



## کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در مدیریت تلفیقی آبهای سطحی و زیرزمینی

حمیدرضا صفوی<sup>۱</sup>، فاطمه درزی<sup>۲</sup>

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران مدیریت منابع آب

hasafavi@cc.iut.ac.ir

### خلاصه

یکی از راهکارهای نوین در دهه‌های اخیر در بحث مدیریت منابع آب، استفاده تلفیقی بهینه از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی می‌باشد. در این راستا نیاز به ایجاد ارتباط بین مدل‌های شبیه‌ساز و مدیریتی می‌باشد، تا ضمن پیش‌بینی مناسب رفتار هیدروسیتسم، منجر به تعیین بهترین جواب ممکن مسئله گردد. با توجه به مشکلات استفاده از شبیه‌سازهای عددی رایج در هیدروسیتسم‌های پیچیده، کاربرد مدل‌های شبیه‌ساز ریاضی با صرف زمان و حافظه سخت‌افزاری کمتر برای انجام محاسبات پیچیده با حفظ دقت مورد نیاز منطقی می‌باشد. در این تحقیق نحوه استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی رفتار یک آبخوان در اندرکنش هیدرولیکی با آبهای سطحی ارائه شده‌است. نتایج حاکی از دقت قابل قبول مدل تدوین شده و امکان اتصال آن به هر الگوریتم بهینه‌سازی در راستای حل مدل‌های مدیریتی می‌باشد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی تلفیقی، شبیه‌سازی-بهینه‌سازی، آب زیرزمینی، شبکه عصبی مصنوعی.

### مقدمه

افزایش تقاضای آب، توزیع ناهمگون زمانی و مکانی آب شیرین به لحاظ کمی از یک طرف و محدودیتها و مشکلات روزافزون کیفی از طرف دیگر، تأمین منابع آب را در بسیاری از مناطق به یکی از چالشهای جدی در مدیریت منابع آب تبدیل نموده است. با توجه به گسترش نیازها و محدودیت منابع آب قابل دسترس، یکی از راهکارهای مناسب در دهه‌های اخیر در بحث مدیریت منابع آب، استفاده تلفیقی بهینه از منابع آبهای سطحی و زیرزمینی می‌باشد. تحقیقات انجام شده در بهره‌برداری تلفیقی، از دیدگاه کلان منابع آب در سه بخش کلی کمی، کیفی و کمی-کیفی تقسیم بندی می‌شود. در دیدگاه کمی هدف تعیین مقدار برداشت و توزیع زمانی و مکانی بهره‌برداری از هر یک از منابع بمنظور کاهش میزان کمبودها، کاهش اثرات منفی توزیع زمانی نامناسب جریان رودخانه، ذخیره آب در سفره‌های آب زیرزمینی واقع در مجاورت مصرف کنندگان، مدیریت مطلوبتر تقاضا برای آب در زمان خشکسالی و حذف یا کاهش مسائل مربوط به زهکشی می‌باشد. در بعد کیفی بیشتر تحقیقات در زمینه‌های شبکه‌های آبیاری و استفاده تلفیقی از آبهای با کیفیت پایین با آب با کیفیت مطلوبتر انجام شده است. بیشتر تحقیقات از لحاظ کمی-کیفی در زمینه آبرسانی شهری و تامین آب مورد نیاز در حد کیفیت استاندارد مورد نظر بوده است. استفاده ترکیبی از تکنیکهای بهینه‌سازی و شبیه‌سازی یک روش مفید و قدرتمند در تعیین استراتژیهای مدیریتی و طراحی برای توسعه و بهره‌برداری بهینه از سیستم آبهای زیرزمینی و سطحی می‌باشد. مدل‌های شبیه‌سازی سیستم آب زیرزمینی توانایی شبیه‌سازی پاسخهای سیستم به استراتژیهای مدیریتی مشخص را دارند. در این روش برای رسیدن به استراتژی مدیریتی بهینه نیاز به انجام سعی و خطای بسیار و صرف زمان زیاد جهت اجرای مکرر مدل با تغییر دادن پارامترهای مورد نظر می‌باشد. علاوه بر این ممکن است جواب نهایی به دست آمده بهترین جواب ممکن نیز نبوده‌باشد. به منظور اصلاح این محدودیت، اتصال مدل‌های شبیه‌سازی با مدل مدیریتی پیشنهاد شده که در اینصورت مرحله سعی و خطا در تعیین بهترین عملکرد سیستم حذف گردید. مدل‌های بهینه‌سازی استراتژیهای مدیریتی بهینه را از مجموعه‌ای از استراتژیهای جایگزین امکانپذیر، تعیین می‌کنند. برای اطمینان از اینکه پاسخهای مدیریتی بهینه از لحاظ فیزیکی هم قابل قبول هستند، می‌بایست رفتار سیستم را شبیه‌سازی نمود.

