

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره نهم، شماره سی و پنجم، بهار ۱۳۹۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۲/۰۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۱۰

صص ۱-۱۳

بررسی تغییرات متفاوت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های کارستی ایذه و لالی، شمال خوزستان، با تأکید بر سنجش از دور

نصرت‌الله کلانتری، استاد هیدروژئولوژی-دانشگاه شهید چمران اهواز

ایمان علیجانی، دانشجوی کارشناسی ارشد آب زیرزمینی-دانشگاه شهید چمران اهواز

فرشاد علیجانی*، استادیار هیدروژئولوژی-دانشگاه شهید بهشتی

حسن دانشیان، دانشجوی دکتری آب زیرزمینی-دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

رخداد خشک‌سالی ده‌ساله از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ باعث رفتار کاملاً متفاوت آب زیرزمینی آبخوان‌های کارستی ایلام - سروک در شمال خوزستان در دو منطقه‌ی ایذه (با افت حدود ۱۲۰ متر) و لالی (با افت حدود ۲۰ متر) شده است. در این مقاله، میزان افت در آبخوان‌های کارستی ایذه و دلیل کاهش آبدهی چاه‌های آهکی آن نسبت به آبخوان لالی، بر اساس رفتار هیدروژئولوژی آن‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است. داده‌های سطح آب زیرزمینی در پنج حلقه چاه آهکی جمع‌آوری گردید و خطاهای مربوط مورد تصحیح قرار گرفتند. هیدروگراف عمق سطح ایستابی چاه‌ها تهیه و افت‌های میانگین سالانه و مجموع روند افت‌ها در دو منطقه‌ی ایذه مورد مقایسه قرار گرفته است. به‌منظور شناسایی دلیل اختلاف فاحش در افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های مورد مطالعه، خطواره‌ها با استفاده از موتور جستجوی تصاویر ماهواره‌ای Bing (تصویر ماهواره‌ای Landsat 8) در محیط ArcGIS استخراج گردید. به‌طور میانگین میزان افت آبخوان‌های کارستی شلویش و تنوش ایذه برابر با ۱۲۹،۱ متر و در تاقدیس گورپی لالی حدود ۱۷ متر در دوره‌ی ده‌ساله خشک‌سالی است. علت اصلی اختلاف رفتار هیدروژئولوژی این دو منطقه‌ی ایذه در لیتولوژی متفاوت سازندهای ایلام و سروک، ضخامت متفاوت لایه‌ها و خاصیت شکنندگی متفاوت این دو سازند در دو منطقه‌ی ایذه است که این باعث ایجاد آبخوان کارستی با پتانسیل خیلی خوب در لالی شده است.

واژگان کلیدی: کارست، خشک‌سالی، سنجش از دور، آب زیرزمینی، خوزستان.

* Email: F_Alijani@sbu.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه‌ی دانشجوی کارشناسی ارشد ایمان علیجانی با عنوان «بررسی خصوصیات هیدروژئوفیزیکی سازند ایلام - سروک در مناطق لالی و ایذه، استان خوزستان»، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز است.

۱- مقدمه

تقریباً ۲۰ درصد سطح زمین به وسیله‌ی سنگ‌های کربناته پوشانده شده است و آب شرب ۲۰ تا ۲۵ درصد جمعیت کره‌ی زمین توسط منابع کارست تأمین می‌شود. واژه‌ی کارست جهت توصیف زمین‌ریخت‌های ویژه‌ای که شامل غار و سیستم‌های آب زیرزمینی وسیع است و به‌ویژه در سنگ‌های انحلال‌پذیر همانند سنگ آهک، مرمر و ژبیس توسعه می‌یابد، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ford & Williams, 2007). با توجه به بحران آب در چند دهه‌ی اخیر، آینده‌نگری در جهت یافتن راه‌حلی برای مقابله با این مسئله‌ی حیاتی، یک امر مهم به شمار می‌آید. تأمین آب از زمین‌های آهکی و سازنده‌های زمین‌شناسی کارستی به علت داشتن کیفیت خوب و حجم بالایی از آب به‌عنوان یک منبع غنی می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با این مسئله باشد.

با کاهش بارندگی در سال‌های اخیر، بروز خشک‌سالی شدت بیش‌تری گرفته و به دنبال آن خیلی از شهرهای ایران از جمله شهرهای لالی و ایذه که در شمال استان خوزستان واقع گردیده، با بحران جدی آب مواجه شده‌اند. در حال حاضر آب زیرزمینی، منبع اصلی تأمین‌کننده‌ی آب این شهرهاست و افت سطح آب زیرزمینی در چاه‌های آهکی این نواحی، علیرغم سازند زمین‌شناسی و شرایط اقلیمی مشابه، بسیار متفاوت است.

تحلیل هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای در ارتباط با بارش در مناطق کارستی و به‌ویژه در ارتباط با داده‌های بلندمدت بارش، مرحله‌ای مهم در مطالعات هیدروژئولوژی کارست است (Kovács et al., 2015: 484; Gabrovšek et al., 2018: 56; Gil-Márquez et al., 2019: 299). افت کم سطح آب زیرزمینی و عدم کاهش آبدهی چشمه‌های کارستی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نمایانگر ناحیه‌ی زهکشی وسیع‌تر از حوضه‌ی رخنمون آهک است. علاوه بر بارش، زمین‌شناسی، توپوگرافی، مساحت ناحیه‌ی تغذیه، ارتباط با آبخوان‌های کارستی و آبرفتی دیگر و بهره‌برداری نیز بر نوسانات سطح آب زیرزمینی در مناطق کارستی مؤثر می‌باشند (Kresic, 2013: 80). نگرش عملکرد گرا که اولین بار توسط مانژین (Mangin, 1975: 5; Marsaud, 1996: 2) برای سیستم‌های کارستی متمرکز به‌کار گرفته شد، بر تحلیل رفتار زمانی آبخوان کارستی تمرکز می‌نماید و نمی‌تواند توزیع مکانی پارامترهای هیدرولیکی را در نظر بگیرد. روش عملکرد گرا نیاز به داده‌های نسبتاً کمی دارد و برای پیش‌بینی مناسب است. عیب این روش آن است که ارتباط بین توزیع پارامترهای هیدرولیکی و نوسانات سطح آب در آبخوان را نشان نمی‌دهد. این روش از دهه‌ی ۷۰ تا ۹۰ میلادی توسط محققین مختلف به‌کار گرفته شد. تحلیل هیدروژئولوژی سیستم‌های کارستی در مناطق مورد مطالعه توسط محققین مختلف (معمارزادیان، ۱۳۹۲: ۵؛ علیجانی، ۱۳۹۰: ۱۴۲؛ شبان، ۱۳۹۰: ۷۹) ارائه شده است. چیت‌سازان و همکاران (۱۳۹۵: ۹۶) به بررسی خصوصیات ژئومورفولوژیکی کارست زاگرس و مقایسه‌ی آن با مناطق آهکی ایران مرکزی پرداختند که نوع و مقدار بارش، میان لایه‌های سنگی غیرکربناته و ضخامت طبقات کربناته را عامل اصلی تفاوت ژئومورفولوژیکی دو منطقه‌ی ایذه دانسته‌اند. کاوسی (۱۳۹۱: ۲) مطالعه‌ی هیدروژئولوژیکی منابع آب زیرزمینی تاقدیس شاپوش-تنوش و کمردراز با تأکید بر تکتونیک منطقه‌ی ایذه پرداختند و نتیجه گرفتند که آبخوان کارستی شاپوش و تنوش در آهک ایلام-سروک برخلاف آبخوان‌های کارستی کمردراز و چال خشک دارای ظرفیت ذخیره‌ی مناسبی نیست.

