

پیش بینی جریان با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان بر مبنای سری های زمانی دبی و بارش در ایستگاه های بالادست (مطالعه موردی: ایستگاه هیدرومتری تله زنگ)

حامد نوذری^{۱*} و فاطمه توکلی^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷	پیش بینی جریان در ایستگاه های هیدرومتری موضوعی مهم و ضروری می باشد که معمولاً توسط سری های زمانی هیدرولوژیکی متغیرهای مرتبط با همان ایستگاه انجام می شود. این در حالی است که گاهی این سری های زمانی به دلایل گوناگون موجود نیست. در این شرایط مقادیر جریان در این نقاط با استفاده از آمار ایستگاه های مجاور تخمین زده خواهد شد. از این رو، در این پژوهش، به منظور پیش بینی جریان ماهانه ایستگاه هیدرومتری تله زنگ از مدل ماشین بردار پشتیبان و بر اساس آمار و اطلاعات ۱۰ ایستگاه هیدرومتری و ۸ ایستگاه باران سنجی بالادست حوضه در طول یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۱-۱۳۹۰) استفاده شد. به همین منظور و در اولین گام، تاثیر استفاده از سری های زمانی میزان جریان، بارش و ترکیبی از این دو پارامتر به عنوان ورودی و در گام بعد تاثیر تعداد ایستگاه های هیدرومتری و باران سنجی بر نتایج پیش بینی، مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج به کمک چهار شاخص آماری: ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای استاندارد (SE) و درصد خطای مطلق (MAPE) صورت گرفت. نتایج نشان داد میزان ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد و درصد خطای مطلق زمانی که از آمار بارندگی و دبی، به عنوان ورودی در مدل استفاده شود به ترتیب برابر است با ۰/۹۸۴، ۳۳/۱۹، ۰/۱۲ و ۱۰/۸۵. اگر تنها از سری زمانی بارندگی برای پیش بینی میزان جریان استفاده شود، آنگاه مقادیر ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد و درصد خطای مطلق به ترتیب برابر با ۰/۵۱۱، ۱۸۴/۹، ۰/۶۸ و ۸۱/۹۵ می شود. همچنین با افزایش تعداد ایستگاه های هیدرومتری و باران سنجی در بالادست، مدل قادر خواهد بود دبی را با دقت بیشتری پیش بینی نماید.
پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۰۴	
<p>واژگان کلیدی: ایستگاه های هیدرومتری، پیش بینی دبی، ماشین بردار پشتیبان.</p>	

۱- مقدمه

اهمیت استفاده از روش های نوین مدلسازی در مهندسی به حدی است که توانسته است در سال های اخیر رد پای خود را در حوزه های مختلف این رشته نشان دهد. به جرات می توان گفت که این روش ها فصل مشترک همه علوم مهندسی و موتور محرکی برای پیشرفت این علوم می باشند.

در رابطه با استفاده از روش های مذکور در مهندسی برق، مکانیک، شیمی، عمران و ... می توان به نمونه های متعددی از جمله پژوهش های مرتضایی و خیرالدین [۱] برای مدل سازی و تخمین طول مفصل پلاستیک ستون های بتن آرمه با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، باقرپور [۲] به منظور شبیه سازی فرآیند تولید سوخت

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: hanozari@yahoo.com

۱. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

می‌باشد. معروفی و همکاران [۱۲] جریان روزانه رودخانه باراندوزچای در دو ایستگاه بی‌بکران و دیزج را با استفاده از شبکه عصبی - موجکی و شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی نمودند و نتایج آن‌ها حاکی از توانایی و دقت بالاتر مدل شبکه عصبی - موجکی با ضرایب همبستگی ۰/۹۷۲ و ۰/۹۷۶ در ایستگاه‌های بی‌بکران و دیزج بود. نگارش و همکاران [۱۳] سیلاب رودخانه سرپاز را با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار، پرسپترون چند لایه و radial basis پیش‌بینی نمودند و به این نتیجه رسیدند که شبکه منتخب radial basis با همبستگی ۰/۹۷ در مرحله آموزش و ۰/۷۱۴ در مرحله آزمایش بهترین مدل در میان انواع شبکه عصبی می‌باشد. کریمی [۱۴] به منظور برآورد رواناب حوضه آبخیز رود خرسان ۳ از شبکه عصبی - موجکی استفاده نمود. نتایج مقایسه این روش با شبکه عصبی انتشار برگشتی و شبکه عصبی بنیادی - شعاعی نشان داد که دقت شبکه عصبی - موجکی در برآورد رواناب نسبت به دو روش دیگر بالاتر است. احمدی و همکاران [۸] جریان رودخانه باراندوزچای را با بهره‌گیری از دو روش برنامه ریزی ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان پیش‌بینی نمودند و به این نتیجه رسیدند که اگرچه دقت روش برنامه ریزی ژنتیک اندکی بیشتر از ماشین بردار پشتیبان است اما فرایند اجرای برنامه توسط آن به مراتب پیچیده‌تر از روش ماشین بردار پشتیبان می‌باشد. بیلندی و همکاران [۱۵] جهت پیش‌بینی سیلاب روزانه در حوضه رودخانه لیف آمریکا از دو روش ماشین بردار پشتیبان و hmod استفاده نموده و برتری نسبی مدل ماشین بردار پشتیبان را نسبت به روش hmod گزارش کردند. یی لین و همکاران [۱۶] اقدام به پیش‌بینی دبی ماهانه رودخانه مان‌وان با استفاده از مشاهدات بلندمدت و سه روش شبکه عصبی مصنوعی، مدل سری‌زمانی آرما و ماشین بردار پشتیبان نمودند و دریافتند که ماشین بردار پشتیبان یک روش بسیار کارآمد جهت پیش‌بینی سیلاب این رودخانه است. رافیدا و سوهایلا [۷] جریان ماهانه رودخانه پاهانگ را به کمک دو روش سری‌زمانی آرما و مدل ماشین بردار پشتیبان پیش‌بینی نموده و نتایج تحقیقات آن‌ها حاکی از برتری روش ماشین بردار پشتیبان بود.

