

۰/۰۷۲۵ نتایج دقیق تری در برآورد میزان دبی جریان زیر قشری ارائه می‌نماید. با توجه به ضریب تعیین محاسبه شده می‌توان نتیجه گرفت که مدل شبکه عصبی راه‌کاری مناسب و کم‌هزینه برای بررسی این ارتباط در حوزه‌های آبخیز است.

**کلید واژه‌ها:** استان کرمان، دبی جریان‌های زیر زیرزمینی، سد زیرزمینی، شبکه عصبی پایه تابع شعاعی، ضریب تعیین

#### مقدمه

ذخیره مطلوب آب در دوره‌های بارانی برای ماه‌های خشک از اهداف تأمین آب در مناطق خشک است. در این مناطق آب‌های ذخیره شد توسط سدهای زیرزمینی بسیار حائز اهمیت است. سدهای زیرزمینی سازه‌هایی هستند که توانایی مسدود کردن مسیر آب زیر قشری، نگهداری آب در سفره‌های کوچک و یا منحرف کردن آب به سفره‌های مجاور، بالا بردن تراز آب زیرزمینی، ذخیره کردن و در دسترس قرار دادن آب زیرزمینی را دارا است. این سدها معمولاً در بستر رودخانه‌های فصلی که زه آب زیادی دارند ساخته می‌شود. مهم‌ترین مشکل در ایجاد و توسعه سدهای زیرزمینی مکان‌یابی احداث این‌گونه از سدها است. در این مکان‌یابی عوامل زیادی از جمله فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و... دخیل است. بررسی این‌گونه عوامل سستی در انتخاب مکان سد پرهزینه و زمان‌بر است چزگی [۳]. امروزه روش‌ها و معیار ای جدیدی برای جایگزینی روش‌های سستی در انتخاب مکان سدهای زیرزمینی در تحقیق سایر محققین دیده می‌شود؛ که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

دهقانی [۴]. با استفاده از سه روش زمین‌آمار، شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاجی فازی - عصبی اقدام به تخمین مقادیر تراز سطح آب زیرزمینی در دشت قزوین کردند.

نتایج پژوهش ایشان نشان داد که سامانه استنتاجی فازی، عصبی با توجه به ضریب همبستگی ۹۸ درصد و میانگین مربعات خطای کمتر از دقت بالاتری برای تخمین تراز سطح آب زیرزمینی در نقاط مجهول آب خوان نسبت به روش‌های زمین‌آمار و شبکه‌های عصبی برخوردار است. هم‌چنین شبکه عصبی پرسپترون چندلایه MLP نیز با توجه به ضریب همبستگی ۹۳ درصد و میانگین مربعات خطای کمتر نتایج دقیق تری را نسبت به شبکه عصبی مصنوعی با تابع پایه اساس شعاعی (RBF) با توجه به ضریب همبستگی ۹۰ درصد ارائه نمود و نتایج حاصل از روش زمین‌آمار نشان داد که این روش با

بررسی ارتباط بین خصوصیات هیدروژئومورفولوژی و میزان جریان‌های زیر قشری با استفاده از رویکرد شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی سدهای زیرزمینی استان کرمان)

مهديه شهیدی زندی<sup>۱</sup>، محسن نجارچی<sup>۲</sup>، رضا جعفری نیا<sup>۳</sup>، شهر و مختاری<sup>۴</sup>، علی جان آبکار<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۴

#### چکیده

به دلیل نیاز روزافزون به آب و عدم دسترسی به منابع تأمین‌کننده آن، حفظ و استفاده از منابع آب زیرزمینی ضروری به نظر می‌رسد. شناسایی و بهره‌برداری این منابع از اهمیت خاصی برخوردار است. بررسی جریان‌های زیر قشری نیاز به مطالعات ژئوالکترونیک و ژئوتکنیک دارد که هر دو این عملیات مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد است؛ بنابراین ارائه روش یا مدلی که بتوان هزینه بررسی جریان‌های زیر قشری را به حداقل ممکن کاهش بدهد ضروری است. در این پژوهش با استفاده از دو نوع شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه و شبکه تابع پایه شعاعی (RBF) به بررسی رابطه بین خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوزه آبخیز جریان‌های زیر قشری در ۷ زیر حوزه آبخیز واقع در استان کرمان پرداخته شد. خصوصیات هیدروژئومورفولوژی سدهای زیرزمینی به‌عنوان متغیر مستقل ورودی و دبی جریان زیر قشری در خروجی حوزه آبخیز به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شبکه عصبی تابع پایه شعاعی (RBF) با ضریب تعیین ۰/۹۱۸۲ و میانگین مربعات خطای ۰/۰۲۸۹ نسبت به روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) با ضریب تعیین ۰/۵۲۸۸ و میانگین مربعات خطا

۱- دانشجوی دکتری آبیاری زهکشی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک.  
 ۲- نویسنده مسئول و استادیار گروه مهندسی آب، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک. پست الکترونیک: Email:m-najarchi@iau-arak.ac.ir  
 ۳- استادیار گروه مهندسی آب، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک.  
 ۴- استادیار گروه مهندسی آب، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک.  
 ۵- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان.

