

استفاده از شبکه عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS) به منظور پیش بینی کیفیت آب زیرزمینی در غرب استان فارس طی سال های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳

مرضیه مکرّم^۱، محمدجعفر مکرّم^۲، عبدالرسول زارعی^{۳*}، بهروز صفری نژادیان^۴

۱. عضو هیئت علمی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۲. دانشجوی دکتری برق قدرت، دانشگاه صنعتی شیراز

۳. عضو هیئت علمی، گروه مهندسی منابع طبیعی (مرتع و آبخیزداری)، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا*

۴. عضو هیئت علمی، گروه مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۲/۲۵)

چکیده

با توجه به کاهش بارندگی و استفاده بیش از حد از آب های زیرزمینی، بررسی کیفیت آنها از مهم ترین چالش های بحث شده در مناطق مختلف از جمله ایران است. تخمین کیفیت آب از طریق مدل سازی، از جمله استفاده از شبکه های عصبی، موجب کاهش هزینه و مدیریت بهتر می شود. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی کیفیت آب زیرزمینی در یک دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳) با استفاده از شبکه های عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS) در غرب استان فارس انجام گرفت. در این مطالعه از سه روش sub clustering, grid partitioning و FCM در دو حالت هیبرید و پس انتشار خطا به منظور پیش بینی کیفیت آب زیرزمینی استفاده شد. پارامترهای آموزش در این مطالعه، هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سدیم (SAR) هستند. همچنین برای آموزش شبکه از کلاس های کیفیت آب تهیه شده توسط دیاگرام ویلکاکس استفاده شد. در آلودگی شیمیایی، طبق دیاگرام ویلکاکس نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی مهم ترین فاکتورهایی هستند که با اندازه گیری آنها می توان آب منطقه مطالعه شده را در کلاس های مختلف مانند خیلی مناسب، مناسب و نامناسب برای آبیاری کلاس بندی کرد. بر اساس نتایج از بین مدل های مختلف پیش بینی کیفیت آب زیرزمینی، مدل هیبرید در روش FCM با بیشترین R (۰/۹۹) و کمترین خطا، بیشترین دقت در پیش بینی کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده را دارد.

کلیدواژگان: شبکه عصبی- فازی تطبیق پذیر (ANFIS)، کیفیت آب، EC, SAR.

مقدمه

از آنجا که فقط ۰/۰۳ درصد از آب‌های شیرین کره زمین در دسترس بشر قرار دارد و از طرفی با افزایش جمعیت و توسعه شهرها استفاده از آب‌های زیرزمینی افزایش یافته است، بررسی کیفیت آنها یکی از چالش‌های مهم بحث‌شده در مناطق مختلف از جمله ایران است [۱-۳]. روش‌های مختلفی به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی وجود دارد که از جمله مهم‌ترین آنها شبکه عصبی، شبکه عصبی-فازی و روش فازی است. در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری روی موضوعات مختلف از جمله کیفیت آب‌های سطحی [۴ و ۵]، بررسی کیفی آب برای اهداف کشاورزی [۶ و ۷] و غیره با استفاده از منطق فازی انجام گرفته است. موهما توگلو و یاردیمیسی (۲۰۰۶) به بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی و ارائه شاخص آلودگی با استفاده از منطق فازی پرداخته‌اند [۸]. داهیا (۲۰۰۷) نیز کیفیت آب‌های زیرزمینی را بررسی کرد. در این مطالعه پارامتر سختی در کنار غلظت کلسیم و منیزیم استفاده شده است، در حالی که سختی بیان‌کننده غلظت کلسیم و منیزیم موجود در آب است [۹].

از دیگر روش‌های تخمین کیفیت آب، استفاده از مدل شبکه عصبی-فازی تطبیقی (ANFIS^۱) است. منطق فازی نظریه‌ای نسبتاً جدید ریاضی است که توسط دانشمند ایرانی تبار پروفیسور لطفی عسگرزاده مشهور به «زاده» ارائه شده است [۱۰]. شبکه عصبی مصنوعی نوعی ساختار ریاضی است که توانایی نشان دادن فرایندها و ترکیبات دلخواه غیرخطی برای ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های هر سیستمی را دارد. این شبکه با داده‌های موجود طی فرایند یادگیری آموزش دیده و برای پیش‌بینی در آینده استفاده می‌شود که دارای ویژگی‌های قابلیت یادگیری، قابلیت تعمیم و پردازش موازی است [۱۱]. جانگ در سال ۱۹۹۳ مدل شبکه عصبی-فازی تطبیقی را ارائه کرد که قابلیت ترکیب توانایی دو روش یادشده را داشت. مدل شبکه عصبی-فازی، یک مدل ترکیبی است که قابلیت خوبی در آموزش، ساخت و طبقه‌بندی دارد. همچنین دارای این مزیت است که اجازه استخراج قوانین فازی را از اطلاعات عددی یا دانش فرد خبره می‌دهد [۱۲]. شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از پارامترهای کیفیت آب رودخانه زاینده‌رود با استفاده از شبکه عصبی

مصنوعی توسط نوشادی و همکارانش در سال ۲۰۰۹ انجام شد [۱۳]. در این تحقیق، با توجه به اندازه‌گیری‌ها و پیش‌بینی‌های به‌دست‌آمده از شبکه عصبی، هدایت الکتریکی افزایش شایان توجهی را از خود نشان داده و این روند درباره میزان کل جامدات محلول نیز صادق است. درباره بی‌کربنات روند کلی مقادیر شبیه‌سازی‌شده تقریباً همانند سال‌های گذشته است و تغییرات عمده‌ای ندارد و با میانگین درازمدت برابر است. درباره کلراید روند افزایشی مقادیر شبیه‌سازی‌شده به‌خصوص در ایستگاه‌های بالادست وجود دارد و این روند در ایستگاه‌های پایین‌دست به میانگین درازمدت آنها شبیه است. پارامترهای آماری استفاده‌شده برای مقایسه داده‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده نشان می‌دهد پیش‌بینی‌های کیفیت آب توسط شبکه عصبی برای پارامترهای هدایت الکتریکی، کل جامدات محلول، اسیدیته و بی‌کربنات در حد خیلی خوب و برای کلراید در حد خوبی صورت گرفته است. اولیایی و همکارانش (۲۰۱۲) ارزیابی کارایی شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی شاخص‌های کیفی (BOD و DO) آب رودخانه دره مرادبیک همدان را بررسی کردند [۱۴]. در این مطالعه کارایی مدل شبکه‌های عصبی توسط معیارهای آماری ضریب همبستگی (R)، ریشه مربع میانگین خطا (RMSE) و میانگین قدرمطلق خطا (MAE) ارزیابی شد. نتایج این مطالعات نشان‌دهنده کارایی مناسب شبکه عصبی پرسپترون چندلایه به عنوان تکنیکی برتر برای شبیه‌سازی تغییرات شاخص‌های BOD و DO است [۱۵ و ۱۶]. کریمی و گلابی (۲۰۱۳) شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب را با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش فازی-عصبی و رگرسیون آماری برای رودخانه کارون در استان خوزستان بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شبکه‌های عصبی مصنوعی و فازی-عصبی تخمین مطلوب‌تری در شبیه‌سازی و برآورد SAR، TDS و EC دارد [۱۷].

شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) در سواحل استان مازندران توسط داوری و همکارانش در سال ۲۰۱۴ انجام شد [۱۸]. در این مطالعه عملکرد شبکه عصبی از طریق پارامترهایی چون جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و ضریب همبستگی بین خروجی‌های حقیقی و شبیه‌سازی‌شده (R) سنجیده شد. نتایج تحقیق نشان داد در بهترین ساختار شبکه، ضریب همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مقادیر واقعی ۰/۷۵

1. Adaptive network-based fuzzy inference system

(ANFIS) به منظور بررسی کیفیت آب زیرزمینی در یک دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳) در غرب استان فارس است.

مواد و روش‌ها

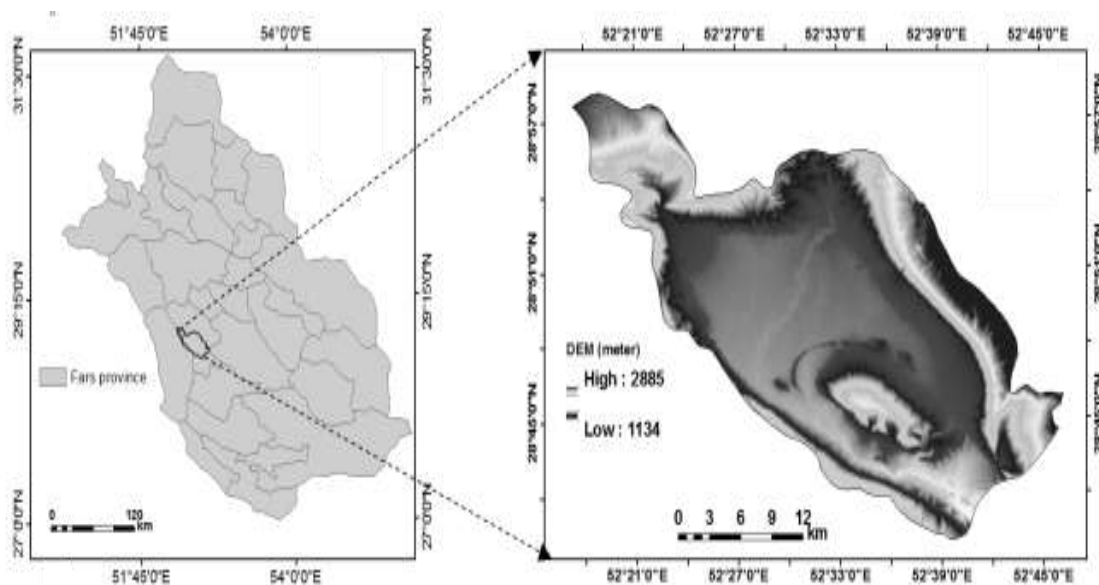
منطقه مطالعه شده

موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده در ۲۷ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و ۵۲ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه واقع شده است (شکل ۱). مساحت منطقه مطالعه شده ۷۲۲/۹۱ کیلومترمربع است. بیشترین و کمترین ارتفاع در منطقه مطالعه شده به ترتیب ۱۱۳۴ و ۲۸۸۵ متر است. حوضه آبخیز مطالعه شده از نظر کشاورزی، شهری، باغ‌ها و... اهمیت فراوانی دارد [۶ و ۱۱]. بنابراین، مطالعه کیفیت آب زیرزمینی در این منطقه بسیار مهم است که در این مطالعه بررسی شده است.

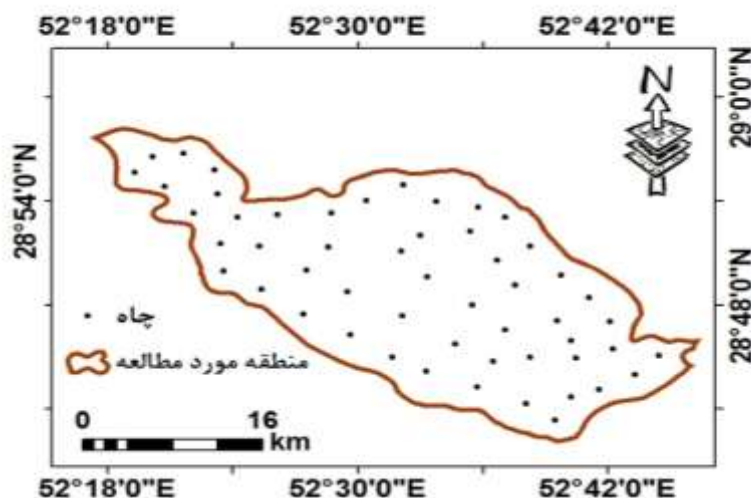
داده‌برداری

به منظور تعیین وضعیت آب منطقه مطالعه شده از نظر کشاورزی، پارامترهایی مانند هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم بررسی شد. بدین منظور از اطلاعات ۵۲ چاه استفاده شد که توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان فارس (<http://www.frrw.ir>) تهیه شده است. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، موقعیت چاه‌ها به صورت تصادفی بوده و در کل منطقه پراکنده است.

است. همچنین، عوامل شوری آب سطحی، قابلیت انتقال تشکیلات آبخوان (بافت و نوع تشکیلات) و فاصله از دریا، بهترین ورودی‌ها برای شبیه‌سازی شوری آب زیرزمینی و عوامل اصلی شوری آب زیرزمینی در سواحل استان مازندران هستند. پیش‌بینی کیفیت آب دشت نیشابور با استفاده از شبکه‌های MLP و سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی توسط اعلائی در سال ۲۰۱۵ انجام شد [۱۹]. در این مطالعه برای ارزیابی و پیش‌بینی میزان مواد جامد محلول (TDS) دشت نیشابور با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی از داده‌های کمی و کیفی دبی جریان، دما، کربنات، بی‌کربنات، و مقادیر یونی کلر، سولفات، کلسیم، منیزیم و سدیم بهره گرفته شده است. یکی از عوامل مهم توسعه در هر منطقه فراهم‌بودن منابع آب مناسب است [۲۰ و ۲۱]. بدین منظور علاوه بر کمیت، توجه به وضع کیفی آن نیز اهمیت زیادی دارد. همچنین با افزایش رشد جمعیت، تأمین آب شرب از منابع آب زیرزمینی اهمیت ویژه‌ای دارد. بدین منظور لازم دیده شد که وضعیت کیفی آب از طریق نمونه‌برداری از چاه‌ها در محیط GIS در غرب استان فارس بررسی و تجزیه و تحلیل شود. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر تمرکز اصلی بر روش‌های هوشمند مدل شبکه عصبی- فازی تطبیقی



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده (مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۳۰ متر)



شکل ۲. موقعیت مکانی چاه‌های منطقه مطالعه شده

جدول ۱. ویژگی‌های آماری هر یک از پارامترهای مؤثر در تعیین کیفیت آب کشاورزی طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳

پارامتر	EC (ds/m)	SAR (mg/l)
کمترین	۰/۳۹	۰
بیشترین	۱/۷۵	۰/۸
میانگین	۰/۷۱	۰/۱۷۵
انحراف معیار	۰/۱۵	۰/۲۲۶

که دانش فرد خبره یا موجود نیست یا به‌طور دقیق بیان نشده است، می‌توان از روش شبکه عصبی به‌منظور ایجاد توابع عضویت و قوانین سیستم مد نظر بهره جست. برای درک بیشتر چگونگی عملکرد این روش، به مثال ساده زیر توجه کنید که از دو قانون تشکیل شده است [۲۲].