با مروری بر مطالعات انجام شده می‌توان دریافت که روش ماشین بردار پشتیبان یکی از ابزارهای مناسب در زمینه پیش‌بینی سری‌های زمانی می‌باشد. در مطالعات مذکور

بیودیزل حاصل از روغن‌های پسماند با استفاده از شبکه عصبی، شفیع‌نیک آبادی و عظیمی [۳] در پیش‌بینی تقاضا در زنجیره تامین با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، نظری [۴] برای مدل‌سازی انرژی ضربه‌ی فولادهای مرتبه‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، شریفی و همکاران [۵] به منظور مدل‌سازی نیروی رانش و مصرف سوخت ویژه برای موتور توربوپن با استفاده از شبکه عصبی نوع GMDH، فیروزنیا و امجدی [۶] برای پیش‌بینی بار کوتاه مدت با استفاده از تجزیه سری زمانی بار و شبکه عصبی، اشاره نمود. در علوم و مهندسی آب نیز روش‌های ذکر شده به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی انواع پارامترهای هیدرولوژیکی، مورد توجه کارشناسان و پژوهشگران این رشته قرار گرفته است. از این میان می‌توان به دبی جریان به عنوان یکی از حساس‌ترین این پارامترها اشاره نمود. پیش‌بینی دبی کوتاه مدت یا بلندمدت سیلاب می‌تواند در مسائل مختلف مهندسی آب مانند طراحی سدها و سازه‌های هیدرولیکی و سیستم‌های انتقال و توزیع آب مورد استفاده قرار گیرد [۷]. لذا با پیش‌بینی جریان رودخانه علاوه بر مدیریت بهره‌برداری از منابع آب، می‌توان حوادث طبیعی نظیر سیل و خشکسالی را نیز پیش‌بینی و مهار نمود [۸]. اهمیت برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و همچنین رشد روزافزون جمعیت و محدودیت منابع آب سطحی در کشور، پیش‌بینی دقیق‌تر جریان رودخانه با استفاده از ابزارها و روش‌های نوین مدل‌سازی را به ضرورتی اجتناب ناپذیر تبدیل کرده است [۹]. استفاده از روش‌های نوین مانند مدل‌های غیرخطی به منظور برآورد و پیش‌بینی دبی رودخانه‌ها و مقابله با خطر سیل و کاهش خسارات ناشی از آن در سال‌های اخیر رو به گسترش بوده و مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این راستا غفاری و وفاخواه [۱۰] فرآیند بارش - رواناب حوضه‌ی آبخیز حاجی قوشان را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و شبکه فازی عصبی تطبیقی پیش‌بینی نمودند و دریافتند که مدل شبکه فازی عصبی تطبیقی فرآیند بارش - رواناب را با دقت بیشتری پیش‌بینی می‌نماید. عبدالله پور آزاد و ستاری [۱۱] از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی عصبی - تطبیقی به منظور پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه اهرچای واقع در استان آذربایجان شرقی استفاده نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد که دقت مدل سیستم استنتاج فازی عصبی - تطبیقی نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی بالاتر

در این محل، دو رودخانه تیره و ماربره به هم می‌پیوندند. از این نقطه به بعد، جهت جریان آب عموماً از شمال به جنوب و جنوب‌غربی است. در ۲۰ کیلومتری جنوب درود، رود سبزه که از دامنه‌های جنوبی و غربی اشترانکوه سرچشمه می‌گیرد، به این جریان متصل شده و رودخانه سزار تشکیل می‌شود. در حدود ۲۵ کیلومتری جنوب‌غربی این نقطه، رود واسک و به فاصله کمی رود زاز از ساحل چپ به رود سزار پیوسته و جریان در جهت جنوب‌غربی ادامه می‌یابد. رودخانه کوچک سرخاب نیز از ساحل راست به رودخانه سزار متصل می‌شود. این حوضه بطور کلی بین ۵ استان اصفهان، مرکزی، چهارمحال و بختیاری، لرستان و خوزستان واقع شده است که بیشترین مساحت آن درون استان لرستان و سپس خوزستان قرار دارد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه و ایستگاههای مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می‌دهد. همچنین مشخصات ایستگاههای هیدرومتری و بارانسجی مورد مطالعه در این تحقیق به ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

۲-۲- ماشین بردار پشتیبان

در سال ۱۹۶۵ محقق روسی به نام ولادیمیر وپنیک، مدل ماشین بردار پشتیبان را بر اساس نظریه آماری یادگیری ارائه نمود، در این مدل رابطه بین مقادیر وابسته و مستقل در قالب یک تابع معین f به علاوه یک مقدار اضافی بیان می‌شود و هدف اصلی آن یافتن فرم تابع f به منظور پیش‌بینی صحیح مواردی است که تاکنون تجربه نکرده است [۹]. اولین کاربرد این مدل در مسائل مدل‌سازی بارش و رواناب توسط دیباک و همکاران ارائه شده است. در واقع می‌توان گفت که ماشین بردار پشتیبان سیستم یادگیری کارآمدی است که به منظور رسیدن به یک جواب بهینه از اصل استقرایی کمینه‌سازی خطای ساختاری استفاده می‌کند [۱۵]. ماشین بردار پشتیبان دارای دو نوع رگرسیونی نوع اول و رگرسیونی نوع دوم است که به ترتیب با $SVM - \epsilon$ و $SVM - \nu$ نشان داده می‌شوند که نوع دوم دارای کاربرد بیشتری در مسائل رگرسیونی است. این مدل قادر است از طریق تغییر ابعاد مسئله به وسیله توابع کرنل، مسائل غیرخطی را حل نماید و انتخاب کرنل مناسب تحت تاثیر حجم داده‌های آموزشی و ابعاد بردار می‌باشد. در این مدل چهار نوع کرنل خطی، چند جمله‌ای، تانزانت هیپربولیک و گوسی وجود دارد که تابع خطای زیر (رابطه

