



Application of Remote Sensing and Geoelectric Methods in Groundwater Exploration in Karst Areas of Southern Kuhdasht, Lorestan

Farshad Ahmadi^{*1}, Farshad Alijani², Hamid Reza Naseri³

Abstract

Remote sensing and GIS were used to map karstic groundwater potential (GWP) in the south of Kuhdasht, Lorestan Province, by integration of twelve factors affecting groundwater potential. The required layers were prepared using the satellite imagery Bing Map, the Digital Elevation Model and the digitized maps. These layers were reclassified as criterion maps based on the contribution of each factor on the groundwater potential. Then the criterion maps were integrated using the Analytical Hierarchy Process (AHP) in a GIS environment. The groundwater potential maps of the region were prepared using a weighted overlay index method. The resulting thematic map was validated using the yield and specific discharge of the karst water wells in the area of the discharge and, then, 178 vertical geoelectrical soundings (VES) of Schlumberger array with $AB = 1000$ m, in Zaruni and Parian, were used to verify the GWP map. Based on the results of one - two dimensional inverse modeling of resistivity data, a high potential karst reservoir was detected in direction of the axis of Zaruni syncline in Asmari formation, so by greater distance from the axis to the limbs the water storage in the karst was decreased. The results showed that the circulation of infiltrated water through the dense joints and fractures in the syncline axis produced preferential groundwater flow in the joints, followed by karst development and formation of cavities and dissolution channels in the karst aquifer of Asmari formation. The results of this study also showed that the syncline axis factor had the greatest impact on the GWP of karst aquifer. Coincidence of high GWP areas by resistivity sounding data and water yield of wells indicated that the thematic map had a good accuracy.

Keywords: Geoelectric, GIS, Karst water, Kuhdasht, Mapping of groundwater potential, Remote Sensing.

Received: 2016/09/23
Accepted: 2016/12/29

کاربرد روش‌های سنجش از دور و ژئوالکترونیک در اکتشاف آب‌های زیرزمینی مناطق کارستی جنوب کوه‌دشت، لرستان

فرشاد احمدی^{*۱}، فرشاد علیجانی^۲، حمیدرضا ناصری^۳

چکیده

روش‌های سنجش از دور و GIS برای تلفیق دوازده عامل مؤثر بر هیدروژئولوژی کارست، به‌منظور پتانسیل‌یابی منابع آبی کارست در منطقه جنوب شهر کوه‌دشت، استان لرستان، به کار گرفته شد. لایه‌های مورد نیاز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Bing Map، تصویر رستری DEM و نقشه‌های رقمی تهیه شدند. لایه‌های اطلاعاتی بر اساس سهم هر عامل در پتانسیل آب زیرزمینی به‌صورت نقشه‌های معیار طبقه‌بندی مجدد شده و تمامی لایه‌ها با روش وزن دهی AHP در محیط GIS با یکدیگر تلفیق شدند. سپس با استفاده از شاخص هم‌پوشانی وزنی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه تهیه گردید. نقشه موضوعی حاصله ابتدا با استفاده از آبدهی و موقعیت چاه‌های آهکی منطقه و سپس با استفاده از مطالعات ژئوالکترونیک با حجم ۱۷۸ سونداژ شلمبرژه (VES) با طول خط جریان $AB=1000$ m که در منطقه ضروری و پریان صورت گرفته صحت سنجی گردید. بر اساس نتایج مدل‌سازی معکوس تک‌بعدی و دوبعدی سونداژهای مقاومت‌ویژه، مخازن غنی آب کارستی در سازند آسماری در محل محور ناودیس مشخص شده است. بر اثر فرآیند چین‌خوردگی، در محل محور چین‌ها، تراکم بالای درزه‌ها ایجاد شده و با نفوذ و جریان آب در داخل این درزه‌ها، فرآیند کارست شدگی باعث توسعه، گسترش و تشکیل حفرات و مجاری در آن‌ها گردیده و در نهایت آبخوان کارستی در سازند آسماری تشکیل گردیده است. تطابق و تائید نواحی پتانسیل بالا با داده‌های سونداژ مقاومت‌ویژه و چاه‌های با آبدهی زیاد نشان دهنده آن است که نقشه موضوعی ارائه شده از صحت خوبی برخوردار است. نتایج این تحقیق استفاده تلفیقی از سنجش از دور، GIS، داده‌های ژئوالکترونیک، و هیدروژئولوژی را در تعیین پتانسیل آب زیرزمینی کارست به‌خوبی نمایان ساخته است.

واژه‌های کلیدی: آب‌های کارستی، پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی، کوه‌دشت، سنجش از دور، ژئوالکترونیک، GIS

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۹

1-MSc of Hydrogeology, Shahid Beheshti University
2-Assistant Professor of Earth Sciences, Shahid Beheshti University
3-Professor of Earth Sciences, Shahid Beheshti University
*- Corresponding Author: E-mail: f.ahmadi6060@gmail.com

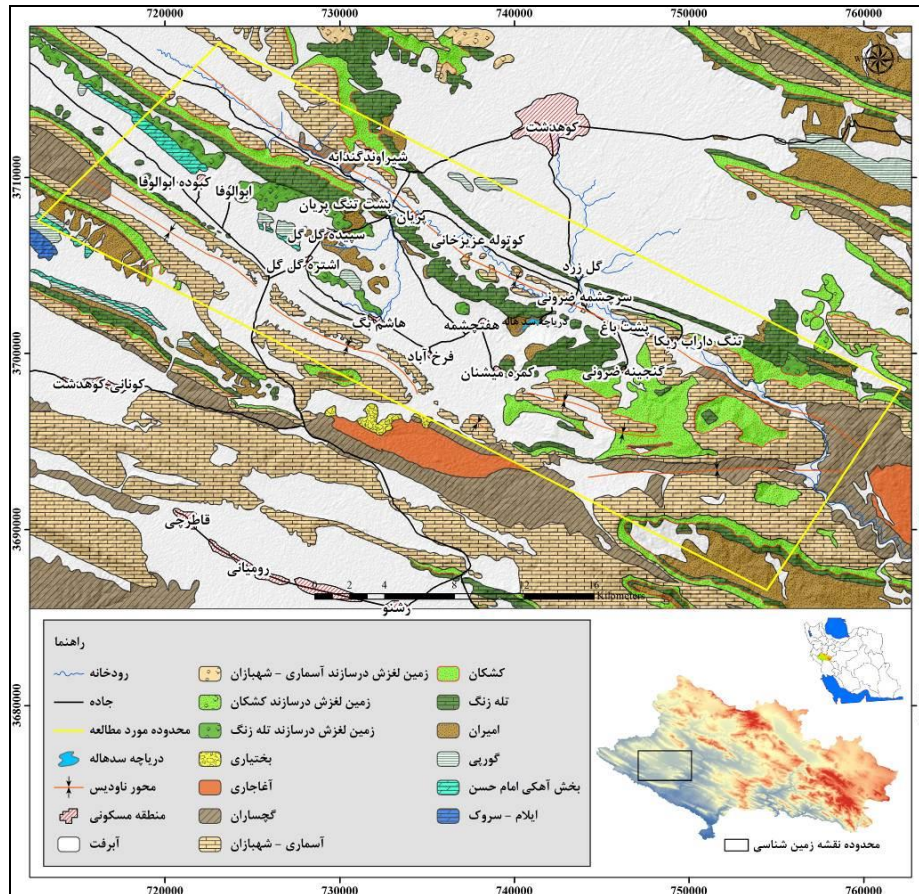
۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آب‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی
۲-استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۳-استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
* نویسنده مسئول

