Archive of SID

Water and Soil Management and Modeling

Online ISSN: 2783 - 2546

University of Mohaghegh Ardabili

Assessing the performance of individual and ensembled models in identifying areas with infiltration potential

Maryam Sadat Jaafarzadeh[1*], Iraj Vayskarami[2]

[1] Graduated Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran
[2] Academic Staff, Soil and Water Conservation Department of Lorestan Agricultural Research, Education and Extension Organization, Khorramabad, Iran

Abstract

Introduction
Estimating groundwater recharge using other affecting factors such as hydro-meteorological, and physical factors, is the main way to understanding, predicting the sustainability and availability potential of aquifers. The objective of this research was investigating the efficiency of some individual and ensembled models and the effect of the ensembling on promoting the efficiency of Bayesian and Random forest models.

Materials and Methods
The required environmental layers (DEM, aspect, slope, curvatures (profile and plan curvature), lithology, landuse, soil texture, NDVI, fault distance, river distance, SPI, drainage density, TWI), were prepared by ArcGIS 10.6 software for the study area. the Bayesian theory and Random Forest models and ensembling of these models were avaluated. To consider the ensemble effect of these models, input layers were used in two models and then the models were ensembled by several scenarios, which were based on the principles of basic mathematics. The double-ring infiltrometer method were used for understanding the spatial variability of groundwater recharge potential (GWRP). The performance of the models was evaluated using statistical measures. ROC, CCI, and TSS indices were used for evaluating the results of implemented models. Finally, GWRP mapping prepared and the percolation of the study area was classified into five classes: very high infiltration, high infiltration, medium infiltration, low infiltration and very low infiltration.

Results and Discussion
The sandy-clay-loom soil texture and the Quaternary sediments (Qft2), rangeland and agriculture areas (in landuse layer), showed maximum percolation. The results indicated that the random forest (RF) model was identified as the superior model compared to Bayesian and ensembled models, by ROC, TSS and CCI indices (ROC= 0.983, TSS= 0.86, and CCI= 93.9, respectively). Also, among the ensembled models, the RFBa5 model (based on the fifth scenario) was evaluated as the most efficient model through ROC, TSS, and CCI indices (ROC= 0.984, TSS= 0.76, and CCI= 87.94, respectively). Based on the first individual model (RF), 11% of the study area had moderate to very high infiltration potential. This despite the fact that the 89% of the study watershed was found with low and very low potential. While according to RFBa5, 30% of the study area were estimated with moderate to very high potential and 70% with low and very low potential. The Bayesian model was observed as the weakest model. But based on the ensemble of this model with the random forest model, under different scenarios, the strengthening of this model was observed. These results show the positive effect of ensembling the models.

Conclusion
The GWR potential maps are useful in planning with more accuracy for implementation of artificial GWR, soil protection, aquifers and watershed management projects in order to protect water and soil resources by directing runoffs to preventing the soil erosion and aquifers recharge. It is recommended to study different suitable models and their ensembling in this field or other watersheds and select the best model to get the best performance and obtain an accurate map.

Keywords: Bayesian Theory, ensembling Scenarios, Groundwater recharge, Modeling, Percolation, Random Forest.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: rana.jafarzadeh@yahoo.com
Citation: Jafarzadeh, M.S., & Vayskarami, I. (2022). Assessing the performance of individual and ensembled models in identifying areas with infiltration potential. *Water and Soil Management and Modeling*, 2(2), 69-86.
DOI: 10.22098/MMWS.2022.9809.1066
DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.2.6.3

Received: 14 November 2021, Received in revised form: 29 November 2021, Accepted: 29 November 2021, Published online: 23 May 2022
Water and Soil Management and Modeling, Year 2022, Vol. 2, No. 2, pp. 69-86
Publisher: University of Mohaghegh Ardabili © Author(s)

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۲۵٤٦

ارزیابی کارایی مدل‌های فردی و ترکیبی در شناسایی پهنه‌های مستعد نفوذپذیری (حوزهٔ آبخیز ماربره- استان لرستان)

مریم سادات جعفرزاده*[۱]، ایرج ویس کرمی[۲]

[۱] دانش‌آموخته دکترا، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
[۲] هیئت علمی، گروه حفاظت آب و خاک مرکز تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی استان لرستان، خرم‌آباد، ایران

چکیده

برآورد تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی با در نظر گرفتن سایر عوامل اقتصادی، اجتماعی و هیدرولوژیکی مؤثر بر آن، کلید اصلی درک آبخوان‌ها، پیش‌بینی دسترسی بالقوه و پایداری این منابع است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی کارایی مدل‌های منفرد و ترکیبی و اثر فرآیند ترکیب در افزایش کارایی مدل‌های فردی بود که به این منظور این فرآیند در تعیین مناطق مستعد تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی در حوزهٔ آبخیز ماربره استان لرستان به‌کار برده شد. در ابتدا، لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر تغذیه تهیه و همراه با داده‌های نمونه‌برداری شده نفوذ حاصل از استوانهٔ مضاعف، وارد مدل‌های بیزین و جنگل تصادفی شدند. سپس به‌منظور تقویت نتایج، این دو مدل در قالب چند سناریو با یکدیگر ترکیب شدند. کارایی مدل‌ها، با استفاده از شاخص‌های ROC، CCI و TSS، مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان نفوذپذیری در پنج طبقه بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی شدند که بافت خاک شنی-رسی-لومی و رسوبات کواترنری Qft_2 حداکثر نفوذپذیری را نشان دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مدل جنگل تصادفی، هم نسبت به مدل بیزین و هم مدل‌های ترکیبی، به‌عنوان مدل برتر شناسایی شد و از بین مدل‌های ترکیبی نیز مدل RFBa5 کارآمدترین مدل در شناسایی مناطق مستعد تغذیه ارزیابی گردید. بر اساس مدل جنگل تصادفی، حدودا ۱۱٪سطح حوزهٔ مطالعاتی دارای قابلیت نفوذپذیری متوسط تا بسیار زیاد برآورد شد و بیش‌تر سطح آن (۸۹٪) دارای توانایی کم و بسیار کم شناخته شد. بر اساس مدل RFBa5 نیز ۳۰٪ سطح مطالعاتی دارای پتانسیل متوسط تا بسیار زیاد و ۷۰٪ آن دارای قابلیت کم و بسیار کم برآورد شد. بر اساس نتایج کلی، مدل بیزین بعنوان ضعیف‌ترین مدل مشاهده شد که طی ترکیب با مدل جنگل تصادفی در قالب سناریوهای مختلف، عملکرد این مدل تقویت گردید که نشان‌دهنده اثر مثبت ترکیب مدل‌ها می‌باشد. نقشهٔ پتانسیل مناطق مستعد تغذیه این امکان را می‌دهد تا با شناسایی مناطق با پتانسیل بالا و بسیار زیاد، برنامه‌ریزی دقیق‌تر نسبت به اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی، حفاظت خاک و آبخیزداری و آبخوانداری در راستای حفاظت از منابع آب و خاک اقدام کرده و با کنترل و هدایت رواناب‌ها، علاوه بر جلوگیری از فرسایش خاک، احتمال نفوذپذیری را در جهت افزایش احتمال تغذیه منابع آب زیرزمینی بیش‌تر کرد.

واژه‌های کلیدی: تئوری بیزین، تغذیه آب زیرزمینی، جنگل تصادفی، سناریوهای ترکیب، نفوذپذیری، مدل‌سازی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rana.jafarzadeh@yahoo.com

استناد: جعفرزاده، م.س.، و ویس کرمی، ا. (۱۴۰۱). ارزیابی کارایی مدل‌های فردی و ترکیبی در شناسایی پهنه‌های مستعد نفوذپذیری. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۲(۲)، ۶۹-۸۶.

DOI: 10.22098/MMWS.2022.9809.1066
DOR: 20.1001.1.27832546.1401.2.2.6.3

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۳/۰۲

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۱، دوره ۲، شماره ۲، صفحه ۶۹ تا ۸۶

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

© نویسندگان

www.SID.ir

۱- مقدمه

استفاده و مدیریت پایدار آب‌های زیرزمینی مسأله‌ای حیاتی و چالشی اجتماعی است (Rittel and Webber, 2015). وابستگی جوامع انسانی و محیط زیست به آب‌های زیرزمینی و چالش‌های مربوطه در سراسر جهان بسیار متفاوت است. آب زیرزمینی، منبع آب شیرین بیش از نیمی از جمعیت کرهٔ زمین برای آبیاری و مصارف خانگی است (Shah et al., 2007; Yenehun et al., 2017; Rukundo and Doˇgan, 2019) که به‌طور متوسط، حدود ۲۰ درصد از مصرف آب جهان را به‌خود اختصاص می‌دهد (Zektser, 2012). برآورد تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی (GWR)[1] همراه با در نظر گرفتن سایر عوامل اقتصادی، اجتماعی و هیدرولوژیکی مؤثر بر آن، کلید اصلی درک مخازن آب زیرزمینی، پیش‌بینی دسترسی بالقوه و پایداری این منابع است (Seiler and Gat, 2007). کاهش میزان نفوذپذیری توأم با ادامه و افزایش بهره‌برداری از این منابع، سبب کاهش آب‌های زیرزمینی خواهد شد که این امر نیز منجر به اثراتی دیگر چون افزایش آلودگی جریان‌های وابسته به آب زیرزمینی، تالاب‌ها و اکوسیستم‌ها می‌شود. در نتیجه کارایی چاه‌ها کاهش و هزینهٔ پمپاژ افزایش می‌یابد و در موارد شدیدتر منجر به فرونشست زمین می‌شود (Konikow and Kendy, 2005; Wada et al., 2010; Qureshi et al., 2012). GWR عموماً با میزان بارش و فرآیند نفوذ تعیین می‌شود و از مؤلفه‌های مهم جریان آب و مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی بوده و دارای تنوع گسترده مکانی و زمانی هستند (Simmers, 1997). برای تغذیهٔ زیرزمینی باید در ابتدا مناطق مستعد تغذیه و یا دارای قابلیت نفوذپذیری، ارزیابی و پهنه‌بندی شوند. روش‌های مختلفی، مانند روش‌های اندازه‌گیری مستقیم، اندازه‌گیری نشتی و روش‌های ردیابی به‌منظور تعیین و پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل تغذیه استفاده می‌شوند (Mukherjee, 1996; Yeh et al., 2016). به کارگیری برخی از این روش‌ها ممکن است به‌دلیل بعضی عوامل، محدود شده باشد. آن‌چه در انتخاب یک روش باید توجه شود، زمان، هزینه، قابلیت اطمینان و دامنه ارزیابی تغذیه در مقایسه با دیگر روش‌ها است (Rukundo and Doˇgan, 2019). امروزه استفادهٔ گسترده از مدل‌های مختلف در تمام زمینه‌ها اهمیت زیادی یافته است، در تغذیه و تعیین قابلیت نفوذپذیری آب‌های زیرزمینی نیز از مدل‌های گوناگون استفاده شده است.

