

استفاده از محاسبات نرم در پیش‌بینی و برآورد دبی جریان و بررسی جریان زیست-محیطی (مطالعه موردی: رودخانه خرخره‌چای)

جواد بهمنش^{۱*}، سمیه مصطفوی^۲ و سروین زمان‌زاد قویدل

^۱ دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

^۲ دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(دریافت: ۹۴/۹/۲۶، پذیرش: ۹۵/۴/۱۲، نشر آنلاین: ۹۵/۴/۱۳)

چکیده

پیش‌بینی جریان رودخانه و جریان زیست‌محیطی به منظور تأمین نیاز اکوسیستم رودخانه، بهره‌برداری و برنامه‌ریزی منابع آب، لازم و ضروری است. در تحقیق حاضر، ابتدا عملکرد مدل‌های فازی-عصبی و برنامه‌ریزی بیان ژن برای پیش‌بینی جریان رودخانه خرخره‌چای مورد بررسی قرار گرفت. رودخانه خرخره‌چای از شعب رودخانه سقز در استان کردستان است که از تلاقی سه شاخه آب رغجو، ایراب، پیرسلیمان در روستای خرخره‌چای به وجود آمده است. در مهندسی منابع آب استفاده از داده‌های ایستگاه مجاور و مشابه جهت پیش‌بینی جریان در ایستگاه فاقد آمار مورد توجه می‌باشد. بدین منظور از داده‌های روان آب ماهانه ایستگاه هیدرومتری صفاخانه بر روی رودخانه ساروق‌چای به مدت ۲۱ سال جهت پیش‌بینی جریان خرخره در ایستگاه سنته استفاده گردید. همچنین در این تحقیق اثرات دوره‌ای و فصلی جریان ماهانه بر روی عملکرد پیش‌بینی مدل‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از پیش‌بینی جریان، در بخش دوم تحقیق جریان زیست‌محیطی رودخانه ساروق‌چای با استفاده از دو روش اکو-هیدرولوژیک DRIM، FDC Shifting برآورد شد. در بخش اول مطالعه، نتایج نشان داد که روش‌های فازی-عصبی و برنامه‌ریزی بیان ژن نتایج قابل قبولی در پیش‌بینی جریان رودخانه داشتند. با این وجود مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به دلیل ارائه رابطه ریاضی حاکم بر مسأله مورد مطالعه نسبت به مدل فازی-عصبی برتری داشت. نتایج بخش دوم تحقیق نشان داد که برای حفظ رودخانه ساروق‌چای در حداقل وضعیت اکولوژیکی قابل قبول (کلاس مدیریت زیست‌محیطی C)، به طور متوسط، شدت جریان ۲/۰۵ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۲۳ درصد متوسط جریان سالانه) در طول رودخانه تا دریاچه ارومیه، بایستی برقرار باشد.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی، جریان زیست‌محیطی، حوضه آبریز دریاچه ارومیه، برنامه‌ریزی بیان ژن، فازی عصبی.

۱- مقدمه

استفاده از روش‌های هوشمند برای پیش‌بینی جریان رودخانه-ها، در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققان از جمله محققان منابع آب و هیدرولوژی بوده است. در این خصوص، سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی^۱ (ANFIS) و برنامه‌ریزی بیان ژن^۲ (GEP) نیز از جمله روش‌هایی است که در الگوبندی پدیده‌های غیرخطی کاربرد فراوانی دارد. روش‌های مختلفی در سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی به منظور طبقه‌بندی داده‌ها وجود دارد که از جمله می‌توان به دو روش افراز شبکه^۳ و دسته‌بندی تفریقی^۴ اشاره نمود. به تعدادی از این تحقیقات در ادامه اشاره می‌شود. دستورانی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی کارایی الگوهای شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و ANFIS در الگوبندی بارش-

جریان آب زیست‌محیطی عبارت است از رژیم آب فراهم شده برای یک رودخانه، تالاب یا ناحیه ساحلی به منظور حفاظت از اکوسیستم‌ها و منافع آنها، در مواقعی که مصارف رقابت‌کننده وجود دارند و جریان‌ها تنظیم شده‌اند (Dyson و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین پیش‌بینی جریان‌های رودخانه‌ای به منظور طراحی، بهره‌برداری و برنامه‌ریزی منابع آب ضروری به نظر می‌رسد. پیش‌بینی-های انجام شده در دوره‌های زمانی کوتاه و بلندمدت به منظور بهینه نمودن مصرف آب یا برنامه‌ریزی برای توسعه‌های آبی منابع آب لازم است (Kisi، ۲۰۰۸).

3. Grid partitioning
4. Subtractive clustering (Sub-Clustering)

1. Adaptive neuron-fuzzy inference system
2. Gene expression programming

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۴۱۴۶۰۲۷۲

آدرس ایمیل: j.behmanesh@urmia.ac.ir (ج. بهمنش)، mostafavism87@yahoo.com (س. مصطفوی)، snzghavidel@gmail.com (س. قویدل).

رودخانه تانگو واقع در ایالات متحده آمریکا به کار گرفتند. آن‌ها از مقادیر رسوب قبلی و جریان جهت پیش‌بینی بار معلق استفاده کردند. نتایج حاصل شده با روش GP حاکی از عملکرد بهتر آن در مقایسه با روش‌های منحنی سنج و رگرسیون خطی چندگانه بود. به منظور تعیین نیاز آب زیست محیطی، با توجه به مقیاس مکانی مطالعه، داده‌های موجود، گام زمانی ارزیابی و ظرفیت‌های فنی و مالی، روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از روش‌های سریع در سطح شناسایی با هدف برنامه‌ریزی کلان منابع آب تا روش‌های دقیق‌تر برای یک رودخانه دارای گونه‌های حفاظت شده می‌توان نام برد. در حدود ۲۰۷ روش برای تعیین نیاز آب زیست محیطی رودخانه‌ها در ۴۴ کشور از سراسر جهان شناسایی شده است که این روش‌ها را به طور عمده می‌توان در قالب پنج روش متمایز شامل: روش هیدرولوژیکی، روش درجه‌بندی هیدرولوژیکی، روش شبیه‌سازی زیستگاه‌ها، روش جامع و روش ترکیبی طبقه‌بندی کرد (Tharme, ۲۰۰۳). Hannart و Hughes (۲۰۰۳) برای ارزیابی‌های اولیه نیازهای جریان زیست محیطی رودخانه‌ها در افریقای جنوبی یک روش رومیزی بنام "مدل ذخیره رومیزی" را توسعه دادند. کاربر یک شاخص هیدرولوژیکی را با استفاده از داده‌های جریان رودخانه در محل محاسبه می‌کند. سپس، منحنی‌هایی برای تعریف درصدی از حجم میانگین آورد سالیانه^۵ (MAR) که برای مؤلفه‌های مختلف (کم‌آبی‌ها و سیلاب‌ها) رژیم جریان زیست محیطی مورد نیاز است، بکار گرفته می‌شوند. این روش بر این پایه است که تحت وضعیت‌های طبیعی، قسمت‌های مختلف رژیم جریان، نقش‌های مختلفی در عملکرد اکولوژیکی یک رودخانه بازی می‌کنند و بنابراین حفظ تفاوت‌های اساسی بین جریان‌های فصول تر و خشک، ضروری است.

Anputhas و Smakhtin (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای برای ارزیابی شدت جریان زیست محیطی ۱۳ رودخانه در هند از روشی بر پایه منحنی تداوم جریان استفاده کردند. این روش از داده‌های جریان ماهیانه استفاده می‌کند و با تضمین این که تغییرپذیری جریان طبیعی در سری زمانی جریان زیست محیطی به دست آمده حفظ شود، نیاز جریان زیست محیطی را برای کلاس‌های مختلف مدیریت زیست محیطی رودخانه ارائه می‌دهد. یکی از نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که رودخانه‌های با رژیم جریان متغیر مانند Mahi و Sabarmati در بیشتر کلاس‌های مدیریتی جریان زیست محیطی کمتری دارند. Kashaigili و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه حوضه آبریز رودخانه Great Ruaha در تانزانیا از مدل DRM برای ارزیابی جریان زیست محیطی این حوضه استفاده کردند. آنها براساس نتایج حاصل از مدل، ۲۲ درصد

رواناب در حوضه آبخیز سد زاینده‌رود پرداختند و نتایج را با روش‌های آماری مقایسه کردند. نتایج نشان داد که هر دو الگو با به کارگیری پارامترهای ورودی و ساختار مناسب نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهند. Nayak و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی عملکرد ANFIS در پیش‌بینی رواناب پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که الگوی ANFIS در مقایسه با ANN و سری‌های زمانی به لحاظ سرعت محاسبات، خطای پیش‌بینی، کارایی و تخمین مقدار حداکثر رواناب عملکرد بهتری دارد. Chen و Chang (۲۰۰۱) برای پیش‌بینی جریان رودخانه داجا^۱ در مرکز تایلند از ANFIS استفاده کردند. آن‌ها برای الگوبندی از داده‌های بارش و جریان استفاده کردند. نتایج به دست آمده حاکی از عملکرد بهتر ANFIS در مقایسه با مدل‌های سری زمانی بود. Firat و Gungor (۲۰۰۷) به بررسی کارایی الگوی ANFIS در پیش‌بینی رواناب روزانه رودخانه-ای در ترکیه پرداختند. عملکرد الگوی ANFIS در بخش‌های آموزش و آزمون الگو مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ANFIS از دقت قابل قبولی در پیش‌بینی رواناب برخوردار است. Panda و Pramanik (۲۰۰۹) از الگوهای ANN و ANFIS برای پیش‌بینی رواناب حوضه‌ای در هندوستان استفاده کردند. آن‌ها پنج الگوی ورودی مختلف را جهت الگوبندی به کار بردند. نتایج نشان داد الگوی که در آن از سه گام زمانی پیشین استفاده شده بود، عملکرد بهتری دارد. همچنین رواناب خروجی تخمینی با الگوی ANFIS در مقایسه با الگوی ANN مطابقت بهتری با داده‌های مشاهداتی داشت. Talei و همکاران (۲۰۱۰) از ANFIS جهت الگوبندی بارش-رواناب استفاده کردند. نتایج مطالعات نشان داد الگویی که در آن از رواناب‌های پیشین تا دو گام زمانی قبل‌تر استفاده شده بود، عملکرد و دقت بیشتری در مقایسه با سایر الگوهای به کار گرفته شده دارد.

