

سیمای کلی هیدرولوژی حوضه آبخیز زاینده‌رود

حمیدرضا سالمی*

هاموند موراوی راست**

(دریافت ۸۲/۷/۲۰ پذیرش ۸۳/۳/۲۵)

چکیده

در این مقاله به بررسی کلی خصوصیات هیدرولوژیکی و استفاده از آب در حوضه زاینده‌رود براساس آمار موجود در دوره یازده ساله (۱۹۹۸-۱۹۸۷) پرداخته شده است. در این راستا جریان ورودی به دریاچه سد، جریان خروجی از دریاچه و آبگیری‌ها در طول مسیر رودخانه، به منظور آبیاری اراضی کشاورزی و دیگر مصارف مورد بررسی قرار گرفته و یک بیلان آبی اجمالی در سطح حوضه ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که جریان‌های ورودی به دریاچه، نیاز آبیاری، شرب و بخش صنعت را در پایین دست تأمین نموده و از یک الگوی منظم با تغییرات بسیار کم تبعیت می‌نماید؛ اما ذخیره سالیانه سد محدود بوده به طوری که در طول دوره‌های خشک‌سالی طولانی، حوضه را آسیب‌پذیر نموده است. هم‌چنین روند آب خروجی از سد زاینده‌رود، یک الگوی قابل پیش‌بینی را به جز در مواقع سیلابی نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد، اعتماد و در صد اطمینان بالایی در تأمین نیازهای آبی، در دوره تقاضای حداکثر وجود دارد؛ ولی آب خروجی در ماه‌های فصل زمستان و در پایان فصل آبیاری، دارای میزان پائین و با تغییرات بالا می‌باشد که در نتیجه بده رودخانه کم و کیفیت آب به ویژه در پایاب رودخانه پایین می‌آید. یک بیلان آبی ساده، نسبت جریان آب برگشتی در حوضه (میانگین سالیانه) را ۳۰ درصد تخمین زده است. میزان حجم آب برگشتی به ویژه در قسمت‌های پایین دست حوضه، بسیار مهم است. البته یک ارزیابی دقیق‌تر با در نظر گرفتن پارامترهای آب زیرزمینی و کیفیت آب، قبل از نتیجه‌گیری قطعی، ضروری به نظر می‌رسد. با فرض محدودیت تأمین آب با کیفیت بالا در حوضه آبریز زاینده‌رود، اگر امکان صرفه‌جویی واقعی آب در حوضه، وجود داشته باشد، می‌توان به توسعه منابع آب و اصلاح مدیریت این منابع دست یافت. از این رو در سطوح مزرعه، شبکه و حوضه درک قابل قبولی در مورد کاربرد آب و استفاده مجدد آب ضروری است

An Overview of the Hydrology of the Zayandeh Rud Basin, Iran

Salemi, H.R.

Esfahan Agricultural & Natural Resources Research

Murray.-Rust, H.

International Water Management Institute, Colimbo, Sri Lanka

Abstract

This paper provides an overview of the hydrology and water use in the Zayandeh Rud basin based on the data available over the 11- years period 1988-1998. The inflows into Chadegan reservoir, the releases from the reservoir, and the extractions along the river for irrigation and other purposes are considered, and a rapid water balance of the basin is performed. Inflows to the Chadegan reservoir, which serves to collect and regulate the runoff from the upper catchment of the basin to better meet the downstream water requirements for irrigation, urban and industrial uses, follow a regular pattern with moderate variability. But the limited year-to-year storage in the reservoir makes the basin vulnerable to prolonged periods of drought. Water releases from the Chadegan reservoir also show a predictable pattern, with the only deviations occurring during flood events. There is a high

* عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

** عضو مؤسسه بین‌المللی مدیریت منابع آب، کلمبو، سریلانکا

reliability of meeting the water requirements during periods of peak demand. But releases during the winter months, at the end of the irrigation season, are lower and more variable. This results in low discharges in the Zayandeh Rud and reduced water quality, especially in the lower reaches of the river. A simple water-balance approach was used to estimate the proportion of return flows in the basin. An average annual value of 30% was obtained, with the magnitude of return flows being particularly important in the lower reaches of the basin. But more investigation, especially including groundwater and water quality aspects, needs to be carried out before a definitive value can be advanced. Given the limited supply of fresh water in the Zayandeh Rud basin, further water resources development and water management improvements can only be envisaged in there is scope for real water savings in the basin. This can be assessed if a basin-wide approach, leading to a good understanding of water use (and reuse) at the farm, system and basin levels, is adopted.

مقدمه

رودخانه زاینده‌رود مهم‌ترین و حیاتی‌ترین رودخانه منطقه مرکزی ایران (استان اصفهان) به منظور توسعه کشاورزی، تأمین آب بخش صنعت و کلیه فعالیت‌های اقتصادی می‌باشد. رشد جمعیت و فعالیت صنایع بزرگ موجب افزایش تقاضا و رقابت در حوضه زاینده‌رود شده است؛ در این رابطه بخش کشاورزی بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته است. به طوری که کمبود آب نه فقط مشکلاتی برای آبیاری اراضی وسیع قابل آبیاری ایجاد نموده، بلکه منتج به شور شدن خاک‌ها در اراضی پایین‌دست حوضه و باعث کاهش کیفیت آب برگشتی به رودخانه شده است. علاوه بر این سرازیر شدن فاضلاب‌های شهری و صنعتی، موجب آلودگی رودخانه در قسمت‌های پایین‌دست شهر اصفهان شده است.

موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان و موسسه بین‌المللی مدیریت منابع آب، در سال ۱۹۹۸ با طرح سوال "چگونگی کمک رهیافت جامع در مورد آبیاری و مدیریت آب، به بهره‌وری کشاورزی پایدار در حوضه زاینده‌رود با عنایت به مصارف گوناگون آب" همکاری مشترک خود را آغاز نمودند.

مصرف آب به ویژه توسعه بیشتر منابع آب را نمی‌توان فقط به وسیله تجزیه و تحلیل آب قابل استفاده در سطوح مزرعه و حوضه تعیین کرد. تناسب بین آب موجود برآورد شده و آب مصرفی در سطوح مزرعه، شبکه و حوضه به خصوص با در نظر گرفتن محدودیت تهیه آب با کیفیت بالا، برای مصارف چندگانه ضروری است. هم‌چنین محاسبه موجودی و نحوه کاربرد آب در سطح مزرعه، شبکه و حوضه با توجه به محدودیت آب شیرین و کاربردهای متعدد این منابع آب، ضروری به نظر می‌رسد [۳]. جریان‌های آب برگشتی از طریق نشت و فرو نشت عمقی و رواناب سطحی که معمولاً به عنوان

"تلفات" در سطح مزرعه و سیستم، تلقی می‌گردد بایستی در نظر گرفته شوند. مولدن^۱ (۱۹۹۷) یک چارچوب مشخص کاری محاسبه آب را پیشنهاد نمود که در اثر دخالت‌های بشر در سیکل هیدرولوژی و انعکاس آن، اجزاء بیلان آب به گروه‌های مصارف گوناگون آب تقسیم شدند [۴].

