

دارد. بر همین اساس درصد مساحت‌های به‌دست‌آمده در مدل نسبت فراوانی به این صورت می‌باشد؛ ۳۶ درصد از مناطق خیلی ضعیف، ۱۵ درصد ضعیف، ۱۲ درصد متوسط، ۱۹ درصد خوب و ۱۸ درصد خیلی خوب می‌باشد. پیشنهاد می‌شود مدیران محترم از مدل نسبت فراوانی در برنامه‌ریزی‌های خود استفاده نمایند.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، دهلران، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شاخص آماری، موسیان\_آبدانان، نسبت فراوانی.

#### مقدمه

آب زیرزمینی، یک ذخیره مهم آب برای کاربردهای مختلف به شمار می‌رود. کشور ایران با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک با نزولات جوی بسیار اندک می‌باشد، به طوری که میانگین بارش سالیانه آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی سالیانه جهان است [۱۷]. بنابراین به دلیل عدم دسترسی به آب‌های سطحی در بخش‌های زیادی از کشورمان آب زیرزمینی در تأمین آب مصرفی در بخش‌های کشاورزی، شرب و صنعت نقش اساسی دارد. در سال‌های اخیر با افزایش روزافزون جمعیت، توسعه صنعت، رشد شهرنشینی و به تبع آن افزایش تقاضا به مواد غذایی و تولیدی، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی چندین برابر شده است. بنابراین مدیریت و ارزیابی آب زیرزمینی برای مصارف مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است [۳]. در این زمینه؛ پیری و بامری [۲۲] تغییرات مکانی و زمانی سطح آب زیرزمینی را بررسی و نقشه پهنه‌بندی افت آب زیرزمینی را در سطح دشت سیرجان انجام دادند، همچنین گودرزی و همکاران [۱۰] با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مکان مناسب جهت تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در دشت اشرینان را مشخص کردند. مطالعات متعددی در زمینه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی صورت گرفته است. در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود؛ فلاح و همکاران [۸] با استفاده از مدل شاخص آماری، پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی دشت ازنا-الیگودرز در استان لرستان را انجام دادند و با استفاده از روش منحنی ROC اعتبارسنجی را انجام دادند که نتایج نشان‌دهنده دقت و صحت ۷۷/۲ درصدی مدل بود. نقیبی و همکاران [۲۰] در حوزه مغان، استان خراسان رضوی به مقایسه مدل‌های FR و SE<sup>۲</sup> در پتانسیل‌یابی قنات‌ها پرداختند، و با استفاده از همپوشانی در محیط ARC GIS نقشه پتانسیل وجود قنات‌ها ترسیم و نتایج

## پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت‌های دهلران و موسیان\_آبدانان استان ایلام، با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری

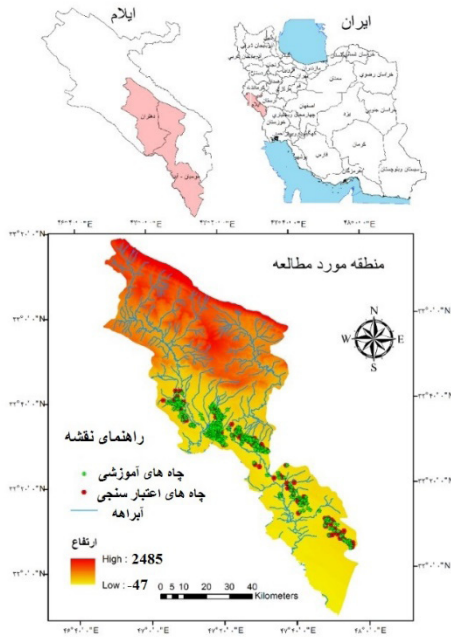
ناصرطهماسبی پور<sup>۱</sup>، آزاده ارشیا<sup>۲\*</sup> و حافظ میرزاپور<sup>۳</sup>  
تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۱۵

#### چکیده

شناسایی مناطق با پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی از مهم‌ترین عوامل برای مدیریت منابع آب زیرزمینی است. در این پژوهش تلاش شده تا مناطق با پتانسیل آب‌های زیرزمینی دشت‌های دهلران و موسیان\_آبدانان استان ایلام، با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری مشخص شود. فاکتورهای مؤثر در وقوع آب زیرزمینی شامل: سطح آب زیرزمینی، سنگ‌شناسی، ژئومورفولوژی، شیب، جهت شیب، تراکم زهکشی، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنای سطح و بافت خاک می‌باشد. در مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری، ابتدا چاه‌های با آبدهی بالاتر از ۱۰ مترمکعب بر ساعت در منطقه استخراج شد، سپس ۷۰ درصد چاه برای مرحله مدل‌سازی (تعداد ۲۵۳ عدد) و ۳۰ درصد چاه برای مرحله صحت‌سنجی (تعداد ۱۰۸ عدد) به صورت تصادفی انتخاب و جدا شدند، سپس تحلیل‌های لازم بر طبقات و نقشه‌ها صورت گرفت و نقشه‌ها همپوشانی شدند، در نهایت خروجی مدل‌ها به صورت نقشه‌های پتانسیل منابع آب زیرزمینی تولید شد. برای ارزیابی کارایی مدل‌ها از روش منحنی ROC استفاده شد، نتایج حاکی از آن بود که مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری با داده‌های مرحله صحت‌سنجی به ترتیب با ۹۹ و ۹۳ درصد کارایی بسیار خوبی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در دشت‌های دهلران و موسیان\_آبدانان استان ایلام دارند. با توجه به نتایج مدل‌ها، مدل نسبت فراوانی کارایی بهتری نسبت به مدل شاخص آماری

- ۱- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان.
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، نویسنده مسئول: Email: a.arshia@chmail.ir
- ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان.

شمالی و ۴۶ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی در استان ایلام واقع شده است و دشت‌های موسیان- آبدانان و دهلران را در برمی‌گیرد. همچنین مساحت این منطقه ۶۲۶۴۸۱/۲۷ هکتار می‌باشد. محدوده و موقعیت مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

### روش کار

به منظور شناسایی مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی از نقشه‌های سطح آب زیرزمینی، سنگ‌شناسی، ژئومورفولوژی، شیب، جهت شیب، تراکم زهکشی، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنا سطح و خاک استفاده شد. تهیه لایه‌های مورد نیاز برای پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در محیط نرم‌افزار Arc Gis 10.3 به صورت زیر انجام گرفت: لایه سنگ‌شناسی از طریق رقومی کردن نقشه سنگ‌شناسی دریافت شده از سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شد، لایه طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، انحنا سطح و شاخص رطوبت توپوگرافی از روی مدل ارتفاعی رقومی منطقه تهیه شدند. لایه تراکم زهکشی از طریق رقومی کردن لایه آبراهه‌های اصلی و فرعی از روی نقشه توپوگرافی ۱/۱۰۰۰۰۰ استان ایلام تهیه شد. نقشه سطح آب زیرزمینی از درون‌یابی به روش IDW<sup>4</sup> چاه‌هایی که از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان ایلام دریافت شده است تهیه شد، نقشه ژئومورفولوژی از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۱۰۰۰۰۰ دریافت شده از سازمان زمین‌شناسی کشور و کمک از تصاویر گوگل ارث طبق روش دکتر احمدی تهیه شد، نقشه‌های خاک و کاربری اراضی از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان ایلام تهیه گردید.

