

## چارچوبی برای ارزیابی عملکرد سامانه تغذیه مصنوعی در تغذیه آبخوان‌ها و مدیریت سیلاب مناطق خشک

علیرضا دهقانی<sup>۱</sup>، محمدابراهیم بنی‌حبیب\*<sup>۲</sup> و سامان جوادی<sup>۳</sup>  
<sup>۱</sup> دانشجوی ارشد مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، <sup>۲</sup> دانشیار، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان و  
<sup>۳</sup> استادیار، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۶

### چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل کمبود آب‌های سطحی، آبخوان‌ها مهمترین منبع برای تامین آب بوده و یکی از راه‌حل‌های مهندسی برای بهره‌برداری از سیلاب برای بهبود وضعیت منابع آب زیرزمینی، اجرای سامانه‌های تغذیه مصنوعی بوده، بررسی عملکرد این سامانه‌ها از لحاظ تغذیه دارای اهمیت است. هدف مطالعه حاضر، ارائه یک چارچوب مدل محور بر مبنای چند شاخص کمی نظیر راندمان تغذیه و نرخ تسکین سیل برای بررسی عملکرد سامانه تغذیه مصنوعی است. با توجه به قابلیت‌های مدل‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و نفوذ در بررسی اثر سیلاب بر سامانه‌های مدیریت تغذیه آبخوان دارا می‌باشند، از تلفیق این مدل‌ها در برآورد شاخص‌ها استفاده شد. در نهایت با تعیین شاخص‌های یاد شده برای سیلاب‌هایی با دوره بازگشت مختلف، مقدار متوسط آن‌ها با استفاده از رابطه امید ریاضی تعیین شد. طبق نتایج حاصل شده، سامانه مورد بررسی (تغذیه مصنوعی امام‌زاده عبدالله سرخه) از نظر دو شاخص راندمان تغذیه و نرخ تسکین سیل در رخدادهایی با فراوانی وقوع بیش از ۰/۲ عملکرد مناسبی داشته است و مقدار متوسط این دو شاخص به ترتیب برابر با ۰/۵۴ و ۰/۹۳ به دست آمده است. با توجه به مدل محور بودن چارچوب پیشنهادی، روش این تحقیق قابلیت کاربرد در موارد مشابه را دارا می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آبخوان‌داری، آب زیرزمینی، راندمان تغذیه، مناطق خشک و نیمه‌خشک، نرخ تسکین سیل

### مقدمه

آبراهه‌ها به صورت فصلی بوده و اصلی‌ترین منبع تأمین آب برای توسعه اقتصادی و اجتماعی منطقه، منابع آب زیرزمینی است (Hashemi و همکاران، ۲۰۱۳). امروزه به دلیل استخراج و بهره‌برداری بیش از حد منابع آب زیرزمینی نسبت به تغذیه آن‌ها، منجر به افت و محدودیت این منابع شده است (Ebrahimi و همکاران، ۲۰۱۶؛ Kalantari و همکاران، ۲۰۰۹). لذا، مهار سیلاب و بهره‌وری از آن در جهت تغذیه منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند

در مناطق با اقلیم خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، عمده نزولات جوی به صورت بارش‌های کوتاه‌مدت با شدت زیاد است که باعث رخداد سیل می‌شوند. در نتیجه، وقوع چنین رویدادهایی ممکن است از یک‌سو خسارات جبران‌ناپذیری برای محیط زیست در پی داشته، از سوی دیگر، رواناب حاصل از آن‌ها از دسترس خارج شود (Hashemi و همکاران، ۲۰۱۵). در این مناطق، منابع آب سطحی نظیر

۸۱ درصد تغذیه از حجم رواناب مازاد بوده است. با استفاده از روندیابی جریان در مخزن با مدل HEC-HMS مطالعه‌ای بر روی مخازن تأخیری حوضه رودخانه جعفرآباد از توابع استان گلستان با هدف ارزیابی دو شاخص نرخ تسکین سیل و نسبت ذخیره صورت گرفت. نتایج تحقیق نشان داده که بهره‌وری مخازن تأخیری در مهار سیل به حجم مخازن و سیلاب مرتبط است (Kaboosi و همکاران، ۲۰۱۷). در حوضه رودخانه Chomutovka در کشور چک مطالعه‌ای برای بررسی اثر مخازن کوچک بر رژیم سیل حوضه، با مدل HEC-HMS تحت دو سناریو حوضه فاقد مخازن و حوضه دارای مخازن صورت پذیرفت. نتایج مدل نشان‌دهنده کاهش دبی اوج خروجی به میزان ۴۲ درصد در حالت حوضه دارای مخازن نسبت به حالت حوضه فاقد مخازن بوده است (Jeníček، ۲۰۰۸). در حوضه رودخانه Menderes در کشور ترکیه برای ارزیابی پتانسیل اجرای طرح تغذیه مصنوعی به دو روش حوضچه‌ای و سد زیرزمینی در جهت بهبود منابع آب زیرزمینی از مدل SEEP\W برای شبیه‌سازی جریان آب زیرسطحی استفاده شد. این مدل تحت سناریو نفوذ از بارش با احتمالات مختلف اجرا شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که اجرای سامانه تغذیه مصنوعی به دو روش فوق منجر به افزایش سطح آب زیرزمینی می‌شود (Sayit و Yazicigil، ۲۰۱۲). این تحقیقات نشان می‌دهند که مدل‌ها می‌توانند در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و نفوذ در تاسیسات آبی از جمله طرح‌های تغذیه مصنوعی به‌عنوان ابزار کارآمد مورد استفاده قرار گیرند.

با توجه به مقبولیت مطالعات مدل‌سازی در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و نفوذ در سامانه‌های آبی، در مطالعه حاضر ضمن تلفیق این مدل‌ها به‌منظور روندیابی جریان در حوضچه‌های سامانه تغذیه مصنوعی امام‌زاده عبدالله واقع در استان سمنان، یک چارچوب مدل محور بر مبنای چند شاخص کمی برای بررسی عملکرد سامانه‌های تغذیه مصنوعی در مهار سیلاب و بهره‌وری آن با هدف تغذیه ارائه شده است. شاخص‌ها شامل بازده آگیری، بازده تغذیه، ضریب ذخیره و نرخ تسکین سیل می‌شوند.

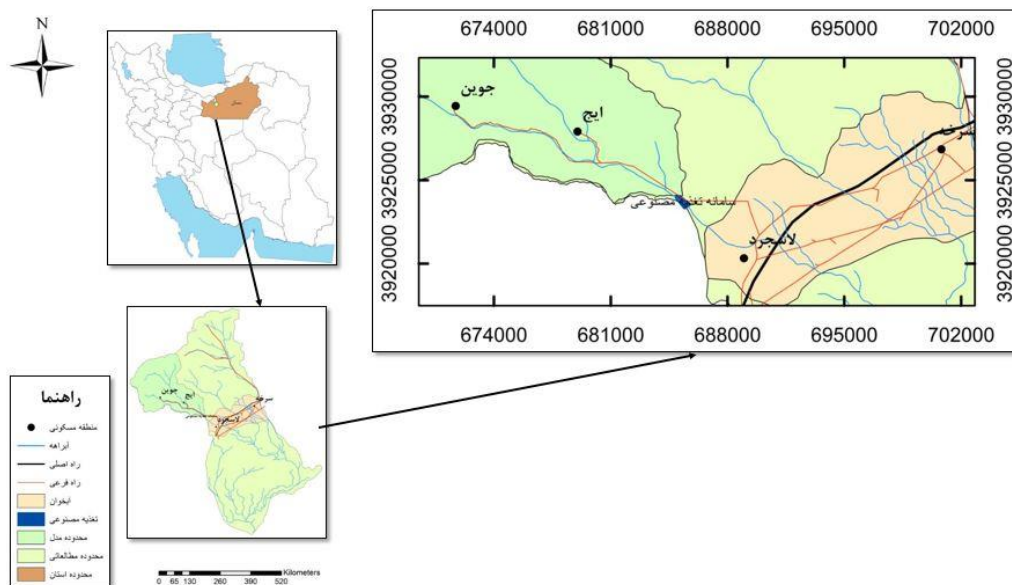
در بهبود این منابع موثر واقع شود. در همین راستا اجرای سامانه‌های تغذیه مصنوعی پیشنهاد می‌شود (Kaboosi و همکاران، ۲۰۱۷؛ Kavuri و همکاران، ۲۰۱۱). از اهداف اجرای این طرح‌ها، می‌توان به مهار سیل، حفاظت و توسعه محیط زیست و بهبود کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی اشاره کرد (Asano، ۱۹۸۵؛ Todd و Mays، ۲۰۰۵). تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی به‌عنوان یک راهبرد با ارزش در مدیریت منابع آب قلمداد می‌شود (Tizro و همکاران، ۲۰۱۱).

مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان یک ابزار مفید برای ارزیابی سامانه‌های تغذیه آبخوان (MAR) به‌کار برده شوند. مطالعات مدل‌سازی از جمله مدل‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و نفوذ، در تعیین مقدار رواناب سطحی برای محدوده طرح‌های تغذیه مصنوعی و ارزیابی مکان مناسب برای اجرا و بهینه‌سازی این طرح‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Ringleb و همکاران، ۲۰۱۶). Mendes و Maia (۲۰۱۶) برای پیش‌بینی جریان سیلاب در حوضه رودخانه Modego واقع در کشور پرتغال از مدل HEC-HMS استفاده کردند که نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل دقت قابل قبول مدل را در پیش‌بینی سیل نشان می‌دهد. در حوضه Ain Seft در کشور الجزایر با شرایط اقلیمی خشک، جهت محاسبه مقدار رواناب حاصل از بارش-هایی با فراوانی وقوع مختلف، از مدل HEC-HMS و از مولفه‌های شماره منحنی SCS و آبنمود واحد SCS به‌ترتیب برای برآورد بارش مازاد و حجم رواناب استفاده شد (Derdour و همکاران، ۲۰۱۷). برای ارزیابی احتمال سیل در حوضه Bagmati واقع در کشور نپال، از دو مدل HEC-HMS و HEC-RAS برای تجزیه و تحلیل بارش-رواناب منطقه و تهیه نقشه سیلاب دشت استفاده شد (Kafle و همکاران، ۲۰۰۷). Banihabib و همکاران (۲۰۱۰) به‌منظور بررسی راندمان یک سامانه تغذیه مصنوعی و بهینه‌سازی ابعاد اصلی آن واقع در استان سمنان، مدل‌های HEC-HMS و HEC-RAS را برای شبیه‌سازی آبنمود و سطح جریان سیلاب‌هایی با دوره بازگشت مختلف مورد استفاده قرار دادند و همچنین، مقدار نفوذ به‌وسیله سیلاب را با روش اچه‌وری که یک روش تقریبی است محاسبه نمودند. نتایج این تحقیق بیانگر

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** منطقه مورد مطالعه، زیرحوضه رودخانه امامزاده عبدالله بوده که در محدوده طول جغرافیایی  $52^{\circ} 47'$  تا  $53^{\circ} 30'$  و عرض جغرافیایی  $35^{\circ} 26'$  تا  $35^{\circ} 36'$  با مساحت تقریبی  $256/65$  کیلومتر مربع در محدوده مطالعاتی سرخه واقع شده است (شکل ۱). محدوده مطالعاتی سرخه با مساحتی در حدود  $1615$  کیلومتر مربع در شمال غرب حوزه آبخیز کویر مرکزی و در استان سمنان قرار دارد که دارای یک آبخوان آزاد با بیشینه ضخامت لایه آبرفت برابر با  $200$  متر و متوسط ضخامت لایه اشباع در حدود  $50$  متر می‌باشد. این منطقه تحت تأثیر جریان‌های هوایی سیبری و آتلانتیک بوده که باعث بروز بارش‌های فصلی در منطقه می‌شود که طبق گزارشات هواشناسی متوسط بارش سالانه در این محدوده برابر با  $149/8$  میلی‌متر و متوسط درجه حرارت آن  $14/8$  درجه سانتی‌گراد است و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه شرایط اقلیمی آن از نوع

خشک سرد می‌باشد (Arab و Banihabib، ۲۰۰۸). همچنین، بر اساس گزارشات بیلان منطقه میزان تبخیر از سطح آزاد آب سالانه  $1661/3$  می‌باشد. مصرف آب در این محدوده مطالعاتی برابر با  $26/96$  میلیون مترمکعب بوده است که تنها  $2/12$  میلیون مترمکعب آن به‌وسیله جریان‌های سطحی و مابقی از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود. به‌طوری که در محدوده مرز آبخوان میزان مصرف از منابع آب زیرزمینی در حدود  $18/61$  میلیون مترمکعب بوده است که به‌دلیل افت سطح آب زیرزمینی و ممنوعه اعلام شدن آبخوان سرخه، سامانه تغذیه مصنوعی بر روی محور رودخانه امامزاده عبدالله و بالادست مرز ورودی جریان آب زیرزمینی آبخوان اجرا شده است که این رودخانه به‌عنوان منبع اصلی تأمین آب سامانه تحت شرایط اقلیمی منطقه به‌صورت یک رودخانه فصلی عمل نموده، فقط در سال یکی دو بار سیلابی می‌شود (Banihabib و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی سامانه تغذیه مصنوعی امامزاده عبدالله

## مشخصات سامانه و تاسیسات تغذیه مصنوعی:

سامانه تغذیه مصنوعی امامزاده عبدالله به روش حوضچه‌ای بوده که گنجایش آن در حدود  $350$  هزار مترمکعب می‌باشد. این طرح، در ورودی خود از سه قسمت سد انحرافی، مجرای آبگیری و مجرای تخلیه

رسوب تشکیل شده است. سد انحرافی دارای یک سرریز اوجی می‌باشد که در سمت راست آن مجرای تخلیه رسوب و مجاری آبگیری که شامل پنج روزنه مستطیلی قرار گرفته‌اند. مجاری آبگیر، نقش آبگیری برای حوضچه‌های تغذیه را ایفا می‌کنند. مشخصات

جانمایی اجزای سامانه تغذیه مصنوعی را نشان می‌دهد (Banihabib و همکاران، ۲۰۱۰).

**اطلاعات و داده‌ها:** اطلاعات مورد نیاز برای این تحقیق از طریق نقشه‌ها، بازدید میدانی، آمار و مطالعات صورت گرفته در محدوده مطالعاتی استخراج شده است. جدول ۳، نوع و منابع این اطلاعات را نشان می‌دهد. نوع جنس لایه آبرفت در ساختمان طرح شن با دانه‌بندی بد همراه با لای و ماسه بوده، هدایت هیدرولیکی در محدوده طرح به‌طور متوسط برابر با ۴/۷۷ متر بر روز می‌باشد. همچنین، بر اساس بانک سیل سازمان آب منطقه‌ای سمنان اطلاعات مربوط به دبی اوج سه رخداد سیل مشاهداتی در محل ساختمان طرح در جدول ۴ ارائه شده است.

مربوط به ساختمان سامانه تغذیه مصنوعی در جدول ۲ ارائه شده است. این طرح شامل دو حوضچه رسوبگیر و پنج حوضچه تغذیه بوده که به‌صورت متوالی و در راستای محور طولی رودخانه قرار گرفته‌اند. در این نوع سامانه‌ها نوع جانمایی حوضچه‌ها به این صورت است که دو حوضچه اول به‌عنوان حوضچه رسوبگیر و دیگر حوضچه‌ها نقش حوضچه تغذیه را ایفا می‌کنند (Todd و Mays، ۲۰۰۵)، لذا، دو حوضچه اول در این تحقیق نفوذ ناپذیر در نظر گرفته شده‌اند. در اطراف حوضچه‌ها گورهایی به ارتفاع ۳/۵ متر واقع شده است. عملکرد این حوضچه‌ها شبیه حوضچه‌های تاخیری بوده و ارتباط هیدرولیکی جریان بین حوضچه‌ها به‌وسیله سرریز و روزنه‌های تعبیه شده در آن که در انتهای هر حوضچه واقع شده‌اند، برقرار می‌شود. شکل ۲، نقشه

جدول ۲- مشخصات ساختمان سامانه تغذیه مصنوعی

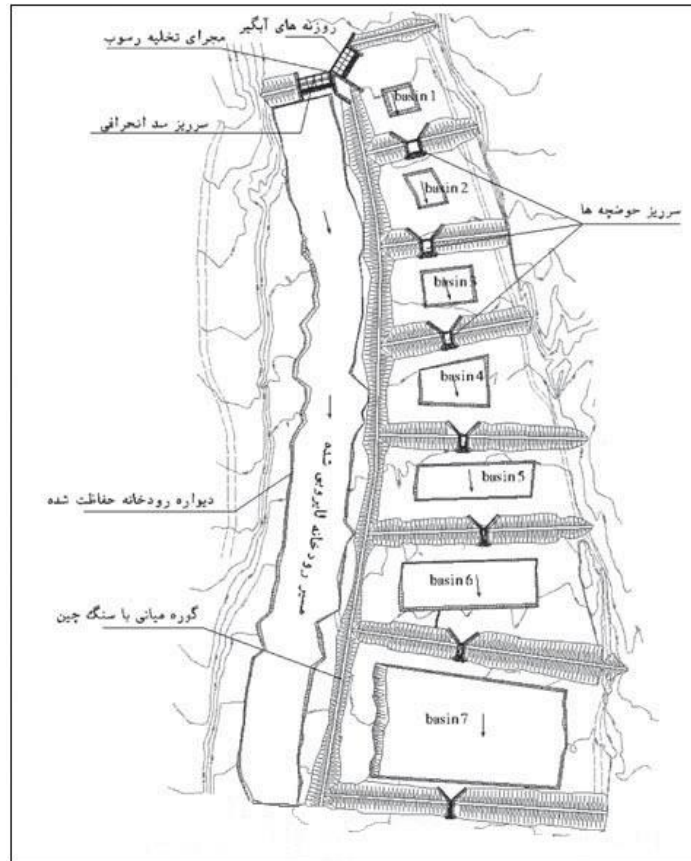
مقدار	واحد	مشخصات
۱۴۳۴/۵	متر	تراز تاج سد انحرافی
۳۰	متر	طول سد انحرافی
۲/۵	متر	ارتفاع سد انحرافی
۱۴۳۲/۸	متر	تراز مجرای رسوبگیر
۱	متر	طول مجرای رسوبگیر
۱۴۳۳/۵	متر	تراز مجرای آبگیر
۴	متر	طول مجرای آبگیر
۰/۶	متر	عرض مجرای آبگیر

