



Hydrogeological and geo-structural assessment of the Dareh-e-Anari spring in the Shirin Bahar karstic area, Khuzestan province

F. Hamidi zadeh¹, N. Kalantari^{2*},
M. Keshavarzi² and A. Charchi²

Abstract

In the study area Chaleh Monar and Shelar anticlines covered by the Asmari formation (160km²), are heavily affected by tectonic processes. As a result a variety of structural features such as fracture, folding and faulting has been developed. The extensive exposure of carbonate rocks and suitable climatic condition (815 mm annual rainfall) created good conditions for karst phenomena in the Shirin Behar area. The structural study indicated that in addition to large scale faults, local faults have been developed. Besides, the fracture's longitudinal density is more than the lateral density. The aim of this study was to determine hydrogeological characteristics of the Dreh-e-Anari spring with discharge of 2.8 m³/s in Shirin Bahar area. To assess hydrogeological characteristics of the Dreh-e-Anari spring, spring's hydrograph was analyzed. Analyses of the Darah-e-Anari recession curve showed that the dominant flow regime was conduit-diffuse. The catchment area of the spring was estimated to be about 154 km².

Keywords: Limestone, Structural features, Karst, Spring, hydrograph.

Received: June 16, 2010

Accepted: January 18, 2012

بررسی هیدروژئولوژیکی و زمین ساختاری چشمه دره اناری در منطقه کارستی شیرین بهار استان خوزستان

فروغ حمیدی زاده^۱، نصراله کلانتری^{۲*}،
محمد رضا کشاورزی^۲ و عباس چرچی^۲

چکیده

در منطقه شیرین بهار تاقدیس‌های شلار و چاله‌منار با پوشش آهک آسماری (۱۶۰km²) به شدت تحت تأثیر فرآیندهای تکتونیکی قرار گرفته و منجر به توسعه قابل توجه اشکال ساختمانی همچون گسل، درزه و شکستگی شده است. رخنمون وسیع سنگ‌های کربناته، گسترش این ساختارها و ویژگی‌های آب و هوایی مناسب (بارندگی سالانه ۸۱۵mm)، شرایط خوبی را جهت ایجاد پدیده‌های کارستی در منطقه شیرین بهار فراهم کرده است. بررسی‌های ساختاری این منطقه نشان می‌دهد که علاوه بر گسل‌های بزرگ مقیاس، گسل‌های محلی نیز وجود دارد و تراکم درزه‌های طولی بیش از عرضی می‌باشد. در این تحقیق ویژگی‌های ساختاری و خصوصیات هیدروژئولوژیکی چشمه دره اناری با آبدهی حدود ۲/۸ m³/sec در منطقه شیرین بهار مورد بررسی قرار گرفته است. برای شناسایی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی چشمه دره اناری در دوره مطالعاتی از آنالیز هیدروگراف چشمه استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که رژیم جریان غالب آنخوان کارستی چشمه دره اناری، کانالی-انتشاری است و مساحت حوضه آبرگیر این چشمه حدود ۱۵۴ کیلومتر مربع برآورد می‌شود.

کلمات کلیدی: سنگ آهک، سیمای ساختاری، کارست، چشمه، هیدروگراف.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۶ خرداد ۱۳۸۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۸ دی ۱۳۹۰

1- M.Sc. student, hydrogeology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran, Email: f.hamidizadeh@gmail.com

2- Faculty Member, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- عضو هیات علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

توپوگرافی رقومی متوسط ارتفاع این محدوده از سطح دریا حدود ۱۱۰۰ متر محاسبه شد. بر اساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی در مجاور منطقه مورد مطالعه، متوسط بارندگی سالانه برابر ۸۱۵ میلیمتر، درجه حرارت متوسط سالانه برابر ۲۰/۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و متوسط سالانه تبخیر برابر ۲۵۲۳ میلیمتر برآورد گردید.

۲-۲- زمین‌شناسی منطقه

سازندهای زمین‌شناسی که در محدوده مورد مطالعه رخنمون دارند مربوط به کرتاسه فوقانی تا عهد حاضر هستند. این سازندها به ترتیب کاهش سن شامل سازندهای پابده-گورپی، امیران، تله‌زنگ، کشکان، آسماری و نهشته‌های کواترنری می‌باشند. در شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه ارائه شده است. رخنمون سطحی آهک‌های سازند آسماری (با مساحتی حدود ۲۲۷ km^۲) ۷۲ درصد، آهک‌های مارنی پابده-گورپی ۱۳ درصد، نهشته‌های کواترنری و آبرفتی حدود ۵٪ و سایر سازندها جمعاً ۱۰ درصد می‌باشد. رخنمون آهکی آسماری در منطقه، دارای گسترش شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد که از روند ساختمانی منطقه تبعیت می‌کند و با توجه به مقاومت آن بلندی‌ها و ارتفاعات محدوده مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد.

در عین حال آهک آسماری سطح ناودیسی را نیز می‌پوشاند که بین تاقدیس‌های شلار و چاله منار قرار گرفته است و پلزه چاله منار بر روی آن ایجاد شده است. سازند پابده-گورپی با وسعتی حدود ۳۹ کیلومتر مربع در قسمت شمال شرقی و غرب منطقه، همچنین به‌طور پراکنده در نواحی جنوبی منطقه رخنمون دارد. سازند تله زنگ با مساحتی حدود ۲۳ کیلومتر مربع (۷٪ کل منطقه) بر روی سازند پابده گورپی قرار دارد و کنتاکت فوقانی آن آهک آسماری است.

۳- وضعیت تکتونیکی و ساختمانی منطقه

تکتونیک فعال زاگرس چین‌خورده موجب ایجاد ساختارهای متعددی مانند چین‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها در توده‌های سنگی به ویژه سنگ‌های کربناته شده است. تاقدیس‌های شلار (Shealar Anticline) و چاله‌منار (CM Anticline) و ناودیس شلار از ساختارهای اصلی در محدوده شیرین بهار می‌باشند (شکل ۱). تاقدیس شلار با امتداد شمال غرب- جنوب شرق و محوری با طول ۲۳ کیلومتر، تاقدیسی برگشته است که به سمت جنوب شرق پلانژ دارد (صاحب‌دل و همکاران، ۱۳۸۷). این تاقدیس در شرق پلزه چاله منار واقع شده است و به شدت تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته است. تاقدیس چاله منار با روند شمال غرب- جنوب شرق و طول ۱۰ کیلومتر یک تاقدیس پلانژدار (میل به سمت شمال غرب) است که

سازندهای کارستی کربناته در حدود ۱۱٪ (۱۸۵/۰۰۰ Km^۲) وسعت ایران را پوشش می‌دهند و رشته کوه‌های زاگرس ۵۵/۲٪ کل سنگ‌های کربناته کارستی در ایران را شامل می‌شود (Raeisi, 2002). مطالعات جدید کارستی و پیشرفت‌های تازه در حل مسائل مربوط به کارست بیان شده است (White, 2002). همچنین مطالعه ارتباط بین خطواره‌ها و ظرفیت ویژه در نواحی آهکی کارستی‌شده توسط (Tam et al., 2004) انجام شده است. به منظور تعیین سیستم جریان در آبخوان‌های کارستی، داده‌های کمی مورد نیاز و پارامترهای هیدرولیکی و ژئومتری آبخوان از طریق آنالیز هیدروگراف چشمه بررسی شده است (Kovacs et al. 2004). در رابطه با توصیف ساختاری و لیتولوژی آبخوان‌های عمده در سازندهای کارستی درز و شکافدار مطالعاتی نیز انجام شده است (Migiros et al., 2008). هیدروژئولوژی و هیدرودینامیک سیستم کارستی توسط Zojer مورد بحث قرار گرفته است (Zojer, 2008). تعیین حوضه‌های آبگیر چشمه‌های تنگ آتشگاه به روش زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی توسط کریمی و همکاران (۱۳۷۸) صورت گرفته است. مطالعات ساختاری در رابطه با خصوصیات هیدروژئولوژیکی در محیط‌های کارستی نیز انجام شده است (Kalantari, 2002 and Kalantari et al. 2010). محققین دیگری نقش شکستگی‌ها در انتقال آب را در مناطق مختلف کارستی زاگرس و البرز مورد بررسی قرار داده‌اند (محمدی احمد آبادی، ۱۳۷۹ و ریاحی پور، ۱۳۷۹، Stadler et al. 2010، Ronit et al. 2010، Robert, 2009، Michelle et al. 2010، Ronald et al. 2010). همچنین رابطه بین دبی چشمه‌ها و فراوانی شکستگیها در سازندهای مختلف توسط کلاتری و همکاران (۱۳۷۹ و ۱۳۸۵)، نیک پیمان و همکاران (۱۳۸۷) و (Rahnamaei, 2005) مورد بررسی قرار گرفته است. ارتباط آبدی چاه‌های کارستی با بارندگی و زمین‌شناسی و تکتونیکی توسط منشادی و ریسی (۱۳۸۷) مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مطالعه موردی