روش ماشین بردار پشتیبان با روش‌ها و مدل‌های دیگر مقایسه و استفاده از آن پیشنهاد شده است. لازم به ذکر است در این مطالعات از آمار و اطلاعات دبی ثبت شده در یک ایستگاه هیدرومتری استفاده و به کمک روش ماشین بردار پشتیبان، دبی آن ایستگاه در سالهای آتی پیش‌بینی شده است. اما تحقیقی که در آن، پیش‌بینی آبدی یک ایستگاه، به کمک آمار ثبت شده در خود ایستگاه و ایستگاه‌های بالادست و آمار بارش منطقه انجام شده باشد، صورت نگرفته است. بنابراین برای اولین بار با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان و به کمک آمار و اطلاعات بارش منطقه و آبدی ایستگاههای بالادست، میزان دبی یک ایستگاه پیش‌بینی خواهد شد. لذا هدف از پژوهش حاضر، ۱- بررسی میزان توانایی مدل ماشین بردار پشتیبان در روندیابی جریان، ۲- برآورد میزان دبی پایین‌دست رودخانه به کمک آمار و اطلاعات مربوط به جریان در سرشاخه‌های بالادست آن، ۳- بررسی تاثیر استفاده از سری‌های زمانی دبی، بارش و ترکیبی از این دو پارامتر در پیش‌بینی جریان پایین دست و ۴- بررسی تاثیر تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری و بارانسجی بالادست بر نتایج پیش‌بینی جریان پایین دست، می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

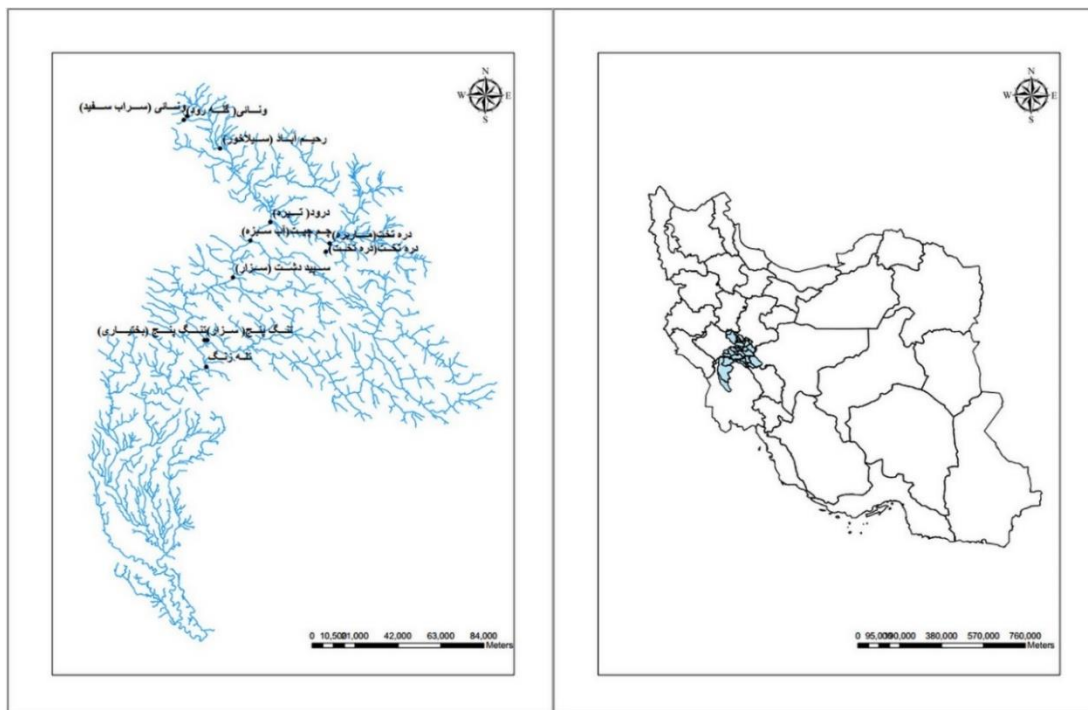
حوضه آبریز دز واقع در جنوب‌غربی کشور از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. حوضه آبریز رودخانه دز به عنوان یک حوضه درجه ۳، زیرمجموعه‌ای از حوضه کارون بزرگ محسوب می‌شود و در تقسیم‌بندی بزرگتر، زیرمجموعه حوضه خلیج فارس و دریای عمان قرار می‌گیرد. سزار و بختیاری دو شاخه اصلی رودخانه دز هستند. رود سزار در شمالی‌ترین قسمت حوضه دز جریان دارد و از سه شاخه ماربره، تیره و سبزه تشکیل شده است. پیوستن آبراهه‌های متعدد و از جمله رودخانه ازنا در منطقه الیگودرز، رودخانه ماربره را پدید می‌آورند. شاخه دیگر رودخانه سزار، رودخانه تیره نام دارد که از شاخه‌های فرعی کله‌رود، سیلاخور، آبرده و بیاتون تشکیل می‌شود. رودخانه تیره از منطقه بروجرد سرچشمه می‌گیرد و سپس این رودخانه در جهت شرق به سمت درود جریان می‌یابد و

$$\begin{aligned}
 W^T \phi(x_i) + b - y_i &\leq \varepsilon + \xi_i^* \\
 y_i - W^T \phi(x_i) - b &\leq \varepsilon + \xi_i^* \\
 \xi_i^*, \xi_i &\geq 0
 \end{aligned} \quad (2)$$

(۱) را با در نظر گرفتن یکسری محدودیت‌ها (رابطه ۲) کمینه می‌کنند [۸].