جدول ۳- نوع و منابع اطلاعات استفاده شده در تحقیق

منابع	نوع داده
سازمان آب منطقه‌ای سمنان	داده‌های هیدرولوژیکی
سازمان آب منطقه‌ای سمنان	نقشه محدوده مطالعاتی
سازمان آب منطقه‌ای سمنان	گزارش بیلان
مطالعات تامین آب از رودخانه امامزاده عبدالله	اطلاعات ژئوتکنیک
مطالعات تامین آب از رودخانه امامزاده عبدالله	نقشه کاربری اراضی
مطالعات تامین آب از رودخانه امامزاده عبدالله	نقشه توپوگرافی
مطالعات تامین آب از رودخانه امامزاده عبدالله	نقشه و ابعاد سامانه تغذیه مصنوعی
مطالعات تامین آب از رودخانه امامزاده عبدالله	اطلاعات بارش طرح

جدول ۴- اطلاعات مربوط به زمان و مقدار دبی اوج سیلاب مشاهداتی

تاریخ وقوع	دبی اوج سیلاب ( $m^3s^{-1}$ )
۱۳۹۴/۰۶/۲۷	۱۶
۱۳۹۵/۰۱/۰۸	۹/۷
۱۳۹۶/۰۱/۱۴	۶/۳



شکل ۲- نقشه جانمایی اجزای سامانه تغذیه مصنوعی (Banihabib و همکاران، ۲۰۱۰)

بازگشت‌های مختلف آبنمود سیلاب‌های متناظر با آن‌ها در ساختگاه سامانه تعیین شد. به‌منظور بررسی عملکرد مجاری آبگیر سامانه تغذیه مصنوعی در امر آبگیری سیلاب، شاخص راندمان آبگیری محاسبه شد که در بخش محاسبه شاخص‌ها (رابطه ۲) توضیح داده شده است. به همین دلیل، برای تعیین حجم دریافتی سیلاب به‌وسیله مجاری آبگیر سامانه از مدل هیدرولیکی (HEC-RAS) استفاده شده است. با تعریف مشخصات و تراز ارتفاعی اجزای ورودی سامانه در این مدل و اجزای آن برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در ساختگاه

**تشریح چارچوب تحقیق:** برای بررسی عملکرد سامانه تغذیه مصنوعی در بهره‌برداری سیلاب، ابتدا نیاز است که آبنمود سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف، در محدوده طرح تعیین شود. از این‌رو، اطلاعات هیدرولوژیکی حوزه آبخیز محدوده سامانه جمع‌آوری و سپس مدل بارش-رواناب حوزه آبخیز در محیط مدل HEC-HMS تهیه شده است. با در نظر گرفتن داده‌های مشاهداتی رخداد سیلاب‌های گذشته در محدوده ساختگاه سامانه، دقت مدل طی مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه، با توجه به اطلاعات بارش طرح برای دوره

مدل، برای هر عنصر در طبیعت یک عنصر تعریف شده است که دارای مولفه‌های گوناگون برای محاسبه رواناب مازاد و روندیابی جریان است (William و Matthew، ۲۰۱۰). با توجه به این که در این تحقیق منبع سطحی تامین آب سامانه تغذیه مصنوعی امامزاده عبدالله، حوزه آبخیز رودخانه امامزاده عبدالله می‌باشد، ابتدا طرح شماتیک این حوضه در محیط مدل HEC-HMS تهیه شد. سپس، از روش‌های شماره منحنی SCS، آبنمود واحد SCS و ماسکینگام-کونژ به ترتیب برای محاسبه بارش مازاد، حجم جریان و روندیابی جریان در آبراهه‌ها برای شبیه‌سازی رواناب حوضه مورد مطالعه استفاده شده است. تعیین مقادیر پارامترهای هر روش به دو روش (۱) از طریق مشاهده و اندازه‌گیری ویژگی‌های حوضه و (۲) تخمین زدن و تدقیق نمودن مقدار آن به وسیله فرایند واسنجی صورت پذیرفته است (Maia و Mendes، ۲۰۱۶). با استفاده از اطلاعات جدول ۴ و رابطه (۱) که بیانگر شاخص آماری میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MARE)<sup>۱</sup> است، مدل مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت (Choudhari و همکاران، ۲۰۱۴). سپس، آبنمود مربوط به بارش‌های طرح با دوره بازگشت‌های مختلف در ساختگاه سامانه شبیه‌سازی شده است.

برای بررسی روندیابی جریان سیلاب در حوضچه‌های تغذیه مصنوعی به منظور برآورد ذخیره و مقدار نفوذ در سامانه، یک مدل مجزا با عنصر منبع در محیط مدل HEC-HMS تهیه شد. سپس، با در نظر گرفتن روش منحنی حجم-سطح-ارتفاع و مولفه‌های نشت از مخزن و تبخیر در مدل فوق با استفاده از اطلاعات خروجی دو مدل HEC-RAS و SEEP\W مدل اجرا و مقادیر حجم ذخیره شده و نفوذ یافته از طریق سامانه تعیین شد. ضمناً در مدل عنصر منبع فقط پنج حوضچه تغذیه در نظر گرفته شد و از دو حوضچه ابتدایی که نقش رسوبگیر در سامانه ایفا می‌کنند، صرف نظر شده است.

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_{oi} - Q_{ci}|}{n} \quad (1)$$

که در آن،  $Q_{oi}$  دبی اوج مشاهداتی رویداد نام،  $Q_{ci}$  دبی اوج محاسباتی رویداد نام و  $n$  تعداد رویداد می‌-

سامانه، آبنمود سیلاب ورودی به مجاری آبرگیر سامانه در دوره بازگشت‌های مختلف تعیین شد. سپس، با توجه به نتایج دو مدل HEC-HMS و HEC-RAS مقدار بازده آبرگیری برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. در نهایت، مقدار متوسط این شاخص برای بررسی کلی عملکرد مجاری آبرگیر سامانه تعیین شده است.

به منظور بررسی مقدار نفوذ در حوضچه‌های تغذیه سامانه، از مدل SEEP\W استفاده شده است. با ارائه اطلاعات هیدروژئولوژیکی بستر سامانه و ابعاد حوضچه‌های تغذیه سامانه تغذیه مصنوعی به مدل SEEP\W، برای عمق‌های مختلف آب در حوضچه‌ها مقدار دبی نفوذیافته متناظر با آن محاسبه شده است. بنابراین، برای هر حوضچه تغذیه یک رابطه ارتفاع-دبی نفوذ یافته تعیین شد.

در پایان، به منظور بررسی عملکرد کلی سامانه تغذیه مصنوعی از لحاظ تغذیه و مهار سیلاب مقدار متوسط چند شاخص کمی شامل نسبت ذخیره، راندمان تغذیه و نرخ تسکین سیلاب تعیین شده است. به همین منظور، مدل بارش-رواناب با استفاده از عنصر منبع در مدل HEC-HMS، برای شبیه‌سازی روندیابی جریان سیلاب در حوضچه‌های سامانه تغذیه مصنوعی تهیه شد. اطلاعات خروجی دو مدل هیدرولیکی و نفوذ در عنصر منبع استفاده شده است. با شبیه‌سازی این مدل، آبنمود خروجی از سامانه و مقدار احجام ذخیره شده و نفوذ یافته در حوضچه‌های سامانه محاسبه شد. سرانجام با محاسبه شاخص‌های ضریب ذخیره، راندمان تغذیه و نرخ تسکین سیلاب برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف، مقادیر متوسط این شاخص‌ها تعیین شد. شکل ۳، روند نما چارچوب این تحقیق را نشان می‌دهد.