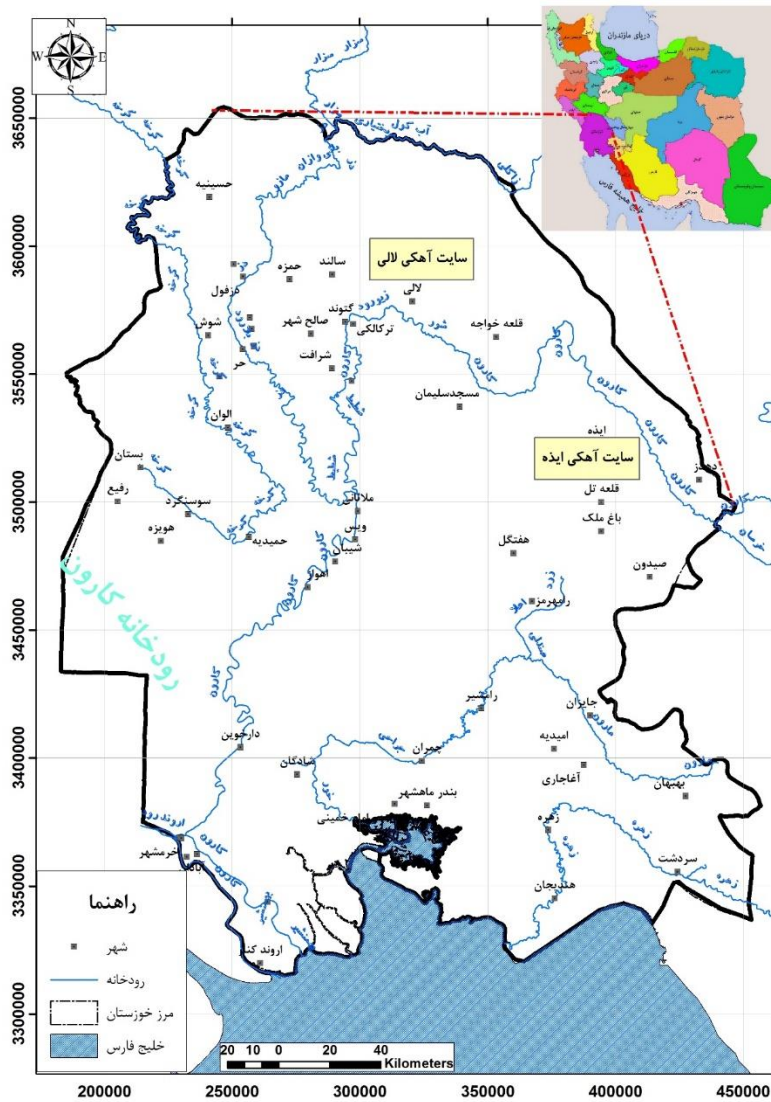
جهت بررسی‌های اولیه در نواحی کارستی می‌بایست از نمایانگرهای سطحی و پارامترهای مؤثر بر کارست‌شدگی استفاده نمود. استخراج این پارامترها در سطح با چشم غیرمسلح ممکن نیست، اما به‌آسانی با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای امکان‌پذیر است. در این راستا می‌توان از توانایی‌های سنجش‌ازدور برای تهیه‌ی داده‌ها، پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه‌ی ایذه و از GIS به‌عنوان ابزاری توانمند در ذخیره، تجزیه تحلیل، بازیابی، به‌روزرسانی و نمایش اطلاعات بهره گرفت. محققین مختلف (Prasad et al., 2008: 468; Rajesh Kumar, 2012: 2276; Venkateswaran and Ayyandurai, 2015: 1275; Rahmati et al, 2016: 361) GIS و RS در کنار اطلاعات دقیق صحرایی می‌تواند نتایج قابل‌اطمینانی در زمینه‌ی آب زیرزمینی کارستی ارائه نماید.

یکی از کاربردهای اصلی سنجش‌ازدور در زمین‌شناسی کارست، استخراج خطواره‌هاست. خطواره عبارت است از؛ یک شکل سطح‌الارضی خطی ساده و یا پیچیده‌ی قابل نقشه‌برداری که قسمتی از آن مستقیم و قسمتی از آن کمی انحنا دارد و به‌طور واضحی با الگوی اشکال پیرامون خود متفاوت است. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود خطواره‌ها معرف شکستگی‌های پوسته می‌باشند؛ بنابراین می‌توان استنباط کرد در مناطقی که خطواره‌ها تراکم بالایی دارند، تراکم شکستگی‌ها نیز زیاد است. این فرض اساس استفاده از خطواره‌ها در اکتشاف آب زیرزمینی به حساب می‌آید؛ چراکه آب زیرزمینی در زون‌های خردشده‌ای که در بسیاری از سنگ‌ها وجود دارد یافت می‌شود (Waters, 1990: 224; Sander, 2006: 72).

