طریق فرمول زیر بدست می‌آید:

رابطه (۳)

$$P_x = \frac{1}{N}\left[\left(\frac{\overline{P_x}}{\overline{P_A}} \times P_A\right) + \left(\frac{\overline{P_x}}{\overline{P_B}} \times P_B\right) + \cdots\right]$$



شکل ۲- نقشه موقعیت حوزه آبخیز مورد مطالعه.

www.SID.ir

جدول ۱- گروه‌های ایستگاه‌های هیدروومتری حوزه آبخیز کارون بزرگ برای بازسازی داده‌های دبی ماهانه گم‌شده.

گروه بازسازی	رودخانه	ایستگاه هیدرومتری	طول دوره آماری مشرک
۱	گله رود	ونایی	۱۳۴۸-۴۹ تا ۱۳۶۲-۶۳ (۱۵ سال)
	تیره	درود	
	ماربره	دره تخت	
	کمندان	کمندان	
	ماربره	درود	
۲	آب سبزه	چم چیت	۱۳۵۸-۵۹ تا ۱۳۷۸-۷۹ (۲۱ سال)
	بشار	شاه مختار	
	کبکیان	بطاری	
	ماربره	دهکده شهید	
	ماربره	کتا	
	کرم رود	پتاوه	
	خرسان	بارز	
۳	سراب سفید	ونایی	۱۳۵۲-۵۳ تا ۱۳۶۶-۶۷ (۱۵ سال)
	گله رود	ونایی	
	کمندان	کمندان	
	ماربره	دره تخت	
	تیره	درود	
۴	سرخاب	کشور	۱۳۴۲-۴۳ تا ۱۳۶۲-۶۳ (۲۱ سال)
	زاز	سپید دشت	
	آب سبزه	چم چیت	
	ماربره	درود	
	تیره	درود	
۵	شاوور	پل شاوور	۱۳۵۲-۵۳ تا ۱۳۶۸-۶۹ (۱۷سال)
	دز	دزفول	
	دز	حرمله	
	دز	بامدژ	
	دز	تله زنگ	
۶	کارون	ملاثانی	۱۳۵۲-۵۳ تا ۱۳۶۸-۶۹ (۱۷سال)
	کارون	سدگتوند	
	کارون	اهواز	
	دز	حرمله	
	دز	بامدژ	
۷	سراب سفید	ونایی	۱۳۵۲ -۵۳ تا ۱۳۶۶ -۶۷ (۱۵ سال)
	گله رود	ونایی	
	کمندان	کمندان	
	تیره	درود	

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۱- گروه‌های ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز کارون بزرگ برای بازسازی داده‌های گم‌شده

گروه بازسازی	رودخانه	ایستگاه هیدرومتری	طول دوره آماری مشترک
۸	سراب سفید	ونایی	۵۵- ۱۳۵۴
	گله رود	ونایی	تا
	سیلا خور	رحیم آباد	۶۷-۱۳۶۶
	تیره	درود	(۱۳سال)
۹	دز	تله زنگ	۴۳- ۱۳۴۲
	زاز	سپید دشت	تا
	سرخاب	کشور	۶۳-۱۳۶۲
	آب سبزه	چم چیت	(۲۱ سال)
۱۰	بشار	شاه مختار	۵۴-۱۳۵۳
	بشار	دارشاهی	تا
	کبکیان	بطاری	۶۵-۱۳۶۴
	بشار	بطاری	(۱۲ سال)
۱۱	کارون	ملاثانی	۴۹-۱۳۴۸
	کارون	سدگتوند	تا
	کارون	اهواز	۶۷-۱۳۶۶
	شور	بتوند	(۱۹ سال)
	دز	بامدژ	

P_X = دبی ایستگاه ناقص در سال یا ماه مورد نظر که تعداد ایستگاه‌های شاهد=N، $\overline{P}_A$ و $\overline{P}_B$ = دبی متوسط در ایستگاه شاهد A و B و همزمان با آمار ایستگاه دارای نقص آماری در سال یا ماه مورد نظر برای تکمیل آمار ایستگاه ناقص B و A دبی در ایستگاه شاهد = P_B و P_A.

