

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی منبع مهمی در تأمین آب شیرین در بسیاری از مناطق دنیا به‌ویژه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، مانند ایران است. آب‌های زیرزمینی بخشی از آب قابل استحصال از زیر سطح زمین است که از طریق چاه و قنات به سطح زمین انتقال داده می‌شود و یا به‌طور طبیعی توسط چشمه‌ها از درون زمین تخلیه می‌گردد. توجه به آب‌های زیرزمینی در ایران که در کمربند خشک و نیمه‌خشک کره زمین واقع شده است از دیرباز بسیار مدنظر بوده است. با این حال در طول نیم‌قرن گذشته و با توسعه صنعتی در زمینه حفر چاه و پمپاژ آب‌های زیرزمینی، بهره‌برداری از این منبع گسترش یافته است [۲ و ۲۰] از سوی دیگر در طول سالان متمادی با افزایش جمعیت و نیاز بیش‌تر به آب به‌تدریج به تعداد چاه‌های بهره‌برداری کننده از آبخوان‌های کشور افزوده شده است، به‌طوری‌که این امر باعث تسریع روند کاهش ذخایر آب زیرزمینی شده است [۹ و ۲۰].

قنات از پیچیده‌ترین ابداعات تاریخ بشری است که برای رفع حیاتی‌ترین نیازهای جوامع بشری یعنی تأمین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به وجود آمده است. یکی از ویژگی‌های بارز قنات، جاری ساختن آب زیرزمین به‌صورت ثقلی به سطح زمین بدون به‌کارگیری هیچ‌گونه نیروی محرکه و مصرف انرژی و با رعایت سایر ملاحظات محیط‌زیستی است که با توجه به عدم هزینه‌های جانبی، از نظر اقتصادی نیز بسیار حائز اهمیت است. به نظر می‌رسد، قنات همچنان نقش مؤثری در ساماندهی اقتصادی، بهره‌برداری بهینه از اراضی و توسعه پایدار در مناطق روستایی را با توجه به پراکندگی گسترده زمین‌های کشاورزی دارد.

بررسی منابع و مقالات موجود نشان می‌دهد عمده مباحث علمی پیرامون قنات بر جنبه‌های تاریخی، سازه‌ای، هیدرولیکی و اجتماعی متمرکز بوده است. برخی تحقیقات که با نگاه مفهومی به قنات پرداخته‌اند به بخش کوچکی از عوامل اشاره داشته‌اند و در زمینه بررسی عوامل مؤثر بر آبدهی قنات مطالعه‌ای صورت نگرفته است. بیش‌تر مطالعات در رشته‌های علوم پایه و مسائل اقتصادی و اجتماعی انجام شده‌اند. برای نمونه، نژادابراهیمی و همکاران [۱۹] در مطالعه‌ای نقش قنات سرچشمه در تحولات ساختار فضایی شهر زنجان در عصر قاجار را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. صفائی و همکاران [۲۶] در مطالعه‌ای باستان‌شناسی سازه‌های آبی با محوریت قنات‌ها خراسان را مورد بررسی قرار دادند. میرانی‌مقدم و همکاران [۱۵] به بررسی برآورد میزان تغذیه سالانه قنات‌ها دشت گناباد به وسیله

## برآورد آبدهی قنات‌ها دشت مشهد-چناران با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

حمزه نور<sup>۱\*</sup>، محمد رستمی خلج<sup>۱</sup> و علی دسترنج<sup>۱</sup>  
تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۱۱/۱۹  
DOI: / 10.22034/wmji.2026.2063456.1118

## چکیده

آبدهی قنات به عوامل متعددی بستگی دارد که به دلیل پیچیدگی و روابط غیرخطی بین عوامل، الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند جنگل تصادفی، می‌توانند در مدل‌سازی آبدهی قنات‌ها کاربرد مناسبی داشته باشند. در این راستا تحقیق حاضر باهدف تعیین دقت الگوریتم جنگل تصادفی در برآورد آبدهی قنات‌ها دشت مشهد - چناران طرح‌ریزی شده است. برای این منظور از اطلاعات ۷۸ قنات موجود در آبخوان مشهد-چناران استفاده شد. از این تعداد ۷۰ درصد برای آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها برای ارزیابی مدل جنگل تصادفی در محیط نرم‌افزار R استفاده شد. نتایج تعیین اهمیت عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها آبخوان مشهد-چناران نشان داد که از بین هفت عامل مورد بررسی، مهم‌ترین عوامل در آبدهی قنات‌ها دشت مشهد-چناران، خصوصیات نوع و هندسه قنات (طول قنات و عمق مادر چاه) و ضریب آبگذری ویژه آبخوان است. درنهایت نتایج ارزیابی دقت الگوریتم جنگل تصادفی در برآورد آبدهی قنات‌ها آبخوان مشهد-چناران نشان داد که مدل جنگل تصادفی با ضریب تبیین ( $R^2$ ) ۰/۹۱ و ۰/۸۵ به ترتیب در مرحله آموزش و آزمون و هم‌چنین ضریب نش ساتکلیف ۰/۸۳ و ۰/۷۶ برای این دو مرحله، دارای دقت قابل قبولی می‌باشد. با استفاده از مدل RF ایجادشده در این تحقیق، می‌توان تأثیر سناریوهای مختلف احیا و مدیریت قنات مانند افزایش طول تره‌کار و هم‌چنین عمق مادر چاه را بر دبی قنات قبل از اجرای اقدامات شبیه‌سازی کرد.

کلید واژه: سطح آب زیرزمینی، ویژگی‌های هندسی قنات، یادگیری ماشینی، مدل‌سازی

۱- بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران  
Email: H.Noor@areeo.ac.ir

روش‌های ایزوتوپی پرداختند. از دیگر محققینی که در زمینه مسائل اجتماعی و فرهنگی قنات مطالعاتی داشتند، می‌توان به شیخی و پازوکی [۳۰]، ویسی [۳۳]، پاپلی‌یزدی و همکاران [۳۳]، طباطبایی و خزیمه‌نژاد [۳۲] و سلطانی‌محمدی [۳۱] اشاره نمود.

باین‌حال سؤال اساسی این است که آبدهی قنات‌ها به چه عواملی بستگی دارد. در این زمینه باید توجه داشت که آبدهی قنات‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد به‌گونه‌ای که دو قنات مجاور هم الزاماً دارای آبدهی مشابهی نمی‌باشند. در این بین دسترنج و رجائی [۷] با استفاده از نظر کارشناسان به مطالعه عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها دشت مشهد-چناران پرداختند. باین‌حال تحقیق ایشان بر اساس نظرات کارشناسان طرح‌ریزی‌شده و مطمئناً تجربه کارشناسان در نتیجه اثرگذار بوده است و هم‌چنین نتایج ایشان به‌صورت کیفی می‌باشد و قادر به مدل‌سازی آبدهی قنات‌ها نمی‌باشد. با توجه به پیچیدگی روابط بین عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین می‌تواند در تعیین اهمیت عوامل مؤثر بر آبدهی و هم‌چنین مدل‌سازی آبدهی آن‌ها قابلیت استفاده را داشته باشد. در این زمینه نقیبی و همکاران [۱۸] نقشه پتانسیل قنات آب زیرزمینی را با استفاده از روش نسبت فراوانی و آنتروپی شانون تهیه نمودند. باین‌حال در این تحقیق عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی با توجه به حضور و عدم حضور قنات‌ها پرداخته شد و در نهایت پهنه‌بندی منطقه از نظر وضعیت منابع آب زیرزمینی صورت گرفت.

