

مقاله پژوهشی

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

در شرایط بحرانی

طاهره محمدزاده^۱، عبدالرضا واعظی هیر^{۲*}، رسول سیفی اینانلو^۳، بابک خیاط رستمی^۴

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۳۰

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲- دانشیار، دکترای هیدروژئولوژی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳- کارشناس ارشد زمین شناسی - تکتونیک، شرکت آب منطقه ای اردبیل

۴- 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 ۶۰ 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 کاملاً 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 البوین 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

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 Mohammadzadeh¹, A Vaezihir^{2*}, R Seifi Inanlou³, B Khayat Rostami⁴

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

¹M.Sc. Grad., Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran

²Assoc. Prof., Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Iran

³Geologist, Ardabil Regional Water Management Company, Iran

⁴Civil 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 overlaid 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

کم هزینه‌ترین روش‌ها برای پی جویی منابع آب زیرزمینی، استفاده از توانایی‌های سنجش از دور^۱ (RS) برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) به عنوان ابزاری توانمند در ذخیره، تجزیه و تحلیل، بازیابی و نمایش اطلاعات می

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

¹ Remote Sensing

² Geographic Information System

(۲۰۱۴) برای پتانسیل‌یابی منابع آب حوضه آبریز قلعه-چای لایه‌های لیتولوژی، تراکم شکستگی‌ها، فرسایش-پذیری، 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 پتانسیل‌یابی 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 لایه‌های 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 پتانسیل‌یابی 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 پتانسیل‌یابی اضافه گردیده است.

حوضه آبریز صائین با وسعت ۲۰۲/۶ کیلومترمربع، در مرز استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی واقع شده که بخشی از حوضه آبریز رودخانه بالیخوچای می‌باشد (شکل ۱) که خود از سرشاخه‌های رودخانه قره‌سو بوده و به رودخانه ارس منتهی می‌شود. اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژ سرد و مرطوب است و میانگین بارش سالانه آن حدود ۴۰۴ میلی‌متر می‌باشد. بیشینه، کمینه و متوسط ارتفاع حوزه به ترتیب ۲۶۹۶، ۱۵۷۸، و ۲۰۶۳/۶ متر از سطح دریاست.

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 ۴ گروه خیلی خوب، خوب، متوسط و کم تقسیم‌بندی شده بود.

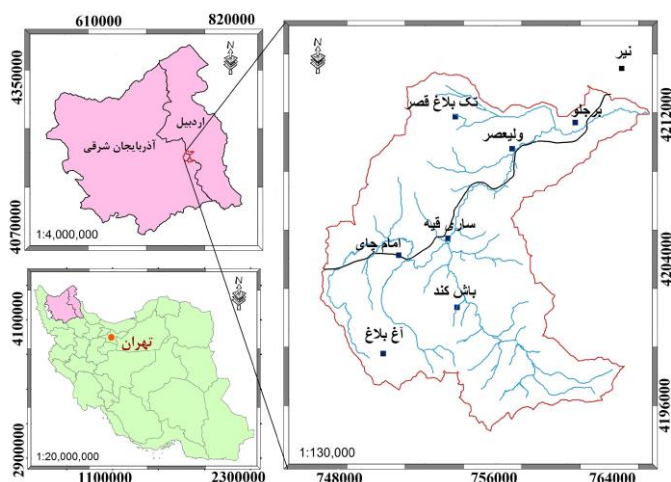
پراساد و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از روش تلفیقی *GIS* و *RS* پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در سازندهای سخت ناحیه نالگوندا (Nalgonda) در هند لایه-های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، شیب، تراکم آبراهه و خطواره‌ها را با استفاده از داده‌های *RS* در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و اطلاعات توپوگرافی تهیه کردند و از داده‌های ۴۳۸ حلقه 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*) بررسی کردند. آن‌ها لایه‌های مؤثر را زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، شکستگی‌ها، خاک‌شناسی، 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 پتانسیل بالا در سازند آسماری و ایلام - سروک منطقه معرفی گردید. زروش و همکاران (۲۰۱۴) 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 چشمه‌های پرآب منطقه تطابق خوبی را نشان می‌داد. شمسی

² Order Weight Average

³ Fuzzy- Analytic Hierarchy Process

⁴ Weighted Linear Combination

¹ Analytic Hierarchy Process



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

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 صرفاً 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^۱ 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.