توجه به ضریب همبستگی ۹۵ درصد و اما میانگین مربعات خطای بیشتر نسبت به روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) نتایج نزدیک به هم را ارائه کردند اما روش زمین‌آمار نتایج بهتری را نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی با تابع پایه شعاعی RBF ارائه نموده است. [۱۱]. آقاملائی جهت بررسی فاکتورهای موردنیاز جهت انتخاب یک مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی در رودخانه میانرود شهرستان راور در استان کرمان از مطالعات دفتری بر روی اطلاعات موجود و بررسی‌های صحرایی استفاده کردند. پس از بررسی‌های اولیه روی سایت، مطالعات ژئوالکتریک جهت اطلاع از شرایط عمقی زمین شامل ضخامت و نوع رسوبات در محل محور و مخزن سد انجام گردید. با انجام حفاری دستی و بررسی‌های ژئوتکنیکی، علاوه بر بررسی وضعیت نوع رسوبات و سنگ کف در محل محور، عمق سطح آب مشخص و میزان جریان زیرسطحی اندازه‌گیری شد. علاوه بر این در حدفاصل شهر راور تا محل سایت، روند تغییرات کیفی آب زیر قشری ناشی از انحلال رسوبات بستر رودخانه موردبررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که سایت انتخابی از وضعیت مناسبی برای احداث سد زیرزمینی برخوردار است. خیرخواه زرکش [۱۰]. به‌منظور یافتن مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی و اتخاذ یک تصمیم صحیح و دقیق و صرفه‌جویی در وقت و هزینه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تکنیک‌های سنجش‌ازدور در نرم‌افزار GIS و با توجه به سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری، توانستند مکانی مناسب برای احداث سد زیرزمینی پیدا کنند. این مطالعات با استفاده از بازدیدهای صحرایی و آزمایشات تکمیلی میدانی اعم از مطالعات ژئوفیزیکی، نقشه‌برداری، آزمایش‌های نفوذپذیری و... به صحت سنجی مدل پیشنهادشده پرداختند. نتایج تطابق مطالعات میدانی و دفتری، صحت مطالعات دفتری را در پیدا کردن مکان مناسب برای احداث سد زیرزمینی تأیید کرد سینگ [۱۸]. به‌منظور افزایش ذخایر استراتژیک آب در مواقع خشکی و کمبود آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک حوزه آبخیز گرمیان کردستان، برای یافتن بهترین مکان احداث سدهای زیرزمینی با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، ساختاری، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، امواج نفوذی رادار توانستند محل‌های مناسبی برای احداث سد زیرزمینی پیش‌بینی کنند. آن‌ها هم‌چنین دریافتند که کیفیت آب نمونه‌های برداشت‌شده جهت شرب، کشاورزی و دامداری در محل‌های پیش‌بینی برای احداث سد در محدوده استاندارد تعریف‌شده است؛ و هم‌چنین بهترین زمان برای ساخت سد زیرزمینی در طول فصل پاییز از سپتامبر تا نوامبر است.

محبی تفرشی [۱۳]. منظور مکان‌یابی مناطق مستعد احداث سد زیرزمینی معیارهای متعددی را مورد ارزیابی قرار دادند و برای ایجاد ارتباط بین این معیارها به‌منظور اتخاذ یک تصمیم صحیح و دقیق و صرفه‌جویی در وقت و هزینه از روشی مبتنی بر تلفیق استفاده از GIS و تکنیک‌های سنجش‌ازدور با سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری

مکانی استفاده نمودند. این روش‌ها در سه مرحله اجرایی شد. در مرحله اول با استفاده از GIS و RS و با در نظر گرفتن معیارهای حذفی، مناطق نامناسب احداث سد زیرزمینی حذف گردیدند و نهایتاً نه محدوده برای احداث مناسب تشخیص داده شد. در مرحله دوم، در هر محدوده از محدوده‌های انتخاب‌شده از مرحله اول، بهترین تنگه با استفاده از نقشه عوارض زمین انتخاب و به‌عنوان محور سد در نظر گرفته شد. در مرحله سوم، با استفاده از معیارهای حاصل از نظرات کارشناسی، به مقایسه و ارزیابی محورها نسبت به معیارها با استفاده از روش AHP و اولویت‌بندی محورها با استفاده از شاخص تناسب نهایی هر محور، پرداختند. در نهایت با استفاده از بازدیدهای صحرایی و آزمایش‌های تکمیلی اعم از مطالعات ژئوفیزیکی، نقشه‌برداری، آزمایشات نفوذپذیری و... در سه اولویت اول که شامل محورهای شماره دو، شماره چهار و شماره یک می‌باشند، به مطالعه صحت مدل پرداخته شد که این مطالعات، تطابق نتایج به‌دست‌آمده از مدل ارائه‌شده در این تحقیق را با نتایج مطالعات تکمیلی، نشان داد و صحت این مدل را تأیید نمود.

حسن‌زاده [۹]. به بررسی مکان‌یابی احداث سد زیرزمینی برای ذخیره نزولات و جلوگیری از تبخیر با استفاده از روش ارزیابی چند معیار مکانی (SMCE) در منطقه آدوری شهرستان بم پرداختند. معیارهای موردبررسی شامل: گروه اول اقتصادی و اجتماعی (شامل: فاصله ازقنوات-فاصله از چاه-فاصله از روستا-فاصله از چشمه-فاصله از جاده-فاصله از منابع قرضه)، گروه دوم هیدرولوژی (شامل: خطوط هم باران-رودخانه‌ها)، گروه سوم زمین‌شناسی) شامل: توپوگرافی (شیب)-زمین‌شناسی-ژئومورفولوژی-نفوذپذیری و محدودیت‌ها (شامل: شیب-گسل-قنات-کاربری اراضی -زمین‌شناسی-فاصله از رودخانه) انتخاب شدند.