در روابط بالا C ثابت گنجایش، W بردار ضرایب، ξ_i^* و ξ_i ضرایب کمبود، b ضریب ثابت، N الگوهای آموزش مدل و ϕ تابع کرنل است.

$$\frac{1}{2} W^T W + C \sum_{i=1}^N \xi_i + C \sum_{i=1}^N \xi_i^* \quad (1)$$



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

ردیف	نام رودخانه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	سزار	تنگ پنج-سزار	۴۵-۴۸	۳۲-۵۶	۶۰۰
۲	دز	تله زنگ	۴۶-۴۸	۳۲-۴۹	۴۴۰
۳	تیره	درود	۴-۴۹	۳۳-۲۸	۱۴۵۰
۴	آب سبزه	چم چیت	۴۸-۵۸	۳۳-۲۳	۱۲۹۰
۵	سزار	سپید دشت	۴۸-۵۳	۳۳-۱۳	۹۷۰
۶	سیلاخور	رحیم آباد	۳۰-۴۷-۴۸	۳۳-۴۷	۱۴۹۰
۷	گلر رود	ونائی	۴۸-۳۵	۳۳-۵۴	۱۹۷۰
۸	ماربره	دره تخت	۲۳-۴۹	۳۳-۲۳	۱۸۲۰
۹	دره تخت	دره تخت	۲۲-۴۹	۳۳-۲۱	۱۹۴۰
۱۰	بختیار	تنگ پنج	۴۶-۴۸	۳۲-۵۶	۶۰۰
۱۱	سراب سفید	ونائی	۳۶-۴۸	۳۳-۵۵	۱۹۷۰

$$x'_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (3)$$

در این رابطه، x_{max} حداکثر مقدار متغیر، x_{min} حداقل مقدار متغیر و x_i متغیر نام است.

۲-۳- نرمال سازی داده ها

پیش از اجرای مدل ماشین بردار پشتیبان، آمار و اطلاعات ورودی با استفاده از رابطه (۳) نرمال شده و به بازه (۰ و ۱) نگاشت می‌شوند.

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه

ردیف	نام رودخانه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	سزار	تنگ پنج-سزار	۴۵-۴۸	۵۶-۳۲	۶۰۰
۲	دز	تله زنگ	۴۶-۴۸	۴۹-۳۲	۴۴۰
۳	تیره	درود	۰۴-۴۹	۲۸-۳۳	۱۴۵۰
۴	آب سبزه	چم چیت	۵۸-۴۸	۲۳-۳۳	۱۲۹۰
۵	سزار	سپید دشت	۵۳-۴۸	۱۳-۳۳	۹۷۰
۶	سیلاخور	رحیم آباد	۳۰-۴۷-۴۸	۴۷-۳۳	۱۴۹۰
۷	گله رود	ونائی	۳۵-۴۸	۵۴-۳۳	۱۹۷۰
۸	دره تخت	دره تخت	۲۲-۴۹	۲۱-۳۳	۱۹۴۰
۹	بختیاری	تنگ پنج	۴۶-۴۸	۵۶-۳۲	۶۰۰

۲-۴- معیارهای ارزیابی

به منظور ارزیابی مدل‌ها از سه شاخص آماری ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای استاندارد (SE) و درصد خطای مطلق (MAPE) به صورت زیر استفاده شد.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_i^p - \bar{Q}_i^p)(Q_i^o - \bar{Q}_i^o)]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^p - \bar{Q}_i^p)^2 \sum_{i=1}^n (Q_i^o - \bar{Q}_i^o)^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Q_i^o - Q_i^p)^2} \quad (5)$$

$$SE = \frac{RMSE}{\bar{x}} \quad (6)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Q_i^o - Q_i^p}{Q_i^o} \right| * 100 \quad (7)$$

در این روابط، Q_i^o دبی مشاهداتی، Q_i^p دبی شبیه سازی، \bar{Q}_i^o میانگین دبی مشاهداتی، \bar{Q}_i^p میانگین دبی شبیه سازی و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

۳- بحث و نتایج

هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی امکان پیش‌بینی دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری پایین دست به کمک آمار ایستگاه‌های بالادست بود. برای نیل به این هدف به ترتیب اقدامات زیر صورت گرفت:

۳-۱- انتخاب مدل پیش‌بینی مناسب

با مروری بر پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه پیش‌بینی آبدی رودخانه ملاحظه شد که در بیشتر موارد مدل ماشین بردار پشتیبان، در مقایسه با مدل‌های دیگر، به عنوان یک مدل کارآمد و دقیق معرفی شده که قادر است با سهولت و

در مدت زمان کمتری فرایند شبیه سازی را انجام دهد [۷] و [۸]. بنابراین، مدل ماشین بردار پشتیبان به عنوان مدل پیش‌بینی در این پژوهش انتخاب و در نرم‌افزار MATLAB [2014] کدنویسی شد. با توجه به اینکه در مطالعات هیدرولوژی، تابع کرنل پایه شعاعی (RBF) به عنوان تابع مناسب توصیه شده است (دهقانی و همکاران (۱۳۹۴)) و همچنین با توجه به اینکه تابع شعاعی دارای پارامترهای تنظیم کمتری نسبت به توابع کرنل چندضلعی است (احمدی و همکاران (۱۳۹۲))، از کرنل پایه شعاعی در مدلسازی به وسیله ماشین بردار پشتیبان استفاده گردید. همچنین مقدار بهینه و مناسب پارامتر تنظیم کننده مدل و پارامتر مربوط به تابع کرنل توسط مدل تخمین زده شد.

۳-۲- انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه

در روش تحلیل منطقه ای لازم است همه ایستگاه‌ها دارای طول دوره آماری یکسان باشند. از سوی دیگر هر چه طول دوره آماری افزایش یابد، میزان دقت پیش‌بینی بالاتر می‌رود. بنابراین از میان ایستگاه‌های موجود در منطقه، تعداد ۱۰ ایستگاه هیدرومتری و ۸ ایستگاه باران‌سنجی که دارای مشخصات مذکور باشند، انتخاب گردید. در گام دوم از بین ایستگاه‌های هیدرومتری، یک ایستگاه به عنوان ایستگاه هدف و یا ایستگاهی که قرار است پیش‌بینی دبی در آن صورت بگیرد، انتخاب شد. با توجه به هدف پژوهش، ایستگاه هیدرومتری تله زنگ که از نظر موقعیت مکانی در پایین دست ایستگاه‌های دیگر واقع شده بود برای این منظور انتخاب گردید.