در سال‌های اخیر تکنیک‌های داده‌کاوی مانند روش‌های یادگیری ماشین<sup>۱</sup> شامل: شبکه عصبی مصنوعی [۳۶]، رگرسیون لجستیک [۱۰]، ماشین بردار پشتیبان [۱۱] و جنگل تصادفی [۲۴] دارای قابلیت پردازش قوی اطلاعات و به دلیل دقت بالا به‌منظور مدل‌سازی پدیده‌های مختلف طبیعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در علم یادگیری ماشین، به موضوع طراحی ماشین‌هایی پرداخته می‌شود که با استفاده از مثال‌های داده‌شده به آن‌ها و تجربیات خودشان، بیاموزند. در واقع، در این علم تلاش می‌شود تا با بهره‌گیری از الگوریتم‌ها، یک ماشین به شکلی طراحی شود که بدون آنکه صراحتاً برنامه‌ریزی و تک‌تک اقدامات به آن دیکته شود به‌تواند بیاموزد و عمل کند. در یادگیری ماشین، به‌جای برنامه‌نویسی همه‌چیز، داده‌ها به یک الگوریتم عمومی داده می‌شوند و این الگوریتم است که بر اساس داده‌هایی که به آن داده‌شده منطبق خود را می‌سازد. در این میان الگوریتم جنگل تصادفی به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های یادگیری ماشین و مدل‌سازی درخت تصمیم است که از تلفیق نتیجه‌های به‌دست‌آمده از درخت‌های مختلف، ارتباط میان متغیر وابسته و پارامترهای اثرگذار را برآورد می‌کند [۱۴]. روش جنگل تصادفی از بین روش‌های مختلف یادگیری ماشین در تحقیقات مدل‌سازی بارش - رواناب [۴]، مدل‌سازی پتانسیل آب زیرزمینی [۱۷]، تغییرات سطح آب زیرزمینی [۳۵]، آلودگی نترات آب‌های زیرزمینی [۲۴] و

دیگر موضوعات منابع طبیعی [۲۲]، به‌عنوان روش برتر انتخاب‌شده است.

به‌طورکلی، به‌کارگیری موفقیت‌آمیز مدل‌های یادگیری ماشین از جمله جنگل تصادفی در شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینی، علاقه به ارزیابی توانایی آن‌ها در شبیه‌سازی ویژگی‌های پیچیده هیدروژئولوژیکی قنات‌ها را برانگیخته است. مزایایی که محققان را بر آن داشته است تا به این روش تکیه کنند عبارت‌اند از نیاز به داده‌های کم‌تر نسبت به مدل‌های عددی، تقلید از سیستم‌های پیچیده هیدروژئولوژیکی و سرعت محاسباتی بالا.

تحقیق حاضر باهدف کاربرد روش جنگل تصادفی در تعیین اهمیت عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها دشت مشهد-چناران و هم‌چنین برآورد میزان آبدهی آن‌ها با استفاده از این روش طرح‌ریزی‌شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

دشت مشهد-چناران از مناطق مهم جمعیتی و کشاورزی استان خراسان رضوی می‌باشد که عمده منبع تأمین آب در آن، منابع زیرزمینی هستند. بر اساس آمار موجود از سال ۱۳۶۳ الی ۱۳۹۵ میزان متوسط افت سطح ایستابی و حجم آبخوان در محدوده مطالعاتی مشهد - چناران به ترتیب ۰/۷۱ متر و ۱۰۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. در این محدوده مطالعاتی سهم چاه عمیق و نیمه عمیق به ترتیب ۷۶ و سه درصد می‌باشد. این در حالی است که تخلیه از چشمه و قنات در این محدوده مطالعاتی به ترتیب هشت و ۱۳ درصد است.

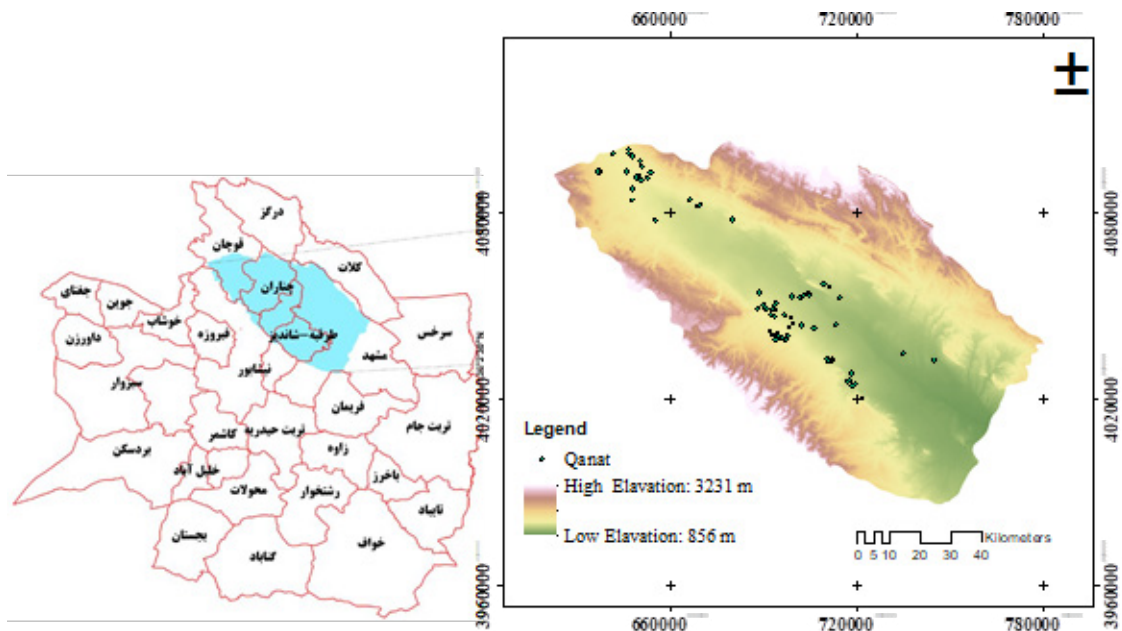
در حوضه مشهد چناران ۱۰۸۵ رشته قنات وجود دارد. از این تعداد بخش عمده‌ای از قنات‌ها خارج از محدوده آبخوان قرار دارند و تنها مادر چاه ۷۸ قنات دایر در محدوده آبخوان قرار دارد. با توجه به اینکه اطلاعات خصوصیات سفره زیرزمینی تنها در محدوده آبخوان موجود است، بنابراین مدل‌سازی با قنات‌ها موجود در این محدوده مدنظر قرار گرفت (۷۸ قنات موجود در محدوده آبخوان). شکل (۱) محدوده مطالعاتی مشهد-چناران و موقعیت قنات‌ها در آن را نشان می‌دهد.

### روش تحقیق

#### تعیین عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها و تهیه داده‌ها

برای انجام تحقیق حاضر علاوه بر اطلاعات آبدهی قنات‌ها محدوده مورد مطالعه، عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها شناسایی و اطلاعات و نقشه‌های آن‌ها تهیه شد. در این زمینه با بررسی منابع [۷]، [۲۷] و [۲۹] و هم‌چنین گفتگو با خبرگان، عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها شامل نوع قنات (هوایین یا دائمی)، خصوصیات قنات (عمق مادر چاه و طول قنات)، خصوصیات آبخوان در محدوده مادر چاه (تراز سطح ایستابی، شیب سطح ایستابی، هدایت هیدرولیکی و ضریب

1. Machine Learning



شکل ۱: موقعیت محدوده مطالعاتی مشهد-چناران در استان خراسان رضوی

و ۱۱ ستون (نام + طول و عرض جغرافیایی + عامل وابسته + ۷ عامل مستقل) وجود دارد.

