پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از الگوریتم حداکثر آنتروپی و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت همدان- بهار)

یوسف رزندی[۱]، بهنوش فرخ زاده[۲]، معصومه یوسف زاده چابک[۳]، تیمور تیموریان[۴]

تاریخ دریافت:۱۳۹۴/۱۲/۹
تاریخ پذیرش:۱۳۹۵/۱۲/۲۵

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب زیرزمینی و تشدید نیاز بخش‌های مختلف، تأمین آب برای مصارف مختلف یکی از عمده‌ترین چالش‌ها برای دست یافتن به توسعه پایدار محسوب می‌گردد. تعیین پتانسیل یک حوضه از نظر منابع آب زیرزمینی می‌تواند راهبردی مناسب در ارتقای شیوه‌های سنتی و مدیریت این منابع باشد، چرا که روش‌های سنتی و دستی که در جهت شناخت پتانسیل آبهای زیرزمینی به کار گرفته می‌شوند، غالباً نیازمند صرف وقت و هزینه و نیروی انسانی زیادی می‌باشد. در این مطالعه از الگوریتم حداکثر آنتروپی و با بهره‌گیری از نرم‌افزار MaxEnt جهت پتانسیل-یابی آب زیرزمینی در دشت همدان بهار استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد ۲۷/۲ درصد سطح دشت دارای پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین بر اساس نمودار Jacnaif متغیرهای Dem، ضخامت آبخوان و زمین‌شناسی مهمترین عوامل اثرگذار بر پیش‌بینی نواحی دارای پتانسیل بودند و مدل بیشترین حساسیت را نسبت به این پارامترها نشان داد. نتایج نشان داد که مدل دقت قابل قبولی در شناسایی پتانسیل آب زیرزمینی دارد به طوری که دقت مدل ۰/۸۳ برآورد گردید. نتایج حاصل از پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی با استفاده از این مدل می‌تواند برای سیاست‌گزاران مدیریت منابع آب زیرزمینی و همچنین در بررسی جامع برای توسعه برداشت از آب زیرزمینی در طرح‌های آینده مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، الگوریتم حداکثر آنتروپی، MaxEnt ، دشت همدان- بهار

[۱] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه تهران،البرز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، شماره تماس: ۰۹۳۷۵۴۴۶۴۰۶، Razandi@ut.ac.ir

[۲] استادیار گروه آبخیزداری داننشگاه ملایر، ۰۹۱۲۵۳۴۷۰۶۵، شماره تماس: be_farokhzadeh@yahoo.com(مسئول مکاتبه)

[۳] فارغ التحصیل کارشناسی ارشد منابع آب دانشگاه تربیت مدرس، تهران، میدان انقلاب شماره تماس: ۰۹۰۱۰۶۷۴۰۴۴، m_chabok@yahoo.com

[۴] دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه تهران، ۰۹۳۹۴۶۴۸۱۰۴، شماره تماس: t.teimurian@ut.ac.ir

مقدمه

منابع آب زیرزمینی از یک‌سو به دلیل شیرین‌بودن، ترکیبات شیمیایی، دمای ثابت، ضریب آلودگی کمتر و سطح اطمینان بالاتر در تأمین آب به عنوان یک منبع قابل اتکا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده و از سوی دیگر با تأثیر بر توان اکولوژیکی منطقه یک پدیده مهم و موثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی و سلامت جامعه به حساب می‌آیند. 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 به‌طوری که سیستم با بیلان منفی و در حال اضمحلال و نابودی است (رحیمی و موسوی، ۱۳۹۲). با تداوم این عمل، سطح آب‌های زیرزمینی روز به روز افت کرده و سرانجام به جایی خواهد رسید که دیگر آبی برای استخراج وجود نخواهد داشت؛ بنابراین شناسایی این منابع جهت استفاده بهینه و پایدار از این ثروت خدادادی ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌های بسیاری جهت برآورد پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته که اصولا بر اساس برآوردهای میدانی می‌باشند (Ganapuram et al, 2009). رویکردهای ژئولوژیکی، هیدروژئولوژیکی، حفاری و ژئوفیزیکی جهت شناسایی آب زیرزمینی پرهزینه بوده و زمان زیادی را صرف می‌نمایند (Singh & Prakash, 2002). به‌همین دلیل تکنیک‌ها و مدل‌هایی جهت این امر پیشنهاد شده که از تکنیک-های با کاربری آسان تا مدل های ریاضی پیشرفته متغیر می‌باشند (Chung & Fabbri, 2003). تعیین مناطقی که دارای پتانسیل آب زیرزمینی می-باشند به عنوان ابزاری مهم برای به اجرا درآوردن طرح-های تعیین، حفاظت و مدیریت آب زیرزمینی به حساب می‌آیند.

در سال‌های اخیر بسیاری از تکنیک‌های محاسباتی نظیر مدل‌سازی عددی (Rahmati et al, 2014)، روش‌های درخت تصمیم و روش‌های یادگیری ماشینی (Chenini & Mammou, 2010)، شبکه عصبی مصنوعی (Lee et al., 2010) و منطق فازی (Shahid et al, 2002., Ghayoumian et al, 2007) به منظور پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی و ارزیابی آن مورد استفاده قرار گرفتند. از طرفی روش‌های دیگری از قبیل سیستم اطلاعات جغرافیایی و فناوری سنجش از دور جهت پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی به عنوان یک روش مفید و کاربردی معرفی شده است (Razandi et al, 2015., Rahmati et al, 2014). در این پژوهش از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل حداکثر آنتروپی (Maxent) که روشی نوین در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی می‌باشد استفاده شده است.

