

# کاربرد مدل WSBM در حوضه آبریز زاینده‌رود (اصفهان)\*

حمیدرضا سالمی<sup>۱</sup> منوچهر ترابی<sup>۱</sup> شهرام اشرفی<sup>۲</sup>

(دریافت ۸۴/۴/۱۱ پذیرش ۸۵/۳/۴)

## چکیده

ایران مانند اکثر مناطق دنیا، با مشکل کمبود آب و بحران شوری به عنوان دو عامل محدود کننده آبیاری پایدار روبروست. از این رو، مدل WSBM به منظور به کارگیری تفکر جامع استفاده از منابع آب (دیدگاه حوضه‌ای) و تجزیه و تحلیل سریع فرآیند تأثیر متقابل آب و نمک، تهیه گردید. در مرحله اول اقدام به واسنجی مدل برای دوره آماری ۹۸-۱۹۸۸ شد و سپس با استفاده از آمار، منابع آب در زمان حال و گذشته مورد آزمایش قرار گرفت. علی‌رغم سادگی این مدل، مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده به هم نزدیک بودند که این موضوع نشانگر قابلیت و کارایی مدل برای آزمایش سناریوهای مختلف بود. اولین سناریو، بررسی تأثیر افزایش آب تخصیصی به اصفهان بزرگ در کل حوضه بود. از نظر میزان کمی آب در حوضه، این افزایش قابل چشم‌پوشی بود، زیرا میزان مصرف آب شرب و بهداشتی، درصد زیادی از کل آب مصرفی حوضه را به خود اختصاص نمی‌دهد. از سوی دیگر میزان آب برگشتی در این بخش، بالاست. دومین سناریو، انتقال آب از حوضه‌های مجاور، به دره زاینده‌رود به منظور تأمین آب مورد نیاز شبکه آبیاری جدید الاحداث رودشتین بود. اگر کاهش کیفیت آب رودخانه مشکل ساز نبود، افزایش آب خروجی از سد محدودیت نمی‌داشت. نتایج حاکی از آن بود که به منظور حفظ کیفیت آب در سطح شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر، دبی متوسط رودخانه باید از ۵۲ مترمکعب بر ثانیه به ۶۴ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافته و حداکثر نیاز آبی در فصل آبیاری از ۸۵ مترمکعب بر ثانیه به ۱۱۲ مترمکعب بر ثانیه برسد. در پایان می‌توان چنین نتیجه گرفت که روش اتخاذ شده و مدل تهیه شده برای تجزیه و تحلیل سریع و روشن شرایط گذشته، حال و آینده در خصوص مسائل آب و شوری، خشکسالیهای اخیر در سطح حوضه و اجرای سناریوهای محتمل مفید می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، شوری، مقیاس حوضه آبریز، مدل شبیه سازی.

## Application of WSBM Model in Zayanderood Basin (Isfahan)

Hamid Reza Salemi<sup>1</sup>, Manouchehr Torabi<sup>1</sup>, Shahram Ashrafi<sup>2</sup>

(Received Jul. 2, 2005 Accepted May 25, 2006)

### Abstract

Water scarcity and salinization are major threats to sustainable irrigation in Iran as well as other parts of the world. Irrigation schemes are part of a basin and as such, irrigation research must be conducted in a basin context. For the Zayanderood basin in central Iran, a simplified Water and Salinity Basin Model (WSBM) was developed for a quick analysis of river basin processes. The model was calibrated and used for current and past water resources analyses. Despite the simplicity of the model, observed and simulated stream flows were similar, proving that the model could be used for scenario analyses. The first scenario was defined where the effect of an increase of water extraction for Isfahan was evaluated. In terms of basin scale water quantity aspects this increased extraction is negligible as extractions are relatively low and return flows are high. A second scenario was developed to study the additional releases required from the reservoir to provide sufficient water for expansion of the Rudashtain irrigation scheme. If no restriction is imposed on water quality, additional releases from the reservoir are limited. However, if salinity levels are not to exceed  $2\text{ds m}^{-1}$ , mean annual water release requirements from the reservoir will increase from  $52\text{ to }64\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ , and peak requirements during the irrigation season will increase from  $85\text{ to }112\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ . Finally, it was concluded that the methodology and the model developed were useful for a swift and transparent analysis of past, current and future water and salt resources, and performing scenario analyses.

**Keywords:** Irrigation, Salinity, Basin Scale, Simulation Model.

1-Academic Member of Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, hr\_salemiuk@yahoo.com

2-Academic Member of Technical and Engineering Research Institute of Agriculture, Karaj

۱- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، hr\_salemiuk@yahoo.com

۲- عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

گرچه طی سالهای اخیر آهنگ رشد جمعیت کشور کاهش یافته، ولی به گونه‌ای نیست که بتوان جمعیت شهرها و روستاها را ثابت انگاشت. جمعیت شهر اصفهان و شهرهای اقماری و صدها شهر و روستای دیگر که آب شرب و بهداشتی آنها در حال حاضر به وسیله شبکه آبرسانی اصفهان بزرگ تأمین می‌شود و یا در آینده قرار است تأمین شود به سرعت در حال افزایش است. نیازهای بخش صنعت نیز در این منطقه در حال افزایش است چرا که با افزایش جمعیت، نیاز به ایجاد مشاغل جدید بیشتر می‌شود. در محدوده شبکه‌های آبیاری جدید و سنتی روز به روز از سطوح آیش کاسته شده و اراضی جدیدی به زیر کشت برده می‌شود. گسترش اراضی تحت آبیاری از طریق سرمایه‌گذاری در توسعه شبکه‌های مدرن آبیاری، تأسیس صنایع بزرگ از جمله فولاد مبارکه، پلی‌اکریل، صنایع دفاع و غیره حجم قابل ملاحظه‌ای از منابع آب حوضه آبریز زاینده‌رود را مصرف می‌نماید. از سوی دیگر رشد جمعیت اصفهان با جمعیت بیش از ۲/۵ میلیون نفر حاکی از وابستگی به منابع آب محدود حوضه زاینده‌رود می‌باشد. برای تأمین نیازهای ۲۰ سال آینده، مسائل و مشکلات زیادی پیش روی دست اندرکاران امور آب حوضه وجود دارد که اگر حل آنها غیرممکن نباشد مطمئناً بسیار دشوار می‌باشد. این امر چالشی جدی را برای رشد اقتصادی در سطح حوضه به ویژه بخش کشاورزی که بزرگ‌ترین مصرف کننده آب می‌باشد، پدید می‌آورد [۱].

ذکایی و ابریشم‌چی در سال ۱۳۶۰ با استفاده از برنامه‌ریزی خطی، مقادیر ظرفیت مفید سد و حداکثر سطح قابل کشت را با توجه به مقادیر مصرف آب در سطح حوضه، محاسبه کردند. نامبردگان دریافتند که آب مورد نیاز مصارف شهری و صنعتی همواره به طور کامل تأمین شده و بیش از ۹۰ درصد اوقات آب تخصیص یافته به بخش کشاورزی بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز بوده است [۲].

مطالعات سازمان آب منطقه‌ای نشان داد که اگر نیاز بخشهای کشاورزی، شرب و صنعت در حد مصارف فعلی ثابت بماند، می‌توان به توسعه پایدار امیدوار بود. ولی چنانچه این نیاز افزایش یابد با اجرای طرحهای انتقال آب کوه‌رنگ ۳ و چشمه لنگان شاید بتوان فقط کمبود آب شرب و صنعت را تأمین کرد؛ در این حالت بخش کشاورزی با مشکلات جدی روبرو خواهد شد [۳].

