

## کاربرد رویکرد بیلان جرمی در ارزیابی تغییرات تبادل آب‌های سطحی و زیرزمینی در زیرحوضه لنجانات

سید علی اصغر هاشمی شیخ شبانی<sup>1</sup>، روح الله فتاحی نافچی<sup>2\*</sup> و حسین صمدی بروجنی<sup>3</sup>

### چکیده

در سال‌های اخیر استخراج بیش از حد آب از آبخوان‌ها در سراسر کشور، پایداری منابع آب زیرزمینی را تهدید کرده است. لذا شناخت ارتباط آب سطحی و آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه بر اساس بیلان آب سطحی و جریان ماهانه چهار ایستگاه آبسنجی متوالی سد تنظیمی، پل زمانخان، پل کله و لنج واقع بر رودخانه زاینده‌رود، بازای هر ماه معادله‌ای برای خروجی هر بازه رودخانه استخراج شد. پارامترهای این معادله، بیانگر ارتباط خالص آب سطحی با جو و آب زیرزمینی می‌باشد. سری تاریخی داده‌ها به دو دوره زمانی بیست ساله (1353 الی 1372 و 1373 الی 1392) تقسیم و تبادل آب در دو دوره مقایسه شد. نتایج مطالعه سه بازه سد تنظیمی-پل زمانخان، پل زمانخان-پل کله و پل کله-لنج نشان داد که در بازه اول طی دو دوره زمانی، آب زیرزمینی بطور خالص تغذیه کننده آب سطحی بوده است. آب سطحی بازه انتهایی، در دوره زمانی اول تغذیه کننده آب زیرزمینی بوده در حالیکه در دوره زمانی دوم (1373-1392) در اکثر ماه‌ها بوسیله آب زیرزمینی تغذیه شده است. در خشکسالی شدید بجز بازه اول، دو بازه دیگر دچار کمبود آب شدند. یافته‌ها نشان داد که افزایش آب سطحی بوسیله آب زیرزمینی، اهمیت بالایی در تأمین آب در شرایط خشکسالی دارد. بر اساس نتایج، روش ارائه شده ابزار مناسبی در بررسی تبادل آب سطحی با آب زیرزمینی می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تبادل آب سطحی و آب زیرزمینی؛ جریان ورودی و خروجی؛ بیلان جرمی؛ بازه رودخانه

ارجاع: این قسمت توسط دفتر مجله تکمیل خواهد شد

1- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

3- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

\* نویسنده مسئول: [fatahi2@gmail.com](mailto:fatahi2@gmail.com)

تاریخ دریافت: (همان تاریخ نامه دریافت مقاله) / تاریخ پذیرش: (همان تاریخ نامه دریافت مقاله)

## مقدمه

رویکرد مدل‌سازی دیگر روش بررسی منابع آب سطحی و زیرزمینی است، که در این زمینه بحرینی و صفوی (1387) با شبیه‌سازی آبخوان دشت نجف‌آباد و رودخانه زاینده‌رود در گذر از آن، به بررسی اندرکنش منابع آب سطحی و زیرزمینی در این منطقه پرداختند. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده نمودند. نتایج این مطالعه بیانگر اهمیت رودخانه زاینده‌رود در تغذیه سفره آب زیرزمینی می‌باشد. مطالعات دیگری نیز با همین رویکرد در حوضه زاینده‌رود انجام گردید که از جمله می‌توان به مطالعات سامانی مجد (1379)، صفوی (1383) و کارآموز و همکاران (1385) اشاره نمود. جیسک و میران‌زاده (2000) نیز آبخوان دشت لنجانان را با استفاده از مدل MODFLOW شبیه‌سازی و تبادل آبخوان با رودخانه را بررسی نمودند. روش آماری رویکردی دیگر در بررسی ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد. کلاه‌دوزان و همکاران (1393) با آزمون ناپارامتری من - کندال روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در آبخوان دشت نجف‌آباد را پس از خشک شدن زاینده‌رود بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که تمامی پیرومترهای واقع در شبکه‌های آبیاری و زهکشی دارای روند منفی بوده‌اند.

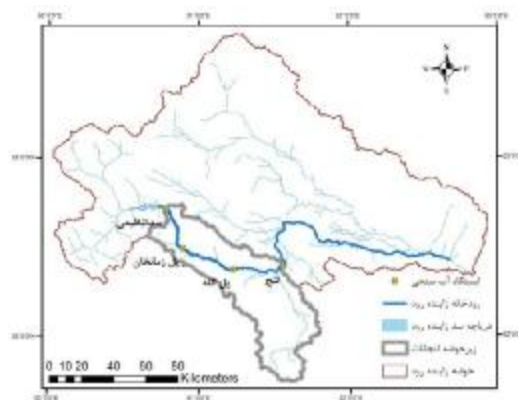
در این مطالعه جهت بررسی تبادل آب بین رودخانه و آبخوان، روشی بکار گرفته شده است که در آن با استفاده از بیلان هیدرولوژیکی در یک بازه رودخانه، معادله‌ای بین ورودی‌ها و خروجی‌ها بدست می‌آید که نتیجه آن دستیابی به ارتباط خالص آب سطحی و آب زیرزمینی است. این روش زیرمجموعه رویکردهای بیلان جرمی و اصلاح شده روشی است که توسط لیو و شنگ (2011) ارائه شده است. در روش ارائه شده برداشت‌های مربوط به شرب و صنعت، آب بازگشتی و انتقال آب بین بازه‌ها در نظر گرفته نشده است و اجرای این روش در سیستم پیچیده‌ی رودخانه‌ی زاینده‌رود نتایج دقیقی به دست نخواهد داد. لذا در این مطالعه با انجام اصلاحاتی، تبادل آب سطحی و آب زیرزمینی در

