Archive of SID

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۳۰ شماره ۳صفحه‌های ۹۳ تا ۱۰۶ / سال ۱۳۹۹

تعیین منابع آب استراتژیک در سازندهای سخت منطقه صائین جهت تامین آب شرب شهر اردبیل در شرایط بحرانی

طاهره محمدزاده[۱] ، عبدالرضاواعظی هیر [۲]*، رسول سیفی اینانلو[۳]، بابک خیاط رستمی[٤]

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۳۰

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
۲-دانشیار، دکترای هیدروژئولوژی، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی ،دانشگاه تبریز
۳-کارشناس ارشد زمین شناسی – تکتونیک، شرکت آب منطقه ای اردبیل
٤-کارشناس ارشد عمران – سازه های هیدرولیکی، شرکت آب منطقه ای اردبیل
* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی:r.vaezi@tabrizu.ac.ir

چکیده

به دلیل مشکلات کیفی آب سد یامچی که ٦۰ درصد آب شرب اردبیل را تامین می‌کند و منفی بودن بیلان آبخوان دشت اردبیل و با توجه به سکونت نصفی از جمعیت استان در شهر اردبیل و پیش بینی افق رشد جمعیت، پی جویی و اکتشاف منابع آب جدید برای تامین آب شرب این مرکز استان کاملا ضروری می‌باشد. از طرف دیگر به دلیل بارش سالانه مناسب، گسترش سازندهای سخت با کیفیت آب مناسب و نیز نزدیکی به خط انتقال آب شرب اردبیل از سد یامچی و تصفیه خانه مجاور سد، حوضه صائین برای پی جویی منابع آب شرب جدید انتخاب گردید. حوضه صائین دارای گسترش وسیع واحدهای ولکانیک بوده و می‌تواند دارای سفره‌های آب سازند سخت با کیفیت باشد. به منظور ارزیابی پتانسیل وجود منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت حوضه، بر اساس روش مقایسات زوجی بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای هر معیار وزنی اختصاص داده شد و لایه‌های رستری مربوط به ۹ معیار لیتولوژی، تراکم شکستگی‌ها، ارتفاع با فاکتور بارش و ارتفاع با فاکتور حوضه آبگیر، شاخص رطوبت، شیب، تراکم آبراهه، جهت شیب و شاخص پوشش گیاهی تهیه گردید. سپس با روش‌های میانگین‌گیری وزنی درجه‌ای (OWA) و هم-پوشانی وزنی (Weighted overlay) از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی ذکر شده، نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی تهیه گردید. در این مدل واحدهای الیوین بازالتی و آندزیت‌های پیروکسن‌دار و تراکیت‌ها از جمله مناطق با پتانسیل زیاد و بسیار زیاد بوده و شکستگی‌ها و خطواره‌ها نقش مهمی در ایجاد پتانسیل منابع آب سازند سخت داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل یابی آب زیرزمینی، حوضه صائین، سازند سخت، AHP، OWA

www.SID.ir

Archive of SID

Determination of Strategic Water Resources in Hard Rocks of Saein Area in order to Supply Drinking Water for Ardabil City at a Critical Water Shortage

T Mohammadzadeh[1], A Vaezihir[2*], R Seifi Inanlou[3], B Khayyat Rostami[4]

Received: November 14, 2018 Accepted: May 19, 2020

[1]M.Sc. Grad., Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran
[2]Assoc. Prof., Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran
[3]Geologist, Ardabil Regional Water Management Company, Iran
[4]Civil Eengineer, Ardabil Regional Water Management Company, Iran
*Corresponding Author Email: r.vaezi@tabrizu.ac.ir

Abstract

Finding of new water resources is a strategic necessity for Ardabil City as the capital of a province. Because the Ardabil aquifer is faced with problems of negative water budget and drinking water supplied from Yamchi dam which provides 60% of Ardabil's drinking water has a low quality. Also, colonization of half of the province population in Ardabil city and population growth horizon are other key reasons to prepare new water resource for the city. Saein area was chosen for exploration of groundwater new resources for suppling of drinking water for Ardabil city, because of relative high annual precipitation, fractured rock distribution with suitable water quality and proximity to the water treatment site located adjacent to the dam and water convey line from Yamchi dam,. Volcanic units with pure fracture porosity have formed fractured rock aquifers with high quality groundwater. In order to determine the groundwater resources of the study area and preparing the potential zoning map, nine rasteric map developed according to nine main parameters including lithology, fracture density, height as precipitation and as basin area, moisture, slope, stream density, slope direction and vegetation coverage index. The rasteric layers have been overlaied using two methods, ordered weighted averaging (OWA) and weighted overlay methods. The resultant potential map was prepared with five order of zoning, very high, high, moderate, low and very low potential. Calibration of two resulting map with springs location showed that the OWA method is more consistant with the field findings. Olivine basalt, pyroxene bearing andesite and trachits have been covered the areas with high groundwater potential. Factures and faults have the second role in the rainfall percolation and forming of aquifers.

Keywords: AHP, Groundwater Potential, Hard rocks, OWA, Saein basin.

مقدمه

مخازن آب زیرزمینی موجود در سازندهای سخت می‌توانند یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب بخصوص در نقاطی که کیفیت آب آبرفتی نامناسب بوده و یا بهره‌برداری از منابع آبرفتی به دلیل برداشت بی‌رویه محدود است، باشد. به طور کلی آب موجود در آبخوان‌های سازند سخت، به علت مقادیر کم نمک‌ها، کیفیت مطلوبی جهت استفاده‌های مختلف دارا می‌باشند. یکی از بهترین و کم هزینه‌ترین روش‌ها برای پی جویی منابع آب زیرزمینی، استفاده از توانایی‌های سنجش از دور [1] (*RS*) برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه و سیستم اطلاعات جغرافیایی [2] (*GIS*) به عنوان ابزاری توانمند در ذخیره، تجزیه و تحلیل، بازیابی و نمایش اطلاعات می

[1] Remote Sensing
[2] Geographic Information System

www.SID.ir

Archive of SID

باشد. فتحی(۲۰۱۲) برای پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی صحرای جنوب شرقی مصر پارامترهای شیب، شبکه آبراهه‌ها، خطوارگی‌ها، لیتولوژی و توپوگرافی را با استفاده از *GIS* و سنجش از دور (*RS*) مورد بررسی قرار داد و نقشه‌ای ارائه داد که مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی به ٤ گروه خیلی خوب، خوب، متوسط و کم تقسیم‌بندی شده بود.