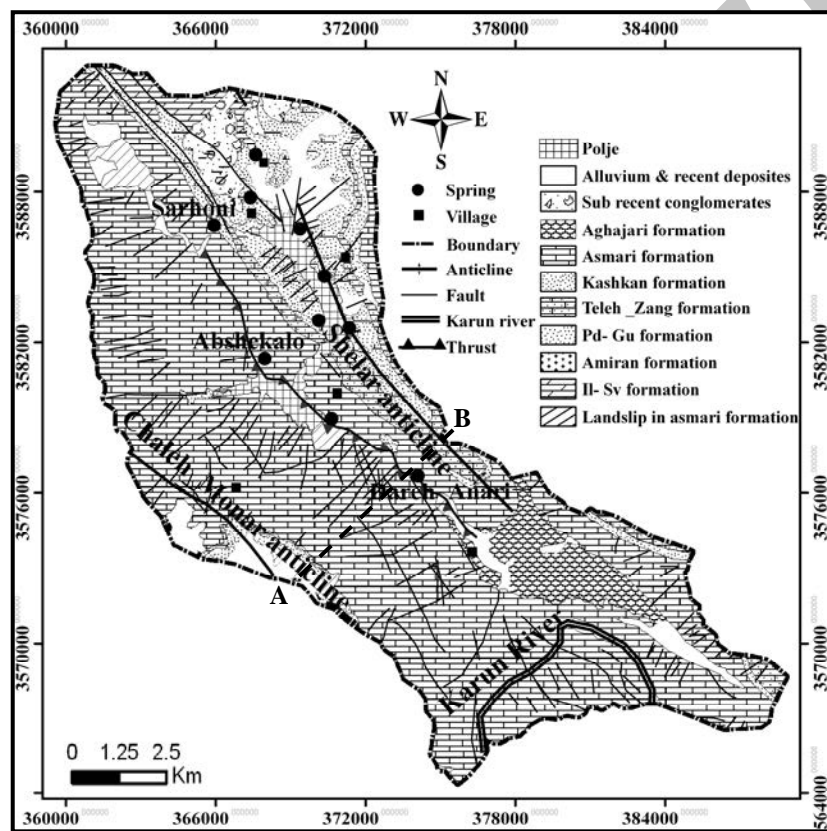
۱-۲- وضعیت عمومی منطقه مورد مطالعه

منطقه شیرین بهار (شیمبار) با مساحت ۳۲۵ کیلومتر مربع در فاصله ۶۵ کیلومتری شهر مسجد سلیمان و در قسمت جنوب غربی ایران، در محدوده عرض جغرافیایی ۱۵°۳۲ تا ۲۵°۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ۳۰°۴۹ تا ۴۵°۴۹ شرقی واقع شده است. از لحاظ تقسیمات کشوری در شمال شرقی استان خوزستان قرار گرفته و جزء حوضه آبریز رودخانه کارون به شمار می‌رود. با استفاده از نقشه‌های

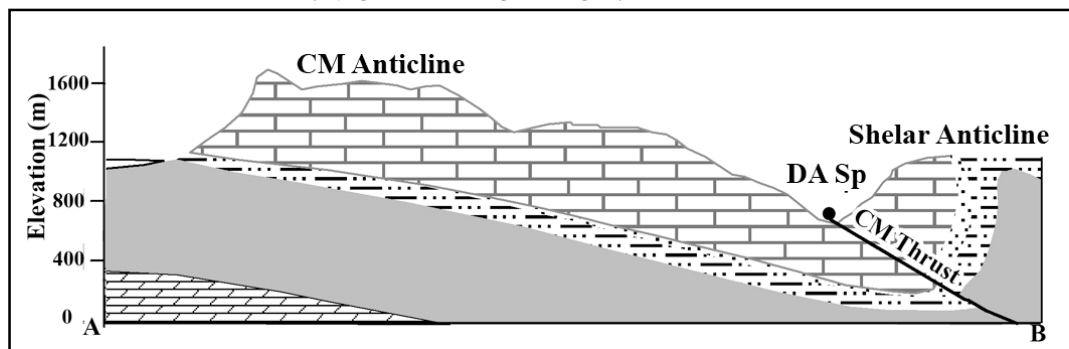
گسل تراستی باعث بالا آمدگی یال برگشته تاقدیس شلار بر روی تاقدیس چاله‌منار شده است. تراست مذکور بر روی سازند آهکی آسماری رخنمون دارد و در انتها به مرز بین سازند آغاچاری و آسماری ختم می‌شود. این تراست از پلزه چاله‌منار گذشته و در تشکیل چشمه‌های دائمی و پر آبی چون دره اناری تاثیر گذار بوده است. گسلها و شکستگی‌های دیگری به وفور در منطقه دیده می‌شود که موجب خرد شدگی لایه‌های آهکی محدوده مورد مطالعه شده است. این چشمه بر روی خط اثر گسل تراستی چاله منار قرار گرفته است که وجود این گسل در تشکیل و آبدهی بالای چشمه نقش به سزایی دارد (شکل ۲).

در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه قرار دارد. در امتداد محور تاقدیس چاله منار سازندهای آسماری، تله‌زنگ، پابده-گورپی و نهشته‌های کواترنری رخنمون دارد. ناودیس شلار در بخش شرقی تاقدیس شلار قرار دارد و سازند آسماری پوشش سطحی آن را تشکیل می‌دهد. شیب یال غربی این ناودیس حدود ۵۰ درجه است و زمین لغزش در سطح قابل توجهی در این قسمت رخ داده است.

مهمترین گسلی که در منطقه شیرین بهار رخنمون دارد گسل تراستی چاله منار می‌باشد (شکل ۱). تراست چاله‌منار به طول حدود ۱۶ کیلومتر با روند شمال غرب- جنوب شرق و شیبی به سمت شمال شرق بین دو تاقدیس شلار و چاله‌منار قرار گرفته است. این



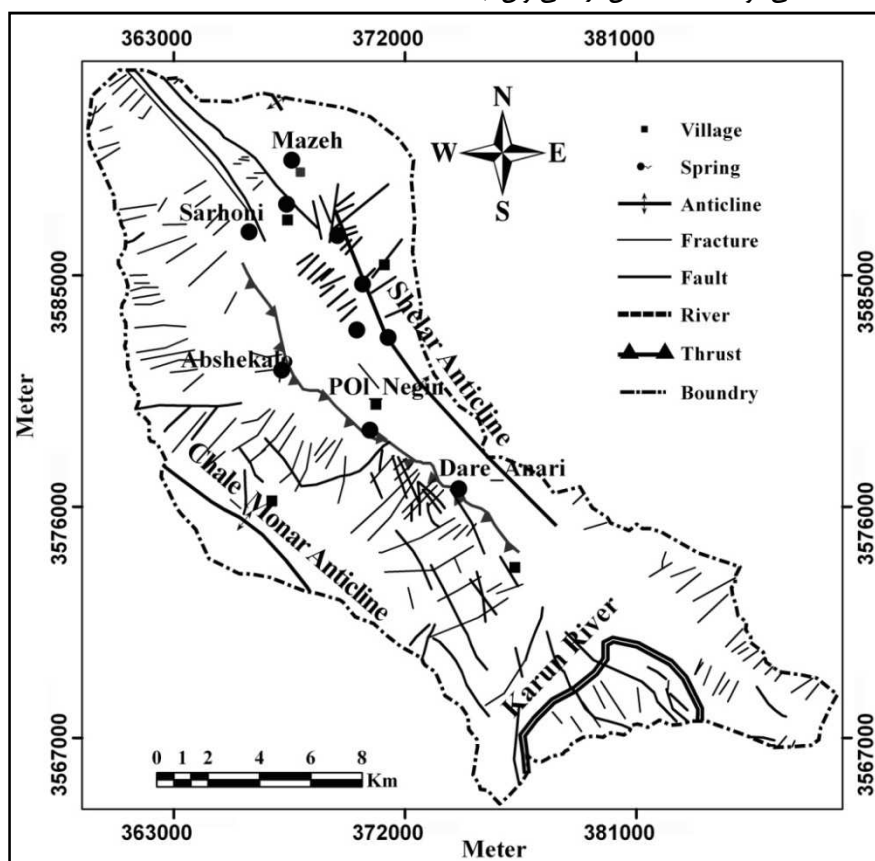
شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه شیرین بهار