Kisi و Sanikhani (۲۰۱۲) از دو روش مختلف ANFIS شامل افزای شبکه و دسته‌بندی تفریقی برای پیش‌بینی میزان جریان رودخانه در دو ایستگاه هیدرومتری واقع در کشور ترکیه استفاده نمودند. آن‌ها از مقادیر جریان‌های پیشین برای الگوبندی استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که دو روش در پیش‌بینی میزان جریان دقت قابل قبولی داشتند. AYTEK و Alp (۲۰۰۸) برای الگوبندی فرآیند بارش-رواناب از GEP و دو الگوی مختلف ANN استفاده کردند. آن‌ها برای انجام الگوبندی از داده‌های سه ایستگاه باران‌سنجی و یک ایستگاه آب‌سنجی در حوضه‌ای از ایالت پنسیلوانیا^۲ کشور آمریکا استفاده کردند. نتایج به دست آمده دقت و کارایی الگوی GP را در مقایسه با الگوهای ANN نشان داد. Kisi و AYTEK (۲۰۰۸) روش GP را برای شبیه‌سازی بار معلق در

4. Desktop Reserve Model: DRM
5. Mean Annual Runoff

1. Dacha
2. Pennsylvania State
3. Tongue

بررسی تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که گستره مطالعات صورت گرفته در خصوص به کارگیری روش GEP برای پیش‌بینی جریان رودخانه محدود است. لذا این تحقیق با هدف بررسی عملکرد GEP و ANFIS مبتنی بر روش افراز شبکه در تخمین داده‌های گمشده جریان ماهانه توسط داده‌های جریان ایستگاه مجاور انتخاب و انجام شد. با توجه به بحران آبی و شرایط اکولوژیک خاص دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر و اهمیت پیش‌بینی و برآورد نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها در حوضه مذکور، تحقیق حاضر به دلیل تأمین آب قابل توجه دریاچه ارومیه توسط رودخانه زربینه رود، انجام گردید. این تحقیق در دو بخش کلی ارائه می‌شود. بخش اول به پیش‌بینی جریان ماهانه در ایستگاه فاقد داده‌های جریان با دو روش ذکر شده می‌پردازد. در بخش دوم نیز به برآورد جریان زیست‌محیطی با دو روش تغییر منحنی تداوم جریان (FDC shifting) و روش مدل ذخیره رومیزی (DRM) پرداخته می‌شود.

۲- روش تحقیق

۲-۱- حوضه آبریز و داده‌ها

حوضه آبریز زربینه رود در موقعیت جغرافیایی $47^{\circ} 45'$ تا $47^{\circ} 24'$ طول شرقی و $41^{\circ} 35'$ تا $43^{\circ} 37'$ عرض شمالی، با وسعتی معادل ۱۳۶۸۵ کیلومترمربع، در جنوب و شرق زیرحوضه صوفی‌چای و در شمال، شرق و جنوب زیرحوضه سیمینه رود واقع شده است. مهم‌ترین رودخانه این زیرحوضه، زربینه رود است که یکی از بزرگترین رودهای دریاچه ارومیه و یکی از رودهای اصلی کشور است. در این تحقیق داده‌های جریان ماهانه در ایستگاه صفاخانه واقع بر رودخانه ساروق‌چای مورد استفاده قرار گرفتند. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. داده‌های مورد استفاده از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی تهیه شدند. دلیل انتخاب ایستگاه صفاخانه داشتن رژیم طبیعی جریان به دلیل واقع شدن در بالادست سد مخرنی بوکان در محدوده مورد مطالعه و همچنین داشتن داده‌های با کیفیت و طول آماری مناسب در مقایسه با سایر ایستگاه‌های منطقه بود. قابل ذکر است که مساحت حوضه‌های آبریز و مشخصات اقلیمی و هیدرولوژیک ایستگاه‌ها مشابه و ضریب تبیین دو ایستگاه صفاخانه و سننه برابر $0/76$ است.

MAR را به‌عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی پیشنهاد دادند. Mazvimavi و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای برای ارزیابی نیاز جریان زیست‌محیطی به منظور برنامه‌ریزی حوضه رودخانه در زیمباوه از روش DRM استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که به منظور حفظ زیستگاه در شرایط نسبتاً اصلاح شده، نیاز آب زیست‌محیطی باید بین ۳۰ تا ۶۰ درصد MAR در نواحی با رودخانه‌های دائمی و ۲۰ تا ۳۰ درصد MAR در نواحی خشک (با رودخانه‌هایی که فقط در طی فصل تر جریان دارند) باشد. Shiferaw (۲۰۰۷) در تحقیق خود تحت عنوان ارزیابی جریان زیست‌محیطی در رودخانه Blue Nile با استفاده از مدل DRM، نیاز زیست‌محیطی را در حداقل وضعیت قابل قبول ۳۰ درصد MAR پیشنهاد کرد.

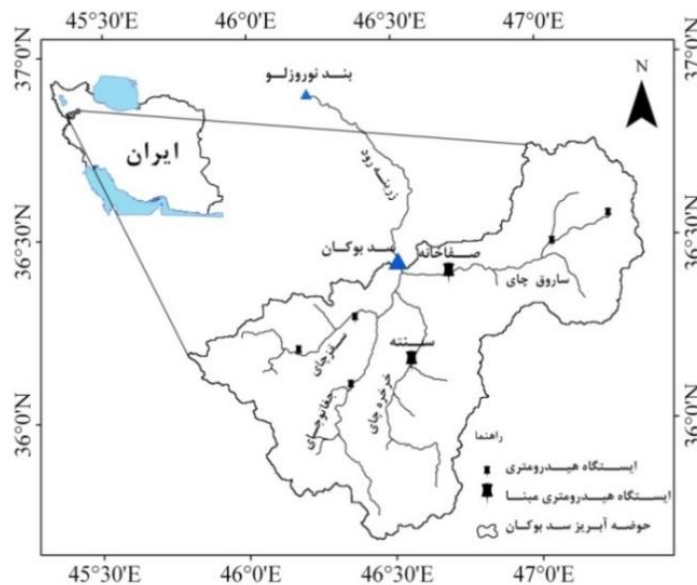
مهدی‌آبادی و روستایی (۱۳۸۷) با استفاده از روش بیلان آبی حقایق زیست‌محیطی تالاب گاوخونی را محاسبه کردند. آنها متوسط نیاز اکولوژیک تالاب به منابع آب زاینده‌رود در ماه‌های پرآبی را با در نظر گرفتن فصل مهاجرت پرندگان مهاجر (از اول آبان تا انتهای فروردین) معادل ۷۱ میلیون متر مکعب در ماه عنوان کردند. همچنین برای جلوگیری از خشک شدن کامل تالاب در ماه‌های دیگر (از اردیبهشت تا مهر) که عواقب آن در درازمدت به شهر اصفهان خواهد رسید، ضروری دانستند که حدود ۱۰ درصد جریان ارائه شده یعنی $7/1$ میلیون مترمکعب آب در ماه به تالاب اختصاص یابد.

شاعری (۱۳۸۹) برای ارزیابی زیست‌محیطی رودخانه‌های شهرچای، نازلوچای، باراندوزچای از مدل‌های IHA، DRM، GEFC استفاده کرد. نتایج این مطالعه نشان داد، جریان مورد نیاز برای رودخانه‌های مذکور در حداقل وضعیت اکولوژیکی قابل قبول به ترتیب $1/26$ ، $2/79$ ، $1/96$ مترمکعب در ثانیه می‌باشد.

احمدپور (۱۳۹۱) برای ارزیابی زیست‌محیطی رودخانه نازلوچای از پنج روش هیدرولوژیکی (درصدی از منحنی تداوم جریان، Tenant، RVA، DRM، FDC-shifting) استفاده نموده است و نتایج این بررسی نشان می‌دهد که برای حفاظت رودخانه نازلو در حداقل شرایط زیست‌محیطی قابل قبول، جریان پیوسته از حداقل $0/8$ مترمکعب برثانیه (در دو ماه مرداد و شهریور) تا حداکثر ۸ مترمکعب برثانیه (در ماه اردیبهشت)، در طول رودخانه و تا ورود به دریاچه ارومیه باید تأمین گردد.

جدول ۱- آماره‌های رواناب ماهانه رودخانه‌های مورد مطالعه

پارامترهای آماری						
نوع داده	ایستگاه	میانگین (m^3/s)	حداکثر (m^3/s)	حداقل (m^3/s)	انحراف معیار (m^3/s)	ضریب چولگی (m^3/s)
آموزش	صفاخانه	۸/۹۴	۸۸/۱۳	۰/۰۰۵	۱۵/۰۶	۲/۶۸
آزمون	صفاخانه	۵/۲۲	۳۵/۰۶	۰/۰۱	۷/۸۹	۲/۲۶



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

هر درجه‌ای از صحت قابل استفاده است. بخش فازی ANFIS رابطه‌ای بین متغیرهای ورودی و خروجی برقرار نموده که اصطلاحاً تابع عضویت^۶ نامیده می‌شود. الگوی فازی مرتبه اول نوع سوگنو در شکل (۲) با دو ورودی (x و y)، یک خروجی f، به همراه دو قانون فازی و همچنین الگوی ANFIS معادل آن نشان داده شده است.

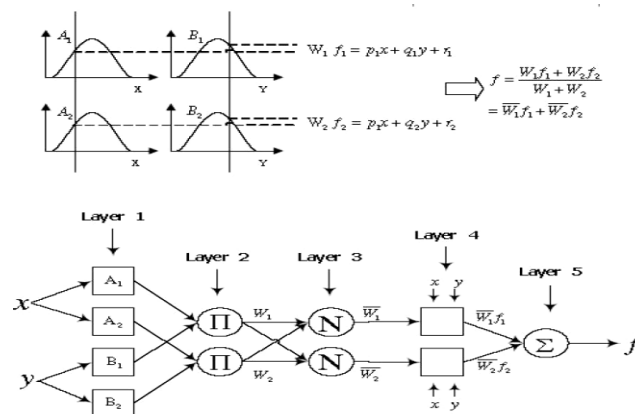
برنامه سامانه استنتاجی فازی-عصبی تطبیقی در محیط نرم-افزاری MATLAB کدنویسی گردید. پارامترهای اصلی مربوط به ساختار الگوی فازی-عصبی مدل دسته‌بندی تفریقی شامل شعاع دسته می‌باشد (Kennedy و همکاران، ۲۰۰۳). قابل ذکر است که در این تحقیق روش استفاده شده برای الگوی فازی-عصبی از نوع دسته‌بندی تفریقی می‌باشد.

داده‌های مشاهداتی جریان ماهانه در طول سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰ (۲۵۲ ماه) مورد استفاده قرار گرفتند. از داده‌های ۱۵ سال اول به منظور آموزش و از بقیه داده‌ها برای آزمون مدل‌ها استفاده شد. پارامترهای آماری ماهانه داده‌های جریان ایستگاه هیدرومتری در جدول (۱) نمایش داده شده است.