در این جا لازم است اشاره‌ای داشته باشیم به صاحب‌نظرانی (سیکلر ۱۹۹۶، کلر و همکاران ۱۹۹۶ و پری ۹۹-۱۹۹۶)^۲ که در ارتباط با مفهوم سنتی راندمان آبیاری، موضوعاتی را مطرح کردند [۷ و ۹]. راندمانی که نوعاً حجم آب کاربردی به شکل مفید را (تبخیر و تعرق گیاه) به میزان آب انحرافی، ارتباط می‌دهد. آنها معتقدند اولاً افزایش راندمان آبیاری در یک محل مشخص الزاماً منتج به صرفه‌جویی آب در سطح حوضه نمی‌شود، ثانیاً افزایش راندمان تعریف شده الزاماً نتیجه بهتری نخواهد داد [۶]. مثلاً تبخیر بیشتر با همان مقدار انحراف آب شاید منتج به تخریب محیط زیست و یا تبخیر آب در اثر مصرف غیر بهینه گردد. به منظور دستیابی به این مطلب که از آب چگونه استفاده شود و نیز دورنمای استفاده مناسب از این منابع، ترجیح داده می‌شود آب تخصیصی برای مصارف گوناگون با کل آب موجود در حوضه مقایسه گردد [۵].

این مقاله دورنمای کلی از هیدرولوژی حوضه زاینده‌رود را از نظر جریان‌های ورودی به دریاچه سد، خروجی از سد و تنظیم جریان‌های مصرفی در طول رودخانه به منظور آبیاری و سایر مصارف ارائه می‌دهد و چنانچه خواهان مدیریت صحیح آب باشیم، با توجه به نیاز مبرم تعیین میزان آب برگشتی و بهبود مدیریت منابع آب در حوضه آبریز زاینده‌رود، یک بیلان آبی اجمالی، مشکلات و موانع مربوط به مدیریت و اصلاح بهره‌وری آب را در این حوضه بسته روشن می‌سازد.

¹ Molden

² Seckler 1996; Keller et al., 1996; Perry 1996; 1999

حوضه آبریز زاینده‌رود

خصوصیات فیزیکی

حوضه آبریز زاینده‌رود، واقع در منطقه مرکزی ایران، حوضه کاملاً بسته‌ای است که هیچ راه خروجی به دریا ندارد. رودخانه زاینده‌رود به طول ۳۵۰ کیلومتر، در امتداد تقریبی غرب-شرق در جریان می‌باشد و از کوه‌های زاگرس در غرب استان اصفهان سرچشمه گرفته و به باتلاق گاوخونی در شرق می‌رسد. این رودخانه آب آبیاری، شرب و صنعت استان را که یکی از مهم‌ترین مناطق اقتصادی ایران است، تأمین می‌کند. مساحت کل حوضه زاینده‌رود حدود ۴۱۵۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد. البته فقط اراضی بالادست دریاچه زاینده‌رود، در تأمین جریان‌های آبی موثر می‌باشند و محدوده پایین‌دست سد، جریان ورودی به رودخانه نداشته و اگر هم جریانی بوده بسیار نادر و کم است. لذا در مورد آن نمی‌توان هیچ‌گونه برنامه‌ریزی انجام داد. جریان طبیعی رودخانه زاینده‌رود با انحراف آب از تونل‌های انحرافی یک و دو کوه‌رنگ که از رودخانه کوه‌رنگ در استان چهارمحال و بختیاری سرچشمه می‌گیرد، افزایش می‌یابد. بهره‌برداری از تونل اول از سال ۱۹۴۳ و تونل دوم از سال ۱۹۸۶ آغاز گردید، که مجموع ۵۴۰ میلیون مترمکعب آب در سال به دره زاینده‌رود منتقل می‌نمایند و تونل سوم کوه‌رنگ با ظرفیت انتقال سالیانه ۲۵۰ میلیون مترمکعب آب، در سال‌های آینده به بهره‌برداری خواهد رسید. ذخیره سد زاینده‌رود در چادگان به وسیله رواناب‌های بهاره و زمستانه تأمین شده و به صورت جریان‌های تنظیم شده در رودخانه رها می‌شود. در طول مسیر رودخانه تعداد زیادی سرریز و بندهای انحرافی احداث شده که از این طریق در مکان‌های متعدد شهری و صنعتی، آبیگری صورت می‌گیرد. قسمت‌های بالا دست حوضه حدود ۴۰۰۰ کیلومتر مربع از کل حوضه را تشکیل می‌دهد که مساحتی کمتر از ۱۰٪ کل حوضه می‌باشد. این محدوده بیشتر شامل ارتفاعات کوهستانی است که ارتفاع آن‌ها به ۳۵۰۰ متر می‌رسد و مصرف آب در این نواحی کم است. در این ناحیه از حوضه، جنگل‌های طبیعی وجود دارد و بخش عمده‌ای از اراضی مرتفع بایر می‌باشد.

قسمت‌های مرکزی و پایین‌دست دره زاینده‌رود شامل نواحی خشک، نیمه خشک و نیز مراتع پرشیب کوهستانی بوده ولی اکثر چشم‌انداز این محدوده، دشت‌های رسوبی با شیب ملایم و با بستر خشک است که گاه‌گاهی سیلاب‌های لحظه‌ای

نادر در آن جریان می‌یابد. پوشش گیاهی این قسمت‌ها، بوته و خار تنک و علف‌های مقاوم به خشکی بوده و درصد بالایی به اراضی لخت، سنگی و خاکی اختصاص دارد.

حوضه آبریز زاینده‌رود به باتلاق طبیعی و نمکی گاوخونی ختم می‌گردد. بیشتر محدوده این مرداب توسط توده‌های ماسه‌ای ساحلی گسترده از طرف شرق باتلاق محاصره شده است. آب ورودی به باتلاق، دارای شوری بالایی است؛ به طوری که این شوری در دوره‌های کم آبی به ۳۰ ds/m افزایش می‌یابد [۸].

وضعیت آب و هوایی

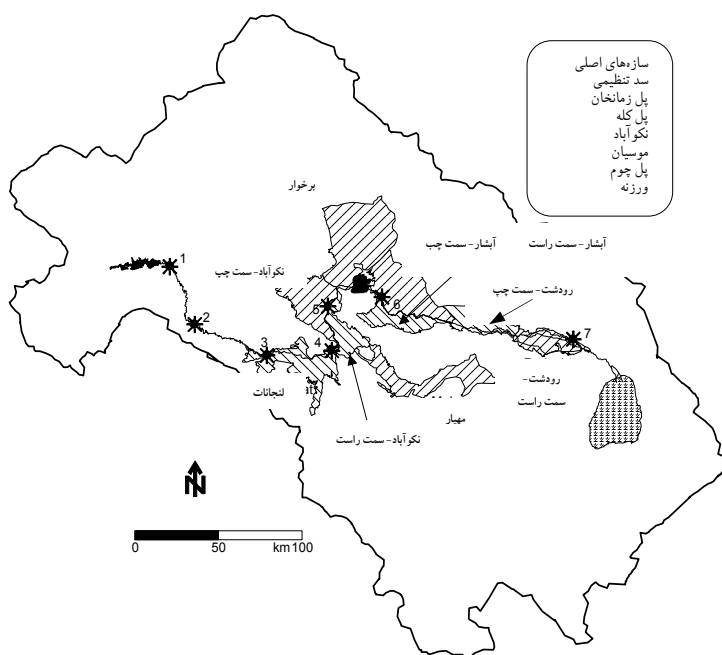
قسمت اعظم حوضه دارای بارش سالیانه‌ای کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر است. تقریباً همه این نزولات در ماه‌های سرد و زمستان همراه با حرکت جبهه شرقی از شرق اروپا حادث می‌شود و فقط در بعضی مواقع در اثر بارش کافی رواناب مهمی در دشت‌های رسوبی ایجاد می‌گردد. اغلب رواناب‌ها از کوه‌های اطراف حوضه به خصوص رشته کوه‌های زاگرس سرچشمه می‌گیرند و بیشتر این جریان‌ها به صورت برفاب می‌باشد. بیش از ۸۹٪ این بارش‌ها بین ماه‌های نوامبر و مارس با میانگین سالیانه ۷۰ روز بارش رخ می‌دهد که از این ۷۰ روز بارش، حدود ۵۵ روز برفی و بقیه بارانی بوده و در زمستان‌های سرد، هفته‌ها درجه حرارت از صفر بالاتر نمی‌رود و بیشتر بارش‌ها به صورت یخ و برف باقی می‌ماند تا فرارسیدن ماه آوریل که درجه حرارت افزایش می‌یابد. تأثیر برفاب بهاره به صورت بده‌های حداکثر در طول سال و هنگام نیاز حداکثر بخش کشاورزی، کاملاً مشهود است. این امر آبیاری را تبدیل به یک فعالیت اقتصادی کرده که در طول قرن‌ها اساس و پایه اهمیت تاریخی اصفهان به شمار می‌آید.

