

واژه‌های کلیدی: روش *Quantile*، شاخص رطوبت *GIS. ROC*.

مقدمه

کشور ایران یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. مناطق خشک و نیمه‌خشک همواره با مسائل کمبود آب مواجه بوده‌اند و به‌ویژه با افزایش جمعیت و افزایش نیازها و مصارف مختلف، بحران کمبود آب، چشم‌گیرتر شده است. منابع آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین و باارزش‌ترین منابع آب شیرین جهان هستند که به دلیل نوساناتی که دارند، اندازه‌گیری فضایی و زمانی آن مشکل است [۱]. سیستم اطلاعات جغرافیایی یکی از ابزارهای قدرتمند جهت طبقه‌بندی و تحلیل اطلاعات است که امروزه به‌طور گسترده‌ای جایگزین اکتشافات و آزمایش‌های مکانی شده است. جلوگیری از اتلاف زمان و هزینه و امکان انجام تحلیل‌های پیچیده داده‌های مکانی و غیرمکانی و انعطاف‌پذیری این سیستم نسبت به اطلاعات و موضوعات مختلف از جمله دلایل مهم در بهره‌گیری از آن به‌ویژه در سال‌های اخیر به شمار می‌رود [۵]. با توجه به این که استفاده از آب‌های زیرزمینی برای مقاصد و اهداف گوناگون به‌شدت رو به افزایش است و بیش‌تر آبخوان‌های آبرفتی و سفره‌های آب زیرزمینی با بهره‌برداری بیش‌ازحد مجاز روبه‌رو هستند، تعیین مناطق با پتانسیل‌های مختلف آب زیرزمینی ضرورت پیدا می‌کند و این اطلاعات می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های مربوط به مناطق مختلف داشته باشد. با توجه به این که کشورهای در حال توسعه هم‌چون ایران با محدودیت‌های زیادی در دستیابی به اطلاعات هیدرولوژیکی و اداکیکی مواجه هستند، جایگاه مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی بیش‌ازپیش بر همگان روشن می‌شود [۱۲] و [۱۳]. طهماسبی پور و ارشیا [۱۶] در مطالعه‌ای به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت‌های دهران و موسیان_آبدانان استان ایلام با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی^۵ و شاخص آماری^۶ پرداختند. پارامترهای مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی در این مطالعه، پارامترهایی همچون سنگ‌شناسی، ژئومورفولوژی، شیب، جهت شیب، تراکم زهکشی، کاربری اراضی، خاک، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی و انحنا^۷ سطح زمین بود. از چاه‌های موجود در منطقه، ۷۰ درصد چاه آموزشی (تعداد ۲۵۳ عدد) و ۳۰ درصد چاه اعتبارسنجی (تعداد ۱۰۸ عدد) به‌صورت تصادفی انتخاب و تقسیم گردید و تحلیل‌های لازم بر کلاس و نقشه‌ها صورت گرفت سپس نقشه‌ها هم‌پوشانی شدند،

پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های وزن شواهد و شاخص آماری در محدوده نجف‌آباد

حجت‌الله یونسی^{۱*}، حسن ترابی پوده^۲، بابک شاهی نژاد^۳ و آزاده ارشیا^۴

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۶

چکیده

منابع آب زیرزمینی از باارزش‌ترین منابع جهت تأمین آب برای مصارف مختلف به شمار می‌روند. در این پژوهش پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی نجف‌آباد با استفاده از روش شاخص آماری و وزن شواهد موردبررسی قرار گرفت. بدین‌منظور ابتدا ۴۴۸۴ حلقه چاه موجود در این محدوده که دارای آبدهی بیش‌تر از ۱۱ لیتر در ثانیه بود به‌صورت تصادفی به دودسته گروه آموزش (۷۰ درصد) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) تقسیم شدند. سپس لایه‌های رقومی متغیرهای مؤثر در پتانسیل آب‌های زیرزمینی (ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنا^۷ سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، کاربری اراضی، خاک، سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه و تراکم زهکشی) در محیط ArcGIS10.5 ساخته شد و سپس با استفاده از روش همپوشانی وزنی، نقشه نهایی پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی تهیه شد. در نهایت برای تعیین صحت نقشه نهایی با استفاده از نرم‌افزار SPSS19، منحنی ROC مربوط به نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی تهیه شد. میزان دقت بر اساس این منحنی برای مدل شاخص آماری ۹۳/۲ و برای مدل وزن شواهد ۷۴/۱ درصد به دست آمد که بیانگر دقت بالای مدل شاخص آماری در مقایسه با مدل وزن شواهد برای این منطقه است. بنابراین می‌توان گفت استفاده از مدل‌های مبتنی بر GIS برای پتانسیل‌یابی مناطق مستعد آب زیرزمینی، مناسب و قابل‌اعتماد هستند و نتایج پیش‌بینی حاکی از این بود که لایه‌های مؤثر انتخابی در این مطالعه برای دست‌یابی به مناطق مستعد آب زیرزمینی مناسب است.