تکنیک‌های مدل‌سازی آماری، مانند بیزین دارای ویژگی‌هایی هستند که آن را برای پرسش‌های تحلیلی و مدیریتی داده‌های واقعی، کاربردی و مفید ساخته‌اند (Ahmadi et al., 2016; Vrugt and Sadegh, 2013; Reggiani and Weerts, 2008; 2013). در مطالعات متعددی از مدل بیزین در مکان‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی، چاه‌ها و چشمه‌ها و ... استفاده شده است (Graham and Neff, 1994; Rojas et al., 2008; Al-Abadi et al., 2016)، اما در رابطه با مناطق مستعد تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی پژوهش‌های زیادی صورت نگرفته است (Mokarram et al., 2020; Mogaji et al., 2016). Arthur et al. (2007) در مطالعه‌ای به ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان نسبت به آلاینده‌های منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل احتمال بیزین در فلوریدا پرداختند که به نتایج رضایت بخشی نیز دست یافتند. Farmani et al. (2009) در منطقهٔ کپنهاگ از شبکه‌های بیزین برای مدیریت بهینهٔ آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده، حاکی از کارایی مناسب الگوهای بیزین در مدیریت آلودگی آب‌های زیرزمینی منطقه بود. Naghibi et al. (2017) ترکیب چند مدل داده کاوی مبتنی‌بر GIS مانند مدل گم[2]، نسبت فراوانی ترکیبی و بیزین را در پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل آب‌های زیرزمینی ارزیابی نمودند. نتایج شاخص صحت‌سنجی توانایی این روش‌ها را در سطح عالی ارزیابی کرد. Akhoni Pourhosseini and Ghorbani (2018)، در حوزهٔ صوفی چای از آنتروپی شانون، مدل شبکهٔ عصبی و مدل بیزین برای انتخاب ورودی‌های بهینه در پیش‌بینی جریان رودخانه استفاده کردند. نتایج این بررسی عملکرد مدل بیزین را در حد مناسب نشان داد. در کنار مدل‌های آماری، مدل‌های ماشینی امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند، بطوری‌که در مرتبهٔ بالاتر به‌منظور تقویت هرچه بیش‌تر عملکرد مدل‌ها برای دستیابی به نتایجی با دقت بالا، از فرآیند ترکیب مدل‌ها نیز استفاده می‌شود. یکی از مدل‌های قوی یادگیری ماشین، مدل جنگل تصادفی هست که در اکثر زمینه‌ها برای بررسی پدیده‌های مختلف مورد استفاده گسترده قرار گرفته است (Norouzi et al., 2017; Avand et al., 2019; Al-Fugara et al., 2020; Sihag et al., 2020). طی سال‌های اخیر از فرآیند ترکیب مدل‌ها نیز بسیار استفاده شده و نتایج مطلوبی مشاهده شده است (Chen et al., 2019; Miraki et al., 2019; Kordestani et al., 2019).

حوزهٔ آبخیز ماربره از لحاظ توپوگرافیکی شامل دشت و کوهستان است. تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی در این منطقه از این نظر که معیشت عمده مردم حوزه، کشاورزی و دامداری است، و برداشت از آب‌های زیرزمینی به‌صورت چاه‌ها که در بیش‌تر موارد بیش از حد مجاز صورت می‌گیرد، حائز اهمیت است. اگر این منابع تغذیه نشوند اثرات منفی آن دامن‌گیر مردم و محیط‌زیست شده و

[1] Groundwater Recharge

[2] GAM

www.SID.ir

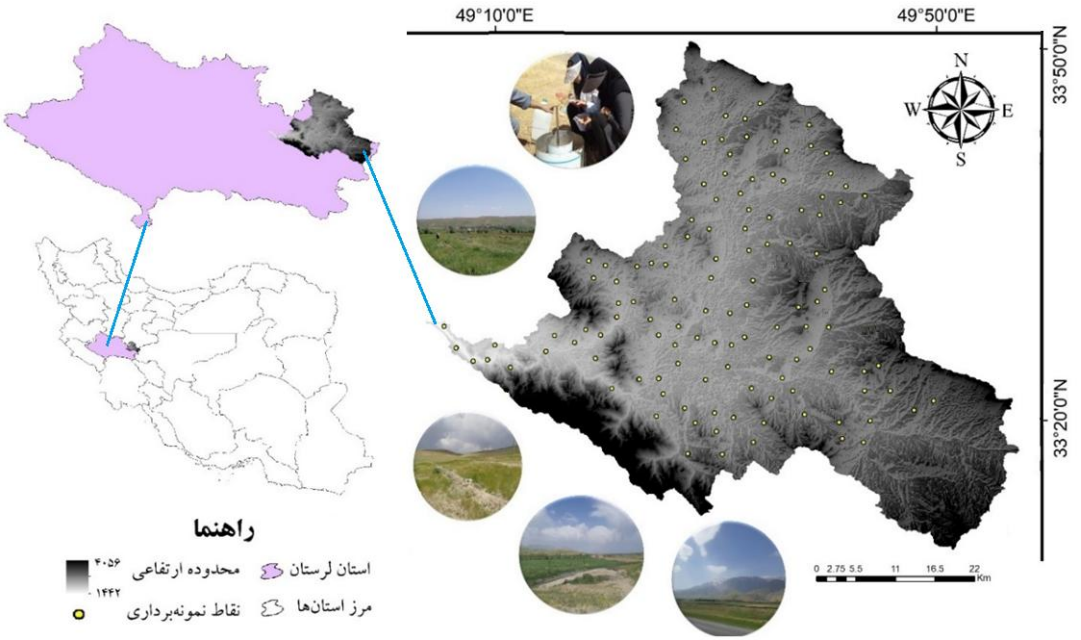
Archive of SID

تخریب تدریجی و در نهایت نابودی کامل و جبران‌ناپذیر محیط زیست حوزه را در پی خواهد داشت. به‌دلیل شرایط توپوگرافیکی حوزه، در این بررسی به مطالعه و پیش‌بینی مناطقی که دارای پتانسیل مناسب برای نفوذ آب در سفره‌های زیرزمینی هستند، پرداخته شد. برای انجام این کار از مدل احتمالاتی بیزین (تئوری بیزی)، مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی و نیز ترکیب این دو مدل در قالب سناریوهای مختلف استفاده و در نهایت پهنه‌های مستعد تغذیه پیش‌بینی و به‌صورت نقشه ارائه و ارزیابی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقهٔ مورد مطالعه

حوزهٔ آبخیز ماربره در شرق استان لرستان با مساحت ۲۵۵۹ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۲۷۵۰ متر از سطح دریا یکی از سرشاخه‌های رودخانه سزار است که در محدودهٔ جغرافیایی ″۱۱ ′۳۰ °۴۹ تا ″۳۴ ′۵۷ °۴۹ طول شرقی و ″۰۷ ′۱۲ °۳۳ تا ″۱۴ ′۵۱ °۳۳ عرض شمالی قرار گرفته است. این حوزه شامل اراضی کشاورزی دیم و آبی، مراتع، باغات، اراضی فاقد پوشش گیاهی، اراضی مسکونی و اراضی صخره‌ای و محدوده سه شهر دورود، ازنا و الیگودرز را در بر گرفته است. میانگین بلندمدت بارش حوزه ۴۹۰ میلی‌متر است و بر اساس روش دومارتن، دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد و دمای متوسط سالانه ۱۳/۸ درجه سلسیوس است. موقعیت حوزهٔ مورد بررسی نسبت به استان لرستان و کشور همراه با نقاط نمونه‌برداری به‌صورت شماتیک در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزهٔ آبخیز ماربره و نقاط نمونه‌برداری، استان لرستان، ایران

Figure 1- Location of Marboreh Watershed and field survey samples, Lorestan Province, Iran

۲-۲- لایه‌های اطلاعاتی

عوامل و متغیرهای بسیاری بر مکان‌یابی و تعیین مناطق دارای پتانسیل نفوذپذیری به‌منظور تغذیه آب‌های زیرزمینی مؤثرند، اما استفاده از همه مشخصه‌های مؤثر، میسر نیست. با توجه به هدف، مقیاس کار، دقت قابل انتظار، شرایط منطقه، تأثیرگذاری، کافی بودن و در دسترس بودن اطلاعات، از لایه‌های اطلاعاتی از جمله ویژگی‌های توپوگرافی اولیه (مدل رقومی ارتفاع، جهت و گرادیان شیب، فاصله از آبراهه‌ها و تراکم زهکشی)، ویژگی‌های توپوگرافی ثانویه (انحنای دشت و انحنای پروفیل، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص قدرت جریان) و برخی متغیرهای دیگر (کاربری اراضی، NDVI (از نظر تأثیر پوشش گیاهی و تراکم آن بر میزان نفوذپذیری)، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی، بافت خاک) استفاده شد. مدل رقومی ارتفاعی حوزه با استفاده از تصاویر سنجنده استر با قدرت تفکیک ۳۰*۳۰ متر در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.6 تهیه شد. برای تهیهٔ نقشهٔ کاربری اراضی و لایهٔ NDVI نیز از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد که این فرآیند در محیط ArcGIS10.6 انجام گرفت. لایه‌های دیگر از جمله تراکم زهکشی، شیب و جهت شیب، انحنای سطح و انحنای پروفایل، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص قدرت جریان با استفاده از لایهٔ مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS10.6 و SAGA-GIS تهیه شدند. هم‌چنین برای تهیهٔ لایه‌های فاصله از رودخانه و فاصله از گسل،

www.SID.ir

از نقشهٔ توپوگرافی استان لرستان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. عامل شیب از آن جهت بر تغذیهٔ آبخوان مؤثر است که با کاهش شیب، سرعت حرکت رواناب‌های سطحی کم‌تر شده و فرصتی برای نفوذ به عمق ایجاد می‌شود (Lee and Min, 2001; Saha et al., 2005; Pourghasemi et al., 2012; Althuwaynee et al., 2014; Guo et al., 2015). لایهٔ جهت شیب بر اساس درجه و نسبت به شمال تعیین می‌شود که برای مشخص کردن سطوحی با احتمال تولید بیش‌تر آب (مانند تمامی مناطق دارای سطوح شیب‌دار رو به جنوب در یک منطقه کوهستانی)، در مباحثی چون رطوبت، عمق خاک، پوشش گیاهی و خصوصاً تعیین مناطق مستعد نفوذپذیری، حائز اهمیت است. شاخص رطوبت توپوگرافی نشان‌دهندهٔ اثر توپوگرافی بر موقعیت و اندازهٔ جریان آب زیرزمینی و وضعیت رطوبت خاک و شاخص قدرت جریان نشان‌دهندهٔ میزان قدرت فرسایندگی جریان آب است. در رابطه با فاکتورهای فاصله از آبراهه و تراکم زهکشی که زهکش‌های یک حوزهٔ آبخیز هستند، هرچه فاصله از این عوامل بیش‌تر باشد وزن نفوذپذیری نیز بیش‌تر خواهد بود. فاکتور دیگری که بر تغذیهٔ آبخوان‌ها بسیار مؤثر هست، وضعیت زمین‌شناسی منطقه است. در حوزهٔ مطالعاتی، لایهٔ سنگ‌شناسی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی استان لرستان (محدوده هر سه شهر ازنا، الیگودرز و درود) با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. بافت خاک منطقه نیز با استفاده از نمونه‌های خاک برداشت شده از منطقه و هم‌چنین نقشه بافت مطالعات قبلی مربوط به حوزه مورد نظر (Pars Ray Ab Consulting Engineering Company, 2012; Lorestan Regional Water Company, 2001) به دست آمد. نقشهٔ مربوط به هر یک از لایه‌های اطلاعاتی در شکل ۲ ارائه شده است.