قاعده ۱: اگر $(x \in A_1)$ و $(x \in B_1)$ آنگاه

$$f_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

قاعده ۲: اگر $(x \in A_2)$ و $(x \in B_2)$ آنگاه

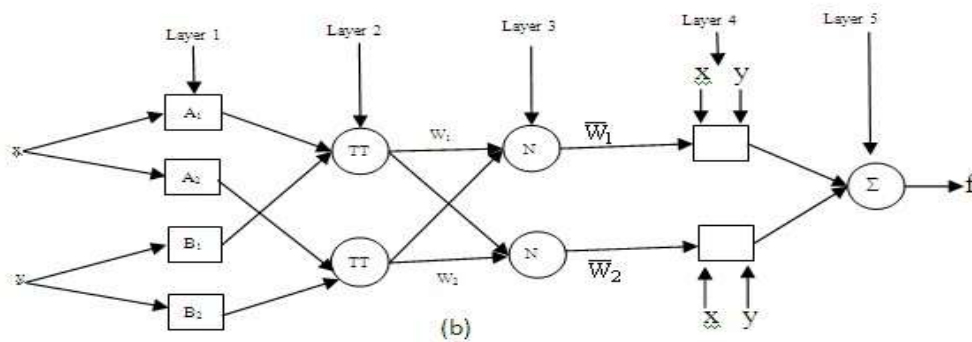
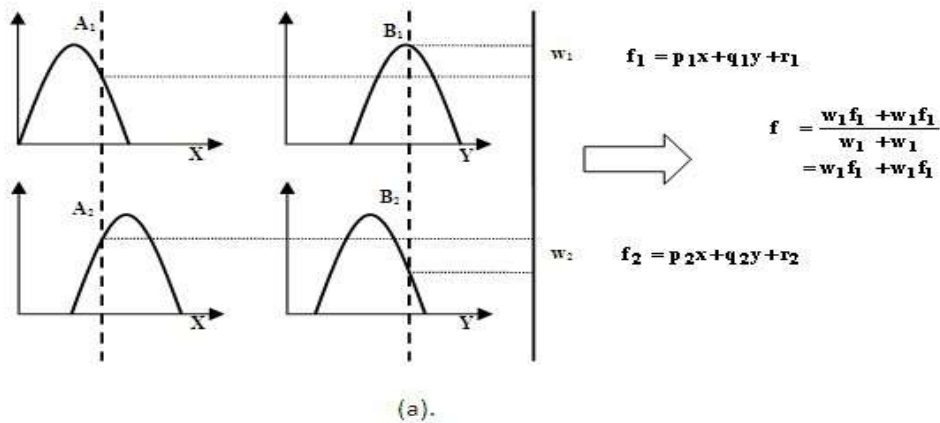
$$f_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

x و y ورودی مدل، A_1 و B_1 مجموعه‌های فازی، f_1 خروجی‌های مدل، p_1 ، q_1 و r_1 پارامترهای طراحی شبکه هستند. ساختار کلی این دو قاعده در شکل ۳ نشان داده شده است.

ویژگی هر یک از این پارامترها از نظر آماری در جدول ۱ آمده است. داده‌های استفاده‌شده در کلیه مدل‌ها به‌صورت ۷۰ درصد داده‌های آموزشی، ۲۰ درصد داده‌های صحت‌سنجی و ۱۰ درصد داده‌های آزمایشی (تست) هستند. تقسیم‌بندی داده‌ها نیز با سعی و خطا انجام شده است.

روش عصبی-فازی تطبیق‌پذیر (ANFIS)

روش عصبی-فازی تطبیق‌پذیر بر مبنای فازی سوگنو نوع اول (first-order Sugeno) است. از آنجا که سیستم فازی به‌عنوان یک مدل‌ساز، روشی بسیار کارآمد است، در سیستم‌های گوناگون به‌طور وسیعی استفاده می‌شود. در این روش در واقع ما دانش تجربی را به‌وسیله قوانین زبانی به یک نگاهت ریاضی تبدیل می‌کنیم؛ اما در سیستم‌هایی



شکل ۳. الف) استنتاج فازی؛ ب) ساختار ANFIS معادل برای آن [۳]

لایه ۴:

$$O_{\tau,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (۶)$$

لایه ۵: خروجی این لایه خروجی کلی سیستم است:

$$O_{\Delta,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (۷)$$

در شکل بالا، x و y ورودی‌های crisp و Ai و Bi توابع عضویت زبانی هستند. pi و qi پارامترهای خروجی سوگنو هستند. ساختار معادل برای شبکه ANFIS در شکل ۳ آمده است [۳].

روش ویلکاکس به منظور تعیین کیفیت آب

در این تحقیق، از آمار و اطلاعات کیفیت آب در غرب استان فارس در سال ۲۰۱۲ استفاده شد. به منظور تعیین کیفیت آب از روش ویلکاکس استفاده شد. برای طبقه بندی آب برای مصارف آبیاری و کشاورزی می توان بر اساس جدول ویلکاکس که متداول ترین روش برای تعیین کیفیت آب است، طبق جدول زیر استفاده کرد.

در لایه اول، همه گره‌ها از نوع تطبیقی‌اند. خروجی

لایه ۱، درجه عضویت ورودی‌ها هستند که به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$O_{\nu,i} = \mu A_i(x), \quad \text{for } i = 1, 2 \quad (۱)$$

$$O_{\nu,i} = \mu B_i(y), \quad \text{for } i = 3, 4 \quad (۲)$$

توابع عضویت هر تابع پارامتری مناسبی می‌تواند باشد که در بیشتر موارد توابع گاوسین انتخاب می‌شوند، مثل تابع زنگی شکل عمومی:

$$\mu A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (۳)$$

لایه ۲: خروجی این لایه ضرب سیگنال‌های ورودی است که در واقع معادل قسمت اگر قوانین هستند.

$$O_{\tau,i} = w_i = \mu A_i(x) \mu B_i(y), \quad i = 1, 2 \quad (۴)$$

لایه ۳: خروجی این لایه نرمالیزه شده لایه قبلی است:

$$O_{\tau,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad i = 1, 2 \quad (۵)$$

جدول ۲. ویژگی جدول ویلکاکس

طبقه‌بندی	حدود SAR	طبقه‌بندی	حدود EC
عالی (S1)	۱۰ - ۰	عالی (C1)	۲۵ - ۰
خوب (S2)	۱۸ - ۱۰	خوب (C2)	۷۵۰ - ۲۵۰
متوسط (S3)	۲۶ - ۱۸	متوسط (C3)	۲۲۵۰ - ۷۵۰
نامناسب (S4)	۳۲ - ۲۶	نامناسب (C4)	۵۰۰۰ - ۲۲۵۰

مدل در پیش‌بینی کیفیت آب از مقادیر R و MSE و RMSE استفاده شد. همچنین با در نظر گرفتن هدایت الکتریکی به‌عنوان ورودی یک و نسبت جذب سدیم به‌عنوان ورودی دوم، کیفیت آب به‌عنوان خروجی مدل در حالت سه‌بعدی در شکل ۴ نشان داده شده است.