مدل حداکثر آنتروپی یک تکنیک تخمین احتمالاتی است که به صورت گسترده‌ای در سال‌های اخیر به منظور مدیریت جنبه‌های مختلف منابع طبیعی و زیست محیطی مورد استفاده قرار گرفته است (Phillips et al, 2006., Allard et al, 2011). Park (۲۰۱۴) از مدل Maxent در ارتباط بین زمین-لغزش و فاکتورهای زمین‌شناختی-زیست‌محیطی به منظور تعیین میزان حساسیت زمین‌لغزش نسبت به فاکتورها در منطقه Boeun در کره استفاده نمود.Hossein و همکاران (2013) بیان نمودند که مدل Maxent یک مدل عمومی با پیش زمینه ریاضیاتی جامع و معین می‌باشد. .Phillips و همکاران (2006) نشان دادند که مدل Maxent نتایج مناسب و خوبی را حتی در نمونه‌های کوچک منجر می‌شود.

از آنجایی که آبراهه‌های حوضه‌ی همدان – بهار به علت اقلیم خاص و بارش کم، دارای آبدهی قابل توجهی نبوده و به صورت سیلابی می باشند، از این رو در این دشت منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده که این امر به نوبه خود نمایانگر لزوم مدیریت هرچه بهتر این منابع ارزشمند می‌باشد که پتانسیل یابی آب زیرزمینی یکی از ابزارهای کارآمد در این راستا خواهد بود. هدف از مقاله حاضر ایجاد نقشه‌های پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی با استفاده از GIS بر اساس مدل Maxent در دشت همدان-بهار می‌باشد. استفاده

از روش حداکثر آنتروبی به منظور پتانسیل یابی آب های زیرزمینی در سال ۲۰۱۶ برای اولین بار در سطح جهانی استفاده شده و تاکنون در کشور مورد استفاده قرار نگرفته، از این رو در این مقاله برای نخستین بار از این روش استفاده شده است. علاوه بر این بسیاری از روش های پتانسیل یابی آب زیرزمینی نیازمند داده های فراوانی بوده که دسترسی به این داده ها اغلب سخت و امکان پذیر نمی باشد که مدل های عددی از قبیل این مدل ها می باشند. همچنین بسیاری از روش های دیگر مانند شبکه های عصبی، جهت آموزش علاوه بر وجود نقاط حضور نیازمند وجود نقاط عدم حضور نیز می باشد. از آنجا که یافتن نقاط عدم حضور (مناطق دارای پتانسیل کم آب زیرزمینی) و اطمینان از این عدم حضور مشکلات زیادی در مطالعات در پی خواهد داشت (Barbet-Massin et al., 2012). این روش می‌تواند به عنوان گامی نو به منظور سرعت‌بخشیدن به شناسایی نقاط دارای پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز همدان- بهار با عرض جغرافیایی '۵۸ °۳۴ تا '۱۹ °۳۵ و طول جغرافیایی '۱۲ °۴۸ تا '۱۸ °۵۹ درانتهای غربی حوزه آبخیز دریاچـه نمـک قـرار دارد. وسعت کل حوضه ۲۴۹۲ کیلومتر مربع است که ۱۵۹۴ کیلومتر از آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. خروجی حوضه در ناحیه شمالی آن (اراضی کوشک آباد) واقع و سفره آب زیرزمینی آن با دشت‌های کبودرآهنگ و نهاوند ارتباط هیدروژئولوژیک دارد. ۸۸۰ کیلومتر مربع از این حوضه را دشت تشکیل می‌دهد که به دشت همدان- بهار معروف است، دشت فوق را از سمت جنوب ارتفاعات الوند، از سمت غرب ارتفاعات آلموبلاغ، شیخی‌جان و کمرزرد از سمت شرق ارتفاعات ارجنی و قافلانته، احاطه نموده‌اند. عمده‌ی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی حوضه همدان - بهار در این دشت صورت می‌گیرد و منبع اصلی تأمین‌کننده آب شرب، کشاورزی و صنعت در شهرهای همدان و بهار می‌باشد (Farokhzadeh et al, 2015).

منطقه مورد مطالعه بر اساس روش آمبرژه، در اقلیم نیمه‌خشک سرد قرار می‌گیرد. متوسط بارندگی سالانه در طول دوره آماری ۳۹ ساله (۱۳۸۹-۱۳۵۰) ۳۲۱/۱ میلیمتر به ثبت رسیده است. مخازن آب زیرزمینی این حوضه در رسوبات آبرفتی دوران چهارم که ماحصل فرسایش ارتفاعات حاشیه دشت هستند، تشکیل شده‌اند. وسعت سفره آبدار اصلی موجود در آبرفت‌ها ۴۶۸ کیلومتر مربع و از نوع آزاد می‌باشد. اجزاء تشکیل‌دهنده رسوبات آبرفتی شامل قلوه سنگ، شن، ماسه، سیلت و رس می‌باشد. ضخامت این رسوبات در محدوده سفره، ۳۰ الی ۴۰ متر و حداکثر حدود ۱۰۰ الی ۱۲۰ متر در حوالی روستاهای حسام‌آباد، بهرام‌آباد و گنج‌تپه می‌باشد. در دامنه ارتفاعات جنوبی کوه الوند بر اثر پدیده فرسایش و حمل، واریزه‌های گرانیتی رسوبات حاشیه دشت را تشکیل می‌دهند. عمده‌ترین منابع تغذیه سفره آب زیرزمینی، صرف نظر از ریزش-های جوی، آبراهه‌هایی هستند که از دامنه الوند سرچشمه می‌گیرند و وارد محدوده دشت می‌شوند. موقعیت منطقه مورد مطالعه در (شکل۱) نشان داده شده است (Farokhzadeh et al, 2015).