### الگوریتم جنگل تصادفی (RF)

جنگل تصادفی، جزو الگوریتم‌های یادگیری ماشین و نظارت‌شده می‌باشند. این روش ناپارامتری بوده و قابلیت استفاده برای دسته‌بندی و هم‌چنین رگرسیون را دارد [۵]. این الگوریتم را نخستین بار Breiman [۵] ایجاد نمود. همان‌طور که از نام آن مشهود است، این الگوریتم، یک جنگل (مجموعه‌ای از درختان در روش درخت تصمیم) را به‌طور تصادفی می‌سازد. جنگل ساخته‌شده در واقع گروهی از درخت‌های تصمیم است. برخلاف مدل‌های کلاسیک مانند رگرسیون که تنها بر پایه یک مدل تکیه دارند با استفاده از تعداد زیادی درخت تصمیم، از اطلاعات بیش‌تری در داده‌ها استفاده می‌کند. سپس تمام درختان باهم، برای پیش‌بینی ترکیب می‌شوند تا بتوان استنباط بهتری از متغیرها داشت. کار ساخت جنگل با استفاده از درخت‌ها به روش کیسه‌گذاری<sup>۱</sup> انجام می‌شود. کیسه‌گذاری یک تکنیک گروهی<sup>۲</sup> است که توسط جنگل تصادفی استفاده می‌شود. در این روش هر مدل به‌طور مستقل آموزش داده می‌شود که نتایج را ایجاد می‌کند. خروجی نهایی بر اساس رأی اکثریت بعد از ترکیب نتایج همه مدل‌هاست. این مرحله که شامل ترکیب همه نتایج و تولید خروجی بر اساس رأی اکثریت است به‌عنوان Aggregation شناخته می‌شود.

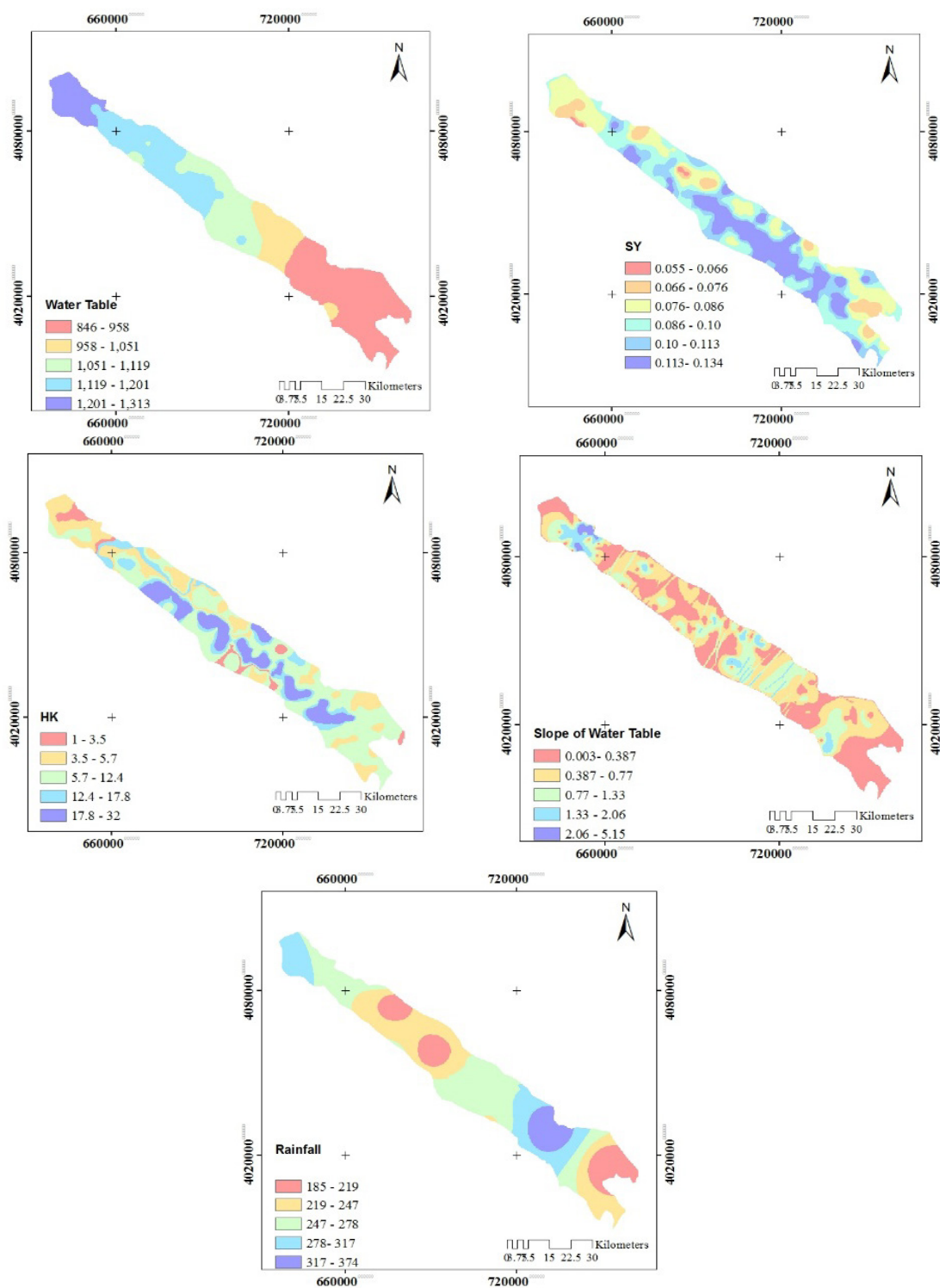
نمودار جریانی کار روش جنگل تصادفی در شکل (۳) ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود الگوریتم جنگل تصادفی از تمام داده‌های موجود برای رویاندن درخت استفاده نکرده

آبگذری ویژه) و بارندگی سالانه در محدوده مادر چاه انتخاب شدند. لازم به توضیح است کلیه اطلاعات اولیه آبخوان از طریق شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه شد.

در این رابطه نوع قنات (دائمی یا هوابین) و هم‌چنین عمق مادر چاه و طول قنات از گزارش دوره‌ای شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی تهیه شد. مقدار بارش برای محدوده مورد مطالعه از طریق داده‌های ۲۳ ایستگاه باران‌سنجی تعیین شد. برای این منظور پس از میانگین‌گیری از داده‌های بارش اقدام به پهنه‌بندی بارش برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش IDW و در محیط ArcMap 10.5 شد. سطح ایستابی و شیب سطح ایستابی با استفاده از داده‌های ۴۵ پیزومتر موجود در دشت مشهد-چناران تهیه شد. برای این منظور ابتدا میانگین تراز برای هر پیزومتر محاسبه و سپس با استفاده از روش IDW اقدام به پهنه‌بندی سطح ایستابی در منطقه مورد مطالعه شد. شیب سطح ایستابی هم در محیط Arc map از روی نقشه سطح ایستابی تهیه گردید. اطلاعات هدایت هیدرولیکی و ضریب آبدهی ویژه آبخوان مشهد-چناران از گزارش‌های «بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوضه آبریز قره‌قوم» (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۱) و هم‌چنین گزارش طرح «مدل‌سازی تغییرات سطح سفره آب زیرزمینی و اثر آن بر آبدهی قنات با استفاده از مدل GIS در قنات منتخب مشهد-چناران» [۲۵] تهیه شدند. مقدار بارش، سطح ایستابی، آبدهی ویژه، هدایت هیدرولیکی و شیب سطح ایستابی نیز برای منطقه طبق روش تحقیق تهیه شد که در شکل (۲) ارائه شده است.

