

پیش بینی جریان بر پایه عدم قطعیت‌های موجود و ارزیابی نوسانات جریان زیست‌محیطی روی اکوسیستم منابع تجدیدشونده حوضه سد طالقان

زهرا نفریه^۱، مهدی سرائی تبریزی^{۲*}، حسین بابازاده^۳ و حمید کاردان مقدم^۴

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲) استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

* رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: m.sarai@srbiau.ac.ir

۳) استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۴) استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات وزارت نیرو، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹

چکیده

اهمیت بقای نسل گونه‌های نادر و حفظ تنوع زیستی کشور برای آیندگان و چرخه اکوسیستم با وجود محدودیت‌های منابع آب سطحی لزوم برنامه‌ریزی منابع آبی را نشان می‌دهد. مولفه مهم در بهینه‌سازی و مدیریت آب‌سطحی، پیش‌بینی‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت جریان رودخانه است. در پژوهش حاضر با مقایسه عملکرد دو مدل شبکه بیزین BN و شبکه عصبی MLP، به پیش‌بینی رواناب و پیش‌بینی وضعیت اکوسیستم آبی پرداخته شد. سپس مقادیر زیست‌محیطی و شرایط زیستی آبریزان بررسی شد. داده‌های ماهانه هواشناسی و همچنین حجم آب انتقالی از پنج ایستگاه هیدرومتری ورودی به سد طالقان از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ به‌عنوان داده ورودی به مدل‌ها معرفی گردید و رواناب ورودی به سد به‌عنوان پیش‌بینی‌شونده لحاظ شد. در مرحله بعد با استفاده از روش هیدرولوژیک تنانت دبی‌های زیست‌محیطی محاسبه گردید و احتمال وقوع این دبی‌ها در داده‌های ثبتی و هفده الگو در محیط نرم‌افزار Easyfit محاسبه شد. سپس مقایسه الگوهای منتخب با توجه به احتمال وقوع و معیارهای شاخص، ضریب نش-ساتکلیف، جذر خطای میانگین مربعات و متوسط خطای پیش‌بینی مطلق انجام شد. با وجود ۴۳/۳ درصد تشابه بهترین الگو مدل BN در برابر ۸۰ درصد تشابه در مدل MLP، مدل BN با معیار شاخص بهتر (۳/۹۸-، ۱۷/۳ و ۰/۰۶) در مقابل مقادیر شاخص در مدل MLP (۳/۱۰-، ۲۳/۹ و ۱۲۲/۳) دقت بهتری داشته است. همچنین مشخص شد حوضه با خطر زیست‌محیطی مواجه است، زیرا مقادیر پیشنهادی برای جریان زیست‌محیطی در بعضی از ماه‌ها در طول دوره مطالعاتی از کل رواناب بیشتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: اکوسیستم آبی، حقایق محیط‌زیستی، روش هیدرولوژیک تنانت، شبکه بیزین، شبکه عصبی پرسپترون.

مقدمه

محدود و ثابت بودن منابع آب، نحوه مدیریت برای بالا بردن بازدهی استفاده از منابع آب بسیار مهم است. در این میان حفظ حیات رودخانه به‌عنوان اصلی‌ترین منبع تامین آب شیرین همچنین، مهم‌ترین مولفه توسعه پایدار غیرقابل انکار است. این امر مستلزم مدیریت یکپارچه منابع آب با انعطاف‌پذیری بالا است که سطح بالایی از عدم قطعیت‌ها در ارتباط با تغییرات آب‌وهوا، اقتصاد و جمعیت را به رسمیت بشناسد (Speed et al., 2013). از جمله مطالعات صورت گرفته در خصوص پیش‌بینی و برآورد جریانات زیست‌محیطی می‌توان به پیش‌بینی رواناب

آب یکی از گران‌بهارترین منابع ملی کشور است. کمبود آب در مناطق خشک تأثیر سوء بسیاری بر فعالیت‌های رفاهی، اقتصادی و سیاسی مناطق می‌گذارد. با وجودی که آب یکی از فراوان‌ترین ترکیباتی است که در طبیعت یافت می‌شود، عواملی چون توزیع ناهمگون جغرافیایی، عدم تطابق زمانی توزیع با الگوی مصرف آب و رشد روزافزون جمعیت جهان، کمیت منابع آب در دسترس را کاهش داده است (خسروبیگی‌بزلجوبی و وفاه‌خواه، ۱۳۹۵؛ عبدلهی و عزیز، ۱۴۰۰). با توجه به

بعد از احداث سد پرداختند. نتایج نشان داد احداث سد شاخص‌های تغییرات دبی را کاهش و شاخص زمان جریان را افزایش داده است. در پژوهشی دیگر با هدف برآورد حداقل جریان محیط زیستی رودخانه مهاباد، از روش‌های تنانت، تسمن، مدل ذخیره رومیزی، انتقال منحنی تداوم جریان و تحلیل منحنی تداوم جریان استفاده شده است (روزگاری و همکاران، ۱۳۹۸). پیش‌بینی رواناب رودمیناب با دو مدل ارزیابی خاک و آب^۹ و هوش مصنوعی شبکه متمرکز تاخیری^{۱۰} توسط غلام‌پور و همکاران (۱۳۹۸) انجام شده است. نتایج حاصل از مقایسه دو مدل در برآورد رواناب حاکی از آن بود که مدل ارزیابی خاک و آب در ترسالی‌ها نسبت به روش هوش مصنوعی متمرکز تاخیری، کارایی بهتری داشته، ولیکن در شرایط خشکسالی که رودخانه آب کم‌تری دارد، مدل هوش مصنوعی از کارایی و دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. نتایج بررسی نیاز زیست محیطی رودخانه دوآب صمصامی با روش‌های تنانت و دو روش هیدرولیک شیب منحنی و حداکثر انحنای نشان داد جریان پیشنهادی از روش تنانت در نیمه کم‌آبی سال نمی‌تواند پاسخگوی نیاز رودخانه باشد (حسین‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). مقایسه‌ی عملکرد مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی^{۱۱} در پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه نشان داد مقادیر پیش‌بینی شده در هر دو مدل تا حد زیادی با مقادیر اندازه‌گیری شده مطابقت دارد، اما مدل ماشین‌بردار پشتیبان در مقایسه با مدل انفیس توانسته مقادیر بهتری برآورد کند (احمدی، ۱۳۹۹).

Aguilar و Polo (۲۰۱۶) به منظور محاسبه حداقل رژیم جریان زیست محیطی از روش‌های مونت کارلو و روابط هیدرولوژیک محلی به ارایه هشت سناریو مختلف پرداختند. Delittle و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل‌های شبکه بیزی برای مدیریت جریان، اقدام به سناریوپردازی و به بررسی تغییرات جریان رودخانه بر روی گیاهان آبری پرداختند. Karakoyun و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی اکوسیستم رودخانه پرداختند و برای این منظور از روش‌های تنانت و تسمن استفاده کردند. همچنین منحنی تداوم جریان قبل و بعد از احداث سد را ترسیم کردند و در نهایت به مقایسه جریانات محاسبه‌شده با میانگین مقادیر جریانات ماهانه پرداختند. نتایج پژوهش Babaei و همکاران (۲۰۱۹) برای پیش‌بینی جریان ورودی به سد زاینده

