



Evaluation of the effect of groundwater abstraction on changes in discharges of Sezar river

Simin Khosravi¹ , Hasan Torabi Poodeh²

¹ M. Sc graduate of Water structures, Department of water Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran. Email: simin.khosravi@gmail.com

² Corresponding author, Associate Professor, Department of water Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran. Email: _torabi.ha@lu.ac.ir

ABSTRACT

Introduction

Development of water resources due to the very complex nature of climate change and daily, monthly, annual and long-term fluctuations of parameters such as precipitation, temperature, evaporation, etc. and consequently the fluctuations of surface and groundwater flow fluctuations, without statistics and information It is very difficult and almost impossible. On the other hand, the existence of past statistics and data is of little value in itself and is valuable when using this data and setting the values of hydraulic, hydrological and hydrogeological parameters. To plan for the development and exploitation of water resources for short-term, medium-term and long-term periods for the future, to predict the flow in the future, it is necessary to know all the parameters affecting the flow. The basic parameters affecting the surface flow of a river in a particular section include rainfall and the amount of surface and groundwater withdrawals, which can be effective in the occurrence of a significant trend in the discharge of a river.

Research Method

The data used include data from 3 hydrometric stations and 15 rainfall stations, information on development plans inside and outside the surface water resources basin and information on the year of drilling and coordinates of water wells in Sezar basin in the statistical period. 1970-1971 to 2007-2008. In this study, first, the linear slope of the Sezar river discharge time series trend at the site of the Sezar strait, which is the last hydrometric station on the Sezar river, was estimated using the TSA method, and then using the TFPW method, the effect of the coefficient. Autocorrelation was removed from the data and finally the changes in the discharge trend were evaluated by Mann-Kendall (MK) test. Decreasing the discharge of this river, three main and effective factors in reducing the discharge of rivers, namely rainfall, increasing the withdrawal of surface water resources in the river basin and increasing the withdrawal of groundwater resources were examined according to the concept of interaction of surface and groundwater.

Conclusion

In this study, first, the trend of Sezar river discharge changes in the statistical period of 1970-1970 to 2007-2008 was investigated. Based on the results of the analysis of the flow time trend of the Sezar river at the site of the Sezar strait station in the statistical period, this river has had a significant negative trend at the level of 10%. In the continuation of this study, in order to investigate the causes of significant negative trends in the Sezar river discharge time, three main factors affecting the river discharge flow, namely precipitation, surface water abstraction and groundwater abstraction of the river basin were investigated. The results showed that the existence of a significant negative trend in the discharge of the Sezar river is not related to rainfall and abstraction from surface water resources of the basin, but the reason for this significant negative trend is over-abstraction of groundwater resources. Then the inflow from this river to Dez dam lake was predicted. The results showed that the average predicted flow of Sezar river is about 22.42 (m³ / s) less than the average discharge time series of this river in the absence of over-abstraction of groundwater resources that does not cause the interaction of surface and groundwater. Therefore, special attention to the status of groundwater resources and combined management of surface and groundwater resources should be considered by managers and planners of water resources in the country. Also, considering that the Sezar river is one of the important tributaries of the Dez river, therefore, considering the changes in the trend and the factors affecting the discharge process of this river in order to optimally exploit the Dez dam reservoir due to its significant potentials and the Dez basin is very important.

Keywords: Interaction between surface water and groundwater, Mann-Kendal Test, River long term streamflow forecasting, River streamflow reduction causes, Sezar River, Trend.

Article Type: Research Article

Article history: Received: 27 November 2021 Revised: 18 January 2022 Accepted: 28 January 2022 ePublished: 20 February 2022

Cite this article: Khosravi, S., & Torabi Poodeh, H. (2022). Assess the impact of groundwater withdrawals on the streamflow of Sezar river and forecast the river streamflow., *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 1(1), 91-107 DOI: 10.22126/ATWE.2022.7430.1011





بررسی اثر برداشت آب زیرزمینی بر آبدهی رودخانه سزار و پیش‌بینی جریان آن

سیمین خسروی^۱ ID، حسن ترابی پوده^۲ ID

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان. ایمیل: simin.khosravi@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان. ایمیل: torabi.ha@lu.ac.ir

چکیده

رودخانه‌ی سزار از سرشاخه‌های اصلی رودخانه‌ی دز می‌باشد و پیش‌بینی جریان آبدهی بلندمدت آن به‌منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن سد دز اهمیت دارد. در این پژوهش ابتدا روند آبدهی رودخانه سزار در دوره‌ی آماری ۴۹-۱۳۴۸ الی ۸۷-۱۳۸۶ که یک دوره‌ی بدون روند در بارش حوضه است، با روش TFPW_MK ارزیابی شد. نتایج نشان داد رودخانه‌ی سزار دارای روند منفی معنادار آبدهی است. سپس به‌منظور ارزیابی علل کاهش آبدهی این رودخانه سه عامل اساسی تأثیرگذار بر آبدهی رودخانه که عبارت‌اند از بارش، برداشت‌های درون و برون حوضه‌ای از منابع آب سطحی حوضه و برداشت از منابع آب زیرزمینی حوضه، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد علت اصلی کاهش آبدهی این رودخانه برداشت بیش‌ازحد از آب‌های زیرزمینی است. در نهایت جریان بلندمدت آبدهی رودخانه سزار پیش‌بینی گردید نتایج نشان داد میانگین سری زمانی آبدهی پیش‌بینی شده رودخانه سزار در حدود (m^3/s) ۲۲،۴۲ از میانگین سری زمانی آبدهی این رودخانه در حالت عدم برداشت بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی که سبب تعامل آب‌های سطحی و زیرزمینی نمی‌شود، کمتر است. داده‌های مورد استفاده شامل، داده‌های ۳ ایستگاه هیدرومتری و ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی حوضه‌ی سزار، اطلاعات طرح‌های توسعه‌ی درون و برون حوضه‌ای منابع آب سطحی و داده‌های مربوط به سال حفر و مختصات چاه‌های آب حوضه مذکور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال، پیش‌بینی جریان بلندمدت رودخانه، تعامل آب‌های سطحی و زیرزمینی، رودخانه سزار، روند، علل کاهش

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۰۶ آذر ۱۴۰۰ اصلاح: ۲۸ دی ۱۴۰۰ پذیرش: ۰۸ بهمن ۱۴۰۰ چاپ الکترونیکی: ۰۱ اسفند ۱۴۰۰

استناد: ترابی پوده، ح. و خسروی، س. (۱۴۰۰). بررسی اثر برداشت آب زیرزمینی بر آبدهی رودخانه سزار و پیش‌بینی جریان آن، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۱۰(۱)، ۹۱-۱۰۷، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2022.7430.1011



©نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

توسعه منابع آب به علت ماهیت بسیار پیچیده تغییرات آب و هوایی و نوسانات روزانه، ماهانه، سالیانه و درازمدت پارامترهایی همچون بارش، دما، تبخیر و... و به تبع آن نوسانات آبدی جریان‌های سطحی و زیرزمینی، بدون داشتن آمار و اطلاعات امری بسیار مشکل و تقریباً غیرممکن است. از طرف دیگر وجود آمار و داده‌های گذشته به‌خودی‌خود ارزش چندانی ندارد و زمانی ارزش پیدا می‌کند که از این داده‌ها استفاده کرده و مقادیر پارامترهای هیدرولیکی، هیدروژئولوژیکی و هیدروژئولوژیکی را جهت برنامه‌ریزی توسعه و بهره‌برداری از منابع آب برای دوره‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت برای آینده پیش‌بینی نماییم. جهت پیش‌بینی جریان در آینده نیاز به شناخت کلیه پارامترهای مؤثر بر جریان است. پارامترهای اساسی مؤثر بر جریان سطحی یک رودخانه در یک مقطع خاص، شامل بارش و میزان برداشت‌های سطحی و زیرزمینی است، که می‌تواند در بروز روند معنادار در آبدی یک رودخانه مؤثر باشد. در این پژوهش رودخانه‌ی سزار که به لحاظ مساحت زیر حوضه در حدود ۶۰٪ از مساحت حوضه‌ی دز را تشکیل می‌دهد و سهم آن در آبدی رودخانه‌ی دز در حدود ۴۴٪ می‌باشد. در نتیجه از سرشاخه‌های اصلی رودخانه‌ی دز بوده و روند تغییرات آبدی، علل تغییرات آبدی و پیش‌بینی جریان این رودخانه به‌منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن سد دز و مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب حوضه دز و کارون بزرگ که حائز اهمیت است، موردبررسی قرار گرفته است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ازجمله محققینی که مفهوم تعامل آب‌های سطحی و زیرزمینی را موردبررسی قرار دادند و اظهار داشتند که تشدید توسعه استفاده از آب‌های زیرزمینی برای آبیاری و دیگر مصارف، معمولاً باعث کاهش جریان رودخانه نزدیک به آن می‌شود می‌توان به وینتر و همکاران^۱ (۱۹۹۸)، سوفوکلئوس^۲ (۲۰۰۲)، ون و چن^۳ (۲۰۰۶) اشاره کرد. همچنین وبر و پری^۴ (۲۰۰۶) اثرات برداشت از آب‌های زیرزمینی را بر کاهش جریان چشمه‌ها و دبی پایه رودخانه بروف در ایالت فلوریدای آمریکا با روش‌های آنالیز آماری تجزیه و تحلیل کردند، آن‌ها از این تجزیه و تحلیل به این نتیجه رسیدند که عامل اصلی کاهش جریان چشمه‌ها و دبی پایه رودخانه‌ها کاهش سطح آب‌های زیرزمینی ناشی از برداشت بیش‌ازحد است. ازجمله محققینی داخلی نیز که پژوهش‌هایی در این زمینه داشته‌اند، می‌توان به لشکری پور و همکاران^۵ (۱۳۸۳)، عبداللهی‌پور حقیقی و پیری (۱۳۸۸) و یوسفی سنگانی و محمدزاده (۱۳۸۸) اشاره کرد. همچنین جاوید و اصغری مقدم^۶ (۱۳۸۵) با آنالیز نتایج اندازه‌گیری دبی رودخانه سنگ سیاه و همچنین بررسی ارتباط هیدرولیکی آن با آبخوان دشت ده گلان به این نتیجه رسیدند که در منطقه تخلیه رودخانه درون سفره‌های آب زیرزمینی، آبدی آن تحت تأثیر نوسانات برداشت از آب زیرزمینی قرار گرفته و تغییر می‌کند. به این معنی که با افزایش و کاهش برداشت از آب زیرزمینی، آبدی رودخانه در نقاط مذکور به ترتیب به‌طور نسبی کاهش و افزایش پیدا می‌کند. از دیگر پژوهش‌گرانی که با تکیه بر مفهوم تعامل آب‌های سطحی و زیرزمینی تحقیقاتی را در زمینه‌های هیدرولوژی و مدیریت منابع آب انجام داده‌اند می‌توان به انیباس و همکاران^۷ (۲۰۱۱)، کیکوچی و همکاران^۸ (۲۰۱۲)، روزی و همکاران^۹ (۲۰۱۲)، دوجاردین^{۱۰} (۲۰۱۴) و بحرینی و صفوی^{۱۱} (۱۳۸۷) اشاره کرد.

¹ Winter et al

² Sophocleous

³ Wen & Chen

⁴ Weber & Perry

⁵ Anibas et al

⁶ Kikuchi et al

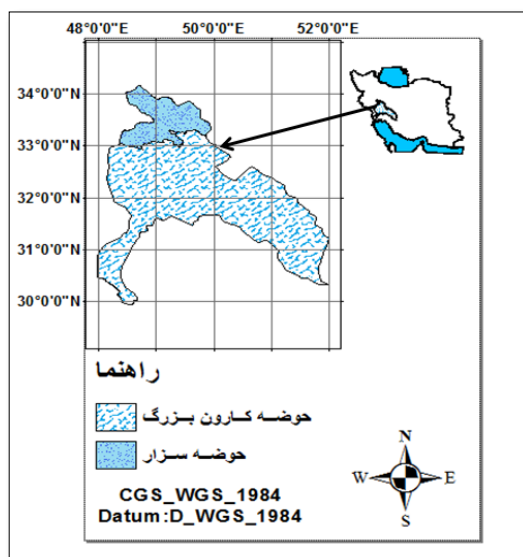
⁷ Rossi et al

⁸ Dujardin

روش پژوهش منطقه‌ی مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده شامل، داده‌های ۳ ایستگاه هیدرومتری و ۱۵ ایستگاه باران سنجی، اطلاعات طرح‌های توسعه درون و برون حوضه‌ای منابع آب سطحی و اطلاعات سال حفر و مختصات چاه‌های آب حوضه سزار در دوره‌ی آماری ۳۹-۱۳۴۸ الی ۸۷-۱۳۸۶ است. در این تحقیق ابتدا شیب‌خطی روند سری زمانی آبدی رودخانه‌ی سزار در محل ایستگاه تنگ پنج سزار که آخرین ایستگاه هیدرومتری بر روی رودخانه‌ی سزار می‌باشد با استفاده از روش TSA تخمین زده شد و سپس با استفاده از روش TFPW اثر ضریب خودهمبستگی از داده‌ها حذف گردید و در نهایت تغییرات روند آبدی با آزمون من-کندال (MK) مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس با توجه به نتایج این بررسی که نشان‌دهنده وجود روند منفی معنادار در آبدی رودخانه سزار بود، به منظور بررسی علل کاهش آبدی این رودخانه، سه عامل اصلی و اساسی تأثیرگذار در کاهش آبدی رودخانه‌ها یعنی بارش، افزایش برداشت از منابع آب سطحی در حوضه آبریز رودخانه و افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی با توجه به مفهوم تعامل آب‌های سطحی و زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت.

حوضه‌ی سزار از زیر حوضه‌های دز و حوضه‌ی دز نیز از زیر حوضه‌های کارون بزرگ می‌باشد (شکل ۱). این رودخانه از سرشاخه‌های اصلی رودخانه دز است که آب رودهای فرعی مناطق کوهستانی شهرستان‌های الیگودرز و ازنا (رودخانه ماربره) و دو رود، اشترینان و بروجرد (رودخانه تیره) را در استان لرستان دریافت می‌کند و در مسیر راه‌آهن سرا سری به‌سوی جنوب ایران سرازیر می‌شود.