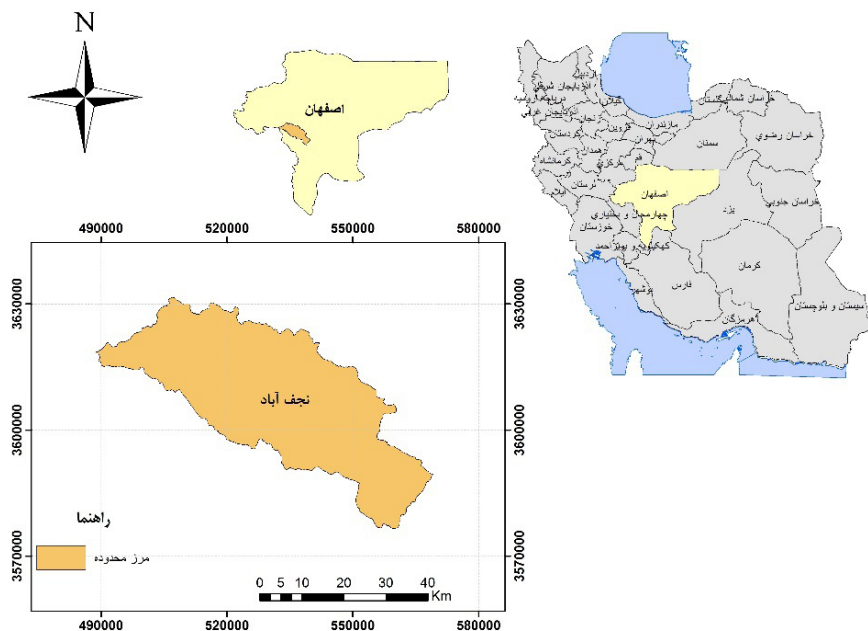
۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان
نویسنده مسئول: Email: yonesi.h@lu.ac.ir

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

۴- ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

5. Frequency Ratio
6. Statistical Index



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی نجف‌آباد در ایران و استان اصفهان

مطالعه‌ای به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه ازنا-الیگودرز با استفاده از متغیرهای محیطی و مدل نسبت فراوانی پرداختند. این محققین نیز در مطالعه‌ی خود عوامل مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی هم‌چون ارتفاع زمین، سنگ‌شناسی، انحناى سطح زمین و غیره را در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه کردند و با استفاده از مدل نسبت فراوانی به نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی دست یافتند. دقت مدل در مطالعه‌ی ایشان، ۷۲/۱ درصد و نشان‌دهنده مناسب بودن نتایج مدل نسبت فراوانی بود. شفیعی و رحمانی [۱۵] در مطالعه‌ای به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با مدل آنتروپی شانون حوضه آبریز دشت نورآباد ممسنی پرداختند. در این پژوهش با استفاده از ۹ لایه رستری از محدوده جهت پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حوضه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج ارزیابی مدل آنتروپی شانون با استفاده از منحنی (ROC) نشان داد که مقدار AUC برابر ۸۵ درصد می‌باشد که مقدار آن بالا و قابل قبول است.

در مطالعه حاضر مناطق مستعد آب زیرزمینی با دو روش شاخص آماری و وزن شواهد در محدوده مطالعاتی نجف‌آباد مشخص می‌شوند و نقشه نهایی پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از هر دو مدل در این منطقه ارائه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

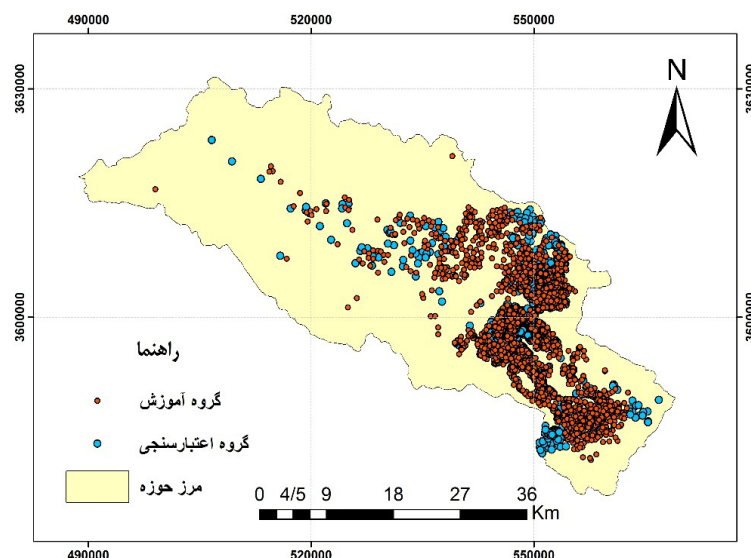
محدوده مطالعاتی نجف‌آباد با مساحتی بالغ بر ۱۷۵۳/۵ کیلومتر مربع در استان اصفهان واقع شده است. حداکثر ارتفاع منطقه ۲۸۵۵ متر و حداقل آن ۱۵۱۹ متر از سطح دریا قرار دارد. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی نجف‌آباد در ایران و استان اصفهان و شکل ۲ نیز موقعیت چاه‌های منطقه مشاهده می‌شود.

در نهایت نقشه‌های پتانسیل منابع آب زیرزمینی برای هر کدام از مدل‌ها تولید شد. برای ارزیابی کارایی مدل‌ها از روش منحنی ROC^۱ استفاده شد، نتایج نشان داد مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری به ترتیب با ۹۹ و ۹۳ درصد کارایی بسیار خوبی را در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در آن منطقه دارا هستند. ژائو^۲ و همکاران [۲۳] از مدل‌های SI و CF^۳ برای پتانسیل‌یابی زمین‌لغزه در منطقه شانسی در چین استفاده کردند. دقت روش‌های ذکر شده به ترتیب، ۷۰/۱۹ و ۷۰/۴۸ به دست آمد که نشانگر قابل قبول بودن این مدل‌ها برای پتانسیل‌یابی در آن منطقه بود. فلاح و همکاران [۸] با استفاده از مدل‌های شاخص آماری و نسبت فراوانی و وزن شواهد به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در سطح استان لرستان پرداختند. دقت روش‌های مذکور به ترتیب ۷۷/۷، ۷۶/۳ و ۸۳/۷ محاسبه شد که نشان‌دهنده دقت بالای مدل‌های مذکور و به‌ویژه مدل وزن شواهد در آن منطقه بود. فلاح و همکاران [۹] در مطالعه‌ای به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد با استفاده از مدل شاخص آماری پرداختند و ۷۰ درصد چاه‌های موجود را برای آموزش و ۳۰ درصد را برای اعتبارسنجی به‌طور تصادفی جدا کردند و سپس لایه‌های رقومی مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی شامل لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب و چند عامل مؤثر دیگر را در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و با استفاده از روش همپوشانی وزنی، نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی را در چهار طبقه پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد ارائه دادند. میزان دقت نقشه نهایی بر اساس منحنی ROC، ۸۲ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بسیار خوب مدل شاخص آماری در آن منطقه بود. قربانی نژاد و همکاران [۱۰] در