روزانه رودخانه با استفاده از مدل‌های شبکه بیزی و برنامه‌ریزی ژنتیک اشاره کرد. نتایج این بررسی‌ها نشان داد برنامه‌ریزی ژنتیک عملکردی به مراتب بهتر از مدل شبکه بیزی دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). مقایسه‌ی عملکرد شبکه‌عصبی بیزی و برنامه‌ریزی ژن و ماشین‌بردار پشتیبان و رگرسیون خطی چند متغیره برای پیش‌بینی سری زمانی جریان رودخانه صوفی جای نشان داد مدل عصبی بیزی بهترین عملکرد تخمین را از داده‌های روزانه جریان رودخانه دارد. سپس در مرحله دوم پژوهش به بررسی جریان زیست‌محیطی با استفاده از دو روش اکوهیدرولوژیک ذخیره رومیزی^۱ و منحنی تداوم جریان پرداختند (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۴). در محاسبه نیاز زیست محیطی رودخانه زرينه‌رود با استفاده از چهار روش تنانت^۲، تسمن^۳، مدل ذخیره رومیزی و انتقال منحنی تداوم جریان مشخص گردید روش انتقال منحنی تداوم بهترین روش شناخته شده است (عبدی و همکاران، ۱۳۹۴). نمونه‌ای دیگر از مطالعات زیست‌محیطی با هدف استخراج جریان پایه از منحنی تداوم جریان است که نتایج آن از عدم مطالعات کافی در برآورد جریان پایه در اقلیم‌های مختلف در سطح کشور خبر می‌دهد (کاظمی و قرمزچشمه، ۱۳۹۵). در پیش‌بینی دبی رودخانه قزل‌اوزن و شاهرود با استفاده از چهار آزمون تحلیل روند شامل سن، من‌کنندال، رگرسیون خطی و اسپیدمن مشخص گردید که هر چهار آزمون کاهش معنادار دبی رودخانه را نشان می‌دهد. از بین مدل‌های به کار رفته ماشین‌بردار پشتیبان بیش‌ترین دقت و کم‌ترین ریشه میانگین مربعات خطا را دارد (بابایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). پیش‌بینی رواناب سالانه سد زاینده رود با تعریف سناریوهای مدیریتی مختلف در مدل شبکه‌های بیزی نشان داد این مدل توانایی قابل‌قبولی در برآورد رواناب دارد (نوربه و همکاران، ۱۳۹۷). مقایسه‌ی عملکرد شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۴ با ترکیب شبکه عصبی پرسپترون و شبکه عصبی رگرسیون^۵ و شبکه‌های خود سازمان دهنده^۶، ترکیب خوشه‌بندی انفیس^۷ و فازی^۸ در پیش‌بینی دبی سیلاب نشان داد که شبکه عصبی پرسپترون چند لایه عملکرد بهتری در برآورد دبی سیلاب دارد (سپهری و همکاران، ۱۳۹۷).

اسفندیاری درآبادی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اثرات احداث سد بوکان بر شاخص‌های هیدرولوژیکی مبتنی بر منحنی تداوم جریان در رودخانه زرينه‌رود در دوره‌های قبل و

9 Soil and Water Assessment Tool (SWAT)
10 FTDNN
11 AdaPTIVE Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

5 GRNN
6 SOFM
7 ANFIS
8 FCM

1 Desktop Reserve Model (DRM)
2 Tennant
3 Tessman
4 MLP

شمالی و طول جغرافیایی "۰۰'۴۵'۵۰ تا "۱۳'۱۱'۵۰ شرقی واقع شده که از شمال با استان مازندران، از غرب با منطقه الموت، از جنوب با شهرستان ساوجبلاغ، از جنوب غربی با فشگلدره و شهرستان آبیگ هم‌جوار است. حوضه طالقان خود از زیرحوضه‌های حوزه آبخیز سفیدرود است که شامل زیرحوضه‌های ارتون و کش، زیدشت و کلانک می‌باشد و مساحتی برابر ۱۶۲۳۰ هکتار را دربرمی‌گیرد. طالقان رود تقریباً از وسط منطقه می‌گذرد و حداقل ارتفاع منطقه ۱۷۰۰ متر و حداکثر آن ۳۳۰۰ متر می‌باشد. شرایط اقلیمی و هواشناسی حوضه طالقان به شدت متأثر از وضعیت جغرافیایی و توپوگرافی منطقه است. در پژوهش حاضر از حجم آب انتقالی از ایستگاه‌های هیدرومتری جویستان، جویستان‌علیزان، جویستان-مهران، دهدر و گلینک در بالادست سد طالقان و میانگین داده‌های هواشناسی دو ایستگاه زیدشت و جویستان از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ استفاده شده است (صیادی و همکاران، ۱۳۹۱).

معرفی شبکه‌های بیزین

بزرگ‌ترین مشکل در عرصه مدیریت منابع آب، تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت است. روش‌های زیادی برای مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که اکثر آنها در دو دسته جای می‌گیرند. اول روش‌های مبتنی بر تئوری احتمالات و دیگری روش‌های مبتنی بر منطق فازی هستند. روش‌های دسته نخست دارای اساس تئوری قوی‌تری می‌باشند که از جدیدترین آنها شبکه‌های بیزین هستند (نیکو و کراچیان، ۱۳۸۸).

اگر E و F دو رویداد مفروض به گونه‌ای که $P(E) \neq 0$ و $P(F) \neq 0$ باشند، آنگاه رابطه زیر شکل می‌گیرد:

$$P(E|F) = \frac{P(F|E)P(E)}{P(F)} \quad (۱) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱) که با عنوان تئوری بیز شناخته می‌شود، $P(E|F)$ احتمال رخداد E به شرط F می‌باشد. شبکه بیزین برای مدل کردن در حیطه یک مسئله دارای عدم قطعیت استفاده می‌گردد. به چند دلیل، مسئله با عدم قطعیت مواجه می‌گردد. این عدم قطعیت می‌تواند به دلیل درک ناقص از حیطه مسئله مورد نظر، دانش ناقص از وضعیت حیطه کاری در زمانی که تحلیل انجام می‌شود (ناقص بودن اطلاعات ثبت شده موجود)، تصادفی بودن مکانیزم حاکم بر رفتارها و عملکردها در مسئله مورد نظر و یا ترکیبی از موارد مذکور باشد.

رود از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی^۱ و ماشین‌بردار پشتیبان با ارایه الگوهای ورودی پرداختند و نشان دادند مدل ماشین‌بردار پشتیبان عملکرد بهتری نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی دارد. از دیگر مطالعات انجام گرفته می‌توان به پژوهش Fu و همکاران (۲۰۱۹) در زمینه تخصیص منابع آب سطحی برون‌مرزی بر اساس پیش‌بینی جریان اشاره کرد که پیش‌بینی جریان با در نظر گرفتن خطاهای پیش‌بینی را راهی برای مدیریت حوضه دانستند. به‌علاوه از روش مونت‌کارلو برای تحلیل عدم قطعیت در تخصیص استفاده کردند. پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه نیل توسط Afan و همکاران (۲۰۲۰) نیز انجام شده که از ادغام الگوریتم ژنتیک^۲ با شبکه عصبی تابع پایه شعاعی^۳ استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان داد مدل پیشنهادی (RBFNN_GA) از دقت بالایی در پیش‌بینی جریان برخوردار است. پیش‌بینی بلندمدت و کوتاه‌مدت جریان ورودی به سد کارون^۳ توسط Riahi-Madvar و همکاران (۲۰۲۱) انجام شد که به مقایسه کاربرد سنتی انفیس با الگوریتم‌های تکمیلی مدل پرداختند. نتایج نشان داد تمام مدل‌ها عملکرد بهتری نسبت به انفیس داشتند.

