

تأثیر پدیده خشک‌سالی بر کمیت آبخوان‌ها با استفاده از مدل فازی (مطالعه موردی: دشت گتوند- عقیلی)

چکیده

بیان منفی ذخایر آبی و کاهش حجم ذخیره استاتیک آبخوان‌ها از جمله اثرات تکرار پدیده خشک‌سالی است که بر وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی ایران و از جمله استان خوزستان تأثیرگذار بوده است. در این تحقیق با استفاده از مدل فازی و ArcGIS ضمن شناخت بهتر اثرات ایجادشده در دوره آماری مناسب بر آبخوان دشت گتوند-عقیلی، سعی شد به شیوه‌ای نوین تأثیرات منتج از خشک‌سالی بر سطح آب زیرزمینی را نمایان نموده و تا حد امکان پیش‌بینی کرد. دشت گتوند - عقیلی (با وسعت تقریبی ۳۷۰ کیلومتر مربع که از قطب‌های کشاورزی شمال استان خوزستان می‌باشد) توسط رودخانه کارون از هم جدا می‌شوند. در محدوده مورد مطالعه به‌منظور تعیین گروه داده‌های ورودی و خروجی شبکه با گام زمانی یکسان و با تعداد متناظر، داده‌های چاه‌های معرف به‌عنوان مبنا قرار داده شد و داده‌های ماهیانه، از سال ۱۳۸۴ تا انتهای ۱۳۹۰ در نظر گرفته شد (در سال ۱۳۹۸). مطالعات حاضر نشان داد که سطح آب‌های زیرزمینی شدیداً وابسته به بارش و آب‌های ورودی به آبخوان (شبکه‌های آبیاری و زهکشی و رودخانه کارون) می‌باشد. همچنین پیش‌بینی رفتار آبخوان‌ها در مقابل خشک‌سالی با منطق فازی از دقت بالایی برخوردار است و نتایج حاصل از مدل مذکور با واقعیات جاری در منطقه و نتایج مطالعات و نقشه‌های تهیه‌شده در محیط ArcGIS همخوانی دارد.

واژگان کلیدی: مدل فازی، GIS، آبخوان، خشک‌سالی، آب‌های زیرزمینی.

رضا برنا^۱

فاطمه حسنی^۲

۱. دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد

اسلامی، اهواز، ایران.

۲. دانشجوی دکتری تخصصی اقلیم‌شناسی، واحد

اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

*مسئول مکاتبات:

bornareza@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۸۰۴۰۴۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۷

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

مقدمه

نیاز روزافزون بشر به استفاده از منابع آب از یک‌سو و جایگاه اقلیمی خشک تا نیمه‌خشک قسمت عمده‌ای از کشور، از سوی دیگر موجب بهره‌برداری از این منبع طبیعی با سرعتی روزافزون گردیده است. گاه به دلیل این نیاز و همچنین حادث شدن پدیده خشک‌سالی توجه بیشتر به کمیت آب‌ها و عوامل تأثیرگذار برافت سطح آب‌های زیرزمینی ضروری به نظر می‌رسد. از جمله اثرات سوء و مخرب استفاده از منابع آب و همچنین خشک‌سالی، ایجاد موازنه منفی منابع آب در یک محدوده مطالعاتی است که مدیریت صحیح منابع آب را طلب می‌کند. برای اعمال یک مدیریت صحیح نیاز به شناسایی و به مدل درآوردن و پیش‌بینی نوسانات سطح آب آبخوان‌ها در دشت‌ها جهت برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و استفاده بیشتر و بهتر از پتانسیل‌های آبی دشت‌ها است.

اکثر روش‌های پیش‌بینی بر پایه نوعی شبیه‌سازی از وضعیت موجود سیستم می‌باشد که اصطلاحاً به این موضوع مدل‌سازی گفته می‌شود. امروزه به جهت پیش‌بینی، یافتن و درک روابط بین پارامترهای مؤثر در نوسانات کمی آب زیرزمینی (زمانی و مکانی) از تکنیک‌های پیشرفته استفاده می‌گردد. یکی از روش‌های مدل‌سازی که در دو دهه اخیر بکار گرفته شده است. شبیه‌سازی به‌وسیله منطق فازی می‌باشد. این مدل در انجام فرآیند شبیه‌سازی به داده‌های کمتری نیاز دارد و از قدرت پردازش بالایی بهره‌مند است و در اجرای سناریوهای مدیریتی متعدد با سرعت بالایی اجرا می‌گردد. Paulin و همکاران (۲۰۰۱) سه نوع مدل شبکه عصبی مصنوعی مختلف را با استفاده از داده‌های تقریباً کوتاه‌مدتی از سطح