1. Receiver Operating Characteristic

2. Zhao

3. Certainty Factor



شکل ۲: موقعیت چاه‌های موجود برای مراحل آموزش و اعتبارسنجی مدل‌ها در محدوده نجف‌آباد

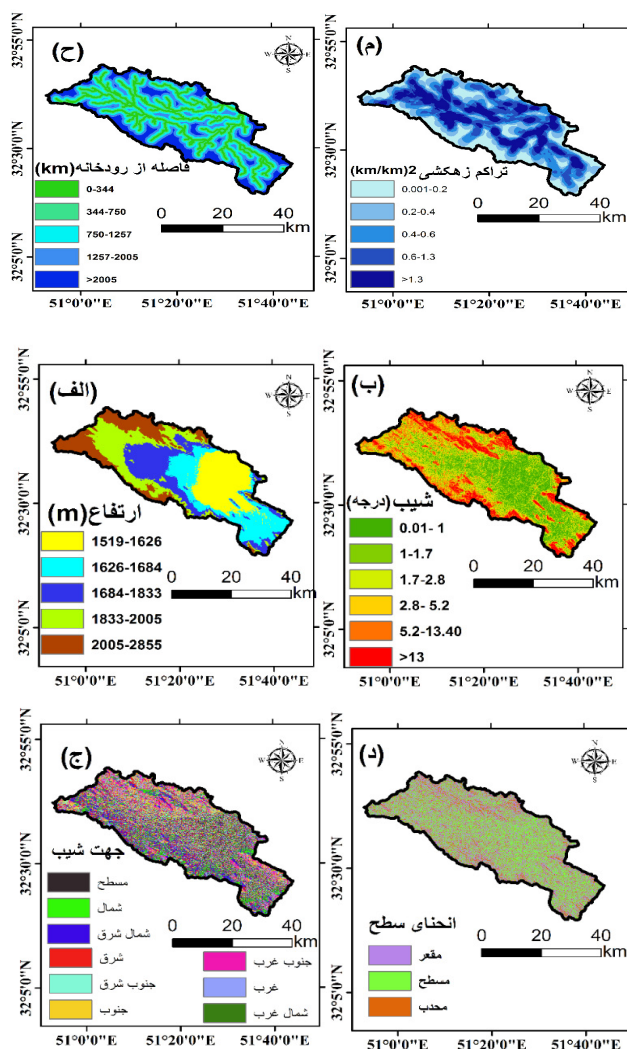
خاک، کاربری اراضی، تراکم شبکه آبراهه، فاصله از شبکه آبراهه و شاخص رطوبت توپوگرافی ساخته شد و در شکل ۳ ارائه شده‌اند.

انتخاب عوامل مؤثر در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی

با توجه به داده‌های موجود و بر اساس پژوهش‌های مختلف صورت گرفته در این زمینه هم‌چون مطالعات انتظاری و غلامی [۷]، رحیمی و همکاران [۱۴]، طهماسبی پور و ارشیا [۱۶]، قربانی نژاد و همکاران [۱۰]، لایه‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنا، سطح، فاصله از رودخانه، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص توان جریان، کاربری اراضی، خاک و سنگ‌شناسی به‌عنوان لایه‌های مؤثر در ایجاد پتانسیل منابع آب زیرزمینی انتخاب شدند. نقشه سنگ‌شناسی منطقه از نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه‌شده در سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شد. نقشه کاربری اراضی منطقه از نقشه تهیه‌شده در اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان تهیه شد. لایه‌های شیب و جهت شیب از نقشه‌ی پایه‌ی مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم‌افزار Arc GIS10.5 ساخته شدند و در طبقات مختلف کلاس‌بندی شدند. پس از تهیه‌ی نقشه آبراهه‌ها در محیط Arc GIS10.5 و انجام اصلاحات لازم این نقشه به پنج کلاس تقسیم شد. شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) که از نقشه‌های مفید برای تعیین مناطق دارای پتانسیل منابع آب زیرزمینی است از رابطه‌ی ۱ به‌دقت آمد:

$$TWI = \ln \left(\frac{As}{S} \right) \quad (1)$$

که در آن As و S به‌ترتیب بیانگر سطح ویژه منطقه و درصد شیب زمین است. این نقشه درنهایت به سه طبقه کلاس‌بندی شد. با توجه به منابع مختلف به‌منظور بررسی اثر هر عامل بر میزان پتانسیل آب زیرزمینی از ده لایه شامل لایه‌های ارتفاع، انحنا، سطح، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و خاک استفاده می‌شود. نقشه عوامل ورودی مدل‌های شاخص آماری و وزن شواهد، شامل لایه‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنا، سطح، سنگ‌شناسی،



طبقات باارزش وزنی صفر بیانگر عدم وجود چاه در آن طبقه است. در نهایت وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر کلاس در محیط نرم‌افزار Arc GIS10.5 در تمامی لایه‌ها اعمال و سپس با به‌کارگیری توابع روی هم گذاری و ماشین حساب رستری، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شد.