مطالعه‌های بسیاری برای پیش‌بینی رواناب رودخانه‌ها صورت گرفته است که به عملکرد و مقایسه مدل‌ها پرداخته‌اند و یا جریان‌ات زیست‌محیطی را محاسبه و شرایط اکولوژیک را بررسی نموده‌اند، اما هیچ پژوهشی به ادغام این دو مفهوم نپرداخته است. در تحقیقات پیشین صرفاً ارزیابی عملکرد دو مدل شبکه بیزین و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در پیش‌بینی رواناب انجام شده و در تحقیق حاضر برآورد جریان‌های زیست‌محیطی و احتمال وقوع آن به‌عنوان شاخص ارزیابی مورد مطالعه قرار گرفته است که برترین الگو علاوه بر پیش‌بینی رواناب ورودی، وضعیت اکوسیستم آبی و خطرات زیست‌محیطی احتمالی را پیش‌بینی می‌کند. در نهایت نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند کمک شایانی به تحلیل و اصلاح سیاست یا منحنی فرمان در بهره‌برداری از سد طالقان برای تخصیص مناسب داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، در استان البرز شهرستان طالقان بین عرض جغرافیایی "۳۰'۵'۳۶ تا "۵۱'۱۱'۳۶

1 Genetic Algorithm (GA)

2 RBFNN (RBF)

3 Artificial Neural Network (ANN)

شبکه عصبی پروسپترون چندلایه (MLP)

در این نوع شبکه‌ها از یک لایه ورودی برای اعمال ورودی های مسئله یک لایه پنهان و یک لایه خروجی که در نهایت پاسخ های مسئله را ارائه می نمایند، استفاده می شود. گروه هایی که در لایه ورودی هستند، نرون های حسی^۱ و گره های لایه خروجی، نرون های پاسخ دهنده^۲ هستند. در لایه پنهان نیز، نرون های پنهان^۳ وجود دارند. آموزش این گونه شبکه ها معمولاً با روش پس انتشار خطا^۴ انجام داده می شود (Haykin, 1999). در تحقیق حاضر برای پیش بینی جریان از سه لایه پیشخور و برای آموزش از روش پس انتشار خطا، الگوریتم لوبنرک-مارکوورت^۵ استفاده شده است.

معرفی سناریوها

در این پژوهش با توجه به آمار و اطلاعات موجود، از متغیرهای هواشناسی بارش (R)، تبخیر (E) و میانگین ماهانه دما (T) و متغیرهای آبدهی ایستگاه های جوستان (Q₁)، جوستان

علیزان (Q₂)، جوستان مهران (Q₃)، گلینک (Q₄)، دهر (Q₅) و همچنین جریان ورودی به سد با یک ماه تاخیر به عنوان پیش بینی شونده استفاده شد. شایان ذکر است از ایستگاه ناریان در این حوضه به دلیل نبود آمار کافی صرف نظر گشت. برای شناسایی بهترین الگو آموزشی، هفده الگویی که در جدول (۱) قابل مشاهده است، مطرح شد و به عنوان ورودی به نرم افزارهای Hugin Lite8.9 و Matlab2018b معرفی شدند. این الگوها بر اساس دو رویکرد طرح ریزی شده اند. رویکرد اول، سری زمانی داده های ایستگاه های هیدرومتری و سری زمانی جریان ورودی به سد در ماه قبل به عنوان پیش بینی کننده و در رویکرد دوم، ترکیبی از داده های هیدرومتری و اقلیمی به علاوه سری زمانی جریان ورودی به سد در ماه قبل (Q_{dam (t-1)})، به عنوان پیش بینی کننده در تمام الگوها به مدل معرفی گردید. در الگوهای زیر سعی شد تاثیر پارامترهای هواشناسی و نیز آبدهی ایستگاه ها بر روی رواناب ورودی به سد طالقان بررسی شود.

جدول ۱. الگوهای منتخب به عنوان ورودی

شماره الگو	ایستگاه جوستان	ایستگاه علیزان	ایستگاه مهران	ایستگاه گلینک	ایستگاه دهر	بارش ماهانه	تبخیر ماهانه	دما ماهانه	دبی سد با یک ماه تاخیر
۱	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۲	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
۳	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓
۴	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓
۵	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
۶	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓
۷	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✓
۸	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۹	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۱۰	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓
۱۱	✓	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓
۱۲	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✓
۱۳	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۱۴	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
۱۵	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✓
۱۶	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓
۱۷	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓

منبع: نظریه و همکاران، ۱۴۰۰

داده های هواشناسی اقدام به طراحی ساختار الگوها شد. سپس طبق الگوهای ذکر شده ۸۰ درصد داده ها برای آموزش و ۱۵ و ۵ درصد داده ها نیز برای صحت سنجی و اعتبارسنجی به مدل ها

در ساختار الگوها سعی بر آن شد تاثیری که هر یک از ایستگاه ها بر رواناب ورودی به سد دارد و همچنین نتایج حاصل از حذف چند ایستگاه در برآورد رواناب ثبت و مقایسه گردد. در رویکرد دیگر با هدف بررسی پیامدهای حذف

1 Sensory
2 Responding
3 Hidden
4 Back propagation
5 Levenberg-Marquardt

متوسط سالانه برای مهر تا اسفند (به‌عنوان دوره کم‌آبی) است. طبق قانون ماهی‌گیری آب‌های شیرین فرانسه ۱/۴۰ متوسط سالانه برای طرح‌های موجود و ۱/۱۰ متوسط سالانه برای طرح‌های جدید مطرح است (Kumar et al., 2007) و از آنجایی که سازه سد طالقان موجود است، ۱/۱۰ دبی متوسط سالانه به‌عنوان جریان زیست محیطی برای آن محاسبه شد. همچنین طبق قوانین مونتانا آمریکا ۶۰ درصد متوسط سالانه جریان به‌عنوان زیستگاه عالی آبیان و ۳۰ درصد متوسط به‌عنوان زیستگاه متوسط و ۱۰ درصد نیز جهت بقا ماهیان معرفی گردید (Kumar et al., 2007). بعد از محاسبه جریان های زیست‌محیطی بهترین الگوها با توجه به شاخص‌های معیار آماری در هر دو مدل مشخص و مورد ارزیابی نهایی قرار گرفتند. به این فرض که احتمال وقوع دبی‌های زیست‌محیطی در داده‌های ثبتی موجود با احتمال وقوع این مقادیر در بهترین الگوهای ساختاری برابر و یا نزدیک است. برای این منظور از نرم‌افزار easyfit توزیع‌های پیوسته مختلف به داده‌ها برازش شد و بهترین توزیع از نظر سه معیار کلموگروف-اسمیرنوف، اندرسون دارلینگ و کای دو شناسایی و توزیع‌ها در این سه معیار رتبه‌بندی شدند.

نتایج

مدل‌سازی جریان ماهانه رودخانه برای شبکه بیزین شامل تعریف متغیرها و روابط بین آنها به‌عنوان مدل مفهومی می‌باشد. در این مطالعه مدل مفهومی بیزین از طریق الگوهای مختلف که شامل داده‌های ثبت شده توسط پنج ایستگاه هیدرومتری و داده‌های اقلیمی می‌باشد شکل گرفت (شکل ۱). سپس برای آموزش شبکه با استفاده از الگوهای تعریف شده، ارتباط بین داده‌ها مشخص و اقدام به تولید داده‌های جدید نمود. ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد داده‌ها نیز برای صحت‌سنجی به مدل معرفی گردید. ارزیابی عملکرد مدل و الگوها با توجه به شاخص‌های معیار صورت گرفت. همچنین به‌منظور مدل‌سازی جریان ماهانه با استفاده از شبکه عصبی، ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد برای صحت‌سنجی و ۵ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی بنا به تجربه و سعی و خطا لحاظ گردید و الگوهای ورودی نیز به مانند شبکه بیزین انتخاب و به مدل معرفی گردیدند.