<sup>۱</sup> استادیار

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد



دو روش معمول در ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی عبارتند از [۱]: روش ماتریس‌های پاسخ<sup>۱</sup> و روش درون‌گذاری<sup>۲</sup>. در روش ماتریس‌های پاسخ از یک مدل شبیه‌سازی خارجی به منظور تولید ضرایب پاسخ<sup>۳</sup> آبخوان استفاده می‌شود. هر کدام از این ضرایب اثر یک واحد تغییر در یک متغیر تصمیم‌گیر وابسته (نرخ تغذیه یا تخلیه) در یک موقعیت چاه از پیش تعیین شده بر روی یک نوع از متغیرهای وابسته (بار هیدرولیکی) در نقاط مشاهده‌ای معلوم را نشان می‌دهند. مجموع این ضرایب در کنار هم ماتریس پاسخ را تشکیل می‌دهند، که در مدل مدیریتی به عنوان جایگزین مدل شبیه‌سازی قرار داده می‌شود. ورود مدل آب زیرزمینی به مدل مدیریتی اولین بار توسط ممدک در سالهای ۱۹۷۲ و ۱۹۷۴ با تعریف توابع تکنولوژیکی جبری که مقادیر افت در آبخوان را به پمپاژ فصلی از آن مربوط می‌کرد صورت گرفت [۲] و در سالهای بعد توسط افرادی چون مورل سیتوکس [۳]، ویلیس، حیدری [۴] و ابریشمچی و افشار [۵] توسعه داده شد. با پیشرفت مدل‌های شبیه‌سازی عددی مطالعات با استفاده از آنها در راستای تولید ضرایب پاسخ آبخوان توسط بلاینه [۶]، بارلو [۷] و سیزانکی و همکاران [۸] صورت گرفت.

در روش درون‌گذاری معادلات جریان با استفاده از تقریبهای تفاضل محدود و یا اجزاء محدود به صورت خطی درآمده و به عنوان قید وارد مدل بهینه‌سازی می‌شوند و کل مدل شبیه‌سازی به صورت جزئی از مدل مدیریتی حل می‌شود. از جمله مطالعات انجام شده با استفاده از این روش می‌توان به مطالعات پرتالا و همکارانش [۹] و ودولا و همکاران [۱۰] اشاره نمود.

در سالهای اخیر مطالعات زیادی در رابطه با استفاده از روش‌های رگرسیون‌گیری توسط کارآموز و همکاران [۱۱] و یا شبکه عصبی مصنوعی [۱۲ و ۱۳] در دستیابی به توابع پاسخ آبخوان صورت گرفته‌است. فلسفه به کار رفته در این روشها صرف زمان و حافظه سخت‌افزاری کمتر برای انجام محاسبات پیچیده شبیه‌سازی از طریق برخی تقریبها از مدل شبیه‌ساز با حفظ دقت مورد نیاز بوده‌است. در این مقاله روش استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت شبیه‌سازی پاسخ آبخوان در مدل تلفیقی بهینه‌ارائه و کاربرد آن در زیرحوضه نجف‌آباد واقع در حوضه آبریز زاینده‌رود نشان داده شده است.

### کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در مدیریت تلفیقی منابع آب

در شرایط پایدار و به منظور بهره‌برداری از منابع آبهای سطحی و آب زیرزمینی، استفاده از نرم افزارهای رایج که عموماً از روشهای تفاضل محدود و بعضاً عناصر محدود استفاده می‌کنند، می‌تواند انتخاب خوبی باشد، اما در مسائل بهینه‌سازی بهره‌برداری مجزا و یا بهره‌برداری تلفیقی، نیاز به اجزای متعدد از یک برنامه شبیه‌سازی می‌باشد. در این حالت استفاده از نرم افزارها یا شبیه‌سازی مبتنی بر معادلات اصلی حاکم بر جریان آب زیرزمینی (معادله پیوستگی و قانون دارسی) دارای مشکلات عمده‌ای ناشی از تلفیق این برنامه‌ها با الگوریتم‌های نوین بهینه‌سازی چون الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی بازپخت است. در کنار این مشکل، زمان اجرای برنامه و عدم در دسترس بودن کد برنامه‌نویسی مربوطه نیز از اثرات جانبی منفی در چنین برخوردی است. جهت حل این مشکل، استفاده از یک برنامه شبیه‌سازی ریاضی برای ارتباط ورودی‌های مختلف یک سیستم به خروجی‌های آن، مناسب به نظر می‌رسد. چنین برنامه‌ای بدون در نظر گرفتن معادلات داخلی حاکم بر فیزیک مسئله، تنها بر اساس مقادیر مشاهده‌ای تابع، ارتباط بین ورودی-خروجی را بدست می‌دهد. روش رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی از جمله مدل‌های شبیه‌ساز ریاضی متداول می‌باشند که استفاده از روش دوم از مزیت بیشتری در هیدروسیتسم‌های پیچیده برخوردار می‌باشد. یکی از دلایل استفاده از ANN این است که در مدل رگرسیونی باید فرم تابع رگرسیون مشخص باشد و با استفاده از الگوهای مختلف ضرایب رگرسیون را تعیین کرد [۱۴]، در صورتیکه فرم روابط موجود بین فاکتورهای مختلف پیچیده یا مجهول باشد نیاز به تقریب فرم رابطه است، که در صورت اشتباه بودن خطای بزرگی به همراه خواهد داشت.

