

بررسی تأثیر سطوح مناسب تغذیه مصنوعی و مدیریت سیلاب در دشت شهریار بر منابع آب زیرزمینی

نیما صالحی شفا^۱، حسین بابازاده^{۲*}، فیاض آقاییاری^۳، علی صارمی^۴، محمدرضا غفوری^۵، مسعود صفوی^۶ و علی پناهدار^۷

چکیده

بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به دلیل رشد جمعیت، آبیاری زمین‌های کشاورزی و توسعه صنعتی و ترکیب این عوامل با خشکسالی‌ها و پیامدهای ناشی از تغییرات آب و هوایی، افزایش یافته است. هدف این تحقیق، مدیریت بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از الگوی مدل‌سازی ترکیبی به منظور افزایش پایداری سیستم منابع آب زیرزمینی و کاهش مسائل آبی است. در این مطالعه یک الگوی شبیه‌سازی ترکیبی ارائه شد که با توجه به آن، ابتدا بهترین مکان تغذیه مصنوعی به روش فازی و وزنی با استفاده از مدل GIS در دشت شهریار مشخص شد. سپس به منظور محاسبه پارامتر نسبت دبی نفوذ به دبی سیلاب در رودخانه، از مدل هیدرولیکی HEC-RAS استفاده شد. در مرحله بعد دو مدل مستقل برای روندیابی سیلاب در رودخانه و مخازن سیستم تغذیه مصنوعی به وسیله مدل HEC-HMS تعریف شد. در مدل اول، برای روندیابی سیلاب در رودخانه از پارامتر نسبت دبی نفوذ به دبی سیلاب در روش ماسینگهام-کانتر استفاده و مقدار سیلاب ورودی به طرح تغذیه مصنوعی برآورد شد. در مدل دوم، روندیابی سیلاب در مخازن طرح تغذیه انجام شد و مقدار نفوذ، ذخیره و تغذیه توسط طرح محاسبه و در نهایت مقدار تغذیه در طرح تغذیه مصنوعی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی شبیه‌سازی شد و عملکرد سیستم تغذیه مصنوعی و تغییرات سطح آب زیرزمینی برآورد شد. با توجه به تحلیل فازی و وزنی، بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی مخروطه‌افکنه آبرفتی در شمال دشت در نظر گرفته شد. مساحت نواحی مناسب (خوب) حاصل از روش فازی به طور میانگین ۸/۶۲ درصد بیشتر از روش وزنی بود و عملکرد روش فازی در برآورد مکان‌های مناسب بهتر از روش وزنی ارزیابی شد. براساس نتایج حاصل از مدل HEC-HMS و مدل شبکه عصبی، حجم تغذیه سیلاب در مخازن طرح نسبت به حجم سیلاب ورودی به طرح، به ترتیب برابر ۸۹ و ۸۶ درصد محاسبه شد. همچنین تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از سیستم تغذیه مصنوعی برابر ۱/۸۸ متر و عملکرد تغذیه برابر ۹۰ درصد برآورد شد. با توجه به نتایج الگوی شبیه‌سازی ترکیبی، همزمان سیلاب، منابع آب سطحی و زیرزمینی و سیستم تغذیه مصنوعی تحت کنترل بوده و می‌توان براساس منابع آبی قابل‌دسترس، افزایش پایداری سیستم منابع آب زیرزمینی و کاهش مسائل کمی و زیست‌محیطی مربوط به منابع آبی را مدیریت کرد.

واژه‌های کلیدی: الگوی شبیه‌سازی، تغییرات سطح آب زیرزمینی، سیستم تغذیه مصنوعی، سیلاب.

ارجاع: صالحی شفا ن بابازاده ح. آقاییاری ف. صارمی ع. غفوری م. ر. صفوی م. و پناهدار ع. ۱۴۰۲. بررسی تأثیر سطوح مناسب تغذیه مصنوعی و مدیریت سیلاب در دشت شهریار بر منابع آب زیرزمینی. ۴۸: ۷۷-۹۴. <https://dx.doi.org/10.22034/IWRJ.2023.14153.2472>

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۵- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد هیدروژئولوژی، بخش مهندسی آب و محیط‌زیست، مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران، تهران، ایران.

۶- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۷- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد سازه‌های هیدرولیکی، گروه سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: h_babazadeh@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

مقدمه

کمبود آب یک مسئله جهانی است و مقابله با آن از اهمیت بالایی برخوردار است. آب‌های زیرزمینی منبع گرانبه‌ای آب شیرین و بخش اصلی تأمین کل آب هستند. تقاضای فزاینده برای آب، در نتیجه رشد جمعیت، توسعه صنعتی و فعالیت‌های کشاورزی، منجر به افزایش بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی شده و این امر در ترکیب با خشکسالی‌های ناشی از تغییرات آب و هوایی، منجر به کاهش شدید سطح آب‌های زیرزمینی شده است. برآورد تغذیه بالقوه آبخوان‌ها به منظور بهبود وضعیت هیدرودینامیکی و زیست‌محیطی و نیز مدیریت هوشمند منابع آب زیرزمینی بسیار ضروری است؛ بنابراین تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها می‌تواند برای تأمین منابع آب و احیای منابع آبی استفاده شود. انتخاب مکان مناسب به منظور تغذیه مصنوعی با استفاده از رواناب‌ها، مقادیر مازاد مصارف و آب‌های نامتعارف ضروری است. احیای منابع آب زیرزمینی یک کار پیچیده و پرهزینه است و در اکثر مواقع انتخاب معیارهای احیای آب زیرزمینی به تکنیک‌های مورد استفاده برای تغذیه آبخوان بستگی دارد. رانی و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه‌ای به منظور کشف مناطق بالقوه تغذیه آب زیرزمینی و ارزیابی مناطق تغذیه شناسایی شده از طریق اجرای سازه‌های تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از مدل GIS در منطقه هیمالیا هندوستان انجام دادند. نتایج نشان داد که تنها ۱۹/۶ درصد منطقه در پتانسیل تغذیه خوب تا عالی قرار داشته و به ترتیب ۳۱/۷ درصد و ۱۵/۲ درصد مساحت در پتانسیل تغذیه نسبتاً خوب و متوسط قرار گرفتند که برای اجرای سازه‌های تغذیه مصنوعی نیز مناسب تلقی شدند. عبدول کریم و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه‌ای برای ترسیم سایت‌های تغذیه آب زیرزمینی در ناحیه سود کشور اتیوپی با استفاده از روش سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی از طریق AHP انجام دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که مناطق مستعد سایت‌های تغذیه آب زیرزمینی تنها ۱/۴۹ درصد و سایت‌های کم‌آب زیرزمینی ۷۶/۲ درصد از منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. دکونگمن و همکاران (۲۰۲۲) تحقیقی با هدف تخمین نواحی تغذیه، توزیع فضایی و تغذیه بالقوه آب‌های زیرزمینی در مقیاس‌های مختلف در ناحیه دشت افرام کشور غنا با استفاده از مدل ارزیابی آب

و خاک SWAT و رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS انجام دادند. براساس نتایج، مناطق مناسب برای تغذیه که به عنوان مناطق بسیار فقیر، ضعیف، متوسط و بالا طبقه‌بندی شدند، به ترتیب دارای پوشش مساحت ۰/۵۸، ۲۲/۴، ۶۰/۹ و ۱۶/۲ درصد بودند.

سولیمان و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی برای تعریف یک سیستم تغذیه آبخوان مدیریت‌شده در آبرفت مخروط نوویا در مصر، با استفاده از روش تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری سیستم اطلاعات جغرافیایی-چندمعیاری (GIS-MCDA) به تعیین مکان‌های امکان‌پذیر اجرای طرح پرداختند. براساس نتایج تحقیق آن‌ها، نزدیک به ۵۲ درصد از منطقه مورد مطالعه برای یک سیستم تغذیه آبخوان مدیریت‌شده مناسب بوده و علاوه بر این، حدود ۶ درصد از منطقه مورد مطالعه پتانسیل بالایی برای تغذیه آبخوان مدیریت‌شده را نشان می‌دهد؛ در حالی که نزدیک به ۲۰ درصد در طبقه بالقوه متوسط قرار دارد. ژو و همکاران (۲۰۲۱) مکان‌های بالقوه تغذیه مصنوعی سفره آب زیرزمینی منطقه جدید شیونگان در چین را با استفاده از مدل GIS مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مکان‌های تغذیه بالقوه در منطقه مورد مطالعه عمدتاً در دشت‌های آبرفتی دو طرف رودخانه با مساحت ۲۱۰۳/۹ کیلومتر مربع پراکنده شده‌اند که ۱۵/۸ درصد از کل مساحت مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهند.

مهدوی و همکاران (۲۰۱۳) به منظور شناسایی مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در دشت شهرکرد استان چهارمحال و بختیاری از منطق بولی و فازی استفاده کردند. نتایج نشان داد که تقریباً ۴/۲۵ درصد از کل منطقه دشت برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی براساس روش بولی مناسب بوده و براساس روش فازی به ترتیب ۴/۷۹ و ۱۷/۹۴ درصد از مساحت دشت مناسب و نسبتاً مطلوب است. اردکانی و همکاران (۲۰۲۲) از تکنیک‌های سنجش از دور برای تهیه لایه‌ها و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و منطق بولی برای شناسایی وزن بهینه برای هر عامل در منطقه مهدی‌شهر در شمال ایران به منظور مکان‌یابی سطوح مناسب تغذیه مصنوعی استفاده کردند. نتایج نشان داد که برای اعمال تغذیه مصنوعی، ۹/۹ درصد از کل منطقه مورد مطالعه در وضعیت بسیار خوب و ۲۲/۶ درصد در موقعیت خوب قرار دارند.

(راوات و همکاران، ۲۰۲۲). رودخانه سند در پاکستان (طارق و همکاران، ۲۰۲۱)، رودخانه کامبرلند در ایالات متحده (البوصالح و همکاران، ۲۰۲۲)، دشت شهریار استان تهران در ایران صالحی شفا و همکاران (۲۰۲۲ الف)، حوضه رودخانه ماهانادی در هندوستان (نیر و همکاران، ۲۰۲۲)، منطقه مرکزی پرتغال (موراتو و همکاران، ۲۰۲۱)، حوضه رودخانه خارون در هندوستان (دیوار و همکاران، ۲۰۲۲)، رودخانه محلی در نیویورک، ایالات متحده (گائو و همکاران، ۲۰۲۱)، رودخانه دانوب در صربستان (کولاکوویچ و همکاران، ۲۰۲۱)، انجام شده است.

عودالله و همکاران (۲۰۲۲) در تحقیقی به منظور بررسی نقشه‌های طغیان سیل از چندین سناریو سیل تولیدشده از داده‌های سنجش از راه دور LiDAR توپوگرافی و عمق‌سنجی و از مدل HEC-RAS برای یازده سایت در نروژ استفاده کردند. نتایج نشان داد که تفاوت در غرقابی بین مدل‌های LiDAR توپوگرافی و عمق‌سنجی با افزایش اندازه سیل کاهش می‌یابد و این روند با میزان خاکریزهای حفاظتی در دسترس مرتبط است.