معرفی شدند. مطابقت مقادیر عددی پیش‌بینی شده با مقادیر ثبت شده با شاخص‌های ارزیابی پیش‌بینی مورد قیاس قرار گرفت.

شاخص‌های ارزیابی پیش‌بینی

روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری دقت پیش‌بینی وجود دارد که در این پژوهش برای ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مجذور خطا^۱، معیار درصد میانگین مطلق خطاهای پیش‌بینی^۲ و ضریب نش-ساتکلیف^۳ استفاده شد. در ریاضیات و آمار خطای میانگین مربعات^۴، روشی برای برآورد میزان خطا است که در واقع تفاوت بین مقادیر ثبتی و آنچه تخمین زده شده است را برآورد می‌کند. خطای میانگین مربعات شامل واریانس تخمین‌گر و بایاس (سوگیری) است. ریشه میانگین مجذور خطا، (رابطه ۲) ریشه دوم واریانس است که به‌عنوان خطای استاندارد شناخته می‌شود. معیار درصد میانگین مطلق خطاهای پیش‌بینی از تقسیم خطا بر مقدار ثبت شده به‌دست خواهد آمد (رابطه ۳) که به همین دلیل نمایش درصدی هم راحت‌تر خوانده می‌شود و هم درک یکسانی را برای همه از میزان خطای پیش‌بینی به‌وجود می‌آورد و در واقع در مقایسه با ریشه میانگین مجذور خطا میزان خطا را بهتر نشان می‌دهد. دیگر شاخصی که برای دقت‌سنجی استفاده شد ضریب نش-ساتکلیف است (رابطه ۴). محدوده تغییرات ضریب نش-ساتکلیف از یک تا بی‌نهایت منفی است و هرچه مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد بهتر مدل را نشان می‌دهد.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{(Q_{oi} - Q_{pi})^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Q_{oi} - Q_{pi}}{Q_{oi}} \right| * 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$NASH = 1 - \frac{\sum (Q_{oi} - Q_{pi})^2}{\sum ((Q_{oi} - \bar{Q})^2)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در روابط فوق Q_{oi} و Q_{pi} به ترتیب مقدار جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده و \bar{Q} میانگین جریان مشاهداتی و n تعداد داده‌های شبیه‌سازی شده است.

روش تنانت یا مونتانا

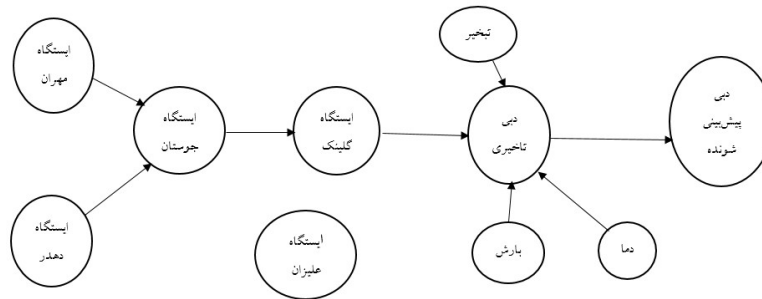
روش تنانت به‌منظور تعیین جریان زیست محیطی مورد نیاز ماهیان استفاده می‌شود که در این روش درصدهایی از جریان متوسط سالانه به‌عنوان جریان زیست محیطی رودخانه محاسبه می‌گردد که این میزان در ایران با توجه به نشریه استاندارد وزارت نیرو، معادل ۳۰ درصد متوسط سالانه جریان برای فروردین تا شهریور (به‌عنوان دوره پرآبی) و ۱۰ درصد دبی

1 Root-Mean-Square Error (RMSE)

2 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

3 Nash- Sutcliffe Model Efficiency Coefficient (NASH)

4 Mean Squared Error



شکل ۱. ساختار شبکه بیزین پیشنهادی جهت پیش‌بینی

داده‌های پرت در برآوردها می‌باشد. جدول‌های (۲) و (۳) نتایج حاصل از مدل‌سازی در شبکه‌عصبی MLP در برخورد با الگوها و نیز خطاهای حاصل در برآورد هر الگو را نشان می‌دهند.

نتایج حاصل از پیش‌بینی رواناب در مدل MLP

برآوردهای حاصل از مدل MLP بیشترین تشابه را با داده‌های ثبتی داشته‌اند. لیکن دقت کم این مدل نشان از وجود

جدول ۲. نتایج حاصل از شبکه‌عصبی MLP در برخورد با الگوهای شماره یک تا ده

الگوها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
درصد تشابه	۱۳/۳	۴۰	۳۶/۳	۲۳	۶۶/۶	۶۶/۶	۶/۶	۳/۳۳	۴۶/۶	۱۳/۳
ENS	-۵۱/۷	-۳/۹	-۱۷۲۵	-۴۱	-۵/۱۵	-۴۱	-۵۹	-۵۸/۸	-۲۸/۸	-۴۱/۶
RMSE	۳۹/۳	۲۰/۴	۵۵/۹	۴۸/۴	۱۷/۳	۵۰/۷	۲۲۴/۵۶	۱۰۴/۴	۳۱/۵	۵۱/۶
MAPE	۴۶/۳	۱۸/۷	۳۶۷/۴	۱۴۰/۲	۱۴/۲	۲۱۶/۸	۱۷۰۷/۶۱	۴۷۶/۳	۵۹/۸	۳۴۸/۸

مناسبی برای پیش‌بینی نمی‌باشد. الگوهای ۷ و ۸ نیز کمترین درصد تشابه (۶/۶ و ۳/۳۳) و دقت پایین الگوی نامناسب برای پیش‌بینی می‌باشند. الگوی ۱۰ با دقت پایین، ضریب ENS -۴۱/۶ و خطای RMSE ۵۱/۶ و MAPE ۳۴۸/۸ الگوی مناسبی برای پیش‌بینی جریان نمی‌باشد. همچنین جدول (۲) نشان می‌دهد الگوهای ۱۱ و ۱۷ با ۲۶/۶ درصد تشابه و دقت کم نتایج قابل قبولی کسب نکرده‌اند.

الگوی ۱ با ۱۳/۳ درصد تشابه و ضریب ENS و خطای بالا الگوی قابل اعتمادی نمی‌باشد. همچنین الگوی ۳ با ضریب ENS برابر با -۱۷۲۵ بدترین عملکرد را در بین تمام الگوها داشته است و با میزان خطای RMSE برابر با ۴۸/۴ و MAPE برابر با ۳۷۶/۴ اصلا الگوی مناسبی نمی‌باشد.