۳-۳- طرح سناریوهای مختلف به منظور پیش‌بینی

دبی در ایستگاه تله زنگ

به منظور پیش‌بینی دبی در این ایستگاه از آمار دبی و

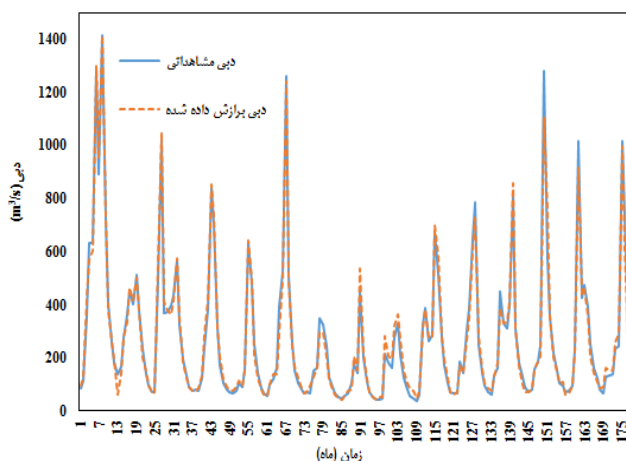
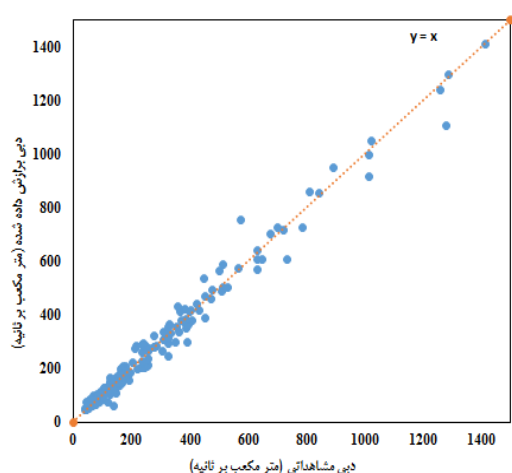
۳-۳-۱- پیش‌بینی دبی به کمک آمار ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست

در این حالت سری‌های زمانی دبی ایستگاه‌های هیدرومتری در قالب ۱۰ سری به عنوان ورودی به مدل و دبی ماهانه ایستگاه تله زنگ به عنوان متغیر خروجی معرفی گردید. که نتایج آن در مرحله آموزش در جدول ۳ و شکل (۲) ارائه شده است.

بارش ماهانه ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی واقع در بالادست آن در طول یک دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۱-۱۳۹۰) استفاده شد. داده‌های مورد نظر قبل از اجرای مدل به وسیله رابطه (۳) نرمال شده، نواقص آماری آنها برطرف گردید و از این دوره آماری، ۱۵ سال (۱۳۷۱-۱۳۸۵) به عنوان داده‌های آموزشی و ۵ سال (۱۳۸۵-۱۳۹۰) به منظور صحت‌سنجی مدل استفاده شد که بدین منظور سه سناریو به صورت‌های زیر مطرح شد:

جدول ۳. نتایج برازش الگو در ایستگاه تله‌زنگ به کمک ماشین بردار پشتیبان در مرحله آموزش

ایستگاه		شاخص‌های آماری			
ورودی	خروجی	MAPE	SE	RMSE	R ²
دبی (تنگ پنج - سزار، تنگ پنج - بختیاری، درود، چم‌چیت، سپیددشت، دره تخت - ماربره، دره تخت، رحیم‌آباد - سیلاخور، ونایی - سراب سفید و ونایی - گله رود)	تله زنگ	۱۰/۹۱۶	۰/۱۳۱	۳۵/۶۷۸	۰/۹۸۲



شکل ۲. مقایسه دبی مشاهده‌ای و برازش داده شده در ایستگاه تله زنگ به کمک آمار دبی ایستگاه‌های بالادست در مرحله آموزش

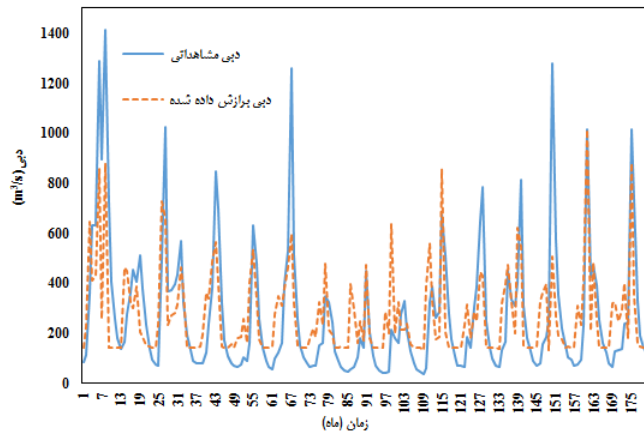
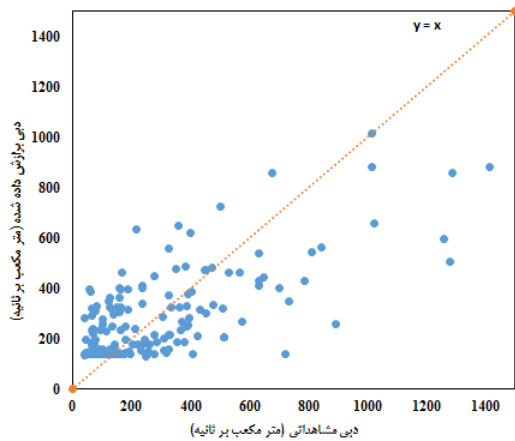
قالب ۸ سری به عنوان ورودی به مدل و دبی ماهانه ایستگاه تله زنگ به عنوان متغیر خروجی معرفی گردید که نتایج آن در مرحله آموزش در جدول ۴ و شکل (۳) ارائه شده است.