4. Inverse distance weighted

با استفاده از منحنی ROC مورد ارزیابی قرار گرفت که مدل SE با  $AUC=91.21\%$  مناسب‌تر تشخیص داده شد. پور تقی و پور قاسمی [۲۴] در شهرستان بیرجند استان خراسان جنوبی به مقایسه سه مدل  $FR^1$ ،  $WofE^2$  و  $LR^3$  در پتانسیل‌یابی چشمه‌های آب زیرزمینی پرداختند، در این پژوهش ۳۰۴ چشمه در بازدید میدانی مشخص شد، همچنین ۱۱ عامل مؤثر بر وقوع چشمه‌ها به صورت نقشه در محیط Arc GIS با استفاده از سه مدل ترسیم و همپوشانی صورت گرفت و نتایج با استفاده از منحنی ROC نشان داد مدل FR با  $AUC=79.38\%$  بیشترین صحت را در بین دیگر مدل‌ها دارد. مناپ و همکاران [۱۵] با استفاده از مدل نسبت فراوانی به تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در حوزه لانگات در مالزی پرداختند. در این پژوهش هشت عامل مرتبط با آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت، ۶۸ حلقه چاه با آبدی بالاتر از ۱۰ مترمکعب بر ساعت استخراج و به طور تصادفی به ۷۰ درصد (۴۸ حلقه چاه) چاه آموزشی و ۳۰ درصد (۲۰ حلقه چاه) چاه اعتبارسنجی تقسیم شدند نتایج صحت سنجی با استفاده از روش سطح زیر منحنی دقت  $0.84/0.78$  مدل نسبت فراوانی را نشان داد.

گارو و همکاران [۱۲] در دره له در کشور هند با استفاده از مدل نسبت فراوانی، ۷ عامل تأثیر گزار در تعیین مناطق مستعد آب زیرزمینی را مورد استفاده قرار دادند و با در نظر گرفتن ۶۰ حلقه چاه آموزشی و ۲۶ حلقه چاه اعتبارسنجی، مناطق با پتانسیل بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و فقیر را با دقت ۸۱ درصد شناسایی کردند. خان و شارما [۱۴] با ترکیب داده‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در حوزه‌های آبخیز کشور هند را تهیه نموده‌اند. موسوی و همکاران [۱۹] با استفاده از روش‌های سنجش‌ازدور و GIS به مطالعه مناطق مناسب جهت تغذیه آب زیرزمینی در جنوب دشت ایذه واقع در جنوب غرب ایران پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که مناطق دارای شکستگی در آهک‌ها دارای بیشترین پتانسیل و سازندها متشکل از مواد دانه‌ریز و دارای نفوذپذیری کم و نیز مناطق فاقد شکستگی دارای کمترین پتانسیل تغذیه هستند. این پژوهش سعی دارد تا با استفاده از مدل نسبت فراوانی، شاخص آماری و ترکیب لایه‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.3 بهترین منابع آبی منطقه را جهت بهره‌برداری بهینه و جلوگیری از بهره‌کشی بیش از توان آن‌ها، تعیین و پهنه‌بندی کند. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش در مدیریت منابع محیطی و مناطق آبی محدوده مطالعاتی از اهمیت بالایی برخوردار است.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در غرب کشور در ناحیه‌ای با مختصات جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۷ دقیقه عرض

1. frequency ratio
2. weights-of-evidence
3. logistic regression

## روش نسبت فراوانی FR

نسبت فراوانی، احتمال ظهور یک ویژگی یا پدیده‌ای خاص است. هرچه مقدار این نسبت در یک طبقه یا کلاس یک برگ خرید مشخص بزرگ‌تر باشد، بیانگر اهمیت یا نقش بیشتر آن کلاس در برگ خرید مربوطه در وقوع چشمه است. نسبت فراوانی برای یک طبقه یا کلاس مشخص از یک برگ خرید معین (مثلاً شیب) از رابطه ۱ قابل محاسبه است:

$$FR = \left( \frac{\left( \frac{A}{B} \right)}{\left( \frac{C}{D} \right)} \right) \times 100 \quad (1)$$

که A تعداد چاه‌ها در کلاس مورد نظر، B تعداد کل چاه‌های موجود در منطقه، C تعداد پیکسل‌های کلاس مورد نظر، D تعداد پیکسل‌های مربوط به برگ خرید مربوطه (مثلاً شیب) می‌باشد [۴].

## روش شاخص آماری SI

این روش نخستین بار توسط ین و یان [۲۹] با نام روش ارزش اطلاعات به کار گرفته شد. این روش در نهایت توسط ون وستن [۲۷] به شاخص آماری تغییر نام داده شد و با این عنوان در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفت. محاسبات این روش بر پایه‌ی فرمول ۲ به دست می‌آید:

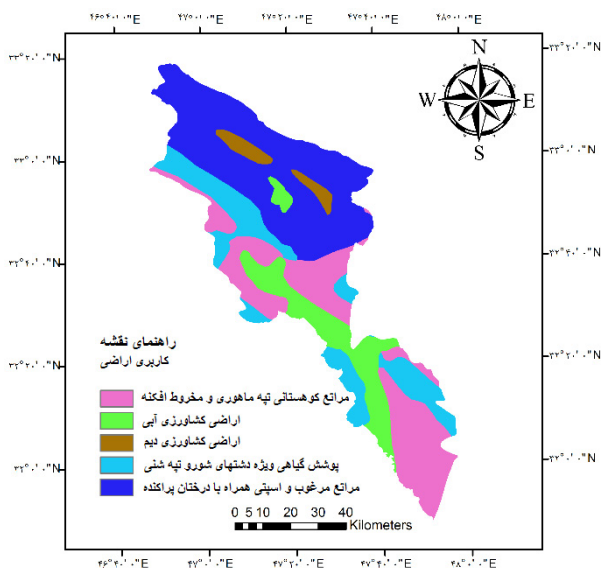
$$Si = \ln \left[ \frac{\left( \frac{Npix(Gi)}{Npix(Ni)} \right)}{\left( \frac{\sum Npix(Gi)}{\sum Npix(Ni)} \right)} \right] \quad (2)$$

که در آن  $G_i$  فراوانی چاه در هر کلاس  $N_i$  فراوانی پیکسل هر کلاس  $\sum Npix(G_i)$  مجموع چاه‌ها در هر کلاس  $\sum Npix(N_i)$

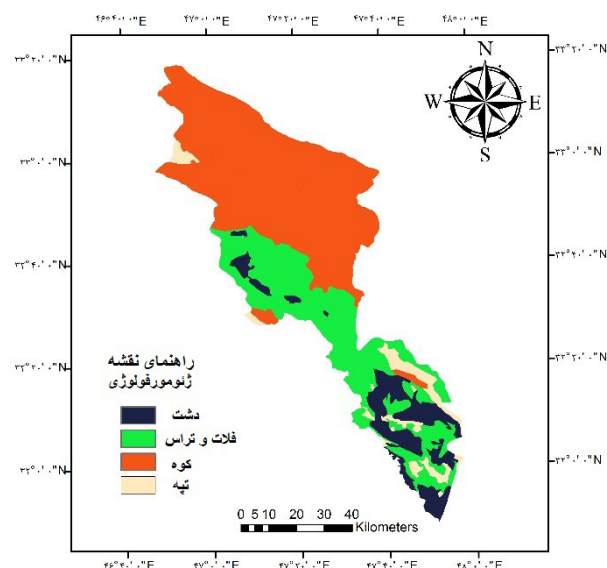
مجموع پیکسل‌ها در هر کلاس می‌باشد. در این روش وزن کم هر طبقه بیانگر کم بودن تعداد چاه‌ها در آن طبقه می‌باشد و بالعکس. طبقات با ارزش وزنی صفر بیانگر عدم وجود چاه در آن طبقه می‌باشد. در نهایت وزن‌های به دست آمده برای هر کلاس در نرم‌افزار ArcGIS 10.3، در تمامی لایه‌ها اعمال و سپس با به کارگیری توابع روی هم گذاری شده و ماشین حساب رستری، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شد [۹].