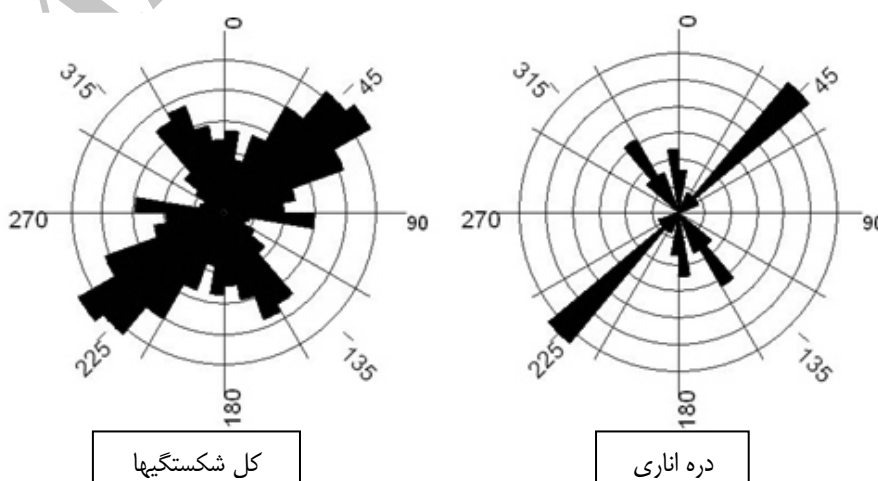
شکل ۲- مقطع زمین شناسی در محل چشمه دره اناری (DA)

مقاومت و سختی زیاد این سازندها خصوصاً آسماری و تله زنگ نسبت داد. سنگهای آهکی بسیار شکننده هستند و هر چه ضخامت آنها بیشتر باشد در اثر فشارهای تکتونیکی سریعتر متلاشی می شوند. با توجه به ضخامت زیاد سازند آهکی آسماری در منطقه مورد مطالعه توسعه زیاد سیستم درز و شکستگی ها را با وجود تکتونیک فعال می توان توجیه نمود.

در شکل ۳ نقشه شکستگی های منطقه شیرین بهار ارائه شده است. با توجه به نقشه شکستگی مشاهده می شود که هر جا خمیدگی در محور چین ها دیده می شود، روند کلی شکستگی ها نیز هماهنگ با آنها دچار انحناء شده است. این موضوع را می توان در شکستگی های مابین تاقدیس های شلار و چاله منار به وضوح مشاهده نمود. بیشترین درزه ها و شکستگی ها در سازندهایی مانند آسماری، ایلام-سروک و تله زنگ مشاهده می شود که علت آن را می توان به



شکل ۳- نقشه شکستگی های منطقه شیرین بهار



شکل ۴- نمودار گلسرخی شکستگی های منطقه و شکستگی های اطراف چشمه دره اناری

همانطور که نمودار گلسرخی شکستگی‌های منطقه نشان می‌دهد، شکل ۴، در منطقه مورد مطالعه، روند شکستگی‌های غالب در جهت شمال‌شرق- جنوب‌غرب است و بیشتر شکستگی‌ها از نوع شکستگی‌های عرضی و کششی هستند و بر محور چین عمودند. این شکستگی‌ها در مناطقی به وجود می‌آیند که در اثر چین‌خوردگی، به موازات محور چین، لایه‌ها دچار کشش می‌شوند و در نتیجه موجب تراوایی بیشتر سازندهای سخت در منطقه شده است که از نظر هیدروژئولوژی حائز اهمیت می‌باشند.

۳-۱- نقش انواع شکستگیها در ارتباط با انتقال و نفوذ آب

در ساختارهای ناودیسی، شکافهای کنشی ایجاد شده برای توسعه کارستی شدن مناسب هستند. درزه‌های عرضی نیز می‌توانند ارتباط هیدروژئولوژیکی مستقیمی را از طریق سنگ‌های خرد شده ایجاد نمایند (Milanovic, 1981). بطور کلی از لحاظ هیدروژئولوژیکی، مهمترین سیستم‌های درز و شکاف آنهاپی هستند که از درزه‌های کنشی تشکیل شده باشند. زیرا این درزه‌ها معمولاً منجر به جدا شدن بلوک‌های سنگی می‌شوند. در منطقه شیرین بهار تنش ماکزیمم تقریباً در امتداد N60E و عمود بر تاقدیس چاله منار قرار دارد که شکستگی‌های طولی را ایجاد کرده است و تنش مینیمم در راستای S35E قرار دارد که باعث تشکیل شکستگی‌های رهایی و درزه‌های عرضی شده است. از آنجا که شکستگی‌های عرضی و کنشی از نظر هیدروژئولوژیکی نقش مهمتری را نسبت به سایر شکستگی‌ها ایفا می‌کنند، می‌توان تأثیر آنها را در جهت‌یابی جریان آب زیر زمینی در منطقه مورد توجه قرار داد.

۳-۲- بررسی شکستگیها در برونزد چشمه دره اناری

چشمه دره اناری در امتداد تراست چاله منار و در منطقه ای با ارتفاع کم نسبت به نواحی اطراف برونزد دارد. همانطور که در نمودار گلسرخی (شکل ۴) مشاهده می‌شود، در اطراف چشمه دره اناری روند غالب شکستگی‌ها در جهت N45E است که این روند حدود ۴۰ درصد از شکستگی‌ها را تشکیل می‌دهد. این نوع شکستگی‌ها عمود بر محورچین بوده و جزء شکستگی‌های عرضی به شمار می‌آیند و نقش بارزی در نفوذ و انتقال آب دارند. شکستگی‌های طولی دارای روند S35E می‌باشند و حدود ۲۳ درصد از کل شکستگی‌ها را در

محدوده چشمه دره اناری تشکیل می‌دهند. این شکستگی‌ها موازی با محور چین هستند و در نفوذ و هدایت آب نقش دارند. با بررسی انجام شده در شعاع معینی از این چشمه مشخص شده است که بیشتر شکستگی‌ها در اطراف این چشمه از نوع شکستگی‌های عرضی می‌باشند و دارای روندی به سمت چشمه بوده که نقش نفوذ و انتقال آب را به چشمه ایفا می‌کنند. از طرفی اغلب این شکستگی‌ها در غرب چشمه و در سازند سخت آسماری ایجاد شده اند، بنابراین قادر به زهکشی آب موجود در این سازند به سمت چشمه می‌باشند. با توجه به وسعت زیاد این سازند و توسعه فرایند تکتونیک در این ناحیه می‌توان آبدهی خوب این چشمه را توجیه نمود.

از طرف دیگر چشمه مذکور در امتداد تراست چاله منار قرار دارد که با توجه به توپوگرافی منطقه و کاهش ارتفاع به سمت این چشمه، این تراست هم نقش انتقال آب را به سمت چشمه ایفا می‌کند. با توجه به وجود گسل تراستی چاله منار و تراکم شکستگی‌ها، انتظار می‌رود که سرعت انتقال آب باید در حوزه آبریز چشمه دره اناری نسبتاً بالا و زمان ماندگاری آب کم باشد.

