



## تخمین هدایت هیدرولیکی آبخوان باروق با استفاده از مدل‌های فازی ساگنو و ممدانی

اسفندیار عباس نوین پور<sup>۱\*</sup>، یاسر باقری<sup>۲</sup>، عطاالله ندیری<sup>۳</sup>، کیوان نادری<sup>۴</sup>

۱- استادیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

۲- کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۴- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

\* نویسنده مسئول: e.abbasnovinpour@urmia.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۰۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳

### چکیده

سامانه آب زیرزمینی یک سامانه پیچیده است و برآورد متغیرهای هیدروژئولوژیکی که معمولاً با روش‌های کلاسیک مانند روش‌های آزمایشگاهی، اسلاگ تست، آزمایش ردیابی و آزمون‌های پمپاژ انجام می‌گیرد؛ با عدم قطعیت ذاتی همراه بوده و پر هزینه و وقت گیر است. بنابراین، استفاده از روش‌های هوش مصنوعی برای برآورد هدایت هیدرولیکی، می‌تواند از عدم قطعیت این متغیر کم کند و تا حدودی بر دقت آن می‌افزاید تا بتواند بر نواقص موجود در روش‌های کلاسیک چیره شود. در این میان مدیریت بهینه این تقاضا و جلوگیری از تخریب آبخوان‌ها و منابع آب زیرزمینی مستلزم شناخت دقیق پارامترهای هیدرودینامیکی می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های فازی ساگنو (SFL) و ممدانی (MFL) به تخمین هدایت هیدرولیکی آبخوان باروق پرداخته می‌شود. در همین راستا از داده‌های هدایت الکتریکی (EC)، ضخامت زون اشباع (B) و مقاومت عرضی آبخوان (RT) به عنوان داده‌های ورودی مدل استفاده شده است. در نهایت به منظور به دست آوردن ایده‌آل‌ترین مدل مقدار مجذور میانگین مربعات خطا و  $R^2$  برای هر دو مدل محاسبه و دو مدل با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان که مدل فازی ساگنو به ترتیب با ضریب همبستگی  $R^2=0.94$  و مجذور مربعات خطا  $RMSE=0.045$  در مرحله آموزش عملکرد بهتری را نسبت به مدل ممدانی برای تخمین هدایت هیدرولیکی دارد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان باروق، فازی ساگنو (SFM)، فازی ممدانی (MFL)، هدایت هیدرولیکی.

### مقدمه

کمک شایانی به تصمیم‌گیری در برداشت بهینه و پایدار از منابع آب زیرزمینی در درازمدت داشته باشد (محتشم و همکاران، ۱۳۸۹). مطالعات سیستم هیدروژئولوژیکی به منظور شناخت رفتار آن، نیازمند حفر تعداد زیادی چاه اکتشافی، انجام آزمایش‌های پمپاژ، ژئوفیزیک و انجام یکسری تحقیقات طولانی مدت می‌باشد، که با صرف هزینه‌های فراوان عملی می‌گردد. به همین دلیل امروزه شبیه‌سازی سیستم جریان آب زیرزمینی توسط مدل‌های ریاضی و کامپیوتری که یک روش غیرمستقیم

آبخوان باروق در شرق محدوده مطالعاتی میاندوآب یکی از حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه واقع شده است. این دشت در سال‌های اخیر به علت افزایش استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی و متعاقباً کاهش نزولات جوی، با افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. با توجه به اهمیت منابع آب زیرزمینی در تأمین آب شرب، صنعت و کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مطالعات در این زمینه می‌تواند

مدل‌ها دارای دقت بیشتری برای محاسبه هدایت هیدرولیکی هستند. از دیگر تحقیقاتی که در این زمینه با استفاده از منطق فازی انجام پذیرفته می‌توان به آیواز و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که از مدل فازی برای برآورد پارامترهای آبخوان با تغییرات سطح آب زیرزمینی استفاده کرد. همچنین روز و همکاران (۲۰۰۷) از مدل فازی برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی بهره جستند اشاره کرد، آن‌ها برای ساخت مدل فازی، از داده‌های دانه‌بندی به عنوان ورودی مدل استفاده نموده و هدایت هیدرولیکی را با دقت بالایی تخمین زدند. با توجه به اینکه آبخوان باروق جزو دشت‌های ممنوعه می‌باشد، برداشت از آب‌های زیرزمینی و عدم شناخت پارامترهای هیدرولوژیکی همچون هدایت هیدرولیکی، مشکلات جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت. به همین دلیل بررسی پارامترهای آبخوان و برنامه ریزی صحیح در جهت مدیریت این دشت از الزامات مهم در جهت جلوگیری از افت سطح آب، تخریب و نشت دشت می‌باشد. هدف از این تحقیق ارزیابی و تخمین هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت باروق با استفاده از مدل‌های فازی ساجنو و ممدانی و مقایسه این مدل‌ها به منظور دستیابی به بهینه‌ترین مدل برای مدل‌سازی آبخوان آن می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