۳- روش رگرسیون خطی ساده

یکی از روش‌های بازسازی داده‌های ناقص روش استفاده از همبستگی بین داده‌های هیدرومتری با داده‌های ایستگاه‌های مجاور می‌باشد که از مزایای این روش سادگی نسبی آن در مقایسه با روش‌های دیگر است و معمولاً در بازسازی داده‌های مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در یک منطقه با ویژگی‌های هیدروکلیماتولوژی مشابه نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. در این روش هر یک از ایستگاه‌ها به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته می‌شود. سپس ضریب همبستگی بین داده‌های دبی نرمال کلیه ماه‌های ایستگاه وابسته و سایر ایستگاه‌های مجاور آن محاسبه و هر ایستگاهی که بالاترین همبستگی را با ایستگاه مورد نظر داشته باشد به عنوان متغیر مستقل انتخاب می‌گردد. با استفاده از روش حذف اعتباری (حذف عمدی هر یک از داده‌های ایستگاه وابسته) و برقراری رگرسیون بین سایر داده‌های این ایستگاه و ایستگاه مستقل در دیگر ماه‌های مشترک، یک معادله به دست می‌آید که با استفاده از آن داده حذف شده بازسازی می‌شود. سپس با تکرار این روش تمام داده‌های مشاهده‌ای مجدداً تخمین زده

Archive of SID

www.SID.ir

می‌شوند.

۴- روش رگرسیون خطی چند متغیره

در این روش هر یک از ایستگاه‌ها به عنوان متغیر وابسته و سایر ایستگاه‌ها به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. سپس داده‌های ایستگاه هیدرومتری وابسته به تفکیک ماه‌های مختلف سال مطابق با روش قبل مورد بازسازی قرار گرفت. با این تفاوت که در این روش به دلیل دخالت تأثیر سایر ایستگاه‌ها یک معادله چند متغیره به دست می‌آید.

۵- روش خود همبستگی

ابتدا کلیه داده‌های نرمال شده هر یک از ایستگاه‌ها به ترتیب ماه و سال‌های آبی مورد مطالعه منظم گردید. سپس داده‌های هر ماه در مقابل ماه‌های قبل از آن با تأخیرهای مختلف از ۱ تا n/۴ ماه (n طول دوره آماری ماهانه ایستگاه) قرار داده شد. ستون اول به‌عنوان متغیر وابسته و سایر ستون‌ها به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته می‌شود. با وارد کردن داده‌های مذکور در محیط SPSS و انجام عمل رگرسیون خطی چند متغیره به روش گام به گام، معادله‌ای به دست می‌آید که با استفاده از آن می‌توان میزان دبی هر ماه را براساس ماه‌های قبل از آن که دارای بیشترین همبستگی با ماه مذکور در طول دوره آماری مورد مطالعه می‌باشد، برآورد کرد. چون در این روش از معادله با چندین وقفه، استفاده شده است بنابراین به تعداد وقفه‌های مورد استفاده در معادله به دست آمده، بازسازی داده‌ها نیز با وقفه در ماه‌های اولیه شروع می‌گردد. برای بازسازی داده‌های مربوط به این ماه‌ها یک معادله رگرسیون بین داده‌های هر ماه با ماه‌های قبل از آن با اعمال وقفه‌های منفی مطابق قبل به دست آمد و با استفاده از آن گپ‌های اولیه پر گردید.

۶- روش استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

در این تحقیق، به منظور بازسازی داده‌های دبی از شبکه‌های عصبی نوع با ناظر و روش آموزش پس انتشار خطا[1]، با بهره گیری از نسخه ۷ نرم افزار MATLAB به دلیل امکان طراحی، ساخت، آموزش و ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است. برای جلوگیری از اشباع زود هنگام نرون‌ها بایستی ورودی خالص آنها در محدوده خطی تابع سیگموئیدی قرار گیرد لذا با استفاده از رابطه (۴) داده‌های هریک از ایستگاه‌ها در محدوده (۰ و ۱) قرار گرفت (۱).

$$X_{no} = \frac{X_{Max} - X_{io}}{X_{Max} - X_{Min}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن X_{no} = مقدار نرمال شده داده مشاهده‌ای، X_{io} = مقدار داده مشاهده‌ای، X_{Max} = مقدار بیشینه داده‌های مشاهده‌ای و X_{Min} = مقدار کمینه داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد.

