



پیش بینی جریان قابل انتقال از طریق تونل چشمه لنگان به حوزه زاینده رود

علی تفرج نوروز^۱، احمد ابریشم چی^۲، مسعود تجریشی^۳، بهداد چهره‌نگار^۱، شاداب شادزاد^۱

(۱ و ۲) - تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دفتر مطالعات آب و محیط زیست

ali960@yahoo.com

چکیده

کمبود آب در دشتهای مرکزی ایران و رشد جمعیت و گسترش صنعت در اصفهان و لزوم انتقال آب به شهرهای یزد و کاشان از طریق زاینده رود، ضرورت اجرای طرح‌های انتقال آب از سرشاخه‌های رودخانه‌های کارون و دز را محرز نموده است. طرح انتقال آب چشمه لنگان به منظور تامین سالیانه ۱۹۵ میلیون متر مکعب آب جهت مصارف شرب، صنعت و کشاورزی اصفهان و شهرهای حاشیه کویر در حال بررسی و اجراء است که با اجرای این طرح، جریان رودخانه‌های چشمه لنگان و خدنگستان از سرشاخه‌های رودخانه دز به حوزه زاینده رود منتقل می‌شود. با توجه به اینکه بطور متوسط بیش از ۷۵ درصد جریان سالانه منطقه چشمه لنگان در ماههای فروردین تا مرداد تولید می‌شود، پیش بینی جریان مزبور قبل از شروع دوره (بیش از فروردین ماه) از دیدگاه برنامه ریزی منابع آب بسیار با اهمیت است. در این مطالعه با استفاده از پارامترهای هواشناختی (بارش، آب معادل برف) و شاخصهای اقلیمی (SOI و NAO) که در انتهای اسفند ماه (زمان پیش بینی) مشخص می‌باشند، مدلسازی پیش بینی حجم جریان قابل انتقال از طریق تونل چشمه لنگان به روش رگرسیون اجزای اصلی انجام گردیده است. نتایج مدلسازی نشان می‌دهد که پارامترهای آب معادل برف در ایستگاه میدانک مربوط به اسفندماه و شاخص SOI در ماههای فوریه، نوامبر و دسامبر، پارامترهای مناسبی جهت پیش بینی کل حجم جریان قابل انتقال در ماههای فروردین تا مرداد می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: پیش بینی، جریان رودخانه، رگرسیون، اجزای اصلی، چشمه لنگان

مقدمه

زیرحوزه‌های چشمه‌لنگان، خدنگستان، چغیورت و زیر حوزه‌های بین مسیر در بخش جنوبی شهرستان فریدون شهر در نوار طولی ۵۱' ۴۹° تا ۱۴' ۵۰° شرقی و نوار عرضی ۴۶' ۳۲° تا ۲' ۳۳° شمالی و در ناحیه شرق زیرحوزه دز قرار گرفته‌اند. با انجام طرح انتقال آب چشمه لنگان به زاینده رود، جریان از سرشاخه‌های رودخانه دز با استفاده از چند تونل به سرشاخه‌های رودخانه پلاسجان در زیرحوزه زاینده رود انتقال پیدا می‌کند (شکل ۱). کل جریان قابل انتقال در منطقه چشمه لنگان متشکل از جریان حوزه‌های آبریز رودخانه‌های چشمه‌لنگان و خدنگستان، چغیورت و همچنین زیر حوزه‌های بین مسیر می‌باشد. شکل ۲ نمودار توزیع ماهانه جریان قابل انتقال را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانطور که این شکل نشان می‌دهد، بیشترین حجم جریان در منطقه چشمه لنگان در ماههای فروردین و اردیبهشت تولید می‌شود و طی ماههای فروردین تا مرداد نیز ۷۵ درصد کل جریان سالانه از طریق تونلهای منطقه چشمه لنگان قابل انتقال می‌باشد. با توجه به اهمیت جریان در این دوره از سال به لحاظ برنامه ریزی منابع آب ورودی به سد زاینده رود، در این مطالعه با تعیین زمان پیش بینی (انتهای اسفندماه) و دوره پیش بینی (فروردین تا مرداد)، مدلسازی جریان قابل انتقال از طریق تونل چشمه لنگان انجام شده است. اطلاعات موجود جهت مدلسازی شامل داده‌های بارش در ایستگاه بارانسنجی سبک و آب معادل برف در ایستگاههای میدانک و فریدون و همچنین داده‌های مربوط به شاخص‌های اقلیمی SOI و NAO در ماههای پیش از فروردین می‌باشد؛ لذا پس از تهیه مدل مناسب می‌توان در پایان اسفندماه با مشخص بودن داده‌های مزبور، مجموع حجم جریان قابل انتقال در منطقه مورد مطالعه را در ماههای فروردین تا مرداد برآورد نمود.