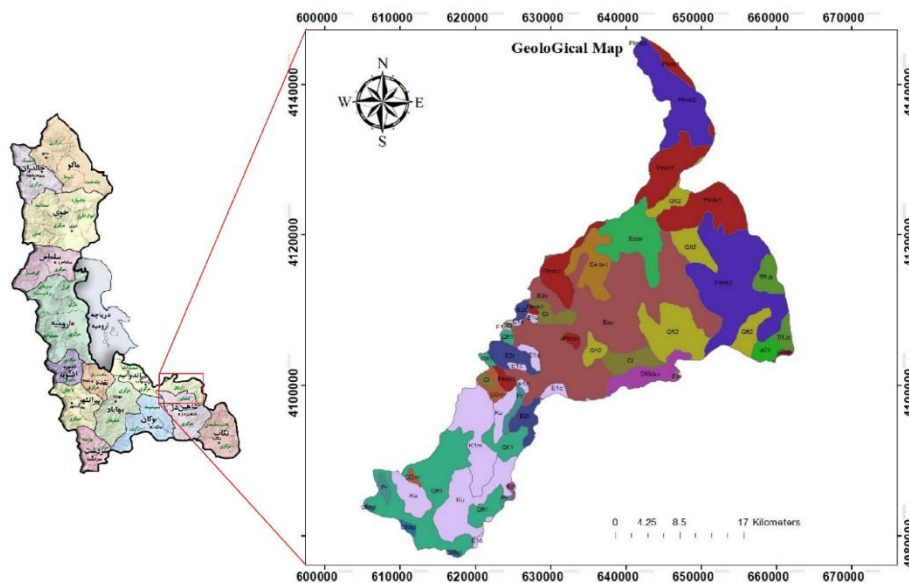
دشت باروق با وسعت حدود ۵۰ کیلومترمربع، به فاصله ۲۰ کیلومتری در شرق محدوده مطالعاتی میان‌دوآب قرار گرفته است و یکی از ۲۵ محدوده مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه ارومیه است که در قسمت جنوب دریاچه ارومیه واقع شده است. موقعیت بسیار مطلوب جغرافیائی این دشت باعث رشد خوب کشاورزی گردیده و موجب ترقی صنعتی منطقه میان‌دوآب شده است. از نظر زمین‌شناسی و چینه‌شناسی در این ناحیه رخنمون سنگ‌های مربوط به سازندهای گوناگون از پرکامبرین تا عهد حاضر به

مطالعه آب زیرزمینی می‌باشد مقرون به صرفه‌تر است (نورانی و صالحی، ۱۳۸۷). با توجه به توانایی ذاتی هر یک از مدل‌های هوش مصنوعی در پیش‌بینی و تخمین پارامترهای هیدروژئولوژیکی، ناهمگنی محیط‌های مطالعاتی از دقت و کارایی بالای این مدل‌ها می‌کاهد. بدین منظور می‌توان با ترکیب دسته‌بندی‌های مختلف با مدل‌های هوش مصنوعی (AI) از مشکل ناهمگنی این محیط‌ها کاست. از روش‌های دسته‌بندی که در این نوع از ترکیب‌ها استفاده شده است می‌توان به روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی (HCA) اشاره کرد، که در ترکیب با مدل‌های فازی، نروفازی و ژنتیک می‌باشد و از مشکل ناهمگنی آبخوان کاسته و نتایج مدل را تقویت و بهبود بخشیده است (حبیبی، ۱۳۹۳؛ نوروزی و همکاران، ۱۳۹۵؛ نادری، ۱۳۹۳؛ ودیعی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). مزیت روش‌های دسته‌بندی هوش مصنوعی نسبت به روش‌های آماری که نیاز به داده‌های زیاد و حالت خطی دارند، سازگار بودن این روش‌ها با سیستم‌های پیچیده آبخوان چندگانه و حالت غیرخطی آن‌ها می‌باشد. از جمله این مدل‌های دسته‌بندی می‌توان به نقشه خود سازمانده (SOM) اشاره کرد. الگوریتم نقشه خود سازمانده (SOM) نوعی شبکه عصبی است که از روش یادگیری رقابتی برای آموزش استفاده می‌کند. از جمله روش‌های هوشمند در این زمینه کاربردهای منطق فازی در تخمین هدایت هیدرولیکی در پژوهش روزو و همکاران (۲۰۰۷) اشاره نمود، که از داده‌های دانه‌بندی برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی استفاده شده بود اشاره کرد و همچنین ندیری و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل‌های فازی ممدانی، ساجنو و لارسن برای تخمین قابلیت انتقال آبخوان در دشت مراغه بناب استفاده کرده و مدل ترکیبی SCFM<sup>۱</sup> را پیشنهاد کردند. نتایج این تحقیق، کارایی بالای این مدل‌ها را در تخمین قابلیت انتقال نشان داد. همچنین ندیری و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از مدل SICM<sup>۲</sup> هدایت هیدرولیکی را در دشت تسوج تخمین زدند و به این نتیجه رسیدند که این