ژئومورفولوژی نشان‌دهنده ویژگی‌ها، ساختار و اشکال زمین است. بسیاری از این ویژگی‌ها مستعد آب‌های زیرزمینی هستند که در پتانسیل یابی آب زیرزمینی به دسته‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شوند [۱۲]. در شکل ۲ (الف) نقشه ژئومورفولوژی منطقه ارائه شده است که شامل دشت، فلات-تراس، کوه و تپه می‌باشد. کاربری اراضی یا تغییرات پوشش که تغییر آب‌وهوا نیز در آن تأثیرگذار است، باعث تغذیه آب‌های زیرزمینی در نتیجه نفوذ پس از بارش می‌باشد. سطح آب قابل نفوذ حاصل از بارش، تحت تأثیر کاربری اراضی قرار می‌گیرد. زمین یک منبع غیرقابل تجدید است، نقشه‌برداری از کاربری اراضی نقش مهمی در برنامه‌ریزی و توسعه منابع آب و زمین دارد [۲]. شکل ۲ (ب) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در دوره خشک‌سالی سطح آب زیرزمینی کاهش می‌یابد و در فصل بارانی، سطح آب زیرزمینی شروع به صعود می‌کند تا در پایان فصل به سطح بالایی برسد، بالا و پایین رفتن سطح آب زیرزمینی به میزان، شدت و مدت بارندگی، هوازدگی، شیب عمومی سنگ به سمت کانال زهکشی بستگی دارد [۲۷]. در شکل ۳ (الف) نقشه سطح آب زیرزمینی ارائه شده است. بررسی مورفومتریکی دقیق شبکه رودخانه، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های شرایط هیدرولوژیکی به شمار می‌رود؛ چراکه بافت، الگو و تراکم شبکه زهکشی، با توجه به سنگ‌های بستر تعیین می‌شود، بنابراین می‌تواند در میزان نفوذ



(ب)



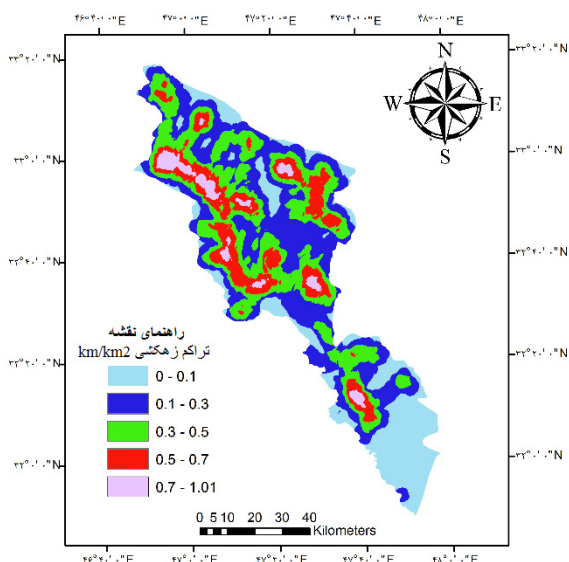
(الف)

شکل ۲- الف) نقشه ژئومورفولوژی (ب) نقشه کاربری اراضی دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران، استان ایلام.

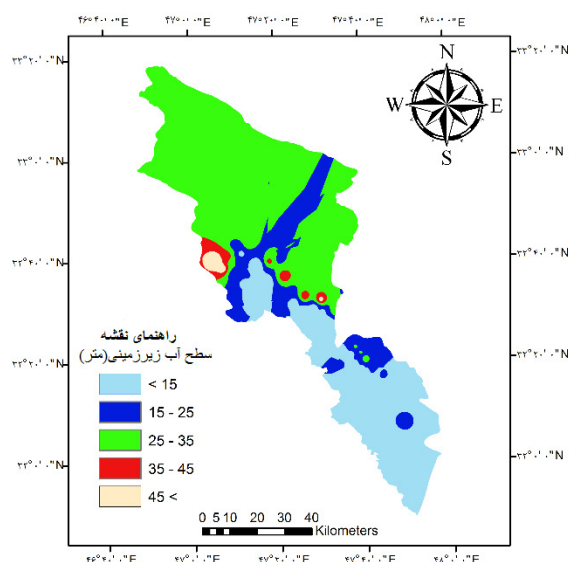
شیب توپوگرافیکی و ساختمانی وابسته است. بنابراین می‌توان شیب را عاملی مهم در جریان رواناب یا نفوذ آن برشمرد. به همین دلیل لایه شیب در تهیه نقشه نهایی مورد استفاده قرار گرفت. باید توجه داشت که سرعت رواناب در مناطق کم شیب، ناچیز است. سرعت کم رواناب موجب نفوذ بیشتر آب در زمین می‌شود. برعکس در مناطق پرشیب، سرعت نفوذ آب بسیار کاهش می‌یابد [۶]. شکل ۴ (الف) ارائه نقشه شیب منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

طبقات ارتفاعی، جهت و سرعت حرکت رواناب‌های سطحی را تعیین می‌کند. بدین لحاظ می‌تواند نقش مهمی در پراکندگی آب‌های زیرزمینی ایفا کند [۲]، در شکل ۴ (ب) نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

رواناب به زمین دخالت داشته باشد [۵] تراکم زهکشی فاصله از کانال و همچنین ماهیت مواد سطحی را نشان می‌دهد. هرچه تراکم زهکشی بالاتر رود، رواناب نیز بیشتر می‌شود. بنابراین تراکم زهکشی مشخصه رواناب در منطقه و یا به عبارت دیگر در حوزه‌هایی که تراکم زهکشی بیشتر است، عکس‌العمل حوزه در برابر بارندگی نیز سریع‌تر بوده و جریان‌های سطحی با سرعت بیشتری تشکیل می‌شوند و لذا سیلاب بیشتری را به دنبال خواهند داشت. از این رو، هرچه تراکم زهکشی کمتر شود، شدت نفوذ بیشتر می‌شود و احتمال تغذیه آب‌های زیرزمینی افزایش می‌یابد [۲۷]. شکل ۳ (ب) نشان‌دهنده تراکم زهکشی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. وجود یا جابه‌جایی سفره‌های آب زیرزمینی تا حد زیادی به

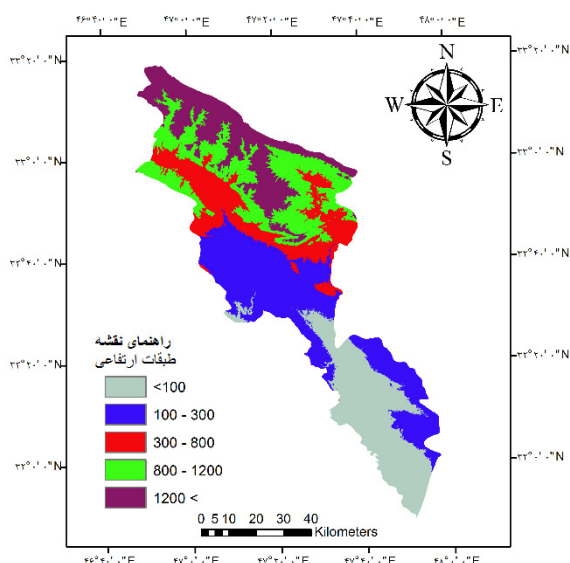


(ب)

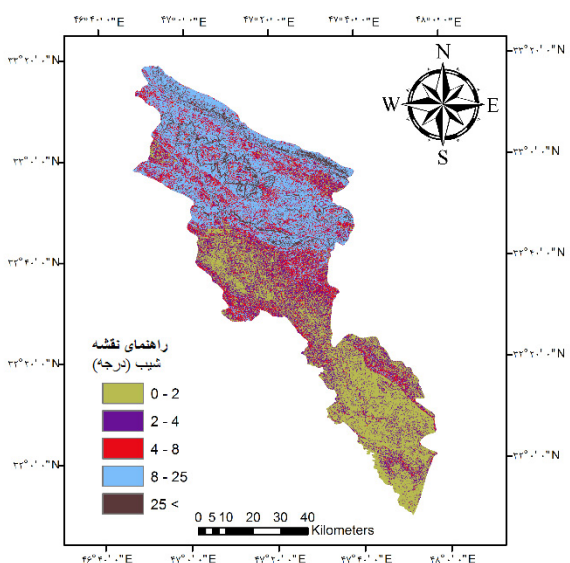


(الف)

شکل ۳- الف) نقشه سطح آب زیرزمینی (ب) نقشه تراکم زهکشی دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران، استان ایلام



(ب)



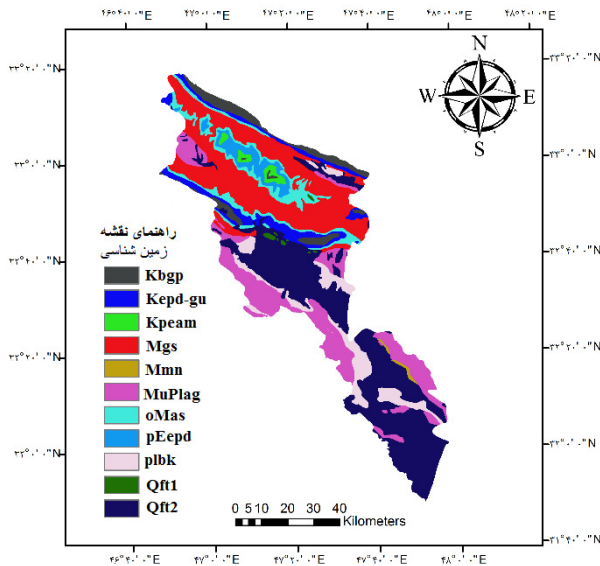
(الف)