**شبیه‌سازی با مدل HEC-HMS:** برای شبیه‌سازی آبنمود سیلاب در ساختگاه سامانه تغذیه مصنوعی و روندیابی جریان سیلاب در حوضچه‌های آن از مدل HEC-HMS استفاده شده است. مدل HEC-HMS یک مدل مفهومی بوده که قادر به شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌های مختلف است. از قابلیت‌های این مدل، شبیه‌سازی وقایع تک‌رخداد و انعطاف‌پذیر بودن آن برای مدل‌سازی حوضه‌های فاقد آمار می‌باشد. در این

<sup>1</sup> Mean Absolute Relative Error

شرایط مرزی و نوع شبکه‌بندی می‌باشد (John, ۲۰۰۴). ابتدا پلان مربوط به پروفیل طولی تاسیسات سامانه نظیر پنج حوضچه تغذیه، گوره‌های حدواسط آن‌ها و ضخامت آبرفت قرار گرفته در زیر سطح آن، در محیط مدل SEEP\W ترسیم شد. سپس، با توجه به مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع و نوع مصالح آبرفت و گوره‌های سامانه تابع هدایت هیدرولیکی و محتوای حجمی آب برای مدل تعریف شد. برای سطح کف هر حوضچه شرط مرزی برابر با ارتفاع آب در حوضچه و در قسمت خروجی سامانه تغذیه مصنوعی در مقطع آبرفت به‌دلیل خروج آب زیرزمینی و ورود آن به آبخوان شرط مرزی جبهه تراوش در نظر گرفته شد. شبکه المان محدود به‌صورت سه گره و چهار گره انتخاب شد. مدل برای ارتفاعات مختلف آب در حوضچه‌های سامانه، برای شبیه‌سازی مقدار نشت در مقطع جبهه تراوش اجرا شده است. نتایج مدل، بیانگر رابطه ارتفاع-جریان نفوذ یافته برای حوضچه‌های تغذیه در سامانه بوده است که به‌عنوان ورودی برای عنصر مخزن در مدل HEC-HMS انتخاب شد.

**محاسبه شاخص‌ها:** پس از تعیین مقدار آبنمود سیلاب‌ها در محل ساختگاه طرح و مجاری آبخیز سامانه در دوره بازگشت‌های مختلف مقدار شاخص راندمان آبخیزی محاسبه می‌شود. راندمان آبخیزی ( $\alpha$ ) به‌صورت مقدار حجم ورودی به حوضچه‌های سامانه نسبت به حجم سیلاب ورودی به ساختگاه سامانه بیان می‌شود. این شاخص برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد و با برازش منحنی مناسب بین مقادیر آن و فراوانی وقوع هر سیلاب مقدار میانگین آن بر اساس رابطه امید ریاضی به‌صورت رابطه (۲) به‌دست آمده است (Banihabib و همکاران، ۲۰۱۰).

$$\bar{\alpha} = \int_0^1 \alpha \cdot f \cdot df \quad (2)$$

که در آن،  $\alpha$  راندمان آبخیزی،  $\bar{\alpha}$  متوسط راندمان آبخیزی و  $f$  فراوانی وقوع سیلاب می‌باشد.

با در نظر گرفتن مقدار حجم سیلاب ورودی به ساختگاه سامانه و نتایج شبیه‌سازی روندیابی جریان در حوضچه‌ها مقدار نسبت ذخیره محاسبه می‌شود. نسبت ذخیره (RS) به‌صورت نسبت حجم ذخیره شده در حوضچه‌های سامانه به حجم سیلاب ورودی به ساختگاه سامانه تغذیه مصنوعی تعریف می‌شود

باشد. ضمناً مدلی از دقت مناسب برخوردار است که مقدار MARE آن نزدیک به مقدار صفر باشد.

**شبیه‌سازی با مدل HEC-RAS:** به‌منظور تعیین آبنمود سیلاب ورودی به حوضچه‌های سامانه تغذیه مصنوعی، از ماژول سازه‌های در مسیر<sup>۱</sup> در مدل HEC-RAS استفاده شده است. مدل HEC-RAS یک مدل تک بعدی است که برای شبیه‌سازی جریان هیدرولیکی رودخانه در شرایط ماندگار و غیرماندگار کاربرد دارد. این مدل قادر به مدل‌سازی پروفیل سطح آب در بستر آبراهه‌ها و سازه‌های موجود در این محیط نظیر مخازن، آبگیرها و پایه‌های پل و غیره است. معادله حاکم بر این مدل برای شبیه‌سازی پروفیل سطح آب، معادله انرژی در حالت تک بعدی می‌باشد که مهمترین پارامتر آن ضریب مانینگ است (Castro Bolinaga, ۲۰۱۲; Staff, ۲۰۰۸). در پژوهش حاضر، اطلاعات مربوط به مقطع عرضی ساختگاه طرح تغذیه مصنوعی و مقدار ارتفاع و ابعاد سرریز اوجی، تاج سد، مجرای تخلیه رسوب و مجراهای آبخیزی با استفاده از ماژول سازه در مسیر مدل HEC-RAS در محیط مدل HEC-RAS تعریف شد. سپس، با ارائه آبنمود سیلاب‌های مختلف به مدل در ساختگاه سامانه مقدار جریان تقسیم شده بین سرریز اوجی، مجرای آبخیز و مجرای تخلیه رسوب، آبنمود سیل ورودی به قسمت حوضچه‌های سامانه برای دوره بازگشت‌های مختلف شبیه‌سازی و تعیین شد. از آبنمود سیلاب ورودی به حوضچه‌های سامانه در مدل HEC-HMS با عنصر منبع برای روندیابی جریان سیلاب در حوضچه‌ها استفاده شد.

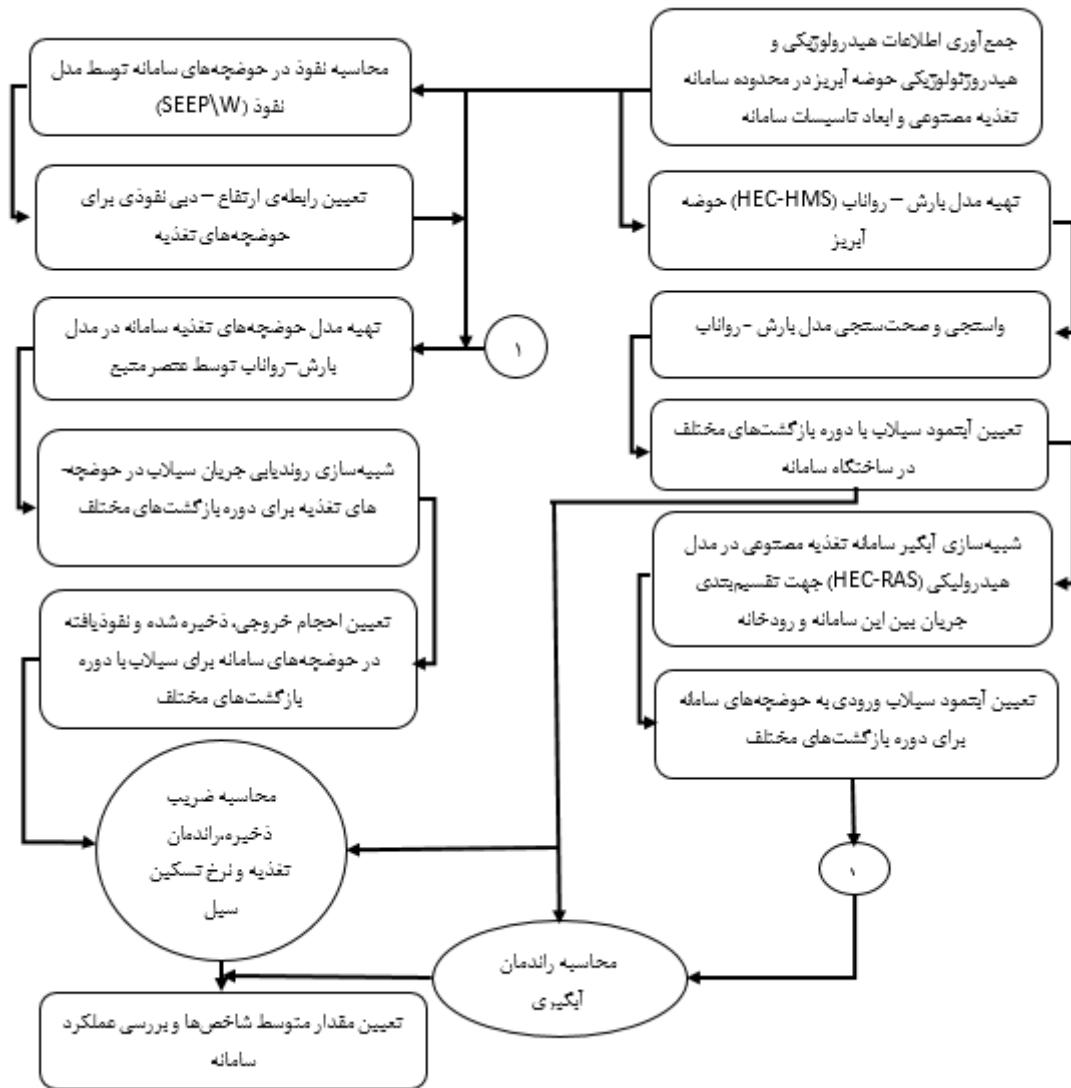
**شبیه‌سازی با مدل SEEP\W:** در جهت محاسبه مقدار نفوذ در حوضچه‌های سامانه تغذیه مصنوعی از مدل SEEP\W در این پژوهش استفاده شد. مدل SEEP\W زیر مجموعه نرم‌افزار GeoStudio بوده که قادر به تجزیه و تحلیل نشت بر مبنای المان محدود می‌باشد. این مدل قابلیت شبیه‌سازی نفوذ در خاک اشباع و غیراشباع را در شرایط ماندگار و غیرماندگار دارا است. مهمترین مولفه‌های مدل، مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع ( $k_{sat}$ )، تابع حجم آب (VWS)،