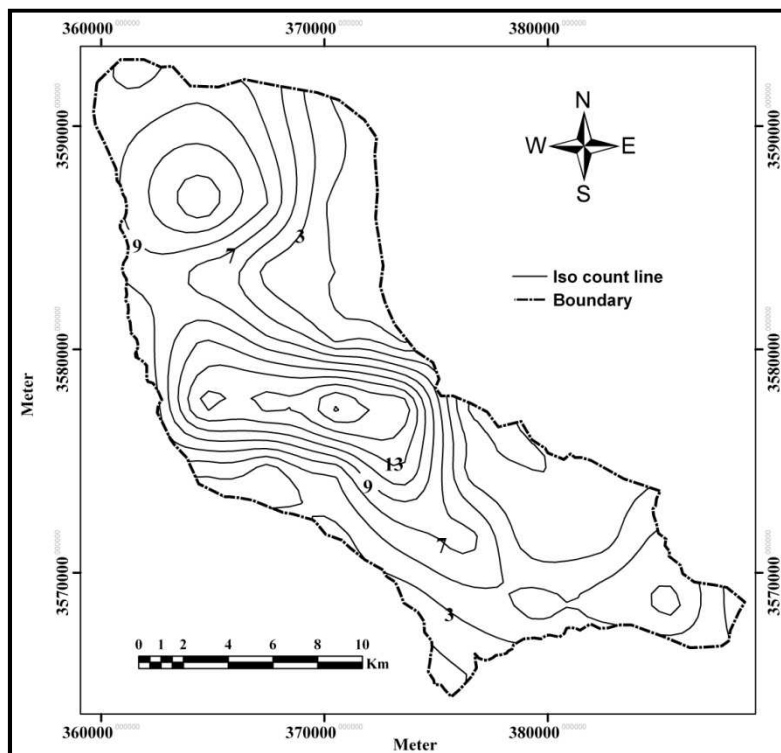
۴- هیدروژئولوژی

۴-۱- مشخصات عمومی چشمه دره اناری

در منطقه شیرین بهار ۱۱ چشمه وجود دارد که چشمه دائمی دره اناری از نظر آبدهی نسبت به سایر چشمه‌ها برتری دارد و این چشمه در ارتفاع حدود ۵۵۰ متری از سطح دریا در آهک آسماری ظهور یافته است، (جدول ۱). چشمه دائمی دره اناری در حد فاصل دو تاقدیس شلار و چاله منار و در مسیر راندگی چاله منار تشکیل شده است. از آنجا که در پایین دست این چشمه باغهای انار ایجاد شده‌اند و این چشمه در یک دره قرار گرفته است، وجه تسمیه این چشمه بر مبنای نام آن می‌باشد. محل ظهور این چشمه در آهک سازند آسماری قرار دارد و از جمله چشمه‌های پر آب کارستی و دائمی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. محل برونزد این چشمه از بیشترین تراکم شکستگی در میان چشمه‌های منطقه مورد مطالعه برخوردار است. نقشه هم تعداد شکستگی نیز این مطلب را تأیید می‌نماید، (شکل ۵).

جدول ۱- مشخصات چشمه دره اناری

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	دبی متوسط (m ³ /sec)	EC (µmho/cm)	TDS (mg/l)	pH	دما (°C)
۳۷۴۰۹۶	۳۵۷۶۷۰۲	۵۴۹	۲/۸۰	۵۰۷	۴۰۰	۷/۰	۱۸



شکل ۵- نقشه هم تعداد شکستگی در منطقه شیرین بهار

ترسیم گردید و میزان آبدهی برای مقادیر قرائت شده اشل به صورت روزانه به دست آمد.

۴-۲- هیدروگراف چشمه دره اناری

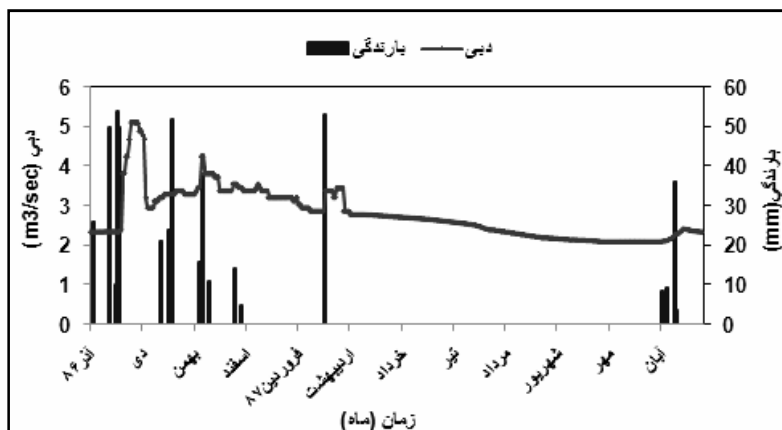
هیدروگراف چشمه امکان کسب اطلاعات مهمی در مورد ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی سیستم آبخوان چشمه را فراهم می‌آورد و با تحلیل صحیح آن می‌توان رفتار سیستم زهکشی حوضه کارستی را بررسی نمود، (شکل ۶).

۴-۲-۱- میزان بارش و افت و خیز هیدروگراف چشمه دره اناری

در اثر بارش‌هایی که از اول آذر تا ۱۷ آذر ماه سال ۱۳۸۶ رخ داده است، اولین پیک در هیدروگراف ایجاد شده است که ظاهراً بزرگ‌ترین پیک در هیدروگراف می‌باشد و دبی ماکزیمم ۵/۱۱ متر مکعب بر ثانیه را نشان می‌دهد. در دی ماه سه بارش در فواصل زمانی چند روزه رخ داده است که از ۱۲ تا ۱۹ دی ماه ادامه داشته است و در مجموع ۲۱ میلی‌متر برف و ۷۶ میلی‌متر باران بوده است. بعد از این بارش‌ها، افزایش دبی در هیدروگراف چشمه ظاهر شده است. در این زمان با توجه به اینکه مجموع دو بارندگی اوایل دی ماه نسبت به بارندگی‌های قبل کمتر بوده است، پیک کوچکتری نسبت

چشمه دره اناری با حداکثر آبدهی ۵ و حداقل ۲/۱۰ متر مکعب در ثانیه (در سال ۸۷-۸۶)، از بیشترین آبدهی در میان چشمه‌های مورد مطالعه برخوردار است. آبدهی متوسط این چشمه در حدود m^3/sec ۲/۸۱ است و تغییرات آبدهی این چشمه در طول سال آبی خود معرف نقش شکستگی‌ها و وجود مجاری انحلالی در سیستم هیدروژئولوژیکی آبخوان آهکی می‌باشد. با توجه به اختلاف ارتفاعی که بین این چشمه با سایر چشمه‌های منطقه وجود دارد، آب جاری حاصل از بارش‌های جوی در بالادست و از جمله در پلزه چاله منار در امتداد تراس چاله‌منار به سمت پایین دست حرکت کرده و به حوضه آبریز چشمه دره اناری وارد می‌شود. برای اندازه‌گیری آبدهی چشمه دره اناری در پایین‌دست این چشمه محل مناسبی برای نصب اشل انتخاب و اقدام به نصب سه اشل به طول یک متر گردید و قرائت اشل به صورت روزانه توسط افراد محلی انجام شد.

جهت اندازه‌گیری آبدهی چشمه در طول سال آبی ۲۰۰۷-۲۰۰۸ عرض رودخانه دره اناری به چندین مقطع ۲ متری تقسیم گردید و برای هر مقطع در چندین دوره سرعت (توسط دستگاه مولینه و بر اساس فرمول تعریف شده برای دستگاه مورد نظر) و عمق آب اندازه‌گیری شد. سپس با توجه به سرعت میانگین در هر مقطع و عمق اندازه‌گیری شده، دبی چشمه محاسبه و نمودار دبی-اشل



شکل ۶- هیدروگراف چشمه دره اناری و میزان بارندگی

افت قابل ملاحظه ای را نشان می‌دهد تا اینکه به تدریج میزان دبی خروجی به دبی پایه رسیده و تغییرات ناچیزی را نشان می‌دهد.

۴-۲-۲- تجزیه و تحلیل بخش نزولی هیدروگراف چشمه دره اناری

از طریق تجزیه و تحلیل هیدروگراف چشمه می‌توان ضرائب فرود و حجم دینامیکی را محاسبه نمود. جهت انجام این محاسبات بخش‌های مختلف منحنی فروکش چشمه دره اناری در دوره محاسباتی تفکیک شده‌اند (شکل ۷). این منحنیها نیمه لگاریتمی می‌باشند و در آنها آبدهی روزانه چشمه با مقیاس لگاریتمی در مقابل زمان ترسیم می‌شوند.