۳-۳-۲- پیش‌بینی دبی به کمک آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی بالادست

در این حالت سری‌های زمانی بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی در

جدول ۴. نتایج برازش الگو در ایستگاه تله‌زنگ به کمک ماشین بردار پشتیبان در مرحله آموزش

ایستگاه		شاخص‌های آماری			
ورودی	خروجی	MAPE	SE	RMSE	R ²
بارش (تنگ پنج - سزار، تنگ پنج - بختیاری، درود، چم‌چیت، سپیددشت، دره تخت، رحیم‌آباد - سیلاخور و ونایی - گله رود)	تله زنگ	۸۱/۹۴۷	۰/۶۷۸	۱۸۴/۹۵۲	۰/۵۱۱



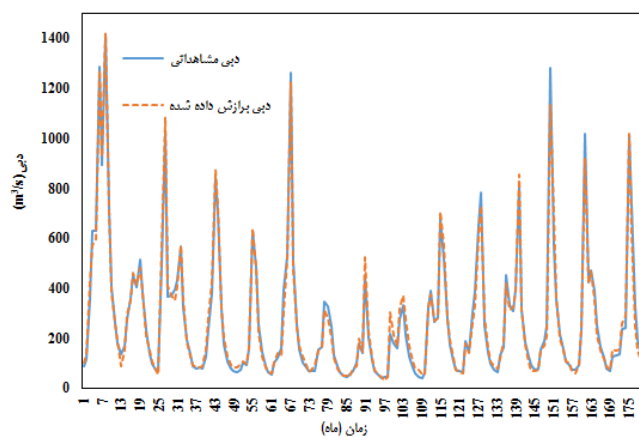
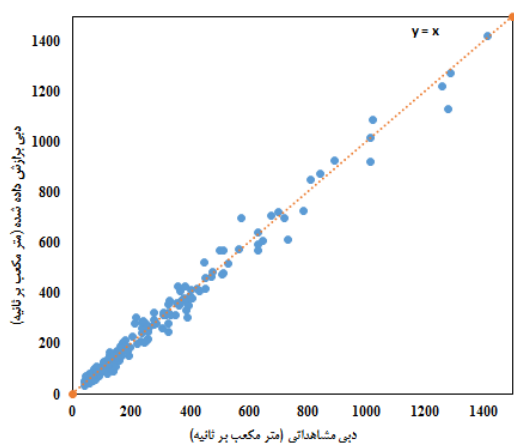
شکل ۳. مقایسه دبی مشاهداتی و برازش داده شده در ایستگاه تله زنگ به کمک آمار بارش ایستگاه های بالادست در مرحله آموزش

باران سنجی و دبی ایستگاه های هیدرومتری در قالب ۱۸ سری به عنوان ورودی به مدل و دبی ماهانه ایستگاه تله زنگ به عنوان متغیر خروجی معرفی گردید، که نتایج آن در مرحله آموزش در جدول ۵ و شکل (۴) مشاهده می شود.

۳-۳-۳- پیش بینی دبی به کمک تلفیقی از آمار ایستگاه های هیدرومتری و باران سنجی بالادست در این حالت تلفیقی از سری زمانی بارش ایستگاه های

جدول ۵. نتایج برازش الگو در ایستگاه تله زنگ به کمک ماشین بردار پشتیبان در مرحله آموزش

ایستگاه	خروجی	شاخص های آماری			
		MAPE	SE	RMSE	R ²
ورودی					
دبی و بارش (تنگ پنج -سزار، تنگ پنج - بختیاری، درود، چم چیت، سپید دشت، دره تخت- ماربره، دره تخت، رحیم آباد- سیلاخور، ونایی- سراب سفید و ونایی- گله رود)	تله زنگ	۱۰/۸۴۷	۰/۱۲۲	۳۳/۱۹۴	۰/۹۸۴



شکل ۴. مقایسه دبی مشاهداتی و برازش داده شده در ایستگاه تله زنگ به کمک آمار دبی و بارش ایستگاه های بالادست در مرحله آموزش

۴-۳- بررسی تاثیر تعداد ایستگاه های هیدرومتری و باران سنجی بالادست بر نتایج پیش بینی در این قسمت بعد از انتخاب سناریو سوم که شامل استفاده همزمان از آمار بارش و دبی ایستگاه های بالادست بود. تاثیر

همانطور که ملاحظه می شود استفاده از آمار بارش در کنار دبی، به عنوان ورودی به مدل، دقت پیش بینی را بالا برده و استفاده از سری زمانی بارندگی به تنهایی، به شدت باعث کاهش دقت مدل خواهد شد.

تعداد این ایستگاه‌ها در بالادست بر نتایج پیش‌بینی در ایستگاه تله زنگ مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور به تدریج از تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی واقع در بالادست کاسته شد و در هر مرحله شاخص‌های آماری مورد مطالعه در مرحله آموزش مورد محاسبه قرار گرفتند که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج برازش الگو در ایستگاه تله‌زنگ به کمک ماشین بردار پشتیبان در مرحله آموزش