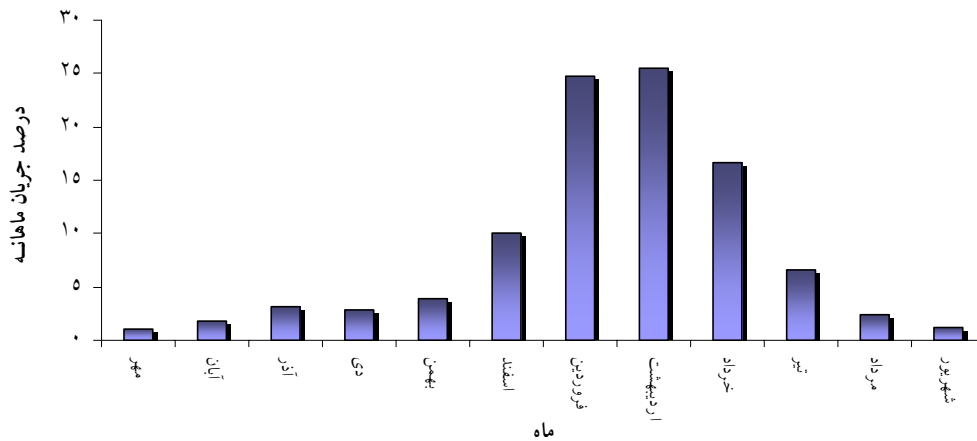
۱- کارشناس دفتر مطالعات آب و محیط زیست

۲- استاد دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف

۳- دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف



شکل ۱- موقعیت منطقه چشمه لنگان در کشور



شکل ۲- توزیع ماهانه جریان در منطقه چشمه لنگان

روش انجام تحقیق

تحلیل اجزای اصلی یکی از تکنیک‌های آماری است که متغیرهای دارای همبستگی داخلی را به متغیرهای جدید بدون همبستگی تبدیل می‌کند. هر متغیر جدید که یک مؤلفه اصلی (Principal Component) نامیده می‌شود، با استفاده از ترکیب خطی تمام متغیرهای اصلی به دست می‌آید و بیان کننده درصدی از تغییرات متغیر وابسته است که توسط مجموعه متغیرها اعمال شده است. مؤلفه‌های اصلی معمولاً به صورت نزولی براساس میزان تغییراتی که بیان می‌کنند، مرتب شده و در اغلب اوقات، چند مؤلفه اول بیشترین تغییرات متغیر وابسته را پوشش می‌دهند [۱].

رگرسیون به روش اجزای اصلی بطور وسیع در مدل‌سازی و پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی توسط محققان مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال، والیز ۶ روش رگرسیون چند متغیره را مورد بررسی و مقایسه قرار داد [۲]. وی در تحقیق خود اطلاعات مربوط به هندسه ۷۵ استوانه مصنوعی را تولید نمود. در تحقیق انجام شده، ۱۴ پارامتر که شامل ارتفاع، سطح خارجی استوانه، قطر داخلی، قطر خارجی، چگالی و ... به عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده و متغیر وزن استوانه به عنوان متغیر وابسته مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق، نقاط ضعف و قوت هریک از روشها بررسی شد و در نهایت نتایج حاصله به مطالعات هیدرولوژی تعمیم داده شد. والیز پیشنهاد کرد که در مطالعات هیدرولوژیکی از رگرسیون به روش اجزای اصلی با استفاده از چرخش واریماکس (Varimax) استفاده شود.