لامیچ‌حین و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های LiDAR و مدل HEC-RAS اثرات پوشش یخ زمستانی و شبیه‌سازی سیلاب در مجاورت پل رودخانه گرنه، اوهایو، ایالات متحده آمریکا را ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که افزایش در منطقه طغیان از ۲۴ درصد تا ۵۲ درصد برای جریان‌های صدکی مختلف زمستانی متغیر بود. درصد افزایش در ناحیه طغیان برای جریان ۲۵ درصدی نسبت به جریان صدک بالاتر زمانی که همان ضخامت پوشش یخ در شبیه‌سازی استفاده شد، بالاترین میزان بود. الخراچی و همکاران (۲۰۲۱) مطالعه‌ای در مورد پیامد خطر سیل در شهر جدید قاهره مصر با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور Sentinel-1، Sentinel-2، رادار دیافراگم مصنوعی چند زمانی (SAR) و مدل HEC-RAS انجام دادند. نتایج حاصل شده نشان داد که ۱۱ درصد از جاده‌ها و ۵۰ درصد از ساختمان‌های شهر جدید قاهره در معرض مناطق پرخطر قرار دارند. علاوه بر این، ۲۸ درصد از زمین‌های بایر، در یک منطقه با آسیب‌پذیری بسیار بالا واقع شده‌اند. پرتی‌وی و همکاران (۲۰۲۱)، رودخانه لنا در سبیری روسیه را به منظور بررسی سیل بزرگ بهاره با استفاده از داده‌های رادار دیافراگم

تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که مدیریت هوشمند منابع آب زیرزمینی با توجه به شرایط این منابع ضروری بوده و نقش مدل‌های شبیه‌ساز مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان یک ابزار مهم برجسته است؛ ولی استفاده از روش‌های ترکیبی شبیه‌سازی، راهکاری نوین و کم‌هزینه برای مدیریت تغذیه آبخوان‌ها به شمار می‌آید که با توجه به این موضوع، تاکنون تحقیقات متعددی در مناطق مختلفی مانند منطقه آریانا در تونس (محمودی و همکاران، ۲۰۲۱)، منطقه کوهستانی هیمالیا شرقی در هندوستان (زیمیک و همکاران، ۲۰۲۲)، آبخوان دشت خوی در ایران (جهانگیرزاده و قنبرزاده، ۲۰۲۱)، منطقه بوندل‌خند، ایالت اوتار پرادش در هندوستان (پندی و همکاران، ۲۰۲۱)، آبخوان کابل در افغانستان (مهدوی و همکاران، ۲۰۲۲)، منطقه جنوب‌غربی ایالت بنگال غربی در هندوستان (بونیا و همکاران، ۲۰۲۱)، آبخوان مدین در جنوب شرقی تونس (آید و همکاران، ۲۰۲۲)، حوضه کابل در افغانستان (سینگ و نوری، ۲۰۲۲)، منطقه دلتای بالایی حوضه رودخانه کووری در جنوب هندوستان (تانگراج و کارتیکیان، ۲۰۲۲)، منطقه کوماموتو در ژاپن (آمانو و ایواساکی، ۲۰۲۲)، بخش غربی منطقه اودیشا در هندوستان (اوجا و همکاران، ۲۰۲۲)، منطقه کوازولو-ناتال در آفریقای جنوبی (پونوسامی و الومالی، ۲۰۲۲) و حوضه آبخیز آجانی-جیری، شمال ماهاراشترا در هندوستان (ساهو و همکاران، ۲۰۲۲)، به منظور مکان‌یابی سطوح مناسب تغذیه مصنوعی و حل مشکل کمبود منابع آب زیرزمینی و مسائل زیست‌محیطی انجام شده است.

سیل به عنوان یک بلائی طبیعی غیرقابل پیشگیری، منجر به تلفات جانی و مالی انسان می‌شود؛ بنابراین استراتژی استفاده بهینه از سیلاب به منظور مدیریت بهره‌برداری بهینه از منابع آبی در دسترس، باعث کاهش خطر این بلائی طبیعی شده و تهدید خطرات و پیامدهای آن را نیز تبدیل به فرصت خواهد کرد. برای مدیریت سیلاب و کاهش خطرات آن، تحقیقات متعددی در مناطق مختلف مانند ایالت اوهایو، ایالات متحده (قیمیر و همکاران، ۲۰۲۲)، منطقه سیکیم هیمالیا در هندوستان (هزرا و کریشنا، ۲۰۲۲)، شهر جدید قاهره، مصر (الخراچی، ۲۰۲۲)، رودخانه توبا در حوضه رودخانه کلانگ در مالزی (فتدیلاخ و همکاران، ۲۰۲۲)، حوضه گانگا در هندوستان

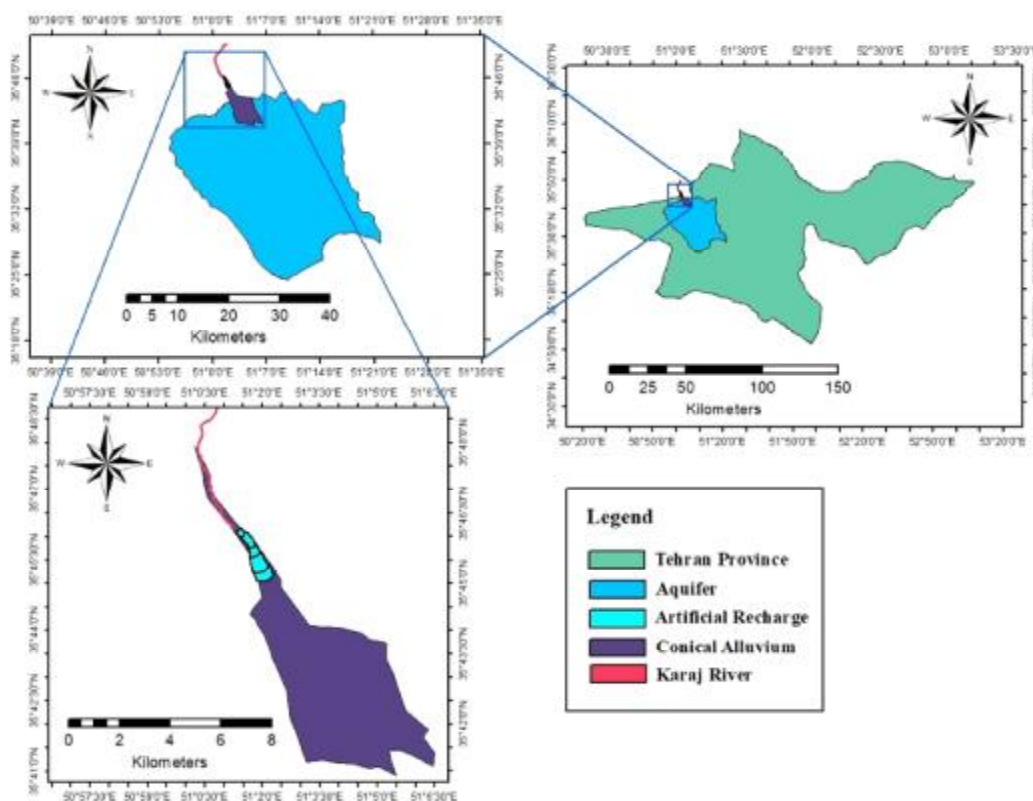
سیاست‌های مدیریت بهینه همزمان منابع آب سطحی و زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه با توجه به شرایط آبخوان دشت شهریار و با ویژگی تعمیم به دیگر مناطق است.

مواد و روش‌ها

محدوده دشت شهریار در حاشیه غربی شهر تهران و در موقعیت جغرافیایی $51^{\circ} 22' 02''$ تا $50^{\circ} 22' 14''$ طول شرقی و $35^{\circ} 44' 32''$ تا $35^{\circ} 02' 25''$ عرض شمالی واقع شده است که از شمال غربی به شهر کرج، از غرب به ارتفاعات سیاه‌کوه، از شرق و شمال شرقی به شهر تهران و رودخانه کن و از جنوب به رباط کریم محدود می‌شود. مساحت تقریبی این محدوده ۸۹۷ کیلومترمربع است و از نظر تقسیمات سیاسی جزو استان تهران بوده و شهرهای شهریار، رباط کریم، اسلام‌شهر و نیز بخش‌هایی از شهرستان‌های تهران، کرج و همچنین حاشیه شمالی شهرستان ری را در خود جای می‌دهد.

مصنوعی (SAR) و ماهواره TerraSAR-X/TanDEM-X و مدل HEC-RAS مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که مدل‌سازی دبی‌های با جریان بالا تطابق بهتری با مناطق غرقابی حاصل از ماهواره در مقایسه با دبی‌های جریان پایین‌تر دارد.

هدف تحقیق موردنظر، مدیریت بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از الگوی مدل‌سازی ترکیبی به‌منظور افزایش پایداری سیستم منابع آب زیرزمینی و کاهش مسائل کمی و زیست‌محیطی آن در محدوده مطالعاتی است. تحقیقات انجام‌شده پیشین از مدل‌های شبیه‌ساز به‌صورت مستقل به‌منظور مدیریت تغذیه آبخوان یا سیلاب استفاده کرده‌اند؛ ولی در تحقیق حاضر، یک الگوی مدل‌سازی ترکیبی شامل چهار مدل GIS، مدل هیدرولیکی HEC-RAS، مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و شبکه عصبی مصنوعی ANN برای مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی و سطحی، ارائه و استفاده شده است؛ بنابراین نوآوری تحقیق حاضر، استفاده از الگوی مدل‌سازی ترکیبی به‌منظور ارائه



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

شبیه‌سازی فازی تعیین مکان مناسب به‌منظور تغذیه مصنوعی با مدل GIS

در این تحقیق یک الگوی شبیه‌سازی شامل مدل‌های GIS-HEC-RAS- HEC-HMS-AN برای تعیین بهترین مکان تغذیه مصنوعی، برآورد عملکرد تغذیه سیستم تغذیه مصنوعی (بخش رودخانه و طرح تغذیه مصنوعی) و تغییرات تراز ناشی از اعمال تغذیه توسط سیستم ارائه شد. در مرحله شبیه‌سازی فازی با استفاده از مدل GIS، داده‌های عمق آب زیرزمینی، ضرایب هدایت هیدرودینامیکی آب زیرزمینی و غلظت آب زیرزمینی (TDS) با استفاده از ماژول Geostatistical Analyst درون‌یابی شدند.

متغیرهای موردنظر با استفاده از روش‌های درون‌یابی وزنی فاصله معکوس (IDW) و چندجمله‌ای جهانی (GPI) با توان‌های یک، دو و سه، چندجمله‌ای محلی (LPI) با مدل‌های نمایی و گوسی و با توان‌های یک، دو و سه، توابع پایه شعاعی (RBF) مشتمل بر اسپلاین منظم (Completely Regularized Spline)، اسپلاین کشش (spline with tension)، چندربعی (multiquadric)، چندربعی معکوس (inverse multiquadric)، اسپلاین صفحه نازک (thin plate spline)، روش‌های کریجینگ (Kriging) و کوکریجینگ (Co-Kriging) هر کدام با چهار روش معمولی، ساده، عمومی، گسسته برآورد شدند. سپس به‌منظور انتخاب بهترین روش درون‌یابی برای هر لایه از معیارهای آماری میانگین خطاها (ME) و جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) استفاده شد. طباطبایی و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور ارزیابی مناسب بودن برخی روش‌های درون‌یابی کریجینگ و فاصله معکوس برای تخمین سطح آب زیرزمینی در سفره‌های آب زیرزمینی فارس، جوققان و سفیددشت واقع در حوضه آبریز بهشت‌آباد استان چهارمحال و بختیاری از شاخص‌های ارزیابی ME و RMSE استفاده کردند.