توسعه آبیاری

میزان ۱۵۰۰ میلی‌متر تبخیر و تعرق سالیانه، عملیات کشاورزی بدون آبیاری را در حوضه زاینده‌رود تقریباً غیر ممکن ساخته است. در حقیقت در تعدادی از مناطق که آبیاری در آن‌ها مرسوم است - مناطق بالادست حوضه و مجاور شهر اصفهان - چندین سال است که استفاده از بندهای انحرافی در دو طرف مسیر رودخانه برای تغذیه کانال‌های خاکی گسترش یافته است. از سوی دیگر در چند دشت رسوبی (دشت‌های

در چند سال اخیر سه منطقه اضافی تحت شبکه آبیاری قرار گرفته است. شبکه مهیار در جنوب شهر اصفهان (این شبکه توسط بند انحرافی که در بالادست سد نکوآباد احداث شده تغذیه می‌شود)، شبکه برخوار در شمال شهر اصفهان و شبکه آبیاری رودشتین در شرق حوضه که در هر سه شبکه به صورت تلفیقی از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. البته این سه دشت متکی به آب‌های انتقالی کانال‌ها از رودخانه زاینده‌رود می‌باشند.

برخوار و مهیار) به منظور دستیابی به آب زیرزمینی برای آبیاری از تعداد محدودی قنات و چاه استفاده می‌گردد. در چند دهه اخیر، آبیاری در مقیاس بزرگ و در قالب سیستم‌های جامع با تأسیسات مناسب برای انتقال، توزیع و اندازه‌گیری میزان جریان‌های آبیاری توسعه یافته است. موقعیت سیستم‌های اصلی آبیاری و بندهای انحرافی در شکل ۱ و مشخصات اصلی شبکه‌های آبیاری در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- سازه‌های تنظیم جریان و شبکه‌های اصلی آبیاری

جدول ۱- مشخصات اصلی شبکه‌های آبیاری در حوضه آبریز زاینده‌رود

نام شبکه	تاریخ احداث	سطح زیرکشت (ha)	بده طراحی (m ³ /sec)	طول کانال‌های اصلی (Km)	طول کانال‌های درجه دو (Km)
شبکه‌های قدیمی					
نکوآباد- سمت راست	۱۹۷۰	۱۳۵۰۰	۱۳	۳۵/۳	۴۵/۰
نکوآباد- سمت چپ	۱۹۷۰	۴۸۰۰۰	۴۵	۵۹/۴	۷۶/۶
آبشار- سمت راست	۱۹۷۰	۱۵۰۰۰	۱۵	۳۳/۵	۳۸/۰
آبشار- سمت چپ	۱۹۷۰	۱۵۰۰۰	۱۵	۳۶/۰	۳۳/۰
شبکه‌های جدید					
برخوار	۱۹۹۷	۳۶۰۰۰	۱۸	۲۹/۰	کامل نشده است
رودشتین	در حال احداث	۴۷۰۰۰	۵۰	۲۰۹/۲	“
مهیار	“	۲۴۰۰۰	۱۰	۱۲۰/۰	“

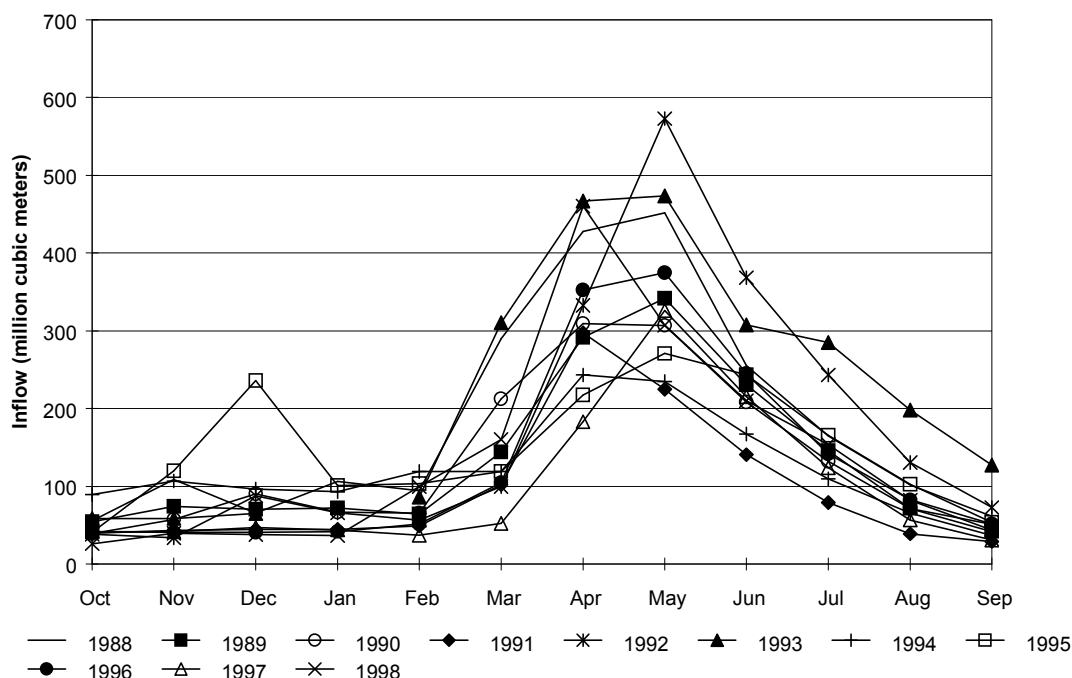
تذکر: در کلیه شبکه‌ها تلفیق آب زیرزمینی و سطحی مورد نظر می‌باشد