شبکه عصبی مصنوعی به مثابه یک جعبه سیاه می‌ماند که بر اساس محاسبات بر روی داده‌های عددی یا مثال‌ها، قوانین کلی را فرا می‌گیرند و با درک رابطه منطقی بین متغیرهای ورودی و خروجی، الگوریتم طوری آموزش می‌یابد که به ازای ورودیها، خروجیهای متنظر را ارائه کند. کوچکترین واحد پردازشگر اطلاعات در شبکه عصبی مصنوعی نرون می‌باشد که با استفاده از تابع واکنش، پارامترهای وزن و اریب مقدار خروجی خاصی را به ازای ورودی‌های مختلف تولید می‌کند. یادگیری شبکه‌های عصبی به منظور بهینه کردن عملکرد شبکه به معنی حداقل نمودن خطایی که بین خروجی شبکه و خروجی مطلوب وجود دارد صورت می‌گیرد. بدین منظور لازم است که از پیش، مجموعه‌ای از بردارهای ورودی و خروجی متنظر تهیه شود برای اینکه بهینه‌سازی انجام شود، باید دو گام زیر طی شود. اولین گام تعریف مفهوم عملکرد شبکه است. به عبارت دیگر باید عملکرد شبکه به صورت کمی بیان شود که این عدد را شاخص عملکرد<sup>۴</sup> گویند و هر چه مقدار آن کمتر باشد، عملکرد شبکه بهتر است. دومین گام، تنظیم پارامترهای شبکه برای کاهش مقدار شاخص عملکرد است. برای اینکار باید از الگوریتم‌های بهینه‌سازی که نقاط کمینه را در سطوح عملکرد می‌یابند، استفاده کرد. یک شبکه دو لایه که در لایه اول تابع انتقال سیگموئید و در لایه دوم تابع انتقال خطی داشته‌باشد، به خوبی قادر به تخمین اغلب توابع می‌باشد [۱۳]. در طراحی شبکه عصبی تعداد نرونهای لایه خروجی با توجه به صورت مسئله و تعداد نرونهای لایه ورودی با توجه به تعداد پارامترهای تأثیر گذار بر خروجیها تعیین می‌شود. به منظور تعیین تعداد نرونهای لایه مخفی، که ساختار دینامیکی شبکه را شکل داده و رابطه پیچیده بین متغیرهای ورودی و خروجی توسط آنها برقرار می‌شود از سعی و خطا استفاده می‌شود. فرآیند سعی و خطا با تعداد نرون کم شروع می‌شود و در هر سعی یک نرون به تعداد نرونها اضافه می‌شود. در هر تکرار شبکه با استفاده از مجموعه آموزشی موجود تعلیم داده می‌شود.

<sup>1</sup> Response Matrix

<sup>2</sup> Embedding

<sup>3</sup> Response Coefficients

<sup>4</sup> Performance Index



در زمینه کاربرد مدل‌های تلفیقی سعی در دستیابی به یک استراتژی بهینه کاربرد منابع آب موجود با توجه به فاکتورهای تأثیرگذاری چون عوامل فیزیکی، اجتماعی، سیاسی، قانونی و اقتصادی می‌باشد. در استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی-بهینه‌سازی تکرار اجرای مدل شبیه‌سازی به ازای پارامترهای ورودی مؤثر امکان تخمین متغیرهای حالت مد نظر را به کاربر می‌دهد. به عنوان مثال در یک سیستم آب زیرزمینی یکی از این متغیرهای مهم تغییرات تراز سطح آبخوان است که می‌تواند گویای مشکلات ناشی از برداشت بیش از حد یا باتلاقی شدن این مخازن باشد. با تعیین متغیرهای تصمیم و متغیر حالت در مدل مدیریتی و نیز پارامترهای مؤثر بر متغیر حالت مدل شبیه‌سازی ریاضی تدوین خواهد شد. به این ترتیب امکان دستیابی سریعتر به استراتژی بهینه بهره‌برداری از منابع آب در یک مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی با قبول مقداری خطا ناشی از دقت پایین تر این مدل‌های شبیه‌سازی ریاضی نسبت به مدل‌های شبیه‌سازی عددی در کنار مزایای متعددی که قبلاً برشمردیم وجود خواهد داشت.