پس از این مرحله به‌منظور تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی در محدوده مطالعاتی، از لایه‌های منتخب هر متغیر در قالب مدل منطق فازی و مدل وزنی استفاده شد. به‌منظور تحلیل فازی مکان مناسب تغذیه مصنوعی در محدوده مطالعاتی، ابتدا در مرحله ارزش‌گذاری، مناسب‌ترین لایه رستری درون‌یابی شده هر متغیر، ارزش‌دهی شد و سپس با استفاده از توابع عضویت فازی

سیستم تغذیه مصنوعی در شمال محدوده و در مخروطه‌افکنه آبرفتی رودخانه کرج قرار گرفته است. شکل ۱ موقعیت محدوده مطالعاتی و سیستم تغذیه مصنوعی را نمایش می‌دهد. طرح تغذیه مصنوعی موردنظر شامل پنج حوضچه تغذیه متوالی بوده که در امتداد محور طولی رودخانه قرار گرفته‌اند. ظرفیت حوضچه‌های طرح تغذیه حدود ۳۱۹۶۴۱۶ مترمکعب است. در این طرح خاکریز اول تا چهارم دارای یک سرریز هستند و خاکریز پنجم دارای دو سرریز است؛ زیرا آب مازاد در حوضچه آخر از دو سرریز و سازه مقسم بر روی خاکریز پنجم خارج شده و به رودخانه‌های کرج و شادچای وارد می‌شود. با توجه به شرایط سازه طرح تغذیه مصنوعی موردنظر، در مجموع شش سرریز در خاکریزهای طرح قرار دارد.

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، بعد از سد امیرکبیر، رودخانه کرج وارد سد انحرافی بیلقان شده و به مصارف شرب شهرستان تهران و مصارف شرب و کشاورزی کرج اختصاص می‌یابد؛ سپس وارد رودخانه‌های کرج شرقی و غربی، سیاه‌آب، شادچای و در نهایت محدوده مطالعاتی شهریار می‌شود. با توجه به این موضوع، مقادیر سیلاب موجود از سد بیلقان به سمت پایین‌دست حرکت می‌کند و وارد طرح تغذیه مصنوعی در مخروطه‌افکنه آبرفتی رودخانه کرج می‌شود. در طرح تغذیه مصنوعی، سرریزها از نوع اوجی با جنس بتن و قلوه سنگ با روکش بتن مسلح هستند. در پایین‌دست طرح تغذیه مصنوعی موردنظر شن چاله‌های وسیع قرار دارند که در بخش انتهایی مخروطه‌افکنه رودخانه کرج قرار گرفته‌اند. طبق اطلاعات دریافت شده از شرکت مدیریت منابع آب ایران، حجم بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در کل بازه زمانی مطالعاتی در بخش کشاورزی ۱۵۴۱، در بخش شرب ۵۹۱ و در بخش صنعت برابر ۱۵۰ میلیون مترمکعب است. با توجه به آمار و اطلاعات شرکت مهندسان مشاور سازه‌پردازی ایران و مدیریت منابع آب ایران، حجم آب بیلقان در کل افق زمانی موردنظر ۱۲۶۹/۷۴ میلیون مترمکعب است که از این مقدار ۴۳/۲۱ میلیون مترمکعب سیلاب بیلقان بوده و ۱۷۰/۳۹ میلیون مترمکعب به شهریار و ۱۰۵۶/۱۳ میلیون مترمکعب به مصارف شهر تهران و کرج اختصاص داده شده است. مقیاس زمانی داده‌های تحلیل‌شده به‌صورت ماهانه و سالانه بوده و مربوط به سه سال آبی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ هستند.

شبیه‌سازی سیلاب در رودخانه با مدل ترکیبی

HEC-RAS و HEC-HMS

در تحقیق موردنظر سیستم تغذیه مصنوعی شامل دو بخش رودخانه و طرح تغذیه مصنوعی است که بر این اساس کل حجم تغذیه حاصل از سیلاب در رودخانه و طرح تغذیه مصنوعی برآورد شده است. طرح تغذیه مصنوعی بدون ایستگاه هیدرومتری است؛ به این دلیل متغیرهای هیدرولیکی رودخانه توسط مدل موردنظر برآورد شده و سپس با استفاده از نرخ نفوذ، مقادیر حجم تغذیه از بستر رودخانه محاسبه شده است. در تحقیق حاضر برای محاسبه برخی از ویژگی‌های هیدرولیکی رودخانه کرج و روندیابی سیلاب رودخانه در فاصله بین سد انحرافی بیلقان و جایگاه سیستم تغذیه مصنوعی در ابتدای مخروطه‌افکنه رودخانه کرج از مدل HEC-RAS و در حالت جریان ماندگار استفاده شد. به‌وسیله مدل هیدرولیکی HEC-RAS مقدار رقوم سطح آب، سرعت جریان و مساحت خیس‌شده در هر مقطع از مسیر رودخانه محاسبه و سپس حجم نفوذ با توجه به مقدار نفوذپذیری بستر رودخانه و مساحت خیس‌شده بستر رودخانه برای هر سیلاب برآورد شد. درنهایت مقدار پارامتر نسبت دبی نفوذ به دبی سیلاب برای هر سیلاب برآورد شد. برای تعیین ضریب زبری مانینگ (n)، رودخانه به سه قسمت اصلی تقسیم می‌شود که عبارت‌اند از: آبراهه اصلی، سیلاب‌دشت راست و سیلاب‌دشت چپ. در این تحقیق با توجه به شرایط رودخانه کرج، طول بازه رودخانه که به‌عنوان بخشی از سیستم تغذیه مصنوعی بوده و روندیابی سیلاب در آن برآورد شد، ۸۳۵۶ متر است که با ضریب زبری مانینگ ۰/۰۴ شبیه‌سازی شده است. در محاسبات روندیابی سیلاب توسط مدل، رودخانه به ۷۰۴ مقطع تقسیم و آبگرد ۱۸ سیلاب در بازه زمانی مطالعاتی به صورت مستقل در هر مقطع روندیابی شد. با در نظر گرفتن طول رودخانه تا ابتدای حوضچه اول طرح و محاسبه دبی نفوذ در رودخانه تا ابتدای حوضچه اول، دبی سیلاب ورودی به طرح برآورد شده است. کویی روگا و همکاران (۲۰۱۶) برای ارزیابی خسارات سیل رودخانه ماموری ریور در دشت آمازون در بولیوی از مدل دو بعدی HEC-RAS استفاده کردند.

پس از این مرحله، با استفاده از مدل HEC-HMS روندیابی سیلاب در رودخانه و مخازن سیستم تغذیه

در مرحله فازی‌سازی، لایه‌های متغیرهای مربوط برآورد شدند. درنهایت تمام لایه‌های فازی، با یکدیگر ترکیب شدند و به همراه داده پلیگونی محدوده کاربری اراضی و ژئومورفولوژی محدوده مورد مطالعه، تحلیل فازی انجام شد. در این تحقیق برای انجام تحلیل فازی تعیین مکان مناسب به‌منظور تغذیه مصنوعی به‌عنوان بخشی از تحلیل انجام‌شده، از توابع عضویت اسمال (small) و لارج (large) استفاده شد.

معیارهای فنی مهم براساس شرایط محدوده مورد مطالعه عبارت‌اند از: عمق آب زیرزمینی، شیب زمین، ضخامت آبخوان، هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و ضریب قابلیت انتقال و غلظت آب زیرزمینی (TDS) که به‌منظور تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی، مورد استفاده قرار گرفتند. در این تحقیق بعضی از لایه‌های رستری درون‌یابی‌شده منتخب که شامل متغیرهای شیب، غلظت آب زیرزمینی (TDS) هستند، با تابع اسمال (small)، فازی‌سازی شدند. همچنین لایه‌های رستری درون‌یابی‌شده منتخب هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، ضریب قابلیت انتقال، ضخامت آبخوان، به‌وسیله تابع لارج (large)، فازی‌سازی شدند. علاوه بر این؛ به‌منظور همپوشانی لایه‌هایی که تابع عضویت آن‌ها تهیه شده بود، عملگر گاما با مقدار ۰/۹، اعمال شد.

شبیه‌سازی وزنی تعیین مکان مناسب برای تغذیه

مصنوعی با مدل GIS

به‌منظور تحلیل وزنی تعیین مکان مناسب تغذیه مصنوعی در محدوده موردنظر، ابتدا به ارزش‌گذاری لایه‌های رستری درون‌یابی‌شده منتخب پرداخته شد. در این مرحله رتبه ۱ به کمترین ارزش مقادیر هر لایه و رتبه ۱۰ به ارزش‌مندترین مقادیر هر لایه اختصاص داده شد. همچنین وزن متناسب هر لایه براساس اهمیتی که در محاسبه مربوط دارد، به آن اختصاص داده شده و با یکدیگر ترکیب شدند. در این روش مجموع وزن‌های اختصاص‌داده‌شده به لایه‌ها یک می‌شود؛ بنابراین وزن هر لایه از صفر تا یک برآورد شده است. لایه‌های عمق، هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، ضریب قابلیت انتقال، شیب، ضخامت آبخوان و غلظت آب زیرزمینی به ترتیب به میزان ۰/۱۹، ۰/۲۰۸، ۰/۱۰۶، ۰/۱، ۰/۱۳۴، ۰/۱۴۲ و ۰/۱۲ وزن‌دهی شدند.

اول و دبی ذخیره حاصل از محاسبات دستی برای حوضچه‌های طرح بوده که به ترتیب با المان منبع و مخزن شبیه‌سازی شدند.

شبیه‌سازی حجم تغذیه در طرح تغذیه با مدل

شبکه عصبی مصنوعی ANN

پس از محاسبات مدل HEC-HMS، به منظور محاسبه حجم سیلاب تغذیه‌شده در طرح تغذیه مصنوعی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه (ANN-MLP)، داده‌های حاصل از محاسبات دستی و مدل HEC-HMS وارد شبیه‌ساز شبکه عصبی شدند. به این منظور داده‌های حجم نفوذ طی سیلاب در حوضچه‌ها، حجم سیلاب ذخیره‌شده در حوضچه‌های طرح تغذیه مصنوعی، حجم سیلاب ورودی به طرح تغذیه و حجم سیلاب خروجی از طرح تغذیه، به عنوان ورودی و حجم سیلاب تغذیه‌شده در طرح تغذیه مصنوعی به عنوان خروجی برآورد شدند. داده‌های حجم نفوذ طی سیلاب در حوضچه‌ها به صورت دستی برآورد شد و سایر داده‌های دیگر با مدل HEC-HMS محاسبه شدند.

واحد تمام متغیرهای ورودی و خروجی مدل شبکه عصبی میلیون مترمکعب بوده و مربوط به سال‌های آبی ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ هستند. به دلیل اینکه متغیرهای لایه ورودی و متغیر لایه خروجی هم‌جنس بوده و با یکدیگر رابطه مستقیم دارند، به منظور شبیه‌سازی با مدل شبکه عصبی انتخاب شدند. چن و همکاران (۲۰۰۸) مدل شبکه عصبی مصنوعی ANN را برای شبیه‌سازی تخلیه‌های جریان زیرزمینی برای زهکشی زیرزمینی حوضه‌ای در استان گویی ژو در جنوب غربی چین به کار بردند. جهانگیر و همکاران (۲۰۱۹) مدل شبکه عصبی مصنوعی و تصاویر ماهواره‌ای را برای پیش‌بینی مقادیر دبی و مدل‌سازی فضایی سیلاب‌ها در حوضه رودخانه کن در استان تهران استفاده کردند. حسیه و همکاران (۲۰۱۹) متغیرهای بسیار حساس تغذیه آب زیرزمینی را با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و رویدادهای بارش کوتاه‌مدت در مجاورت یک دریاچه تغذیه مصنوعی در حوضه آبریز لین بین در دشت پینگ تونگ واقع در تایوان تعیین کردند.