خشکسالیهای اخیر، میزان سرانه آب استان اصفهان را به طور چشمگیری به زیر ۱۰۰۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر کاهش داده است. در حالی که حدود ۶/۱۸ درصد جمعیت کشور در این استان ساکن هستند، سهم مصارف آب شرب، صنعت و کشاورزی در این حوضه حدود ۷/۵ درصد کل کشور است. قابل ذکر این که بیش از ۴۰ درصد بارندگی و ریزشهای استان در فصل غیر زراعی

به وقوع می‌پیوندد [۴]. البته در خصوص خشکسالی هشدارهایی توسط سازمانهای بین‌المللی از جمله پانل بین‌دولتی تغییرات آب و هوایی<sup>۱</sup> داده شده است. این پانل اعلام نمود که تغییرات سیستماتیک زیادی در میزان بارندگی در فاصله قرنهای بیستم و بیست و یکم در جهان حادث می‌گردد. این تغییرات بدین صورت است که مناطق بالاتر از عرض ۳۰ درجه شمالی و بین ۱۰ درجه جنوبی تا ۱۰ درجه شمالی دچار افزایش بارش و مناطق بین عرض ۳۰ درجه جنوبی و ۱۰ درجه شمالی دچار کاهش بارش می‌شوند [۵]. با توجه به ارتباط نزدیک قسمتهای مختلف یک حوضه آبریز (حوضه، شبکه‌های آبیاری، مزرعه) و امکان صرفه جویی آب در سطح حوضه، تعیین یک رهیافت جامع، شامل کلیه کاربریهای آب از قبیل کشاورزی، شرب، صنعت و محیط زیست، به منظور ارزیابی محلی و حوضه‌ای ضروری به نظر می‌رسد [۶].

در بسیاری از مناطق جهان و از جمله حوضه مورد مطالعه، علاوه بر مشکلات مربوط به کمیّت آب، مشکل تخریب کیفی منابع آب ناشی از آلودگیهای صنعتی و شهری و نیز مسائل شوری طبیعی به علت تبخیر بالا محتمل می‌باشد. نتایج مطالعات نشان می‌دهد حدود ۲۵ میلیون هکتار از سطح اراضی کشور، شور و یا با مشکل شوری روبرو هستند که این میزان ۵۰ درصد اراضی قابل آبیاری کشور به شمار می‌آید [۷].

به طور کلی مدل‌های شبیه‌سازی به دو گروه آماری و فیزیکی<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. مدل‌های آماری روابط بین داده‌های پیشین را تعیین می‌کنند؛ در حالی که مدل‌های فیزیکی مستقیماً فرآیندهای فیزیکی درونی را مدل می‌کنند [۸]. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی<sup>۳</sup> و همچنین مدل آماری بیلان آب و نمک<sup>۴</sup> مزایایی را نسبت به مدل‌های فیزیکی دارند. داده‌هایی که برای این مدل‌ها نیاز است از نظر تنوع کمتر است، ولی مدل‌های فیزیکی نیازمند متغیرهای بیشتری هستند که مراحل پیش‌پردازش داده‌های آنها منجر به صرف وقت و هزینه‌های زیادی می‌شود. در مدل‌های فیزیکی لازم است فرآیندهای درونی مدل کاملاً شناخته شوند که با توجه به پیچیدگی سیستم‌های طبیعی در اغلب موارد امری دشوار به نظر می‌رسد. مدل SWAP (خاک-آب-اتمسفر-گیاه)<sup>۵</sup> از جمله این مدل‌هاست که به صورت دوبردی می‌تواند روابط متقابل خاک، آب، اقلیم و گیاه را شبیه‌سازی نماید [۹]. بررسی مدل SWAP در منطقه رودشت (اراضی پایین دست حوضه زاینده‌رود) نشان داد که این مدل قادر است در هر شرایط ترکیبی آب و خاک، اقدام به

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

<sup>2</sup> Physically-based Model

<sup>3</sup> Artificial Neural Network (ANN)

<sup>4</sup> Water and Salinity Basin Model (WSBM)

<sup>5</sup> Soil- Water- Atmosphere- Plant

تخمین بیلان آب نماید. نتایج خروجی مدل می‌تواند به مدل WSBM (در سطح حوضه) متصل شود [۱۰].

در زمینه مدیریت بهتر برای حفظ کیفیت آب، مدل‌های زیادی در کشور گسترش یافته است. بیشتر این مدل‌ها نیازمند پارامترهای ورودی هستند که دسترسی به آنها مشکل است و یا اندازه‌گیری آنها محتاج صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد. در این میان مدل‌های ANNs با حداقل پارامترهای اندازه‌گیری شده و با دقت قابل قبولی تغییرات متغیر مورد نظر را پیش‌بینی می‌نمایند. تحقیقی در مورد کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از مدل ANNs و مقایسه نتایج آن با مدل کیفی QUAL2E نشان داد که این مدل قادر است به عنوان مدل شبیه‌ساز تغییرات کیفیت آب در طول یک رودخانه، مورد استفاده قرار گیرد و با مدل‌های کیفی رقابت نماید. همچنین نتایج به دست آمده از تخمین پارامترهای کیفی در این تحقیق نشان داد شبکه‌های عصبی، مقادیر BOD را در ایستگاههای پایانی حوضه (ورزنه-گاوخونی) بیش از واقعیت پیش‌بینی می‌نماید و البته نتایج شبیه‌سازی DO نیز برای دو ایستگاه انتهایی رضایت‌بخش نبوده است [۱۱].

محققان استرالیایی مدلی را برای پیش‌بینی تغییرات روزانه آب و املاح در نتیجه تغییر کاربری اراضی براساس بیلان آب و نمک طراحی کردند. نتایج حاکی از آن بود که این مدل موفقیت خیلی خوبی در شبیه‌سازی روند تغییرات شوری آب رودخانه در دو حوضه مورد مطالعه در جنوب غرب استرالیا داشته است. با این حال مدل مذکور بار نمک را برای دو حوضه  $6/2$  و  $6/8$  درصد بیش از مقادیر مشاهده شده تخمین زده است [۱۲]. پرایری و همکاران<sup>۱</sup> از یک مدل آماری غیر پارامتری برای ایجاد ارتباط بین میزان دبی جریان رودخانه و بار نمک در رودخانه کلرادو استفاده کردند. مدل پیشنهادی در مقایسه با مدلی که توسط مولر<sup>۲</sup> و اسن<sup>۳</sup> برای همان منطقه ارائه شده بود، عملکرد بهتری نشان می‌داد [۱۳]. در واقع اضافه تخمین<sup>۴</sup> بار نمک رودخانه براساس آمار سالهای ۱۹۴۱ تا ۱۹۹۵ از طریق مدل آماری فوق حدود ۱۵ درصد (۷۸۰۰۰ تن) کمتر از مقداری بود که مدل مولر و اسن در سال ۱۹۸۸ پیش‌بینی کرده بود [۱۴]. در گزارشی راجع به عملکرد مدل آماری LASCAM<sup>۵</sup> که براساس بیلان آبی قادر به پیش‌بینی دبی آبهای سطحی و برآورد بار نمک در شبکه‌های زهکشی می‌باشد، اعلام شد علی‌رغم فقدان برخی از داده‌های ورودی به مدل، این مدل به نحو

بسیار رضایت‌بخشی توانسته مقادیر دبی را برای روشهای مختلف آبیاری و شرایط گوناگون هیدرولیکی به طور همزمان در قسمتهای مختلف یک حوضه آبریز با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک در استرالیا شبیه‌سازی کند. البته مدل، مقادیر حداکثر جریان را در فصول بارانی کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده پیش‌بینی کرد [۱۵].

مدل آماری WSBM به صورت اختصاصی برای حوضه آبریز زاینده‌رود تهیه شده است. از آنجا که این حوضه از زیردست سد زاینده‌رود کاملاً کنترل شده می‌باشد، این امکان را می‌دهد که مدل بیلان آب و نمک به صورت بسیار ساده و شفاف مورد استفاده قرار گیرد. از محاسن اصلی این مدل سادگی و اجرایی بودن آن می‌باشد. داده‌های ورودی به مدل بسیار ساده بوده و به پارامترهای پیچیده خاک، اقلیم و گیاه نیاز ندارد. با کاربرد این مدل و با در نظر گرفتن میزان آب موجود در حوضه، مقدار ماهانه آبیاری توسط بخشهای مصرف‌کننده و دو پارامتر مهم آب برگشتی و نمک تجمعی، می‌توان در مدیریت صحیح رهاسازی جریان آب به رودخانه با در نظر گرفتن کیفیت قابل قبول، توفیق یافت. از معایب این مدل می‌توان به پایین بودن دقت برآورد دبی و شوری در نواحی پایین دست حوضه اشاره کرد که برداشت بی‌رویه و غیرقابل کنترل آب از رودخانه در این مناطق از عوامل اصلی این نارسایی می‌باشد.