مدل وزن شواهد^۱

یکی از اولین روش‌های دومتغیره کاربردی که اولین بار به‌منظور اکتشاف مواد معدنی در مطالعه [۳] این روش بر پایه‌ی انحراف معیار با ترکیب اطلاعات برای پیش‌بینی وقوع حوادث، زمانی که داده‌های در دسترس به حد کافی برای ارزیابی اهمیت نسبی لایه‌ها با میانگین آماری وجود دارد به‌کاربرده می‌شود [۲]. با استفاده از نقشه‌های پایه با تفکیک مکانی ۳۰ متر، وزن‌های منفی (W^-) و مثبت (W^+) برای هر پارامتر اساسی محاسبه می‌شود، روش اندازه‌گیری وزن برای هر عامل بر اساس حضور (B) یا عدم حضور پدیده (A) در منطقه با روابط ۳ و ۴ و ۵ محاسبه می‌شود [۲۶].

$$W^+ = \ln \left\{ \frac{p(B|A)}{P(B|\bar{A})} \right\} \quad (۳)$$

$$W^- = \ln \left\{ \frac{p(\bar{B}|A)}{P(\bar{B}|\bar{A})} \right\} \quad (۴)$$

$$C = W^+ - W^- \quad (۵)$$

که در این جا P احتمال با پایه‌ی لگاریتمی است. ضرایب B و $\bar{B}$ به‌ترتیب حضور و عدم حضور عامل شرطی و $\bar{A}$ و A حضور و عدم حضور پدیده است [۲۰]. وزن منفی (W^-) بیانگر عدم حضور عامل شرطی در موقعیت مکانی پدیده و وجود رابطه‌ی منفی بوده و در مقابل وزن مثبت (W^+) بیانگر حضور عامل شرطی در موقعیت مکانی پدیده بوده و مقدار این وزن، همبستگی بین آن عامل و وقوع پتانسیل آب زیرزمینی را بیان می‌کند [۱۵]. اختلاف میان دو وزن مثبت و منفی تفاوت وزنی میان عامل شرطی و وقوع پتانسیل آب زیرزمینی را نشان می‌دهد [۶]. ضریب C در صورت وجود رابطه‌ی مثبت دارای مقدار مثبت و در صورت وجود رابطه‌ی منفی مقدار منفی است. انحراف معیار W از رابطه ۶ محاسبه می‌شود:

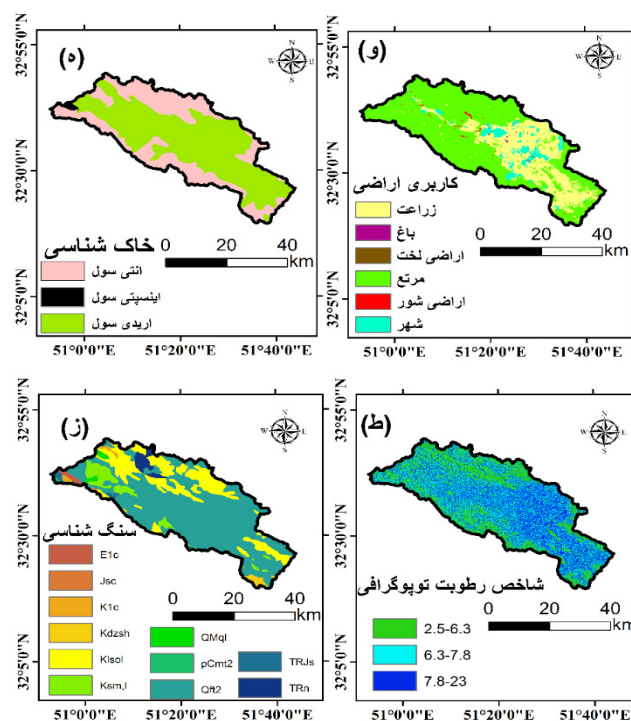
$$S(C) = \sqrt{S^2(W)^+ + S^2(W)^-} \quad (۶)$$

که در معادله مؤلفه‌های $S^2(W)^+$ و $S^2(W)^-$ به‌ترتیب واریانس وزن‌های مثبت و منفی است. واریانس وزن‌ها می‌تواند به‌وسیله‌ی روابط ۷ و ۸ محاسبه شود [۳].

$$S^2(W)^+ = \frac{1}{N\{B \cap A\}} + \frac{1}{B \cap \bar{A}} \quad (۷)$$

$$S^2(W)^- = \frac{1}{N\{B \cap A\}} + \frac{1}{B \cap \bar{A}} \quad (۸)$$

1. Weights-of-evidence



شکل ۲: عوامل ورودی مدل‌های شاخص آماری و وزن شواهد

بررسی آمار موقعیت چاه‌ها

به‌منظور بررسی و تعیین مناطق دارای پتانسیل منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی نجف‌آباد، نقشه‌ی موقعیت چاه‌های منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5 تهیه شد. در این منطقه ۴۴۸۴ حلقه چاه ثبت شده است که از میان آن‌ها به‌طور تصادفی ۷۰ درصد به‌عنوان گروه آموزشی و ۳۰ درصد به‌منظور اعتبارسنجی مدل خواهد بود.