به‌منظور تعیین مناطق دارای پتانسیل نفوذپذیری، نمونه‌برداری صحرایی طبق استاندارد بین‌المللی و استاندارد آمریکا (ASTM, 1998) و نشریهٔ ۲۴۳ دستورالعمل اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک با روش استوانهٔ مضاعف در اواخر خرداد ماه ۱۳۹۷ تا اوایل تیرماه ۱۳۹۷ و اردیبهشت و خرداد ۱۳۹۹ در خاک‌های دست نخورده (غیر زراعی) حوزهٔ آبخیز ماربره انجام شد. قبل از شروع عملیات صحرایی، به‌منظور تعیین موقعیت‌های قابل دسترسی، موقعیت مختصاتی نقاط نمونه‌برداری نفوذ با استفاده از گوگل ارث به‌صورت تصادفی تعیین شد. شکل ۳ نشان‌دهندهٔ نمونه‌هایی از اندازه‌گیری‌های میدانی است.

۲-۳ تئوری بیزین

بیزین، روشی مهم و با کاربردی گسترده در احتمالات به‌منظور دسته‌بندی پدیده‌ها، بر پایهٔ احتمال وقوع یا عدم وقوع یک پدیده است. روش‌های بیزین پایه‌ای برای روش‌های یادگیری احتمالاتی با دانش پیشین یا فرض آن دربارهٔ احتمالات ثانویهٔ فرضیه‌ها و احتمال مشاهدهٔ نمونه‌ها است. چارچوب بیزی روشی طبیعی برای مدل‌سازی دنیای پیچیدهٔ اطراف است. با استفاده از این چارچوب می‌توان ساختار ذاتی یک فرآیند را تفسیر نمود و با استفاده از آن عملیات متفاوتی، مانند استنباط احتمالی و یادگیری را به سادگی امکان‌پذیر نمود (Gelman et al., 2013). این تئوری یک قانون ریاضی را برای یک برآورد پیش‌بینی با توجه به داده‌های مشاهداتی و تجربی ارائه می‌دهد و احتمال شرطی یک رویداد را بر اساس داده‌ها و هم‌چنین اطلاعات پیشین و یا باورها در مورد رویداد و یا شرایط مربوط به این رویداد را توصیف می‌کند و احتمال پسین را با توجه به داده‌های پیشین بیان می‌کند (رابطه ۱) (Jeffreys, 2011; Sadoddin et al., 2005; Gelman et al., 2013).

$$P(h|D)=\frac{P(D|h)\,P(h)}{P(D)} \qquad (۱)$$

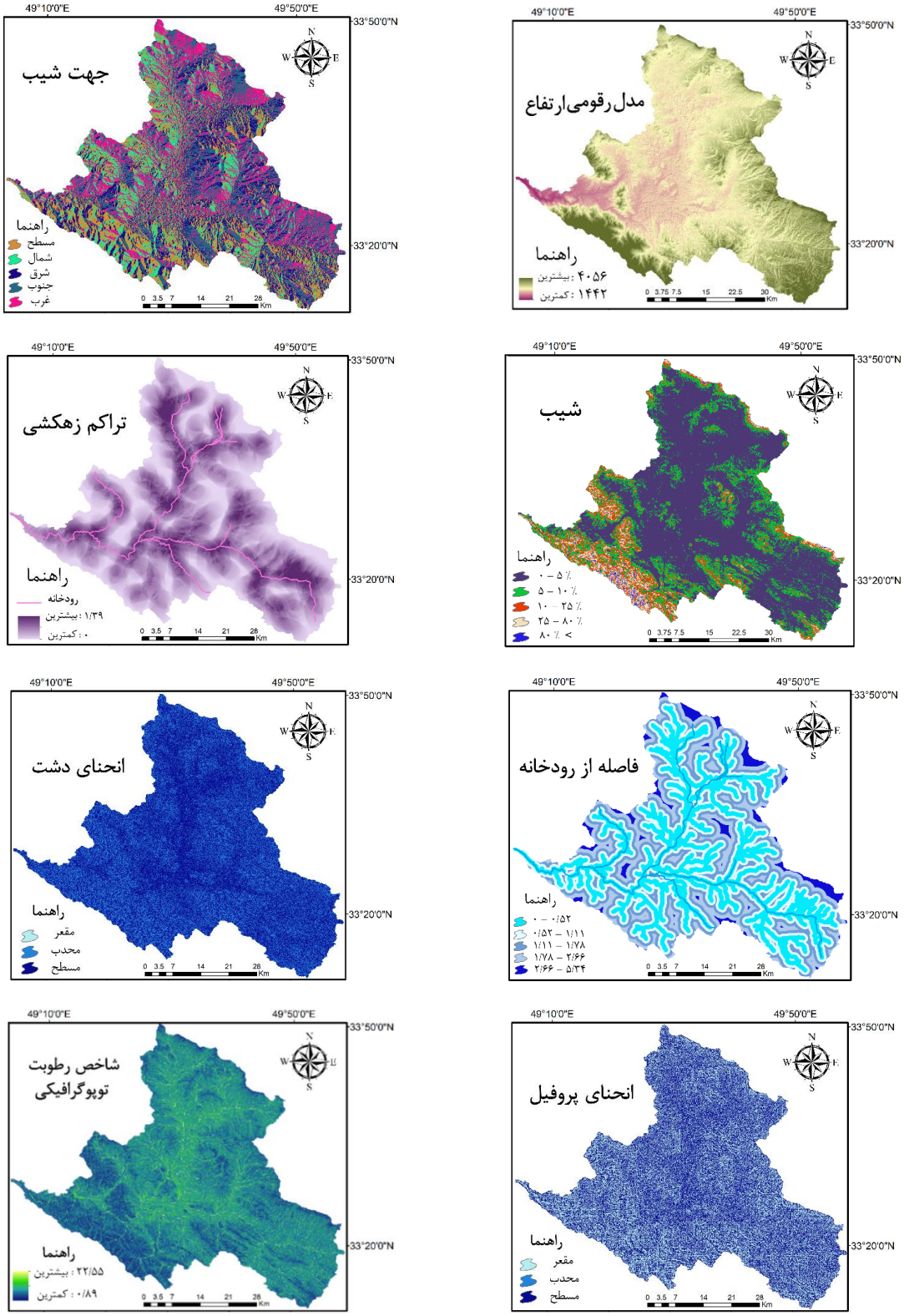
در رابطه فوق، h: فر اولیه، P(h): احتمال فرض اولیه، D: داده مشاهداتی اولیه، P(D): احتمال داده مشاهداتی اولیه، P(D|h): احتمال اولیه یا مستقل از داده‌های آموزشی D، P(h|D): احتمال ثانویه هستند.

احتمال ثانویه P(h|D)، برخلاف احتمال اولیه P(D|h)، که مستقل از نمونه‌های آموزشی است، از نمونه‌های آموزشی تأثیر می‌پذیرد. بنابراین، بر اساس قضیهٔ بیز، با افزایش P(D|h) و P(h)، احتمال ثانویه P(h|D) نیز افزایش می‌یابد. در حالی‌که با افزایش P(D) احتمال ثانویه کاهش خواهد یافت. چرا که هر چه که احتمال مشاهده D به‌طور مستقل از h بالاتر رود، دیگر D دلیلی برای درستی h نخواهد بود. از آنجایی که قضیهٔ بیز طریقه‌ای اصولی برای محاسبهٔ احتمالات ثانویه هر یک از فرضیه‌ها بعد از مشاهده داده‌های آموزشی ارائه می‌کند، می‌توانیم از آن برای پایهٔ یک الگوریتم یادگیری ساده استفاده کنیم، الگوریتمی که احتمال هر یک از فرضیه‌ها را محاسبه کرده و خروجی آن، محتمل‌ترین فرضیه‌ها هستند.

در پژوهش حاضر برای انجام مدل بیزین، ابتدا در محیط نرم‌افزاری ArcGIS10.6، لایه‌های ورودی به دسته‌های مختلف، طبقه‌بندی شدند. سپس هریک از این لایه‌ها از نظر پارامترهای مورد نیاز بررسی و داده‌های لازم از هر لایه، مانند تعداد و درصد پیکسل‌های هر طبقه و نیز تعداد نقاط نفوذ تهیه شد. در نهایت با استفاده از فرمول‌نویسی روابط محاسباتی بیزین در محیط اکسل، محاسبات مربوطه انجام و وزن هر لایه مشخص شد و با وارد کردن وزن لایه‌ها در ArcGIS10.6، نقشه نهایی مربوط به مدل بیزین تهیه شد.