پراساد و همکاران(۲۰۰۸) با استفاده از روش تلفیقی *RS* و *GIS* پتانسیل یابی آب زیرزمینی در سازندهای سخت ناحیه نالگوندا (Nalgonda) در هند لایه‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، شیب، تراکم آبراهه و خطواره‌ها را با استفاده از داده‌های *RS* در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و اطلاعات توپوگرافی تهیه کردند و از داده‌های ٤۳۸ حلقه چاه حفر شده در منطقه، جهت ارزیابی صحت نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی استفاده کردند و در نتیجه زون‌های مناسب در منطقه را ارزیابی و مدیریت منابع آب زیرزمینی به ویژه در سازندهای سخت را توصیف کردند. صابری و همکاران (۲۰۱۱) مطالعات پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی تاقدیس کمستان را با تلفیق سنجش از دور و *GIS* به روش تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*)[1] بررسی کردند. آن‌ها لایه‌های مؤثر را زمین شناسی، ژئومورفولوژی، شکستگی‌ها، خاک شناسی، پوشش زمین، شیب و بارش در نظر گرفتند و با صحت‌سنجی مدل مذکور توسط نقشه موقعیت و دبی چشمه‌های منطقه نشان دادند که این روش از دقت بالایی برخوردار بوده و عمده منابع آب زیرزمینی با پتاسیل بالا در سازند آسماری و ایلام – سروک منطقه معرفی گردید. زروش و همکاران (۲۰۱٤) بر اساس روش *Fuzzy-AHP* در ارزیابی پتانسیل کارست در محدوده تاقدیس کبیرکوه در استان ایلام نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی ارائه دادند که مناطق با پتانسیل بالا با حوضه‌های آبگیر چشمه های پرآب منطقه تطابق خوبی را نشان می‌داد. شمسی (۲۰۱٤) برای پتانسیل‌یابی منابع آب حوضه آبریز قلعه‌چای لایه‌های لیتولوژی، تراکم شکستگی‌ها، فرسایش‌پذیری، شیب، تراکم زهکشی، کاربری اراضی، جهت شیب و بارش را تهیه کرده و بر اساس روش *AHP* برای هر کلاس وزن و رتبه اختصاص داده و نقشه پهنه‌بندی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی را با اعمال سه روش *(OWA)*[2]*, (FUZZY- AHP)*[3] و(*WLC*)[4] تهیه نمود.

در بعضی از مطالعات نظیر پتانسیل یابی آب زیرزمینی سازندهای سخت شمال حسینیه، ماه گلی و همکاران(۲۰۱۱) پارامترهای لیتولوژی، تراکم شکستگی، ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، تراکم آبراهه با روش همپوشانی وزنی تلفیق گردیده است. ولی در وزن تخصیصی برای لایه تراکم آبراهه، به لایه های با تراکم بالا وزن بیشتری اختصاص داده‌اند. در حالی که آبراهه‌ها نقش انتقال رواناب دارند و با نفوذپذیری زمین رابطه عکس دارند. همچنین پارامتری نظیر جهت شیب در مطالعات گذشته پتانسیل یابی کمتر مورد توجه قرار گرفته است در حالی که این پارامتر همانطور که در ادامه شرح داده می‌شود در میزان تغذیه به داخل زمین موثر است و در این پژوهش به عنوان یک پارامتر جدید به پارامترهای پتانسیل یابی اضافه گردیده است.

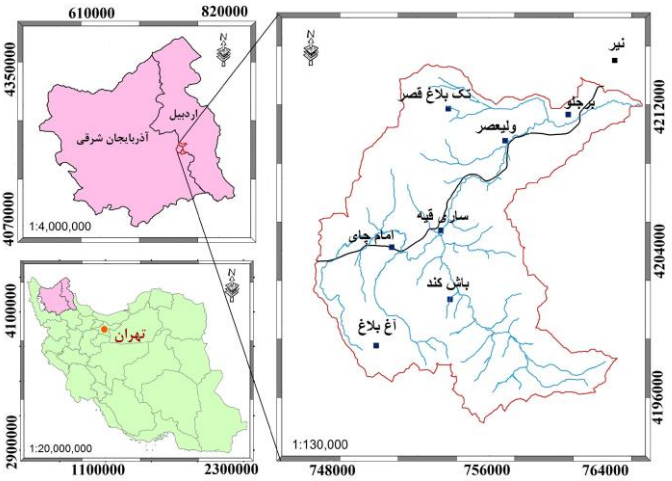
حوضه آبریز صائین با وسعت ۲۰۲/٦ کیلومترمربع، در مرز استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی واقع شده که بخشی از حوضه آبریز رودخانه بالیخلوچای می‌باشد (شکل ۱) که خود از سرشاخه‌های رودخانه قره‌سو بوده و به رودخانه ارس منتهی می‌شود. اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه سرد و مرطوب است و میانگین بارش سالانه آن حدود ٤۰٤ میلی متر می‌باشد بیشینه، کمینه و متوسط ارتفاع حوزه به ترتیب ۲٦۹٦، ۱۵۷۸ و ۲۰٦۳/٦ متراز سطح دریاست.

[1] Analytic Hierarchy Process

[2] Order Weight Average
[3] Fuzzy- Analytic Hierarchy Process
[4] Weighted Linear Combination

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

عمده واحدهای سنگی حوضه آبریز صائین سنگ های آذرآواری است که حدود ۷۹/۲ درصد از منطقه را در برگرفته است و بازالت‌های اولیوین‌دار و آندزیت‌های پیروکسن‌دار(Qv)، واحد Mr (ریولیت و ریوداسیت) و واحد Mtr (تراکیت) به ترتیب وسیع ترین واحدهای آتشفشانی مربوط به سبلان در منطقه می باشد.

در حال حاضر سد یامچی تامین کننده بیش از ٦٠ درصد آب شرب اردبیل، سرعین و روستاهای نزدیک است. در این سد چهار برج آبگیر برای برداشت از لایه‌های مختلف سد راه‌اندازی شده و با توجه به مشکل در برداشت آب در فصل تابستان پروژه جدیدی برای ساخت برج آبگیر و مخزن مناسب به ارتفاع ٥٠ متر در این سد در حال اجرا می‌باشد. آبخوان دشت اردبیل نیز که ٤٠ درصد باقیمانده آب شرب شهر اردبیل از آن تامین می شود در وضعیت دشت ممنوعه بوده و بیش از ٦٣٢ میلیون مترمکعب بیلان منفی دارد. از طرف دیگر با توجه به سکونت نصفی از جمعیت استان در شهر اردبیل و پیش بینی افق رشد جمعیت، نیاز به پی جویی و اکتشاف منابع آب جدید برای تامین آب شرب این مرکز استان می باشد(بی نام، ٢٠١٦).

به دلیل بارش سالانه مناسب، گسترش سازندهای سخت با کیفیت آب مناسب (محمدزاده و همکاران،٢٠١٤) و نیز نزدیکی به خط انتقال آب شرب اردبیل از سد یامچی و تصفیه خانه مجاور سد، حوضه صائین برای پی جویی منابع آب شرب جدید انتخاب گردید. البته نکته مهم برای بهره برداری از منابع آب سخت اینکه، این آبخوان‌ها جزء منابع آب استراتژیک محسوب شده و برداشت از آن‌ها صرفا برای مصارف شرب و تحت شرایط خاصی برای مصارف صنعتی مجاز می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش تامین آب شرب اردبیل فقط برای شرایط بحرانی اوج مصرف مدنظر بوده و برداشت بی رویه از این منابع مدنظر نیست.

در این پژوهش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*) و تلفیق لایه‌های موثر بر پتانسیل آب زیرزمینی بر پایه وزن‌های نسبی حاصل از *AHP* به دو روش *OWA* و هم پوشانی وزنی[1] پتانسیل منابع آب زیرزمینی واحدهای سازند سخت حوضه صائین شناسایی و پهنه بندی گردید و در نهایت نتایج حاصل از دو روش صحت سنجی و به منظور سنجش دقت آن‌ها مقایسه گردیدند. در این پژوهش چند ایراد مهم در روش‌های مرسوم رفع گردید و پارامترهای جدیدی که در مطالعات قبلی از نظرها دور مانده بود به روش‌های موجود پتانسیل یابی اضافه شد.