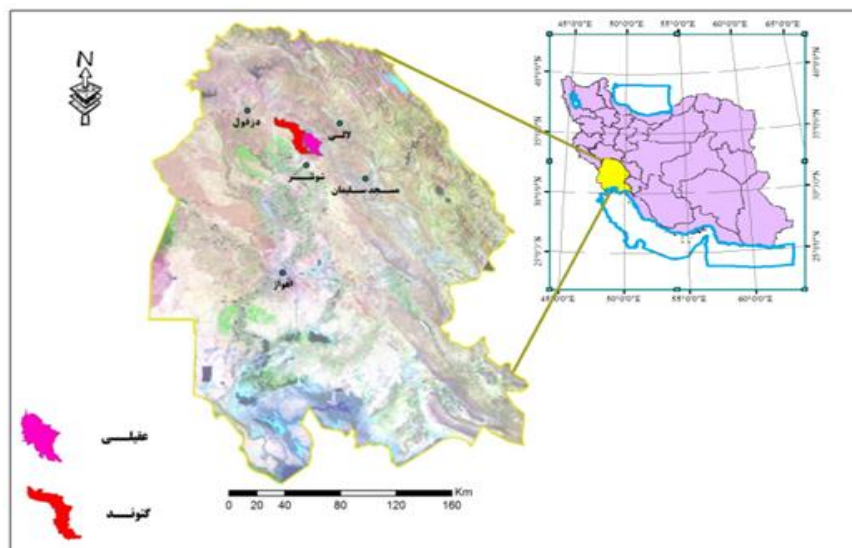


آب زیرزمینی و داده‌های هیدرومتئورولوژیکی وابسته به آن، برای شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی در آبخوان گاندو (Gondo) بورگینوفاسو کالیبره کردند. در این تحقیق از چهار نوع مدل GRBF، RNN، IDNN و PNN برای شبیه‌سازی استفاده شد. افرادی چون Copola و Sziparovsky (۲۰۰۳) نشان دادند که شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای توانایی بالایی در پیش‌بینی دقیق سطح ایستابی در حالت غیر ماندگار در سیستم در حال پمپاژ و موقعیت‌های آب و هوایی مختلف را دارند، آن‌ها بیان کردند که نتایج پیش‌بینی شبکه‌های عصبی مصنوعی دقت بسیار بالاتری نسبت به مدل‌های عددی نشان می‌دهند. برای اولین بار توسط Lallahem و همکاران (۲۰۰۵) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای ارزیابی سطح ایستابی در سازند سخت استفاده شد، آن‌ها بدین منظور از یک شبکه MLP استفاده کرده و سطح ایستابی در پیرومتر مرکزی را پیش‌بینی کردند. در پژوهشی دیگری که توسط Shaoyuan و همکاران (۲۰۰۷) انجام گرفته است، شبکه‌های عصبی به منظور بررسی اثرات فاکتورهای هیدروولوژیکی، هواشناسی و انسانی بر سطح آب زیرزمینی در بخش پایینی حوضه رودخانه‌ی شیانگ در شمال غرب چین استفاده شده است. مدل‌های ANN مورد استفاده توانستند با متوسط خطای مطلق ۰/۳۷ یا کمتر با دقت بالایی سطح آب زیرزمینی را پیش‌بینی کنند. Steyl (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی را در زمینه‌ی ژئوهیدرولوژی مورد بررسی قرار داد. او کاربرد انواع شبکه‌های عصبی را با استفاده از الگوریتم‌های متعدد مورد تحلیل قرار داده و بیان داشت که شبکه‌های پیشرو همراه با تأخیر زمانی مؤثرترین نوع شبکه در زمینه ژئوهیدرولوژی هستند. عملکرد شبکه عصبی استاندارد (Feed-Forward Neural Network) FFN که با الگوریتم لوببرگ-مارکورت (LM) آموزش داده شده، برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز می‌شی وارم حیدرآباد هند توسط Sreekanth و همکاران (۲۰۰۹) مورد آزمایش قرار گرفت و دقت و حساسیت مدل به وسیله ریشه دوم متوسط مجذور خطا (RMSE) و ضریب رگرسیون (R^2) مورد سنجش قرار گرفت. در مطالعه دیگری هم که در هند توسط Mohanty (۲۰۰۹) انجام شد، با استفاده از داده‌های بارش هفتگی، تبخیر از طشت، تراز رودخانه، سطح آب در زهکش، نرخ پمپاژ و سطح ایستابی در هفته قبل با استفاده از ANN سطح آب زیرزمینی به صورت هفتگی پیش‌بینی شده است. Havril و همکاران (۲۰۱۸) اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه سفره آب زیرزمینی را مطالعه کردند و نتایج این تحقیق نشان داد که روند تغییرات اقلیمی در آینده موجب از بین رفتن سیستم جریان آب زیرزمینی خواهد شد. Quintana و همکاران (۲۰۱۸) مدل دینامیکی به منظور برداشت از منابع آب زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیم توسعه دادند و افزایش برداشت به میزان حدود ۳۰ درصد را در ۲۳ سال آینده پیش‌بینی کردند. به منظور ارتقاء روش‌شناسی رد پای آب زیرزمینی شاخصی به نام شاخص رد پای آب زیرزمینی با ترکیب شاخص رد پای آب زیرزمینی که بیانگر کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد را ارائه نمودند (Kourgialas et al., 2018). Ozcan و Everest (۲۰۱۹) در تحقیقی از آنالیز خوشه‌ای به منظور تعیین منشأ و خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده کرد، نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی بر روی ۳۷ نمونه از چاه‌ها، پنج خوشه مجزا را نشان داد، همچنین رخساره‌های آب در هر خوشه با استفاده از نمودار پاپیر مشخص شد و با استفاده از زمین‌شناسی منطقه منشأ آن‌ها شناسایی شد. (2019) با برآورد میزان برداشت آب از طریق محاسبه و مقدار تغذیه از بیلان آب در هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی، مقدار رد پای آب زیرزمینی را در سیستم آبخوان‌های بخش ساگر در شمال کشور کلمبیا را برآورد کردند (Perez et al., 2019). طی یک مطالعه میدانی در شمال کشور ایتالیا با استفاده از روش‌های آماری به بررسی ویژگی‌های هیدرو شیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی پرداختند، نتایج حاصل از این تحقیق نشان‌دهنده همبستگی شیمیایی قابل توجهی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی و نقش استفاده از روش‌های آماری چند متغیره به عنوان یک ابزار پژوهش مناسبی برای شناسایی مناطق بالقوه تعامل با آب‌های زیرزمینی است (Rotiroti et al., 2019). انصاری و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی اقدام به پایش خشک‌سالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده توسعه یافته بر اساس منطق فازی نمودند و به این نتیجه رسیدند که شاخص SEPI کلیه مزایای شاخص SPI از جمله امکان محاسبه در مقیاس‌های زمانی متفاوت را دارد. حسنی (۱۳۹۱) در پایان‌نامه خود اثرات خشک‌سالی را بر شاخص‌های کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی فازی و شبکه عصبی مصنوعی در محدوده گتوند عقیلی بررسی نمود و به این نتیجه رسید که آب‌های سطحی و بارش، بیشترین تأثیر را بر کمیت آبخوان‌های مذکور دارد و همچنین کیفیت آب‌های زیرسطحی شدیداً وابسته به جنس رسوبات منطقه و کیفیت آب‌های ورودی به آبخوان (شبکه‌های آبیاری و زهکشی و رودخانه

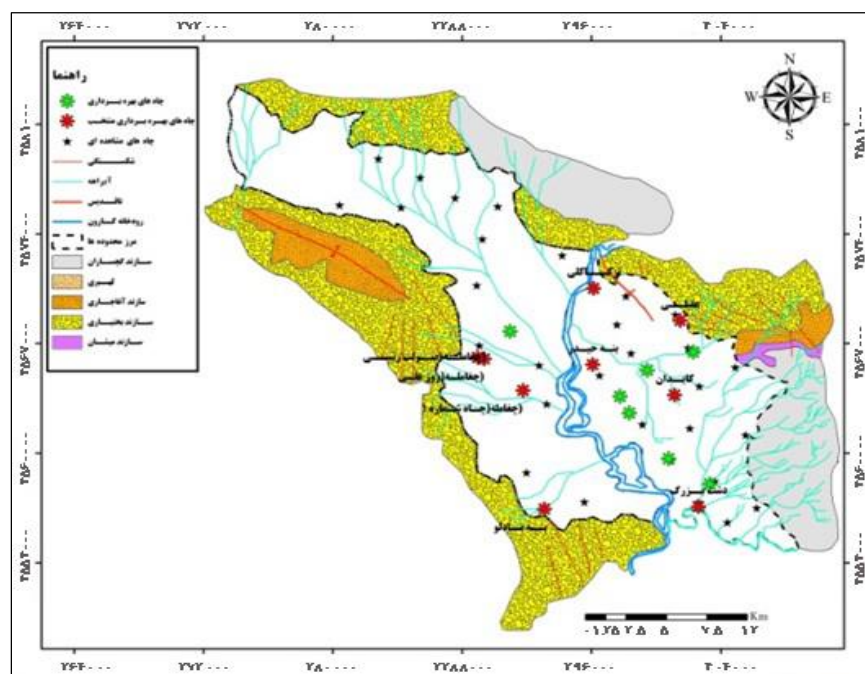
کارون) می‌باشد. لو عزیزاده (۱۳۹۰) در تحقیقی تبه تحلیل شدت- مدت و فراوانی خشک‌سالی‌های شهر اهواز به روش شاخص استاندارد شده بارش پرداخت به این نتیجه رسید که تداوم و شدت خشک‌سالی دهه حاضر نسبت به دهه گذشته افزایش داشته است. انصاری و نادریان فر (۱۳۹۱) در مقاله‌ای به بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص فازی بارندگی و تبخیر-تعرق استاندارد شده اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات سطح آب زیرزمینی با مقادیر شاخص فازی بارندگی و تبخیر-تعرق استاندارد شده از همبستگی بیشتری در مقیاس‌های مختلف زمانی نسبت به شاخص بارندگی استاندارد شده برخوردار است. رضوی طوسی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز با استفاده از روش جدید فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه در رتبه اول و حوضه آبریز در رتبه آخر قرار دارد. کریمی (۱۳۹۴) در مقاله خود، شبیه‌سازی رواناب با استفاده از شبکه عصبی-موجکی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رود خرسان ۳) را بررسی نمود و به این نتیجه رسید که دقت شبکه عصبی-موجکی از شبکه عصبی انتشار برگشتی و شبکه عصبی بنیادی-شعاعی در وضعیت بهتری قرار دارد، خداداد مترجمی و شاه‌محمدی کلایق (۱۳۹۴) در پژوهشی به ارزیابی کمی آب زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی (مطالعه موردی: آبخوان دشت سلماس) اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته با استفاده از مدل ریاضی اگر روند کنونی تخلیه و تغذیه ادامه یابد، در بیشتر نقاط دشت می‌توان شاهد افت محسوس آب بود. کاکي و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله خود به تحلیل روند تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از آزمون‌های نا پارامتری، مطالعه موردی: دشت‌های دهگلان و قروه ی استان کردستان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آزمون‌های منکندال و اسپیرمن توانایی خوبی در تعیین روند در سطح معنی‌داری تأیید شده نشان دادند. ادیب و زمانی (۱۳۹۴) در تحقیقی به بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت دزفول با استفاده از زمین آمار پرداختند و به این نتیجه رسیدند که نتایج حاصل از رسم نقشه‌های پهنه‌بندی فرازسنج‌های مورد مطالعه حاکی از وضعیت نامطلوب کیفی منابع آب زیرزمینی در قسمت‌های جنوب شرقی و شرقی دشت می‌باشند. احمدی آخوومه و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله‌ای به بررسی خشک‌سالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI در آبخوان محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با ادامه روند خشک‌سالی آب زیرزمینی، منطقه با بحران جدی کاهش آب زیرزمینی و عواقب ناشی از آن مواجه خواهد شد، در این شرایط اعمال مدیریت صحیح منابع آب‌های زیرزمینی امری ضروری است.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی گتوند-عقیلی میان طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۸ دقیقه درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۲ درجه و ۶ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه درجه شمالی، در شمال استان خوزستان واقع شده است (شکل ۱). همچنین مساحت دشت گتوند ۲۳۱۱۴ هکتار برابر ۲۳۱ کیلومتر مربع و مساحت دشت عقیلی ۱۳۶۲۰ هکتار برابر ۱۳۶ کیلومتر مربع می‌باشد. تعداد چاه‌های مشاهده‌ای در دو دشت مجموعاً ۲۶ عدد می‌باشد (شکل ۲) که به‌صورت ماهیانه سطح آب در آن‌ها قرائت می‌گردد و با استفاده از اطلاعات حاصل از چاهک‌های مذکور نقشه‌های تراز، عمق و جهت جریان آب زیرزمینی منطقه ترسیم شده است.