جمع‌آوری داده

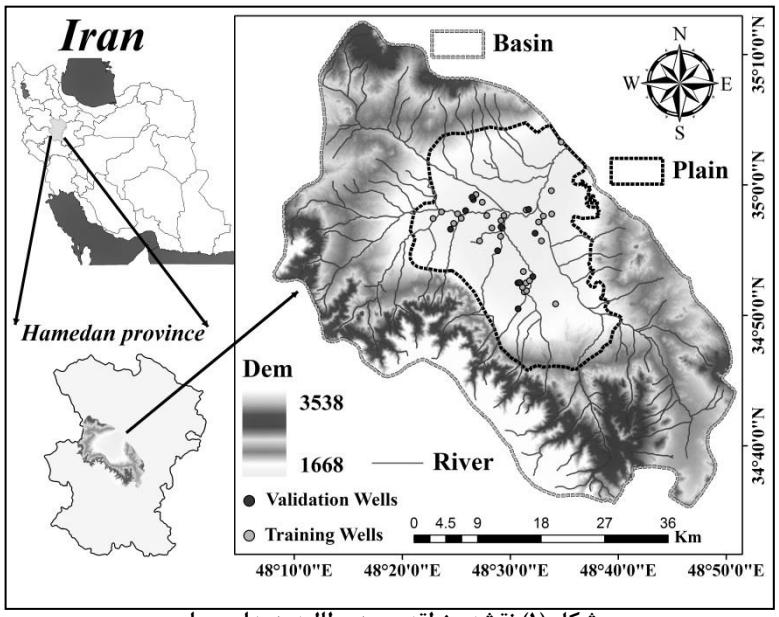
ساختار داده‌ای و جمع‌آوری پایگاه داده‌های مکانی فاکتورهای موثر و بخش ضروری هر مطالعه می‌باشد (Pourghasemi et al, 2013). اطلاعات مربوط به آب زیرزمینی و آبخوان مانند تعداد چاه‌ها، میزان آبدهی، سطح ایستابی پیزومترها، عمق آبخوان از سازمان مدیریت منابع آب ایران و برآوردهای میدانی بدست آمد. در این پژوهش تعداد ۴۰ حلقه چاه که دارای بیشترین دبی در بین چاه‌های موجود در محدوده‌ی مطالعاتی بودند و نشان‌دهنده مناطقی با پتانسیل آب زیرزمینی بالا می‌باشند انتخاب گردیدند. چاه‌های انتخاب شده به صورت تصادفی به دو دسته، ۲۸ چاه

(۷۰٪) برای آموزش و ۱۲ چاه (۳۰٪) برای آزمایش، طبقه‌بندی شدند.

متغیرهای محیطی تأثیرگذار

در حالت کلی پتانسیل آب زیرزمینی در یک آبخوان به پارامترهای موثر مختلفی بستگی دارد که تعداد پارامترهای مورد بررسی در یک پژوهش به داده‌های قابل دسترس در منطقه وابسته می‌باشند. در این مطالعه به منظور ارزیابی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی ۹ پارامتر مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). با استفاده از خطوط تراز و بر اساس نقاط ارتفاعی که از نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ استخراج می‌شود، مدل رقومی ارتفاعی[1] تهیه شد. برای استخراج نقشه‌های شیب، جهت، فاصله از آبراهه، TWI و تراکم زهشکی، نقشه‌ی ارتفاعی رقومی شده به عنوان لایه ورودی مورد استفاده قرار گرفت. این نقشه‌ها در محیط نرم افزار ArcMap 10.3 تهیه شدند. قابل ذکر می باشد که لایه‌های رقومی مورد استفاده در این پژوهش از سازمان نقشه برداری کشور تهیه شدند.

1. DEM



شکل (۱) نقشه منطقه مورد مطالعه همدان-بهار

یکی از پارامترهایی که نقش بسیار مهمی را در پیش‌بینی مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی دارا می-باشد، زمین‌شناسی بوده که اهمیت بسیاری در میزان تراوایی و تخلخل آبخوان دارد (Chowdhury et al, 2011). از طرفی فرایند تخلیه آب زیرزمینی عمدتاً توسط شیب که نقش بسیار مهمی را در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی ایفا می‌نماید، کنترل می‌شود (Ettazarizini & El Mahmouhi, 2004., Prasad at al, 2008). شیب یکی از فاکتورهای موثر در نفوذ آب‌های سطحی در زمین بوده به‌گونه‌ای که در شیب ملایم، رواناب سطحی به آرامی حرکت کرده و زمان بیشتری جهت نفوذ داشته و شیب‌های تندتر، رواناب بیشتری داشته و بنابراین آب‌های زیرزمینی کمتر تغذیه می‌شوند (Vijith, 2007). بر این اساس از نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه بهره گرفته شد و نقشه طبقات شیب تولید گردید.

شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) ابزاری مفید و رایج برای توصیف شرایط رطوبتی در مقیاس حوضه می باشد. نظریه TWI اولین بار بوسیله Beven & Kirkby. (1979) در مدل بارش- رواناب TOPMODEL معرفی شد که می‌تواند تاثیر توپوگرافی را بر روی تولید رواناب بصورت کمی بیان کند و به‌عنوان یک شاخص فیزیکی، مکان مناطق اشباع سطحی و توزیع مکانی رطوبت خاک را تقریب می‌زند (Qin, 2011). این شاخص از رابطه ۱ بدست می آید:

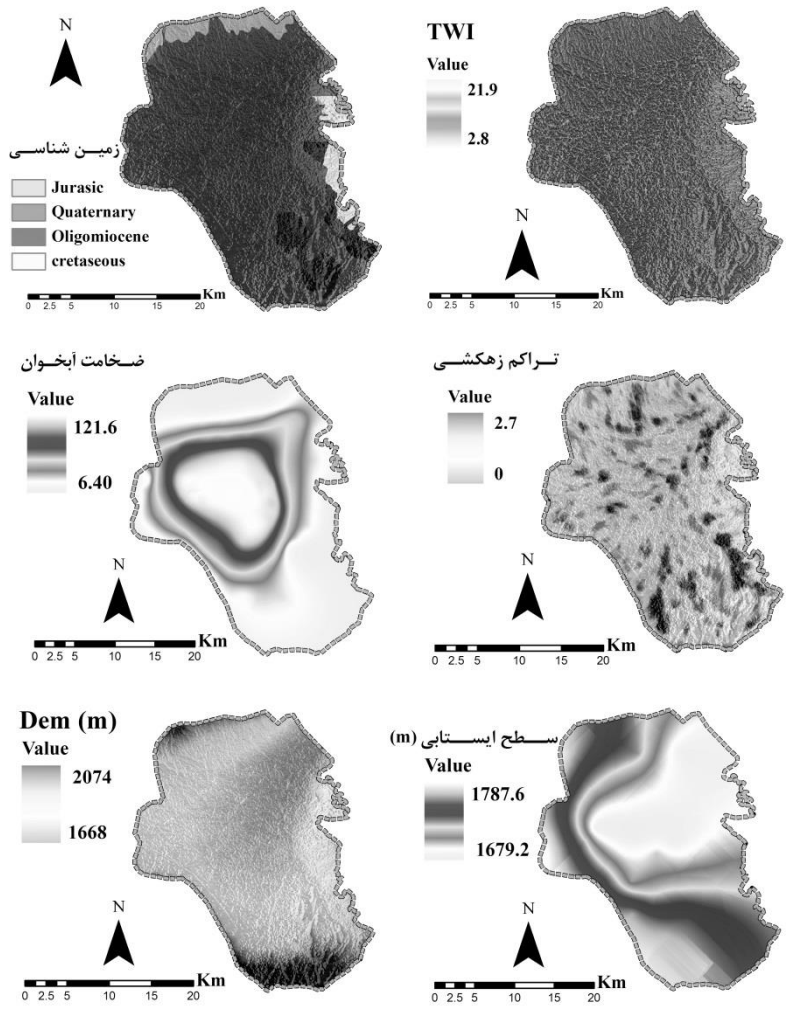
$$TWI = \ln(\frac{Ac}{tan\beta}) \qquad (۱)$$

