Archive of SID

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۷۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸
صفحات ۴۴۵ تا ۴۵۸

بررسی تغییرات پارامترهای کیفیت آب در حوضه آبخیز سد زاینده رود

سعید سلطانی[۱]؛ فهیمه مختاری[۲]*؛ رفعت زارع بیدکی[۳] و سمیه رئیسی[۴]

۱ - استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲ - دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد

۳ - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد

۴ - دانش آموخته کارشناسی ارشد مرتع و آبخیزداری، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت۹۷/۰۹/۲۵-تاریخ پذیرش۹۷/۱۱/۰۲)

چکیده:

منابع آب شیرین در جهان محدود بوده و توزیع آنها ناهمگن می‌باشد و از سوی دیگر با گسترش صنایع، احداث سدها وغیره کیفیت همین منابع محدود نیز رو به کاهش است. بنابراین پایش کیفیت آب، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. برای بررسی تغییرات کیفیت آب، روشهای مختلفی وجود دارد (آزمونهای آماری، رگرسیون و سری های زمانی، روشهای چند متغیره وغیره). در این مطالعه به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود، سری زمانی ماهانه پارامترهای کیفیت آب شامل یون سولفات، نسبت جذب سدیم ، هدایت الکتریکی، بی کربنات، یون کلرو pH بکارگرفته شد. به این منظور، رهیافت ارائه شده توسط باکس و جنکنیز به منظور مدلسازی در نظرگرفته شد که شامل سه مرحله تشخیص مدل، تخمین پارامترها و کنترل پارامترهای تخمین زده شده می‌باشد. برای کلیه پارامترها در ایستگاه‌های هیدرومتری مدل‌های ARIMA، ARMA، MA، AR، مدل‌های ضربی یا فصلی بدست آمد. پس از مدلسازی، داده‌های کیفیت آب مربوط به pH، یون بیکربنات و یون کلراز شهریورماه ۱۳۸۴ تا شهریور ماه ۱۳۹۰ پیش‌بینی شدند و درصد خطا محاسبه گردید که برای pH پایین‌ترین درصد خطا (۵ درصد) بدست آمد. علاوه بر مدلسازی، همبستگی دبی با سایر پارامترها نیز محاسبه گردید و مشخص شد که دبی با همه پارامترها به جز pH در ایستگاه اسکندری همبستگی منفی دارد. همچنین متوسط ۲۰ ساله دبی نشان داد که ایستگاه قلعه شاهرخ بالاترین متوسط دبی (۴۴/۵۷ m^3/s) و ایستگاه ورزنه پایین ترین متوسط دبی (۶/۰۱۵ m^3/s) را دارا می باشند.

کلید واژگان: پارامترهای کیفیت آب، مدل ARMA و ARIMA ، MA، AR ، حوضه آبخیز زاینده رود

*نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۳۱۳۳۰۵۰۶۱ ایمیل: fahimeh.mokhtari2009@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

آب، سرچشمه هستی، آبادانی و گرانبهاترین نعمت خدادادی است. بدون آب، زندگی بر روی کره زمین مقدور نیست و به همین جهت از اهمیت بسیار بالایی در زندگی انسان برخوردار است. با توجه به جمعیت فعلی جهان که بالغ بر ۶ میلیارد نفر می باشد و توقع مشروع و قانونی جمعیت مذکور برای بهبود سطح زندگی، نیاز به آب در سطح کل جهان در دهه های آینده به میزان قابل توجهی افزایش خواهد یافت و این در حالی است که منابع آب شیرین در جهان محدود بوده و توزیع آنها ناهمگن می باشد و از سوی دیگر با گسترش صنایع، احداث سدها و غیره کیفیت همین منبع محدود نیز رو به کاهش است (Bina and Asadi,2017). عموماً منشاء این آلودگی اغلب فعالیتهای بشر می باشند. برای مثال کودهای بکار رفته در مزارع ممکن است غلظت عناصر غذایی را در آب افزایش دهد. این عناصر غذایی می تواند باعث کاهش اکسیژن محلول در آب و اختلال در حیات سیستم های آبی گردد. این شرایط لزوم تحلیل و پیش بینی کیفیت آب در شرایط آتی را می طلبد (Alam,2017).

روشهای مختلفی برای بررسی تغییرات کیفیت آب در حوضه های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است که از آن جمله می توان به آزمونهای آماری، رگرسیون و سری های زمانی، روشهای چند متغیره و غیره اشاره نمود. تمام مدلهای بدست آمده مدلهای ضربیARIMA همراه با عامل فصلی و پریود ۵۲ می باشند. مدلها بطور مجزا برای دوره های ۸۹-۱۹۸۴ و ۹۶-۱۹۹۲ بدست آمدند و دوره ۹۱-۱۹۹۰ حذف گردید. به دلیل انعطاف پذیری مدلهای تک متغیره ARIMA مدلها از صحت بالایی برخوردار بودند. مدلهای ARIMA پیش بینی خوبی را در آینده نزدیک انجام می دهند (Fox,2017). بررسی های انجام گرفته در زمینه کیفیت آب زاینده رود محدود بوده و عمدتاً اندازه گیری های بلند مدت توسط سازمان آب منطقه ای اصفهان انجام گرفته است. تجزیه های انجام شده توسط سازمانهای دولتی و افراد مستقل اغلب در دوره های کوتاه مدت صورت گرفته است. Kalbasi (۲۰۱۵) تغییرات کیفی آب زاینده رود را در یک دوره سه ساله مطالعه کرد. نامبرده منبع اصلی شوری آب زاینده رود را زه آب کشاورزی و منبع عمده آلاینده آب زاینده رود به عناصر سنگین را فاضلابهای شهری و صنعتی مشخص نمود. Najafi و همکاران (۲۰۰۶) در طول پنج سال آبی ۸۳-۱۳۷۸ پارامترهای کیفی آب زاینده رود را در حد فاصل دو ایستگاه پل کله و لنج مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات کیفی در حد فاصل این دو ایستگاه به دلیل آلودگی های متمرکز و غیر متمرکز قابل توجه بوده است. Nasri و Abedi (۲۰۰۸) به شبیه سازی کیفیت آب رودخانه زاینده رود با استفاده از مدل QUAL2K پرداختند و با وجود اطلاعات کم موجود نتایج شبیه سازی و واقعی مطابقت قابل قبول و مناسبی را نشان دادند. Faryadi و همکاران (۲۰۱۲) اولویت بندی پارامترهای کیفیت آب، ارتباط بین آنها و همچنین موضوع

www.SID.ir

Archive of SID

معدنی یا غیرمعدنی بودن آن ها را در طول سه سال (۱۳۸۵-۱۳۸۲) در رودخانه تجن مورد بررسی قرار دادند؛ با استفاده از نتایج PCA مشخص شد که به منظور کنترل کیفیت آب رودخانه، در علی آباد بجز (SAR وSO_4) ، در کرچا بجز (HCO_3) و در سلیمان تنگه بجز (Mg، Ca و HCO_3) همه پارامترها در اولویت قرار دارند.