www.SID.ir

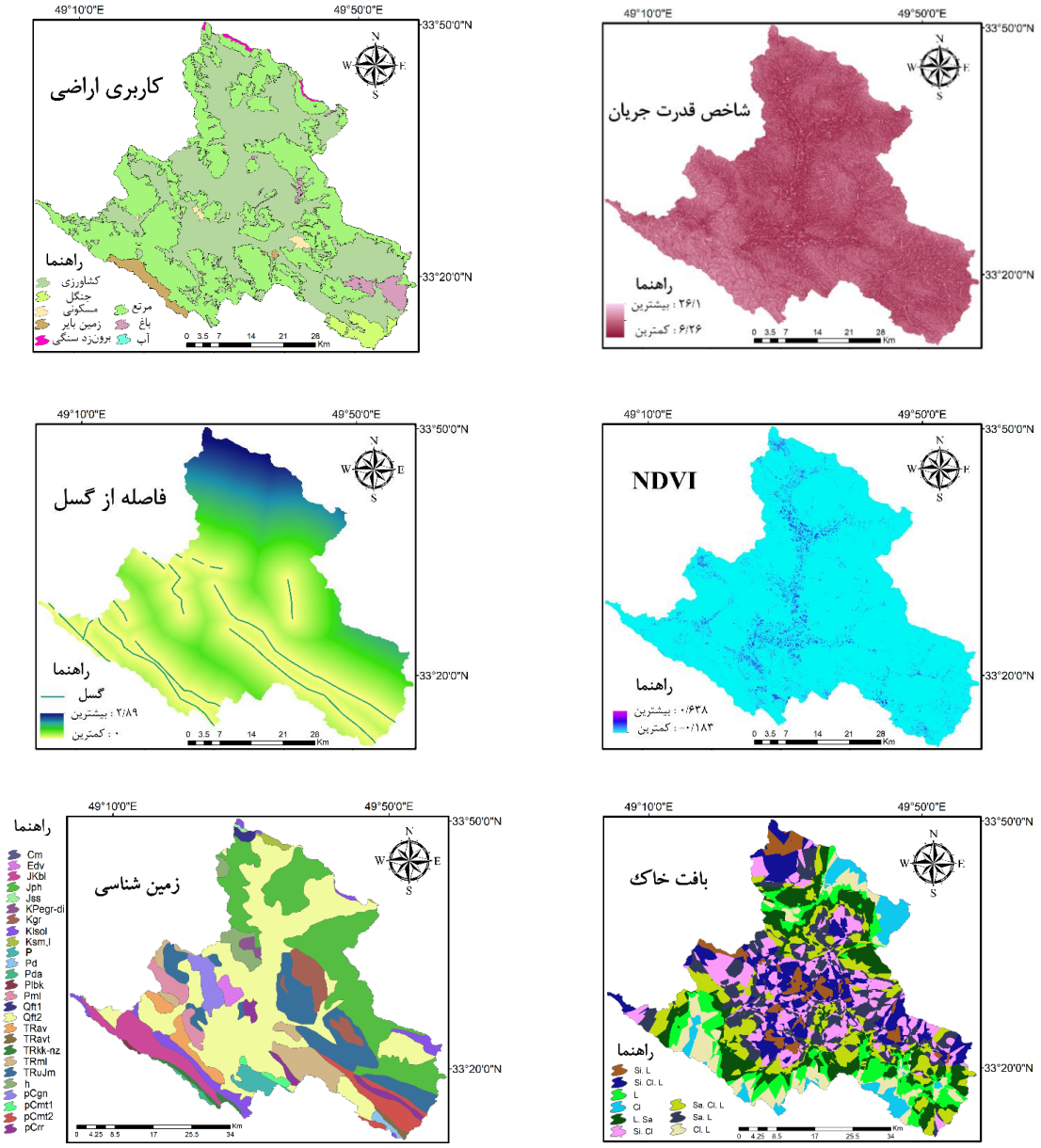
Archive of SID



شکل ۲- لایه‌های اطلاعات محیطی حوزهٔ آبخیز ماربره

Figure 2- Condition factors of Marboreh watershed

www.SID.ir



شکل ۲- (ادامه)

Figure 2- (Continued)



شکل ۳- نمونه‌برداری صحرایی نفوذپذیری با استفاده از روش استوانه مضاعف

Figure 3- Field survey sampilng by using double ring method

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۴- مدل جنگل تصادفی

جنگل تصادفی یک الگوریتم یادگیری ماشینی با قابلیت استفاده آسان و اغلب با نتایج بسیار خوب است که به‌دلیل سادگی و قابلیت استفاده، هم برای طبقه‌بندی هم برای رگرسیون یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های یادگیری ماشینی محسوب می‌شود (Zhang et al., 2017). مهم‌ترین ویژگی جنگل‌های تصادفی کارایی بالای آن‌ها در اندازه‌گیری اهمیت متغیرها در تعیین نقش هر متغیر در پیش‌بینی پاسخ است، ضمن اینکه در مدل‌سازی‌های چندبعدی غیرخطی، مدل جنگل تصادفی بسیار مناسب است (Messenzehl et al., 2017). در مطالعهٔ حاضر، ارتباط بین عوامل مؤثر و موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده نفوذ و وزن هریک از آن‌ها، با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی تعیین شد که این فرآیند در محیط نرم‌افزار آماری RStudio نسخه ۳,۵,۱ اجرا شد.

۲-۵- ترکیب مدل‌ها و سناریوهای ترکیب

امروزه استفاده از روش ترکیب مدل‌ها مورد توجه ویژه متخصصان، خصوصاً افرادی که از مدل‌های داده‌کاوی و یادگیری ماشینی استفاده می‌کنند قرار گرفته است. در مطالعهٔ حاضر پس از محاسبهٔ وزن طبقات هر یک از عوامل با استفاده از مدل‌ها، نقشهٔ مناطق مستعد نفوذ و تغذیه تهیه شد. مرحلهٔ بعدی ترکیب خروجی هر یک از مدل‌های آماری و یادگیری ماشینی با یکدیگر به‌منظور تقویت پیش‌بینی است. بنابراین، برای ترکیب مدل‌ها، سناریوهای مختلفی تهیه شد تا نقشهٔ نهایی مناطق مستعد نفوذ و تغذیه ارائه شود. از این‌رو، بر اساس سناریوهای تعریف شده هر دو مدل با یکدیگر ترکیب شدند. سناریوهایی که برای ترکیب این مدل‌ها تعریف شدند (روابط ۲ تا ۶) در جدول ۱ ارائه شده‌اند (Arabameri et al., 2017).

جدول ۱- سناریوهای ترکیب مدل‌های مورد استفاده در تحقیق

Table 1- Model`s ensembling scenarios in the current study

مدل ترکیبی	سناریو	رابطه
RFBa1	$B^{1} + R^{2}$	(2)
RFBa2	$(2 \times B) + R$	(3)
RFBa3	$(2 \times R) + B$	(4)
RFBa4	$S \times R$	(5)
RFBa5	$((R \times AUC^{3} R) + (B \times AUC B) / (AUC R + AUC B))$	(6)

[1] Bayesian Theory
[2] Random Forest
[3] سطح زیر منحنی ROC

اجرای سناریوهای مختلف با استفاده از ابزار Raster Calculator در محیط نرم افزار ArcGIS 10.6 انجام شد. مقادیر پیکسل بدست آمده از این سناریوها بر اساس طرح طبقه‌بندی natural break به پنج کلاس نفوذپذیری؛ بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی شدند. پس از فرآیند ترکیب و تهیه نقشه حاصل از هر ترکیب دودویی مدل‌ها طبق سناریوهای تعریف شده، مرحله نهایی، صحت‌سنجی نتایج به‌دست آمده و تعیین برترین مدل بر اساس شرایط تعریف شده است. برای این منظور از چندین شاخص صحت‌سنجی (AUROC، CCI و TSS) استفاده شد. این مرحله از کار، با استفاده از نرم‌افزار SPSS و فرمول‌نویسی در محیط اکسل انجام شد.

۲-۶- ارزیابی کارایی مدل

برای ارزیابی کارایی مدل، داده‌های نمونه‌برداری شده طی عملیات صحرایی، به دو مجموعه؛ آموزش (۷۰ درصد داده‌ها) و آزمون (۳۰ درصد داده‌ها) تقسیم شدند. کارایی مدل پس از واسنجی با دو سوم داده‌ها، با استفاده از داده‌های آزمون، صحت‌سنجی شد. در این مطالعه از چند شاخص ارزیابی کارایی مدل استفاده شد. توضیحات و روابط محاسباتی و محدوده هر کدام از شاخص‌های استفاده شده در این پژوهش، به اختصار در جدول ۲ ارائه شده است (روابط ۷ تا ۹). مفهوم اعتبارسنجی هر یک از شاخص‌های مورد استفاده در جدول ۳ ارائه شده است (Fielding and Bell, 1997; Marker et al., 2012; Liu et al., 2017; Sekertekin et al., 2017; Li et al., 2017; Rwanga and Ndambuki, 2017).

۳- نتایج و بحث

بعد از تهیه عوامل محیطی مؤثر بر پدیده مورد بررسی و با داشتن نقاط نمونه‌برداری شده از حوزهٔ آبخیز مورد نظر، وزن نهایی هر یک از عوامل بر اساس تئوری بیزین محاسبه شد. نتایج همبستگی مکانی نقاط نفوذ و عوامل مؤثر در تهیه نقشه پتانسیل نفوذپذیری منطقهٔ مورد مطالعه طبق مدل بیزین در جدول ۴ ارائه شده است.

بر اساس یافته‌های تحقیق، کلاس شنی رسی لومی از لایهٔ بافت خاک و نیز رسوبات کواترنری از لایهٔ سنگ‌شناسی (Qft_2)، به‌ترتیب با مقادیر ۳۲/۳۵ و ۲۲/۶۷ بیش‌تر وزن نفوذپذیری را نشان دادند. هم‌چنین از لحاظ فاکتور جهت شیب، قسمت‌های مسطح یا هموار با مقدار ۱/۵۵ و نیز کلاس ۴ – صفر درصد گرادیان شیب با مقدار ۷/۴۸، از بالاترین مقادیر وزن نفوذپذیری نسبت به سایر طبقه‌بندی‌ها برخوردار بودند. نتایج طبقات ارتفاعی نیز نشان داد که در حداقل ارتفاعات میزان وقوع نفوذ حداکثر است، به‌طوری‌که در این مطالعه حداکثر وزن نفوذپذیری مربوط

www.SID.ir

به کلاس ارتفاعی ۱۹۶۴/۸ -۱۴۴۲ (۱۶/۷۷) مشاهده شد که کم‌ترین کلاس ارتفاعی است.

بیش‌تر وزن حاصل از لایهٔ تراکم زهکشی مربوط به کلاس ۱/۱۱ – ۰/۸۳ با مقدار ۱۲/۵ به‌دست آمد. در لایه‌های فاصله از گسل و فاصله از رودخانه، مناطق با بالاترین وزن نفوذپذیری به ترتیب مربوط به طبقهٔ دوم (۵/۷۸-۱۱/۵۶) و اول (۰-۱/۰۷۴) این لایه‌ها با مقادیر ۱۰/۵۳ و ۱۱/۹۲ بوده و طبق نقشه کاربری اراضی حداکثر نفوذپذیری اتفاق افتاده (۹/۰۱) در زمین‌های زراعی مشاهده شد. در لایه‌های انحنای سطح و انحنای پروفیل، در کلاس هموار (flat) بیش‌تر وزن مشاهده شد. در لایهٔ TWI طبقهٔ پنجم با بازه ۱۸/۲۲ – ۲۲/۵۵ با وزن ۴/۸۷۷ نسبت به سایر کلاس‌های این لایه وزن نفوذپذیری بیش‌تری را نشان داد. این در حالی است که در لایهٔ شاخص قدرت جریان (SPI)، کلاس ۶/۲۵۸ – ۹/۰۵ با مقدار ۴/۵۶ و در لایه NDVI کلاس ۰/۵۴۴ – ۰/۹۱۶ با مقدار ۴/۶۷ بیش‌تر وزن نفوذپذیری را نشان دادند.

هر دو مدل بیزین و مدل جنگل تصادفی پس از اجرای انفرادی، نقشه حاصله در شکل شماره ۴ ارائه شده، طبق سناریوهای تعریف شده (جدول ۱)، با یکدیگر ترکیب شدند. پس از تعیین وزن هر لایه، با استفاده از نقاط اطلاعات محیطی و نقاط شاهد، نقشه پیش‌بینی حاصل از مدل‌ها تهیه و با فراخوانی در محیط ArcGIS10.6 به پنج کلاس نفوذپذیری بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی شد (شکل ۴).