۲-۲- پیش‌بینی میزان جریان

۲-۲-۱- سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی

سامانه استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) برای اولین بار توسط Jang (۱۹۹۳) معرفی شد. این سامانه ابزاری جهانی برای تخمین توابع پیوسته حقیقی در دامنه‌ای محدود بوده و به ازای



شکل ۲- نمودار فازی مرتبه اول سوگنو با دو قانون فازی و ANFIS معادل

جدول ۲- مقادیر پارامترهای به کارگرفته شده در GEP

تعداد کروموزومها	۳۰	نرخ برگشت	۰/۱	نرخ ترکیب تک نقطه‌ای	۰/۳
طول هر رأس	۸	نرخ ترانهش ژنی	۰/۱	نرخ ترکیب دو نقطه‌ای	۰/۳
تعداد ژن‌ها	۳	نرخ جهش	۰/۰۴	نرخ ترکیب ژنی	۰/۱

۲-۲-۲- برنامه‌ریزی بیان ژن

برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) توسط Ferreira (۱۹۹۹) ارائه شد. عملگرهای مختلفی نظیر جهش و ترکیب در GEP استفاده می‌شود. روش مذکور، از روش معروف چرخ رولت نیز برای انتخاب افراد استفاده می‌کند. پدیده‌های مختلف در این روش با مجموعه‌ای از توابع و مجموعه‌ای از پایانه‌ها، الگوبندی می‌شوند. مجموعه توابع، معمولاً شامل چهار عمل اصلی $\{+, -, \times, /\}$ ، توابع مثلثاتی یا هر نوع تابع ریاضی دیگر $\{\sqrt{\quad}, x^2, \exp, \log, \sin, \cos, \dots\}$ و یا توابع تعریف شده توسط کاربر بوده که معتقد است می‌توانند برای تفسیر مناسب باشند. مجموعه پایانه‌ها از مقادیر ثابت و متغیرهای مستقل مسأله تشکیل شده‌اند (Ferreira, ۱۹۹۹ و ۲۰۰۶). اگر چه GEP در زمره الگوهای هوشمند قرار دارد، ولی ساختار و روند الگوبندی با آن به طور کلی با روش ANFIS متفاوت است. انتخاب تابع برازش مناسب اولین مرحله در الگوبندی است. آماره RMSE برای تشخیص تابع برازشی برتر انتخاب و الگوهای ورودی ANFIS برای GEP در این تحقیق استفاده شد. همچنین نرم‌افزار GeneXpro در این تحقیق برای اجرای GEP استفاده شد. به طور خلاصه پارامترهای استفاده شده در هر بار اجرای مدل که اغلب مقادیر پیش‌فرض نرم‌افزار هستند، در جدول (۲) ارائه شده است (Aytok و Kisi, ۲۰۰۸).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_i - t_i)^2} \quad (1)$$

تخمین جریان رودخانه در یک ایستگاه با داده‌های ایستگاه مجاور از موضوعات با اهمیت در هیدرولوژی و مهندسی رودخانه بوده و در ایستگاه‌های فاقد آمار حائز اهمیت است. لذا در این بخش از تحقیق به بررسی عملکرد الگوهای هوشمند ANFIS و GEP برای پیش‌بینی جریان ایستگاه سنته با استفاده از داده‌های ایستگاه صفاخانه پرداخته می‌شود. بر اساس مطالعات Sanikhani و Kisi (۲۰۱۲)، عملکرد الگوهای ورودی مختلف بر مبنای جریان‌های ماهانه پیشین و اثر فصلی و تناوبی بودن جریان ماهانه با اضافه کردن ضریب α در این بخش ارزیابی می‌شود. مقدار ضریب α بین ۱ و ۱۲ است. مقدار آن برای مثال در ماه فروردین برابر ۱ و اسفند برابر ۱۲ در نظر گرفته شد.

۲-۳- برآورد جریان زیست‌محیطی

۲-۳-۱- روش تغییر منحنی تداوم جریان (FDC shifting)
این روش که یک رژیم هیدرولوژیک برای حفاظت رودخانه در وضعیت اکولوژیکی مطلوب ارائه می‌دهد اصطلاحاً "انتقال منحنی

تداوم جریان" نامیده می‌شود و برای اولین بار توسط Smakhtin و Anputhas (۲۰۰۶) به منظور ارزیابی جریان زیست‌محیطی در سامانه رودخانه ارائه گردید. این روش برای کلاس‌های مختلف مدیریتی (جدول (۳)) جریان‌های مختلفی را ارائه می‌کند. در این روش چهار مرحله اصلی وجود دارد که عبارتند از:

- ۱) شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدرولوژیک موجود
- ۲) تعریف کلاس‌های مدیریتی زیست‌محیطی
- ۳) تولید منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی
- ۴) تولید سری زمانی جریان زیست‌محیطی ماهیانه

۱-۳-۲- شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود

اولین مرحله، تهیه منحنی تداوم جریان طبیعی (FDC) در بازه رودخانه‌ای مورد نظر با استفاده از داده‌های ماهیانه جریان می‌باشد. در این روش، محور احتمالات منحنی تداوم جریان با نمایش ۱۷ درصد احتمال وقوع (۰/۰۱، ۰/۱، ۰/۵، ۱/۰، ۲/۰، ۳/۰، ۴/۰، ۵/۰، ۶/۰، ۷/۰، ۸/۰، ۹/۰، ۹۵/۰، ۹۹/۰، ۹۹/۹۹) تهیه می‌گردد. این نقاط تضمین می‌کنند که تمام محدوده جریان‌ها به قدر کافی پوشش داده شده و همین‌طور ادامه کار را در مراحل بعدی آسان می‌سازند.

۲-۳-۱-۲- تعریف کلاس‌های مدیریتی زیست‌محیطی

در ارزیابی جریان زیست‌محیطی از روش Smakhtin و Anputhas (۲۰۰۶)، از داده‌های جریان ماهیانه رودخانه استفاده شده و بر مبنای منحنی تداوم جریان طبیعی و موجود رودخانه، منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس مورد نظر از مدیریت زیست‌محیطی تعیین می‌گردد. هدف تأمین جریان‌های زیست‌محیطی حفظ اکوسیستم در وضعیت‌های مورد نظر می‌باشد، که به‌عنوان "حالت آینده مطلوب"، "کلاس مدیریت زیست‌محیطی"، "رده مدیریت اکولوژیکی" یا "سطح حفاظت زیست‌محیطی" شناخته می‌شوند. کلاس بالاتر مدیریت زیست‌محیطی برای حفظ و نگهداری اکوسیستم نیازمند آب بیشتری خواهد بود. بطور ایده‌آل، این کلاس‌ها باید مبتنی بر روابط تجربی بین جریان و وضعیت‌های اکولوژیکی هم‌پیوند با آستانه‌های قابل شناسایی باشند. جای‌گیری یک رودخانه در یک کلاس مدیریت زیست‌محیطی معین، اغلب به وسیله قضاوت کارشناسانه صورت می‌گیرد. در این روش شش کلاس مدیریت زیست‌محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که به تفصیل در جدول (۳) توضیح داده شده‌اند.

جدول ۳- کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی

توصیف وضعیت اکولوژیکی	کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی (EMC)
تغییر نیافته	A
تا حد زیاد طبیعی و با تغییرات کم	B
نسبتاً تغییر یافته	C
تا حد زیادی تغییر یافته	D
آسیب‌دیدگی زیاد زیستگاه طبیعی	E
تغییرات در سطح بحرانی	F

۳-۱-۲- تولید منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی

پس از رسم منحنی تداوم جریان طبیعی، در مرحله بعد از تغییرات (شیفت) عرضی به سمت چپ در طول محور احتمال استفاده می‌شود تا منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس مدیریتی محاسبه می‌شود. یک شیفت در منحنی تداوم جریان طبیعی به این معنی است که جریانی که ۹۹/۹۹ درصد مواقع رخ می‌داد اکنون ۹۹/۹ درصد مواقع رخ می‌دهد.

مهم‌ترین مسئله در این روش استفاده مناسب از شیفت‌های عرضی در هر کلاس مدیریت زیست‌محیطی می‌باشد. تعیین تعداد شیفت‌های عرضی منحنی تداوم جریان در هر کلاس، بدون آگاهی از ارتباط بین مشخصات اکولوژیکی و تغییرات جریان در رودخانه‌ها با رژیم‌های هیدرولوژیکی مختلف، مشکل می‌باشد. از یک شیفت عرضی برای استخراج منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای رودخانه‌های کلاس A استفاده می‌شود، از دو شیفت عرضی به چپ برای رودخانه‌های کلاس B و به همین ترتیب برای رودخانه‌های کلاس C و D به ترتیب از سه و چهار شیفت عرضی استفاده می‌شود. هر شیفت به سمت چپ به این معنی است که اگرچه با هر شیفتی قسمتی از تغییرپذیری از بین می‌رود ولی الگوی کلی تغییرپذیری جریان حفظ می‌شود. این فقدان ناشی از اطمینان کاهش یافته جریان‌های ماهیانه می‌باشد، یعنی جریان‌های یکسان با فراوانی کمتری رخ خواهند داد. کل مقدار جریان زیست‌محیطی بیان شده به عنوان متوسط جریان زیست‌محیطی سالیانه کاهش می‌یابد.

۳-۱-۴- تولید سری زمانی جریان زیست‌محیطی ماهیانه

منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای هر کلاس، رژیم جریان زیست‌محیطی قابل قبول برای آن کلاس را بطور خلاصه ارائه می‌دهد. با استفاده از یک میان‌یابی فضایی می‌توان منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی را به سری‌های زمانی جریان زیست‌محیطی ماهیانه تبدیل کرد، به همین منظور از روشی که

Hughes و Smakhtin (۱۹۹۶) ارائه دادند، استفاده می‌شود. از این روش برای تولید سری زمانی سایت‌های فاقد اطلاعات با استفاده از سایت‌های دارای اطلاعات استفاده می‌شود. در این روش برای هر ماه، یک درصد بر روی منحنی تداوم جریان طبیعی تشخیص داده می‌شود و سپس در همان درصد، مقدار جریان ماهیانه از روی منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی قرائت می‌شود. با استفاده از سری‌های زمانی جریان ماهیانه طبیعی رودخانه، متوسط جریان سالیانه (MAR) محاسبه می‌شود، متوسط جریان زیست‌محیطی سالیانه^۹ (MAER) نیز با استفاده از سری‌های زمانی جریان ماهیانه زیست‌محیطی تولید شده، محاسبه می‌شود. سپس با تقسیم متوسط جریان زیست‌محیطی سالیانه بر متوسط جریان سالیانه (MAER/MAR) می‌توان درصدی از MAR را که باید برای هر کلاس مدیریتی به‌عنوان جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته شود، محاسبه کرد.