در این مطالعه سری های زمانی تغییرات پارامترهای کیفیت آب در این حوضه و در ایستگاههایی که توسط سازمان آب منطقه ای استان اصفهان جمع آوری شده، مورد بررسی قرار می گیرد. هدف از مطالعه حاضر عبارتست از: بررسی کیفیت اطلاعات و همچنین کامل بودن سری آماری با استفاده از داده های در دسترس، روشهای آماری غیرپارامتریک مانند من-ویتنی[5]، استفاده از روشهای آماری پارامتریک مانند آزمونt ،ρ پیرسون و غیره و روشهای آماری غیرپارامتریک مانند من- کندال [6] برای بررسی های روند تغییرات پارامترهای کیفیت آب نظیرpH، تعیین رابطه آماری بین دبی و پارامترهای کیفیت آب، مدل سازی سری های زمانی وتجزیه و تحلیل مدل های بدست آمده.

۲. مواد و روش ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

حوضه ی سد زاینده رود بخشی از حوضه ی کل رودخانه ی زاینده رود می باشد که در استان اصفهان و چهارمحال و بختیاری واقع شده است. عمده‌ی مساحت این حوضه (حدوداً ۶۵ درصد) در غرب استان اصفهان و حدوداً ۳۵ درصد در شمال شرقی استان چهارمحال و بختیاری قرار گرفته است و دارای ۴۰۸،۷۷۹/۷۲ هکتار مساحت می باشد. از نظر مختصات جغرافیای حوضه دارای عرض جغرافیایی از ″N54 ′11 °32 تا ″N32 ′11 °33 و از نظر طول جغرافیایی از ′2 ″43 E ° 50 تا ° 50 ′46 ″27 E می باشد (Murray *et al.*,2009).

۲-۲. روش پژوهش

سازمان آب منطقه ای داده های مربوط به یون-های سدیم، کلسیم، منیزیم، بیکربنات، کربنات، کلر، سولفات، نسبت جذب سدیم،هدایت الکتریکی، pH، دبی، کل ذرات محلول و کدورت را جمع آوری می نماید. از بین این پارامترها یون سولفات، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتریکی، یون بیکربنات، یون کلر و pH را انتخاب گردیدند. در ایستگاههای شش گانه هیدرومتری (ایستگاههای قلعه شاهرخ، اسکندری، پل کله، پل چوم، لنج و ورزنه) نسبت جذب سدیم به خوبی رابطه بین یونهای سدیم، کلسیم و منیزیم را نشان می دهد و به همین دلیل آن بعنوان معرف کاتیونها انتخاب شد. هدایت الکتریکی نیز با کدورت و کل ذرات محلول رابطه مستقیم دارد و بنابراین هدایت الکتریکی برای مدل کردن انتخاب شد. در ایستگاههای هیدرومتری قلعه شاهرخ،

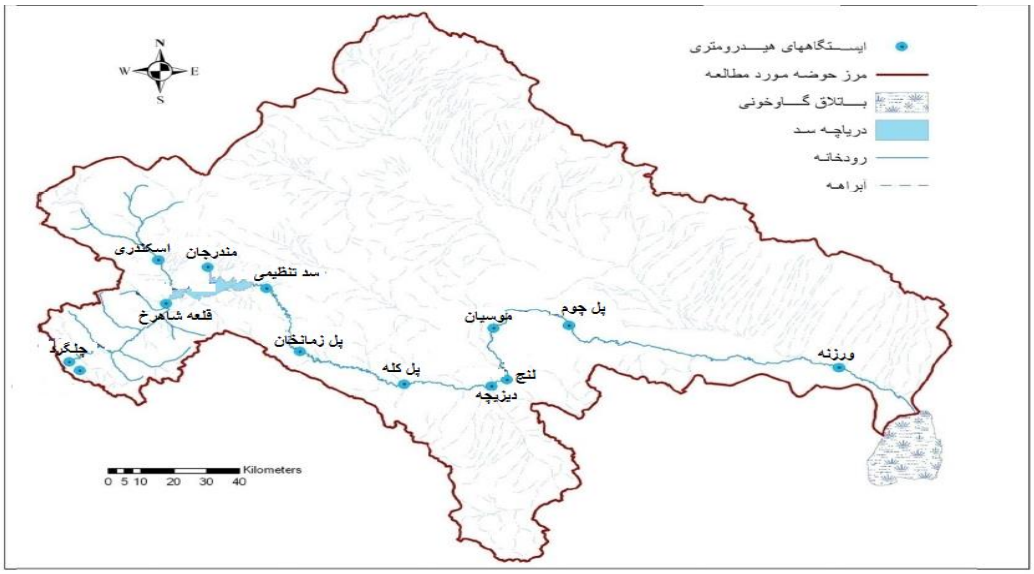
5 -Mann-Whitney

6- Mann-Kendal

www.SID.ir

Archive of SID

اسکندری و پل کله pH عمدتاً در محدوده ۸-۶ است و بنابراین با توجه به واکنش تعادلی بین یون کربنات و بیکربنات، یون بیکربنات غالب است و به همین دلیل انتخاب گردید. مکان ایستگاه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. طول دوره مطالعاتی در ایستگاهها از سال ۱۳۴۹ آغاز و همگی به شهریورماه سال ۱۳۹۰ ختم می گردد.