روش شاخص آماری (Statistical Index)

این روش نخستین بار توسط یان و یان [۲۲] با نام روش ارزش اطلاعات به کار گرفته شد. این روش در نهایت توسط وان وستن [۱۹] به روش شاخص آماری تغییر نام داده شد و با این عنوان در مطالعات مختلفی هم‌چون یالسنین [۲۱] و بوی و همکاران [۴] مورد استفاده قرار گرفت. این روش بر اساس توزیع مکانی چاه‌ها در کلاس‌های مختلف عوامل است. از آنجایی که لگاریتم طبیعی (Ln) برای طبقات با تعداد چاه صفر وجود ندارد این محاسبات فقط برای طبقات دارای چاه انجام می‌شود. محاسبات این روش بر پایه‌ی رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$Si = \ln \left[\frac{\sum Npix(Gi)}{\sum Npix(Ni)} \right] \quad (۲)$$

که در آن G_i فراوانی چاه در هر کلاس و N_i فراوانی پیکسل هر کلاس، $\sum Npix(G_i)$ مجموع چاه‌ها در هر کلاس و $\sum Npix(N_i)$ مجموع پیکسل‌ها در هر کلاس است. در این روش، وزن کم هر طبقه بیانگر کم بودن تعداد وقوع چاه‌ها در آن طبقه است و بالعکس.

آماري و وزن شواهد در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱: تعداد پیکسل‌ها و چاه‌ها در هر طبقه از لایه‌ها در مدل‌های شاخص آماری و وزن شواهد

عامل	تعداد چاه	تعداد پیکسل	کلاس
شاخص رطوبت توپوگرافی	۱۳۹	۶۶۶۵۰۲	۲/۵-۶/۳
	۱۱۸۲	۷۵۳۰۷۲	۶/۳-۷/۸
	۱۸۲۰	۷۱۲۲۷۵	۷/۸-۲۳
شیب (درجه)	۱۵۶۳	۴۱۱۸۹۷	۰/۰۱-۱
	۱۰۵۴	۳۸۰۸۲۶	۱-۱/۷
	۳۹۳	۳۵۸۵۱۶	۱/۷-۲/۸
	۱۲۰	۳۲۹۲۲۹	۲/۸-۵/۲
	۱۰	۳۲۵۹۴۱	۵/۲-۱۳/۴
	۱	۳۲۵۴۴۰	۱۳/۴-۲۳
	۲۴۵	۴۸۹۶۴۱	۰/۰۰۱-۰/۲
تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	۵۰۶	۴۱۱۱۶۷	۰/۲-۰/۴
	۸۹۳	۴۱۵۸۳۲	۰/۴-۰/۶
	۸۰۲	۴۰۸۳۱۷	۰/۶-۱/۳
	۶۹۵	۴۰۶۸۹۲	۱/۳-۲
	۲۷	۵۸۴۶۲۴	۲-۳
کاربری اراضی	۰	۲۲۵۴	زراعت
	۰	۸۰	باغ
	۶۶	۱۴۰۹۶۵۳	اراضی لخت
	۱	۱۱۲۸۸	مرتفع
	۶	۱۲۳۹۵۰	اراضی شور
	۸۱۰	۴۱۷۷۲۹	شهر
	۸۳۰	۴۳۷۸۱۰	۰-۳۴۴
فاصله از رودخانه (متر)	۷۳۴	۴۳۴۸۸۲	۳۴۴-۷۵۰
	۶۳۱	۴۲۰۸۳۶	۷۵۰-۱۲۵۷
	۱۳۶	۴۲۵۹۲	۱۲۵۷-۲۰۰۵
	۲۳۴۹	۴۳۴۲۶۳	>۲۰۰۵
ارتفاع	۷۶۴	۴۲۷۳۹۰	۱۵۱۹-۱۶۲۶
	۲۱	۴۲۵۲۹۱	۱۶۲۶-۱۶۸۴
	۵	۴۲۲۷۵۸	۱۶۸۴-۱۸۳۳
	۲	۴۲۲۱۵۷	۱۸۳۳-۲۰۰۵
	۲۸۳	۸۳۰۵۰۹	۲۰۰۵-۲۸۵۵
	۰	۱۳۶۴۸	انتی سول
خاک	۲۸۵۸	۱۲۸۷۶۹۵	اینسپتی سول
	۳۳۷	۹۴۴۰۹	اریدی سول
	۳۸۶	۲۴۵۹۴۹	مسطح
جهت شیب	۳۸۶	۳۵۶۱۳۷	شمال
	۳۰۳	۲۹۸۴۳۹	شمال شرق
	۳۳۷	۲۵۴۹۹۵	شرق
	۲۵۴	۲۶۲۶۱۰	جنوب شرق
	۳۱۸	۲۵۷۴۰۱	جنوب
	۳۰۵	۱۸۳۹۴۹	جنوب غرب
	۴۰۵	۱۷۷۹۴۰	غرب
			شمال غرب

اختلاف استیودنت میزان اختلاف C با صفر نشان می‌دهد که اگر این اختلاف دارای مقدار کم و یا نزدیک به صفر باشد، می‌توان گفت به احتمال زیاد اختلاف واقعی است. اختلاف استیودنت یک روش اندازه‌گیری اطمینان است که از رابطه ۹ محاسبه می‌شود [۱۵]:

$$W_{final} = \left(\frac{C}{S(C)} \right) \quad (9)$$

برای محاسبه وزن نهایی هر عامل، وزن‌های مثبت و منفی کلاس‌های متعدد هر عامل باهم جمع می‌شوند. اگر وزن عاملی مثبت باشد، در وقوع پدیده ایفاگر نقش بوده و در صورتی که وزن عامل منفی باشد، عدم اثر عامل در بروز این پدیده را نشان می‌دهد. برخی از عوامل هم تأثیر ناچیزی در وقوع پدیده داشته که وزن آن‌ها صفر و یا نزدیک به صفر است. با وارد کردن وزن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGis10.5 بر روی نقشه‌های موضوعی، نقشه‌های موضوعی وزنی تهیه می‌گردد که از مجموع این نقشه‌ها، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حاصل می‌شود (رابطه ۱۰).

$$GEP = W_f \text{ Altitude} + W_f \text{ Slope} + W_f \text{ Slope aspect} + W_f \text{ Lito} + W_f \text{ Land use} + W_f \text{ TWI} + W_f \text{ soil} + W_f \text{ Dis}_{\text{River}} + W_f \text{ Dens}_{\text{River}} + W_f \text{ Sc}$$

در نهایت نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی بر اساس روش طبقه‌بندی کوانتایل به چهار طبقه تقسیم‌شده و در پهنه‌هایی با پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرد.