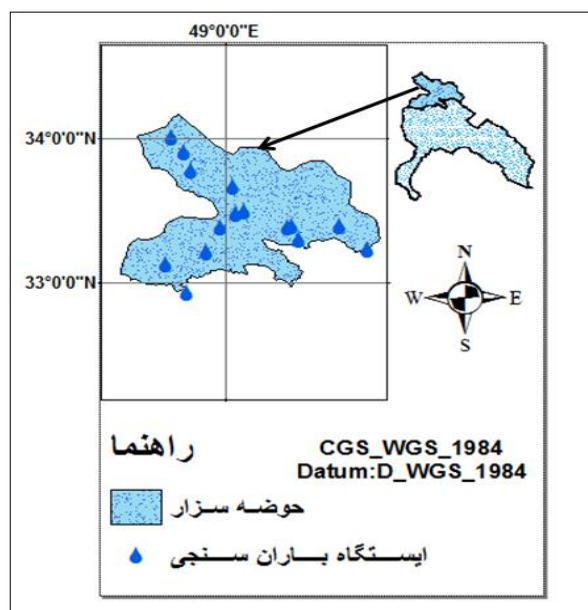


شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز سزار (منطقه مورد مطالعه)

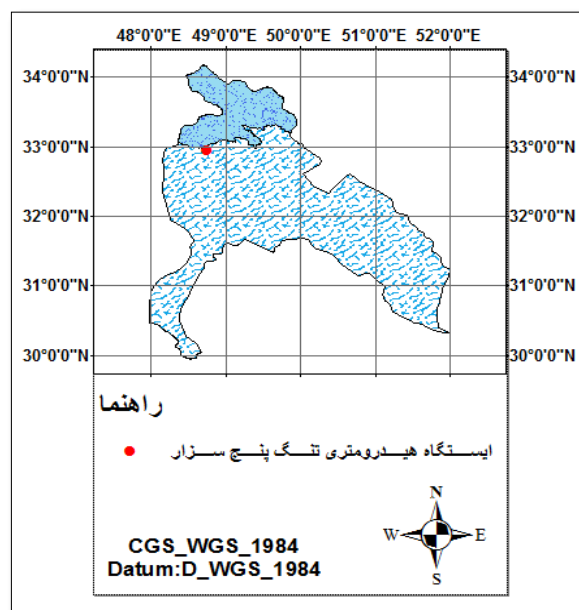
داده‌های مورد استفاده

پارامترهای هیدرولوژیکی

پارامترهای هیدرولوژیکی مورد استفاده شامل، داده‌های سری زمانی آبدهی رودخانه سزار در محل ایستگاه هیدرومتری تنگ پنج سزار که آخرین ایستگاه هیدرومتری بر روی رودخانه سزار است (شکل ۲)، و همچنین ۲ ایستگاه هیدرومتری دو رود بر روی رودخانه تیره و دره تخت بر روی رودخانه ماربره و داده‌های ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی حوضه سزار در دوره‌ی آماری ۴۹-۱۳۴۸ الی ۸۷-۱۳۸۶ می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳. موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه سزار



شکل ۲. موقعیت ایستگاه هیدرومتری تنگ پنج سزار

اطلاعات طرح‌های توسعه درون و برون حوضه‌ای منابع آب سطحی حوضه سزار

مشخصات طرح‌های بزرگ توسعه آب سطحی درون حوضه‌ای سزار که تا پایان سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ به بهره‌برداری رسیده‌اند در جدول ۱ ارائه شده است. در رابطه با طرح‌های برون حوضه‌ای سزار باید گفت که تا پایان سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ هیچ طرح انتقال آب بین حوضه‌ای از سرشاخه‌های سزار به بهره‌برداری نرسیده است.

جدول ۱. اطلاعات طرح های توسعه ای درون حوضه ای منابع آب سطحی سزار

عنوان طرح	نوع نیاز	مقادیر مصوب (MCM)	سال بهره برداری
هندو در	کشاورزی	۲,۶	۱۳۷۳
دره گرم	کشاورزی	۱,۸	۱۳۷۳
قلعه بابو	کشاورزی	۰,۴	۱۳۶۹
مزرعه قاسم	کشاورزی	۰,۵	۱۳۷۰
کزنار	کشاورزی	۱	۱۳۸۵
مجموع نیازها		MCM ۶,۳	

اطلاعات نقاط برداشت از منابع آب زیرزمینی حوضه سزار

اطلاعات مربوط به چاه های آب حفر شده در حوضه ای سزار از جمله سال حفر چاه و موقعیت آن نسبت به حوضه تا پایان سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ جمع آوری گردید.

روش انجام پژوهش

آزمون تشخیص روند

روند تغییرات سری های زمانی در این پژوهش با آزمون غیر پارامتریک من- کندال (MK) مورد بررسی قرار گرفت. شرط لازم برای استفاده از این آزمون مستقل بودن داده ها و عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی دار در سری زمانی داده ها است. بنابراین در این مطالعه ابتدا با استفاده از روش TFPW، اثر تمام ضرایب خودهمبستگی معنی دار از سری های زمانی حذف و سپس روی سری ها آزمون من- کندال (MK) انجام گرفت. این روش به اختصار TFPW-MK نامیده می شود. روش TFPW-MK جهت شناسایی روند در یک سری زمانی دارای خودهمبستگی توسط یو و همکاران (۲۰۰۲-۲۰۰۳) به صورت زیر ارائه گردید.

پیش سفید کردن با حذف فرآیند روند (TFPW)

۱- شیب روند در داده های نمونه با استفاده از روش تیل- سن^۱ (TSA) به صورت رابطه (۱) برآورد می شود.

$$b = \text{Median} \left(\frac{X_j - X_i}{j - i} \right) \quad \forall 1 < j \quad (1)$$

۲- اگر شیب تقریباً برابر صفر بود آنگاه دیگر نیازی به ادامه انجام آنالیز روند نیست، اما اگر مقدار آن برابر با صفر نبود، آنگاه روند به صورت خطی فرض شده و داده های نمونه به صورت رابطه (۲) نوشته شده و بدون روند می شوند.

$$X'_t = X_t - T_t = X_t - bt \quad (2)$$

۳- ضریب خودهمبستگی مرتبه اول سری بدون روند X'_t با استفاده از معادله (۳) برآورد می گردد.

¹Theil-Sen approach (TSA)

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} [X'_t - E(X'_t)] [X'_{t+k} - E(X'_{t+k})]}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n [X'_t - E(X'_t)]^2} E(X'_t) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X'_t \quad (3)$$

r_k ضریب خودهمبستگی مرتبه k داده‌های نمونه سری بدون روند X'_t و میانگین داده‌های نمونه می‌باشد.

۴- پس از محاسبه ضریب خودهمبستگی با مرتبه اول، خودهمبستگی مرتبه اول $AR(1)$ با استفاده از رابطه (۴) حذف می‌گردد.

$$Y'_t = X'_t - r_1 X'_{t-1} \quad (4)$$

این روش پیش سفید کردن پس از حذف روند از سری‌ها روش پیش سفید کردن بدون روند نامیده می‌شود (TFPW). سری باقیمانده‌ها پس از انجام روش TFPW یک سری مستقل می‌باشد.

۵- روند شناخته شده T_t و سری باقیمانده‌ها Y'_t به صورت رابطه (۵) باهم ترکیب می‌گردند. بدیهی است که سری حاصل Y_t روند واقعی را حفظ کرده و اثر ضریب خودهمبستگی نیز حذف شده است.

$$Y_t = Y'_t + T_t \quad (5)$$

در مرحله‌ی بعد آزمون MK بر روی سری ترکیبی Y_t جهت برآورد روند واقعی انجام می‌گردد.

