هیدروژئولوژی، سال ششم، شماره ۱، تابستان ۱۴۰۰
Hydrogeology, Volume 6, No. 1, Summer 2021

پیش‌بینی جریان ورودی با استفاده از تحلیل مدل‌های سری زمانی (مطالعه موردی: سد جامیشان)

مهدی سرائی تبریزی[1]*، محمد نبی جلالی[2] و حسین یوسفی سهزابی [3]

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳- دانشیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

* نویسنده مسئول: Mahdisarai@Yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۵

چکیده

به‌عنوان تغذیه‌کننده آبخوان‌ها و پارامتر تأثیرگذار در معادلات و گزارش بیلان آب، پیش‌بینی آبدهی سد و رودخانه‌ها نقشی چشم‌گیر در برنامه‌ریزی، مدیریت و بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع آب زیرزمینی دارا می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور ساماندهی حوضه آبریز جامیشان آبدهی ماهانه این حوضه با استفاده از روش‌های تحلیل سری زمانی مورد پیش‌بینی قرار گرفته شد. بدین منظور، از داده‌های ماهانه دبی ورودی به سد جامیشان در شهرستان سنقز استان کرمانشاه در بازه زمانی (۱۳۹۴-۱۳۶۵) استفاده گردید. آنالیز اولیه داده‌ها شامل بررسی ترم‌های قطعی سری (تناوب، روند و پرش) با استفاده از آزمون من-کندال در قالب نرم افزار MINITAB انجام و پس از اطمینان از حذف این ترم‌ها، داده‌ها نرمال و ایستایی داده‌ها مشخص شد. سپس با توجه به توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی سعی گردید تا مدل‌های سری زمانی مناسب برای دوره واسنجی به داده‌های موردنظر برازش داده شود و با آزمون عدم همبستگی پورت‌مانتو و نرمال بودن باقی‌مانده‌ها، تعدادی از مدل‌هایی که فاقد این شرایط بودند حذف گردد. نتایج حاکی از آن است که در بین مدل‌های باقی‌مانده با آزمون آکائیک (AIC)، مدل سری زمانی ARIMA(1,1,1) با مقدار آکاییک ۱۱/۷۶- و واریانس خطای ۰/۹۲ به‌عنوان بهترین مدل مشخص گردید، در مرحله صحت‌سنجی نیز با بهره‌گیری از بهترین مدل در دوره واسنجی پیش‌بینی صورت گرفت و نتایج مربوط به عدم وجود خودهمبستگی بین باقی‌مانده‌ها حاصل از برازش مدل منتخب مقادیر خطاهای دوره صحت‌سنجی با آزمون بارلت‌تست مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آماره پرت‌مانتو حاکی از آن است در تمامی‌تأخیرها p-value بیش‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد که این نتایج بیان‌گر مستقل بودن باقی‌مانده‌ها را تأیید می‌کند. همچنین نتایج بارلت‌تست نشان از دقت بالای مدل دارد. پس از موفقیت مدل در آزمون‌های صحت‌سنجی، حال مدل این قابلیت را دارد که وارد مرحله پیش‌بینی شود، نتایج نشان داد مدل نحوه تغییرات دبی نسبت به زمان را به خوبی شناسایی کرده است و در حالت کلی اگر ترم‌های قطعی از سری زمانی حذف شود، برازش مدل نتیجه بهتری می‌دهد و مدلی که آکائیک و واریانس باقی‌مانده کم‌تری دارد مدل بهتری است.

واژه‌های کلیدی: سد جامیشان، سری زمانی، ARIMA، MINITAB.

مقدمه

در سال‌های اخیر با ادامه روند بیلان منفی دشت‌های کشور، ضرورت پیش‌بینی مقادیر جریان ورودی به سیستم منابع آب به منظور آگاهی از شرایط آینده و برنامه‌ریزی برای تخصیص بهینه منابع آب به بخش‌های مختلف، در مدیریت منابع آب حائز اهمیت است. در این راستا استفاده از روش‌هایی که بتواند با

حداقل خطا و با توجه به داده و اطلاعات موجود، جریان ورودی را پیش‌بینی کند از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد.

کاربرد سری زمانی در هیدرولوژی از چهار دهه پیش آغاز شده و با ارائه مدل‌های باکس و جنکینز به اوج خود رسید. به‌دلیل پیچیدگی و عدم دانش کافی در مورد فرآیندهای فیزیکی در چرخه هیدرولوژی، ساخت مدل‌های آماری و گسترش آنها برای بیان این فرآیندها همیشه موردتوجه مهندسین بوده است. اساس بسیاری از تصمیمات در بهره‌برداری از منابع آب بر پایه پیش‌بینی وتحلیل سری زمانی می‌باشد. منظور از یک سری زمانی مجموعه-ای از داده‌های آماری است که در فواصل زمانی مساوی و منظمی جمع‌آوری شده باشند و روش‌های آماری که این گونه داده‌های آماری را مورد استفاده قرار می‌دهد، تحلیل سری زمانی نامیده می‌شود (جمعدار و همکاران، ۱۳۹۹). سری‌های زمانی هیدرولوژیکی ابزاری بسیار کارآمد برای شناخت ماهیت پدیده-های هیدرولوژیکی هستند که با داشتن شناخت کافی از آن‌ها می‌توان تغییرات آینده را مدل‌سازی و پیش‌بینی کرد. روش‌های مدل‌سازی سری‌های زمانی متنوع هستند. از این بین می‌توان به مدل‌های خودهمبسته یا میانگین متحرک جمعی (ARIMA) اشاره کرد. مدل ARMIA یکی از مدل‌های تصادفی است که مبتنی بر نظریه آمار و احتمالات هست.

