

شناسایی پهنه آبخوان تحت فشار و نقش آن در شکل‌گیری فرونشست زمین در دشت هشتگرد

امیر شمشکی^۱، یوسف محمدی^۱ و محمد جواد بلورچی^۱

گروه مخاطرات، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۸/۲۰

چکیده

روش تداخل سنجی ماهواره‌ای امواج رادار (InSAR) نشان می‌دهد که در پهنه‌ای گسترده از دشت هشتگرد در استان تهران با موقعیت جغرافیایی $35^{\circ} 47' 45''$ تا $36^{\circ} 03' 05''$ عرض شمالی و $50^{\circ} 29' 05''$ تا $50^{\circ} 54' 28''$ طول خاوری، فرونشست زمین با نرخ بیشینه ۱۶ و نرخ متوسط ۸/۴ سانتی‌متر بر سال شکل گرفته است. به‌طور کلی آبخوان اصلی دشت از رسوبات آبرفتی سازند کهریزک و تهران با نفوذپذیری زیاد تشکیل شده است که قابلیت هدایت هیدرولیکی بالایی دارند. سازند کهریزک شامل شن، ماسه و سیلت است و به‌طور پراکنده در شمال دشت دیده می‌شود. سازند تهران در مخروط افکنه، از قله‌سنگ، شن، ماسه و رس تشکیل شده است و به‌سوی مرکز و جنوب دشت، بر مقدار مواد دانه‌ریز آن افزوده می‌شود. فرونشست زمین فقط در پهنه سازند آبرفتی تهران شکل گرفته است و در پهنه سازند کهریزک مشاهده نمی‌شود. با استفاده از داده‌های ژئوالکترونیک و نگاشت چاه‌های اکتشافی و بهره‌برداری، یک پهنه آبخوان تحت فشار تا نیمه تحت فشار در زیر یک آبخوان آزاد در جنوب و باختر دشت تشخیص داده شده است که همخوانی بسیار زیادی با پهنه فرونشست دارد. کل آب‌های نفوذ یافته از سطح دشت به‌طور معمول فقط صرف تغذیه آبخوان آزاد بالایی می‌شود. بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان تحت فشار و آبخوان آزاد شمال دشت که تنها منبع اصلی تغذیه آبخوان تحت فشار است، موجب شکل‌گیری فرونشست زمین در این منطقه شده است. برای اعمال برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب برای کاهش و یا توقف نرخ فرونشست زمین در این دشت، این سازوکار باید مورد توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: دشت هشتگرد، فرونشست زمین، روش InSAR، آبخوان تحت فشار.

*نویسنده مسئول: امیر شمشکی

E-mail: shemshaki2000@yahoo.com

۱- مقدمه

پالئوزوئیک تا اوایل پالئوژن شامل سازندهای روته، الیکا و دلیچای است. این سازندها به‌طور چیره کربناتی هستند و خاصیت هدایت هیدرولیکی بالایی ندارند. (پ) سازندهای با نفوذپذیری متوسط: این گروه به‌طور چیره شامل سازند آبرفتی هزار دره (Q1) و تا حدودی رسوبات نئوژن است. سازند هزار دره در واقع پادگانه‌های آبرفتی دوران چهارم است که در حاشیه بلندی‌ها قرار دارد و از قله‌سنگ و شن با سیمان ضعیف سیلتی-رسی تشکیل شده است.

این سازند به‌علت داشتن خلل و فرج اندک و نفوذپذیری کم، تغذیه جانبی آبخوان را کاهش می‌دهد. برونزد سازند هزار دره به‌طور پراکنده در نواحی شمالی دشت بویژه در شمال هشتگرد نمایان است. این سازند در جنوب منطقه و در حاشیه بلندی‌های حلقه در به‌طور دگر شیب روی سازند میوسن قرار گرفته است.

(ت) سازندهای با نفوذپذیری زیاد تا خیلی زیاد: این گروه شامل رسوبات آبرفتی جوان و آبرفت رودخانه‌ای است. به‌طور کلی آبخوان اصلی دشت از رسوبات با نفوذپذیری زیاد تشکیل شده است که قابلیت هدایت هیدرولیکی بالایی دارند. سه سازند این گروه به شرح زیر هستند:

(الف) آبرفت‌های کهریزک (Q2): پادگانه‌های آبرفتی جوان کهریزک که در ارتفاع پایین و در حد فاصل میان دشت و پادگانه‌های آبرفتی کهن (Q1) قرار گرفته‌اند، شامل شن، ماسه و سیلت هستند. این سازند جزو بخش بالایی رسوبات پلیو-پلیستوسن است. طبقات آن تیره‌تر، ناهمگن‌تر و نفوذپذیرتر از سازند آبرفتی هزار دره هستند. سازند کهریزک به‌طور پراکنده در نواحی شمالی دشت دیده می‌شود.

(ب) آبرفت‌های تهران: این سازند به‌علت گسترش و ستبرای قابل توجه و نفوذپذیری زیاد، آبخوان اصلی دشت را تشکیل می‌دهد. سازند آبرفتی تهران به‌احتمال، با حمل مواد توسط رودخانه‌ها و سیلاب‌ها نهشته شده است. این رسوبات در مخروط‌افکنه از قله‌سنگ، شن، ماسه و رس تشکیل شده‌اند و به‌سوی مرکز و جنوب دشت، بر مقدار مواد دانه‌ریز آن افزوده می‌شود.