چاه‌های آهکی آب شرب ایزه و لالی در این سازندهای آهکی آسماری و ایلام-سروک حفاری شده‌اند. در این میان، چهار حلقه آب شرب در دماغه‌ی تاق‌دیس‌های شاپوش و تنوش ایزه در سال ۱۳۸۵ و سه حلقه چاه آهکی بهره‌برداری برای آب شرب لالی در سال ۱۳۹۶ در یال جنوب غربی تاق‌دیس گورپی در سازند ایلام-سروک حفاری شده است. رخدادهای خشک‌سالی ده‌ساله از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ تأثیر متفاوتی را بر روی آبخوان‌های کارستی ایلام-سروک در دو منطقه‌ی ایزه و لالی داشته است؛ درحالی‌که سطح آب زیرزمینی کارستی در تاق‌دیس‌های ایزه از عمق ۵۰ متری در سال ۱۳۸۶ تا بیش از ۱۷۰ متر در سال ۱۳۹۶ افت داشته، سطح آب کارست سازند ایلام-سروک در لالی از ۸۰ متر در سال ۱۳۸۶ تا حدود ۱۰۰ متر در سال ۱۳۹۶ افت داشته است. از میان ۴ حلقه چاه بهره‌برداری در تاق‌دیس‌های ایزه، دو حلقه چاه تاق‌دیس شاپوش وارد مدار بهره‌برداری نگردیدند و دو حلقه چاه تاق‌دیس تنوش با آبدهی کم‌تر از ۲۰ لیتر در ثانیه مورد بهره‌برداری واقع گردیدند. در منطقه‌ی ایزه لالی و تاق‌دیس گورپی دو حلقه چاه اکتشافی-مشاهده‌ای در تنگ‌های انبار اسبی (پابده) و حتی بالا در سال ۱۳۸۳ توسط سازمان آب و برق خوزستان حفاری گردید. چاه انبار اسبی در سال ۱۳۸۹ توسط شرکت آب و فاضلاب روستایی خوزستان مورد بهره‌برداری واقع شده و از آن موقع با آبدهی حدود ۳۵ لیتر در ثانیه بدون مشکل خاص یا افت قابل توجه پمپاژ گردیده است. با توجه به آنکه تنها منبع تأمین آب شرب منطقه‌ی ایزه و لالی آبخوان‌های کارستی می‌باشند، بر این اساس انجام بررسی نوسانات آب زیرزمینی در پاسخ به دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی جهت انجام تصمیم‌گیری‌های مدیریتی ضروری است. هدف اصلی این مقاله، مقایسه‌ی افت شدید در آهک ایلام-سروک ایزه و کاهش آبدهی چاه‌های آهکی آن نسبت به آهک ایلام-سروک لالی بر اساس خصوصیات هیدروژئولوژی آن‌هاست. در منطقه‌ی ایزه مهم‌ترین مطالعه، تحلیل سیستم‌های کارستی توسط علیجانی (۱۳۹۰: ۱۴۲) انجام گردید. وی با تحلیل سری زمانی نوسانات سطح آب در دو سیستم اصلی کارستی زاگرس (آهک‌های آسماری و ایلام-سروک) در منطقه‌ی ایزه بیان داشت این دو سازند علیرغم قرار گرفتن در منطقه‌ی ایزه تکتونیک و شرایط اقلیمی مشابه، رفتار هیدرودینامیکی متفاوتی به‌واسطه‌ی درجه‌ی کارست‌شدگی و ظرفیت ذخیره‌ی متفاوت نشان می‌دهند.

۲- منطقه‌ی ایزه مورد مطالعه

در این مقاله سازند آهکی ایلام-سروک در دو منطقه‌ی ایزه و لالی در شمال و شمال شرقی استان خوزستان که به فاصله‌ی ۹۰ کیلومتری از همدیگر قرار دارند، مورد بررسی قرار گرفته و به بررسی خصوصیات هیدروژئولوژی و مقایسه‌ی آن‌ها جهت پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی پرداخته شده است. محدوده‌ی ایزه (تاق‌دیس‌های شاپوش و تنوش) با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و به فاصله ۵ کیلومتری جنوب ورودی شهر ایزه قرار گرفته است. محدوده‌ی لالی (تاق‌دیس گورپی) با موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی در تنگ حتی در ۲۰ کیلومتری شمال شهر لالی واقع شده است (شکل ۱). بارش سالانه‌ی میانگین ایزه و لالی بر اساس اطلاعات و آمار سازمان آب و برق خوزستان به ترتیب ۵۵۰ و ۴۶۰ میلی‌متر است.



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی ایذه‌های مورد مطالعه‌ی لالی و ایذه

از لحاظ زمین‌شناسی ناحیه‌ای، مناطق ایذه و لالی بر اساس تقسیم‌بندی اشتوکلین (Stocklin, 1968: 1230) در ناحیه‌ی زاگرس چین‌خورده یا زاگرس خارجی قرار می‌گیرد. دو سازند اصلی کارستی در مناطق شمال خوزستان، آسماری و ایلام-سروک می‌باشند. آهک ضخیم لایه آسماری به لحاظ ایجاد آبخوان کارستی مهم‌ترین سازند خوزستان است و چشمه‌های کارستی اصلی خوزستان با آبدی‌های متغیر از ۲ تا بیش از ۱۵ مترمکعب در ثانیه مانند بی‌بی ترخون لالی، سبزاب سد عباسپور، برم جمال، ابوالفارس، پتک جلالی و تشان از این سازند تخلیه می‌شوند. سازند ایلام شامل لایه‌های آهک نازک‌لایه است که توسعه‌ی کارست در آن چندان زیاد نیست. آهک ضخیم لایه‌ی سروک نیز در مرزهای شمالی استان رخنمون دارد و توسعه‌ی کارست و تشکیل آبخوان‌های کارستی در آن مطلوب است. با توجه به عدم امکان تفکیک سازندهای ایلام و سروک در شمال خوزستان، این دو سازند بر روی نقشه‌ی زمین‌شناسی با نام ایلام-سروک معرفی شده‌اند. باین‌حال رنگ روشن‌تر و لایه‌بندی نازک سازند ایلام که با افقی از آهک نودول داری سیلیسی قرمز رنگ (آهن‌دار) بر روی آهک ضخیم لایه‌ی خاکستر سروک قرار گرفته است در بازدید میدانی می‌تواند تفکیک‌کننده‌ی این دو از یکدیگر باشد. چشمه‌های چال سیاه و دانیال سوسن ایذه، کارتا سلطان ابراهیم، چال شه و

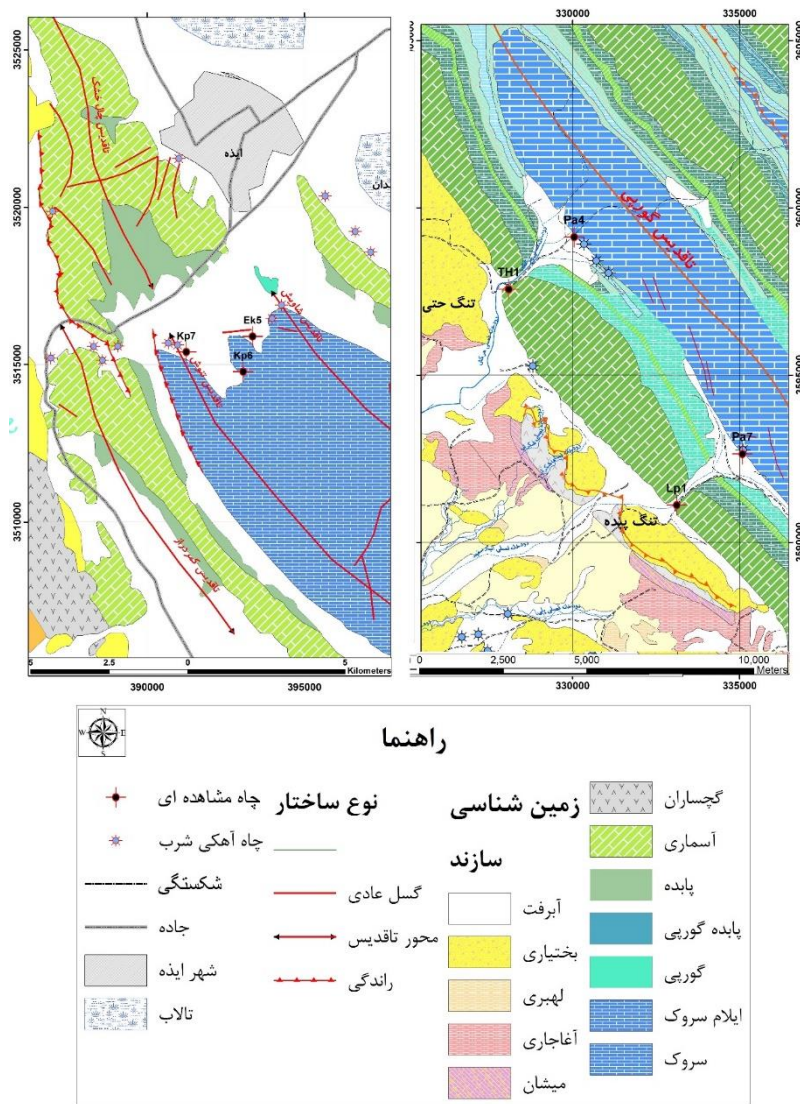
ابراهیم مردون سربازار اندیکا (به‌عنوان بزرگ‌ترین چشمه‌ی کارستی ایران با آبدهی متغیر از ۲۰ تا ۴۰ مترمکعب در ثانیه) از مهم‌ترین چشمه‌های کارستی سازند سروک می‌باشند.