در زمینه تحقیقات انجام شده با مدل‌های سری زمانی، با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و سری زمانی دبی ماهانه طالقان‌رود در محل ایستگاه گلینک در یک گام زمانی آینده پیش‌بینی نمودند. نتایج به‌دست آمده که هم به صورت مدل‌های تکی و هم ترکیبی مورد مقایسه قرار گرفتند نشان داد بهترین عملکرد مربوط به مدل‌های ترکیبی و بعد از آن مدل‌های سری زمانی و سپس مدل‌های شبکه عصبی و ANFIS با تفکیک خوشه‌ای و شبکه‌ای به را داشته‌اند (فتح آبادی و همکاران، ۱۳۸۷). روش‌های مختلف تحلیل سری زمانی در پیش‌بینی ماهانه دبی حوضه آبخیز کرخه را مقایسه کردند. برای این منظور داده‌های دبی ۲۱ ایستگاه هیدرومتری از سال آبی ۶۴-۶۳ تا ۸۴-۸۳ مورد استفاده قرار گرفت و سپس روش‌های مختلف پیش‌بینی و مدل‌سازی در سری زمانی شامل آنالیز روند، روش هولت و وینترز و مدل‌های مختلف خودهمبسته با میانگین متحرک توصیه شده در روش باکس و جنکینز بر داده‌ها برازش داده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد روش آنالیز روند بهترین پیش‌بینی و پس از آن مدل‌های خودهمبسته با میانگین متحرک (ARMA) با اختلاف جزئی در اولویت بعدی قرار دارند (بشری و همکاران، ۱۳۸۹). با استفاده از مدل‌های خودهمبسته با میانگین متحرک تجمعی (ARIMA) و سامانه استنتاج فازی-عصبی انطباقی (ANFIS) دبی ماهانه ورودی به سد جامیشان واقع در استان کرمانشاه را مدل‌سازی کرده، دبی‌های ماهانه مدل‌سازی شده با دو مدل یاد شده به کمک شاخص میانگین قدر مطلق خطای نسبی با یکدیگر مقایسه شدند که مقدار آن به ترتیب ۰/۳۹۸ و ۰/۸ برای هر مدل به‌دست آمد. نتایج نشان داد که مدل ARIMA در مقادیر کم دبی و مدل‌سازی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت بسیار توانمندتر از ANFIS است (معینی و همکاران، ۱۳۹۵). در پژوهشی به برآورد جریان ورودی به دریاچه ارومیه با استفاده از تلفیق مدل‌های سری زمانی و شبیه‌سازی شرایط توسعه حوضه آبریز در دو سناریوی کوتاه‌مدت و بلندمدت توسط مدل میانگین متحرک خود بازگشت (ARMA) پرداختند در نهایت نتایج نشان داد اگر نیاز آبی سالیانه متوسط کشاورزی در سناریوهای کوتاه‌مدت و بلندمدت به‌طور متوسط ۱۴٪ و ۵۶٪ کاهش یابد حقابه دریاچه نیز تعیین می‌گردد (شریف‌نسب و شوریان، ۱۳۹۵). به‌منظور پیش‌بینی مقادیر دبی ماهانه ورودی به سد گرگان با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری با استفاده از سه مدل سری زمانی، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان پرداختند و نتایج حاصل از مدل‌ها با یکدیگر مقایسه گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده مدل ماشین بردار پشتیبان بهترین عملکرد را نسبت به دو مدل دیگر داشته است و بهترین مدل برای پیش‌بینی دبی ماهانه ورودی به سد گرگان با توجه به معیارهای ارزیابی RSME و AARE مقادیر ۵/۳۱ و ۱/۰۷ به‌دست آمده است که نسبت به دو مدل دیگر قابل‌قبول‌تر می‌باشد (صمدی و فتح آبادی، ۱۳۹۷). طی تحقیقی جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت نورآباد واقع در استان لرستان از شبکه عصبی موجک استفاده شد و نتایج آن با روش شبکه عصبی مقایسه

گردید. نتایج حاصله نشان داد دو مدل مورد استفاده با دقت قابل قبولی توانسته به تخمین تراز سطح ایستابی بپردازد. لیکن از لحاظ دقت، مدل شبکه عصبی موجک با بیشترین ضریب همبستگی ۰/۹۲، کمترین ریشه میانگین مربعات خطا ۰/۰۷۴ توانایی بالایی در تخمین مقادیر کمینه و بیشنه تراز سطح ایستابی دارد (باباعلی و دهقانی، ۱۳۹۶). طی تحقیقی کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و سری زمانی را در تخمین سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب‌شیر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که مدل منطق فازی می‌تواند تراز سطح ایستابی را با دقت قابل پیش‌بینی نماید. مدل منطق فازی با بیشترین ضریب همبستگی، کمترین ریشه مینگین مربعات خطا به‌عنوان بهترین مدل برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی انتخاب شد (سعیدی و عرب، ۱۳۹۷).

طی تحقیقی کارایی مدل‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی، منطق فازی و سری زمانی را در تخمین سطح آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب‌شیر مورد بررسی قرار دادند، نتایج حاکی از آن بود مدل منطق فازی بهترین مدل را جهت پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی را دارد (رضوی و همکاران، ۱۳۹۸). با استفاده از داده-های ذوب برف جریان ورودی به سد کرج را با استفاده از شبکه عصبی، مدل ARMA و تحلیل رگرسیون پیش‌بینی کرد نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی به‌منظور پیش‌بینی جریان ورودی به مخزن سد بهترین عملکرد را دارد و به‌عنوان ابزار مؤثر شناخته شده است (محمدی، ۲۰۰۵). در پژوهشی به پیش‌بینی سیلاب با کاربرد سری‌های زمانی در رودخانه می‌سی‌سی‌پی آمریکا پرداختند. نتایج آن‌ها نیز حاکی از توانایی سری زمانی در ساخت داده‌های دبی روزانه و صحت پیش‌بینی‌های حاصله است (دامل و یالکین، ۲۰۰۷). از مدل‌های ARMA، ARIMA و مدل شبکه عصبی خودهمبسته برای مدل‌سازی جریان ماهانه ورودی به مخزن سد دز استفاده کردند. طبق نتایج حاصل مدل شبکه عصبی خودهمبسته بهتر از مدل‌های سری زمانی جریان ورودی ماهانه به سد دز را مدل‌سازی کرد (والی پور و همکاران، ۲۰۱۳). هدف از انجام این پژوهش تعیین کارآیی مدل‌های سری زمانی در پیش‌بینی دبی ورودی به سد جامیشان در راستای تخمین میزان جریان در سال‌های آتی برای استفاده از منابع پایدار منابع آب زیرزمینی در عرصه‌های کشاورزی و غیرکشاورزی می‌باشد.