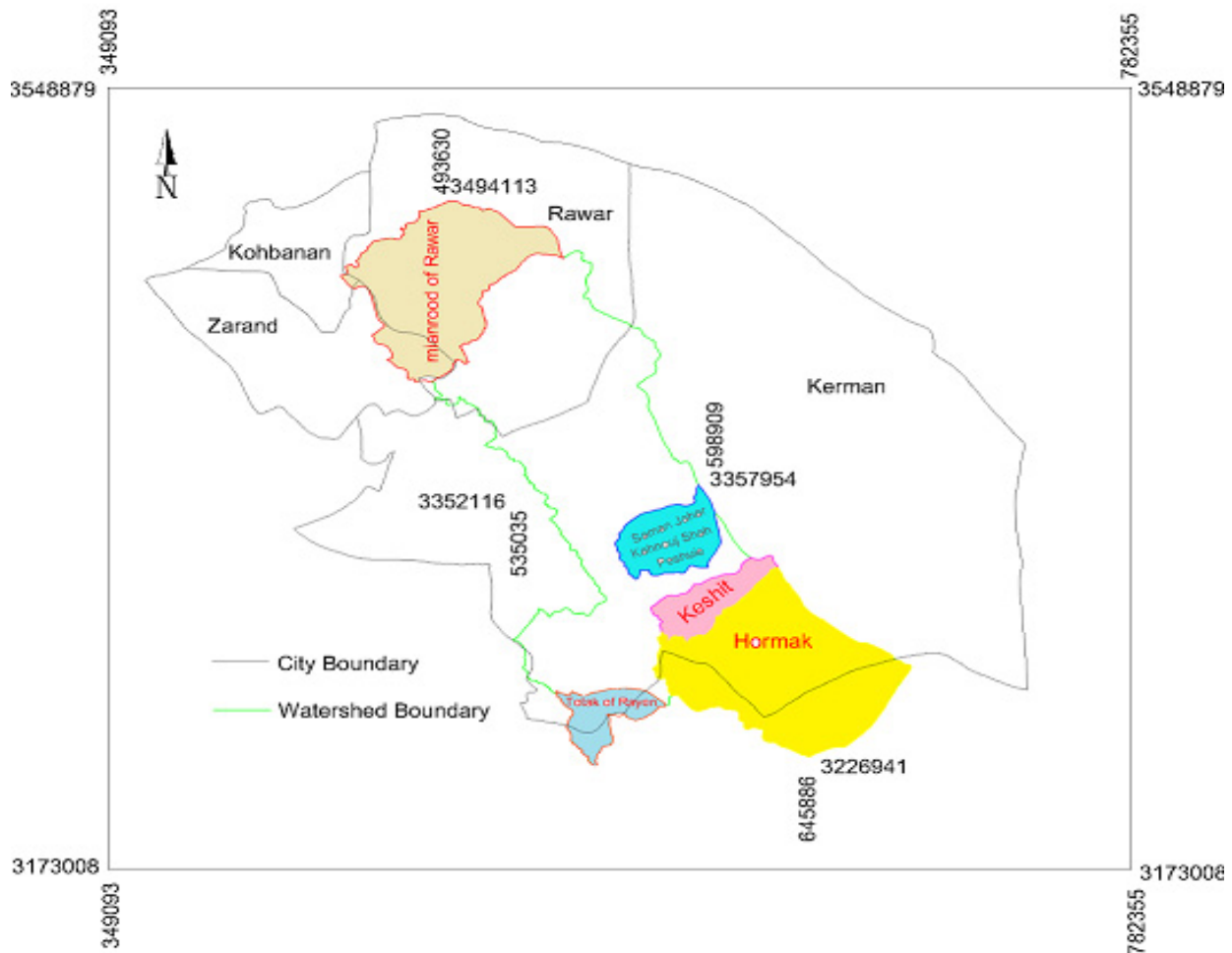
نقشه‌ها در نرم‌افزار ILWIS تهیه شدند، سپس در منوی SMCE استانداردسازی بر روی نقشه‌ها انجام شد و بعد به روش رتبه‌بندی وزن دهی شدند. در نهایت نقشه تلفیقی آن‌ها تهیه شد، از بین این سه منطقه بهترین مکانی که دارای ارزش بیشتری است، برای احداث سد زیرزمینی در منطقه آدوری شهرستان بم پیشنهاد داده شد.

بر طبق مطالعات و تحقیقات انجام‌شده روش‌ها، رویکردها و تکنیک‌های مختلفی برای پیش‌بینی ارتباط بین خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز و میزان جریان عبوری از آن در لایه‌های زیرزمینی صورت گرفته است. هدف از این مطالعه پاسخ به این سؤالات است که آیا خصوصیات هیدرو مورفولوژی حوزه آبخیز بر دبی خروجی از این حوزه تأثیرگذار است؟ و این‌که آیا می‌توان این رابطه را با استفاده از رویکرد شبکه عصبی مصنوعی بیان کرد؟

## مواد و روش

### موقعیت منطقه موردبررسی

این تحقیق در هفت زیر حوزه فرعی حاشیه غربی حوزه آبخیز کویر لوت انجام‌شده است. مساحت حوزه آبخیز کویر لوت ۱۴/۵



شکل ۱- موقعیت زیر حوزه‌های مورداستفاده در حوزه آبخیز  
 Fig1. The position of the sub basins used in the watershed basin

مساحت آن‌ها بین حداکثر ۱۷۲۰ و حداقل ۱۵۰ کیلومتر مربع متغیر است.