در ادامه اطلاعات هر قنات شامل نام، موقعیت (طول و عرض جغرافیایی) به همراه عوامل دخیل در مدل‌سازی در یک فایل اکسل ذخیره شدند. در این فایل یک ماتریس با ۷۸ ردیف (به تعداد قنات‌ها)

1. Decision Trees
2. Bagging
3. Ensemble



شکل ۲: نقشه عوامل مؤثر بر آبدهی قنات در آبخوان مشهد-چناران

شوند، منتهی در این داده انتخاب شده ممکن است یک نمونه آموزشی چندین بار انتخاب شود. نمونه‌های مختلف بوت‌استریپ،  $X_i$  (تکرار Bootstrap) به‌طور تصادفی از مجموعه داده‌های اصلی  $X$  انتخاب می‌شوند. دو سوم از نمونه‌ها در یک نمونه بوت‌استریپ

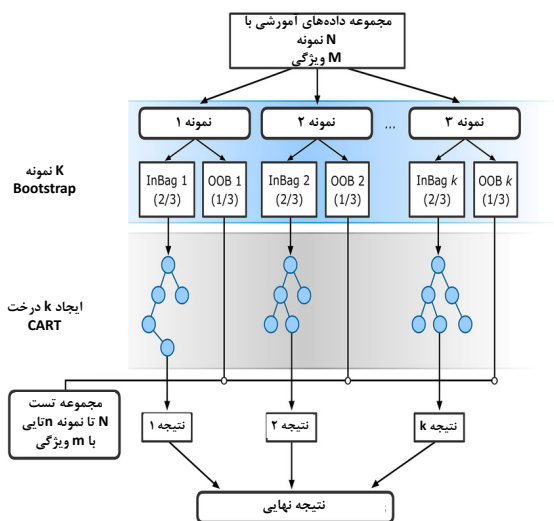
و از دو سوم (۶۶ درصد) داده‌ها استفاده شده که به آن نمونه‌گیری بوت‌استریپ<sup>۱</sup> گفته می‌شود. مفهوم نمونه‌گیری بوت‌استریپ این است که داده‌ها به‌صورت تصادفی از روی داده آموزشی انتخاب

#### 1. Bootstrap Sampling



شکل ۳: نمودار جریان کار روش جنگل تصادفی

مقایسه شد [۲۲]. مقدار  $R^2$  نشان‌دهنده قدرت رابطه بین مقادیر مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده است. ضریب نش-ساتکلیف می‌تواند از منفی بی‌نهایت تا ۱ متغیر باشد. مقادیر بالاتر  $R^2$  و نش-ساتکلیف که به ۱ نزدیک‌تر هستند، همبستگی قوی‌تری را بین نتایج مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده نشان می‌دهد. جدول ۱ چهار گروه مختلف از نش-ساتکلیف را که توسط Moriasi و همکاران [۱۶] معرفی شده‌اند، نشان می‌دهد.



شکل ۴: نمودار جریان کار انجام تحقیق حاضر

(InBag) و یک‌سوم از نمونه‌ها خارج از کیسه (Out-of-bag: OOB) گنجانده می‌شوند که برای ارزیابی درخت برازش داده‌شده استفاده می‌شود [۵ و ۱۴]. K مدل مختلف با استفاده از K زیرمجموعه، آموزش داده‌شده و در نهایت یک مدل نهایی را تشکیل می‌دهند. این مدل نهایی از میانگین‌گیری نتایج مدل‌ها (در شکل ۳ «نتیجه ۱»، «نتیجه ۲» و ...) و از رأی‌گیری بین مدل‌ها حاصل می‌شود. ارزیابی مدل با توجه به تعداد نمونه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، تعداد ۷۰ درصد از داده‌ها مربوط به موقعیت‌های معین، به‌عنوان داده‌های آموزشی و به‌منظور ایجاد مدل و ۳۰ درصد دیگر داده‌ها، به‌طور کامل، مستقل از داده‌های آموزشی و متعلق به مناطق جدید به‌منظور داده‌های آزمون و ارزیابی اعتبار مدل تولیدشده، به کار رفت.

میزان تورم واریانس<sup>۱</sup> به‌عنوان معیاری از وجود هم‌خطی بین پارامترها در نظر گرفته شد [۸]. هم‌خطی چندگانه زمانی وجود دارد که یک رابطه خطی یا همبستگی بین یک یا چند متغیر یا ورودی مستقل وجود داشته باشد. این ضریب یک مفهوم آماری است که نشان‌دهنده افزایش واریانس یک ضریب رگرسیون در نتیجه هم‌خطی بودن است [۱۴]. زمانی که هم‌خطی در عوامل مستقل مورد استفاده در یک مدل وجود داشته باشد، ضرایب مدل حاصل معتبر نیستند، زیرا اثر هر یک از عوامل مستقل بر متغیر وابسته یا متغیر پاسخ شامل اثر متغیرهای دیگر در مدل نیز هست [۱۲]. در این حالت باید VIF مورد بررسی قرار گیرد و در صورت بالاتر بودن از ۱۰ آن متغیر به دلیل داشتن هم‌خطی با سایر عوامل باید حذف شود [۱۲]. مراحل انجام تحقیق حاضر در شکل (۴) ارائه شده است.

عملکرد مدل با استفاده از شاخص‌های نش-ساتکلیف و  $R^2$

1. Variance Inflation Factor (VIF)

## جدول ۱: چهار طبقه ضریب نش-سانتکلیف پیشنهادی [۱۶]

| طبقه     | ضریب نش-سانتکلیف (NS) |
|----------|-----------------------|
| نامناسب  | $NS \leq 0.05$        |
| مناسب    | $0.05 < NS \leq 0.10$ |
| خوب      | $0.10 < NS \leq 0.15$ |
| خیلی خوب | $0.15 < NS \leq 0.20$ |

## نتایج و بحث

### قنات‌ها دشت مشهد-چناران

در دشت مشهد-چناران حدود ۱۳ درصد تخلیه منابع آب زیرزمینی توسط قنات‌ها صورت می‌گیرد. آبدهی متوسط قنات‌ها حدود ۱۰ لیتر بر ثانیه و سطح زیر کشت قنات‌ها به‌طور متوسط ۱۶ هکتار است. بررسی آبدهی قنات‌ها منتخب (۳۰ قنات که دارای داده‌های طولانی مدت هستند و از طرف شرکت آب منطقه‌ای به‌عنوان منابع منتخب معرفی شده‌اند) نشان داد که تقریباً تمامی قنات‌ها مورد بررسی دارای روند کاهشی در سری زمانی آبدهی، بوده‌اند.

### نتایج مدل‌سازی با استفاده از جنگل تصادفی

در ابتدا با استفاده از کد جنگل تصادفی تهیه‌شده در محیط نرم‌افزار R داده‌ها فراخوانده شدند و به‌صورت تصادفی ۷۰ درصد داده‌ها برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد داده‌ها نیز برای آزمون انتخاب شدند. در مرحله اول عامل تورم واریانس برای ارزیابی شدت هم‌خطی چندگانه در تحلیل رگرسیون در محیط نرم‌افزاری R بررسی شد. نتایج حاصل از آزمون VIF در جدول ۲ ارائه شده است.