Schoeller (1948) مطابق یک مبنای نظری که توسط Boussinesq (1904) و Mailliet (1905) تهیه شده بود روشی را با استفاده از بخش فروکش هیدروگراف توسعه داد (آغاسی، ۱۳۷۸). روش کمی کار بر اساس شکل عمومی معادله زیر می‌باشد که برای منحنی‌های فروکش هیدروگراف آبخوان هنگامی که جریان ورودی عملاً صفر است، مناسب می‌باشد:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (1)$$

Q_t : آبدهی چشمه در طول دوره $t-t_0$ بر حسب m^3/sec

Q_0 : آبدهی چشمه در زمان t_0 بر حسب m^3/sec

t_0 : زمان شروع محاسبه تخلیه آب از آبخوان

t : زمان پایان دوره محاسبه

α : ضریب فروکش

e : پایه لگاریتم طبیعی

به مورد قبل ایجاد شده است و دبی خروجی در این مرحله از ۲/۸۷ به ۳/۳۹ متر مکعب بر ثانیه افزایش یافته است. این میزان افزایش با توجه به مجموع بارندگی کمتر در این دوره نسبت به دوره بارندگی قبلی قابل توجیه است. در واقع با شروع بارش برف و سپس اولین باران در دی ماه منحنی هیدروگراف به صورت تدریجی روند صعودی را نشان می‌دهد. پس از آخرین بارندگی حدود ۵۲ میلی‌متر در ۱۹ دی ماه، پیک مشخصی در هیدروگراف ظاهر می‌شود و دبی ماکزیمم ۴/۲۵ متر مکعب بر ثانیه را نشان می‌دهد.

در منطقه کوهستانی شیمبار در ماههای بهمن و اسفند علاوه بر بارشهای باران، بارش بصورت برف نیز وجود دارد و نوسانات هیدروگراف متأثر از نفوذ بخش از آب باران و بخش قابل توجهی از آب برف که به تدریج ذوب می‌شود قرار گرفته است. در فصل زمستان امکان ذوب برف کمتر است و در نتیجه تأثیر آن بر روی هیدروگراف کاهش می‌یابد.

در نیمه دوم فروردین ماه بارش برف به میزان ۵۳ میلی متر رخ داده است. با رسیدن جریان ناشی از ذوب برف دبی چشمه به ۳/۹۶ متر مکعب بر ثانیه افزایش یافته است. با توجه به اینکه با شروع فصل بهار و گرم شدن هوا ذوب برفها هم با سرعت بیشتری رخ می‌دهد، بنابراین با زمان تأخیر کمتری نسبت به بارشهای برف قبلی اثر آن بر روی منحنی دیده می‌شود که با شماره ۷ نشان داده می‌شود.

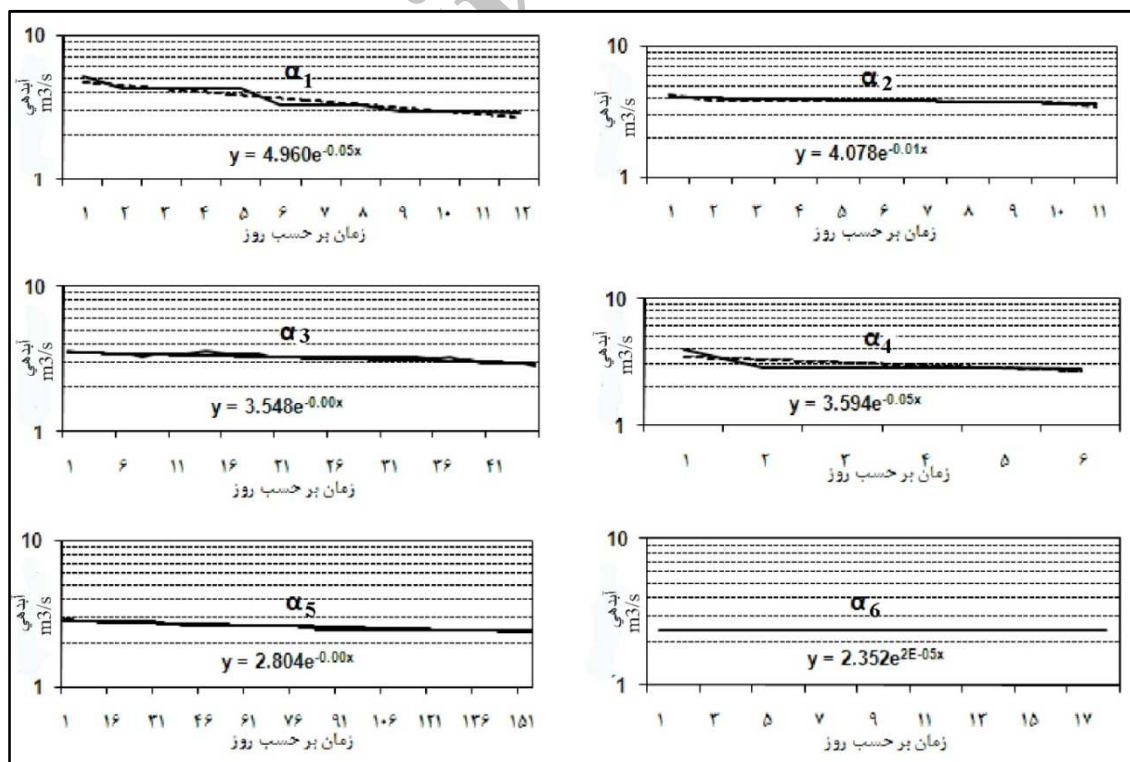
نکته قابل توجه در این هیدروگراف، زمان تأخیر پاسخ چشمه به هر دوره بارندگی می‌باشد که در همه موارد به مدت چند روز پس از هر دوره بارش می‌باشد. در انتهای دوره بارندگی، با متوقف شدن بارش (۲۰ فروردین ماه) که تنها بارش بهاره رخ داده است، هیدروگراف

بارندگی اواسط دی ماه، آب مخزن تخلیه شده را تا حدود زیادی تأمین نموده و بارندگی اوایل بهمن ماه نقطه اوجی در هیدروگراف ایجاد کرده است و در نهایت منجر به تشکیل ضریب افت α_2 شده است. تغییرات دبی در میکرو رژیم α_3 از $3/56$ به $2/79$ متر مکعب بر ثانیه بوده و در طول مدت ۴۵ روز (۲۸ بهمن ماه ۱۳۸۶ تا فروردین ۱۳۸۷) رخ داده است.

با توجه به شیب کم منحنی تخلیه آب بطور آهسته‌تر و در مقایسه با موارد قبلی در مدت زمان طولانی تری اتفاق افتاده است و می‌توان چنین استنباط نمود که ناشی از تخلیه ذخایر موجود در مجاری کوچکتر در سیستم می‌باشد که با سرعت کمتری صورت گرفته است. پس از بارش فروردین ماه، تغییرات مشخصی در دبی چشمه از $3/45$ به $2/79$ متر مکعب بر ثانیه مشاهده می‌شود که در مدت زمان ۶ روز (۳۱ فروردین تا ۵ اردیبهشت ۱۳۸۷) رخ داده و باعث شکل‌گیری میکرو رژیم α_4 شده است. در نتیجه افزایش سطح آب پس از بارندگی فروردین ماه، شیب هیدرولیکی افزایش یافته است. بنابراین سرعت تخلیه آب در این مقطع زمانی بیشتر شده و باعث ایجاد جریان متلاطم می‌شود و نشان دهنده رژیم کانالی جریان می‌باشد. بخش α_5 نشان دهنده تخلیه آهسته چشمه و تغییرات دبی از $2/87$ به $2/44$ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که با شیب بسیار ملایم در شکل ۹ نشان داده شده است.

میکرو رژیم α_1 جریان خروجی از مجاری سیستم‌های کارستی را مشخص می‌کند که در آن رژیم جریان از نوع کانالی است. در این میکرو رژیم، آبدهی از $5/11$ به $2/87$ متر مکعب بر ثانیه در مدت زمان ۱۲ روز (۲۷ آذر تا ۸ دی ماه ۱۳۸۶) کاهش یافته است. این حالت تعیین کننده ذخایر دینامیکی موقت بوده که خیلی سریع تخلیه شده و نشان دهنده توسعه سیستم کانالی می‌باشد و این واقعیت را بیان می‌کند که چشمه نسبت به بارندگی پیوسته و قابل توجهی که در آذر ماه ۱۳۸۶ روی داده است عکس‌العمل نشان داده و حجم زیادی از آب توسط مجاری توسعه یافته کارستی تخلیه شده است. میکرو رژیم α_1 جریان خروجی از مجاری سیستم‌های کارستی را مشخص می‌کند که در آنها جریان متلاطم غالب است و بخش وسیعی از آبخوان کارستی منطقه نیز به صورت موقت فعال می‌شود.