<sup>2</sup> Supervised Intelligence Committee Machine

<sup>1</sup> Supervised Committee Fuzzy Machine

استثنای دوره‌های سیلورین تا کربونیفر با رخساره‌های رسوبی دریایی و قاره‌ای، آذرین و دگرگونی گسترش دارند. شکل‌گیری ساختارهای زمین‌شناسی ناحیه احتمالاً بر اثر رخدادهای زمین-ساختی آسینتیک (که سنگ‌های پرکامبرین را دگرگون کرده است) و رخداد آلیپی (که موجب نفوذ توده‌های آذرین شده است) می‌باشد. روند کلی این ساختارها شمال‌غربی- جنوب‌شرقی بوده و طرح ساختاری گروه‌های سنگی مختلف با یکدیگر تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. امتداد عمده گسل‌های منطقه شمال-غربی- جنوب‌شرقی است. شکل ۱ موقعیت و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



## Geology

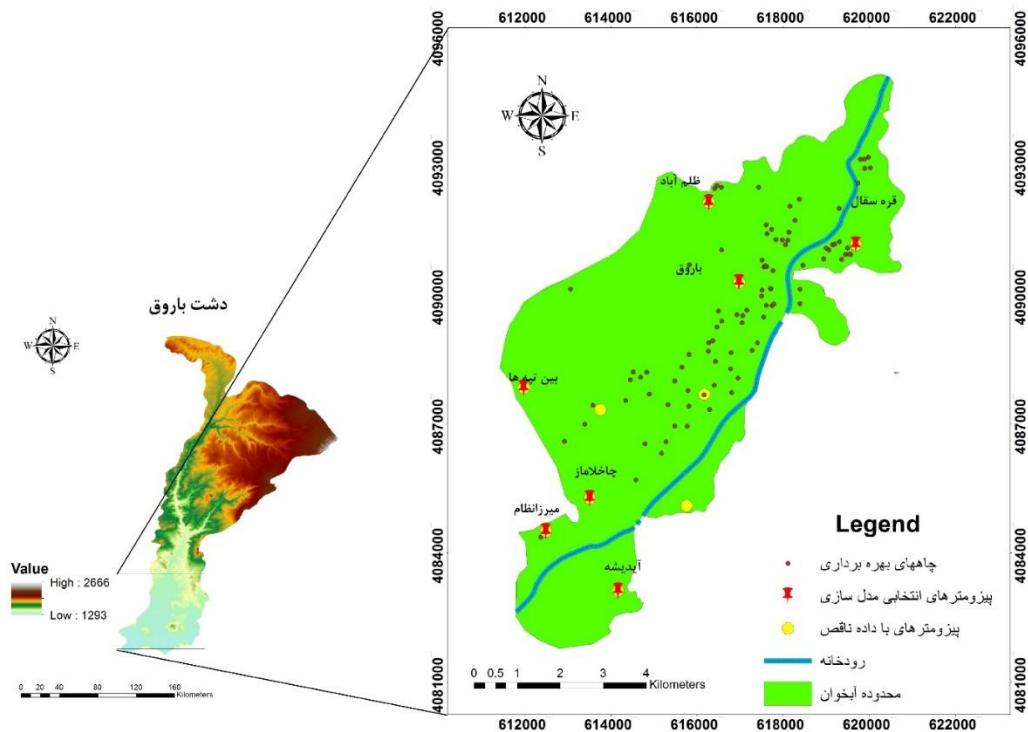
|                    |  |   |
|--------------------|--|---|
| <b>Cenozoic</b>    | Quaternary, Qft2, Low level piedment fan and vally terrace deposits  |   |
|                    | Quaternary, Qft1, High level piedmont fan and vally terrace deposits   |   |
|                    | Pliocene, Plmb2, Ash flows and associated rocks (MARAGHEH FM.)   |   |
|                    | Pliocene, Plmb1, Pyroclastics and claystone with vertebrate fauna remains (MARAGHEH FM.)   |   |
|                    | Oligocene-Miocene, OMdsv, Rhyolitic to rhyodacitic subvolcanic   |   |
|                    | Oligocene-Miocene, OMql, Massive to thick - bedded reefal limestone  |   |
|                    | Middle Eocene, Eav, Andesitic volcanics  |   |
|                    | Eocene, E2l, Nummulitic limestone  |   |
|                    | Eocene, Ea.bvt, Andesitic to basaltic volcanic tuff  |   |
|                    | Eocene, Edav, Dacitic to Andesitic volcanic  |   |
|                    | Eocene, Edi, Diorite   |   |
|                    | <b>Mesozoic</b>  | Triassic-Jurassic, TRJs, Dark grey shale and sandstone ( SHEMSHAK FM. )         |
|                    |  | Permian, Pr, Dark grey medium - bedded to massive limestone ( RUTEH LIMESTONE ) |
| <b>Paleozoic</b>   | Cambrian, COM, Dolomite platy and flaggy limestone containing trilobite ; sandstone and shale ( MILA FM )  |   |
|                    | Cambrian, Cl, Dark red meddium - grained arkosic to subarkosic sandstone and micaceous siltstone ( LALUN FM )                                    |   |
| <b>Proterozoic</b> | PreCambrian, pCk, Dull green grey slaty shales with subordinate intercalation of quartzitic sandstone ( KAHAR FM ; Morad series and Kalmard Fm ) |   |
|                    | PreCambrian, pCbr, Dolomite and sandstone (Bayandour Fm)   |   |