۳- مواد و روش‌ها

جهت درک بهتر تفاوت هیدروژئولوژی بین سازند ایلام-سروک در دو محدوده مطالعاتی ایذه و لالی از داده‌های سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای لالی و ایذه استفاده شده است. داده‌های سطح آب ماهانه موردبررسی قرار گرفت و خطاهای ناشی از اندازه‌گیری، تصحیح شد. سپس این داده‌ها همراه با بارش ماهانه‌ی متناظر وارد نرم‌افزار اکسل گردید و نمودار تغییرات ماهانه‌ی عمق سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای تهیه و افت‌های کلی، سالانه و میانگین آن‌ها مقایسه شد. نقشه‌ی موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در دو سایت ایذه و لالی در شکل ۲ ارائه شده است.

به علت رخداد خشک‌سالی از ابتدای سال ۱۳۸۶ به بعد و افت تراز سطح آب زیرزمینی در چاه‌های آهکی ایذه این داده‌ها در برخی ماه‌های سال برداشت نشده است و چاه مشاهده‌ای به‌عنوان خشک در نظر گرفته شدند. بر این اساس، در ماه‌های با بارش زیاد که احتمالاً سطح آب زیرزمینی قابل‌اندازه‌گیری بوده است، مراجعه به چاه‌ها و چک کردن سطح آب انجام نشده است. در مورد چاه‌های مشاهده‌ای لالی، در کنار چاه‌های اکتشافی Pa4 (حتی بالا) و Pa7 (انبار اسبید) چاه مشاهده‌ای حفاری نگردیده و اندازه‌گیری‌ها در چاه اکتشافی انجام می‌شده است. از آذرماه ۱۳۸۹ چاه Pa7 توسط آبشار خوزستان به‌عنوان چاه آب شرب مورد بهره‌برداری قرار گرفته و دیگر امکان اندازه‌گیری سطح ایستابی از چاه مذکور وجود نداشت. چاه مشاهده‌ای Pa4 نیز از آبان ماه ۱۳۸۹ به دلیلی نامشخص اندازه‌گیری نشده است. داده‌های موجود نیز مورد بازبینی قرار گرفت و شیفت‌های حاصل از تغییر سوند اندازه‌گیری برای آن‌ها مشخص گردید و داده‌ها مورد تصحیح قرار گرفتند.

سپس به‌منظور شناسایی دلیل اختلاف فاحش در افت سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های مورد مطالعه، خطواره‌ها با استفاده از موتور جستجوی تصاویر ماهواره‌ای Bing (تصویر ماهواره‌ای Landsat 8) در محیط ArcGIS استخراج گردید. با توجه به آنکه خطواره‌های منطبق بر شکستگی مهم‌ترین خطواره‌های موردنیاز در این تحقیق بود و با عنایت به آنکه استفاده از فیلترها منجر به استخراج تمام خطواره‌ها از قبیل راه‌ها، آبراهه‌ها و ستیخ‌ها می‌شود؛ بنابراین استخراج خطواره‌ها به‌صورت غیر اتوماتیک و با رقومی سازی در محیط GIS انجام گردید.



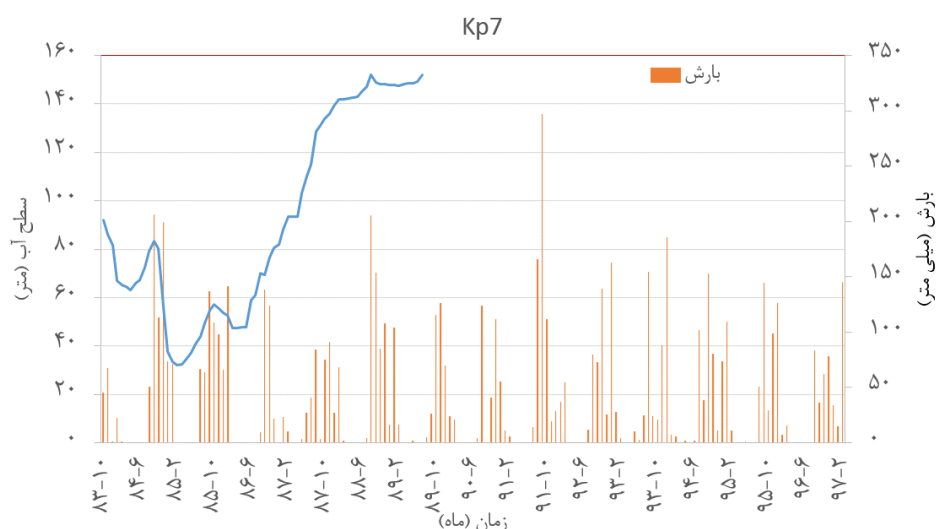
شکل ۲: نقشه‌ی زمین‌شناسی و موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای لالی و ایذه