آزمون من‌کندال (MK)

آزمون من-کندال (MK) یکی از پرکاربردترین آزمون‌های غیر پارامتریک برای تحلیل روند داده‌ها است و از این آزمون به طور گسترده در تشخیص روند در سری‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (هیرش و همکاران، ۱۹۸۲) فرض صفر (H_0) مستقل بودن و یکنواختی توزیع داده‌های نمونه $\{X_i, i=1, 2, \dots, n\}$ و فرض مقابل (H_1) وجود یک روند یکنواخت در داده‌ها است. جهت انجام این آزمون ابتدا باید آماره S را با رابطه (۶) محاسبه نمود. که در آن X_j مقدار داده j ام، n تعداد داده‌ها و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده و با رابطه (۷) قابل محاسبه است.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (6)$$

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (7)$$

من (۱۹۴۵) و کندال (۱۹۷۵) نشان دادند که برای $n \geq 8$ آماره S دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن از رابطه (۸) به دست می‌آید.

$$E(S) = 0 \quad \text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{m=1}^n t_m(t_m-1)(2t_m+5)}{18} \quad (8)$$

که در آن t_m تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام می‌باشد. آماره آزمون MK یا Z با رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

احتمال آماره Z آزمون MK را می توان با استفاده از توزیع تجمعی نرمال محاسبه نمود. چنانچه مقادیر آماره Z بزرگتر از ۲٫۵۸ و یا کوچکتر از -۲٫۵۸ باشد روند تغییرات در سطح ۱٪ و یا به عبارت دیگر در سطح احتمال ۹۹٪ معنادار می باشد و چنانچه مقادیر آماره Z بزرگتر از ۱٫۹۶ و یا کوچکتر از -۱٫۹۶ باشد روند تغییرات در سطح ۵٪ و یا به عبارت دیگر در سطح احتمال ۹۵٪ معنادار می باشد و اگر مقادیر آماره Z بزرگتر از ۱٫۶۵ و یا کوچکتر از -۱٫۶۵ باشد روند تغییرات در سطح ۱۰٪ و یا به عبارت دیگر در سطح احتمال ۹۰٪ معنادار است.

روش های مورد استفاده جهت بررسی علل کاهش آبدهی رودخانه سزار

محاسبه ی بارش متوسط حوضه ی سزار و بررسی روند تغییرات آن

در این پژوهش به منظور جلوگیری از تأثیر تغییرات روند بارش بر آبدهی، ارزیابی روند آبدهی رودخانه سزار در دوره ی آماری ۴۹-۱۳۴۸ الی ۸۷-۱۳۸۶ که بر اساس بررسی تغییرات روند بارش با استفاده از آزمون من-کندال، یک دوره ی بدون روند در بارش حوضه ی سزار است، انجام شد. باین حال به منظور بررسی دقیق تر تأثیر بارش بر روند

آبدهی این رودخانه و با توجه به این نکته که آبدهی یک رودخانه با بارش مناطق بالادست آن رودخانه در حوضه ی آبریز رودخانه ارتباط مستقیم دارد، روند تغییرات بارش متوسط حوضه ی رودخانه سزار بررسی گردید. به منظور محاسبه بارش متوسط حوضه سزار از داده های ۱۵ ایستگاه باران سنجی استفاده شد و از روش چندضلعی های تیسن بارش متوسط حوضه ی سزار برای دوره آماری ۴۹-۱۳۴۸ الی ۸۷-۱۳۸۶ محاسبه گردید سپس با به کارگیری روش TFPW-MK روند تغییرات بارش متوسط حوضه ی سزار در دوره آماری مذکور ارزیابی شد.

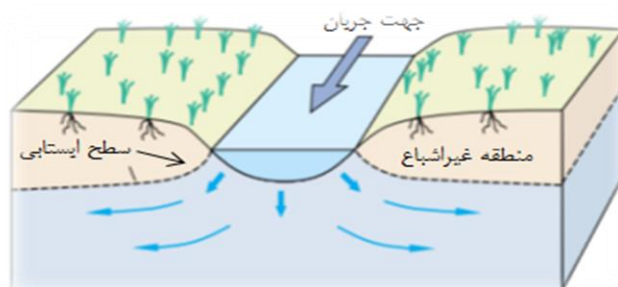
طبیعی سازی جریان آبدهی رودخانه سزار

به منظور بررسی تأثیر برداشت از منابع آب سطحی حوضه سزار بر آبدهی رودخانه سزار، توسط طرح های توسعه ی درون و برون حوضه ای آب سطحی در این حوضه، کلیه برداشت های آب توسط طرح هایی که در جدول ۱ عنوان شده است با توجه به سال بهره برداری و الگوی مصرف ماهانه آن ها به سری زمانی آبدهی رودخانه سزار در ایستگاه تنگ پنج اضافه شد.

بررسی چگونگی تعامل آب های سطحی و زیرزمینی و ارزیابی برداشت های زیرزمینی حوضه سزار

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر برداشت از منابع آب زیرزمینی حوضه سزار بر آبدهی رودخانه سزار، چگونگی تعامل آب های سطحی و زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. آب های زیرزمینی و آب های سطحی منابعی مجزا از هم نیستند، بلکه سیستم های پیوسته ای می باشند که به طور دائم باهم در تعامل هستند (سوفوکلئوس، ۲۰۰۲). آبی که در منطقه اشباع است به عنوان آب زیرزمینی و خط بالای منطقه اشباع سطح ایستابی نامیده می شود. در زیر سطح ایستابی فشار آب به اندازه کافی برای وارد شدن به چاه مناسب است، در نتیجه امکان برداشت آب زیرزمینی برای استفاده به وجود می آید. عمق سطح ایستابی بسیار متغیر است و می تواند از رنج صفر برای زمانی که سطح آب هم سطح زمین است تا صدها متر در بعضی از مکان ها تغییر کند. معمولاً، عمق سطح ایستابی در نزدیکی بستر آب های سطحی دائمی مانند رودخانه ها، دریاچه ها و تالاب ها کم است. همه ی انواع جریان های سطحی با آب های زیرزمینی در تعامل هستند. یکی از راه های تعامل این دو منبع این است که رودخانه آب را از

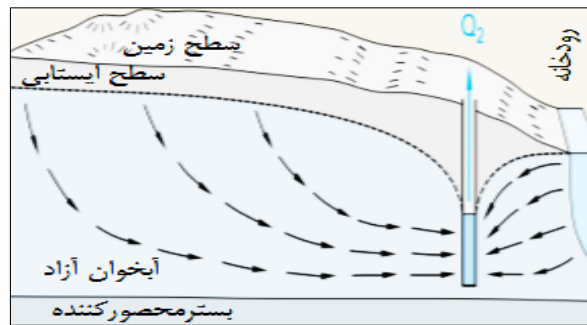
طریق جریان خروجی از بستر خود به آب‌های زیرزمینی می‌دهد^۱ برای نفوذ آب‌های سطحی به آب‌های زیرزمینی، ارتفاع سطح ایستابی در مجاورت جریان باید پایین‌تر از ارتفاع سطح جریان آب باشد (شکل ۴).