شکل ۱- موقعیت و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

## هیدروژئولوژی و هیدروژئولوژی منطقه

ماه تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه متغیر است. اقلیم عمومی غالب منطقه باروق ویژگی‌های مربوط به مناطق نیمه خشک را دارا است. آبخوان در این دشت از نوع آزاد می‌باشد که با توجه به نقشه مقاومت عرضی و حفاری‌های اکتشافی صورت گرفته، اندازه رسوبات آبرفتی در حوالی رودخانه دانه‌درشت بوده و به سمت حواشی از اندازه ذرات کاسته می‌شود. بر اساس اطلاعات حاصل از حفاری، رسوبات آبرفتی در محل چاه مخلوطی از لایه‌های دانه‌ریز رس و سیلتی تا ذرات دانه متوسط تا درشت ماسه و شنی بوده که با افزایش عمق به صورت متناوب تکرار می‌شوند. دشت باروق از اهمیت بسزایی در مدیریت منابع برخوردار است که در این محدوده تعداد ۱۰ حلقه پیزومتر و ۶۷۶ حلقه چاه کم‌عمق و عمیق گزارش شده است. مطالعه و مدل سازی سطح آب زیرزمینی این دشت به دلیل اهمیت آن در بحث کشاورزی، برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی و افت شدید سطح آب زیرزمینی ممنوعه اعلام شده است.

دشت باروق به همراه ارتفاعات مشرف به دشت (حوضه آبریز قوری‌چای) با وسعت حدود ۱۶۹۵ کیلومترمربع جزو دشت های محدوده مطالعاتی محدوده میان‌دوآب به شمار می‌رود. مساحت دشت باروق در حدود ۵۰ کیلومترمربع بوده و بقیه مساحت حوضه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. حوضه آبریز قوری چای از زیر حوضه‌های زرينه‌رود و زهکش اصلی این دشت است. حداکثر ارتفاع آن در قله کوه اربت‌داغ با ارتفاعی برابر ۱۶۵۸ متر (واقع در شرق منطقه و مرز دو محدوده مطالعاتی شاهین‌دژ و میان‌دوآب) و حداقل ارتفاع آن در خروجی دشت برابر ۱۳۰۰ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد. همچنین متوسط ارتفاع دشت برابر ۱۳۴۳ متر برآورد شده است (شکل ۲). در این دشت میانگین بارندگی سالانه (دوره درازمدت) در ارتفاعات و دشت به ترتیب ۳۱۸/۱ و ۲۷۵/۸ میلی‌متر برآورد شده است. ماه‌های فروردین و اردیبهشت، پرباران‌ترین ماه‌های سال هستند. همچنین میانگین دمای ماهانه از ۸- درجه سانتی‌گراد در بهمن



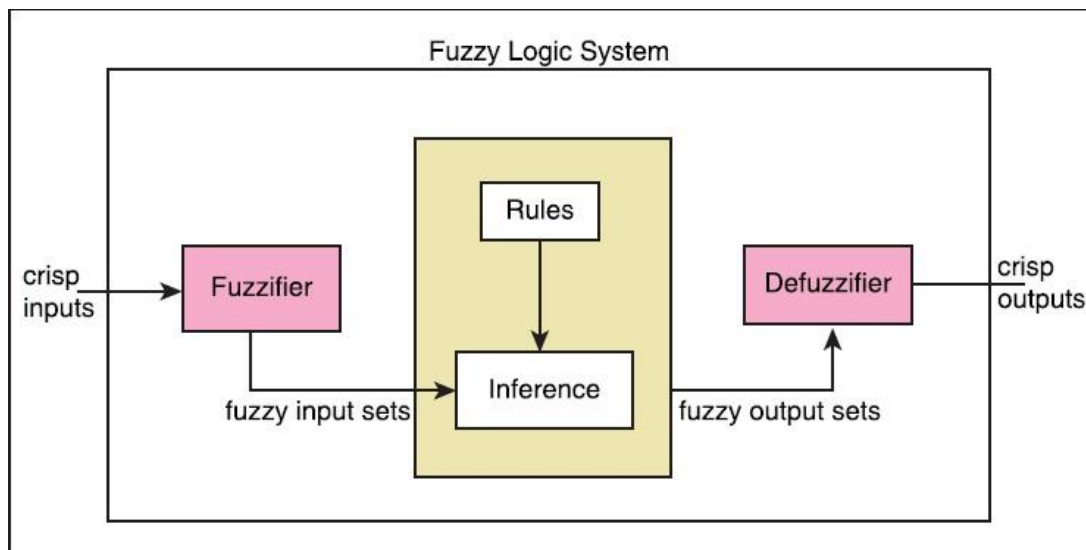
شکل ۲- نقشه منابع آب دشت.