الگوی ۴ با ضریب ENS -۴۱ و خطای RMSE برابر با ۴۸/۴ و MAPE برابر با ۱۴۰/۲ و البته درصد تشابه کم الگوی

جدول ۳. نتایج حاصل از شبکه‌عصبی MLP در برخورد با الگوهای شماره یازده تا هفده

الگوها	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
درصد تشابه	۲۶/۶	۴۰	۸۰	۱۳/۳	۱۶/۶	۶۶/۶	۲۶/۶
ENS	-۲۶/۷	-۵۸/۶	-۱۰/۳	-۱۲/۸۹	-۲۹	-۸/۲	-۱۴/۵
RMSE	۳۷/۴	۲۰/۷	۲۳/۹	۴۱/۷	۳۱/۷	۲۰/۹	۳۰/۷
MAPE	۹/۶	۳۸/۷	۱۲۲/۳۴	۱۲۶/۸	۹۶	۹/۳	۵۷/۸

مناسبی در برخورد با مدل شبکه‌عصبی MLP داشته است.

نتایج حاصل از پیش‌بینی رواناب در مدل BN

سری‌زمانی سی‌ویک ماهه دبی‌های برآوردشده از این روش به‌طور میانگین دقت خوبی داشته‌اند. جدول‌های (۴) و (۵) نتایج حاصل از برآوردهای هفده الگوی پیشنهادی را نشان می‌دهد.

الگوی ۱۴ با ۱۳/۳ درصد تشابه و ضریب ENS -۱۲/۸۹ و خطای RMSE ۴۱/۷ و MAPE بالا الگوی غیرقابل اعتماد برای پیش‌بینی جریان می‌باشد. الگوی ۱۵ با درصد تشابه کم و خطای بالا از دقت کافی برای پیش‌بینی جریان برخوردار نمی‌باشد. الگو ۱۶ با حذف پارامترهای تبخیر و دما و ایستگاه دهمدر، همان طور که در جدول (۳) قابل مشاهده است، نتایج قابل قبول و

پیش‌بینی جریان بر پایه عدم قطعیت‌های موجود و ارزیابی نوسانات جریان زیست‌محیطی روی اکوسیستم منابع.../۲۷

جدول ۴. نتایج حاصل از شبکه BN در برخورد با الگوهای شماره یک تا ده

الگوها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
درصد تشابه	۴۳/۳	۳۳/۳	۲۶/۶	۱۶/۶	۲۰	۵۰	۲۰	۲۰	۳۶/۶	۲۰
ENS	-۶/۲	-۳۰	-۱۶۸	-۸۰/۵۹	-۵۱/۹	-۱۳/۵	-۲۷/۹	-۶۳/۲۴	-۵/۶	-۸۵/۹
RMSE	۲۵/۳	۳۲/۶	۴۸/۹	۳۸	۳۹/۴	۲۸/۶	۳۷/۸	۳۲/۶	۲۵/۷	۳۸/۲
MAPE	۵۸/۵	۴/۲	۱۷/۹	۱/۲	۳۴/۴۸	۶/۳	۲۰/۶	۲/۱	۱۸/۱	۰/۵

۲۰ درصد تشابه کمترین مقادیر پیش‌بینی شده صحیح را در بین هفده الگو ثبت کرده‌اند. ادامه بررسی الگوها در جدول (۴) نشان داده شده است.

الگوهای شماره ۳، ۴، ۶، ۷، ۸ و ۱۰ در مدل BN عملکردی نامناسب داشته‌اند. به طوری که بیشترین مقادیر ضریب ENS در بین تمام الگوها را ثبت نموده‌اند. الگو ۳ با ثبت ضریب ENS-۱۶۸ بیشترین مقدار را داشته و الگوی ۵، ۷، ۸ و ۱۰ با

جدول ۵. نتایج حاصل از شبکه BN در برخورد با الگوهای شماره یازده تا هفده

الگوها	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
درصد تشابه	۴۱/۴	۴۳/۳	۴۳/۳	۳۶/۶	۴۰	۲۶/۶	۳۶/۶
ENS	-۶/۱۸	-۳/۹۸	-۱۳/۳۹	-۱۳/۵	-۱۳/۴۸	-۱۳/۴۸	-۱۳/۴۸
RMSE	۳۴/۸	۱۷/۳	۲۸/۵	۲۸/۷	۲۸/۷	۳۰	۲۸/۶
MAPE	۷۴/۳	۰/۰۶	۵۷/۵	۵۸/۹	۵۸/۸	۵۹/۳	۵۸/۸

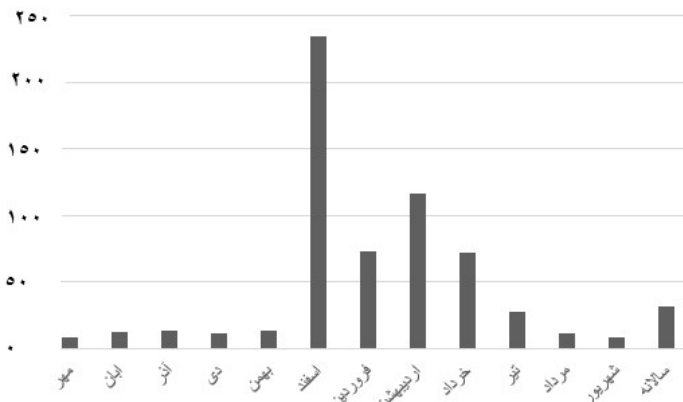
ایستگاه جویستان، دما و تبخیر در هر چهار الگو به طور مشترک وجود دارد. نتیجه قابل برداشت از تحلیل ساختار چهار الگوی فوق‌الذکر نشان می‌دهد، چهار پارامتر بارندگی و ایستگاه جویستان و دما و تبخیر در برآورد رواناب ورودی به سد در مدل BN نقش مهمی داشته‌اند.

محاسبه جریان زیست محیطی به روش تنانت

نتایج حاصل از تحلیل و بررسی داده‌های موجود از رواناب ورودی از ایستگاه منتهی به سد طالقان بررسی شد. شکل (۲) شامل متوسط جریان در ماه‌های مختلف از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ می‌باشد.

الگو ۱۱ با حذف ایستگاه‌های علیزان و مهران و تمام پارامترهای هواشناسی، عملکرد مناسبی در برخورد با مدل BN داشته است، به طوری که ضریب ENS -۶/۱۸ و درصد تشابه ۴۱/۴ دو عامل برتری این الگو می‌باشد.

نتایج حاصل از الگوهای ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷ نشان می‌دهد مقادیر پیش‌بینی شده چهار الگو با درصد کمی از داده‌های ثبتی مطابقت دارد. لیکن مقادیر پیش‌بینی شده نزدیک به هم و میانگین دبی‌های برآورد شده و خطای مشابه در این الگوها نشان از همبستگی بین چهار الگو داشته است. پارامتر بارندگی،



شکل ۲. دبی متوسط درازمدت ماهانه و سالانه (میلیون متر مکعب) رودخانه طالقان رود (۱۳۸۵-۱۳۹۷)

احتمال وقوع جریان‌های پیشنهادی زیست محیطی

با محاسبه جریان‌های پیشنهادی، احتمال وقوع این جریان‌ها طی سال‌های مورد مطالعه قابل محاسبه و بررسی است. سپس در مرحله بعد با محاسبه احتمال دبی‌های محیط‌زیستی و بیشتر از نتایج به‌دست آمده از برترین الگوها در هر دو مدل با شماره‌های ۲، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۳ به‌عنوان روشی برای ارزیابی الگوهای مورد بررسی، محاسبه صورت پذیرفت. در نهایت برای این منظور با برازش توزیع‌های مختلف به داده‌های حاصل از الگوهای برتر، ارتباط بین داده‌ها مشخص گردید (جدول ۶).