۳-۱-۵- معرفی نرم‌افزار GEFC

این نرم‌افزار در سال ۲۰۰۷ توسط مؤسسه بین‌المللی مدیریت منابع آب^{۱۰} (IWMI) در سریلانکا برای ارزیابی اولیه و سریع نیاز زیست‌محیطی در حوضه رودخانه‌ها با همکاری گروه تحلیل سیستم‌های آبی دانشگاه نیوهامپ شیر ایالات متحده توسعه یافته است.

نرم‌افزار GEFC^{۱۰} در ویژوال بیسیک ۲۰۰۵ کدنویسی شده است و از رویکرد ساده‌ای که توسط اسمختین و آنیوتاس (انتقال منحنی تداوم جریان) در سال ۲۰۰۶ ارائه شد، برای برآورد جریان زیست‌محیطی استفاده می‌کند. مراحل کار در GEFC به ترتیب عبارت است از:

- انتخاب منبع داده‌های ورودی
- نمایش مشخصات هیدرولوژیکی
- محاسبه جریان زیست‌محیطی و انتخاب کلاس مدیریتی زیست‌محیطی پیش فرض
- نمایش محاسبه سری زمانی جریان مرجع و جریان زیست‌محیطی

۳-۲- روش مدل ذخیره رومیزی (DRM):

این روش توسط Hughes و Hannart (۲۰۰۳) برای ارزیابی نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه‌ها ارائه شد. برای جبران فقدان اطلاعات اکولوژیکی، روش‌های متعددی برای ارزیابی جریان‌های زیست‌محیطی، توسعه یافته‌اند که منحصراً بر پایه شاخص‌های هیدرولوژیکی برگرفته از داده‌های تاریخی جریان می‌باشند.

9. International Water Management Institute
10. Global Environmental Flow Calculator

7. Environmental Management Class
8. Mean Annual Environmental Runoff

اجزای سازنده بین "سال‌های نرمال" و "سال‌های خشک" متفاوت می‌باشد. اولی تحت عنوان "نیازهای نگهداری" و دومی "نیازهای خشکسالی" نامیده می‌شود. فراوانی وقوع هر یک از سال‌های نگهداری و خشکسالی بر اساس تغییرپذیری رژیم هیدرولوژیکی طبیعی تعریف می‌شود. بنابراین سال‌های نگهداری متناوباً (۶۰ تا ۷۰٪) در رودخانه‌های تر رخ می‌دهند در حالی که در رودخانه‌های نیمه‌خشک و خشک با تناوب کمتری (۲۰٪ یا کمتر) اتفاق می‌افتند. بنابراین مجموعه اجزای سازنده، شامل جریان‌های کم‌آبی نگهداری، جریان‌های پرآبی نگهداری و جریان‌های خشکسالی می‌شود که تغییرپذیری طبیعی جریان را منعکس می‌کنند. مدل ذخیره رومیزی (DRM) برآوردهایی از این اجزای سازنده برای هر ماه از سال فراهم می‌کند.

فرض اصلی در DRM این است که انتظار می‌رود، رودخانه‌هایی با رژیم جریان پایدارتر (رودخانه‌هایی که نسبت بیشتری از جریان آنها به‌عنوان جریان پایه رخ می‌دهد) نیازهای جریان کم‌آبی بیشتری در سال‌های نرمال داشته باشند و رودخانه‌هایی با رژیم جریان متغیرتر نیازهای جریان کم‌آبی کمتری داشته باشند. نتیجه این فرضیات این است که متوسط نیاز زیست‌محیطی بلندمدت، برای رودخانه‌هایی با رژیم‌های جریان متغیرتر، کمتر می‌باشد. این فرض برگرفته از این فرضیه است که در رودخانه‌های با رژیم متغیر، گونه‌ها در برابر خشکی سازگار شده‌اند و در رودخانه‌های با رژیم پایدار، گونه‌ها به دلیل عدم تحمل شرایط تنش کم‌آبی در حالت طبیعی، برای حفظ شرایط مطلوب به جریان بیشتری نیاز دارند.

۱-۲-۳-۲- شاخص‌های تغییرپذیری جریان

تغییرپذیری جریان نقش مهمی در تعیین نیاز زیست‌محیطی ایفا می‌کند. در DRM دو مقیاس تغییرپذیری هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اولی نماینده‌ای از تغییرپذیری بلندمدت جریان‌های فصول تر و خشک می‌باشد و مبتنی بر محاسبه ضریب تغییرات (CV) برای تمام جریان‌های ماهیانه برای هر ماه می‌باشد. متوسط ضریب تغییرات جریان برای سه ماه مهم از هر دو فصل تر و خشک محاسبه می‌شود و مجموع این دو مقدار، شاخص ضریب تغییرات (CV-Index) نام می‌گیرد. این شاخص در افریقای جنوبی از کمتر از ۱ تا بیشتر از ۱۰ تغییر می‌کند.

شاخص اول تغییرات کوتاه‌مدتی را که در یک ماه یا یک فصل رخ می‌دهد به طور مناسب منعکس نمی‌کند و آشکار است که بدست آوردن چنین اطلاعاتی از داده‌های ماهیانه مشکل می‌باشد. شاخص دوم نسبتی از جریان کل می‌باشد که می‌تواند به عنوان جریان پایه مدنظر قرار گیرد (baseflow index). شاخص جریان پایه (BFI) بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند. رودخانه‌هایی با BFI نزدیک به ۱ نسبت به رودخانه‌هایی که BFI کمتری دارند، دارای

هرچند مشخص شده است که مشخصات زیست‌محیطی بیشماری، اکولوژی اکوسیستم آبی (از قبیل درجه حرارت، کیفیت آب و تیرگی) را تحت تأثیر قرار می‌دهند اما فرض مشترک این روش‌ها این است که رژیم جریان نیروی محرکه اصلی می‌باشد (Richter و همکاران، ۱۹۹۷). مدل ذخیره رومیزی (DRM) یکی از این روش‌ها می‌باشد که قادر است نیاز جریان اکولوژیکی را در شرایطی که یک ارزیابی سریع مورد نیاز است و داده‌های موجود محدود می‌باشند محاسبه کند. این مدل برای وضعیت‌های مشاهده شده در افریقای جنوبی توسعه یافته است. در افریقای جنوبی رودخانه‌ها نسبت به وضعیت اکولوژیکی مطلوب، تقسیم‌بندی می‌شوند و متعاقباً نیازهای جریان نیز طبقه‌بندی می‌گردند. این سیستم طبقه‌بندی نشان می‌دهد در عین حال که برخی رودخانه‌ها از نظر زیست‌محیطی پراهمیت هستند اما به دلیل نیازهای توسعه اجتماعی-اقتصادی همه رودخانه‌ها نمی‌توانند در وضعیت‌های نزدیک به شرایط طبیعی باقی بمانند. بنابراین چهار "کلاس مدیریت زیست‌محیطی" ممکن (A-D) تعریف می‌شود. کلاس A شامل رودخانه‌های طبیعی و تغییرنیافته می‌باشد. کلاس B رودخانه‌های تغییرنیافته ولی تا حد زیادی طبیعی، کلاس C رودخانه‌های نسبتاً تغییر یافته و کلاس D رودخانه‌های تا حد زیادی تغییر یافته با خسارات زیاد به زیستگاه طبیعی، بیوتا و عملکرد اساسی اکوسیستم می‌باشد. رودخانه‌های کلاس B و C بین این حدود قرار می‌گیرند (DWAFF, ۱۹۹۷). در این دسته‌بندی‌ها، طبقه‌بندی‌های انتقالی (مثلاً A/B و B/C) نیز برای افزایش محدوده جریان‌های زیست‌محیطی ممکن مورد استفاده قرار می‌گیرند، که این سیستم طبقه‌بندی در مدل DRM استفاده می‌شود و نیازهای جریان بر اساس آن محاسبه می‌شود. به کلاس بالاتر آب بیشتری برای حفظ اکوسیستم تخصیص داده می‌شود و تغییرپذیری جریان بیشتر حفظ می‌شود.

این مدل از مفاهیم روش اجزای سازنده (BBM) که در بسیاری موارد به عنوان یک رویکرد قانونی برای ارزیابی نیازهای جریان زیست‌محیطی شناسایی شده، استفاده می‌کند (Hughes و Hannart, ۲۰۰۳). این روش بر این پایه است که تحت وضعیت‌های طبیعی، قسمت‌های مختلف رژیم جریان، نقش‌های مختلفی در عملکرد اکولوژیکی یک رودخانه بازی می‌کنند و بنابراین حفظ تفاوت‌های اساسی بین جریان‌های فصول تر و خشک، ضروری است. بنابراین اجزای سازنده (BBS) مؤلفه‌های مختلف جریان هستند که با هم ترکیب شده و یک رژیم جریان قابل قبول از نظر اکولوژیکی را ایجاد می‌کنند. اجزای سازنده اصلی جریان‌های کم-آبی (جریان‌های پایه)، افزایش‌های کوچک در جریان و جریان‌های پرآبی بزرگتر مورد نیاز برای حفظ کانال رودخانه می‌باشند (Munster و Hughes, ۲۰۰۰).

خطا و قدر مطلق میانگین خطا حاکمی از عملکرد بهتر مدل می‌باشد (Kisi و Sanikhani، ۲۰۱۲).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - t_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i^2 - \frac{\sum_{i=1}^n t_i^2}{n}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - t_i| \quad (3)$$

در روابط فوق، n تعداد داده‌ها، t_i مقدار پیش‌بینی شده برای جریان رودخانه توسط مدل، O_i مقدار اندازه‌گیری شده برای جریان رودخانه در گام زمانی i ام می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- پیش‌بینی رواناب با داده‌های ایستگاه مجاور

برای پیش‌بینی رواناب ماه جاری ایستگاه سننه از داده‌های رواناب ماه‌های جاری و قبل ایستگاه صفاخانه به عنوان ورودی الگوهای هوشمند استفاده گردید (جدول (۴)). ساختار اصلی ANFIS مبتنی بر روش افراز شبکه، به‌زای ورودی‌های مختلف با آزمون و خطا به دست آمد. ساختار و شاخص‌های ارزیابی شامل ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا برای الگوی فازی-عصبی در دوره آزمون جهت پیش‌بینی جریان در ایستگاه سننه در جدول (۴) ارائه شده است. تفاوت الگوهای ۱ و ۲ در به‌کارگیری ضریب α است. شکل (۳) مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل فازی-عصبی تطبیقی در دوره آزمون در ایستگاه سننه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، می‌توان دید که الگوی شماره ۲ تخمین بهتری از مقادیر حداقل و حداکثر جریان در مقایسه با الگوی شماره ۱ دارد. البته قابل ذکر است که عملکرد مدل ANFIS (فصلی) در پیش‌بینی مقادیر حداقل به مراتب بهتر از مقادیر حداکثر بوده است.