با توجه به نقشه طبقه‌بندی شده و اطلاعات هر یک از کلاس‌ها، مشاهده شد در مدل بیزین مناطق با پتانسیل نفوذپذیری زیاد با ۲۵/۴۳ درصد (۶۵۰/۸ کیلومتر مربع تقریبا معادل یک چهارم مساحت کل حوزهٔ مطالعاتی) بیش‌تر سطح از حوزه و مناطق با نفوذپذیری بسیار زیاد، کم‌ترین مساحت از حوزهٔ مطالعاتی را با ۱۲/۴ درصد (معادل ۳۱۷/۳۱ کیلومتر مربع) به خود اختصاص داده‌اند، این در حالی است که کلاس‌های با نفوذپذیری کم و بسیار کم در مجموع ۴۰/۲۵ درصد (به‌ترتیب معادل

جدول ۲- مشخصات شاخص‌های ارزیابی عملکرد

Table 2- Predictive performance indices propertises

شاخص	توضیحات	رابطه محاسباتی	محدوده
(7)- مشخصه عملیاتی دریافت کننده (ROC[1])	رایج‌ترین روش کمی صحت‌سنجی در مدل‌سازی‌های مکانی و پیش‌بینی پدیده‌های طبیعی-براساس دو ضریب حساسیت[2] و میزان عدم اشتراک[3] ترسیم می‌شود- بعد از تعیین منحنی ROC، سطح زیر این منحنی (AUC[4])، شاخصی برای تعیین کیفیت مدل با استفاده از دقت خروجی نهایی پیش‌بینی) محاسبه می‌شود که با کارایی مدل ارتباط مستقیم دارد.	$\text{حساسیت} = \frac{TP}{TP+FN}$ $\text{میزان عدم اشتراک} = \frac{TN}{TN+FP}$	0-1
(8)- شاخص نمونه‌های صحیح طبقه‌بندی شده (CCI[5])	به معنای مواردی است که درست طبقه‌بندی شده‌اند و به اصطلاح به مجموع TP[6] و TN[7]ها گفته می‌شود.	$CCI = \frac{TN+TP}{TN+TP+FP+FN} * 100$	0-100
(9)- شاخص آماره مهارت درست (TSS)	این شاخص بر اساس مؤلفه‌های ماتریس درهم‌ریختگی استاندارد، نشان‌دهنده انطباق و عدم انطباق مشاهدات و برآوردها هستند.	$\text{TSS} = \text{حساسیت} + \text{میزان عدم اشتراک} - 1$	±1

جدول ۳- مفهوم اعتبارسنجی شاخص‌های تعیین عملکرد

Table 3-The consepts of Predictive performance indices

مفهوم اعتبارسنجی	ROC	CCI	TSS
عالی	>0.9	0.8-1	0.8-1
خوب	0.8-0.9	0.6-0.8	0.6-0.8
قابل قبول	0.7-0.8	0.5-0.6	0.4-0.6
ضعیف	0.5-0.7	0.3-0.5	0.2-0.4
بسیار ضعیف	<0.5	0-0.3	0-0.2

[1] Receiver Operating Characteristics
[2] Sensitivity
[3] Specificity
[4] Area Under Curve
[5] Correctly Classified Instances
[6] True Positive
[7] True Negative

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- همبستگی مکانی میان نقاط نفوذ و عوامل مؤثر بر وقوع نفوذ با استفاده از مدل بیزین

Table 4 - Corrolation between condition factors and infiltration samples by Bayesian method

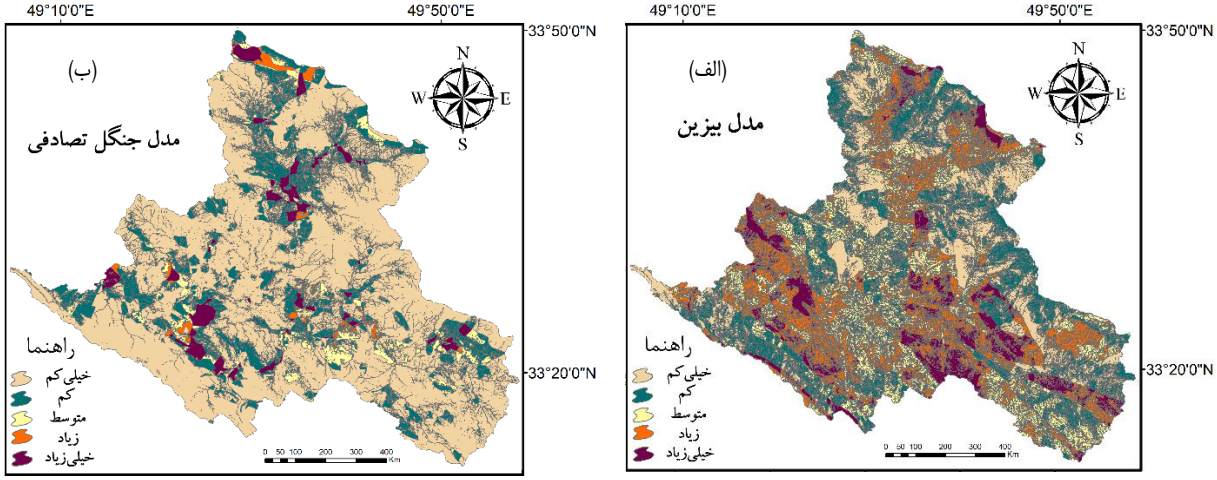
پارامتر	کلاس	تعداد پیکسل‌ها	درصد پیکسل‌ها	نقاط نفوذ	وزن نهائی
شیب	0 - 4	1844076	64.8	632	7.477
	4 - 8	615821	21.7	146	-2.585
	8 - 12	253365	8.9	32	-4.838
	12 - 25	112292	3.9	5	-4.227
	> 25	18692	0.7	0	0.000
جهت شیب	مسطح	576515	20.3	196	1.555
	شمال	431496	15.2	279	-1.780
	شرق	623015	21.9	195	0.695
	جنوب	685272	24.1	144	-0.190
	غرب	527948	18.6	1	-0.011
انحنای دشت	مسطح	1714508	60.3	521	2.126
	مقعر	1	0.0	0	0.000
	محدب	1129737	39.7	294	-2.126
انحنای پروفیل	مسطح	1547970	54.4	432	-0.813
	مقعر	1296275	45.6	383	0.813
	محدب	1	0.0	0	0.000
تراکم زهکشی	0 - 0.28	805615	28.3	58	-12.070
	0.28 - 0.56	704174	24.8	156	-3.680
	0.56 - 0.83	652752	22.9	284	5.274
	0.83 - 1.11	459612	16.2	269	12.481
	1.11 - 1.39	222093	7.8	84	2.568
DEM	1442 - 1964.8	935613	32.9	507	16.770
	1964.8 - 2487.6	1013536	35.6	166	-8.879
	2487.6 - 3010.4	666086	23.4	142	-4.019
	3010.4 - 3533.2	171875	6.0	0	0.000
	3533.2 - 4056	57136	2.0	0	0.000
سنگ‌شناسی	Cm	39	0.0	0	0.000
	Edv	23698	0.8	0	0.000
	H	51951	1.8	0	0.000
	JKbl	120967	4.3	0	0.000
	Jph	617131	21.7	6	-8.837
	Jss	2299	0.1	0	0.000
	Kgr	91361	3.2	1	-3.295
	Klsol	92562	3.3	0	0.000
	KPegr-di	13413	0.5	0	0.000
	Ksm,l	11880	0.4	0	0.000
	P	41084	1.4	0	0.000
	pCgn	56574	2.0	0	0.000
	pCmt1	12800	0.5	0	0.000
	pCmt2	87173	3.1	0	0.000
	pCrr	47360	1.7	0	0.000
	Pd	10839	0.4	0	0.000
	Pda	8090	0.3	0	0.000
	Plbk	3897	0.1	0	0.000
	Pml	62347	2.2	0	0.000
	Qft_1	11082	0.4	33	13.380
	Qft_2	957294	33.7	773	22.670
	TRav	57905	2.0	0	0.000
	TRavt	8645	0.3	0	0.000
	TRkk-nz	18970	0.7	0	0.000
	TRml	122349	4.3	1	-3.598
	TRuJm	312536	11.0	1	-4.608
فاصله از گسل	0 - 5.78	1271422	44.7	201	-11.125
	5.78 - 11.56	806504	28.4	389	11.923
	11.56 - 17.34	341201	12.0	138	4.309
	17.34 - 23.12	250481	8.8	39	-3.980
	23.12 - 28.9	174638	6.1	48	-0.298

www.SID.ir

جدول ۴- (ادامه)

Table 4- (Continued)

کاربری اراضی	کشاورزی	1410103	49.6	535	9.009
	زمین بایر	49756	1.7	0	0.000
	جنگل	59910	2.1	0	0.000
	باغ	65233	2.3	2	-3.186
	مرتع	1233215	43.4	276	-5.433
	برونزد سنگی	9491	0.3	0	0.000
	منطقه مسکونی	15280	0.5	2	-1.111
	آب	1244	0.0	0	0.000
NDVI	-0.183 _ -0.02	30730	1.1	3	-3.991
	-0.02 _ 0.15	16878	0.6	3	-4.979
	0.15 - 0.31	9732	0.3	7	3.882
	0.31 - 0.48	265827	9.3	79	4.674
	0.48 - 0.64	2521079	88.6	723	4.396
فاصله از رودخانه	0 - 0.52	1005005	35.3	435	10.534
	0.52 - 1.11	769942	27.1	208	-0.995
	1.11 - 1.78	569213	20.0	122	-3.581
	1.78 - 2.66	388194	13.6	50	-6.050
	2.66 - 5.34	111892	3.9	0	0.000
بافت خاک	سیلت لومی	135699	4.8	10	-4.38
	سیلتی رسی لوم	364700	12.8	23	-7.67
	لومی	298335	10.5	0	0.000
	رسی	158230	5.6	0	0.000
	لومی شنی	431358	15.2	7	-7.98
	سیلتی رسی	406674	14.3	1	-4.91
	شنی رسی لومی	396266	13.9	756	32.35
	شنی لومی	407749	14.3	18	-8.40
	رسی لومی	245221	8.6	0	0.000
شاخص رطوبت توپوگرافیکی	0.89 - 5.22	674830	23.7	38	-5.234
	5.22 - 9.56	1213874	42.7	320	-1.983
	9.55 - 13.89	654072	23.0	289	1.345
	13.89 - 18.22	233962	8.2	122	3.776
	18.22- 22.55	67508	2.4	46	4.877
شاخص قدرت جریان	6.26 - 10.228	614338	21.6	232	4.565
	10.228 - 14.196	952572	33.5	288	1.024
	14.196 - 18.164	812108	28.6	179	-4.085
	18.164 - 22.132	371452	13.1	75	-3.093
	22.132 - 26.1	93776	3.3	41	2.880



شکل ۴- مناطق مستعد تغذیه آب‌های زیرزمینی طبقه‌بندی شده، (الف) تئوری بیزین و (ب) مدل جنگل تصادفی

Figure 4- Groundwater recharge potential zones, (a) Bayesian Theory, and (b) Random forest models (reclassified in ArcGIS 10.6)

www.SID.ir

Archive of SID

۵۷۰/۶۴ و ۴۵۹/۴ کیلومتر مربع) مساحت منطقهٔ مطالعاتی را پوشش می‌دهند و حدود ۲۲ درصد مساحت این حوزه دارای نفوذپذیری متوسط ارزیابی شد (۵۶۱/۴۶ کیلومتر مربع) که عمدتاً بخش‌های میانی حوزه را در بر می‌گیرد. بر خلاف مدل بیزین، نقشهٔ نهایی در مدل جنگل تصادفی نشان داد که بر اساس این مدل، سطوح دارای نفوذپذیری بسیار کم و کم، حداکثر مساحت را تشکیل می‌دهند. این درحالی است که سطوح دارای نفوذپذیری (کلاس‌های بسیار زیاد و زیاد) در مجموع ۱۴۰/۳ کیلومتر مربع از کل این سطح منطقه مطالعاتی را پوشش داده‌اند (۵/۴۸ درصد).