جریان ورودی به دریاچه سد در محل چادگان

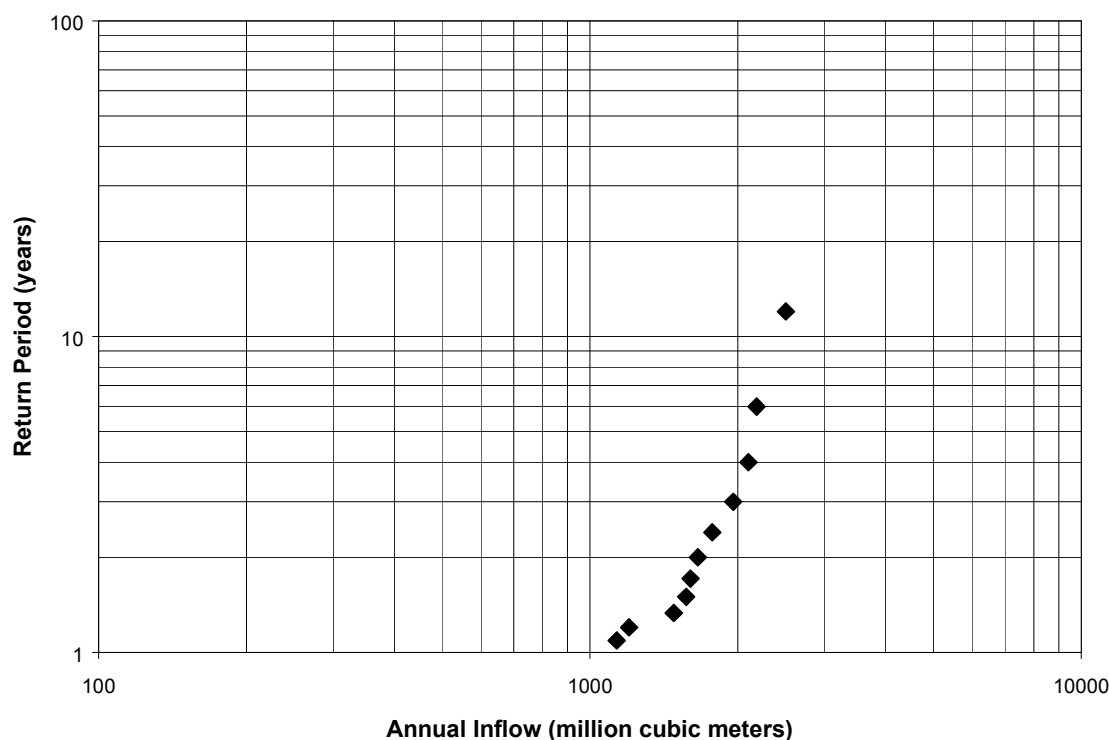
جریان ورودی به دریاچه سد در چادگان، یک الگوی پیوسته سالانه را نشان می‌دهد (شکل ۲). دوره اصلی ایجاد رواناب از ماه مارس تا جولای می‌باشد که ورودی ماهیانه به دریاچه سد، بیشتر از ۱۵۰ میلیون مترمکعب است. حداکثر ورودی در ماه آوریل و مه با ورودی متجاوز از ۳۰۰ میلیون مترمکعب (بیشتر از $115 \text{ m}^3/\text{sec}$) حادث می‌گردد. هرچند در این فصل دوره حداکثر بارش در حوضه از اگوست تا فوریه می‌باشد و متوسط ورودی کمتر از ۱۰۰ میلیون مترمکعب است، بده‌های زمستانه بسیار کم است. مجموع متوسط جریان‌های ورودی تقریباً ۱۷۰۰ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. جریان‌های ورودی سالیانه به دریاچه سد دارای تغییرات چندانی نیست؛ به طوری که جریان‌های ورودی سالیانه در طول دوره ۱۱ سال آمار، دارای تغییراتی از ۱۱۴۳ تا ۲۵۰۵ میلیون مترمکعب با ضریب تغییرات ۲۴ درصد می‌باشد. به هر حال جریان‌های ماهیانه تغییرات بزرگ‌تری با ضریب تغییرات بین ۲۶ تا ۶۹ درصد را نشان می‌دهد. در سه

ماه آوریل، مه و ژوئن که بالاترین متوسط ورودی حادث می‌شود، پایین‌ترین تغییرات (ضرایب تغییرات حدود ۳۰ درصد) مشاهده می‌شود؛ به طوری که در طول این زمان از سال، احتمال بالایی برای جریان ورودی مطمئن وجود دارد. همان‌گونه که انتظار می‌رود ماه‌های با جریان ورودی کمتر تغییرات بیشتری دارند؛ ولی این مطلب در بحث مدیریت منابع آب، از اهمیت کمتری برخوردار است؛ زیرا کل جریان‌های ورودی در این ماه‌ها نسبتاً پایین است. گرچه طول دوره آماری در دسترس نسبتاً کوتاه می‌باشد، ولی می‌توان دوره‌های برگشت جریان‌های ورودی به دریاچه را به صورت ماهیانه و سالیانه تخمین زد^۱. آمار سالیانه جریان‌های ورودی در شکل ۳ نشان می‌دهد که جریان ورودی به دریاچه سد حدود ۳۶۰۰ میلیون مترمکعب در طول دوره برگشت ۵۰ ساله است.

^۱ نکته قابل توجه این که آمار موجود ارائه شده مربوط به جریان ورودی، شامل جریان‌های برگردانده شده از سایر حوضه‌های مجاور نیز می‌باشد.



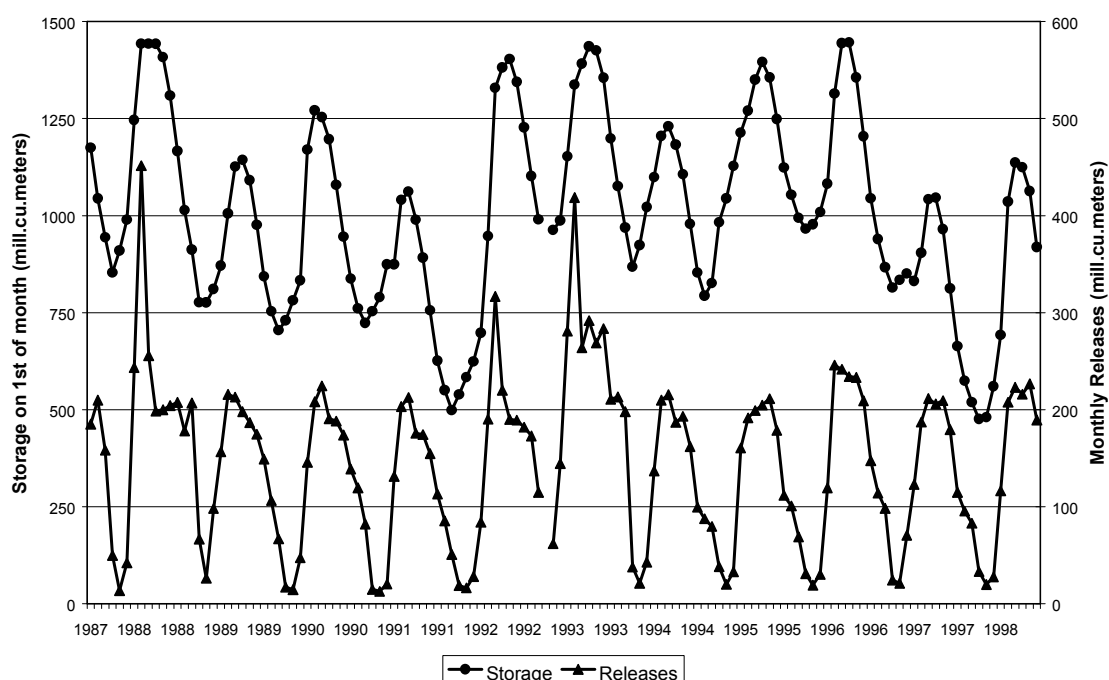
شکل ۲- مقادیر متوسط ماهیانه ورودی به دریاچه سد زاینده رود در محل چادگان