در این رابطه Ac مساحت موضعی بالای دامنه که از طریق مسیرهای معینی زهکشی می‌شود و β شیب دامنه های موضعی زهکش شده تاثیرگذار در شیب هیدرولیک مسیر زهکشی است (Hooijer et al, 2004). از آنجا که در بسیاری از مطالعات شبکه آبراهه حوضه به عنوان پارامتری مهم در ارتباط با کمیت و کیفیت آب زیرزمینی تعیین شده است (مفیدی‌فر و همکاران، ۱۳۹۳) در این پژوهش نیز به منظور استفاده از این معیار و کمی‌کردن آن از نقشه تراکم و فاصله از آبراهه استفاده گردید. توپوگرافی پارامتر دیگری است که جهت کلی جریان آب زیرزمینی را نشان می‌دهد و بر روی تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارد. بنابراین داده توپوگرافی عنصر اساسی در تعیین ارتفاع سطح ایستابی می-باشد(Sener et al, 2005). همچنین معیارهای ضخامت آبخوان و سطح ایستابی نیز به عنوان پارامترهای هیدروژئولوژیکی به مدل معرفی شدند تا

مدل نگرش جامع تر و دقیق‌تری در برآورد مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی داشته باشد که نقشه پارامترهای مورد بررسی در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول (۱) پارامترهای مورد استفاده در مدل MAXENT

متغیر	روش برآورد
مدل رقومی ارتفاع	بر اساس نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰
ضخامت آبخوان	بر اساس نقاط ارتفاعی آزمایشات ژئوفیزیکی و مدل رقومی ارتفاع
زمین شناسی	بدست‌آمده از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰
سطح ایستابی	براساس تراز سطح ایستابی پیزومترهای موجود در منطقه و به کمک روش زمین آمار
شاخص رطوبت توپوگرافی	بدست‌آمده از مدل رقومی ارتفاعی
جهت شیب	محاسبه شده توسط تابع Aspect در نرم افزار ArcMap
فاصله از رودخانه	اعمال تابع Distance بر اساس نقشه Dem تهیه شده توسط ابزار Hydrology
تراکم زهکشی	بدست‌آمده از مدل رقومی ارتفاعی به کمک تابع Line density



شکل (۲) نقشه پارامترهای مورد بررسی در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی

تجزیه و تحلیل داده‌ها

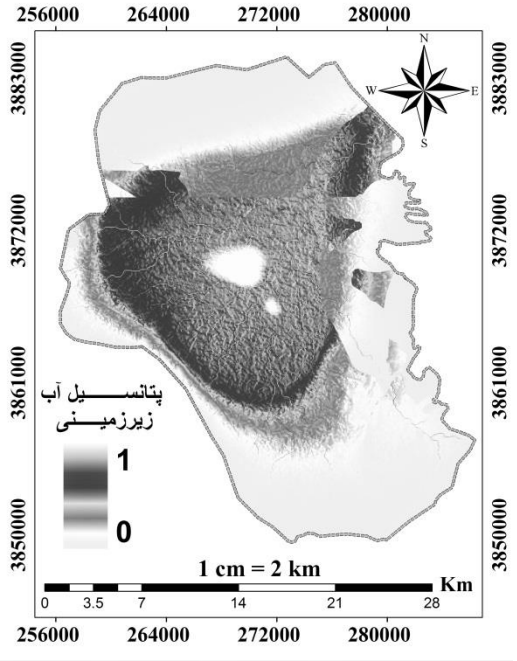
در این تحقیق با استفاده از الگوریتم حداکثر آنتروپی و به کمک نرم‌افزار MAXENT نواحی دارای پتانسیل آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت و چاه‌هایی که به جهت آموزش مدل انتخاب شده بودند به عنوان نقاط حضور به مدل معرفی شدند. در این روش همبستگی پارامترهای موثر بر آب زیرزمینی با نقاط حضور (چاه‌ها) محاسبه و با همبستگی متغیرها با ۱۰۰۰۰ نقطه تصادفی از منطقه به عنوان نقاط زمینه[1] یا شبه عدم حضور[2] مقایسه می‌شود و از این طریق بی‌نظمی نسبی میان نقاط حضور چاه‌ها و نقاط تصادفی کاهش می‌یابد. در نهایت مدلی بدست می‌آید که دارای بیشترین قدرت تشخیص در مناطقی با پتانسیل بالای وجود نقاط حضور (مناطقی با پتانسیل آب زیرزمینی بالا) می‌باشد (Phillips et al, 2012). از سوی‌دیگر از آنجا که یافتن نقاط عدم حضور (مناطق دارای پتانسیل کم آب زیرزمینی) و اطمینان از این عدم حضور مشکلات زیادی در مطالعات در پی خواهد داشت (Barbet-Massin *et al.*, 2012). استفاده از مدل MAXENT به عنوان یک روش وابسته به نقاط فقط حضور، می‌تواند منجر به حذف بسیاری از ناکارآمدی‌ها و عدم قطعیت ناشی از نقاط عدم حضور گردد (Phillips et al., 2006).