در چرخه‌ی هیدرولوژیکی، آب سطحی و آب زیرزمینی اجزای بهم پیوسته و در ابعاد مختلف با یکدیگر در ارتباط می‌باشند (سافکلوس، 2002). امروزه به دلیل استفاده تلفیقی این منابع، مطالعه اندرکنش بین این دو منبع مورد توجه قرار گرفته است. در دهه‌های اخیر نیز با افزایش توسعه و تخریب اکوسیستم‌ها، بر ارتباط آب زیرزمینی با آب سطحی تأکید بیشتری شده است (وینتر، 1999؛ سافکلوس، 2002). اهمیت بررسی این ارتباط، در مناطق خشک و نیمه خشک که متکی به منابع آب زیرزمینی هستند، بیشتر است. در سال‌های اخیر استخراج بیش از حد آب از آبخوان‌های سراسر کشور بویژه حوضه‌ی زاینده‌رود، پایداری منابع آب زیرزمینی را تهدید کرده است. لذا شناخت ارتباط آب سطحی و آب زیرزمینی در حوضه‌ی زاینده‌رود از اهمیت بالایی برخوردار است. بیلان جرمی یکی از رویکردهای بررسی ارتباط رودخانه و آبخوان می‌باشد (منسیو و همکاران، 2014). بر اساس بیلان جرمی هر تغییری در مقدار و خصوصیات آب سطحی به یک منبع آب مربوط می‌گردد (کالبوس و همکاران، 2006). مثلاً تراوش آب زیرزمینی در بستر رودخانه را می‌توان از اختلاف جریان در ایستگاه‌های متوالی در طول رودخانه محاسبه کرد (هاروی و واگنر، 2000؛ فرانسوورس، 2011؛ و منسیو و همکاران، 2014). روش دیگر برآورد سهم آب زیرزمینی در جریان سطحی، تجزیه هیدروگراف جریان است. در این روش فرض می‌شود جریان پایه، ورودی آب زیرزمینی به رودخانه است (هانولا و همکاران، 2003). ارفع‌نیا و سامانی (1386) با استفاده از این رویکرد، هیدروگراف جریان رودخانه زاینده‌رود را در یک دوره 15 ساله تفکیک نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد جریان پایه 82/4 درصد از جریان رودخانه زاینده‌رود را تشکیل می‌دهد. در بین روش‌های بیلان جرمی ردیاب‌های شیمیایی و زیست محیطی نیز بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند (پریتی و همکاران، 2006؛ سولسبای و همکاران، 2007).

سه بازه از رودخانه زاینده‌رود در پایین دست سد، بررسی شد.

### مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه این تحقیق شامل سه بازه از رودخانه‌ی زاینده‌رود، حدفاصل ایستگاه‌های سدتنظیمی، پل زمانخان، پل کله و لنج، واقع در پایین دست سد زاینده‌رود، در حوضه‌ی لنجان می‌باشد. پایین دست سد زاینده‌رود یک ناحیه نیمه خشک با تنش آبی بالا است که در آن کمبود مزمن آب، توسعه‌ی اقتصادی را محدود می‌کند (سالمی و همکاران، 2000؛ وردی نژاد و همکاران، 1388؛ نیکویی و زیبایی، 1391). آمار جریان چهار ایستگاه جهت بررسی تبادل آب سطحی با آب زیرزمینی زیرین آن بکار گرفته شد. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1- شماتیک منطقه‌ی مورد مطالعه.

مساحت حوضه‌ی لنجان در حدود 4000 کیلومتر مربع است. میانگین بارش حوضه حدوداً 250 میلیمتر در سال است که حداکثر آن در ایستگاه پل زمانخان با میانگین 350 میلیمتر در سال و کمترین مقدار در خروجی حوضه (ایستگاه لنج) با میانگین 140 میلیمتر در سال ثبت شده است. میانگین حداکثر و حداقل دما در منطقه مورد مطالعه به ترتیب 19/6 و 4/8 درجه سانتیگراد می‌باشد. متوسط درازمدت جریان سالانه رودخانه زاینده‌رود در محل سد تنظیمی زاینده‌رود معادل 1440 میلیون متر مکعب در سال است.

در این مطالعه بر اساس بیلان آب سطحی در هر یک از بازه‌های مورد مطالعه، معادله‌ای بدست می‌آید که مجموع خروجی‌های هر بازه به صورت تابعی از ورودی رودخانه در آن بازه خواهد بود. پارامترهای این معادله بیانگر نحوه و میزان تبادلات آب در آن بازه خواهد بود. در منطقه‌ی مورد مطالعه، علاوه بر مسیر رودخانه، تبادل آب بین بازه‌ها از طریق کانال‌های برداشت و انتقال آب بین حوضه‌ای نیز صورت می‌گیرد، که باید در معادله‌ی بیلان وارد شوند. برداشت آب شرب اصفهان، آب انتقالی به یزد، آب انتقالی به شبکه جرقویه و آب انحرافی به شبکه‌های نکوآباد و برخوار از جمله برداشت‌ها و انتقال آب در این منطقه می‌باشند. بدین منظور در کنار داده‌های دبی جریان ایستگاه‌های سدتنظیمی، پل زمانخان، پل کله و لنج، از سری تاریخی داده‌های برداشت و انتقال آب نیز استفاده گردید.

آمار برداشت آب شرب اصفهان و آب انحرافی به شبکه نکوآباد از سال 1367 و داده‌های انتقال آب به یزد و شبکه مهیار-جرقویه به ترتیب از سال 1379 و 1376 موجود می‌باشند. منبع تهیه این داده‌ها شرکت آب منطقه‌ای اصفهان می‌باشد. میزان پمپاژهای کوچک، برداشت‌های شرب و صنعت و آب بازگشتی نیز از مولفه‌های بیلان آب سطحی در هر بازه حاصل شد. در این مطالعه از مقادیر متوسط سالانه‌ی این متغیرها، گزارش شده در مطالعه قبلی سالمی و حیدری (1385) استفاده گردید. در مطالعه حاضر معادلات خروجی سه بازه مورد مطالعه طی دو دوره زمانی (1372-1353 و 1392-1373)، استخراج و روند تبادلات در بازه‌ها بررسی شد. در بازه سوم به دلیل شروع آمار دبی ایستگاه لنج از سال 1360، استخراج معادلات در دوره‌ی زمانی اول بر اساس آمار سال‌های آبی 1372-1360 انجام پذیرفت. در ادامه نحوه کاربرد این داده‌ها و تولید توابع خروجی بازه‌ها ارائه خواهد شد. طبق لیو و شنگ (2011) و بر اساس معادله‌ی بیلان، می‌توان آب خروجی هر بازه را به صورت زیر نوشت:

$$Q_{so} = Q_{si} - \Delta S_s + (Q_p - Q_e) + (Q_{gg} - Q_{gl}) + (Q_{ig} - Q_{il} - Q_{ET}) \quad (1)$$

بیانگر تبادل آب سطحی با آب زیرزمینی در آن بازه می‌باشد. تغییرات  $Q_p$ ،  $Q_e$  و  $Q_{ET}$  به تغییر آب و هوا و مدیریت آبیاری در محدوده هر بازه بستگی دارد. همچنین ورودی بازه ( $Q_{si}$ ) الزاماً تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و مدیریت آب در بالادست قرار دارد. لذا می‌توان فرض کرد که  $\Delta Q_a$  تابعی از  $Q_{si}$  است. بسط مک لورن این تابع را می‌توان بدین صورت نوشت:

$$f(Q_{si}) = f(0) + \sum_{n=1}^{\infty} \alpha_n Q_{si}^n \quad (4)$$

که در آن  $\alpha_n$ ها مقادیری ثابت هستند. زمانی که بدلیل مشابهت آب و هوایی در دو بازه مجاور مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک مانند حوضه زاینده‌رود،  $Q_{si}$  برابر صفر باشد، انتظار می‌رود مقدار  $f(0)$  نیز صفر باشد. حال می‌توان از توابع چندجمله‌ای برای تخمین  $\Delta Q_a$  استفاده نمود. بنابراین می‌توان از معادله 3 یک معادله‌ی عمومی بصورت رابطه 5 برای خروجی شبیه‌سازی شده استخراج نمود.