شکل۱- نقشه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در رودخانه زاینده رود

بررسی همگنی داده ها: برای بررسی همگنی داده ها از آزمون من –ویتنی استفاده گردید. آزمون من- ویتنی یکی از قوی ترین آزمون های غیرپارامتریک می باشد. نمونه ای به اندازه N به ترتیب صعودی مرتب می شود و سپس آماره های زیر محاسبه می گردند:

$$u_1 = mn + \frac{m}{2}(m+1) - Rm \qquad (۱)$$

$$u_2 = mn - u_1$$

که در آن n و m اندازه زیر نمونه و R_m مجموع مرتبه های نسبت داده شده به نمونه ای به حجم n است. بین u_1, u_2 آن را که کوچکتر است انتخاب کرده و از آن برای محاسبه آماره آزمون (z) به صورت زیر استفاده می کنیم.

$$Z = \frac{u - \frac{mn}{2}}{\sqrt{\frac{1}{2}\left[mn(m+n+1)\right]}} \qquad (۲)$$

آزمون من – ویتنی بر اساس توزیع پیوسته بوده و چنانچه مشاهدات هم رتبه وجود داشته باشد، تصحیح هایی باید انجام گیرد. چنانچه t تعداد مشاهدات هم رتبه برای مرتبه معینی باشد:

$$T = \frac{1}{12}(t^3 - t) \qquad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$Z = \frac{u - \frac{mn}{2}}{\sqrt{\frac{mn}{N(N+1)}\left[\frac{N^3 - N}{12} - \sum T\right]}} \qquad (۴)$$

که در آن $\sum T$ مجموع تعداد Tهای گروه های مشاهدات هم رتبه است. فرضیه صفر H_0 (همگنی داده ها) در صورتی پذیرفته می شود که $z_{1-\frac{\alpha}{2}} \le z_c \le z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ باشد. $1-\frac{\alpha}{2}$ توزیع نرمال استاندارد در سطح اطمینان α برای آزمون می باشد (Nasri and Abedi,2008). در این تحقیق با استفاده از نرم افزار SPSS.9 آزمون من-ویتنی انجام گرفت. مرحله بعد از بررسی همگنی، مدلسازی است که اولین مرحله در آن بررسی روند می باشد. یکی از ابزارهایی که برای تعیین تغییرات در سری های زمانی بکار می رود، تحلیل روند است. در این مطالعه از آزمونهای ناپارامتریک اسپیرمن و تاوکندال که در نرم افزار SPSS.9 در دسترس است، جهت بررسی روند داده ها استفاده گردید (Murray *et al.*,2009). در این نرم افزار مقدار آماره این دو آزمون و همچنین معنی داری آنها در سطح ۱٪ و ۵٪ نشان داده می شود. جهت بررسی ایستایی داده ها، می توان از نمودار خودهمبستگی استفاده نمود که به راحتی در نرم افزار SAS قابل دسترسی است.

بررسی نرمال بودن داده ها: در این تحقیق از آزمون کلموگروف – اسمیرنوف استفاده گردید که درنرم افزار SPSS.9 قابل دسترسی است. در این نرم افزار احتمال آماره آزمون محاسبه شده و اگر این احتمال از سطح معنی داری مورد نظر که در اینجا ۱٪ فرض شد بزرگتر بود، فرض نرمال بودن داده ها تایید می گردد. چنانچه داده ها با توجه به آزمون کلموگروف-اسمیرنف نرمال نبودند، با استفاده از Ln,Log یا تابع تبدیل باکس-کاکس نرمال شدند. در صورتیکه با استفاده از تبدیلات بند قبل، داده ها ایستا نشدند، از تفاضل گیری استفاده گردید. تفاضل گیری می تواند با رتبه های مختلف انجام گیرد. تفاضل گیری غیرفصلی با d=1 یا d=2 منجر به ایستا شدن می شود. گاهی نیز لازم است تفاضل گیری فصلی صورت گیرد که در این حالت D=12 معمولا به ایستا شدن منجر می شود.

با توجه به اینکه در بسیاری از مطالعات انجام شده مدلهای ساده برای پارامترهای کیفیت آب بدست آمده بود، ابتدا مدلهای ساده AR(1)، ARMA(1,1) و MA(1) را برای کلیه پارامترها انتخاب گردید و در صورت تایید نشدن این مدلها از مدلهایی با درجات بالاتر استفاده شد.

تخمین پارامتر یکی از مهمترین گامها در مدلسازی است. مهمترین روشهایی که در آمار و ریاضی برای تخمین پارامترها وجود دارد، روشهای حداقل مربعات، روش گشتاورها و روش حداکثر درستنمایی است (Salas,2015).

روش گشتاورها: مقدار مورد انتظار متغیر تصادفیx،E(x) اولین گشتاور جامعه است وE(xr) گشتاور r ام است. اگرx متغیر یک سری زمانی با پارامترهایx1،...,xp، باشد، با حل دو معادله تخمین گشتاورهای جامعه و نمونه پارامترهای گشتاور تخمین زده می شوند. روش

www.SID.ir

Archive of SID

گشتاورها معمولا اولین قدم در تخمین پارامترها هستند. این روش برای متغیری با توزیع نرمال کارآمد است. برای توزیع هایی که با چولگی همراه است، معمولا از روشهای دیگر استفاده می شود (Salas *et al*.,2009).

روش حداقل مربعات: در این روش مدلی انتخاب می شود که مجموع مربعات اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر بدست آمده از مدل حداقل باشد (Modares,2003).

روش حداکثر درستنمایی: در این روش مدل موردنظر با p پارامتر و تابع احتمالی پیوسته $\in_1$ تا $\in_n$ که تابع درستنمایی $L(0)$ گفته می شود مدنظر است. $L(0)$ به صورت زیر بیان می گردد:

(۵)

$$L(0) = f(\in_1;\underline{\alpha}) : f(\in_2:\underline{\alpha})...f(\sum_n :\underline{\alpha}) = \prod_{t=1}^{N} f(\in_t:\underline{\alpha}),$$
$$\alpha = \{\alpha_1,...\alpha_p\}$$

α مجموعه پارامترهای مدل است. مدلی که حداکثر $L(0)$ را داشته باشد، برای مدلسازی مناسب است (Salas *et al*.,2009). در این تحقیق نیز با استفاده از نرم افزار SAS از روشهای حداکثر درستنمایی[۷] و حداقل مربعات شرطی[۸] و غیر شرطی[۹] استفاده شد.