میکرو رژیم α_2 در مدت زمان یازده روزه رخ داده و نشان دهنده تغییر آشکار دبی از $4/25$ به $3/39$ متر مکعب از ۸ بهمن تا ۱۸ بهمن ماه ۱۳۸۶ می‌باشد. در این دوره حجم آب کمتری نسبت به حالت قبل از آبخوان تخلیه شده و این تخلیه با سرعت کمتری صورت پذیرفته است. مقدار کمتر ضریب α_2 نسبت به α_1 بیشتر به خاطر میزان بارندگی کمتر نسبت به بارندگی آذر ماه می‌باشد. بارندگی‌های دی ماه و اوایل بهمن ماه با فاصله نسبتاً زیادی از هم رخ داده‌اند و این بارندگی‌ها قادر به افزایش دبی چشمه نبوده‌اند.



شکل ۷- بخش‌های مختلف منحنی فروکش چشمه دره اناری

تعیین نوع جریان آبخوان کارستی، بر روی آبنمود چشمه دره اناری جریان پایه (Base flow) و جریان سریع (Quick flow) تفکیک شده و مقادیر مربوط به هر کدام در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- جداسازی جریان پایه و جریان سریع در رژیم‌های مختلف جریان چشمه دره اناری

مدت دوره	حجم جریان (10 ³ m ³)			درصد جریان		حدکثر آبدهی (m ³ /Sec)
	جریان پایه	جریان سریع	مجموع	جریان پایه	جریان سریع	
کل دوره	۲۲/۳۲	۱۴/۱۷	۳۶/۴۹	۶۱/۱۶	۳۸/۸۴	۵/۱۱
ریز رژیم α _۱	۳/۷۶	۱/۳۴	۵/۱۰	۷۳/۷۴	۲۶/۲۶	۵/۱۱
ریز رژیم α _۲	۲/۲۳	۱/۱۶	۳/۴۰	۶۵/۷۳	۳۴/۲۷	۴/۲۵
ریز رژیم α _۳	۹/۷۵	۴/۲۵	۱۳/۹۹	۶۹/۶۴	۳۰/۳۶	۳/۵۶
ریز رژیم α _۴	۱/۴۲	۰/۷۴	۲/۱۶	۶۵/۸۸	۳۴/۱۲	۳/۹۶
ریز رژیم α _۵	۳۰/۶۶	۲/۸۰	۳۳/۴۶	۹۱/۶۳	۸/۳۷	۲/۸۷
ریز رژیم α _۶	۳/۶۵	۰	۳/۶۶	۱۰۰	۰	۲/۳۶

از نظر مورفولوژی، آبخوان کارستی چشمه دره اناری، آهک نسبتاً برهنه و در بخش‌هایی با کمی پوشش خاک و به شدت درز و شکاف‌دار است و ضریب تغییرات سختی کل، بیش از ۱۰ درصد می‌باشد. با توجه به جدول ۴، رژیم جریان در آبخوان چشمه دره اناری از نوع مجرای- افشان می‌باشد. در آبدهی کل چشمه دره اناری، سهم جریان سریع از جریان پایه کمتر است، ولی با توجه به اینکه اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین آنها وجود ندارد، نمی‌توان در تعیین رژیم جریان به آن مورد استناد کرد. از طرف دیگر، با توجه به شرایط ساختاری و مورفولوژی محدوده چشمه دره اناری، میزان آبدهی این چشمه و تغییرات زیاد آن باید اذعان داشت که جریان غالب آن از نوع جریان کانالی بوده و بنابراین رژیم جریان مجرای- افشان را برای این چشمه مورد تأیید قرار می‌گیرد.

۴-۴- محاسبه حجم ذخیره دینامیکی آبخوان چشمه دره اناری

حجم آب در آبخوان بطور پیوسته در هر دو توزیع زمانی و مکانی تغییر می‌کند. با توجه به معادله Maillet جریان خروجی آب از یک آبخوان به صورت زیر محاسبه می‌شود:

تغییرات دبی کم به مدت ۱۵۵ روز در این میکرو رژیم بیانگر این موضوع است که در نتیجه کاهش بارندگی سطح تراز آب در آبخوان کارستی پایین‌تر بوده و تخلیه آب با سرعت کمتری صورت گرفته است و نحوه تخلیه مشابه رژیم انتشاری می‌باشد.

۴-۲-۳- محاسبه ضرایب فروکش چشمه دره اناری

ضریب α نشانگر توانایی تخلیه آب زیرزمینی می‌باشد و نتیجه خصوصیات هیدروژئولوژیکی محیط یعنی تخلخل مؤثر و ضریب قابلیت انتقال آبخوان است. هنگامی که تأخیر زیرزمینی زیاد می‌شود (منحنی فروکش با شیب کمتر اما دوره طولانی‌تر)، میزان این ضریب کاهش می‌یابد. در اکثر موارد تخلیه آبخوان کارستی با چندین ضریب تخلیه متفاوت که نشان دهنده رژیم‌های متفاوت تخلیه آبخوان می‌باشند، بدست می‌آید. در هیدروگراف چشمه دره اناری شش رژیم متفاوت تخلیه قابل مشاهده است، شکل ۹. مقادیر محاسبه شده ضرایب فروکش چشمه دره اناری در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۲- ضرایب فروکش چشمه دره اناری و طول مدت تأثیر آنها

سال ۱۳۸۷-۱۳۸۶		
۰/۰۴۸	مقدار ضریب فروکش	α _۱
۱۲	طول دوره (روز)	
۰/۰۲۱	مقدار ضریب فروکش	α _۲
۱۱	طول دوره (روز)	
۰/۰۰۵	مقدار ضریب فروکش	α _۳
۴۵	طول دوره (روز)	
۰/۰۳۵	مقدار ضریب فروکش	α _۴
۶	طول دوره (روز)	
۰/۰۰۱	مقدار ضریب فروکش	α _۵
۱۵۵	طول دوره (روز)	
۰/۰۰۰۲	مقدار ضریب فروکش	α _۶
۱۸	طول دوره (روز)	

۴-۳- بررسی نوع جریان در آبخوان کارستی چشمه دره اناری

White & Schmidt (1966) و White (1969) سیستم جریان آب زیرزمینی را در آبخوان‌های کارستی بر اساس رفتار هیدرولیکی چشمه‌های کارستی به دو نوع افشان و مجرای تقسیم کردند. جهت

جدول ۴- پارامترهای تعیین کننده سیستم جریان در مناطق کارستی (Raeesi, E. et al. 1993)

نوع جریان	مورفولوژی سطحی	ضریب تغییرات سختی کل (درصد)	انحراف معیار درجه حرارت (C°)	نسبت جریان پایه و سریع
مجرای	چاهک، درزه و شکافهای آهک برهنه	رژیم کل و رژیم‌های فرعی بیشتر از ۱۰ درصد	> ۱/۵	قسمت اعظم بده چشمه از جریان سریع
مجرائی - افشان	چاهک، درزه و شکافهای آهک برهنه	رژیم کل بیشتر از ۱۰ درصد و رژیم‌های فرعی کمتر از ۱۰ درصد	< ۱/۵	جریان سریع بیش از جریان پایه
افشان - مجرائی	آهک برهنه و پوشش خاک	رژیم کل بیشتر از ۱۰ درصد و رژیم‌های فرعی کمتر از ۱۰ درصد	< ۱/۵	جریان سریع کمتر از جریان پایه
افشان	آهک برهنه و پوشش خاک	رژیم کل کمتر از ۱۰ درصد	<< ۱/۵	قسمت اعظم بده جریان پایه

گسترده تشکیل شده است، این ضریب تا ۹۰ درصد افزایش می‌یابد. در منطقه مورد مطالعه و در حوالی چشمه دره اناری، علی رغم وجود مورفولوژی کارستی و توسعه درز و شکاف در منطقه، آبروچاله (دولین) در محدوده چشمه دره اناری مشاهده نشد و عمده نفوذ در منطقه از طریق درزه‌ها و شکاف‌ها صورت می‌گیرد که این درزه و شکافها به میزان زیادی در منطقه گسترش دارند. در منطقه مورد مطالعه، جهت محاسبه مساحت حوضه آبرگیر چشمه دره اناری، مقدار متوسط نفوذ برابر با ۵۰ درصد در نظر گرفته شده است.