اعتبارسنجی نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی

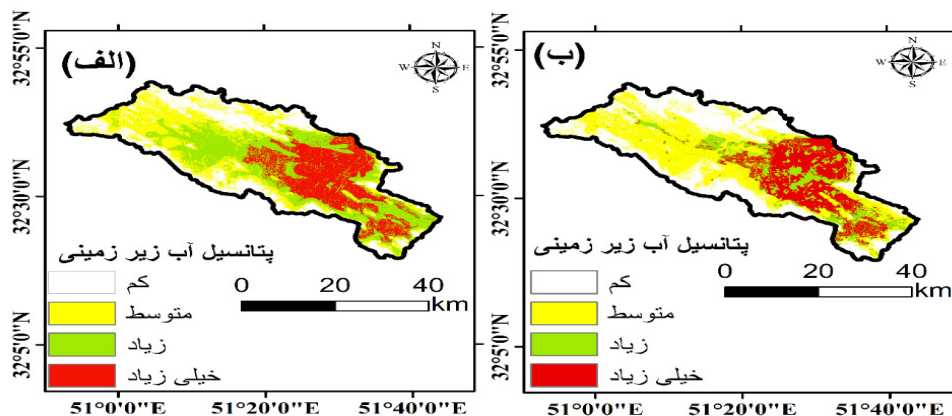
به منظور اعتبارسنجی نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی از مجموعه‌ای از داده‌ها که در مدل به کار گرفته نشده‌اند، استفاده شد. در این بخش نقشه‌ی ۱۳۴۳ حلقه چاه که در پتانسیل‌یابی استفاده نشده‌اند با نقشه‌ی پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه‌ی مذکور روی هم‌گذاری شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس برای اعتبارسنجی دقت نقشه نهایی از روش منحنی ROC^۱ استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS19، منحنی ROC مربوط به نقشه پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی محدوده مطالعاتی تهیه شد.

مساحت زیر این منحنی (AUC)^۲، بیانگر میزان دقت نقشه نهایی به صورت کمی است. سطح زیرپوشش هر نمودار بیانگر توانایی مدل در پیش‌بینی درست است. در بهترین شرایط و یک حالت ایده آل، مقدار زیر نمودار برابر یک خواهد بود. این شاخص یک شاخص مناسب برای ارزیابی صحت مدل است [۱۱].

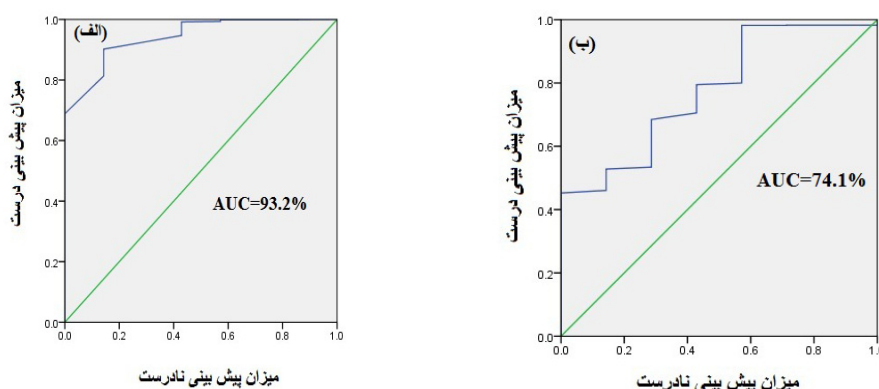
نتایج و بحث

تعداد پیکسل‌ها و چاه‌ها در هر طبقه از لایه‌ها در مدل‌های شاخص

1 - Receiver Operating Characteristic
2 - Area Under Curve



شکل ۴: پتانسیل منابع آب زیرزمینی با مدل شاخص آماری (الف) و وزن شواهد (ب)



شکل ۵: منحنی ROC نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل (الف) شاخص آماری و مدل (ب) وزن شواهد

جدول ۲: مشخصات نقشه‌های حاصل از دو روش پتانسیل‌یابی SI و WOE

پتانسیل آب زیرزمینی	مساحت تقریبی در روش SI (درصد)	مساحت تقریبی در روش WOE (درصد)	صحت مدل SI (درصد)	صحت مدل WOE (درصد)
کم	۲۰	۳۰	۹۳/۲	۷۴/۱
متوسط	۲۵	۴۰		
زیاد	۳۵	۱۵		
خیلی زیاد	۲۰	۱۵		

در جدول ۲ آمده‌اند.