بررسی پارامترهای مدل: جهت بررسی معنی دار بودن پارامترها از نرم افزار SAS.10 استفاده شد. در این نرم افزار احتمال t محاسبه شده و اگر احتمال t از سطح معنی داری ۱٪ کوچکتر باشد به احتمال بسیار قوی پارامتر مهم است و اگر از سطح معنی داری ۵٪ کوچکتر باشد به احتمال قوی پارامتر مهم است و در غیر اینصورت فرض صفر مبنی بر معنی دار بودن پارامتر رد می شود.

آزمون باقیمانده ها: در نرم افزار SAS احتمال آماره Q محاسبه می گردد. اگر احتمالQ از سطح معنی داری ۱٪کوچکتر باشد مدل نامناسب است. اگر بین سطوح معنی داری ۱٪ و ۵٪ باشد مدل کفایت نسبی دارد و اگر از سطح معنی داری۵٪ بزرگتر باشد، مدل مناسب است (Bowerman and Connel,2014). همچنین باقیمانده ها باید دارای استقلال زمانی باشند یعنی تابع خودهمبستگی آنها فاقد بریدگی باشد که با توجه به تابع خودهمبستگی بدست آمده در نرم افزار SAS می توان این موضوع را بررسی کرد. جهت بررسی نرمال بودن باقیمانده ها نیز از آزمون کلموگروف – اسمیرنف استفاده گردید.

انتخاب بهترین مدل: در مرحله آخر همبستگی داده های اصلی با داده های پیش بینی شده بوسیله مدل با استفاده از نرم افزار SPSS.9 محاسبه گردید و مدلی که بیشترین همبستگی را ایجاد کرده بود، انتخاب شد و در صورت یکسان بودن ضریب همبستگی دو مدل از شاخص آکائیک که در نرم افزار SAS محاسبه شده، جهت انتخاب بهترین مدل استفاده گردید (Modares,2003).

7 -ML
8 -CLS
9 -ULS

www.SID.ir

Archive of SID

۳. نتایج

بررسی روند: نتایج حاصل از تحلیل روند pH و یون کلر در ایستگاه قلعه شاهرخ هر دو عدم وجود روند را نشان داده ولی یون بیکربنات وجود روند نزولی در سطح ۱٪ را نشان می دهد. نتایج حاصل از تحلیل روند pH در ایستگاه اسکندری عدم وجود روند، یون کلر وجود روند صعودی در سطح ۱٪ و یون بیکربنات وجود روند نزولی در سطح ۱٪ را نشان می دهند. نتایج حاصل از تحلیل روند pH و یون کلر در ایستگاه پل کله هر دو وجود روند نزولی در سطح ۵٪ را نشان داده ولی یون بیکربنات وجود روند نزولی در سطح ۱٪ را نشان می دهد. این نتایج به صورت خلاصه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نتایج آزمون های تاوکندال و اسپیرمن جهت بررسی روند در ایستگاههای منطقه مورد مطالعه

پارامتر	یون بی کربنات		یون کلر		pH	
	اسپیرمن	تاو کندال	اسپیرمن	تاو کندال	اسپیرمن	تاو کندال
ایستگاه						
قلعه شاهرخ	۰/۲۷۶	۰/۲۰۳	۰/۰۴۶	۰/۰۳۲	-۰/۰۱۸	-۰/۰۱۲
اسکندری	-۰/۱۹۵	-۰/۱۳۹	۰/۲۵۸	۰/۱۹۵	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۶
پل کله	-۰/۳۷۴	-۰/۲۷۶	-۰/۱۳۳	-۰/۱۰۳	-۰/۱۴	-۰/۱
لنچ	۰,۱۵۵	۰,۱	۰,۱۲۵	۰,۰۸۱	۰,۰۳۲	-۰,۰۲
پل چوم	۰,۱۰۳	۰,۰۶۶	-۰,۰۶۶	-۰,۰۴۴	-۰,۰۶۳	-۰,۰۳۹
ورزنه	۰,۱۸۶	۰,۱۶۷	۰,۴۳	۰,۲۵۷	-۰,۱۲۳	-۰,۰۸۹
پارامتر		یون سولفات		نسبت جذب سدیم		هدایت الکتریکی
	اسپیرمن	من کندال	اسپیرمن	من کندال	اسپیرمن	من کندال
ایستگاه						
قلعه شاهرخ	۰/۱۷۷	۰/۱۱۹	-۰/۲۲۸	-۰/۱۶۹	-۰/۰۱۵	-۰/۰۱۲
اسکندری	۰/۴۲۶	۰/۳۰۸	-۰/۰۸۸	-۰/۰۶۸	۰/۴۶۷	۰/۳۲
پل کله	۰/۴۱۲	۰/۲۷۹	-۰/۲۴۸	-۰/۱۷۹	-۰/۰۶۷	-۰/۰۴۶
لنچ	۰/۳۲۱	۰/۲۰۵	۰/۱۵۵	۰/۱	۰/۱۲۵	۰/۰۸۱
پل چوم	۰/۰۴۵	۰/۰۳	۰/۱۰۳	۰/۰۶۶	-۰/۰۶۶	-۰/۰۴۴
ورزنه	۰/۱۸۶	۰/۱۱۹	۰/۲۸۷	۰/۱۶۷	۰/۴۳	/۲۵۷