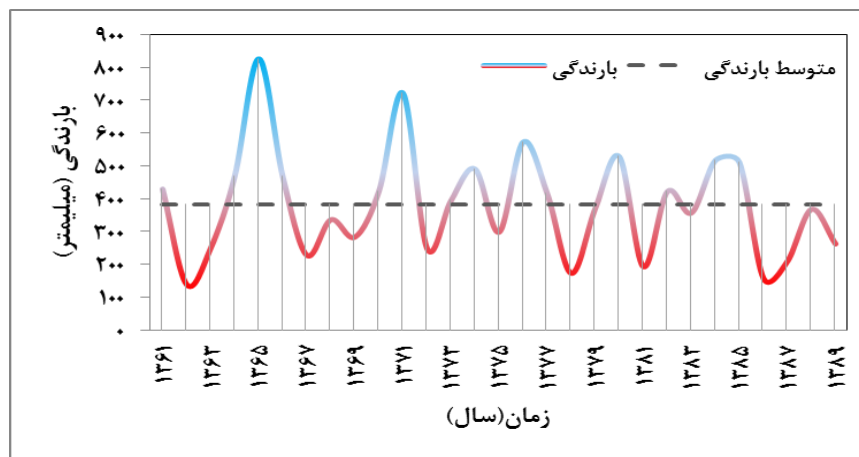
شکل ۱: نقشه موقعیت مکانی محدوده گتوند-عقیلی.



شکل ۲: نقشه تعداد چاه‌های مطالعاتی گتوند-عقیلی (سال بررسی ۱۳۹۸).

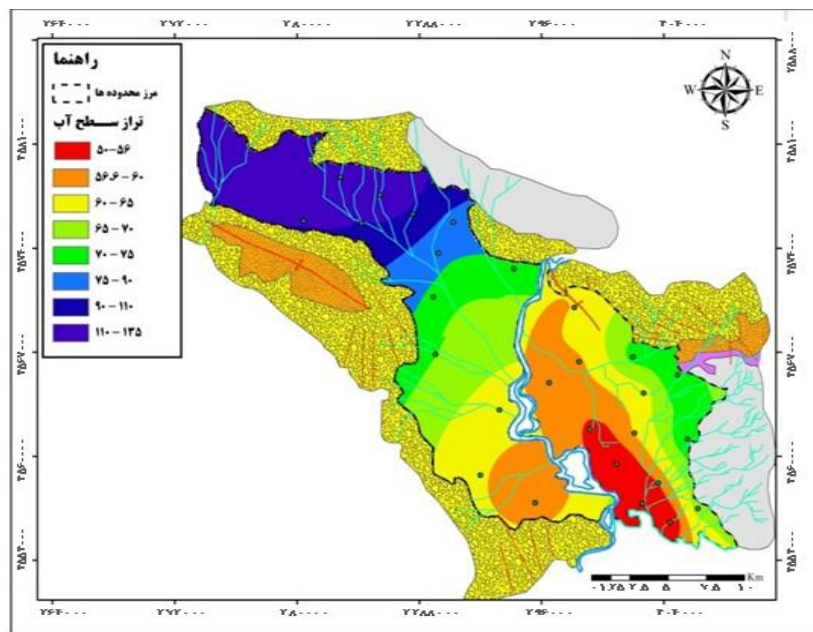
اولین قدم برای شبیه‌سازی کمی و سطح آب زیرزمینی به‌وسیله منطق فازی تهیه و انتخاب داده‌های ورودی مناسب است. از پارامترهای مؤثر بر کمیت آب زیرسطحی در دشت گتوند و عقیلی تغذیه از بارندگی، تبخیر، درجه حرارت، تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری، تغذیه آب‌های سطحی، تغذیه از سازندهای بختیاری و گچساران در مرز شرقی و شمالی دشت و تخلیه و تغذیه از رودخانه کارون می‌توان نام برد. تمام داده‌های ورودی و خروجی شبکه عصبی مصنوعی از نظر تعداد باید متناظر هم باشند و درواقع تعداد سطرهای ماتریس ورودی و خروجی شبکه برابر باشد و هرچه دوره داده‌های مذکور بیشتر باشد، نتایج مطلوب‌تری دارد. در دشت گتوند - عقیلی به‌منظور تعیین گروه داده‌های ورودی و خروجی شبکه با گام

زمانی یکسان و با تعداد متناظر، داده‌های چاه‌های معرف به‌عنوان مبنا قرار داده شد و داده‌های ماهیانه، از سال ۱۳۸۴ تا انتهای ۱۳۹۰ در نظر گرفته شد. پارامترهای ورودی مورد استفاده شامل بارندگی، تبخیر، درجه حرارت میانگین، دبی ایستگاه هیدرومتری گتوند و دبی ایستگاه هیدرومتری شوشتر می‌باشد. پارامترهای خروجی مدل عبارت‌اند از: سطح آب زیرزمینی (به‌منظور بررسی اثرات کمی خشک‌سالی بر آب‌های زیرزمینی دشت) می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مراحل آماده‌سازی داده‌ها قبل از طراحی و آموزش شبکه عصبی مصنوعی، هم‌مقیاس کردن داده‌های ورودی و خروجی شبکه است. به این فرآیند نرمال کردن داده‌ها گفته می‌شود. بهترین حالت داده‌های ورودی به شبکه‌های عصبی مصنوعی زمانی است که تمامی داده‌ها در یک محدوده خاص بوده و مقادیر بین صفر و یک داشته باشند. بدین منظور از روش ماکزیمم و مینیمم داده‌ها استفاده شد. در نهایت بانک اطلاعات مورد نیاز در اختیار مدل قرار گرفت و اقدام به واسنجی و صحت‌سنجی در منطق فازی کردید. نتایج حاصل از مدل فازی به‌صورت نمودارهایی نشان داده شد و در نهایت با نقشه‌های تهیه‌شده در محیط ArcGIS مقایسه گردید. برای تعیین دوران خشک‌سالی و یا ترسالی در ۲۹ سال اخیر، نمودار خطی بارش برای بازه زمانی ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۰ ترسیم‌شده است (شکل ۳).



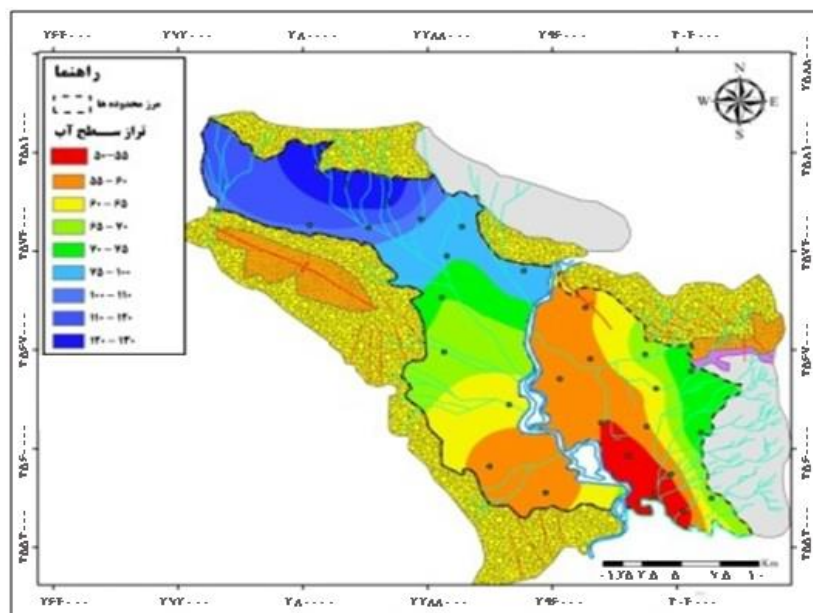
شکل ۳: نمودار خطی بارش ایستگاه گتوند (سال بررسی ۱۳۹۸).

