فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال سیزدهم، شماره ۴۷، تابستان ۹۸

گسل طوس مهمترین عامل کنترل کننده رفتار هیدرولیکی بخش شمالی آبخوان دشت مشهد

عباس کنگی [*۱] و محمد رضا ارجمند [۲]

۱-دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، a.kangi.geology@gmail.com
۲- شرکت آب و فاضلاب مشهد

چکیده

دشت مشهد در یک موقعیت ساختاری ویژه و تحت تاثیر عملکرد مجموعه ای از گسل های فعال حاشیه شمالی رشته کوه بینالود، حاشیه جنوبی رشته کوه کپه داغ و پهنه بخاردن- قوچان در غرب قرار گرفته است. فعالیت این گسل ها مورفولوژی پله کانی سنگ کف دشت را شکل داده اند. همچنین عملکرد گسلهای فعال در دوره کواترنری ضخامت و گسترش رسوبات آبرفتی دارای پتانسیل بالای آبدهی را تحت تاثیر قرار داده است. گسل طوس به عنوان یکی از شاخه های فرعی پهنه گسل کشف رود در بخش شمالی دشت مشهد، نقش مهمی در کنترل رفتار هیدرولیکی منابع آب زیرزمینی این دشت ایفا می کند. بر اساس تلفیق پروفیل های ژئوالکتریک و نتایج حفاریهای دستگاهی، گسل طوس به عنوان شاخه فرعی و پیشرو گسل کشف رود، با مکانیسم Fault-Propagation Folds و بدون رخنمون سطحی، در زیر مجموعه ای از تاقدیس های شمال دشت مشهد در حال تکامل است.

واژگان کلیدی: گسل طوس، دشت مشهد، آب زیرزمینی، هیدرولیک آبخوان.

مقدمه

گسل ها به عنوان یکی از اصلی ترین ساختارهای زمین شناسی در اغلب موارد الگوی جریان آب زیر زمینی در آبخوان ها را تحت تاثیر قرار می دهند. پهنه های گسلی به عنوان موانع یا عبور دهنده جریان آب آبخوان، کمیت و کیفیت آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار داده و در بسیاری موارد همانند کانالهای زهکش جریان آب زیرزمینی رفتار می کنند. بنابراین شناسایی وضعیت هندسی و نفوذ پذیری پهنه های گسلی موجود در آبخوان، به عنوان یک عامل اصلی کنترل کننده رفتار منابع آب زیرزمینی ضروری است. اثرات ناشی از گسل ها بر جریان آب زیرزمینی داخل آبخوان، بسیار پیچیده، متنوع و درک رفتار آب در پیرامون زون های گسلی دشوار است. زون خردشده گسل ها (Damage Zone)، شامل مجموعه ای از گسل های فرعی و شکستگی ها در پیرامون صفحه گسل بخش هایی از فرادیواره و فرودیواره گسل را در بر می گیرد. در اغلب موارد این پهنه به شدت خرد شده با تراوایی بالا، به عنوان مجرایی برای عبور جریان آب زیرزمینی به موازاد امتداد گسل است (Caine et al., 1996). با این وجود هسته گسل های فشاری (معکوس و امتداد لغز) در اغلب موارد همانند یک سد زیرزمینی غیر قابل نفوذ، مانع جریان آب های زیرزمینی عمود بر راستای گسل می شوند (Bense et al., 2013). در این مقاله به منظور بررسی ارتباط گسل طوس با منابع آب دشت مشهد، هیدرولیک آبخوان، نقشه های سنگ کف، ترازآب زیرزمینی، عمق سطح آب زیرزمینی و افت سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی این اطلاعات با رویکرد شناسایی نقش گسل طوس بر منابع آب دشت مشهد، امکان تحلیل پایداری و تقویت وضع موجود چاه های آب شرب و شناسایی زون های توسعه بهره برداری برای تأمین آب شرب شهر مشهد مقدس از آبخوان اصلی مشهد- چناران را فراهم می کند.

آبخوان دشت مشهد: از نظر زمین شناسی دشت مشهد بخشی از پهنه فرونشستی مشهد- قوچان می باشد که در بین دو حوضه رسوبی کپه داغ و بینالود قرار گرفته است (بربریان و همکاران ۱۳۷۸). مرز شمال شرقی این فرونشست را گسل چشمه گیلاس (کشف رود) و مرز جنوب غربی آن را گسل های جنوب مشهد و جنوب چناران می سازند. رسوبگذاری دشت مشهد کاملا در کنترل تکتونیک فعال می باشد. اشکال مورفولوژیکی جوان نظیر مخروط افکنه های تغییر شکل یافته، تغییر در مسیر رودخانه ها، سرعت رسوبگذاری زیاد، پرتگاه های گسلی جوان در محدوده دشت مشهد از جمله شواهد فعال بودن تکتونیک این دشت می باشد (قزی و همکاران، ۱۳۹۳). نهشته های آبرفتی دشت مشهد تحت تاثیر دو حوضه عمده رسوبگذاری شامل رسوبگذاری سازندهای سخت رسوبی (کپه داغ- هزار مسجد)، و حوضه ناشی از رسوبگذاری فیلیت مشهد (بینالود) قرار دارد. در این راستا شناسایی مرزهای فیزیکی و هیدرولیکی آبخوان از اهمیت ویژه برخوردار است. براساس مطالعات زمین شناسی و تکتونیک منطقه، محل برخورد ساختار رسوبی کپه داغ- هزار مسجد (ارتفاعات شمالی دشت مشهد- چناران) با ساختار رسوبی بینالود (ارتفاعات جنوبی دشت مشهد- چناران) به عنوان زون مفصلی (Suture Zone) توسط نهشته های آبرفتی دشت مدفون شده است. احتمالا اتصال این زون ساختاری در بخش میانی دشت مشهد و منطبق با موقعیت گسل چاهشک می باشد (کنگی ۱۳۹۸، کنگی و ارجمند ۱۳۹۷). بر این اساس بخش شمالی گسل چاهشک تحت تاثیر مدل تکتونیکی حاکم بر کپه داغ، شامل گسل های رانده از نوع فلسی با شیب به سمت شمال شرق می باشد. این گسلهای رانده شامل گسل کشف رود و گسل طوس، در برخی مناطق توسط گسل های امتداد لغز (Tear fault) بریده شده اند.