بازسازی آمار ایستگاه‌های مورد نظردر ۵ مرحله صورت گرفت. بدین ترتیب که پس از مرتب کردن ردیف داده‌های متناظر ایستگاه‌های مذکور براساس اعداد تصادفی، در هر مرحله ۸۰ درصد داده‌های لایه‌ی ورودی و لایه خروجی در دو فایل جداگانه جهت ایجاد فایل‌های یادگیری شبکه و ۲۰ درصد بقیه در دو فایل دیگر به منظور ارزیابی شبکه، در

1- Back Propagation Error

Archive of SID

www.SID.ir

اکسل به صورت Text (MS-DOS) ذخیره گردید. پس از آموزش و ساخت مدل، خروجی ناشی از ارزیابی شبکه در هر مرحله به عنوان داده‌های بازسازی شده ایستگاه لایه خروجی در نظر گرفته شد که در نتیجه ۱۰۰ درصد داده‌های آن ایستگاه توسط شبکه عصبی مصنوعی مورد بازسازی قرار گرفت.

لازم به ذکر است که در ساختار شبکه‌های مورد استفاده در هر مرحله تعداد نهایی لایه‌های میانی و نرون‌های این لایه‌ها براساس سعی و خطا با در نظر داشتن رسیدن به نتیجه مطلوب و حداقل خطا تثبیت گردید. همچنین با بررسی توابع متعدد فعالیت و آموزش ارائه شده در نرم افزار MATLAB، از توابعی با حداقل خطای ممکن در نتیجه نهایی بازسازی استفاده شد. در این خصوص برای هر مدل، مقادیر حاصل از ارزیابی شبکه با مقادیر مشاهده‌ای از طریق ریشه‌ی میانگین مربعات خطاها (RMSE)[1] که تحت یک دستور اجرایی در انتهای برنامه شبکه عصبی وارد گردید، مورد سنجش قرار گرفت و حالتی که در کمترین مقدار RMSE تثبیت شد به‌عنوان مدل نهایی مورد پذیرش قرار گرفت (۱۲).

جهت بازسازی داده‌های دبی ماهانه در هریک از این روش‌ها به غیر از روش خود همبستگی، داده‌های ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه به تفکیک ماه‌های مختلف سال مورد بازسازی قرارگرفت. با در نظرگرفتن هر ایستگاه به‌عنوان ایستگاه ناقص (پس از حذف عمدی داده‌ها) و دیگر ایستگاه‌ها به عنوان ایستگاه‌های شاهد کار بازسازی آمار ایستگاه ناقص به طریق حذف اعتباری (حذف عمدی) هریک از داده‌ها انجام شد. بدین ترتیب که هر یک از داده‌های ایستگاه ناقص به طور عمدی حذف گردید. سپس مقادیر آنها با استفاده از داده‌های ایستگاه شاهد بازسازی شد پس از آن داده‌ای که به طور عمدی حذف گردیده بود در جای خود قرار گرفت و سایر داده‌های مربوط به سال‌های دیگر بازسازی شد (۸).

معمولا برای ارزیابی مدل‌ها از ضریب همبستگی بین مقادیر محاسبه‌ای و مشاهده‌ای استفاده می‌شود. استفاده از این ضریب جهت ارزیابی روش‌های مختلف بازسازی داده‌ها کافی نیست. در این راستا، کوبایاشی و سلام (۷)، آماره ریشه میانگین مربعات خطاها رابه صورت زیر ارائه نمودند:

رابطه (۵) $$RMSE = \sqrt{SB + SDSD + LCS}$$

در رابطه فوق: SB= مربع اریبی[2]، SDSD= مربع تفاوت انحراف معیار[3]، LCS= عدم وجود همبستگی مثبت وزنی نسبت به انحراف معیار[4] می‌باشد. این پارامترها از روابط زیر بدست می‌آیند:

رابطه (۶) $$SB = (\bar{x} - \bar{y})^2$$

رابطه (۷) $$SDSD = (SD_m - SD_p)^2$$

رابطه (۸) $$LCS = 2SD_p.SD_m.(1-r)$$

رابطه (۹) $$SD_m = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})\right]^{0.5}$$

رابطه (۱۰) $$SD_p = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})\right]^{0.5}$$

در روابط فوق x_i= مقادیر پیش بینی شده (با میانگین $\bar{x}$)، y_i= مقادیر مشاهده‌ای (با میانگین $\bar{y}$)، n= تعداد داده‌ها و r= ضریب همبستگی می باشد.

1- Root Mean Square Error
2- Squared Bias (SB)
3- Squared Diffrence Between Standard Divitation (SDSD)
4- Lack Positive Correlation Weighted by Standard Devitation (LCS)

Archive of SID
www.SID.ir

از روابط فوق مشاهده می‌شود که ضریب همبستگی در RMSE مستتر می‌باشد. به طوری که با افزایش ضریب همبستگی، RMSE کاهش می‌یابد.

نتایج و بحث

شبکه عصبی طراحی شده در گروه‌های مختلف، منحصر به فرد است. به طوری که تعداد لایه‌های مخفی بین یک تا دو و تعداد نرون در هر لایه مخفی بین یک تا سه تغییر می‌کند. این دو موضوع براساس سعی و خطا به دست آمد. به‌عنوان مثال مشخصات مدل شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده برای گروه یک در جدول ۲ ارائه شده است.

داده‌های برآورد شده از طریق روش‌های نسبت نرمال (NR)، محور مختصات (GR)، رگرسیون خطی ساده (SLR)، رگرسیون چند متغیره (MLR)، سری زمانی بصورت اتو رگرسیو (AR) و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) در ایستگاه‌های هر گروه با استفاده از آماره RMSE با مقادیر واقعی نیز مورد مقایسه قرار داده شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۲- مشخصات مدل شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده برای گروه یک

عناصر لایه ورودی	عنصر لایه خروجی	تعداد عناصر در لایه مخفی اول	تعداد عناصر در لایه مخفی دوم
گله رود- ونایی، ماربره- درود، کمندان- کمندان، ماربره- دره تخت، تیره- درود	آب‌سبزه- چم چیت	۳	۱
گله رود- ونایی، آب‌سبزه- چم چیت، کمندان- کمندان، ماربره-دره تخت، تیره- درود	ماربره- درود	۱	-
گله رود- ونایی، ماربره- درود، آب‌سبزه- چم چیت مندان، ماربره- دره تخت، تیره- درود	کمندان- کمندان	۲	-
گله رود- ونایی، ماربره-درود، آب‌سبزه- چم چیت، کمندان- کمندان، تیره- درود	ماربره- دره تخت	۲	-
گله رود- ونایی، ماربره- درود، آب‌سبزه- چم چیت، ماربره- دره تخت، کمندان-کمندان	تیره- درود	۲	-
کمندان-کمندان، ماربره- درود، آب‌سبزه- چم چیت، ماربره- دره تخت، تیره- درود	گله رود- ونایی	۱	-

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳- ارزیابی روش‌های بازسازی دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری گروه‌های مختلف با سنجه RMSE در حوزه آبخیز کارون بزرگ