$$Q_{so}^T = \sum_{j=2}^n \alpha_j Q_{si}^j + (1 + \alpha_1) Q_{si} + C_g \quad (5)$$

از معادله فوق ملاحظه می‌گردد که جریان خروجی خالص شبیه‌سازی شده هر بازه به صورت یک تابع چند جمله‌ای از جریان ورودی تعریف می‌شود. لذا می‌توان با رسم نمودار داده‌های ورودی هر بازه در برابر خروجی خالص و برازش یک تابع چند جمله‌ای بر آنها، به مقادیر پارامترهای معادله‌ی 5 دست یافت. لازم به ذکر است که خروجی خالص از جمع جریان خروجی ثبت شده با جریان انتقالی خالص و برداشت شرب و صنعت منهای آب بازگشتی (سمت چپ معادله 2) بدست می‌آید. همانگونه که از جدول 1 مشاهده می‌شود، در این مطالعه فرم خطی برای بیان خروجی خالص شبیه‌سازی شده کافی می‌باشد. بر این اساس، در فرم خطی معادله هرگاه  $\alpha_1$  و  $C_g$  برابر با صفر باشند، آب سطحی هیچ ارتباطی با آب زیرزمینی و اتمسفر ندارد. اگر  $C_g$  بزرگتر از صفر باشد آب زیرزمینی تغذیه‌کننده آب سطحی است، در غیر این صورت سیستم آب سطحی تلفاتی به آب زیرزمینی داشته است. زمانی که  $\alpha_1$  بزرگتر از صفر

که در آن خروجی آب سطحی از هر بازه به بازه پایین دست آن،  $Q_{si}$  ورودی آب سطحی از بازه بالادست،  $\Delta S_s$  تغییر ذخیره آب سطحی بازه،  $Q_p$  افزایش آب سطحی بوسیله اتمسفر (بارندگی و ذوب برف)،  $Q_e$  تبخیر از آب سطحی بازه،  $Q_{gg}$  افزایش آب سطحی بازه با منشأ آب زیرزمینی،  $Q_{gl}$  تلفات آب سطحی بازه با نشت به آب زیرزمینی،  $Q_{ig}$  افزایش آب سطحی در اثر زهکشی کشاورزی،  $Q_{il}$  نفوذ عمقی آب آبیاری و  $Q_{ET}$  تلفات تبخیر و تعرق از آب آبیاری می‌باشند. ابعاد همه متغیرهای ذکر شده مکعب طول بر زمان می‌باشد. در معادله بالا به برداشت‌های شرب و صنعت از آب سطحی و آب بازگشتی آنها به رودخانه و همچنین جابجایی آب بین بازه‌ها، خارج از مسیر رودخانه اصلی اشاره نشده است. در این مطالعه با دخیل کردن برداشت‌های شرب و صنعت و انتقال بین بازه‌ای، تغییراتی در معادله 1 ایجاد و به صورت معادله 2 اصلاح شد.

$$Q'_{so} = Q_{so} + Q_{to} + Q_{di} - Q_r - Q_{ti} \\ = Q_{si} - \Delta S_s + (Q_p - Q_e - Q_{ET}) \\ + (Q_{gg} - Q_{gl} - Q_{il}) \quad (2)$$

که در آن  $Q_{to}$  و  $Q_{ti}$  به ترتیب آب انتقالی ورودی و خروجی بازه،  $Q_{di}$  برداشت‌های شرب و صنعت و  $Q_r$  کل آب بازگشتی می‌باشند. با ارائه فرضیات ساده کننده‌ی لیو و شنگ (2011) می‌توان خروجی خالص شبیه‌سازی شده ( $Q_{so}^T$ ) را به صورت رابطه 3 ارائه نمود. این فرضیات عبارتند از: (1) خروجی شبیه‌سازی شده، جریان ماهانه ماندگاری است که به ازای مقدار مشخصی ورودی ماندگار، در یک ماه از سیستم آب سطحی بازه خارج می‌شود؛ (2) از تغییرات عمق آب سطحی در مقطع زمانی مذکور صرف‌نظر می‌شود؛ (3) سطح آب زیرزمینی نیز ثابت فرض می‌گردد. در معادله 3،  $Q_{so}^T$  شبیه‌سازی شده عبارت سمت چپ معادله 2 می‌باشد (لیو و شنگ، 2011).

$$Q_{so}^T = Q_{si} - \Delta Q_a + C_g \quad (3)$$

در رابطه فوق  $\Delta Q_a = Q_p - Q_e - Q_{ET}$  و نشان دهنده‌ی ارتباط آب سطحی با آب موجود در اتمسفر در یک بازه از رودخانه می‌باشد.  $C_g = Q_{gg} - Q_{gl} - Q_{il}$

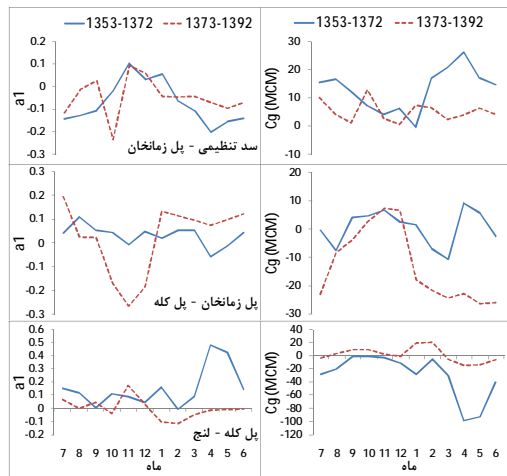
باشد سیستم آب سطحی بطور خالص بوسیله آب موجود در اتمسفر افزایش یافته است و هر گاه مقدار آن کمتر از صفر باشد نشان از تلفات خالص آب سطحی به اتمسفر دارد.