مقدار متوسط بارندگی سالانه در منطقه از روی داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و با توجه به ارتفاع متوسط منطقه حدود ۸۱۵ میلیمتر برآورد شده است. میزان تخلیه چشمه دره اناری نیز حدود ۷۷ میلیون متر مکعب (از روی دبی روزانه اندازه گیری شده) برآورد شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده و بررسی‌های صحرایی مساحت حوضه آبرگیر چشمه دره اناری ۱۵۴ کیلومتر مربع محاسبه شده است. حوضه آبرگیر چشمه دره اناری برای درصدهای مختلف نفوذ محاسبه شده و در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵- مساحت حوضه آبرگیر چشمه دره اناری برای درصدهای نفوذ مختلف

ضریب نفوذ (%)	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰
مساحت حوضه آبرگیر (Km ²)	۲۵۷	۱۹۳	۱۵۴	۱۲۹

۵- هیدروشیمی چشمه دره اناری

در شکل ۸ نمودار پایپر چشمه دره اناری برای زمان‌های مختلف نمونه برداری ترسیم شده است. بر اساس این نمودار در چشمه دره اناری تواتر یونی (تغییرات یونی) به صورت زیر می‌باشد:

$$V_t = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)} / \alpha \quad (2)$$

α : ضریب تخلیه

$t - t_0$: دوره محاسبه

e : پایه لگاریتم طبیعی

Q_0 : آبدی چشمه در زمان t_0

(۳)

$$V_0 = 864 \cdot (Q_{01} / \alpha_1 + Q_{02} / \alpha_2 + Q_{03} / \alpha_3 + \dots + Q_{0n} / \alpha_n)$$

با توجه به روابط مذکور حجم ذخیره دینامیک آبخوان چشمه دره اناری حدود ۸۰ میلیون متر مکعب محاسبه شده است.

۴-۵- تعیین مساحت حوضه آبرگیر چشمه دره اناری

در این مطالعه به منظور بدست آوردن مساحت حوضه آبرگیر چشمه دره اناری از روش محاسبه ذخیره دینامیک در آهک‌های کارستی استفاده شده است. این روش قبلاً توسط بسیاری از محققین از جمله Karimi et al. (2003) و کریمی (۱۳۸۰) استفاده شده است.

در این روش مساحت حوضه آبرگیر مربوط به هر چشمه با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$V = C I A \quad (4)$$

V : میزان تخلیه سالانه چشمه (m³/year)

C : درصد نفوذ بارندگی و I : متوسط بارندگی (m) و A : مساحت حوضه آبرگیر چشمه (m²)

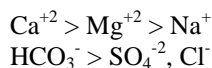
مقدار ضریب نفوذ پذیری به عوامل زیادی از جمله میزان و نوع نزولات جوی، شدت بارندگی، تراکم تعداد و طول درزه‌ها، گسترش و عمق بازشدگی درزه‌ها، حضور دولین‌ها و فروچاله‌ها و ... بستگی دارد. ضریب نفوذ معمولاً در مناطقی که آبروچاله بطور وسیعی وجود ندارد بین ۴۰ تا ۶۰ درصد می‌باشد و در مناطقی که آبروچاله به طور

اغلب شکستگی‌های اطراف چشمه دره‌اناری در غرب چشمه و در سازند سخت آسماری واقعند، بنابراین قادر به زهکشی آب موجود در این سازند به سمت چشمه می‌باشند. با توجه به وسعت زیاد این سازند و توسعه فرایند تکتونیک در این ناحیه می‌توان آبدهی خوب این چشمه را توجیه نمود. از طرف دیگر چشمه مذکور در امتداد تراست چاله منار قرار دارد که با توجه به توپوگرافی منطقه و کاهش ارتفاع به سمت این چشمه، این تراست هم نقش انتقال آب را به سمت چشمه ایفا می‌کند.

چشمه دره اناری از نوع ثقلی بوده و در دسته چشمه‌های دارای منشأ کانالی قرار می‌گیرد. با توجه به نقشه هم تعداد شکستگی، در محل بروز این چشمه بیشترین تراکم شکستگی دیده می‌شود. چشمه دره اناری با حداکثر آبدهی ۵/۱۱ و حداقل ۲ متر مکعب در ثانیه (سال ۸۷-۸۶)، از بیشترین آبدهی در میان چشمه‌های منطقه برخوردار است.

با توجه به هیدروگراف چشمه، ارتباط نزدیکی بین شکل هیدروگراف و میزان و نوع بارندگی وجود دارد. همچنین زمان تأخیر پاسخ چشمه به هر دوره بارندگی، در همه موارد تقریباً یکسان و به مدت چند روز پس از هر دوره بارش می‌باشد.

در هیدروگراف چشمه دره اناری شش رژیم متفاوت تخلیه قابل مشاهده است. میزان حجم ذخیره دینامیک چشمه دره‌اناری حدود ۸۰ میلیون متر مکعب برآورد شده است.

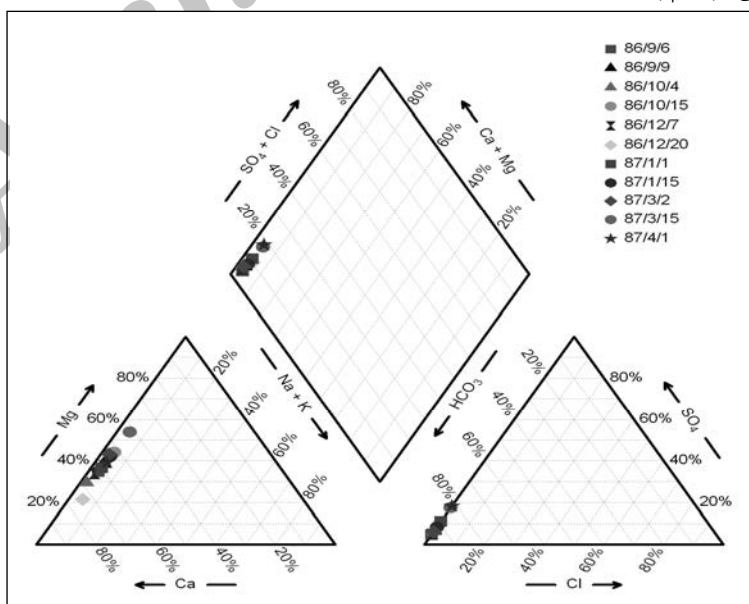


بیکربنات و کلسیم، آنیون و کاتیون غالب در آب چشمه بوده و بالا بودن غلظت این عناصر در ارتباط با طبیعت آهکی و انحلال سنگ آهک آسماری است و در چشمه دره‌اناری نسبت کلسیم و منیزیم با زمان تغییر می‌کند و تکامل یونی از تکامل کاتیونی تبعیت می‌کند. بر اساس نمودار پایپر تیپ آب این چشمه، بیکربناته کلسیک-منیزیک و بیکربناته منیزیک-کلسیک است و چنین تغییراتی در تیپ از روند تغییرات دبی و الگوی جریان در مخزن کارستی پیروی می‌کند. به طوری که در ابتدا که جریان مجرای است و زمان ماندگاری آب در مجاری کم است تیپ آب بیکربناته کلسیک-منیزیک است ولی به تدریج میزان جریان مجرای کم شده و تأخیر آب در آبخوان بیشتر و تیپ آب به سمت بیکربناته منیزیک-کلسیک متمایل می‌شود.

۶- نتیجه گیری

در اطراف چشمه دره‌اناری غالب شکستگی‌ها از نوع شکستگی‌های عرضی با روند N45E می‌باشند و نقش بارزی در نفوذ آب و نیز انتقال آب در جهت عمود بر لایه بندی دارند. شکستگی‌های طولی با روند S35E در نفوذ آب و انتقال آب در امتداد لایه بندی دارند.

با توجه به وجود گسل تراستی چاله منار که از محدوده سرحدی در شمال منطقه تا چشمه دره اناری در جنوب شرق منطقه امتداد دراد نقش مهمی در انتقال آب از بالادست منطقه به این چشمه ایفا کند. لذا انتظار می‌رود که سرعت انتقال آب باید در حوزه آبریز چشمه دره‌اناری زیاد و زمان ماندگاری آب کم باشد.