گروه بازسازی	رودخانه- ایستگاه	مقادیر RMSE در روش‌های مختلف بازسازی					
		NR	GR	SLR	MLR	AR	ANNs
گروه ۳	سراب سفید- ونایی	۰/۶۴	۱/۵۲	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۳۷
	گله رود- ونایی	۰/۸۱	۱/۴۹	۰/۷۷	۰/۵۷	۰/۶۹	۰/۶۶
	کمندان- کمندان	۲/۶۴	۱۲/۹۷	۰/۵۹	۰/۵	۰/۶	۰/۶۳
	ماربره- دره تخت	۸/۲۱	۱۰/۳۹	۶/۲	۶/۵۵	۶/۸	۵/۸۴
	تیره- درود	۱۰/۴۲	۲۱/۳۸	۱۱/۶	۱۳/۳۶	۱۳/۰۸	۸/۷۱
گروه۴	سرخاب- کشور	۴/۲۳	۱۴/۶۲	۳/۷۷	۳/۵۹	۴/۳۲	۳/۵۸
	زاز-سپید دشت	۶/۰۰	۱۴/۴۱	۳/۹۶	۳/۱۵	۱۲/۵۷	۴/۴
	آب سبزه- چم چیت	۲/۹۵	۱۳/۹۹	۱/۳۸	۱/۳۴	۳/۰۲	۱/۴۱
	ماربره- درود	۱۰/۳	۱۳/۹۸	۹/۵۲	۶/۶۵	۱۰/۷۸	۸/۶۳
	تیره- درود	۷/۲۹	۱۴/۱۹	۱۲/۷۶	۷/۸۹	۱۲/۶۹	۸/۶۲
	شاوور- پل شاوور	۸/۲۷	۲۸۶/۹	۵/۷۵	۶/۴۷	۴/۰۹	۶/۴۷
گروه ۵	دز- دزفول	۵۶/۴۷	۱۲۷/۶	۴۵/۵۴	۴۹/۹۳	۱۳۶/۹	۶۶/۰۰
	دز- حرمله	۵۷/۸	۱۴۶/۷	۶۷/۹۷	۶۲/۷۲	۱۱۴/۴	۴۱/۷
	دز- بامدژ	۸۶/۹۵	۸۸/۴۵	۷۲/۶۱	۷۹/۳۸	۱۲۴/۶	۶۱/۷
	دز- تله زنگ	۱۱۰/۵۰	۱۵۶/۲۰	۹۵/۴۹	۱۱۰/۲۰	۱۲۴/۰۰	۱۳۱/۰۰
گروه ۶	کارون- ملاثانی	۱۳۵/۳۰	۴۰۵/۰۰	۹۷/۳۷	۱۲۹/۴۰	۲۷۴/۵۰	۵/۷۰
	کارون- سدگتوند	۱۲۸/۱۰	۱۴۸/۷۰	۷۶/۰۲	۱۰۴/۹۰	۱۹۴/۲۰	۵۵/۲۰
	کارون- اهواز	۹۹/۳۴	۲۷۸/۹۰	۹۱/۴۷	۸۵/۰۷	۲۸۰/۴۰	۵۸/۰۰
	دز- حرمله	۶۴/۰۱	۲۲۱/۳۰	۶۷/۹۷	۶۸/۸۵	۱۱۴/۴۰	۴۴/۷۰
	دز- بامدژ	۹۳/۵۴	۴۰۳/۲۰	۷۲/۶۱	۹۳/۶۲	۱۲۴/۶۰	۶۰/۸۰
گروه ۷	سراب سفید- ونایی	۰/۵۴	۱/۵۲	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۲	۰/۳۷
	گله رود- ونایی	۰/۶۲	۱/۴۹	۰/۷۷	۰/۵۶	۰/۶۹	۰/۷۱
	کمندان- کمندان	۰/۶۰	۲۰/۷۵	۰/۵۹	۰/۶۰	۰/۶۰	۰/۵۵
	تیره- درود	۱۱/۶۷	۲۶/۶۴	۱۴/۰۷	۱۱/۱۱	۱۳/۰۸	۲۰/۸۰
گروه ۸	سراب سفید- ونایی	۰/۵۵	۱/۵۲	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۳۲
	گله رود- ونایی	۰/۷۰	۱/۴۶	۰/۵۸	۰/۵۳	۰/۷۷	۱/۱۵
	سیلا خور- رحیم آباد	۱/۹۹	۲/۸۸	۲/۰۳	۲/۲۵	۲/۸۴	۱/۸۸
	تیره- درود	۱۰/۹۲	۲۴/۱۳	۹/۴۱	۱۰/۰۴	۱۳/۹۶	۹/۲۱
گروه ۹	دز- تله زنگ	۶۵/۱۰	۳۲۱/۷۰	۷۱/۷۶	۵۸/۹۹	۱۲۸/۷۰	۵۲/۴۰
	زاز- سپیددشت	۵/۶۸	۲۰/۹۵	۳/۹۶	۳/۰۹	۱۲/۵۷	۳/۷۰
	سرخاب- کشور	۳/۳۲	۹۶/۶۲	۳/۴۹	۳/۱۴	۴/۳۲	۳/۰۴
	آب سبزه- چم چیت	۱/۷۵	۳۴/۲۵	۱/۳۸	۱/۲۶	۳/۰۲	۱/۴۴
گروه ۱۰	بشار- شاه مختار	۶/۷۵	۱۲/۲۱	۷/۸۲	۸/۰۹	۱۶/۳۴	۷/۷۱
	بشار- دارشاهی	۸/۸۹	۱۱/۵۱	۱۵/۲۸	۱۳/۷۸	۱۸/۸۱	۱۰/۷۲
	کبکیان- بطاری	۶/۳۴	۳۵/۳۱	۱۰/۷۳	۷/۷۵	۱۸/۹۶	۷/۴۶
	بشار- بطاری	۱۴/۲۹	۴۰/۳۸	۳۲/۶۹	۱۵/۷۴	۲۹/۷۶	۱۰/۴۲
گروه ۱۱	کارون- ملاثانی	۱۳۱/۹۴	۴۲۷/۵۵	۸۶/۵۱	۱۰۰/۴۷	۲۷۰/۴۸	۷۶/۶
	کارون- سدگتوند	۱۲۰/۶۴	۲۷۳/۱۰	۷۳/۲۴	۸۱/۵۳	۱۹۴/۴۳	۶۲/۹۲
	کارون- اهواز	۱۲۵/۳۴	۲۸۵/۴۹	۸۱/۷۵	۶۹/۷۶	۲۷۰/۲۷	۵۴/۵۴
	شور- بتوند	۳/۸۷	۵۷۴/۵۱	۳/۹۷	۶/۳۴	۴/۳۸	۵/۴۴
	دز- بامدژ	۱۲۰/۱۶	۴۳۸/۳۱	۱۰۵/۲۹	۱۰۵/۰۰	۱۳۸/۰۱	۸۹/۷۳