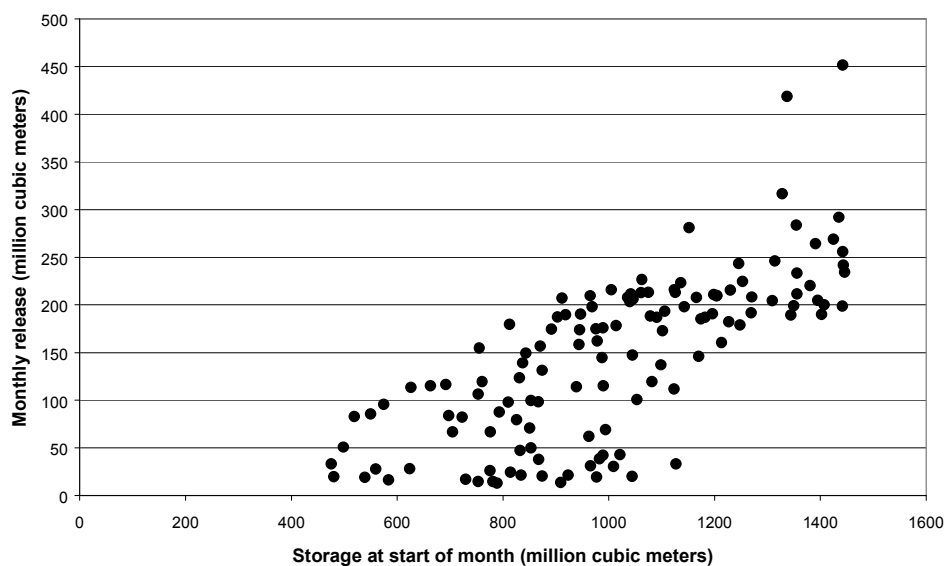
شکل ۳- احتمال تجربی جریان‌های ورودی به مخزن سد در محل چادگان

جریان خروجی از دریاچه سد زاینده‌رود بین دوره‌های اصلی بارندگی و حداکثر جریان ورودی به مخزن، زمان تأخیری حدود دو ماه وجود دارد که به وضوح اهمیت سهم برفاب را از ماه مارس به بعد نشان می‌دهد. شکل ۴ الگوی قابل پیش‌بینی خروجی آب از مخزن سد را نشان می‌دهد. در دوره‌هایی که حجم ذخیره مخزن، حدود ۱۴۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد، خروجی‌های ماهیانه خیلی بالاتر از شرایط عادی است. معمولاً برای حصول اطمینان از پایین بودن تراز مخزن قبل از فصل برفاب بعدی، رهاسازی‌هایی از سد از ماه آوریل تا مه و احتمالاً ژوئن و یک بار نیز در دسامبر انجام می‌گیرد. سه نمونه از روشن‌ترین خروجی‌ها به منظور کنترل سیلاب، مربوط به سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۲ و ۱۹۹۳ می‌باشد که حداکثر وقوع رهاسازی در هیدروگراف خروجی و خروجی‌های ماهیانه، متجاوز از ۲۵۰ میلیون مترمکعب گردید. در سال‌های ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶ ذخیره مخزن سد در حد بالایی بوده، ولی خروجی ماهیانه فقط حدود ۲۲۰ میلیون مترمکعب ثبت شده است.

از توزیع احتمال تجربی برای آمار جریان‌های ورودی ماهیانه چنین به نظر می‌رسد که احتمال وقوع سیلاب ۵۰ ساله در ماه مه ۹۰۰ میلیون مترمکعب بوده، در صورتی که در ماه فوریه فقط حدود ۲۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. حداکثر سیلاب را معمولاً در خلال دوره برفاب سالیانه، بین آوریل و ژوئن داریم. طی آمار ثبت شده بزرگ‌ترین ورودی ماهیانه ۵۷۳ میلیون مترمکعب در ماه مه سال ۱۹۹۲ می‌باشد. یازده ماه از سال با احتمال وقوع بزرگ‌ترین سیلاب که جریان ورودی متجاوز از ۴۰۰ میلیون مترمکعب را داراست، در یکی از دو ماه آوریل یا مه بوده است. الگوی جریان ورودی به دریاچه به خوبی قابل پیش‌بینی است، که منجر به سهولت در امر مدیریت کلان منابع آب می‌گردد. تقاضای آب آبیاری از ماه آوریل شروع می‌شود که کم و بیش این زمان با آغاز دوره ذوب برف منطبق است. بنابراین لزومی ندارد قبل از شروع فصل آبیاری مخزن سد پر شود. بعلاوه ترازهای پایین ذخیره تا پایان فصل آبیاری، ذخیره سیلاب‌هایی که قبل از شروع ذوب شدن برف‌های زمستانه ممکن است به وقوع بپیوندد را ممکن می‌نماید.



شکل ۴- سری های زمانی ماهیانه ذخیره سازی و رها سازی آب از مخزن سد (اکتبر ۱۹۸۷ الی سپتامبر ۱۹۹۸)



شکل ۵- ارتباط بین ذخیره سازی و رها سازی های ماهیانه دریاچه سد

سد خیلی بالا بوده، ولی میزان تقاضا خیلی کم باشد. در مواقعی که ذخیره سد از ۱۱۰۰ میلیون مترمکعب بالاتر باشد، خروجی ماهیانه حداقل به ۱۵۰ میلیون مترمکعب و در صورتی که ذخیره کمتر از ۸۰۰ میلیون مترمکعب باشد، رهاسازی آب از ۱۲۵ میلیون مترمکعب تجاوز نخواهد کرد. این روابط نشان

بررسی ارتباط بین ذخیره ماهیانه و خروجی سد نشان می دهد که یک پهنه وسیع^۱ وجود دارد که تمامی اطلاعات برداشت شده منطبق بر آن هستند (شکل ۵). این نوع الگو نشان می دهد که دوره هایی وجود ندارد که تراز ذخیره دریاچه

^۱ Broad Band

می‌دهد که ذخیره مؤثر سالانه در مخزن کم است و رابطه دقیقی بین ورود و خروج آب به مخزن نخواهد داشت و تقریباً همه رواناب بهار و اوایل تابستان، در روزهای آخر تابستان مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رابطه، مخزن سد برای تأخیر رواناب، در بعضی از فصول ظرفیت مؤثری دارد.

این داده‌ها هم‌چنین نشان می‌دهد که دریاچه و تمام حوضه زاینده‌رود در یک دوره با دو سال متوالی خشک‌سالی، آسیب‌پذیر خواهد بود؛ اگرچه تاکنون در آمار موجود چنین واقعه‌ای اتفاق نیفتاده است. به هر حال با فرض این که خروجی مورد نیاز معمول سالیانه (به جز خروجی کنترل سیلاب) حدود ۱۵۰۰ میلیون مترمکعب باشد و طی دو سال متوالی ورودی برای ۱۲۰۰ میلیون مترمکعب یکمتر به وقوع پیوسته باشد، مخزن نمی‌تواند همه تقاضای دومین سال خشک را تأمین نماید. اگر به منظور رهاسازی سیلاب، ماه‌های دارای جریان‌های طغیانی از سری داده‌ها حذف شود، این امکان وجود دارد که یک مدل خروجی نرمال برای برآورده کردن تقاضای پایین‌دست در مورد آب آبیاری، شرب و صنعت تعریف گردد. این مدل در جدول ۲ نشان داده شده است که در آن خروجی‌های کنترل سیلاب در ماه‌های آوریل، مه و ژوئن حذف شده‌اند.

نتیجه و اثر این روش بهره‌برداری، فراهم کردن جریانات خروجی منطقی در خلال بیشترین تقاضا خواهد بود. با تغییراتی کمتر از ۱۰ درصد در ماه، جریانات آب به زاینده‌رود قابل اعتماد و قابل پیش‌بینی است و انحراف معیار به علت جریانات خروجی کنترل سیلاب، سیر صعودی خواهد داشت. هم‌چنین مدل رهاسازی آب از سد نشان می‌دهد که رهاسازی در زمستان پایین است و دلیل این موضوع وجود برنامه جانبی مبنی بر عدم بهره‌برداری سیستم‌های آبیاری تا ماه آوریل می‌باشد. بنابراین در خلال این سه ماه در صورت نیاز به آبیاری زارعین مجبورند به آب چاه تکیه کنند و این بدین

معناست که بده رودخانه زاینده‌رود در سراسر زمستان خیلی کم بوده و این موضوع رودخانه را برای آلوده شدن در اثر منابع غیر کشاورزی مستعد می‌سازد [۲].