#### روش کار

در این تحقیق به منظور بررسی رابطه بین دبی جریان زیر قشری و خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوزه‌های آبخیز ابتدا خصوصیات حوزه‌های آبخیز (خصوصیات فیزیوگرافی شامل مساحت، شیب و ارتفاع پستی و بلندی حوزه و خصوصیات هیدرولوژی شامل میزان بارندگی متوسط سالانه، ارتفاع متوسط سالانه، آورد سالانه، ضریب رواناب و درجه حرارت متوسط سالانه، اقلیم منطقه و خصوصیات زمین‌شناسی شامل ضخامت آبرفت) در زیر حوزه آبخیز که در شهرستان‌های کرمان و راور واقع شده‌اند محاسبه یا اندازه‌گیری شد که از این هفت مورد تعداد چهار سد زیرزمینی (کشیت، پشوئیه،

میلیون هکتار و بزرگ‌ترین حوزه آبخیز فلات ایران است که حدود نه میلیون هکتار آن را دشت‌های پهناور کویری تشکیل می‌دهند. بخشی از حوزه آبخیز کویر لوت که در استان کرمان واقع شده ۸۶۵۱۴/۷۵ کیلومتر مربع وسعت دارد که در حدفاصل ۵۹ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۷/۵ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۷/۲ دقیقه و ۲۸/۲ ثانیه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. کلیه حوزه‌های آبخیز مورد بررسی در این تحقیق در حاشیه کویر لوت و در دو شهرستان کرمان و راور واقع شده‌اند. حوزه‌های آبخیز مورداستفاده در این تحقیق در محدوده طول جغرافیایی ۵۲۰۸۷۸ تا ۶۸۹۰۳۵ و عرض جغرافیایی ۳۲۲۲۹۰۲ تا ۳۴۹۴۱۳۱ واقع شده‌اند. متوسط بارندگی حوزه‌های مختلف بین ۳۳/۱ تا ۱۴۱/۴ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالانه بین ۱۶ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد،

سامان جهر و کهنوج شاه) در دست اجرا و مابقی (توتک راین، میانرود راور و حریمک گلباف) احداث شده‌اند، سپس با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی نسبت به ارتباط منطقی بین این خصوصیات و جریان‌های زیر قشری اقدام شد مهم‌ترین ویژگی‌های حوزه‌های آبخیز که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند به شرح ذیل است:

#### خصوصیات فیزیوگرافی

این خصوصیات که شامل مساحت، ارتفاع پستی و بلندی و شیب حوزه است از طریق سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) محاسبه شد.

#### خصوصیات هواشناسی و هیدرو اقلیم

با توجه به این که حوزه آبخیز موجود فاقد ایستگاه هواشناسی است به منظور بررسی متغیرهای دما و بارش از گرادیان بارش - دما با ارتفاع، آورد سالانه با استفاده از بارش و روش ضریب رواناب سطحی اندازه‌گیری و برای تعیین اقلیم منطقه از روش دوماتن در حوزه آبخیز استفاده شد.

به منظور اندازه‌گیری دبی جریان زیر قشری سدهای اجرا شده و قابل بهره‌برداری از روش حجمی استفاده شد.

#### روش‌های حجمی

در این روش که بر پایه رابطه ذیل استوار است حجم آب عبوری (V) در زمان مشخص (t) اندازه‌گیری می‌شود و طبق تعریف دبی از تقسیم این حجم بر زمان مورد نظر (Q) تعیین می‌شود.

$$Q = V/t \quad (1)$$

در خصوص سدهای احداث نشده و در دست اقدام (کشیت، سامان جهر، پشویی و کهنوج شاه) با استفاده از آزمایش لوفران در محل و چاه‌های حفر شده میزان نفوذپذیری نیز اندازه‌گیری شده و طبق فرمول‌های داری (۳) و (۴) دبی آب زیرزمینی محاسبه می‌گردد:

$$Q = KAi \quad (2)$$

$$i = h/L \quad (3)$$

$$A = \text{مساحت سطح مقطع (km}^2\text{)}$$

$K =$  ضریب هیدرودینامیک که از رابطه داری و یس باخ به دست می‌آید.

$i =$  شیب هیدرولیکی که با استفاده از اختلاف سطح آب در چاهک‌های پیژومتری و فاصله آن‌ها به دست آمده است.

$$h = \text{اختلاف ارتفاع سطح آب در چاهک‌های پیژومتری (m)}$$

$$L = \text{فاصله دونقطه دارای اختلاف سطح آب درون چاهک (m)}$$

#### تحلیل و بررسی داده‌ها

در این تحقیق به منظور بررسی رابطه بین خصوصیات هیدروژئومورفولوژی حوزه‌های آبخیز و جریان‌های زیر قشری در خروجی حوزه از دو نوع شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP) و شبکه عصبی مصنوعی با تابع پایه شعاعی (RBF) استفاده شد. سپس این روابط با استفاده از پارامترهای ارزیابی شامل ضریب همبستگی خطی و ریشه میانگین مربعات خطا مورد بررسی

قرار گرفت. جهت تعیین دبی زیر قشری (خروجی) خصوصیات هیدروژئومورفولوژی به‌عنوان پارامترهای ورودی به شبکه عصبی داده شد. تعداد نمونه‌ها شامل تعداد کل ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه عصبی در حوزه آبخیز، تعداد نرون‌ها با تعداد ورودی‌ها به شبکه برابر، یک‌لایه ورودی به همراه یک‌لایه مخفی و یک‌لایه خروجی در نظر گرفته شد. در خصوص انتخاب خوشه‌ها از ۶۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۲۰ درصد صحت سنجی و ۲۰ درصد باقیمانده جهت ارزیابی استفاده شد.