### منطقه مورد مطالعه

زیرحوضه ابریز نجف‌آباد و آبخوان مربوطه با وسعت برابر با  $1720/23$  کیلومتر مربع و وسعت دشت و آبخوان آزاد آبرفتی مربوطه برابر  $1142/67$  کیلومتر مربع یکی از مهمترین زیرحوضه‌های، حوضه ابریز زاینده‌رود می‌باشد. در شکل شماره ۱ موقعیت این زیرحوضه نشان داده شده است. میانگین بارش در سطح حوضه  $158$  میلی‌متر می‌باشد که بخش اعظم آن در طی فصل زمستان و اوایل بهار می‌بارد. تبخیر و تعرق پتانسیل تقریباً برابر با  $1500$  میلی‌متر، فعالیت‌های کشاورزی بدون آبیاری در حوضه را تقریباً ناممکن ساخته است. مهمترین منبع تأمین آب سطحی منطقه رودخانه زاینده‌رود می‌باشد که به طول تقریبی  $36$  کیلومتر از بخش جنوبی این زیرحوضه گذر می‌کند. عمده تأمین نیاز بخش کشاورزی از طریق شبکه‌های آبیاری نکوآباد و خمیران با برداشت مستقیم آب از رودخانه، صورت می‌گیرد. با توجه به محدودیت آب تأمین شده از محل منابع آب سطحی موجود به منظور تأمین نیاز بخشهای مختلف و به طور عمده بخش کشاورزی از آب زیرزمینی به عنوان تکمیل‌کننده استفاده می‌شود. علی‌رغم تغذیه نسبتاً مناسب بخش اعظمی از آبخوان از محل برگشتی آب کشاورزی، رودخانه و روانابهای ناشی از بارندگی به دلیل برداشتهای بی‌رویه از آب زیرزمینی آبخوان مزبوطه با افت شدید سطح ایستابی و بحرانی جدی در کاهش قابل ملاحظه ذخیره آبخوان مواجه می‌باشد. به این ترتیب نیاز به مدیریت تلفیقی منابع آب زیرزمینی و سطحی در اختیار با کنترل افت سطح ایستابی به عنوان مهمترین متغیر حالت مدنظر، کاملاً محسوس می‌باشد. در این راستا پس از تعریف مفهومی و ریاضی مدل مدیریتی نیاز به تدوین یک مدل شبیه‌سازی جهت اتصال به مدل مدیریتی می‌باشد.

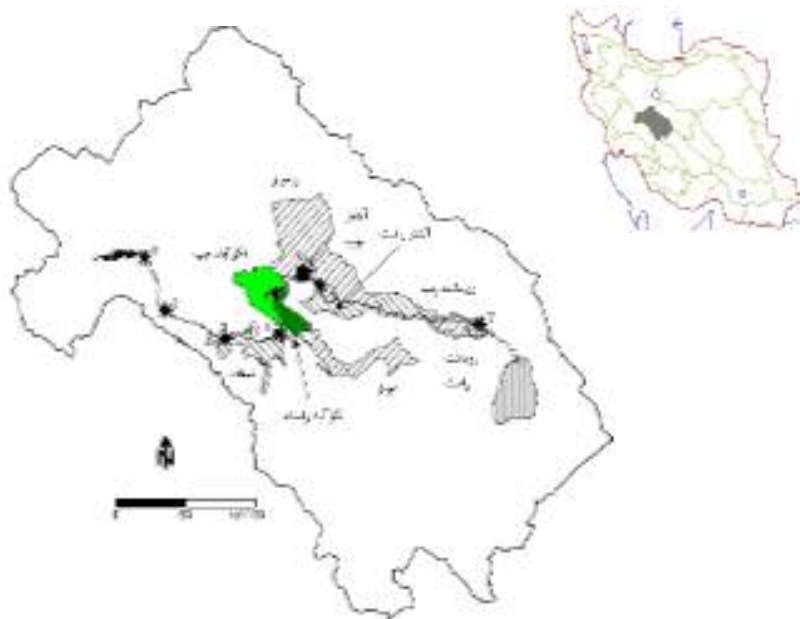
### تدوین مدل شبیه‌سازی ریاضی شبکه عصبی مصنوعی در منطقه

در نوع یادگیری با سرپرستی، که در این تحقیق مد نظر می‌باشد، پارامترهای شبکه (وزنها و بایاسها) بایستی به نحوی تنظیم شوند که عملکرد شبکه بهینه شود. منظور از بهینه شدن عملکرد شبکه، حداقل شدن خطایی است که بین خروجی شبکه و خروجی مطلوب وجود دارد. در مرحله آموزش شبکه عصبی مصنوعی مناسب جهت شبیه‌سازی پاسخ آبخوان به پارامترهای مختلف ورودی چون مقادیر برداشت و تغذیه به آن، اولین گام تهیه مجموعه آموزشی مناسب می‌باشد. در مرحله تهیه مجموعه آموزشی، ورودی‌ها و خروجیهای متناظر می‌توانند از اطلاعات مشاهده شده جمع‌آوری گردند. اما در برخی موارد خروجی متناظر با ورودی‌های مختلف خود از یک نرم‌افزار که به ساختار و الگوریتم آن اعتماد داریم، بر مبنای روابط فیزیکی حاکم بر آن محاسبه می‌گردد. در این راستا آبخوان با استفاده از مدل شبیه‌سازی عددی Groundwater Vistas مدل شد. در مدل GV4.0 معادلات جریان آب زیرزمینی به روش تفاضل محدود با استفاده از برنامه اصلی Modflow حل می‌گردند. در این راستا از بسته‌های نرم‌افزاری مختلفی چون بسته نرم‌افزاری اطلاعات پایه، چاه، تغذیه، رودخانه و بسته نرم‌افزاری شرایط مرزی بار عمومی (GHB) استفاده می‌شود.