با در نظر گرفتن کلیه مطالب فوق، به منظور بررسی مسائل کمیّت و کیفیت آب در مقیاس حوضه‌ای در حوضه آبریز زاینده‌رود واقع در منطقه مرکزی ایران، با تأکید بر جنبه‌های کشاورزی و با تخمین پارامترهای مورد نیاز، مدل بیلان آب - نمک در یک صفحه گسترده<sup>۶</sup> ایجاد گردید [۱۶]. به کمک این مدل وضعیت منابع آب در زمان گذشته و حال مورد بررسی قرار گرفت و برای بهبود وضع مدیریت منابع آب در سطح حوضه، سناریوهای مختلف تعریف شد. در چند سال گذشته باتوجه به وضعیت توزیع آب، متوسط درازمدت آورد رودخانه زاینده‌رود و میزان بارش در سالهای عادی، تأمین نیاز آب در بخشهای مختلف حوضه نه تنها در حد معمول آن بلکه با درصدی کمتر از مشابه سالهای قبل (به ویژه در بخش کشاورزی به عنوان مصرف‌کننده عمده منابع آب)، امکان‌پذیر نبوده است [۴]. این حقیقت، ارائه هرگونه گزینه توزیع آب در بخش کشاورزی را مشکل و یا از نظر اجرایی غیرممکن کرده است. این مقاله، با تأکید بر اولویت بخش آب شرب و صنعت و تنظیم آب خروجی از سد و با وارد کردن ضرایب و مقادیر واقعی پارامترهای مورد نیاز به مدل، به ارزیابی تصمیمات گوناگون مدیریتی در

<sup>1</sup> Prairie et al.

<sup>2</sup> Muller

<sup>3</sup> Osen

<sup>4</sup> Over Prediction

<sup>5</sup> Large Scale Catchment

<sup>6</sup> Spreadsheet

خصوص تعیین تأثیرات دو سناریوی محتمل بر منابع آب در مقیاس حوضه پرداخته است.

## ۲- مواد و روشها

### ۱-۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز زاینده‌رود با مساحت حدود ۴۱۵۰۰ کیلومتر مربع، حوضه کاملاً بسته‌ای است که خروجی به دریا ندارد (شکل ۱). رودخانه زاینده‌رود به طول حدود ۳۵۰ کیلومتر که در امتداد تقریبی غرب به شرق در جریان می‌باشد. از کوههای زاگرس در غرب استان اصفهان سرچشمه گرفته و در تالاب گاوخونی در شرق استان به پایان می‌رسد. قسمت عمده حوضه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک صحرایی می‌باشد. حاصلخیزترین نواحی حوضه را اراضی رسوبی کناره‌های رودخانه تشکیل می‌دهد. متوسط بارش در شهر اصفهان ۱۲۰ میلی‌متر در سال، حداکثر بارش حوضه در کوهرنگ ۱۴۱۰ میلی‌متر و حداقل آن در ورزنه ۸۸ میلی‌متر می‌باشد [۱۷].

### ۲-۲- روش تحقیق

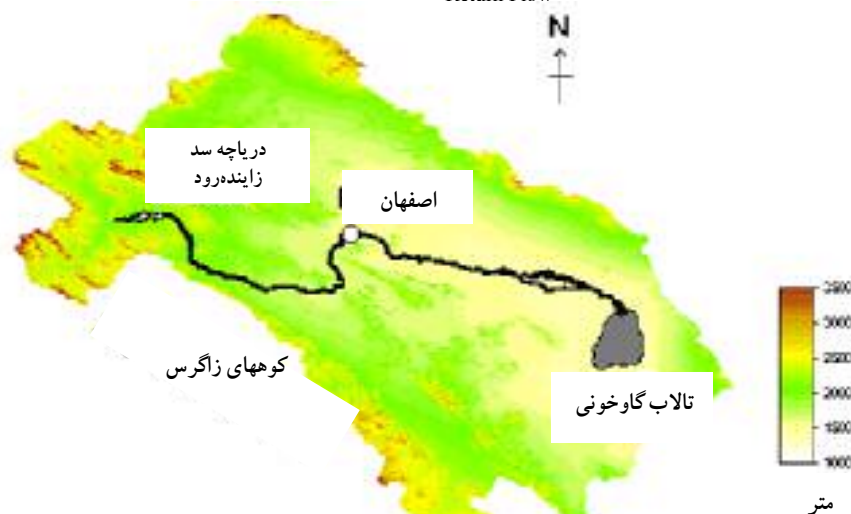
در این تحقیق از مدل شبیه‌سازی موسوم به WSBM (مدل بیلان آب و نمک در حوضه) استفاده گردیده است. این مدل به صورت یک صفحه گسترده در برنامه اکسل<sup>۱</sup> نوشته شده و روی مقادیر برداشت آب<sup>۲</sup> برای آبیاری و ارتباط آن با آب برگشتی<sup>۳</sup> از شبکه‌های آبیاری، متمرکز شده است. همچنین مدل دارای مؤلفه مصارف آب شهری و صنعتی می‌باشد. در مدل WSBM رودخانه به

گره‌هایی<sup>۴</sup> تقسیم شده و فاصله بین هر دو گره متوالی به عنوان یک بازه<sup>۵</sup> تعریف شده است. گره‌ها در نقاط مشخص که دارای اشل و دیگر تجهیزات به منظور اندازه‌گیری دبی و شوری می‌باشند، انتخاب شده‌اند. این نقاط شامل ایستگاههای هیدرومتری سد تنظیمی (طول جغرافیایی ۴۷°-۵۰° و عرض جغرافیایی ۳۲°-۳۳°)، پل زمانخان (طول جغرافیایی ۵۴°-۵۰° و عرض جغرافیایی ۳۰°-۳۲°)، پل کله (طول جغرافیایی ۱۴°-۵۱° و عرض جغرافیایی ۲۳°-۳۲°)، نکوآباد (طول جغرافیایی ۳۲°-۳۷° و عرض جغرافیایی ۲۴°-۳۲°)، موسیان (طول جغرافیایی ۳۷°-۵۱° و عرض جغرافیایی ۳۳°-۳۲°)، پل چوم (طول جغرافیایی ۴۶°-۵۱° و عرض جغرافیایی ۳۶°-۳۲°) و ورزنه (طول جغرافیایی ۳۹°-۵۲° و عرض جغرافیایی ۲۶°-۳۲°) می‌باشد. شکل ۲ موقعیت ایستگاههای هیدرومتری را نشان می‌دهد.

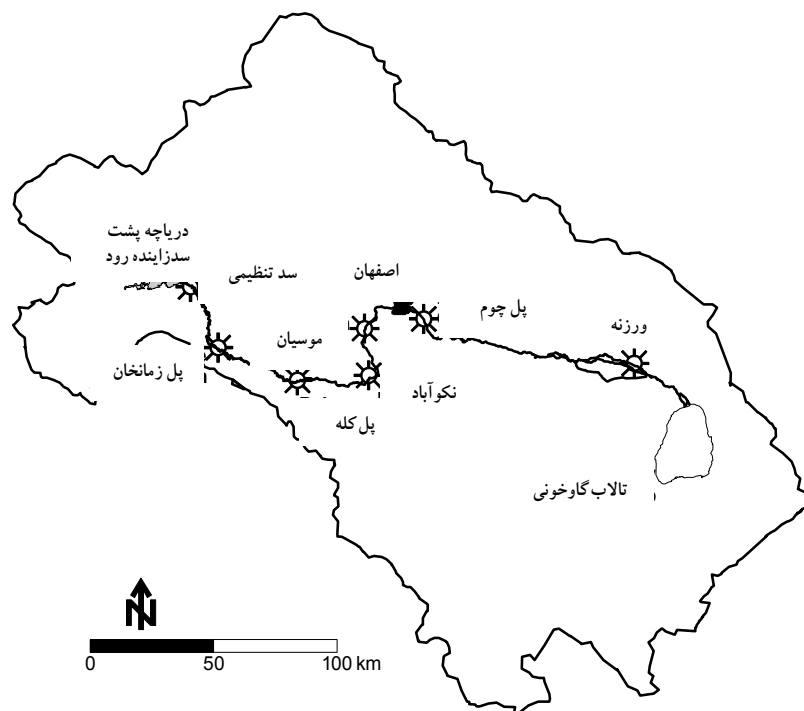
برداشت یا افزایش آب فقط در حد فاصل این ایستگاهها به وقوع می‌پیوندد. میزان دبی تئوری حاصل از مدل از طریق کم کردن مقادیر آب برداشتی یا اضافه کردن جریانهای ورودی به بازه قبلی به دست می‌آید. با استفاده از این روش جریان آب و املاح در امتداد رودخانه شبیه‌سازی شده است. منظور از برداشت، مقدار آبی است که برای مصارف آبیاری، شرب، بهداشت و صنعت از رودخانه آبیگری می‌شود. نقاط برداشت آب (آبیگری) در طول رودخانه، میزان آب برگشتی و نمک تجمعی در نیمرخ خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