مقدمه

با توجه به بحران آب در چند دهه اخیر، آینده‌نگری در جهت یافتن راه‌حلهایی برای مقابله با این مسئله حیاتی، یک امر مهم به شمار می‌آید. تأمین آب از توده‌های کارستی و سازندهای سخت به علت داشتن کیفیت خوب و حجم بالایی از آب به‌عنوان یک منبع غنی می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با این مسئله باشد. جهت اکتشاف اولیه مناطق دارای پتانسیل زیاد آب زیرزمینی در این گونه نواحی، می‌بایست از نمایانگرهای سطحی و پارامترهای مؤثر بر کارست‌شدگی استفاده نمود. استخراج این پارامترها در سطح با چشم غیرمسلح ممکن نیست، اما به‌آسانی با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر می‌باشد. در این راستا می‌توان از توانایی‌های سنجش از دور برای تهیه داده‌ها، پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه و از GIS به‌عنوان ابزاری توانمند در ذخیره، تجزیه تحلیل، بازیابی، به‌روز رسانی و نمایش اطلاعات بهره گرفت. جهت پی‌بردن به خصوصیات هیدروژئولوژیکی مناطق زیر سطح زمین و تشخیص بهترین نقطه جهت حفاری چاه‌ها در توده‌های کارستی و سازندهای سخت عموماً مطالعات ژئوفیزیکی به روش مقاومت‌ویژه انجام می‌گردد. شهرستان کوه‌دشت در غرب استان لرستان قرار دارد. چهار گوش گستره مورد مطالعه در پنج کیلومتری جنوب شهر کوه‌دشت و ۱۲ کیلومتری شمال شهر رومشکان واقع شده است. این محدوده از لحاظ جغرافیایی در ۳۳ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است. دسترسی به این گستره از طریق جاده آسفالت خرم آباد-کوه‌دشت و در ادامه از طریق جاده کوه‌دشت به کرمانشاه، و راه‌های روستایی که از این جاده به روستاهای پریان، ضرونی، شیراوند و هفت‌چشمه منتهی می‌شوند و همچنین از طریق جاده پلدختر-کوه‌دشت نیز امکان‌پذیر است. آب و هوای مناطق کوه‌دشت معتدل کوهستانی می‌باشد. متوسط بارندگی در شهرستان کوه‌دشت ۳۶۷ میلی‌متر در سال است (سازمان هواشناسی لرستان). گستره مورد مطالعه در تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران (اشتوکلین، ۱۹۶۸؛ آقائباتی، ۲۰۰۴) جزئی از زاگرس چین خورده (Folded zone) محسوب می‌شود، این پهنه از نظر زمین‌شناسی از واحدهای کرتاسه و جوان‌تر تشکیل شده است.

به‌گونه‌ای که قدیمی‌ترین واحدهای سنگی در این محدوده را گروه بنگستان شامل سازندهای سروک و ایلام با سن کرتاسه زیرین (آلبین-کنیاسین)، بخش آهکی سازند گورپی، سازند امیران، سازند تله زنگ، سازندکشکان، سازند آسماری-شهبازان تشکیل می‌دهد. بیشترین گسترش و پراکندگی در منطقه مربوط به سازندهای آسماری و تله زنگ می‌باشد که با آبرفت‌ها و مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید پوشیده شده‌اند (احمدی، ۱۳۹۵) (شکل ۱). تاکنون مطالعات سنجش از دور و مقاومت سنجی به‌طور گسترده در سراسر دنیا به منظور اکتشاف آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. روش مقاومت سنجی را نخستین بار شلمبرژه، استاد فیزیک مدرسه عالی معدن پاریس در سال ۱۹۱۲ ابداع کرد (تلفورد و همکاران، ۱۹۹۰). مقاومت الکتریکی سازندهای زمین‌شناسی تحت تأثیر مستقیم حضور آب و مشخصه تغییرات آب زیرزمینی می‌باشد (چاندر، ۲۰۱۶). به‌عنوان مثال الیل و همکاران (۲۰۱۰) از روش VES برای بررسی پتانسیل وجود آب زیرزمینی در نیجریه استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که روش مقاومت ویژه‌ی الکتریکی، علاوه بر تعیین مناطق دارای آب زیرزمینی، توانایی تشخیص عمق سنگ بستر و تفکیک ساختارهای زمین‌شناسی مختلف را نیز دارا است. علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) فرآیند کارست زیرسطحی در سازندهای آسماری و ایلام - سروک را با استفاده از توموگرافی ژئوالکترونیک و تفسیرهای هیدروژئولوژی در منطقه جنوب ایذه مورد مقایسه قرار دادند. فن کاتس واران و آیین درای (۲۰۱۵) با استفاده از سنجش از دور و GIS اقدام به زون بندی پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه تامیلنادوی هند نمودند. آن‌ها بیان داشتند که این روش می‌تواند به‌عنوان یک راهنما در تحقیقات بیشتر در سراسر جهان بسته به آب و هوا و هیدرولوژی منطقه مورد استفاده قرار گیرد. احمدی و همکاران (۱۳۹۵) از سنجش از دور و GIS برای تلفیق دوازده عامل مؤثر بر هیدروژئولوژی کارست به منظور پتانسیل‌یابی منابع آب کارست در منطقه جنوب کوه‌دشت استفاده کردند. رحمتی و همکاران (۲۰۱۶) اقدام به زون بندی پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مهران واقع در غرب ایران با استفاده از مدل‌های RF و ME (Random Forest and Maximum Entropy Models) در محیط GIS نمودند. و به این نتیجه رسیدند که مدل ME برای پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی دقت بهتری دارد. استفاده از RS و

در کنار روش‌های نوین سلسله مراتبی و تلفیق نتایج ژئوفیزیک بازدهی و دقت پروژه‌های پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی حاصل، با پارامترهای هیدروژئولوژیک، هیدرولوژیک و مطالعات را به حداکثر می‌رساند.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی گستره مورد مطالعه (برگرفته از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰: کوهدشت، بلدختر، نفت و کبیرکوه شرکت نفت، ۱۳۵۰).

روش تحقیق

سپس این لایه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی AHP وزن‌دهی و تلفیق گردیدند. در این تحقیق برای تلفیق نقشه‌های معیار، از مدل هم‌پوشانی خطی وزنی با توجه به وزن معیارها و کلاس‌های مربوط به هریک از آن‌ها استفاده و مسئله به‌صورت خطی حل شده است (رابطه ۱):

$$S = \sum_{i=0}^m Wi \times Ri \quad (1)$$

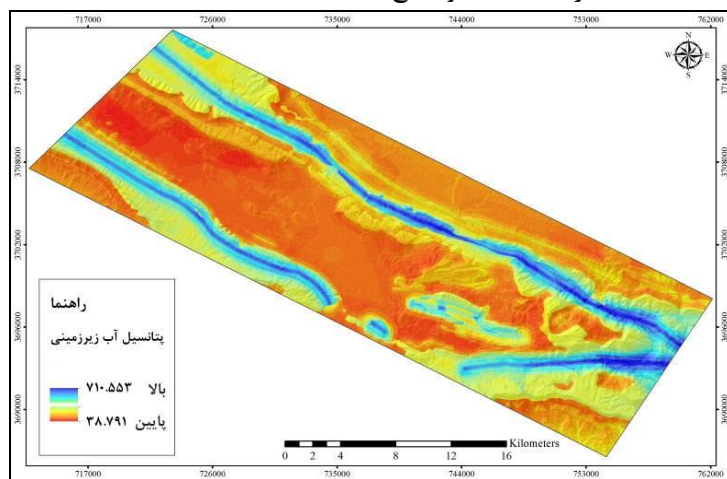
S نمایه پتانسیل آب زیرزمینی، Wi وزن هر معیار، و Ri ارزش استاندارد شده برای هر معیار است.

در نهایت نقشه موضوعی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه ایجاد شده (شکل ۲)، که برای صحت سنجی نقشه حاصله از اطلاعات آزمایش پمپاژ چاه‌ها، داده‌های چاه‌پیمایی و مطالعات

هدف اصلی این تحقیق پتانسیل‌یابی و پهنه‌بندی منطقه کارستی جنوب کوهدشت، جهت هموار نمودن مسیر مطالعات تعیین محل‌های مناسب حفر چاه، به‌منظور استحصال آب‌های کارستی می‌باشد. بدین منظور با توجه به شرایط خاص هیدروژئولوژی کارست در منطقه مورد مطالعه ۱۲ عامل مؤثر مورد تحلیل مکانی واقع گردیده است. در این راستا اطلاعات مورد نیاز با استفاده از منابع داده‌های مختلف و عملیات صحرائی با فرمت‌های گوناگون جمع‌آوری شده و به محیط GIS وارد شد، سپس جهت تهیه نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی ابتدا با توجه به دانش کارشناسی و با استفاده از تابع طبقه‌بندی مجدد هریک از این ۱۲ عامل (نقشه‌های معیار) در محدوده ارزش‌های ۱ تا ۹ نرخ‌بندی شدند (ساعتی، ۱۹۸۰).