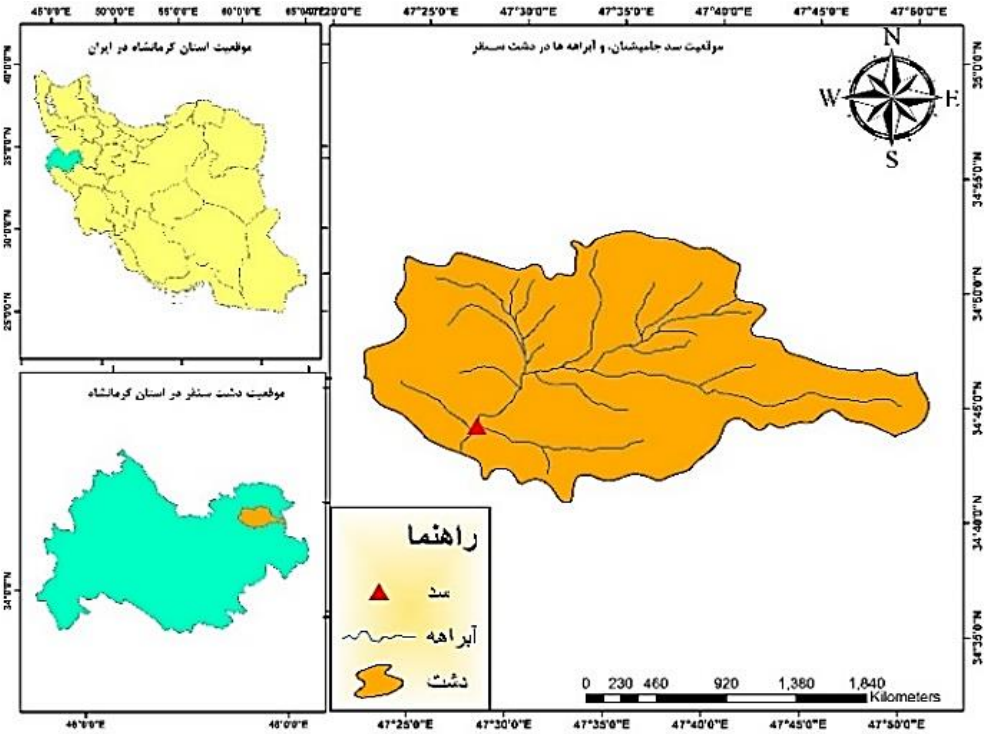
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعاتی

سد جامیشان در شهرستان سنقر استان کرمانشاه، شهرستان سنقر از شمال به حوضه آبریز گاورود، از شرق به حوضه آبریز خرم رود، از جنوب به حوضه آبریز رودخانه مریم نگار و از غرب به زیرحوضه‌های عالی سیاه و گاورود منتهی می‌گردد. این حوضه در مختصات جغرافیایی ۳۴/۳۲ تا ۵۳/ ۳۴ عرض شمالی و ۲۲/ ۴۷ تا ۵۲/ ۴۷ عرض جنوبی در زاگرس واقع شده است. شکل ۱ موقعیت این سد و حوضه آبریز آن را نشان می‌دهد. این سد با حجم نرمال ۶۲/۸ میلیون مترمکعب با هدف تأمین آب زارعی منطقه و کنترل سیلاب احداث گردید.

پیش پردازش داده‌ها

در این پژوهش داده‌های ماهانه دبی ورودی به سد جامیشان در شهرستان سنقر استان کرمانشاه در بازه زمانی (۱۳۹۲-۱۳۶۳) مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌ها قبل از انجام آزمون ایستایی باید حذف روند شوند که این امر با استاندارد کردن داده‌ها بدست آمده است. آنالیز اولیه شامل بررسی ترم‌های قطعی سری (تناوب، روند و پرش) بروی سری زمانی با استفادهاز نرم افزار Minitab، انجام و پس از اطمینان از حذف این ترم‌ها، داده‌ها نرمال گردید و ایستایی داده‌ها مشخص شد. در شکل ۲ چارت مفهومی انجام این تحقیق آورده شده است.



شکل ۱- حوضه آبریز سد جامیشان در استان کرمانشاه

شکل ۲-چارت مفهومی مراحل اصلی در ساخت الگوی

پیش‌بینی

(باکس و کاکس، ۱۹۹۴) گزارش کردند که یکی از شرایط اولیه استفاده از داده‌ها برای مدل‌سازی سری زمانی، ایستایی داده‌ها می‌باشد. در غیر این صورت باید نخست ناایستایی داده‌ها رفع گردد. طبق تعریف، یک سری زمانی در صورتی ایستا یا مانا است که مشخصه‌های آماری آن نظیر میانگین و واریانس در طول زمان ثابت بماند. یک سری ناایستا در میانگین در واقع دارای روند بوده و مقدار میانگین داده‌ها همراه با زمان در حال افزایش یا کاهش می‌باشد. در این مطالعه برای بررسی ایستایی واریانس از تبدیل باکس کاکس به‌صورت رابطه ۱ می‌باشد استفاده گردید. که در آن λ پارامتر تبدیل t، (x_t) مقدار اولیه متغیر در زمان t و $T(x_t)$ مقدار تبدیل‌یافته می‌باشد. این تبدیل قبل از تفاضلی کردن صورت می‌گیرد.

$$T(x_t) = {x_t^{\lambda}}/{\lambda} \qquad (۱)$$

تحلیل روند نیز که از جمله مهمترین روش‌های آماری است به‌طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر بر روی سری زمانی نظیر سری مشاهداتی، بارش و جریان رودخانه در نقاط مختلف جهان استفاده می‌شود. وجود یا عدم وجود روند به دو دسته روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم‌بندی می‌شود. با استفاده از روش (من-کندال، ۱۹۹۱) تغییرات داده‌ها شناسایی، نوع و زمان آن مشخص می‌گردد. در این تحقیق برای بررسی روند از آزمون من-کندال استفاده شده که روش محاسبه این آزمون نیز به‌صورت روابط ۲-۴ است : که در آن N تعداد داده‌ها، E(P) امید ریاضی نقاط چرخشی، P تعداد نقاط چرخش (در واقع از بین اعداد سری اگر داده‌ای هم از داده بالایی و هم از پایینش بزرگتر یا کوچکتر باشد آن داده نقطه چرخش است)، Var(P)، واریانس نقاط چرخش و Z آماره آزمون است.