هان و آلن روش رگرسیون چند متغیره را با روش رگرسیون اجزای اصلی مقایسه کردند [۳]. در این تحقیق متوسط رواناب سالانه در کنتاکی (Kentucky) به ۸ متغیر مربوط به مشخصات هندسی ۱۳ حوزه کوچک و پارامتر متوسط بارندگی سالانه ارتباط داده شد و معادلات بدست آمده از جنبه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت.

گارن، روش رگرسیون اجزای اصلی و روش Cross Validation را مقایسه نمود [۱]. وی یک دوره پیش‌بینی (Forecast period) و یک زمان پیش‌بینی یا ماه پیش‌بینی (Forecast month) برای بدست آوردن معادلات رگرسیون را مورد استفاده قرار داد. به عنوان مثال در ماه مارس (زمان پیش‌بینی) با استفاده از اطلاعات مربوط به آب معادل برف در ایستگاههای برف‌سنجی حوزه در ماههای زمستان و بارندگی در ماههای پاییز، میزان رواناب را در ماههای مارس تا ژوئیه (دوره پیش‌بینی) پیش‌بینی کرد.

هدف اصلی آنالیز اجزای اصلی تبدیل تعداد p متغیر همبسته (X) که مشخص و با مشاهده شده اند به همان تعداد اندیس ناهمبسته (Z) می‌باشد. این اندیس‌های جدید (Z)، توابع خطی از متغیرهای اصلی (X) هستند. در این حالت اندیس‌های Z اجزای اصلی نامیده می‌شوند و در نهایت پس از انجام آزمونهای آماری، از تعداد کمتر از p برای به حساب آوردن بیشترین تغییرات در متغیرهای اصلی استفاده شود [۵ و ۴].

هنگامی که جهت تشکیل یک مدل رگرسیون چند متغیره خطی از P متغیر مستقل استفاده می‌شود، ملاحظه می‌شود که بین بعضی از متغیرهای مستقل موجود همبستگی معنی‌داری وجود دارد. این همبستگی نشان‌دهنده این مطلب است که بعضی از اطلاعات موجود در یک متغیر مستقل در برخی از $P-1$ متغیر مستقل دیگر موجود می‌باشد. از این رو با استفاده از تشکیل مولفه‌های اصلی، P متغیر اولیه را به P مولفه نامرتب تبدیل می‌کنیم، که این مولفه‌ها بصورت ترکیب خطی از متغیرهای اولیه می‌باشد.

اگر هر یک از متغیرهای X ، n بار اندازه‌گیری شده و تعداد X ها برابر با p باشند، در این صورت اجزای اصلی که تعداد آنها برابر با p می‌باشد را می‌توان بصورت فرم ماتریسی به صورت زیر نوشت.

$$Z = X.A \quad (1)$$

در رابطه فوق؛ X یک ماتریس $n \times p$ از n مشاهده موجود از p متغیر اولیه است. همچنین Z یک ماتریس $n \times p$ است که n درایه به ازای هر مولفه دارد. A نیز یک ماتریس $p \times p$ است که متغیرهای اولیه را به مولفه اصلی تبدیل می‌کند. از آنجایی که بعضی از p متغیر اولیه دارای همبستگی با یکدیگر می‌باشند، می‌توان درصد قابل توجهی از تغییرات که توسط p متغیر اولیه بیان شده را توسط تعداد کمتری مولفه اصلی ($q < p$) بیان نمود. مولفه‌های اصلی از رابطه (۱) که A یک ماتریس $p \times p$ می‌باشد، بدست می‌آید. پس از تشکیل مولفه‌های اصلی، مدل رگرسیونی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$Y = Z\beta \quad \text{or} \quad Y_i = \sum_{j=1}^p \beta_j z_{ij} \quad (2)$$

در رابطه فوق Y متغیر وابسته همگن شده نسبت به میانگین، Z مولفه‌های اصلی و β ضرایب رگرسیونی می‌باشند که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شوند.