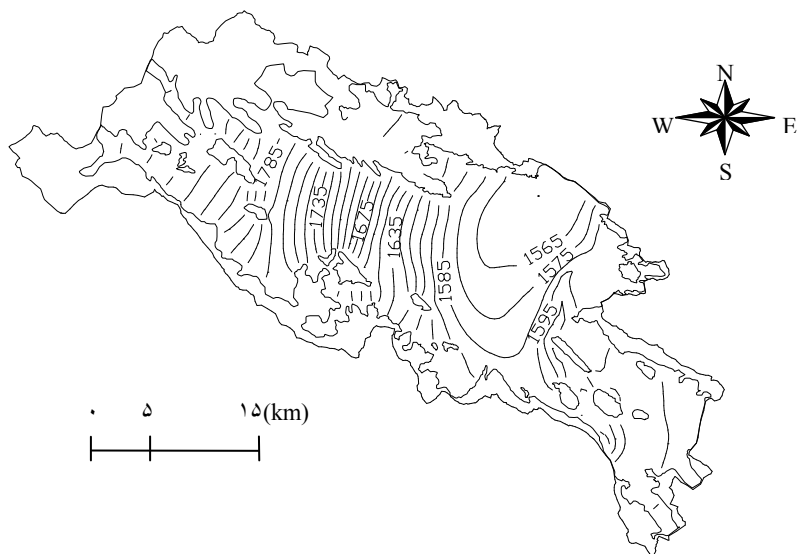
به منظور شبیه‌سازی آبخوان دشت نجف‌آباد پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز ورودی به آن شبکه اصلی توسط سلولهای به ابعاد  $500$  در  $500$  متر در نظر گرفته شدند. طول دوره شبیه‌سازی  $4$  سال با گام‌های زمانی  $15$  روزه در نظر گرفته شد. جدول شماره ۱ خلاصه‌ای از خصوصیات کلی مدل را نشان می‌دهد و شکل شماره ۲ وضعیت خطوط هم‌تراز سطح ایستابی به دست آمده توسط مدل GV در گام زمانی دوم- دوره تنش‌شانزدهم را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات کلی مدل شبیه‌سازی

مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه
۳،۱۶ ماه	تعداد و طول دوره زمانی	$1143 (km^2)$	مساحت آبخوان
۱۵ روز	طول گام زمانی	۲۲۲۴	تعداد سلولهای چاه
$0/61-1 (m/day)$	ضریب هدایت هیدرولیکی	$50600 (km^2)$	مساحت با کاربری کشاورزی
$0/04-0/078$	آبدهی ویژه	$1379-1383$	طول دوره شبیه‌سازی
۴۹	تعداد چاههای مشاهده‌ای	شهریور ۷۹	شرایط اولیه



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه نجف آباد و شبکه‌های آبیاری نکوآباد در حوضه آبریز زاینده رود



شکل ۲- وضعیت خطوط هم‌تراز سطح ایستابی محاسبه‌شده در گام زمانی دوم- دوره تنش شانزدهم

سپس برای تعداد حالات متفاوتی از مقادیر تخلیه و تغذیه آبخوان اجرا شده و نتایج به صورت مجموعه آموزشی جهت شبیه‌سازی ریاضی آبخوان مورد استفاده قرار گرفت. تغییر تراز آبخوان در ۳ منطقه کشاورزی تحت پوشش سه شبکه آبیاری راست و چپ نکوآباد و خمیران به عنوان خروجی حاصل از مدل شبیه‌سازی مورد نظر بوده‌است. متغیرهای تأثیر گذار در این مطالعه تغذیه ناشی از بارش، برداشت از دشت‌های کشاورزی منطقه و تراز متوسط اولیه سطح آبخوان در دشتهای مذکور در نظر گرفته شده‌اند. سپس بازه تغییرات هر کدام از این مؤلفه‌ها محاسبه شده و با اجرای مکرر مدل شبیه‌سازی کالیبره شده منطقه میزان تغییرات متوسط سطح آب در دشتهای مختلف بدست می‌آید. برای اطمینان از اینکه آموزش شبکه عصبی به ازای محدوده وسیعی از ورودیها و خروجیها صورت گیرد در انتخاب محدوده داده‌های ورودی در اجراهای مکرر مدل GV4.0 در راستای تهیه مجموعه آموزشی نیاز به رعایت قیود مربوط به متغیرهای مذکور در مدل بهینه‌ساز نمی‌باشد.

۱۲۸ الگوی آموزشی به ازای سیاستهای بهره‌برداری مختلف به کار رفته برای هر دشت جمع‌آوری گردید. تمام داده‌های ورودی و خروجی قبل از به کار رفتن برای آموزش و آزمایش شبکه با استفاده از روش میانگین صفر و انحراف معیار استاندارد یک، نرمال شدند. جهت رفع مشکل فرانتپاتی که در



نتیجه آن میزان خطا در مورد داده‌های آموزشی بسیار کم و در مورد داده‌های جدیدی که به شبکه ارائه می‌شود زیاد است، از ۱۲۸ الگوی آموزشی در اختیار حدود ۵۵٪ برای آموزش شبکه عصبی، ۲۰٪ برای معتبرسازی و ۲۵٪ برای آزمایش شبکه عصبی آموزش داده شده اختصاص یافته‌است. به این ترتیب با انجام سعی و خطای بسیار در نهایت بهترین شبکه عصبی که قادر به شبیه‌سازی پاسخ آبخوان منطقه به سیاست‌های اجرایی مختلف می‌باشد تدوین گردید.