## نتایج و بحث

- معادلات خروجی شبیه‌سازی شده

طبق روش ارائه شده در بخش قبل معادلات خروجی شبیه‌سازی شد و ارتباط بین آب سطحی و آب زیرزمینی در سه بازه‌ی مورد مطالعه بررسی و الگوی ارتباط بین آنها در دو دوره‌ی زمانی ارزیابی گردید. برای استخراج معادلات خروجی شبیه‌سازی شده در پایین دست سد زاینده‌رود از داده‌های جریان ماهانه رودخانه در ایستگاه‌های آب‌سنجی سد تنظیمی، پل زمانخان، پل کله و لنج و همچنین داده‌های انتقال آب، برداشت شرب و صنعت و آب بازگشتی استفاده شد. داده‌های موجود، امکان بررسی تبادل آب را طی دو دوره‌ی زمانی قبل و بعد از سال آبی 1372 را فراهم می‌نماید. معادلات بوسیله نرم افزار Excel از داده‌های ماهانه ورودی و خروجی بازه‌های رودخانه برای سه بازه بدست آمدند. نمونه‌ای از روابط استخراج شده برای بازه‌ی پل زمانخان - پل کله در شکل 2 نشان داده شده است. مقادیر پارامترهای معادلات شبیه‌سازی شده نیز در جدول 1 ارائه شده است.

زمانخان و پل کله به ترتیب برابر 3 و 1/7 متر مکعب بر ثانیه و پمپاژهای کوچک و برداشت شرب و صنعت در بازه پل کله - لنج نیز به ترتیب برابر 6/3 و 2/5 متر مکعب بر ثانیه بیان شده است. در مطالعه حاضر همچون مطالعه سالمی و همکاران (1385)، میزان آب برگشتی از پمپاژهای کوچک معادل 20 درصد و مصارف شرب و صنعت در بازه سوم معادل 50 درصد در نظر گرفته شد. در این مطالعه، با استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های هر بازه در هر دوره زمانی، به ازای هر ماه یک معادله استخراج شد. همانگونه که در جدول 1 ملاحظه می‌گردد، بازه‌های مورد مطالعه در دو دوره دارای خروجی شبیه‌سازی شده با فرم خطی می‌باشند. همچنین مشاهده می‌گردد که شبیه‌سازی جریان در اکثر موارد دارای دقت مناسبی بود که مقادیر خطای مطلق آن را تأیید می‌کند. نحوه تغییرات تبادل آب سطحی با اتمسفر و آب زیرزمینی طی دو دوره‌ی مورد مطالعه نیز در شکل 2 ارائه شده است. ملاحظه می‌گردد که در بازه‌ی سد تنظیمی تا پل زمانخان طی دوره 1353 تا 1372، تبادل خالص آب سطحی با جو (ضریب  $\alpha_1$ ) در سه ماه بهمن، اسفند و فروردین مثبت بوده و در مابقی ماه‌ها آب سطحی دارای تلفات خالص به جو می‌باشد. این الگو در دوره زمانی دوم (1373 تا 1392) نیز تقریباً به همین صورت تکرار شده است (شکل 2).



شکل 2 - روند تغییرات ضریب  $\alpha_1$  و  $C_g$

روند محاسبات بدین گونه است که ابتدا مولفه‌های بیلان شامل جریان خروجی هر بازه، آب انتقالی از/به بازه، برداشت‌های شرب و صنعت در هر ماه با یکدیگر جمع و منهای جریان بازگشتی شده تا مقدار سمت چپ معادله 2 در هر ماه محاسبه گردد. آمار ماهانه برداشت شبکه نکوآباد، شرب اصفهان، شبکه آبیاری مهیار-جرقویه و انتقال به یزد به ترتیب از سال 1363، 1367، 1376 و 1378 موجود می‌باشد. بدلیل نبود آمار ماهانه برداشت شرب و صنعت در این مطالعه از متوسط سالانه این متغیرها، گزارش شده توسط سالمی و همکاران (1385) استفاده گردید. بر این اساس دبی متوسط سالانه شرب و پمپاژهای کوچک در بازه‌های منتهی به ایستگاه‌های پل

خالص آب سطحی را افزایش دهد. از شکل 2 مشاهده می‌شود که تبادل خالص آب سطحی با آب زیرزمینی در بازه پل زمانخان - پل کله در ماههای آذر تا فروردین و همچنین تیر و مرداد مثبت می‌باشد. تغذیه خالص آب سطحی بوسیله آب زیرزمینی در زمستان را می‌توان ناشی از کاهش برداشت آب زیرزمینی و بالا آمدن سطحی ایستایی بدلیل بارش و کاهش برداشت دانست و وقوع آن در تابستان را می‌توان به نفوذ عمقی از اراضی تحت آبیاری نسبت داد. ملاحظه می‌گردد که تغذیه خالص آب سطحی بوسیله آب زیرزمینی در دو بازه ابتدایی، در دوره‌ی 1373-1392 نسبت به دوره‌ی 1353-1372 کاهش داشته است. در صورتی که در بازه پل کله - لنج تغذیه خالص آب سطحی از طریق آب زیرزمینی افزایش یافته است.

در بازه‌ی پل زمانخان-پل کله علاوه بر خروج آب از ایستگاه پل کله، در بالادست این ایستگاه انتقال آب شرب اصفهان و یزد انجام می‌گردد. طرح انتقال آب شرب اصفهان از سال 1367 و آب انتقالی به یزد از سال 1378 راه اندازی شده‌اند. میانگین سالانه‌ی آب انتقالی شهر اصفهان  $5/8$  مترمکعب بر ثانیه و آب انتقالی به یزد نیز  $1/8$  مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. در مطالعه‌ی سالمی و حیدری (1385) برداشت شرب و پمپاژهای کوچک در این بازه از رودخانه معادل  $1/7$  مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است.

حد فاصل ایستگاه پل کله تا ایستگاه لنج شروع برداشت‌های مهم آب از زاینده‌رود می‌باشد. تنها ورودی این بازه، جریان رودخانه اصلی از ایستگاه پل کله می‌باشد. خروجی‌های این بازه علاوه بر جریان رودخانه زاینده‌رود در ایستگاه لنج، شامل آب انتقالی به شبکه مهیار-جرقویه و انحراف آب به شبکه نکوآباد می‌باشند. برداشت متوسط سالانه آب صنایع و پمپاژهای کوچک در این بازه به ترتیب معادل  $2/5$  و  $6/3$  مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است (سالمی و همکاران، 1385).

- اندرکنش‌ها در یک سال آبی نرمال

در این مطالعه برای ارزیابی تبادل آب در سال آبی نرمال، از میانگین بلندمدت (1353-1392) جریان

عمده‌ی بارندگی منطقه نیز در زمستان و اوایل بهار روی می‌دهد و لذا آب سطحی در تبادل مثبت با جو می‌باشد. بر اساس نتایج، تبادل خالص آب سطحی با آب زیرزمینی در بازه اول، طی دو دوره، همواره مثبت بوده، به این معنی که آب زیرزمینی در این مقطع از رودخانه تغذیه کننده آب سطحی می‌باشد. تنها ورودی آب سطحی در بازه سد تنظیمی-پل زمانخان آب رها شده از سد تنظیمی بوده و خروجی آن نیز در محل ایستگاه پل زمانخان واقع است. در این بازه هیچ انتقال آبی به خارج از حوضه صورت نمی‌گیرد و برداشت از رودخانه تنها شامل پمپاژهای کوچک و برداشت آب شرب ساکنین محلی می‌باشد. دبی متوسط سالانه برداشت آب و بارندگی در این بازه به ترتیب برابر 3 و  $1/2$  مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است (سالمی و حیدری، 1385).