۴- بحث و نتایج

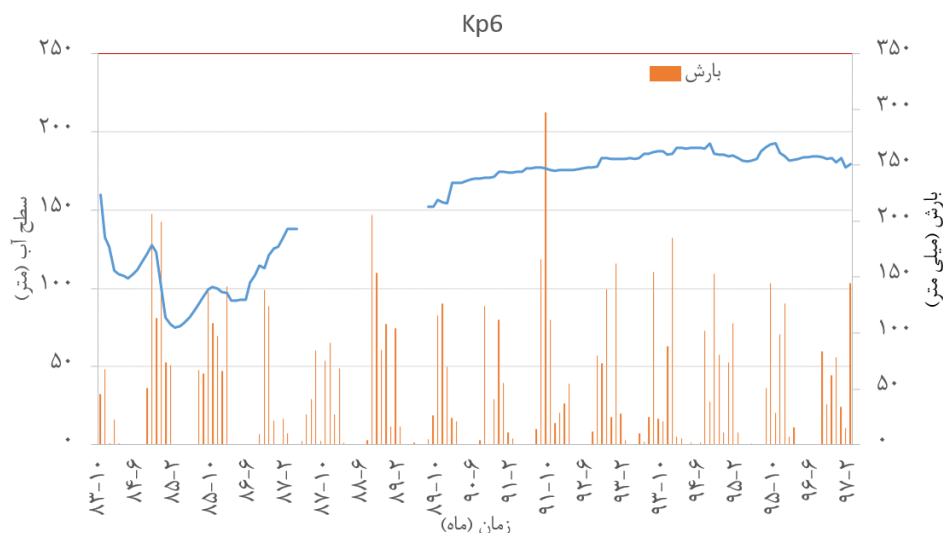
هیدروگراف تغییرات عمق آب سطح آب زیرزمینی در سه حلقه چاه مشاهده‌ای ایذه و دو حلقه چاه مشاهده‌ای لالی در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان داده شده است. هیدروگراف عمق سطح آب زیرزمینی Kp7 (شکل ۳) در دماغه‌ی تاقدیس تنوش ایذه از دی‌ماه سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۹ نمایانگر نوسانات بسیار شدیدی است که در طی سال آبی پر بارش ۱۳۸۵-۱۳۸۴ سطح آب چاه مذکور حدود ۴۷/۵ متر بالا آمده است. در خرداد ۱۳۸۵ کم‌ترین عمق سطح آب زیرزمینی در چاه مذکور ۳۲/۵ متر بوده است. با آغاز دوره‌ی خشک‌سالی از سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۷ سطح آب زیرزمینی چاه مذکور افت شدیدی داشته؛ به‌طوری‌که در انتهای دوره‌ی آماری موجود به حدود ۱۵۲ متر در آبان ماه ۱۳۸۹ رسیده است. به عبارتی؛ در طی چهار سال و سه ماه سطح آب چاه مشاهده‌ای مذکور که نمایانگر آبخوان تنوش است، ۱۲۵/۵ متر افت نشان می‌دهد.

چاه مشاهده‌ای Kp6 که در محل همپوشانی تاقدیس‌های شاپیش و تنوش قرار دارد، به نسبت داده‌های طولانی‌تری دارد. در چاه مذکور حداقل عمق آب زیرزمینی مربوط در اردیبهشت‌ماه ۱۳۸۵ برابر ۷۵ متر است (شکل ۴) و حداکثر عمق سطح آب زیرزمینی در دی‌ماه ۱۳۹۵ و برابر ۱۹۲/۵ متر است. بر این اساس، افت تجمعی ده سال و

هشت ماه در چاه مذکور برابر ۱۱۷/۵ متر است. نکته‌ای که در مورد هیدروگراف سطح آب چاه مشاهده‌ای مذکور جالب به نظر می‌رسد آن است که تا سال ۱۳۹۰ حدود ۸۲ متر افت سطح آب رخ داده و بعد از آن سطح آب تقریباً افت با روند تدریجی را نشان می‌دهد. چاه مشاهده‌ای Ek5 واقع در دماغه‌ی تاقدیس شاپوش الگوی مشابه چاه Kp6 را نشان می‌دهد (شکل ۵)؛ به طوری که سطح آب از عمق ۴۱ متری در تیرماه ۱۳۸۵ تا ۱۹۰ متری در مهرماه سال ۱۳۹۰ حدود ۱۴۹ متر افت را نشان می‌دهد و پس از آن تا سال ۱۳۹۶ در انتهای دوره‌ی افت تدریجی سطح آب تا عمق حدود ۲۰۵ متری رخ داده است.



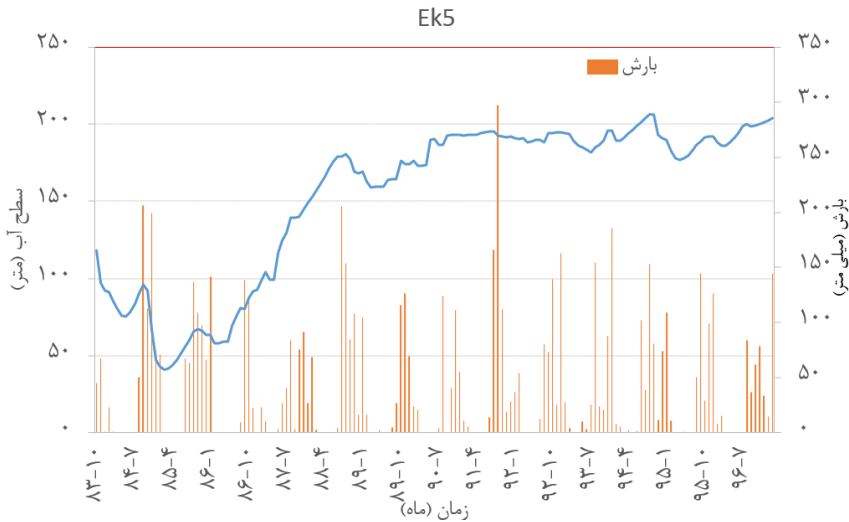
شکل ۳: هیدروگراف عمق سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای Kp7 ایذه واقع در دماغه‌ی تاقدیس تنوش



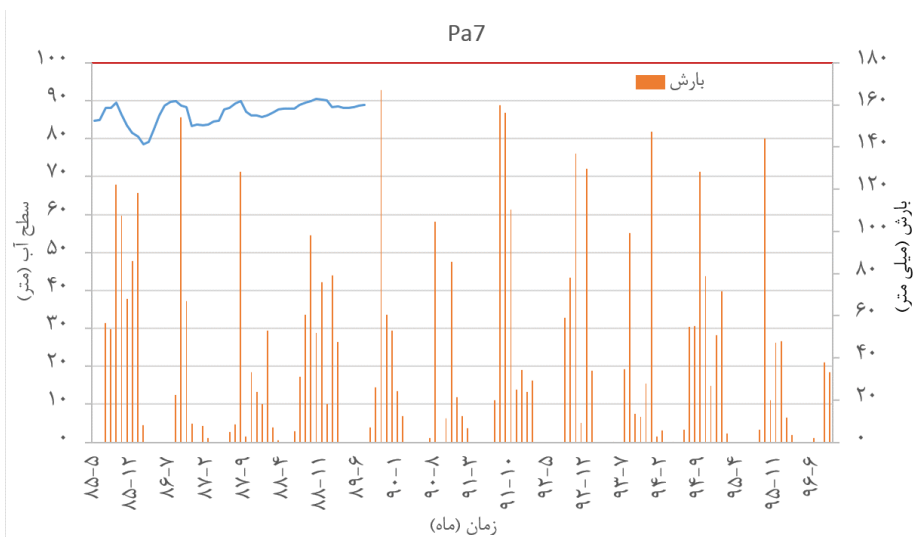
شکل ۴: هیدروگراف عمق سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای Kp6 ایذه واقع در محل تلاقی دماغه‌ی تاقدیس‌های شاپوش و تنوش

چاه مشاهده‌ای Pa7 واقع در تنگ انبار اسبید در یال تاقدیس گورپی از سال ۱۳۸۵ تا مهرماه سال ۱۳۸۹ داده دارد. حداقل عمق سطح آب در این چاه ۸۷/۵ متر مربوط به اردیبهشت ۱۳۸۶ است و بیش‌ترین عمق آب در سال ۱۳۸۹ در انتهای دوره برابر ۹۰ متر است (شکل ۷) که نمایانگر افت ۱۱/۵ متری در دو سال دوره‌ی خشک‌سالی است.