شکل ۴. موقعیت سطح ایستابی هنگام نفوذ جریان رودخانه به آبخوان

از جمله عواملی که ممکن است موجب شود سطح ایستابی در مجاورت جریان پایین‌تر از ارتفاع سطح جریان آب قرار گیرد و بر تبادل محلی بین رودخانه و آبخوان‌های کم‌عمق مجاور تأثیرگذار باشد، پمپاژ آب زیرزمینی در نزدیکی رودخانه‌ها می‌باشد. پمپاژ می‌تواند مانع تخلیه آب زیرزمینی به یک رودخانه زاینده شود و یا در نرخ پمپاژ بالاتر می‌تواند جریان را از رودخانه به آبخوان هدایت کند. تحت شرایط پیش از برداشت سیستم آب‌های زیرزمینی دارای یک تعادل پویا است. به‌عنوان مثال، تغذیه سطح ایستابی با تخلیه آب‌های زیرزمینی به رودخانه برابراست. پس از حفر یک چاه که به‌طور مداوم آب را با دبی Q_1 ، پمپاژ می‌کند، یک موقعیت جدید تعادل پویا به دست می‌آید و جریان ورودی به سیستم آب زیرزمینی ناشی از تغذیه برابر می‌شود با جریان خروجی به رودخانه بعلاوه برداشت از چاه، در این تعادل جدید، قسمتی از آب زیرزمینی که می‌توانست به رودخانه تخلیه شود توسط چاه و یک خط مقسم آب (یک خط جداکننده جهت جریان است، که به‌صورت موضعی بین چاه و رودخانه ایجاد می‌شود). جدا می‌گردد (شکل ۵). حال اگر چاه با دبی بیشتری Q_2 پمپاژ شود، بعد از مدتی سیستم به تعادل جدیدی می‌رسد و تحت این شرایط خط مقسم آب زیرزمینی بین چاه و رودخانه کاهش می‌یابد تا جایی که این خط ممکن است از بین برود (شکل ۶). بنابراین پمپاژ شرایط هیدرولوژیکی رودخانه را از فرآیند تخلیه آب‌های زیرزمینی به فرآیند تغذیه آب‌های زیرزمینی تغییر می‌دهد. به‌عبارت دیگر هنگام پمپاژ آب از چاهی واقع در نزدیکی یک بستر جریان سطحی، چاه مقدار آب موردنیاز خود را از ذخیره آبخوان برداشت می‌کند، در نتیجه افت سطح آب زیرزمینی اطراف چاه، یک گرادیان ایجاد می‌شود که مقداری از جریان آب زیرزمینی که در غیر این صورت (در وضعیت بدون پمپاژ) به‌عنوان دبی پایه به رودخانه وارد می‌شود را ضبط می‌کند. در نهایت مخروط افت چاه رودخانه را قطع می‌کند و در نتیجه یک جریان خروجی از رودخانه به داخل آبخوان منحرف می‌شود و افت سطح ایستابی آبخوان متعادل می‌گردد متناسب با نرخ پمپاژ چاه، آبدهی جریان رودخانه کاهش می‌یابد (وینتر و همکاران، ۱۹۹۸).

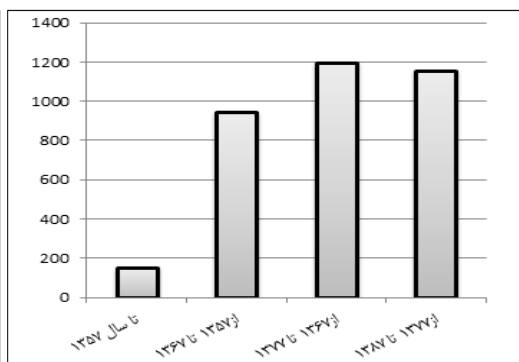
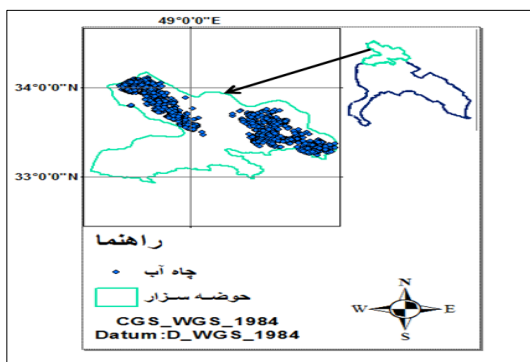
¹ losing stream



شکل ۶. عدم وجود خط مقسم آب در نرخ پمپاژ بالا

شکل ۵. وجود خط مقسم آب در نرخ پمپاژ پایین

به منظور بررسی این موضوع که آیا در حوضه سزار برداشت بیش از حد از آب های زیرزمینی موجب کاهش آبدهی رودخانهی سزار شده است، تحقیقاتی در رابطه با تعداد چاه ها بر اساس سال حفر و موقعیت قرارگیری آن ها در حوضه انجام شد. نتیجه ی این تحقیقات در شکل های ۷ و ۸ ارائه شده است.



شکل ۸. موقعیت چاه های آب حوضه سزار

شکل ۷. تعداد چاه های آب حوضه سزار برحسب سال حفر

پیش بینی جریان بلندمدت آبدهی رودخانه سزار

جهت پیش بینی جریان بلندمدت آبدهی رودخانه مراحل زیر انجام شد:

- ۱- شیب روند در داده های سری زمانی آبدهی رودخانه سزار (b') با استفاده از رابطه (۱) که در ارائه شده است، برآورد شد.
- ۲- روند موجود در سری زمانی آبدهی رودخانه سزار به صورت خطی فرض شد و داده های نمونه به صورت رابطه (۲) که در بخش قبل ارائه شده است، نوشته شده و بدون روند شدند.
- ۳- ضریب خودهمبستگی مرتبه اول سری بدون روند X_t' با استفاده از معادله (۳) که در بخش قبل ارائه شده است، برآورد گردید.
- ۴- پس از محاسبه ضریب خودهمبستگی با مرتبه اول، خودهمبستگی مرتبه اول $AR(1)$ با استفاده از رابطه (۱۰) حذف گردید.

$$Y_t'' = X_t' - r_1 X_{t-1}' \quad (10)$$

۵- روند شناخته شده T_t' و سری باقیمانده ها Y_t'' به صورت رابطه (۱۱) باهم ترکیب می گردند. بدیهی است که سری حاصل Y_t' روند واقعی را حفظ کرده و اثر ضریب خودهمبستگی نیز حذف شده است.

$$Y_t' = Y_t'' + T_t' \quad (11)$$

۶- مجدداً با استفاده از رابطه (۱) که در بخش قبل ارائه شده است، شیب روند b برای سری Y_t' محاسبه شد.

۷- با استفاده از رابطه (۱۲) سری بدون روند Y_t به صورت زیر محاسبه شد.

$$Y_t = Y_t' - T_t' = Y_t' - bt \quad (12)$$

۸- اختلاف میانگین سری زمانی آبدی دارای روند رودخانه‌ی سزار پس از حذف ضرایب خودهمبستگی (سری زمانی Y_t') و میانگین سری زمانی آبدی بدون روند شده‌ی این رودخانه پس از حذف ضرایب خودهمبستگی (سری زمانی Y_t) محاسبه شد.

۹- دو برابر مقدار به دست آمده در مرحله ۸ را از تمامی مقادیر میانگین سالانه آبدی بدون روند رودخانه سزار (سری زمانی Y_t) کم کرده و سپس با توجه به مقادیر به دست آمده برای میانگین سالانه و نسبت موجود بین مقادیر میانگین آبدی سالانه و ماهانه در سری زمانی آبدی رودخانه سزار، سری زمانی پیش‌بینی شده‌ی آبدی این رودخانه (با فرض ثابت ماندن میزان برداشت‌های زیرزمینی در آینده) به دست آمد.

۱۰- جهت پیش‌بینی جریان بلندمدت آبدی ورودی از رودخانه سزار به دریاچه سد دز لازم است، علاوه بر برداشت‌های زیرزمینی برداشت‌های سطحی نیز از مقادیر آبدی سری زمانی Y_t کسر شوند. بدین منظور مقادیر برداشت آب توسط طرح‌های عنوان شده در جدول ۱ نیز با توجه به الگوی مصرف ماهانه آن‌ها از سری زمانی Y_t کم شد. لازم به ذکر است که سری زمانی به دست آمده بر اساس نیازها و برداشت‌ها از منابع آب حوضه تا پایان سال آبی ۸۷-۱۳۸۶ می‌باشد و در صورتی که بخواهیم سیستم منابع آب حوضه را در شرایط بعد از این سال مدل کنیم لازم است مقادیر برداشت از منابع آب سطحی حوضه توسط طرح‌هایی که بعد از سال ۸۷-۱۳۸۶ به بهره‌برداری رسیده‌اند نیز مانند طرح انتقال آب بین حوضه‌ای کمال صالح و دیگر طرح‌های توسعه درون حوضه‌ای در مدل شبیه‌سازی منابع آب حوضه و ورودی به دریاچه سد دز، اعمال شود.