<sup>1</sup> Inline structure

$$\overline{RS} = \int_0^1 RS.f df \quad (3)$$

که در آن،  $RS$  نسبت ذخیره،  $\overline{RS}$  متوسط نسبت ذخیره و  $f$  فراوانی وقوع سیلاب می‌باشد.

(Kaboosi و همکاران، ۲۰۱۷) که با برازش منحنی بین مقادیر این شاخص برای هر سیلاب و فراوانی وقوع متناظر با آن، مقدار متوسط نسبت ذخیره طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.



شکل ۳- روند نمای چارچوب تحقیق

طبق رابطه (۴) تعیین شد (Banihabib و همکاران، ۲۰۱۰).

$$\bar{\beta} = \int_0^1 \beta.f df \quad (4)$$

که در آن،  $\beta$  راندمان تغذیه،  $\bar{\beta}$  متوسط راندمان تغذیه و  $f$  فراوانی وقوع سیلاب می‌باشد.

با توجه به آبنمود ورودی به ساختگاه سامانه تغذیه مصنوعی و آبنمود خروجی از حوضچه‌های سامانه برای دوره بازگشت‌های مختلف، نرخ تسکین سیل محاسبه

همچنین، با توجه به مشخص بودن حجم سیلاب در ورودی ساختگاه و مقدار حجم تغذیه شده به‌وسیله سامانه راندمان تغذیه محاسبه می‌شود. راندمان تغذیه  $(\beta)$  عبارت است از نسبت حجم نفوذ یافته به حجم سیلاب ورودی به ساختگاه سامانه می‌باشد. مقادیر این شاخص برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد و سپس با برازش منحنی بین این شاخص و فراوانی وقوع هر سیلاب مقدار متوسط آن



تحقیق، بررسی واسنجی این مدل، شرط لازم برای افزایش دقت آن در شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب منطقه می‌باشد. از اطلاعات سه تک رخداد بارش-رواناب منطقه که در جدول ۴ ارائه شده است، به این صورت که از یک رخداد برای واسنجی مدل و از دو رخداد دیگر برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. جدول ۵، نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل را نشان می‌دهد. پس از ساخت و بررسی دقت مدل HEC-HMS مقدار جریان سیلاب مربوط به دوره بازگشت-های مختلف در ساختگاه سامانه محاسبه شد. شکل ۴، آبنمود سیلاب‌های مختلف را در ساختگاه طرح تغذیه مصنوعی نشان می‌دهد.

شد. نرخ تسکین سیل (FAR) به صورت اختلاف دبی اوج ورودی و خروجی به سامانه نسبت به دبی ورودی به سامانه تعریف می‌شود (Kabooosi و همکاران، ۲۰۱۷). با برازش منحنی بین مقادیر این شاخص برای هر سیلاب و فراوانی وقوع متناظر با آن، مقدار متوسط آن به صورت رابطه (۵) تعیین شد.

$$\overline{FAR} = \int_0^1 FAR.f df \quad (5)$$

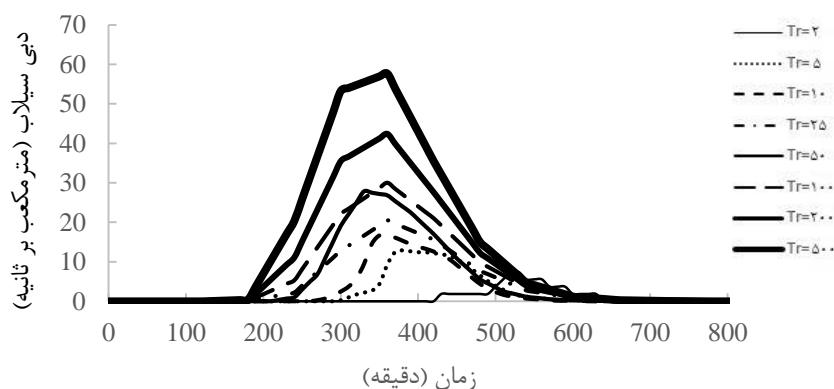
که در آن، FAR نرخ تسکین سیل،  $\overline{FAR}$  متوسط نرخ تسکین سیل و  $f$  فراوانی وقوع سیلاب می‌باشد.

### نتایج و بحث

با توجه به نقش کلیدی مدل HEC-HMS در این

جدول ۵- نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل

خطا نسبی	دبی اوج محاسباتی	دبی اوج مشاهداتی	نوع
۰/۰۱	۹/۶	۹/۷	واسنجی
۰/۱۸	۱۹	۱۶	صحت‌سنجی
۰/۱۴	۷/۲	۶/۳	صحت‌سنجی



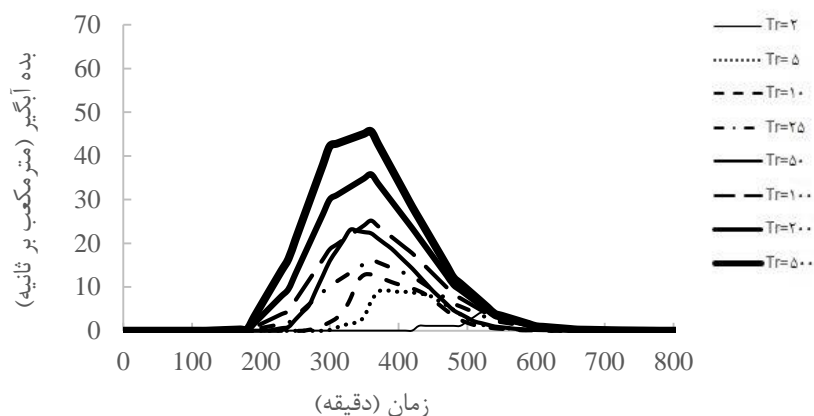
شکل ۴- آبنمود سیلاب‌های مختلف در ساختگاه طرح

وقوع رخداد سیلاب یک معادله خطی با شیب منفی است. در واقع، شیب این خط به این معناست که راندمان آبگیری با فراوانی وقوع رخداد سیلاب رابطه‌ای عکس دارد. به طوری که با افزایش حجم سیلاب مقدار آبگیری سامانه افزایش یافته است. به عنوان مثال، در این تحقیق مقدار این شاخص برای سیلابی با دوره بازگشت دو ساله و ۵۰۰ ساله به ترتیب برابر با ۰/۵۷ و ۰/۸ است. بنابراین، مقدار راندمان آبگیری به حجم سیلاب، مساحت روزنه‌های آبگیر، ارتفاع ورودی روزنه‌ها و سرریز سد انحرافی از کف رودخانه وابسته

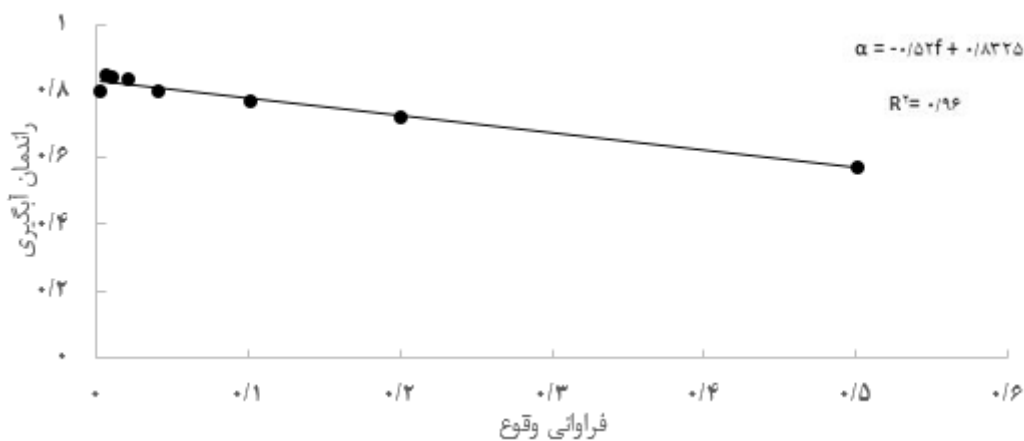
با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی دو مدل HEC-HMS و HEC-RAS، آبنمود سیلاب‌های ورودی به آبگیر سامانه و مقدار راندمان آبگیری در دوره بازگشت‌های مختلف برای سامانه محاسبه شد. شکل ۵، آبنمود سیلاب‌های مختلف ورودی به مجرای آبگیر را نشان می‌دهد. سپس، با برازش منحنی بین راندمان آبگیری و فراوانی وقوع هر سیلاب مطابق شکل ۶، یک رابطه مناسب برای راندمان آبگیری تعیین شده است. با توجه به شکل ۵ و جدول ۶، بهترین معادله برای خط برازش داده شده بین راندمان آبگیری و فراوانی