### بحث و نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی تغییرات تراز متوسط سطح آب زیرزمینی در اراضی کشاورزی تحت پوشش شبکه آبیاری راست نکوآباد، چپ نکوآباد و خمیران که اراضی کشاورزی اصلی محدوده مورد مطالعه می‌باشند در هر دوره تصمیم‌گیری، از نیازهای مدل بهره‌بردار بهینه تلفیقی می‌باشد. دوره‌های تصمیم‌گیری فصلی لحاظ شد. بارندگی مؤثر، برداشت از مناطق کشاورزی و تراز متوسط سطح آبخوان در ابتدای هر فصل به عنوان ورودی به آبخوان در نظر گرفته شدند. خروجی شبکه متوسط تغییر تراز سطح آب زیرزمینی در هر یک از مناطق مذکور در انتهای فصل بوده‌است. با توجه به مطالعات پیشین استفاده از شبکه‌های چند لایه پرسپترون با الگوریتم آموزش پس انتشار خطا از متداول‌ترین مدل‌ها می‌باشند. به عنوان مثال یک شبکه دو لایه که در لایه اول تابع انتقال سیگموئید و در لایه دوم تابع انتقال خطی داشته‌باشد، به خوبی قادر به تخمین اغلب توابع می‌باشد [۱۳]. الگوریتم پس انتشار خطا به عنوان الگوریتم پایه محسوب می‌شود. این الگوریتم در بسیاری از موارد بسیار کند عمل می‌کند و احتمال توقف الگوریتم در کمینه‌های محلی سطح تابع خطا و همگرا شدن به پاسخ‌های غیر بهینه وجود دارد. به همین خاطر بعضی اصلاحات بر روی آن به منظور افزایش سرعت همگرایی صورت می‌گیرد. الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت سریع‌ترین و قابل اعتمادترین الگوریتم موجود در راستای تدوین یک شبکه عصبی با دقت بالا می‌باشد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. جدول ۲ به طور خلاصه ساختار شبکه عصبی مدل شده برای هر فصل را نشان می‌دهد.

جدول ۲- خصوصیات شبکه‌های عصبی آموزش داده شده برای فصلها

فصل	تعداد لایه	تعداد نرون		نوع تابع محرک	
		لایه اول	لایه دوم	لایه اول	لایه دوم
پاییز	۲	۱۰	۳	$\tan sig$	$purelin$
زمستان	۲	۱۰	۳	$\tan sig$	$purelin$
بهار	۲	۱۴	۳	$\tan sig$	$purelin$
تابستان	۲	۱۰	۳	$\tan sig$	$purelin$

همچنین شاخص ترسیمی ضریب همبستگی و شاخصهای عملکرد عددی مجموع مربعات خطا و میانگین مربعات خطای تعدیل شده به عنوان ملاک‌هایی جهت ارزیابی عملکرد شبکه در جداول ۳ و ۴ ارائه شده‌است.

جدول ۳- ضریب همبستگی بین خروجیهای مدل شبکه عصبی و مقادیر محاسبه شده از GV4

منطقه	فصل			
	پاییز	زمستان	بهار	تابستان
دشت راست نکوآباد	۰/۹۶	۱	۰/۹۹۱	۰/۹۷۷
دشت چپ نکوآباد	۰/۹۸۱	۱	۰/۹۸۷	۰/۹۹۷
دشت خمیران	۰/۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۲	۰/۹۹۶



## جدول ۴- شاخص عملکرد مدل‌های شبکه عصبی طراحی شده در مرحله آزمایش

میانگین مربعات خطا (MSEREG)	مجموع مربعات خطا (SSE)	میانگین مربعات خطا (MSEREG)
۰/۱۱	-	پاییز
-	۰/۰۷۴۴	زمستان
۰/۱۲۱۴	-	بهار
-	۰/۰۰۴۹	تابستان

ضریب همبستگی بین خروجی‌های مدل شبکه عصبی و مقادیر متناظر به ازای گروه داده‌های آزمایشی در فصول مختلف بیش از ۹۶٪ بوده است که نشان دهنده دقت بالای شبکه‌های طراحی شده می‌باشد.

به ایت ترتیب با استفاده از ماتریس وزنها و اریبها شبکه مربوط به هر فصل می‌توان معادله تغییرات سطح ایستابی آن را به صورت ساده زیر نوشت:

$$\Delta H = \text{purelin}(w_2^T \times \tan \text{sig}((w_1 \times Q_1) + b_1) + b_2) \quad (1)$$

در رابطه فوق  $Q_1$  ماتریسی شامل مؤلفه‌های ورودی است که به شبکه عصبی که به ترتیب عبارتند از: مقادیر برداشت از سه دشت خمیران، راست نکوآباد و چپ نکوآباد و متوسط تراز سطح ایستابی در هر سه دشت در ابتدای فصل و مقدار متوسط بارندگی فصلی  $w_1$  و  $w_2$  به ترتیب ماتریسهای وزن لایه‌های اول و دوم و  $b_1$  و  $b_2$  اریبهای لایه‌های مذکور می‌باشند.  $\Delta H$  ماتریسی است با ۳ مؤلفه که به ترتیب شامل متوسط تغییر تراز سطح آب در سه دشت مورد مطالعه می‌باشد.