تغذیه‌ی خالص آب سطحی بازه سد تنظیمی-پل زمانخان توسط آب زیرزمینی، می‌تواند تحت تاثیر ارتباطات هیدرولیکی دریاچه‌ی سد با آب زیرزمینی و نفوذ عمقی از اراضی کشاورزی در این منطقه صورت گیرد. آب زیرزمینی در این منطقه از طریق 80 چاه عمیق و نیمه عمیق، 278 قنات و 589 چشمه تخلیه می‌گردد. ملاحظه می‌شود که برداشت آب زیرزمینی، بیشتر از طریق چشمه‌ها و قنات صورت می‌گیرد و نزدیک به 85 درصد آن در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (بی نام، 1387).

از شکل 2 مشاهده می‌گردد که الگوی تغییرات ماهانه پارامترهای  $\alpha_1$  و  $C_g$  بر خلاف یکدیگر می‌باشند، بدین صورت که معمولاً با افزایش  $\alpha_1$ ، مقدار  $C_g$  کاهش یافته است و بالعکس. بر این اساس معمولاً در ماههایی که آب سطحی بوسیله آب جوی بطور خالص افزایش می‌یابد، تغذیه کننده‌ی آب زیرزمینی می‌گردد و طی ماههایی که آب سطحی دارای تلفات به جو می‌باشد، معمولاً آب زیرزمینی به تغذیه کننده آب سطحی تبدیل می‌گردد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که معمولاً در فصل کشت که آب سطحی از طریق اراضی بصورت تبخیر - تعرق، دارای تلفات است، تقاضا برای آب و در پی آن تخلیه آبهای زیرزمینی باعث می‌گردد که آب زیرزمینی بطور

مکعب نزدیکترین عدد به میزان متوسط می‌باشد. لذا با انتخاب این سال بعنوان یک سال آبی نرمال، به کمک معادلات خروجی، مقادیر خروجی سه بازه‌ی مورد مطالعه در پایین دست سد محاسبه و نتایج در جدول 2 آورده شد.

رودخانه‌ی زاینده‌رود در ایستگاه سد تنظیمی استفاده شد. متوسط جریان رودخانه در این دوره زمانی، برابر 1444 میلیون متر مکعب در سال بوده است. با توجه به سری تاریخی آورد رودخانه در این محل، مقدار جریان در سال آبی 74-1373 معادل 1446 میلیون متر

جدول 1- مقادیر پارامترهای جریان ماهانه خروجی شبیه‌سازی شده.

بازه دوره	پارامتر	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	فروردین	اسفند	مهر	مهر	آبان	آذر	دی	مهر	مهر	مهر
سد تنظیمی - پل زمانخان	1372-1353	$\alpha_1$	-0.14	-0.13	-0.11	-0.02	0.10	0.03	0.06	0.07	-0.11	-0.13	-0.14	0.10	0.03	0.06
	Cg (MCM/y)	15.60	16.78	12.08	7.10	4.24	6.45	7.10	12.08	16.78	15.60	14.73	17.19	14.73	17.19	14.73
	$r^2$	0.94	0.97	0.96	0.97	0.93	0.91	0.99	0.91	0.97	0.94	0.95	0.96	0.93	0.91	0.99
	AE*	0.05	0.04	0.06	0.08	0.14	0.14	0.05	0.14	0.08	0.05	0.04	0.06	0.14	0.14	0.05
پل زمانخان - پل کله	1392-1373	$\alpha_1$	-0.12	-0.01	0.03	-0.23	0.09	0.06	-0.04	-0.05	-0.04	-0.07	-0.10	0.09	0.06	-0.04
	Cg (MCM/y)	9.95	4.01	1.07	12.85	2.60	7.15	0.45	7.15	6.41	2.26	3.86	6.16	2.60	7.15	4.05
	$r^2$	0.98	0.98	0.98	0.83	0.83	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.83	0.97	0.98
	AE	0.05	0.05	0.07	0.13	0.07	0.04	0.06	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04	0.13	0.07	0.04
پل زمانخان - پل کله	1372-1353	$\alpha_1$	0.04	0.11	0.05	0.04	-0.01	0.05	0.02	0.05	0.05	-0.06	-0.01	-0.01	0.05	0.04
	Cg (MCM/y)	-0.59	-7.72	4.02	4.52	6.49	2.49	1.39	2.49	-7.04	-10.84	9.14	5.52	6.49	2.49	-2.68
	$r^2$	0.94	0.95	0.94	0.93	0.97	0.99	1.00	0.99	0.98	0.98	0.94	0.96	0.93	0.97	0.98
	AE	0.05	0.06	0.08	0.13	0.07	0.05	0.07	0.07	0.03	0.03	0.05	0.05	0.13	0.07	0.05
پل کله - لنج	1392-1373	$\alpha_1$	0.19	0.03	0.02	-0.17	-0.26	-0.18	0.13	0.11	0.10	0.07	0.10	-0.26	-0.18	0.13
	Cg (MCM/y)	-23.17	-8.59	-3.94	7.15	2.63	6.50	-18.01	-18.01	-21.85	-24.57	-22.97	-26.52	7.15	6.50	-26.05
	$r^2$	0.96	0.95	0.94	0.57	0.45	0.77	0.96	0.96	0.98	0.96	0.97	0.96	0.57	0.77	0.96
	AE	0.12	0.14	0.14	0.24	0.19	0.17	0.07	0.17	0.06	0.06	0.07	0.07	0.24	0.17	0.07
پل کله - لنج	1372-1360	$\alpha_1$	0.15	0.12	0.00	0.11	0.09	0.04	0.16	-0.01	0.09	0.48	0.43	0.09	0.04	0.14
	Cg (MCM/y)	-28.37	-19.41	-1.27	-3.03	-0.92	-11.15	-28.16	-5.22	-29.92	-98.76	-92.73	-40.32	-3.03	-11.15	-40.32
	$r^2$	0.95	0.96	0.95	0.80	0.68	0.91	0.96	0.97	0.97	0.95	0.91	0.91	0.80	0.68	0.91
	AE	0.08	0.08	0.09	0.17	0.19	0.26	0.12	0.09	0.09	0.05	0.07	0.09	0.17	0.19	0.26
پل کله - لنج	1392-1373	$\alpha_1$	0.07	0.00	0.05	-0.04	0.17	-0.10	-0.12	-0.05	-0.01	-0.01	-0.01	0.17	-0.10	-0.01
	Cg (MCM/y)	-2.94	3.21	9.01	2.79	9.11	19.12	-1.11	20.35	-4.73	-14.36	-13.57	-5.90	2.79	9.11	-5.90
	$r^2$	0.97	0.98	0.98	0.93	0.91	0.95	0.91	0.81	0.94	0.92	0.93	0.94	0.93	0.91	0.95
	AE	0.15	0.09	0.10	0.33	0.15	0.13	0.16	0.20	0.12	0.21	0.48	16.09	0.33	0.15	0.13

$$AE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - E_i}{O_i} \right| \text{ خطای مطلق} *$$