دشت هشتگرد از دیدگاه تقسیمات کشوری در محدوده شهرستان ساوجبلاغ در استان تهران قرار دارد. این دشت از شمال به بلندی‌های طالقان، از جنوب به بلندی‌های حلقه در، از باختر به دشت نظرآباد و از خاور به رودخانه کردان محدود می‌شود. این منطقه در عرض جغرافیایی $35^{\circ} 47' 45''$ تا $36^{\circ} 03' 05''$ شمالی و طول جغرافیایی $50^{\circ} 29' 05''$ تا $50^{\circ} 54' 28''$ خاوری قرار گرفته است.

آب‌وهوای منطقه در بخش‌های شمالی، نیمه مرطوب است و به تدریج به سوی جنوب دشت، با کاهش ارتفاع، به نیمه خشک تبدیل می‌شود.

بررسی‌های جدید در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با استفاده از روش تداخل سنجی ماهواره‌ای امواج رادار (InSAR)، نشان داده است که در پهنه‌ای گسترده از این دشت، فرونشست زمین با نرخ بیشینه ۱۶ و نرخ میانگین ۸/۴ سانتی‌متر بر سال (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۶) شکل گرفته است (شکل ۱). چگونگی و میزان تأثیر عوامل مختلف بویژه عوامل زمین‌شناختی در شکل‌گیری پدیده فرونشست زمین در محدوده دشت هشتگرد، از جمله هدف‌های این پژوهش بوده است. نتیجه به‌دست آمده، تهیه مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی روند پیشرفت و اعمال مدیریت مناسب برای کنترل یا توقف این پدیده را امکان‌پذیر می‌کند.

۲- زمین‌شناسی

ویژگی‌های مختلف آبخوان‌ها ارتباط زیادی با تشکیلات و ساختارهای زمین‌شناختی دارد. بنابراین، بررسی‌های زمین‌شناسی منطقه برای شناخت این ویژگی‌ها ضروری است. به‌طور کلی از دیدگاه هدایت هیدرولیکی، سازندهای زمین‌شناسی این محدوده به ۴ گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

(الف) سازندهای با نفوذپذیری بسیار کم: این گروه شامل سازندهایی تشکیل یافته از رسوبات کهن و بسیار دانه ریز شیل، لای‌سنگ و ماسه‌سنگ همچون سازندهای باروت، زاگون، دورود و شمشک است.

(ب) سازندهای با نفوذپذیری کم: این گروه شامل سازندهای مربوط به اواخر

ریزدانه در این سو به حدی است که در اواسط دشت، عدسی‌های رسی پدیدار می‌شوند (چاه اکتشافی چهاردانگه). گزارش حفاری چاه اکتشافی چهاردانگه نشان می‌دهد که عدسی‌های رسی در این منطقه ایجاد آبخوان تحت فشار نکرده است.

برش شماره ۲: این برش که به‌طور تقریبی روند شمالی - جنوبی دارد، از ابتدای ورودی رودخانه کردان به دشت هشتگرد شروع می‌شود و تا تاقدیس جنوبی دشت ادامه دارد. در ابتدای برش، حوالی سونداژهای ۳۴۱ و ۳۴۲، ستبرای آبرفت جوان در حدود ۱۲۰ متر است. بر اساس مطالعات ژئوفیزیک و زمین‌شناسی منطقه به‌نظر می‌رسد که ستبرای چشمگیری از آبرفت‌های کهن با ترکیب شن و ماسه همراه با سیمان ضعیف رسی و سیلتی معادل آبرفت‌های سری Rieben A در زیر آبرفت‌های جوان وجود داشته باشد. مطالعات ژئوفیزیک و شرایط زمین‌شناسی، ستبرای آبرفت در این برش را بیشینه تا ۳۰۰ متر برآورد می‌کنند. در این برش همانند برش شماره ۱، از شمال به جنوب اندازه رسوبات کاهش می‌یابد و درصد رسوبات رسی بالا می‌رود به نحوی که پتانسیل ایجاد آبخوان دو یا چندلایه در بخش‌های جنوبی وجود دارد.

برش شماره ۳: این برش از جنوب روستای آرده شروع شده و در راستای شمال - جنوب تا تاقدیس جنوب دشت ادامه یافته است. مطالعات ژئوفیزیکی ستبرای رسوبات آبرفتی را در حوالی سونداژ ۳۱۹ بیش از ۱۵۰ متر برآورد کرده است. با بررسی ژرفای چاه‌های بهره‌برداری حفاری شده موجود در شمال قلعه سلیمان‌خانی، مشاهده می‌شود که ژرفای بیشتر این چاه‌ها کمتر از ۲۵ متر است. با توجه به این که ژرفای آب زیرزمینی در کوهپایه‌های شمالی دشت هشتگرد بیش از ۷۰ متر است، به‌نظر می‌رسد که در آن منطقه یک سفره محلی تشکیل شده است که از بلندی‌های اطراف تغذیه می‌شود. بیشترین ستبرای رسوبات در مرکز دشت و منطبق بر مرکز مخروط‌افکنه رودخانه کردان است که حدود ۲۵۰ متر برآورد می‌شود.