ایستگاه	شاخص‌های آماری	شاخص‌های آماری			
		ورودی	خروجی	MAPE	SE
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار، تنگ پنج-بختیاری، درود، چم چیت، سپید دشت، دره تخت-ماربره، دره تخت، رحیم آباد-سیلاخور، ونایی-سراب سفید و ونایی-گله رود)	تله زنگ	۱۰/۸۴۷	۰/۱۲۲	۳۳/۱۹۴	۰/۹۸۴
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار، تنگ پنج-بختیاری، درود، چم چیت، سپید دشت، دره تخت-ماربره، دره تخت، رحیم آباد-سیلاخور و ونایی-گله رود)	تله زنگ	۱۱/۲۴۴	۰/۱۴۱	۳۸/۴۶۸	۰/۹۷۹
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار، تنگ پنج-بختیاری، درود، چم چیت، سپید دشت، دره تخت-ماربره، دره تخت و رحیم آباد-سیلاخور)	تله زنگ	۱۱/۵۴۴	۰/۱۴۶	۳۹/۷۹۰	۰/۹۷۷
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار، تنگ پنج-بختیاری، درود، چم چیت، سپید دشت، دره تخت-ماربره و دره تخت)	تله زنگ	۱۰/۹۵۳	۰/۱۴۰	۳۸/۳۱۰	۰/۹۷۹
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار، تنگ پنج-بختیاری، چم چیت، سپید دشت، دره تخت-ماربره و دره تخت)	تله زنگ	۱۲/۲۷۲	۰/۱۴۵	۳۹/۶۰۲	۰/۹۷۸
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار، تنگ پنج-بختیاری، سپید دشت، دره تخت-ماربره و دره تخت)	تله زنگ	۱۲/۴۱۶	۰/۱۵۰	۴۱/۰۰۵	۰/۹۷۶
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار، تنگ پنج-بختیاری، سپید دشت، دره تخت-ماربره)	تله زنگ	۱۲/۴۹۶	۰/۱۵۴	۴۱/۹۴۶	۰/۹۷۵
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار، تنگ پنج-بختیاری، سپید دشت)	تله زنگ	۱۳/۵۳۳	۰/۱۷۴	۴۷/۵۷۷	۰/۹۶۸
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار، تنگ پنج-بختیاری)	تله زنگ	۱۳/۷۵۸	۰/۲۱۱	۵۷/۵۵۱	۰/۹۵۳
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار)	تله زنگ	۱۶/۹۸۷	۰/۲۵۷	۷۰/۱۹۷	۰/۹۲۹

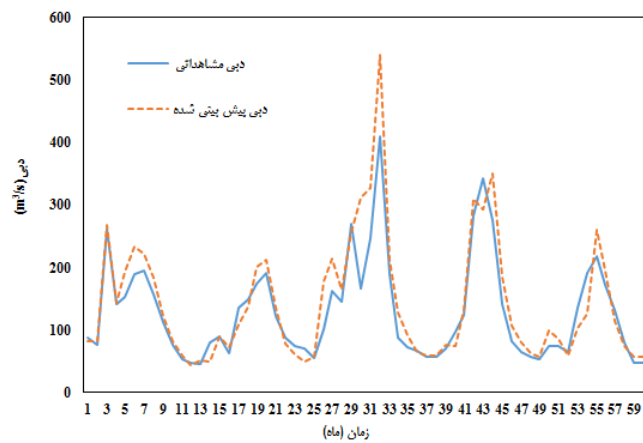
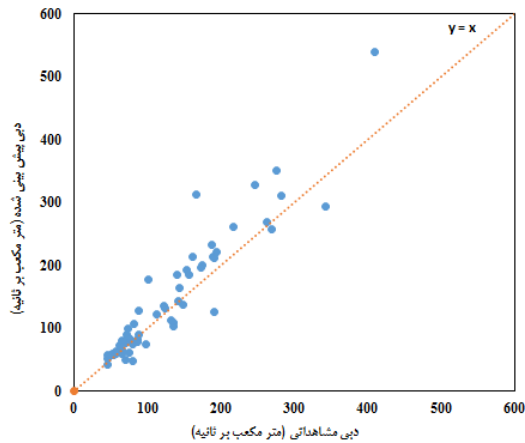
۳-۵- پیش‌بینی دبی در ایستگاه تله زنگ

در این قسمت دبی ماهانه در ایستگاه هیدرومتری تله زنگ به کمک دبی و بارش ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی واقع در بالادست آن و با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان پیش‌بینی شد و دقت نتایج مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵ و جدول ۷). نتایج نشان می‌دهد که مدل مذکور از دقت قابل قبولی در پیش‌بینی آبدهی یک ایستگاه برخوردار است.

همانطور که ملاحظه می‌شود هرچه تعداد ایستگاه‌های ورودی کمتر می‌شود ضریب تبیین کاهش یافته و جذر میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد و درصد خطای مطلق رو به افزایش می‌روند. در نتیجه توصیه می‌شود برای بالاتر رفتن دقت پیش‌بینی دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری به کمک ایستگاه‌های بالادست تا حد امکان تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی انتخابی در بالادست افزایش یابد.

جدول ۷. نتایج پیش‌بینی دبی در ایستگاه تله‌زنگ به کمک ماشین بردار پشتیبان در مرحله صحت‌سنجی

ایستگاه	شاخص‌های آماری	شاخص‌های آماری			
		ورودی	خروجی	MAPE	SE
دبی و بارش (تنگ پنج-سزار، تنگ پنج-بختیاری، درود، چم چیت، سپید دشت، دره تخت-ماربره، دره تخت، رحیم آباد-سیلاخور، ونایی-سراب سفید و ونایی-گله رود)	تله زنگ	۱۸/۳۸۵	۰/۲۹۷	۳۸/۴۱۸	۰/۸۸۴



شکل ۵. مقایسه دبی مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ایستگاه تله زنگ به کمک آمار دبی و بارش ایستگاه‌های بالادست در مرحله صحت‌سنجی

۴- نتیجه‌گیری

مدل، با ضریب تبیین $0/982$ جذر میانگین مربعات خطا $35/678$ ، خطای استاندارد $0/131$ و درصد خطای مطلق $10/916$ در مرحله آموزش، دقت پیش‌بینی را مقداری بالاتر برده و استفاده از سری زمانی بارندگی به تنهایی، با ضریب تبیین $0/511$ جذر میانگین مربعات خطا $184/952$ ، خطای استاندارد $0/678$ و درصد خطای مطلق $81/947$ به شدت باعث افزایش خطا در نتایج خواهد شد.