با توجه به اینکه تغییرات سطح ایستابی آبخوان در انتهای یک فصل علاوه بر شرایط تغذیه و تخلیه در طول آن دوره تحت تأثیر سطح ایستابی اولیه در ابتدای فصل نیز می‌باشد و این پارامتر خود متأثر از شرایط موجود در فصلها و دوره‌های پیشین می‌باشد، لازم است در شبیه‌سازی طولانی مدت به صورت متوالی از مدل‌های شبکه عصبی متناظر با هر فصل استفاده شود. به این ترتیب با اجرای یک سری متوالی از شبکه‌های عصبی می‌توان شبیه‌سازی آبخوان را برای هر دوره زمانی مد نظر در مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی استفاده نمود. به عنوان مثال در صورتیکه مدیریت بهره‌برداری برای ۴ سال مد نظر باشد، می‌توان معادله فوق را به صورت زیر نوشت:

$$\Delta H_{ij} = \text{purelin}(w_{2i} \times \tan \text{sig}((w_{1i} \times Q_i) + b_{1i}) + b_{2i}) \quad i = 1, \dots, 4 \quad , j = 1, \dots, 4 \quad (2)$$

در رابطه فوق متغیرها عبارتند از:

$\Delta H_{ij}$ : ماتریسی است که مؤلفه‌های آن متوسط تغییرات تراز آبخوان در سه دشت برای فصل  $i$  از سال  $j$  می‌باشد.

$Q_i$ : ماتریسی است که مؤلفه‌های آن به ترتیب برداشت از آب‌زیرزمینی هر دشت و متوسط تراز سطح ایستابی در ابتدای فصل و مقدار بارندگی در فصل  $i$  می‌باشد.

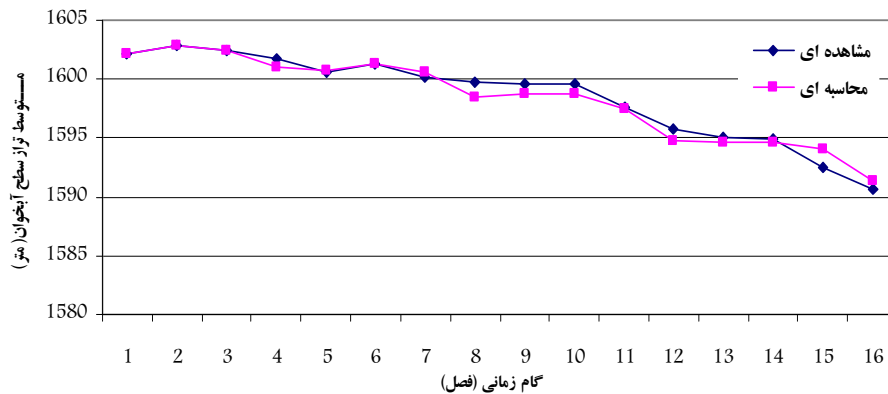
$w_{1i}$ : وزن شبکه برای لایه اول فصل  $i$

$w_{2i}$ : وزن شبکه برای لایه آخر فصل  $i$

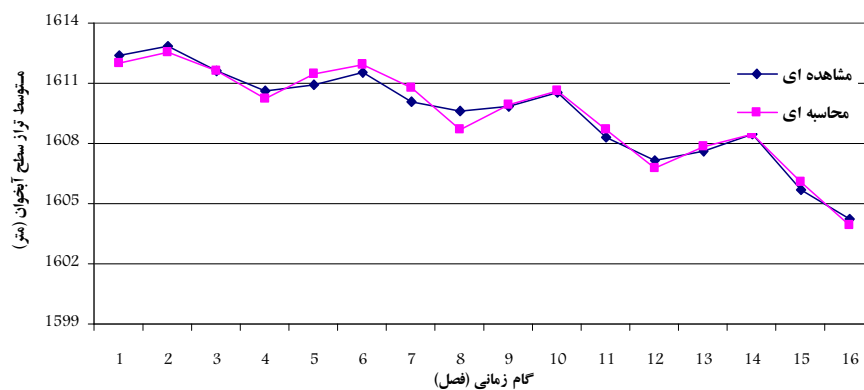
$b_{1i}$ : بردار ثابت برای لایه اول فصل  $i$