با مبنای شکل ۴ مدل پس‌انتشار خطا برای پنج کلاس، خطای کمتری نسبت به مدل هیبرید در آموزش و تست داده‌ها برای پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی دارد. حال با افزایش تعداد کلاس‌ها به ۱۰ عدد اقدام به شبیه‌سازی کیفیت آب منطقه مطالعه شده شد. تعداد قوانین به‌دست‌آمده در این مدل ۱۰۰ بود، همچنین بر مبنای شکل ۵ مدل پس‌انتشار خطا برای ۱۰ کلاس، خطای کمتری نسبت به مدل هیبرید در آموزش و تست داده‌ها برای پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی دارد.

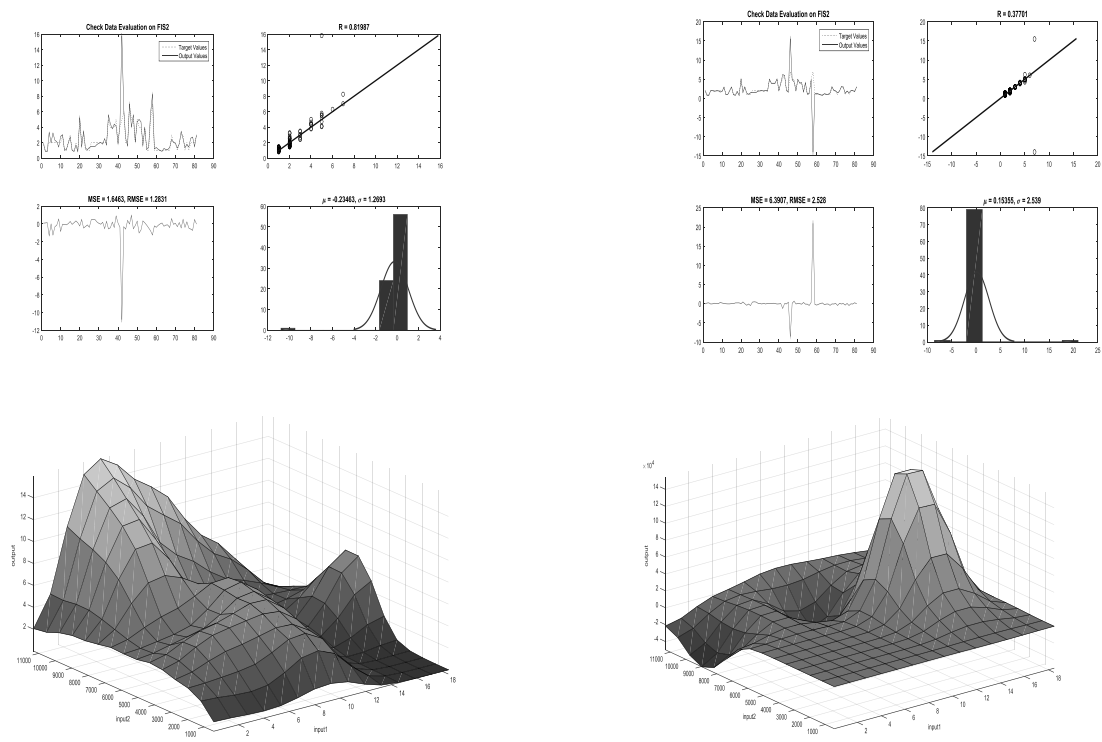
مدل‌سازی کیفیت آب منطقه مطالعه شده با استفاده از روش Subtractive در مدل ANFIS در شکل ۶ نشان داده شده است. در این روش نیز از دو حالت هیبرید و پس‌انتشار خطا استفاده شد. برای هر یک از حالت‌ها ابتدا به‌طور فرضی از شعاع ۰/۰۱ استفاده شد، تعداد قانون‌های این مدل ۶۰ عدد به‌دست آمد. بر مبنای شکل ۶ مدل هیبرید برای شعاع ۰/۰۱، خطای کمتری نسبت به مدل پس‌انتشار خطا در آموزش و تست داده‌ها برای پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی دارد. برای مشاهده کارایی بیشتر این حالت شعاع به عدد ۰/۳ افزایش داده شد. تعداد قوانین این مدل در این حالت برابر ۳ شد (شکل ۷). در این روش نیز از دو حالت هیبرید و پس‌انتشار خطا استفاده شد.

با توجه به داده‌های موجود در منطقه می‌توان ۱۵ نوع کلاس کیفیت آب در نظر گرفت که ویژگی هر یک از کلاس‌ها در زیر آمده است:

- کلاس و طبقه C₁S₁: آب‌های خیلی خوب
- کلاس‌ها و طبقه‌های C₂S₁، C₂S₂، C₁S₂: آب‌های خوب
- کلاس‌ها و طبقه‌های C₃S₁، C₂S₃، C₁S₃، C₃S₂: آب‌های متوسط
- کلاس‌ها و طبقه‌های C₄S₁، C₄S₂، C₄S₃، C₃S₄، C₂S₄، C₁S₄، C₄S₄: آب‌های نامناسب برای زراعت
- به‌طور کلی، هرچه مقدار اندیس‌های حرف S و C بزرگ‌تر می‌شود به این معناست که شوری آب بیشتر و برای زراعت نامناسب‌تر می‌شود. در طبقه‌بندی یادشده S نماینده نسبت جذب سدیم (SAR) و C نماینده مقدار قابلیت هدایت الکتریکی (EC) آب است.

نتایج و بحث

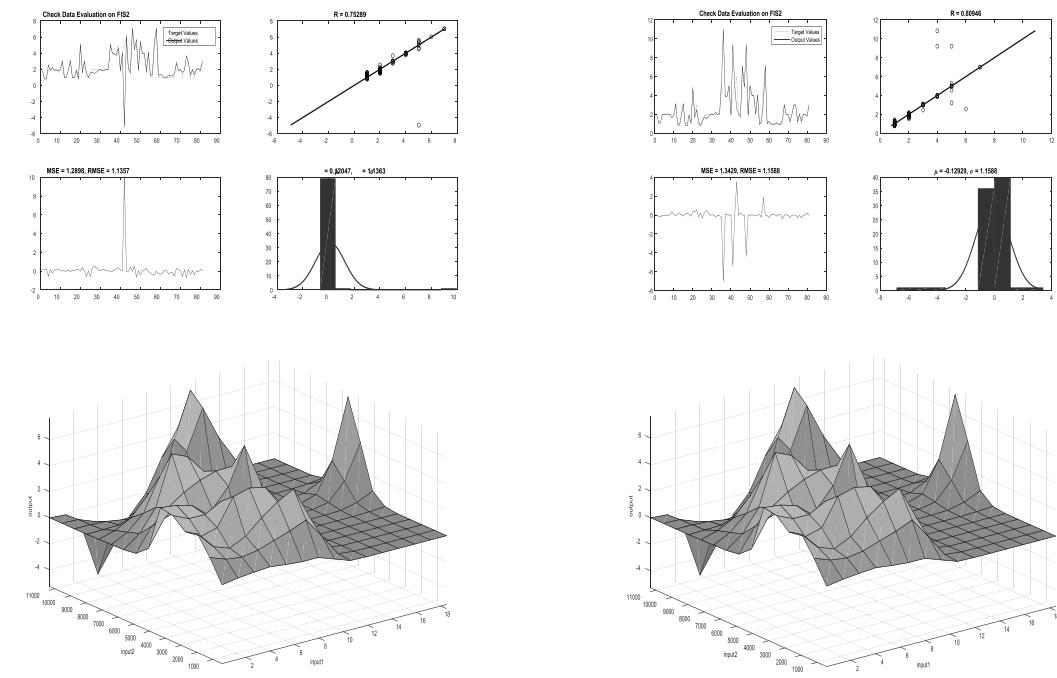
برای پیش‌بینی کیفیت آب با استفاده از روش ANFIS از مدل‌های Grid partitioning، Sub Clustering و FCM در محیط متلب استفاده شد. برای هر یک از مدل‌ها از دو حالت هیبرید و پس‌انتشار خطا استفاده شد. در ادامه، نتایج هر یک از مدل‌ها آمده است. مدل‌سازی کیفیت آب منطقه مطالعه شده با استفاده از روش grid partitioning در مدل ANFIS در شکل ۴ نشان داده شده است. در این روش از دو حالت هیبرید و پس‌انتشار خطا استفاده شد. برای هر یک از حالت‌ها ابتدا به‌طور فرضی پنج کلاس را برای پیش‌بینی کیفیت آب در این مدل بررسی کردیم. تعداد قوانین به‌دست‌آمده در این روش ۲۵ قانون بود. برای تعیین دقت