## روش‌شناسی

### مدل منطق فازی<sup>۳</sup> (FLM)

تئوری فازی برای اولین بار توسط پروفیسور لطفی‌زاده (۱۹۶۵) در مقاله‌ای با عنوان مجموعه‌های فازی معرفی شد و پس از آن بسیاری از مفاهیم بنیادی تئوری فازی شامل الگوریتم‌های فازی، تصمیم‌گیری فازی و تلفیق فازی در دهه ۱۹۷۰ مطرح شد و امروزه سیستم‌های فازی در طیف وسیعی از علوم کاربرد یافته‌اند. در سیستم‌های قطعی عضویت در مجموعه‌ها به صورت صفر و یک در نظر گرفته می‌شد اما برخلاف آن‌ها در سیستم فازی مجموعه‌ها دارای مرزهای مبهم هستند که عضوها دارای درجه عضویت در هر یک از مجموعه‌ها می‌باشند. بدین معنا که مقادیر بین صفر و یک دارای عضویت بخشی هستند. ساختار کلی از یک شبکه فازی به صورت شکل ۳ گزارش شده است (اساس سیستم‌های فازی شامل سه بخش اصلی است: الف) فازی‌سازی داده‌ها که این عمل با تعریف تابع عضویت انجام می‌شود. ب) ایجاد ارتباط بین ورودی و خروجی که این کار نیز با یک سری قوانین مانند اگر-آنگاه if-then انجام می‌شود. ج)

مرحله آخر، مرحله تجمیع نتایج سیستم و غیرفازی‌سازی<sup>۴</sup> است که به وسیله عملگرهای فازی، شامل and (به صورت کمینه‌سازی و وزن‌دهی)، or (به صورت بیشینه‌سازی) و not تجمیع نتایج صورت گرفته و غیرفازی‌سازی انجام می‌شود (ندیری و همکاران، ۱۳۹۴). مدل فازی به سه روش فازی مختلف ساجنو (SFL)، لارسن (LFL) و ممدانی (MFL) قابل اجراست. تفاوت روش ساجنو با دو روش دیگر در خروجی آن‌ها است که بر خلاف دو روش دیگر تابع عضویت خروجی سیستم فازی ساکنو به صورت ثابت یا رابطه خطی است که توسط روش دسته‌بندی به دست می‌آید. تفاوت مدل ممدانی و لارسن نیز در نوع عملگرهای فازی استفاده شده است. اولین مرحله در ایجاد یک مدل فازی، دسته بندی داده‌هاست که بستگی به نوع مدل فازی استفاده شده داشته و می‌توان از روش‌های دسته‌بندی مختلف استفاده کرد که از آن جمله می‌توان روش کاهشی برای ساجنو و روش FCM برای ممدانی و لارسن اشاره کرد. در این پژوهش از دو روش ساجنو و ممدانی برای تخمین هدایت هیدرولیکی استفاده شده و نتایج دو مدل مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۳- ساختار کلی منطق فازی.

<sup>4</sup> Defuzzification

<sup>3</sup> Fuzzy Logic Model

## آنالیز داده‌ها

اشباع (B)، مقاومت عرضی (RT) و هدایت هیدرولیکی در ایستگاه‌های برداشت انتخابی می‌باشد، که در ۳۰ نقطه دشت طوری که کل آبخوان را احاطه کند، انتخاب شده است.

### مدل فازی ساگنو

در ابتدای اجرای این مدل دسته‌بندی داده‌ها و تعیین توابع عضویت صورت می‌گیرد. در این تحقیق از روش دسته‌بندی کاهشی برای مدل ساگنو استفاده شده است. همان‌طور که اشاره شد بازده مدل فازی ساگنو وابسته به شعاع دسته‌بندی دارد که مقدار بهینه آن در این مطالعه بر اساس کمترین مقدار RMSE و همچنین تعداد ۲ قانون، با استفاده از روش آزمون و خطا مقدار ۰/۶ تعیین شد. جدول ۱ و شکل ۴ نتایج مدل فازی ساگنو را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اختلاف موجود میان خروجی مدل برای دو مرحله آموزش و آزمایش ناشی از تعداد کم داده‌های موجود و همچنین دقت پایین اندازه‌گیری داده‌های گزارش شده است.

### مدل منطق فازی ممدانی

در مدل فازی ممدانی از روش دسته‌بندی FCM استفاده گردید که در آن خوشه‌بندی داده‌ها در یک محیط فازی انجام می‌پذیرد تا یک محیط واقعی. بنابراین از دقت بهتری نسبت به روش k-means داراست. بر پایه این روش، تعداد دسته‌ها توسط کاربر و به صورت دستی و با آزمون و خطا تعیین گردید. تعداد بهینه ۶ دسته در حالت کمترین مقدار RMSE تعیین گردید که به ترتیب برای مراحل آموزش و آزمایش برابر ۰/۱۰ و ۰/۱۲۹ می‌باشند. جدول ۲ و شکل ۵ نتایج مدل فازی ممدانی را نشان می‌دهد. در این روش تابع عضویت و ورودی و خروجی گوسی بوده و ضریب تبیین برای مدل ممدانی در مرحله آموزش و آزمایش به ترتیب برابر ۰/۶۳ و ۰/۷۵ می‌باشد.

جدول ۱- نتایج مدل فازی ساگنو.