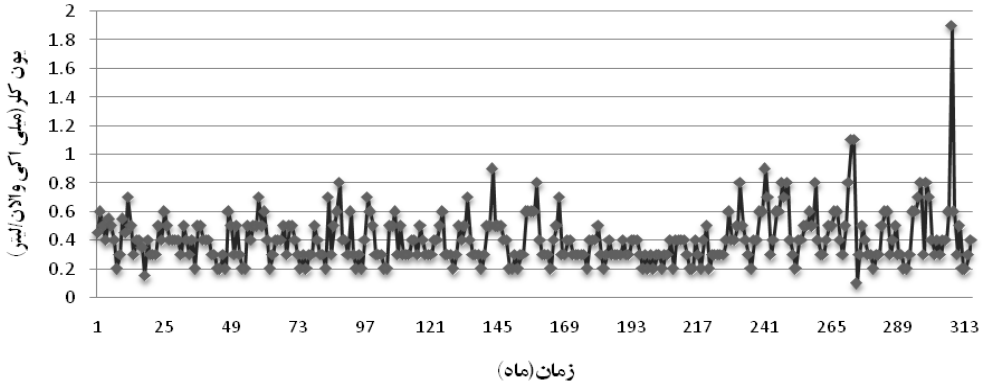
www.SID.ir

Archive of SID

مدلسازی و پیش بینی: نتایج مدلسازی در ایستگاه قلعه شاهرخ: روند تغییرات یون کلر در طول زمان در شکل ۲ نشان داده شده است. این پارامتر ایستا است زیرا ضریب خود همبستگی تنها در تاخیر ۱ معنی دار است. ضریب من – ویتنی نیز دال بر همگنی این پارامتر است(۰/۰۰۴- =Z).

بررسی روند: با توجه به آماره آزمون تاوکندال (۰/۰۳۲) و آماره اسپیرمن (۰/۰۴۶) این پارامتر بدون روند است و نیاز به انجام عمل بی روند کردن نیست. بررسی نرمال بودن داده ها: با توجه به آزمون کلموگروف - اسمیرنوف داده ها نرمال نبودند، اما با استفاده از روش $\alpha = 0.1, Box - Cox$ داده ها نرمال شدند. اما داده های نرمال شده ایستا نبودند و به همین دلیل با استفاده از یکبار تفاضل گیری (d=1) ایستا شدند. تعیین و انتخاب مدل: مدلهای(1,1,1) ARIMA، (0,1,1)ARIMA و (1,1,0)ARIMA مورد آزمون قرار گرفتند و پارامترهای آنها به هر سه روش ML، CLS وULSتعیین شد. بررسی پارامترهای مدل: در هر سه مدل احتمالt از سطح معنی داری ۱٪ کوچکتر بود که حاکی از معنی داری پارامترهای این مدل ها است. در تمام مدل ها به جز (1,1,1)ARIMA به روشULSشرط ایستایی و معکوس پذیری نیز برقرار بود لذا تمام مدلها بجز مدل مذکور وارد مرحله بعد شدند.

آزمون باقیمانده ها: در مدلهای (0,1,1) ARIMA و (1,1,0)ARIMA به هر سه روش ML، CLSوULSاحتمالQ از سطح معنی داری ۱٪ کوچکتر بود و لذا این مدل ها کنار گذاشته شدند. اما در مدل (1,1,1) ARIMA به روشML وCLSشرط استقلال زمانی و نرمال بودن داده ها برقرار بود و لذا این مدل ها وارد مرحله بعد شدند.



شکل۲- روند تغییرات یون کلر در طول دوره مطالعاتی در ایستگاه قلعه شاهرخ

پیش بینی: با استفاده از مدل (1,1,1)ARIMA به هر دو روش ML و CLSپیش بینی صورت گرفت و سپس مقادیر بدست آمده از مدل ها با داده های اصلی مقایسه و همبستگی بین آنها محاسبه گردید که برای هر دو روش ML و CLSاین ضریب یکسان بدست آمد. لذا از شاخص آکائیک جهت انتخاب بهترین مدل استفاده شد که چون روش CLSمقدار ضریب پائین تری داشت، انتخاب شد (AIC=۲۰۰/۰۸۲۵ ومقدار پارامترهای این مدل عبارتند از $\theta_1 = 0.97798, \phi_1 = 0.39903$).

بررسی روند: مقدار آماره آزمون تاوکندال (-0.203^{**}) و آزمون اسپیرمن (-0.276^{**}) حاکی از وجود روند در

www.SID.ir

Archive of SID

سطح معنی داری ۱٪ می باشد لذا باید پارامتر مورد نظر را بی روند نمود.

بررسی ایستایی داده های بی روند شده: تابع خودهمبستگی داده های بی روند در تاخیر ۱۱ معنی دار است و لذا باید نسبت به ایستا نمودن داده ها اقدام نمود. جهت ایستا کردن از تفاضل گیری غیرفصلی با درجه ۱ استفاده گردید و بدین ترتیب داده ها ایستا شدند.

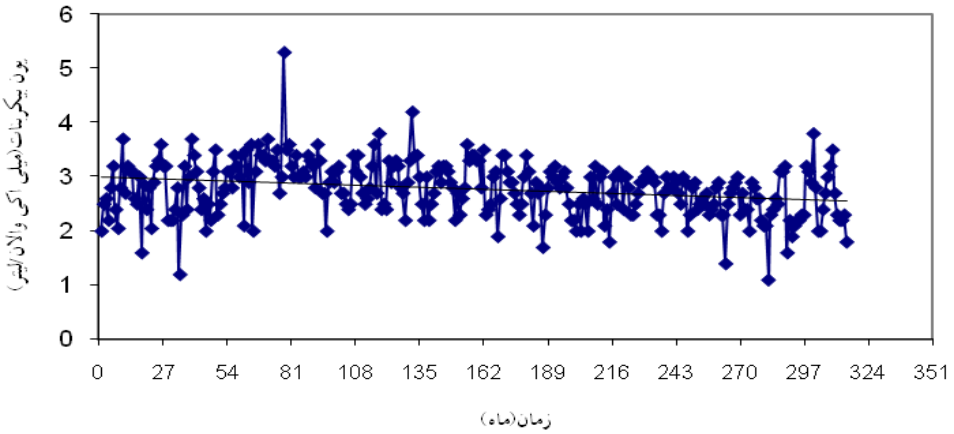
تعیین و انتخاب مدل: مدل های ARIMA (1,1,1) و ARIMA(0,1,1) و ARIMA(1,1,0) انتخاب شدند و پارامترهای آنها به هر سه روشML، CLS وULSتخمین زده شد.