$$E(P)={2(N-2)}/{3} \qquad (۲)$$

$$Var(P)={16N-29}/{90} \qquad (۳)$$

$$Z={P-E(p)}/{\sqrt{Var(p)}} \qquad (۴)$$

تشخیص مدل مناسب

پس از اطمینان از حذف ترم‌های قطعی سری، ایستایی سری با رسم همبستگی نگار (ACF) کنترل گردید. در این مرحله با تقسیم داده‌ها به دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی، تشخیص مرتبه مدل مناسب جهت برازش برای دوره واسنجی انجام گردید. در سری زمانی سعی می‌گردد تا با بررسی وضعیت سری داده‌ها در گذشته، الگوی احتمالی مولد داده‌ها شناسایی شده و بر مبنای این الگو درباره رفتار آینده سری اظهار نظر گردد. برای مدل‌سازی سری زمانی داده‌ها، مقدار متغیر در گام موجود را یا به‌صورت ترکیبی خطی از مقادیر متغیر در گام‌های قبلی (مدل خود همبسته) یا به‌صورت ترکیبی خطی از مقادیر خطای مدل در گام‌های قبلی (مدل میانگین متحرک) درنظر می‌گیرند و نیز از ادغام دو مدل خودهمبسته و میانگین متحرک نیز مدل خود همبسته، میانگین متحرک به‌دست می‌آید. برای استفاده از این مدل‌ها باید شرط ایستایی برقرار باشد. شکل کلی مدل خودهمبسته، میانگین متحرک به‌صورت رابطه ۵ در نظر گرفته می‌شود، که در آن Z_t سری نرمال استاندارد، e_t متغیر تصادفی مستقل، f_1 ، f_p ، q_1، q_2 و q_q پارامترهای مدل هستند

$$Z_t = f_1 Z_{t-1} + f_p Z_{t-p} + e_t + q_1 e_{t-1} + q_2 e_{t-2} - \cdots - q_q e_{t-q} \qquad (۵)$$

صحت‌سنجی مدل منتخب

از بین مدل‌های انتخاب شده که دارای باقی‌مانده‌های نرمال و مستقل باشند آزمون آکائیک انجام شده و مدلی که دارای کم‌ترین مقدار (AIC) باشد به عنوان مدل برتر وارد مرحله صحت‌سنجی می‌شود. یک مدل کلی که توانایی نمایندگی گروه گسترده‌ای از سری‌های زمانی ناایستا را داشته باشد، فرآیند اتورگرسیو میانگین متحرک ARIMA(p,d,q) با درجه (p,d,q) است، از همین رو در این تحقیق این آزمون برای مقایسه مدل‌های مختلف ARIMA(p,d,q) استفاده گردیده و به‌صورت رابطه ۶ محاسبه می‌گردد.

$$AIC(P,Q)=N\ln(S_{\varepsilon}^{2})+2(p+q) \qquad (۵)$$

که در آن N تعداد اطلاعات سری زمانی s_e^2 واریانس خطا (باقی‌مانده) سری می‌باشد. در واقع هر چه واریانس خطا کم‌تر باشد مدل برازش داده شده مدل بهتری است، چون استفاده از مدل‌هایی که دارای پارامترهای بیش‌تری هستند به‌دلیل خطای ناشی از برآورد پارامترهای اضافی، واریانس خطای پیش‌بینی را

افزایش می‌دهد. بنابراین مدلی که AIC کم‌تری داشته باشد به‌عنوان مدل برتر انتخاب می‌شود. پس از انتخاب مدل در این مرحله، اعتبارسنجی مدل بر روی ۵۰ درصد دوم داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش از آزمون پورت مانتو به منظور عدم وجود همبستگی در باقی‌مانده‌ها استفاده شده است. همچنین از آزمون بارلت‌تست برای سنجش این‌که ترم دوره‌ای (تناوبی) به خوبی از اطلاعات سری زمانی حذف شده یا خیر، استفاده می‌شود.

نهایتاً برای سنجش دقت روش‌های مختلف پیش‌بینی از شاخص مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی (رابطه ۷ و ۸) استفاده گردید. که در آن X_i مقادیر تخمینی، X_i مقادیر مشاهداتی و n تعداد مشاهدات می‌باشد که با استفاده از این شاخص بین مقادیر تخمینی و مشاهده ای مدل برتر انتخاب گردید.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{n}} \qquad (۷)$$

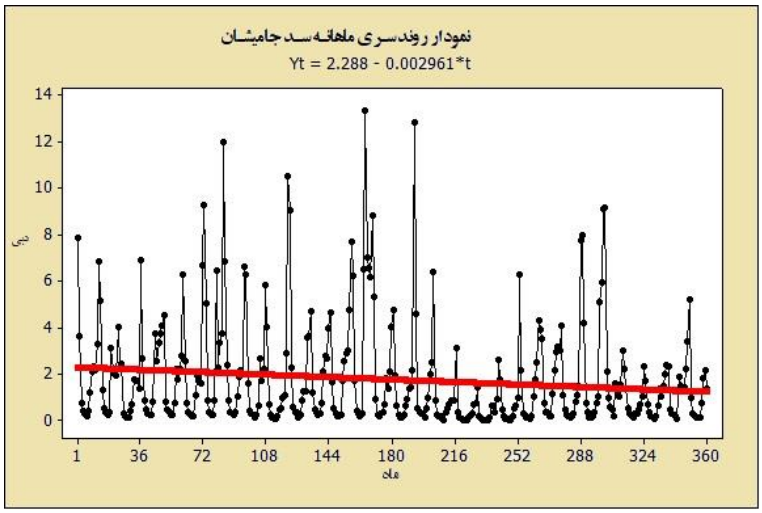
$$\mathrm{R2} = 1 - \sum_{i=1}^{n}(Y_i - X_i)^2 \ / \sum_{i=1}^{n}(Y_i - Y)^2 \qquad (۸)$$