[1] Weighted overlay

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

مراحل پی جویی آب زیرزمینی در این پژوهش، شامل ورود اطلاعات و رقومی‌سازی نقشه‌ها، پردازش تصاویر ماهواره‌ای، آنالیز اطلاعات در پایگاه داده‌ها و سیستم اطلاعات جغرافیایی و استخراج لایه‌های اطلاعاتی در محیط *GIS* می‌باشد. در این مرحله با استفاده از نرم افزارهای مختلف تجزیه و تحلیل داده‌ها صورت گرفت و در پایان هر یک از عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی وجود منابع آب زیرزمینی، یک لایه اطلاعاتی تهیه گردید و با توجه به تعیین امتیاز در روش *AHP* به هریک از واحدهای موجود در لایه‌های اطلاعاتی وزن داده شد. پس از رستری نمودن آن‌ها و وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، می‌توان نقشه پتانسیل وجود منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را استخراج نمود.

در بخش سنجش از دور، تصاویر ماهواره لندست ۸ (با نوع سنجنده OLI- TIRS، تعداد ۱۱ باند و تاریخ تصویر برداری 19-07-2013) در محیط نرم افزار ENVI[1] 4.8 مورد پردازش و تفسیر قرار گرفت و تصاویر نقشه رستری شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال [۲] (*NDVI*) و نقشه رستری شاخص رطوبت اختلاف نرمال [۳] (*NDMI*) تهیه گردید و برای سایر مراحل به محیط نرم افزار *GIS* فراخوانی گردیدند. تصاویر ماهواره‌ای دارای ساختار رستری می‌باشند، به همین دلیل ارتباط نزدیکی با *GIS* پیدا نموده‌اند.

در این پژوهش معیارهای مهم تأثیرگذار بر پتانسیل وجود منابع آب زیرزمینی شامل ۹ معیار لیتولوژی، تراکم شکستگی‌ها، ارتفاع با فاکتور بارش، ارتفاع با فاکتور حوضه آبگیر، اختلاف شاخص نرمال رطوبت، شیب، تراکم آبراهه، جهت شیب و اختلاف شاخص نرمال پوشش گیاهی معرفی شده است. در ادامه روش تهیه این لایه‌ها به طور مختصر بیان گردیده است.

لیتولوژی: هر یک از واحدهای لیتولوژی منطقه با توجه به اهمیتشان از نظر نفوذپذیری و مقایسه آن‌ها با خواص هیدرولیکی سایر سنگ‌های ولکانیک دنیا بر مبنای سینگال و گوپتا (۲۰۱۰) طبقه‌بندی گردیدند و وزنی از ۱ تا ۱۶ اختصاص داده شد به طوری که سازندهای سخت نفوذپذیر و نامقاوم مثل کنگلومرای پلی میکتی با سخت-شدگی و جورشدگی ضعیف واحد (Ng2c) به دلیل تخلخل دوگانه‌ای که دارد، بیشترین وزن و رسوبات و مواد آبرفتی عهد حاضر که جز سازند سخت نمی‌باشند، کم-ترین وزن را به خود اختصاص دادند. برای سایر واحدها بر اساس نفوذپذیری وزنی بین ۱ تا ۱۶ انتخاب گردید و لایه رستری لیتولوژی تهیه شد (شکل ۳-الف).

تراکم شکستگی: به عنوان پارامتر مثبتی جهت پتانسیل منابع آب سازند سخت در نظر گرفته می‌شود. این لایه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۹۰ متری و ۱۰ متری، تصاویر لندست ۸ و تصاویرGoogle earth با روش بصری استخراج گردید و با شکستگی‌های موجود در نقشه‌های زمین شناسی (متعلق به سازمان زمین شناسی) مقایسه و در مواردی ترکیب گردید. در نهایت با استفاده از تابع چگالی خطی[4]، نقشه تراکم شکستگی حوضه آبریز صائین تهیه گردید (شکل ۳-ب).

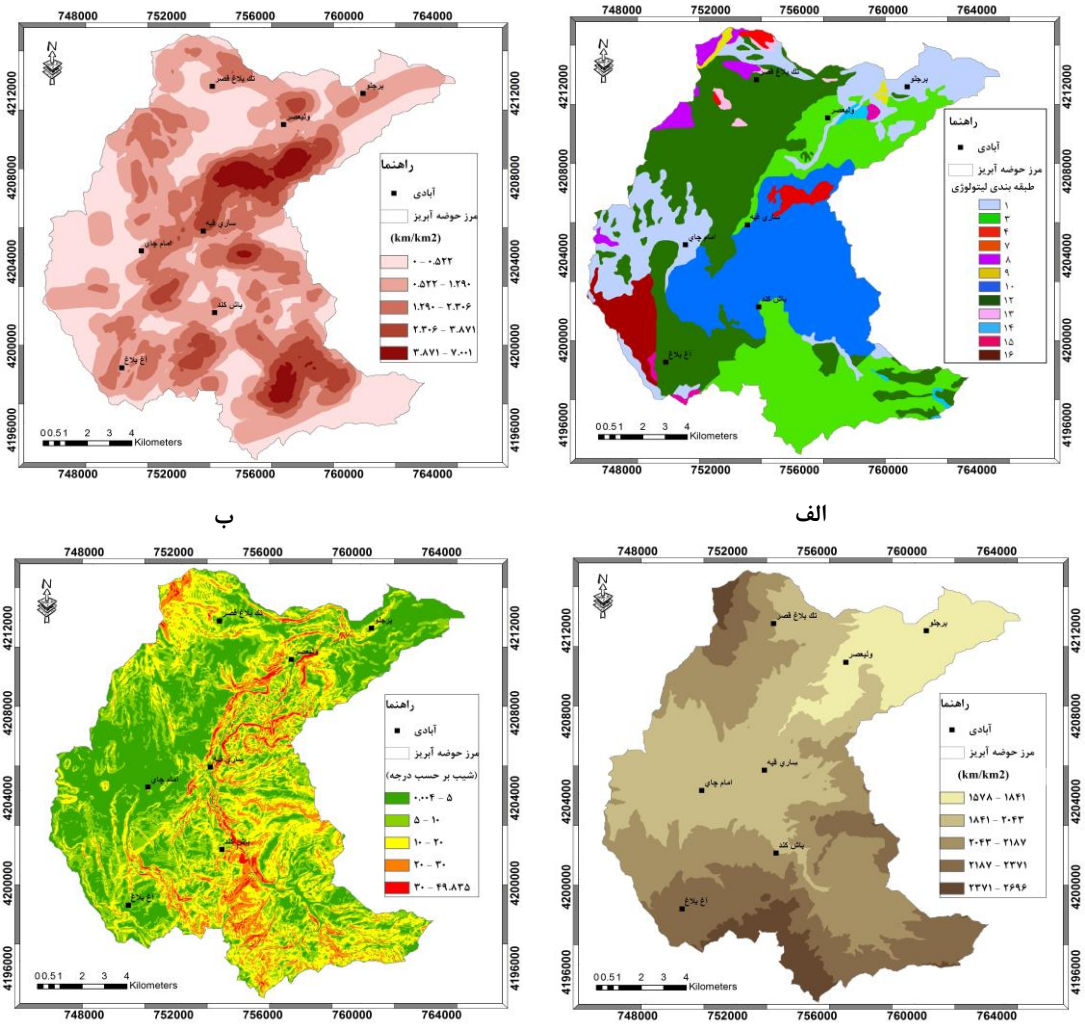
مدل رقومی ارتفاع[5] (*DEM*): در این تحقیق از دو تاثیر متضاد ارتفاع بر منابع آب زیرزمینی استفاده شده است: از یک طرف با افزایش ارتفاع میزان بارش افزایش می‌یابد به طوریکه می‌توان رابطه مستقیمی بین ارتفاع با بارش فرض کرد که از نظر تغذیه آب زیرزمینی قابل توجه خواهد بود. ولی از طرف دیگر هر چقدر ارتفاع افزایش یابد، مساحت حوضه آبگیر آبخوان کاهش خواهد یافت. یعنی با افزایش ارتفاع مساحتی از زمین که بارش را دریافت می‌کند، کاهش خواهد یافت. بنابراین ابتدا یک لایه رستری توپوگرافی تهیه گردید تا در ادامه از آن در بحث و نتیجه گیری استفاده گردد (شکل ۳-ج).