<sup>4</sup> Nodes  
<sup>5</sup> Reach  
<sup>6</sup> Profile

<sup>1</sup> Excel  
<sup>2</sup> Extraction  
<sup>3</sup> Return Flow



شکل ۱- حوضه آبریز زاینده‌رود



شکل ۲- موقعیت ایستگاههای هیدرومتری

درصد کل نمک ورودی است. جریان نمک برگشتی و آب برگشتی (۲۰ درصد) تلفیق شده و موجب ساخته شدن ترازهای شور در رودخانه می‌شود.

در بررسی صحت نتایج از سه پارامتر آماری به منظور مقایسه مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده استفاده شده است:

۱- ریشه دوم میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> برحسب مترمکعب بر ثانیه که از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (obs-sim)^2}{n}} \quad (1)$$

که در آن:

Obs: دبی مشاهداتی مترمکعب بر ثانیه؛

sim: دبی شبیه‌سازی شده مترمکعب بر ثانیه؛ و

n: تعداد مشاهدات

می‌باشند.

۲- ضریب تعیین<sup>۳</sup> ( $r^2$ )، که از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$r^2 = \frac{[\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})]^2}{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (2)$$

حوضه زاینده‌رود دارای ویژگیهای منحصر به فردی است که در کمتر حوضه‌ای می‌توان این مشخصات را یافت. یکی از این ویژگیها، وجود انواع تبادلات آبی بین رودخانه و منابع آبهای زیرزمینی است. رودخانه در ارتباط هیدرولیکی با تشکیلات و سفره‌های آب زیرزمینی اطراف خود است و بدین لحاظ در بعضی از نقاط، تغذیه‌شونده و در مناطقی دیگر تغذیه‌کننده است. در این تحقیق، براساس مطالعات هیدرولوژی حوضه، مقادیر آب برگشتی از اراضی کشاورزی ۲۰ درصد، آب شهری و صنعتی ۵۰ درصد و نمک جمعی ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است [۱۷ و ۱۸]. مسلماً مقادیر مذکور می‌تواند براساس اطلاعات واقعی یا داده‌های فرضی و تخمینی باشد که در این تحقیق از مطالعات قبلی در واحدهای هیدرولوژیک مبارکه، سمیرم سفلی و نجف‌آباد که توسط دفتر طرح جامع کشاورزی حوضه زاینده‌رود انجام شده، استفاده شده است [۱۹]. مدل به نحوی تنظیم گردیده که براساس فاصله زمانی اجرا شود و زمان عکس‌العمل رودخانه مساوی و یا کمتر از یک ماه می‌باشد. بنابراین هیچ‌گونه تأخیر فازی<sup>۱</sup> در رابطه با جریان آب و املاح بین هر دو ماه متوالی وجود ندارد. نمک ورودی به مناطق آبیگری، معادل حاصل ضرب میزان آب ورودی در تراز شوری می‌باشد. این مقدار نمک می‌تواند به آبهای زیرزمینی پیوسته و در گیاه و پروفیل خاک ذخیره شود که در این تحقیق برابر ۱۰

<sup>1</sup> Time Lag

<sup>2</sup> Root Mean Square Error (RMSE)

<sup>3</sup> Coefficient of Determination

جدول ۱- مقادیر متوسط سالانه آبیگری در حدفاصل ایستگاههای هیدرومتری، میزان جریان آب برگشتی و نمک تجمعی

نقاط برداشت	آبیگری	دبی متوسط سالانه (مترمکعب بر ثانیه)	میزان زه آب برگشتی (درصد)	تجمع نمک (درصد)
سد زاینده رود	شرب + پمپاژهای کوچک بارش	۱/۵	۲۰	۰
		۱	-	۰
سد تنظیمی	شرب + پمپاژهای کوچک بارش	۳	۲۰	۰
		۱/۲	-	-
پل زمانخان	شرب + پمپاژهای کوچک تصفیه خانه آب شرب اصفهان بزرگ بارش	۱/۷	۲۰	۱۰
		۳/۵	۸۰	۰
		۱/۲	-	-
پل کله	شبکه آبیاری مهبیار شبکه آبیاری نکوآباد - سمت چپ شبکه آبیاری نکوآباد - سمت راست پمپاژهای کوچک شرب + صنعت بارش	۱/۷	۱۰	۱۰
		۱۶/۴	۲۰	۱۰
		۶/۹	۲۰	۱۰
		۶/۳	۲۰	۱۰
		۲/۵	۵۰	۰
		۱/۲	-	-
		۱/۳	۲۰	۱۰
نکوآباد	شرب + صنعت بارش	۱/۴۵	۵۰	۰
		۱/۲	-	-
		۱/۱	۱۰	۱۰
موسیان	شبکه آبیاری برخوار چاههای فلمن (شرب) پمپاژهای کوچک شرب + صنعت شبکه آبیاری آبشار - سمت چپ شبکه آبیاری آبشار - سمت راست بارش	۲/۲	۸۰	۰
		۲/۷۵	۲۰	۱۰
		۰/۳۲	۵۰	۰
		۷/۲	۲۰	۱۰
		۷	۲۰	۱۰
		۱/۲	-	-
		۱۸/۹	۲۰	۱۰
پل چوم	پمپاژهای کوچک زهکش حائل سگری بارش	۱/۱	۲۰	۱۰
		۶	-	-
		۱/۲	-	-
ورزنه	تالاب گاوخونی	۱/۸	-	-

که در آن:

$X$  و  $Y$ : دبی های مشاهداتی و شبیه سازی شده (مترمکعب بر ثانیه) و

$\bar{X}$  و  $\bar{Y}$ : میانگین دبی های مشاهداتی و شبیه سازی شده (مترمکعب بر ثانیه) می باشند.

۳- سومین پارامتر آماری، تفاوت مطلق<sup>۱</sup> بین دبی های مشاهداتی و شبیه سازی شده می باشد. این پارامتر بیانگر حداکثر

خطا بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده می باشد و حد پایین آن صفر است.

داده های ورودی به مدل دو نوع اند: داده های مورد نیاز برای اجرای مدل که شامل مقادیر خروجی ماهانه از سد و آبیگریهای کشاورزی، شرب و صنعت می باشد و داده هایی که به منظور ارزیابی کارایی مدل<sup>۲</sup> به کار می رود. به عنوان مثال دبی جریان رودخانه در هر ایستگاه از این نوع می باشد. این مدل در یک دوره یازده ساله

<sup>2</sup> Verify Model Performance

<sup>1</sup> Absolute Difference

رودخانه شود شامل اصفهان، اژیه، فلاورجان، کلیشاد، قهدریجان، باغ بهادران، چمگردان، زرین شهر، سده لنجان و ورزنه می‌باشد. (ب) تأمین آب مورد نیاز شبکه‌های جدید الاحداث: در این حالت وضعیت کمی و کیفی آب رودخانه در صورت تخصیص آب به شبکه‌های جدید الاحداث به ویژه شبکه آبیاری ۴۵۰۰۰ هکتاری رودشت مورد بررسی قرار می‌گیرد. از اهداف دیگر این سناریو حفظ تراز شوری آب رودخانه در دو سطح ۲ و ۳ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- کارآیی مدل

بررسی‌های اولیه مدل، نشانگر دقت پایین تخمین دبی در بازه‌های انتهایی رودخانه (پل چوم - ورزنه) می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است، مقادیر دبی شبیه‌سازی شده در این مقاطع بالاتر از داده‌های مشاهداتی می‌باشد. ماهیت مناطق تحت آبیاری در مناطق انتهایی حوضه، مثال روشنی از وضعیت آبیاری در مناطق خشک و دارای معضل کمبود آب می‌باشد.