هریک از عوامل مؤثر بر هیدروژئولوژی کارست در منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

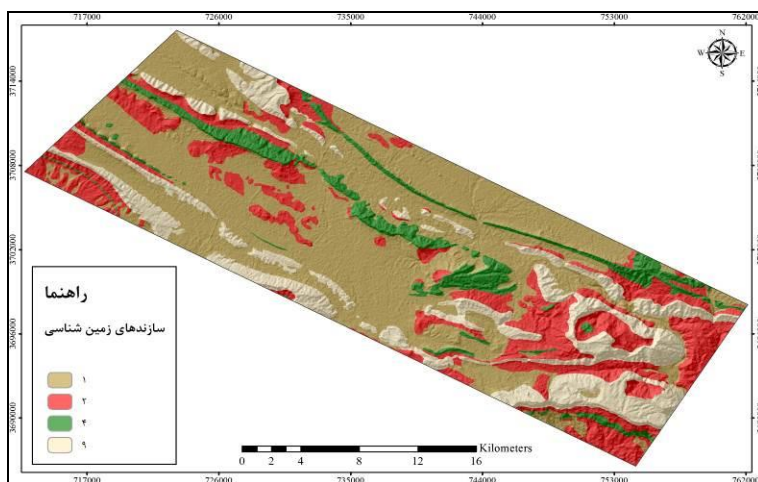
ژئوالکترونیک استفاده شده است. تفسیر یک‌بعدی و دوبعدی داده‌های ژئوالکترونیک جهت شناخت ناهنجاری‌ها با تهیه مقاطع مقاومت‌ویژه الکتریکی انجام شده است. در ادامه به توضیح



شکل ۲- نقشه پتانسیل آب کارست در منطقه مورد مطالعه

بیشتری برای تشکیل کارست دارند، به سازندهای آسماری و تله زنگ به دلیل خاصیت توده‌ای، شکنندگی و فقدان شیل و مارن در ساختار لیتولوژی (آسماری ۹، تله زنگ ۴)، بیشترین امتیاز و به سازندهای کشکان، امیران، و گورپی به دلیل نداشتن این ویژگی‌ها امتیاز ۲ و به آبرفت کمترین امتیاز تعلق گرفت (شکل ۳).

عامل لیتولوژی به علت تأثیرگذاری شدید بر نفوذ آب و قابلیت متفاوت ذخیره آب در سازندهای مختلف مدنظر قرار گرفته است. بر همین اساس ابتدا با استفاده از نقشه رقومی زمین‌شناسی سازندهای منطقه برحسب ترکیب سنگ‌شناسی و اهمیت آن‌ها در تشکیل آب زیرزمینی طبقه‌بندی و امتیازدهی شدند. با توجه به این که سازندهای آهکی خالص، پتانسیل

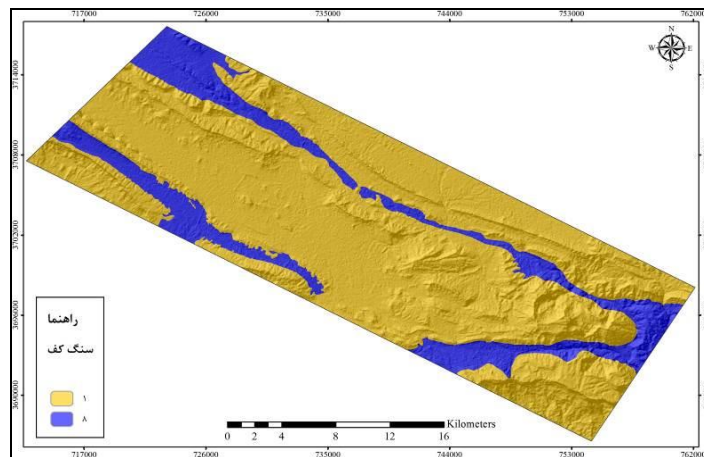


شکل ۳- نقشه امتیازدهی شده سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

آبرفت پوشیده می‌شوند) در نظر گرفته شد. از آنجایی که لایه‌های کارستی در زیر آبرفت وجود دارند، جنس سنگ کف کارستی نیز برای ما اهمیت دارد. با توجه به آنکه مهم‌ترین سازند مورد اکتشاف جهت پتانسیل آب زیرزمینی کارستی،

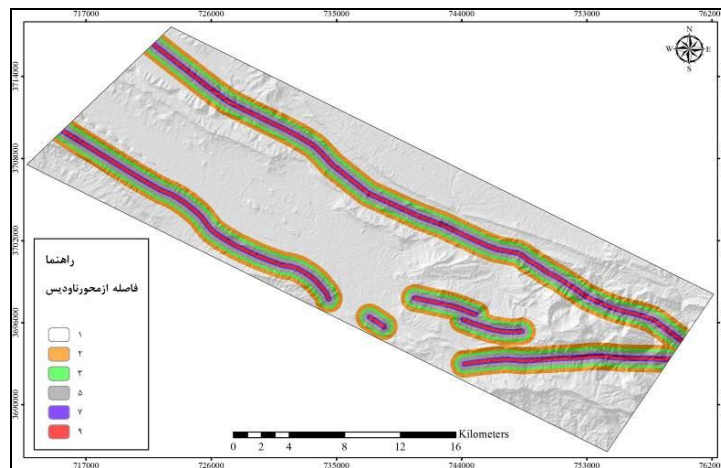
جهت پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در گستره مورد نظر، ناودیس‌های منطقه به‌عنوان هدف اصلی، مورد مطالعه قرار گرفتند. لذا برای تعیین هندسه آبخوان، لایه سنگ کف در محدوده بین دو یال ناودیس (محدوده‌ای که یال‌ها توسط

سازند آسماری می‌باشد، بر این اساس در مناطقی که سازند آسماری به‌عنوان سنگ کف ناودیس‌ها وجود دارد به‌عنوان



شکل ۴- نقشه امتیازدهی شده سنگ کف در منطقه مورد مطالعه

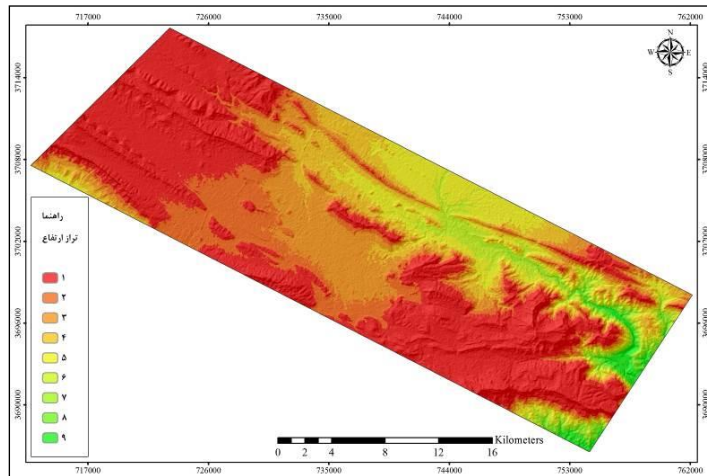
عامل محور ناودیس به علت اینکه نیروهای تکتونیکی می‌توانند یک سیستم درزه شکاف (کششی و مزدوج) وسیعی با چگالی بالا در سازندهای سخت در محل لولای چین (ناودیس) به وجود آورند، و همچنین شیب دو یال چین به سمت محور چین بوده که خود باعث تجمع آب در این محل می‌گردد، مدنظر قرار گرفته است. لایه محور ناودیس از روی مقاطع نقشه‌های زمین‌شناسی به‌صورت لایه خطی استخراج و بر اساس فاصله طبقه‌بندی گردید (شکل ۵).



شکل ۵- نقشه امتیازدهی شده فاصله از محور ناودیس در منطقه مورد مطالعه

اطراف به‌عنوان محل‌های مناسب برای تجمع آب زیرزمینی و تشکیل مخزن در نظر گرفته شده و به مناطق با تراز ارتفاع کمتر امتیاز بیشتری اختصاص یافته است (شکل ۶).