[1] The Environment for Visualizing Image
[2] Normalized Difference Vegetation Index
[3] Normalized Difference Moisture Index
[4] Line Density Function
[5] Digital Elevation Model

www.SID.ir

Archive of SID

شیب: سرعت رواناب سطحی در نواحی با شیب ملایم بسیار کم بوده و در نتیجه تغذیه آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد. به همین دلیل موقع امتیاز دهی، بیشترین امتیاز به طبقه‌ای که کمترین محدوده شیب را دارد، داده شده است. لایه رستری شیب با استفاده از نقشه (DEM) تهیه گردید. شیب حوضه صائین از ۰ تا ۴۹/۸ درجه متغیر است به طوری که در خروجی حوزه واقع در شمال شرقی نقشه و نواحی غربی حوضه کمترین شیب را دارا می‌باشند (شکل ۳-د).



شکل ۳- نقشه رستری الف: لیتولوژی، ب: تراکم شکستگی، ج: تغییرات ارتفاعی، د: شیب.

جهت شیب: این فاکتور از نظر تاثیر آن در برخی از فرآیندهای هیدرولوژیک مانند ذوب برف ها و تنوع پوشش گیاهی در تشکیل منابع آب زیرزمینی نقش دارند. بنابراین به عنوان یک عامل جدید موثر بر تغذیه آبخوان-های سازند سخت در نظر گرفته شد. در منطقه مورد مطالعه دامنه‌های غرب و شمال غرب به دلیل قرار گرفتن در جهت توده‌های بارانزا و دریافت بارش بیشتر و تبخیر کمتر امتیاز بیشتر و دامنه‌های جنوبی و شرقی به دلیل عکس این قضیه، امتیاز کمتری به خود اختصاص می‌دهند. برای تهیه این لایه، از مدل رقومی ارتفاعی (*DEM*) منطقه استفاده شد و با اعمال الگوریتم Aspect در

www.SID.ir

Archive of SID

محیط نرم افزار *GIS*، لایه رستری آن تهیه گردید (شکل٤- الف).

شاخص رطوبت اختلاف نرمال (*ND*MI): این شاخص شامل ارزیابی محتوی رطوبت عناصری نظیر خاک، سنگ و گیاهان (شاخص بسیار مناسب جهت تعیین خشکی) می‌باشد و بین بازه ی ۰/۱ تا ۱- متغیر پائین (نزدیک به ۱-) نشان دهنده سطح رطوبت است به طوری که مقادیر بالاتر از ۰/۱ سطح رطوبت پائین است. برای تهیه این لایه با استفاده از محیط نرم بالا را نشان می‌دهد و مقادیر افزار ENVI 4.8 بعد از تصحیحات هندسی و رادیومتریک تصاویر لندست ۸ اقدام به بارزسازی تصاویر گردید. در این راستا از رابطه ۱ استفاده برای *RED* از باند ٤ تصاویر لندست ۸ استفاده می‌گردید که جهت $SWIR^1$ باند ٦ و *برای* $SWIR^2$ باند ۷ گردد. مقادیر عددی پیکسل‌های بین ۱- تا ۱ متغیر تصاویر لندست ۸ انتخاب می‌گردد. لایه رستری به خواهد بود. به طوری که مقدار صفر و کمتر از آن دست آمده از این شاخص در حوضه آبریز صائین برای مناطق غیر گیاهی و بیشتر از صفر جهت پوشش دارای مقادیر بین ۰/۰٤۳- تا ۰/۷٤٥ می‌باشد (شکل ٤- گیاهی است (شکل٤-ج).

ب).

رابطه [1] NDMI= (SWIR2-SWIR1)/(SWIR2+SWIR1)

شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال (*NDVI*): وجود پوشش گیاهی در هر منطقه سرعت جریان سطحی را کاهش داده و در مواقع بارندگی باعث کاهش رواناب و سبب نفوذ بیشتر آب به داخل زمین می‌شود، به همین منظور کسب اطلاعات از وضعیت پوشش گیاهی از قبیل میزان و پراکنش آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه این شاخص با استفاده از رابطه ۲ در محیط نرم افزار4.8 *ENVI* استخراج گردید.

رابطه[۲] NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)

مقادیر شاخص پوشش گیاهی بر اساس جذب اشعه توسط کلروفیل منطقه طیفی قرمز(RED) و بازتاب آن در طیف مادون قرمز نزدیک [۲](NIR) متفاوت است .در این روش جهت *NIR* از باند ٥ و

تراکم آبراهه[۳]: چگالی پائین آبراهه مشخصه نواحی با مقاومت فرسایشی بالا یا نفوذپذیری بالا و توپوگرافی پست است. جهت تهیه لایه رستری چگالی آبراهه‌های این حوضه ابتدا لایه وکتوری با استفاده از آبراهه‌های موجود در نقشه‌های توپوگرافی۱:۲٥۰۰۰ متعلق به سازمان جغرافیایی ارتش تهیه شد و رده‌های موجود آن به روش کارشناسی شامل ٦ رده تعیین گردید. سپس با استفاده از تابع Line Density در محیط ARC GIS لایه رستری چگالی آبراهه تهیه گردید(شکل ٤-د). طبقاتی که دارای تراکم بیشتری هستند، بخاطر نفوذپذیری پایینی که دارند، کمترین امتیاز و به همین ترتیب به سمت تراکم کمتر، امتیاز بیشتری در پتانسیل آب زیرزمینی خواهد داشت.