همان‌گونه که در نمودار فوق (شکل ۳) مشاهده می‌گردد، آخرین دوره ترسالی در مهر و موم‌های ۸۵-۱۳۸۴ و آخرین دوره خشک‌سالی در سال‌های ۹۰-۱۳۸۹ بوده است؛ بنابراین برای سهولت مطالعه و مقایسه ابعاد کمی خشک‌سالی، نقشه‌های عمق و تراز در هر دو دوره خشک‌سالی و ترسالی اخیر ترسیم‌شده است (اشکال ۴ تا ۷).



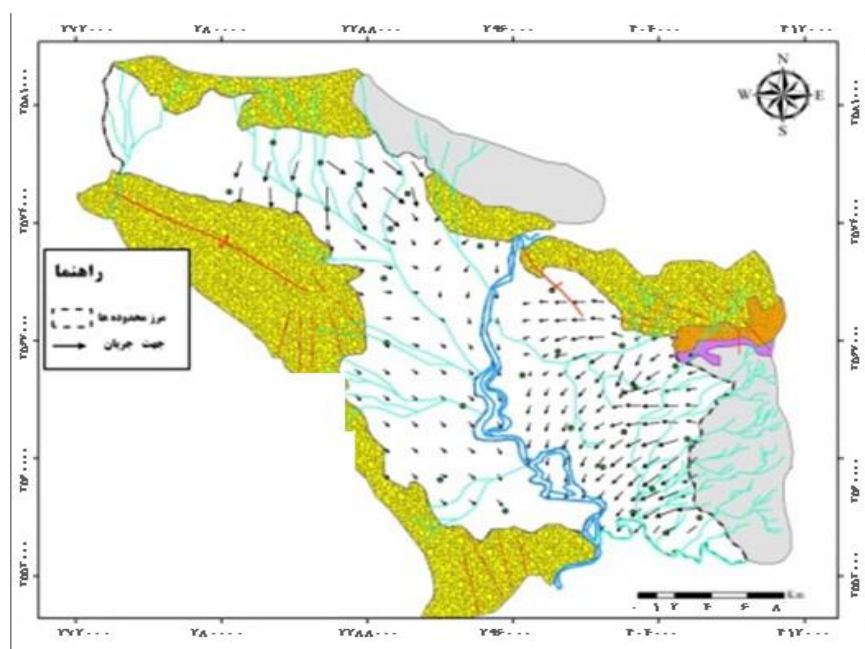
شکل ۴: نقشه تغییرات تراز سطح آب زیرسطحی سال ۱۳۸۵ محدوده مطالعاتی گتوند-عقیلی (سال بررسی ۱۳۹۸).

نقشه تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی دشت گتوند- عقیلی با استفاده از سطح آب پیزومترهای موجود در منطقه برای سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۹ تهیه گردید (شکل ۴). داده‌های به‌دست‌آمده وارد نرم‌افزار ArcGIS 10 گردید و با استفاده از روش درونیابی کریجینگ، میانگین سطح ایستابی آبخوان برای کل منطقه به دست آمد. در سال ۱۳۸۵ حداکثر تراز ارتفاعی سطح آب در شرق دشت عقیلی حدود ۷۵ متر و حداقل سطح آب در جنوب غربی دشت حدود ۵۰ متر می‌باشد، همچنین حداکثر تراز ارتفاعی سطح آب در شمال غرب دشت گتوند حدود ۱۳۵ متر و حداقل سطح آب در جنوب شرقی دشت حدود ۵۶ متر می‌باشد.



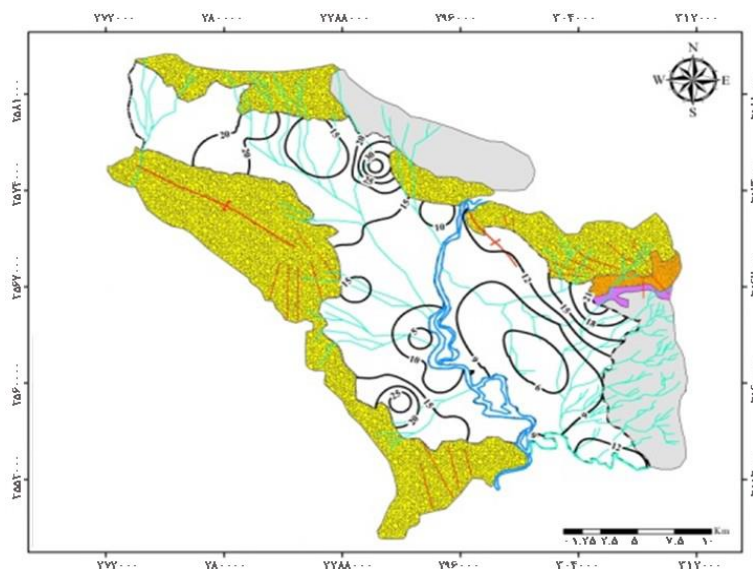
شکل ۵: نقشه تغییرات تراز سطح آب زیرسطحی سال ۱۳۸۹ محدوده مطالعاتی گتوند-عقیلی (سال بررسی ۱۳۹۸).

در سال ۱۳۸۹ حداکثر تراز ارتفاعی سطح آب در شرق دشت عقیلی حدود ۷۵ متر و حداقل سطح آب در جنوب غربی دشت حدود ۵۰ متر می‌باشد. همچنین حداکثر تراز ارتفاعی سطح آب در شمال غرب دشت گتوند حدود ۱۳۰ متر و حداقل سطح آب در جنوب شرقی دشت حدود ۵۵ متر می‌باشد. در شکل ۶ جهت جریان آب زیرزمینی دشت گتوند - عقیلی مشخص شده است. مطابق اطلاعات نقشه، جهت جریان آب زیرزمینی رودخانه کارون با عبور از میان محدوده مطالعاتی گتوند - عقیلی هر دو دشت مذکور را زهکشی می‌کند و از هر دو دشت تغذیه می‌شود. روند کلی جهت جریان در دشت عقیلی از شرق به سمت غرب و جنوب غرب می‌باشد که این روند جریان به‌نوعی از توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند. با توجه به نقشه سطح ایستابی، ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه کارون و دشت عقیلی به نحوی است که این دشت رودخانه را تغذیه می‌کند. همچنین نوع آبخوان در کل منطقه به‌صورت آزاد می‌باشد. همان‌گونه که در نقشه‌های هم‌تراز و هم‌عمق (شکل‌های ۴ تا ۷) مشهود است، جهت جریان از توپوگرافی سطحی تبعیت نسبتاً کاملی دارد و آب برگشتی از آبیاری و نفوذ آب از کانال‌های آبیاری (آب‌های سطحی) بیشترین تأثیر بر نوسان سطح ایستابی منطقه می‌گذارند.

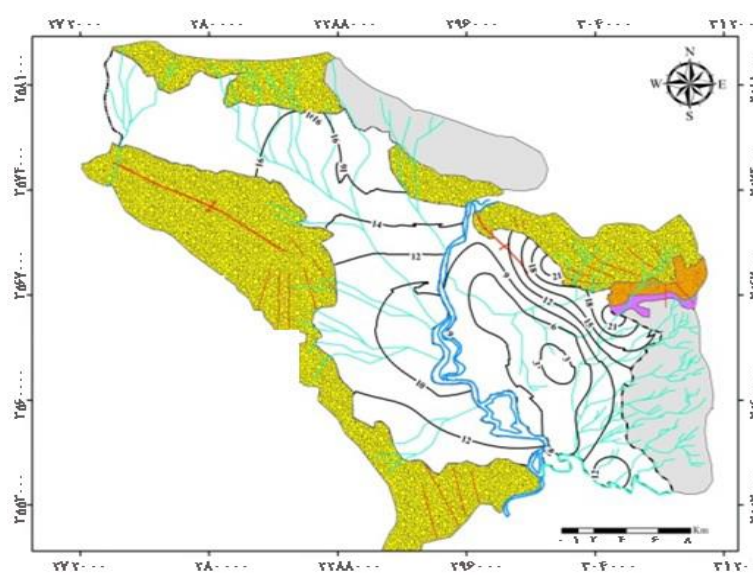


شکل ۶: نقشه جهت جریان آب زیرسطحی محدوده مطالعاتی گتوند-عقیلی (سال بررسی ۱۳۹۸).

در اشکال ۷ و ۸ نقشه‌های هم‌عمق سال ۱۳۸۵ (آخرین دوره ترسالی) و سال ۱۳۸۹ (آخرین سال خشک‌سالی) باهم قابل مقایسه می‌باشد. همان‌گونه که در تصاویر مشهود است، افت قابل ملاحظه هم‌عمق سطح ایستابی بعد از تأثیر خشک‌سالی کاملاً محسوس است.