بر اساس پیش‌بینی‌های حاصل از مدل جنگل تصادفی، ۵/۶۳ درصد سطح این حوزه نیز دارای نفوذپذیری متوسط برای تغذیه آب زیرزمینی برآورد شد.

مساحت مربوط به هر یک از کلاس‌های نفوذپذیری حوزهٔ مورد مطالعه، بر اساس پیش‌بینی تمام مدل‌ها (فردی و ترکیبی) به‌صورت نمودار، در جدول ۵ ارائه شده است. به‌منظور ارزیابی کارایی مدل و دقت آن در ارائه پیش‌بینی نقشه نهایی حاصل، از مجموعه‌ای از شاخص‌های ارزیابی کارایی استفاده شد (جدول ۶).

جدول ۵- سطح هر یک از کلاس‌های پتانسیل تغذیهٔ پیش‌بینی شده

Table 5 – The area of predictive recharge potential classes

مدل‌ها و سناریوها	کلاس پتانسیل نفوذپذیری	کل مساحت کلاس‌ها	
		مساحت (Km^2)	مساحت (٪)
	نفوذپذیری بسیار کم	459.40	17.95
	نفوذپذیری کم	570.64	22.29
مدل بیزین	نفوذپذیری متوسط	561.46	21.93
	نفوذپذیری زیاد	650.78	25.42
	نفوذپذیری بسیار زیاد	317.31	12.40
	نفوذپذیری بسیار کم	1765.89	69.99
	نفوذپذیری کم	509.33	19.90
مدل جنگل تصادفی	نفوذپذیری متوسط	144. 24	5.63
	نفوذپذیری زیاد	42.54	1.66
	نفوذپذیری بسیار زیاد	97.76	3. 82
	نفوذپذیری بسیار کم	769.5	30.1
	نفوذپذیری کم	742.5	29.0
RFBa1	نفوذپذیری متوسط	751.3	29.3
	نفوذپذیری زیاد	194.4	7.6
	نفوذپذیری بسیار زیاد	102.0	4.0
	نفوذپذیری بسیار کم	571.2	22.3
	نفوذپذیری کم	607.9	23.7
RFBa**2**	نفوذپذیری متوسط	718.7	28.1
	نفوذپذیری زیاد	524.3	20.5
	نفوذپذیری بسیار زیاد	137.6	5.4
	نفوذپذیری بسیار کم	852.3	33.3
	نفوذپذیری کم	874.8	34.2
RFBa**3**	نفوذپذیری متوسط	605.1	23.6
	نفوذپذیری زیاد	127.4	5.0
	نفوذپذیری بسیار زیاد	100.2	3.9
	نفوذپذیری بسیار کم	1862.4	72.8
	نفوذپذیری کم	457.4	17.9
RFBa**4**	نفوذپذیری متوسط	114.9	4.5
	نفوذپذیری زیاد	33.4	1.3
	نفوذپذیری بسیار زیاد	91.7	3.6
	نفوذپذیری بسیار کم	899.8	35.2
	نفوذپذیری کم	892.7	34.9
RFBa**5**	نفوذپذیری متوسط	540.7	21.1
	نفوذپذیری زیاد	126.1	4.9
	نفوذپذیری بسیار زیاد	100.4	3.9

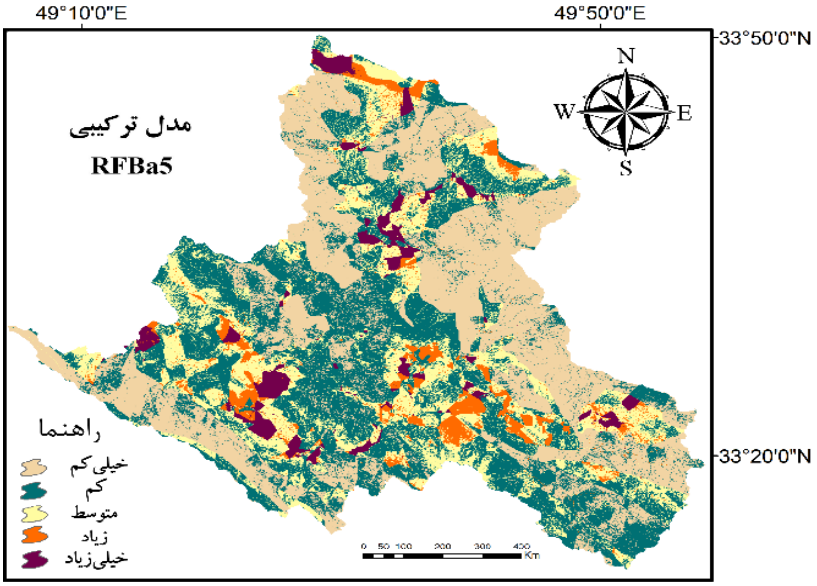
www.SID.ir

جدول ۶- ارزیابی کارایی نهایی مدل‌ها
Table 6 –Performance of predictive models

شاخص	ROC	CCI	TSS
مدل بیزین	0.756	58.68	0. 16
مدل جنگل تصادفی	0.983	93. 19	0.86
RFBa1	0.985	75.51	0.51
RFBa2	0.984	83.99	0.66
RFBa3	0.984	73.53	0.47
RFBa4	0.986	85.05	0.70
RFBa5	0.984	87.94	0.76

طبق این جدول مشاهده شد که با توجه به شاخص ROC، مدل ترکیبی چهارم با مقدار ۰/۹۸۶ درصد به‌عنوان مدل برتر در شناسایی مناطق مستعد تغذیه است. این در حالیست که طبق دو شاخص CCI و TSS، به‌ترتیب با مقادیر ۹۳/۱۹ و ۰/۸۶ مدل جنگل تصادفی به‌عنوان قوی‌ترین مدل در پتانسیل‌یابی مناطق مستعد تغذیه مشاهده شد. در مقایسه این دو مدل بر اساس شاخص ROC، مدل جنگل تصادفی و مدل ترکیبی RFBa4 اختلاف بسیار جزئی باهم دارند (۰/۰۰۳) که این اختلاف نیز چندان قابل توجه نیست. اما با بررسی مقادیر دو شاخص دیگر مشاهده می‌شود که بین دو مدل بیزین و جنگل تصادفی و پنج مدل ترکیبی حاصل از آن‌ها، مدل جنگل تصادفی برترین مدل شناخته شد. اگرچه اثر مثبت ترکیب مدل‌ها (بهبود ارزیابی مدل‌های ترکیبی در قالب هر سه شاخص) نسبت به مدل بیزین نیز کاملا مشهود است که این خود به‌عنوان راهکاری در جهت تقویت مدل‌های آماری، مانند بیزین، توصیه می‌شود.

در بررسی مدل‌های ترکیبی با یکدیگر نیز مشاهده شد که بر اساس شاخص ROC مدل RFBa4، ولی بر اساس دو شاخص دیگر مدل ترکیبی RFBa5 دارای قابلیت بالایی در شناسایی هدف مطالعه است. مدل RFBa5 حتی از نظر شاخص ROC نیز اختلاف چندانی با مدل RFBa4 نداشته (۰/۰۰۲) و در حالت کلی می‌توان بین مدل‌های ترکیبی، مدل RFBa5 را مدل برتر عنوان نمود. بر اساس این ترکیب (شکل ۵)، بیش از یک سوم منطقه با پتانسیل نفوذپذیری بسیار کم، برآورد شد (۳۵/۲ درصد). هم‌چنین حدود همین مقدار نیز با نفوذپذیری کم شناخته شد (۳۴/۹ درصد). یک پنجم منطقه مطالعاتی (۲۱/۱ درصد) با نفوذپذیری متوسط و مناسب پیش‌بینی شد. ۸/۸ درصد دیگر حوزه با پتانسیل زیاد (۴/۹ درصد) و بسیار زیاد (۳/۹ درصد) نفوذپذیری محاسبه شد. طبق مدل RFBa5، در مجموع ۲۹/۹ درصد سطح کل حوزهٔ آبخیز ماربره، دارای نفوذپذیری متوسط تا نفوذپذیری بسیار زیاد پیش‌بینی شد.



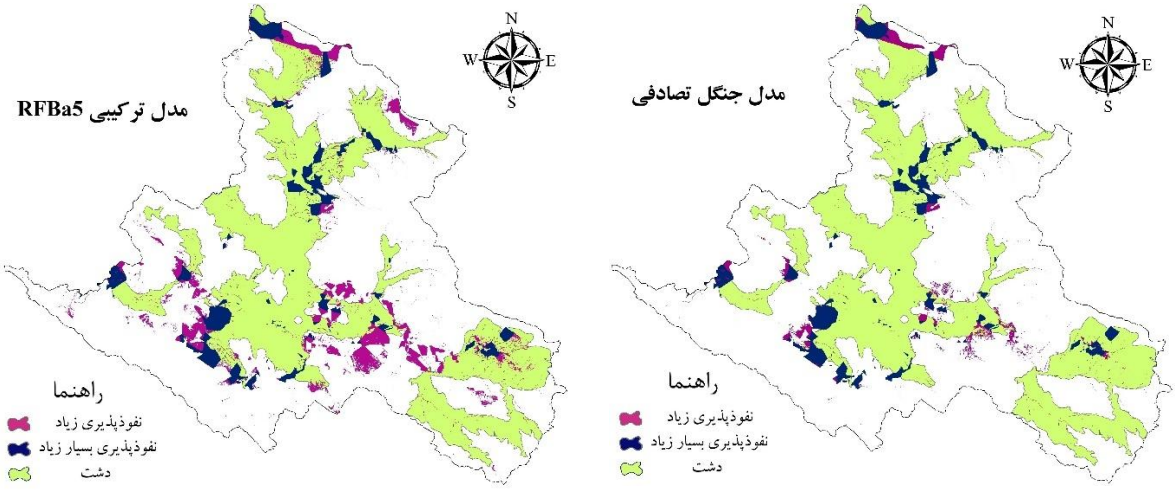
شکل ۵- مناطق مستعد تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی طبقه‌بندی شده طبق مدل ترکیبی RFBa5
Figure 5 – Groundwater recharge potential zones according to RFBa5 ensembling scenario