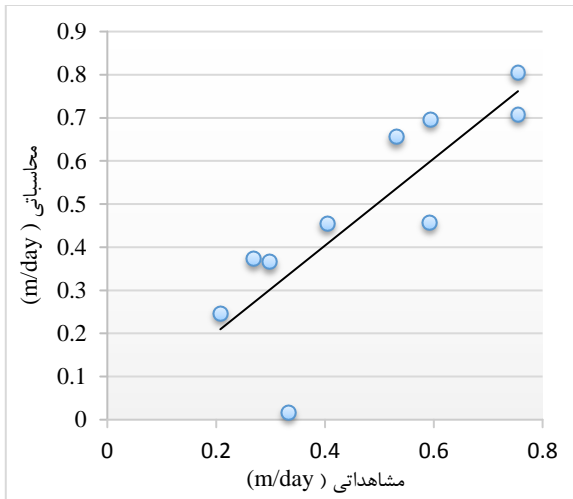
| مرحله آموزش |            |                | مرحله آزمایش |            |                |
|-------------|------------|----------------|--------------|------------|----------------|
| RMSE(m/day) | MSE(m/day) | R <sup>2</sup> | RMSE(m/day)  | MSE(m/day) | R <sup>2</sup> |
| ۰/۰۴۵       | ۰/۰۰۲      | ۰/۶۸           | ۰/۱۲۹        | ۰/۰۱۶      | ۰/۹۴           |

انتخاب ورودی در مدل‌های هوش مصنوعی از مهم‌ترین مسائلی است که باید برای به دست آوردن کمینه خطا به آن توجه کرد. به منظور بررسی هدایت هیدرولیکی محدوده مطالعاتی آبخوان باروق از ۳۰ ایستگاه انتخابی برداشت‌های EC انجام شده است به طوری که کل دشت را به طور همگن پوشش دهد، همچنین مقادیر زون اشباع (B) و مقاومت عرضی آبخوان (RT) با توجه به محل ایستگاه‌های انتخابی برداشت هدایت الکتریکی و استفاده از نقشه ژئوفیزیک تهیه شده توسط وزارت نیرو و ژئورفرنس کردن این نقشه‌ها انجام شده به این صورت که با برداشت عمق سنگ کف و تفاضل آن از عمق تراز آب از سطح زمین مقدار ضخامت زون اشباع به دست می‌آید و میزان RT نیز به طور مستقیم از این نقشه‌های ژئورفرنس شده برداشت می‌شود (یوسف‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). مقدار هدایت هیدرولیکی K که توسط آزمون پمپاژ در نقاط مختلف به دست آمده است به عنوان ورودی‌های مدل فازی ساگنو و ممدانی به کار برده شد. از مقدار کل داده‌ها ۸۰٪ به عنوان داده‌های بخش آموزش و ۲۰٪ به عنوان داده‌های قسمت آزمایش انتخاب شد.

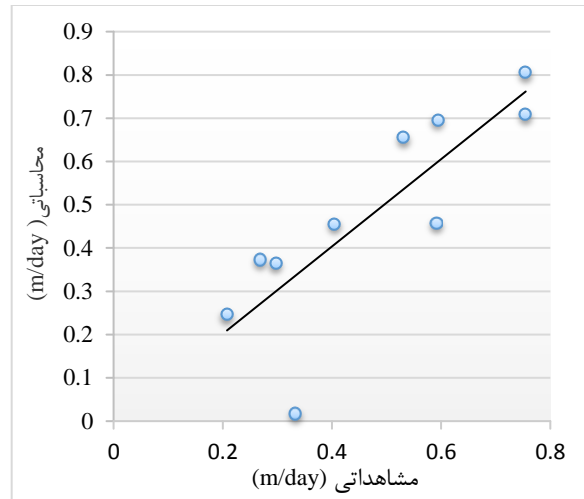
به منظور به دست آوردن هدایت الکتریکی و هدایت هیدرولیکی در کل آبخوان این داده‌های موجود این دو پارامتر توسط درون‌یابی کریجینگ و کوکریجینگ به کل آبخوان تعمیم داده شده است.

### بحث و نتایج

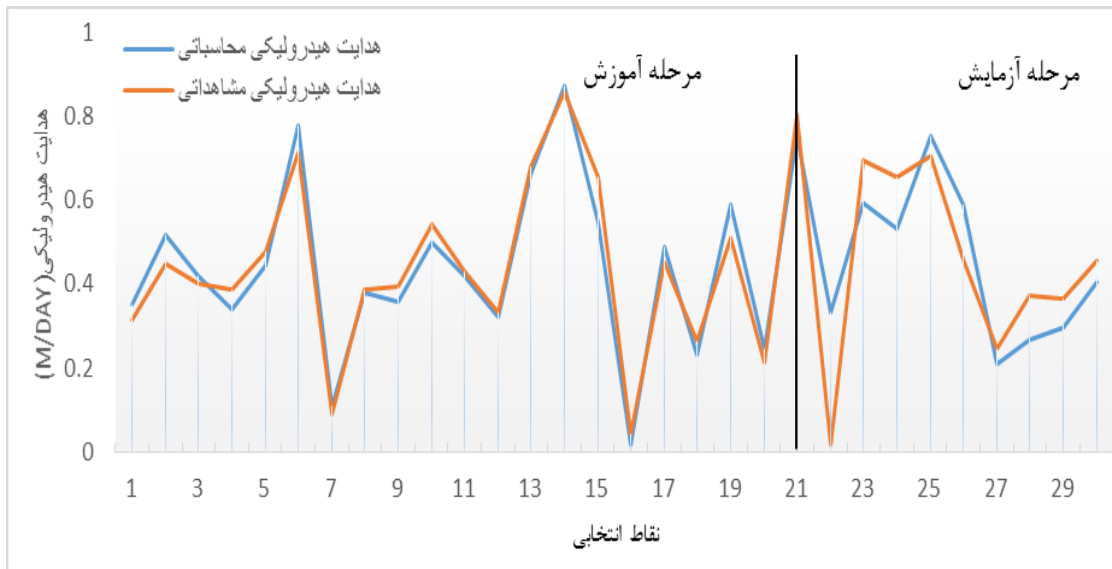
هدف از این تحقیق بررسی و تخمین هدایت هیدرولیکی در آبخوان باروق با مدل‌های منطق فازی است. ورودی این مدل‌ها با توجه به پارامترهای مرتبط و مؤثر با هدایت هیدرولیکی انتخاب شده‌اند که شامل هدایت الکتریکی (EC)، ضخامت زون