در این پژوهش با استفاده از روش شبکه عصبی MLP از یک‌لایه‌ی پنهان با تعداد نرون‌های متفاوت و توابع محرک کران‌دار تابع سیگموئید و از میان روش‌های مختلف آموزش به روش پس انتشار خطا با الگوریتم لونیبرگ-مارکوارت، به دلیل همگرایی سریع‌تر در آموزش شبکه استفاده شده است. علت انتخاب یک‌لایه پنهان این است که چون لایه‌های میانی در ارتباط مستقیم با خروجی نیستند، بنابراین تغییرات این لایه‌ها تأثیر چندانی در تعدیل وزن‌ها ایجاد نمی‌کنند. اساس روش پس انتشار خطا بر پایه قانون یادگیری اصلاح خطا است که از دو مسیر اصلی رفت و برگشت تشکیل می‌شود. در مسیر رفت، بردار ورودی به شبکه اعمال شده و تأثیراتش از طریق لایه‌های میانی به لایه خروجی انتشار می‌یابد و بردار خروجی پاسخ واقعی شبکه را تولید می‌کند.

#### پارامترهای ارزیابی مدل‌های مورد استفاده

با استفاده از ضریب همبستگی خطی و ریشه میانگین مربعات خطا نتایج گرفته شده از شبکه عصبی مصنوعی (مقدار دبی جریان‌ها) زیر قشری که توسط مدل‌های مورد استفاده پیش‌بینی می‌شود) را با مقدار واقعی این نتایج مقایسه شده است. این پارامترها عملکرد مدل‌های مورد استفاده را بیان می‌کنند.

#### ضریب تعیین

همبستگی بین داده‌های اصلی و پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد، هر اندازه این پارامتر بیشتر باشد یعنی خروجی مدل به مقدار واقعی نزدیک‌تر است و مدل بهتر ارزیابی می‌شود.

#### ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)

هر اندازه این پارامتر کمتر باشد، خطای محاسباتی بین داده‌های پیش‌بینی شده و واقعی کمتر است؛ یعنی داده‌های پیش‌بینی شده به مقدار واقعی نزدیک‌تر هستند و مدل بهتر ارزیابی می‌شود.

#### نتایج

جدول ۱ تا ۳ نتایج میدانی حاصل از اندازه‌گیری جریان‌های زیر قشری با توجه به خصوصیات هیدروژئومورفولوژی رانشان می‌دهد.

برای مدل‌سازی در شبکه عصبی مصنوعی، خصوصیات هیدروژئومورفولوژی (مساحت، شیب، ارتفاع پستی و بلندی حوزه، درجه حرارت، بارندگی، اقلیم، بافت خاک، درصد تاج پوشش) سدهای زیرزمینی به‌عنوان ورودی و دبی به‌عنوان خروجی در نظر

جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافی سدهای زیرزمینی  
Table1. Physiographic properties of underground dams

| ارتفاع و پستی و بلندی حوزه (متر)<br>Height and Basin Relief(m) | شیب حوزه Slope<br>Percentage (%) | شیب محل احداث<br>Slope Percentage (%) | مساحت (کیلومتر مربع)<br>Area (km <sup>2</sup> ) | نام حوزه آبخیز<br>Watershed Basin Name | ردیف<br>Row |
|--|----------------------------------|---------------------------------------|---|--|-------------|
| 1734   | 11.4                             | 3.5                                   | 1198  | کشیت<br>Keshit                         | 1           |
| 1044   | 7.5                              | 2                                     | 317.7   | پشوئیه<br>Peshuie                      | 2           |
| 845  | 8.3                              | 3.2                                   | 69.7  | کهنوج شاه<br>KahnoujShah               | 3           |
| 3309   | 7.66                             | 4                                     | 150   | توتک راین<br>Totak of Rhine            | 4           |
| 1320   | 6.7                              | 3                                     | 160   | حرمک<br>Hormak                         | 5           |
| 1234   | 7.7                              | 2.5                                   | 244.1   | سامان جهر<br>SamanJahr                 | 6           |
| 1836   | 3.82                             | 2                                     | 1720  | میانرود راور<br>MianRood of Rawar      | 7           |