پس انتشار خطا

هیبرید

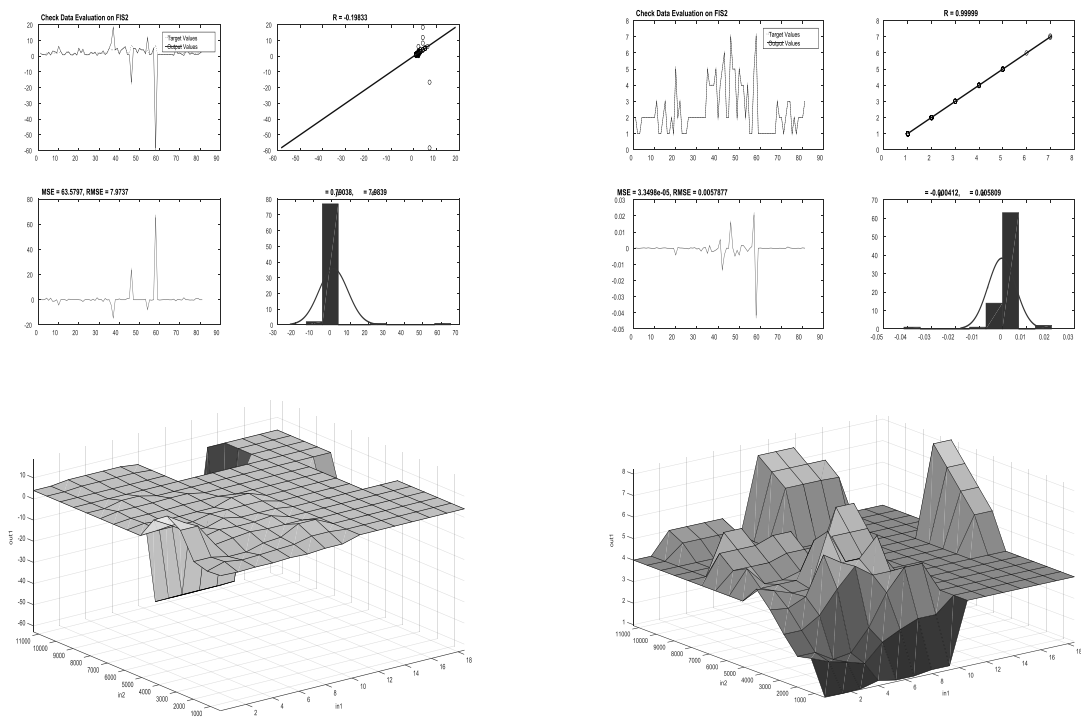
شکل ۴. نتایج روش grid partitioning در مدل ANFIS برای پنج کلاس



پس انتشار خطا

هیبرید

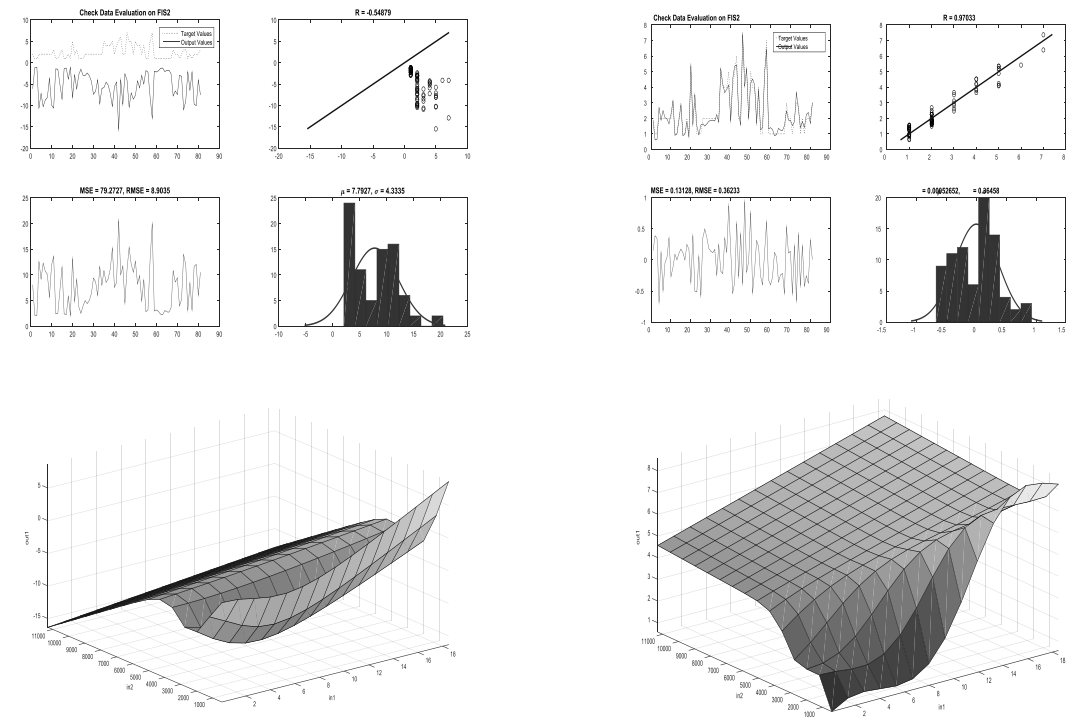
شکل ۵. نتایج روش grid partitioning در مدل ANFIS برای ۱۰ کلاس