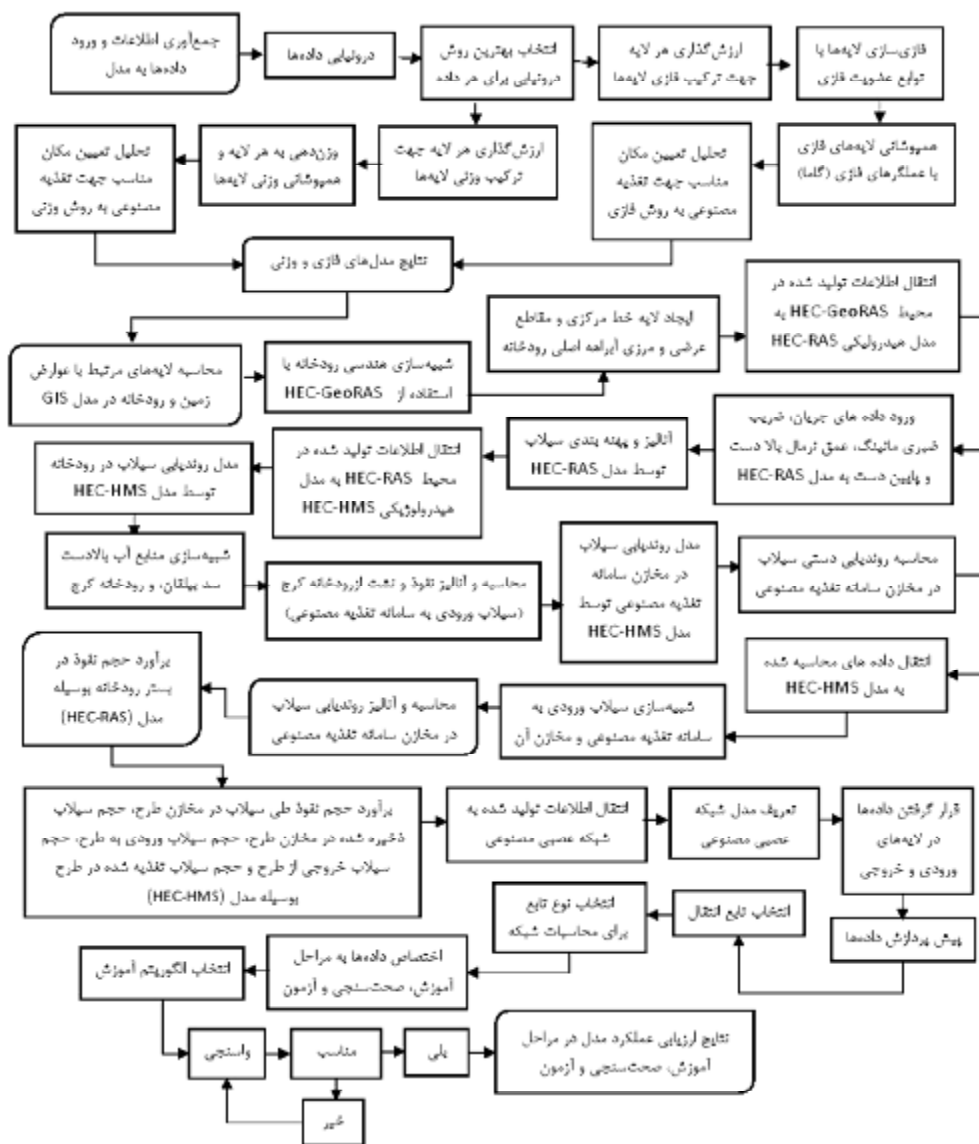
در آغاز برای برآورد حجم سیلاب تغذیه‌شده در طرح تغذیه مصنوعی با مدل شبکه عصبی، داده‌های ورودی و خروجی قبل از طراحی و آموزش شبکه عصبی مصنوعی

مصنوعی، به صورت دو مدل مستقل شبیه‌سازی شدند. به این منظور از پارامتر نسبت دبی نفوذ به دبی سیلاب که توسط نتایج مدل هیدرولیکی HEC-RAS برآورد شد، در مدل اول HEC-HMS و در روش ماسینگهام-کانز برای روندیابی سیلاب در رودخانه استفاده شد. در مدل اول، به منظور روندیابی سیلاب در رودخانه کرج، مقدار آب انحرافی بیلقان که از بالادست وارد آن می‌شود، به عنوان یک منبع آبی در نظر گرفته شده و با المان منبع شبیه‌سازی شده است. به دلیل اینکه سد انحرافی بیلقان، مقادیر تخصیصی به شهر تهران، کرج، شهریار و سیلاب تولیدشده در بالادست را منحرف کرده و به سمت رودخانه کرج و سیستم تغذیه مصنوعی وارد می‌کند؛ با المان انحراف آب و رودخانه کرج توسط المان رودخانه شبیه‌سازی شده است. همچنین داده‌های در نظر گرفته‌شده به عنوان ورودی به المان انحراف آب، دبی‌های تخصیص داده‌شده به شهر تهران، کرج، شهریار هستند و به این صورت مدل به وسیله این المان دبی بالادست را از المان منبع دریافت و دبی‌های تخصیص داده‌شده را منحرف و سپس دبی سیلاب را به عنوان خروجی محاسبه می‌کند. با توجه به محاسبات روندیابی سیلاب در این مدل، مقدار نفوذ در رودخانه توسط معادله ماسینگهام-کانز محاسبه شد. برای برآورد دبی سیلاب ورودی به طرح، دبی نفوذ در رودخانه تا ابتدای حوضچه اول طرح تغذیه مصنوعی محاسبه شد و در انتها دبی سیلاب ورودی در روندیابی سیلاب در مخازن به صورت دستی و در مدل دوم، مورد استفاده قرار گرفت. داناپالا و همکاران (۲۰۲۲) از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS با یک مدل هیدرولیکی دو بعدی iRIC برای شبیه‌سازی سیل در حوضه رودخانه نیل والا در امتداد سواحل جنوبی سریلانکا استفاده کردند.

در مدل دوم، پس از محاسبه روندیابی دستی سیلاب در مخازن، مقادیر روندیابی شده دستی به صورت تجمعی وارد مدل HEC-HMS شدند. هنگامی که سیلاب وارد مخزن اول می‌شود، نسبت به زمانی که وارد مخزن‌های بعدی می‌شود، دارای بار رسوب بیشتری است. با توجه به این موضوع، مخزن اول به عنوان حوضچه رسوب‌گیر فرض شده و در برآورد روندیابی دستی و مدل، شبیه‌سازی نشده است. داده‌های ورودی در روندیابی سیلاب در مخازن طرح، شامل دبی سیلاب ورودی حاصل از مدل

در نظر گرفته شد و نیز تابع انتقال نرون‌ها در لایه اول و دوم پنهان، تابع انتقال tansig و لایه خروجی، تابع انتقال purelin هستند. شکل ۲ الگوریتم فرایند محاسبات الگوی شبیه‌سازی مورد نظر در این تحقیق را نمایش می‌دهد.

نرمالیزه شدند. به منظور طراحی شبکه، برای محاسبه حجم تغذیه در طرح تغذیه مصنوعی، چهار لایه که شامل یک لایه ورودی، دو لایه پنهان و یک لایه خروجی هستند، در نظر گرفته شد. همچنین برای لایه اول پنهان ۵ نرون، لایه دوم پنهان ۸ نرون و لایه خروجی ۱ نرون،



شکل ۲- روندنمای فرایند محاسبات الگوی شبیه‌سازی

به مرحله صحت‌سنجی و ۱۰ درصد دیگر داده‌ها به مرحله آزمون اختصاص داده شد. برای آموزش شبکه، از الگوریتم لوبنرگ-مارکوآرت استفاده شد. در نهایت از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای ارزیابی عملکرد شبکه استفاده شد.

در تحقیق حاضر به منظور کدنویسی شبکه عصبی مورد نظر از شبکه پیش خور newff استفاده شد. همچنین داده‌ها برای اختصاص به مراحل آموزش، صحت‌سنجی و آزمون به سه دسته تقسیم شدند که بر این اساس ۷۰ درصد داده‌ها به مرحله آموزش، ۲۰ درصد

افق زمانی مورد مطالعه، در مناطق شمالی دشت قرار گرفته‌اند؛ در صورتی که در مناطق جنوبی دشت نیز اراضی بدون پوشش گیاهی یا اراضی مرتع با پوشش گیاهی ضعیف وجود دارد؛ ولی به دلیل ارزش پایین مناطق جنوبی محدوده مورد مطالعه از نظر معیارهای فنی به منظور تغذیه مصنوعی، برای اعمال تغذیه آب به آبخوان مناسب نیستند و مناطق شمالی دشت شهریار به منظور تغذیه مصنوعی، ایده آل هستند. با گذشت زمان این نتایج تغییرات محسوسی نداشته‌اند و در کل افق زمانی مورد مطالعه، نتایج حاصل از این مطالعه بهترین مکان‌ها برای تغذیه مصنوعی را در مناطق شمالی دشت نشان می‌دهند. به دلیل وجود اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی در مناطق شمال محدوده، تمام آن مناطق مناسب تغذیه مصنوعی نیستند و تنها مناطقی که اراضی بدون پوشش گیاهی دارند، برای تغذیه مصنوعی مطلوب هستند. مخروطه‌افکنه آبرفتی رودخانه کرج در شمال دشت شهریار، تنها منطقه‌ای است که بدون پوشش گیاهی بوده و با توجه به معیارهای فنی، دارای شرایط مطلوب به منظور تغذیه مصنوعی است.

پس از برآورد حجم تغذیه در طرح تغذیه مصنوعی، تغییرات تراز آب زیرزمینی حاصل از طرح تغذیه موردنظر با استفاده از نتایج مدل شبکه عصبی و HEC-HMS محاسبه شد. به این منظور از معادله (۱) استفاده شد.