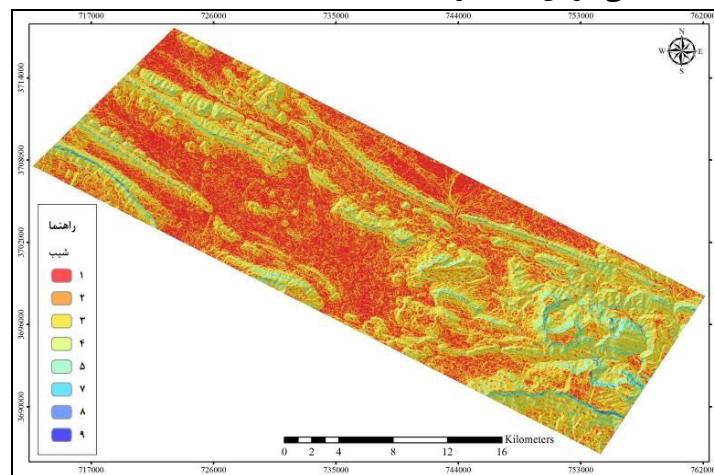
عامل تراز ارتفاعی به علت اینکه حرکت آب در داخل درزه‌ها تحت تأثیر نیروی ثقل بوده و جهت جریان آب زیرزمینی همیشه از تراز انرژی بالا به تراز انرژی پایین‌تر رخ می‌دهد، اهمیت دارد. مکان‌هایی با تراز ارتفاعی پایین نسبت به



شکل ۶- نقشه امتیازدهی شده تراز ارتفاع در منطقه مورد مطالعه

البته همیشه در تمام شیب‌ها این قاعده صدق نمی‌کند. شیب از حدی بیشتر شود تأثیر عکس خواهد داشت. به این دلیل به مناطق پر شیب امتیاز بالا و به مناطق کم شیب امتیاز کم تعلق گرفت (شکل ۷).

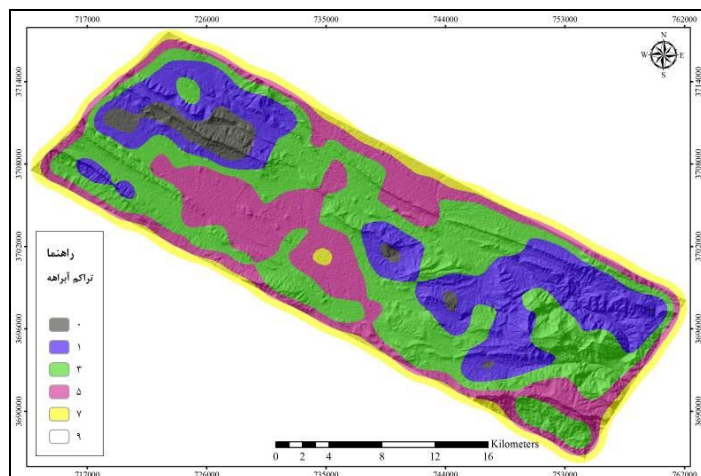
با بررسی‌های انجام شده در تاق‌دیس گورپی (ناصری و علیجانی، ۱۳۹۲؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۵) استنباط گردیده است که شیب‌های بیشتر، تأثیر مثبت در پتانسیل آب زیرزمینی کارست دارند، زیرا لایه‌های پر شیب بیشتر تکتونیزه شده‌اند و در نتیجه شدت کارست شدگی در آن‌ها بالاتر است.



شکل ۷- نقشه شیب امتیازدهی شده منطقه مورد مطالعه

نفوذپذیری زمین رابطه عکس دارند به همین دلیل به مناطق کم تراکم بیشترین ارزش، و به مناطق پرتراکم کمترین ارزش داده شد (شکل ۸).

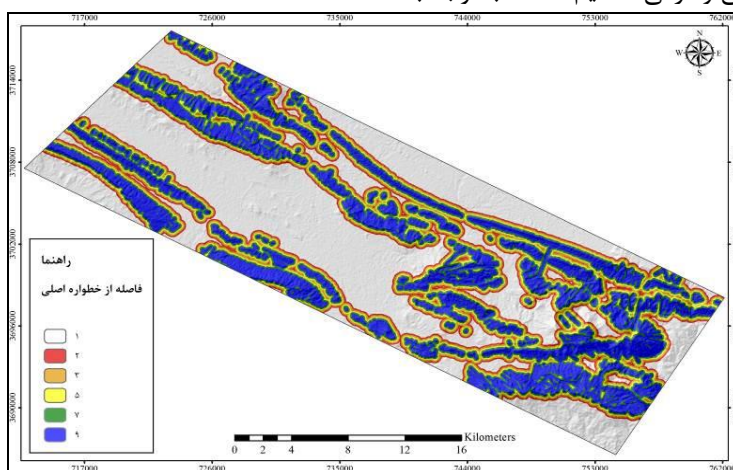
مطالعات نشانگر آن است که نوع شبکه زهکشی هر منطقه توسط لیتولوژی واحدهای زمین‌شناسی، توپوگرافی، ساختارهای تکتونیک و زمین‌شناسی منطقه کنترل می‌شود. بر این اساس، آبراهه‌ها نقش انتقال رواناب را داشته و با



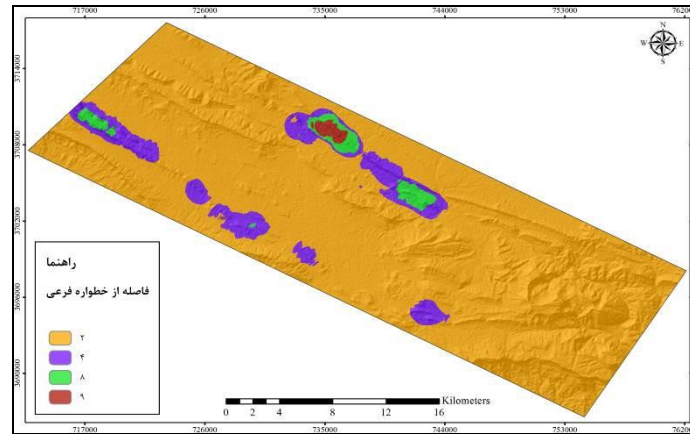
شکل ۸- نقشه امتیازدهی شده تراکم آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه

اینکه گسل‌ها، درزه و شکاف‌ها از یک طرف باعث انتقال آب به درون آبخوان آهکی می‌شوند و از طرف دیگر خود باعث افزایش نرخ انحلال و توسعه کارست و در نتیجه زیاد شدن تخلخل شکستگی می‌گردند. و همچنین تحقیقات انجام شده در خصوص آبدهی چاه‌ها با فاصله از خطواره‌ها نشان می‌دهد که بین آبدهی چاه‌ها و فاصله از خطواره‌ها رابطه معکوس وجود دارد. که هرچقدر فاصله از خطواره‌ها کمتر شود میزان آبدهی بیشتر می‌شود. نقشه‌های معیار فاصله از خطواره‌های اصلی و فرعی در نظر گرفته شد (شکل‌های ۹ و ۱۰).

عامل‌های در ارتباط با خطواره‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر روی هیدروژئولوژی سنگ‌های کربناته تأثیر می‌گذارند در این تحقیق از خطواره‌ها شش لایه اطلاعاتی استخراج شده است. برای تهیه این لایه‌ها ابتدا می‌بایست نقشه‌ی خطواره‌های منطقه استخراج می‌شد. البته استخراج خطواره‌ها (شکستگی‌ها) بایستی بر اساس شرایط منطقه و شناخت خصوصیات ساختاری آن صورت بگیرد. در این تحقیق برای کاهش خطا و بالا بردن دقت کار خطواره‌ها به‌صورت دستی (بصری) از روی تصاویر ماهواره‌ای Bing Map استخراج شده و سپس بر اساس طول (۱۰۰ متر) به دو دسته اصلی و فرعی تقسیم شدند، با توجه به



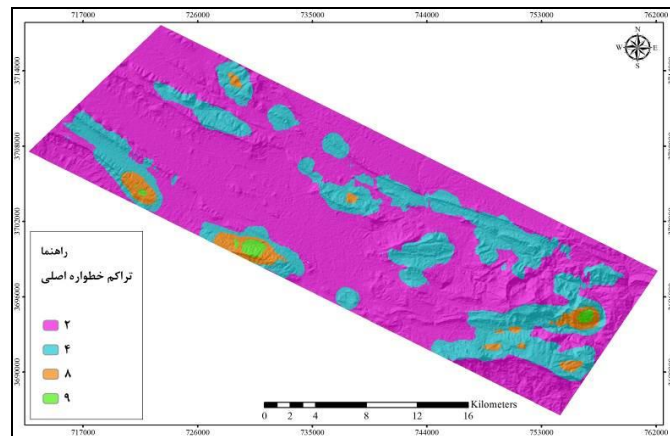
شکل ۹- نقشه امتیازدهی شده فاصله از خطواره‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه



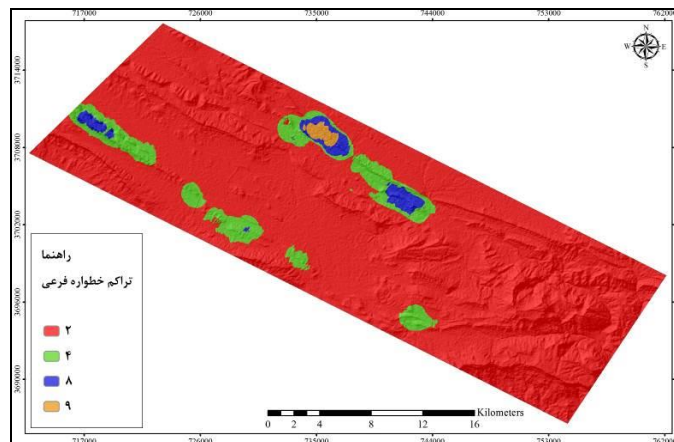
شکل ۱۰- نقشه امتیازدهی شده فاصله از خطواره‌های فرعی در منطقه مورد مطالعه

ارتباط با آب زیرزمینی می‌توان چنین استنباط کرد که مناطق دارای تراکم بالای خطواره‌ها می‌تواند تخلخل و نفوذپذیری بیشتری داشته باشند و اهمیت زیادی در توجیه وجود آب زیرزمینی در منطقه دارند (شکل‌های ۱۲ و ۱۱).

عامل‌های تراکم خطواره‌های اصلی و فرعی را به علت اینکه، افزایش تراکم درزه‌ها و گسل‌ها در هر منطقه نقش مؤثری در نفوذ و انتقال آب زیرزمینی داشته و تراکم بالای طول خطواره‌ها می‌تواند معرف تکتونیزه شدن بیشتر و در نتیجه کارستی شدن بیشتر باشد، در نظر گرفته شده است.



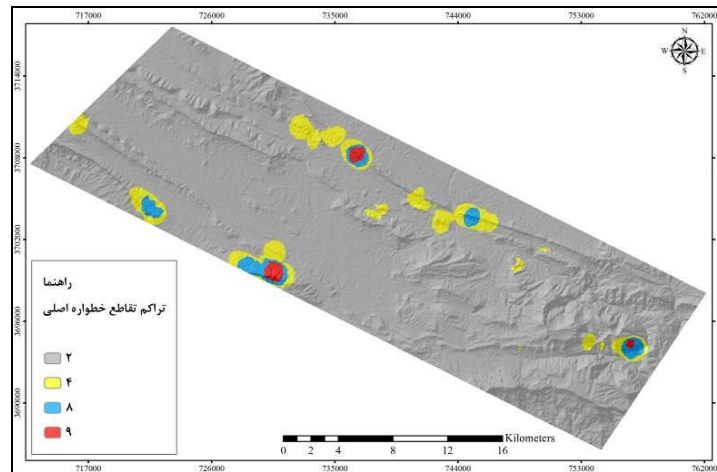
شکل ۱۱- نقشه امتیازدهی شده معیار تراکم خطواره‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه



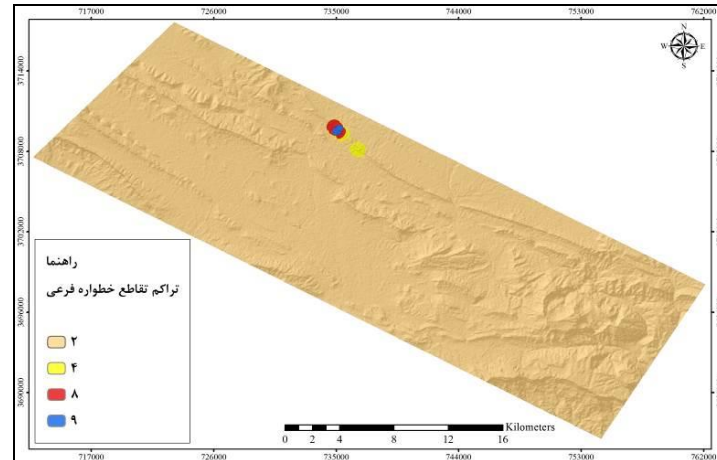
شکل ۱۲- نقشه امتیازدهی شده معیار تراکم خطواره‌های فرعی در منطقه مورد مطالعه

شکستگی‌ها را می‌توان به‌عنوان معیاری برای خردشدگی سازند بکار برد، بدین معنی که محل تلاقی شکستگی‌ها را به‌صورت یک نقطه در نظر می‌گیریم و تعداد این نقاط که به ازای هر واحد سطح که در یک منطقه ظاهر می‌شوند را مدنظر قرار می‌دهیم. بنابراین به‌عنوان پارامتر مثبتی جهت پتانسیل توسعه کارست در نظر گرفته می‌شود (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

عامل‌های تراکم تقاطع خطواره‌های اصلی و فرعی را با توجه به این که در محل تلاقی شکستگی‌ها، به دلیل ایجاد فضاهایی در سازندها و واحدهای زمین‌شناسی، مجراهایی با نفوذپذیری بالا جهت عبور آب و حرکت آن به نقاط پایین‌تر درون زمین ایجاد می‌شود و این محل‌ها نقاط ضعفی تلقی می‌شوند که اهمیت آن‌ها در سازندهای سخت و آهکی بیشتر می‌باشد در نظر گرفته شده است. همچنین تراکم تقاطع



شکل ۱۳- نقشه امتیازدهی شده تراکم تقاطع خطواره‌های اصلی در منطقه مورد مطالعه



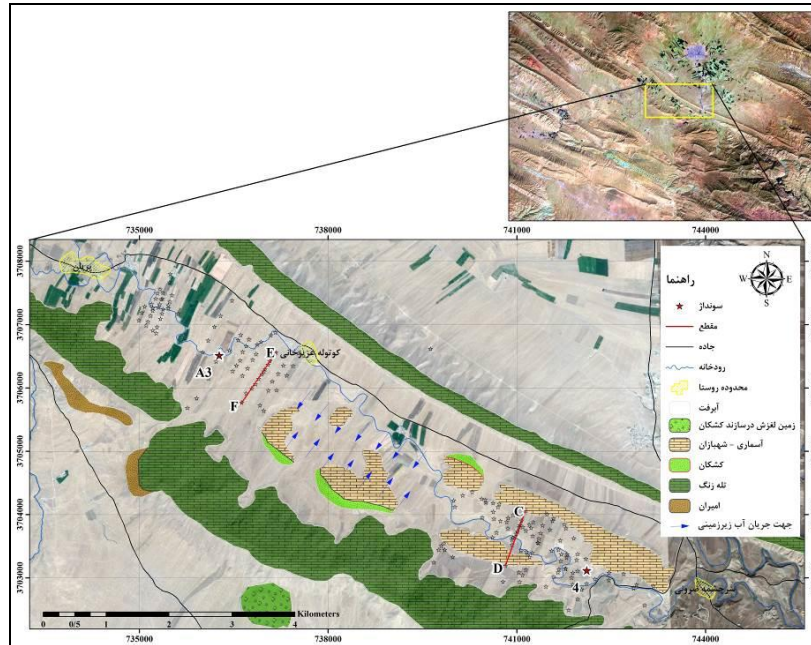
شکل ۱۴- نقشه امتیازدهی شده تراکم تقاطع خطواره‌های فرعی در منطقه مورد مطالعه

آب زیرزمینی تخمین زده شد. در ادامه به تفسیرهای یک بعدی و دوبعدی سونداژها پرداخته شده که موقعیت آن‌ها در شکل ۱۵، نشان داده شده است. تفسیر این سونداژها بر اساس یافته‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی انجام شده است. با توجه به زمین‌شناسی منطقه در نهایت بهترین تفسیر که نزدیک‌ترین حالت به مدل زمین‌شناسی را دارا می‌باشد انتخاب