شکل ۴- الف) نقشه شیب (ب) نقشه طبقات ارتفاعی دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران، استان ایلام

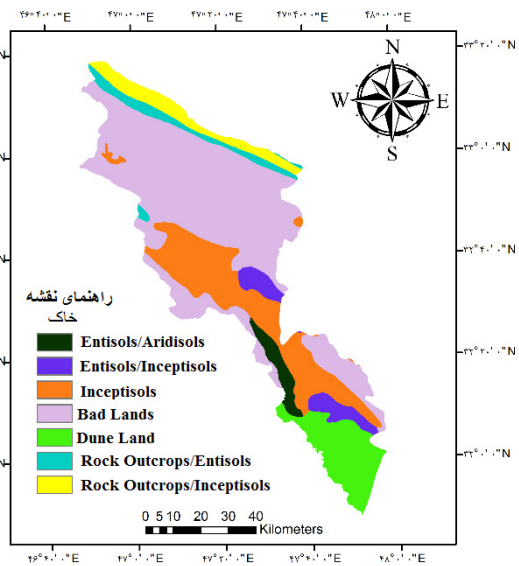
انحنای سطح در تحلیل‌های محیطی اهمیت زیادی دارد [۸]. در شکل ۶ (ب) نقشه انحنای سطح منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. شاخص رطوبت توپوگرافی یک پارامتر سازی ساده ریاضی از وضعیت رطوبت خاک است و به صورت  $\ln(\alpha/\tan\beta)$  تعریف می‌شود که  $\alpha$  مساحت بالادست در واحد طول خط تراز یا مساحت ویژه) و  $\tan\beta$  زاویه شیب محل برای تخمین زاویه هیدرولیک می‌باشد [۲۵]. این شاخص گرایش آب را به جمع شدن در هر نقطه از حوزه و تمایل نیروهای گرانشی را به انتقال آب به پایین دست توصیف می‌کند. در نتیجه محاسبه  $\alpha$  و  $\tan\beta$  برای نشان دادن تأثیر عوارض زمین بر روی زهکشی محل نیاز می‌باشد [۶]. شاخص

سرعت نفوذ آب به بافت خاک منطقه بستگی دارد [۱۳]. در شکل ۵ (الف) نقشه خاک منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. لایه زمین‌شناسی به دلیل تأثیر سازندهای زمین‌شناسی، لیتولوژی، بافت و درجه خلوص سنگ‌ها در تخلخل، نفوذپذیری اولیه و تمرکز جریان‌های آب‌های زیرزمینی در داخل سنگ‌ها مورد مطالعه قرار گرفت [۱۸] (شکل ۵ ب).

جهت شیب از دیگر عوامل مؤثر در تشخیص منابع آب زیرزمینی می‌باشد همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بیشترین فراوانی چاه‌ها در جهت‌های جنوب و جنوب شرقی وجود دارند. شکل ۶ (الف) نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. نقشه

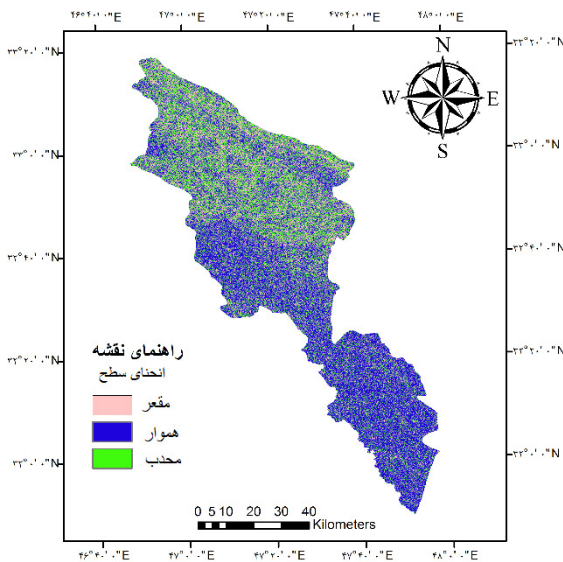


(ب)

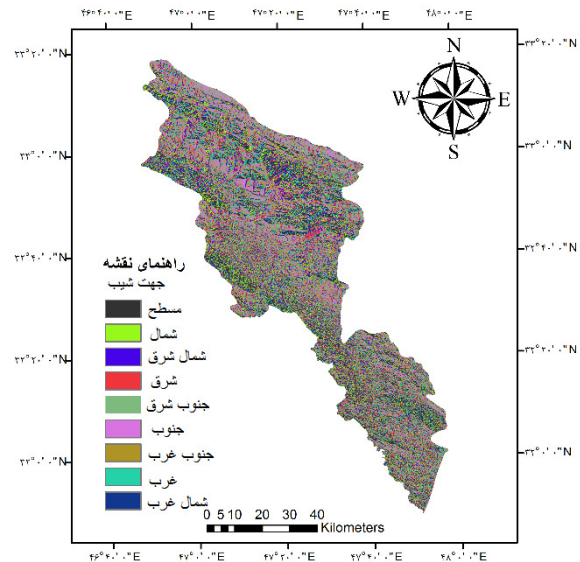


(الف)

شکل ۵- الف) نقشه بافت خاک (ب) نقشه زمین‌شناسی دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران، استان ایلام



(ب)

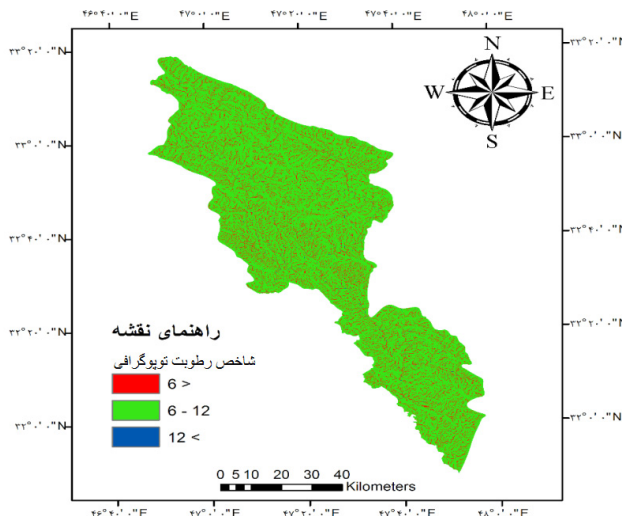


(الف)