مدل رهاسازی آب از دریاچه سد، از اکتبر تا دسامبر تغییرات بیشتری را در انتهای فصل آبیاری نشان می‌دهد. در سال‌هایی که ذخیره سد در حد بالایی باشد، جریان خروجی ماهیانه به ۲۱۰-۱۵۰ میلیون مترمکعب می‌رسد، در صورتی که در سال‌هایی که ذخیره پایین باشد، این میزان به ۱۲۰-۸۰ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد.

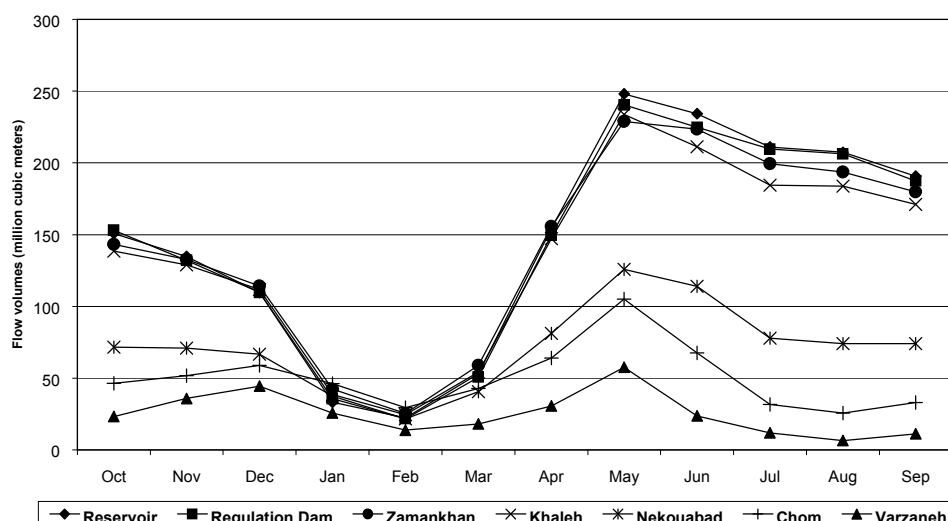
مصرف آب و استحصال آب در حوضه زاینده‌رود آب رها شده از مخزن سد در چادگان، در طول رودخانه زاینده‌رود جریان یافته و به منظور آبیاری شرب و صنعت در مکان‌های مشخص، آبیگری می‌شود. الگوی میانگین حجم‌های جریان‌های ماهیانه اندازه‌گیری شده در شکل ۶ نشان داده شده است.

الگوی جریان آب در رودخانه، در تمام ایستگاه‌های هیدرومتری به جز در مورد حداقل جریان ماهیانه در ماه‌های ژانویه و فوریه، در بقیه ماه‌ها یکسان باشد. باید توجه داشت که بین دریاچه سد و سد تنظیمی در پایین دست سد و هم‌چنین در حد فاصل سد تنظیمی و ایستگاه هیدرومتری پل زمانخان آبیگری محدودی وجود دارد.

برداشت‌های آب در حد فاصل پل کله تا نکوآباد و هم‌چنین آب استخراجی آبیاری در محل سد نکوآباد حدود نصف آب رها شده از مخزن سد است. این شرایط بین نکوآباد و پل چوم، که بیشتر از نصف جریان باقی‌مانده از رودخانه به منظور مصارف آب شرب و صنعت اصفهان بزرگ و مصرف آب آبیاری در شبکه آبشار آبیگری می‌شود، تکرار می‌گردد. برداشت‌های بعدی آبیاری، در زیر دست پل چوم کاهش

جدول ۲- میانگین رهاسازی‌های ماهیانه "نرمال" (به جز جریان‌های خروجی کنترل سیلاب)

میانگین خروجی‌های ماهیانه (میلیون مترمکعب)												
ماه	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر
میانگین	۱۴۳/۷	۱۲۲/۳	۱۰۳/۸	۳۱/۴	۱۹/۱	۴۴/۳۲	۱۳۰/۵	۲۰۶/۶	۲۱۷/۶	۲۰۳/۵	۲۰۱/۵	۱۷۹/۰
انحراف استاندارد	۴۰/۹	۴۳/۹	۵۷/۴	۱۵/۹	۴/۰	۲۴/۱	۲۳/۵	۱۷/۷	۱۲/۵	۱۸/۱	۱۹/۸	۱۶/۰
واریانس	۲۸/۵	۳۵/۹	۵۵/۳	۵۰/۸	۲۱/۰	۵۶/۶	۱۸/۰	۸/۶	۵/۷	۸/۹	۹/۸	۸/۹



شکل ۶- میانگین ماهیانه حجم جریان عبوری در طول مسیر رودخانه زاینده رود

مترمکعبی در ماه (حدود $4/5 \text{ m}^3/\text{s}$) در نظر گرفته شده است. در این مدل، مقدار بارندگی ماهیانه مورد استفاده قرار گرفته و برای هر بازه یک سطح مؤثر که در تشکیل جریان‌های ورودی به رودخانه سهم می‌باشند، تعریف گردیده است. سوابق اطلاعاتی و داده‌های مورد نیاز در مورد بخش آبیاری، به عنوان بزرگ‌ترین مصرف کننده آب، در نقاط آبیگری به وسیله شبکه‌های اصلی آبیاری موجود بوده و فقط چند مورد فقدان آمار و اطلاعات داشت که با استفاده از مقادیر میانگین ماه‌های مشابه تکمیل گردید. هم‌چنین مقادیر قابل ملاحظه‌ای آب به وسیله برداشت‌های غیر رسمی از رودخانه استخراج می‌شود. در این مدل در یک دوره ده ساله از ۱۹۸۷-۸۸ تا ۱۹۹۶-۹۷ با مراحل زمانی ماهیانه اجرا گردید و معلوم شد که میزان آب برداشتی از سیستم (محاسبه شده براساس جریان‌های آب اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری در طول رودخانه) از میزان آبیگری که نیازهای کشاورزی و غیر کشاورزی حوضه را تأمین می‌کند کمتر است. این مطلب در شکل ۷ برای ده سال مورد نظر نشان داده شده است. برداشت‌های سالیانه، به صورت خالص و ناخالص^۲ تغییراتی نداشته و یا بسیار جزئی بوده است (ضریب تغییرات ۹٪). این پدیده، گویای یک جریان برگشتی^۳ اساسی در ارتباط با مصارف گوناگون آب در

یافته و در ورزنه به صفر می‌رسد. البته سیلاب‌های رها شده در شرایط ترسالی، شاید به این نقطه (ورزنه) برسند. در واقع میانگین بده اندازه‌گیری شده (ماهیانه) در مواقع متعدد، کمتر از $1 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد. از طرفی در ورزنه کیفیت آب شدیداً پایین می‌آید که علت آن وجود نمک بسیار زیاد و آلوده کننده‌های غیر کشاورزی است. به منظور درک بهتر از مقوله استفاده و تعیین درجه استفاده مجدد آب و تجزیه و تحلیل آب‌های ورودی و خروجی (برداشت‌های آب برای مصارف آبیاری، صنعت، شرب) در حوضه، مدلی به شکل یک بیلان آبی در یک صفحه گسترده مورد استفاده قرار گرفت [۱]. در این مدل مرحله زمانی ماهیانه در نظر گرفته شد و آنالیزها برای هر بازه رودخانه^۱ انجام گردید. زمان پاسخ رودخانه کمتر از یک ماه فرض شده، بنابراین زمان تأخیر در جریان‌های آب، بین ماه‌ها وجود ندارد. هم‌چنین بازه‌های بین هر دو ایستگاه اندازه‌گیری جریان، به صورت متوالی در طول رودخانه تعریف شده‌اند و برداشت از رودخانه فقط در بین مقاطع مد نظر قرار گرفته است.