در نهایت نقشه‌های به‌دست آمده، با محدوده آبخوان، چاه‌های پیزومتری و دشت‌های منطقه برازش داده شد (شکل ۶ و ۷). به‌صورت عمده سطوح دارای پتانسیل زیاد و بسیار زیاد، طبق مدل جنگل تصادفی و RFBa5، در مناطق دشتی و ارتفاعات بسیار کم

www.SID.ir

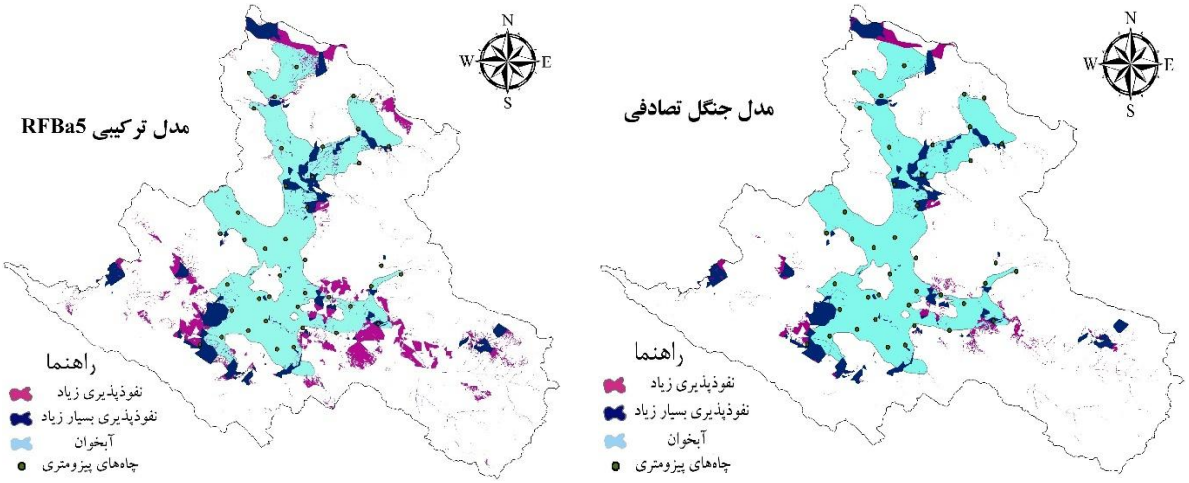
Archive of SID

منتهی به دشت را در بر می‌گیرند که با فاصله مناسب و قابل توجهی از چاه‌های پیزومتری واقع شده‌اند. ضلع جنوب‌شرقی حوزه گرچه در محدوده آبخوان نیست، اما به‌دلیل بافت خاک مناسب و کاربری که عمدتا زراعی و مرتعی است، دارای قدرت نفوذپذیری بالایی بوده و به لحاظ شرایط توپوگرافیکی، جریانات نفوذ یافته به سمت آبخوان هدایت و منجر به تغذیه این منابع می‌شوند.



شکل ۶- برازش وضعیت نفوذپذیری با موقعیت دشت‌های حوزه

Figure 6 – Overlaying the Marboreh GWR potential map with plain layer



شکل ۷- برازش وضعیت نفوذپذیری با موقعیت آبخوان و چاه‌های پیزومتری حوزه

Figure 7 – Overlaying the Marboreh GWR potential map with aquifer layer and pisometric wells

۴- نتیجه‌گیری

به‌دلیل کاهش منابع آب سطحی و خشکسالی‌های مکرر، بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی با چالش‌های اساسی روبرو شده است. برای مدیریت بهینهٔ این منابع با ارزش، بررسی دقیق وضعیت پتانسیل آب های زیرزمینی ضروری است. در شرایطی که امکان آزمایش‌ها و نمونه‌برداری‌های میدانی جهت تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل مناطق مستعد تغذیه کم‌تر باشد، استفاده از مدل‌ها می‌تواند به این موضوع کمک بسیار زیادی نماید. حوزهٔ آبخیز ماربره دربرگیرنده دشت‌های مستعد کشاورزی در استان لرستان محسوب شده که طی سال‌های اخیر تحت تأثیر تنش ناشی از خشک‌سالی و بهره‌برداری بی‌رویه نسبت به برداشت آب زیرزمینی قرار گرفته است. نخستین مرحلهٔ اعمال سیاست کلی برای ترویج استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی، شناسایی و پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل تغذیه است، اما در این حوزه این مرحله انجام نشده است. لذا در مطالعهٔ حاضر مناطق دارای پتانسیل تغذیهٔ آب زیرزمینی در حوزهٔ آبخیز ماربره مورد بررسی و شناسایی قرار گرفت. از میان عوامل و متغیرهای بسیاری که بر مکان‌یابی و تعیین مناطق دارای پتانسیل

www.SID.ir

نفوذپذیری به‌منظور تغذیه آب‌های زیرزمینی مؤثرند، با توجه به هدف، مقیاس کار، دقت قابل انتظار، شرایط منطقه و در دسترس بودن اطلاعات، عواملی برای مطالعه انتخاب و تهیه شد. مطالعهٔ حاضر در مرحله شناسایی مناطق مستعد نفوذپذیری انجام شد، از این رو از لایه‌های اطلاعاتی از جمله ویژگی‌های توپوگرافی اولیه، ویژگی‌های توپوگرافی ثانویه و سایر متغیرهای محیطی استفاده شد. اثر هر یک از عوامل، بررسی و در نهایت سطوحی از حوزهٔ آبخیز ماربره که پتانسیل تغذیهٔ آب‌های زیرزمینی را داشتند شناسایی و تعیین شدند. به این منظور از دو مدل فردی همراه با ترکیب این مدل‌ها در قالب چند سناریو بر مبنای ریاضیات پایه استفاده شد. مدل بیزین به‌دلیل استفاده از توزیع پسین در مرحلهٔ برآورد و پیش‌بینی، دقت مناسب و قابل قبولی را نشان داد (ROC=۰/۷۵۶) و این دقت برآورد مدل بیزین محدود به اندازهٔ نمونه‌ها نیست که همین ویژگی، از جمله نقاط قوت این مدل است. هم‌چنین استنباط آماری در این مدل با به‌کارگیری همه اطلاعات توزیع پسین برای پارامترهای مورد استفاده، جامع‌تر و انعطاف‌پذیرتر است. از محدودیت‌های مدل بیزین می‌توان به محدود بودن انتخاب‌ها و دامنهٔ مقادیر معیارها (انتخاب مناطق بر اساس معیارهای مطلق و قطعی) اشاره کرد (Bagheri Dadvokalaii et al., 2017). در اکثر مطالعات مشابه با استفاده از تئوری بیزین نیز توانایی این مدل مشاهده شده است (Karimi-Rizvandi et al., 2021; Bagheri Dadvokalaii et al., 2017) که این مطالعات با در نظر گرفتن صرفاً شاخص ROC، با مطالعهٔ حاضر مطابقت دارد. اگرچه مطالعهٔ حاضر با هدف بررسی اثر ترکیب مدل‌ها به‌منظور تقویت مدل‌های فردی صورت گرفت، در نهایت نتایج، برتر بودن یک مدل فردی (جنگل تصادفی) را آشکار نمود که با مطالعهٔ Sihag et al. (2020) و Avand et al. (2019) نیز مطابقت دارد. لازم به ذکر است که تفاوت مدل انفرادی جنگل تصادفی با مدل‌های ترکیبی بسیار جزئی بوده و تقریباً عملکرد یکسانی را نشان دادند. بنابراین، عملکرد تمام مدل‌های ترکیبی نیز در سطح عالی (از نظر شاخص ROC) و خوب (از نظر شاخص‌های CCI و TSS) ارزیابی شدند که با مطالعات مشابه مانند Miraki et al. (2019) و Chen et al. (2019) همخوانی دارد. هم‌چنین دلیل اختلاف بین پیش‌بینی مدل جنگل تصادفی و مدل‌های ترکیبی با مدل بیزین را می‌توان در ساختار مدل‌ها دانست. مدل جنگل تصادفی دارای قدرت یادگیری روابط غیرخطی پیچیده بین عوامل تأثیرگذار بر تغذیه آب‌های زیرزمینی است که به‌عنوان نقطه قوت این مدل و از مزایای آن است که استفاده از این مدل در سناریوهای ترکیب، سبب تقویت این مدل‌ها و بهبود عملکرد مدل بیزین در حالت ترکیبی نیز شد.

با توجه به توپوگرافی منطقه که عمدتاً کوهستانی است و هم‌چنین کاربری آن که اکثراً زراعی و مرتعی است، این سطوح باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شوند که با هدایت رواناب‌ها از هدررفت این پتانسیل‌ها جلوگیری کرده و از آن‌ها برای افزایش سطح منابع آب زیرزمینی و تغذیه این منابع استفاده نمود. شناسایی دقیق مناطق با پتانسیل بالا و بسیار زیاد کمک می‌کند تا نهایت استفاده از این شرایط را در جهت نفوذ دادن رواناب‌ها به عمل آوریم، چرا که صرفاً بخشی از این مقادیر نفوذ یافته می‌توانند به آبخوان‌ها راه یافته و سبب تغذیهٔ این منابع ارزشمند شوند. در صورتی که سطح مورد نظر برای اعمال هر یک از برنامه‌های مرتبط، اراضی زراعی باشند، کسب مجوز از صاحبان این اراضی می‌تواند یکی از مسائل چالش‌برانگیز باشد.

منابع

احمدی، ف.، رادمنش، ف.، و میرعباسی نجف آبادی، ر. (۱۳۹۴). مقایسهٔ عملکرد روش‌های ماشین‌بردار پشتیبان و شبکه‌های بیزین در پیش‌بینی جریان روزانهٔ رودخانه (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ باراندوزچای). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۲(۶)، ۱۷۱ – ۱۸۶.

آخونی پورحسینی، ف.، و قربانی، م. (۱۳۹۷). کاربرد آنتروپی شانون برای انتخاب ورودی‌های بهینه در پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از مدل‌های هوشمند (مطالعهٔ موردی: صوفی‌چای). *علوم و مهندسی آبیاری*، ۴۱(۲)، ۱۸۳ – ۱۹۵.

آوند، م.ت.، جانی‌زاده، س.، و فرزین، م. (۱۳۹۸). تعیین پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و آماری در منطقهٔ یاسوج – سی‌سخت. *منابع طبیعی ایران*، ۷۲ (۳)، ۶۰۹ – ۶۲۳.

باقری دادوکلایی، ا.، محمدولی‌سامانی، ج.، و سروریان، ج. (۱۳۹۶). تعیین بهترین مکان برای اجرای طرح حوضچه‌های تغذیهٔ مصنوعی آب زیرزمینی با استفاده از دو روش بولین و AHP. *مهندسی و مدیریت ساخت*، ۲(۱)، ۱۲–۱۶.

شرکت آب منطقه‌ای لرستان، (۱۳۸۰). مطالعات توجیهی حفاظت خاک و آبخیزداری حوزه‌های آبخیز ماربره و بخش کوچکی از رودخانه تیره در شمال دورود.

شرکت مهندسی مشاور پارس رای آب، (۱۳۹۱). گزارش جامع ازنا الیگودرز، فصول دوم، سوم، ششم و شانزدهم.

نوروزی، ح.، ندیری، ع.، اصغری مقدم، ا.، و قره‌خانی، م. (۱۳۹۶). پیش‌بینی قابلیت انتقال آبخوان دشت ملکان با استفاده از روش جنگل تصادفی. *دانش آب و خاک*، ۲۷(۲)، ۶۱ – ۷۵.

www.SID.ir

Archive of SID

References

Ahmadi, F., & Radmanesh, F., & Mirabbasi Najafabadi, R. (2016). Comparing the performance of support vector machines and bayesian networks in predicting daily river flow (case study: baranduz chai river). Journal of Water and Soil Conservation (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources), 22(6), 171-186 (in Persian).