وجود آبخوان تحت فشار در جنوب این برش، بر اساس نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های ژئوفیزیک محتمل نیست. در این برش ژرفای چاه‌های حفاری شده نیز کمتر از ۱۰۰ متر است.

برش شماره ۴: این برش از شمال هشتگرد شروع می‌شود و در راستای شمالی - جنوبی تا روستای زکی‌آباد ادامه دارد. در طول برش شماره ۴، ستبرای آبرفت کمتر از ۱۵۰ متر است. به‌طور کلی دانه‌بندی رسوبات از شمال تا جنوب برش ریزتر می‌شود. مقادیر بسیار زیاد رس در جنوب، تشکیل میان‌لایه‌هایی را داده که باعث شکل‌گیری آبخوان تحت فشار در این منطقه از دشت شده است. نگاشت حفاری چاه‌ها نیز این مطلب را تأیید می‌کند.

برش شماره ۵: این برش همانند برش پیشین، به‌طور تقریبی روند شمالی - جنوبی دارد. در نیمه شمالی دشت، رسوبات بیشتر دانه‌درشت هستند. در نیمه جنوبی به‌سوی جنوب دشت، رسوبات دانه‌ریز جایگزین رسوبات درشت‌تر می‌شوند. در بخش‌های مرکزی و جنوبی، وجود رس سبب ایجاد آبخوان تحت فشار شده است. این وضعیت در چاه اکتشافی شاه‌بلاغ حوالی سونداژ ۳۳۱ قابل مشاهده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از حوالی سونداژ ۳۲۹ به‌سوی جنوب آبخوان دو لایه می‌شود.

برش شماره ۶: این برش نیز روند شمالی - جنوبی دارد. در برش شماره ۶، اندازه رسوبات از شمال به جنوب کاهش می‌یابد و رسوبات رسی در بخش‌های مرکزی و جنوبی سبب ایجاد آبخوان تحت فشار می‌شوند. این وضعیت میان سونداژهای ۳۴۱ تا ۲۱۶ قابل مشاهده است. در این برش، ستبرای آبرفت‌های دوران چهارم کمتر از برش پیشین و در بیشتر نقاط حدود ۱۰۰ متر است. ستبرای آبرفت فقط در سونداژ ۳۳۹، به حدود ۱۵۰ متر می‌رسد.

به‌طور کلی نتایج حاصل از حفاری‌های اکتشافی و بررسی‌های ژئوفیزیکی نشان می‌دهد که در شمال دشت، همه چاه‌ها در رسوبات دانه‌درشت حفر شده‌اند. از نیمه دشت به‌سوی جنوب، تمامی حفاری‌های ژرف به آبخوان دو یا چندلایه برخورد کرده است. حفاری‌های انجام شده در نیمه جنوبی، به‌طور نسبی وجود یک لایه

(پ) آبرفت‌های عهد حاضر: این سازند متعلق به عهد حاضر و شامل رسوبات رودخانه‌ای و رسوبات شنی - ماسه‌ای حاشیه دشت است. این سازند به‌صورت روکشی به ستبرای یک متر روی سری C، ته‌نشین شده است (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۶).

سنگ کف آبخوان در این محدوده به‌طور کلی به یکی از دو سازند زیر تعلق دارد: الف) سازند کرج (پالئوژن): این سازند در محدوده مورد نظر رخنمون گسترده‌ای ندارد و بیشتر در نواحی شمال خاوری دشت دیده می‌شود. رنگ آن بیشتر سبز است. در بخش زیرین، از رسوبات دره آمیخته شامل توفیت، برش، ماسه‌سنگ، آهک به‌همراه مواد آذرآواری و گدازه و در بخش بالایی از سنگ‌های آتشفشانی شامل تراکیت، آندزیت و داسیت تشکیل شده است.

ب) سازند سرخ بالایی (نوژن): این سازند به‌طور چیره از کنگلو‌مرا و ماسه‌سنگ سرخ که با دگرشیبی بر روی رسوبات دیرین قرار گرفته است و میان‌لایه‌هایی از مارن‌های گچ‌دار و گل‌سنگ به‌رنگ سرخ تشکیل شده است. رخنمون این رسوبات در نواحی جنوبی دشت قابل مشاهده است.

ساختار زمین‌ساختی ناحیه مورد مطالعه از فعالیت‌های زمین‌ساختی البرز تأثیر پذیرفته است. به‌همین دلیل، بیشتر چین‌خوردگی‌ها و گسل‌ها، روند خاوری - باختری دارند. فعالیت‌های زمین‌ساختی منطقه بیشتر از آنکه سبب چین‌خوردگی شود، موجب گسل‌خوردگی شده است. از گسل‌های مهم این منطقه می‌توان گسل آبیگ، گسل جنوب طالقان و گسل ولیان را نام برد. به‌نظر می‌رسد که گسل‌های منطقه در شکل‌گیری رشته‌کوه‌های جنوبی طالقان به‌صورت یک بال‌آمدگی (Horst) و دشت هشتگرد به‌صورت یک فروافتادگی (Grabben) نقش اساسی داشته‌اند.