با توجه به نشریه استاندارد وزارت نیرو^۱، معادل ۳۰ درصد جریان متوسط سالانه برای دوره پرآبی، معادل ۹/۶۶ میلیون مترمکعب و ۱۰ درصد متوسط سالانه جریان برای دوره کم‌آبی، معادل ۳/۲۲ میلیون مترمکعب به‌عنوان نیاز زیست محیطی رودخانه در نظر گرفته شد و برای تعیین نیاز زیست محیطی رودخانه از روش‌های مونتانا آمریکا و قانون آب شیرین فرانسه نیز از ۱۰ و ۳۰ درصد متوسط سالانه جریان و همچنین ۶۰ درصد متوسط سالانه برابر با ۱۹ میلیون مترمکعب و ۱/۴۰ متوسط سالانه برابر با ۰/۸ میلیون مترمکعب استفاده شد.

جدول ۶. نتایج برازش توزیع احتمال به داده‌ها

احتمال وقوع دبی‌های زیست محیطی و بیشتر از				توزیع برازش شده	الگوهای مورد بررسی
۱۹/۳۲	۹/۶۶	۳/۲۳	۰/۸		
۰/۳۷۰	۰/۶۱۵	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	Lognormal (3P)	ثبتی
۰/۸۵۳	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	Lognormal (3P)	2mlp
۰/۹۸۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	Lognormal (3P)	6Mlp
۰/۶۴۰	۰/۸۴۲	۰/۹۳۲	۰/۹۵۴	Burr	9mlp
۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	Burr	12mlp
۰/۲۳۹	۰/۵۶۶	۰/۸۹۱	۱/۰۰۰	Wakeby	13mlp
۰/۵۷۶	۰/۷۵۴	۰/۸۷۰	۰/۹۱۳	Wakeby	2Bn
۰/۵۷۶	۰/۷۵۴	۰/۸۷۰	۱/۰۰۰	Wakeby	6Bn
۰/۶۰۶	۰/۷۵۶	۰/۸۵۷	۰/۸۹۶	Wakeby	9Bn
۰/۵۲۲	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	Wakeby	12Bn
۰/۶۰۶	۰/۷۵۶	۰/۸۵۷	۱/۰۰۰	Log-Logistic (3P)	13Bn

درصدی میان احتمال وقوع داده‌های ثبتی و برآوردهای به‌دست آمده در مدل MLP وجود دارد. درحالی‌که این احتمال در برآوردهای حاصل از مدل BN برابر با ۰/۹۸۲ است. تفاوت این احتمال در داده‌های ثبتی و داده‌های برآورده شده این الگو ۱۴ درصد است. احتمال وقوع دبی ۱۹/۳۲ و بیشتر برابر در مدل MLP با ۰/۹۸۲ است، درحالی‌که این احتمال در برآوردهای حاصل از مدل BN، ۰/۵۷۶ است. اختلاف ۴۸ درصدی میان احتمال وقوع داده‌های ثبتی و برآوردهای به‌دست آمده در مدل MLP وجود دارد. همچنین ۲۰ درصد تفاوت میان احتمال وقوع دبی ۱۹/۳۲ و بیشتر در داده‌های ثبتی و داده‌های برآورد شده در مدل BN وجود دارد.

۳. از برآوردهای به‌دست آمده از الگو ۹ در مدل MLP احتمال وقوع دبی ۹/۶۶ و بیشتر برابر با ۰/۸۴۹ است. تفاوت ۲۲ درصدی میان احتمال وقوع داده‌های ثبتی و برآوردهای به‌دست آمده در مدل MLP وجود دارد. درحالی‌که این احتمال

۱. از برآوردهای به‌دست آمده از الگو ۲ در مدل MLP، احتمال وقوع دبی ۹/۶۶ و بیشتر برابر با ۰/۹۹۹ است. تفاوت ۳۸ درصدی میان احتمال وقوع داده‌های ثبتی و برآوردهای به‌دست آمده در مدل MLP وجود دارد. درحالی‌که این احتمال در برآوردهای حاصل از مدل BN برابر با ۰/۷۵۴ است. تفاوت این احتمال در داده‌های ثبتی و داده‌های برآورده شده این الگو ۱۴ درصد می‌باشد. احتمال وقوع دبی ۱۹/۳۲ و بیشتر در مدل MLP برابر با ۰/۸۵۳ است، درحالی‌که این احتمال در برآوردهای حاصل از مدل BN، ۰/۵۷۶ است. اختلاف ۴۸ درصدی میان احتمال وقوع داده‌های ثبتی و برآوردهای به‌دست آمده در مدل MLP وجود دارد. همچنین ۲۰ درصد تفاوت میان احتمال وقوع دبی ۱۹/۳۲ و بیشتر در داده‌های ثبتی و داده‌های برآورد شده در مدل BN وجود دارد.

۲. از برآوردهای به‌دست آمده از الگو ۶ در مدل MLP، احتمال وقوع دبی ۹/۶۶ و بیشتر برابر با ۱ است. تفاوت ۳۸

^۱ دستورالعمل تعیین حداقل نیاز اکوسیستم‌های آبی وزارت نیرو. (۱۳۸۸) معاونت آب و فاضلاب، صفحه ۱۱۳.

در مدل BN با حداقل اختلافات با داده‌های ثبتی از دقت بهتری برخوردار هستند که این نتیجه همسویی مناسبی با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های نوربه و همکاران (۱۳۹۷) دارد.

۲. هر دو مدل نتایج قابل قبولی ارائه دادند که نتیجه نهایی عملکرد مدل عصبی مصنوعی طبق بهترین الگو برای پیش‌بینی رواناب ورودی به ۲۴/۵ میلیون مترمکعب و نتیجه این پیش‌بینی برای شبکه‌های بیزین ۲۷/۲۵ میلیون مترمکعب برای اسفند سال ۱۳۹۷ می‌باشد که تطابق صددرصدی با داده ثبتی داشته است. این نتیجه همسویی مناسبی با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های نوربه و همکاران (۱۳۹۷) و سپهری و همکاران (۱۳۹۷) دارد.

۳. حداقل جریان زیست‌محیطی رود برابر ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه برای دوره پرآبی معادل ۹/۶۶ میلیون مترمکعب و ۱۰ درصد متوسط سالانه برای دوره کم‌آبی محاسبه گردید که برای بقای نسل گونه نادر در حوضه پیشنهاد می‌شود.

۴. نتایج حاصل از روش تنانت نشان داد مقادیر پیشنهادی برای جریان زیست محیطی با ۱۰ درصد جریان به ندرت در مرداد ماه در طول دوره مورد مطالعه از کل رواناب ماهانه بیشتر بوده و این نشان از خطر زیست محیطی در دوره کم‌آبی می‌باشد. چرا که این رود کارکرد کشاورزی و شرب نیز دارد. نتایج حاصله در این پژوهش با نتایج و پیروزیان و همکاران (۱۳۹۹) کاملاً مطابقت دارد.

۵. احتمال وقوع ۱/۴۰ جریان در تمامی سناریوها و ماه‌های مورد مطالعه وجود دارد.

۶. در پژوهش حاضر با شیوه‌ای نوآورانه و با استفاده از مقادیر پیشنهادی جریان به روش تنانت، بهترین الگوهای پیش‌بینی جریان در مدل BN الگوهای ۱۲ و ۹ و در مدل MLP الگوهای ۲ و ۱۳ می‌باشند.