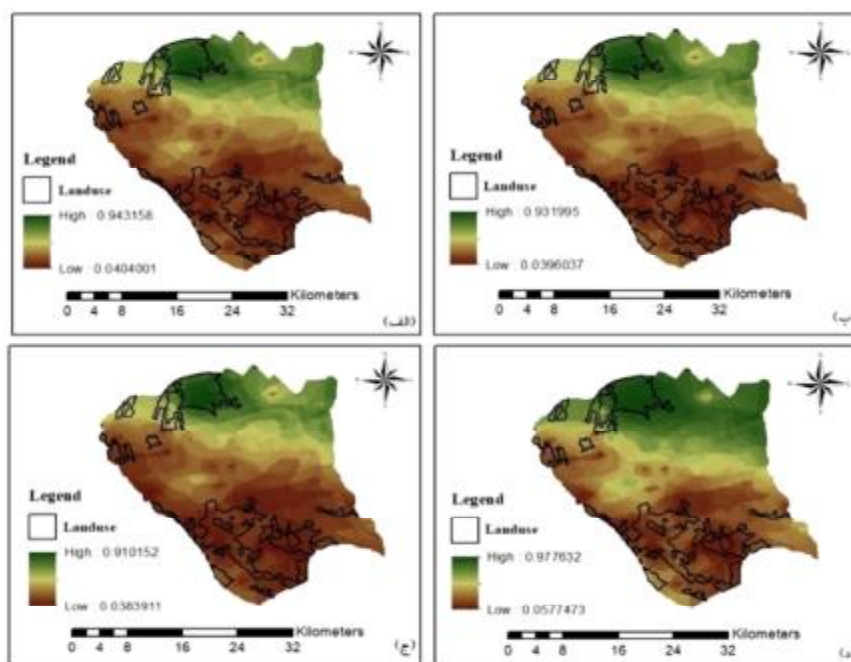
$$\Delta h = \frac{Q}{S_y \times \text{Area}} \quad (1)$$

در معادله فوق Q ، حجم تغذیه حاصل از طرح تغذیه (میلیون مترمکعب)، S_y ، آبدهی ویژه (بدون بُعد) و Area ، مساحت آبخوان (کیلومتر مربع) است. در نهایت عملکرد طرح در ذخیره و تغذیه سیلاب برآورد شد. شکل ۲ الگوریتم فرایند محاسبات الگوی شبیه‌سازی موردنظر در این تحقیق را نمایش می‌دهد.

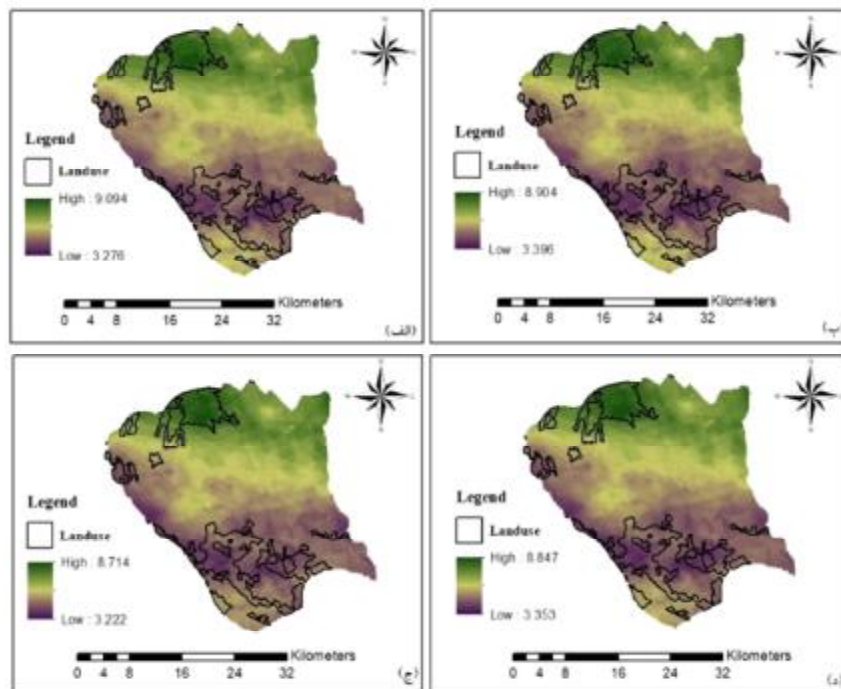
نتایج و بحث

تعیین بهترین مکان برای تغذیه مصنوعی

راهنمای شکل ۳ با استفاده از اعداد بین صفر و یک و با رنگ، مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی را مشخص کرده است. راهنمای شکل موردنظر با لایه اراضی کاربری (خطوط مشکی پلیگون)، اراضی بدون پوشش گیاهی و اراضی مرتع با پوشش گیاهی ضعیف را نشان می‌دهد. بهترین مکان‌ها برای تغذیه مصنوعی در هر سال و در کل



شکل ۳- الف) تحلیل فازی بهترین مکان تغذیه مصنوعی در سال ۱۳۹۳؛ ب) تحلیل فازی بهترین مکان تغذیه مصنوعی در سال ۱۳۹۴؛ ج) تحلیل فازی بهترین مکان تغذیه مصنوعی در سال ۱۳۹۵؛ د) تحلیل فازی بهترین مکان تغذیه مصنوعی کل دوره زمانی



شکل ۴- الف) تحلیل وزنی بهترین مکان تغذیه مصنوعی در سال ۱۳۹۳؛ ب) تحلیل وزنی بهترین مکان تغذیه مصنوعی در سال ۱۳۹۴؛ ج) تحلیل وزنی بهترین مکان تغذیه مصنوعی در سال ۱۳۹۵؛ د) تحلیل وزنی بهترین مکان تغذیه مصنوعی کل دوره زمانی

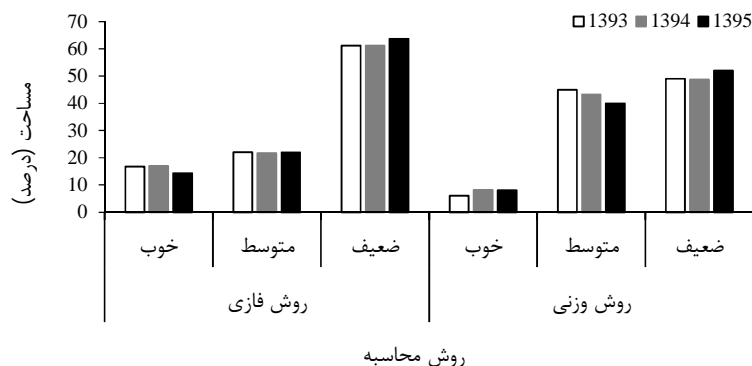
شکل ۴ مکان‌های مناسب‌تر برای تغذیه، مقادیر بیشتری نسبت به سایر مکان‌ها دارند و این موضوع با رنگ مشخص شده است. در نهایت براساس نتایج دو روش مکان‌یابی تغذیه مصنوعی، طرح تغذیه مصنوعی در مکان مناسبی احداث شده و تأثیر کمی و کیفی چشمگیری بر آبخوان دشت شهریار دارد.

با توجه به شکل ۵، مساحت نواحی مناسب (خوب) حاصل از روش فازی در سال ۱۳۹۴ به میزان ۰/۳ درصد بیشتر از سال ۱۳۹۳ بوده و نسبت به سال ۱۳۹۵، ۲/۷۲ درصد بیشتر است. همچنین مساحت نواحی مناسب (خوب) حاصل از روش وزنی در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ به ترتیب ۲/۰۶ و ۰/۰۶ درصد بیشتر برآورد شد. با استفاده از روش فازی، مساحت نواحی مناسب (خوب) در کل بازه زمانی مطالعاتی، به طور میانگین ۸/۶۲ درصد بیشتر از روش وزنی محاسبه شد؛ بنابراین براساس نتایج، اختلاف کمی در طول بازه زمانی مورد مطالعه در مساحت نواحی مناسب تغذیه مصنوعی وجود داشته و عملکرد روش فازی در برآورد مکان‌های مناسب بهتر از روش وزنی است. مهدوی و همکاران

سیستم تغذیه مصنوعی تقریباً در شمال مخروطه‌افکنه آبرفتی و در ابتدای ورود رودخانه کرج به آبخوان دشت شهریار و در بستر آن واقع شده و در این مکان احداث بهره‌برداری شده است. نتایج تحلیل روش وزنی، مشابه نتایج تحلیل روش فازی بوده؛ به گونه‌ای که مطابق شکل ۴ در این روش نیز مخروطه‌افکنه آبرفتی رودخانه کرج در شمال دشت شهریار، تنها منطقه‌ای است که با توجه به اراضی بدون پوشش گیاهی و معیارهای فنی، دارای شرایط مطلوب به‌منظور تغذیه مصنوعی است. در این روش مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی بستگی به نوع و مقادیر داده‌ها در هر لایه دارد. در تحقیق حاضر با توجه به مقادیر لایه‌ها، هرچقدر این مقادیر بیشتر باشند نتایج حاصل‌شده مطلوب‌تر خواهد بود. در مورد غلظت آب زیرزمینی مقادیر کمتر مناسب‌تر خواهند بود؛ ولی در کل محاسبات، مقادیر بیشتر مکان‌های مناسب‌تر برای تغذیه مصنوعی را نشان می‌دهند. وزن لایه‌ها نیز مهم است؛ زیرا هر چقدر وزن یک لایه نسبت به سایر لایه‌ها بیشتر باشد، به دلیل اینکه مقدار داده‌های لایه بیشتر خواهد شد، تأثیر بیشتری در محاسبات دارد. با توجه به راهنمای نقشه در

کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که ۴/۷۹ درصد از کل حوضه، مناسب و ۱۷/۹۴ درصد نیز نسبتاً مناسب است.

(۲۰۱۱) با استفاده از روش منطق فازی، محل‌های مناسب برای اجرای طرح تغذیه مصنوعی در دشت شهرکرد واقع در استان چهارمحال و بختیاری را بررسی



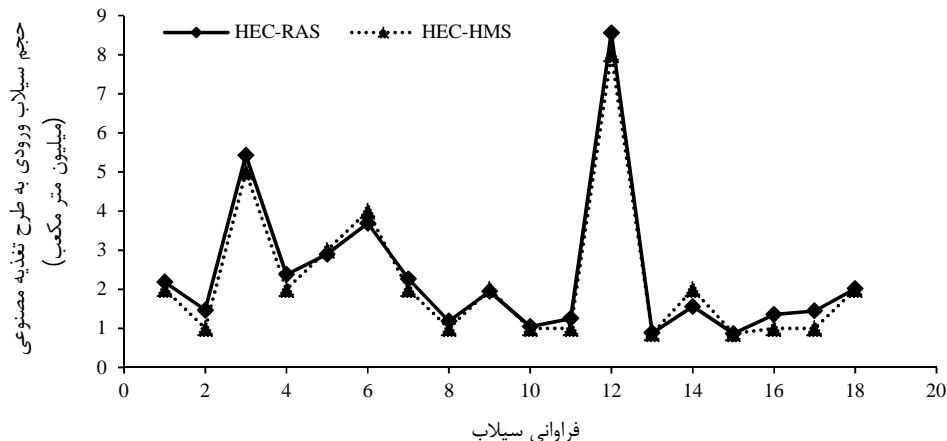
شکل ۵- مساحت بهترین مکان‌های تغذیه مصنوعی به روش فازی و وزنی

محاسبه حجم سیلاب ورودی به طرح تغذیه مصنوعی

با توجه به شکل ۶ حداکثر حجم سیلاب ورودی به طرح تغذیه حاصل از مدل HEC-RAS و مدل اول HEC-HMS در بازه زمانی مورد مطالعه به ترتیب برابر ۸/۵۶ و ۸ میلیون مترمکعب و مربوط به سیلاب ۴۸ ساعته فروردین سال آبی ۱۳۹۴ است. همچنین حداقل حجم سیلاب ورودی به طرح حاصل از مدل HEC-HMS برابر ۰/۸۷ میلیون مترمکعب مربوط به سیلاب ۲۴ ساعته فروردین سال آبی ۱۳۹۵ است و در مورد مدل HEC-RAS نیز حداقل مقدار متغیر موردنظر به همین میزان و مربوط به این بازه زمانی است. با توجه به نتایج، مقادیر حداکثر و حداقل حجم سیلاب ورودی به طرح تغذیه مصنوعی، مربوط به حداکثر و حداقل سیلاب رخ داده است. نتایج بیانگر این موضوع است که حجم سیلاب ورودی به طرح با حجم سیلاب رابطه مستقیم دارد و زمانی که حجم سیلاب افزایش می‌یابد، حجم سیلاب ورودی به طرح نیز افزایش می‌یابد و برعکس. صالحی شفا و همکاران (۲۰۲۲) عنوان نمودند که به‌منظور اجرای تغذیه مصنوعی می‌توان حجم سیلاب ورودی به طرح تغذیه را با حجم مخازن، حجم نفوذپذیری سیستم تغذیه مصنوعی، حجم سیلاب و حجم منابع آب بالادست، کنترل و همچنین ظرفیت سیستم (دبی طرح) را براساس حجم سیلاب، طراحی و اجرا کرد.