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

در حال حاضر سد یامچی تامین کننده بیش از ۶۰ 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 ۵۰ متر در این سد در حال اجرا می‌باشد. آبخوان دشت اردبیل نیز که ۴۰ درصد باقیمانده آب شرب شهر اردبیل از آن تامین می‌شود در وضعیت دشت ممنوعه بوده و بیش از ۶۳۲ میلیون مترمکعب بیابان 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 می‌باشد (بی نام، ۲۰۱۶).

به دلیل بارش سالانه مناسب، گسترش سازندهای سخت با کیفیت آب مناسب (محمدزاده و همکاران، ۲۰۱۴) و نیز نزدیکی به خط انتقال آب شرب اردبیل از سد

¹ Weighted overlay

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 2013-07-19) در محیط نرم افزار ENVI¹ 4.8 مورد پردازش و تفسیر قرار گرفت و تصاویر نقشه رستری شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال² (NDVI) و نقشه رستری شاخص رطوبت اختلاف نرمال³ (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 آبرگیر، 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 سخت‌شدگی 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، کم‌ترین 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).

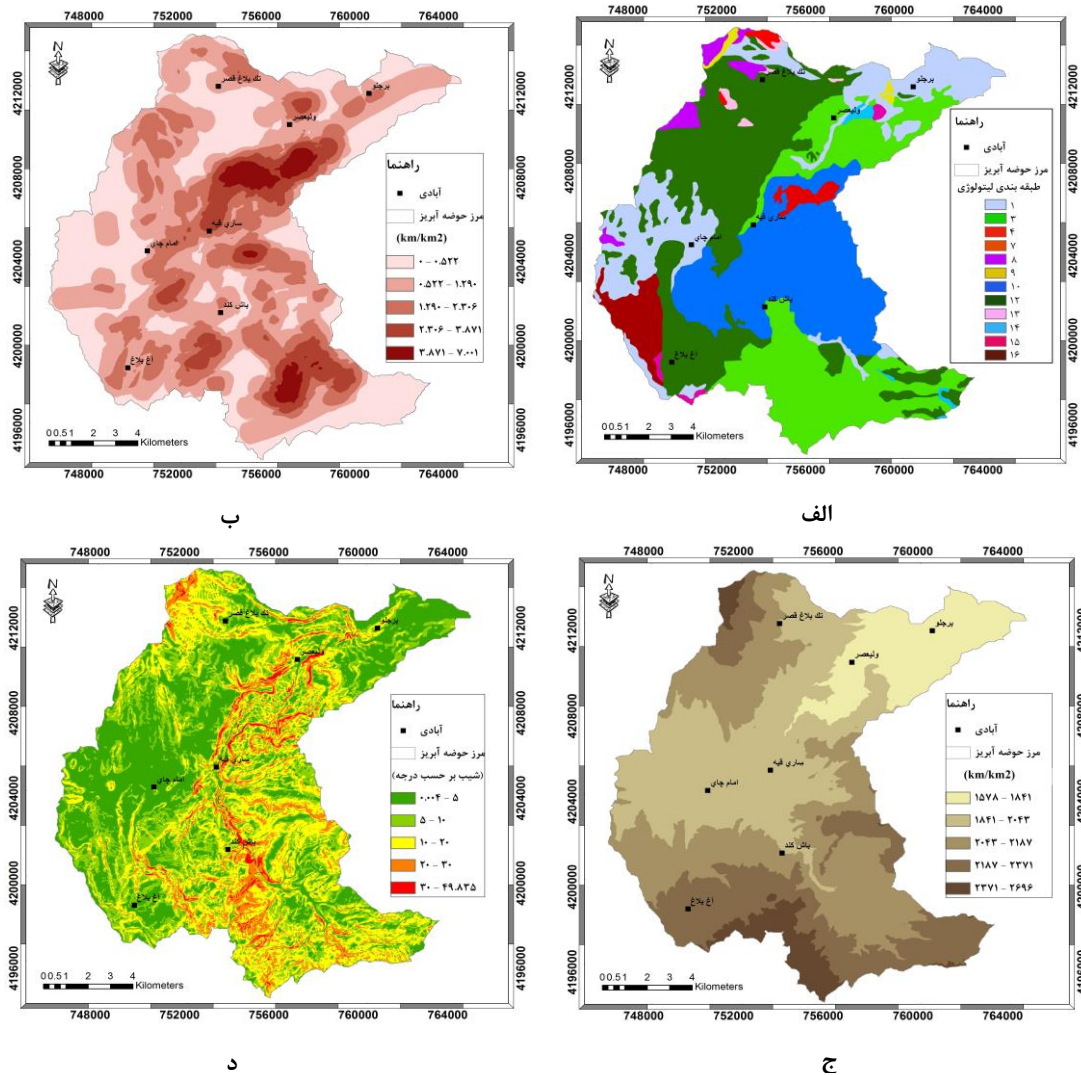
تراکم شکستگی: به عنوان پارامتر مثبتی جهت پتانسیل منابع آب سازند سخت در نظر گرفته می‌شود. این لایه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۹۰ متری و ۱۰ متری، تصاویر لندست ۸ و تصاویر Google earth با روش بصری استخراج گردید و با شکستگی‌های موجود در نقشه‌های زمین شناسی (متعلق به سازمان زمین شناسی) مقایسه و در مواردی ترکیب گردید. در نهایت با استفاده از تابع چگالی خطی^۴، نقشه تراکم شکستگی حوضه آبریز صائین تهیه گردید (شکل ۳-ب).