جدول ۲- خصوصیات هواشناسی سدهای زیرزمینی  
Table2. Meteorological properties of underground dams

| درجه حرارت<br>متوسط سالانه (سانتی گراد)<br>Average Annual<br>Temperature(°C) | بارندگی سالانه حوزه<br>Basin Annual<br>Precipitation<br>(mm) | ارتفاع متوسط<br>سالانه (متر)<br>Average Annual<br>Height(m) | ضریب رواناب<br>Runoff<br>Coefficient | آورد سالانه<br>میلی متر مکعب<br>Annually<br>Yield(mm <sup>2</sup> ) | نام حوزه آبخیز<br>Watershed Basin Name | ردیف<br>Row |
|--|--|---|--------------------------------------|---|--|-------------|
| 18   | 141.4  | 2254  | 0.1                                  | 1.34  | کشیت<br>Keshit                         | 1           |
| 22   | 68   | 1528  | 0.1                                  | 2.33  | پشوئیه<br>Peshuie                      | 2           |
| 23   | 50   | 1269.5  | 0.1                                  | 0.13  | کهنوج شاه<br>KahnoujShah               | 3           |
| 16   | 23.4   | 3409  | 0.14                                 | 11.8  | توتک راین<br>Totak of Rhine            | 4           |
| 21   | 33.1   | 1421  | 0.1                                  | 4.8   | حرمک<br>Hormak                         | 5           |
| 21   | 88   | 1592  | 0.1                                  | 1.34  | سامان جهر<br>SamanJahr                 | 6           |
| 37   | 197  | 1835  | 0.1                                  | 17.2  | میانرود راور<br>MianRood of Rawar      | 7           |

جدول ۳- خصوصیات هیدرولوژی و دبی خروجی سدهای زیرزمینی  
Table3. hydrologic properties and Underground Dams Output discharge

| ردیف | نام حوزه آبخیز       | نوع اقلیم منطقه     | درصد تاج پوشش    | بافت خاک   | ضخامت آبرفت (متر)      | دبی خروجی (مترمکعب بر ثانیه) |
|------|----------------------|---------------------|------------------|--|------------------------|------------------------------|
| Row  | Watershed Basin Name | Region Climate Type | Crown Percentage | Soil Texture                                     | Alluvium Thickness (m) | Discharge(m3/s)              |
| 1    | کشیت                 | گرم و خشک           | 5 %              | شیل و ماسه<br>Shale and Sand                     | 7                      | 0.3                          |
| 2    | پشویی                | گرم و خشک           | 5 %              | شنی رسی<br>Clayey Sandy                          | 5                      | 0.02                         |
| 3    | کهنوج شاه            | گرم و خشک           | 5 %              | ماسه‌ای - شنی<br>Sandy -Sand                     | 8                      | 0.001                        |
| 4    | توتک راین            | گرم و خشک           | 25 %             | رسی شنی<br>Clayey Sandy                          | 20                     | 0.1                          |
| 5    | حرمک                 | گرم و خشک           | 15 %             | رسی شنی<br>Clayey Sandy                          | 8                      | 0.075                        |
| 6    | سامان جهر            | گرم و خشک           | 5 %              | شنی رسی - لای و رس<br>Clayey Sandy Silt and Clay | 9                      | 0.015                        |
| 7    | میانرود راور         | خشک<br>dry          | 10 %             | مارن و شیل<br>Marl and Shale                     | 5                      | 0.004                        |

جدول ۴- نتایج دبی خروجی جریان‌های زیر قشری پیش‌بینی شده در شبکه عصبی و پارامترهای ارزیابی  
Table4. Results of the outflow of subcortical flows predicted in the neural network and evaluation parameters

| ردیف | نام حوزه آبخیز       | دبی واقعی (مترمکعب بر ثانیه) | (Q <sup>RBF</sup> ) | (Q <sup>MLP</sup> ) |
|------|----------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|
| Row  | Watershed Basin Name | Real Discharge(m3/s)         |                     |                     |
| 1    | کشیت                 | 0.3                          | 0.3                 | 0.18                |
| 2    | پشویی                | 0.02                         | 0.02                | 0.083               |
| 3    | کهنوج شاه            | 0.001                        | 0.001               | 0.052               |
| 4    | توتک راین            | 0.1                          | 0.1                 | 0.196               |
| 5    | حرمک                 | 0.075                        | 0.075               | 0.046               |
| 6    | سامان جهر            | 0.015                        | 0.015               | 0.085               |
| 7    | میانرود راور         | 0.004                        | 0.004               | 0.034               |
| 8    | (R <sup>2</sup> )    | -                            | -                   | 0.9182              |
| 9    | (RMSE)               | -                            | -                   | 0.0289              |

عصبی مصنوعی RBF در پیش‌بینی دبی جریان‌های زیر قشری در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی MLP موفق‌تر عمل کرده است. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب نمودار پراکنش شبکه عصبی مصنوعی

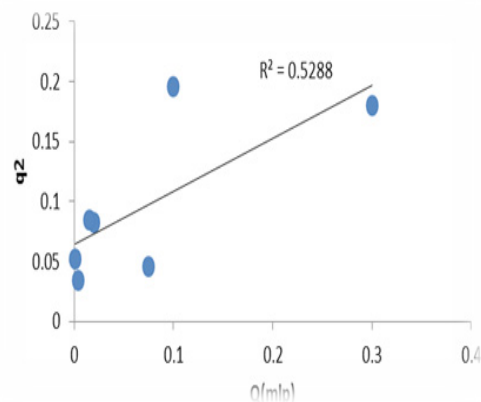
گرفته شده است. جدول ۴ نتایج پیش‌بینی دبی خروجی حاصل از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی را نمایش می‌دهد. با توجه به پارامترهای ارزیابی ارائه شده در جدول ۴ مدل شبکه