همان‌طور که در منحنی ROC در شکل ۵ مشاهده می‌شود، صحت مدل شاخص آماری با میزان ۹۳/۲ درصد (عالی) و صحت مدل وزن شواهد با میزان ۷۴/۱ درصد بیانگر دقت قابل قبول این مدل در تعیین مناطق مستعد آب زیرزمینی در این محدوده است. با دقت به شکل ۴ که طبقات پتانسیل آب زیرزمینی به دست آمده از هر دو مدل را نشان می‌دهد و نیز توجه به شکل ۲ که موقعیت چاه‌ها در منطقه بود درمی‌یابیم که این مدل‌ها تا حد قابل قبولی پاسخ مناسب را در پتانسیل‌یابی داده‌اند. مناطقی با ارتفاع کم و شیب‌های

نقشه نهایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی

برای هر کلاس از عوامل اثرگذار بر اساس وزن محاسبه شده با مدل شاخص آماری و وزن شواهد، عوامل وزن‌دهی شدند و با بهره‌گیری از تکنیک‌های ArcGIS10.5 نقشه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی به دست آمده و نهایتاً مطابق با منابع مختلف هم‌چون مطالعه‌ی طاهری [۱۸] و با استفاده از روش Quantile در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5، نقشه پتانسیل‌یابی به چهار کلاس با پتانسیل کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد کلاس‌بندی شده و در شکل ۴ ارائه شده است. منحنی ROC در شکل ۵ و مشخصات نقشه‌های حاصل

مناطق مستعد آب زیرزمینی مناسب است. در نهایت بکارگیری مدل شاخص آماری، وزن شواهد و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای پتانسیل‌یابی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که اغلب در دستیابی به اطلاعات با محدودیت‌های بسیاری مواجه هستند پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Ala'i Taleghani, M., Saidikia, M. 2013. The role of geomorphic components in formation and feeding of groundwater table in Zahab Plain. Quarterly journal of geographic research 28 (10): 171-186. (Persian).
2. Armaş I. 2012. Weights of evidence method for landslide susceptibility mapping. Prahova Subcarpathians, Romania. Nat Hazards. 60:937-950.
3. Bonham-Carter GF. 1994. Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS, 398 p. Ontario: Pergamon.
4. Bui, D.; Lofman, O.; Revhaug, I.; & O. Dick, 2011. Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression, Natural Hazards, 59 (3), 1413- 44.
5. Chowdhury A., Jha M.K., Chowdary V.M. 2010, Delineation of Groundwater Recharge Zones and Identification of Artificial Recharge Sites in West Medinipur District, West Bengal, Using RS, GIS and MCDM Techniques, Environmental Earth Science, 59(6): 1209-1222.
6. Dahal RK, Hasegawa S, Nonomura A, Yamanaka M, Dhakal S, Paudyal P. 2008. Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. Geomorphology. 102:496-510.
7. Entezari, M., Gholami, M. 2014. Potential for suitable areas for feeding groundwater in the Rumshaghan basin. Two Journal of Applied Geomorphology. 2 (4): 31-43. (Persian).
8. Falah F, Ghorbani Nejad S, Rahmati O, Daneshfar M, Zeinivand H. 2016. Applicability of generalized additive groundwater potential modelling and model in comparison its performance by bivariate statistical methods. Geocarto International, 31(1): 1-21.
9. Fallah, F., Daneshvar, M., Ghorbaninejad, S., 2017. Groundwater potential potential in Khorramabad

کم، بیش‌ترین پتانسیل بالای آب زیرزمینی را دارا می‌باشند. از دیدگاه کاربری اراضی نیز مناطقی که پوشش گیاهی غنی‌تری وجود داشت دارای بالاترین میزان پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه بود. هر چه میزان فاصله از آبراهه کمتر باشد، پتانسیل آب زیرزمینی منطقه بالاتر است. از لحاظ خاک، مناطق با خاک اریدی سول دارای پتانسیل بیش‌تری بودند؛ بنابراین می‌توان گفت استفاده از مدل‌های مبتنی بر تکنیک‌های GIS برای پتانسیل‌یابی مناطق مستعد آب زیرزمینی، مناسب و قابل اعتماد هستند. روش‌های مختلفی در زمینه‌ی پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی انجام شده است که در این میان، دقت بالای روش‌های مبتنی بر تکنیک‌های GIS توجه پژوهشگران را بیش‌تر به خود جلب کرده است. شفیع و رحمانی [۱۵] نیز در مطالعه‌ی خود از منحنی ROC استفاده کردند و نتایج آن را مناسب و قابل قبول دانستند. در مطالعاتی هم‌چون طهماسبی پور و ارشیا، [۱۶]، مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری به‌ترتیب با ۹۹ و ۹۳ درصد دقت، کارایی عالی این مدل‌ها را نشان دادند و هم‌چنین در مطالعه فلاح و همکاران [۹] در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد، دقت مدل شاخص آماری ۸۳ درصد و خیلی خوب ارزیابی شد. در مطالعه‌ی حاضر نیز مدل شاخص آماری با دقت ۹۳/۲ درصد نشانگر مناسب بودن و درواقع عالی بودن این مدل برای محدوده نجف‌آباد است. در مطالعه‌ی قربانی و همکاران [۱۰] دقت مدل وزن شواهد (WOE) بالا بود و به‌عنوان مدلی مناسب برای پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی معرفی شد. هم‌چنین مطالعه‌ی فلاح و همکاران [۸] که مناطق مستعد آب زیرزمینی را در استان لرستان با چند روش مختلف موردبررسی قرار دارند، دقت مدل وزن شواهد ۸۳/۷ درصد بود و به‌عنوان مدلی مناسب برای منطقه معرفی شد. در مطالعه حاضر نیز مدل وزن شواهد با دقت ۷۴/۱ درصد، نقشه نهایی پتانسیل‌یابی را در اختیار قرارداد که این میزان دقت نشان‌دهنده‌ی قابل قبول بودن و مناسب بودن این روش نیز برای این محدوده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، پتانسیل‌یابی مناطق مستعد آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی نجف‌آباد اصفهان با بررسی ۴۴۸۰ چاه موجود در منطقه انجام گرفت و کارایی مدل‌های شاخص آماری و وزن شواهد در این محدوده بررسی شد. ۱۰ لایه مؤثر در پتانسیل‌یابی مناطق مستعد آب زیرزمینی شامل لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنا، سطح، سنگ‌شناسی، خاک، کاربری اراضی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از رودخانه و تراکم زهکشی در این مطالعه تهیه و بررسی شدند. ۷۰ درصد چاه‌ها (۳۱۴۰ چاه) برای کالبره و ۳۰ درصد باقی‌مانده (۱۳۴۱ چاه) برای اعتبار سنجی استفاده شد که صحت مدل شاخص آماری با میزان ۹۳/۲ درصد (عالی) و صحت مدل وزن شواهد با میزان ۷۴/۱ درصد بیانگر دقت قابل قبول این مدل در تعیین مناطق مستعد آب زیرزمینی در این محدوده است. نتایج پیش‌بینی نشان داد که لایه‌های مؤثر انتخابی در این مطالعه برای دست‌یابی به