هرچند که داده‌های سطح آب زیرزمینی برای چاه مذکور با توجه به نصب پمپ توسط آبشار استان خوزستان در چاه برداشت نشده است، اما عدم کاهش آبدهی چاه با توجه به عمق نصب پمپ (۱۰۵ متری) نمایانگر آن است که چاه مذکور افت قابل توجهی نداشته است.

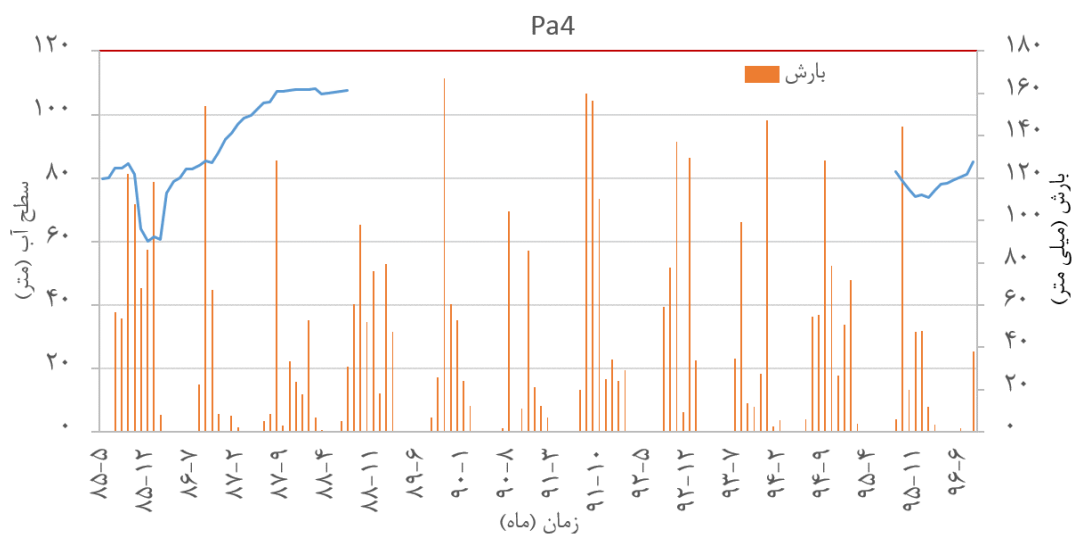


شکل ۵: هیدروگراف عمق سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای Ek5 ایزده واقع در دماغه‌ی تاکدیس شاپوش



شکل ۶: هیدروگراف عمق سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای Pa7 لالی واقع در تنگ انبار اسبید در یال تاکدیس گورپی

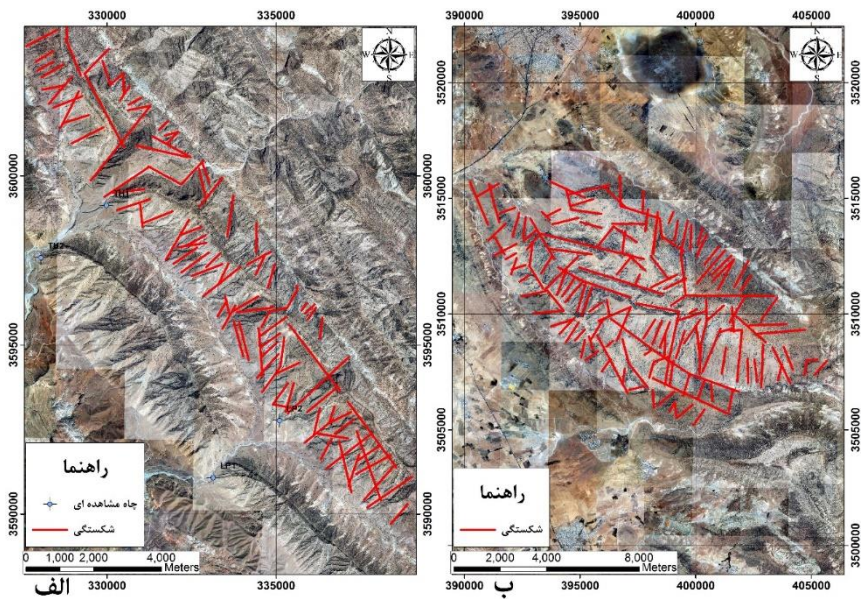
چاه مشاهده‌ای Pa4 واقع در یال تاکدیس گورپی لالی از مرداد سال ۱۳۸۵ تا آبان سال ۱۳۸۸ دارای داده است و پس از آن، داده‌برداری چاه مذکور انجام نشده و سپس از دی‌ماه سال ۱۳۹۵ تا آبان سال ۱۳۹۶ داده‌ی اندازه‌گیری‌شده دارد (شکل ۶). حداقل عمق سطح آب زیرزمینی در چاه مذکور مربوط به اردیبهشت ۱۳۸۶ برابر ۶۰/۸ متر است که سطح آب زیرزمینی این چاه در آبان ۸۷ به ۱۰۷/۲ متر می‌رسد و افتی حدود ۴۶ متری را نشان می‌دهد. بعد از آن، سطح آب بر روی عمق حدود ۱۰۷ متری ثابت می‌ماند. در انتهای دوره در آبان سال ۱۳۹۶ عمق سطح آب ۸۵ متر است که افت ۲۴/۶ متری را نسبت حداقل عمق سطح آب نسبت به اردیبهشت ۱۳۸۶ نشان می‌دهد.



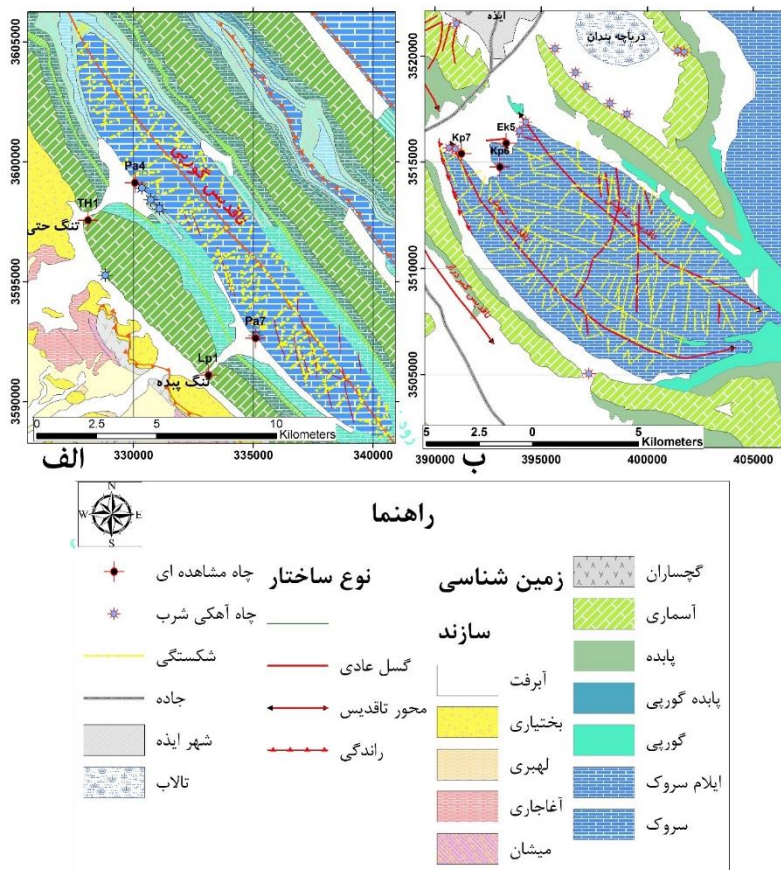
شکل ۷: هیدروگراف عمق سطح آب زیرزمینی چاه مشاهده‌ای Pa4 لالی واقع در تنگ حتی بالا در یال تاق‌دیس گورپی