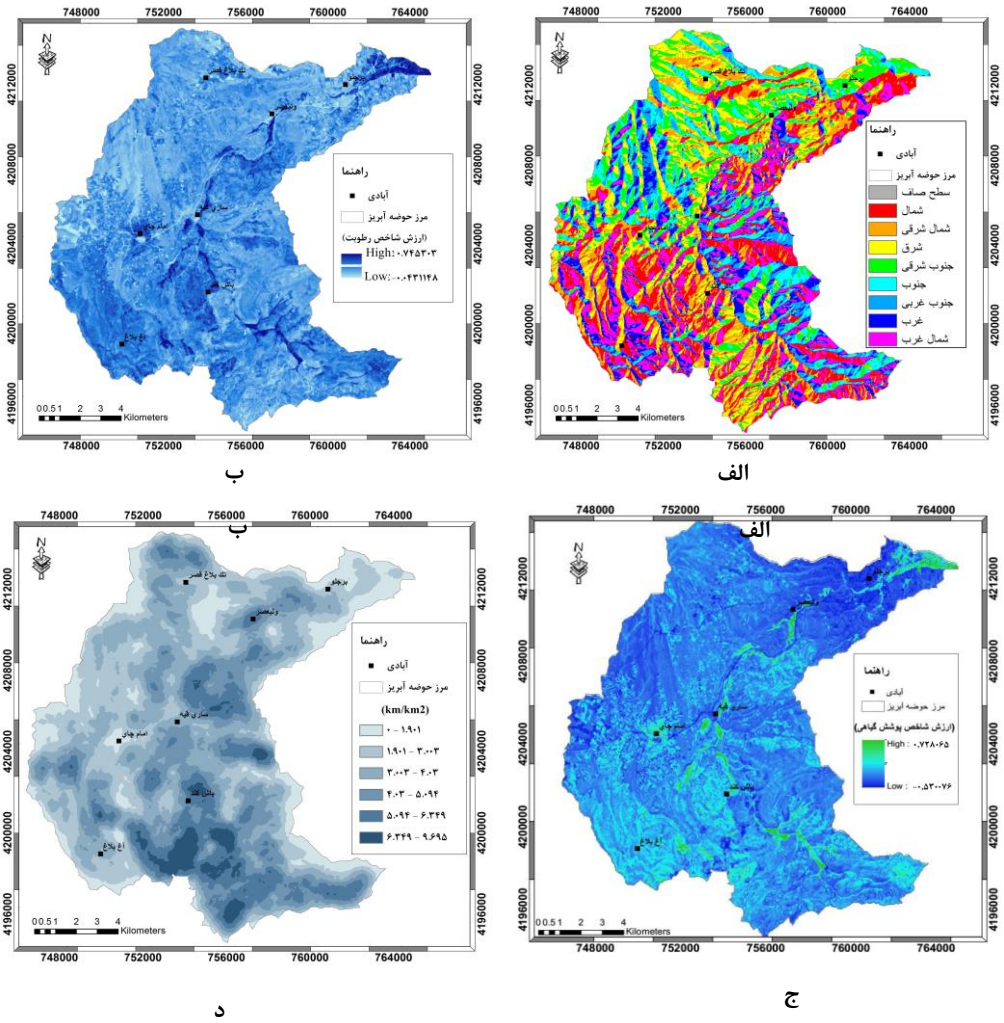
نتایج و بحث

بعد از تهیه لایه‌های رستری این معیارها طی فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP) در محیط نرم افزار IDRISI 17 از طریق ماتریس مقایسه‌ای زوجی به عنوان ورودی در نظر گرفته شدند و وزن‌های نسبی به عنوان خروجی تولید گردید. در این روش برای درجه بندی اولویت‌های نسبی در رابطه با دو به دوی معیارها با توجه به درجه اهمیت هر پارامتر نسبت به یکدیگر و شناخت منطقه و دانش کارشناسی از یک مقیاس پایه‌ای که مقادیر آن از ۱ تا ۹ متغیر است، استفاده گردید.

[1] Shortwave Infra-Red
[2] Near Infra-Red
[3] Drainage density

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۴- نقشه رستری الف: جهت شیب، ب: NDMI، ج:NDVI، د: تراکم آبراهه.

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌گردد (سبحانی و آذرم، ۲۰۱۵). یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی امکان بررسی نرخ سازگاری است که آیا مقایسه‌های انجام شده دارای سازگاری هستند یا نه؟ این مهم در محیط نرم افزار IDRISI انجام می‌گیرد. نرخ سازگاری به گونه‌ای تعیین می‌گردد که اگر نرخ سازگاری از ۰/۱ کمتر باشد در آن صورت این نسبت دلالت بر سطح قابل قبول سازگاری در مقایسه های دو به دو دارد با وجود این اگر مقدار آن برابر یا بیشتر از ۰/۱ باشد ارزش‌های نسبت بیانگر قضاوت‌های ناسازگار بوده که باید در چنین حالتی ارزش‌های ماتریس مقایسه‌ای دو به دو را مورد بازبینی و تجدید نظر قرار داد (پرهیزکار وغفاری گیلانده،۲۰۱۱). نرخ سازگاری در این ماتریس ۰/۰۲ برآورد گردیده است. در این تحقیق برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و ارائه‌ی مدل مناسب از روش میانگین‌گیری وزنی درجه‌ای (*OWA*) و مدل هم‌پوشانی وزن دار شده[1] استفاده گردید.

روش میانگین‌گیری وزنی درجه ای (*OWA*) : در این روش علاوه بر استفاده از وزن‌های نسبی بدست

[1] Weighted Overlay

www.SID.ir

Archive of SID

آمده از مقایسات دوتایی (وزن‌های معیار) از وزن‌های دیگری به نام وزن‌های درجه‌ای یا ترتیبی استفاده می‌گردد. مدل آنالیز وزنی درجه‌ای به صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$OWA = \sum_j^n V_j Z_{ij}$$ رابطه [۳]

که در آن V_j وزن استاندارد شده که $\sum V_j=1$ وزن‌ها اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارند. Z_{ij} بیانگر ارزش گزینه i ام در ارتباط با صفت j ام است. گزینه‌هایی که مربوط به بالاترین ارزش از *OWA* هستند، اولویت‌دارترین گزینه‌ها به حساب می‌آیند(بوروشاکی و همکاران ۲۰۱۰).

قبل از اعمال عملگر *OWA* به منظور استانداردسازی، تمام معیارها (لایه‌های رستری) فازی می‌شوند. در منطق فازی هر لایه در مقیاسی بین صفر و یک درجه‌بندی می‌شود. در سیستم‌های کامپیوتری می‌توان بجای محدوده صفر و یک، از محدوده ۰ تا ۲۵۵ استفاده کرد. در این بازه‌ها اعداد بزرگتر مطلوبیت بیشتری دارند، یعنی عدد ۲۵۵ از بالاترین مطلوبیت و عدد صفر فاقد مطلوبیت می‌باشد و طیفی از مقادیر بین این دو عدد قرار می‌گیرند که هر چه به ۲۵۵ نزدیکتر می‌شود، مطلوبیت افزایش می‌یابد (اشکال۵ و ٦).

در محیط نرم افزار *IDRISI* از هر دو تاثیر ذکر شده ارتفاع استفاده گردید به این ترتیب که برای ارتفاع با فاکتور بارش تابع سیگموئیدال افزایشی و برای ارتفاع با فاکتور حوضه آبگیر تابع سیگموئیدال کاهشی اعمال گردید(اشکال۵-ج و ۵-د). لایه رستری تراکم شکستگی با تابع عضویت سیگموئیدال از نوع افزایشی فازی گردید. به طوری که طبقاتی که دارای تراکم بیشتری هستند، بیشترین ارزش و به همین ترتیب به سمت تراکم کمتر، ارزش کمتری تعلق گرفته است (شکل۵-ب). همچنین در لایه رستری تراکم آبراهه طبقاتی که دارای تراکم بیشتری هستند، بخاطر نفوذپذیری پایینی که.دارند، کمترین امتیاز و به همین ترتیب به سمت تراکم کمتر، امتیاز بیشتری داده شده است(شکل٦-ه).