محاسبه نسبت نفوذ به سیلاب

با توجه به نتایج مدل هیدرولیکی HEC-RAS، حداکثر حجم نفوذ و مساحت خیس‌شده رودخانه به ترتیب برابر ۰/۱۰۶ میلیون مترمکعب مربوط به سیلاب اول ۷۲ ساعته اردیبهشت سال آبی ۱۳۹۳ و ۵۷۸۵۵ متر مربع مربوط به سیلاب اول ۴۸ ساعته فروردین سال آبی ۱۳۹۴ برآورد شدند. حداقل متغیرهای موردنظر نیز برابر ۰/۰۲۷ میلیون مترمکعب مربوط به سیلاب اول ۲۴ ساعته ماه‌های آبان و فروردین سال آبی ۱۳۹۵ و ۳۰۱۳۲/۷۷ مترمربع مربوط به سیلاب اول ۲۴ ساعته فروردین سال آبی ۱۳۹۵ مشخص شدند. به‌منظور محاسبه مقدار نسبت نفوذ به سیلاب (ضریب تغذیه)، از دبی سیلاب‌ها و نفوذهای مربوط در مسیر رودخانه استفاده شده است. براساس نتایج هیدرولیکی سیلاب‌های رودخانه کرج توسط مدل موردنظر، حداکثر مقدار این پارامتر برابر با ۰/۰۲۹۸ و مربوط به سیلاب ۲۴ ساعته فروردین سال آبی ۱۳۹۵ است. همچنین حداقل مقدار این پارامتر برابر با ۰/۰۱۱۹ و مربوط به سیلاب ۴۸ ساعته فروردین سال آبی ۱۳۹۴ است. هر چقدر مقدار این پارامتر بیشتر باشد نشان‌دهنده این است که مقدار حجم نفوذ مربوط به سیلاب موردنظر بیشتر است. این مسئله بستگی به مقدار دبی، سرعت، مدت زمان سیلاب و شرایط بستر رودخانه دارد.



شکل ۶- حجم سیلاب ورودی به طرح تغذیه مصنوعی حاصل از مدل‌های HEC-RAS و HEC-HMS

ورودی به طرح در دوره زمانی مورد مطالعه به ترتیب ۸۹ و ۸۶ درصد برآورد شد. مارتین-روزالس و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی با استفاده از روش عدد منحنی (CN) با استفاده از کد HEC-HMS، تعدادی از سازه‌های مهندسی و سدهای کنترلی در جنوب شرقی اسپانیا را به‌منظور برآورد حجم نفوذ ناشی از رواناب ورودی به سدهای کنترلی نفوذپذیر بررسی کردند. نتایج نشان داد که حجم نفوذ حاصل از رواناب‌های ورودی به سدهای مورد مطالعه از ۳ تا ۵۰ درصد است.

با توجه به شکل ۷ حداکثر حجم تغذیه سیلاب حاصل از مدل HEC-HMS، ۴/۶ میلیون مترمکعب بوده و حداکثر مقدار این متغیر برای مدل شبکه عصبی برابر ۵ میلیون مترمکعب است که مقدار این متغیر برای هر دو مدل مربوط به سیلاب اول اردیبهشت سال آبی ۱۳۹۳ است. همچنین حداقل حجم تغذیه سیلاب حاصل از دو مدل به یکدیگر نزدیک و برابر با ۰/۹ میلیون مترمکعب و مربوط به سیلاب ۲۴ ساعته آبان و فروردین سال آبی ۱۳۹۵ است؛ زیرا این دو سیلاب با حجم آب نزدیک به یکدیگر اتفاق افتاده‌اند. بیشترین حجم سیلاب ورودی به طرح در فروردین سال آبی ۱۳۹۴ اتفاق افتاده ولی بیشترین حجم تغذیه در سیلاب اول اردیبهشت سال آبی ۱۳۹۳ انجام شده است، این موضوع نشان می‌دهد، دبی سیلاب‌های سال ۱۳۹۳ نسبت به دبی سیلاب‌های سال ۱۳۹۴ با ظرفیت مخازن طرح تغذیه مصنوعی تناسب بیشتری دارد. این مسئله باعث می‌شود تغذیه بیشتری صورت گیرد؛ زیرا در طول مدت زمان تغذیه، سیلاب به صورت پیوسته وارد

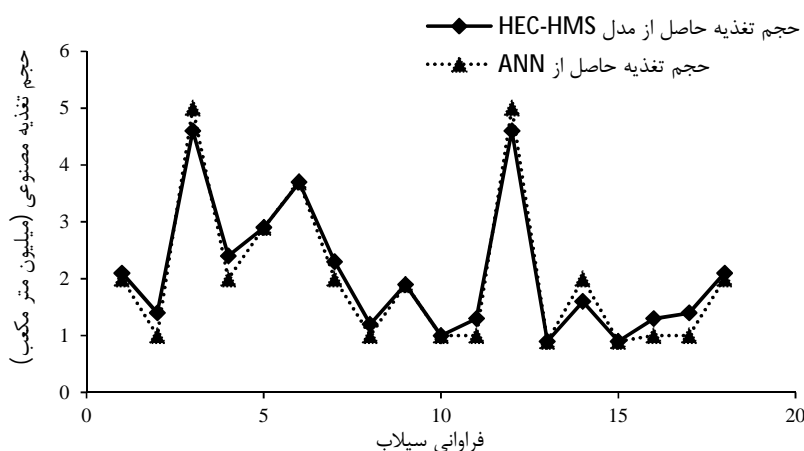
محاسبه حجم تغذیه سیلاب در مخازن طرح تغذیه مصنوعی

در تحقیق حاضر، پس از مرحله شبیه‌سازی حجم تغذیه سیلاب در مخازن طرح تغذیه مصنوعی با استفاده از مدل دوم HEC-HMS، این متغیر با شبکه عصبی مصنوعی MLP شبیه‌سازی شد. به‌منظور محاسبه دقت مدل و پیش‌بینی آن در حالت کلی، شاخص‌های ارزیابی دقت مدل برای کل داده‌ها نیز محاسبه شد. خطای RMSE شبکه مربوط به حجم تغذیه سیلاب در طرح تغذیه، برای مرحله آموزش، آزمایش، صحت‌سنجی و برای کل داده‌ها به ترتیب برابر $6/56 \times 10^{-5}$ ، $1/3 \times 10^{-3}$ ، 6×10^{-4} و 6×10^{-4} 5×10^6 میلیون مترمکعب بوده و ضریب همبستگی در تمام مراحل، برابر یک است. با توجه به این موضوع، داده‌های مرحله آموزش نسبت به مراحل آزمایش و صحت‌سنجی از دقت بالاتری برخوردار بوده و همچنین معیار ضریب همبستگی (R^2) در سطح ۰/۰۵ برای کل داده‌ها و برای داده‌های سه وضعیت معنی‌دار است؛ بنابراین در تحقیق موردنظر مدل شبکه عصبی مصنوعی، متغیر مورد مطالعه را به صورت مطلوب شبیه‌سازی کرده است. شکل ۷ حجم تغذیه در طرح تغذیه حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی و HEC-HMS را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مذکور حجم تغذیه سیلاب در طرح که با استفاده از شبکه عصبی برآورد شده است نزدیک به برآورد این مدل است. براساس نتایج مدل دوم HEC-HMS و مدل شبکه عصبی مصنوعی، حجم تغذیه سیلاب در مخازن طرح تغذیه مصنوعی نسبت به حجم سیلاب

سیلاب خروجی از طرح تغذیه برابر $37/6$ میلیون مترمکعب و مقدار تغذیه کل برای مدل شبکه عصبی برابر $36/3$ میلیون مترمکعب برآورد شد. با توجه به این موضوع، لی و همکاران (2022) با استفاده از ترکیب رادار دیافراگم مصنوعی تداخل سنجی InSAR و داده‌های ماهواره Sentinel-1، میزان ذخیره آب زیرزمینی توسط پروژه انتقال آب جنوب به شمال در سایت ذخیره آب زیرزمینی هایرو در بیجینگ واقع در کشور چین را بررسی کردند. نتایج نشان داد که حجم تغذیه در آبخوان محصور از اکتبر 2018 تا ژانویه 2019 به میزان 12 تا $13/9$ و در آبخوان آزاد 286 میلیون مترمکعب است.

طرح می‌شود و فرصت بیشتری برای نفوذ دارد تا زمانی که عمل ذخیره انجام شود و در هنگام ذخیره نیز نفوذ انجام می‌شود؛ ولی با سرعت کمتر و به این صورت حجم سیلاب کمتری از طرح تغذیه خارج خواهد شد و حجم تغذیه سیلاب افزایش می‌یابد. حتی در این حالت اگر طول مدت زمان سیلاب زیاد باشد و سیلاب خروجی وجود داشته باشد، به دلیل اینکه دبی سیلاب با دبی طرح متناسب است، حجم تغذیه سیلاب در بیشترین حالت خود خواهد بود.