به منظور مصارف شهری و صنعتی برای هر بازه، یک برداشت ثابت ۵ میلیون مترمکعب در ماه ($1/9 \text{ m}^3/\text{s}$) لحاظ گردید. هم‌چنین در حد فاصل نکوآباد- پل چوم براساس جمعیت دو میلیون نفری و مصرف سرانه ۲۰۰ لیتر در شبانه‌روز برای شهر اصفهان، یک آبیگری اضافی ۱۲ میلیون

^۲ واژه برداشت‌های net اشاره دارد به جریان اندازه‌گیری شده بین نقطه مورد نظر و نقطه دیگر در بالادست آن و واژه برداشت‌های ناخالص gross اشاره دارد به نیاز آب برداشتی

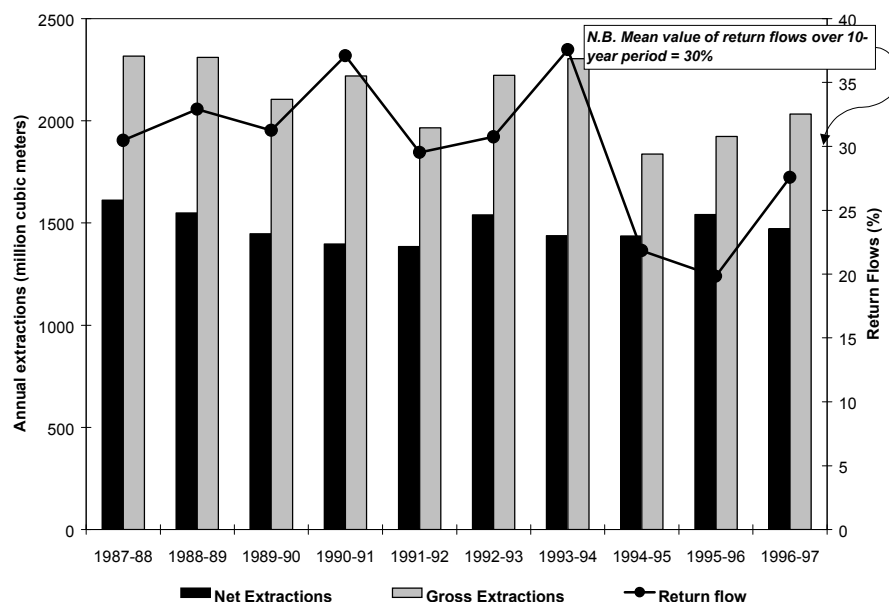
برای برآورده کردن تقاضاهای متفاوت در یک بازه مورد نظر

^۳ آب برگشتی (درصد) = آب استحصال ناخالص - آب استحصال خالص / آب استحصال ناخالص

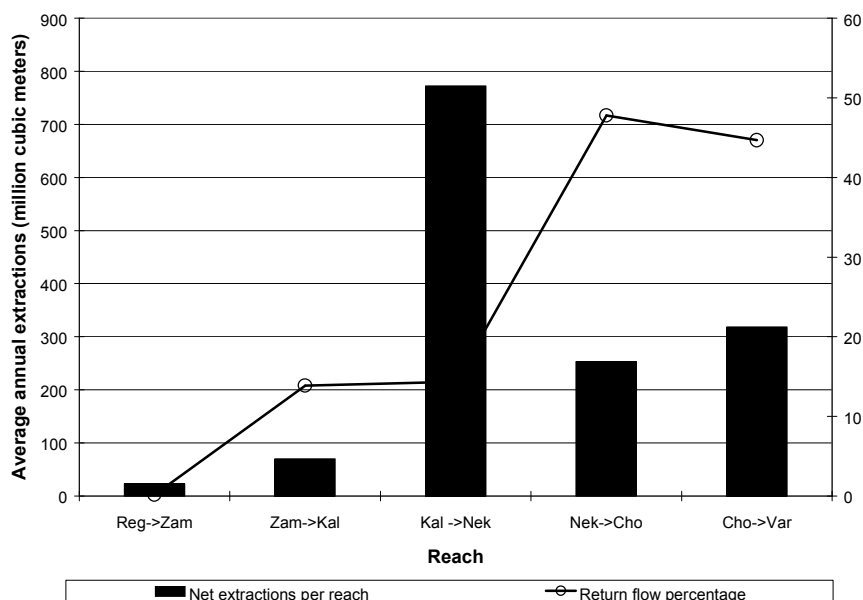
^۱ Reach

می‌دهد. مشاهده می‌شود، در بازه پل کله-نکوآباد (محدوده‌ای که اراضی قابل توجه تحت آبیاری وجود دارد) میزان آب برگشتی به ۵۰٪ می‌رسد.

حوضه می‌باشد و گرنه آب‌های برداشت شده به تنهایی نمی‌توانست همه نیازهای آب در حوضه را برآورده نماید، میانگین جریان آب برگشتی حدود ۳۰٪ تخمین زده شده است. شکل ۸، میزان میانگین سالیانه آب برداشتی و مقدار آب برگشتی را در پنج بازه در مسیر رودخانه زاینده‌رود نشان



شکل ۷- مقادیر میانگین سالیانه آبگیرها و جریان‌های برگشتی تخمینی در حوضه زاینده‌رود (۸۸-۱۹۸۷ الی ۹۷-۱۹۹۶)



شکل ۸- تخمین جریان‌های برگشتی در بازه‌های مختلف رودخانه زاینده‌رود

نکته قابل ذکر این که تحلیل‌های فوق، تقریبی بوده و در آینده سعی خواهد شد حجم جریان‌های برگشتی از مصارف گوناگون (آبیاری، صنعت، شرب و بهداشت) در حوضه تعیین و ارزیابی گردد. هم‌چنین به منظور تخمین واقعی‌تر حجم جریان‌های برگشتی بایستی آنالیزهای دقیق با احتساب آب زیرزمینی انجام شود.

نتیجه‌گیری

بررسی کلی هیدرولوژی و مصرف آب در حوضه آبریز زاینده‌رود دستاوردهای روشن و برجسته‌ای را ارائه می‌دهد:

- جریان‌های سالیانه ورودی به دریاچه سد زاینده‌رود در محل چادگان، یک الگوی منظم با تغییرات ناچیزی را نشان می‌دهد (ضریب تغییرات ۰/۲۴).

- جریان‌های ماهیانه تغییرات بزرگ‌تری را با دامنه ضریب تغییراتی بین ۰/۲۶ تا ۰/۶۹ نشان می‌دهند. ولی از ماه آوریل تا ژوئن طی سه ماهی که میانگین جریان در بالاترین حد است ضریب تغییراتی کمتر از ۰/۳ به دست می‌آید؛ بدین مفهوم که در خلال این دوره جریان‌های قابل اعتماد با احتمال کاملاً بالا وجود دارد.

- جریان‌های قابل پیش‌بینی و قابل قبول ورودی دریاچه سد، مدیریت مخزن در تأمین تقاضاهای تحت شرایط عادی را ساده می‌سازد. البته رهاسازی‌های اضطراری در مواقع سیلابی به منظور تأمین امنیت سد مورد نیاز می‌باشد.