با جمع‌بندی مربوط به هیدروگراف عمق سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای ایلام-سروک ایذه (تاق‌دیس‌های شاپوش و تنوش) افت نهایی در دوره‌ی آماری در چاه Kp7 برابر با ۱۱۹/۵ متر، در چاه Kp6 برابر با ۱۰۴/۶ متر و در چاه Ek5 برابر ۱۶۳/۲ متر است. به‌طور میانگین میزان افت آبخوان‌های کارستی شاپوش و تنوش ایذه برابر با ۱۲۹/۱ متر است. با توجه به هیدروگراف عمق سطح آب زیرزمینی چاه‌های مشاهده‌ای در لالی (تاق‌دیس گورپی)، میزان افت در دوره‌های آماری Pa4 برابر با ۲۴/۱ متر و در چاه Pa7 برابر ۹/۸ متر است. به‌طور میانگین سطح آب در تاق‌دیس گورپی حدود ۱۷ متر افت داشته است.

شکستگی‌های موجود در سازندهای کارستی منطقه‌ی ایذه (شکل‌های ۸ و ۹) نشان می‌دهند که مورفوتکتونیک در محدوده‌ی لالی حاصل بالآمدگی پی‌سنگ تحت‌تأثیر زون برشی ایذه با روند شمال غرب-جنوب شرق و زون برشی بالارود با روند غربی-شرقی شکل گرفته است. در منطقه‌ی ایذه دو دسته روند اصلی پی‌سنگی، شمالی-جنوبی و شمال شرقی-جنوب غربی استنباط شده و قابل‌تشخیص است؛ در واقع مناطق برشی امتدادلغز می‌باشند. خطواره‌ها و شکستگی‌ها در سراسر منطقه‌ی ایذه‌ی مورد مطالعه در راستای آبراهه‌ها را تحت کنترل خود درآوردند. این پدیده‌ها حتی در آبراهه‌های فرعی و کوچک نیز دیده می‌شوند و نشان از آن دارد که شکستگی‌ها و گسل، نقش مهمی در شکل‌گیری آبراهه‌ها، گسترش انحلال و خردشدگی منطقه‌ی ایذه دارند. گسل‌های متقاطع امتدادی، عرضی و مایل و سیستم‌های پویای درزه و شکستگی بر سطح تاق‌دیس آهکی گورپی نشانگر عملکرد شدید نیروهای تکتونیکی در منطقه‌ی ایذه می‌باشند.



شکل ۸: تصویر ماهواره‌ای شکستگی‌های اصلی پهنه تاقدیس‌های (الف) لالی و (ب) ایذه



شکل ۹: نقشه‌ی شکستگی‌های اصلی استخراج‌شده در تاقدیس‌های (الف) لالی و (ب) ایذه

شکستگی‌های برشی موجود در محدوده‌ی لالی برخلاف شکستگی‌های ایذه، دارای بازشدگی بیش‌تری هستند. شکستگی‌های موجود در یال‌های تاقدیس گورپی که بر محور چین عمودند، شکستگی‌های کششی می‌باشند؛ زیرا هنگامی که طبقات آهکی، در امتداد عمود بر محور تاقدیس تحت‌فشار قرار گرفته و تاقدیس را به وجود آورده‌اند، در

امتداد محور تاقدیس تحت کشش واقع شده‌اند. علاوه بر شکستگی‌های کششی عمود بر محور چین، شکستگی‌هایی نیز به موازات سطح محوری تاقدیس وجود دارند که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان شکستگی‌های رهایی در نظر گرفت. شکل ۹ نقشه‌ی خطواره‌های منطبق با شکستگی‌های اصلی پهنه‌های آهکی ایذه و لالی را که بر اساس تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است، نشان می‌دهد.

به‌طور کلی با جمع‌بندی یافته‌های هیدروژئولوژی و مقایسه شکستگی‌ها در تاقدیس‌های مورد مطالعه می‌توان علت اصلی اختلاف رفتار هیدروژئولوژی این دو منطقه‌ی ایذه را در لیتولوژی متفاوت سازند ایلام-سروک در دو محدوده‌ی یادشده دانست. در محدوده‌ی مطالعاتی ایذه نمی‌توان بین سازندهای ایلام و سروک تفکیک قائل شد و ضخامت سازند ایلام (با قابلیت ذخیره و توسعه‌ی کارست کم) بر روی آهک سروک به نسبت زیاد (احتمالاً ۲۰۰ متر) است. این امر موجب شده که سازند آهکی ایلام در منطقه‌ی ایذه تحت تأثیر نیروهای تکتونیکی به علت نازک لایه بودن خردشدگی کم‌تری پیدا نماید. ولی در محدوده‌ی لالی ضخامت سازند نازک لایه‌ی ایلام به نسبت کم است؛ به‌طوری‌که عملاً دسترسی به سازند سروک در سطح برای حفاری چاه‌ها به‌طور مستقیم امکان‌پذیر است، بنابراین شناخت کنترل ساختارها بر روی یک منطقه‌ی ایذه می‌تواند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل در ساخت مدل تفهیمی مدنظر قرار گیرد (Goldscheider, 2015: 130). عمده‌ترین کنترل ساختاری بر روی آبخوان کارستی به وسیله‌ی جهت‌گیری لایه‌های آهکی تحت تأثیر چین‌خوردگی و گسل خوردگی است. در منطقه‌ی ایذه لالی چاه‌های آهکی در میانه یال تاقدیس حفاری شده‌اند و عملاً تمرکز آب زیرزمینی در این ناحیه است؛ با این حال در محدوده‌ی ایذه، به‌طور معمول حداقل تراز ارتفاعی آهک در دماغه‌ی پلانژدار تاقدیس‌های شاپیش و تنوش رخ داده است و چاه‌ها نیز در این ناحیه حفر شده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