(ب)



(الف)

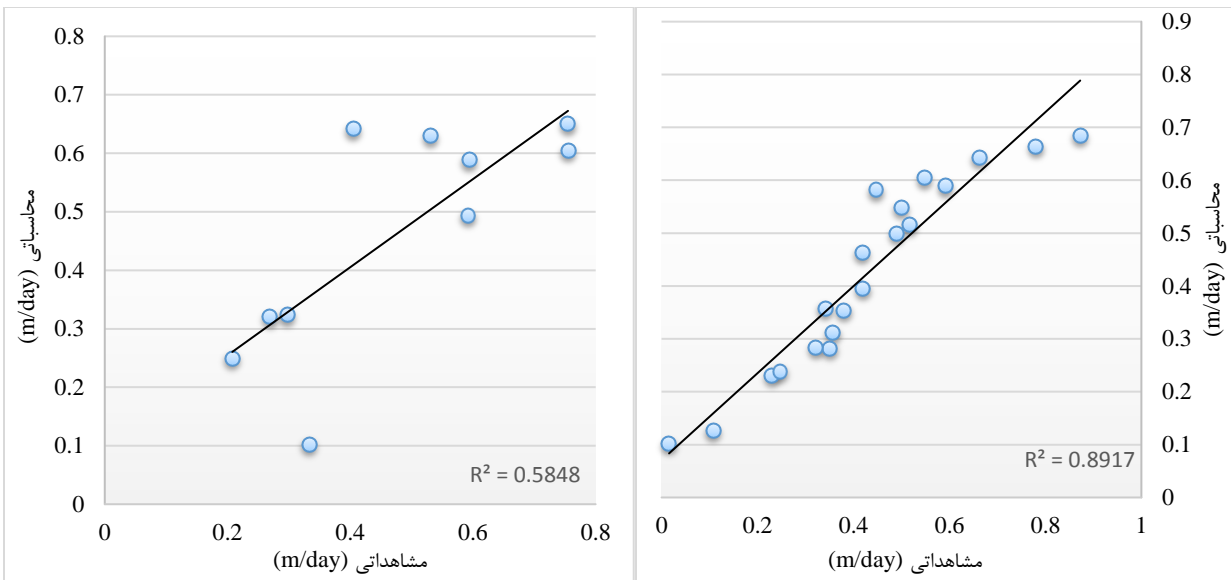


(ج)

شکل ۴- نتایج مدل فازی ساجنو برای شعاع بهینه منتخب. پراکندگی مقادیر مشاهداتی در مقابل محاسباتی مدل فازی ساجنو در دو مرحله (الف آموزش و ب) آزمایش ج) منحنی مقادیر محاسباتی و مشاهداتی هدایت هیدرولیکی.

جدول ۲- نتایج مدل فازی ممدانی

| مرحله آزمایش |                | مرحله آموزش |                |
|--------------|----------------|-------------|----------------|
| RMSE         | R <sup>2</sup> | RMSE        | R <sup>2</sup> |
| ۰/۱۲۹        | ۰/۵۸           | ۰/۰۶۸       | ۰/۸۹           |



(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۵- نتایج مدل فازی ممدانی برای دسته منتخب. شکل پراکندگی مقادیر مشاهداتی در مقابل محاسباتی در دو مرحله (الف آموزش ب) آزمایش (ج) منحنی مقادیر محاسباتی و مشاهداتی هدایت هیدرولیکی.

### نتیجه گیری

عنوان ورودی‌های مدل فازی انتخاب شدند. نتایج هر دو مدل فازی ساگنو و ممدانی بر اساس خروجی مدل قابل قبول بود و نتایج حاکی از عملکرد بهتر مدل فازی ساگنو نسبت به مدل ممدانی در قبال داده‌های ورودی دارد. به طوری که میزان RMSE روش فازی ساگنو در هر دو مرحله آموزش و آزمایش مقدار کمتری نسبت به مدل ممدانی می‌باشد. همچنین ضریب تبیین مدل ساگنو نیز در هر مرحله از اجرای مدل مقدار بیشتری

در این تحقیق از روش‌های هوش مصنوعی از جمله فازی ساگنو و فازی ممدانی به عنوان روش‌های کارا و مفید برای پیش‌بینی هدایت هیدرولیکی در دشت باروق استفاده شد. این مدل‌ها به علت توانایی بالا در مدل‌سازی قادر به حل بسیاری از مسائل پیچیده و پیش‌بینی پدیده‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی می‌باشند. مقاومت عرضی (RT)، ضخامت زون اشباع (B)، هدایت الکتریکی (EC) و هدایت هیدرولیکی (K) به



و دیعنی، م.، اصغری مقدم، ا.، نخعی، م.، ۱۳۹۶. تبیین تحولات رخساره های هیدروشیمیایی آبخوان سراب با استفاده از روش های خوشه بندی میانگین فازی و تحلیل خوشه سلسله مراتبی، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۳، ۷۶۳-۷۷۳.