در این نواحی تا زمانی که آب در دسترس باشد، توسط زارعین مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و فصل آبیاری مشخص و معینی وجود ندارد. به هر حال دبی جریان در بازه‌های پایین دست هر چقدر افزایش یابد، به منظور حفظ مسائل زیست‌محیطی رودخانه نباید همه آب از رودخانه آبیاری شود [۲۰]. در این خصوص حد آستانه، حدود ۱/۸ مترمکعب بر ثانیه (۵۸ میلیون مترمکعب در

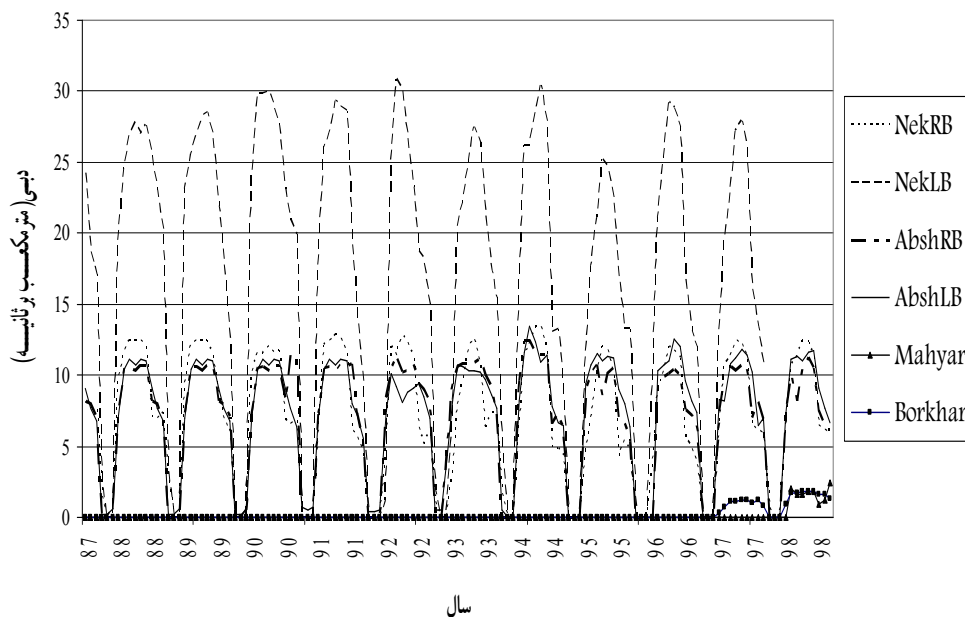
۱۹۹۸-۱۹۸۸) با مراحل زمانی ماهانه اجرا گردیده است. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، الگوی آبیاری در شبکه‌های آبیاری دارای تغییرات ناچیزی است. عملکرد مدل در هفت ایستگاه هیدرومتری و نقاط آبیاری، کنترل شده است. در خصوص سالهای فاقد آمار فرض شده پارامتر مورد نظر (دبی رودخانه، دبی آبیاری) در یک ماه معین، معادل میانگین همان ماه در سالهای دیگر فرض شده است.

#### ۳-۲- سناریوها

در این تحقیق، مدل WSBM به منظور تحلیل دو سناریوی محتمل مورد استفاده قرار گرفت:

الف) افزایش سهم آب شرب تخصیصی به اصفهان بزرگ: در این سناریو جمعیت اصفهان بزرگ شامل شهر اصفهان و دیگر شهرهایی که از طرح آبرسان از زاینده‌رود بهره‌مند می‌باشند از ۲/۵ میلیون نفر به ۳ میلیون نفر افزایش یافته است. همچنین فرض شده، در اثر ارتقای استانداردهای بهداشتی مصرف سرانه از ۱۲۰ به ۲۴۰ لیتر در روز افزایش یابد.

شهرهایی که آب شرب آنها توسط تصفیه‌خانه بابا شیخعلی و چاههای فلمن تأمین می‌شود، شامل اصفهان، خمینی شهر، تیران، زرین‌شهر، خورزوق، خوراسگان، درچه پیاز، شاهین‌شهر، فلاورجان، قهدریجان، هرنده، ورزنه، نایین، نجف‌آباد، فولادشهر، کوهپایه و جرقویه می‌باشند. همچنین شهرهایی که در حاشیه رودخانه زاینده‌رود قرار گرفته و فاضلاب آنها می‌تواند وارد



شکل ۳- الگوی آبیاریها در شبکه‌های آبیاری

سال) در نظر گرفته شده که روانه تالاب گاوخونی می‌گردد. با توجه به تبخیر زیاد تالاب، این حجم آب باید در طول سال در رودخانه جریان داشته باشد. تغییرات دبی جریان رودخانه برای این منظور بین ۰/۷ تا ۲/۴ مترمکعب بر ثانیه تخمین زده شده است. دبی‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل، در هفت ایستگاه در طول رودخانه مورد مقایسه قرار گرفتند (شکل ۴). که نتایج آماری آن در جدول ۲ ارائه شده است.

مقادیر شبیه سازی شده و مشاهداتی در مقاطع بالادست، دارای مطابقت بسیار خوبی بوده و این عملکرد رضایت بخش مدل، در حد فاصل ایستگاههای سد تنظیمی، پل زمانخان و پل کله معلول عدم آبیگری قابل ملاحظه بخش کشاورزی در این محدوده‌هاست. البته در بازه پل کله - نکوآباد با وجود آبیگری شبکه آبیاری نکوآباد (۲۵ مترمکعب بر ثانیه)، عملکرد مدل قابل قبول می‌باشد. فقط به طور استثنایی در بهار ۱۹۹۳ وقوع یک جریان حداکثر<sup>۱</sup> باعث انحراف و ایجاد تفاوت بین آمار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، گردید که شاید این واقعه در این ایستگاه ثبت نشده باشد. همین وضعیت در ایستگاههای پل چوم و ورزنه هم در پایین دست مشاهده می‌شود. به طور کلی دبی‌های محاسباتی را بالاتر از دبی‌های واقعی تخمین می‌زند. عملکرد مدل در بازه‌های بالادست بهتر از پایین دست ارزیابی شده است (شکل ۴) که مشابه نتیجه اخذ شده از مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی در همین حوضه می‌باشد [۱۱].

شکل ۵ وضعیت EC مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را در ایستگاههای مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، مقادیر دبی شبیه‌سازی و مشاهده شده در ایستگاه ورزنه با یکدیگر از همخوانی خوبی برخوردار نمی‌باشند که ماهیت مناطق تحت آبیاری در مناطق انتهایی حوضه (برداشت‌های بدون کنترل آب در بازه پل چوم و ورزنه) مثال روشنی از وضعیت آبیگری در این مناطق می‌باشد. همان‌طور که بیان شد، در این نواحی تا زمانی که آب در دسترس باشد توسط زارعین مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و فصل آبیاری مشخص و معینی وجود ندارد. به همین علت EC مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاههای هیدرومتری سد تنظیمی، پل زمانخان، پله کله، نکوآباد، موسیان و پل چوم از همبستگی بسیار بالایی برخوردار می‌باشند ولی این کمیتها در ایستگاه ورزنه دارای همبستگی پایین می‌باشند (شکل ۶).

به طور کلی نتایج به دست آمده از مدل WSBM نشان می‌دهد که مدل قادر است به عنوان مدل شبیه‌ساز تغییرات کیفیت آب در طول رودخانه مورد استفاده قرار گیرد که این موضوع نشانگر قابلیت و کارایی مدل برای آزمایش سناریوهای مختلف است.