### جدول ۲: مقادیر VIF برای متغیرهای مستقل در تحقیق حاضر

| VIF  | عامل                | ردیف |
|------|---------------------|------|
| ۱/۲۷ | بارش                | ۱    |
| ۲/۵۳ | سطح آب زیرزمینی     | ۲    |
| ۱/۱۴ | شیب سطح آب زیرزمینی | ۳    |
| ۲/۶۰ | آبدهی ویژه          | ۴    |
| ۱/۵۲ | هدایت هیدرولیکی     | ۵    |
| ۳/۰۵ | طول قنات            | ۶    |
| ۴/۰۵ | عمق مادر چاه        | ۷    |
| ۲/۳۲ | نوع قنات            | ۸    |

بر اساس تحلیل تورم واریانس (جدول ۲) می‌توان بیان نمود که هیچ‌یک از متغیرهای مستقل دارای VIF بیش از ۱۰ نمی‌باشند و بنابراین هیچ‌گونه هم‌خطی در داده‌ها وجود ندارد و طبق سوابق تحقیق [۸] این متغیرها مستقل بوده و بنابراین نیازی به حذف هیچ‌یک از آن‌ها نمی‌باشد. طبق نظر Merghadi و همکاران [۱۴] هرچه خطای استاندارد کم‌تر باشد، خطر چندخطی کم‌تر خواهد بود.

که به‌نوبه خود به معنای افزایش احتمال مدل‌سازی دقیق‌تر با استفاده از این عوامل است.

### نتایج مدل‌سازی آبدهی قنات‌ها با الگوریتم جنگل تصادفی

همان‌گونه که بیان شد ۷۰ درصد داده‌ها در مرحله مدل‌سازی (شکل ۵الف) و ۳۰ درصد در مرحله تست (شکل ۵ب) استفاده شد. نتایج مقایسه شبیه‌سازی آبدهی قنات‌ها دشت مشهد-چناران به روش جنگل تصادفی و داده‌های مشاهداتی در شکل (۵) و جدول ۳ نشان داده شده است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مدل جنگل تصادفی با  $R^2 = 0.91$  و  $0.85$  به ترتیب در مرحله آموزش و آزمون و هم‌چنین ضریب نش سانتکلیف  $0.83$  و  $0.76$  برای این دو مرحله به دست آمد. این نتایج نشان‌دهنده دقت مناسب مدل جنگل تصادفی در پیش‌بینی آبدهی قنات در دشت مشهد - چناران می‌باشد. تحقیقات متعددی کارایی خوب جنگل تصادفی را در پیش‌بینی بارش - رواناب [۴]، پتانسیل منابع آب زیرزمینی [۱۷]، تغییرات سطح ایستابی [۳۵]، تعیین مناطق سیل‌خیز [۱۳]، زمین‌لغزش [۶] و سایر مؤلفه‌های محیطی گزارش نمودند. این مدل به دلیل توانایی مدل‌سازی پایگاه داده‌های بزرگ و توانایی ادغام متغیرهای ورودی زیاد بدون تغییر متغیر قادر به برآوردهای خوبی می‌باشد. علاوه بر این جنگل تصادفی می‌تواند با تعاملات و ارتباطات غیرخطی بین عوامل مؤثر را شناسایی و پیش‌بینی نماید [۱].

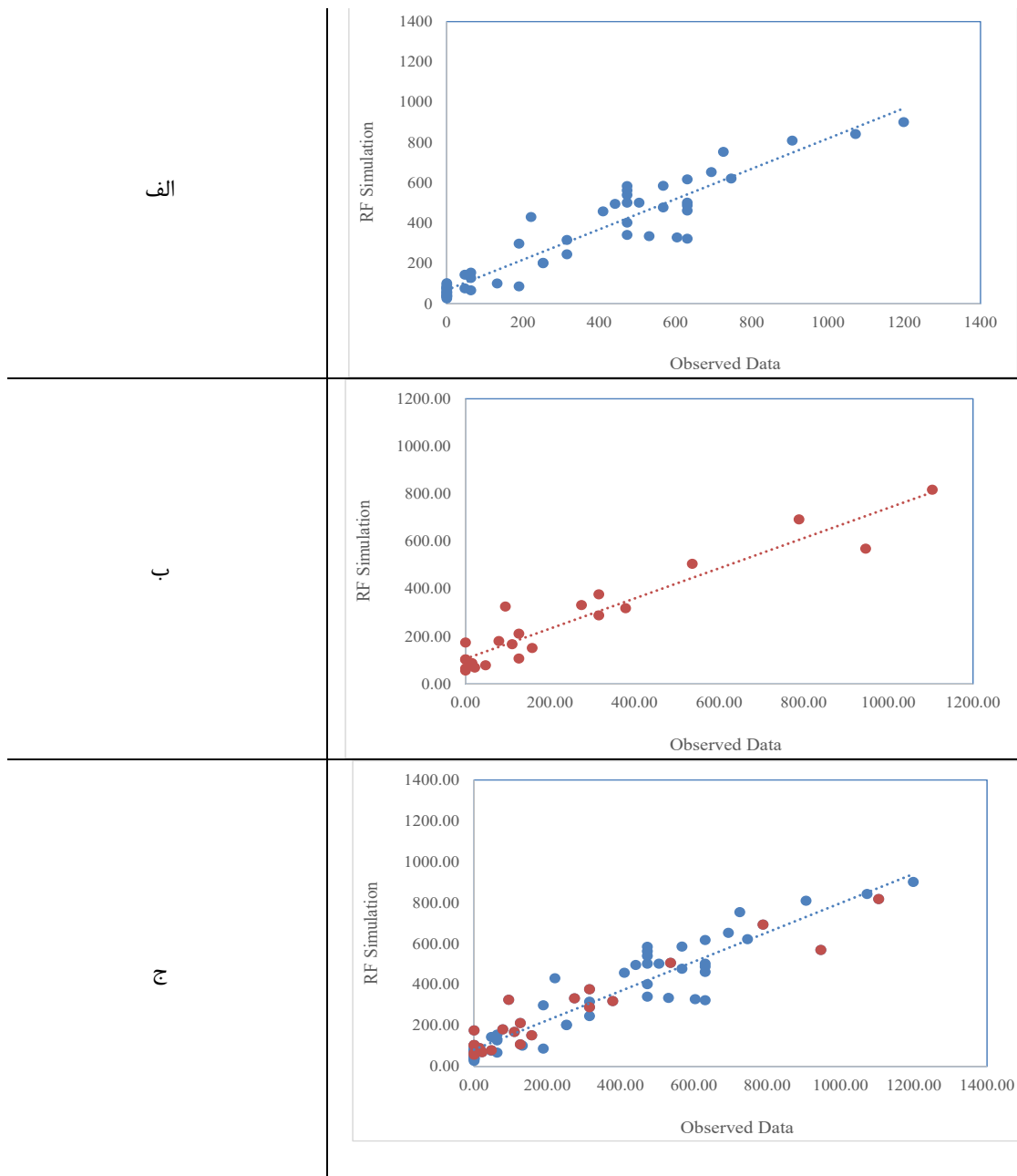
### جدول ۳: معیارهای آماری در مرحله آموزش و ارزیابی

| الگوریتم جنگل تصادفی |       |      |
|----------------------|-------|------|
| مرحله مدل‌سازی       | $R^2$ | NSE  |
| آموزش                | ۰/۹۱  | ۰/۸۳ |
| آزمون                | ۰/۸۵  | ۰/۷۶ |

### نتایج اهمیت عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

یکی از مزایای الگوریتم جنگل تصادفی اولویت‌بندی اهمیت عوامل در مدل‌سازی می‌باشد [۲۴]. نتایج خروجی تعیین اهمیت عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها آبخوان مشهد-چناران در شکل (۶) نشان داده شده است. ضریب آبدهی ویژه از خصوصیات مهم آبخوان می‌باشد (حجم آب قابل استحصال از یک‌لایه بر اثر افت یک متر سطح ایستابی) که نقش مهمی در آبدهی آبخوان و جریان و روی به قنات دارد.