نتایج و بحث

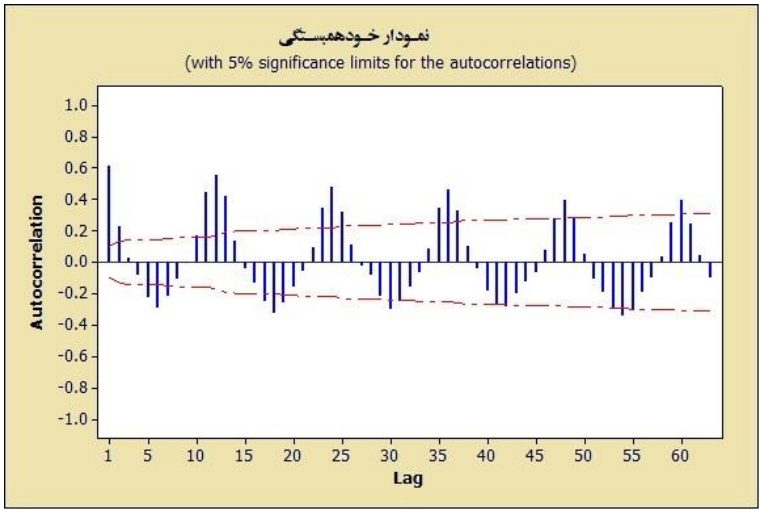
بررسی روند و ایستایی

اولین مرحله در آنالیز سری‌های زمانی مشاهده گرافیکی داده‌ها می‌باشد. با توجه به شکل ۳ روند تغییرات دبی حوضه آبریز مورد مطالعه نشان می‌دهد سری در میانگین و واریانس ناایستااست. بنابراین یک تبدیل لگاریتمی ارائه شده است. شکل ۴ نمودار خودهمبستگی سری زمانی سد جامیشان را نشان می‌دهد. طبق روش باکس، تعداد تأخیرها برای داده‌های کم‌تر از ۲۴۰، N/4 و برای داده‌های بیش‌تر از ۲۴۰، $\sqrt{n}$+۴۵ است. همان‌طورکه از نمودار خودهمبستگی برمی‌آید سری زمانی متناوب بوده و در میانگین ناایستا بوده است.

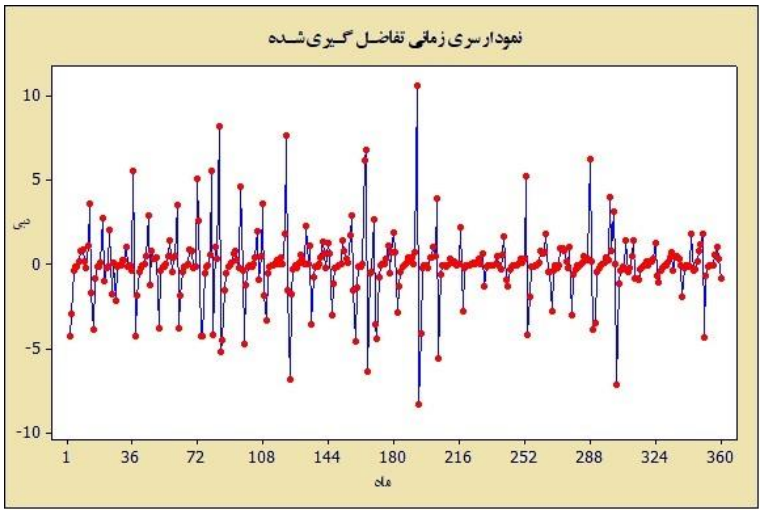
شکل ۵ سری زمانی با یک بار تفاضل‌گیری را نشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌گردد سری در میانگین ایستا شده است. شکل ۶ نمودار تناوب‌نگار سری تفاضل‌گیری شده را نشان می‌دهد. این نقاط دارای مقادیر امگا برابر ۰/۵۲۳۶، ۱/۰۴۷ و ۱/۵۷۰۸ هستند که بایستی از سری حذف شوند. پس از حذف این جملات از سری زمانی مقادیر آماره I محاسبه شده و با آزمون فیشر مقایسه می‌گردد.



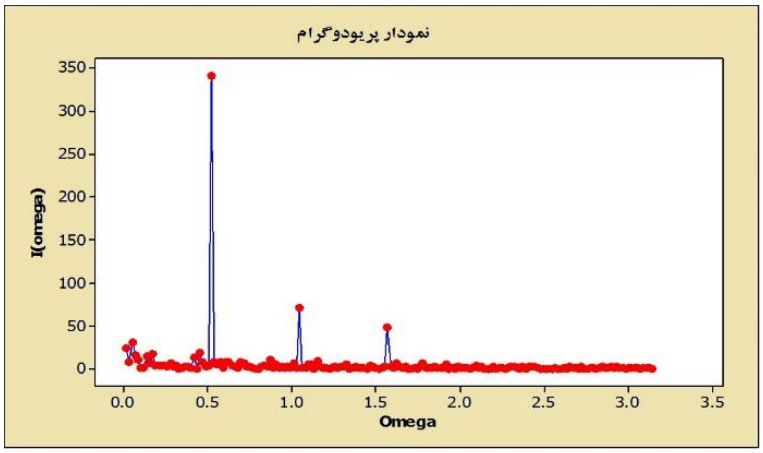
شکل۳- نمودار روند خطی برازش داده شده به سری زمانی ماهانه دبی ورودی به سد جامیشان



شکل۴- نمودار خود همبستگی سری زمانی



شکل ۵-نمودار سری زمانی ایستا شده و تفاضل‌گیری شده



شکل ۶- نمودار تجمعی تناوب‌نگار ایستگاه ماهیدشت

همان‌طور که از جدول ۱ مشاهده می‌شود آماره به‌دست آمده از این سری‌ها از F خیلی بزرگ‌تر است، بنابراین سری زمانی همچنان متناوب است، برای حذف تناوب از استانداردسازی استفاده می‌شود. بعد از استانداردسازی و حذف تناوب همان‌طور مشاهده می‌شود مقادیر آماره I با مقادیر آزمون فیشر مجددا مقایسه شده و نشان می‌دهد که همه مقادیر I از F کوچک‌تر است و ترم تناوبی از بین رفته است.

جدول ۱- آماره I در مقابل F

پس از استااندردسازی		قبل از استانداردسازی		
F(N,N-1)	(I)	F(N,N-2)	(I)	W_K
۴,۵	۰/۴۴	۴,۵	۴۶۰۵/۶۴	۰/۵۲۳۶
۳	۰/۱۲	۳	۵۳۲۴/۶۵	۱/۰۴۷
۳	۰/۲۳	۳	۲۷۹۸	۱/۵۷۰۸

برازش و صحت‌سنجی مدل

جدول ۳ مدل‌های مختلف برازش داده شده همراه با ضرایب و واریانس باقی‌مانده‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول مدلی که کم‌ترین مقدار معیار اطلاعات آکائیک (AIC) و ضریب میانگین مربعات خطا (MS) را داشته باشد به‌عنوان بهترین مدل انتخاب می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل ARIMA(1,1,1) با آکاییک ۱۱/۷۶- واریانس خطای ۰/۹۲ علاوه برکوچک بودن مقدار آکائیک واریانس خطای کم‌تر و ضریب همبستگی ۰/۸۸ را نیز دارا می‌باشد و به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده است.