17. Tehrany MS, Pradhan B, Jebur MN. 2014. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *J Hydrol.* 512:332–343.
18. Tweed, S. O., M. Leblanc, J. A. Webb. and M. W. Lubczynski. 2007. Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments, southeastern Australia. *Hydrogeol. J.* 15 (1): 75-96.
19. Van Westen, C. J., 1997. Statistical landslide hazard analysis. ILWIS 1 & 2 .for Windows application guide, ITC Publication, Enschede, 73- 84.
20. Xu C, Xu X, Dai F, Xiao J, Tan X, Yuan R. 2012. Landslide hazard mapping using GIS and weight of evidence model in Qingshui River watershed of 2008 Wenchuan earthquake struck region. *J Earth Sci.* 23:97–120.
21. Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72 (1): 1 - 12.
22. Yin, K. L., & T. Z. Yan., 1988. Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. *Landslides. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides.*
23. Zhao Ch., Chen W., Wang Q., Wu U. and Yang B. 2015. A comparative study of statistical index and certainty factor models in landslide susceptibility mapping: a case study for the Shangzhou District, Shaanxi Province, China, *Arab J Geosci*, 8(11): 9079-9088.
- study area using statistical index method. *Journal of Water and Sustainable Development.* 4 (1): 89-98. (Persian).
10. Ghorbani Nezhad, S., Danafar, M., Rahmati, O., Fallah, F., Hagizadeh, A., Tahmasebi Pour, N., 2017. The potential of groundwater resources of Azna - Aligudarz Plain using environmental variables and frequency ratio model. *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources.* 8 (2): 62-77. (Persian).
11. Hashemi, M., Ghorbani, R., Kavehei, b. 2004. Analysis of ROC Curves for Comparison of Medical Diagnostic Tests. *Journal of Semnan University of Medical Sciences*, 6 (2): 145-150. (Persian).
12. Kazemi, R., Nyman, J., Glory, N. 2006. Investigating the Role of Structural Factors in the Frequency of Water Resources in the Lar Karstic Region Using Remote Sensing and Geographic Information Systems. *Journal of Research and Sazandegi in Natural Resources.* 73: 33-41. (Persian).
13. Moghaddam DD, Rezaei M, Pourghasemi H, Pourtaghie Z, Pradhan B. 2015. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(2): 913-929.
14. Rahimi M., Soleimani K. 2016 Evaluation of groundwater resources potential of Dehgholan plain based on GIS and remote sensing using multi-criteria decision-making techniques. *Iranian Journal of Watershed Management Sciences and Engineering.* 10 (35): 27-38. (Persian).
15. Shafiee, N., Rahmani, A. 2019. Groundwater Potential Finding Using the Shannon Entropy Model of Noorabad Mamasani Watershed. *Journal of geographic space.* 66: 291-304. (Persian).
16. Tahmasebi Pour, N., Arshia, A. 2017. Potentiation of groundwater resources using evidence weight models and statistical indexes in the Najafabad study area. *Journal of Watershed Development and Development.* 5 (18): 33-44. (Persian).



Abstract

**Groundwater Potential Mapping using the weights of evidence and statistical indexes
in Najafabad, Iran**Hojatallah Younesi^{*1}, Hasan Torabipoudeh², Babak Shahinejad³ and Azadeh Arshia⁴

Received: 2019/04/06 Accepted: 2020/04/14

Groundwater resources are one of the most valuable sources of water for various uses. In this study, the potential of groundwater resources in Najafabad study area was evaluated using statistical index and weight of evidence. For this purpose, 4484 wells in the area with a discharge of more than 11 liters per second were randomly divided into two groups (70%) and validation (30%). Then digital layers of variables affecting groundwater potential (Elevation, Slope, Slopedirection, Surface curvature, Topographic wet index (TWI), Land use, Soil, Lithology, River distance and Drainage density) were constructed in ArcGIS10.5 environment. And then, using the weighted overlay method, the final groundwater potential map was prepared. Finally, the ROC curve of the groundwater potential map was prepared to determine the accuracy of the final map using SPSS19 software. Accuracy based on this curve was 93.2% for the statistical index model and 74.1% for the evidence weight model, indicating high accuracy of the statistical index model compared to the evidence weight model for this region. Therefore, it can be said that using GIS-based models for potential groundwater prone areas are appropriate and reliable.

Keywords: GIS, Moisture index, Quantile method, ROC.

1*-Assistant Professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University

2-Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University

3- Assistant Professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University

4-Graduated from Watershed Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University