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- اولویت هریک از روش‌های بازسازی دبی ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری حوزه آبخیز کارون بزرگ

کد زیرحوزه	رودخانه	ایستگاه	تعداد بازسازی	اولویت بازسازی					
				۶	۵	۴	۳	۲	۱
	سراب سفید	ونایی	۳	GR	NR	MLR	ANNs	SLR	AR
	گله رود	ونایی	۴	GR	NR	SLR	AR	ANNs	MLR
	کمندان	کمندان	۳	GR	NR	ANNs	AR	SLR	MLR
۳-۳-۱	تیره	درود	۵	MLR	GR	SLR	AR	ANNs	NR
	ماربره	درود	۲	GR	AR	NR	MLR	SLR	ANNs
	ماربره	دره تخت	۲	GR	NR	AR	MLR	SLR	ANNs
	سیلاخور	رحیم آباد	۱	GR	AR	MLR	SLR	NR	ANNs
	آب سبزه	چم چیت	۳	GR	AR	NR	ANNs	SLR	MLR
	سرخاب	کشور	۲	GR	AR	SLR	NR	MLR	ANNs
۳-۳-۲	زاز	سپید دشت	۲	GR	AR	NR	ANNs	SLR	MLR
	دز	تله زنگ	۲	GR	AR	SLR	NR	MLR	ANNs
	دز	دزفول	۱	AR	GR	ANNs	NR	MLR	SLR
	دز	حرمله	۲	GR	AR	SLR	MLR	NR	ANNs
۳-۴-۴	دز	بامدژ	۳	AR	GR	NR	MLR	SLR	ANNs
	شاوور	پل شاوور	۱	GR	NR	ANNs	MLR	SLR	AR
	بشار	شاه مختار	۲	AR	GR	MLR	NR	SLR	ANNs
	بشار	دار شاهی	۱	AR	SLR	MLR	GR	ANNs	NR
	بشار	بطاری	۱	GR	SLR	AR	MLR	NR	ANNs
	ماربره	دهکده شهید	۱	GR	AR	NR	MLR	SLR	ANNs
۳-۴-۱	کبکیان	بطاری	۲	GR	AR	MLR	ANNs	NR	SLR
	ماربره	کتا	۱	GR	AR	NR	SLR	MLR	ANNs
	کرم رود	پتاوه	۱	GR	AR	SLR	NR	MLR	ANNs
	خرسان	بارز	۱	GR	AR	NR	SLR	MLR	ANNs
	کارون	ملاثانی	۲	GR	AR	NR	MLR	SLR	ANNs
	کارون	اهواز	۲	GR	AR	NR	SLR	MLR	ANNs
۳-۴-۴	کارون	سد گتوند	۲	GR	AR	NR	MLR	SLR	ANNs
	شور	بتوند	۱	GR	MLR	ANNs	AR	SLR	NR