میزان حجم کل تغذیه مصنوعی حاصل از مدل HEC-HMS، در کل بازه زمانی مورد مطالعه بدون در نظر گرفتن



شکل 7- حجم تغذیه سیلاب در طرح تغذیه مصنوعی حاصل از مدل شبکه عصبی و HEC-HMS

بازه زمانی مورد مطالعه، خشکسالی تشدید شده و این شرایط بر روی آبخوان تأثیر منفی گذاشته است. همچنین با توجه به نتایج، هر چقدر منابع آب سطحی در دسترس بیشتر باشد، حجم تغذیه و افزایش تغییرات تراز آب زیرزمینی بیشتر خواهد شد و این موضوع بیانگر رابطه مستقیم این سه عامل مهم و تأثیر آن‌ها بر یکدیگر است. همان‌طور که مشخص است، سیستم تغذیه مصنوعی باعث افزایش تغییرات سطح آب زیرزمینی می‌شود. همچنین مجموع تغییرات تراز ناشی از تغذیه طرح حاصل از برآورد شبیه‌ساز HEC-HMS و مدل شبکه عصبی در کل دوره زمانی مطالعاتی به ترتیب برابر $1/59$ و $1/53$ متر است که این موضوع بیانگر دقت مطلوب مدل شبکه عصبی است. تغییرات تراز ناشی از تغذیه در طرح و رودخانه حاصل از شبیه‌ساز در سال‌های 1393، 1394 و 1395 به ترتیب

محاسبه تغییرات سطح آب زیرزمینی

تغییرات تراز حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی و شبیه‌ساز HEC-HMS، در محدوده مطالعاتی با اعمال حجم نفوذ و ذخیره سیلاب در طرح تغذیه برآورد شدند. براساس نتایج، تغییرات تراز حاصل از برآورد مدل شبکه عصبی نزدیک به شبیه‌ساز است. بیشترین افزایش تغییرات تراز آب زیرزمینی حاصل از شبیه‌ساز و مدل شبکه عصبی مربوط به سال آبی 1393 با $0/87$ و $0/83$ متر است؛ زیرا در این سال حجم سیلاب رخ داده و به دنبال آن حجم تغذیه بیشتر از سال‌های دیگر است. سپس سال آبی 1394 با $0/37$ متر برای هر دو مدل و در انتها سال 1395 با $0/35$ و $0/33$ متر افزایش تغییرات سطح آب زیرزمینی حاصل از شبیه‌ساز و مدل شبکه عصبی قرار دارد؛ بنابراین نتایج نشان می‌دهند که در طول

بر این اساس بازدهی ذخیره طرح در سال‌های آبی ۱۳۹۳، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به ترتیب برابر ۵۸، ۴۲ و ۶۱ درصد بوده و بازدهی تغذیه طرح برای این مدت زمان به ترتیب برابر ۹۷، ۶۹ و ۱۰۰ درصد است. عملکرد ذخیره طرح مربوط به سال آبی ۱۳۹۴ کمترین مقدار در طول بازه زمانی مورد مطالعه است. همچنین عملکرد تغذیه طرح در این مدت کمترین مقدار در بازه زمانی ذکر شده است؛ زیرا بیشترین سیلاب خروجی از طرح که منجر به کاهش عملکرد طرح در تغذیه شده، در این مدت رخ داده است. همچنین بیشترین عملکرد طرح در ذخیره و تغذیه در سال ۱۳۹۵ رخ داده است؛ زیرا سیلاب خروجی در این بازه زمانی وجود نداشته و دبی سیلاب‌ها از دبی طرح کمتر بودند و یا بیشترین تناسب با دبی طرح را داشته‌اند. در کل عملکرد ذخیره طرح در بازه زمانی موردنظر برابر ۵۴ درصد و عملکرد تغذیه طرح برابر ۸۹ درصد است. همچنین عملکرد کل سیستم تغذیه مصنوعی شامل (بخش رودخانه و طرح تغذیه مصنوعی) در اعمال تغذیه در دوره زمانی موردنظر ۹۰ درصد برآورد شد؛ بنابراین نتایج نشان می‌دهد که به‌طور کلی عملکرد طرح تغذیه مصنوعی در انجام تغذیه، مناسب و قابل قبول است. دهقانی‌پور و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود بیان کردند که طرح‌های تغذیه مصنوعی به‌عنوان یک روش مدیریت تغذیه آبخوان می‌تواند بخشی از آب‌های خارج‌شده از زیر زمین را جبران و برای مهار و استفاده بهینه از سیلاب نقش بسیار مؤثری ایفا کنند.

نتیجه‌گیری

با توجه به تحلیل فازی و وزنی، بهترین مکان‌ها برای تغذیه مصنوعی در هر سال و در کل افق زمانی مورد مطالعه، مناطق شمالی دشت بود. مساحت نواحی مناسب (خوب) حاصل از روش فازی در کل بازه زمانی مطالعاتی به طور میانگین ۸/۶۲ درصد بیشتر از روش وزنی محاسبه شد؛ بنابراین با گذشت زمان این نتایج تغییرات محسوسی نداشته و عملکرد روش فازی در برآورد مکان‌های مناسب بهتر از روش وزنی است. به دلیل اینکه مخروطه‌افکنه آبرفتی رودخانه کرج در شمال دشت شهریار، تنها منطقه فاقد پوشش گیاهی، اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی است و، با توجه به معیارهای فنی، دارای شرایط مطلوب به‌منظور تغذیه مصنوعی است، بهترین مکان برای تغذیه

برابر ۰/۱۹۵، ۰/۵۶ و ۰/۳۷ متر و در کل بازه موردنظر برابر ۱/۸۸ متر برآورد شد. با توجه به این موضوع، آبراهام و موهان (۲۰۱۵) تغذیه مصنوعی حاصل از سد چک، حوضچه نفوذ و چاه‌های نفوذ را به‌صورت منفرد و ترکیبی در ایالت تامیل در کشور هندوستان ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که پس از گذشت دو سال از ساخت سازه تغذیه مصنوعی، سطح آب زیرزمینی حاصل از حوضچه نفوذ به میزان ۲ تا ۴ متر و سطح آب زیرزمینی حاصل از سد چک، حوضچه نفوذ و چاه‌های نفوذ به اندازه ۵ متر افزایش یافت.

براساس نتایج، زمانی که سیلاب اتفاق بیافتد و با توجه به اندازه سیلاب که توسط سیستم تغذیه مصنوعی تغذیه می‌شود، می‌تواند به همان اندازه بر افزایش سطح آب زیرزمینی تأثیرگذار باشد. با توجه به اینکه مصارف بخش‌های مختلف از منابع آب زیرزمینی تأثیر چشمگیری در کاهش حجم و سطح منابع آب زیرزمینی دارد؛ اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی و بهره‌برداری مناسب از آن‌ها منجر به کاهش تأثیر مصارف بر آبخوان خواهد شد. با توجه به این موضوع، کارآموز و همکاران (۲۰۲۱) روش انتخاب محل، کریجینگ غیرثابت، مدل‌سازی عددی و پایداری عرضه و تقاضای بلندمدت را به‌منظور ارزیابی تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی توسعه دادند. نتایج نشان داد که با اعمال تغذیه مصنوعی، مقدار کاهش سطح آب‌های زیرزمینی حدود ۳۰ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین سایت و یازچیگل (۲۰۱۲) به‌منظور ارزیابی پتانسیل اجرای طرح تغذیه مصنوعی به دو روش حوضچه‌ای و سد زیرزمینی، حوضه رودخانه مندرس در کشور ترکیه را مطالعه کردند. نتایج مشخص کرد که اجرای سیستم تغذیه مصنوعی به دو روش موردنظر، باعث افزایش سطح آب زیرزمینی می‌شود.

محاسبه عملکرد طرح در ذخیره و تغذیه سیلاب

به‌منظور بررسی توانایی سامانه تغذیه مصنوعی، عملکرد طرح در ذخیره و تغذیه سیلاب برآورد شد. در صورت وجود سیلاب خروجی از طرح تغذیه، کل سیلاب خروجی در شن چاله‌های بعد از طرح، تغذیه می‌شوند؛ بنابراین کل سیلاب ورودی به طرح تغذیه می‌شود که با توجه به این موضوع، برای محاسبه عملکرد طرح در تغذیه سیلاب، از متغیر نفوذ طی سیلاب و ذخیره در مخازن استفاده شد.

منابع

1. صالحی شفا ن. بابازاده ح. آقاییاری ف. و صارمی ع. 1401. برنامه‌ریزی چند هدفه به منظور بهره‌برداری بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی و سیستم تغذیه مصنوعی. مجله اکوهیدرولوژی. 9(1): 77-95.
2. صالحی شفا ن. بابازاده ح. آقاییاری ف. و صارمی ع. 1401. مدیریت تغذیه مصنوعی آبخوان دشت شهریار با مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی چند هدفه. مجله مدیریت آب و آبیاری. 12(1): 99-119.
3. مهدوی ع. نوری امام‌زاده‌یی م. ر. مهدوی نجف‌آبادی ر. و طباطبائی س. ح. 1390. مکانیابی عرصه‌های مناسب تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوضه آبریز دشت شهرکرد. مجله علوم آب و خاک. 15(56): 63-78.
4. Abdulkerim E. Fufa F. and Takala W. 2022. Identification of groundwater recharge site using geographical information system and remote sensing: case study of Sude district, Oromia, Ethiopia. *Environmental Earth Sciences*. 81(2): 1-15.
5. Abraham M. and Mohan S. 2015. Effectiveness of artificial recharge structures in enhancing groundwater storage: a case study. *Indian J Sci Technol*. 8(20): 1-10.
6. Albo-Salih H. Mays L.W. and Che D. 2022. Application of an Optimization/Simulation Model for the Real-Time Flood Operation of River-Reservoir Systems with One-and Two-Dimensional Unsteady Flow Modeling. *Water*. 14(1): 87.
7. Amano H. and Iwasaki Y. 2022. Estimation of groundwater recharge in Kumamoto area, Japan in 2016 by mapping land cover using GIS data and SPOT 6/7 satellite images. *Sustainability*. 14(1): 545.
8. Ardakani A. H. H. Shojaei S. Shahvaran A. R. Kalantari Z. Cerdà A. and Tiefenbacher J. 2022. Selecting potential locations for groundwater recharge by means of remote sensing and GIS and weighting based on Boolean logic and analytic hierarchy process. *Environmental Earth Sciences*. 81(1): 1-19.
9. Awadallah M. O. M. Juárez A. and Alfredsen K. 2022. Comparison between Topographic and Bathymetric LiDAR مصنوعی در نظر گرفته شد. حداکثر حجم سیلاب ورودی به طرح تغذیه حاصل از مدل HEC-RAS و مدل اول HEC-HMS در بازه زمانی مورد مطالعه به ترتیب برابر 8/56 و 8 میلیون مترمکعب و حداقل مقدار این متغیر حاصل از مدل HEC-HMS برابر 0/87 میلیون مترمکعب و در مورد مدل HEC-RAS نیز به همین میزان برآورد شد. نتایج مشخص کردند که مقادیر حداکثر و حداقل حجم سیلاب ورودی به طرح، مربوط به حداکثر و حداقل سیلاب رخ داده است. براساس نتایج مدل دوم HEC-HMS و مدل شبکه عصبی، حجم تغذیه سیلاب در مخازن طرح تغذیه مصنوعی نسبت به حجم سیلاب ورودی به طرح در دوره زمانی مورد مطالعه به ترتیب 89 و 86 درصد برآورد شد. همچنین مجموع تغییرات تراز ناشی از تغذیه طرح حاصل از برآورد مدل HEC-HMS و مدل شبکه عصبی در کل دوره زمانی مطالعاتی به ترتیب برابر 1/59 و 1/53 متر است که این موضوع بیانگر دقت مطلوب مدل شبکه عصبی است. تغییرات تراز ناشی از تغذیه در طرح و رودخانه در کل بازه موردنظر برابر 1/88 متر برآورد شد. عملکرد ذخیره طرح در بازه زمانی مطالعاتی برابر 54 درصد، عملکرد تغذیه طرح برابر 89 درصد و عملکرد کل سیستم تغذیه مصنوعی شامل بخش رودخانه و طرح تغذیه مصنوعی در اعمال تغذیه 90 درصد برآورد شدند. همان‌طور که مشخص شد، حجم سیلاب ورودی به طرح با حجم کل سیلاب رابطه مستقیم دارد و زمانی که حجم سیلاب افزایش می‌یابد، حجم سیلاب ورودی به طرح نیز افزایش می‌یابد و برعکس؛ بنابراین در صورت اجرای طرح تغذیه مصنوعی و طراحی و اجرای دبی طرح براساس دبی سیلاب، به دلیل اینکه دبی سیلاب با دبی طرح متناسب است، حجم تغذیه سیلاب در بیشترین حالت خود خواهد بود. مصارف بخش‌های مختلف از منابع آب زیرزمینی تأثیر چشمگیری در کاهش حجم و سطح منابع آب زیرزمینی دارد؛ ولی اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی و بهره‌برداری مناسب از آن‌ها منجر به کاهش تأثیر مصارف بر آبخوان خواهد شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به مناسب و قابل قبول بودن نتایج الگوی شبیه‌سازی و عملکرد طرح تغذیه مصنوعی، می‌توان از شبکه عصبی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند و کاربردی در شبیه‌سازی و برآورد تغذیه سیلاب در حوضه‌های طرح تغذیه مصنوعی استفاده کرد.