$$\hat{\beta} = (Z'Z)^{-1} Z'Y \quad (3)$$

معمولاً معادلات رگرسیونی ساخته شده بر اساس مولفه‌های اصلی در هنگام نمایش بر اساس متغیرهای اولیه همانند رابطه (۵) نشان داده می‌شوند.

$$Y_i = \bar{Y} + \sum_{j=1}^p \hat{\beta}_j \left\{ \sum_{k=1}^p a_{kj} \left[\frac{(x_{ik} - \bar{x}_k)}{s_k} \right] \right\} \quad (4)$$

برای انتخاب متغیر اولیه موثر و دخالت این متغیر در ساخت مولفه‌های اصلی لازم است متغیرهایی را در ساختار مولفه‌های اصلی وارد نمود که دارای همبستگی معنی‌داری با مولفه‌های اصلی باشند.

یکی از روشهای انتخاب مولفه‌های اصلی موثر، استفاده از آزمون t است. در این صورت آماره t را می‌توان به صورت رابطه (۵) در نظر گرفت

$$t = \frac{\hat{a}_j \bar{x}_j Y}{\sqrt{(n-1)\lambda_j \sigma}} \quad (5)$$

در این مطالعه با استفاده از نرم افزارهای SPSS و MATLAB مدل سازی حجم آورد قابل انتقال از طریق تونل کوهرنگ انجام گرفته است. روشهای مختلفی برای رگرسیون اجزای اصلی پیشنهاد شده است. روشی که در این مطالعات مورد استفاده قرار گرفته، توسط لیو و همکاران در سال ۲۰۰۲ پیشنهاد شده است [۶]. در این روش ابتدا ترکیب مناسبی از متغیرهای پیش‌بینی کننده با استفاده از رگرسیون پسرو (Backward) تهیه شده و پس از آن همبستگی خطی بین متغیرهای مستقل محاسبه می‌شود. در صورتی که میزان همبستگی خطی میان متغیرهای مستقل زیاد باشد، بایستی اجزای اصلی را محاسبه کرد و با اعمال رگرسیون بر روی اجزای اصلی و حذف اجزای اصلی غیر ضروری، مدل مناسب را تهیه کرد. زمانی که در یک مدل، همبستگی میان متغیرهای مستقل بالا باشد، یا به عبارت دیگر بتوان یک متغیر مستقل را با استفاده از سایر متغیرهای مستقل تخمین زد، معمولاً علامت