در نرم‌افزار MAXENT برای ارزیابی عملکرد مدل، امکان محاسبه سطح زیر منحنی ROC وجود دارد. این منحنی به صورت نموداری ارائه می‌شود که در آن Sensitivity (احتمال تشخیص صحیح نقاط حضور) مدل با Specificity (احتمال تشخیص صحیح نقاط شبه عدم حضور) مورد مقایسه قرار می‌گیرد (Phillips et al, 2006., Elith et al, 2011). سطح زیر نمودار (AUC) بدست آمده به عنوان معیاری از قدرت تفکیک مدل در تشخیص نقاط حضور از عدم حضور مورد توجه قرار می‌گیرد. AUC مدلی با قدرت پیشگویی بسیارکم ۰/۵ و مدلی کامل با قدرت پیشگویی بسیار زیاد دارای AUC به میزان یک خواهد بود (Hosmer & Lemshow, 2000, Boyce et al, 2002). همچنین یکی از مهمترین مزایای به‌کارگیری الگوریتم حداکثر آنتروپی به کمک نرم افزار MAXENT، قابلیت این مدل در شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار و تحلیل حساسیت مدل به روش Jackknife می‌باشد (Phillips et, al2006). در این روش پس از ایجاد مدل کامل با دخالت تمامی متغیرها، مدل‌سازی به تعداد متغیرها تکرار شده و هربار یکی از متغیرها از روند مدل‌سازی حذف می‌شود. بدین ترتیب میزان تأثیر هر یک از متغیرها در پیش‌بینی نواحی مطلوب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این پژوهش به منظور انجام محاسبات لازم از نرم افزار MAXENT نسخه ۳,۳,۳ استفاده شد. نقاط حضور با فرمت CSV و همچنین لایه‌های مربوط به پارامترهای موثر بر آب زیرزمینی با فرمت ASCII وارد آنالیز شدند. همچنین از سطح زیر منحنی ROC به عنوان معیاری از عملکرد مدل بدست آمده در تشخیص نقاط حضور (چاه‌های با دبی بیشتر) از نقاط شبه عدم حضور استفاده شد. پس از انجام بررسی‌های لازم برروی چاه‌های موجود در منطقه تعداد ۴۰ چاه با دبی بیشتر شناسایی شد و مختصات آنها ثبت گردید. پس از واردکردن نقاط حضور و متغیرهای مورد نظر در نرم‌افزار MAXENT پتانسیل کل منطقه جهت پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی محاسبه و نقشه حاصل به فرمت رستری به نرم افزار ArcGIS منتقل شد.

نتایج

پس از ورود نقاط حضور جهت آموزش مدل و همچنین متغیرهای تأثیر گذار بر روی پتانسیل آب زیرزمینی الگوریتم حداکثر آنتروپی به کمک مدل MAXENT اجرا و نقشه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تهیه گردید که نقشه پیش‌بینی نواحی دارای پتانسیل آب زیرزمینی در شکل ۳ نشان داده شده است.