برای افزایش بهره‌وری از ساخت سد از منظر هزینه و زمان، انتخاب بهینه مکان احداث آن ضروری و لازم است. در مطالعات دیگر محققین نیز به این نکته اشاره شد. در تحقیقات گذشته با استفاده از روش‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، روش‌های زمین‌آمار و مطالعات میدانی، مکان بهینه سدهای زیرزمینی در مناطق مطالعاتی مکان‌یابی شد. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی MLP و RBF به بررسی رابطه بین خصوصیات جریان‌های زیر قشری و دبی خروجی از این جریان‌ها پرداخته شده است. در این مطالعه استفاده از رویکرد شبکه عصبی مصنوعی در مکان‌یابی سدهای زیرزمینی در مناطق دیگر با استفاده از نتایج آن روشی جدیدی محسوب شده که در مطالعات دیگر محققان دیده نشده است. پس از برداشت داده‌ها توسط روش‌های میدانی و مدل‌سازی این داده‌ها در شبکه عصبی مصنوعی می‌توان به نتایج زیر اشاره کرد.

مقایسه مقدار دبی واقعی و مقدار دبی پیش‌بینی شده حاصل از مدل‌های مورد استفاده و با توجه به پارامترهای ارزیابی مدل، موفقیت شبکه عصبی مصنوعی RBF را در پیش‌بینی دبی جریان‌های زیرزمینی نشان می‌دهد. این نوع از شبکه عصبی با دارا بودن مقدار ضریب همبستگی خطی ( $CORREL=0.95$ ) و مقدار میانگین مربعات خطا ( $RMSE=0.0289$ ) در مقایسه با نوع MLP از موفقیت بیشتری برخوردار است.

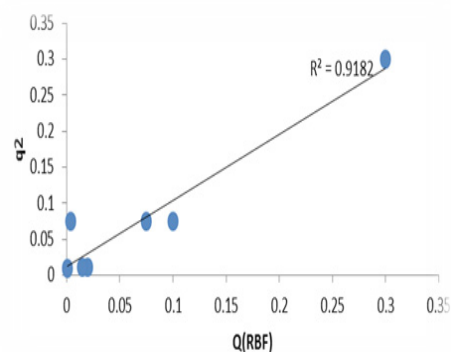
### منابع

1. Aqamolaeey, A. Lashkaripoor, GH. And Ghafouri, M. 2014. Investigating the effective factors of subsurface dam implementing, case study: subsurface dam of manhood of rawer in Kerman province. Quarterly research-engineering journal of irrigation and water engineering 5 (17), pp. 67-82(in Persian)
2. Azizi, S. Kheirkhah, Z.M. and Sharifi, E. 2011. Suitable Site Selection for Subsurface dams' Construction Using Spatial And Non Spatial Analytical Hierarchy Process (Case Study: Taft's Pishkuh Catchments, Yazd Province). (in Persian)
3. Chezaki, J. Moradi, H and Kheirkhah, M. 2010. Locating suitable sites for building subsurface dam using a multi-criteria decision-making method with emphasis on water resources (case study: western of Tehran province). Research-scientific journal of Watershed management sciences and engineering of Iran. 4th year. No. 13(in Persian)
4. Dehghani, A. Askari, M. and mosaedi, A. 2009. Comparison of three methods of artificial neural



شکل ۲- نمودار پراکنش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه

Fig2. Distribution Chart of Multiplier Perceptron Artificial Neural Network



شکل ۳- نمودار پراکنش شبکه عصبی مصنوعی تابع پایه شعاعی

Fig3. Distribution Chart of Artificial Neural Network of Radial Base Function

با توجه به شکل ۲ و ۳ ضریب تعیین ( $R^2$ ) در مدل شبکه عصبی مصنوعی RBF بیشترین مقدار در مقایسه با مدل شبکه عصبی مصنوعی MLP شده است؛ یعنی داده‌های پیش‌بینی شده در مدل RBF نزدیکی بیشتری به داده‌های واقعی در مقایسه با مدل MLP دارند؛ که برتری مدل RBF را در پیش‌بینی دبی جریان‌های زیر قشری نشان می‌دهد.

### بحث و نتیجه‌گیری

مه‌ار آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای استحصال در فصول موردنیاز امری ضروری به حساب می‌آید. سدهای زیرزمینی بهترین گزینه موجود برای این امر مهم است.