Archive of SID

www.SID.ir

همان طوری که از جدول ۳ مشخص است، بعضی از ایستگاه‌ها مانند ایستگاه کمندان در چند گروه بازسازی قرارگرفته و معمولاً روش مطلوب برای بازسازی داده‌های این ایستگاه‌ها در گروه‌های مختلف یکسان به دست آمده است. لیکن در مواردی که نتایج یکسان نیست، ملاک تصمیم‌گیری برای تعیین روش برتر با توجه به نقشه حوزه و موقعیت ایستگاه می‌باشد. مثلاً در حالتی که ایستگاه مورد نظر در یک گروه، در پایین دست سایر ایستگاه های آن گروه قرار گرفته باشد، روش بدست آمده در آن گروه ملاک عمل خواهد بود (۱۰).

با توجه به توضیحات فوق و بررسی‌های انجام شده اولویت روش‌های بازسازی دبی ماهانه هریک از ایستگاه‌های حوزه کارون بزرگ تعیین گردید که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول کد زیر حوزه از سمت چپ به راست به ترتیبی نشان دهنده کدهای منطقه مطالعاتی، حوزه آبخیز و ایستگاه هیدرومتری می‌باشد. در جدول ۴ اولویت ۱ به معنای بهترین روش بازسازی می‌باشدبا توجه به جدول ۴ می‌توان درصد فراوانی هریک از روش‌های بازسازی را در اولویت‌های مختلف ایستگاه‌های حوزه کارون بزرگ تعیین کرد و براساس آن روش‌های مختلف را مورد مقایسه قرار داد نتایج این بررسی در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- درصد فراوانی روش‌های بازسازی دبی ماهانه حوزه آبخیز کارون بزرگ در هر اولویت

اولویت بازسازی	روش بازسازی					
	NR	GR	SLR	MLR	AR	ANNs
۱	۱۱/۱۱	۰/۰۰	۷/۴۱	۱۴/۸۱	۷/۴۱	۵۹/۲۶
۲	۱۴/۸۱	۰/۰۰	۴۸/۱۵	۲۵/۹۳	۰/۰۰	۱۱/۱۱
۳	۱۸/۵۲	۳/۷۰	۱۴/۸۱	۳۳/۳۳	۱۴/۸۱	۱۴/۸۱
۴	۳۷/۰۴	۰/۰۰	۲۲/۲۲	۱۸/۵۲	۷/۴۱	۱۴/۸۱
۵	۱۸/۵۲	۱۴/۸۱	۷/۴۱	۳/۷۰	۵۵/۵۶	۰/۰۰

با توجه به قسمت نتایج ملاحظه می‌شود که روش ANNs با فراوانی ۵۹/۲۶ درصد در اولویت نخست، روش برتر بازسازی دبی ماهانه در حوزه مورد مطالعه می‌باشد و روش‌های رگرسیون ساده، رگرسیون چند متغیره، نسبت نرمال، اتورگرسیو و محور مختصات با بیشترین درصد فراوانی در دیگراولویت‌ها، جایگاه‌های بعدی را در اختیار دارند در نتیجه می‌توان روش شبکه‌های عصبی مصنوعی را به عنوان یک روش قابل اطمینان در برآورد داده‌های گم‌شده دبی ماهانه دانست.