بررسی پارامترهای مدل: درتمام مدلها و تمام روشها پارامترها معنی دار بودند و از شرط ایستایی و معکوس پذیری نیز برخوردار بودند.

آزمون باقیمانده ها: در مدل های ARIMA(0,1,1) و ARIMA(1,1,0) به هر سه روش ML، CLS وULSباقیمانده ها از استقلال زمانی برخوردار نبودند و لذا این مدلها کنار گذاشته شدند و تنها مدل ARIMA (1,1,1) مورد بررسی قرار گرفت که باقیمانده های آن هم شرط استقلال زمانی و هم شرط نرمال بودن را دارا بودند.

پیش بینی و انتخاب بهترین مدل: با استفاده از مدل ARIMA (1,1,1) به هر سه روش پیش بینی صورت گرفت اما چون در روش ML همبستگی مقادیر اصلی و مقادیر پیش بینی شده بیشتر بود این مدل انتخاب شد. مقدار پارامترهای این مدل به روش CLSعبارتند از $\phi_1 = -0.31560, \theta_1 = 0.95917$ و شاخص آکائیک AIC=392.5435 محاسبه گردید.

pH با توجه به تابع خودهمبستگی ایستا است چون تابع خودهمبستگی فقط در تاخیر ۱و۲ بریدگی دارد. آماره من – ویتنی(z=-۱/۵۱۷) حاکی از همگنی پارامتر و آزمون تاوکندال و اسپیرمن حاکی از عدم وجود روند در این پارامتر است. بررسی پارامترها: در مدلAR(2) و AR(1) به روش ULSپارامترها از شرط ایستایی برخوردار نیستند و لذا این دو مدل در این مرحله کنار گذاشته می شود. اما در مورد بقیه مدلها، پارامترها معنی دار هستند و از شرط ایستایی و معکوس پذیری تبعیت می کنند.



شکل ۳- نمودار یون بیکربنات در طول دوره مطالعاتی در ایستگاه قلعه شاهرخ

www.SID.ir

Archive of SID

انتخاب مدل: مدلهای ARMA(2,1)، AR(2)،MA(2)، MA(2)،AR(1) و ARIMA (1,1) انتخاب و پارامترهای آنها به هر سه روش ML، CLSوULSتخمین زده شد.

بررسی پارامترها: در مدلAR(2) و AR(1) به روش ULSپارامترها از شرط ایستایی برخوردار نیستند و لذا این دو مدل در این مرحله کنار گذاشته می شود. اما در مورد بقیه مدلها، پارامترها معنی دار هستند و از شرط ایستایی و معکوس پذیری تبعیت می کنند.

آزمون باقیمانده ها: در مدلهای ARIMA (1,1) به روش ML و ARIMA (2,1) به هر سه روش، باقیمانده ها در تاخیر ۱ بریدگی دارند که بر خلاف شرط استقلال زمانی است. در مدلهایMA(1) به هر سه روش،AR(1) به روش ML و CLS،MA(2) به هر سه روش، AR(2) به روش ML و CLS، مقدار احتمال آمارهQ از ۰/۰۱ کمتر است و لذا این مدلها کنار گذاشته می شود. در مدلARIMA (1,1) به روش CLSوULSباقیمانده ها نرمال نیستند و لذا این مدل نیز مناسب نیست. با توجه به اینکه تمام مدلهای مدنظر مناسب نبودند پارامتر σ را در مدلها دخیل کردیم و دوباره مدلهای فوق الذکر را مورد بررسی قرار دادیم که تنها مدلARIMA (2,1) مناسب بود و پارامترهای آن را به هر سه روش محاسبه کردیم. انتخاب بهترین مدل و پیش بینی: از بین روش های مختلف مدل ARIMA (2,1) $+\sigma^{-}$ ، روش ML از همه مناسب تر بود زیرا ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی شده در این روش از روش CLSبیشتر بود و نسبت به روش ULSاز شاخص آکائیک پائین تری برخوردار بود (61.27214<61.2733). برای ایستگاه های هیدرومتری دیگر نیز این روند انجام شد. در ایستگاه اسکندری یون بیکربنات به علت این که تمام مدلهای AR(2) ، MA(2) ، ARIMA (2,1) ، ARIMA (1,2) ، ARIMA (1,1) ، MA(1) و AR(1) یا در مرحله آزمون پارامترها یا در مرحله آزمون باقیمانده ها رد شدند، وجود ندارد. محاسبه همبستگی دبی و پارامترهای مختلف: همبستگی بین دبی و پارامترهای مختلف در ایستگاهها محاسبه گردید و نتایج حاصله در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۲- نتایج مدلسازی ایستگاه قلعه شاهرخ

نام پارامتر	روش نرمال کردن	مدل مورد نظر	مقدار پارامترها
SAR	Log	ARMA(1,1) روشcls	$\theta_1 = 0.79474$ $\phi_1 = 0.99821$
Cl	BOX-COX0.1	ARIMA(1,1,1) روش cls	$\theta_1 = 0.97798$ $\phi = 0.39903$
HCO_3	-	ARIMA(1,1,1) روشML	$\theta_1 = 0.95917$ $\phi = 0.31560$
EC	-	ARIMA(1,1,1) روشML	$\theta_1 = 0.96063$ $\phi = 0.39420$
PH	-	ARMA(2,1)+ δ روش ML	$\theta = -0.32672$ $\phi_2 = 0.29023$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- همبستگی بین دبی و پارامترهای مختلف

	pH	HCO_3	Cl	SAR	EC	SO_4
قلعه شاهرخ	-	-	-0.319**	-0.299**	-0.293**	-0.18**
اسکندری	0.133*	-0.282**	-0.392**	-0.325**	-0.401**	-0.134*
پل کله	-0.004	-0.07	-0.239**	-0.389**	-0.359**	-0.371**
لنچ	-0.014	-0.233**	-0.632**	-0.555**	-0.649**	-0.584**
پل چوم	0.076	-0.35**	-0.449**	-0.485**	-0.478**	-.294**
ورزنه	0.032	-0.178**	-0.299**	-0.328**	-0.321**	-0.216**

***معنی داری در سطح ۵٪، **معنی داری در سطح ۱٪. علامت منفی در جدول بالا حاکی از همبستگی منفی بین دبی و پارامتر مورد نظر است در حالیکه علامت مثبت همبستگی مثبت بین دبی و پارامتر مورد نظر را نشان می دهد.**

متوسط ۲۰ ساله دبی نشان داد که ایستگاه قلعه شاهرخ بالاترین متوسط دبی (۴۴/۵۷ m^3/s) و ایستگاه ورزنه پایین ترین متوسط دبی (۶/۰۱۵ m^3/s) را دارا می باشند. این مقدار برای ایستگاه های اسکندری، پل کله، لنچ و پل چوم به ترتیب ۱۰/۵، ۲۰/۶۵، ۲۱/۴۵ و ۳۲/۳ متر مکعب در ثانیه می باشد.