1. Background location
2. Pseudo-absence location

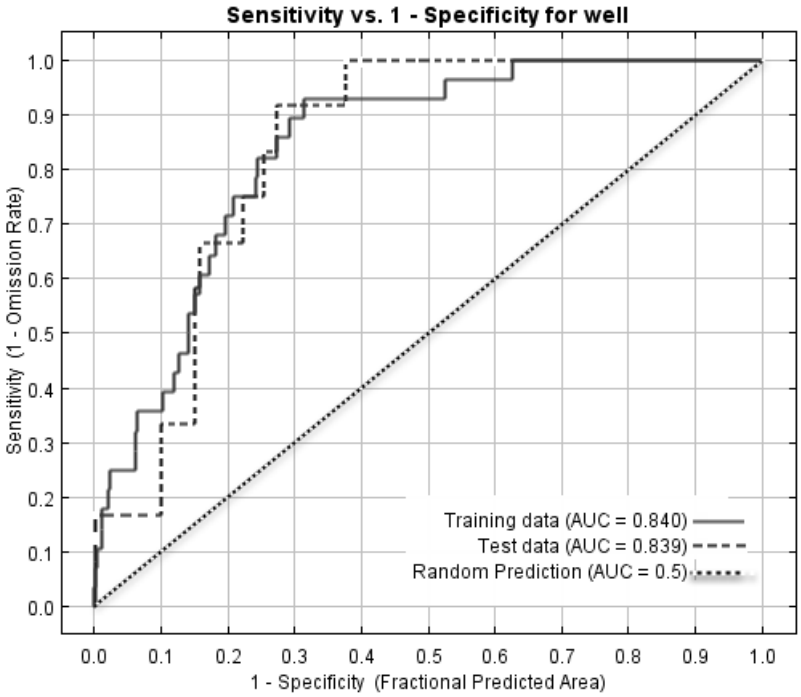


شکل (۳) نقشه پیش‌بینی نواحی دارای پتانسیل آب زیرزمینی در دشت همدان- بهار

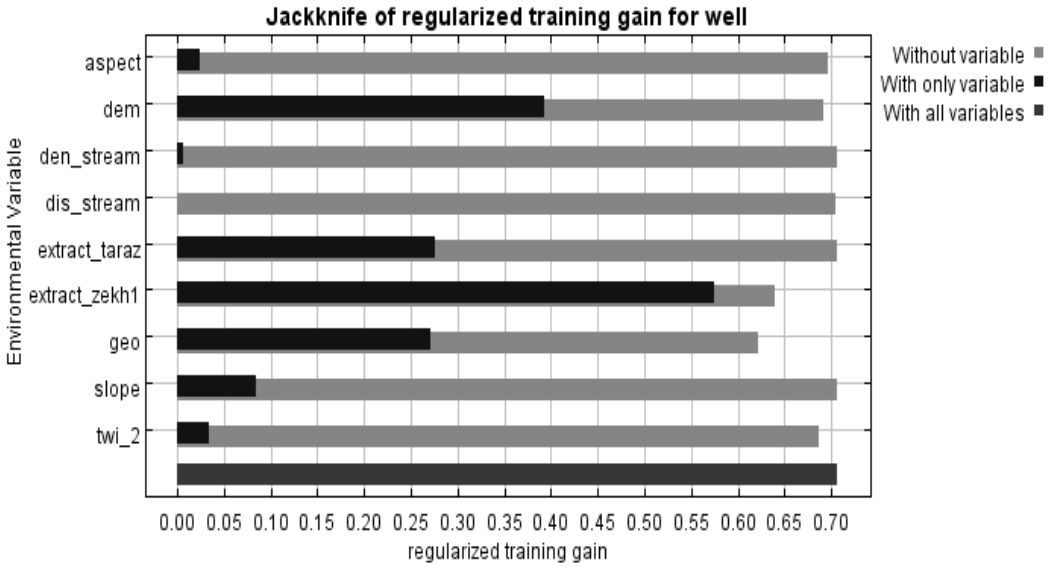
نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل بر اساس AUC بدست آمده از منحنی ROC نیز نشان داد که مدل تولید شده عملکرد بسیار خوبی در پیش بینی چاهای با پتانسیل آب زیرزمینی دارد (شکل ۴). همان گونه که مشاهده می‌شود، مقدار AUC برابر با ۰/۸۴۰ بدست آمد.

نتایج حاصل از آزمون Jackknife جهت تعیین مهمترین پارامترهای تأثیر گذار و تحلیل حساسیت مدل در شکل ۵ نشان داده شده است. بر این اساس پارامترهای DEM، ضخامت و زمین‌شناسی و سطح ایستابی مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر پیش‌بینی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشند و مدل نسبت به این پارامترها بیشترین حساسیت را نشان می‌دهد.

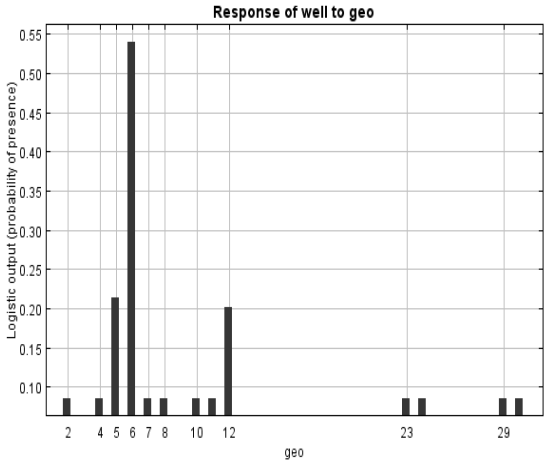
همچنین جهت تحلیل بهتر اثر پارامترها در تعیین پتانسیل آب زیرزمینی، روند تغییرات پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی نسبت به پارامترهای مهم نظیر ضخامت آبخوان، Dem، زمین شناسی و سطح ایستابی مورد بررسی قرار گرفت که در شکل‌های ۶ الی ۱۰ نشان داده شده است.



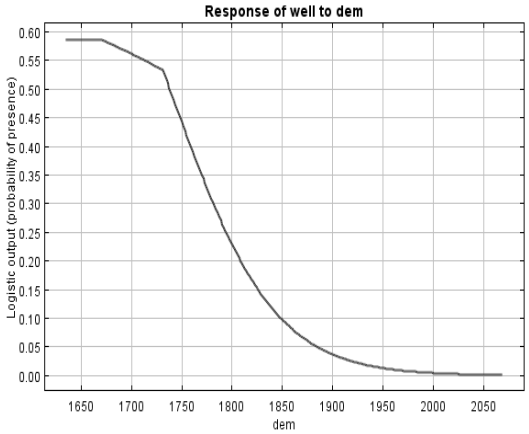
شکل (۴) منحنی ROC و مقدار AUC محاسبه شده برای ارزیابی عملکرد مدل



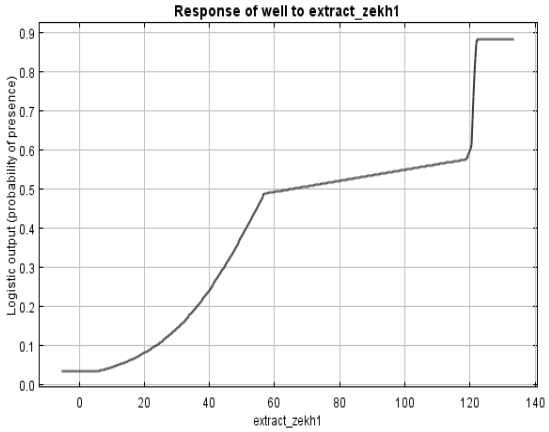
شکل ۵. نتایج حاصل از آزمون Jackknife جهت شناسایی میزان تأثیر متغیرها در مدل



شکل (۶) تاثیر متغیر زمین‌شناسی بر پیش‌بینی مدل MaxEnt



شکل (۷) تاثیر متغیر DEM بر پیش‌بینی مدل MaxEnt



شکل (۸) تاثیر متغیر ضخامت آبخوان بر پیش‌بینی مدل MaxEnt

شکل (۹) تاثیر متغیر تراز سطح ایستابی بر پیش‌بینی مدل MaxEnt

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه با در نظر گرفتن متغیرهای زیست محیطی اثرگذار از روش حداکثر آنتروپی برای ایجاد یک شاخص کمی، به‌منظور پیش‌بینی چاه‌های دارای پتانسیل آب زیرزمینی استفاده شد. خروجی این مدل نقشه‌ای است که مطلوبیت کل منطقه مورد مطالعه را از صفر تا یک بصورت پیوسته مشخص می‌سازد.