مطابق شکل (۶)، عوامل اصلی کنترل جریان آب قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه شامل هندسه قنات و میزان آبدهی ویژه سفره آب زیرزمینی است. نوع قنات (هواین یا دائمی) به‌عنوان تأثیرگذارترین عامل شناخته می‌شود. این متغیر نشان‌دهنده منبع تغذیه است که ذاتاً بر تخلیه قنات تأثیر می‌گذارد. منابع تغذیه قنات‌ها هواین، جریان

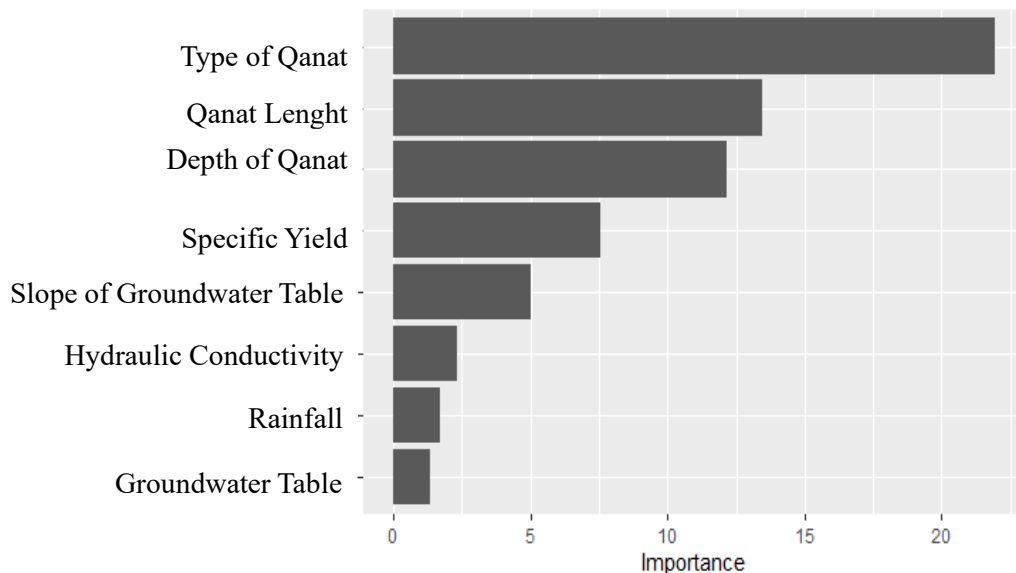


شکل ۵: مقایسه شبیه‌سازی آبدهی قنات‌ها دشت مشهد-چناران به روش جنگل تصادفی و داده‌های مشاهداتی در مرحله آموزش (الف- نقاط آبی)، آزمون (ب-نقاط قرمز) و کل داده‌ها (ج)

بخش آبدار قنات (منطقه آبیگیر) خواهند بود [۳]. هرچه طول قنات بیش‌تر باشد انتظار می‌رود که قنات در بخش آبدار بیش‌تر طی مسیر نموده و در نتیجه آبیگیری بیش‌تری از بخش اشباع داشته باشد. از سوی دیگر هر آنچه عمق قنات بیش‌تر باشد انتظار می‌رود قنات به بخش‌های پایین‌تری از قسمت اشباع وارد شده و از سوی دیگر قنات‌ها عمیق و طویل جزو قنات‌ها دائمی بوده درحالی‌که قنات‌ها فصلی و هوابین دارای مادر چاه‌های کم‌عمق‌تر و کوره‌های کوتاه‌تری هستند [۳۲]. می‌توان بیان نمود با افزایش طول گالری به دلیل تغذیه سطحی، تخلیه قنات را افزایش می‌دهد زیرا منطقه نفوذ قنات را

زیرسطحی آبراهه‌های فصلی هستند. تخلیه این قنات‌ها در فصول مرطوب به اوج خود می‌رسد و در تابستان به کم‌ترین میزان خود می‌رسد؛ بنابراین، حساسیت بالایی به تغییرات جریان زیرسطحی نشان می‌دهند و معمولاً فصلی هستند [۲۹ و ۳۲]. از طرف دیگر، قنات‌ها دائمی که از سفره‌های آب زیرزمینی عمیق تغذیه می‌شوند، تخلیه قابل توجهی دارند و نوسانات سالانه کم‌تری را در مقایسه با قنات‌ها هوابین نشان می‌دهند [۲۹].

طول قنات (گالری قنات) و عمق مادر چاه نیز دو عامل مهم در آبدهی قنات‌ها می‌باشند [۷] به گونه‌ای که این دو به نحوی نماینده



شکل ۶: تعیین عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها دشت مشهد-چناران

بنابراین، شناخت عوامل مؤثر بر آبدهی قنات در مدیریت یکپارچه منابع آب زیرزمینی بسیار مهم است. با این حال، پیش‌بینی جریان آب قنات به دلیل عوامل تأثیرگذار فراوان، کاری پیچیده است. به‌طور کلی، به‌کارگیری موفقیت‌آمیز مدل‌های یادگیری ماشین در شبیه‌سازی‌های آب‌های زیرزمینی، امکان استفاده از آن‌ها در شبیه‌سازی ویژگی‌های پیچیده هیدروژئولوژیکی قنات‌ها را نشان می‌دهد. تحقیق حاضر باهدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها دشت مشهد - چناران و همچنین ارزیابی دقت روش جنگل تصادفی در مدل‌سازی آبدهی این قنات‌ها طرح‌ریزی شده است. در ابتدا با بررسی منابع و مصاحبه با کارشناسان مختلف، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها شامل نوع قنات، عمق مادر چاه، طول گالری، سطح آب زیرزمینی، شیب سطح آب زیرزمینی، هدایت هیدرولیکی، ضریب آبدهی ویژه و بارندگی سالانه در منطقه شناسایی شد. سپس با استفاده از بسته الگوریتم جنگل تصادفی در محیط نرم‌افزار R داده‌ها فراخوانده شدند. نتایج تعیین اهمیت عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها آبخوان مشهد-چناران نشان دادمقادیر VIF برای مطالعه حاضر از ۱/۱۴ تا ۴/۰۵ متغیر بود و نشان داد که همه متغیرها مستقل هستند. در ادامه با بررسی‌ها دلالت بر آن داشت که از بین هفت عامل مورد بررسی، مهم‌ترین عوامل در آبدهی قنات‌ها دشت مشهد-چناران، خصوصیات نوع و هندسه قنات (طول قنات و عمق مادر چاه) و ضریب آبگذری ویژه آبخوان است. در نهایت نتایج ارزیابی دقت الگوریتم جنگل تصادفی در برآورد آبدهی قنات‌ها آبخوان مشهد-چناران نشان داد که مدل جنگل تصادفی با ضریب تبیین  $(R^2)$  ۰/۹۱ و ۰/۸۵ به ترتیب در مرحله آموزش و آزمون و همچنین ضریب نش سانکلیف ۰/۸۳ و ۰/۷۶ برای این دو مرحله، دارای دقت قابل قبولی می‌باشد. به‌طور کلی نتایج تحقیق حاضر حاکی از آن است که بخش غربی دشت مشهد-چناران اولین مناطق بحرانی

گسترش می‌دهد [۲۷]. قنات‌ها دائماً معمولاً دارای مادر چاه‌های عمیق‌تر و گالری‌های طویل‌تری نسبت به قنات‌ها فصلی و هوابین هستند [۲۹].