یافته‌ها

نتیجه تحلیل روند جریان آبدی رودخانه سزار

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲ که حاصل آنالیز روند تغییرات آبدی رودخانه سزار با استفاده از روش TFPW-MK می‌باشد، آبدی رودخانه سزار در دوره‌ی آماری ۴۹-۱۳۴۸ الی ۸۷-۱۳۸۶ در هر سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه دارای شیب روند نزولی است. به گونه‌ای که این شیب منفی در مقیاس ماهانه در مهرماه در سطح احتمال ۹۹ درصد، در شهریورماه در سطح احتمال ۹۵ درصد و در ماه‌های آبان، اسفند و مرداد در سطح احتمال ۹۰ درصد معنادار می‌باشد. در مقیاس فصلی شیب منفی روند در هیچ‌یک از فصول در سطح معناداری قرار نداشته و در مقیاس سالانه نیز شیب منفی روند در سطح احتمال ۹۰ درصد معنادار است. مبنای ارزیابی‌های این تحقیق تغییرات شیب روند آبدی در مقیاس سالانه می‌باشد، همان‌طور که گفته شد برای رودخانه سزار شیب تغییرات روند در مقیاس سالانه در سطح ۱۰ درصد معنادار است.

نتایج بررسی دلایل کاهش آبدی رودخانه سزار

نتیجه تحلیل روند بارش متوسط حوضه‌ی سزار

نتایج آنالیز روند سری زمانی بارش متوسط حوضه‌ی سزار در مقیاس سالانه به روش TFPW-MK در دوره‌ی آماری ۴۹-۱۳۴۸ الی ۸۷-۱۳۸۶ نشان داد، مقدار آماره‌ی Z آزمون من-کندال برای این سری زمانی بارش، برابر با ۰,۲۲۶۲۹- می‌باشد، بر اساس نکاتی که در رابطه با

مقادیر Z گفته شد نه تنها این روند در سطح معناداری قرار ندارد بلکه به دلیل نزدیک بودن این مقدار به عدد صفر، می توان گفت که بارش متوسط حوضه ی سزار در دوره ی آماری مذکور فاقد روند است. بنابراین می توان نتیجه گرفت وجود روند منفی معنادار در آبدهی رودخانه سزار ارتباطی با بارش حوضه نداشته و عوامل دیگری سبب بروز روند منفی معنادار در آبدهی این رودخانه شده است.

نتیجه تحلیل روند جریان آبدهی طبیعی شده رودخانه سزار

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳ که حاصل آنالیز روند آبدهی طبیعی شده ی جریان رودخانه سزار با استفاده از روش TFPW-MK می باشد، آبدهی طبیعی این رودخانه نیز در دوره ی آماری ۴۹-۱۳۴۸ الی ۸۷-۱۳۸۶ در هر سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه دارای شیب روند نزولی است. و همانند آنچه در رابطه با آبدهی طبیعی نشده این رودخانه گفته شد می باشد، تنها در مقیاس سالانه در تعدادی از ماه ها به میزان بسیار ناچیزی شیب نزولی روند کمتر شده است. با توجه بالاینکه مبنای ارزیابی های این تحقیق شیب روند آبدهی در مقیاس سالانه می باشد و همان طور که در جدول ۳ دیده می شود برای آبدهی طبیعی شده رودخانه سزار این شیب منفی در سطح ۱۰ درصد معنادار است، بنابراین وجود روند منفی معنادار در آبدهی رودخانه سزار، ارتباطی با برداشت از منابع آب سطحی حوضه آبریز رودخانه سزار در بالادست ایستگاه هیدرومتری تنگ پنج نداشته و بروز این روند منفی بایستی به عامل دیگری وابسته باشد.

جدول ۲. نتایج آنالیز روند آبدهی طبیعی نشده رودخانه سزار

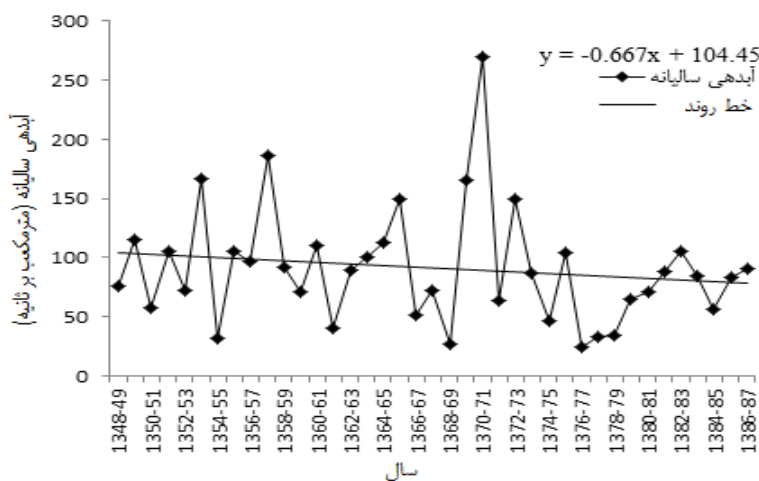
پارامترهای آزمون MK	Z	P
مهر	-۲,۷	۹۹,۳
آبان	-۱,۷	۹۰,۸
آذر	-۱,۱	۷۳,۱
دی	-۰,۹	۶۵
بهمن	-۰,۴	۲۹,۲
اسفند	-۱,۹	۹۴,۵
فروردین	-۱,۶	۸۸,۷
اردیبهشت	-۱,۴	۸۳,۴
خرداد	-۱,۴	۸۳,۴
تیر	-۱	۶۸,۵
مرداد	-۱,۷	۹۰,۲
شهریور	-۲,۵	۹۸,۷
پاییز	-۱,۳	۷۹,۱
زمستان	-۰,۸	۵۵
بهار	-۱,۴	۸۳,۴
تابستان	-۱,۵	۸۶,۳
سال	-۱,۷	۹۰,۸

جدول ۳. نتایج آنالیز روند آبدهی طبیعی شده رودخانه سزار

پارامترهای آزمون MK	Z	P
مهر	-۲,۶	۹۹
آبان	-۱,۷	۹۰,۸
آذر	-۱,۱	۷۳,۱
دی	-۰,۹	۶۵
بهمن	-۰,۴	۲۹,۲
اسفند	-۱,۹	۹۴,۵
فروردین	-۱,۶	۸۸,۷
اردیبهشت	-۱,۴	۸۳,۴
خرداد	-۱,۳	۸۰,۸
تیر	-۰,۹	۶۵
مرداد	-۱,۷	۹۰,۲
شهریور	-۲,۵	۹۸,۷
پاییز	-۱,۳	۷۹,۱
زمستان	-۰,۸	۵۵
بهار	-۱,۴	۸۳,۴
تابستان	-۱,۵	۸۶,۳
سال	-۱,۷	۹۰,۸

نتیجه‌ی ارزیابی تاثیر تعامل آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی بر آبدهی رودخانه سزار