نادری، ک.، ۱۳۹۳. پیش بینی زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی با استفاده از روش های هوش مصنوعی و زمین آمار (مطالعه موردی: آبخوان دشت دوزدوزان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ۱۳۴ص.

Ayvaz M.T, Karahan H, Aral M.M., 2007. Aquifer parameter and zone structure estimation using kernel-based fuzzy c-means clustering and genetic. *Journal of Hydrology*. (343): 240-253.

Nadiri A, vahedi F., 2005. Use of Artificial Intelligence Models Supervised to predict groundwater level. *Journal of Civil and Environmental Engineering*. (3): 84-99.

Nadiri A.A, Chitsazan N, Frank T.C, Tsai M.ASCE3, AsghariMoghaddam A, 2014. Bayesian Artificial Intelligence Model Averaging for Hydraulic Conductivity Estimation. *Journal of Hydrologic Engineering*. (19): 520-532.

Norouzi, H., Asghari Mogaddam, A. and Nadiri, A.A. 2016. Determining vulnerable areas of Malikan Plain Aquifer for Nitrate, Using Random Forest method. *Journal of Environmental Studies*. 41(4): 923-94.

Norouzi, H., Nadiri, A.A., Moghaddam, A.A., Gharekhani, M. 2018. Comparing Performans of Fuzzy Logic, Artificial Neural Network and Random Forest Models in Transmissivity Estimation of Malekan Plain Aquifer, *Journal of ecohydrology*. 5(3): 739-751. doi.org/10.22059/ije.2018.239914.707

Ross, J., Ozbek, M., Pinder, G., 2007. Hydraulic conductivity estimation via fuzzy. *Math Geology*. 39(8). 765-780.

Vernieuwe H, Verhoest N.E.C, De Baets B, Hoeben R, De Trocch F.P, 2007. Cluster-based fuzzy models for groundwater flow in the unsaturated zone. *Advance in Water Resources*. (30):701-714.

Zadeh.L. A., 1965. Fuzzy sets, information and control. 8(3):338-353.

نسبت به مدل ممدانی دارد و این نشان دهنده دقت مدل فازی ساجنو می باشد. با توجه به اینکه روش های هوش مصنوعی وسیع هستند و بر اساس نوع داده، شرایط هیدرولوژیکی متفاوت و کاربری مدل های مختلف می تواند رفتار متفاوتی نسبت به محدوده مطالعاتی داشته باشد. به منظور بهبودی این نتایج توصیه می شود که دیگر روش های هوش مصنوعی مختلف در مطالعات بعدی استفاده شود.

## منابع

محتشم، م.، دهقانی، آ.، اکبرپور، آ.، اعتباری، ب.، ۱۳۸۹. ارزیابی مدل شبکه های بیزین در پیش بینی ماهانه سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان بیرجند). مدیریت آب و آبیاری، دوره ۵، شماره ۲، ۱۳۹-۱۵۱.

یوسفزاده، س.، نادری، ع.، صادق فام، س.، ۱۳۹۵. مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی در برآورد هیدرولوژیکی با استفاده از داده های ژئوفیزیک (مطالعه موردی: دشت مراغه بناب). سومین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران. ندیری، ع.، اصغری مقدم، ا.، عبقری، ه.، کلاتتری اسکویی، ع.، حسین-پور، ع.، حبیبزاده، ا.، ۱۳۹۳. مدل منطق فازی در تخمین قابلیت انتقال آبخوان ها مطالعه موردی: دشت تسوج. مجله دانش آب و خاک، دوره ۲۴، شماره ۱، ۲۲۳-۲۰۹.

ندیری، ع.، واحدی، ف.، اصغری مقدم، ا.، کدخدایی، ع.، ۱۳۹۵. استفاده از مدل هوش مصنوعی مرکب نظارت شده برای پیش بینی سطح آب زیرزمینی، فصلنامه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، دوره ۴۶، شماره ۸۴.

حبیبی، م. ح. ۱۳۹۳. پیش بینی سطح آب زیرزمینی در دشت هادیشهر با استفاده از روش های هوش مصنوعی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ۱۵۰ص.

مصطفی زاده، ر.، مهری، س.، اسمعیلی عوری، ا.، قربانی، ا. ۱۳۹۵. گروه بندی آبخیزها بر اساس خصوصیات فیزیکی و دبی پایه جریان رودخانه با روش های مختلف خوشه بندی در استان اردبیل، ترویج و توسعه آبخیزداری، دوره ۴، شماره ۱۵، ۳۱-۴۰.