مدل رقومی ارتفاع^۵ (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 طوری که 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 آبرگیر 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 نتیجه‌گیری استفاده گردد (شکل ۳-ج).

¹ The Environment for Visualizing Image² Normalized Difference Vegetation Index³ Normalized Difference Moisture Index⁴ Line Density Function⁵ Digital Elevation Model

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).

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



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

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

(شکل ۴- الف).

تعیین خشکی) می‌باشد و بین بازه ی ۰/۱ تا ۱- متغیر است به طوری که مقادیر بالاتر از ۰/۱ سطح رطوبت بالا را نشان می‌دهد و مقادیر برای RED از باند ۴ تصاویر لندست ۸ استفاده می‌گردد. مقادیر عددی پیکسل‌های بین ۱- تا ۱ متغیر خواهد بود. به طوری که مقدار صفر و کمتر از آن برای مناطق غیر گیاهی و بیشتر از صفر جهت پوشش گیاهی است (شکل ۴- ج).

تراکم آبراهه: 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 توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ متعلق به سازمان جغرافیایی ارتش تهیه شد و رده‌های موجود آن به روش کارشناسی شامل ۶ رده تعیین گردید. سپس با استفاده از تابع Line Density در محیط ARC GIS لایه رستری چگالی آبراهه تهیه گردید (شکل ۴- 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.

محیط نرم افزار GIS، لایه رستری آن تهیه گردید شاخص رطوبت اختلاف نرمال (NDMI): این شاخص شامل ارزیابی محتوی رطوبت عناصری نظیر خاک، سنگ و گیاهان (شاخص بسیار مناسب جهت پائین (نزدیک به ۱-) نشان دهنده سطح رطوبت پائین است. برای تهیه این لایه با استفاده از محیط نرم افزار ENVI 4.8 بعد از تصحیحات هندسی و رادیومتریکی تصاویر لندست ۸ اقدام به بارسازی تصاویر گردید. در این راستا از رابطه ۱ استفاده گردید که جهت $SWIR^1$ باند ۶ و برای $SWIR^2$ باند ۷ تصاویر لندست ۸ انتخاب می‌گردد. لایه رستری به دست آمده از این شاخص در حوضه آبریز صائین دارای مقادیر بین ۰/۰۴۳- تا ۰/۷۴۵ می‌باشد (شکل ۴- ب).

$$\text{رابطه [1]} \quad \text{NDMI} = (\text{SWIR}2 - \text{SWIR}1) / (\text{SWIR}2 + \text{SWIR}1)$$

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 افزار ENVI 4.8 استخراج گردید.