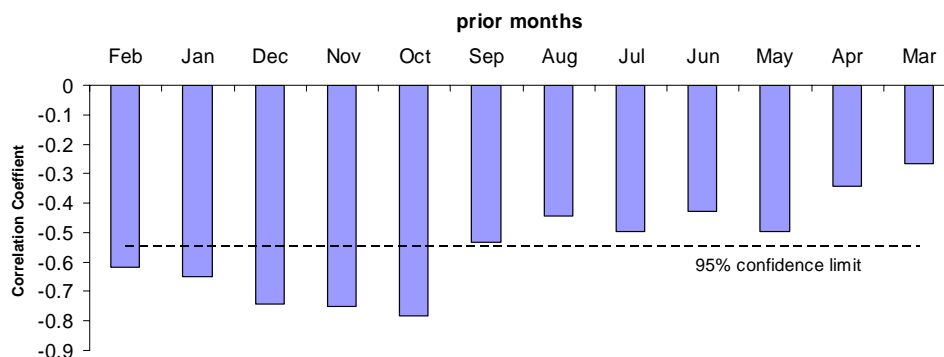
ضرائب متغیرهای پیش بینی کننده برعکس می شود. برای مثال ممکن است ضریب پارامتر آب معادل برف در معادله پیش بینی کننده حجم جریان رودخانه منفی بدست آید که صحیح نبوده و بایستی با محاسبه سری‌های مستقل (اجزای اصلی) این مشکل را برطرف نمود. پارامترهای مختلفی برای محاسبه میزان همبستگی خطی میان پارامترهای مستقل پیشنهاد شده است. یکی از این پارامترها، تولرانس (Tolerance) نام دارد که بصورت $1 - R_i^2$ محاسبه می شود. R_i^2 مجذور همبستگی خطی متغیر i ام با سایر متغیرهای مستقل است. بنابراین زمانی که یک متغیر مستقل دارای همبستگی خطی نسبتاً زیادی با سایر متغیرهای مستقل باشد، مقدار R_i^2 برای آن متغیر بالا بوده و در نتیجه تولرانس کوچکتری خواهد داشت. بنابراین تولرانس بالا حاکی از کم بودن میزان همبستگی خطی میان متغیرهای مستقل است. در این مطالعه پس از بازسازی و تکمیل داده های موجود، مدلسازی پیش بینی جریان رودخانه برای دوره فروردین تا مردادماه در انتهای اسفندماه با استفاده از داده های هواشناسی و سیگنالهای اقلیمی پیش از فروردین ماه انجام گرفته است. آماربرداری در ایستگاههای برفسنجی در منطقه مطالعاتی چشمه لنگان در ایستگاههای فریدون و میدانک از سال ۱۳۷۰ آغاز شده است و در این مطالعه سالهای آبی ۷۱-۱۳۷۰ تا ۸۳-۱۳۸۲ جهت مدلسازی در نظر گرفته شده است. علاوه براین، به منظور افزایش دقت مدل پیش بینی، داده هایی برای مدلسازی مورد استفاده قرار گرفته اند که دارای همبستگی نسبتاً زیادی (حداقل با سطح اعتماد ۹۵ درصد) با داده های مجموع حجم جریان قابل انتقال در ماههای فروردین تا مرداد باشند. جهت آزمون معنی داری همبستگی عرضی داده ها از رابطه (۶) استفاده می گردد. در این رابطه R ضریب همبستگی و n تعداد داده ها است. پارامتر t دارای توزیع تقریبی t با $n-2$ درجه آزادی است [۷].

$$t = \frac{R^2}{\sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}} \quad (6)$$

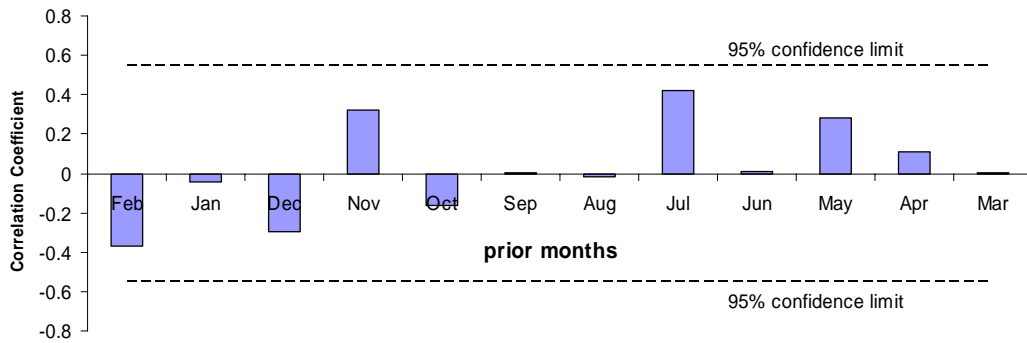
در صورتیکه مقدار t محاسبه شده از رابطه بالا، کمتر از مقدار بحرانی t با $n-2$ درجه آزادی در سطح معنی داری مورد نظر باشد، فرضیه عدم همبستگی (استقلال) دو سری زمانی پذیرفته می شود و در غیر این صورت رد می شود. با توجه به اینکه تعداد سالهای مورد استفاده برابر با ۱۳ می باشد، حداقل ضریب همبستگی قابل قبول با سطح اعتماد ۹۵ درصد برابر با ۰/۵۵ است.