ارزیابی کیفیت آب رودخانه (EC) در شکل ۵ ارائه شده است. تراز شوری در ایستگاههای بالادست حدود ۱ دسی زیمنس بر متر بوده و دارای نوسانات زیادی نمی‌باشد. این پارامتر کیفی در ایستگاههای میان حوضه بین ۲ تا ۳ دسی زیمنس بر متر برآورد گردیده در حالی که در قسمتهای انتهایی حوضه، شوری افزایش یافته و با متوسط ۸ دسی زیمنس بر متر دارای نوسانات بالایی است. در صورت وقوع شدت جریانهای بسیار ناچیز در رودخانه، نوسان شدید شوری در بخشهای پایانی حوضه مشاهده می‌شود. این مسئله در اواخر سال ۱۹۹۱ برای پل چوم و در اوایل همان سال برای ورزنه حادث گردید. میانگین مقادیر شوری به استثنای مقادیر حداکثر در حدود ۲/۵ و ۶/۵ دسی زیمنس بر متر به ترتیب برای پل چوم و ورزنه برآورد می‌گردد.

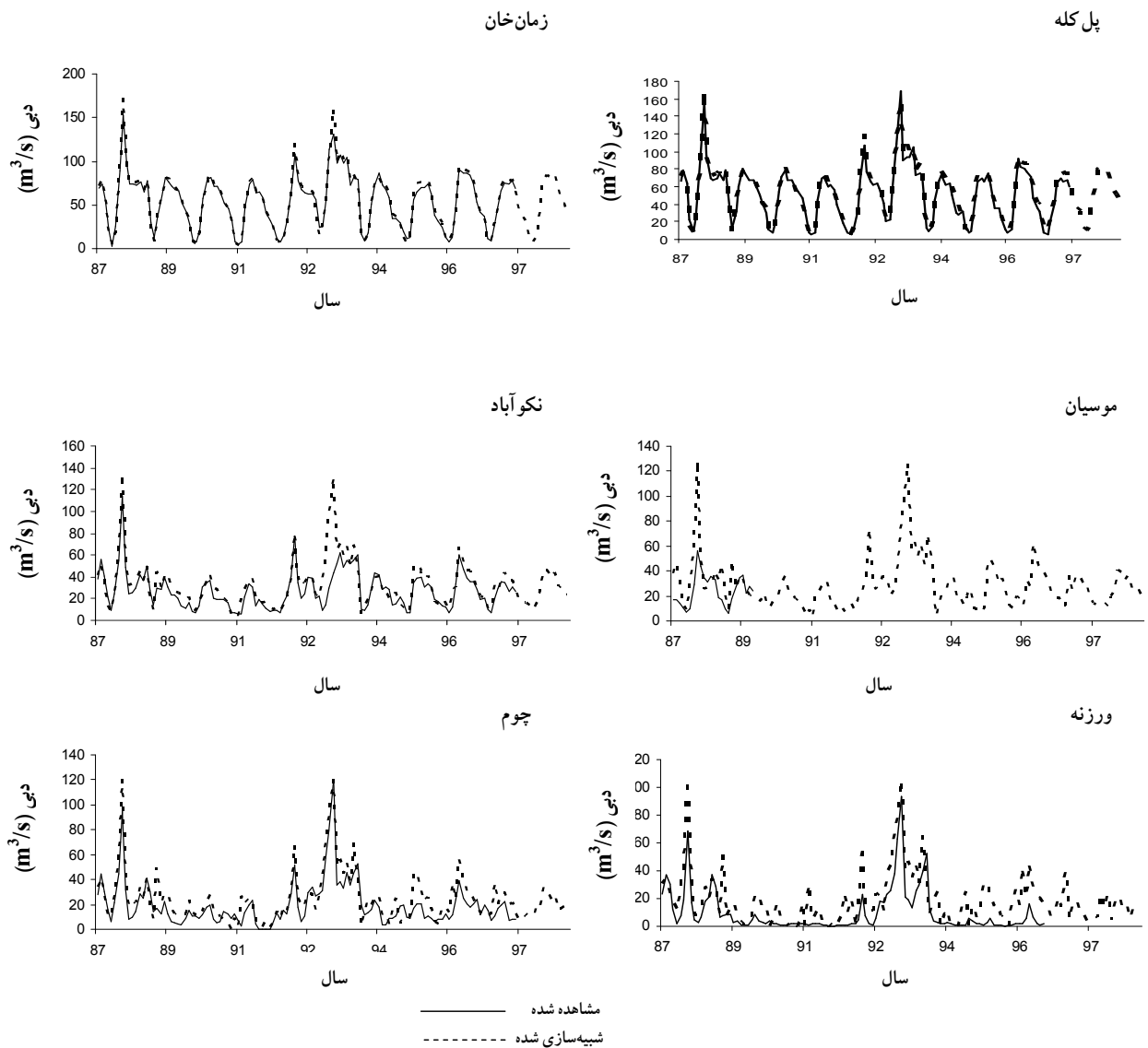
### ۳-۲- نتایج سناریوها

خشکسالیهای اخیر، تأمین نیازهای آب بخشهای مختلف حوضه را با مشکلات فراوانی روبرو ساخت، به طوری که تأمین آب بخشهای شرب و صنعت در اولویت تخصیص آب قرار گرفت [۴]. جدول ۳ ساختار مصرف آب استان در زمینه‌های مختلف، طی ۴۰ سال گذشته را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با گذشت زمان، تخصیص منابع آب به بخش کشاورزی کاهش یافته و آب تخصیص یافته به بخشهای شرب و صنعت روندی صعودی را طی می‌کند. در سناریوی اول، میزان آب تخصیص یافته به بخش شرب اصفهان بزرگ، از ۳/۵ به ۸/۴ مترمکعب بر ثانیه افزایش یافت، ولی درصد آب برگشتی در این حالت، ۸۰ درصد فرض گردید. با این فرض، آب آبیگری فقط به میزان ۱ مترمکعب بر ثانیه افزایش داشته است. نتایج مدل نشان داد افزایش آبیگری به منظور تأمین آب شرب، اثر چندان مهمی بر میزان جریان عبوری از رودخانه ندارد. نکته قابل تأمل این که افزایش آب برگشتی موجب تنزل کیفیت آب رودخانه شده و اثر منفی بر روی کشاورزی مناطق پایین دست حوضه خواهد داشت.

در سناریوی دوم، انتقال آب بین حوضه‌ای به منظور حمایت و تأمین آب شبکه‌های جدید الاحداث به ویژه شبکه آبیاری رودستین در انتهای حوضه و تأثیرات آن در کل حوضه مورد بررسی قرار گرفت. در این حالت، کل آب مورد نیاز شامل دو قسمت می‌باشد. ابتدا آبی که به منظور تأمین تقاضای شبکه‌های آبیاری جدید نیاز است و سپس حجمی از آب که برای حفظ شوری آب رودخانه تا حداکثر ۳ دسی زیمنس بر متر احتیاج می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد میانگین سالانه دبی خروجی از سد به منظور تأمین خواسته‌های فوق باید از ۵۲ به ۵۴ مترمکعب بر ثانیه

1 Peak Flow





شکل ۴- دبی‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در ایستگاههای هیدرومتری

جدول ۲- مقایسه آماری بین داده‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (دبی جریان)