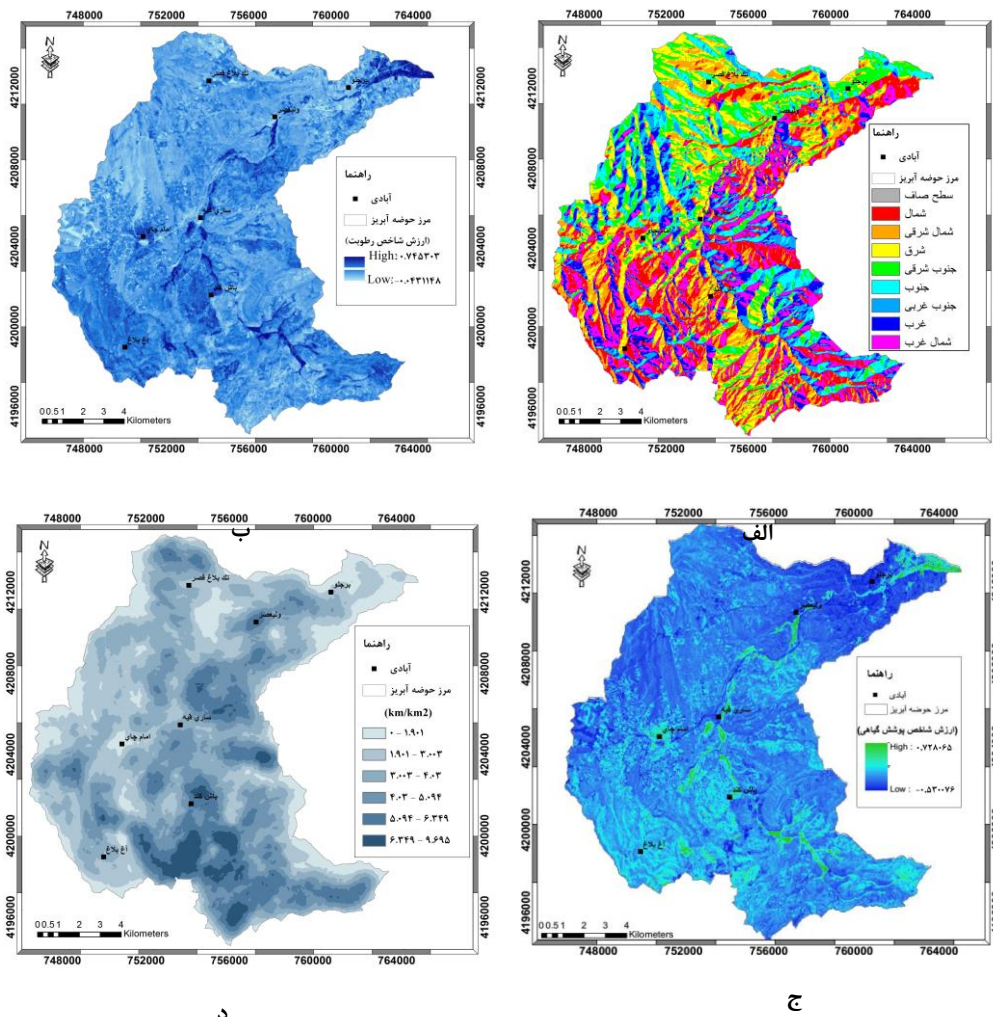
$$\text{رابطه [۲]} \quad \text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

مقادیر شاخص پوشش گیاهی بر اساس جذب اشعه توسط کلروفیل منطقه طیفی قرمز (RED) و بازتاب آن در طیف مادون قرمز نزدیک $(NIR)^2$ متفاوت است. در این روش جهت NIR از باند ۵ و

¹ Shortwave Infra-Red

² Near Infra-Red

³ Drainage density



شکل ۴- نقشه رستری الف: جهت شیب، ب: NDMI، ج: NDVI، د: تراکم آبراهه.