Akhoni Pourhosseini, f., & Ghorbani, M. (2018). Application of Shannon Entropy for Selecting the Optimum input Variables in River Flow Simulation using Intelligent Models (Case Study: SofyChay). *Irrigation Sciences and Engineering (JISE) (Scientific Journal of Agriculture)*, 41(2), 183-195 (in Persian).

Al-Abadi, A.M., Pradhan, B., & Shahid, S. (2016). Prediction of groundwater flowing well zone at An-Najif Province, central Iraq using evidential belief functions model and GIS. *Environmental monitoring and assessment*, 188(10), 549.

Al-Fugara, A.K., Pourghasemi, H.R., Al-Shabeeb, A.R., Habib, M., Al-Adamat, R., Al-Amoush, H., & Collins, A.L. (2020). A comparison of machine learning models for the mapping of groundwater spring potential. *Environmental Earth Sciences*, 79, 1-19.

Althuwaynee, O.F., Pradhan, B., Park, H.-J. & Lee, J.H. (2014). A novel ensemble decision tree-based CHi-squared Automatic Interaction Detection (CHAID) and multivariate logistic regression models in landslide susceptibility mapping. *Landslides* 11, 1063–1078.

Arthur, J.D., Wood, H.A.R., Baker, A.E., Cichon, J.R., & Raines, G.L. (2007). Development and implementation of a Bayesian-based aquifer vulnerability assessment in Florida. *Natural Resources Research*, 16(2), 93-107.

ASTM (American Society for Testing Materials), (1998). Standard Test Method for Particle-Analysis of Soils, D422-63.

Avand, M., & Janizadeh, S., & Farzin, M. (2019). Groundwater Potential Determination on Yasouj-Sisakht area Using Random Forest and Generalized Linear Statistical Models. Journal of Range and Watershed Management (Iranian Journal of Natural Resources), 72(3), 609-623 (in Persian).

Bagheri Dadvokalaii, O., Mohammadvali Samani, J., Sarvarian, J. (2017). Determine the best place to implement groundwater artificial pond design by using two methods of boolean and AHP. *Journal of Engineering & Construction Management*, 2(1), 12-16 (in Persian).

Chen, W.B., Pradhan, S., Li, H., Shahabi, H.M., Rizeei, E. H., & Wang, S. (2019). Novel Hybrid Integration Approach of Bagging-Based Fisher's Linear Discriminant Function for Groundwater Potential Analysis. *Natural Resources Research*, 1-20.

Farmani, R., Henriksen, H.J., & Savic, D. (2009), An evolutionary Bayesian belief network methodology for participatory decision making under uncertainty: an application to groundwater management. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 8(3), 456-461.

Fielding, A.H., & Bell, J.F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24, 38–49.

Gelman, A., Carlin, J.B., Stern Hal, S., Dunson David, B., Vehtari, Aki, R., & Donald, B. (2013). Bayesian Data Analysis. 3rd Edition: Chapman and Hall/CRC, 657 pages.

Graham, W.D., & Neff, C.R. (1994). Optimal estimation of spatially variable recharge and transmissivity fields under steady-state groundwater flow. Part 2. Case study. *Journal of Hydrology*, 157(1-4), 267-285.

Guo, C., Montgomery, D.R., Zhang, Y., Wang, K., & Yang, Z. (2015). Quantitative assessment of landslide susceptibility along the Xianshuihe fault zone, Tibetan Plateau, China. *Geomorphology Journal*, 248, 93–110 .

Jeffreys, H. (2011). *Scientific Inference*. 3rd Edition: Cambridge University Press, 282 pages.

Konikow, L.F., & Kendy. E. (2005). Groundwater depletion: A global problem. *Hydrogeology Journal*, 13(1), 317-320.

Kordestani, M.D., Naghibi, S.A., Hashemi, H., Ahmadi, K., Kalantar, B., & Pradhan, B. (2019). Groundwater potential mapping using a novel data-mining ensemble model. *Hydrogeology Journal*, 27(1), 211-224.

Lee, S., & Min, K. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Youngin, Korea. *Environmental Geology*, 40, 1095–1113.

Li, X., Zhao, S., Yang, H., Cong, D., & Zhang, Z. (2017). Abi-band binary mask-based land-use change detection using Landsat 8 OLI imagery. *Sustainability*, 9(3), 479.

Liu, X., He, J., Yao, Y., Zhang, J., Liang, H., Wang, H., & Hong, Y. (2017). Classifying urban land use by integrating remote sensing and social media data. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(8), 1675-1696.

Lorestan Regional Water Company, (2001). Feasibility studies for soil protection and watershed management in the Marbareh watershed and a small part of the Tireh River in the north of Dorud (in Persian).

Marker, M., Pelacani, S., & Schroder, B. (2012). A functional entity approach to predict soil

www.SID.ir

erosion processes in a small Plio-Pleistocene Mediterranean catchment in Northern Chianti, Italy. *Geomorphology*, 125(4), 530-540.

Messenzehl, K., Meyer, H., Otto, J.C., Hoffmann, T., & Dikau, R. (2017). Regional-scale controls on the spatial activity of rockfalls (Turtmann Valley, Swiss Alps)—A multivariate modeling approach. *Geomorphology*, 287, 29-45.

Miraki, S., Zanganeh, S.H., Chapi, K., Singh, V.P., Shirzadi, A., Shahabi, H., & Pham, B.T. (2019). Mapping groundwater potential using a novel hybrid intelligence approach. *Water resources management*, 33(1), 281-302.

Mogaji, K.A., Omosuyi, G.O., Adelusi, A.O., & Lim, H.S. (2016). Application of GIS-based evidential belief function model to regional groundwater recharge potential zones mapping in hardrock geologic terrain. *Environmental Processes*, 3(1), 93-123.

Mokarram, M., Saber, A., Mohammadizadeh, P., & Abdolali, A. (2020). Determination of artificial recharge location using analytic hierarchy process and Dempster–Shafer theory. *Environmental Earth Sciences*, 79(10), 1-15.

Mukherjee, S. (1996). Targeting saline aquifer by remote sensing and geophysical methods in a part of Hamirpur-Kanpur, India. *Hydrogeol*ogy *Journal*, 19, 53-64.

Naghibi, S.A., Moghaddam, D.D., Kalantar, B., Pradhan, B., & Kisi, O. (2017). A comparative assessment of GIS-based data mining models and a novel ensemble model in groundwater well potential mapping. *Journal of Hydrology*, 548, 471-483.

Norouzi, H., Nadiri, A., Asghari Moghaddam,, A., & Gharekhani, M. (2017). Prediction of Transmissivity of Malikan Plain Aquifer Using Random Forest Method. *Water and Soil Science*, 27(2), 61-75 (in Persian).

Pars Ray Ab Consulting Engineering Company, (2012). Azna Aligudarz Comprehensive Report, Chapters 2, 3, 6 and 16 (in Persian).

Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., & Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin. Iran. *Catena* 97, 71–84.

Qureshi, M.E., Reeson, A., Reinelt, P., Brozović, N., & Whitten, S. (2012). Factors determining the economic value of groundwater. *Hydrogeology Journal*, 21(3), 1-9.

Reggiani, P., & Weerts, A. (2008). Bayesian approach to decision-making under uncertainty: An application to real time forecasting in the river Rhine. Journal of *Hydrology*, 356, 56-69.

Rittel, H.W., & Webber, M.M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy sciences*, 4(2), 155-169.

Rojas, R., Feyen, L., & Dassargues, A. (2008). Conceptual model uncertainty in groundwater modeling: Combining generalized likelihood uncertainty estimation and Bayesian model averaging. *Water Resources Research*, 44, W12418.

Rukundo, E., & Doğan, A. (2019). Dominant Influencing Factors of Groundwater Recharge Spatial Patterns in Ergene River Catchment, Turkey. *Water*, 11(4), 653.

Rwanga, S.S., & Ndambuki, J.M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(04), 611.

Sadoddin, A., Letcher, R.A., Jakeman, A.J., & Newham, L.T. (2005). A Bayesian decision network approach for assessing the ecological impacts of salinity management. *Mathematics and Computers in Simulation*, 69(1-2), 162-176.

Saha, A.K., Gupta, R.P., Sarkar, I., Arora, M.K., & Csaplovics, E. (2005). An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation with a case study in the Himalayas. *Landslides*, 2, 61–69 .

Seiler, K.P., & Gat, J.R. (2007). *Groundwater Recharge from Run-Off, Infiltration and Percolation.* Water Science and Technology Library, Springer Dordrecht, New York, USA, 248 pages.

Sekertekin, A., Marangoz, M., & Akcin, H. (2017). pixel-based classification analysis of land use land cover using sentinel-2 and landsat-8 data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W6, 91-93.

Shah, T., Burke, J., Villholth, K., Angelica, M., Custodio, E., Daibes, F., Hoogesteger, J., Giordano, M., Girman, J., van der Gun, J. Kendy, E., Kijne, J., Llamas, R., Masiyandima, M., Margat, J., Marin, L., Peck, J., Rozelle, S., Sharma, B.R., Vincent, L., & Wang, J. (2007). Groundwater: a global assessment of scale and significance. Pp.395-423, In: Molden, David (Ed.), *Water for food, water for life: a Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*, London, UK: Earthscan; Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).

Sihag, P., Angelaki, A., & Chaplot, B. (2020). Estimation of the recharging rate of groundwater using random forest technique. *Applied Water Science*, 10(7), 1-11.

Simmers, I., Hendrickx, J.M.H., Kruseman, G.P., & Rushton, K.R. (1997). *Recharge of phreatic*

www.SID.ir

Archive of SID

aquifers in (semi-)arid areas. IAH International Contributions to hydrogeology 19, 1st Edition: CRC Press, 240 pages.

Vrugt, J.A., & Sadegh, M. (2013). Toward diagnostic model calibration and evaluation: Approximate Bayesian computation. *Water Resources Research*, 49(7), 4335-4345.

Wada, Y., Van Beek, L.P.H., Van Kempen, C.M., Reckman, J.W.T.M., Vasak, S., & Bierkens, M.F.P. (2010). Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters*, 37(20), L20402.

Yeh, H.F., Cheng, Y.S., Lin, H.I., & Lee, C.H. (2016). Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River, Taiwan. *Sustainable Environment Research*, 26(1), 33-43.

Yenehun, A., Walraevens, K., & Batelaan, O. (2017). Spatial and temporal variability of groundwater recharge in Geba bain. *Northern Ethiopia. Journal of African Earth Sciences*,134, 198–212.

Zektser, I.S. (2012). Investigation of Transboundary Aquifers in Russia: Modern State and Main Tasks, Proceedings of NATO Advanced Research Workshop on Sustainable Use and Protection of Groundwater Resources. *Transboundary Water Management*, 79-85.

Zhang, K., Wu, X., Niu, R., Yang, K., & Zhao, L. (2017). The assessment of landslide susceptibility mapping using random forest and decision tree methods in the Three Gorges Reservoir area, China. *Environmental Earth Sciences*, 76(11), 1-20.

www.SID.ir