شکل ۷: نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی سال ۱۳۸۵ محدوده مطالعاتی گتوند-عقیلی (سال بررسی ۱۳۹۸).



شکل ۸: نقشه هم‌عمق آب زیرزمینی سال ۱۳۸۹ محدوده مطالعاتی گتوند-عقیلی (سال بررسی ۱۳۹۸).

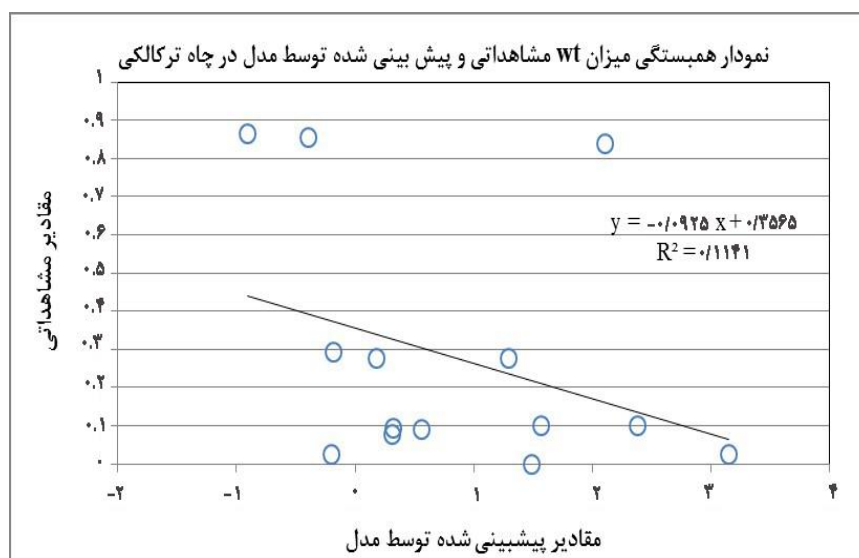
نتایج

برای پیش‌بینی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی دشت گتوند-عقیلی از منطق فازی و نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. به این منظور بانک اطلاعاتی مشتمل بر پارامترهای ورودی شامل دما، بارش، تبخیر و دبی ایستگاه‌های هیدرومتری شوشتر و گتوند برای منطق فازی تعریف گردید. ۷۰ درصد داده‌ها برای مرحله واسنجی و ۳۰ درصد آن‌ها برای مرحله صحت‌سنجی وارد مدل فازی گردید و تمامی داده‌ها نرمال‌سازی شد (بین صفر و یک قرار گرفت). همچنین برای محسوس بودن توانایی مدل فازی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی نمودارهایی ترسیم شد تا روند پیش‌بینی قابل‌رویت و ملموس‌تر گردد. نتایج R^2 حاصله از مرحله صحت‌سنجی برای چاه‌های معرف منتخب در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: نتایج R^2 حاصله از صحت سنجی برای چاه‌های معرف منتخب (سال بررسی ۱۳۹۸).

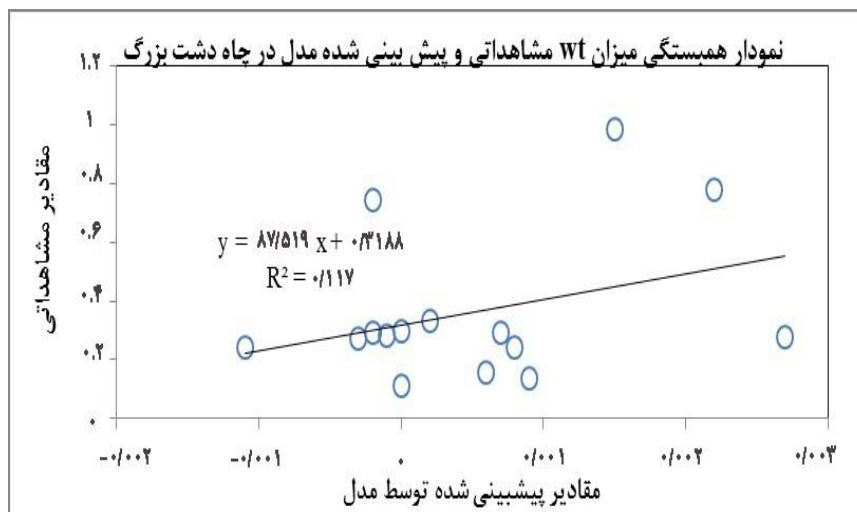
نام چاه	سطح آب زیرزمینی (WT)
عقیلی	۰/۳۳
ترکالکی	۰/۱۱۴
دشت بزرگ	۰/۱۱۷
کایدان	۰/۰۸۶
چغامله ۱	۰/۲۲
چغامله ۲	۰/۴۰۴
چغامله ۳	۰/۴۴۹
بنه حیدر	۰/۶۰۱
بنه بادلو	۰/۳۲۳

در مورد چاه معرف ترکالکی (شکل ۹)، منطق فازی پارامترهای خروجی مدل را با دقت کمتری نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کرده است.



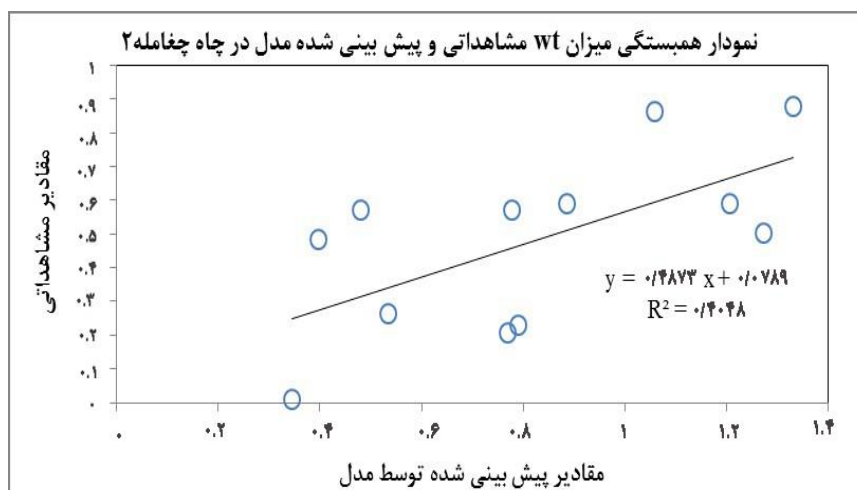
شکل ۹: نمودار همبستگی میزان سطح آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در چاه ترکالکی (سال بررسی ۱۳۹۸).

در مورد چاه معرف دشت بزرگ (شکل ۱۰)، مقادیر R^2 محاسبه شده توسط منطق فازی کمتر از مقادیر R^2 محاسبه شده در مدل شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. نکته قابل توجه در این شکل، تبعیت نسبی روند مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل با روند مقادیر مشاهداتی می‌باشد.

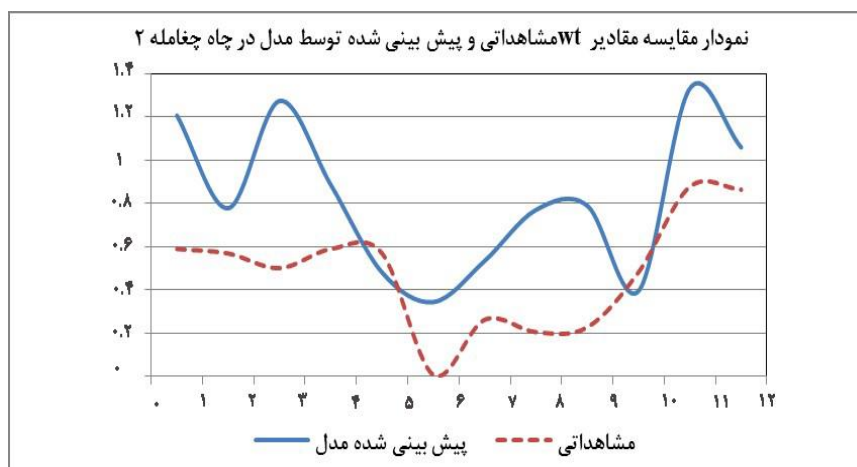


شکل ۱۰: نمودار همبستگی میزان سطح آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در چاه دشت بزرگ (سال بررسی ۱۳۹۸).