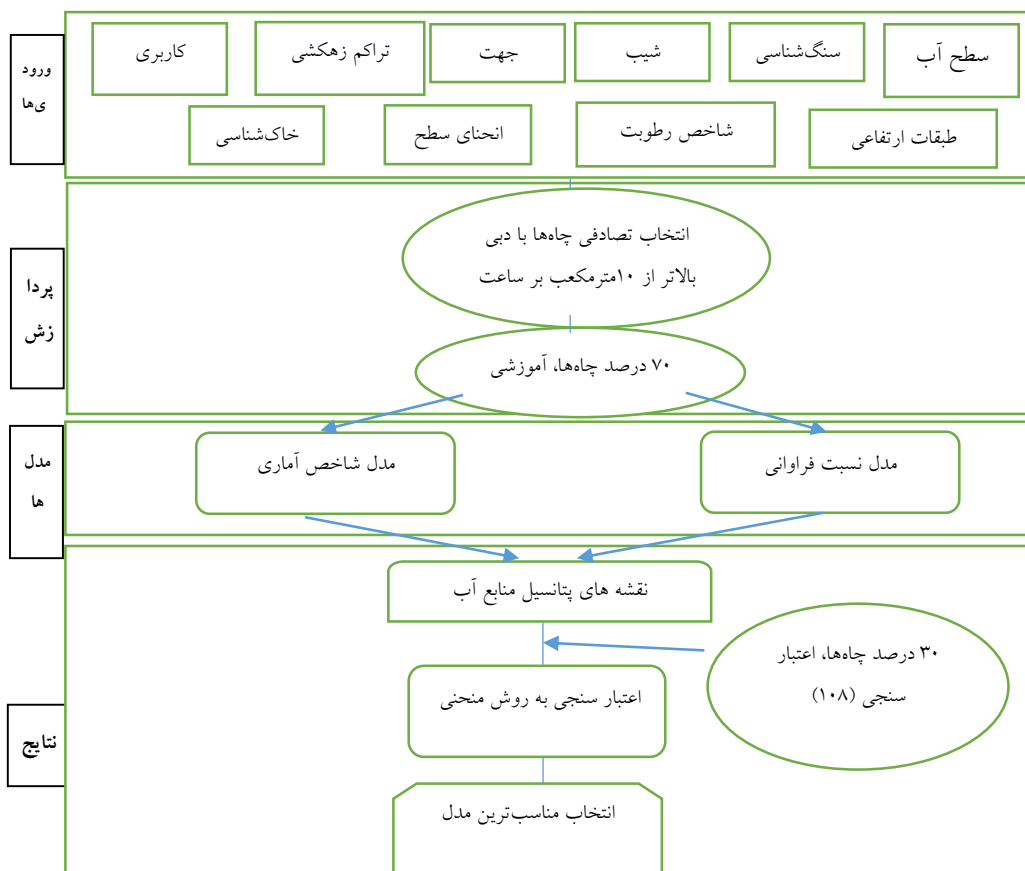
شکل ۶- الف) نقشه جهت شیب (ب) نقشه انحنای سطح دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران، استان ایلام

شاخص بیانگر ارتباط شیب سطحی زمین و میزان رطوبت در سطح زمین است [۱۶]. شکل ۷ نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۸ فلوجارت کلی از روش کار را نشان می‌دهد.

رطوبت توپوگرافی (TWI) بیانگر آن است که هرچه شیب یک منطقه بیشتر می‌شود میزان رطوبت موجود به علت سریع‌تر از دسترس خارج شدن آب‌های سطحی، کاهش می‌یابد و در مقابل در مناطق با ارتفاع کمتر رطوبت بیشتری موجود است. در حقیقت این



شکل ۷- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران، استان ایلام



شکل ۸- فلوجارت روش کار

## نتایج و بحث

در دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران ۳۶۱ چاه با آبدهی بالاتر از ۱۰ مترمکعب بر ساعت انتخاب شدند، ۷۰ درصد چاه‌ها (۲۵۳ عدد) به‌عنوان چاه آموزشی و ۳۰ درصد چاه‌ها (۱۰۸ عدد) برای

اعتبارسنجی و صحت مدل مورداستفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از ارتباط بین پتانسیل آب زیرزمینی، عوامل مؤثر و حد اثر هر کدام از آن‌ها با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- رابطه مکانی بین عوامل مؤثر و موقعیت چاه‌ها با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری دشت‌های موسیان\_آبدانان و دهلران استان ایلام

نقشه	کلاس‌ها	تعداد پیکسل در هر کلاس	درصد هر کلاس	تعداد چاه در هر کلاس	درصد چاه در هر کلاس	مقدار FR	مقدار SI
طبقات ارتفاعی	<۱۰۰	۱۴۱۰۳۶۸	۲۰/۲۶	۵۲	۲۰/۵۵	۱/۰۱	۰/۱۴
	۱۰۰-۳۰۰	۱۹۶۳۲۸۵	۲۸/۲۱	۲۰۱	۷۹/۴۵	۲/۸۱	۱/۰۳
	۳۰۰-۸۰۰	۱۰۵۳۷۶۲	۱۵/۱۳	۰	۰	۰	۰
	۸۰۰-۱۲۰۰	۱۳۵۸۷۹۶	۱۹/۵۲	۰	۰	۰	۰
	۱۲۰۰<	۱۱۷۴۷۹۱	۱۶/۸۸	۰	۰	۰	۰
سطح آب زیرزمینی	<۱۵	۲۰۶۹۷۷۷	۲۹/۷۲	۱۱۴	۴۵/۰۶	۱/۵۱	۰/۴۱
	۱۵-۲۵	۱۰۰۸۰۴۲	۱۴/۴۱	۹۶	۳۷/۹۴	۲/۶۳	۰/۹۶
	۲۵-۳۵	۳۷۰۵۴۸۹	۵۳/۲۵	۲۱	۸/۳	۰/۱۵	-۱/۸۵
	۳۵-۴۵	۱۱۸۰۴۸	۱/۸	۱۳	۵/۱۴	۲/۸۵	۱/۱
	۴۵<	۵۹۵۴۷	۰/۸	۹	۳/۵۶	۴/۴۵	۱/۴۲
زمین‌شناسی	Kbgs	۳۱۰۷۵۶	۴/۵	۰	۰	۰	۰
	KEpd-gu	۳۸۴۱۸۳	۵/۵	۰	۰	۰	۰
	Kpeam	۷۲۵۷۰	۱/۱	۰	۰	۰	۰
	Mgs	۱۶۷۹۳۷۸	۲۴/۱۱	۰	۰	۰	۰
	Mmn	۲۲۳۳۵	۰/۳۲	۰	۰	۰	۰
	MuPlaj	۱۰۷۹۹۸۴	۱۵/۴	۲۶	۱۰/۲۸	۰/۶۶	۰/۴۱
	OMas	۴۸۰۵۲۱	۶/۹	۰	۰	۰	۰
	PeEpd	۲۲۰۴۱۹	۳/۱۶	۰	۰	۰	۰
	Plbk	۴۹۳۷۴۶	۷/۱	۵۴	۲۱/۳۵	۳	۱/۱
	Qft1	۲۲۱۹۸	۰/۳۱	۰	۰	۰	۰
Qft2	۲۱۹۴۳۱۳	۳۱/۵۱	۱۷۳	۶۸/۳۷	۲/۱۶	۰/۷۷	
شیب	۰-۲	۲۰۹۳۸۳۱	۳۰/۰۸	۱۶۱	۶۳/۶۴	۲/۱۱	۰/۷۴
	۲-۴	۱۳۰۹۲۰۳	۱۸/۸	۷۲	۲۸/۴۶	۱/۵۱	۰/۴۱
	۴-۸	۱۰۶۲۱۶۷	۱۵/۲۶	۲۰	۷/۹	۰/۵۱	-۰/۶۵
	۸-۲۵	۲۱۰۶۹۷۳	۳۰/۲۷	۰	۰	۰	۰
	۲۵<	۳۸۸۷۲۹	۵/۵۹	۰	۰	۰	۰
تراکم آبراهه	۰-۰/۱	۱۵۰۴۱۲۶	۲۱/۶	۷۳	۲۸/۸۶	۱/۳۳	۰/۲۸
	۰/۱-۰/۳	۲۳۴۴۰۴۹	۳۳/۶۸	۷۹	۳۱/۲۳	۰/۹۲	-۰/۰۷
	۰/۳-۰/۵	۱۹۱۳۵۴۵	۲۷/۴۹	۴۷	۱۸/۵۷	۰/۶۷	-۰/۳۹
	۰/۵-۰/۷	۹۴۹۴۵۵	۱۳/۶۴	۵۰	۱۹/۷۶	۱/۴۴	۰/۳۷
	۰/۷-۱/۰۱	۲۴۹۷۲۸	۳/۵۹	۴	۱/۵۸	۰/۴۴	-۰/۸۱