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر آبدهی قنات‌ها منطقه، آبدهی ویژه است که یک ویژگی حیاتی آبخوان محسوب می‌شود. این عامل نشان‌دهنده حجم آبی است که پس از افت یک متری سطح مخزن، از یک‌لایه قابل استخراج است. این ویژگی نقش مهمی در زهکشی آبخوان و جریان قنات ایفا می‌کند. همان‌طور که توسط Beaumont [۳] مشاهده شده است، آبدهی ویژه آبخوان در بخش ترکار (بخش تولید آب) تأثیر زیادی بر تخلیه هر قنات دارد. این نتایج در مطالعات گذشته [۲۸ و ۳۷] نیز تأیید شد که در آن افزایش آبدهی ویژه با افزایش تخلیه قنات همراه بود. این همبستگی از این واقعیت ناشی می‌شود که افزایش آبدهی ویژه، اثرات سطح آب زیرزمینی را کاهش می‌دهد. این حالت، شیب هیدرولیکی را به سمت قنات حفظ می‌کند و منجر به افزایش تخلیه می‌شود. علاوه بر این، آبدهی ویژه بالاتر، تأثیر چاه‌های مجاور بر تخلیه قنات را کاهش می‌دهد. در دسترس بودن جریان آب زیرزمینی تا حد زیادی به آبدهی ویژه بستگی دارد. با این وجود، این یک عامل متغیر مکانی است و ذاتاً با تخلخل و ویژگی‌های سفره آب زیرزمینی مرتبط است [۳۴]. در نتیجه، آبدهی ویژه به‌عنوان یک عامل حیاتی برای مدیریت آب‌های زیرزمینی قنات محسوب می‌شود [۳۸].

### نتیجه‌گیری

قنات‌ها نه تنها سازه‌های باستانی تأمین آب برای مردم نیستند، بلکه بخش اجتناب‌ناپذیری از منابع آب زیرزمینی ایران نیز می‌باشند. جریان آب قنات‌ها فقط از طریق نیروی جاذبه صورت می‌گیرد و هیچ نیروی ساخته دست بشر (مانند پمپ) نقشی در جریان آن ندارد؛

Machine Learning and Generalized Bayesian Linear Model. Environment and Water Engineering, 6(1): 83-95. (In Persian)

2. Babran, S. 2008. Water Crisis in Iran and the World. Rahbord Journal, 15 (48): 193. (In Persian)

3. Beaumont, P. 1971. Qanat systems in Iran. Hydrological Sciences Journal, 16(1): 39-50

4. Bhusal, A., Parajuli, U., Regmi, S., and Kalra, A. 2022. Application of machine learning and process-based models for rainfall-runoff simulation in Dupage River basin, Illinois. Hydrology, 9(7): 117.

5. Breiman, L. 2001. Random forests. Machine learning, 45, 5-32.

6. Dastranj, A., and Shadfar, S. 2022. Predicting the susceptibility of landslide occurrence in order to manage landslide risk in Bar Neyshabur watershed, Journal of Disaster Prevention and Management Knowledge, 12(3): 253-268. (In Persian)

7. Dastranj, A., and Rajaei, H. 2023. Investigating the factors affecting the Qanat discharge as a method for sustainable harvesting water from underground water resources. Journal of Rainwater Catchment Systems; 10 (4): 5. (In Persian)

8. Dou, J., Yunus, A. P., Bui, D. T., Merghadi, A., Sahana, M., Zhu, Z., and Pham, B. T. 2019. Assessment of advanced random forest and decision tree algorithms for modeling rainfall-induced landslide susceptibility in the Izu-Oshima Volcanic Island, Japan. Science of the total environment, 662, 332-346.

9. Ghasemi, A. 2012. A brief look at the historical course of destruction of the country's water resources, causes, consequences and solutions. Tehran: Bureau of Research and Policies of Production Sectors. (In Persian)

10. Hemasinghe H, Rangali R. S, Deshapriya N. L, Samarakoon L. 2018. Landslide susceptibility mapping using logistic regression model (a case study in Badulla District, Sri Lanka). Procedia engineering, 212, 1046-1053.

11. Hong, H., Pradhan, B., Xu, C., Bui, D. 2015. Spatial prediction of landslide hazard at the Yihuang area (China) using two-class kernel logistic regression, alternating decision tree and support vector machines. Catena, 133: 266-281.

12. Khosravi, K., E. Nohani, E. Maroufinia and

از نظر کاهش دبی قنات است؛ بنابراین لازم است اقدامات اجرایی برای احیای قنات‌ها در این حوزه متمرکز شود. از طرفی با استفاده از مدل RF ایجاد شده در این تحقیق، می‌توان تأثیر سناریوهای مختلف دبی قنات مانند افزایش طول و هم‌چنین عمق مادر چاه را بر دبی قنات قبل از اجرای هرگونه هزینه شبیه‌سازی کرد.

### پیشنهادات

ارائه گزارشی از محدودیت‌های مطالعه، شامل شکاف‌های داده‌ای، عدم قطعیت در پارامترهای ورودی و غیره، می‌تواند اطلاعات تکمیلی را در اختیار خوانندگان قرار دهد. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که محدودیت‌های زیر در این تحقیق وجود داشته است:

-اطلاعات تمام قنات‌ها منطقه مورد مطالعه در دسترس نیست که منجر به عدم استفاده از آن‌ها در مدل‌سازی شده است. با اضافه کردن قنات‌ها جدید در فرآیند مدل‌سازی، ممکن است نتایج متفاوتی حاصل شود.

-به دلیل عدم جمع‌آوری داده‌های بلندمدت از قنات‌ها موجود در منطقه، مدل‌سازی تغییرات زمانی قنات‌ها امکان‌پذیر نبود.

-ویژگی‌های سفره‌های آب زیرزمینی در سال‌های مختلف و توسط افراد مختلف ثبت شده است و اطلاعات حاصل ممکن است متناقض باشد و بر نتایج مدل‌سازی تأثیر بگذارد.

-هم‌چنین، آسیب‌های احتمالی به قنات، مانند آسیب به مسیر گالری یا ریزش در دهانه چاه و غیره که ممکن است بر تخلیه سفره آب زیرزمینی توسط قنات تأثیر بگذارد، باید ثبت شود.

پیشنهادات زیر برای تحقیق‌های آینده پیشنهاد می‌شود:  
- مطالعات آینده باید عدم قطعیت داده‌های ورودی را بررسی کرده و تحلیل‌های حساسیت را بر روی ورودی‌های مدل انجام دهند.

- توصیه می‌شود تحقیقات آینده تأثیرات سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی و نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی بر تخلیه قنات را شبیه‌سازی کنند و قنات‌های را که احتمالاً بحرانی می‌شوند، در اولویت قرار دهند.

### سپاسگزاری

این پژوهش در قالب پروژه تحقیقاتی ۹۹۰۳۷-۹۹۰۸۰۶-۲۹-۴۳-۱۲۴، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. نگارندگان بدین‌وسیله از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی به دلیل پشتیبانی‌های مختلف ایشان در طول انجام پژوهش، صمیمانه قدرانی می‌کنند.

### منابع

1. Avand, M. T., Moradi, H. R., and Ramazanzadeh, M. 2020. Flood Susceptibility Mapping Using Random Forest

Moghadas, M. 2014. Hydrology modelling in Taleghan mountainous watershed using SWAT. *Journal of Water and Land Development*.