در مورد پارامتر سطح آب زیرزمینی چاه معرف چغمله دو (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) منطق فازی پیش‌بینی نسبتاً دقیق‌تری را ارائه داده است. با مقایسه مقادیر مشاهداتی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل درمی‌یابیم که منطق فازی سطح آب زیرزمینی را بیشتر از میزان واقعی تخمین زده و پیش‌بینی می‌کند، لیکن هم‌روند بودن نسبی نمودار مقادیر مشاهداتی سطح آب زیرزمینی با مقادیر پیش‌بینی شده مدل قابل توجه می‌باشد.

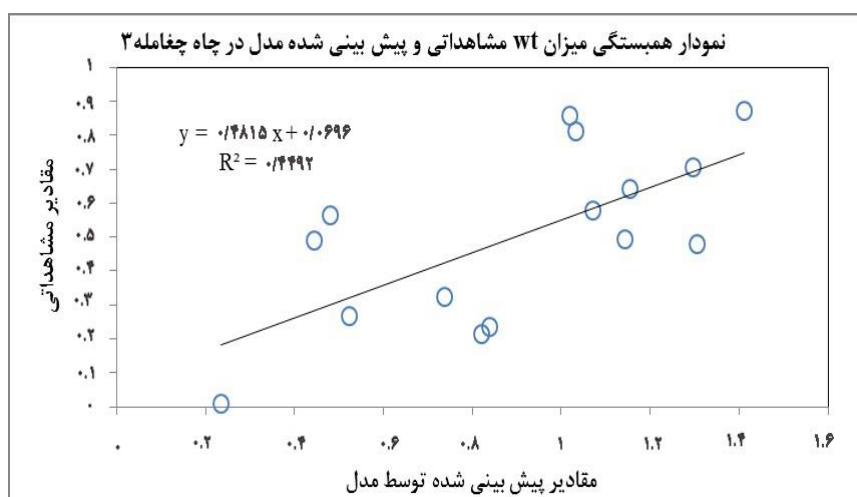


شکل ۱۱: نمودار همبستگی میزان سطح آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در چاه چغمله ۲ (سال بررسی ۱۳۹۸).

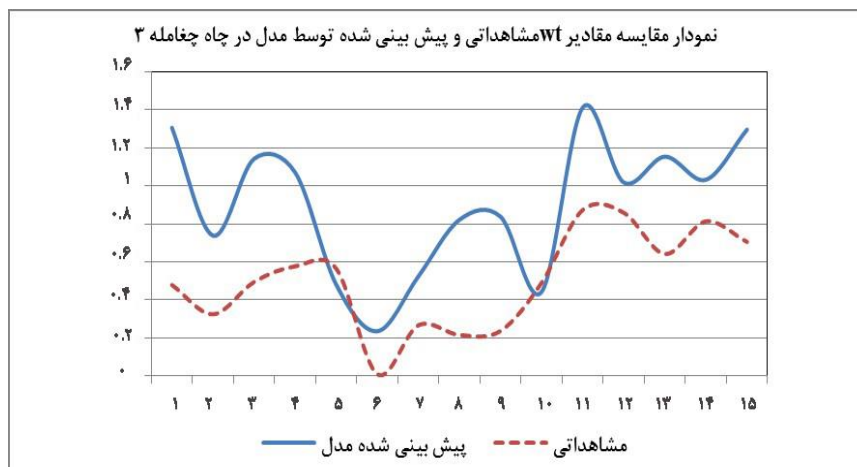


شکل ۱۲: نمودار مقایسه مقادیر سطح آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در چاه چغامله ۲ (سال بررسی ۱۳۹۸).

در مورد پارامتر سطح آب زیرزمینی چاه معرف چغامله سه (شکل‌های ۱۳ و ۱۴)، منطق فازی پیش‌بینی نسبتاً دقیق‌تری را ارائه داده است. با مقایسه مقادیر مشاهداتی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل درمی‌یابیم که منطق فازی سطح آب زیرزمینی را بیشتر از میزان واقعی تخمین زده و پیش‌بینی می‌کند، لیکن هم‌رند بودن نسبی نمودار مقادیر مشاهداتی سطح آب زیرزمینی با مقادیر پیش‌بینی شده مدل قابل توجه می‌باشد.

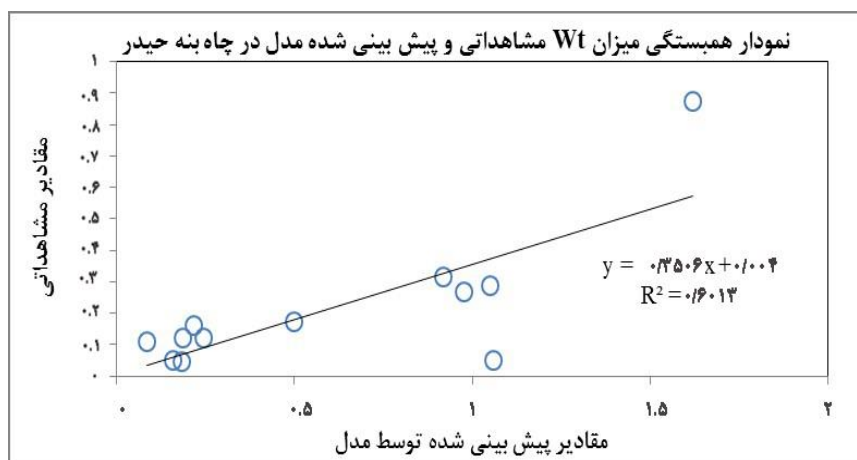


شکل ۱۳: نمودار همبستگی میزان سطح آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در چاه چغامله ۳ (سال بررسی ۱۳۹۸).

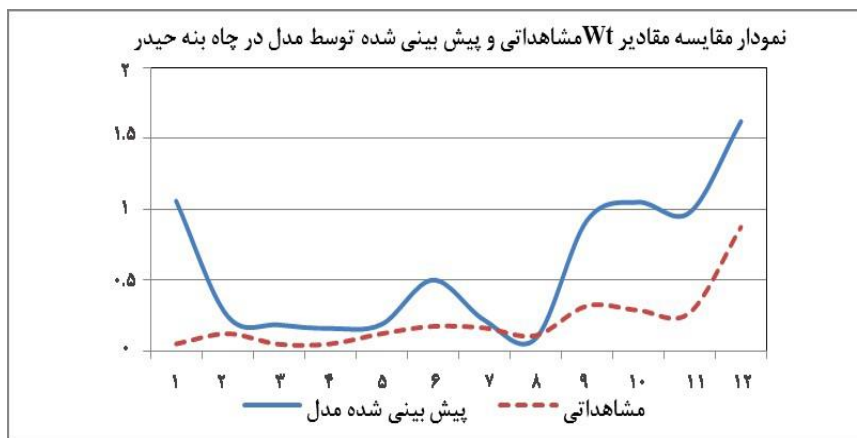


شکل ۱۴: نمودار همبستگی میزان سطح آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در چاه چغامله ۳ (سال بررسی ۱۳۹۸).

در مورد پارامتر سطح آب زیرزمینی چاه معرف بنه حیدر (شکل‌های ۱۵ و ۱۶)، منطق فازی پیش‌بینی نسبتاً دقیق‌تری را ارائه داده است. با مقایسه مقادیر مشاهداتی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل درمی‌یابیم که منطق فازی سطح آب زیرزمینی را بیشتر از میزان واقعی تخمین زده و پیش‌بینی می‌کند، لیکن هم‌رند بودن نسبی نمودار مقادیر مشاهداتی سطح آب زیرزمینی با مقادیر پیش‌بینی شده مدل مطلوب می‌باشد.

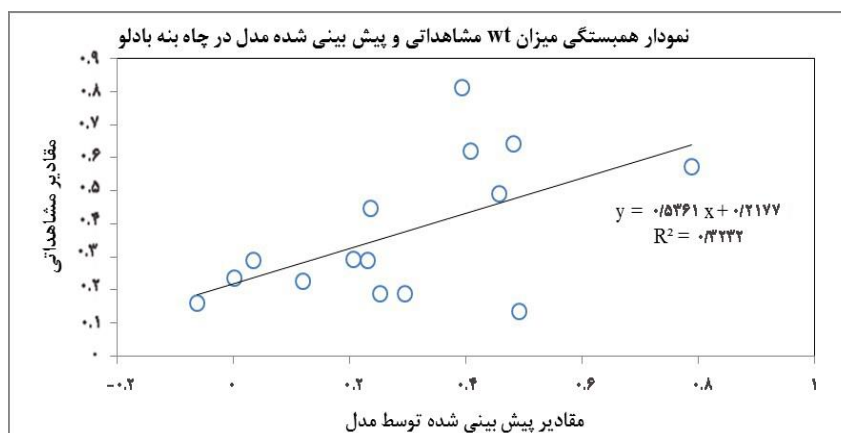


شکل ۱۵: نمودار همبستگی میزان سطح آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در چاه چغامله ۳ (سال بررسی ۱۳۹۸).