همانگونه که از جدول 2 ملاحظه می‌گردد تقریباً تمامی آب سطحی از محل سد تنظیمی به حوضه‌های پایین دست سد وارد می‌گردد و تنها مقدار 5 میلیون متر مکعب در بازه پل زمانخان-پل کله بطور خالص به آب سطحی اضافه شده است. در تبادل خالص آب سطحی با آب زیرزمینی و اتمسفر، 8 میلیون متر مکعب از آب سطحی بازه‌ی سد تنظیمی-پل زمانخان و 44 میلیون متر مکعب در بازه سوم کاهش یافته است. بر اساس جدول 2 در سال آبی نرمال از ایستگاه لنج معادل 662

میلیون متر مکعب در سال آب سطحی خارج شده و به پایین دست سرازیر می‌شود. بازه‌های مورد مطالعه بطور خالص در حدود 95 میلیون متر مکعب (مجموع مقادیر مثبت در ستون سوم جدول 2) در سال از اتمسفر آب دریافت می‌کنند و همچنین 109 میلیون متر مکعب (مجموع مقادیر منفی در ستون سوم جدول 2) در سال از طریق تبخیر و تبخیر - تعرق از دست می‌دهند. افزایش خالص آب سطحی از طریق اتمسفر تنها در بازه منتهی به پل کله اتفاق افتاده است در حالیکه تلفات خالص آب به اتمسفر بین بازه‌های

دیگر تقسیم شده است بطوریکه بازه‌های سد تنظیمی - پل زمانخان و پل کله-لنج به ترتیب 102 و 7 میلیون متر مکعب تخلیه آب را به اتمسفر (تبخیر و تبخیروتعرق) به خود اختصاص می‌دهند. رودخانهی زاینده‌رود بطور خالص 94 میلیون متر مکعب در سال

جدول 2- اندرکنش‌های محاسبه شده در یک سال آبی نرمال، میلیون متر مکعب.

نام بازه	ورودی (Q <sub>si</sub> )	تبادل خالص آب سطحی با اتمسفر	تبادل خالص آب سطحی با آب زیرزمینی	تبادل خالص آب سطحی	خروجی
بالادست سد تنظیمی					1446
سد تنظیمی تا پل زمانخان	1446	-102	94	-8	1450
پل زمانخان تا پل کله	1450	95	-100	5	1285
پل کله تا لنج	1285	-7	-37	-44	662
پایین دست لنج	662				

+ افزایش آب سطحی از طریق اتمسفر یا آب زیرزمینی یا هر دو  
- تلفات آب سطحی به اتمسفر یا آب زیرزمینی یا هر دو

اندرکنش‌ها در یک خشکسالی شدید - اندرکنش‌ها در یک خشکسالی شدید در اساس آمار جریان سالانه رودخانهی زاینده‌رود در ایستگاه سد تنظیمی، کمترین آورد رودخانه در سال آبی 1380-1379 روی داده است. این سال آبی بعنوان یک سال با خشکسالی شدید انتخاب و از داده‌های جریان آن برای بررسی تبادل آب استفاده شد. ورودی و خروجی هر بازه در جدول 3 ارائه شده است. خروجی شبیه‌سازی شده در هر بازه با استفاده از روابط بدست آمده محاسبه گردید. مقادیر جریان در سال آبی نرمال نیز برای مقایسه با حالت خشکسالی در جدول 3 آمده است. در مقایسه با سال آبی نرمال، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در تبادل آب سطحی با آب زیرزمینی و اتمسفر در

شرایط خشکسالی شدید مشاهده می‌شود. در بازه اول تغذیه آب سطحی بوسیله آب زیرزمینی مشاهده می‌گردد. این افزایش آب سطحی 17 درصد خروجی این بازه در شرایط خشکسالی می‌باشد. از جدول 3 ملاحظه می‌گردد طی خشکسالی، تنها بازه‌ی اول با کمبود مواجه نشده است. برداشت‌ها و تبادل آب بگونه‌ای بوده است که خروجی مشاهده شده سه بازه مورد مطالعه به نصف ورودی تقلیل یافته است. بازه‌ی اول در شرایط خشکسالی بطور خالص تغذیه کننده آب سطحی می‌باشد در حالیکه در شرایط نرمال این بازه بطور خالص برداشت کننده آب بوده است.

جدول 3- تبادل آب در دوره‌های نرمال و خشکسالی، میلیون متر مکعب.

نام بازه	پارامتر	ورودی محاسبه یا مشاهده شده	خروجی محاسبه یا مشاهده شده	تغذیه (+) یا برداشت (-) <sup>a</sup>	خروجی شبیه‌سازی	افزایش از منشاء آب زیرزمینی
سد تنظیمی - نرمال		1446 <sup>d</sup>	1450 <sup>e</sup>	-8	1450	94 (6%)
پل زمانخان خشکسالی		563 <sup>d</sup>	564 <sup>d</sup>	57	632	94 (17%)
اختلاف		-883	-886	65	-818	
پل زمانخان - پل کله	نرمال	1450 <sup>e</sup>	1285 <sup>e</sup>	5	1285	
خشکسالی		564 <sup>d</sup>	198 <sup>d</sup>	-59	348	
اختلاف		-867	-1087	-64	-937	
پل کله - لنج	نرمال	1285 <sup>e</sup>	662 <sup>e</sup>	-44	662	
خشکسالی		198 <sup>d</sup>	282 <sup>d</sup>	-38	310	
اختلاف		-1097	-380	6	-352	



<sup>a</sup> برداشت (+) یا مصرف (-) خالص برابر خروجی منهای ورودی.  
<sup>b</sup> خروجی شبیه‌سازی شده با معادلات خطی.  
<sup>c</sup> نسبت تغذیه (از منشاء آب زیرزمینی) به خروجی واقعی