تغییرپذیری کمتری می‌باشند (به عبارت دیگر جریان با دبی پایه بیشتر تغییرپذیری کمتری دارد). مدل، BFI را از طریق داده‌های جریان ماهیانه محاسبه می‌کند. این دو شاخص تغییرپذیری (BFI و CV) یکدیگر را کامل می‌کنند. شاخص CV بیشتر بازتابی از تغییرپذیری مربوط به آب و هوا (چرخه دوره‌های تر و خشک) می‌باشد، در حالی که BFI ارتباط نزدیکی با فرآیند تولید رواناب دارد. بنابراین ترکیب منطقی این دو برای تولید یک شاخص کلی از تغییرپذیری CV/BFI (CVB) می‌باشد، که می‌تواند برای رژیم‌های با تغییرپذیری بسیار کم، نزدیک به ۱ و برای رژیم‌های نیمه خشک با تغییرپذیری زیاد بیشتر از ۵۰ باشد.

۲-۲-۳-۲- برآورد مؤلفه‌های BBM

مدل DRM سه مؤلفه مهم دارد که عبارتند از:

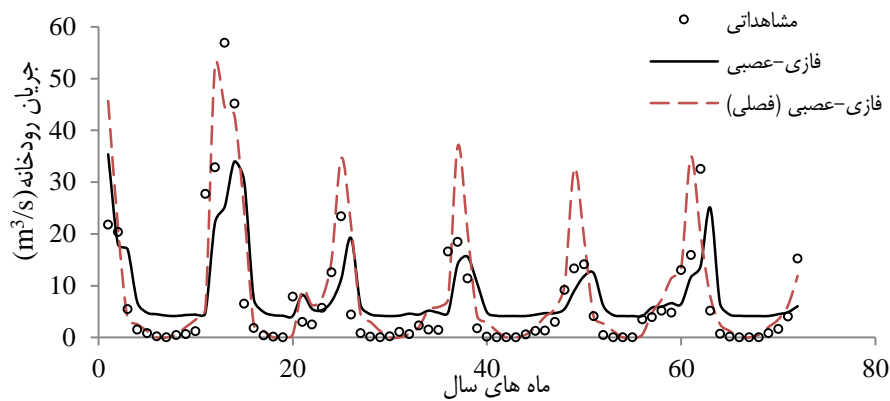
- برآورد مجموع سالیانه اجزای سازنده (جریان‌های پربابی و کم‌آبی نگهداری و خشکسالی) با استفاده از مشخصات هیدرولوژیکی جریان‌های ماهیانه طبیعی.
- برآورد توزیع‌های فصلی از مجموع‌های سالیانه با استفاده از توزیع‌های فصلی جریان‌های طبیعی تفکیک شده به مؤلفه‌های جریان‌های کم‌آبی و پربابی.
- برآورد قواعدی که نیازهای نگهداری و خشکسالی را در اطمینان پیوسته یا منحنی‌های فراوانی ترکیب می‌کنند.

۲-۴- آزمون ارزیابی مدل‌ها

جهت آزمون عملکرد مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق از چندین شاخص آماری شامل ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و قدر مطلق میانگین خطا (MAE) استفاده گردید. مقادیر بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل است. مقادیر کم برای شاخص‌های ریشه میانگین مربعات

جدول ۴- ساختار و نتایج الگوی ANFIS در پیش‌بینی جریان ایستگاه سننه با ورودی‌های مختلف ایستگاه صفاخانه

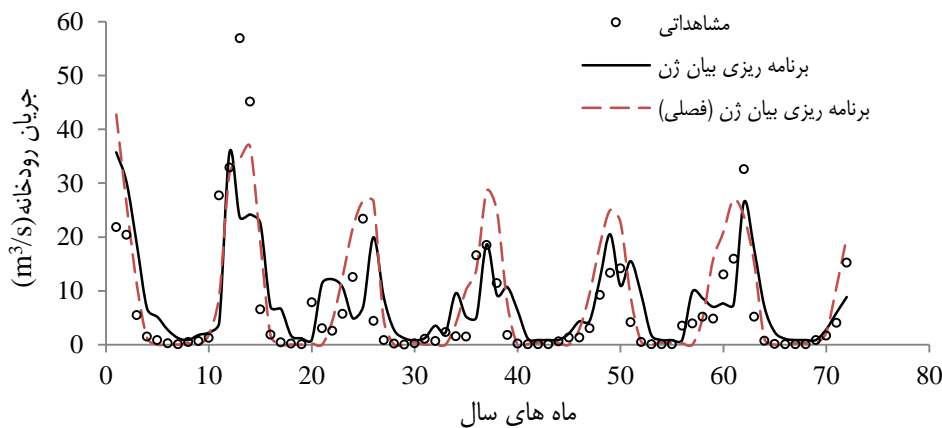
شماره الگو	الگوی به کار گرفته شده	نوع تابع عضویت	تعداد تابع عضویت	R^2	RMSE (m ³ /s)
۱	Q(t)	مثلثی	۴	۰/۷۲	۵/۵۴
۲	Q(t), α	مثلثی	۳/۴	۰/۷۷	۴/۸۸
۳	Q(t), Q(t-1)	مثلثی	۲/۴	۰/۷۳	۵/۰۸
۴	Q(t), Q(t-1), α	مثلثی	۲/۲/۳	۰/۷۴	۴/۹۸
۵	Q(t), Q(t-1), Q(t-2)	مثلثی	۲/۲/۳	۰/۷۲	۵/۰۹
۶	Q(t), Q(t-1), Q(t-2), α	مثلثی	۴/۲/۲/۲	۰/۶۲	۶/۱۲



شکل ۳- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل فازی- عصبی تطبیقی در دوره آزمون

جدول ۵- نتایج الگوی GEP در پیش‌بینی جریان ایستگاه سننه با ورودی‌های مختلف ایستگاه سفاخانه

شماره الگو	الگوی به کار گرفته شده	R ²	RMSE (m ³ /s)
۱	Q(t)	۰/۷۱	۵/۳۱
۲	Q(t), α	۰/۷۶	۴/۸۱
۳	Q(t), Q(t-1)	۰/۷۱	۴/۸۹
۴	Q(t), Q(t-1), α	۰/۷۴	۴/۹۵
۵	Q(t), Q(t-1), Q(t-2)	۰/۷۳	۴/۹۸
۶	Q(t), Q(t-1), Q(t-2), α	۰/۶۶	۵/۷۴



شکل ۴- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل برنامه‌ریزی بیان ژن در دوره آزمون

شده است. شکل‌های (۳) و (۴) نشان می‌دهند که ضریب تعیین برای هر دو الگو تقریباً یکسان است. اما پراکندگی داده‌ها در GEP در مقایسه با ANFIS کمتر است. نمودارهای ارائه شده در این بخش مقادیر شاخص‌های آماری گزارش شده در جداول (۴) و (۵) را تایید می‌کند. نتایج کلی نشان می‌دهد که ANFIS و GEP هر دو عملکرد مناسبی در پیش‌بینی جریان رودخانه داشته‌اند. اگرچه تفاوت عملکرد GEP با ANFIS چندان محسوس نیست، اما همانگونه که قبلاً اشاره شد، ارائه رابطه ریاضی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل در مساله مورد بررسی با GEP بسیار حائز

این بخش تحقیق نشان داد که تابع عضویت مثلثی به‌ازای کلیه الگوهای ورودی در ANFIS نسبت به سایر انواع توابع عضویت از جمله گوسی عملکرد بهتری دارد. منظور از مدل ANFIS (فصلی) مدلی می‌باشد که در آن ضریب فصلی α دخالت داده شده است. شاخص‌های آماری مربوط به عملکرد الگوی GEP در جدول (۵) ارائه شده است. الگوی شماره ۲ از الگوی GEP نیز بهترین الگوست. نکته قابل توجه در این بخش تحقیق این است که اضافه نمودن ضریب فصلی و تناوبی α به الگوهای ورودی در بعضی حالات موجب بهبود عملکرد الگو و در بعضی حالات موجب تضعیف آن

اهمیت است. معادله ریاضی استخراج شده با GEP در پیش‌بینی دبی در ایستگاه سنته با استفاده از داده‌های دبی جریان در ایستگاه صفاخانه در رابطه (۴) ارائه شده است.

GEFC (۲۰۰۷) استفاده شد. نتایج حاصل از این روش برای دو مدل فاز-ی - عصبی تطبیقی و برنامه‌ریزی بیان ژن در جدول (۶) ارائه شده است. همان‌طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود برای حفظ رودخانه ساروق‌چای در مدل فاز-ی - عصبی تطبیقی، در کلاس A، ۸۰/۵ درصد MAR، در کلاس B، ۶۵/۱ درصد، در کلاس C، ۵۵/۷ درصد و در کلاس D که حداقل کلاس قابل قبول می‌باشد ۵۰/۸ درصد MAR مورد نیاز است و در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، در کلاس A، ۷۳/۵ درصد MAR، در کلاس B، ۵۲/۳ درصد، در کلاس C، ۳۷/۱ درصد و در کلاس D که حداقل کلاس قابل قبول می‌باشد ۲۶/۴ درصد MAR مورد نیاز می‌باشد. با استفاده از سری زمانی می‌توان جریان زیست‌محیطی ماهیانه مورد نیاز برای حفظ رودخانه در کلاس مدیریتی C را به دست آورد (جدول (۷)). در این روش، خروجی نرم‌افزار GEFC یک ستون مربوط به جریان زیست‌محیطی ماهانه در دوره آماری مورد نظر می‌باشد، که برای جریان زیست‌محیطی هر ماه از جریان ماه مورد نظر در چندین سال متوسط می‌گیریم.

در رابطه فوق، پارامترهای دخیل به صورت زیر توصیف می‌شوند:

$$Q_t^2 = \tan^{-1}(a \cdot Q_t) + 1.55Q_t + (a)^{0.4} \quad (4)$$

Q_t^2 : دبی پیش‌بینی در ماه جاری در ایستگاه سنته
 Q_t : دبی ورودی در ماه جاری در ایستگاه صفاخانه
 a : ضریب فصلی و تناوبی می‌باشد که مقدار این ضریب بین ۱ و ۱۲ است. برای مثال در ماه فروردین مقدار آن برابر ۱ و در ماه اسفند برابر ۱۲ در نظر گرفته شده است.