نتایج بررسی روند: در ایستگاه قلعه شاهرخ برای آگاهی از علت وجود روند در پارامتر HCO3 به بررسی روند در پارامتر دبی پرداخته شد. اما با توجه به عدم وجود روند در این پارامتر دریافت شد که عامل دیگری در صعودی و نزولی بودن پارامتر فوق الذکر دخیل بوده است. یون بیکربنات در آب رسوب می دهد و بنابراین شاید این امر باعث نزولی شدن آن با گذشت زمان شده باشد. دبی در ایستگاه اسکندری نیز فاقد روند معنی دار است . روند صعودی یون کلر را باید با توجه به حشره کشها و آفت کشهای مصرفی توجیه کرد. در ایستگاه پل کله نیز همانند دو ایستگاه قبلی دبی فاقد روند معنی دار است. یون بیکربنات همانند دو ایستگاه قبلی است با این تفاوت که در این ناحیه استقرار کارخانه های اسید سولفوریک، پارافین سازی، کارخانه تولید محصولات شوینده و آبکاری نیز باید مورد بررسی قرار گیرد. pH در این ایستگاه روند نزولی دارد یعنی آب این ایستگاه به سمت اسیدی شدن می رود که می تواند به دلیل روند صعودی یون سولفات باشد و روند نزولی یون بیکربنات نیاز به بررسی بیشتر دارد. برای آگاهی از صحت مدلهای بدست آمده سه پارامتر Cl، pH وHCO3 انتخاب شد و با استفاده از مدلهای بدست آمده در فصل قبل، آنها از شهریور ماه ۱۳۸۴ تا شهریورماه ۱۳۹۰ پیش‌بینی شد و سپس درصد خطا با استفاده از معادله زیر بدست آمد:

$$\text{درصد خطا} = \frac{\text{مقدار مشاهده شده} - \text{مقدار پیش‌بینی شده}}{\text{مقدار مشاهده شده}} \times ۱۰۰$$

www.SID.ir

Archive of SID

در تمام ایستگاه‌ها درصد خطا کمتر از ۱۰٪ بدست آمد. در بین سایر ایستگاهها نیز ایستگاه قلعه شاهرخ کمترین درصد خطا و ایستگاه ورزنه بالاترین درصد خطا را دارا بود. بنابراین شاید بتوان خاطر نشان کرد که احتمالاً برای سایر پارامترها نیز مدلهای بدست آمده در ایستگاه قلعه شاهرخ کمترین درصد خطا را دارا است.

از بین پارامترهای فوق‌الذکر، pH کمترین درصد خطا را داشت که این امر می‌تواند به دلیل تاثیر ناچیز زهکش‌ها بر روی pH رودخانه باشد.

جدول ۴- نتایج کلی بررسی روند در ایستگاه ها

	HCO_3	EC	SAR	So_4	Cl	pH
قلعه شاهرخ	نزولی	بدون روند	نزولی	صعودی	بدون روند	بدون روند
اسکندری	نزولی	صعودی	بدون روند	صعودی	صعودی	بدون روند
پل کله	نزولی	بدون روند	نزولی	صعودی	نزولی	نزولی
لنچ	نزولی	بدون روند	بدون روند	صعودی	صعودی	بدون روند
پل چوم	نزولی	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند	بدون روند
ورزنه	بدون روند	صعودی	صعودی	صعودی	صعودی	نزولی

۴. بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور بررسی روند و مدلسازی پارامترهای کیفیت آب (pH، یون کلرو یون بیکربنات) در ایستگاههای هیدرومتری (قلعه شاهرخ، اسکندری و پل کله) از سری زمانی ماهانه که توسط سازمان آب منطقه ای اصفهان جمع آوری شده بود، استفاده گردید. جهت بررسی روند، با توجه به عدم نرمال بودن داده ها، از آزمونهای ناپارامتریک اسپیرمن و تاوکندال استفاده شد. مدلسازی نیز با استفاده از روش باکس- جنکینز که شامل سه مرحله تشخیص مدل، تخمین پارامترها و بررسی صحت مدل است، استفاده گردید. در ایستگاه قلعه شاهرخ ،اسکندری، پل کله و ورزنه برای اکثر پارامترهای مدل شده، مدل ARMA با درجات مختلف بدست آمده است که حاکی از انعطاف پذیری بالای این مدل است زیرا پارامترهای خودهمبسته و میانگین متحرک را بطور همزمان دارا است. در کلیه ایستگاه ها بیشترین همبستگی بین داده های اصلی و پیش بینی شده را مدل ARIMA (1,1) ایجاد کرده است که باز هم انعطاف پذیری بالای این مدل را نشان می دهد. همچنین از بین سایر روشهای تخمین پارامتر، روش حداقل مربعات شرطی در ۴ ایستگاه از ۶ ایستگاه بیشترین همبستگی را بین داده های اصلی و پیش بینی شده ایجاد نموده است. بهترین مدل با توجه به همبستگی بین داده های اصلی و پیش بینی شده، در ایستگاه قلعه شاهرخ مربوط به هدایت الکتریکی، در