بر اساس تحلیل نتایج آنالیز روند تغییرات آبدهی رودخانه سزار در دوره‌ی آماری ۴۹-۱۳۴۸ الی ۸۷-۱۳۸۶ می‌توان دریافت که بروز شیب منفی در آبدهی این رودخانه تقریباً از سال آبی ۶۲-۱۳۶۱ به بعد آغاز شده است، که بر اساس نتایج حاصل از آنالیز روند بارش و همچنین مطالعه برداشت از منابع آب سطحی حوضه موردنظر در دوره‌ی آماری مذکور، نمی‌توان بروز روند منفی در آبدهی رودخانه سزار را وابسته به این دو عامل یعنی بارش و افزایش برداشت از منابع آب سطحی دانست. این در حالی است که با توجه به نمودار ستونی شکل ۷، تعداد چاه‌های حفر شده در دهه‌ی ۱۳۵۷-۶۷ تقریباً به میزان ۶,۲۵ برابر تعداد چاه‌های حفر شده تا سال ۱۳۵۷ می‌باشد. با توجه به مطالب ارائه شده در رابطه با تعاملات آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌توان گفت این افزایش قابل ملاحظه تعداد چاه‌ها موجب برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و افت قابل ملاحظه سطح ایستابی و در نتیجه تخلیه جریان رودخانه در آبخوان‌های مجاور گردیده است. نتایج بررسی شیب روند آبدهی رودخانه سزار که در شکل ۹ ارائه شده است، نشان‌دهنده متناسب بودن شیب منفی روند آبدهی این رودخانه با افزایش تعداد چاه‌های آب حوضه سزار مطابق با نمودار شکل ۷ است. همچنین نتایج تحلیل روند تغییرات آبدهی ایستگاه هیدرومتری دره تخت بر روی رودخانه ماربره و ایستگاه هیدرومتری دو رود بر روی رودخانه‌ی تیره که دو سرشاخه‌ی اصلی رودخانه سزار می‌باشند، نشان‌دهنده‌ی وجود روند منفی معنادار آبدهی در این دو رودخانه در سطح ۵٪ است. این در حالی است که بررسی روند بارش متوسط زیر حوضه در بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری دره تخت و دو رود نشان داد که تغییرات روند بارش در زیر حوضه‌ی رودخانه‌ی ماربره در سطح معناداری قرار نداشته و در زیر حوضه بالادست ایستگاه دو رود نیز تا حدودی دارای شیب مثبت بوده است. بنابراین وجود شیب منفی معنادار روند در آبدهی رودخانه‌های تیره و ماربره بایستی وابسته به عامل دیگری باشد. با توجه به شکل ۸، اکثریت چاه‌های آب حوضه سزار در اطراف رودخانه‌های ماربره و تیره تمرکز دارند بنابراین می‌توان گفت که برداشت بیش‌ازحد از منابع آب زیرزمینی باعث بروز روند منفی معنادار در آبدهی رودخانه‌های ماربره و تیره و در نتیجه رودخانه سزار شده است.

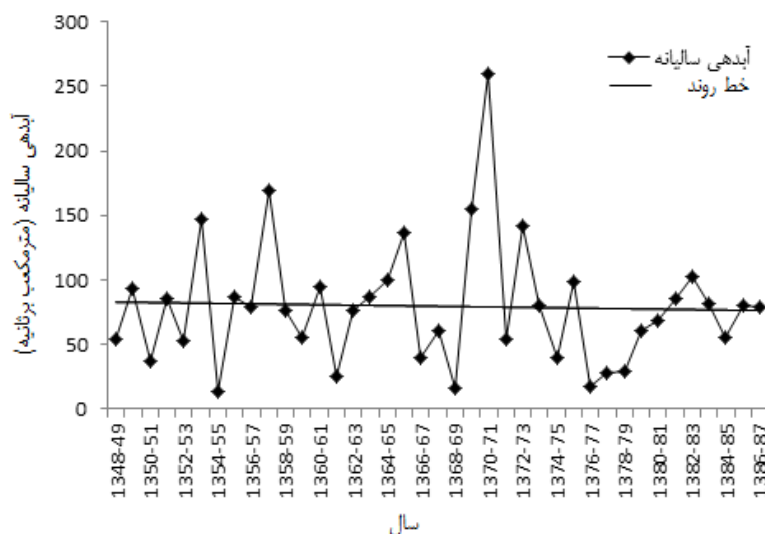


شکل ۹. سری زمانی میانگین آبدهی سالانه رودخانه سزار در ایستگاه تنگ پنج

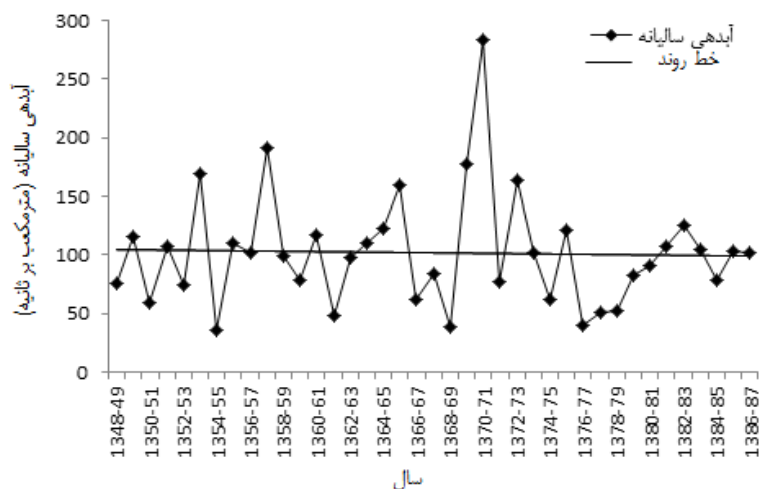
نتیجه‌ی پیش‌بینی جریان آبدهی رودخانه سزار

نمودار شکل ۹ سری زمانی آبدهی رودخانه سزار را نشان می‌دهد، میانگین آبدهی در این سری زمانی برابر با $90.95 \text{ (m}^3/\text{s)}$ است. نمودار شکل ۱۰ سری زمانی آبدهی بدون روند را نشان می‌دهد، میانگین آبدهی در این سری زمانی برابر با $102.16 \text{ (m}^3/\text{s)}$ است و نمودار شکل ۱۱ سری زمانی آبدهی بدون روند را پس از کسر برداشت‌های زیرزمینی نشان می‌دهد، میانگین آبدهی در این سری زمانی برابر با $79.74 \text{ (m}^3/\text{s)}$ است.

همچنین میانگین سری زمانی آبدهی پیش‌بینی‌شده‌ی رودخانه سزار که پس از کسر برداشت‌های زیرزمینی و سطحی به‌دست‌آمده است برابر با $79.58 (m^3/s)$ است.



شکل ۱۰. سری زمانی آبدهی بدون روند رودخانه سزار در ایستگاه تنگ پنج



شکل ۱۱. آبدهی بدون روند رودخانه سزار پس از کسر برداشت‌های زیرزمینی

بحث

در این پژوهش ابتدا روند تغییرات آبدی رودخانه سزار در دوره آماری ۴۹-۱۳۴۸ الی ۸۷-۱۳۸۶ مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز روند سری زمانی آبدی رودخانه سزار در محل ایستگاه تنگ پنج سزار در دوره آماری مذکور، این رودخانه دارای روند منفی معنادار در سطح ۱۰ درصد بوده است. در ادامه این پژوهش به منظور بررسی علل بروز روند منفی معنادار در سری زمانی آبدی رودخانه سزار سه عامل اساسی تأثیرگذار بر روی جریان آبدی رودخانه یعنی بارش، برداشت از منابع آب سطحی و برداشت از منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز رودخانه مورد بررسی قرار گرفته. نتایج نشان داد که وجود روند منفی معنادار در آبدی رودخانه سزار ارتباطی با بارش و برداشت از منابع آب سطحی حوضه ندارد، بلکه علت ایجاد این روند منفی معنادار، برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی حوضه می‌باشد. سپس جریان ورودی از این رودخانه به دریاچه سد دز پیش‌بینی گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که میانگین جریان پیش‌بینی شده رودخانه سزار در حدود $22.42 \text{ (m}^3/\text{s)}$ کمتر از میانگین سری زمانی آبدی این رودخانه در حالت عدم برداشت بیش از حد از منابع آب زیرزمینی که سبب تعامل آب‌های سطحی و زیرزمینی نمی‌شود، می‌باشد. بنابراین توجه ویژه به وضعیت منابع آب زیرزمینی و مدیریت توأم منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی بایستی مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب کشور قرار گیرد. همچنین با توجه به اینکه رودخانه سزار از سرشاخه‌های مهم رودخانه دز است، بنابراین توجه به تغییرات روند و عوامل تأثیرگذار در روند آبدی این رودخانه به منظور بهره‌برداری بهینه از مخزن سد دز به دلیل پتانسیل‌های قابل توجه این سد و حوضه آبریز دز، بسیار حائز اهمیت است.