با توجه به مطالب ذکر شده و نتایج به‌دست آمده پیشنهاد می‌شود میزان رواناب ورودی به سد طالقان همه ساله برآورد گردد تا بتوان بهترین مدیریت را تا به حداقل رساندن آسیب‌های زیست‌محیطی در منطقه لحاظ نمود. این امر دارای همسویی پیشنهادی مطالعه حاضر با پژوهش Fu و همکاران (۲۰۱۹) است. همچنین پیشنهاد می‌شود عملکرد و کارایی شبکه‌های بیزین با مدل‌های دیگر مورد ارزیابی قرار گیرد و در نهایت توصیه می‌شود شرایط حیات گونه شاخص در سناریوهای جریان‌های احتمالی ارزیابی گردد.

در برآوردهای حاصل از مدل BN برابر با ۰/۷۵۶ است. تفاوت این احتمال در داده‌های ثبتی و داده‌های برآورده شده این الگو ۱۴ درصد است. احتمال وقوع دبی ۱۹/۳۲ و بیشتر برابر در مدل MLP برابر با ۰/۶۴ است، درحالی‌که این احتمال در برآوردهای حاصل از مدل BN، ۰/۶۰۶ است. اختلاف ۲۷ درصدی میان احتمال وقوع داده‌های ثبتی و برآوردهای به‌دست آمده در مدل MLP وجود دارد. همچنین ۲۳ درصد تفاوت میان احتمال وقوع دبی ۱۹/۳۲ و بیشتر در داده‌های ثبتی و داده‌های برآورد شده در مدل BN وجود دارد.

۴. نتایج حاصل از احتمال برآوردهای الگو ۱۲ در مدل MLP، برای دبی ۹/۶۶ برابر با یک است و تفاوت این احتمال از داده‌های ثبتی برابر با ۳۸ درصد و این اختلاف برای دبی برابر با ۱۹/۳۲، ۶۳ درصد است. احتمال وقوع دبی ۹/۶۶ و بیشتر در مدل BN برای الگوی ۱۲ برابر با یک است. اختلاف نتایج این برآورد با داده‌های ثبتی ۳۸ درصد می‌باشد. تفاوت این برآورد با داده‌های ثبتی برای دبی ۱۹/۳۲ و بیشتر ۱۵ درصد است.

۵. نتایج حاصل از احتمال برآوردهای الگو ۱۳ در مدل MLP برای دبی ۹/۶۶ برابر با ۰/۵۶۶ است و تفاوت این احتمال از داده‌های ثبتی برابر با ۴ درصد و این اختلاف برای دبی برابر با ۱۹/۳۲، ۱۳ درصد است. احتمال وقوع دبی ۹/۶۶ و بیشتر در مدل BN برای الگو ۱۲ برابر با یک است. اختلاف نتایج این برآورد با داده‌های ثبتی ۱۴ درصد می‌باشد. تفاوت این برآورد با داده‌های ثبتی برای دبی ۱۹/۳۲ و بیشتر ۲۳ درصد است.

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه اهمیت بررسی رودخانه‌ها با توجه به افزایش جمعیت و برداشت‌ها بر کسی پوشیده نیست. اهمیت این موضوع ایجاب می‌کند روش‌های مختلف جهت مدیریت بهینه به‌کار گرفته شود که شامل عدم قطعیت‌های موجود می‌باشد. در این تحقیق از شبکه‌های بیزین با رویکردهای احتمالاتی شرطی و نیز شبکه‌عصبی پرسپترون چندلایه استفاده شد. وجود دو مدل قطعی و احتمالاتی در کنار هم و مقایسه همزمان آنها ضعف‌های یکدیگر را پوشش می‌دهند و ترکیب مناسبی برای اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی هستند که در این خصوص نتایج زیر شایان توجه می‌باشند:

۱. با مقایسه احتمالات وقوع دبی‌های زیست‌محیطی در داده‌های ثبتی و برترین الگوها مشخص شد نتایج به‌دست آمده

منابع

- احمدی، ف. (۱۳۹۹) ارزیابی عملکرد روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان و سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی در پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه‌ها، مطالعه موردی رودخانه‌های نازلو و سزار. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران، ۳(۵۱): ۶۷۳-۶۸۶.
- احمدی، ف.، رادمنش، ف. و میرعباسی‌نجدآبادی، ر. (۱۳۹۴) کاربرد شبکه‌های بیزین و برنامه‌ریزی ژنتیک در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه، مطالعه موردی رودخانه باراندوزچای. نشریه علوم و مهندسی آبیاری، ۴(۲): ۲۱۳-۲۲۳.
- احمدی، ف.، رادمنش، ف. و میرعباسی‌نجدآبادی، ر. (۱۳۹۴) مقایسه عملکرد روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه‌های بیزین در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه، مطالعه موردی رودخانه باراندوزچای. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۲(۶): ۱۷۱-۱۸۶.
- عبداللهی، م. و عزیزی، ز. (۱۴۰۰) تحلیلی بر تهدیدهای منابع آب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی با رویکرد پدافند غیرعامل. مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱۲(۲): ۹۱-۱۰۵.
- اسفندیاری‌درآبادی، ف.، مصطفی‌زاده، ر.، شاهمرادی، ر.، نصیری‌فیای، ا. و عبادی، ا. (۱۳۹۸) بررسی اثر احداث سد بوکان بر شاخص‌های هیدرولوژیکی رودخانه زرينه‌رود بر اساس منحنی تداوم. نشریه دانش آب و خاک، ۲۹(۴): ۱۴۷-۱۵۹.
- بابایی‌مقدم، ا.ف.، خالدیان، م.، شاهنظری، ع. و مرتضی‌پور، م. (۱۳۹۵) بررسی پیش‌بینی دبی رودخانه‌ای قزل‌اوزن و شاهرود. نشریه اکوهیدرولوژی، ۳(۲): ۱۹۵-۲۰۴.
- پیروزیان، ا.، سرائی‌تبریزی، م. و صدقی، ح. (۱۳۹۹) بررسی روش‌های مختلف تخمین نیاز آبی زیست محیطی، مطالعه موردی رودخانه الندچای. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۷): ۲۵-۴۱.
- حسین‌پور، د.، زارع‌بیدکی، ر. و کریمیان‌کاکلکی، ر. (۱۳۹۸) استفاده از روش‌های هیدرولیکی در آورد حداقل جریان زیست محیطی بخشی از رودخانه دوآب صمصامی استان چهارمحال بختیاری. نشریه محیط زیست طبیعی، ۲۲(۱): ۷۲-۷۲.
- ۵۹-۷۲.
- خسروبیگی‌بزچلویی، س. و وفاخواه، م. (۱۳۹۵) تحلیل منطقه‌ای منحنی تداوم جریان در حوزه آبخیز دریاچه نمک. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۷(۱۴): ۲۲۸-۲۳۶.
- دهقانی، ر.، یونسی، ح. و ترابی‌پوده، ح. (۱۳۹۴) مقایسه و ارزیابی مدل‌های شبکه بیزین، برنامه‌ریزی بیان ژن، ماشین‌بردار پشتیبان و رگرسیون خطی در تخمین بده جریان، مطالعه موردی حوضه صوفی چای. نشریه آبیاری و آب ایران، ۵(۴): ۶۵-۸۵.
- روزگاری، ن.، ستاری، م. و فیضی، ه. (۱۳۹۸) مقایسه روش‌های مختلف هیدرولوژیکی در برآورد جریان محیط زیستی رودخانه مهاباد. نشریه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۱(۹): ۵۷-۷۰.
- سپهری، م.، عطاپورفرد، سید عباس.، ایلدرومی، ع.، نوری، ح.، گودرزی، ص.، آرتیمانی، م. و سلگی، م. (۱۳۹۷) ارزیابی مدل‌های هوش مصنوعی در تخمین دبی سیلاب. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۳(۱۰): ۴۷۸-۴۸۸.
- صیادی، ف.، محمدی‌نژاد، ا. و گیلان‌پور، ا. (۱۳۹۱) ارزش-گذاری اقتصادی مطبوعیت محیط زیست منطقه گردشگری سد طالقان. مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۳(۲): ۱۹-۳۰.
- عبدی، ر.، یاسی، م. و محمدی، ا. (۱۳۹۴) ارزیابی روش‌های اکولوژیکی، هیدرولیکی، هیدرولوژیکی در برآورد جریان محیط زیستی رودخانه. نشریه آب و فاضلاب، ۶(۳): ۲۱۱-۲۲۳.
- غلامپور، م.، غزالی، ع.، رودزی، ا. و عراقی‌نژاد، ش. (۱۳۹۸) مقایسه دقت پیش‌بینی رواناب با استفاده از مدل‌های SWAT و هوش مصنوعی در رودخانه میناب. نشریه علمی و پژوهشی مهندسی مدیریت آبخیز، ۱۱(۳): ۷۹۸-۸۰۵.
- کاظمی، ر. و قرمزچشمه، ب. (۱۳۹۵) بررسی روش‌های مختلف استخراج جریان پایه با استفاده از شاخص منحنی تداوم جریان، مطالعه موردی ناحیه خزری. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۲): ۱۳۱-۱۴۶.
- نفریه، ز.، سرائی‌تبریزی، م.، بابازاده، ح. و کاردان‌مقدم، ح. (۱۴۰۰) مقایسه کارایی شبکه‌های بیزین و عصبی MLP در