ناسازگار بوده که باید در چنین حالتی ارزش‌های ماتریس مقایسه‌ای دو به دو را مورد بازبینی و تجدید نظر قرار داد (پرهیزکار و غفاری 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^۱ استفاده گردید.

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

در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی عناصر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس مقایسه زوجی تشکیل می‌گردد (سبحانی و آذر، 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

¹ Weighted Overlay

ارزش کمتری تعلق گرفته است (شکل ۵-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 (شکل ۶-۵).

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 ۶۲/۹، ۶۷/۲، ۵۹/۹، ۲۰/۶ 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 ۱۶/۶ 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 می‌توانند 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 بر حسب 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).

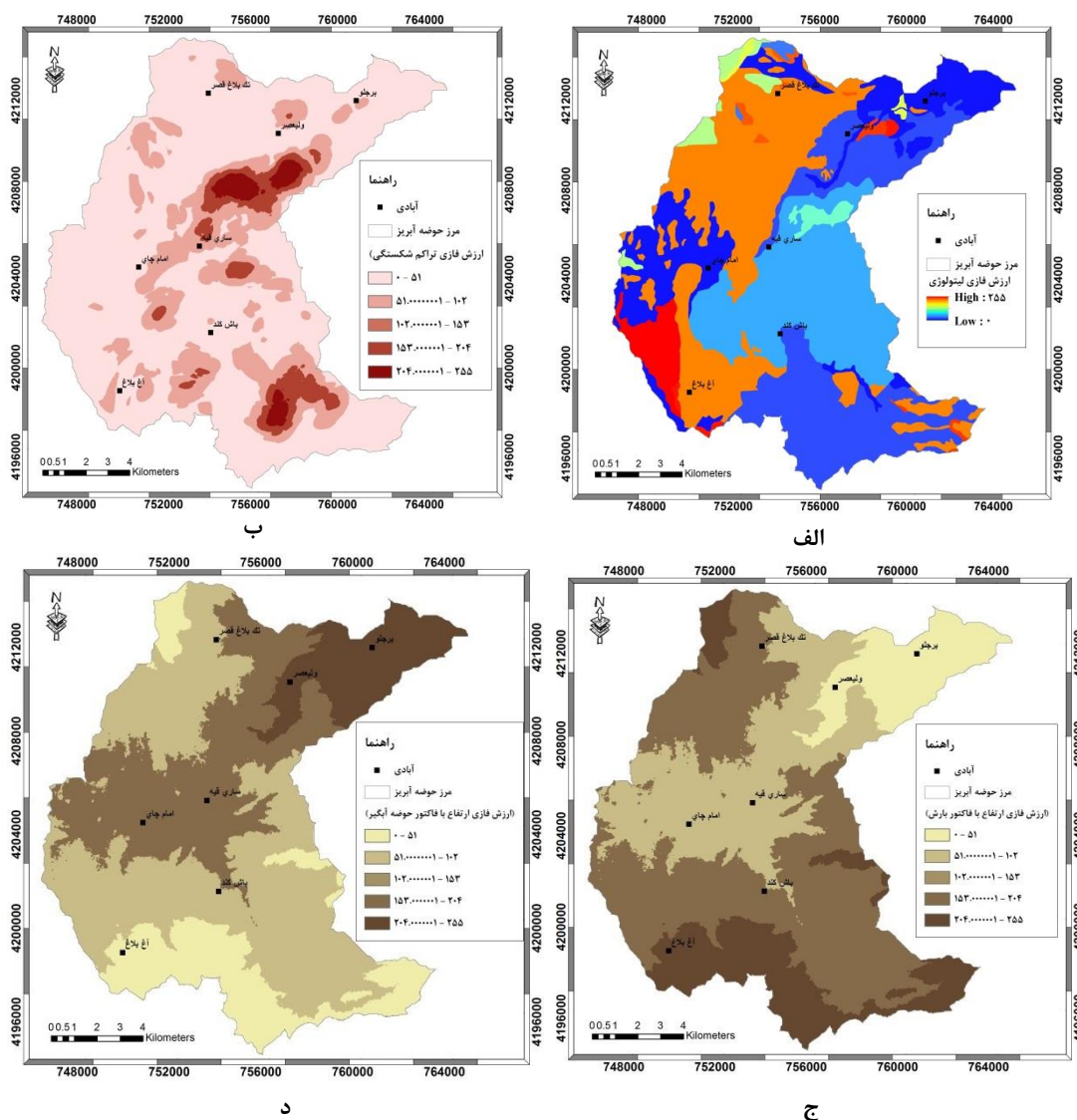
آمده از مقایسات دوتایی (وزن‌های معیار) از وزن‌های دیگری به نام وزن‌های درجه‌ای یا ترتیبی استفاده می‌گردد. مدل آنالیز وزنی درجه‌ای به صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$OWA = \sum_{j=1}^n V_j Z_{ij} \quad \text{رابطه [۳]}$$