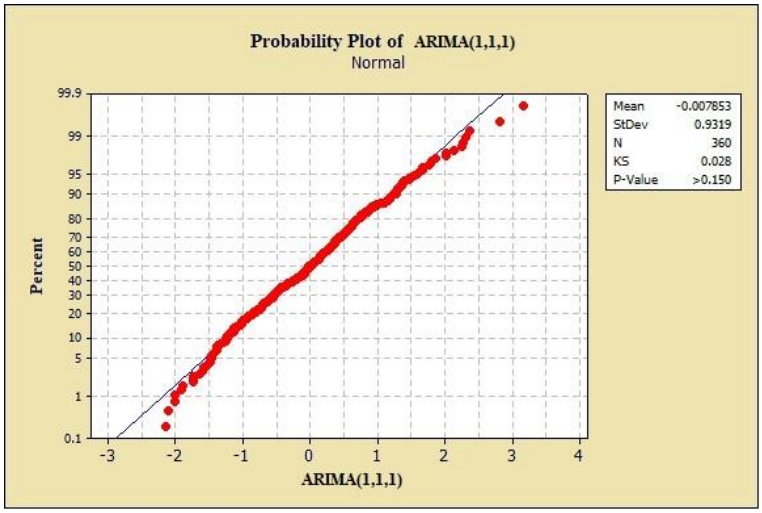
جدول۳- مدل‌های برازش داده شده به ۵۰ درصد از سری ایستا و نرمال شده همراه با ضرایب میانگین مربعات خطا و معیار آکائیک

مدل	R^2	MS	AIC
ARIMA(0,1,2)	۰/۷۹	۰/۹۳	-۱۰/۲۳
ARMA(1,1,1)	۰/۸۸	۰/۹۲	-۱۱/۷۶
ARIMA(1,1,0)	۰/۶۸	۱/۰۶۴	۹/۰۵۷
ARIMA(0,1,1)	۰/۷۵	۰/۹۹	-۰/۰۲
ARIMA(2,1,0)	۰/۷۵	۰/۹۹	۱/۳۹
ARIMA(2,1,2)	۰/۷۸	۰/۹۳	-۷/۸۲
ARIMA(2,1,1)	۰/۶۹	۱/۰۱	۱۱/۸۴
ARIMA(1,1,2)	۰/۷۸	۰/۹۳	-۹/۸

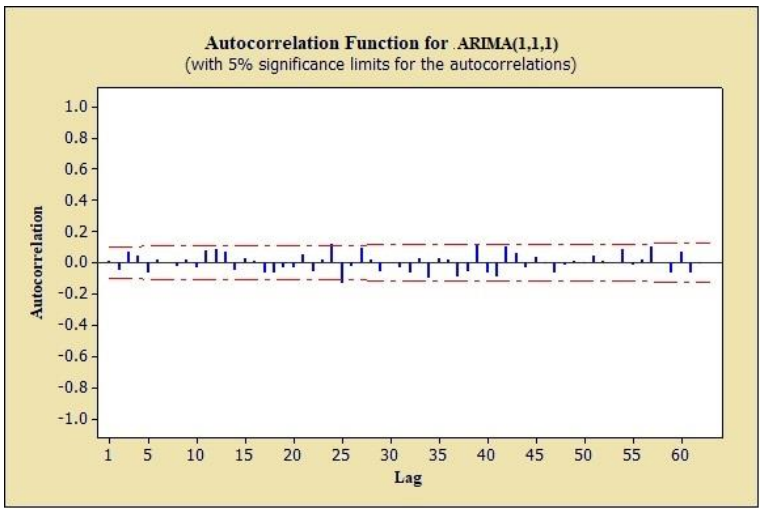
پس از انتخاب مدل برتر نتایج مربوط به عدم وجود خودهمبستگی بین باقی‌مانده‌ها حاصل از برازش مدل منتخب بر ۵۰ درصد دوم داده‌ها با توجه به آماره پرت_مانتو در جدول ۴ آورده شده است. در تمامی‌تأخیرها p-value بیش‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد، این نتایج بیان‌گر مستقل بودن باقی‌مانده‌ها است. همچنین آزمون نرمال بودن باقی‌مانده‌ها و آزمون استقلال باقی‌مانده‌ها در زمان (همبستگی‌نگار باقی‌مانده‌ها)، حاصل از برازش مدل منتخب در شکل های ۷ و ۸ موفقیت مدل را به خوبی نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود، باقی‌مانده هم در بازه اطمینان و نرمال هستند بنابراین مدل برازش داده شده مدلی مناسب به نظر می‌رسد. شکل ۹ نمودار تناوب نگار تجمعی باقی‌مانده‌های حاصل از برازش مدل منتخب بر ۵۰ درصد دوم داده‌ها در شکل ۹ که در داخل خط اطمینان قرار گرفته است که نشان از بهتر بودن مدل است.

جدول ۴- نتایج آزمون پرت_مانتو بر روی ۵۰ درصد دوم داده‌ها

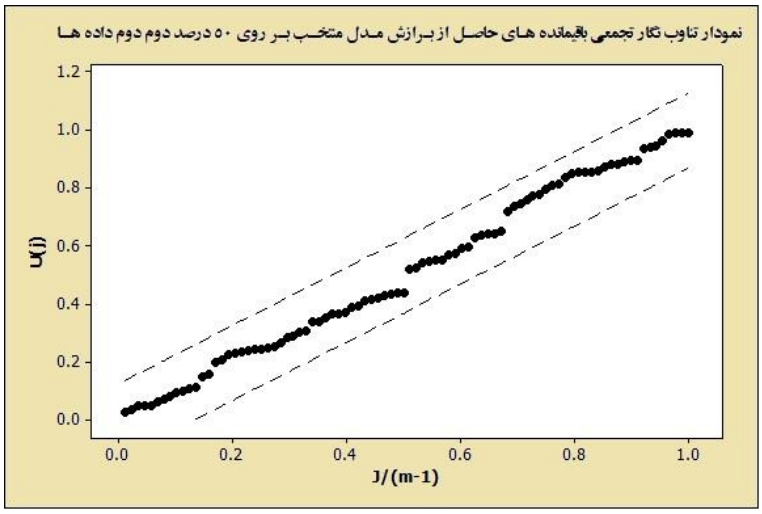
گام تأخیر	۱۲	۲۴	۳۶	۴۸
آماره کای مربعات	۱۳/۳	۳۳/۷	۴۸/۷	۶۰/۷
درجه آزادی	۹	۲۱	۳۳	۴۵
P-Value	۰/۱۵	۰/۹۸	۰/۹	۰/۸۹