شکل ۸- نمودار پایپر چشمه دره‌اناری

با توجه به مورفولوژی سطحی، میزان درز و شکاف و نوع پوشش منطقه، تغییرات ضریب سختی کل و سهم جریان سریع در آبدهی کل چشمه، رژیم جریان در آبخوان چشمه دره اناری را می‌توان افشان - مجرایی در نظر گرفت. از طرف دیگر، با توجه به شرایط ساختاری و مورفولوژی محدوده چشمه دره اناری، میزان آبدهی این چشمه و تغییرات زیاد آن باید اذعان داشت که جریان غالب آن از نوع جریان کانالی بوده و بنابراین رژیم جریان مجرایی - افشان را برای این چشمه مورد تأیید قرار می‌گیرد.

مساحت حوضه آبرگیر چشمه دره اناری با احتساب مقدار متوسط نفوذ ۵۰٪ برابر با ۱۵۴ کیلومتر مربع محاسبه شده است.

تیپ آب این چشمه در ابتدا که جریان مجرایی و زمان ماندگاری آب در مجاری کم است بیکربناته کلسیک - منیزیک است ولی به تدریج میزان جریان مجرایی کم شده و تاخیر آب در آبخوان بیشتر و تیپ آب به سمت بیکربناته منیزیک - کلسیک متمایل می‌شود.

۷- تشکر و قدردانی

از مدیریت محترم مطالعات پایه منابع آب (سازمان آب و برق خوزستان) که هزینه اجرای این پژوهش را فراهم نموده‌اند و همچنین از دانشکده علوم زمین - دانشگاه شهید چمران به خاطر همکاری و مساعدت سپاسگزاری می‌شود.

۸- مراجع

آغاسی، ع.، (۱۳۷۸). هیدروژئولوژی کارست. انتشارات طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور.

ریاحی پور، م.، (۱۳۷۹). تعیین خصوصیات سفره آبدار کارستی یال شمالی تاقدیس سالدوران با استفاده از پارامترهای فیزیکیوشیمیایی چشمه پیر غار - فارس، رساله کارشناسی ارشد آبهای زیرزمینی، گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز.

صاحبدل، م.، کلاتری، ن.، حمیدی زاده، ف. و کشاورزی، م.، (۱۳۸۷). بررسی ارتباط بین نوعها شکستگیها و رفتار هیدرولیکی سنگ مخزن چشمه‌های کارستی منطقه شیمبار، شمال شرق استان خوزستان. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۲۷۵-۲۸۱.

کریمی ح.، رئیسی ع. و زارع م. (۱۳۷۸). تعیین حوضه آبرگیر چشمه‌های تنگ آتسگاه به روش زمین شناسی و هیدروژئولوژی، سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

کریمی، ا.، (۱۳۸۰). مطالعه هیدروژئولوژیکی آبخوانهای کارستی تاقدیس پابده - لالی. رساله کارشناسی ارشد آبهای زیر زمینی، گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز.

کلاتری، ن.، کریمی فرد، م. و چرچی، ع. (۱۳۸۵). بررسی اثر شکستگیها بر ظهور چشمه‌های سردشت شهین در استان خوزستان، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین، ۶۲: ۶۲-۷۱.

محمدی احمد آبادی، ر.، (۱۳۷۹). بررسی پدیده‌های کارستی منطقه بهشهر با استفاده از ردیابی و هیدروشیمی، پایان نامه کارشناسی ارشد آبهای زیرزمینی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

محمدی احمد آبادی، و کلاتری، ن.، (۱۳۷۹). بررسی هیدروشیمیایی منابع آب ارتفاعات جنوب بهشهر و ارتباط آن با توسعه کارست در منطقه. چهارمین انجمن زمین شناسی ایران - دانشگاه تبریز، ص ۷۰-۶۷.

منشادی، م. و ریسی، ع.، (۱۳۸۷). بررسی اثر بارندگی بر آبدهی چاههای سازندهای کارستی زاگرس. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۲۶۰-۲۵۱. نیک پیمان، ی.، کریمی، غ.، امید، پ.، (۱۳۸۷). چشمه قلقل دامغان به عنوان یک چشمه کاملاً افشان. مجموعه مقالات دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۸۸۶-۸۸۶.

Boussinesq, J., (1904). Recherches théoriques sur l'écoulement des nappes d'eau infiltrées dans le sol et sur le débit des sources. *J. Math. Pure Appl.*No 10. pp. 5-78.

Kalantari N, Keshavarzi M.R, Hamidzadeh. F and Sahebdel M., (2010). Characteristics of heterogeneous Shimbar karstic systems in southwest Iran. *Advances in Research in Karst Media, Environmental Earth Sciences*, pp. 69-74.

Kalantari.N., 2002. Groundwater Tracing in The Poshte-e- Naz Karstic area in northern Iran, evolution of Karst Conference Postojna, Slovenia, pp. 179-183.

Karimi, H., Raeisi, E., Zare, M., (2003). Hydrodynamic behavior of the gilán karst spring, west of Zagros, Iran, *Cave and Karst Science*, 30 (1), pp. 5-22.

Kovacs, A., Perrochet, p., Kiraly, L.,and Jeannin, p., (2004). A quantitative method for the characterization of karst aquifers based on spring

- from regional flow systems of carbonate-rock province of Great basin, western United States, *Hydrogeology Journal*, 18, pp. 1007-1026.
- Ronit, B.A., Tamir, G., Amos, F., (2010). Characterization of the hydrogeology of the sacred Gilon springs, Jerusalem, *Hydrogeology Journal*, 18, pp. 1465-1479.
- Stadler, S., Osenbrick, K., Suckow, A.O., Himmelsbach, T., Hotzl, H., (2010). Groundwater flow regime, recharge and regional-scale solute transport in the semi-arid Kalahari of Botswana derived from isotope hydrology and hydrochemistry, *Journal of hydrology*, 388, pp. 291-303.
- Schoeller, H., (1948). Le régime hydrogéologique des calcaires éocènes du Synclinal du Dyr el Kef (Tunisie). *Bull. Soc. Geol. Fr.* 5 (18), pp. 167-180.
- Tam, V.T., De Smedt, F., Batelaan, O., Dassargues, A., (2004). Study on The relationship between linements and borehole specific capacity in a fractured and karstified limestone area in Vietnam, *Hydrogeology Journal*, 12, pp. 662-673.
- White, W. B. & Schmidt, VA, (1966). Hydrology of a Karst area in east central West Virginia. *Water Resources Research*, 2, pp. 549-560.
- White, W. B., (1969). Conceptual models for carbonate aquifers, *Ground water*, 7, 3, pp. 15-21.
- White, W. B., (2002). Karst Hydrology: recent developments and open questions, *Engineering Geology*, 65(2002), pp. 85-105.
- Zojer, H., (2008). Karst Hydrogeology and Hydrodynamics. *Proceeding of 8th International Hydrogeological Congress of Greece*, Athens, I, pp.191-196.
- hydrograph analysis, *Journal of Hydrology*, 303, pp. 152-164.
- Maillet, E., (1905). *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Librairie Sci., A. Hermann, Paris, 218 p.
- Michelle, B., Stephen, T.N., David, T., Dennis, E., (2010). Regional groundwater flow in structurally-complex extended terrenes: An evaluation of sources of discharge at ash Meadows, Nevada. *Journal of hydrology*, 386, pp. 118-129.
- Migiros, G., Stournaras, G., Stamatis, G., Evelpidou, N., Botsialas, C., Antoniou, V., and Vassilakis, E., (2008). Geological and tectonic study of the fissured rocks of the Hellenides and their Hydrogeological pattern, Athens, 1, pp. 67-94.
- Milanovic, P. T., (1981). *Karst hydrogeology*, Water Resources publications, 434 p.
- Raeisi, E., (2002). Carbonate karst caves in Iran. In: Kranjc A (Ed) *Evolution of Karst: from prekarst to cessation*. Ljubljana-postojna, pp. 339 – 344.
- Raeisi, E., Pezeshkpoor, P., and Moore, f., (1993). characteristics of Karst aquifer as indicated by temporal changes of the springs physicochemical parameters, *Iranian Journal of science & technology*, 17, pp. 17-28.
- Rahnemai, M., (2005). Application of spectral analysis of daily water level & spring discharge hydrographs data for comparing physical characteristics of karstic aquifers. *Jornal of hydrology*, 311, pp. 106-116.
- Robert, M.D., (2009). Structural geology controls on groundwater flow: Lambang fault case study, west java, Indonesia, *Hydrogeology Journal*, no 10, pp. 1007-1040.
- Ronad, L.H., Stev, A.M; and Sam, E., (2010). Chemical and physical characteristics of spring discharging