در این مقاله همبستگی مجموع حجم جریان قابل انتقال از تونل چشمه لنگان در ماههای فروردین تا اردیبهشت با متغیر آب معادل برف در ایستگاههای میدانک و فریدونشهر و متغیر بارش در ایستگاه سبک و همچنین متغیرهای مربوط به شاخصهای اقلیمی؛ SOI و NAO مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی همبستگی جریان قابل انتقال از تونل چشمه لنگان با متغیر آب معادل برف در ایستگاههای میدانک و فریدونشهر را نشان می دهد که جریان قابل انتقال از طریق تونل چشمه لنگان، همبستگی بالایی (در سطح معنی داری ۵ درصد) با متغیر آب معادل برف در ایستگاه فریدونشهر و میدانک در ماه اسفند دارد و لذا می توان از پارامتر آب معادل برف این دو ایستگاه در مدلسازی استفاده نمود.

بررسی ضرایب همبستگی حجم جریان قابل انتقال از طریق تونل چشمه لنگان در دوره فروردین تا مرداد با بارش در ایستگاه سبک در ماههای مختلف نیز نشان می دهد که تنها مجموع بارش در ماههای مهر تا اسفند همبستگی مناسبی (در سطح معنی داری ۵ درصد) با حجم جریان قابل انتقال به تونل چشمه لنگان در ماههای فروردین تا مرداد دارد. در شکلهای (۳) و (۴) همبستگی حجم جریان قابل انتقال به تونل چشمه لنگان در دوره فروردین تا مرداد با شاخصهای اقلیمی SOI و NAO نشان داده شده است. با توجه به شکل (۳) مشخص می شود که حجم جریان ورودی به تونل چشمه لنگان در دوره فروردین تا مرداد با شاخص SOI در ماههای اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه همبستگی قابل قبول و نسبتاً بالایی دارد؛ لکن شکل (۴) بیانگر همبستگی نسبتاً پایین حجم جریان با شاخص NAO می باشد.



شکل ۳- همبستگی حجم آورد قابل انتقال از طریق تونل چشمه لنگان با شاخص اقلیمی SOI



شکل ۴- همبستگی حجم آورد قابل انتقال از طریق تونل چشمه لنگان با شاخص اقلیمی NAO

مدل پیش بینی حجم آورد قابل انتقال از طریق تونل چشمه لنگان

با انجام مدل‌سازی و تعیین پارامترهای مؤثر و تبدیل ضرائب مؤلفه‌های اصلی به ضرائب مربوط به متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، می‌توان رابطه نهایی را به فرم متغیرهای اولیه بازنویسی نمود (رابطه ۷). در شکل ۵، داده‌های پیش‌بینی شده با داده‌های مشاهده شده در طول دوره آماری مورد استفاده برای مدل‌سازی مقایسه شده است.

$$Y = 0.16X_1 - 2.61X_2 - 4.16X_3 - 5.56X_4 + 27.73 \quad (R^2 = 0.88) \quad (7)$$

در این رابطه، متغیرها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

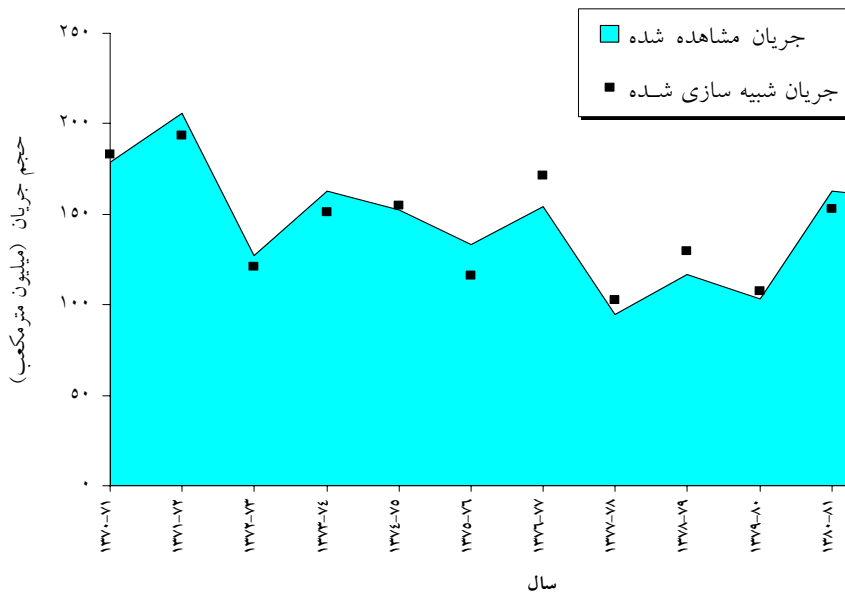
Y: کل حجم جریان طبیعی ورودی به تونل چشمه لنگان در دوره فروردین تا مرداد (میلیون مترمکعب)