- T. Oroza, C.A. Hartsough, P.C. Watteyne, T. and Glaser, S.D. 2017. Real-Time Alpine Measurement System Using Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 17(11), p.2583
13. Mohebi Tafreshi, A. Kheirkhakh Zarkesh, M. And Mohebi Tafreshi, Gh. 2014. Application of Method of Integrating GIS and RS Techniques with Decision Support System in Locating Suitable Areas for Subsurface Dam Construction, Case study of Qazvin province. *Scientific-Research Journal of Watershed Management Sciences and Engineering of Iran*, Vol. 8, No. 26 (in Persian)
14. Nayebi, H. Shirvani, M. and Kamfiroozi, M. 2016. Subsurface dam modeling using swat software. *Iioab journal*, 7, pp.60-65. (in Persian)
15. Noori, R. Karbassi, A. and Sabahi, M.S. 2009. Evaluation of pace and gamma test techniques on Ana operation for weekly solid waste prediction, *journal of environmental management*.91: 767-771(in Persian)
16. Oliner, V.I. 1978. On the relationship between the sample size and the number of variables in a linear regression model. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 7(6) pp.509-516.
17. Ruck, D.W. Rogers, S.K. Kabrisky, M. Oxley, M.E. and Suter, B.W. 1990. The multilayer perceptron as an approximation to a Bayes optimal discriminant function. *Idea Transactions on Neural Networks*, 1(4), pp.296-298.
18. Sahu, M. Khatua, K. K. and Mahapatra, S.S. 2011. A neural network approach for prediction of discharge in straight compound open channel flow. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22(5), 438-446
19. Singh, L.K. Jha, M.K. and Chowdary, V.M. 2017. Multi-criteria analysis and GIS modeling for identifying prospective water harvesting and artificial recharge sites for sustainable water supply. *Journal of Cleaner Production*, 142, pp.1436-1456
20. Tokar, A.S. and Johnson, P.A. 1999. Rainfall-runoff modeling using artificial neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(3), pp.232-239.
21. Unal, B. Mamak, M. Seckin, G. and Cobaner, M. 2010. Comparison of an Ann approach with 1-D and 2-D methods forestimating discharge capacity of network, fuzzy inference, comparative neural system, and geo-statistics in interpolation of groundwater levels (case study of Qazvin plain). *Agricultural sciences and natural resources* pp. 517-528(in Persian)
5. Esfe, M.H. 2017. Designing an artificial neural network using radial basis function (Ruff-Ann) to model thermal conductivity of ethylene glycol–water-based To 2 Nano fluids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetric*, 127(3), pp.2125-2131.
6. Esfe, M.H. Afrand, M. Wongwises, S. Naderi, A. Asadi, A. Rostami, S. and Akbari, M. 2015. Applications of feed forward multilayer perceptron artificial neural networks and empirical correlation for prediction of thermal conductivity of Mg (OH) 2–EG using experimental data. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 67, pp.46-50.
7. Fath, A.H. 2017. Application of radial basis function neural networks in bubble point oil formation volume factor prediction for petroleum systems. *Fluid Phase Equilibrium*, 437, pp.14-22.
8. Forzieri, G. Gardenti, M. Caparrini, F. and Castelli, F. 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: A case study in the region of Kilda, Mali. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(1-2), pp.74-85.
9. Hassanzadeh nofovatti, M. Jamali, A. and Fallah, A. 2016. Locating subsurface dams using spatial multiple criteria (smce). Case study: adwari basin of bam city. *Scientific-research journal of watershed management sciences and engineering of Iran*, vol. 10, no. 32, spring 2016(in Persian)
10. KherkhahZarkesh, M. Naseri, H. davoudi, M. and Salami, H. 2007. Using hierarchical analysis method to prioritize proper places for building a subsurface dam, case study: north skirt of karkas-natanz Mountains. *Research and development in natural resources*, (79) pp. 93-101
11. Lalehzari, R. and Tabatabaei, S.H. 2015. Simulating the impact of subsurface dam construction on the change of nitrate distribution. *Environmental Earth Sciences*, 74(4), pp.3241-3249. (in Persian)
12. Malek, S.A. Avanzi, F. Brun-Laguna, K. Maurer,



straight compound channels. *Advances in Engineering Software*, 41(2), 120-129

22. Yu, P.S. Chen, S.T. and Chang, I. F. 2009. Real-time flood stage forecasting using support vector regression. In *Practical Hydro informatics* (pp. 359-373). Springer, Berlin, Heidelberg.

## Investigation of Relationship between Hydro-geomorphological Characteristics of the Watershed Basin and Interflows Using Artificial Neural Network Approach (Case Study: Kerman's Subsurface Dams)

M. Shahidi Zandi<sup>1</sup>, M. Najarchi<sup>2</sup>, R. Jafarinia<sup>3</sup>, Sh. Mokhtari<sup>4</sup> and A. Abkar<sup>5</sup>

Received: 07-08-2018 Accepted: 13-02-2019

### Abstract

Due to the increasing need for water and the lack of access to its sources, it is essential to maintain and use groundwater resources. So, identifying and exploiting these resources has particular importance. Investigating interflows requires geo-electric and geotechnical studies, both of which require a lot of time and cost. Therefore, it is necessary to provide a method or model that can minimize the cost of investigating interflows as much as possible. In this research, two types of artificial neural networks; multi-layer perceptron (MLP) and radial base function (RBF) were used to study the relationship between hydro-geomorphological characteristics of the watershed basin and interflows in seven watershed sub-basins in Kerman province. Hydro-geomorphological characteristics of subsurface dams were considered as input independent variables, and the discharge of interflow in the watershed basin outlet was considered as dependent variable. The results of this study show that radial base function (RBF) with determination coefficient of 0.9182 and mean squared error of 0.0289, has more accurate results in estimating the discharge of interflow, compared to artificial neural network method of multilayer perceptron (MLP) with determination coefficient of 0.5288 and mean squared error of 0.725. Regarding the determination coefficient in the used methods, it can be concluded that the model of the neural network is the appropriate solution and low cost to check this connection in the watershed.

**Keywords:** *Kerman Province, Interflows, Subsurface dam, Neural Network of Radial Base Function, Determination coefficient.*

1. Ph. D. student of Drainage Irrigation Science and Research Arak Branch Islamic Azad University, Arak.

2. Correspond author and Department of Water Engineering, Arak Branch Islamic Azad University Arak. Email: m-najarchi@iau-arak.ac.ir

3. Department of Water Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak.

4. Department of Water Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak.

5. Assistant Professor Soil Conservation and Watershed management Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and education Center, AREEO, Kerman,