<sup>d</sup> مشاهده شده  
<sup>e</sup> محاسبه شده

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه، روشی برای بررسی تبادل آب سطحی و آب زیرزمینی پیشنهاد شد. این روش با داده‌های تجمعی جریان در ورودی و خروجی هر بازه از رودخانه و برداشت شرب و صنعت و آب بازگشتی تبادل آب را ارزیابی می‌کند. بر این اساس یک معادله عمومی بدست می‌آید که خروجی یک تابع چندجمله‌ای از جریان ورودی است. مقدار ثابت معادله، نشان دهنده ارتباط آب سطحی با آب زیرزمینی و مابقی جمله‌های تابع نشان دهنده‌ی ارتباط آب سطحی با اتمسفر است. در این مطالعه تمامی بازه‌ها دارای خروجی با فرم خطی بودند. به منظور بررسی زمانی تغییرات ارتباط آب سطحی و آب زیرزمینی، سری تاریخی داده‌ها به دو قسمت تقسیم شده و تبادل آب در دو دوره 1353-1372 و 1392-1373 بررسی و مقایسه گردید. در این مطالعه، با استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های هر بازه در هر دوره زمانی، به ازای هر ماه یک معادله استخراج شد. بر اساس معادلات بدست آمده از دوره آماری اول، آب سطحی در دو بازه منتهی به ایستگاه‌های پل کله و لنج در بیشتر ماه‌های سال، دارای ورودی خالص از اتمسفر بوده‌اند. در بازه‌ی ابتدایی در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین آب سطحی بطور خالص از اتمسفر آب دریافت کرده است. معادلات استخراج شده از سری دوم داده‌ها (سالهای آبی بین 1373 الی 1393) نشان داد که عموماً پارامتر مرتبط با تبادل آب سطحی و اتمسفر کاهش یافته است. به این معنی که افزایش آب سطحی از طریق جو و آب زیرزمینی کاهش یافته و یا تلفات آب سطحی به آن‌ها بیشتر شده است. نتایج نشان داد آب سطحی در بازه‌ی منتهی به ایستگاه پل زمانخان در تمامی ماه‌ها بطور خالص بوسیله آب زیرزمینی افزایش یافته است در حالی که در بازه‌های دیگر تلفات آب سطحی به آب زیرزمینی در دو دوره آماری مشاهده گردید. در دو بازه ابتدایی با گذر زمان از دوره اول به دوره دوم، پارامتر مربوط به تبادل آب سطحی با آب زیرزمینی در بیشتر ماه‌ها کاهش یافته است. این تغییر نشان می‌دهد که در گذر

زمان آب زیرزمینی کمتر آب سطحی را تغذیه می‌کند و یا تلفات آب سطحی به آب زیرزمینی بیشتر شده است. روش مورد استفاده در شرایط آبی نرمال و خشکسالی شدید نیز مورد بررسی قرار گرفت. خروجی هر بازه با استفاده از معادلات بدست آمده از سری بلندمدت داده‌ها (1353-1392) در شرایط آبی دو سال مذکور محاسبه شدند. طبق نتایج در شرایط نرمال تقریباً تمامی آب سطحی از حوضه بالادست تأمین می‌گردد و تنها مقدار ناچیزی در بازه پل زمانخان-پل کله بطور خالص به آب سطحی اضافه می‌گردد. طی خشکسالی، تنها بازه‌ی اول با کمبود مواجه نشده است. برداشت‌ها و تبادل آب بگونه‌ای بوده است که خروجی مشاهده شده سه بازه مورد مطالعه به نصف ورودی تقلیل یافته است. بدلیل نبود اطلاعات دقیق از برداشت‌ها و آب بازگشتی به رودخانه، مولفه‌های بیلان آب سطحی در این مطالعه به شکل کلی وارد معادله شدند و بعضاً از داده‌های متوسط سالانه برای بیان آنها استفاده گردید. با این حال نتایج بدست آمده در این مطالعه و مقایسه آنها با داده‌ها و اطلاعات موجود در مطالعات پیشین، نشان داد که روش ارائه شده ابزار مناسبی در بررسی تبادل آب سطحی با آب زیرزمینی است. لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی این روش با داده‌های دقیق‌تری از برداشت و آب بازگشتی مورد بررسی قرار گیرد. مقایسه نتایج این روش در ابعاد زمانی مختلف با سناریوهای مدیریتی و هیدرولوژیکی گوناگون می‌تواند مبنای مطالعات دیگر در این راستا باشد.

### منابع

- 1- ارفع نیا ر. سامانی ن. 1386. تفکیک مولفه‌های اصلی جریان در شاخه اصلی رودخانه زاینده رود و کاربردهای آن. مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان. 80-61:(3)29
- 2- بحرینی غ. صفوی ح. 1387. شبیه‌سازی اندرکنش منابع آب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS). نشریه تحقیقات منابع آب ایران. 26-14:(3)4

- رود مطالعه موردی: شبکه آبیاری سمت راست آبشار. مجله آبیاری و زهکشی ایران. 3(2):88-99.
- 12- Farnsworth HA. 2011. Eastern Truckee Meadows Groundwater Interactions with the Truckee River: University of Nevada, Reno.
- 13- Gieske A. Miranzadeh M. 2000. Groundwater Resources Modeling of the Lenjenat Aquifer System. IAERI-IWMI Research Reports 15. Hannula S.R. Esposito K.J. Chermak J.A. Runnells D.D. Keith D.C. Hall L.E. 2003. Estimating ground water discharge by hydrograph separation. *Groundwater*. 41(3):368-75.
- 14- Harvey JW. Wagner BJ. 2000. Quantifying hydrologic interactions between streams and their subsurface hyporheic zones. In *Streams and Groundwaters*, Jones J.B. and Mulholland P.J. (Eds.), Academic Press, pp: 3-44.
- 15- Kalbus E. Reinstorf F. Schirmer M. 2006. Measuring methods for groundwater surface water interactions: a review. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 10(6):873-87.
- 16- Liu Y. Sheng Z. 2011. Trend-outflow method for understanding interactions of surface water with groundwater and atmospheric water for eight reaches of the Upper Rio Grande. *Journal of hydrology*. 409(3):710-23.
- 17- Menció A. Galán M. Boix D. Mas-Pla J. 2014. Analysis of stream-aquifer relationships: A comparison between mass balance and Darcy's law approaches. *Journal of hydrology*. 517:157-72.
- 18- Pretty J. Hildrew A. Trimmer M. 2006. Nutrient dynamics in relation to surface-subsurface hydrological exchange in a groundwater fed chalk stream. *Journal of Hydrology*. 330(1):84-100.
- 19- Salemi H. Mamanpoush A. Miranzadeh M. Akbari M. Torabi M. Toomanian N. Murray-Rust H. Droogers P. Sally H. Gieske A. 2000. Water Management for Sustainable Irrigated Agriculture in the Zayandeh Rud Basin, Esfahan Province, Iran: Iranian Agricultural Engineering Research Institute (IAERI).
- 20- Sophocleous M. 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal*. 10(1):52-67.
- 21- Soulsby C. Tetzlaff D. Van den Bedem N. Malcolm I. Bacon P. Youngson A. 2007. Inferring groundwater influences on surface water in montane catchments from hydrochemical surveys of springs and streamwaters. *Journal of Hydrology*. 333(2):199-213.
- 3- سامانی مجد ام. 1379. شبیه سازی بهره برداری هماهنگ از آبهای سطحی و زیرزمینی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- 4- صفوی حر. 1383. مدل شبیه سازی تلفیقی کمی - کیفی آبهای سطحی و زیرزمینی. پایان نامه دکترا، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.
- 5- کارآموز م. هاشمی علیا ر. مریدی ع. احمدی آ. 1385. شبیه سازی کمی و کیفی آبهای سطحی و زیرزمینی مطالعه موردی دشت لنجان اصفهان. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران.
- 6- بی نام. 1387. مطالعه منابع و مصارف آب در حوضه زاینده رود. مطالعات مرحله اول. وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه ای اصفهان.
- 7- سالمی ح. حیدری ن. 1385. گزارش فنی: ارزیابی منابع و مصارف آب در حوضه آبریز زاینده رود. نشریه تحقیقات منابع آب ایران. 2(1):72-76.
- 8- سالمی ح. ترابی م. اشرفی ش. 1385. کاربرد مدل WBSM در حوضه آبریز زاینده رود (اصفهان). دو ماهنامه علمی و پژوهشی آب و فاضلاب. 17(2):19-31.
- 9- کلاهدوزان ع. دین پژوهی. میرعباسی نجف آبادی ر. اسدی ا. دربندی ص. 1393. تاثیر خشک شدن زاینده رود بر تغییرات تراز آب زیرزمینی دشت نجف آباد در دو دهه اخیر. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران). 46(1):81-93.
- 10- نیکویی ع. زیبایی م. 1391. مدیریت منابع آب و امنیت غذایی حوضه زاینده رود: کاربرد روش تحلیل یکپارچه حوضه آبریز رودخانه. اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی) 26(3):183-196.
- 11- وردی نژاد و. سهرابی ملایوسف ت. حیدری ن. عراقی نژاد ش. مامن پوش ع. 1388. بررسی عرضه و تقاضا و برآورد بهره وری آب کشاورزی در حوضه آبریز زاینده