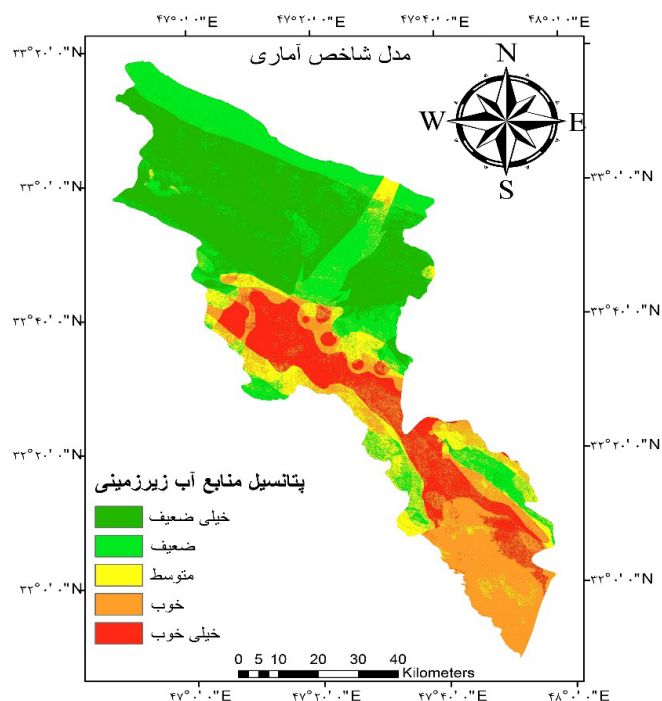
مقدار SI	مقدار FR	درصد چاه در هر کلاس	تعداد چاه در هر کلاس	درصد هر کلاس	تعداد پیکسل در هر کلاس	کلاس ها	نقشه
.۷۷	۲/۱۶	۵۹/۲۸	۱۵۰	۲۷/۳۵	۱۹۰۲۶۷۳	مراتع کوهستانی	
.۹۹	۲/۷	۳۷/۱۶	۹۴	۱۳/۷۴	۹۵۵۰۵۰	تپه ماهوری و مخروط افکنه	
.	.	.	.	۲/۹۶	۲۰۵۸۸۸	اراضی کشاورزی آبی	کاربری اراضی
-۱/۶	.۲	۳/۵۶	۹	۱۷/۶۸	۱۲۲۹۴۴۶	اراضی کشاورزی دیم	
.	.	.	.	۳۸/۲۷	۲۶۶۲۸۹۶	پوشش گیاهی ویژه دشت های شور و تپه های شنی	
						مراتع مرغوب و استپی همراه با درختان پراکنده	
۱/۰۳	۲/۸۱	۳۱/۲۳	۷۹	۱۱/۱۱	۷۷۳۹۶۸	دشت	
.۸۴	۲/۳۲	۶۸/۷۷	۱۷۴	۲۹/۵۹	۲۰۵۹۷۶۷	فلات_تراس	ژئومورفولوژی
.	.	.	.	۵۴/۲۲	۳۷۷۵۵۲۹	کوه	
.	.	.	.	۵/۰۸	۳۵۴۷۶۹	تپه	
-۱/۹۲	.۱۱	.۳۱	۱	۲/۷	۱۸۸۴۶۴	Entisols/Aridisols	
-۱/۱۱	.۹	۳/۹۸	۱۰	۴/۴۲	۳۰۷۱۵۸	Entisols/	
۱/۵	۴/۵	۹۰/۵۷	۲۲۹	۲۰/۱	۱۳۹۹۴۱۹	Inceptisols	
-۲/۳۳	.۰۹	۵/۱۴	۱۳	۵۲/۸۶	۳۶۷۹۲۸۰	Inceptisols	
.	.	.	.	۱۰/۴۲	۷۲۴۷۶۱	Bad Lands	خاک
.	.	.	.	۴/۰۱	۲۷۹۳۷۹	Dune Lands	
.	.	.	.	۵/۴۹	۳۸۲۴۳۹	RockOutcrops/ Entisols	
						RockOutcrops/ Inceptisol	
.۱۷	۱/۱۸	۱۸/۱۸	۴۶	۱۵/۲۹	۱۰۶۴۰۵۸	مسطح	
.۲۱	۱/۲۳	۱۳/۰۴	۳۳	۱۰/۵۶	۷۳۴۳۳۰	شمال	
-۱/۲۷	.۷۶	۶/۳۳	۱۶	۸/۲۹	۵۷۶۶۹۱	شمال شرق	جهت شیب
-۱/۴	.۶۶	۷/۱۲	۱۸	۱۰/۶۸	۷۴۳۳۸۳	شرق	
.۰۹	۱/۱	۱۵/۰۳	۳۸	۱۳/۶۵	۹۵۰۵۲۰	جنوب شرق	
-۱/۰۳	.۹۶	۱۳/۴۳	۳۴	۱۳/۸۵	۹۶۴۰۵۲	جنوب	
.۰۷	۱/۰۷	۱۲/۲۵	۳۱	۱۱/۳۹	۷۹۳۵۳۷	جنوب غرب	
.۱۱	۱/۱۲	۹/۸۸	۲۵	۸/۷۹	۶۱۲۲۱۵	غرب	
-۱/۴۵	.۶۳	۴/۷۴	۱۲	۷/۵	۵۲۲۱۱۷	شمال غرب	
-۱/۶۲	.۵۳	۱۳/۸۳	۳۵	۲۵/۸۵	۱۷۹۹۸۶۸	مقعر	
.۳۳	۱/۴	۶۸/۳۸	۱۷۳	۴۸/۷۱	۳۳۹۰۰۳۴	هموار	انحنای سطح
-۱/۳۵	.۶۹	۱۷/۷۹	۴۵	۲۵/۴۴	۱۷۷۱۰۰۱	محدب	
.۲۷	۱/۳۱	۱۶/۶	۴۲	۱۲/۶۶	۸۸۰۸۴۷	<۶	شاخص
-۱/۰۴	.۹۵	۸۲/۶۱	۲۰۹	۸۶/۸۳	۶۰۴۴۳۸۳	۶-۱۲	رطوبت
.۴۳	۱/۵۴	.۷۹	۲	.۵۱	۳۵۶۷۳	۱۲<	توپوگرافی

مشاهده می‌شود که خاک‌های اینسپتیسول به دلیل نفوذپذیری بیشتر نسبت به سایر کلاس‌ها تأثیر بیشتری در تغذیه آب زیرزمینی دارند. همچنین در فاکتور مؤثر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود کنگلومرای ماندار ماسه‌ای (Plbk) بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است با توجه به خلل و فرج بین این کلاس می‌توان بیان کرد بیشترین نفوذ در این منطقه صورت می‌گیرد.

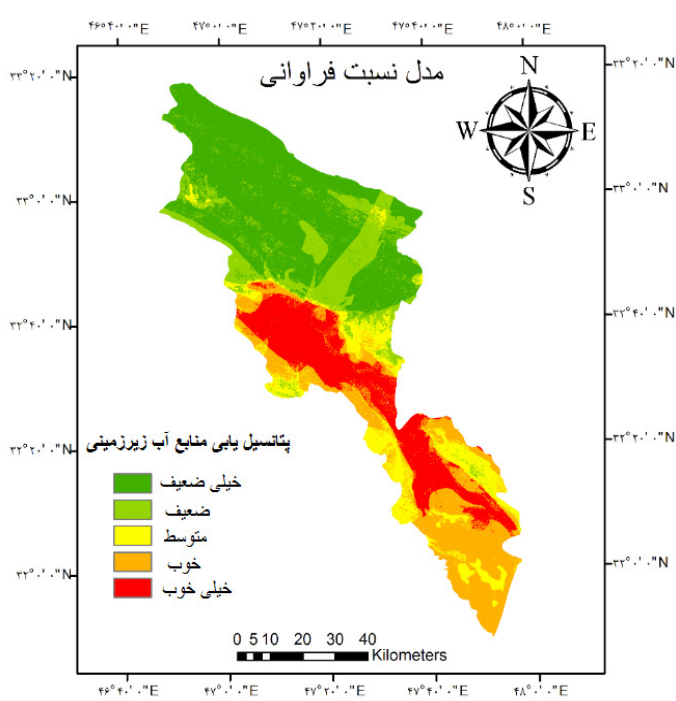
در نهایت مدل با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی که در شکل ۹ ارائه شده است، مورد ارزیابی و صحت سنجی قرار گرفت، نتایج حاصل نشان داد مدل نسبت فراوانی با  $AUC=0.99$  می‌باشد و مدل شاخص آماری با  $AUC=0.93$  می‌باشد که نشان‌دهنده دقت بالای این دو مدل در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران استان ایلام می‌باشد. با توجه به نتایج مدل‌ها، مدل نسبت فراوانی کارایی بهتری نسبت به مدل شاخص آماری دارد. بر همین اساس درصد مساحت‌های به‌دست‌آمده در مدل نسبت فراوانی به این صورت می‌باشد؛ ۳۶ درصد از مناطق خیلی ضعیف، ۱۵ درصد ضعیف، ۱۲ درصد متوسط، ۱۹ درصد خوب و ۱۸ درصد خیلی خوب می‌باشد. پیشنهاد می‌شود مدیران محترم از مدل نسبت فراوانی در برنامه‌ریزی‌های خود استفاده نمایند. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با نتایج عرفانیان و همکاران [۴] که با استفاده از مدل نسبت فراوانی در حوزه آبخیز چهل‌گری استان کردستان و اوزدمیر [۲۱] در حوزه‌ای در ترکیه به ترتیب به دقت  $AUC=0.89$  و  $AUC=0.90$  رسیدند همخوانی دارد، همچنین نتایج مدل شاخص آماری با نتایج