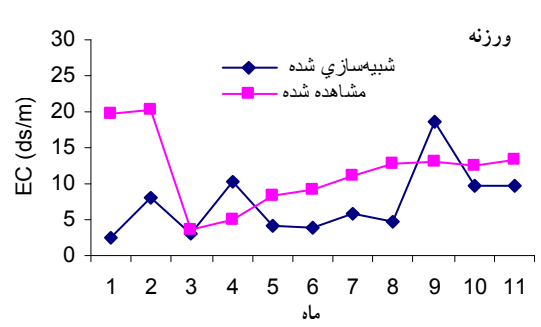
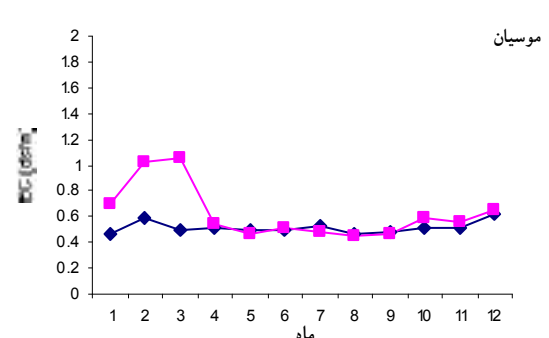
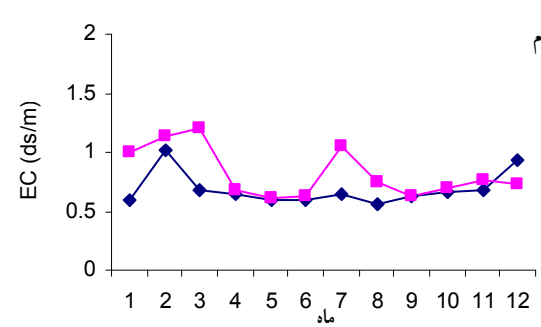
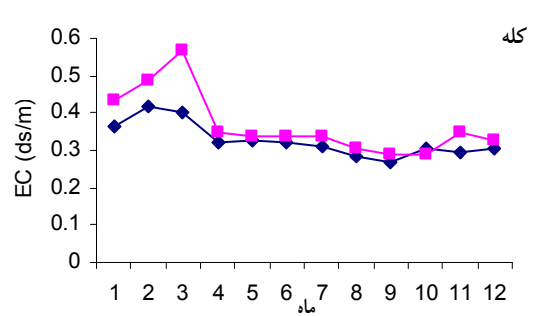
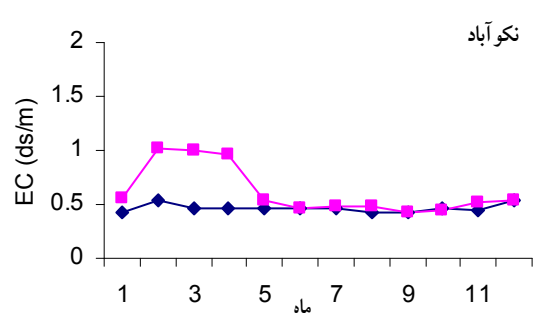
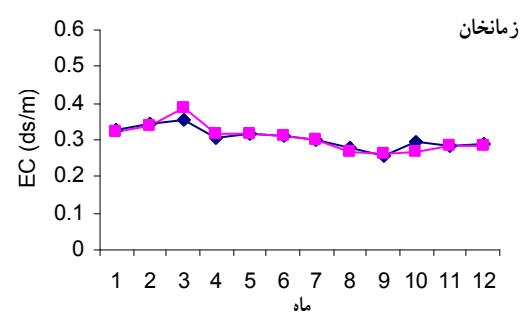
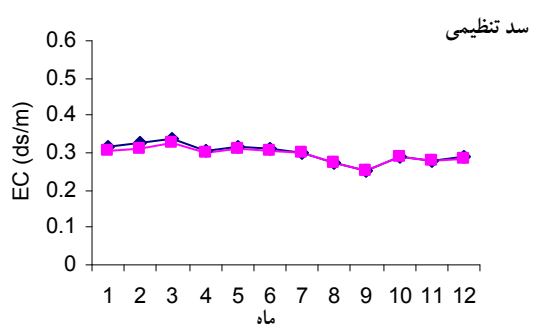
ایستگاه	RMSE (مترمکعب بر ثانیه)	$r^2$	تفاضل مطلق (مترمکعب بر ثانیه)
سد تنظیمی	۳/۸۷	۰/۹۹	۰/۶۷
پل زمانخان	۵/۰۹	۰/۹۸	۱/۶۳
پل کله	۵/۶۳	۰/۹۸	۳/۱۷
نکوآباد*	۱۳/۴۳	۰/۶۹	۵/۶۳
موسیان	۷/۴۸	۰/۷۱۰	۲/۸۵
پل چوم	۱۰/۶۵	۰/۸۱	۵/۷۸
ورزنه	۱۵/۴۸	۰/۶۷	۱۰/۱۸

\* مقادیر با صرف نظر کردن از خطاهای اندازه‌گیری در بهار ۱۹۹۳ عبارت‌اند از:

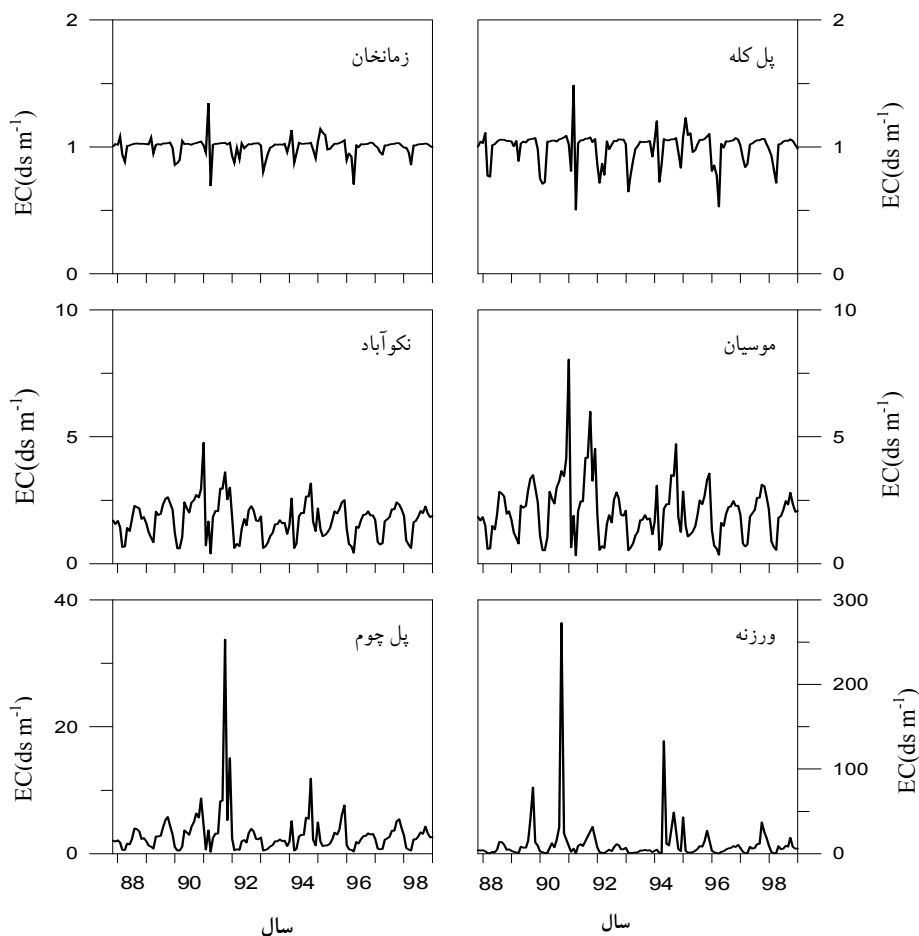
RMSE = ۸۹/۹ مترمکعب بر ثانیه

$r^2 = ۰/۶$  مترمکعب بر ثانیه

تفاضل مطلق = ۳/۵۶ مترمکعب بر ثانیه



شکل ۵- مقدار EC شبیه‌سازی و مشاهده شده در ایستگاههای هیدرومتری در سال ۱۹۹۸



شکل ۶- مقادیر EC شبیه سازی شده در طول مسیر رودخانه

جدول ۳- ساختار مصرف آب در بخشهای اصلی اقتصادی حوضه آبریز زاینده رود (درصد)

نوع مصرف	سال ۱۹۶۰	سال ۲۰۰۰	سال ۲۰۲۰ (پیش بینی)
کشاورزی	۹۸/۵	۹۲	۸۴
صنعت و معدن	۰/۴	۳/۴	۵
شرب	۱/۱	۴/۶	۱۱

ساده شده<sup>۱</sup> و شفاف<sup>۲</sup> این است که در دوره زمانی بسیار کوتاه سناریوهای نامحدودی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در سناریوی اول افزایش تقاضای آب شرب و بهداشت برای شهروندان اصفهان بزرگ، اثر قابل ملاحظه‌ای بر بیلان آبی حوضه ندارد. از دلایل این موضوع می‌توان به سهم پایین آب شرب نسبت به تخصیص آب کشاورزی و بالا بودن درصد آب برگشتی حاصل از مصارف خانگی (شرب و بهداشت) اشاره کرد. البته در این سناریو باید اثرات مخرب آب برگشتی که دارای خاصیت آلوده کنندگی و عامل تنزل کیفیت آب رودخانه می‌باشد، مورد توجه قرار

افزایش یابد. همچنین حداکثر دبی لازم در فصل آبیاری (حداکثر نیاز آب) بایستی از ۸۵ به ۸۸ مترمکعب بر ثانیه افزایش یابد. با توجه به معیار حفظ کیفیت آب رودخانه در سطح ۲ دسی زیمنس بر متر، تنظیم دبی متوسط رودخانه به میزان ۶۴ مترمکعب بر ثانیه و حداکثر نیاز آبی در ماه اوت (تیرماه) برابر ۱۱۲ مترمکعب بر ثانیه ضروری به نظر می‌رسد.