www.SID.ir

Archive of SID

ایستگاه اسکندری و ورزنه مربوط به یون کلر و در بقیه ایستگاهها مربوط به یون بیکربنات است.از بین سایر پارامترها، برای پارامتر SO4 در ایستگاه قله شاهرخ، HCO3 در ایستگاه اسکندری، EC در ایستگاه پل کله، pH در ایستگاه پل چوم، SAR و EC درایستگاه ورزنه مدل مناسبی بدست نیامد. قبل از پل چوم تصفیه خانه جنوب اصفهان واقع شده و شاید این امر باعث مدل نشدن پارامتر pH در این ایستگاه شده باشد. در نزدیک ایستگاه ورزنه، زهکش سگزی واقع شده است که طبق مطالعه انجام شده توسط کلباسی و موسوی، این زهکش بر شوری آب رودخانه تاثیر زیادی دارد زیرا در محل تخلیه این زهکش دبی رودخانه کم است و دبی زهکش در مقایسه با دبی رودخانه زیاد می باشد و علاوه بر این غلظت برخی کاتیونها و آنیونها در اثر زهکش سگزی ۲/۵ برابر شده است و شاید این دوامر بر مدل نشدن پارامترهای SAR, EC تاثیر داشته باشد. علت مدل نشدن پارامترهای دیگر به احتمال زیاد ناشی از ماهیت داده ها می باشد. مدل فصلی تنها در ایستگاه لنچ برای پارامترهای EC, SO4, SAR بدست آمد. تجزیه‌ها نشان می‌دهدکه در محل این ایستگاه یک جریان طبیعی آب زیرزمینی رو به شمال وجود دارد که این جریان سرانجام داخل زاینده‌رود نشت کرده و مقداری آب برگشتی آبیاری نیز به آن اضافه می‌شود. اگرچه مقادیر این دو جریان اندک است ولی به میزان قابل ملاحظه‌ای در این قسمت بار محلول زاینده‌رود را افزایش داده و باعث تغییر ترکیب شیمیایی آب می‌شود و این امر ممکن است در فصلی شدن مدل اثر داشته باشد. علاوه بر این بین ایستگاه پل کله و لنچ، زهکش ذوب آهن واقع شده است که این زهکش تاثیری بر کیفیت مقدارآب و در نتیجه فصلی شدن آن ندارد. دبی رودخانه از جمله مهمترین عوامل موثر بر غلظت آلاینده‌ها و املاح محلول در منابع آب سطحی است. طبق جدول ۴ دبی رودخانه با همه پارامترها به جز pH در ایستگاه اسکندری همبستگی منفی دارد. این بدان معنی است که در مقاطع و زمان‌هایی که دبی رودخانه زیاد است تاثیر منابع بزرگ آلاینده نظیر فاضلابهای شهری و صنعتی یا زه‌آبهای کشاورزی بر غلظت آلاینده‌ها در رودخانه کم است. اما وقتی دبی رودخانه کاهش می‌یابد، منابع کوچک نیز سبب افزایش شدید غلظت آلاینده‌ها می‌شود (Bina and Asadi,2017). در مطالعه سلیمانی ساردو و همکاران (Soleimani sardo *et al.*,2016) کیفیت آب و روند تغییرات پارامترهای کیفی آب رودخانه چم انجیر لرستان توسط روش های گرافیکی از قبیل نمودارهای ویلکاکس، شولر و پایپر مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه نمودار پایپر تیپ کیفی آب را از نوع کلسیم منیزیمی معرفی نمود. بر اساس دیاگرام شولر تمام نمونه های مربوط به آب رودخانه چم انجیر در دسته خوب و قابل قبول از نظر شرب قرار داشته و مانعی از نظر شرب ندارند. همچنین نمودار ویلکاکس نشان می دهد که اکثر نمونه ها در کلاس کمی شور(C2S1) قرارگرفته و برای کشاورزی تقریبا مناسب می باشد. در حالی که در این مطالعه به منظور بررسی کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود، سری زمانی ماهانه پارامترهای کیفیت آب شامل یون بی کربنات، یون کلرو pH بکارگرفته شد. به این منظور، رهیافت ارائه شده توسط باکس و جنکنیز به منظور مدلسازی در نظرگرفته شد.

www.SID.ir

Archive of SID

References

Alam, M., 2017. "Water quality and resident perceptions of declining ecosystem services at Shitalakka wetland in Narayanganj city", Sustainability of Water Quality and Ecology Volumes 9–10, Pages 53-66.

Bina, B., Asadi, M., 2017. "Environmental Impact Assessment of Zayandeh Rood Dam", Water and Wastewater Journal, No. 44, Pages 20 to 35.

Faryadi, S., Shahedi, K., Nepatpour, M., 2011, "Study of water quality parameters of Tajan River using multivariate statistical techniques", Journal of Management of the Third Watershed.

Fox, W., 2017. "Water Quality & natural resource management on military training lands in Central Texas: Improved decision support via Bayesian Networks", Volumes 9–10, Pages 39-52.

Kalbasi, M., 2015. "Seasonal variation of salinity in Zayandehrood", Journal of Water and Sewage, No. 8, pages 3 to 9.

Modares, R., 2003. Hydrological drought forecast using time series analysis in one of the Zayandeh Rood plots, Master's thesis of desertification, Natural Resources Faculty, Isfahan University of Technology, pages 14-53.

Murray-Rust, H., Salemi, H., Mammanpoush, A., 2009. *Analysis of inflows into chadegan reservoi*, IAERI-INMI Research Report, pp.78-83.

Najafi, P., Tabatabaei, H., and Savaj R., 2006. "Comparison of the quality of the Zayandehrood River between the stations of the Kaleh and Lanch stations", Proceedings of the first regional conference on the optimal utilization of water resources of the Karun and Zayandeh Basins Rood, Shahrekord, pages from 679 to 686.

Nasri, Z., Abedi, J., 2008. "Simulation of water quality in Zayandehrood River using QUAL2K model", second conference and exhibition of environmental engineering, Tehran.

Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V.M. and Lane, W.L., 2009. *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*, Water Resources Publications, U.S.A, pp.231-235.

Salas, J.D., 2015. *Analysis and Modeling of hydrologic time series*, Handbook of Hydrology, McGraw Hill, New York, Vol.19, No.1.

Soleimani Sardou, M., Vali Ghazavi, R., Saeidi, H., 2016. "Analysis and Routing of Water Quality Parameters; Case Study of Cham Anjir, Khorram Abad River", Journal of Irrigation and Water Engineering.

www.SID.ir