برای هرکدام از عوامل اثرگذار بر اساس وزن محاسبه‌شده با مدل‌های نسبت فراوانی و شاخص آماری، عوامل وزن دهی شدند و پس‌از آن با ترکیب لایه‌ها، نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی به دست آمد و نهایتاً نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی به پنج کلاس با پتانسیل خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف کلاس‌بندی شد که در شکل ۹ ارائه شده است. در پژوهش حاضر با توجه به وزن‌های اختصاص‌یافته در مدل‌های به‌کاربرده شده در این تحقیق، بیشترین تأثیر فاکتور ژئومورفولوژی، مربوط به کلاس دشت و کمترین تأثیر مربوط به کلاس کوه و تپه اختصاص‌یافته است، همان‌طور که در روش کار اشاره شده است، با توجه به مورفولوژی منطقه، دشت منطقه مستعد نفوذ آب و تغذیه منابع آب زیرزمینی می‌باشد. در تحقیق حاضر بیشترین تأثیر فاکتور کاربری اراضی، مربوط به اراضی کشاورزی آبی (دلیل این امر را می‌توان قرار گرفتن در معرض آب بیشتر نسبت به سایر کاربری‌ها بیان کرد) و کمترین تأثیر مربوط به اراضی دیم می‌باشد. الگوی زهکشی نشان‌دهنده ویژگی‌های سطح و همچنین تشکیلات زیرسطحی است. در پژوهش حاضر بیشترین تأثیر فاکتور تراکم زهکشی، مربوط به کلاس‌های کم تراکم و کمترین تأثیر مربوط به کلاس‌های متراکم می‌باشد.

همچنین، بیشترین تأثیر فاکتور شیب، مربوط به مناطق هموار با شیب کم و طبقات ارتفاعی پایین اختصاص‌یافته است زیرا که سرعت رواناب در این مناطق کاهش می‌یابد و فرصت برای نفوذ و تغذیه آب زیرزمینی بیشتر می‌شود. در بافت خاک منطقه مورد مطالعه

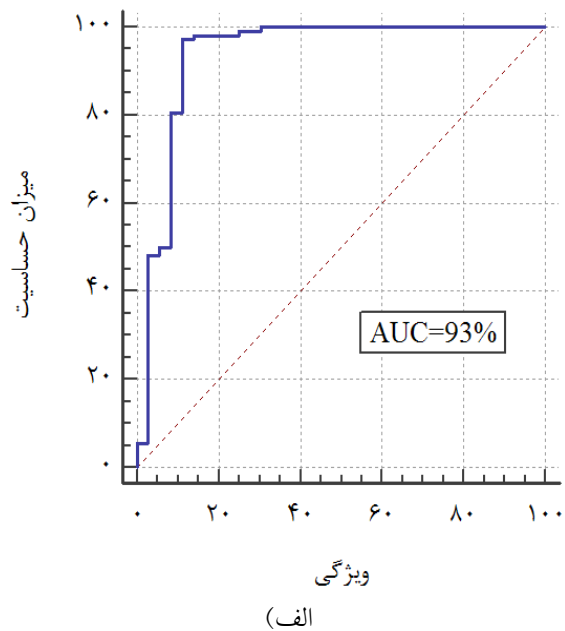
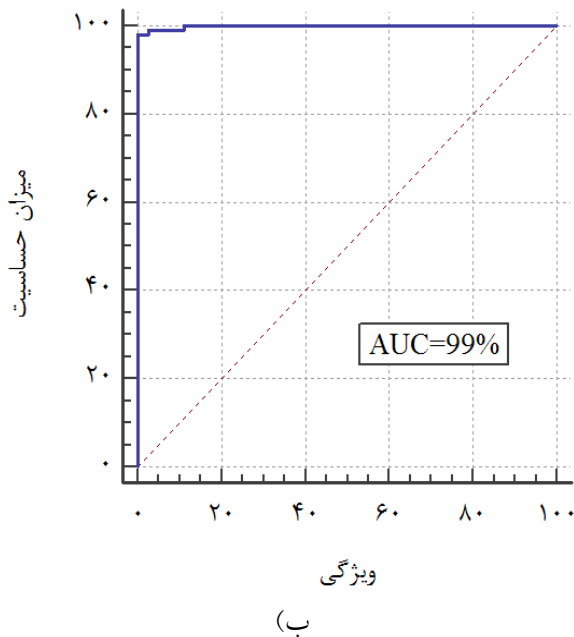


(ب)



(الف)

شکل ۹- نقشه‌های پتانسیل منابع آب زیرزمینی حاصل از، (الف) مدل‌های نسبت فراوانی و (ب) شاخص آماری دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران استان ایلام



شکل ۹- نتایج منحنی ROC، الف) مدل نسبت فراوانی و ب) شاخص آماری دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران استان ایلام

#### منابع

- 1- Abdalla, F., 2012, Mapping of Groundwater Prospective Zones Using Remote Sensing and GIS Techniques: A Case Study from the Central Eastern Desert, Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, 70(70): 8–17.
- 2- Ashwani, K. Srivastava, Amit Sinha, and Rajesh Upadhyay 2006. Monitoring Landuse/Landcover of Maharajganj district of U.P. using remote sensing technique, accepted for oral presentation in XXVI INCA International Congress, organized by Indian National Cartographic Association & Survey of India, at New Delhi, between 22-24th .
- 3- Bertolini, M., Braglia, M. and G. Carmignani. 2006. Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract. *International Journal of Project Management*, 24:422-430.
- 4- Corsini, A., F. Cervi and F. Ronchetti. 2009. Weight of evidence and artificial neural networks for potential groundwater spring mapping: an application to the Mt. Modino area (Northern Apennines, Italy). *Geomorphology* 111: 79-87.
- 5- Edet, A.E., Okereke, C.S., Teme, S.C., Esu, E.O., 1998, Application of Remote Sensing Data

پور قاسمی و همکاران [۲۳] که با دقت  $AUC=78\%$  در شمال تهران انجام گرفت همخوانی دارد.

#### نتیجه‌گیری

مناطق دارای پتانسیل منابع آب در منطقه مورد مطالعه توسط ویژگی‌های سطحی عوامل هواشناسی و ویژگی‌های مختلف جغرافیایی کنترل می‌شود. نقشه‌های سطح آب زیرزمینی، سنگ‌شناسی، ژئومورفولوژی، شیب، تراکم زهکشی، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، انحنای سطح، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی و خاک در آماده‌سازی نقشه پتانسیل منابع آب‌های زیرزمینی بسیار مؤثر است که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. ۷۰ درصد چاه‌های با آبدهی مناسب (بالای ۱۰ مترمکعب بر ساعت) به عنوان چاه آموزشی و ۳۰٪ برای اعتبارسنجی به صورت تصادفی تقسیم شد. مدل SI و FR با استفاده از چاه‌های آموزشی مورد تحلیل قرار گرفتند، تعداد و درصد پیکسل در هر کلاس و تعداد و درصد چاه در هر کلاس برای اجرای مدل‌ها محاسبه و مورد استفاده قرار گرفت. ارزش هر کلاس در لایه اعمال و در نهایت لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3 همپوشانی شدند. ارزیابی مدل در منحنی ROC مقدار  $AUC=99\%$  را برای مدل SI نشان داد. خروجی مدل‌ها به پنج طبقه خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف کلاس بندی شد. با توجه به نتایج اعتبار و صحت سنجی، مدل نسبت فراوانی کارایی قابل قبول تری نسبت به مدل شاخص آماری دشت‌های موسیان-آبدانان و دهلران استان ایلام دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود، مسئولان مربوطه جهت مدیریت آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه و مناطق نظیر از مدل نسبت فراوانی استفاده نمایند.

using integrated remote sensing and GIS in Jammu district, India. *International Journal of Remote Sensing*, 28(22):5019-5036.