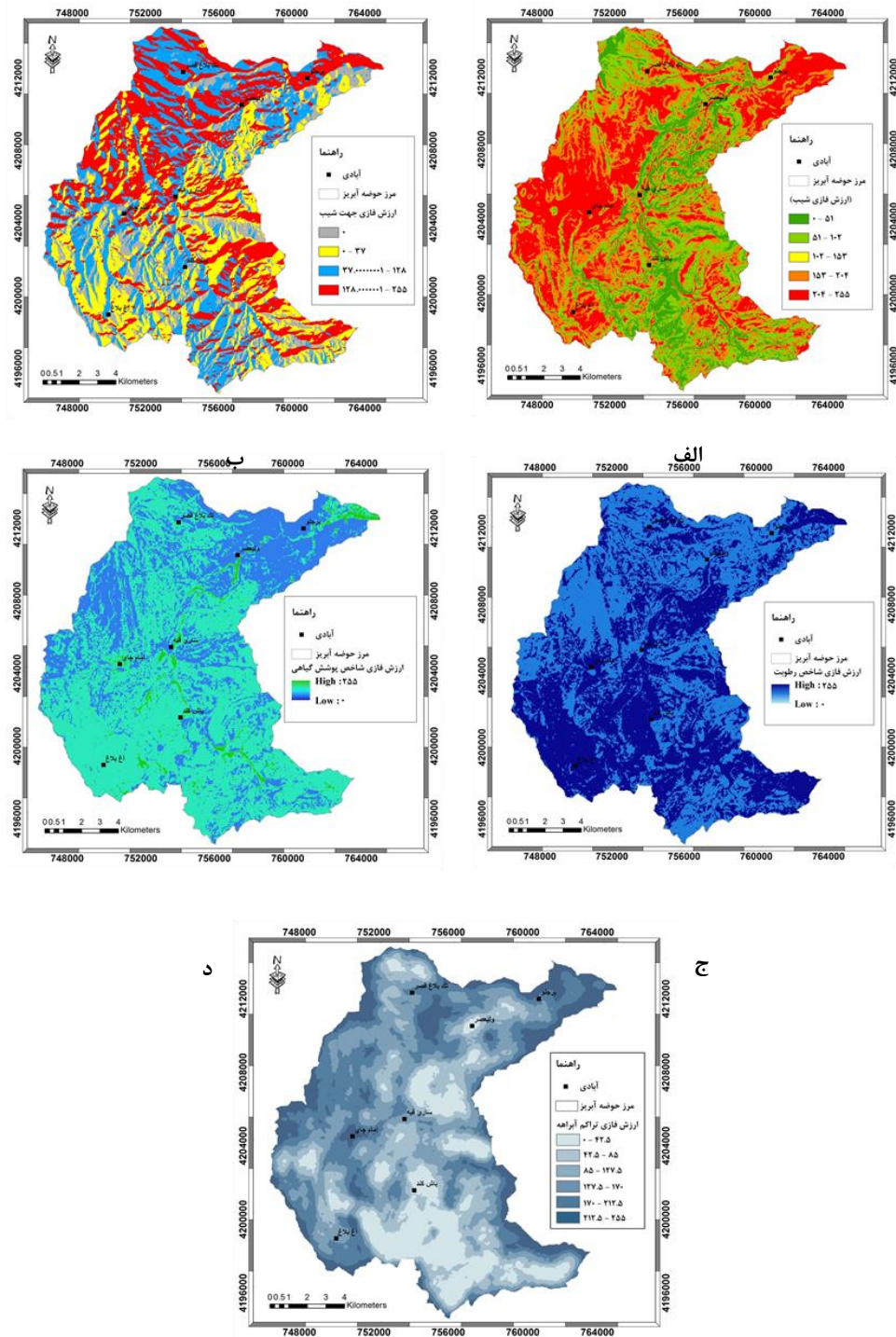
که در آن V_j وزن استاندارد شده که $\sum_{j=1}^n V_j = 1$ وزن‌ها اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارند. Z_{ij} بیانگر ارزش گزینه i ام در ارتباط با صفت j ام است. گزینه‌هایی که مربوط به بالاترین ارزش از OWA هستند، اولویت‌دارترین گزینه‌ها به حساب می‌آیند (بوروشاکی و همکاران ۲۰۱۰).