- modelling in New Cairo City, Egypt. *Journal of Flood Risk Management*. 14(2): e12692.
19. Fatdillah E. Rehan B. M. Rameshwaran P. Bell V. A. Zulkafli Z. Yusuf B. and Sayers P. 2022. Spatial estimates of flood damage and risk are influenced by the underpinning DEM resolution: a case study in Kuala Lumpur, Malaysia. *Water*. 14(14): 2208.
 20. Gao P. Gao W. and Ke N. 2021. Assessing the impact of flood inundation dynamics on an urban environment. *Natural Hazards*. 109(1): 1047-1072.
 21. Ghimire E. Sharma S. and Lamichhane N. 2022. Evaluation of one-dimensional and two-dimensional HEC-RAS models to predict flood travel time and inundation area for flood warning system. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 28(1): 110-126.
 22. Hazra P. and Krishna A. P. 2022. Assessment of Proglacial Lakes in Sikkim Himalaya, India for Glacial Lake Outburst Flood (GLOF) Risk Analysis using HEC-RAS and Geospatial Techniques. *Journal of the Geological Society of India*. 98(3): 344-352.
 23. Hsieh S. H. Liu L. W. Chung W. G. and Wang Y. M. 2019. Sensitivity analysis on the rising relation between short-term rainfall and groundwater table adjacent to an artificial recharge lake. *Water*. 11(8): 1704.
 24. Jahangir M. H. Reineh S. M. M. and Abolghasemi M. 2019. Spatial predication of flood zonation mapping in Kan River Basin, Iran, using artificial neural network algorithm. *Weather and Climate Extremes*. 25: 100215.
 25. Jahangirzadeh H. and Ghanbarzadeh Lak M. 2021. Developing a Decision-making Model to Enhance Artificial Aquifer Recharge Site Selection Through Floodwater Spreading Based on GIS and ELECTRE I. *Water Resources Management*. 35(15): 5169-5186.
 26. Karamouz M. Teymoori J. and Olyaei M. A. 2021. A Spatial Non-Stationary Based Site Selection of Artificial Groundwater Recharge: a Case Study for Semi-Arid Regions. *Water Resources Management*. 35(3): 963-78.
 27. Kolaković S. Fabian J. Jeftenić G. and Trajković S. 2021. River Floodplain 1D/2D Hydraulic Modelling Combined with Recent LiDAR DTM Technology. *Tehnički vjesnik*. 28(3): 880-890.
 28. Lamichhane N. Sharma S. and Subedi A. S. 2022. Effects of climate change in winter ice cover and ice thickness in flooding: a case study of Grand River, Ohio, USA. *ISH Terrain Models in Flood Inundation Estimations*. *Remote Sensing*. 14(1): 227.
 10. Ayed B. Khelif N. and Bouri S. 2022. Groundwater potential recharge assessment in arid regions using GIS tool: case of the Medenine shallow aquifer (Southeastern Tunisia). *Applied Geomatics*. 1-16.
 11. Bhunia G. S. Maity P. K. and Shit P. K. 2021. Spatial appraisals of groundwater recharge potential zone identification using remote sensing and GIS. In *Groundwater and Society*, Springer, Cham. pp. 407-427.
 12. Chen X. Chen C. Hao Q. Zhang Z. and Shi P. 2008. Simulation of rainfall-underground outflow responses of a karstic watershed in Southwest China with an artificial neural network. In *Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst*. pp. 433-443.
 13. Dehghanipour A. H. Zahabiyou B. Schoups G. and Babazadeh H. 2019. A WEAP-MODFLOW surface water-groundwater model for the irrigated Miyandoab plain, Urmia Lake basin, Iran: Multi-objective calibration and quantification of historical drought impacts. *Agricultural Water Management*. 223: 105704.
 14. Dekongmen B. W. Anornu G. K. Kabo-Bah A. T. Larbi I. Sunkari E. D. Dile Y. T. and Gyamfi C. 2022. Groundwater recharge estimation and potential recharge mapping in the Afram Plains of Ghana using SWAT and remote sensing techniques. *Groundwater for Sustainable Development*. 17: 100741.
 15. Dhanapala L. Gunarathna M. H. J. P. Kumari M. K. N. Ranagalage M. Sakai K. and Meegastenna T. J. 2022. Towards Coupling of 1D and 2D Models for Flood Simulation—A Case Study of Nilwala River Basin, Sri Lanka. *Hydrology*. 9(2): 17.
 16. Dhiwar B.K. Verma S. and Prasad A. D. 2022. Identification of Flood Vulnerable Area for Kharun River Basin by GIS Techniques. In *Advanced Modelling and Innovations in Water Resources Engineering*, Springer, Singapore. pp. 385-408.
 17. Elkharchy I. 2022. Flash flood water depth estimation using SAR images, digital elevation models, and machine learning algorithms. *Remote Sensing*. 14(3): 440.
 18. Elkharchy I. Pham Q. B. Costache R. Mohajane M. Rahman K. U. Shahabi H. and Anh D. T. 2021. Sentinel-1 remote sensing data and Hydrologic Engineering Centres River Analysis System two-dimensional integration for flash flood detection and

38. Pertiwi A.P. Roth A. Schaffhauser T. Bhola P.K. Reuß F. Stettner S. ... and Disse M. 2021. Monitoring the Spring Flood in Lena Delta with Hydrodynamic Modeling Based on SAR Satellite Products. *Remote Sensing*. 13(22): 4695.
39. Ponnusamy D. and Elumalai V. 2022. Determination of potential recharge zones and its validation against groundwater quality parameters through the application of GIS and remote sensing techniques in uMhlathuze catchment, KwaZulu-Natal, South Africa. *Chemosphere*. 307: 136121.
40. Quiroga V. M. Kurea S. Udo K. and Manoa A. 2016. Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *Ribagua*. 3(1): 25-33.
41. Rani M. Pande A. Kumar K. Joshi H. Rawat D. S. and Kumar D. 2022. Investigation of groundwater recharge prospect and hydrological response of groundwater augmentation measures in Upper Kosi watershed, Kumaun Himalaya, India. *Groundwater for Sustainable Development*. 16: 100720.
42. Rawat M. Ahmed R. Jain S.K. Lohani A. K. Rongali G. and Tiwari K. C. 2022. Glacier-glacial lake changes and modeling glacial lake outburst flood in Upper Ganga Basin, India. *Modeling Earth Systems and Environment*. 1-20.
43. Sahu U. Wagh V. Mukate S. Kadam A. and Patil S. 2022. Applications of geospatial analysis and analytical hierarchy process to identify the groundwater recharge potential zones and suitable recharge structures in the Ajani-Jhiri watershed of north Maharashtra, India. *Groundwater for Sustainable Development*. 17: 100733.
44. Sayit A. P. and Yazicigil H. 2012. Assessment of artificial aquifer recharge potential in the Kucuk Menderes River Basin, Turkey. *Hydrogeology Journal*. 20(4): 755-766.
45. Singh S. K. and Noori A. R. 2022. Delineation of groundwater recharge potential zones for its sustainable development utilizing GIS approach in Kabul basin, Afghanistan. *Arabian Journal of Geosciences*. 15(2): 1-15.
46. Soliman K. Sallam O. M. and Schüth C. 2022. Delineating MAR Sites Using GIS-MCDA for Nuweiba Alluvial Fan Aquifer, Sinai, Egypt. *Water*. 14(3): 475.
47. Tabatabaei S. H. and Ghazali M. 2011. Accuracy of interpolation methods in estimating the groundwater level (case study: Farsan-Jooneghan and Sefiddasht Journal of Hydraulic Engineering. 28(sup1): 503-517.
29. Li M. Sun J. Xue L. Shen Z. Zhao B. and Hu L. 2022. Characterization of Aquifer System and Groundwater Storage Change Due to South-to-North Water Diversion Project at Huairou Groundwater Reserve Site, Beijing, China, Using Geodetic and Hydrological Data. *Remote Sensing*. 14(15): 3549.
30. Mahdavi A. Tabatabaei S. H. Mahdavi R. and Nouri Emamzadei M. R. 2013. Application of digital techniques to identify aquifer artificial recharge sites in GIS environment. *International Journal of Digital Earth*. 6(6): 589-609.
31. Mahdawi Q. Sagin J. Absametov M. and Zaryab A. 2022. Water Recharges Suitability in Kabul Aquifer System within the Upper Indus Basin. *Water*. 14(15): 2390.
32. Mahmoudi M. Aydi A. and Ibrahim H. 2021. Site selection for artificial recharge with treated wastewater with the integration of multi-criteria evaluation and ELECTRE III. *Environmental Science and Pollution Research*. 28(34): 46748-46763.
33. Martín-Rosales W. Gisbert J. Pulido-Bosch A. Vallejos A. and Fernández-Cortés A. 2007. Estimating groundwater recharge induced by engineering systems in a semiarid area (southeastern Spain). *Environmental Geology*. 52(5): 985-995.
34. Mourato S. Fernandez P. Marques F. Rocha A. and Pereira L. 2021. An interactive Web-GIS fluvial flood forecast and alert system in operation in Portugal. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 58: 102201.
35. Nair A.S. Soman M.K. Girish P. Karmakar S. and Indu J. 2022. Evaluating SWOT Water Level Information Using a Large-Scale Hydrology Simulator: A Case Study Over India. *Advances in Space Research*.
36. Ojha M. Ojha C. Nayak I. Goswami S. and Sahu P.C. 2022, July. Potential Groundwater Recharge Zone Assessment in the Western Part of Odisha, India. In *IGARSS 2022-2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 5473-5476). IEEE.
37. Pandey P. Tiwari S.K. Pandey H.K. Chaurasia A.K. and Singh S. 2021. Identification of Potential Recharge Zones in Drought Prone Area of Bundelkhand Region, India, Using SCS-CN and MIF Technique Under GIS-frame work. *Water Conservation Science and Engineering*. 6(3): 105-125.

- aquifers). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 15(57 (B)): 11-22.
48. Tariq A. Shu H. Kuriqi A. Siddiqui S. Gagnon A. S. Lu L. and Pham Q.B. 2021. Characterization of the 2014 Indus River Flood Using Hydraulic Simulations and Satellite Images. *Remote Sensing*. 13(11): 2053.
49. Thangaraj K. and Karthikeyan S. 2022. Application of Remote Sensing and GIS in Floodwater Harvesting for Groundwater Development in the Upper Delta of Cauvery River Basin, Southern India. In *Water Resources Management and Sustainability* (pp. 257-280). Springer, Singapore.
50. Xu G. Su X. Zhang Y. and You B. 2021. Identifying potential sites for artificial recharge in the plain area of the Daqing River catchment using gis-based multi-criteria analysis. *Sustainability*. 13(7): 3978.
51. Zimik H.V. Angchuk T. Misra A.K. Ranjan R.K. Wanjari N. and Basnett S. 2022. GIS-based identification of potential watershed recharge zones using analytic hierarchy process in Sikkim Himalayan region. *Applied Water Science*. 12(11): 1-18.