روش محور مختصات که اساساً برای تخمین بارش پیشنهاد گریده است، دارای حداکثر خطا در تخمین داده‌های گم‌شده دبی بوده و در برآورد آن ناتوان می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1. Abareshi, B. 1996. Sensible Heat Flux Estimation over a Praire Grassland by Neural Networks. M.S. Thesis. Mc Gill Univ. Montreal, 114 pp.
2. Abeb, AJ., D.P. Solomatine and R.G.W. Vennerker. 2000. Application of Adaptiv Fuzzy Rule-Based Methods for Reconstruction of Missing Precipitation Events., Hydrological Science Journal, 45(3), pp: 425-436.
3. Ashrafzadeh, A. 1999. Estimation of evaporation using artificial neural networks, MSC thesis, Tehran University, 103 p.
4. French, M.N., W.F. Krayewski and R.R. Cuykendall. 1992. Rainfall Forecasting in Space and Time Using a Neural Networks. J. Hydrol. 137: 1-37.
5. Jain, S.K., A. Das and D.K. Srivastava. 1999. Application of ANN for Reservoir Inflow Prediction and Operation. J. Water Res. Plan. Manage. 125(5): 263-271.
6. Karamooz, M. and S. Araghinejad. 2005. Advanced Hydrologh, Amirkabeer University press. 480 p.
7. Kobayashi, K. and M.U. Salam. 2000. Comparing Simulated and Measured Values Using Mean Squared Devitation and Its Component. Agron. J., 92: 345-352.
8. Lookzadeh, S. 2004. Evaluation of some methods for reconstruction of rainfall data in Alborz region, MSc, thesis, Tehran University, P. 96.
9. Mahdizadeh, M. 2004. Artificial neural networks and its application in civil engineering, Ebadi Press, 192 p.
10. Naghdi, R. 2005. Reconstruction of discharge data of Karron basin using artificial neural networks and its compassion with other methods, MSc thesis, Shahrekord University, P. 154.
11. Najafi, M. and F. Meesaghi. 2005. Study of Dez river basin sedimentation using artificial neural networks, Proc. of first conference on sediment management, Ahvaz University, pp: 314-325.
12. Thirumalaian, K. and M.C. Deo. 1998. River Stage Forecasting Using Artificial Neural Network. J. Hydrol. Eng. 3(1): 26-32.
13. You, J., K.G. Hubbard and S. Goddard. 2004. Comparison of air Temperature Estimates from Spatial Regression and Inverse Distance Method. Submitted to J. Atmos. Oceaanic Tech.

Archive of SID

www.SID.ir

Comparison of Different Methods for Estimating of Monthly Discharge Missing Data in Grand Karoon River Basin

R. Naghdi[1], M. Shayannejhad[2] and S.J. Sadatinejad[3]

Abstract

Acceptable statistical data is the main basis for hydrological studies. Because there are lots of continuous and disperse blanks in most of hydrological data such as river discharge, it is necessary to estimate and forecast these data by suitable methods. These blanks are caused by different factors such as loss of data record, elimination of incorrect data and disordered function of measurement instruments. There are many procedures to estimate and regenerate these data, and depending on the condition of a given station, a particular procedure may produce the best results. In this study, the method of artificial neural networks has been compared to other methods including normal ratio, graphical, simple linear regression, multivariate linear regression and time series (auto regression) methods, in order to regenerate the monthly and annual discharge data for hydrometric stations in Grand Karoon river basin. After eliminating observed data, their values were estimated using mentioned procedures. Then, the priority of each procedure was assessed by means of rooted mean square of errors (RMSE). The results of monthly data regeneration indicated that artificial neural networks was the best procedure in most stations with a frequency value of 59.26%.

Keywords: Regeneration, Grand Karoon river basin, Artificial neural networks, Monthly discharge

Archive of SID

1- M.Sc Students, College of Agriculture, University of shahrekord
2- Assistant Professor, College of Agriculture, University of shahrekord
3- Assistant Professor, College of Natural Resorce, University of shahrekord

www.SID.ir