شکل۷- نمودار نرمال بودن باقی‌مانده‌های حاصل از برازش



شکل۸- نمودار استقلال باقی‌مانده‌های حاصل از برازش

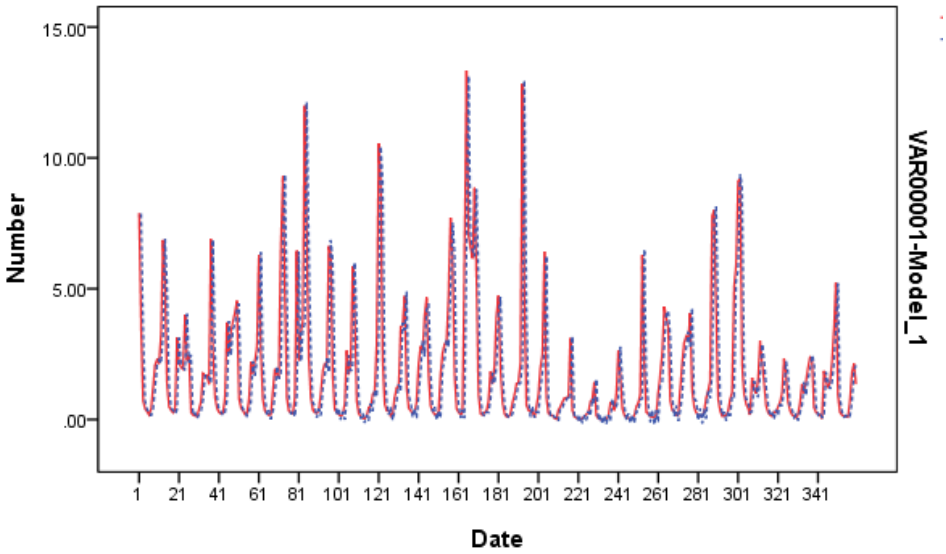


شکل۹-نمودار تناوب نگار تجمعی باقی‌مانده‌های حاصل از برازش مدل منتخب بر۵۰ درصد دوم داده‌ها

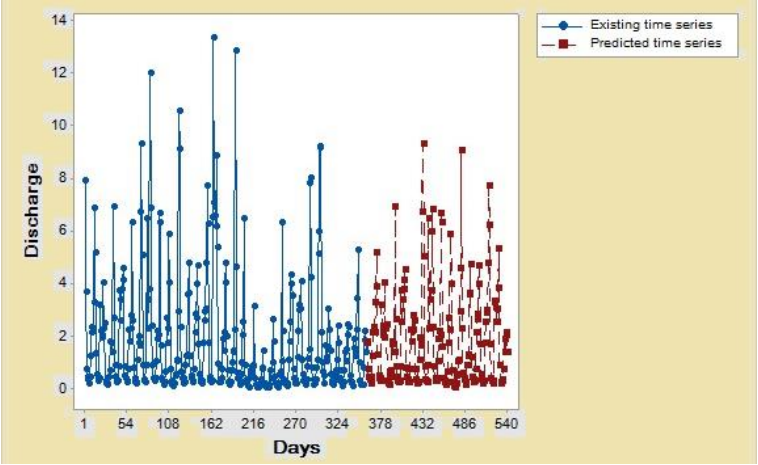
پیش‌بینی

شکل (۱۰) اختلاف بین مدل و داده‌های واقعی را نشان می دهد همچنان که مشاهده می‌شود مدل ARIMA(1,1,1) برازش بسیار خوبی با مقادیر واقعی دبی دارد و مقادیر دبی پیک را به خوبی شناسایی کرده است. حال می توان گفت در واقع مدل ARIMA(1,1,1) پس از آن‌که یه‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد، حال این قابلیت را دارد که وارد مرحله پیش‌بینی شود، شکل (۱۱) نمودار سری زمانی موجود و پیش‌بینی شده سری زمانی دبی ماهانه ایستگاه هیدرومتری سد جامیشان را تا ۱۵ سال بعد نشان می‌دهد. همچنان که مشاهده می گردد مدل نحوه تغییرات دبی نسبت به زمان را به خوبی شناسایی کرده است و در حالت کلی اگر ترم‌های قطعی از سری زمانی حذف شود، برازش مدل نتیجه بهتری می‌دهد و مدلی که آکائیک و واریانس باقی‌مانده کم‌تری دارد مدل بهتری است.

نتایج این تحقیق با نتایج بسیاری از محققین همخوانی دارد. برای مثال (رویز و همکاران، ۱۳۸۸) پیش‌بینی جریان سالانه رودخانه های آجی چای و نهندچای در حوضه دریاچه ارومیه، مدل آریما را به‌عنوان بهترین مدل انتخاب نمودند. (بشری و وفاخواه، ۱۳۸۹) به مقایسه روش‌های مختلف تحلیل سری زمانی در پیش‌بینی دبی ماهانه حوضه آبریز کرخه پرداختند و مدل سری زمانی آریما را به‌عنوان مدل مناسب معرفی نمودند. همچنین این تحقیق (معینی و همکاران، ۱۳۹۵) مدل‌سازی دبی ماهانه ورودی به مخزن سد جامیشان با مدل‌های خودهمبسته با میانگین متحرک تجمعی و سامانه استنتاج فازی-عصبی‌انطباقی در توانایی مدل آریما در مدل‌سازی دبی با مقادیر کم مدل‌سازی‌های کوتاه‌مدت و دراز مدت را مورد تایید قرار می دهد.