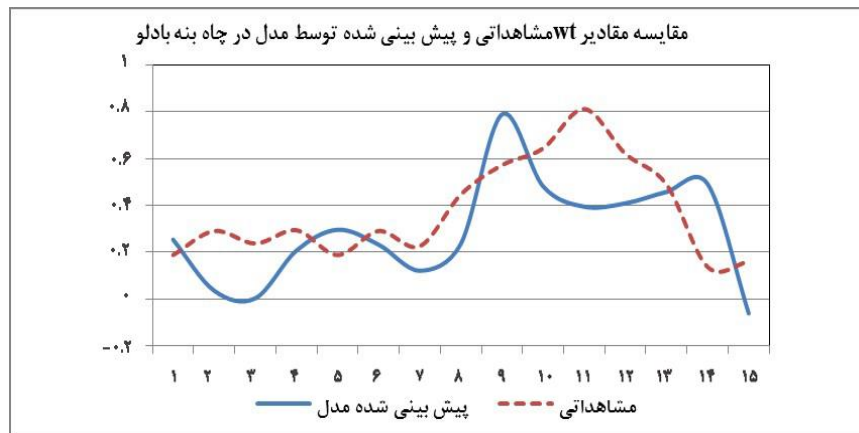


شکل ۱۶: نمودار مقایسه مقادیر سطح آب مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده توسط مدل در چاه بنه حیدر (سال بررسی ۱۳۹۸).

در مورد پارامتر سطح آب زیرزمینی چاه معرف بنه بادلو (شکل‌های ۱۷ و ۱۸)، منطق فازی پیش‌بینی نسبتاً دقیق‌تری را ارائه داده است. با مقایسه مقادیر مشاهداتی با مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل درمی‌یابیم که منطق فازی سطح آب زیرزمینی را به نسبت، کمتر از میزان واقعی تخمین زده و پیش‌بینی می‌کند.



شکل ۱۷: نمودار همبستگی میزان سطح آب مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده توسط مدل در چاه بنه بادلو (سال بررسی ۱۳۹۸).



شکل ۱۸: نمودار مقایسه مقادیر سطح آب مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل در چاه بنه بادللو (سال بررسی ۱۳۹۸).

بحث و نتیجه‌گیری

بیان منفی ذخایر آبی و کاهش حجم ذخیره استاتیک آبخوان‌ها ازجمله اثرات تکرار پدیده خشک‌سالی است که بر وضعیت منابع آب سطحی و زیرزمینی ایران و ازجمله استان خوزستان تأثیرگذار بوده است. در این تحقیق با استفاده از مدل فازی و ArcGIS ضمن شناخت بهتر اثرات ایجادشده در دوره آماری مناسب بر آبخوان دشت گتوند - عقیلی، سعی شد به شیوه‌ای نوین تأثیرات منتج از خشک‌سالی بر سطح آب زیرزمینی را نمایان نموده و تا حد امکان پیش‌بینی کرد. Szidarovszky و Copola (۲۰۰۳) نشان دادند که نتایج پیش‌بینی شبکه‌های عصبی مصنوعی دقت بسیار بالاتری نسبت به مدل‌های عددی دارند.

Paulin و همکاران (۲۰۰۱) سه نوع مدل شبکه عصبی مصنوعی مختلف را با استفاده از داده‌های تقریباً کوتاه‌مدتی از سطح آب زیرزمینی و داده‌های هیدرومتئورولوژیکی وابسته به آن، برای شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی در آبخوان گاندو (Gondo) بورکینافاسو کالیبره کردند. Steyl (۲۰۰۹) کاربرد انواع شبکه‌های عصبی را با استفاده از الگوریتم‌های متعدد مورد تحلیل قرار داده و بیان داشت که شبکه‌های پیشرو همراه با تأخیر زمانی مؤثرترین نوع شبکه درزمینه‌ی ژئوهیدرولوژی هستند.

Havril و همکاران (۲۰۱۸) اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه سفره آب زیرزمینی را مطالعه کردند و نتایج این تحقیق نشان داد که روند تغییرات اقلیمی در آینده موجب از بین رفتن سیستم جریان آب زیرزمینی خواهد شد. مدل دینامیکی به‌منظور برداشت از منابع آب زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیم توسعه دادند و افزایش برداشت به میزان حدود ۳۰ درصد را در ۲۳ سال آینده پیش‌بینی کردند (Quintana et al., 2018). Kourgialas و همکاران (۲۰۱۸) به‌منظور ارتقاء روش‌شناسی رد پای آب زیرزمینی شاخصی به نام شاخص رد پای آب زیرزمینی با ترکیب شاخص رد پای آب زیرزمینی که بیانگر کیفیت آب زیرزمینی می‌باشد را ارائه نمودند. Everest و Ozcan (۲۰۱۹) در تحقیقی از آنالیز خوشه‌ای به‌منظور تعیین منشأ و خواص فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی استفاده کرد، نتایج تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی بر روی ۳۷ نمونه از چاه‌ها، پنج خوشه مجزا را نشان داد، همچنین رخساره‌های آب در هر خوشه با استفاده از نمودار پایپر مشخص شد و با استفاده از زمین‌شناسی منطقه منشأ آن‌ها شناسایی شد. Perez و همکاران (۲۰۱۹) با برآورد میزان برداشت آب از طریق محاسبه و مقدار تغذیه از بیان آب در هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی، مقدار رد پای آب زیرزمینی را در سیستم آبخوان‌های بخش ساگر در شمال کشور کلمبیا را برآورد کردند. طی یک مطالعه میدانی در شمال کشور ایتالیا با استفاده از روش‌های آماری به بررسی ویژگی‌های هیدرو شیمیایی منابع آب سطحی و زیرزمینی پرداختند، نتایج حاصل از این تحقیق

نشان‌دهنده همبستگی شیمیایی قابل توجهی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی و نقش استفاده از روش‌های آماری چند متغیره به عنوان یک ابزار پژوهش مناسبی برای شناسایی مناطق بالقوه تعامل با آب‌های زیرزمینی است (Rotiroti et al., 2019).

دشت گتوند - عقیلی (با وسعت تقریبی ۳۷۰ کیلومترمربع که از قطب‌های کشاورزی شمال استان خوزستان می‌باشد) توسط رودخانه کارون از هم جدا می‌شوند. با مقایسه مقادیر مشاهداتی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل درمی‌یابیم که منطق فازی سطح آب زیرزمینی را بیشتر از میزان واقعی تخمین زده و پیش‌بینی می‌کند، لیکن هم‌روند بودن نسبی نمودار مقادیر مشاهداتی سطح آب زیرزمینی با مقادیر پیش‌بینی شده مدل قابل توجه می‌باشد.

انصاری و همکاران (۱۳۸۹) به این نتیجه رسیدند که شاخص SEPI کلیه مزایای شاخص SPI از جمله امکان محاسبه در مقیاس‌های زمانی متفاوت را دارد. لو عزیزاده (۱۳۹۰) به این نتیجه رسید که تداوم و شدت خشک‌سالی دهه حاضر نسبت به دهه گذشته افزایش داشته است. نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل با داده‌های واقعی مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد داده‌های حاصل از شبیه‌سازی با منطق فازی با داده‌های مشاهداتی انطباق خوبی را نشان می‌دهند و مدل فازی با داشتن دما، بارش، تبخیر، دبی آب‌های سطحی و جریان‌های ورودی و خروجی آبخوان قادر به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی آن می‌باشد.

انصاری و نادریان فر (۱۳۹۱) به این نتیجه رسیدند که تغییرات سطح آب زیرزمینی با مقادیر شاخص فازی بارندگی و تبخیر- تعرق استاندارد شده از همبستگی بیشتری در مقیاس‌های مختلف زمانی نسبت به شاخص بارندگی استاندارد شده برخوردار است. احمدی آخوومه و همکاران (۱۳۹۴) به این نتیجه رسیدند که با ادامه روند خشک‌سالی آب زیرزمینی، منطقه با بحران جدی کاهش آب زیرزمینی و عواقب ناشی از آن مواجه خواهد شد، در این شرایط اعمال مدیریت صحیح منابع آب‌های زیرزمینی امری ضروری است. ادیب و زمانی (۱۳۹۴) به این نتیجه رسیدند که یافته‌های حاصل از رسم نقشه‌های پهنه‌بندی فرا سنج‌های مورد مطالعه حاکی از وضعیت نامطلوب کیفی منابع آب زیرزمینی در قسمت‌های جنوب شرقی و شرقی دشت می‌باشند.