$b_{2i}$ : بردار ثابت برای لایه آخر فصل  $i$

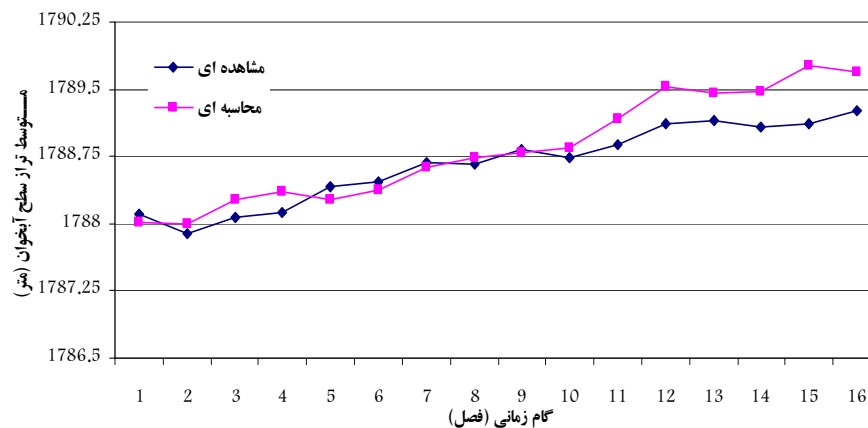
شکل‌های شماره (۳) تا (۵) نتایج حاصل از اجرای مدل شبیه‌ساز GV4.0 و شبکه عصبی مصنوعی را در دشت نجف‌آباد در طول سالهای آبی ۸۰-۷۹ تا ۸۳-۸۲ نشان می‌دهد.



شکل ۳- متوسط تراز سطح ایستابی آبخوان در دشت چپ نکوآباد



شکل ۴- متوسط تراز سطح ایستابی آبخوان در دشت راست نکوآباد



شکل ۵- متوسط تراز سطح ایستابی آبخوان در دشت خمیران

به این ترتیب از این مدل شبیه‌ساز ساده شده به راحتی می‌توان در مدل‌های مدیریت تلفیقی منابع آب استفاده نمود. بر اساس وزن‌های به دست آمده از شبکه‌های عصبی تدوین شده معادلات پاسخ آبخوان به دست آمده و در مدل بهینه‌سازی تلفیقی جهت تخمین مقادیر متغیرهای تصمیم مدل بهینه‌سازی به کار برد. همچنین با الگوبرداری از این تکنیک می‌توان شبیه‌سازی را برای متغیرهای حالت مختلف که با توجه به ساختار سیستم مورد بررسی و اهداف مدنظر در مدل مدیریتی می‌تواند به شکل‌های مختلف تعریف شود، مورد بهره‌برداری قرار داد.



## مراجع

1. Gorelick, S.M. (1983) A review of distributed parameter groundwater management modeling methods. *Water Resources Research*, **19**(2), 305-319.
2. Maddock III, T. (1974) The operation of a stream-aquifer system under stochastic demands. *Water Resources Research*, **10**(1), 1-10.
3. Morel-Seytoux, H.J. and Daly, C.J. (1975) A discrete kernel generator for stream-aquifer studies. *Water Resources Research*, **11**(2), 253-260.
4. Heidari, M. (1982) Application of linear system's theory and linear programming to groundwater management in Kansas. *Water Resources Bulletin*, **18**(6), 1003-1012.
۵. ابریشمچی، ا. و افشار، ع. (۱۳۷۲) "مدلی استوکستیک برای بهینه سازی برنامه ریزی و مدیریت آبهای زیرزمینی"، مجله علمی-پژوهشی استقلال، دانشگاه صنعتی اصفهان، شماره ۱۳، ص ص ۹۳-۱۱۱.
6. Czarnecki, J.B. and Clark, B.R. and Stanton, G.P. (2003) Conjunctive use optimization model of Mississippi river valley alluvial aquifer of southeastern Arkansas. *Water Resources Investigation. Report 03-4233*.
7. Belaine, G. and Peralta, R.C. and Hughes, T.C. (1999) Simulation/optimization modeling for water resources management. *J. Water Resources Planning and Management*, **125**(3), 154-161.
8. Barlow, P.M. and Ahfeld, D.P. and Dikerman, D.C. (2003) Conjunctive management models for sustained yield of stream-aquifer systems. *J. Water Resources Planning and Management*, **129**(1), 35-48.
9. Peralta, R.C. and Asghari, K. and Shulstad, R.N. (1991) SECTAR: Model for economically optimal sustained ground-water yield planning. *J. Irrigation and Drainage Engineering*, **117**(1), 5-24.
10. Vedula, S. Mujumdar, P.P. and Ghandara Sekhar, G. (2005) Conjunctive use modeling for multicrop irrigation. *Agricultural. Water Management*, **73**, 193-221.
11. Karamouz, M., Kerachian, R. and Zahraie, B. (2004) Monthly water resources and irrigation planning: case study of conjunctive use of surface and groundwater resources. *J. Irrigation and Drainage Engineering*, **130**(5), 391-402.
12. Rao, S.V.N., Murty Bhallamudi, S., Thandaveswara, B. S. and Mishra, G.C. (2004) Conjunctive use of surface and groundwater for coastal and deltaic systems. *J. Water Resources Planning and Management*, **130**(3), 255- 267.
۱۳. منہاج، م.ب. (۱۳۸۱) مبانی شبکه‌های عصبی، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
14. Basri, M. H. (2001) Two new methods for optimal design of subsurface barrier to control seawater intrusion. *Thesis for degree of Doctor of Philosophy*.