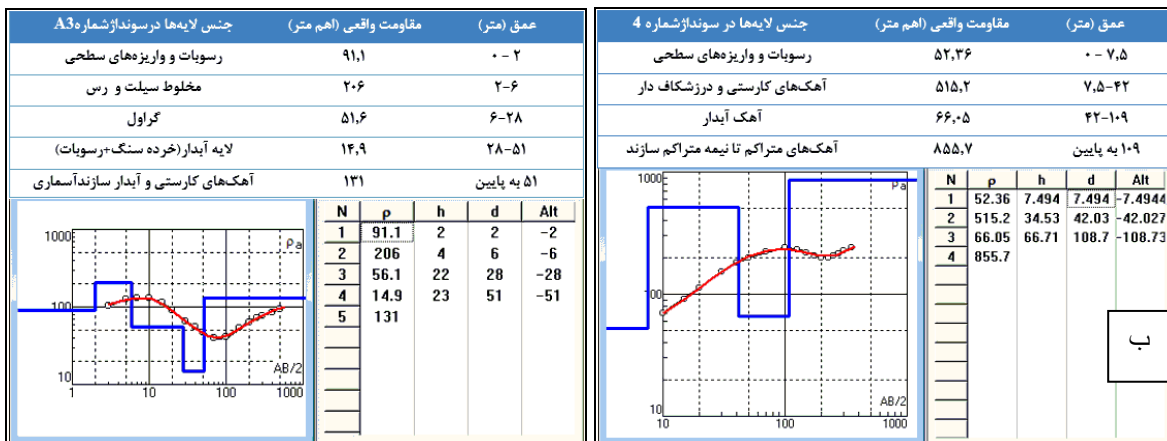
در مرحله بعد جهت شناسایی لایه آبدار زیرزمینی و سایر لایه‌ها در محدوده ضرونی و پریان (جنوب شهرکوه‌دشت) تعداد ۱۷۸ سونداژ شلمبرژه (VES) با طول خط جریان $AB=1000\text{ m}$ با استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته *Res2din* و *IPI2win* پردازش و مدل‌سازی گردید و پس از تلفیق با اطلاعات چاه‌های موجود، مورد تفسیر قرار گرفت و عمق تقریبی کیفیت سفره

مربوط به تغییر نتایج حاصل از منحنی تئوری یا محاسباتی است. به‌طور کلی مدل‌های به دست آمده دارای مقاومت ویژه‌های متوسط و بالا می‌باشند، که دلیل آن وجود لایه‌های آهکی متراکم سازند آسماری در زیر سطح زمین است.

گردید. در مدل‌های شکل ۱۶، که با استفاده از نرم‌افزار *IPI2win* به دست آمده است، منحنی سیاه رنگ (شامل دایره‌های توخالی)، مربوط به منحنی صحرائی و منحنی قرمز رنگ مربوط به منحنی محاسبه شده می‌باشد همچنین خطوط آبی رنگ،



شکل ۱۵- موقعیت سونداژها و نیمرخ‌ها در منطقه جنوب شهر کوهدهشت.



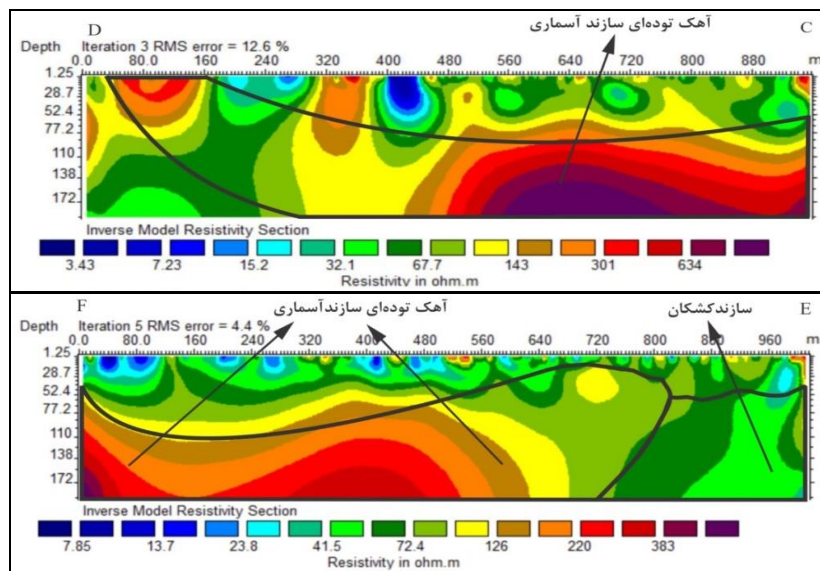
شکل ۱۶- الف، مدل الکتریکی و جدول پارامترهای سونداژ شماره 4 ب، مدل الکتریکی و جدول پارامترهای سونداژ شماره A3.

آبدار نبوده و فرایند کارست شدگی پیشرفت زیادی نداشته (البته وجود درزه و شکاف، حفرات و مجاری خشک هم مقاومت بالا را نشان می‌دهد)، به احتمال زیاد وجود آهک‌های توده‌ای علت آن می‌باشد. در بخش‌های میانی این نیمرخ یک زون با مقاومت ویژه پایین دیده می‌شود. پایین آمدن مقاومت ویژه در

در نیمرخ *D-C* (شکل ۱۷)، می‌توان موقعیت و میزان گسترش سازند آسماری در زیر سطح زمین را تشخیص داد سازند آسماری در سمت راست این مقطع از فاصله ۴۵۰ تا ۹۳۰ متری با مقاومت ویژه بالا (۵۰۰ تا ۱۵۰۰ اهم‌متر) خود را نشان داده است، می‌توان چنین برداشت کرد که این بخش

تقریباً در عمق ۵۲ متری به پایین قرار گرفته‌اند. گسترش این سازند به صورت هلالی شکل (به تبعیت از ناودیس) می‌باشد. در گوشه سمت راست (از فاصله ۸۰۰ متر و عمق ۸۰ متر به پایین) لایه‌هایی با مقاومت ویژه پایین دیده می‌شود که به علت وجود نهشته‌های رسی سازند کشکان می‌باشد.

این منطقه می‌تواند به علت وجود آب در داخل حفرات کارستی، درز و شکاف‌ها باشد که این محل می‌تواند مکان مناسبی برای حفر چاه و استخراج آب کارست می‌باشد. در نیمرخ F-E (شکل ۱۷)، در سطح زمین هیچ رخنمونی از سازند آسماری دیده نمی‌شود آهک‌های توده‌ای این سازند



شکل ۱۷- شبه مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی معکوس نیمرخ‌های C-D و F-E

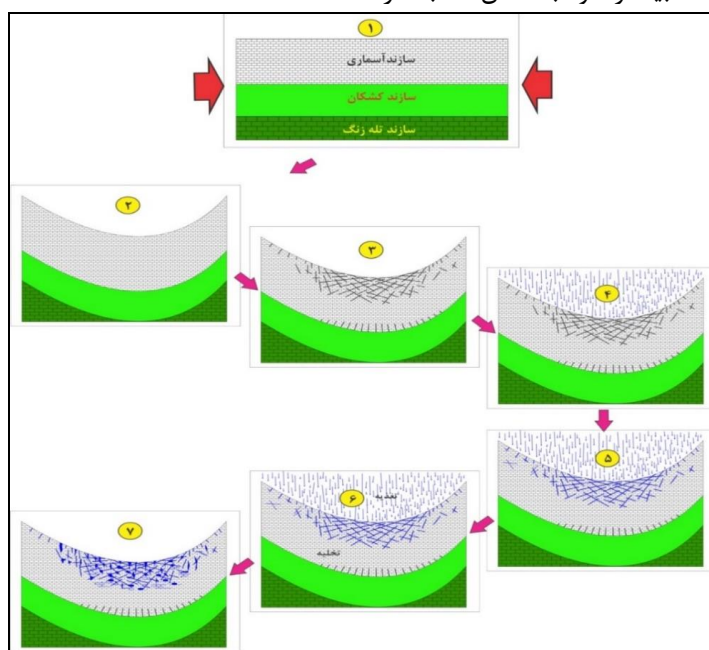
مجاری انحلالی جمع شده و به سمت پایین‌ترین تراز انرژی که محل محور ناودیس‌ها می‌باشد جریان می‌یابند. زمین‌شناسی ساختمانی یک ناحیه دو نقش عمده را در تعیین رفتار کارستی سیستم جریان آب زیرزمینی در پهنه‌های کارستی ایفا می‌نماید: اول مسیرهای جریان کلی در آبخوان را مشخص می‌نماید و دوم می‌تواند بر توسعه انحلالی مسیرهای جریان مؤثر باشد. شناخت کنترل ساختارها بر روی یک منطقه یکی از مهم‌ترین مراحل در ساخت مدل تفهیمی می‌باشد (گلدشاید، ۲۰۰۸). عمده‌ترین کنترل ساختاری بر روی آبخوان کارستی به وسیله جهت‌گیری لایه‌های آهکی تحت تأثیر چین‌خوردگی و گسل خوردگی می‌باشد (سینگال، ۲۰۱۰). با در نظر گرفتن عوامل ساختاری همراه با توپوگرافی می‌توان مرزهای ورودی، خروجی و بدون عبور جریان را در سیستم کارستی تشخیص داد (میلانوویچ، ۱۹۸۱). دومین کنترل به وسیله ناپیوستگی‌ها و شکستگی‌های موجود در توده سنگ آهک اعمال می‌شود. این موارد شامل درزه‌ها، سطوح لایه‌بندی، سطوح گسل، و پهنه‌های خرد شده می‌باشند. بررسی موقعیت، امتداد و بازشدگی اشکال