X1: آب معادل برف در ایستگاه میدانک در اسفندماه (میلیمتر)

X2: شاخص SOI در ماه فوریه

X3: شاخص SOI در ماه دسامبر

X4: شاخص SOI در ماه نوامبر



شکل ۵- مقایسه جریان پیش‌بینی شده با جریان مشاهده شده جریان قابل انتقال از طریق تونل چشمه لنگان



جمع بندی

در این مقاله، مدل تجربی رگرسیونی پیش بینی جریان قابل انتقال از طریق تونل چشمه لنگان تهیه شد. با وجود نتایج نسبتاً مناسب مدل بدست آمده، لازم است به نکاتی در این خصوص به شرح زیر توجه کرد:

- ۱- داده های جریان ورودی به تونل بطور کامل از طریق بازسازی و ایجاد روابط همبستگی بدست آمده اند، بنابراین امکان تناقض با جریان واقعی وجود دارد؛ این موضوع دقت مدل بدست آمده را تحت تاثیر قرار می دهد. پیشنهاد می شود با نصب ایستگاه هیدرومتری در خروجی تونل اصلی چشمه لنگان همانند تونلهای اول و دوم کوهرنگ، بطور مرتب اقدام به اندازه گیری دبی خروجی تونل شود و مدل پیش بینی اصلاح شود.
- ۲- نکته مهم دیگر این است که مدل پیش بینی با استفاده از داده های کل جریان ورودی به تونل چشمه لنگان محاسبه شده، لذا کاربرد این مدل نیز به زمانی مربوط می شود که طرح انتقال آب چشمه لنگان بطور کامل پایان یافته و به بهره برداری کامل رسیده باشد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از مدیرعامل محترم سازمان آب منطقه ای اصفهان و چهار محال بختیاری؛ جناب آقای مهندس طرفه و کلیه معاونت های محترم سازمان به ویژه جناب آقای مهندس کرمعلیان به خاطر حمایت های مالی و همکاری های صمیمانه ای که در مدت انجام پروژه داشته اند، قدردانی گردد. ضمناً از جناب آقای مهندس اسدی و همکار محترم ایشان جناب آقای مهندس کاظمی که در طول پروژه کارشناسان دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف را از جنبه های مختلف مورد لطف و عنایت قرار داده اند، سپاسگزاری می گردد.

مراجع

1. Garen, David C. , 1992), "Improved Techniques in Regression-Based Streamflow Volume Forecasting.", *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 118 No. 6, 654-670.
2. Wallis, J. R., 1965, "Multivariate statistical methods in hydrology-A comparison using data of known functional relationship, *Water Resour. Res.*, 1(4), 447-462.
3. Hann, C. T., 1972, "Comparision of multiple regression and principal component regression for water yield in Kentucky." *Water Resour. Res.*, 8(6), 1593-1596.
4. Kottegoda and Rosso (1997). *Statistics, Probability and reliability for civil and Environmental Engineers*.
5. Haan, Charles T., 1991, *Statistical Methods in Hydrology*, Fifth printing, Iowa State University Press.
6. Liu. R.X., Kuang J., Gong Q., Hou X.L., 2002. "Principal Component Regression Analysis With SPSS", *Computer Methods and programs in Biomedicine*, Vol. (71), 141-147.
7. Ayyub, Bilal M. and McCuen, Richard M., 1997, *Probability, Statistics & Reliability for Engineers*, CRC Press.