به دلیل تفاوت روش‌های روندیابی در مدل‌های فوق می‌باشد. در این تحقیق، طبق جدول ۶، مقدار متوسط راندمان آبیگری، بیانگر این است که سامانه تغذیه مصنوعی قابلیت استحصال ۶۵ درصد از حجم سیلاب-ها در ساختگاه سامانه را دارا است. از این رو، می‌توان به این نتیجه رسید که در این نوع سامانه‌های تغذیه مصنوعی، ارتباط بین قابلیت آبیگری سامانه و حجم سیلاب، به صورت یک رابطه خطی قابل بیان بوده و با دوره بازگشت سیلاب این شاخص افزایش می‌یابد.

در واقع، این شاخص، نشان‌دهنده موثر بودن مجاری آبیگر سامانه در بهره‌برداری رواناب سطحی می‌باشد. در یک تحقیق صورت گرفته در این سامانه بر اساس شبیه‌سازی اجزای ورودی سامانه با استفاده از مدل HEC-HMS، مقدار متوسط این شاخص برابر با ۰/۶۹ تعیین شد (Banihabib و همکاران، ۲۰۱۰) که در این مطالعه با توجه به شبیه‌سازی اجزای ورودی سامانه به وسیله مدل HEC-RAS این مقدار برابر با ۰/۶۵ تعیین شده است که این اختلاف ناچیز



شکل ۵- آنمود سیلاب‌های ورودی به حوضچه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف

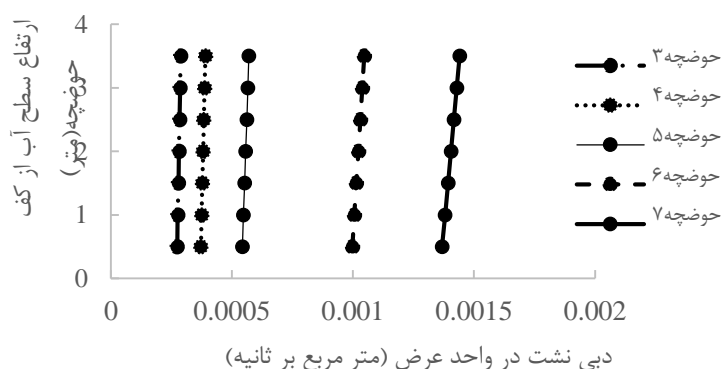


شکل ۶- منحنی برازش داده شده به راندمان آبیگری بر حسب فراوانی وقوع هر سیلاب

های تغذیه در سامانه را نشان می‌دهد. با فراخوانی نتایج مدل SEEP/W و HEC-RAS به وسیله مدل HEC-HMS با عنصر منبع برای شبیه‌سازی روندیابی جریان سیلاب در حوضچه‌های سامانه، مقدار نسبت ذخیره و بازده تغذیه در دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. مطابق شکل ۷، اگر چه روند تغییرات نفوذ در حوضچه‌های تغذیه از این سامانه شبیه

مقادیر دو شاخص نسبت ذخیره و راندمان تغذیه با مدل‌سازی روندیابی جریان سیلاب در حوضچه‌های تغذیه سامانه تعیین شد. در واقع با شبیه‌سازی عمق-های مختلف سطح آب در حوضچه‌های سامانه به وسیله مدل SEEP/W، نمودار ارتفاع-دبی نفوذ یافته برای پنج حوضچه تغذیه در سامانه محاسبه شده است. شکل ۷، نمودار ارتفاع-دبی نفوذ یافته برای حوضچه-

بوده، به طوری که با افزایش فاصله بین این دو مرز، مقدار شیب گرادیان هیدرولیکی کاهش و در نتیجه مقدار نفوذ هم کاهش می‌یابد. بنابراین، در این تحقیق، به دلیل اختلاف فاصله بین کف هر حوضچه و مقطع انتهایی سامانه (مکان تعریف شرط جبهه تراوش) می‌توان به این نتیجه رسید که مقدار نفوذ در حوضچه‌های سامانه با در نظر گرفتن یک عمق ثابت برای آب متفاوت بوده است و همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، برای یک عمق ثابت از آب مقدار نفوذ در حوضچه متفاوت بوده و با کاهش فاصله بین هر حوضچه و انتهای سامانه مقدار نفوذ افزایش یافته است. به طوری که، حوضچه شماره ۳ دارای کمترین مقدار نفوذ و حوضچه شماره ۷ دارای بیشترین مقدار نفوذ در یک عمق ثابت از آب است.

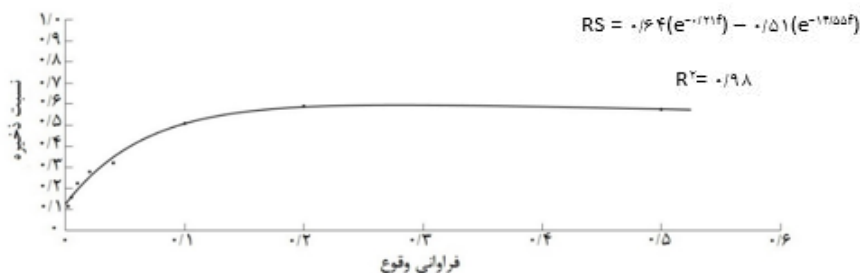


شکل ۷- نمودار ارتفاع-دبی نفوذ یافته حوضچه‌های سامانه تغذیه مصنوعی

شاخص به حجم سیلاب، ابعاد حوضچه‌ها و سرریز سد حوضچه‌ها و روزه‌های تعبیه شده در آن و ارتفاع قرارگیری آن‌ها از کف حوضچه، وابسته است. به طوری که، اگر حجم سیلاب کمتر یا برابر با حجم حوضچه‌ها متناظر با ارتفاع سرریز حوضچه‌ها و روزه‌های آن‌ها باشد، سامانه از لحاظ ذخیره حجم سیلاب عملکرد مشابه دارد. اما، در صورت افزایش حجم سیلاب از این مقدار، حجم ذخیره شده به وسیله این سامانه نسبت به حجم سیلاب کاهش محسوسی پیدا می‌کند. در پایان، این نتیجه حاصل شد که عملکرد حوضچه‌های سامانه تغذیه مصنوعی مورد تحقیق از لحاظ ذخیره-سازي حجم سیلاب به صورت یک رابطه نمایی با فراوانی سیلاب می‌باشد.

یکدیگر بوده، با افزایش سطح آب در حوضچه‌ها مقدار آن افزایش یافته، اما مشاهده می‌شود که مقدار نفوذ برای عمق‌های یکسان آب در هر حوضچه متفاوت است. در شبیه‌سازی نفوذ در حوضچه‌های سامانه مورد مطالعه به وسیله مدل SEEP/W، مقدار ضریب آبگذری و نوع مصالح برای بستر حوضچه‌ها یکسان بوده است. همچنین، مدل دو شرط مرزی داشته که شرط مرزی اول در کف هر حوضچه برابر با عمق آب حوضچه و شرط مرزی دوم در انتهای سامانه به صورت جبهه تراوش در نظر گرفته شده است که مقدار جریان نفوذ یافته به وسیله هر حوضچه در مقطع شرط مرزی جبهه تراوش محاسبه شده است. با توجه به این که اختلاف فاصله بین این دو مرز بر مقدار شیب گرادیان هیدرولیکی و در نتیجه برآورد مقدار نفوذ تاثیرگذار