#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، با استفاده از دوره آماری ۱۱ ساله (۱۹۸۸-۱۹۹۸) نتایج قابل اطمینانی حاصل گردیده است. از محاسن این مدل

<sup>1</sup> Simplified

<sup>2</sup> Transparent

## ۵- قدردانی

همکاری و حمایت سازمانهای متعدد به ویژه شرکت آب منطقه‌ای اصفهان قابل تقدیر است. از آقایان مهندس غلامحسین حیدرپور (معاون بهره‌برداری)، مهندس عباس اسدی، مهندس اسداله ذهب‌صنّعی و مهندس جواد خورشیدی (کارشناسان آب منطقه‌ای) به خاطر همکاری در تهیه داده‌های مورد نیاز، دکتر پیتر دروگرز<sup>۲</sup> از اعضای گروه کاری پروژه IWMI، دکتر نادر حیدری هماهنگ‌کننده پروژه، مهندس مختار میران‌زاده و مهندس محسن احمدزاده به موجب مشاوره‌های صمیمانه و از سرکار خانم شیرانی‌نژاد برای حروف چینی دقیق مقاله قدردانی می‌شود.

<sup>2</sup> Peter Droogers

گیرد که در تحقیقات آینده لحاظ خواهد شد [۲۱]. در مورد سناریوی دوم که براساس توسعه شبکه‌های آبیاری جدید (به ویژه شبکه آبیاری رودشتین) و تأمین آب با کیفیت و کمیت مطلوب تدوین گردید، نتایج نشان داد با وجودی که میزان جریان آب ورودی به تالاب گاوخونی (انتهایی‌ترین نقطه حوضه) ناچیز و دارای کیفیت پایینی می‌باشد، ولی تمامی آب، مورد استفاده زارعین قرار می‌گیرد. کشت و زرع با چنین آبی (با غلظت نمک بالا)، مطمئناً کشاورزی پایدار در منطقه ۴۵۰۰۰ هکتاری رودشت را به مخاطره می‌اندازد. تأمین نیاز آبی منطقه و حفظ محیط زیست رودخانه و تالاب گاوخونی صرفاً با افزایش انتقال آب از حوضه‌های مجاور و با اجرای طرحهایی از قبیل تونل سوم کوه‌رنگ و چشمه‌لنگان امکان پذیر است. البته افزایش کارآیی مصرف آب گیاهان از دیگر راهکارها به شمار می‌رود.

<sup>1</sup> Water Use Efficiency

## ۶- مراجع

- 1- Salemi, H.R., and Murray, R.H. (2002). *Water supply and demand forecasting in the Zayanderood basin*, Research Paper, IWMI Collaborative Research Project, Iran, 13, 3-21.
- ۲- ذکایی آشتیانی، ه.، و ابریشم چی، ا. (۱۳۶۰). *مطالعه و برآورد آب قابل کنترل سد زاینده‌رود*، دانشگاه صنعتی اصفهان و سازمان آب منطقه‌ای اصفهان.
- ۳- اسلامی، م. (۱۳۷۴). *بیان حوضه آبخیز زاینده‌رود*، انتشارات سازمان آب منطقه‌ای اصفهان.
- ۴- بی‌نام. (۱۳۸۰). *خلاصه‌ای از شرایط بحرانی منابع آب حوضه آبخیز زاینده‌رود*، انتشارات سازمان آب منطقه‌ای اصفهان.
- 5- Anonymous. (2002). *Summary for policymakers*, Report of working group 1 of the Intergovernmental Panel on Climate, Canada.
- 6- Seckler, D. (1996). *The new era of water resources management*, Research Report 1, International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 1-18.
- 7- Pazira, E. (1999). *Land reclamation research on soil physico-chemical improvement by salt leaching in south western part of Iran*, Research Report, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran, 10-35.
- 8- Maier, H.R., and Dandy, G.C. (1996). "The use of artificial neural networks for the prediction of water quality parameters." *J. Water Resource Research*, 32(4), 1013-1022.
- 9- Voogt, D., Kite, G., Droogers, P., and Murray, R.H. (2000). "Modeling water allocation between a wetland and irrigated agriculture in the Gediz Basin Turkey." *J. Water Resources Development*, 16(4), 639-650.
- 10- Droogers, P., Akbari, M., and Torabi, M. (2000). *Exploring field scale salinity using simulation modeling, example for Rudasht area*, Research Report 2. IAER, IWMJ Iran, 1-16.
- ۱۱- میثاقی، ف.، و محمدی، ک. (۱۳۸۳). "پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شبکه‌های عصبی." *دومین کنفرانس ملی دانشجویی منابع آب و خاک*، دانشگاه شیراز، ۲۱۴-۲۲۱.
- 12- Bari, M.A., and Smetten, K. R. J. (2004). "A daily salt balance model for representing stream salinity generation process following land use change." *J. Hydrology and Earth System Science Discussion*, 2, 1147-1183.

- 13- Muller, D. K., and Osen, L.L. (1988). *Estimation of natural dissolved solids for upper Colorado river basin*, Water Resources Investigation Report, No. 87-4069, United States Geological Survey, Denver.
- 14- Prairie, J., Rajagopalan, R.B., Fulp, T. J., and Zagona, E.A. (2005). "Statistical nonparametric model for natural salt estimation." *J. Environmental Engineering ASCE*, 131, 130-138.
- 15- Viney, N.R. (2002). *Modeling surface water in the Ord river irrigation area, (ORIA) Technical Report*, No. 39/03, CSIRO, Land and Water, Perth, Australia.
- 16- Droogers, P., Salemi, H.R., and Mamanpush, A. (2000). "Exploring basin-scale salinity problems using a simplified water accounting model: The example of Zayanderood basin, Iran." *J. Irrigation and Drainage*, 50(4), 335-348.
- 17- Murray, R.H., Sally, H., Salemi, H.R., and Mamanpoush, A. (2001). *An overview of the hydrology of the Zayanderood basin*, Research Report, No. 3, IAERI-IWMI Iran.
- 18- Anonymous. (1992). *Design of Rudasht irrigation and drainage network*, Phase 1. Reclamation and Soil Survey Report, Zayandab Consultant Engineering, Ministry of Energy Press, 221.
- ۱۹- بی نام. (۱۳۷۵). *ارزیابی تکمیلی آبهای سطحی در حوضه آبخیز زایندهرود*، دفتر برنامه ریزی اقتصادی وزارت کشاورزی.
- ۲۰- کارآموز، م. (۱۳۸۱). *سیستم پشتیبانی در تصمیم گیری بهره برداری از سد زایندهرود و مدیریت خشکسالی*، سازمان آب منطقه ای و دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- 21- Safavi, H.R. (1995). "Quality control of urban runoff and sound management." *Proc. Regional Conference on Water Resources Management*, S.F. Mousavi and M. Karamooz, eds., Isfahan, Iran, August 28-30, 131-141.
- ★ برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب "بررسی مسائل شوری در رودخانه زایندهرود با استفاده از مدل WSBM" به شماره ۱۰۳-۲۰-۸۱۰۲۶.