منابع

- بحرینی، غلامرضا، و صفوی، حمیدرضا. (۱۳۸۷). شبیه‌سازی اندرکنش منابع آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS). تحقیقات منابع آب ایران، ۴(۳)، ۱۴-۲۶. http://www.iwrr.ir/article_15701.html
- جاوید، عباس، و اصغری مقدم، اصغر. (۱۳۸۵). آنالیز نتایج اندازه‌گیری دبی رودخانه سنگ سیاه و بررسی ارتباط هیدرولیکی آن با آبخوان دشت دهگلان، دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران. <https://civilica.com/doc/28338>
- عبداللهی پورحقیقی، جلیل، و پیری، جمشید. (۱۳۸۸). برهمکنش آب سطحی - آب زیرزمینی و مدلسازی آن، نخستین کنفرانس سراسری آبهای زیرزمینی، بهبهان. <https://civilica.com/doc/75379>
- لشکری پور، غلامرضا، زارع، محمد، و شهابی فرد، فاطمه. (۱۳۸۳). اثرات برداشت آب از آبخوان ایران‌شهر بر روی دبی پایه رودخانه بمپور. فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۲(۴)، ۱۳۰-۱۱۳. <https://dx.doi.org/10.22111/gdij.2004.3887>
- یعقوب زاده، مصطفی، ایزدپناه، زهرا، برومند نسب، سعید، و سید کابلی، حسام. (۱۳۹۵). مقایسه الگوریتم سیال با مدل SWAP و روش‌های محاسباتی جهت تعیین تأخیر و تفرق. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۹(۳)، ۳۹-۴۹. <https://dx.doi.org/10.22055/jise.2016.12341>
- یوسفی سنگانی، کیوان، و محمدزاده، حسین. (۱۳۸۸). تبادل آب سطحی و زیرزمینی و چگونگی اندازه‌گیری نشت آب. دومین کنفرانس سراسری آب، بهبهان، ایران. <https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1015420.html>

References

- Abdollahi-Pourhaghighi, J., & Piri, J. (2009). The interaction of surface water-groundwater and its modeling. The first national conference on groundwater, Behbahan, Iran. <https://civilica.com/doc/75379> [In Persian]
- Anibas, ch., Buis, K., Verhoeven, R., Meire, P., & Batelaan, O. (2011). A simple thermal mapping method for seasonal spatial patterns of groundwater-surface water interaction. *journal of hydrology*, 397(1-2), 93-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.11.036>

- Bahreini, G., Safavi, H. (2008). Water Resources Interaction Modeling Using Satellite Images and GIS Techniques. *Iran-Water Resources Research*, 4(3), 14-26. http://www.iwrr.ir/article_15701.html [In Persian]
- Dujardin, J., Anibas, C., Bronders, J., Jamin, P., Hamonts, K., Dejonghe, W., Brouyere, S., & Batelaan, O. (2014). Combining flux estimation techniques to improve characterization of groundwater-surface interaction in Zenne River Belgium. *Hydrogeology Journal*, 22, 1657-1668. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-014-1159-4>
- Hirsch, RM., Slack, JM., & Smith, RA. (1982). Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, 18(1), 107-121. <https://doi.org/10.1029/WR018i001p00107>
- Javid, A., & Asghari Moghaddam, A. (2006). Analysis of the results of measuring the discharge of the Sangsiah River and its hydraulic relationship with the aquifer of Dehgolan plain. 10th Conference of the Geological Society of Iran, Tarbiat Modares University of Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/28338> [In Persian]
- Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods
- Kikuchi, CP., Ferre, TPA., Welker, JM. (2012). Spatially telescoping measurements for improved characterization of groundwater-surface water interactions. *Journal of Hydrology*, 446-447, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.04.002>
- Lashkaripour, G., Zareh, M., & Shahabeifard, F. (2004). The Effect of Water Extraction from Iranshahr Aquifer on Bampour River Base Flow. *Geography and Development*, 2(4), 113-130. <http://dx.doi.org/10.22111/gdij.2004.3887> [In Persian]
- Mann, HB. (1945). Non-parametric test against trend. *Econometrica*, 13, 245-259. <http://dx.doi.org/10.2307/1907187>
- Rossi, PM., Ala-aho, P., Ronkanen, AK., & Klöve, B. (2012). Groundwater-surface water interaction between an esker aquifer and drained fen. *Journal of Hydrology*, 432-433, 52-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.026>
- Sen, PK. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379-1389. <https://doi.org/10.2307/2285891>
- Sophocleous, M. (2002). Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology journal*, 10(1), 52-67. <http://dx.doi.org/10.1007/s10040-014-1215-0>
- Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. I. *Nederlands Akad. Wetensch. Proc.* 53, 386-392. <https://ir.cwi.nl/pub/18448>
- Weber, KA., Perry, RG. (2006). Groundwater abstraction impacts on spring flow and base flow in the Hillsborough River Basin, Florida, USA. *Hydrogeology Journal*, 14(7), 1252-1264. <https://doi.org/10.1007/s10040-006-0040-5>
- Wen, F., & Chen, X. (2006). Evaluation of the impact of groundwater irrigation on streamflow in Nebraska. *Journal of Hydrology*, 327, 603-617. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.12.016>
- Winter, TC., Harvey, JW., Franke, OL., & Alley, WM. (1998). Ground Water and Surface Water a Single Resource. U.S. Geological Survey Circular 1139. <https://doi.org/10.3133/cir1139>
- Yaghobzade, M., Izapanah, Z., Broomand Nasab, S., Seyed kaboli, H. (2016). The Comparison of SEBAL Algorithm with SWAP Model and Computational Method to Determine Evapotranspiration. *Irrigation Sciences and Engineering*, 39(3), 39-49. <https://dx.doi.org/10.22055/jise.2016.12341> [In Persian]

- Yousefisangani, K., & Mohammadzadeh, H. (2009) Surface and groundwater exchange and how to measure water leakage. Second National Water Conference, Behbahan, Iran.
<https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1015420.html> [In Persian]
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Journal of Hydrology Process*, 16(9), 1807–1829.
<https://doi.org/10.1002/hyp.1095>
- Yue, S., Pilon, P., & Phinney, B. (2003). Canadian streamflow trend detection: impacts of serial and crosscorrelation. *Hydrological Sciences Journal*, 48(1), 51-64. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.1.51.43478>
- Zhang, K., Kimball, J.S., & Running, S.W. (2016). A review of remote sensing based actual evapotranspiration estimation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(6), 834-853.
<https://doi.org/10.1002/wat2.1168>