مطابق با شکل ۸، ارتباط بین نسبت ذخیره و فراوانی وقوع رخداد سیلاب به صورت یک معادله نمایی تعریف شده است که در شکل ۸ و جدول ۶ منحنی و دقت این معادله نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، مقدار این شاخص برای فراوانی وقوع به مقدار ۰/۲ و بیشتر از آن، به مقدار ثابتی میل می‌کند. اما، در فراوانی وقوع‌های کمتر از ۰/۲ مقدار نسبت ذخیره با فراوانی وقوع رابطه‌ای مستقیم داشته است. در حقیقت، این شاخص به نوعی توانایی حوضچه‌های سامانه را در ذخیره حجم سیلاب نشان می‌دهد که در این تحقیق، طبق جدول ۶، حوضچه‌های سامانه با توجه به ابعاد و نوع طراحی آن‌ها به طور متوسط قابلیت ذخیره ۵۵ درصد از حجم رواناب را دارا هستند. به همین علت، مقدار این

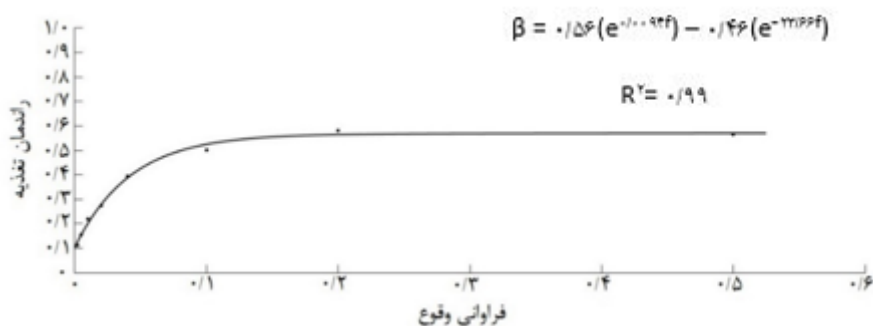


شکل ۸- منحنی برازش داده شده به نسبت ذخیره بر حسب فراوانی وقوع هر سیلاب

سامانه با بستر مناسب، مشابه یکدیگر بوده و به صورت نمایی می‌باشد.

مقدار تغذیه از طریق حوضچه‌های تغذیه به‌عنوان یکی از روش‌های پخش سیلاب از عملکردی بهتری نسبت به تغذیه از طریق رودخانه‌های فصلی برخوردار بوده است (Hashemi و همکاران، ۲۰۱۳). در یک تحقیق صورت گرفته در این سامانه با در نظر گرفتن حجم تغذیه شده از طریق سامانه و رودخانه مقدار متوسط راندمان تغذیه، بر اساس روش تقریبی اچه-وری محاسبه و برابر با ۰/۸۱ تعیین شد (Banihabib و همکاران، ۲۰۱۰) که در این مطالعه، تنها با در نظر گرفتن حجم تغذیه شده از سامانه بر اساس مدل‌سازی روندیابی جریان در حوضچه‌ها مقدار متوسط راندمان تغذیه برابر با ۰/۵۴ تعیین شده است. لذا، با توجه به این‌که مطالعات مدل‌سازی از قطعیت بیشتری نسبت به روش‌های تقریبی برخوردار می‌باشند و همچنین، با مقایسه این دو مقدار فوق، این نتیجه حاصل می‌شود که حوضچه‌های تغذیه از سهم بیشتری در تغذیه نسبت به رودخانه، برخوردار می‌باشند.

با توجه به شکل ۹ و جدول ۶، بر اساس تحلیل همبستگی، ارتباط بین راندمان تغذیه و فراوانی وقوع سیلاب به‌صورت یک معادله نمایی تعیین شده است. با بررسی شکل‌های ۸ و ۹، مشاهده می‌شود که روند تغییرات این شاخص نسبت به فراوانی وقوع رخداد سیلاب مشابه شاخص نسبت ذخیره است. اما، با مقایسه توابع دو شکل ۸ و ۹، به تفاوت ناچیزی که بین این دو شاخص در فراوانی وقوع‌های مختلف وجود دارد، پی برده می‌شود که به‌علت تلفات ناشی از تبخیر و تخلیه حجم مازاد ذخیره شده در سامانه به رودخانه است. از این‌رو، می‌توان به این نتیجه رسید که بیشینه مقدار تلفات آب ذخیره شده در حوضچه‌های تغذیه از طریق نفوذ از بستر سامانه بوده است که این موضوع، بیانگر مناسب بودن ضریب آبگذری مصالح بستر حوضچه‌های تغذیه در سامانه مورد مطالعه است. در نهایت، این نتیجه حاصل می‌شود که روند تغییرات دو شاخص راندمان تغذیه و نسبت ذخیره نسبت به رخداد سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در یک



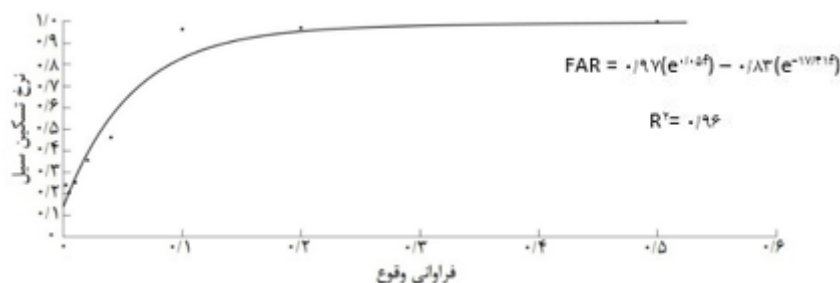
شکل ۹- منحنی برازش داده شده به راندمان تغذیه بر حسب فراوانی وقوع هر سیلاب

روندیابی مخزن به‌دست آمده است، مقدار نرخ تسکین سیل در دوره بازگشت‌های مختلف تعیین شد. شکل

در ادامه، با در نظر گرفتن مقادیر دبی اوج ورودی و خروجی به سامانه که از نتایج شبیه‌سازی مدل

مقدار شاخص نسبت ذخیره تبعیت می‌کند، به طوری که با افزایش عملکرد شاخص ضریب ذخیره مقدار نرخ تسکین سیلاب افزایش می‌یابد. همچنین، با اشاره به دو شکل ۸ و ۹، این نوع سامانه‌ها در رخدادهایی با فراوانی وقوع بیش از ۰/۲، از عملکرد بالایی در ذخیره و تغذیه حجم سیلاب برخوردار می‌باشند. بنابراین، شاخص نرخ تسکین سیلاب در این سطح از فراوانی وقوع باید با بیشینه عملکرد خود روبرو باشد که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است. در نتیجه، این نوع سامانه تغذیه مصنوعی با حفظ و نگهداشت سیلاب نقش موثری در مهار آن ایفا می‌کند.

۱۰، مناسب‌ترین ارتباط را بین نرخ تسکین سیل و فراوانی وقوع هر سیلاب را بیان می‌کند. با بررسی شاخص نرخ تسکین سیل، مطابق شکل ۱۰، مشاهده می‌شود که این نوع سامانه در کاهش دبی اوج سیلاب عملکرد قابل توجهی دارد. طبق نتایج به دست آمده در جدول ۶، مقدار متوسط نرخ تسکین سیل برابر با ۰/۹۳ بوده است که در حقیقت نشانگر این است که این سامانه قادر به کاهش دبی اوج تا ۹۳ درصد می‌باشد. با مقایسه توابع دو شاخص نسبت ذخیره و نرخ تسکین سیلاب مشاهده می‌شود که در فراوانی وقوع مختلف سیلاب مقدار شاخص نرخ تسکین سیلاب از



شکل ۱۰- منحنی برازش داده شده به نرخ تسکین سیل بر حسب فراوانی وقوع هر سیلاب

جدول ۶- مقدار متوسط شاخص‌ها و روابط شاخص‌ها بر حسب فراوانی وقوع سیلاب

شاخص	رابطه	ضریب تبیین	مقدار متوسط شاخص
راندمان آگیری	$\alpha = -0.52f + 0.8325$	۰/۹۶	۰/۶۵
راندمان تغذیه	$\beta = 0.56(e^{0.0094f}) - 0.46(e^{-23.33f})$	۰/۹۹	۰/۵۴
نرخ تسکین سیل	$FAR = 0.97(e^{0.05f}) - 0.83(e^{-17.41f})$	۰/۹۶	۰/۹۳
نسبت ذخیره	$RS = 0.64(e^{-0.21f}) - 0.51(e^{-14.55f})$	۰/۹۸	۰/۵۵

فراوانی وقوع رخداد سیلاب بررسی شد. به طوری که با بررسی دو شاخص راندمان تغذیه و نرخ تسکین سیل برای رخدادهایی با فراوانی وقوع بیش از ۰/۲ و کمتر از آن، سامانه تغذیه مصنوعی در رخدادهایی با فراوانی وقوع بیش از ۰/۲ از عملکرد بهتری برخوردار بوده و به مقدار نسبتاً ثابتی میل می‌کنند. مقدار متوسط شاخص‌های راندمان آگیری، راندمان تغذیه، نسبت ذخیره و نرخ تسکین سیل برای سامانه تغذیه مصنوعی امامزاده عبدالله به ترتیب برابر با ۰/۶۵، ۰/۵۴، ۰/۵۵ و ۰/۹۳ است.