شکل۱۰-نمودار سری زمانی مدل منتخب



شکل۱۱-نمودار سری زمانی موجود و سری زمانی پیش‌بینی شده

نتیجه‌گیری

استفاده از مدل‌های سری زمانی با توجه به ماهیت اتفاقی و غیرقطعی مسائل مهندسی آب و مدیریت منابع آب، به عنوان یکی از روش‌های توصیه شده در پیش‌بینی پارامترها می باشند. در این مطالعه مدل‌سازی سری زمانی برای پیش بینی جریان ورودی ب سد به منظور مدیریت و سیاستگذاری در زمینه منـابع آب به کار گرفتـه شـد. در پژوهش حاضر داده‌های ماهانه دبی ورودی به سد جامیشان در شهرستان سنقر استان کرمانشاه در بازه زمانی (۱۳۹۲-۱۳۶۳) مورد استفاده قرار می‌گیرد. داده‌ها قبل از انجام آزمون ایستایی باید حدف روند شوند که این امر با استاندارد کردن داده‌ها بدست آمده است. آنالیز اولیه شامل بررسی ترم‌های قطعی سری (تناوب، روند و پرش) بروی سری زمانی با استفادهاز نرم افزار Minitab، انجام و پس از اطمینان از حذف این ترم‌ها، داده‌ها نرمال گردید و ایستایی داده‌ها مشخص شد. پس از اطمینان از حذف ترم‌های قطعی سری، ایستایی سری با رسم همبستگی نگار (ACF) کنترل گردید. در این مرحله با تقسیم داده‌ها به دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی، تشخیص مرتبه مدل مناسب جهت برازش برای دوره واسنجی انجام گردید. در سری زمانی سعی می‌گردد تا با بررسی وضعیت سری داده‌ها در گذشته، الگوی احتمالی مولد داده‌ها شناسایی شده و بر مبنای این الگو درباره رفتار آینده سری اظهار نظر گردد. نتایج نشان داد مدل ARIMA(1,1,1) با آکاییک ۱۱/۷۶- واریانس خطای ۰/۹۲ علاوه برکوچک بودن مقدار آکائیک واریانس خطای کم‌تر و ضریب همبستگی ۰/۸۸ را نیز دارا می‌باشد و به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده است. آزمون پورت‌مانتو نشان داد در تمامی‌تأخیرها p-value بیش‌تر از ۰/۰۵ می‌باشد که اینااین نتایج بیان‌گر مستقل بودن باقی‌مانده‌ها است. آزمون بارلت‌تست نیز نشان داد باقی‌مانده‌های حاصل از برازش مدل نشان از دقت بالای مدل را داراست. با توجه به صحت سنجی مدل منتخب و دقت آن، این مدل وارد مرحله پیش‌بینی گردید. نتیجه کلی نشان داد که هر چه مدل بیش‌تر ایستا باشد، تجزیه و تحلیل سری آسان تر می‌شود و مدل با آکائیک کم‌تر جواب بهتری می‌دهد.در پایان می‌توان نتیجه گرفت مدل‌های سری زمانی می‌تواند نقشی مهمی در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت سری‌های زمانی داده‌های منابع آب سطحی و زیرزمینی داشته باشند.

منابع

بشری، م. و وفاخواه، م.، ۱۳۸۹. مقایسه روش‌های مختلف تحلیل سری زمانی در پیش‌بینی دبی ماهانه حوزه آبخیز کرخه. مهندسی آبیاری و آب، سال ۱، شماره ۲، ص۸۶-۷۵.

جمعدار، م.، سرائی تبریزی، م.، یوسفی، ح.، ۱۳۹۹. پتانسیل‌یابی میزان کارستی‌شدن چشمه‌ها از منظر هیدروژئوشیمیایی در محدوده مطالعاتی هشتگرد. هیدروژئولوژی، سال ۵، شماره ۲، ص ۱۱۳-۱۲۶.

باباعلی، ح. دهقانی، ر.، ۱۳۹۵. مقایسه مدل‌های شبکه عصبی موجک و شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی. هیدروژئولوژی، سال ۲، شماره ۲، ص ۱۰۸-۹۶.

سعیدی، ب.، عرب، ع.، ۱۳۹۷. پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های منطق فازی، شبکه عصبی و سری زمانی.ذهیدروژئولوژی، سال پنجم، شماره ۲، ص ۶۹-۸۱.

صمدی، م. فتح‌آبادی، ا.، ۱۳۹۷. استفاده از مدل‌های سری زمانی، شبکه عصبی و ماشین‌بردار پشتیبان جهت پبش‌بینی دبی ورودی به سد گرگان، محیط زیست و مهندسی آب، سال ۲، شماره ۲، ص ۳۰۹-۲۹۹.

فتح آبادی، ا.، سلاجقه، ع. و مهدوی، م.، ۱۳۸۷. پیش‌بینی دبی رودخانه با استفاده از روش‌های نوروفازی و مدل‌های سری زمانی. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوم، شماره ۵، ص۳۰-۲۱.

کارآموز، م. و عراقی نژاد، ش.، ۱۳۸۹. هیدرولوژی پیشرفته، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی‌تکنیک تهران)، ۴۶۴ ص.

معینی، ح.، بنکداری، ح.، فاطمی، ا. و ابتهاج، ع.، ۱۳۹۵. مدل‌سازی دبی ماهانه ورودی به مخزن سد جامیشان با مدل‌های خودهمبسته با میانگین متحرک تجمعی و سامانه استنتاج فازی-عصبی انطباقی، آب و خاک، شماره ۲، ص ۲۸۵-۲۷۳.

Box, G.E.P and G.M. Jenkinks., Reinsel, G.C.., 1994. Time series analysis: Forcasting and control. Third Edition, Holden-Day.

Cryer, J.D., 1992. Time series Analysis. Translated by Niroomand, H.A., Mashhad University Publication, 404 pp.

Damle, C., A. Yalcin. 2007. Flood prediction using time series data mining. Journal of Hydrology. 333(2-4): 305-316.

Kendall, D.R., J.A. Dracup. 1991. A comparisx and AR (1) generated hydrologic sequences, J. Hydrology, 122, 335-352.

Mohammadi, K., Eslami, H.R., Dardashti, S.D., 2005. Comparison of regression, ARIMA and ANN models for reservoir inflow forecasting using snowmelt equivalent (a case study of Karaj). J. Agric. Sci. Technol, 7, 17-30.

Valipour, M., Banihabib, M.E., Behbahani, S.M.R., 2013. Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural network models in forecasting the monthly inflow of Dez dam reservoir. Journal of hydrology, 476, 433-441.