23. Papoli Yazdi, M., and Vosoghi, F. 2021. Cultural Analysis of Indigenous Knowledge in the Aqueduct Tool Chain, *Journal of Indigenous Knowledge*, 6(12): 9-40. (In Persian)

24. Rahmati, O., Choubin, B., Fathabadi, A., Coulon, F., Soltani, E., Shahabi, H., Mollaefar, E., Tiefenbacher, J., Cipullo, S., Ahmad, B.B.; Bui, D.T. 2019. Predicting uncertainty of machine learning models for modelling nitrate pollution of groundwater using quantile regression and UNEEC methods. *Science of the Total Environment*, 688: 855-866.

25. Rostami Khalaj, M. 2023. Modeling groundwater surface changes and its impact on Qanat discharge using the GMS model in Selected Mashhad-Chenaran Qanats, Final Report of Research project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. (In Persian)

26. Safaie, F., Yazdi, F., Shojaii, M. 2021. Archaeology of water structures with a focus on the aqueducts of Khorasan. *Biannual Journal of Iranian Archaeology*, 20: 69-81.

27. Samani, S., Vadiati, M., Delkash, M., Bonakdari, H. 2023. A hybrid wavelet-machine learning model for qanat water flow prediction. *Acta Geophysica*, 71(4): 1895-1913

28. Sedghi, M.M., and Zhan, H. 2020. Semi-analytical solutions of discharge variation of a qanat in an unconfined aquifer subjected to general areal recharge and nearby pumping well discharge. *Journal of Hydrology*, 584: 124691.

29. Semsar Yazdi, A.A., and LabbafKhaneiki, M. 2016. *Qanat knowledge: Construction and maintenance*. Springer.

30. Sheikhi, D., and Pazoki, M. 2021. Study of social functions of Qanat (subterranean) in rural areas with emphasis on social capital indicators (Case study: Hamadan township), *Journal of Economic geography research*, 2(3): 59-73. (In Persian)

31. Soltnai Mohammadi, M. 2018. The Impact of Qanat in Physical Form Case Study: Mohammadiyah Village, Nain, Iran, *Journal of Architecture Hot and dry climate*, 5(6): 97-115. (In Persian)

32. Tabatabaei, S. M., and Khozaymehnezhad, H. 2019. Investigating the Effect of Indigenous Knowledge of Qanat on the Dimensions of Sustainable Development, *Iranian*

Pourghasemi, H.R. 2016. A GIS -based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights - of-evidence bivariate statistical models with multi -criteria decision -making technique. *Natural Hazards*, 83(2): 947 -987.

13. Kim, H. I., and Kim, B. H. 2020. Flood hazard rating prediction for urban areas using random forest and LSTM. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(12): 3884-3896.

14. Merghadi, A., Yunus, A. P., Dou, J., Whiteley, J., ThaiPham, B., Bui, D. T. and Abderrahmane, B. 2020. Machine learning methods for landslide susceptibility studies: A comparative overview of algorithm performance. *Earth-Science Reviews*, 207, 103225.

15. Mirani Moghadam, Karami, Gh. H., Bagheri, R. 2020. Hydrogeological Assessment of the Gonabad Plain Qanats, *Journal of Hydrogeology*, 4(2): 34-47. (In Persian)

16. Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3): pp.885-900.

17. Naghibi, S. A Ahmadi, K., and Daneshi, A. 2017. Application of support vector machine, random forest, and genetic algorithm optimized random forest models in groundwater potential mapping. *Water Resources Management*, 31: 2761-2775.

18. Naghibi, S.A., Pourghasemi, H.R., and Abbaspour, K. 2018. A comparison between ten advanced and soft computing models for groundwater qanat potential assessment in Iran using R and GIS. *Theoretical and applied Climatology*, 131: 967-984.

19. Nejad Ebrahimi, A., Keynejad, M., and Heydari, M. 2021. An Analysis on the Role of. *Geographical Planning of Space*, 11(40): 103-118.

20. Noor, H. 2017. Analysis of groundwater resources utilization and their current condition in Iran. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 5(2): 29-38. (In Persian)

21. Noor, H., Fazli, S., Rostami, M., and Kalat, A. 2017. Cost-effectiveness analysis of different watershed management scenarios developed by simulation-optimization model. *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(5): 1316-1324.

22. Noor, H., Vafakhah, M., Taheriyoun, M., and

36. Yao, J., Qin, S., Qiao, S., Liu, X., Zhang, and Chen, J. 2022. Application of a two-step sampling strategy based on deep neural network for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(4): 1-20.
37. Yousefirad, M., Mokhtar, S., Mahbod, A. 2012. The influential factors on the qanat hydrogeology. *J Food Agric Environ*, 10(2): 843-848
38. Zhou, H., Gómez-Hernández, J.J., and Li, L. 2014. Inverse methods in hydrogeology: evolution and recent trends. *Advance Water Resource*, 63: 22.
- Journal of Rainwater Catchment Systems, 7(1): 31-44. (In Persian)
33. Veicy, H. 2021. The Water Crisis in the Central Plateau of Iran and the Necessity of Paying Attention to the Indigenous Knowledge of Qanat in Iran (Case study: Joupar's GuharRiz Qanat), *Geography*, 18(67): 104-116. (In Persian)
34. Vrettas, M.D., and Fung, I.Y. 2015. Toward a new parameterization of hydraulic conductivity in climate models: simulation of rapid groundwater fluctuations in Northern California. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. 7 (4): 2105–2135.
35. Wang, X., Liu, T., Zheng, X., Peng, H., Xin, J., and Zhang, B. 2018. Short-term prediction of groundwater level using improved random forest regression with a combination of random features. *Applied Water Science*, 8, 1-12.



## Abstract

## Predicting Qanats Water Flow of Mashhad-Chenaran Plain Using the Random Forest Algorithm

H. Noor<sup>1</sup>, M. Rostami Khalaj<sup>1</sup> and A. Dastranj<sup>1</sup>

Received: 2025/06/11 Accepted: 2026/02/08

Qanat discharge depends on several factors, and due to the complexity and nonlinear relationships between factors, machine learning algorithms such as random forest can be used appropriately in modeling qanat discharge. In this regard, the present study was designed to determine the accuracy of the random forest algorithm in estimating the discharge of qanats in the Mashhad-Chenaran plain. For this purpose, data from 78 qanats in the Mashhad-Chenaran aquifer were used. Of these, 70% were used for training and 30% of the data were used for testing the random forest model in the R software environment. The results of determining the importance of factors affecting the discharge of qanats in the Mashhad-Chenaran aquifer showed that the most important factors in the discharge of qanats in the Mashhad-Chenaran plain are the characteristics of the type and geometry of the qanat (qanat length and depth of the mother well) and the specific water permeability coefficient. Finally, the results of the assessment of the accuracy of the random forest algorithm in estimating the water yield of the Mashhad-Chenaran aquifer qanats showed that the random forest model has acceptable accuracy with  $R^2$  of 0.91 and 0.85 in the training and evaluation stages, respectively, and also the Nash-Sutcliffe coefficient of 0.83 and 0.76 for these two stages. Using the RF model created in this study, the impact of different qanat discharge scenarios, such as increasing the length and depth of the well head, on the qanat discharge can be simulated before any costs.

**Keywords:** Groundwater Level, Geometric Characteristics of Qanat, Machine Learning, Modelling

1. Soil Conservation and Watershed Management Department, Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Centre, Mashhad, Iran.  
\*Email: H.Noor@areeo.ac.ir