- با افزایش تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی در بالادست ایستگاه تله زنگ، ضریب تبیین از $0/929$ به $0/984$ افزایش یافته و جذر میانگین مربعات خطا از $70/197$ به $33/194$ ، خطای استاندارد از $0/257$ به $0/122$ و درصد خطای مطلق از $10/847$ به $0/224$ کاهش می‌یابد و به عبارت دیگر با افزایش تعداد ایستگاه‌های ورودی به مدل دقت شبیه‌سازی به صورت چشم‌گیری افزایش می‌یابد.

در این پژوهش که به منظور پیش‌بینی دبی ماهانه ایستگاه هیدرومتری تله زنگ با استفاده از آمار دبی و بارش ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی واقع در بالادست آن به کمک مدل ماشین بردار پشتیبان صورت گرفت نتایج زیر حاصل شد.

- مدل ماشین بردار پشتیبان به علت نداشتن محدودیت در تعداد سری‌های ورودی، مدلی مناسب جهت پیش‌بینی در این تحقیق بوده و همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد که این مدل توانسته است با دقتی قابل قبول دبی را پیش‌بینی نماید.

- استفاده از آمار بارندگی در کنار دبی، به عنوان ورودی مدل، با ضریب تبیین $0/984$ جذر میانگین مربعات خطا $33/194$ ، خطای استاندارد $0/122$ و درصد خطای مطلق $10/847$ نسبت به استفاده از آمار دبی، به عنوان ورودی

مراجع

- [۱] ع. ر. مرتضایی و ع. خیرالدین، "مدل‌سازی و تخمین طول مفصل پلاستیک ستون‌های بتن‌آرمه به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی"، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال ۱۰، شماره ۲۹، ۱۳۹۱، صفحه ۱۷ تا ۱۷.
- [۲] ح. باقرپور، "شبیه‌سازی فرآیند تولید سوخت بیودیزل حاصل از روغن‌های پسماند با استفاده از شبکه عصبی"، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال ۱۲، شماره ۳۹، ۱۳۹۳، صفحه ۱۴۳ تا ۱۴۹.
- [۳] م. شفیع نیک آبادی و ع. عظیمی، "پیش‌بینی تقاضا در زنجیره تامین با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین"، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال ۱۳، شماره ۴۱، ۱۳۹۴، صفحه ۱۲۷ تا ۱۳۶.
- [۴] ع. نظری، "مدل‌سازی انرژی ضربه‌ی فولادهای مرتبه‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال ۱۴، شماره ۴۵، ۱۳۹۵، صفحه ۱۴۵ تا ۱۶۲.

[۵] م. شریفی، ب. شهریاری و ا. باقری، "مدل سازی نیروی رانش و مصرف سوخت ویژه برای موتور توربو فن با استفاده از شبکه عصبی نوع GMDH"، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال ۱۰، شماره ۲۸، ۱۳۹۱، صفحه ۷ تا ۱۰.

[۶] ر. فیروزنیا و ن. امجدی، "پیش‌بینی بار کوتاه مدت با استفاده از تجزیه سری زمانی بار و شبکه عصبی"، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال ۷، شماره ۱۶، ۱۳۸۸، صفحه ۲۳ تا ۳۲.

[7] A. Rafidah and Y. Suhaila, "Modeling river stream flow using support vector machine", Trans Tech Publication, Vol. 315, 2013, pp. 602-605.

[۸] ف. احمدی، ف. رادمنش و ر. میرعباسی، "مقایسه روش‌های برنامه‌ریزی ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه باراندوزچای)"، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، سال ۲۸، شماره ۶، ۱۳۹۳، صفحه ۱۱۷۱-۱۱۶۲.

[۹] م. سیدیان، م. سلیمانی و م. کاشانی، "پیش‌بینی دبی جریان رودخانه با استفاده از داده کاوی و سری‌زمانی، اکوهیدرولوژی"، سال ۱، شماره ۳، ۱۳۹۳، صفحه ۱۶۷-۱۷۹.

[۱۰] غ. غفاری و م. وفاخواه، "شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی- عصبی تطبیقی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز حاجی قوشان)"، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال ۴، شماره ۸، ۱۳۹۲، صفحه ۱۳۶-۱۲۰.

[۱۱] م. عبدالله پور آزاد و م. ستاری، "پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه اهر چای با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و مقایسه آن با سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی (ANFIS)"، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال ۲۲، شماره ۱، ۱۳۹۴، صفحه ۲۹۸-۲۸۷.

[۱۲] ص. معروفی، ک. امیر مرادی، ن. پارسا، "پیش‌بینی جریان روزانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و عصبی- موجکی (مطالعه موردی: رودخانه باراندوزچای)"، نشریه دانش آب و خاک، سال ۲۳، شماره ۳، ۱۳۹۲، صفحه ۱۰۳-۹۳.

[۱۳] ح. نگارش، م. ازدری مقدم و م. آرمش، "کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیلاب حوضه آبریز سرباز"، مجله جغرافیا و توسعه، سال ۱۱، شماره ۳۱، ۱۳۹۲، صفحه ۲۸-۱۵.

[۱۴] ص. کریمی، "شبیه‌سازی رواناب با استفاده از شبکه عصبی - موجکی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رود خرسان ۳)"، مجله مهندسی منابع آب، سال ۲۴، شماره ۸، ۱۳۹۴، صفحه ۱۹-۱.

[۱۵] م. بیلندی، ع. خاشعی سیوکی و ص. صادقی طبس، "پیش‌بینی رواناب روزانه با مدل حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان (ls-svm)"، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، سال ۲۱، شماره ۶، ۱۳۹۳، صفحه ۳۰۴-۲۹۳.

[16] J. Yilin, C. Cheng, and K. Chau, "Using support vector machine for long-term discharge prediction", Hydrological Science Journal, Vol. 51(4), 2006, pp. 599-612