۳- هندسه و ویژگی‌های کمی آبخوان

منظور از هندسه آبخوان، گسترش سطحی و ژرفی آن است (Bouwer, 1978). برای رسم هندسه آبخوان و بررسی ویژگی‌های آن از جمله دانه‌بندی، کیفیت آب زیرزمینی، تعداد و انواع آبخوان‌ها و گسترش عمودی و افقی آنها، از بررسی‌های اکتشافی استفاده می‌شود. در این بررسی‌ها، بهترین راه شناسایی ویژگی‌های آبخوان انجام حفاری‌های اکتشافی و تفسیر درست اطلاعات به‌دست آمده از آنهاست (Asquith & Krygowski, 2004). در دشت هشتگرد با گسترشی بالغ بر ۸۰۰ کیلومتر مربع، فقط ۵ چاه اکتشافی (سازمان آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۷۴) وجود دارد. بنابراین، در رسم هندسه آبخوان دشت هشتگرد، از نتایج مطالعات ژئوفیزیک (شرکت فرانسوی C.G.G, ۱۳۵۴)، نگاشت حفاری چاه‌های پیرومتری (سازمان آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۶۵) و بهره‌برداری (سازمان آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۷۴) نیز کمک گرفته شده است. با تمام امکانات موجود، ۶ برش زمین‌شناسی در محدوده دشت (در راستای سوی جریان آب زیرزمینی) رسم شده است (شکل ۲). پس از رسم مقاطع زمین‌شناسی، نقشه‌های هم‌ستبرای آبرفت و آبخوان تهیه و در پایان با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی و نتایج بررسی‌های اکتشافی، آبخوان تحت فشار شناسایی و محدوده آن تعیین شده است.

برش شماره ۱: این برش که به‌طور تقریبی در روند شمال باختر - جنوب خاور رسم شده است، از رسوبات پلیوسن و آبرفت‌های سری Rieben A در شمال شروع می‌شود و به‌سوی جنوب تا حوالی روستای سلطان‌آباد ادامه می‌یابد. چاه کمال‌آباد که در رسوبات ۲Q و نزدیک سونداژ الکتریکی ۳۱۱ حفر شده است، شن و ماسه همراه با سیمان ضعیف رسی - سیلتی دارد. بر اساس نتایج بررسی‌های ژئوفیزیک، نگاشت حفاری چاه‌ها و زمین‌شناسی منطقه، ستبرای آبخوان آبرفتی جوان تا حدود ۱۵۰ متر برآورد می‌شود. در زیر این رسوبات، رسوبات پلیوسن شامل شن و ماسه **رسم قرار دارد که به‌طور نسبی نفوذپذیری بسیار کمتری دارد.** به‌تدریج از شمال برش به‌سوی جنوب بر میزان رسوبات دانه‌ریز افزوده می‌شود. کاهش اندازه رسوبات

فرونشست زمین در این منطقه دارد. افزایش ناگهانی تعداد چاه‌های کم‌ژرفا و نیمه‌ژرف در حوالی مرز تقریبی پهنه آبخوان تحت فشار و کاهش توان آبدی بیشتر چاه‌ها در این پهنه، گواه وجود آبخوان‌های یادشده است. وجود لایه‌های رسوبی ریزدانه در سقف آبخوان تحت فشار، ارتباط هیدرولیکی این آبخوان با آبخوان آزاد بالایی را قطع و یا بسیار ضعیف کرده است. بنابراین، تنها منبع تغذیه آبخوان تحت فشار، آب‌های زیرزمینی ورودی از آبخوان آزاد شمال دشت است که میزان آن در سال‌های گذشته به دلیل افت شدید سطح آب زیرزمینی در این آبخوان بسیار کاهش یافته است. کاهش سطح پیرومتری در آبخوان تحت فشار موجب کاهش فشار رو به بالا و مخالف نیروی وزن لایه‌های رسوبی ریزدانه و افزایش تراز آب زیرزمینی در آبخوان آزاد بالایی موجب افزایش نیروی رو به پایین و در سوی نیروی وزن لایه‌های رسوبی ریزدانه شده که نتیجه آن تراکم این لایه‌ها و ایجاد فرونشست زمین با نرخ بیشینه ۱۶ سانتی‌متر بر سال است.

متأسفانه، در گزارش‌ها و نقشه‌های موجود به دلیل نبود شناخت از آبخوان تحت فشار و کمبود پیرومتر در این آبخوان، بر خلاف واقع، به نظر می‌رسد که تراز آب‌های زیرزمینی در این منطقه روندی افزایشی داشته است. این پنداشت غلط باعث بروز اشتباه در ساخت مدل‌های آب زیرزمینی و سیاست‌های مدیریتی در بخش کشاورزی و منابع آب می‌شود. برای اعمال برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب برای کاهش و یا توقف نرخ فرونشست زمین در این دشت، باید سازوکار شناخته شده مورد توجه قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین نتایج به دست آمده این است که میزان آب برگشتی به آبخوان از سطح زمین اعم از آب‌های مصرفی در بخش کشاورزی، صنعت، شرب و همچنین بارندگی، در محدوده آبخوان تحت فشار بسیار ناچیز است و برآوردهای پیشین بسیار متفاوت از واقعیت است. در برنامه‌ریزی‌ها و ارائه طرح‌های مختلف باید توجه داشت که تنها منبع جبران آب برداشت شده از سفره تحت فشار، جریان‌های ورودی آب زیرزمینی از جانب شمال خاور این پهنه است.