۳-۲-۳- برآورد جریان زیست‌محیطی

۳-۲-۱- روش تغییر منحنی تداوم جریان (FDC shifting)
 پس از پیش‌بینی جریان رودخانه، برای محاسبه نیاز آب زیست‌محیطی از روش FDC shifting از اولین نسخه نرم‌افزار

جدول ۶- نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه ساروق‌چای بر حسب درصدی از MAR

نام مدل	متوسط آورد سالیانه (MAR) (m ³ /s)	کلاس A	کلاس B	کلاس C	کلاس D	کلاس E	کلاس F
فازی - عصبی تطبیقی	۹/۰۳	۸۰/۵	۶۵/۱	۵۵/۷	۵۰/۸	۴۸/۴	۴۷/۲
برنامه‌ریزی بیان ژن	۸/۷۸	۷۳/۵	۵۲/۳	۳۷/۱	۲۶/۴	۱۹	۱۴/۲

جدول ۷- توزیع ماهیانه جریان زیست‌محیطی به دست آمده از روش FDC shifting در کلاس C

ماه	نام مدل			
	فازی - عصبی تطبیقی		برنامه‌ریزی بیان ژن	
	EWR (m ³ /s)	MMF (m ³ /s)	EWR (m ³ /s)	MMF ^{۱۲} (m ³ /s)
مهر (October)	۴/۰۱	۴/۱۸	۰/۷۶	۱/۰۶
آبان (November)	۴/۰۳	۴/۲۲	۰/۷۸	۱/۲۷
آذر (December)	۴/۳۳	۵/۵۲	۱/۶۴	۴/۴۵
دی (January)	۴/۳۲	۶/۰۷	۲/۲۱	۶/۶۴
بهمن (February)	۴/۵۲	۶/۵۸	۱/۹۳	۶/۶۶
اسفند (March)	۴/۵۰	۷/۴۷	۳/۴۰	۱۰/۰۵
فروردین (April)	۵/۷۲	۱۴/۳۱	۶/۴۶	۱۷/۴۵
اردیبهشت (May)	۷/۹۲	۲۲/۷۲	۸/۷۹	۲۳/۱۹
خرداد (June)	۷/۱۱	۲۰/۰۷	۷/۰۰	۱۸/۴۰
تیر (July)	۴/۶۸	۷/۸۷	۳/۲۵	۹/۵۶
مرداد (August)	۴/۱۳	۴/۶۳	۱/۲۳	۳/۹۱
شهریور (September)	۴/۲۰	۴/۷۰	۱/۱۴	۲/۴۷
میانگین	۴/۹۵	۹/۰۳	۳/۲۱	۸/۷۸

11. Environmental water requirement

12. Mean monthly flow

۲-۲-۳- مدل ذخیره رومیزی (DRM)

برای محاسبه نیاز آب زیست محیطی از روش DRM از نرم افزار Desktop Reserve Model (ver.2) استفاده شد. نتایج حاصل از این روش برای هفت کلاس اکولوژیکی A تا D برای رودخانه ساروق چای در جدول (۸) ارائه شده است. همان طور که در جدول (۸) مشاهده می شود برای حفظ رودخانه ساروق چای در مدل فازی- عصبی تطبیقی، در کلاس A، ۸۴/۵۶ درصد MAR، در کلاس B، ۵۰/۸ درصد، در کلاس C، ۳۰/۱۹ درصد و در کلاس D که حداقل کلاس قابل قبول می باشد ۱۸/۵۴ درصد MAR مورد نیاز است و در مدل برنامه ریزی بیان

ژن، در کلاس A، ۵۲/۱۵ درصد MAR، در کلاس B، ۳۴/۸۴ درصد، در کلاس C، ۲۲/۸۵ درصد و در کلاس D که حداقل کلاس قابل قبول می باشد ۱۴/۸۳ درصد MAR مورد نیاز می باشد. با توجه به طبقه بندی رودخانه به کلاس های مدیریت زیست- محیطی مختلف، چون کلاس C از نظر اکولوژیکی، دارای شرایط متوسط و مطلوبی می باشد، در این تحقیق به عنوان کلاس مدیریتی مطلوب انتخاب شده است. نتایج حاصل از مدل DRM در کلاس C برای رودخانه ساروق چای با استفاده از مدل های پیش- بینی جریان فازی- عصبی تطبیقی و برنامه ریزی بیان ژن در جداول (۹) و (۱۰) ارائه شده است.

جدول ۸- نیاز آب زیست محیطی رودخانه ساروق چای بر حسب درصدی از MAR با استفاده از روش DRM

نام مدل	متوسط آورد سالانه (MAR) (m ³ /s)	نیاز آب زیست محیطی بلندمدت (EWR) (درصدی از MAR)						
		D	C.D	C	B.C	B	A.B	A
فازی- عصبی تطبیقی برنامه- ریزی بیان ژن	۹/۰۲	۱۸/۵۴	۲۴/۳۰	۳۰/۱۹	۴۰/۴۳	۵۰/۸	۶۴/۴۵	۸۴/۵۶
	۸/۷۸	۱۴/۸۳	۱۸/۷۷	۲۲/۸۵	۲۹/۰۱	۳۴/۸۴	۴۳/۲۷	۵۲/۱۵

جدول ۹- نتایج به دست آمده از DRM برای رودخانه ساروق چای در کلاس C با استفاده از مدل فازی- عصبی تطبیقی

Annual Flows (Mm ³ or index value)				جریان طبیعی ^{۱۳} (MCM)			
MAR = ۲۸۸/۱۸۰		SD = ۷۶/۴۹۱		Total IFR = ۸۷/۰۰۵ (۳۰/۱۹ %MAR)		Main. Low flow = ۷۰/۶۹۳ (۲۴/۵۳ %MAR)	
CV = ۰/۶۵		BFI = ۰/۶۰۱		Drought Low flow = ۳۹/۹۵۲ (۱۳/۸۶ %MAR)		Main. High flow = ۱۶/۳۱۲ (۵/۶۶ %MAR)	
CV((JA+JFM)) = ۰/۶۷۳				جریان زیست محیطی برای کلاس C (MCM)			
ماه	متوسط	SD	CV	جریان های کم آبی		مجموع جریان های نگهداری	جریان های پرابی
				خشکسالی	نگهداری		
مهر (October)	۱۴/۶۹۰	۶/۱۱۸	۰/۴۱۶	۲/۸۵۱	۴/۹۵۹	۵/۵۰۲	۰/۵۴۳
آبان (November)	۱۶/۱۵۳	۹/۲۰۵	۰/۵۷۰	۲/۹۲۰	۵/۰۹۴	۵/۶۹۴	۰/۶۰۰
آذر (December)	۱۷/۴۹۸	۱۱/۸۵۵	۰/۶۷۸	۲/۹۹۴	۵/۲۳۸	۵/۲۲۸	۰/۰۰۰
دی (January)	۱۹/۸۰۷	۱۰/۴۸۵	۰/۵۲۹	۳/۱۰۴	۵/۴۵۲	۵/۴۵۲	۰/۰۰۰
بهمن (February)	۳۸/۰۷۳	۲۲/۰۳۰	۰/۵۷۹	۳/۶۹۸	۶/۶۱۰	۶/۶۱۰	۰/۰۰۰
اسفند (March)	۶۰/۴۴۵	۲۳/۸۳۸	۰/۳۹۴	۴/۵۳۲	۸/۲۳۵	۸/۲۲۵	۰/۰۰۰
فروردین (April)	۵۳/۳۸۴	۲۵/۱۴۸	۰/۴۷۱	۴/۶۳۹	۸/۴۴۳	۸/۴۴۳	۰/۰۰۰
اردیبهشت (May)	۲۰/۹۳۳	۱۱/۳۹۶	۰/۵۴۴	۳/۷۸۲	۶/۷۷۳	۷/۴۰۷	۰/۶۳۴
خرداد (June)	۱۲/۳۳۱	۱/۲۰۲	۰/۰۹۷	۲/۹۸۶	۵/۲۲۳	۵/۲۲۳	۰/۰۰۰
تیر (July)	۱۲/۵۰۱	۵/۰۷۷	۰/۴۰۶	۲/۸۶۶	۴/۹۸۹	۱۸/۵۶۳	۱۳/۵۷۴
مرداد (August)	۱۱/۱۳۱	۰/۱۴۹	۰/۰۱۳	۲/۷۸۹	۴/۸۳۹	۵/۱۶۰	۰/۳۲۱
شهریور (September)	۱۱/۲۴۱	۰/۲۹۲	۰/۰۲۶	۲/۷۸۸	۴/۸۳۷	۵/۴۷۹	۰/۶۴۱

جدول ۱۰- نتایج به دست آمده از DRM برای رودخانه ساروق چای در کلاس C با استفاده از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن

Annual Flows (Mm ³ or index value)							
MAR = ۲۸۰/۱۴۸				Total IFR = ۶۴/۰۱۶ (۲۲/۸۵ %MAR)			
SD = ۹۱/۲۶۱				Main. Low flow = ۴۰/۱۸۸ (۱۴/۳۵ %MAR)			
CV = ۰/۳۲۶				Drought Low flow = ۲۰/۹۱۶ (۷/۴۷ %MAR)			
BFI = ۰/۳۷۹				Main. High flow = ۲۳/۸۲۸ (۸/۵۱ %MAR)			
CV(JJA+JFM) = ۱/۴۷۱							
جریان زیست‌محیطی برای کلاس C (MCM)				جریان طبیعی (MCM)			
مجموع جریان‌های نگهداری	جریان‌های پرآبی	جریان‌های کم‌آبی		CV	SD	متوسط	ماه
		خشکسالی	نگهداری				
۳/۰۳۷	۱/۲۴۵	۰/۹۶۹	۱/۷۹۲	۰/۹۷۹	۱۱/۵۸۴	۱۱/۸۳۶	مهر (October)
۳/۹۱۹	۱/۶۴۰	۱/۲۱۱	۲/۲۷۸	۰/۶۵۰	۱۱/۴۸۶	۱۷/۶۷۰	آبان (November)
۲/۴۸۴	۰/۰۰۰	۱/۳۱۳	۲/۴۸۴	۰/۵۰۵	۸/۹۴۱	۱۷/۷۱۲	آذر (December)
۳/۲۳۲	۰/۰۰۰	۱/۶۸۵	۳/۲۳۲	۰/۷۲۳	۱۹/۳۵۱	۲۶/۷۴۹	دی (January)
۴/۷۴۹	۰/۰۰۰	۲/۴۳۹	۴/۷۴۹	۰/۴۶۵	۲۱/۵۸۴	۴۶/۴۲۷	بهمن (February)
۶/۲۵۳	۰/۰۰۰	۳/۱۸۷	۶/۲۵۳	۰/۵۳۳	۳۲/۸۸۰	۶۱/۶۸۳	اسفند (March)
۶/۲۲۲	۰/۰۰۰	۳/۱۷۱	۶/۲۲۲	۰/۴۲۱	۲۰/۶۱۱	۴۸/۹۴۶	فروردین (April)
۷/۱۱۶	۱/۹۱۳	۲/۶۶۵	۵/۲۰۳	۰/۵۳۱	۱۳/۷۷۷	۲۵/۹۵۵	اردیبهشت (May)
۳/۶۸۴	۰/۱۷۵	۱/۸۲۲	۳/۵۰۹	۰/۷۲۴	۷/۵۲۲	۱۰/۳۹۴	خرداد (June)
۱۸/۱۶۰	۱۶/۲۵۲	۱/۰۲۷	۱/۹۰۸	۱/۷۱۳	۱۱/۲۷۳	۶/۵۸۰	تیر (July)
۲/۱۵۱	۰/۸۶۸	۰/۷۱۶	۱/۲۸۴	۰/۲۵۵	۰/۷۱۹	۲/۸۱۶	مرداد (August)
۳/۰۱۰	۱/۷۳۵	۰/۷۱۲	۱/۲۷۵	۰/۴۷۹	۱/۶۲۰	۳/۳۸۰	شهریور (September)

جدول ۱۱- توزیع ماهیانه جریان زیست‌محیطی به دست آمده از روش DRM در کلاس C

نام مدل				ماه
فازی-عصبی تطبیقی		برنامه‌ریزی بیان ژن		
EWR (m ³ /s)	MMF (m ³ /s)	EWR (m ³ /s)	MMF (m ³ /s)	
۲/۱۲	۴/۱۸	۱/۱۷	۱/۰۶	مهر (October)
۲/۱۹	۴/۲۲	۱/۵۱	۱/۲۷	آبان (November)
۲/۰۱	۵/۵۲	۰/۹۶	۴/۴۵	آذر (December)
۲/۱۰	۶/۰۷	۱/۲۴	۶/۶۴	دی (January)
۲/۵۴	۶/۵۸	۱/۸۳	۶/۶۶	بهمن (February)
۳/۱۷	۷/۴۷	۲/۴۱	۱۰/۰۵	اسفند (March)
۳/۲۵	۱۴/۳۱	۲/۳۹	۱۷/۴۵	فروردین (April)
۲/۸۵	۲۲/۷۲	۲/۷۴	۲۳/۱۹	اردیبهشت (May)
۲/۰۱	۲۰/۰۷	۱/۴۲	۱۸/۴۰	خرداد (June)
۷/۱۴	۷/۸۷	۶/۹۸	۹/۵۶	تیر (July)
۱/۹۸	۴/۶۳	۰/۸۳	۳/۹۱	مرداد (August)
۲/۱۱	۴/۷۰	۱/۱۶	۲/۴۷	شهریور (September)
۲/۷۹	۹/۰۳	۲/۰۵	۸/۷۸	میانگین

زیست‌محیطی با استفاده از نتایج پیش‌بینی میزان جریان در ایستگاه سنته بر اساس دو روش تغییر منحنی تداوم جریان و روش مدل ذخیره رومیزی پرداخته شد. با توجه به طبقه‌بندی رودخانه به کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی مختلف، چون کلاس C از نظر اکولوژیکی، دارای شرایط متوسط و مطلوبی می‌باشد، در این تحقیق به عنوان کلاس مدیریتی مطلوب انتخاب شده است. با توجه به این که روش DRM، در محاسبات نیاز به داده‌های کمی دارد، علاوه بر شرایط هیدرولوژیکی، شرایط اکولوژیکی را هم در نظر می‌گیرد، محاسبات را سریع انجام می‌دهد؛ از این رو توصیه می‌شود جریان پیشنهادی توسط DRM در کلاس C، با در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی و هیدرولوژیکی، به عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته شود. نتایج نشان داد که برای حفظ رودخانه ساروق‌چای در حداقل وضعیت اکولوژیکی قابل قبول (کلاس مدیریت زیست‌محیطی C)، به طور متوسط، شدت جریان ۲/۰۵ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۲۳ درصد متوسط جریان سالیانه) به دست آمده از برنامه‌ریزی بیان ژن، در طول رودخانه تا دریاچه ارومیه، باید برقرار گردد.

۵- مراجع

احمدپور ظ، "شاخص‌های رژیم متغیر هیدرولوژیکی در ارزیابی زیست‌محیطی رودخانه‌ها"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ۱۳۹۱.
دستورانی م، شریفی دارانی ح، طالبی ع، مقدم نیا ع، "کارایی شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی - فازی تطبیقی در مدل‌سازی بارش - رواناب در حوضه آبخیز سد زاینده‌رود"، نشریه آب و فاضلاب، ۱۳۹۰، ۲۲(۸۰)، ۱۲۵-۱۱۴.

شاعری کریمی س، "ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ۱۳۸۹.
مهدی‌آبادی م، روستایی ن، "تعیین حقایق تالاب گاوخونی، پیش-بینی آب زیست‌محیطی رودخانه‌ها در شرایط تغییر اقلیم"، دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

Aytek A, Alp M, "An application of artificial intelligence for rainfall runoff modelling", *Journal of Earth Systems Science*, 2008, 117(2), 145-155.
Aytek A, Kisi O, "A genetic programming approach to suspended sediment modelling", *Journal of Hydrology*, 2008, 351, 288-298.
Chang FJ, Chen YC, "Counter propagation fuzzy-neural network modeling approach to real time streamflow prediction", *Journal of Hydrology*, 2001, 245, 153-164.

اساس روش DRM بر این پایه است که تحت وضعیت‌های طبیعی، قسمت‌های مختلف رژیم جریان، نقش‌های مختلفی در عملکرد اکولوژیکی یک رودخانه بازی می‌کنند. بنابراین حفظ تفاوت‌های اساسی بین جریان‌های فصول تر و خشک، ضروری است. بنابراین مؤلفه‌های مختلف جریان با هم ترکیب شده و یک رژیم جریان قابل قبولی را از نظر اکولوژیکی ایجاد می‌کنند. در این روش نیز نیاز آب زیست‌محیطی به صورت ترکیبی از نیاز کم‌آبی و پرآبی ارائه می‌شود. در DRM نیز از طبقه‌بندی‌های اکولوژیکی استفاده می‌شود با این تفاوت که دو کلاس E و F روش FDC shifting، در DRM قابل قبول نمی‌باشند. نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که برای حفظ حیات رودخانه ساروق‌چای در کلاس مدیریتی C، جریان ۲/۰۵ متر مکعب در ثانیه (۲۳ درصد MAR) مورد نیاز می‌باشد.

با توجه به این که روش DRM، در محاسبات نیاز به داده‌های کمی دارد، علاوه بر شرایط هیدرولوژیکی، شرایط اکولوژیکی را هم در نظر می‌گیرد، محاسبات را سریع انجام می‌دهد؛ از این رو توصیه می‌شود جریان پیشنهادی توسط DRM در کلاس C، با در نظر گرفتن شرایط اکولوژیکی و هیدرولوژیکی، به عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی برای رودخانه ساروق‌چای در نظر گرفته شود. برای مقایسه بهتر نتایج به دست آمده از این روش با متوسط جریان ماهیانه رودخانه ساروق‌چای، خلاصه‌ای از نتایج به دست آمده از مدل DRM در جدول (۱۱) ارائه شده است. در این روش، اعداد به دست آمده برای مجموع جریان‌های نگهداری به عنوان جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود، اما چون این اعداد بر حسب MCM می‌باشند به m^3/s تبدیل می‌شوند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به پیش‌بینی میزان رواناب ماهانه ایستگاه سنته با استفاده از داده‌های رواناب ایستگاه صفاخانه با دو الگوی هوشمند ANFIS و GEP پرداخته شد. در بخش اول تحقیق از الگوهای ورودی مختلف شامل مقادیر رواناب در ماه‌های قبل به عنوان ورودی الگوهای ANFIS و GEP برای پیش‌بینی میزان رواناب در ماه جاری ایستگاه سنته استفاده شد. برای هر دو الگو، استفاده از ورودی شماره ۲ بهترین نتایج را در پی داشت. در این بخش برای الگوی ANFIS و GEP مقدار آماره RMSE به ترتیب برابر m^3/s و $4/88$ و $4/81$ به دست آمد. اضافه نمودن مولفه تناوبی و فصلی موجب افزایش عملکرد هر دو الگو شد. ارائه رابطه ریاضی بین متغیر وابسته و سایر متغیرهای مستقل توسط الگوی GEP از مهم‌ترین مزیت‌های این الگو بوده و آن را نسبت به سایر الگوهای هوشمند متمایز می‌کند که این برتری برای پیش‌بینی‌های آتی اهمیت بسزایی دارد. در بخش دوم تحقیق به برآورد میزان جریان