منطق فازی پیش‌بینی نسبتاً دقیقی را ارائه داده است. با مقایسه مقادیر مشاهداتی با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل درمی‌یابیم که منطق فازی سطح آب زیرزمینی را بیشتر از میزان واقعی تخمین زده و پیش‌بینی می‌کند، لیکن هم‌روند بودن نسبی نمودار مقادیر مشاهداتی سطح آب زیرزمینی با مقادیر پیش‌بینی شده مدل مطلوب می‌باشد.

رضوی طوسی و همکاران (۱۳۹۴)، به این نتیجه رسیدند که حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه در رتبه اول و حوضه آبریز در رتبه آخر قرار دارد. کریمی (۱۳۹۴) به این نتیجه رسید که دقت شبکه عصبی - موجکی از شبکه عصبی انتشار برگشتی و شبکه عصبی بنیادی- شعاعی در وضعیت بهتری قرار دارد. خداداد مترجمی و شاه‌محمدی کلالمق (۱۳۹۴) به این نتیجه رسیدند که بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته با استفاده از مدل ریاضی اگر روند کنونی تخلیه و تغذیه ادامه یابد، در بیشتر نقاط دشت می‌توان شاهد افت محسوس آب بود.

با توجه به کم بودن اطلاعات موجود از سطح آب‌های زیرزمینی منطقه و در نتیجه کوچک بودن بانک اطلاعات تهیه شده برای مدل، بدیهی است با به وجود اطلاعات بیشتر و غنی نمودن بانک اطلاعات ورودی برای مدل فازی، مدل قادر خواهد بود پیش‌بینی دقیق‌تری را ارائه دهد. همچنین نتایج حاصل از منطق فازی با واقعیت‌های منطقه مطابقت داشته است.

منابع

- اداره مطالعات آب‌های زیرزمینی خوزستان، ۱۳۸۵. پروژه مطالعات بیلان هیدروکلیماتولوژی محدوده مطالعاتی گتوند عقیلی، اداره کل امور آب خوزستان.
- ادیب، آ. و زمانی، ر.، ۱۳۹۴. بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت دزفول با استفاده از زمین‌آمار، مجله مهندسی منابع آب، سال هشتم، شماره ۲۷، صفحات ۱۲-۱.

- احمدی آخوَرمه، م.، نوحه گر، ا.، سلیمانی مطلق، م. و طایبی سمیرمی، م.، ۱۳۹۴. بررسی خشک‌سالی آب زیرزمینی با استفاده از شاخص‌های SWI و GRI در آبخوان محدوده مطالعاتی مرودشت خرامه استان فارس، مجله مهندسی آبیاری و آب، سال ششم، شماره ۲۱، پاییز ۱۳۹۴، صفحات ۱۱۸-۱۰۵.
- انصاری، ح.، داوری.ک. و ثنائی فرد، ح.، ۱۳۸۹. پایش خشک‌سالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده توسعه یافته بر اساس منطق فازی، مجله آب‌و خاک، دوره ۲۴، شماره ۱، صفحات ۵۲-۳۸.
- انصاری، ح. و نادریان فر، م.، ۱۳۹۱. بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از شاخص فازی بارندگی و تبخیر- تعرق استاندارد شده، مجله مدیریت آب و آبیاری، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱، صفحات ۵۴-۴۱.
- کاکي، م.، مومن رومیانی، ح. و اسدی، ا.، ۱۳۹۴. تحلیل روند تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری، مطالعه موردی: دشت‌های دهگلان و قروه ی استان کردستان، مجله منابع آب و توسعه، سال سوم، شماره ۴، پیاپی ۱۰، تابستان ۱۳۹۴، صفحات ۱۱۳-۹۶.
- کریمی، ص.، ۱۳۹۴. شبیه‌سازی رواناب با استفاده از شبکه عصبی- موجکی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رود خراسان ۳). مجله مهندسی منابع آب، سال هشتم، بهار ۱۳۹۴، صفحات ۱۴-۱.
- حسینی، ف.، ۱۳۹۱. بررسی اثرات خشک‌سالی بر شاخص‌های کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل فازی و شبکه عصبی مصنوعی و ArcGIS (مطالعه موردی: دشت گتوند- عقیلی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، صفحات ۱۷۷-۱۶۶.
- خداداد مترجمی، س. و شاه‌محمدی کلانق، ش.، ۱۳۹۴. ارزیابی کمی آب زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی (مطالعه موردی: آبخوان دشت سلماس)، فصلنامه منابع آب و توسعه، سال سوم، شماره سوم، پیاپی ۱۱، پاییز ۱۳۹۴، صفحات ۳۶-۲۴.
- لو عزیزاده، م.، ۱۳۹۰. تحلیل شدت- مدت و فراوانی خشک‌سالی‌های شهر اهواز به روش شاخص استاندارد شده بارش، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع ب ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۰ ص.
- رضوی طوسی، ل.، ولی سامانی، ج. و فهمی، ه.، ۱۳۹۴. اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز با استفاده از روش جدید فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال یازدهم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۴، صفحات ۷۲-۶۱.

Copola, E., Szidarovszky, F., Poulton, M. and Charls, E., 2003. Artificial neural network approach for predicting transient water levels in multilayered groundwater system under variable state, pumping, and climate conditions, *J. Hydro. Eng*, 8(6): 348-380.

Everest, T. and Ozcan, H., 2019. Applying Multivariate Statistics for Identification of Ground water Resources and Asswssment, 191:4.

Haveril, T., Toth, A., Molson, J. W., Galsa. A. and Madl-Szonyi, J., 2018. Impacts of Predited Climate Change on Groundwater Flow System: Can Wetlands Disappear Due to Rechare Redection? *Journal of Hydrology*, 563: 1169-1180.

Kourgialas, N. N., Karatzas, G. P., Dokou, Z. and Kokorogiannis, A., 2018. Groundwater Footprint Metodology as Policy Tool for Balancing Water Needs (Agiiculture and Tourism) in Water Scarce Islands – The Case of Crete, Greece. *Scince of the Total Environment*, 615: 381-389.

Lallahem, S., Manina, J., Hani, A. and Najjar, Y., 2005. On the use of neural networks to evaluate groundwater levels in fractured porous media. *J. Math. Compul, Modell*, 37: 1047-1061.

Mohanty, S., Madam, K. J., Kumar, A. and Sudheer, K. P., 2009. Artificial Neural Network Modeling for Groundwater Level Forecasting in a River Island of Eastern India, *Water Resours Management*, 24: 1845-1865.

Coulibaly, P., 2001. Artificial neural network modeling of water table depth fluctuations. *Water Resource Research*. Vol. 37(4): 885-896.

Perez, A. J., Hurtado-Patino, J., Hrrera, H. M., Carvajal, A. F., Perez, M. L., Gonzales-Rojas, E. and Perez-Garica, J., 2019. Assesment Sub-Regional Water Scarcity Using the Groundwater Footprint. *Ecological Inicators*, 96: 32-39.

Quintana, A., Peterson, J. M. and Hendricks, N. P., 2018. Opimal Groundweater Management Under Climate Change and Technical Proress. *Journal of Resource and Energy Economics*, 51: 97-83.

Roiroti, M., Zanottic, Fumagalli, L., Taviani, S., Stefania, G., Patelli, M., Nava, V., Sacchi, E. and Leoni, B., 2019. Multivariate Staistical Analysis Supporting the Hydrological Charactrization of Groundweater and Surface Water a Case in Northern Italy. *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana*.

Shaoyuan, F., Shaozhong, K., Zailin, H., Shaqiun, C. and Xiaomin, M., 2007. Neural Networks to Simulate Regional Ground Water Levels Affected by Human Activities. *Groundwater*, 46: 80-90.

Sreekanth, P. D., Geethanjali N., Sreedevi P. D., Shakeel A., Ravi Kumar, N. and Kamala Jayanthi, P. D., 2009. Forecasting groundwater level using artificial neural networks, *CURRENT SCIENCE*, VOL. 96, NO. 7, 10 APRIL.

Steyl, G., 2009. Application of Artificial Neural Networks in the Field of Geohydrology. University of the Free State, South Africa.