Hydrogeology Journal.7(1):28-45.

22- Winter TC. 1999. Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems.

مجله پژوهش آب ایران

---

## Applying mass balance approach in assessing changes of surface water and groundwater interaction in the Lenjanat Sub-basin

S.A. Hashemi Sheikhshabani<sup>1</sup>, R. Fatahi Nafchi<sup>\*2</sup> and H. Samadi Boroujeni<sup>3</sup>

### Abstract

In recent years, excessive discharge of water from aquifers throughout the country, especially in Zayandehrood Basin, has threatened the sustainability of groundwater resources. Therefore, recognition of the interactions between surface water and groundwater is very important in this basin, since the Zayandehrood River and the aquifers in this region, play an important role in supplying the demands of the high population in the area. The study area consists of three river reaches located at the downstream of the Zayandehrood dam in the Lenjanat basin. The stream flow data measured in four gauge stations, Sadtanzimi, Polzamankhan, Polkale and Lenj were used to study the exchange of surface water with its below groundwater. In this study, based on surface water balance and considering the monthly inflows and outflows in each reach, a general equation of outflow was obtained per month, in which, the net exchange of surface water with the atmosphere and groundwater is a polynomial of inflow and a constant, respectively. This methodology is a Subcategory of the mass balance approaches and a modified version of what presented by Liu and Sheng (2011). The study of Liu and Sheng (2011), did not mention to the surface water exploitation, return water, and the water transfer between reaches outside the main river, While in the complex surface water system of Zayandehrood, there are numerous and significant of such flows. In this study, by involving surface water exploitations and water transfers, modifications were made to this method.

With available data, interactions were assessed during two 20-year periods before and after the year of 1372. In each period an equation was extracted for each month. The results showed that studied reaches in all months had a linear simulated outflow in two periods. Between Sadtanzimi and Polzamankhan during the first period, net exchange between surface water and the atmosphere was positive in three months of Bahman, Esfand and Farvardin. For the rest of the months surface water had a net loss to atmosphere. This pattern has also been repeated in the same way during the second period (1373-1392). Based on the results, the net exchange of surface water with groundwater in the first reach during the two periods was always positive. This means that groundwater at this reach feeds the surface water. The net exchange of surface water with groundwater in Polzamankhan to Polkale in the months of Azar to Farvardin, as well as Tir and Mordad is positive. A net gain of surface water from groundwater in the winter can be attributed to the reduction of groundwater extraction and the rise of the water table. And its occurrence in the summer can be attributed to deep percolation of irrigated lands. It was observed that the net gain of surface water from groundwater in two first periods, decreased in the second period compared to the first period. However, in the last reach net gain of surface water from groundwater has increased.

In this study, water exchange in normal and severe drought conditions was also investigated. Based on the historical time series of the Zayandehrood flow in Sadtanzimi, the water years 1373-1374 and 1379-1380 were selected as normal year and severe drought condition, respectively. By deriving equations, outflows of the three reaches were obtained under normal and drought condition. Based on the results, in normal condition net exchange of surface water was negative in three reaches, and only a small amount of 5 million cubic meters per year has been added to surface water in the second period. The results in normal year showed that surface water was fed by groundwater in the first reach and in the other two reaches fed groundwater. Compared to the normal water year, significant changes were observed in the exchange of surface water with groundwater and atmosphere in severe drought conditions. In the first reach, surface water gain by

---

1 - Ph.D. student, Irrigation and Drainage Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2 - Associated Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

3 - Associated Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

\*- Corresponding author: [fatahi2@gmail.com](mailto:fatahi2@gmail.com)

Received: 2009/08/08

Accepted: 2010/11/11

groundwater was observed, which this increase is 17% of outflow of this reach during drought conditions. During the drought, only the first period has not faced with a shortage. The flows and water exchange in this situation have been such that the observed outflow of the three studied reaches is reduced by half the inflows. Surface water of the first reach has a net gain in drought conditions. While under normal conditions, this interval was purely water withdrawal. Due to the lack of accurate data on withdrawals and return flow, these components of the surface water balance were considered as a annual average. However, the obtained results and their comparison with the data and information in the previous studies showed that the proposed method is a suitable tool for assessing the exchange of surface water with groundwater. Therefore, in future studies, it is suggested trying this method with more accurate data on exploitation and return flow.

**Keywords:** Surface water and Groundwater Interaction, Streamflow, Mass balance, River reach

**Citation:** Hashemi Sheikhshabani S.A. Fatahi Nafchi R. and Samadi-Boroujeni H. 2011. Applying mass balance approach in assessing changes of surface water and groundwater interaction in the Lenjanat Sub-basin. Iranian Water Research Journal