سیاسگزاری

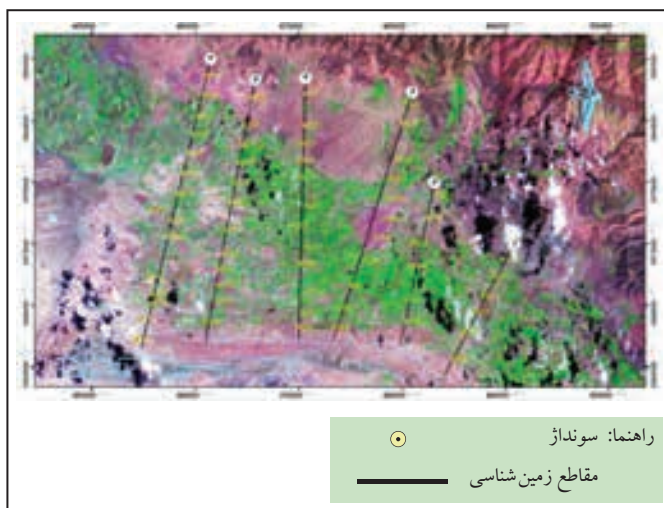
از زحمات دوست و همکار گرامی، جناب آقای مهندس کمال خدایی که در انجام این پژوهش ما را یاری کردند، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنیم.

دانه‌درشت را در زیر رسوبات دانه‌ریز سیلتی-رسی نشان می‌دهد که باعث ایجاد یک آبخوان تحت فشار شده است. البته دانه‌بندی رسوبات و ستبرای آنها به‌شکلی است که در بخش‌های گسترده‌ای از این محدوده، یک آبخوان تحت فشار کامل ایجاد شده و در این بخش‌ها آبخوان از نوع نیمه تحت فشار است. محدوده این آبخوان که همخوانی بسیار خوبی با محدوده فرونشست زمین در این منطقه دارد در شکل ۹ ارائه شده است.

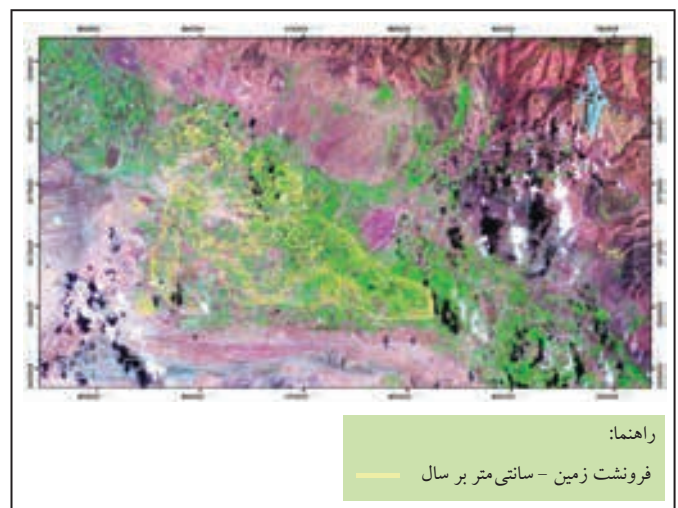
با استفاده از آخرین آمار وزارت نیرو در سال ۱۳۸۲ در مورد ژرفای چاه‌های بهره‌برداری (وزارت نیرو، ۱۳۸۲) و تلفیق آن با محدوده آبخوان تحت فشار نقشه ارائه شده در شکل ۱۰ به دست آمد. همان‌گونه که در این نقشه دیده می‌شود، در محدوده دشت و بالادست (شمال) محدوده آبخوان تحت فشار، بیشتر چاه‌ها از نوع ژرف هستند. از حوالی مرز تقریبی رسم شده در شمال این محدوده به سوی داخل، به‌طور ناگهانی تعداد چاه‌های کم‌ژرفا و نیمه‌ژرف در مقایسه با چاه‌های ژرف افزایش می‌یابد. این مطلب شاهدهی بر وجود آبخوان دو تا چندلایه در این محدوده است. در این حالت، ژرف‌ترین سفره آب زیرزمینی، تحت فشار و یا نیمه تحت فشار است. در محدوده دشت هشتگرد، سوی عمومی جریان آب زیرزمینی از خاور به سوی باختر است (شکل ۱۱). بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان آزاد (وزارت نیرو، ۱۳۷۲ و ۱۳۸۲) به‌وسیله چاه‌های ژرف پرشمار در این منطقه با توجه به سوی عمومی جریان آب زیرزمینی، سبب کاهش شدید سطح پیرومتری در آبخوان تحت فشار و در نتیجه کاهش شدید توان آبدی چاه‌ها (وزارت نیرو، ۱۳۷۲ و ۱۳۸۲) از این آبخوان شده است. از سوی دیگر سفره یا سفره‌های آب زیرزمینی موجود بر روی آبخوان تحت فشار نیز به دلیل ویژگی‌های زمین‌آب‌شناختی و ستبرای کم، توان آبدی کمی دارند. بنابراین، به‌طور معمول آبدی (دبی) چاه‌های آب موجود در پهنه آبخوان تحت فشار دشت هشتگرد کم است (شکل ۱۲) (وزارت نیرو، ۱۳۷۲ و ۱۳۸۲).