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 (اشکال ۵ و ۶).

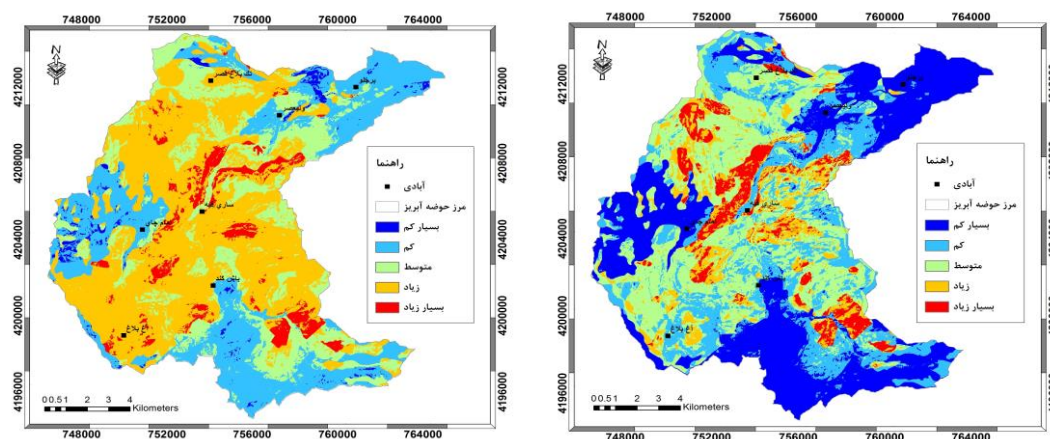
در محیط نرم افزار IDRISI از هر دو تاثیر ذکر شده ارتفاع استفاده گردید به این ترتیب که برای ارتفاع با فاکتور بارش تابع سیگموئیدال افزایشی و برای ارتفاع با فاکتور حوضه آبرگیر تابع سیگموئیدال کاهش‌ی اعمال گردید (اشکال ۵-ج و ۵-د). لایه رستری تراکم شکستگی با تابع عضویت سیگموئیدال از نوع افزایشی فازی گردید. به طوری که طبقاتی که دارای تراکم بیشتری هستند، بیشترین ارزش و به همین ترتیب به سمت تراکم کمتر، سپس ۹ لایه ایجاد شده با اعمال الگوریتم هم پوشانی وزنی در محیط نرم افزار GIS تلفیق شده و به ۵