پس انتشار خطا

هیبرید

شکل ۶. نتایج روش Subtractive در مدل ANFIS برای شعاع ۰/۱



پس انتشار خطا

هیبرید

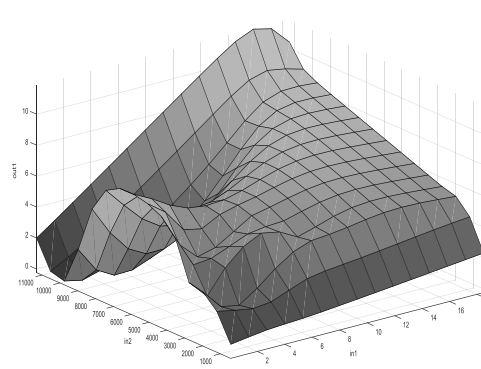
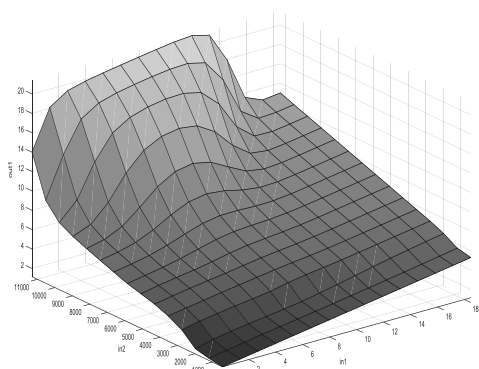
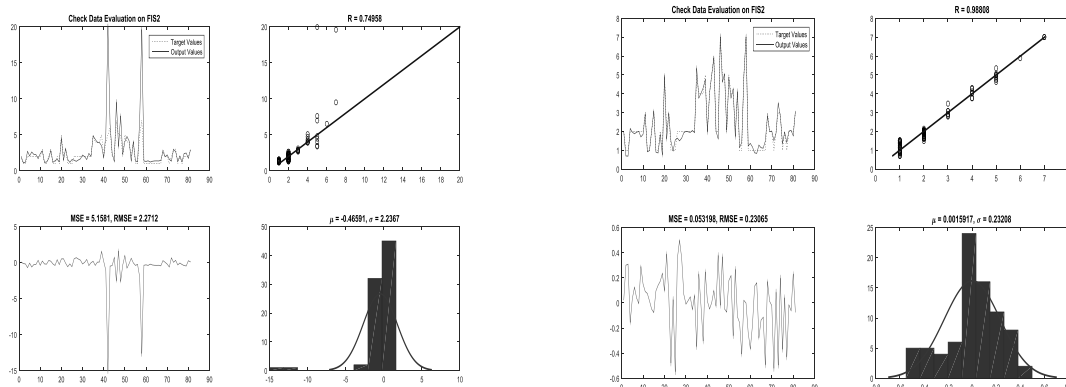
شکل ۷. نتایج روش Subtractive در مدل ANFIS برای شعاع ۰/۳

آموزش و تست داده‌ها برای پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی دارد. همان گونه که مشاهده می‌شود در حالت هیبرید کارایی این روش نیز مناسب است. مدل سازی بر مبنای ۱۰ کلاس دارای ۱۰ عدد قانون بود. در این روش از دو حالت هیبرید و پس انتشار خطا استفاده شد. مدل سازی کیفیت آب منطقه مطالعه شده در این حالت در شکل ۹ نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۹ در روش FCM مدل هیبرید برای ۱۰ کلاس، خطای کمتری نسبت به مدل پس انتشار خطا در آموزش و تست داده‌ها برای پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی دارد. نتایج کلی سه مدل با حالت‌های مختلف در جدول ۳ آمده است. با توجه به نتایج مشخص می‌شود که از بین مدل‌های مختلف پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی، مدل هیبرید در روش FCM با بیشترین R (۰/۹۹) و کمترین خطا، بیشترین دقت را دارد.

بر مبنای شکل ۷ مدل هیبرید برای شعاع ۰/۳ خطای کمتری نسبت به مدل پس انتشار خطا در آموزش و تست داده‌ها برای پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی دارد. در کل، با کاهش شعاع و کاهش قوانین، میزان خطا در روش Subtractive کاهش می‌یابد. در نهایت، از روش FCM برای مدل سازی منطقه مطالعه شده استفاده شد. در این روش نیز از دو حالت هیبرید و پس انتشار خطا استفاده شد. برای هر یک از حالت‌ها ابتدا به طور فرضی پنج کلاس برای پیش‌بینی کیفیت آب در این مدل استفاده شد. برای تعیین دقت مدل در پیش‌بینی کیفیت آب از مقادیر R و MSE و RMSE استفاده شد. همچنین با در نظر گرفتن هدایت الکتریکی به عنوان ورودی یک و نسبت جذب سدیم به عنوان ورودی دوم، کیفیت آب به عنوان خروجی مدل در حالت سه بعدی در شکل ۸ نشان داده شد.

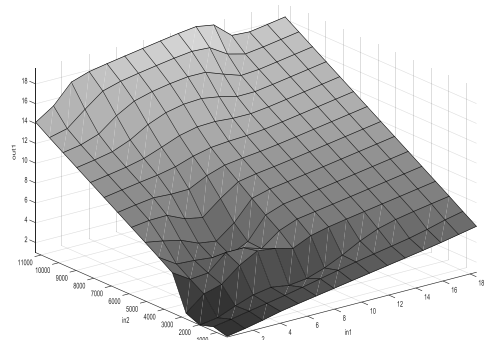
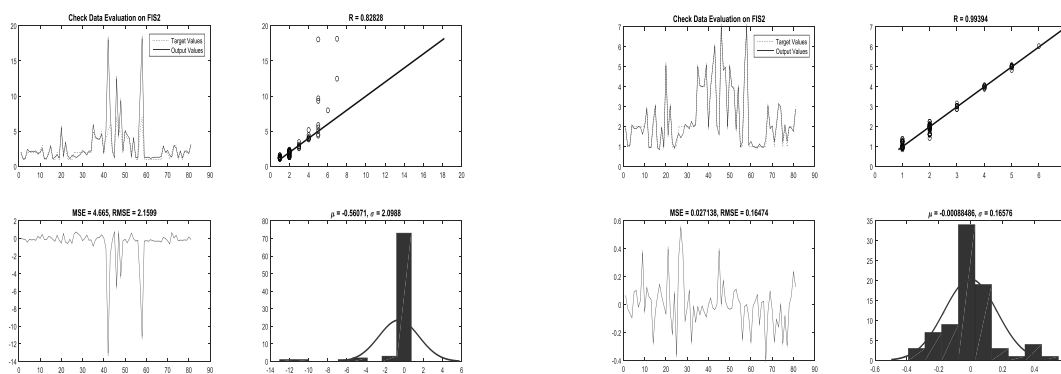
با توجه به شکل ۸، در روش FCM، مدل هیبرید برای ۵ کلاس، خطای کمتری نسبت به مدل پس انتشار خطا در