منابع آب زیرزمینی به دلیل ضریب اطمینان بالاتر و نوسانات کمتر به‌عنوان یک گزینه مطمئن از دیرباز مورداستفاده انسان بوده و در طی دهه‌های اخیر در اثر برداشت بیشتر از تغذیه با کاهش کمی و کیفی روبرو شده است. مدیریت و جلوگیری از تشدید این مشکلات از طریق اکتشاف و بهره‌برداری متناسب با پتانسیل آن یکی از استراتژی‌های منتخب در این زمینه است (رحیمی، ۱۳۹۰).

اصولاً روش‌های سنتی و دستی که در جهت شناخت پتانسیل آبهای زیرزمینی به کار گرفته می‌شود، غالباً نیازمند صرف وقت و هزینه و نیروی انسانی زیادی می‌باشد و به دلیل رقومی‌نبودن اطلاعات امکان تهیه بانک اطلاعاتی که قابلیت به هنگام‌شدن را داشته باشد نخواهد داشت، که در این راستا مدل MaxEnt می‌تواند به‌عنوان یک تکنیک سریع و مدرن مورد استفاده قرار گیرد.

بر اساس نتایج این تحقیق متغیرهای DEM، ضخامت آبخوان، زمین‌شناسی و سطح ایستابی مهمترین عوامل اثرگذار بر میزان آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می‌باشند و مدل بیشترین حساسیت را نسبت به این پارامترها نشان می‌دهد. بر این اساس و با توجه به اهمیت متغیر ضخامت آبخوان، در دشت همدان-بهار با افزایش ضخامت آبخوان میزان پتانسیل آب زیرزمینی رو به افزایش می‌باشد تا جایی که از ضخامت حدود ۱۲۰ متر به بالا، سطح آب زیرزمینی تقریباً ثابت می‌شود.

همچنین با توجه به نتایج بدست آمده از مدل و بررسی روند تغییرات پتانسیل آب زیرزمینی نسبت به DEM و سطح ایستابی می‌توان دریافت که با افزایش ارزش این دو پارامتر میزان پتانسیل آب زیرزمینی کاهش می‌یابد و دلیل این امر را کاهش ضخامت آبخوان در ارتفاعات بالا می‌توان دانست.

متغیر دیگری که بیشترین تاثیر را در پیش‌بینی پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در مدل مذکور داشته، متغیر زمین‌شناسی می‌باشد. با توجه به نتایج مدل مواد آبرفتی متشکل در دوره کواترنری بیشترین تأثیر را نسبت به دیگر مواد متشکله زمین شناسی در پتانسیل-یابی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه داشته است. در همین راستا تأثیر متغیر زمین‌شناسی با نتایج بدست آمده مفیدی‌فر و همکارانش (۱۳۹۳) در حوضه دشت یزد-اردکان در پتانسیل یابی آب زیرزمینی مقایسه شد که نشان داد نتیاج پژوهش ها با یکدیگر مطابقت دارد و پارامتر زمین‌شناسی نقش موثری را در پتانسیل یابی آب زیرزمینی ایفا می‌نماید. نتایج بدست آمده از مقاله حاضر در مورد کارایی مدل MaxEnt در پتانسیل یابی آب زیرزمینی با نتایج بدست‌آمده در تحقیق Rahmati و همکاران (۲۰۱۶) نیز مطابقت می‌نماید.

با توجه به نقشه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی برآورد شده می‌توان دریافت که مناطق مرکزی دشت دارای بیشترین پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که علت اصلی آن وجود رسوبات درشت دانه آبرفتی و افزایش ضخامت آبخوان در این ناحیه می-باشد. منحنی ROC رسم شده نشان داد که دقت مدل در برآورد مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی ۸۳ درصد بوده است که بر اساس نظر Hosmer & Lemshow (2000) به معنای عملکرد عالی مدل می-باشد.

Steven و همکاران (2006)، Yang و همکاران (2013) و Park (2014) بیان نمودند که مدل MaxEnt قادر به متناسب نمودن روابط پیچیده با استفاده از فاکتورهای مختلف می‌باشد. این ویژگی قابل توجه مدل MaxEnt در نتایج بدست آمده در این مقاله نیز مشهود می‌باشد. از این رو با توجه به نتایج بدست‌آمده در تحقیق حاضر، پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی با استفاده از مدل MaxEnt می‌تواند صورت گرفته که این امر به آسانی قابل انجام می‌باشد. از این رو پیشنهاد می‌شود از این مدل در زمینه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی به خصوص در کشورهای در حال توسعه و کم درآمد استفاده شود

منابع

رحیمی، د. ۱۳۹۰. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت شهرکرد). مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۴۴، ص ۱۴۲-۱۲۷.

رحیمی، د.، و ح. موسوی. ۱۳۹۲. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS (مطالعه موردی: حوضه آبریز شاهرود-بسطام). نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۱۷، شماره ۴۴، ص ۱۵۹-۱۳۹.

مفیدیفر، م.، ع. المدرسی، م. اصلاح و ش. ملک‌زاده بافقی. ۱۳۹۳. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه دشت یزد- اردکان). پنجمین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمایش سرزمین. دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.

Allard, D., D. D'Or and R. Froidevaux. 2011. An efficient maximum entropy approach for categorical variable prediction. Europ J Soil Sci, 62:381–393.

Chenini, I., A.B. Mammou and M.Y. May. 2010. Groundwater Recharge Zone Mapping Using GIS-Based Multi-criteria Analysis: A Case Study in Central Tunisia (Maknassy Basin). Water Resour Manag, 24:921–939.

Chowdhury, A., M.K. Jha and V.M. Chowdary. 2011. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur District, West Bengal using RS, GIS and MCDM techniques. Environ Earth Sci, 59(6):1209–1222.

ChungJ, F and A.G. Fabbri. 2003. Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. Nat Hazards, 30(3):451–472.

Ettazarizini, S and N. El Mahmouhi. 2004. Vulnerability mapping of the Turonian limestone aquifer in the phosphate plateau (Morocco). Environ Geol, 46:113–117.

Farokhzadeh, B., B. Attaeian, D. Akhzari1, Y. Razandi2 and O. Bazrafshan.2015. Combination of Boolean Logic and Analytical Hierarchy Process Methods for Locating Underground Dam Construction. ECOPERSIA Vol 3(3): 1065-1075.