- Environmental Modeling Software, 100(2): 146-158.
- Fu, J., Zhong, P., Zhog, P., Chen, J., Xu, B., Zhu, F. and Zhang, Y. (2019) Water resources allocation in transboundary river basins based on a game model considering inflow forecasting errors. *Water Resource Management*, 33(8): 2809-2825. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02259-y/>
- Haykin, S. (1999) *Neural networks: A comprehensive foundation*. N.J. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 842p.
- Karakoyun, Y., Haci Donmez, A. and Yumurtaci, Z. (2018) Comparison of environmental flow assessment methods with a case study on a runoff river-type hydropower plant using hydrological methods. *Journal of Environmental Assess*, 12(14): 190-722. DIO: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7107-3/>
- Kumar, P., Chaube, U.C. and Mishra, S. (2007) Environmental flows for hydropower projects: A case study. *International Conference on Small Hydropower, Hydro Sri Lanka*: 22-24.
- Riahi-Madvar, H., Dehghani, M. and Memarzadeh, R. and Gharabaghi, B. (2021) Short to Long-term forecasting of rivwr flows by heuristic optimization algorithms hybridized with ANFIS. *Water Recourses Management*, 35(4): 1149-1166. DIO: [10.1007/s11269-020-02756-5/](https://doi.org/10.1007/s11269-020-02756-5/)
- Speed, R., Yuanyuan, L., Quesne, T.L., Pegram, G. and Zhiwei, Zh. (2013) Basin water allocation planning. United Nations, Educational, Scientific and Culture Organization: 14411.
- پیش‌بینی رواناب ورودی به سد طالقان. نشریه محیط‌زیست و مهندسی آب، ۸(۲): ۵۳۰-۵۳۷.
- نوربه، پ.، روزبهایی، ع. و کاردان‌مقدم، ح. (۱۳۹۷) پیش‌بینی رواناب سالانه سدزاینده‌رود و دوره‌های ترسالی و خشکسالی هیدرولوژیکی با استفاده از شبکه‌های بیزین. نشریه آب و خاک، ۳۲(۳): ۶۳۳-۶۴۶.
- نیکو، م. و کراچیان، ر. (۱۳۸۸) ارزیابی کارایی شبکه‌های بیزی در مدیریت کیفیت آب رودخانه: کاربرد سیستم نسبت-تجارت. نشریه آب و فاضلاب، ۱(۲۰): ۲۳-۳۳.
- Afan, H. A., Allawi, M. F., El-Shafie, A., Yaseen, Z.M., Ahmed, A.N., Malek, A.M., Koting, S.B., Salih, S.Q., Mohtar, W.H.M.W., Lai, S.H., Sefelnasr, A., Sheirf, M. and El-Safie, A.L. (2020) Input attributes optimization using the feasibility of genetic inspired algorithm: application of river flow forecasting. *Water Recourses Management*, 10(1): 1-15.
- Aguilar, C. and Polo, M.J. (2016) Assessing minimum environmental flow in Noonpemanent River: The choice of thresholds. *Environmental modeling and Software*, 79(3): 120-134.
- Babaei, M., Moeini, R. and Ehsanzadeh, E. (2019) Artificial Neural Network and support vector machine models for inflow prediction of dam reservoir, Case study: Zayanderoud Dam reservoir. *Water Resources Management*, 33(11): 2203-2218. DOI: [10.1007/s11269-019-02252-5/](https://doi.org/10.1007/s11269-019-02252-5/)
- Delittle, S., Casas-Mulet, R., Patulng, L., Wand, J., Miller, K., Fidler, F., Stewardon, M.J. and Webb, J.A. (2018) Minimising biases in expert elicitations to inform environmental management: Case studies form environmental flows in Australia.

Flow prediction based on existing uncertainties and assessment of environmental flow fluctuations on the ecosystem of renewable resources (Case Study: Taleghan Dam Basin)

Zahra Nafariyeh¹, Mahdi Sarai Tabrizi^{2*}, Hossein Babazadeh³ and Hamid Kardan Moghaddam⁴

1) M.Sc. Student of Water Resources, Department of Water and Water Sciences, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

2) Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

*Corresponding Author Email Address: m.sarai@srbiau.ac.ir

3) Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agricultural Sciences and Food Industry, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

4) Assistant Professor, Research Institute of the Ministry of Energy, Tehran, Iran.

Date of Submission: 2022/10/11

Date of Acceptance: 2022/12/23

Abstract

The importance of the survival of the generation of rare species and the preservation of the biodiversity of the country for future generations and the cycle of the ecosystem despite the limitations of surface water resources show the necessity of planning water resources. An important component in the optimization and management of surface water is the long-term and short-term forecasts of the river flow. The current research was done to forecast the runoff and predict the state of the water ecosystem by comparing the performance of two models, Bayesian BN network and MLP neural network. Then the environmental values and living conditions of aquatic animals were investigated. Monthly meteorological data as well as the volume of transferred water from five hydrometric stations entering Taleghan Dam from 1385 to 1397 were introduced as input data to the models, and the runoff entering the dam was included as predictor. In the next step, environmental discharges were calculated using Tennant's hydrological method, and the probability of occurrence of these discharges was calculated in the recorded data and seventeen patterns in the Easyfit software environment. Then, the selected patterns were compared according to the probability of occurrence and index criteria, Nash-Sutcliffe coefficient, root mean square error and mean absolute prediction error. Despite the 43.3% similarity of the best model of the BN model compared to 80% similarity in the MLP model, the BN model has a better index criterion (-3.98, 17.3 and 0.06) compared to the index values in the MLP model (3 -10/, 23/9 and 122/3) had better accuracy. It was also found that the basin is facing an environmental risk. Because the suggested values for the environmental flow were higher than the total runoff in some months during the study period.

Keywords: Bayesian network, Environmentalism, Perceptron neural network, Tennant's hydrological method, Water ecosystem.