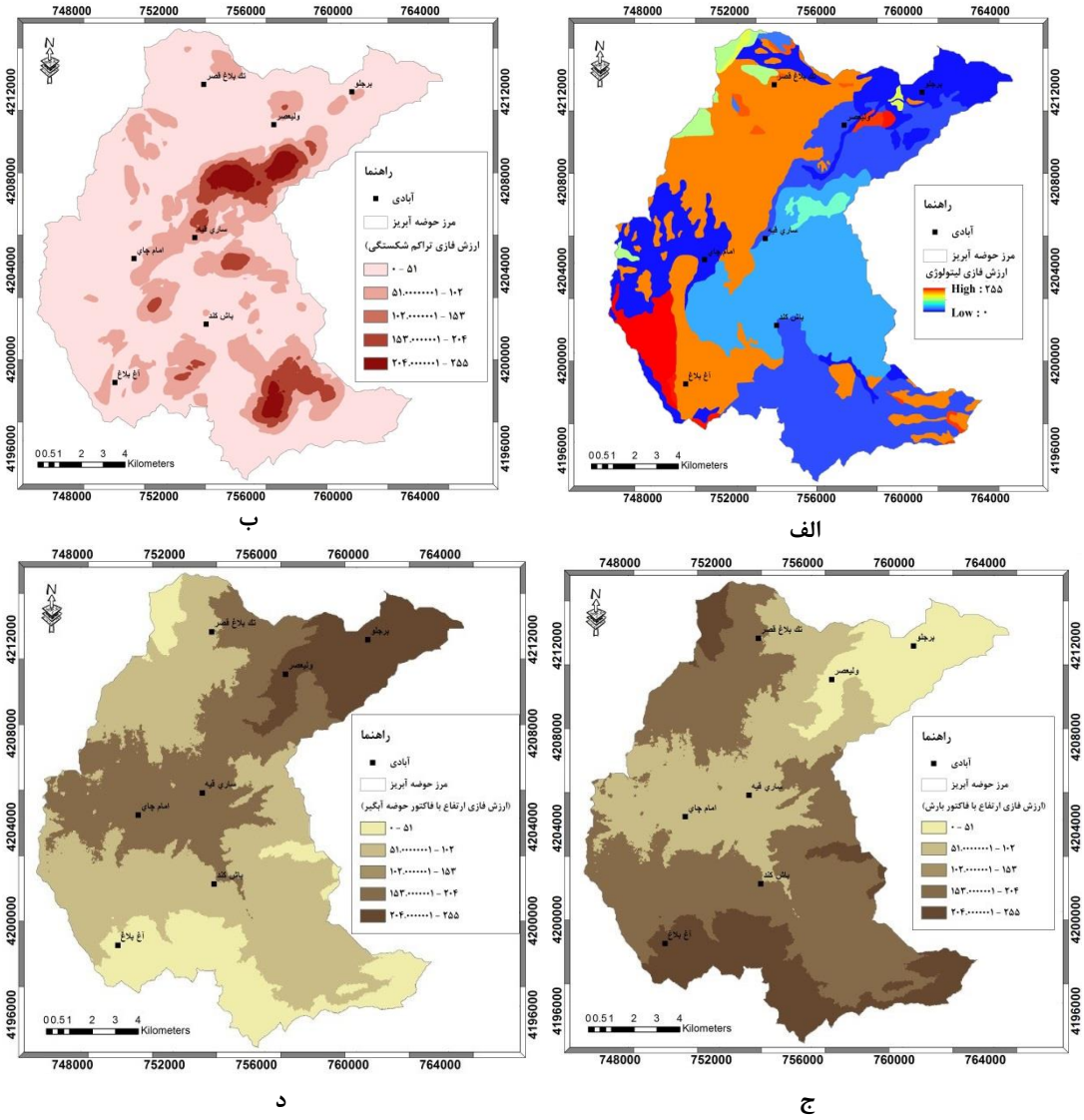
نقشه رستری حاصل از این روش(*OWA*) به محیط نرم افزار ARC GIS فراخوانی گردید و با غیر فازی و طبقه‌بندی کردن به ۵ منطقه با پتانسیل بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم گردید که مساحتی به ترتیب برابر با ٦۲/۹، ٤٦/۲، ۵۹/۹، ۲۰/٦ و ۱۳ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرند (شکل ۷-الف). نواحی مرکزی، جنوب شرقی، غربی ، شرقی و قسمت‌هایی از جنوب غربی حوضه دارای بیشترین پتانسیل می‌باشد (در حدود ۱٦/٦ درصد از مساحت کل حوزه) که عمدتاً در واحدهای الیوین بازالتی و آندزیت‌های پیروکسن‌دار کواترنری (Qv)، واحدهای تراکیتی میوسن (Mtr) و سپس در واحدهای تراکی آندزیت‌های پلیوکواترنری (Qplta)، تراکی آندزیت با بافت پورفیری درشت بلور متعلق به میوسن (Mpr) و کنگلومرای نئوژن (Ng2c) می‌باشند.

به منظور صحت سنجی روش استفاده شده از یک روش دیگر تلفیق لایه‌های اطلاعاتی یعنی روش هم پوشانی وزنی استفاده گردید. در این نوع همپوشانی نیز لایه‌های رستری می توانند بیش از دو لایه باشند و بر حسب اهمیت و نحوه چگونگی شرکت در تحلیل، وزنی را به خود اختصاص می‌دهند. در این روش علاوه بر تأثیری که هر یک از لایه‌های رستری در هم‌پوشانی خواهند داشت به هریک از لایه‌های رستری برحسب تأثیری که در پتانسیل‌یابی منابع آب دارند، وزنی بین ۱ تا ۹ تخصیص داده شد.

منطقه با پتانسیل بسیار کم تا بسیار زیاد تقسیم‌بندی گردید (شکل ۷-ب).