رخداد واقعه‌های سیلاب‌ها در قبل و بعد از ساخت سامانه تغذیه مصنوعی دقیقاً از نظر حجم و

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک چارچوب جامع به همراه چند شاخص فنی برای بررسی عملکرد سامانه‌های تغذیه مصنوعی در زمینه تغذیه و مهار سیلاب مناطق خشک ارائه شده است. این چارچوب، شامل راندمان آگیری، نسبت ذخیره، راندمان تغذیه و نرخ تسکین سیل می‌باشد. در واقع، این شاخص‌ها عملکرد سامانه را از لحاظ نوع طرح، ابعاد سازه و محل اجرای آن با هدف بهره‌برداری و مهار سیلاب بررسی می‌کنند.

به منظور بررسی این چارچوب، مطالعه موردی در سامانه تغذیه مصنوعی امامزاده عبدالله سمنان صورت گرفت و رابطه شاخص‌های پیشنهادی این تحقیق با

بازگشت مختلف) ارزیابی شود، از مدل‌سازی که با توجه به ماهیت خود که بر اساس فیزیک مسئله تهیه و پارامترهای آن‌ها بر اساس اطلاعات مشاهداتی در منطقه (میدانی) واسنجی و تدقیق می‌شود، استفاده شده است. این چارچوب پیشنهادی این امکان را فراهم می‌کند که با شبیه‌سازی سناریوهای رخ داده در یک منطقه، اثرات رخداد سیلاب‌های با دوره بازگشت مختلف بررسی شده، شاخص‌های جدید چارچوب پیشنهادی برای ارزیابی سامانه برآورد شود. بنابراین، این چارچوب را می‌توان برای ارزیابی این عملکرد سامانه‌ها در موارد مشابه، مورد استفاده قرار داد.

هیدروگراف واقعه‌ها یکسان نیستند و تعداد محدودی رخداد سیلاب در مناطق خشک در دوره اندازه‌گیری و بهره‌برداری قابل دسترس می‌باشد. لذا، در هیدرولوژی و منابع آب، معمول است که از مدل واسنجی شده سامانه به‌جای خود سامانه برای ارزیابی عملکرد آن استفاده شود که شرح جزئیات این موارد در پاراگراف دوم مقدمه مقاله بیان شد (Banihabib و همکاران، ۲۰۱۰؛ Kaboosi و همکاران، ۲۰۱۷؛ Ringleb و همکاران، ۲۰۱۶؛ Sayit و Yazicigil، ۲۰۱۲). در این تحقیق نیز برای آن‌که عملکرد سامانه در مقابل سناریوهای محتمل (نظیر رخداد سیلاب‌های با دوره

### منابع مورد استفاده

- Asano, T. 1985. Artificial recharge of groundwater. Butterworth, 767 pages.
- Banihabib, M.E., A. Abed Elmdoost and M. Nikoo. 2010. An approach to estimate the efficiency of artificial recharge system in ephemeral rivers and optimization of major dimensions of the system, case study: Emamzade Abdollah River. Watershed Management Science and Engineering, 4(12): 11-21. (in Persian).
- Banihabib, M.E. and A. Arab. 2008. Water supply studies from the Emamzade-Abdollah, Semnan River. Semnan, DC: Regional Water Authority (in Persian).
- Castro Bolinaga, C.F. 2012. Hydraulic modeling of a river network for predicting flood inundation using HEC-RAS and GIS models, a case study in Southern Virginia. Virginia Tech, 226 pages.
- Choudhari, K., B. Panigrahi and J.C. Paul. 2014. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala Watershed, Odisha, India. International Journal of Geomatics and Geosciences, 5: 25-39.
- Derdour, A., A. Bouanani and K. Babahamed. 2017. Hydrological modeling in semi-arid region using HEC-HMS model, case study in Ain Sefra Watershed, Ksour Mountains (SW-Algeria). Journal of Fundamental and Applied Sciences, 9(2): 1027-1049.
- Ebrahimi, M., H. Kazemi, M. Ehtashemi and T.D. Rockaway. 2016. Assessment of groundwater quantity and quality and saltwater intrusion in the Damghan Basin, Iran. Chemie der Erde-Geochemistry, 76(2): 227-241.
- Hashemi, H., R. Berndtsson, M. Kompani-Zare and M. Persson. 2013. Natural vs. artificial groundwater recharge, quantification through inverse modeling. Hydrology and Earth System Sciences, 17(2): 637-650.
- Hashemi, H., R. Berndtsson and M. Persson. 2015. Artificial recharge by floodwater spreading estimated by water balances and groundwater modelling in arid Iran. Hydrological Sciences Journal, 60(2): 336-350.
- Jeniček, M. 2008. Modelling the effect of small reservoirs on flood regime in the Chomutovka river basin. XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. Slovenian National Committee for the IHP UNESCO, Ljubljana, 1-7.
- John, K. 2004. Seepage modeling with SEEP. GEO-SLOPE International Ltd., Calgary, Alberta, Canada, 197 pages.
- Kaboosi, K. and R. Jelini. 2017. The efficiency of detention reservoirs for flood control on the Jafar Abad River in Golestan Province (Iran). Russian Meteorology and Hydrology, 42(2): 129-134.
- Kafle, T.P., M.K. Hazarika, S. Karki, R.M. Shrestha, S. Sharma and L. Samarakoon. 2007. Basin scale rainfall-runoff modelling for flood forecasts. Proceedings of the 5th Annual Mekong Flood Forum, Ho Chi Minh City, Vietnam, 17-18.
- Kalantari, N., N. Pawar and M. Keshavarzi. 2009. Water resource management in the intermountain Izeh Plain, Southwest of Iran. Journal of Mountain Science, 6(1): 25-41.
- Kavuri, M., M. Boddu and V.G.M. Annamdas. 2011. New methods of artificial recharge of aquifers: A review. Poster presented at the 4th International Perspective on Water resources and the Environment (IPWE), National University of Singapore (NUS), Singapore: 4-6.

16. Mendes, J. and R. Maia. 2016. Hydrologic modelling calibration for operational flood forecasting. *Water Resources Management*, 30(15): 5671-5685.
17. Ringleb, J., J. Sallwey and C. Stefan. 2016. Assessment of managed aquifer recharge through modeling, a review. *Water*, 8(12): 57-89.
18. Sayit, A.P. and H. Yazicigil. 2012. Assessment of artificial aquifer recharge potential in the Kucuk Menderes River Basin, Turkey. *Hydrogeology Journal*, 20(4): 755-766.
19. Staff, U. 2008. HEC-RAS river analysis system. User's Manual Version 4.0. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC) Publication, 733 pages.
20. Tizro, A.T., K. Voudouris and K. Akbari. 2011. Simulation of a groundwater artificial recharge in a semi- arid region of Iran. *Irrigation and Drainage*, 60(3): 393-403.
21. Todd, D.K. and L.W. Mays. 2005. *Groundwater hydrology*. Wiley, New Jersey, 636 pages.
22. William, A. and J. Matthew. 2010. Hydrologic modeling system HEC-HMS User's Manual. US Army Corps of Engineers, 306 pages.

## **A framework for evaluating the performance of recharging and flood control by artificial recharge systems in arid regions**

**Alireza Dehghani<sup>1</sup>, Mohammadebrahim Banihabib<sup>\*2</sup> and Saman Javadi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>MSc Student, University College of Abureyhan, University of Tehran, Tehran, Iran, <sup>2</sup>Associate Professor, University College of Abureyhan, University of Tehran, Tehran, Iran and <sup>3</sup>Assistant Professor, University College of Abureyhan, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 28 July 2017

Accepted: 07 October 2017

### **Abstract**

Due to lack of surface water, the most important option for water supply in arid and semi-arid areas is from groundwater resources and one of the engineering measures to use the floods for improving groundwater resources is the implementation of artificial recharge systems. The purpose of the present study is to provide a model-based framework based on several quantitative indicators such as recharge efficiency and flood attenuation rate for assessing the performance of artificial recharge systems. Considering the capabilities of hydrological, hydraulic and seepage models, the combination of these models was used to estimate the parameters of the indicators. Finally, by determining the indices for floods with different return periods, their average values were determined using the expected value. The studied system (Emamzade Abdollah, Sorkheh) had a good performance based on recharge efficiency and flood attenuation rate indicators in events with frequency of more than 0.2, and the average value of these two indicators was 0.54 and 0.93, respectively. Due to the model based characteristic of the proposed framework, it has the potential to be used in similar cases.

**Keywords:** Arid and semi-arid areas, Recharge efficiency, Flood attenuation rate, Groundwater, Aquifer management

---

\* Corresponding author: [banihabib@ut.ac.ir](mailto:banihabib@ut.ac.ir)