14- Khan, MA; Sharma, M., 2003. Estimation of Groundwater Potential in Indian arid Environment Using Isopach Mapping Technique, *Journal Geol. Soc. India*, 61: 403-410.

15- Manap, M. A., Nampak, H., Pradhan, B., Lee, S., Sulaiman, W. N. A., & Ramli, M. F. 2014. Application of probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2): 711-724.

16- Manap, M. A., Sulaiman, W. N. A., Ramli, M. F., Pradhan, B., & Surip, N. 2013. A knowledge-driven GIS modeling technique for groundwater potential mapping at the Upper Langat Basin, Malaysia. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(5), 1621-1637.

17- Masoudian, A., Kaviani, K., 2007. *Iran Climatology*. Isfahan University Press.

18- Mirzapour, H., Haghizadeh, A., 2017. Delineation of Groundwater Potential of Madian Roud watershed in Lorestan using Weighted index overlay analysis (WIOA). *Hydrogeology*, Volume 1, Issue 2, Autumn 2017, 83-98.

19- Mousavi, S. Chitsazan, M. Mirzaii 2008. Determination of suitable zones for groundwater utilization using GIS measurement and technology: Case study, south of Izeh Plain. Twelfth Conference of Iranian-Ahwaz Geological Society.

20- Naghibi, S. A., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S., & Rezaei, A. 2015. Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran. *Earth Science Informatics*, 8(1): 171-186.

21- Ozdemir, A. 2011b. GIS-based groundwater spring potential mapping in the Sultan Mountains (Konya, Turkey) using frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods and their comparison. *J. Hydrology* 411: 290-308. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.10.010

22- Piri, H., Bameri, A., 2014. Investigating the

to Groundwater Exploration: A Case Study of the Cross River State, Southeastern Nigeria, *Journal of Hydrogeology*, 6(3): 394-404.

6- Endreny, T.A., Wood, E.F. 2003. Maximizing spatial congruence of observed and DEM-delineated overland flow networks. *International Journal of Geographical Information Science*. 17(7): 699-713.

7- Erfanian, M., Farajollahi, H., Sourji, M., and Shirzadi, N., 2016. Comparing the Efficiency of Weight of Evidence, Logistic Regression and Frequency Ratio Methods for Mapping Groundwater Spring Potential in Ghelgazi Watershed, Kordestan Province of Iran. *J. Sci. and Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci.*, Vol. 20, No. 75, Spring 2016, Isf. Univ. (in Persian).

8- Falah, F., Ghorbani Nejad, S., Rahmati, O., Daneshfar, M., and Zeinivand, H. (2016). Applicability of generalised additive model in groundwater potential modelling and comparison its performance by bivariate statistical methods. *Geocarto International*, (just-accepted), 1-40.

9- Ghorbani nejad, S, Rahmati, O., and Timurian, T 2016 Groundwater potential of Azna-Aligudarz plain using statistical index model", fourth national conference of student associations of agricultural engineering, natural resources and environment. University of Tehran.

10- Goodarzi, L., Akhondali, A, and Zarei, M., 2015. Identification of sites suitable for artificial recharging using GIS and AHP techniques (Case study: Oshotorinan Plain). *RS & GIS for Natural Resources* 5(4):

11- Gumma, M. K., and Pavelic, P. 2013. Mapping of groundwater potential zones across Ghana using remote sensing, geographic information systems, and spatial modeling. *Environmental monitoring and assessment*, 185(4):3561-3579.

12- Guru, B., Seshan, K., & Bera, S. (2016). Frequency ratio model for groundwater potential mapping and its sustainable management in cold desert, India. *Journal of King Saud University-Science*.

13- Jasrotia, A. S., Kumar, R., & Saraf, A. K. 2007. Delineation of groundwater recharge sites

- 27- Senanayake, I. P., Dissanayake, D. M. D. O. K., Mayadunna, B. B., & Weerasekera, W. L., 2016. An approach to delineate groundwater recharge potential sites in Ambalantota, Sri Lanka using GIS techniques. *Geoscience Frontiers*, 7(1), 115-124.
- 28- Solomon, S., & Quiel, F., 2006. Groundwater study using remote sensing and geographic information systems (GIS) in the central highlands of Eritrea. *Hydrogeology Journal*, 14(5): 729-741.
- 29- Van Westen, C. J. 1997. Statistical landslide hazard analysis. *ILWIS*, 2, 73-84.
- 30- Yesilnacar E, Topal T. 2005. Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Eng. Geol.* 79 (3-4): 251-266.
- 31- Yin, K. L., & Yan, T. Z. 1988. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. In *Proceedings of the 5th international symposium on landslides, Lausanne, Switzerland*, . 2.: 1269-1272.
- quantity variation trend of ground water table using geostatistics and GIS (Case study: Sirjan Plain). *RS & GIS for Natural Resources (Vol. 5/ Issue 1)* Spring 2014.
- 23- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., & Aghda, S. F. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural hazards*, 69(1): 749-779.
- 24- Pourtaghi, Z. S., and Pourghasemi, H. R. 2014). GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeology Journal*, 22(3):643-662.
- 25- Qin, C-Z., Zhu, A-X., Pei, T., Li, B-L., Scholten, T., Behrens, T. and Zhou, C-H. 2011. An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. *Precision Agriculture*. 12: 32-43.
- 26- Samson, S., & Elangovan, K. 2015. Delineation of groundwater recharge potential zones in Namakkal District, Tamilnadu, India using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43(4): 769-778.

*Abstract*

## Groundwater Potential Mapping Using Frequency Ratio and Statistical Index Models at Dehloran and Mosian-Abdanan Plains ,Iran

N. Tahmasebipour<sup>1</sup>, A. Arshia<sup>2\*</sup> and H. Mirzapour<sup>3</sup>

Received: 2016/02/10 Accepted: 2017/11/06

Identifying areas with high potentials for groundwater is a major factor for the management of groundwater resources. In this study, we tried to identify areas with the potentials for groundwater in Dehloran and Mosian-Abdanan plains, Ilam, by using frequency ratio and statistical index models. Conditioning Factors used in this study include: Groundwater levels, Lithology, geomorphology, slope, slope aspect, drainage density, land use, elevation, topographic wetness index, curvature, and texture of the soil. In the frequency ratio and statistical index models, at first wells with a discharge rate of 10 cubic meters per hour were extracted in the region; then, 70 percent Training wells (253 pcs) and 30% of the wells for validation (108 pcs) were randomly selected and divided and based on the frequency ratio, necessary analyses were conducted in classes and maps and maps were overlapped and, finally, the groundwater resources map for each of the models were produced. ROC curve method was used to evaluate the performance of models. The results showed that the frequency ratio and statistical index models 99 and 93 percent respectively have excellent efficiency in finding potential sources of groundwater in the plains of Ilam province, Dehloran, and Musian\_Abdanan. Based on the model results, Frequency Ratio model functions better than Statistical Index. Based on this, the percentage of the area achieved in the Frequency model ratio are as follows 36% of the areas were Very weak; 15% Weak; 12% Average; 19% Good, and 18% Very good. It is suggested that respected Managers use Frequency Ratio model in their own programs.

**Keywords:** *Dehloran , GIS, Groundwater, Frequency ratio, Mosian- Abdanan , Statistical index*

1. Associate Prof . Of .Department of Range and Watershed Management Engineering, Lorestan University.

2. MSc . Student of Watershed Management Engineering Lorestan University, Corresponding Author, E-mail: a.arshia@chmail.ir

3. Graduate, Master of Watershed Management Engineering Lorestan University.