- Sanikhani H, Kisi O, "River flow estimation and forecasting by using two different adaptive neuro-fuzzy approaches", *Water Resources Management*, 2012, 26, 1715-1729.
- Shiferaw A, "Environmental flow assessment at the source of the Blue Nile River", Ethiopia, Master Thesis, Addis Ababa University, Ethiopia, 2007, 64 pp.
- Smakhtin VU, Anputhas M, "An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins", IWMI Research Report 107, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 2006.
- Talei A, Chua LHC, Wong TS, "Evaluation of rainfall and discharge inputs used by Adaptive Network-based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) in rainfall-runoff modelling", *Journal of Hydrology*, 2010, 391(3), 248-262.
- Tharme RE, "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers", *River Research and Applications*, 2003, 19, 397-441.
- DWAF, "White paper on a National Water Policy for South Africa", Pretoria, South Africa: Department of Water Affairs and Forestry, 1997.
- Dyson M, Bergkamp G, Scanlon J, "Flow: essentials of environmental flows", Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN, 2003.
- Ferreira C, "Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems", *Complex Systems*, 1999, 13(2), 87-129.
- Ferreira C, "Gene expression programming: mathematical modeling by an artificial intelligence 2nd ed", Springer-Verlag, Germany, 2006.
- Firat M, Gungor M, "River flow estimation using adaptive neuro fuzzy inference system", *Mathematics and Computers in Simulation*, 2007, 75(3), 87-96.
- Hughes DA, Hannart P, "A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa", *Journal of Hydrology*, 2003, 270, 167-181.
- Hughes DA, Munster F, "Hydrological information and techniques to support the determination of the water quantity component of the ecological reserve for rivers", Report to the Water Research Commission by the Institute for Water Research, Rhodes University, WRC Report No. 867/3/2000, Pretoria, South Africa, 2000.
- Hughes DA, Smakhtin VU, "Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curves", *Journal of Hydrological Sciences*, 1996, 41(6), 851-871.
- Jang JSR, "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1993, 23(3), 665-685.
- Kashaigili JJ, Mccartney M, Mahoo HF, "Estimation of environmental flows in the Great Ruaha River Catchment", Tanzania, *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 2007, 32, 1007-1014.
- Kennedy P, Condon M, Dowling J, "Torque-ripple minimization in switched reluctant motors using a neuro-fuzzy control strategy", *Proceeding of the IASTED International Conference on Modeling and Simulation*, 2003.
- Kisi O, "River flow forecasting and estimation using different artificial neural network techniques", *Hydrology Research*, 2008, 39(1), 27-40.
- Mazvimavi D, Madamombe E, Makurira H, "Assessment of environmental flow requirements for river basin planning in Zimbabwe", *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*, 2007, 30, 639-647.
- Nayak PC, Sudheer KP, Rangan DM, Ramasastri KS, "A neuro-fuzzy computing technique for modeling hydrological time series", *Journal of Hydrology*, 2004, 291(1), 52-66.
- Pramanik N, Panda RK, "Application of neural network and adaptive neuro-fuzzy inference systems for river flow prediction", *Hydrological sciences journal*, 2009, 54(2), 247-260.
- Richter BD, Baumgartner JV, Wigington R, Braun DP, "How much water does a river need?", *Freshwater Biology*, 1997, 37, 231-249.

EXTENDED ABSTRACT

Use of Soft Calculations at Estimation and Prediction of Environmental Flow Discharge (Case Study: Khorkhoreh Chay River)

Javad Behmanesh *, Somayeh Mostafavi, Sarvin Zamanzad Ghavidel

Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

Received: 17 December 2015; Accepted: 02 July 2016

Keywords:

Prediction, Environmental flow, Urmia lake watershed, Gene Expression Programming, Neuro-fuzzy

1. Introduction

Recently, according to the water crisis, special ecological conditions of Urmia lake and the importance of predicting and estimating the environmental requirement of rivers in the Urmia lake watershed, the present study was carried out in the Zarrinerud river basin. It is noted that the Zarrinerud river supplies the majority of water for Urmia lake. This research is presented in two main sections. The first part predicts the monthly flow at the station without data using two intelligent methods including ANFIS and GEP. In the second section, the estimation of environmental flow was done through two methods of FDC shifting and DRM.

2. Methodology

2.1. Watershed

The Khorkhoreh Chay river is a branch of the Saghez river in Kurdistan, which was emerged from the rift between the three branches of Raghjou, Irab, Pirsoliman, in the Khorkhoreh Chay village.

2.2. Methods

In the present study, monthly run-off data in Safakhaneh hydro-metry station on SaroughChay stream during 21 years were used to predict Khorkhoreh Chay river flow in Senteh station. Observational of the monthly flow were used during the years 1370 to 1390 (252 months). In this research, the performance of ANFIS and GEP methods was investigated to predict the Senteh station flow using Safakhaneh station data. Also, in this research, the monthly and seasonal effects of the monthly flow on the predictive performance of models were evaluated by adding a coefficient (α). An adaptive neuro-fuzzy inference scheme program was codified in the MATLAB software (Kennedy et al, 2003). It should be noted that in this research, the used method for the fuzzy-neural pattern is of the type of separation. GeneXpro software was used to excute GEP (Aytok and Kisi, 2008). In order to test the performance of the used models in this research, several statistical indices including R^2 , RMSE and MAE were used. High determination coefficients indicate better performance of the model. The low values for the root mean square error and the absolute magnitude of the error indicate a better performance of the model (Sanikhani and Kisi, 2012). After predicting the flow, in the second part of the study, the environmental flow of the SaroughChay river was estimated using two Eco-Hydrological methods of DRM and FDC Shifting. The FDC shifting method, which provides a hydrological regime for river protection in an optimal ecological state, is referred to as the "flow transmission curve", and it was first introduced by Smakhtin and Anputhas in 2006 (Smakhtin and Anputhas, 2006). The mentioned method was presented to evaluate the environmental flow in the river system. The methodology of DRM modeling was proposed by Hughes and Henart in 2003 to assess the environmental requirement of river (Hughes and Hannart, 2003). The

* Corresponding Author

E-mail addresses: j.behmanesh@urmia.ac.ir (Javad Behmanesh), mostafavism87@yahoo.com (Somayeh Mostafavi), snzghavidel@gmail.com (Sarvin Zamanzad Ghavidel).

DRM model can calculate the ecological flow requirement in a situation where a quick assessment is required and the available data are limited.

3. Results and discussion

3.1. Prediction of Run-off using nearby station data

In order to predict the run-off of the current month, for the station of Senteh, the run-off data of the present and past months of Safakhaneh station was used as an input of smart models. The main structure of the ANFIS was based on the grid partition method, with different inputs and trial and error (Table 1). The ANFIS (seasonal) model is meant to be a model in which the seasonal coefficient α is interfered. The statistical indicators related to the performance of the GEP pattern are presented in Table 2.

Table 1. Structure and results of ANFIS model in forecasting the flow of the station with different inputs of Safakhaneh station

Number	Pattern	Membership functions	Number of membership functions	RMSE (m ³ /s)	R ²
1	Q(t)	Triangular	4	5.54	0.72
2	Q(t), α	Triangular	3,4	4.88	0.77
3	Q(t), Q (t-1)	Triangular	2,4	5.08	0.73
4	Q(t), Q (t-1), α	Triangular	2,2,3	4.98	0.74
5	Q(t), Q (t-1), Q(t-2)	Triangular	2,2,3	5.09	0.72
6	Q(t), Q (t-1), Q(t-2), α	Triangular	4,2,2,2	6.12	0.62

Table 2. Results of GEP model in forecasting the current station of Senteh station with different inputs of Safakhaneh station

Number	Pattern	RMSE (m ³ /s)	R ²
1	Q(t)	5.31	0.71
2	Q(t), α	4.81	0.76
3	Q(t), Q (t-1)	4.89	0.71
4	Q(t), Q (t-1), α	4.95	0.74
5	Q(t), Q (t-1), Q(t-2)	4.98	0.73
6	Q(t), Q (t-1), Q(t-2), α	5.74	0.66

The overall results indicate that both ANFIS and GEP had good performance in predicting river flow. The mathematical equation extracted with GEP in prediction of discharge at Senteh station is presented using flow data at Safakhaneh station in equation 1.

$$Q_t^2 = \tan^{-1} (\alpha.Q_t^1) + 1.55Q_t^1 + (\alpha)^{0.43} \tag{1}$$

In the above equation, the parameters involved are described as follows:

Q_t^2 : Predicted discharge in the current month in the Senteh station

Q_t^1 : Input discharge in the current month in the Safakhaneh station

α : seasonal and periodic coefficient, which is the value of this coefficient between 1 and 12. For example, in April, its value is equal to 1, and in March is 12.

3.2. Estimated environmental flow

After predicting the flow of the river, the first version of the GEFC software (2007) was used to calculate the environmental water requirement using the FDC shifting method. Using the time series, the monthly environmental flow required was obtained to maintain the river in the C class (Table 3). The DRM method was used to calculate the environmental water requirement using Desktop Reserve Model (ver.2) software. In order to better compare the results of this method with the average monthly flow of SaroughChay river, a summary of the results obtained from the DRM model is presented in Table 3.

Table 3. Monthly distribution of environmental flow obtained from the FDC shifting and DRM in the C class

month	model					
	ANFIS			GEP		
	EWR (m ³ /s)		MMF (m ³ /s)	EWR (m ³ /s)		MMF ¹ (m ³ /s)
	DRM	FDC shifting		DRM	FDC shifting	
October	2.12	4.01	4.18	1.17	0.76	1.06
November	2.19	4.03	4.22	1.51	0.78	1.27
December	2.01	4.33	5.52	0.96	1.64	4.45
January	2.10	4.32	6.07	1.24	2.21	6.64
February	2.54	4.52	6.58	1.83	1.93	6.66
March	3.17	4.50	7.47	2.41	3.40	10.05
April	3.25	5.72	14.31	2.39	6.46	17.45
May	2.85	7.92	22.72	2.74	8.79	23.19
June	2.01	7.11	20.07	1.42	7.00	18.40
July	7.14	4.68	7.87	6.98	3.25	9.56
August	1.98	4.13	4.63	0.83	1.23	3.91
September	2.11	4.20	4.70	1.16	1.14	2.47
average	2.79	4.95	9.03	2.05	3.21	8.78

4. Conclusions

In the first part of the study, the results showed that neuro-fuzzy (ANFIS) and gene expression programming (GEP) had acceptable results in river flow prediction. For both patterns, the use of pattern 2 resulted the best results. Whereas, GEP model was better than ANFIS model because of presenting mathematical governing relationship to studied problem. Regarding river classification to various environmental management classes, since class C is ecologically favorable, it has been selected as the optimal managerial class in this research. Given that the DRM method requires quantitative data in calculations, in addition to the hydrological conditions, it also considers the ecological conditions; it makes the calculation fast; therefore, it is recommended that the DRM in class C is considered as the minimum environmental flow. The results of the second part of the research showed that to maintain the Sarou0.gChay at minimum acceptable environmental situations (i.e. Class C of environmental management), an average annual flow of 2.05 m³/s (23% mean annual flow) is to be provided along the river to Urmia lake.

5. References

- Aytek A, Kisi O, "A genetic programming approach to suspended sediment modeling", *Journal of Hydrology*, 2008, 351, 288-298.
- Hughes DA, Hannart P, "A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa", *Journal of Hydrology*, 2003, 270, 167-181.
- Kennedy P, Condon M, Dowling J, "Torque-ripple minimization in switched reluctant motors using a neuro-fuzzy control strategy", *Proceeding of the IASTED International Conference on Modeling and Simulation*, 2003.
- Sanikhani H, Kisi O, "River flow estimation and forecasting by using two different adaptive neuro-fuzzy approaches", *Water Resources Management*, 2012, 26, 1715-1729.
- Smakhtin VU, Anpuhas M, "An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins", *IWMI Research Report 107*, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 2006.