Ganapuram, S., G.T. Vijaya Kumar, I.V. Murali Krishna, E. Kahya and M.C. Demirel. 2009. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. Adv Eng Softw, 40:506–518.

Ghayoumian, J., M. Mohseni Saravi, S. Feiznia, B. Nouri and Malekian. 2007. Application of GIS techniques to determine areas most suitable for artifi cial groundwater recharge in a coastal aquifer in southern Iran. J Asian Earth Sci, 30(2):364–374.

Hooijer, A., F. Klijn, G.B.M. Pedroli, and A.G. Van Os. 2004. Towards sustainable flood risk management in the Rhine and Meuse river basins. Synopsis of the findings of IRMA-SPONGE. River Res. Appl, 20, 343–357.

Hosseini, S.Z., M. Kappas, M. Zare Chahouki, G. Gerold, S. Erasmi and A. Rafiei Emami. 2013. Modelling potential habitats for Artemisia sieberi and Artemisia aucheri in Poshtkouh area, central Iran using the maximum entropy model and geostatistics. Ecol Inform. doi: 10.1016/j.ecoinf.2013.05.002.

lith, J., S.J. Phillips, T. Hastie, M. Dudik, Y.E. Chee and et al. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diversity and Distributions, 17: 43–57.

osmer, D.W and S. Lemeshow. 2000 Applied Logistic Regression. Second edition. New York, NY, USA: John Wiley and Sons.

oyce, M.S., P.R. Vernier, S.E. Nielsen and F.K.A. Schmiegelow. 2002. Evaluating resource selection functions. Ecological Modelling, 157:281-300.

Park, N.W. 2014. Using maximum entropy modeling for landslide susceptibility mapping with multiple geoenvironmental data sets, Environ Earth Sci, doi: 10.1007/s12665-014-3442-z.

Phillips, S.J., R.P. Anderson, R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 190, 231–259.
Pourghasemi, H.R., H.R. Moradi, S.M. Fatemi Aghda, C. Gokceoglu, B. Pradhan. 2013. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). Arab J Geosci, doi:10.1007/s12517-012-0825-x
Prasad, R.K., N.C. Mondal, P. Banerjee, M.V. Nandakumar and V.S. Singh. 2008. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. Environ. Geol. 55(3):467–475.
Qin, C.Z., A.X. Zhu, T. Pei, B.L. Li, T. Scholten, T. Behrens and C.H. Zhou. 2011. An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. Precision Agriculture, 12: 32-43.
Rahmati, O., A.A Nazari Samani, M. Mahdavi, H.R. Pourghasemi and H. Zeinivand. 2014. Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS. Arab J Geosci. doi: 10.1007/s12517-014-1668-4.
Rahmati, O., H.R. Pourghasemi and A. M.Melesse. 2016. Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: A case study at Mehran Region, Iran. Journal of CATENA, 137: 360-372.
Razandi, Y., H.R. Pourghasemi, N. Samani Neisani and O. Rahmati. 2015. Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. Earth Sci Inform. doi: 10.1007/s12145-015-0220-8.
Sener, E., A. Davraz and M. Ozcelik. 2005. An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: A case study in Burdur, Turkey. Hydrogeology Journal, 13:826-834.
Shahid, S., S.K. Nath and A.S.M.M. Kamal. 2002. GIS integration of remote sensing and topographic data using fuzzy logic for ground water assessment in Midnapur District, India. Geocarto Int. 17(3):69–74.
Singh, A.K and S.R. Prakash. 2002. An integrated approach of remote sensing, geophysics and GIS to evaluation of groundwater potentiality of Ojhala subwatershed, Mirjapur district, UP, India. In: Asian Conference on GIS, GPS, Aerial Photography and Remote Sensing, Bangkok-Thailand.
Steven, J.P., R.P. Anderson and R.E. Schapire. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecol Model. 190:231–259.
Vijith, H. 2007. Groundwater potential in the hard rock terrain of Western Ghats: a case study from Kottayam District, Kerala using resourcesat (IRS-P6) data and GIS techniques. Journal of Indian Society of Remote sensing, 35(2).
Yang, X.Q., S.P.S. Kushwaha, S. Saran, J. Xu and P.S. Roy. 2013. Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, Justicia adhatoda L. in Lesser Himalayan foothills. Ecol Engin. 51:83–87.

Applying Maximum Entropy algorithm (MAXENT) in Groundwater potential mapping, Case study: Hamedan-Bahar Plain

yousef razandi[1], behnoush farokhzadeh[2], masoumeh yousefzadeh chabok[3],Teimur Teimurian[4]

Abstract

Considering the limited amount of underground water resources beside the increasingly need for water in different areas, to provide sufficient amount of water, seems to be a must for permanent development. It is estimated that one way to enhance the traditional methods and their management is determining the areas with potential underground water resources. As the traditional and manual methods are extremely time-consuming and needs excessive human efforts, in this study maximum antropy algorithm done by MaxEnt is used to find the potential underground resources of water in Bahar plain - Hamedan provenance. It has been illustrated by this paper that 27.2 all areas there are capable of having underground water resources, in addition based on jacnaif graph , Dem variables, water search thickness and geological considerations are the most important factors in the process of estimating the potential areas and the model has its maximum sensitivity toward them .It is illustrated by the research results that this model has a satisfactory accuracy in the process of finding the underground water resources with 0.83 accuracy rate . It is believed by the researcher that this paper could help planners and be a great aid for future development in the way underground water resources could efficiently be used.

Key words: Well, Maximum entropy algorithm, MAXENT, Hamedan-Bahar plain.

[1] MSC. watershed managment engineering, university of tehran
razandi@ut.ac.ir, 09375446406
[2] Assistant Professor. Department of Range & Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environmental Sciences, Malayer University .
Be_farokhzadeh@yahoo.com, 09125347065
[3] MSC. water resource engineering Tarbiat modares university
m_chabok@yahoo.com, 09111404800
[4] Ph.D. Student of Watershed Management, University of Tehran
t.teimurian@ut.ac.ir, 09156543247