۴- نتیجه‌گیری

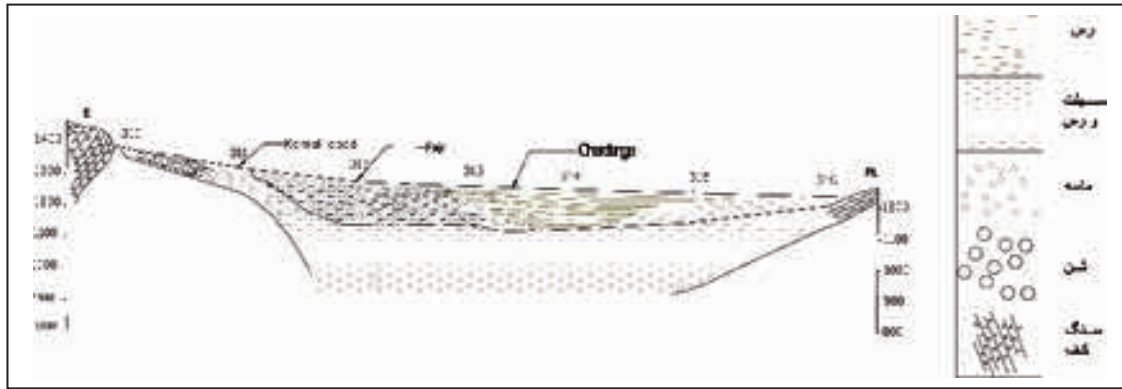
بررسی داده‌های نگاشت چاه‌های اکتشافی و ژئوالکتریک، بیانگر وجود یک آبخوان ژرف تحت فشار تا نیمه‌تحت فشار و بر روی آن یک آبخوان آزاد کم‌ستبرای در جنوب و باختر دشت هشتگرد است که محدوده آن همخوانی زیادی با محدوده



شکل ۲- نقشه موقعیت مکانی برش‌های زمین‌شناسی



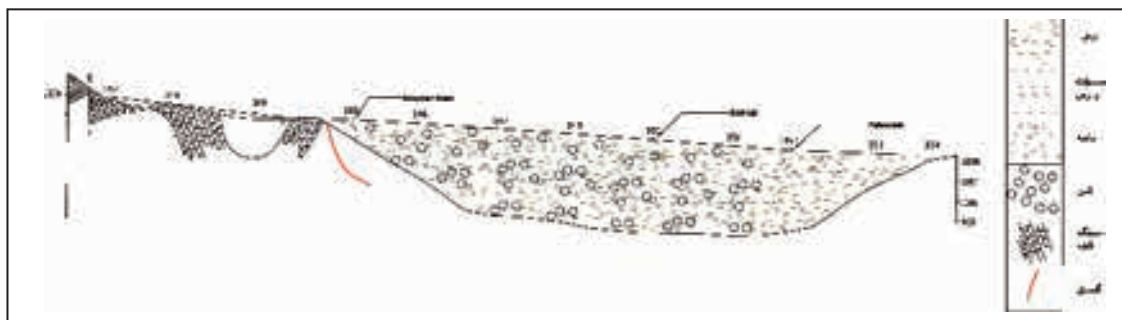
شکل ۱- نقشه نرخ میانگین فرونشست زمین در دشت هشتگرد بر حسب سانتی‌متر بر سال