بحث و نتیجه‌گیری

هیدروژئولوژی آبخوان‌های کارستی مستلزم شناخت کارست زیرزمینی یا کارست داخلی می‌باشد. کارست آبخوان‌های منطقه مورد مطالعه به وسیله جریان آب و انحلال سنگ آهک کلسیتی کنترل می‌شود (احمدی، ۱۳۹۵). زهکشی زیرزمینی که مستلزم توسعه کارست داخلی می‌باشد شامل شبکه‌ای از مجاری زیرزمینی است که عمدتاً بر سطوح درزه‌های انحلالی منطبق می‌باشند. در حال حاضر، فرسایش و انحلال بر روی سطح آهک آسماری و تله زنگ با تشکیل کارنها و بر روی سیستم درزه‌ای با عریض نمودن آن‌ها عمل می‌نماید. بر اساس بازبازدیدهای صحرائی انجام شده می‌توان گفت، آب زیرزمینی آبخوان‌های کارستی منطقه به وسیله نفوذ بارش از سطح آهک برهنه، آب نفوذی از زون خاک پوششی در لایه‌های درز و شکاف‌ها و آب نفوذی از رواناب جاری رودخانه‌های فصلی در امتداد محور چین‌خوردگی‌های منطقه تغذیه می‌گردد. مؤلفه‌های مختلف تغذیه آب کارستی در زیرزمین با یکدیگر مخلوط شده و بالاخره در زون فراتیک یا در

ضخامت لایه آبدار کارستی و در نتیجه پتانسیل آب زیرزمینی کم می‌شود. در نهایت پس از تجزیه و تحلیل یافته‌ها چنین برداشت شد که در اثر فرآیند چین‌خوردگی، در محل محور چین‌ها تراکم بالای درزه‌ها ایجاد شده است. با نفوذ و جریان آب در داخل این درزه‌ها، فرآیند کارست شدگی باعث توسعه، گسترش و تشکیل حفرات و مجاری در آن‌ها شده و در نهایت آبخوان کارستی در سازند آسماری تشکیل گردیده است (شکل ۱۸).

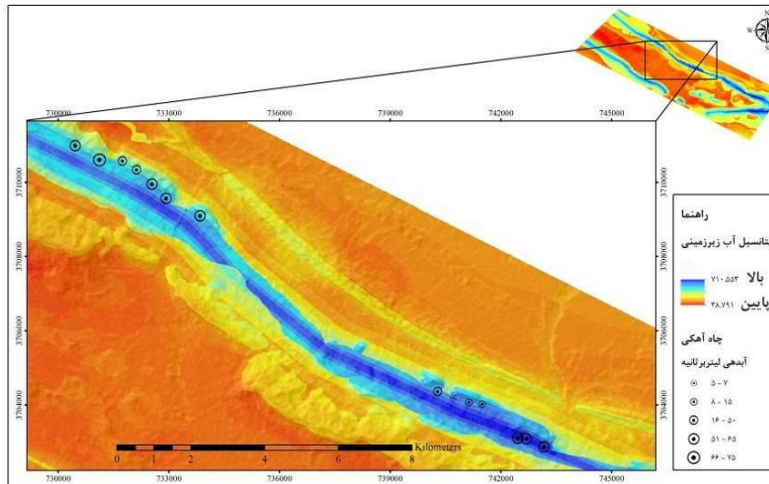
مذکور، با در نظر گرفتن موقعیت مرزهای تغذیه و تخلیه آبخوان کارستی، نحوه رفتار سیستم را مشخص می‌نماید (فورد و ویلیام، ۲۰۰۷؛ اشجاری و رئیسی، ۲۰۰۶). بدین لحاظ در مطالعه شناخت منطقه جنوب کوه‌دشت، ارزیابی اثرات ساختاری لازم تشخیص داده شده است. بر اساس نتایج مدل‌سازی معکوس تک‌بعدی و دوبعدی سونداژهای مقاومت‌ویژه، مخازن غنی آب کارستی در سازند آسماری در محل محور ناودیس تشکیل شده است به طوری که هرچقدر از محل محور به طرف یال‌ها فاصله بیشتر شود به همان نسبت از



شکل ۱۸ - مدل مفهومی مراحل تشکیل آبخوان‌های کارستی در منطقه مورد مطالعه.

قرار گرفته‌اند که پتانسیل توسعه کارست بالایی داشته است. هرچند برخی از آن‌ها از آبدهی خوبی برخوردار نیستند و نقشه به خوبی این موضوع را تأیید می‌کند. این می‌تواند به این دلیل باشد که در این مناطق با وجود اینکه از توسعه کارست خوبی برخوردار می‌باشند، ولی فاصله آن‌ها از پارامتر اصلی مدل که محور ناودیس می‌باشد زیاد بوده، به عبارت دیگر از مخزن اصلی آب کارستی منطقه فاصله دارند (شکل ۱۹).

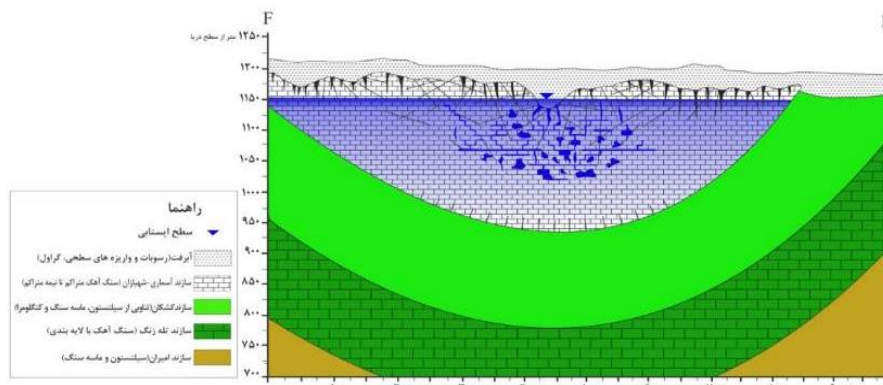
از آنجایی که چین‌خوردگی‌ها بر روی هندسه آبخوان، میزان ذخیره آب زیرزمینی و الگوی زهکشی سطحی تأثیر می‌گذارند، بنابراین نقشه‌برداری و آنالیز ساختار چین‌ها، دامنه، طول موج و پلانژ محور چین‌ها حائز اهمیت است. جهت ارزیابی صحت کار ابتدا از موقعیت چاه‌های آهکی موجود در منطقه استفاده گردید. بدین منظور چاه‌های آهکی منطقه به نقشه حاصله اضافه شده و با موقعیت پتانسیل توسعه کارست مقایسه شدند که نشان داد بیشتر چاه‌های آهکی با آبدهی زیاد در مناطقی

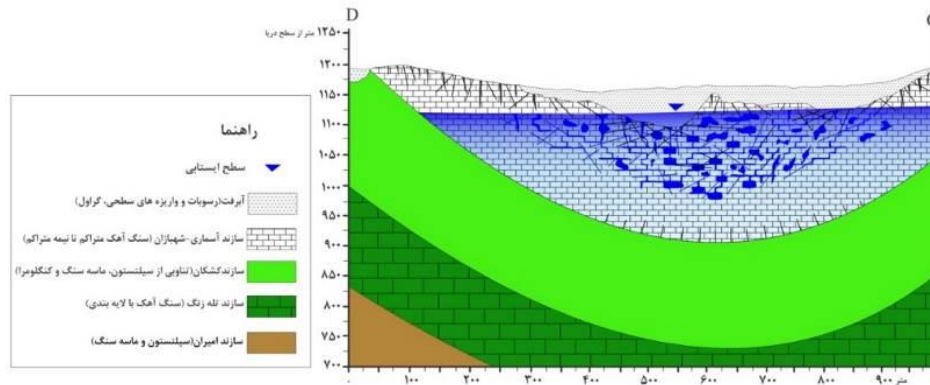


شکل ۱۹ - نقشه صحت سنجی شده پتانسیل آب کارست منطقه جنوب کوهدشت با آبدهی و موقعیت چاه‌های آهکی.