www.SID.ir

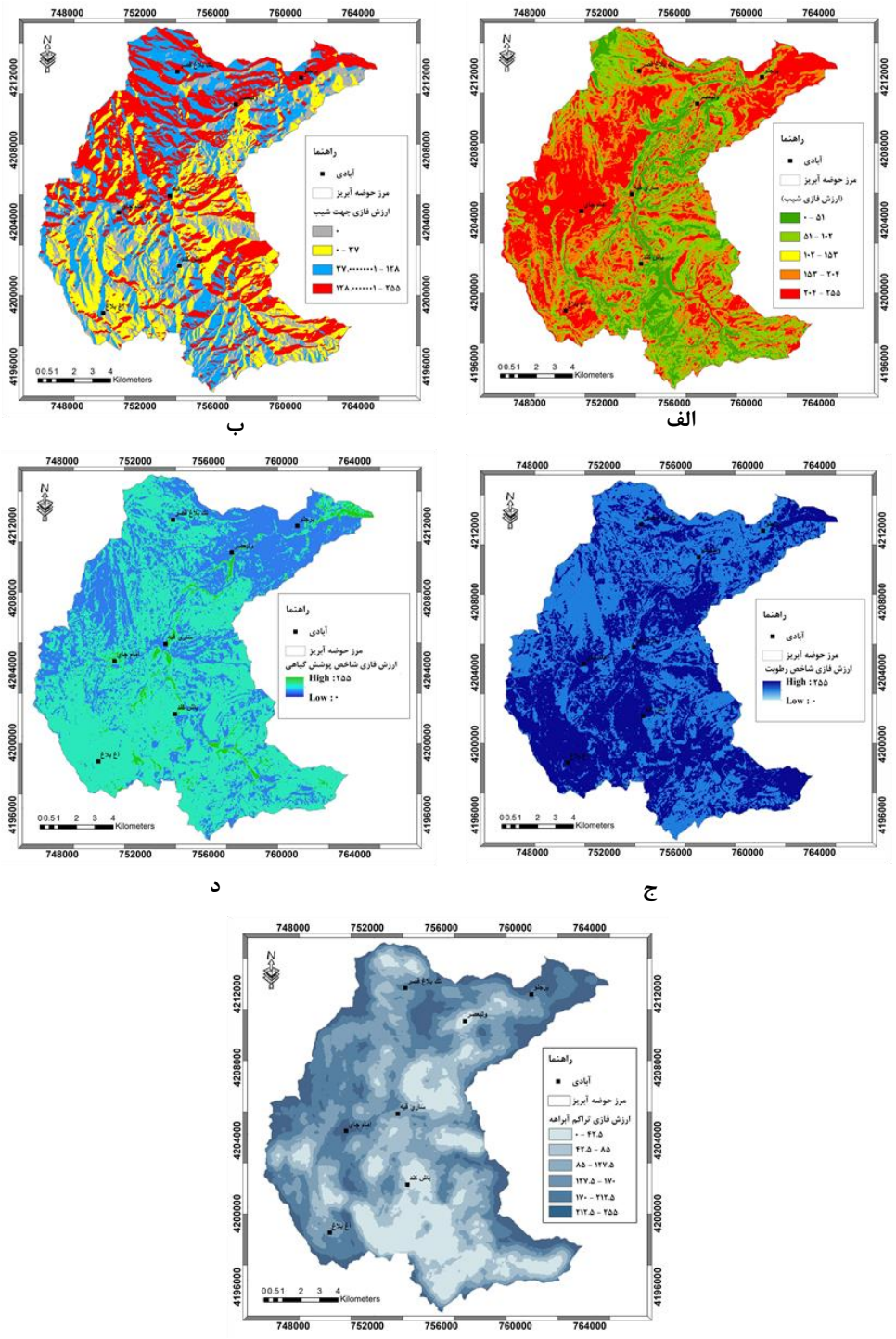
Archive of SID



شکل ۵- نقشه فازی شده الف: لیتولوژی، ب: تراکم شکستگی، ج: تغییرات ارتفاع با فاکتور بارش، د: تغییرات ارتفاع با فاکتور حوضه آبگیر.

www.SID.ir

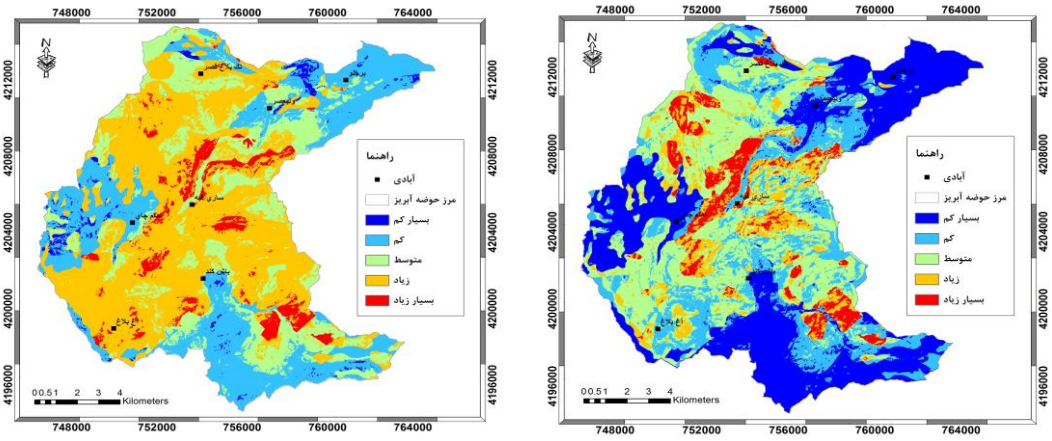
Archive of SID



شکل ۶- نقشه فازی شده الف: شیب، ب: جهت شیب، ج: NDMI، د: NDVI، هـ: تراکم آبراهه.

www.SID.ir

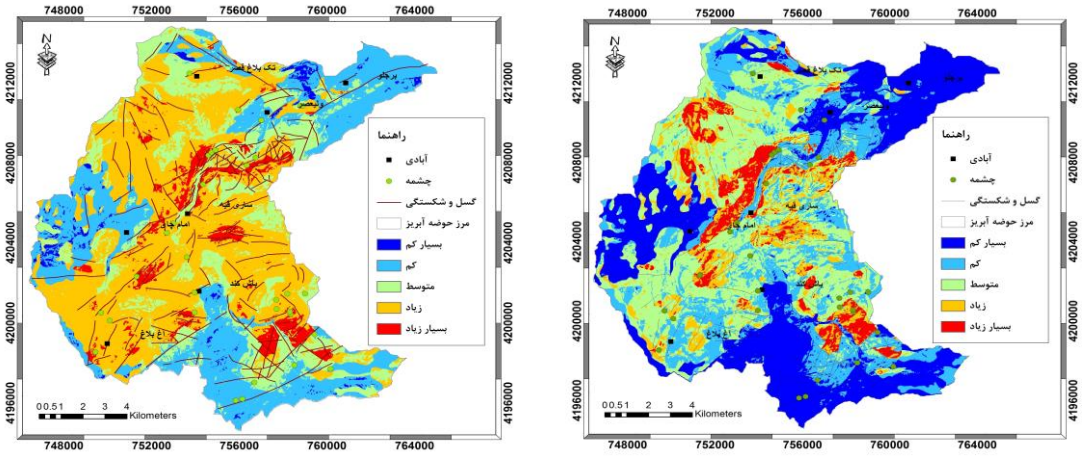
Archive of SID



ب الف

شکل۷- نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حوضه آبریز صائین به روش الف: OWA، ب: Weighted overlay.

نقشه‌های حاصل از دو روش تلفیق فوق با استفاده از موقعیت ۵۱ دهنه چشمه موجود در حوضه آبریز صائین صحت سنجی گردیدند زیرا تراکم چشمه‌ها بازتابی از وجود آبخوان سازند سخت در منطقه است (شکل ۸- الف و۸- ب). موقعیت این چشمه‌ها با مطالعات میدانی (۱۵ دهنه چشمه)، اطلاعات موجود در سازمان آب منطقه ای اردبیل (۸ دهنه چشمه) و چشمه های موجود در نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ متعلق به سازمان جغرافیایی ارتش (۲۸ دهنه چشمه) استخراج گردیده است. بررسی ارتباط بین تعداد چشمه‌ها و مناطق با پتانسیل منابع آبی مختلف حاصل از روش‌های *OWA* و *Weighted overlay* نشان می‌دهد که در هر دو مدل بیش از ۶۰ درصد چشمه‌ها در منطقه با پتانسیل زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته‌اند (جدول ۱). همچنین نتایج صحت سنجی نشان داد که نقشه پتانسیل‌یابی به روش *OWA* انطباق بیشتری با موقعیت چشمه‌ها داشته و با واقعیات منطقه همخوانی بیشتری نشان می‌دهد.



ب الف

شکل ۸- نقشه صحت سنجی پتانسیل منابع آب زیرزمینی حوضه صائین به روش الف:OWA، ب:Weighted overlay.

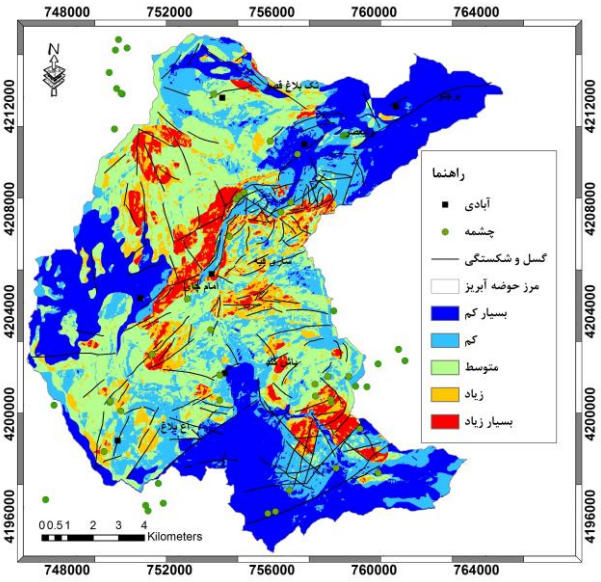
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- ارتباط بین شاخص‌های مدل‌های OWA و Weighed overlay با چشمه‌ها برای حوضه صائین.