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



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



ب

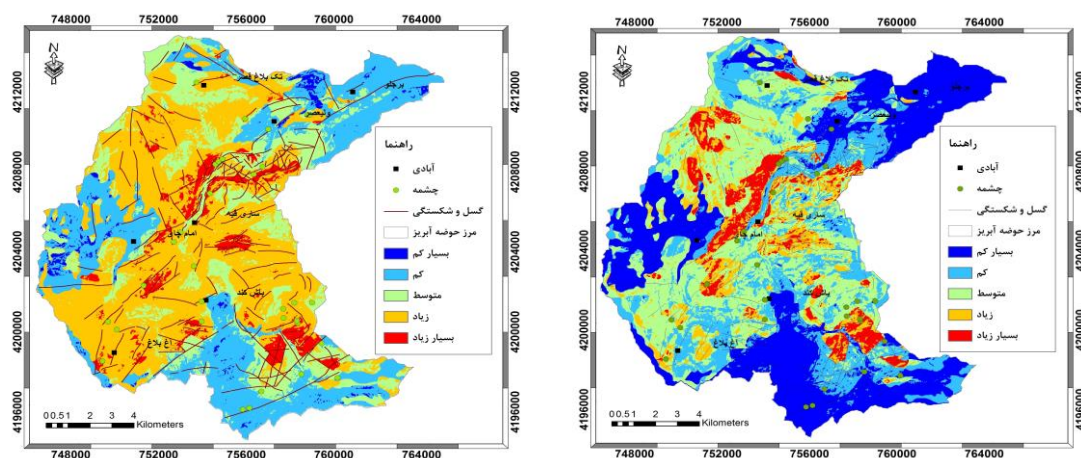
الف

شکل ۷- 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 و ۸- ب). موقعیت این چشمه‌ها با مطالعات میدانی (۱۵ دهنه چشمه)، اطلاعات موجود در سازمان آب منطقه ای اردبیل (۸ دهنه چشمه) و چشمه‌های موجود در نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس (جدول ۱). همچنین نتایج صحت سنجی نشان داد که نقشه پتانسیلیابی به روش OWA انطباق

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 بیشتری با موقعیت چشمه‌ها داشته و با واقعیات منطقه همخوانی بیشتری نشان می‌دهد.



ب

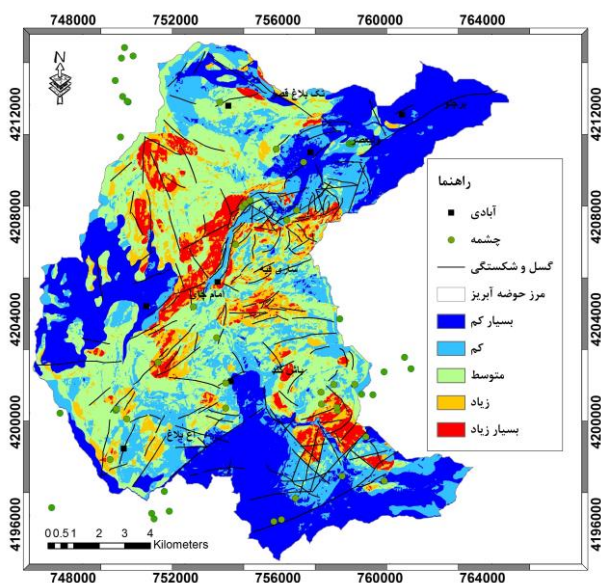
الف

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

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

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

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.

نتیجه‌گیری 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

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 آبریز کوچک خودشان تغذیه شده باشند و احتمالاً بخشی از حوضه آبریز آن‌ها در داخل حوضه صائین قرار دارد. 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

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.

این زمین لغزش‌ها می‌توان چشمه و سطوح تراوش را مشاهده کرد. تغذیه در ارتفاعات منطقه که بارندگی سالانه ۴۰۴ 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 ۱۶/۶ درصد از مساحت حوضه دارای بیشترین پتانسیل برای تشکیل آب زیرزمینی بوده و عمدتاً شامل واحدهای الیوین بازالتی و آندزیت‌های پیروکسن‌دار و واحدهای

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.
- Fathy A, 2012. Mapping of groundwater prospective zone using remote sensing and gis techniques: A case study from 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, Vaezehir A, Jafari Azimabadi H, 2014. Investigation of hydrogeochemistry of groundwater in hard rocks of (Ardabil province). 18th Iranian Conference of Iraninan Geology Society. 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, Vaezehir 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.