با توجه به مطالعات ژئوالکتریک سطح آب زیرزمینی در نیمرخ‌ها در عمق ۴۰-۵۰ متری قرار دارد. آبخوان کارستی سازند آسماری-شهبازان یک مخزن زیرزمینی ناهمگن است که آب در شبکه‌های مرتبط به هم شکاف‌ها و مجاری جمع شده است. سطح ایستابی در آن یک سطح پیوسته نیست دارای شیب منطقه‌ای و محلی است. البته جهت تفهیم بهتر مدل به صورت یک سطح مستقیم در نیمرخ‌ها ترسیم شده است. سونداژهای مقاومت‌ویژه در محل محور ناودیس در این سازند در عمق زیاد مقاومت بالایی را نشان می‌دهد که این امر حاکی از وجود درزهای طولی (کششی) ناشی از چین خوردگی می‌باشد. این درزه‌ها ممکن است آبدار و یا اینکه خشک باشند. ولی چیزی که با توجه به شواهد می‌توان در مورد آن‌ها استنباط کرد این است که کارست شدگی در آن‌ها گسترش پیدا نکرده به علت اینکه عمق زیاد بوده و پایین‌تر از سطح اساس فرسایش محلی قرار گرفته‌اند و سیستم تغذیه و تخلیه جهت توسعه تشکیل نشده است.

به منظور تهیه مدل مفهومی از زمین‌شناسی لایه‌های زیرسطحی، موقعیت و وضعیت آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه اقدام به تهیه مقاطع زمین‌شناسی با استفاده از اطلاعات سونداژهای مقاومت‌ویژه در تفسیرهای یک بعدی و نیمرخ‌های ژئوالکتریک شده است. با توجه به این که برداشت‌های ژئوفیزیکی منجر به تهیه یک مدل زمین‌شناسی منحصر به فرد نمی‌شوند و تفسیرهای مختلفی ممکن است با داده‌ها تطابق داشته باشند، در اینجا سعی شده از سایر اطلاعات (گمانه‌ها، لاگ چاه‌ها و ...) برای محدود کردن این مدل‌ها و رفع ابهامات موجود استفاده شود. این مقاطع‌ها از نظر زمین‌شناسی در یک موقعیت یکسان بر روی ناودیس منطقه ضرونی قرار گرفته‌اند. در این نیمرخ‌ها سازندهای تله زنگ، کشکان، آسماری-شهبازان، آبرفت و سطح آب زیرزمینی با استفاده از برداشت‌های مقاومت ویژه شناسایی شده است. در عمق‌های زیاد با توجه به پیچیدگی شرایط زمین‌شناسی منطقه بیشتر از اطلاعات ساختاری بهره گرفته شده است (شکل ۲۰).





شکل ۲۰- مقطع‌های زمین‌شناسی D-C و E-F.

منابع و مراجع

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

احمدی، ف.، علیجانی، ف.، ناصری، ح. ر.، ۱۳۹۵، پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی کارستی جنوب کوه‌دشت با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS، هفدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

علیجانی، ف.، ۱۳۹۰، مقایسه کارست شدگی در سازندهای آسماری و ایلام سروک با تأکید بر توموگرافی ژئوالکترونیک (مطالعه موردی: ایذه)، رساله دکتری آب‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی.

محمدی، ز.، رنگزن، ک.، و علیجانی، ف.، ۱۳۸۵، ارائه مدلی جدید DEFLOGIC جهت پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی کارستی در محیط GIS، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

ناصری، ح. ر.، علیجانی، ف.، ۱۳۹۲، تعیین محل حفاری چاه آب در لایه‌های آهکی با شیب برگشته: تاقدیس کمردراز جنوب غرب ایذه، فصلنامه علوم زمین، ۲۳(۸۶): ۱۱۸-۱۰۷.

Alile, O. M., Ujuanbi, O. and Evbuomwan, I. A., 2010, Geoelectric investigation of groundwater in Obaretin Iyanomon Locality, Edostate, Nigeria, geology and mining research. 3: 13-20.

Ashjari, J., and Raesi, E., 2006, Anticline structure influences on regional flow, Zagros, Iran, Journal of Cave and Karst studies. 68(3): 119-127.

Chandra, C. P., 2016, Groundwater Geophysics in Hard Rock, first edition, CRC Press/Balkema, 370p.

Ford, D., & Williams, P., 2007, Karst Hydrogeology and Geomorphology, 562 P. The Atrium, Southern Gate, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در محل محور ناودیس در سازند کربناته آسماری، به علت وجود تراکم بالای شکستگی‌های تکتونیکی پتانسیل آب زیرزمینی کارست بالایی وجود دارد. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه جنوب کوه‌دشت با موقعیت چاه‌های بهره‌برداری و برداشت‌های مقاومت ویژه (VES) صحت سنجی گردید. تطابق نواحی پتانسیل بالا با چاه‌های با آبدهی زیاد و مناطق با مقاومت ویژه پایین در عمق، نشان‌دهنده آن است که نقشه موضوعی ارائه شده از صحت خوبی برخوردار است و می‌توان با قطعیت بالایی از آن جهت تعیین محل‌های مناسب حفر چاه، به منظور استحصال آب‌های کارستی، در منطقه مورد استفاده قرار گیرد، هر چند توصیه می‌گردد که قبل از حفاری مطالعات ژئوالکترونیک به روش مقاومت‌ویژه با آرایه‌های شلمبرژه و دوقطبی - دوقطبی جهت یافتن محل دقیق حفاری صورت گیرد. شکستگی‌ها نمی‌توانند تنها عامل اکتشاف منابع آب در سازندهای سخت باشند، زیرا آن‌ها یک نمایشگر دوبعدی از یک پدیده سه‌بعدی هستند و نقشه کردن آن‌ها بر اساس تصاویر سنجش از دور، اطلاعات واضح و مستقیم چندانی را درباره‌ی عمق، و جهت شیب آن‌ها ارائه نمی‌دهد. بنابراین نیاز است که خطاواره‌ها با دیگر اطلاعات ترکیب شوند تا یک تفسیر صحیح زمین‌شناسی و درک درستی از عملکرد هیدروژئولوژیک آن‌ها امکان‌پذیر گردد. نتایج این تحقیق استفاده تلفیقی از سنجش‌ازدور، GIS، داده‌های هیدروژئولوژیکی و ژئوالکترونیک را در تعیین پتانسیل آب زیرزمینی کارستی به‌خوبی نمایان ساخته است.

- Milanovic, P. T., 1981, Karst Hydrogeology. Water Resources Publications, New York, 434 p.
- Rahmati, O. Pourghasemi. and H. R. Melesse, A. M., 2016, Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: A case study at Mehran Region, Iran, Catena. 137: 360–372.
- Saaty , T., 1980, The Analytic Hierarchy Process, Mc Graw Hill.
- Goldscheider, Nico., 2008, Methods in karst hydrogeology, International Contributions to Hydrogeology, 279 p.
- Singhal, B.B.S., Gupta, R.P., 2010, Applied Hydrogeology of Fractured Rocks, second edition, Springer, 425p.
- Stocklin, J., 1968, Structural History and Tectonics Of Iran, A review .American. Association. Petroleum. Geologist. Bulletin. 55: 1229-1258.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990, Applied Gephysics, 2nd ed, Cambridge University Press.
- Venkateswaran, s., Ayyandurai, R., 2015, Groundwater Potential Zoning in Upper Gadilam River Basin Tamil Nadu, Aquatic Procedia. 4: 1275 – 1282.