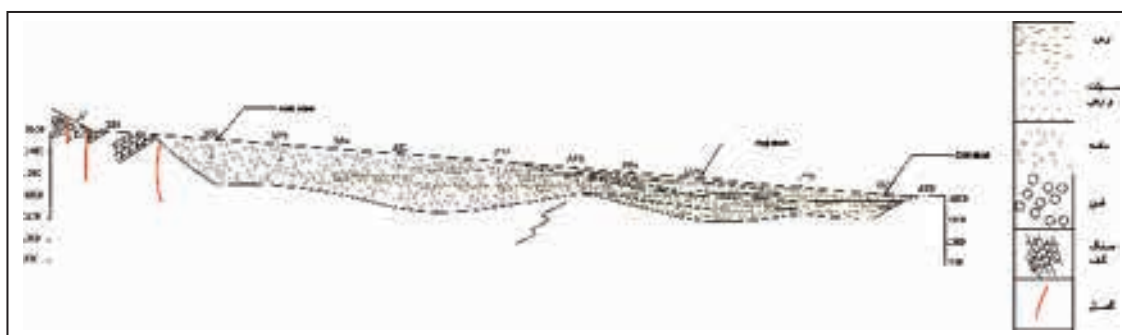
شکل ۳- برش زمین‌شناسی شماره ۱



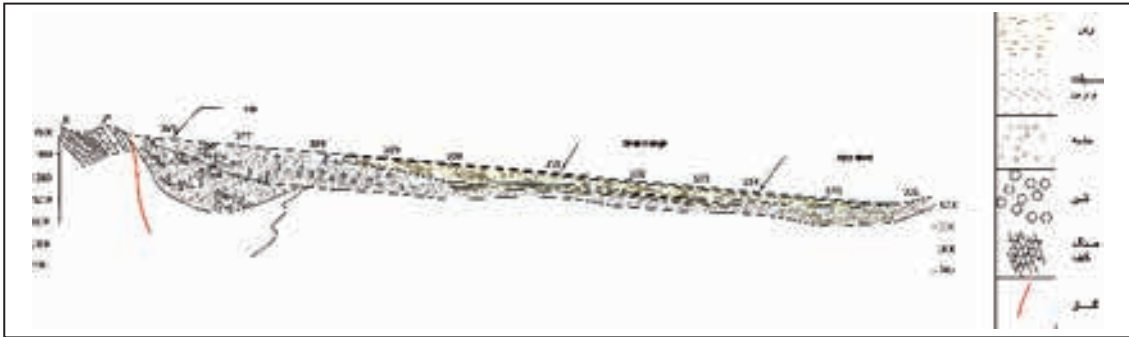
شکل ۴- برش زمین‌شناسی شماره ۲



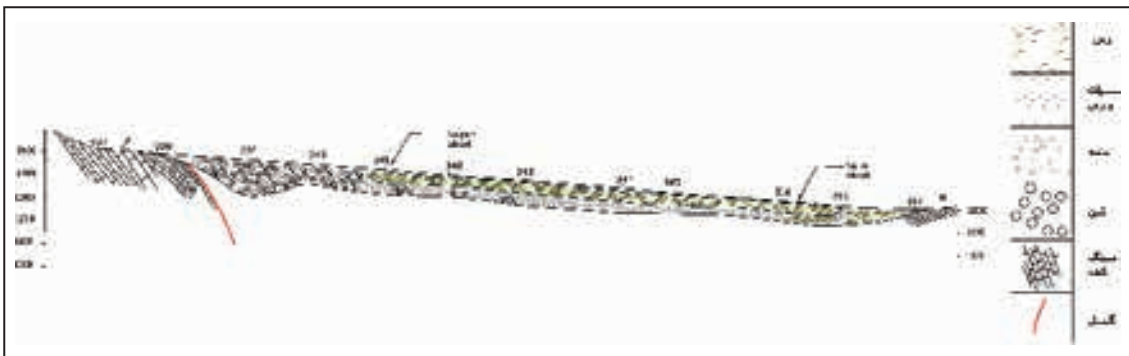
شکل ۵- برش زمین‌شناسی شماره ۳



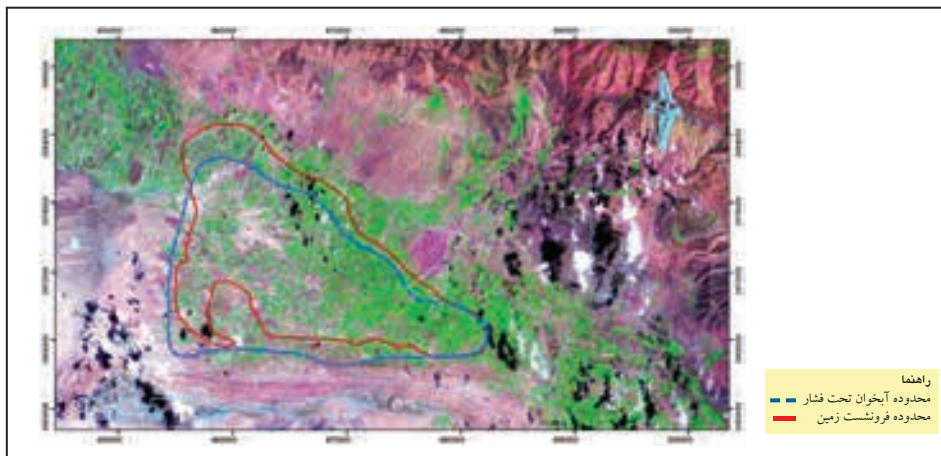
شکل ۶- برش زمین‌شناسی شماره ۴



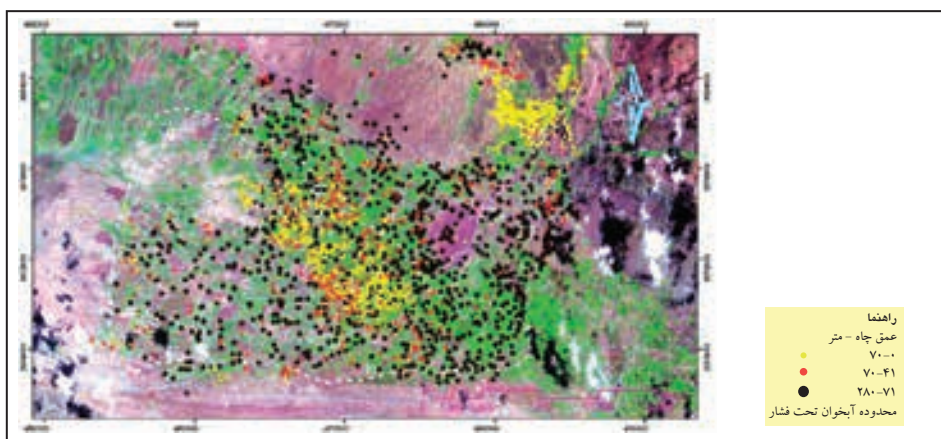
شکل ۷- برش زمین‌شناسی شماره ۵



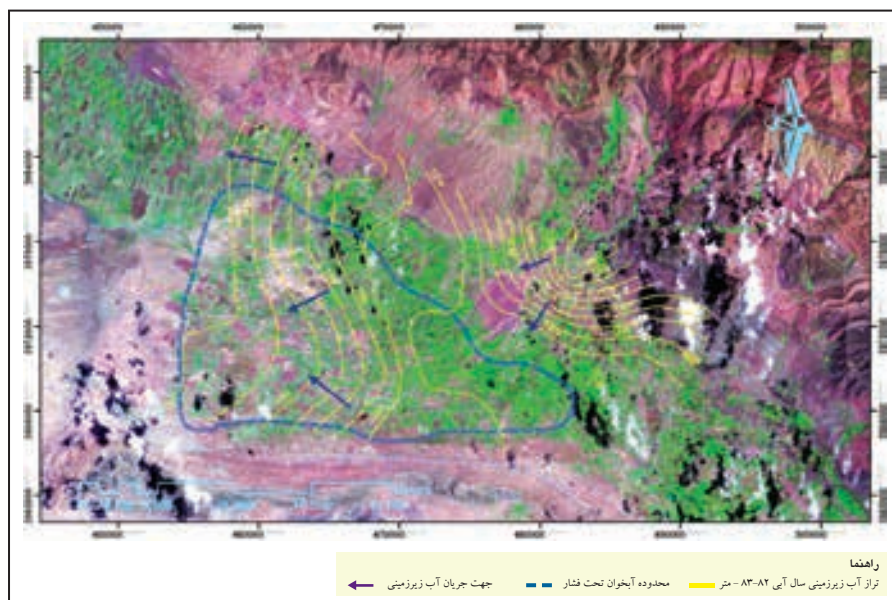
شکل ۸- برش زمین‌شناسی شماره ۶



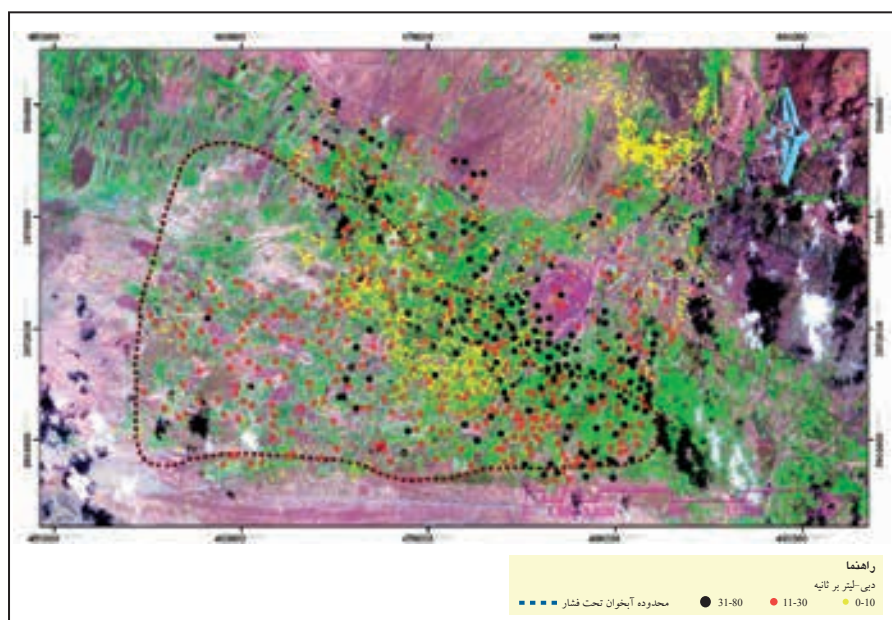
شکل ۹- نقشه محدوده آبخوان تحت فشار و فرونشست زمین در دشت هشتگرد



شکل ۱۰- نقشه محدوده تحت فشار و ژرفای چاه‌های بهره‌برداری در دشت هشتگرد



شکل ۱۱- نقشه تراز و سوی جریان آب زیرزمینی دشت هشتگرد در سال آبی ۸۲-۸۳



شکل ۱۲- نقشه محدوده آبخوان تحت فشار و دبی چاه‌های بهره‌برداری دشت هشتگرد

کتابنگاری

- سازمان آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۶۵- گزارش پیزومترهای حفاری شده در دشت هشتگرد.
- سازمان آب منطقه‌ای تهران، ۱۳۷۴- گزارش تلفیق مطالعات منابع آب حوضه آبریز دریاچه نمک.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۶- گزارش آب زمین‌شناسی دشت هشتگرد- طرح فرونشست زمین در محدوده استان تهران (جلد دوم)، شرکت توسعه علوم زمین.
- شرکت فرانسوی C.G.G، ۱۳۵۴- گزارش ژئوفیزیک دشت هشتگرد.
- وزارت نیرو، ۱۳۷۲- گزارش آماری منابع و مصارف آب سطحی و زیرزمینی محدوده مطالعاتی هشتگرد، شرکت مهندسین مشاور لار.
- وزارت نیرو، ۱۳۸۲- گزارش آماری منابع و مصارف آب سطحی و زیرزمینی محدوده مطالعاتی هشتگرد، شرکت مهندسین مشاور لار.

References

- Asquith, G. & Krygowski, D., 2004- Basic well logs analysis 2nd Edition, Tulsa, American association of petroleum geologists, 244p.
- Bouwer, H. , 1978- Groundwater hydrology, Mc Graw Hill, 572p.
- Rieben, E. H., 1966- Geological observations on alluvial deposits in Northern Iran, Geological Survey of Iran, Rep.9