- مخزن سد، ظرفیت ذخیره قابل انتقال (Carryover Storage) چندان ندارد. تقریباً همه جریان ورودی در بهار و اوایل تابستان قبل از فصل سیلاب بعدی از مخزن سد آزاد می‌شود و این مسئله دریاچه و حوضه را نسبت به دوره‌های طولانی کم بارش حساس می‌سازد.

- بسته بودن حوضه زاینده‌رود بیانگر این حقیقت است که میزان کمی آب معمولاً به باتلاق گاوخونی در ورزنه در انتهای حوضه می‌رسد. (به جز جریان‌های سیلابی رها شده که شاید به باتلاق گاوخونی برسند). از این رو عرضه محدود آب در حوضه، مصرف آب بیشتر و مدیریت آب را مشکل می‌نماید.
- از یک روش بیلان آبی ساده به منظور نشان دادن حدود استفاده مجدد از آب و جریان‌های آب برگشتی در حوضه برای

مصارف گوناگون استفاده شده و حجم جریان‌های برگشتی به میزان ۳۰٪ در کل حوضه تخمین زده می‌شود. با محدودیت‌هایی که در این روش مورد قبول قرار گرفته است، این جنبه کار با در نظر گرفتن آب زیرزمینی و مسئله کیفیت آب، نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

نکات بیان شده، نیاز به وجود طرح جامع در کل حوضه زاینده‌رود به منظور مطالعه مدیریت منابع آب در چارچوب مصارف چندگانه را نمایان می‌سازد. هم‌چنین یک شناخت و درک صحیح از میزان موجودی و مصرف آب در سطوح مزرعه، شبکه و حوضه ضروری به نظر می‌رسد؛ چرا که با آنالیز بهره‌برداری از آب، تنها در سطح مزرعه و یادر سطح شبکه‌های آبیاری نمی‌توان میزان استفاده از آب یا دورنمای صرفه‌جویی واقعی آب را مشخص نمود. در مبحث بالا به وضوح روشن است که نیاز به تجدید نظر در نظرات و باورهای رایج در خصوص صرفه‌جویی آب در حوضه زاینده‌رود، احساس می‌شود. بدیهی است که صرفه‌جویی مصرف آب در سطح مزرعه، همیشه نمی‌تواند منتج به یک صرفه‌جویی واقعی گردد؛ به ویژه اگر از جریان‌های برگشتی حاصل از آبیاری، مجدداً استفاده شود. با توجه به پتانسیل بالای تبخیر در سطح حوضه آبریز و پایین بودن کیفیت زه‌آب در مناطق پایین‌دست، آینده روشنی در خصوص ایجاد کشاورزی پایدار در حوضه متصور نیست. به عبارت دیگر اگر ممکن بود که به یک صرفه‌جویی واقعی آب در بخش کشاورزی نایل شویم، این میزان آب صرفه‌جویی شده می‌توانست در گسترش سطح زیرکشت اراضی فاریاب یا برآورده کردن تقاضای روزافزون دیگر بخش‌ها مثل آب شرب، صنعت، فضای سبز و محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

همکاری و حمایت سازمان‌های متعددی، به ویژه وزارت جهاد کشاورزی و وزارت نیرو، قابل تقدیر است. نویسندگان این مقاله تشکر خود را از آقای مهندس اسدی کارشناس ارشد سازمان آب منطقه‌ای اصفهان و آقای مهندس امیری رئیس وقت طرح جامع کشاورزی حوضه آبریز زاینده‌رود و پرسنل مربوطه و سرکارخانم شیرانی نژاد تقدیم می‌دارند.

- 1- Droogers, P., Salemi, H.R., and Mamanpoush, H.R., (2000). "Exploring Basin Scale Salinity Problems Using a Simplified Water Accounting Model: the Example of Zayandeh Rud Basin, Iran", IAERI-IWMI Research Report 5. IRAN.
- 2- Gieske, A., Miranzadeh, M. and Mamanpoush, A., (2000). "Groundwater Chemistry of the Lenjanat District, Esfahan Province", IEARI-EARC-IWMI Research Report 4. IRAN.
- 3- Keller, A., Keller, J. and Seckler, D.W., (1996). "Integrated Water Resources Systems: Theory and Policy Implications". IWMI, Research Report 3, Colombo, Lanka: International Water Management Institute. Srilanka.
- 4- Modlen, D.J., (1997). "Accounting for Water Use and Productivity", SWIM, Paper 1. Colombo, Srilanka: International Irrigation Management Institute.
- 5- Modlen, D.J. and Sakthivadivel, R., (1999). "Water Accounting to Assess Use and Productivity of Water", International Journal of Water Resources Development Special Double Issue: Research from the International water Management Institute (IWMI)]. 15(1/2): 55-71.
- 6- Perry, C.J., (1996). "The IIMI Water Balance Framework: A Model for Project Level Analysis", IWMI Research Report 5. Colombo, Srilanka: Irrigation Management Institute.
- 7- Perry, C.J., (1999). "The IWM Iwater Resources paradigm: Definitions and Implications", Agricultural Water Management, 40(1): 45-50.
- 8- Salemi, H.R., Mamanpoush, A., Miranzadeh, M., Akbari, 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", IAERI-EARC-IWMI Research, Report 1.

توضیح :

در مجله شماره ۴۹ آب و فاضلاب در صفحه ۲۰ مربوط به معرفی منابع، متأسفانه اشتباهاتی رخ داد که ضمن پوزش به شرح زیر تصحیح می گردد:

- 1- DHI (Danish Hydraulic Institute), (2000). "MIKE11 User Manual".
- 2- Hanson, C.L., Marks, D. and Van Vactor, S.S., (2000). "Climate Monitoring at the Reynolds Creek Experimental Watershed", ARS Technical Bulletin, No. 6, NWRC, Idaho, USA.
- 3- Hanson, C.L., (2000). "Precipitation Monitoring at the Reynolds Creek Experimental Watershed", Technical Bulletin, NWRC, Idaho, USA.
- 4- Marks, D., Cooley, K.R., Robertson, D.C. and Winstral, A., (2000). "Snow Monitoring at the Reynolds Creek Experimental Watershed", ARS Technical Bulletin, No. 5, NWRC, Idaho, USA.
- 5- Neuro Dimensions, NeuroSolutions, 2001.www.nd.com.
- 6- Pierson, F.B., Slaughter, C.W. and Cram, Z.K., (2000). "Monitoring Discharge and Suspended Sediment at the Reynolds Creek Experimental Watershed", ARS Technical Bulletin, No. 8, NWRC, Idaho, USA.
- 7- Seyfried, M.S., Harris, R.C., Marks, D. and Jacob, B., (2000). "A Geographic Database from Watershed Research, Reynolds Creek Experimental Watershed", ARS Technical Bulletin, No. 3, NWRC, Idaho, USA.
- 8- Slaughter, C.W., Marks, D., Flerchinger, G.N., Van Vactor, S.S. and Burgess, M., (2000). "Research Data Collection at the Reynolds Creek Experimental Watershed", ARS Technical Bulletin, No. 7, NWRC, Idaho, USA.
- 9- USDA-ARS, Northwest Watershed Research Center, Anonymous, ftp site:ftp.nwrc.ars.usda.gov.
- 10- Wright, N.G., Dastorani, M.T., Goodwin, P. and Slaughter, C.W., (2002). "Using Artificial Neural Networks for Optimisation of Hydraulic River Flow Modeling Results", Proceedings of the International Conference of River Flow, Louvain-al-Neuve, Belgium.