با جمع‌بندی یافته‌های مربوط به تأثیر خشک‌سالی مشخص گردید که به‌طور میانگین میزان افت آبخوان‌های کارستی شاپیش و تنوش ایذه برابر با ۱۲۹/۱ متر و در تاقدیس گورپی لالی حدود ۱۷ متر است. علت اصلی اختلاف رفتار هیدروژئولوژی این دو منطقه‌ی ایذه را می‌توان در لیتولوژی متفاوت سازندهای ایلام و سروک در دو محدوده‌ی مطالعاتی ایذه نمی‌توان بین سازندهای ایلام و سروک تفکیک قائل شد و ضخامت بیش از ۲۰۰ متر سازند ایلام (با قابلیت ذخیره و توسعه‌ی کارست کم) بر روی آهک سروک باعث شده که این سازند با لایه‌های نازک آهک و آهک مارنی دچار شکستگی‌های عمیق نگردد و در نتیجه توسعه‌ی کارست در آن محدود باشد. با این حال، در منطقه‌ی ایذه لالی سازند ایلام در سطح تاقدیس رخنمون ندارد و سازند سروک که از نظر لیتولوژی جهت تشکیل آبخوان مناسب است، در معرض سطح زمین است. سازند سروک به دلیل ضخامت زیاد و خاصیت شکننده بودن، دارای قابلیت توسعه‌ی کارست بالا و در نتیجه تشکیل آبخوان با پتانسیل زیاد در لالی شده است. از سوی دیگر، شکستگی‌های برشی موجود در محدوده‌ی لالی برخلاف شکستگی‌های ایذه، دارای بازشدگی بیش‌تری می‌باشند. شکستگی‌های موجود در یال‌های تاقدیس گورپی که بر محور چین عمود می‌باشند، شکستگی‌های کششی می‌باشند؛ زیرا هنگامی که طبقات آهکی، در امتداد عمود بر محور تاقدیس تحت فشارش قرار گرفته و تاقدیس را به وجود آورده‌اند، در امتداد محور تاقدیس تحت کشش واقع شده‌اند. این شکستگی‌های بازشدگی بیش‌تر امکان نفوذ آب بیش‌تر و توسعه‌ی کارست در آبخوان لالی را بیش‌تر فراهم نموده؛ از این رو آبخوانی با پتانسیل در منطقه‌ی ایذه تشکیل شده است.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت هیدروژئولوژی دو محدوده به دلیل در معرض سطح قرار گرفتن سازند سروک در محدوده‌ی تاقدیس گورپی لالی و ضخامت زیاد لایه ایلام بر روی سازند سروک در تاقدیس‌های شاپیش و تنوش ایذه است. پیشنهاد می‌گردد با انجام بررسی‌های ایزوتوپی و ژئوالکتریک نسبت به تعیین منشأ تغذیه‌ی آب‌های

کارستی در دو محدوده اقدام گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد اثرات بارش بیش از نرمال سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ بر روی بالا آمدن سطح آب چاه‌های آهکی در دو محدوده مورد بررسی قرار گیرد.

۶- منابع

- ۱- کریمی وردنجانی، حسین، چیت‌سازان، منوچهر، چرچی، حاجی کریمی، عباس (۱۳۹۵). بررسی خصوصیات ژئومورفولوژی کارست زاگرس و مقایسه‌ی آن با مناطق آهکی ایران مرکزی، مجله‌ی زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۶ (۱۹)، صص ۹۷-۸۹.
- ۲- شبان، مجتبی (۱۳۹۰). تعیین حوضه‌ی آبریز و منابع تأمین آب چشمه‌ی سبزآب (شمال شرق مسجدسلیمان)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آب‌های زیرزمینی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۳- کاوسی، محمدصادق (۱۳۹۱). مطالعه‌ی هیدروژئولوژیکی منابع آب زیرزمینی تاقدیس‌های شاپوش و کمردراز با تأکید بر تکتونیک منطقه‌ی ایذه، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آب زیرزمینی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۴- علیجانی، فرشاد (۱۳۹۰). مقایسه‌ی کارست‌شدگی در سازندهای آسماری و ایلام سروک با تأکید بر توموگرافی ژئوالکتریک (مطالعه‌ی موردی: ایذه)، رساله‌ی دکتری آب‌شناسی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- ۵- معمارنژادیان، زینب (۱۳۹۲). ارتباط هیدرولیکی دریاچه میانگران با سنگ بستر در پولیه ایذه (خوزستان)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آب‌های زیرزمینی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- 6- Ford, D., & Williams, P., (2007). Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons Ltd.
- 7- Gabrovšek, F., Peric, B., & Kaufmann, G. (2018). Hydraulics of epiphreatic flow of a karst aquifer. *Journal of Hydrology*, 560, 56–74.
- 8- Gil-Márquez, J. M., Andreo, B., & Mudarra, M. (2019). Combining hydrodynamics, hydrochemistry, and environmental isotopes to understand the hydrogeological functioning of evaporite-karst springs. An example from southern Spain. *Journal of Hydrology*, 576, 299-314.
- 9- Goldscheider, N. (2015). Overview of methods applied in karst hydrogeology. In *Karst Aquifers—Characterization and Engineering* (pp. 127-145). Springer, Cham.
- 10- Kovács, A., Perrochet, P., Darabos, E., Lénárt, L., & Szűcs, P. (2015). Well hydrograph analysis for the characterisation of flow dynamics and conduit network geometry in a karst aquifer, Bükk Mountains, Hungary. *Journal of Hydrology*, 530, 484–499.
- 11- Krešić, N., & Mikszewski, A. (2013). *Hydrogeological Conceptual Site Models: Data Analysis and Visualization*. CRC Press.
- 12- Mangin, A. (1975). Contribution a l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Thèse, Institut des Sciences de la Terre de l'Université de Dijon.
- 13- Marsaud, B. (1996). Structure et fonctionnement de la zone noyée des karsts a partir des resultats experimentaux. (Structure and functioning of the saturated zone of karsts from experimental results). Doctorate Thesis Paris XI, Orsay, 305.
- 14- Prasad, R. K., Mondal, N. C., Banerjee, P., Nandakumar, M. V., & Singh, V. S. (2008). Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS. *Environmental geology*, 55(3), 467-475.
- 15- Rahmati, O., Pourghasemi, 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.
- 16- Rajesh Kumar, V. (2012). Remote Sensing and GIS in identification of groundwater potential zones: A study at Thirumullaivasal Village, Nagapattinam District, Tamilnadu, India. *Applied Mechanics and Materials*, 170-173, 2776–2779.
- 17- Sander, P. (2007). Lineaments in groundwater exploration: a review of applications and limitations. *Hydrogeology journal*, 15(1), 71-74.

- 18- Stocklin, J. (1968). Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG bulletin, 52(7), 1229-1258.
- 19- Venkateswaran, S., Ayyandurai, R. (2015). Groundwater potential zoning in upper Gadilam river basin Tamil Nadu. Aquatic Procedia, 4, 1275-1282.
- 20- Waters, P., Greenbaum, D., Smart, P. L., & Osmaston, H. (1990). Applications of remote sensing to groundwater hydrology. Remote Sensing Reviews, 4(2), 223-264.