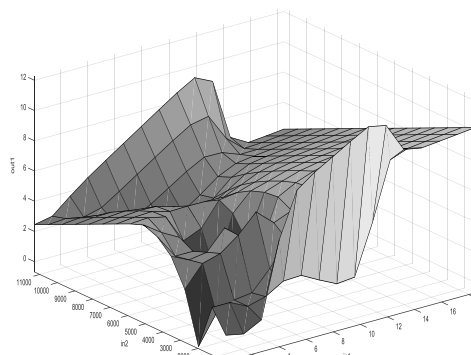
پس انتشار خطا

هیبرید

شکل ۸. نتایج روش FCM در مدل ANFIS برای پنج کلاس



پس انتشار خطا

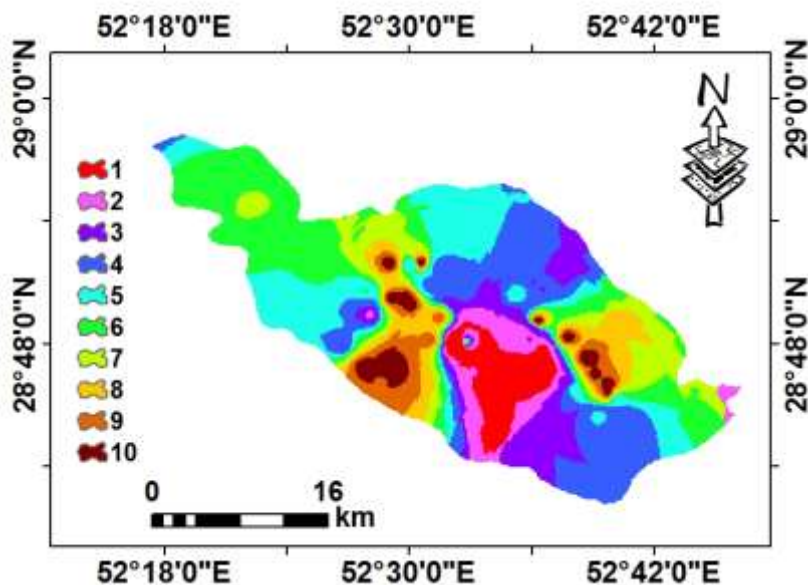


هیبرید

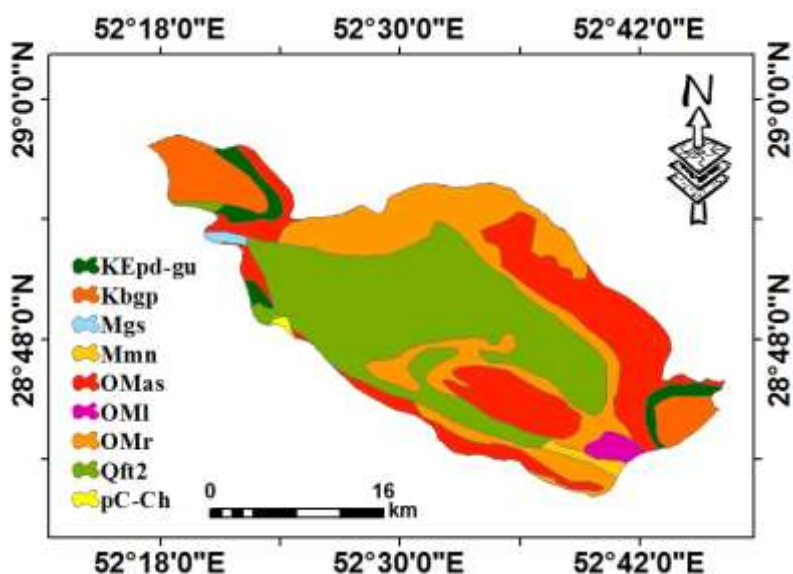
شکل ۹. نتایج روش FCM در مدل ANFIS برای ۱۰ کلاس

جدول ۳. نتایج سه مدل برای پیش‌بینی کیفیت آب

میزان خطای آموزش			میزان خطای آزمون (تست)			مدل	حالت‌های مختلف	روش‌های بهینه‌سازی
MSE	RMSE	R	MSE	RMSE	R			
۱/۶۳	۱/۲۷	۰/۸۱	۱/۶۴	۱/۲۸	۰/۸۱	پس‌انتشار خطا	۵	Grid
۶/۳۱	۲/۵۱	۰/۳۷	۶/۳۹	۲/۵۲	۰/۳۷	هیبرید		
۱/۲۷	۱/۱۲	۰/۷۵	۱/۲۸	۱/۱۳	۰/۷۵	پس‌انتشار خطا		
۱/۳۲	۱/۱۵	۰/۸	۱/۳۴	۱/۱۵	۰/۸	هیبرید	۱۰	Subtractive
۷۹/۲۱	۸/۷	۰/۵۴	۷۹/۲۷	۸/۹	-۰/۵۴	پس‌انتشار خطا		
۰/۱۲	۰/۳۶	۰/۹۷	۰/۱۳	۰/۳۶	۰/۹۷	هیبرید		
۶۲/۸	۷/۹۲	-۰/۱۹	۶۳/۵۷	۷/۹۷	-۰/۱۹	پس‌انتشار خطا	۰/۳	FCM
۰	۰/۰۰۶	۰/۹۹	۰	۰/۰۰۶	۰/۹۹	هیبرید		
۵/۰۹	۲/۲۵	۰/۷۴	۵/۱۵	۲/۲۷	۰/۷۴	پس‌انتشار خطا		
۰/۰۵	۰/۲۲	۰/۹۸	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۹۸	هیبرید	۵	FCM
۴/۶۱	۲/۱۴	۰/۸۲	۴/۶۶	۲/۱۵	۰/۸۲	پس‌انتشار خطا		
۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۹۹	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۹۹	هیبرید		



شکل ۱۰. نقشه پهنه بندی کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مطالعه شده



شکل ۱۱. نقشه سازندهای منطقه مطالعه شده

کیفیت کمتر در سازندهای OMAs (سنگ آهک با شیل) واقع شده است. همچنین مناطق با کیفیت آب زیاد در سازندهای Off2 (رسوبات مخروط افکنه و مارن) واقع شده است. مطالعات متعددی در زمینه ارتباط بین کیفیت آب زیرزمینی و سازندها انجام شده است. قندی و اصغری مقدم (۱۳۸۴) ارتباط بین سازندها و کیفیت آب زیرزمینی در حوضه تسوج را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد سازندها و

در نهایت، با توجه به داده های جدول ۱، و در نظر گرفتن ۱۰ کلاس در روش FCM نقشه کیفیت آب زیرزمینی منطقه مطالعه شده تهیه شد که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همچنین به منظور بررسی ارتباط بین کیفیت آب زیرزمینی و سازندهای منطقه مطالعه شده، نقشه سازندهای منطقه تهیه شد که در شکل ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۱ مشخص می شود که مناطق با

به منظور تعیین و بهبود کیفیت آب است. در نهایت، پیشنهاد می‌شود که از نتایج این مدل برای تعیین کیفیت آب در مناطق دیگر به منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه استفاده شود.