روش Weighted overlay			روش OWA		
پتانسیل منابع آب زیرزمینی	تعداد چشمه (No)	درصد چشمه (%)	پتانسیل منابع آب زیرزمینی	تعداد چشمه (No)	درصد چشمه (%)
بسیار کم	12	23.53	بسیار کم	0	0
کم	10	19.6	کم	12	23.53
متوسط	17	33.33	متوسط	7	13.72
زیاد	9	17.65	زیاد	25	49.03
بسیار زیاد	3	5.89	بسیار زیاد	7	13.72

نکته مهم دیگر که از نقشه پتانسیل‌یابی قابل استنباط است احتمال انتقال آب بین حوضه‌ای است. بدین ترتیب که پیاده نمودن چشمه‌های خارج حوضه بر روی نقشه پتانسیل‌یابی نشان داد که این چشمه‌ها عمدتاً در ترازهای فوقانی قرار دارند و نمی‌توانند از حوضه آبگیر کوچک خودشان تغذیه شده باشند و احتمالا بخشی از حوضه آبگیر آن‌ها در داخل حوضه صائین قراردارد. به عنوان مثال چشمه مجیدآباد با دبی ۸۰ لیتر در ثانیه در کنار مرز شرقی حوضه آبریز صائین ولی خارج از آن قرار گرفته است و مجاور آن، در داخل حوضه صائین منطقه‌ای است که هم در ارتفاع بیشتری قرار دارد (تأمین کننده بار هیدرولیکی لازم) و هم بر اساس نقشه پتانسیل‌یابی دارای پتانسیل بالایی از آب زیرزمینی است. بنابراین به احتمال زیاد بخشی از آب این چشمه از داخل حوضه آبریز تامین می‌گردد و به همین دلیل انتقال آب زیرزمینی به خارج از حوضه بسیار محتمل است. تراکم شکستگی‌ها و گسل‌های اصلی در این منطقه و امتداد این شکستگی‌ها که به طرف خارج از حوضه است، این فرضیه را تقویت می‌کند. نمونه دیگر از این پدیده را در شمال حوضه می‌توان مشاهده نمود. در شمال روستای امام چای و در خارج حوضه چشمه‌های متعددی درست در حاشیه حوضه قرار گرفته‌اند که در مجاورت بخشی از حوضه صائین هستند که پتانسیل بالای آب زیرزمینی دارد. امتداد گسل‌های منطقه که هم راستا با امتداد چشمه‌هاست، می‌تواند دلیل دیگری بر این ادعا باشد. هر چند مطالعات تکمیلی نظیر نمونه‌برداری از چشمه‌های خارج حوضه و مقایسه هیدروشیمی آن‌ها می‌تواند به اثبات این فرضیه کمک کند (شکل ۹).



شکل ۹- نقشه صحت سنجی پتانسیل منابع آب با چشمه‌های داخل و خارج از حوضه صائین.

نتیجه گیری کلی

منطقه مورد پی جویی یک منطقه به شدت تکتونیزه است و در نتیجه تأثیر شکستگی‌ها، گرادیان ارتفاعی شدید منطقه، جنس سازندها و تأثیر فشار هیدرواستاتیکی ناشی از آب زیرزمینی زمین لغزش‌های متعددی در منطقه ایجاد شده است. به طوری که در پاشنه بسیاری از

www.SID.ir

Archive of SID

این زمین لغزش‌ها می‌توان چشمه و سطوح تراوش را مشاهده کرد. تغذیه در ارتفاعات منطقه که بارندگی سالانه ٤٠٤ میلی متر را دریافت می‌کند مقدار قابل توجهی بوده به خصوص اینکه مقدار قابل توجهی از نزولات جوی منطقه به صورت برف می‌باشد که باعث افزایش میزان نفوذ و تغذیه آب زیرزمینی آبخوان سازند سخت منطقه شده است. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حوضه که با به کارگیری ۹ پارامتر مؤثر بر ایجاد آبخوان‌های سازند سخت صورت گرفت نشان داد که ١٦/٦ درصد از مساحت حوضه دارای بیشترین پتانسیل برای تشکیل آب زیرزمینی بوده و عمدتاً شامل واحدهای الیوین بازالتی و آندزیت‌های پیروکسن‌دار و واحدهای تراکیتی می‌باشد. با توجه به اطلاعات بدست آمده از مطالعات میدانی و انتقال موقعیت چشمه‌ها روی نقشه پهنه‌بندی، مشخص گردید که روش *OWA* نتایج قابل قبولی را در پتانسیل‌یابی منابع آب سازند سخت ارائه می‌کند. نقشه پتانسیل منابع آبی به دست آمده، موقعیت چشمه‌های خارج از منطقه در شمال غربی و جنوب غربی و شرق این حوضه، موقعیت و روند گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌توانند ادعای خروج آب زیرزمینی این حوضه را به حوضه‌های مجاور تأیید نماید. به منظور بهره برداری از منابع آب سازند سخت منطقه نیاز به مطالعات تکمیلی ژئوفیزیک جهت تدقیق محل حفاری خواهد بود.

منابع مورد استفاده

Boroushaki S., Malczewski J, 2010. Using the fuzzy majority approach for GIS- based multicriteria group decision- making. Journal of Comput Geosci 36:302-312.

Fathi A, 2012. Mapping of groundwater prospective zone using remote sensing and gis tecniques: A case study frome the Central Eastern Desert. African Earth Sciences 70: 8-17.

Mahgholi A, Chitsazan m, Mirzaei E, 2011. Groundwater potential by gis and remote sensing (Case study: North of Hosseineih). Geomathic Conference. 15-19 Aug, Tehran, Iran.

Mohammadzadeh T, Vaezihir A, Jafari Azimabadi H, 2014 .Investigation of hydrogeochemistry of groundwater in hard rocks of (Ardabil province).18th Iranian Conference of Iraninan Geology Socity.Tarbiat Modarres University.

Noname, 2016. Comperhensive study of water resources of Ardabil province, Ardabil Regional Water Company.

Parhizkar A, Gaffari Gilandeh A, 2011. Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. SAMT Pub.Tehran.

Prasad RK, Mondal NC, Pallavi B, Nandakumar MV, 2008. Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. Journal of Springer 55(3): 467-475.

Saberi A, Ranghzan K, Mahjori R, Keshavarzi M, 2012. Groundwater potential by integration remote sensing and gis with Analytiacal hierarchy process(AHP) at Kamestan anticline of Khuzestan province. Journal of Advance Applied Geology 6(1):11-20.

Shamsi -Khosroshahi S, 2014. Applied GIS in assessment of groundwater (Case study: Ghale Chay basin) . Master thesis, Department of Geography and Planning, Tabriz university.

Singhal BBS and Gupta RP, 2010. Applied Hydrogeology of fractured Rocks. Kluwer Academic Publishers (now Springer).

Sobhani B, Azarm K, 2015. Assessing Ability of Land for Planting Canola in West Azerbaijan Province Using Multi-Criteria Decision-Making Approaches. Journal of Water and Soil Science University of Tabriz 26(2/2):27-41

Zarvash N, Vaezihir A, Karimi, H, 2014. Evaluation the potential of karst development in the Kabir-kouh anticline in Ilam province. Journal of Quantitative geomorphological reseaches 3(3): 57-14.

www.SID.ir