منابع

- [1]. Ebn al-Balkr G. Le Strange as Description of the Province of Fars. 1912. London.
- [2]. Kurepazan A. The principles of fuzzy set theory and its applications. Publications Amir Kabir University Jihad. 2004.
- [3]. Minhaj MB. Fundamentals of artificial neural networks." Amirkabir University Press. 2005.
- [4]. Sowlat MH. A novel, fuzzy-based air quality index (FAQI) for air quality assessment. Atmospheric Environment. 2011; (45): 2050-2059.
- [5]. Lermontov A. River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. Ecological Indicators. 2009; (9): 1188-1197.
- [6]. Ocampo-Duque W. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study. Environment International. 2006; (32): 733-742.
- [7]. Alireza V. Cropping Pattern Optimization by Using of TOPSIS and Genetic Algorithm Based on the Capabilities of GIS. Eco hydrology journal. 2016; 3(1): 69-82.
- [8]. Mirabbasi R, Mazlounzadeh SM, Rahnama MB. Evaluation of irrigation water using fuzzy logic. Research Journal of Environmental Sciences. 2008; (2): 340-353.
- [9]. Muhammetoglu A, Yardimci A. A Fuzzy Logic Approach to Assess Groundwater Pollution Levels below Agricultural Fields. Environmental Monitoring and Assessment. 2006; 118:337-354.
- [10]. Dahiya S. Analysis of groundwater quality using fuzzy synthetic evaluation. Journal of Hazardous Materials. 2007; (147): 938-946.
- [11]. Sharifi-Rad J, Hoseini-Alfatemi M, Sharifi-Rad M, William NS. Chemical composition, antifungal and antibacterial Activities of essential oil from lallemantia Royleana (benth. In wall.) Benth. Journal of Food Safety. 2015; (35): 19-25.
- [12]. Nowshadi M, Salmayh R, Ahmadzada M. Simulation and forecasting of water quality parameters of Zayandehrood using artificial neural network. Journal of Water and Wastewater. 2009; 18(4): 49-65.

ساختارهای زمین‌شناسی در شمال و شمال شرقی منطقه و نیز در قسمت‌های غربی دشت بسیار مؤثر عمل کردند، در حالی که در جبهه ورودی آب زیرزمینی در قسمت‌های شرقی، شیب هیدرولیکی و ساختمان زمین‌شناسی و در مناطق مرکزی آب برگشتی کشاورزی از عوامل مؤثر غالب در کیفیت آب زیرزمینی بودند [۲۲]. همچنین نتایج پژوهش بهاروند و همکارانش (۱۳۸۶) نشان داد آب سرچشمه گرفته از آهک‌های جنوب شرقی منطقه زاگرس چین‌خورده به علت وجود پوشش سازند گچی، قابلیت شرب خود را از دست داده بود، ولی آب سرچشمه گرفته از آهک‌های شمال غربی به علت پوشش مارنی و ماسه‌سنگی از وضعیت بهتری برخوردار بود و قابلیت شرب داشت و جزء آب‌های قابل قبول محسوب می‌شد [۲۳].

نتیجه‌گیری

با توجه به تحقیقات مختلف انجام‌شده در زمینه کیفیت آب با استفاده از شبکه‌های عصبی معلوم می‌شود که استفاده از این تکنیک در بررسی ساختارهای مختلف طبیعت مفید است به طوری که مطالعات تالوهای و طباطبایی در سال ۲۰۱۴ نیز نشان داد نتایج مدل ANFIS به منظور پیش‌بینی کیفیت آب دقت زیادی دارد [۲۴]. با انتخاب نوع و تعداد عوامل مؤثر در ورودی‌های مدل و استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان از این تکنیک به عنوان ابزاری مفید و کارا برای تخمین کیفیت آب استفاده کرد. نتایج مطالعات نجاح و همکارانش (۲۰۱۲) و علوی و همکارانش (۲۰۱۰) نشان داد استفاده از حالت هیبرید در روش ANFIS دقت زیادی در تعیین میزان کیفیت آب آبیاری دارد [۲۵ و ۲۶]. بنابراین، با به کارگیری شبکه‌های عصبی می‌توان کیفیت آب زیرزمینی را در مکان‌هایی که آمار کافی ندارند نیز پیش‌بینی کرد. با استفاده از نوع مناسب مدل‌های شبکه‌های عصبی و کالیبره کردن مناسب آنها می‌توان این روش را به عنوان روشی کارا برای پیش‌بینی کیفیت آب در نظر گرفت. بنابراین، با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان به جای استفاده از هزینه و زمان زیاد برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی از مدل هیبرید در روش FCM با بیشترین R (۰/۹۹)، کمترین خطا و کمترین قوانین (حد اقل پیچیدگی) برای تخمین کیفیت آب منطقه مطالعه شده استفاده کرد. مطالعات انجام‌شده در این تحقیق به عنوان گامی مؤثر در به کارگیری تصمیمات مدیریتی

- [13]. Oliaei A, Banzhad H, Samadi MT, Rahmani A, Saghi MH. Evaluation of artificial neural network performance in predicting indicators of quality (BOD and DO) in Moradbeik River, Hamedan. *Water and soil science (agricultural knowledge)*. 2012; 20(1): 199 - 210.
- [14]. Keshavarz A, Khashei Siooki A, Najafi MH. Locating appropriate water extraction using fuzzy hierarchical analysis (Case study: Birjand aquifer). *Journal of Water and Wastewater*. 2015: 142-135.
- [15]. Raii R, Fallahpour S. The use of support vector machine to predict corporate financial distress using financial ratio. *Accounting and Auditing review*. 2010; 15(53): 21-32.
- [16]. Karami B, Golabi M. Simulate and predict water quality parameters using artificial neural networks, fuzzy neural and statistical regression (Case study: Karun river, Khuzestan province)." *The ninth international seminar river. Ahvaz martyr Chamran University*. 2013.
- [17]. Darvari Z, Gholami V, Derakhshan S. Simulated groundwater salinity using artificial neural network (ANN) in coast of the Mazandaran province. *Journal of Water and Irrigation*. 2014; 36(2): 61-70.
- [18]. Alaii M, Zanguy M, Zanguy H. Prediction of water quality using neural networks MLP and adaptive fuzzy inference system (ANFIS) in Neyshabur plain. *The National Conference of Environmental Science and Engineering*. 2015. Ahvaz.
- [19]. Bisht DCS, Jangid A. Discharge modeling using adaptive neuro-fuzzy inference system. *International Journal of advances science and technology*. 2011; (31): 99-114.
- [20]. Mohammad NT, Seyed Reza H, Farshad A, Zahra NT. Evaluation the Accuracy of ANFIS, SVM and GP Models to Modeling the River Flow Discharge. *Eco hydrology journal*. 2016; 3(3): 347-361.
- [21]. Afshin H, Mahdi P, Maryam Z, Moslem H. Land Use Optimization Using Combination of Fuzzy Linear Programming and Multi Objective Land Allocation Methods (Case Study: ChelgerdWatershed). *Eco hydrology journal*. 2016; 3(3): 363-377.
- [22]. Ghandi A, Asghari Moghadam A. Evaluation of effective parameters in underground water quality (Tasouj Plain), 9th conference of geology, Tarbiyat Moaalem University, Iran. 2005.
- [23]. Baharvand S, Ahmadi Khalaji A, Adib A, Uosefi Rad M. Role of different formation of geology in underground water quality (North of Khoram Abad), 3th conference of geology and environment, Eslamshahr, Azad university. 2006.
- [24]. Taalohi M, Tabatabaee H. Predicting bar dam water quality using neural-fuzzy inference system. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*. 2014; 2231- 6345.
- [25]. Najah AA, Shafie AEK, Othman AJO. Water quality prediction model utilizing integrated wavelet-ANFIS model with cross-validation. *Eural Computing and Applications*. 2012; 21(5):1-9.
- [26]. Alavi N, Nozari, V, Mazlounzadeh S, Nezamabadi-pour H. Irrigation water quality evaluation using adaptive network-based fuzzy inference system. *Paddy & Water Environment*. 2010; 8(3): 259-264.