عامل اصلی کنترل کننده رفتار منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت مشهد ، بسیار پیچیده، متنوع و درک رفتار آب در بخش های مختلف آن دشوار است. مهمترین عوامل کنترل کننده هیدرولیک آبخوان دشت مشهد شامل ساختارهای زمین شناسی، موانع زیرزمینی، توپوگرافی سنگ کف، موقعیت چاه های بهره برداری و منابع تغذیه آبخوان است.

گسل های کواترنری دشت مشهد: دشت مشهد توسط مجموعه ای از گسل های کواترنری احاطه شده است. عملکرد این گسل ها با ایجاد مورفولوژی پله کانی در سنگ کف دشت، تغییرات ناگهانی در ضخامت رسوبات آبرفتی، جنس رسوبات، کمیت و کیفیت آب های زیرزمینی دشت ایجاد کرده است. همچنین اختلاف جنس سنگ کف در دو سوی گسل های مورد نظر، دسترسی به منابع آب عمیق را تحت تاثیر قرار داده است. بنابراین شناسایی مکانیسم عملکرد گسل های کواترنری دشت مشهد نقش مهمی در اکتشافات آینده منابع آب زیرسطحی منطقه دارد. در این میان گسل طوس در بخش شمالی شهر مشهد، نقش اساسی در مورفولوژی بخش شمالی آبخوان دشت مشهد دارند. مطالعات ژئوالکتریک دشت مشهد، مهمترین مدارک شناسایی گسل های کواترنری این منطقه است. این مطالعات طی ۳ مرحله اصلی شامل عملیات ژئوالکتریک قبل از سال ۱۳۶۴، عملیات ژئوالکتریک سال ۱۳۸۷وعملیات ژئوالکتریک سال ۱۳۹۵ شمال دشت مشهد می باشد (جدول ۱).

گسل طوس: گسل کواترنری طوس با راستای شمال غرب – جنوب شرق در شمال شهر مشهد برای نخستین بار توسط بربریان و همکاران (۱۳۷۸) بر اساس شواهد ژئومرفولوژیک بر روی عکس های هوایی شناسایی و معرفی گردید. از آن زمان تا کنون مطالعات پراکنده ای بر روی این گسل انجام شده، با این وجود در رابطه با موقعیت دقیق، احتمال وجود و یا عدم وجود آن اختلاف نظر وجود دارد.

جدول ۱- مراحل مختلف مطالعات ژئوالکتریک دشت مشهد.

ردیف	سال (مرحله)	شرکت مشاور	تعداد سونداژ	تعداد خطوط برداشت	ملاحظات
۱	۱۳۴۲	(CGG)	۵۶	۱۵	شهر چناران تا شمال تپه سلام
	۱۳۴۸		۹۰		
۲	۱۳۴۹	ست کوپ	۱۰۴	۱۲	ابتدای دشت تا شهر چناران
۳	۱۳۵۲	آبکاو	۴۸	۵	گلبهار، شهرک صنعتی، حوزه شهری
۴	۱۳۶۴	وزارت نیرو	۸۲	۱۸	چشمه گیلاس تا جاده کارخانه سیمان و
جمع سوندا‌ژها			**۳۸۰**		

اثر این گسل بر روی عکس های هوایی نشان دهنده آن است که ادامه این گسل احتمالاً از شمال غرب مشهد در حاشیه طوس وارد محدوده شهر مشهد شده و از کنار بقعه خواجه ربیع عبور می کند و از شمال شرقی شهر مشهد، در حوالی شهرک گلشهر خارج می شود. این گسل در بخش جنوب شرقی در رسوبات آبرفتی کواترنری خیلی واضح نیست. در نزدیکی خواجه ربیع یک افراز (پرتگاه) گسلی در امتداد آن قابل مشاهده است (آزادی و همکاران ۱۳۸۸). آبراهه هایی که از کوهپایه های جنوب و جنوب غرب مشهد سرچشمه می گیرند، بعد از رسیدن به گسل طوس به شرق منحرف گردیده اند.گسل طوس در منطقه خواجه ربیع با افراز مشخص بالا آمدگی سنگ کف مارنی را سبب شده و در بخش های دیگر با آبرفت جدید پوشیده شده است. بررسی وضعیت هندسه گسل با تحقیقات ژئوالکتریک در محدوده نزدیک خواجه ربیع، گسل طوس را گسلی معکوس با شیب به سمت جنوب غرب معرفی می کند. مهمترین مطالعات زیرسطحی مرتبط با گسل طوس شامل حفاریهای دستگاهی، برداشت های ژئوالکتریک و مطالعات مایکروترمور می باشد. در اغلب این مطالعات نهشته های آبرفت سطحی (عمق ۴۰ متر) مورد توجه قرار گرفته و تلاش شده موقعیت گسل به کمک اختلاف شرایط فیزیکی آبرفت در دو سوی گسل شناسایی گردد.

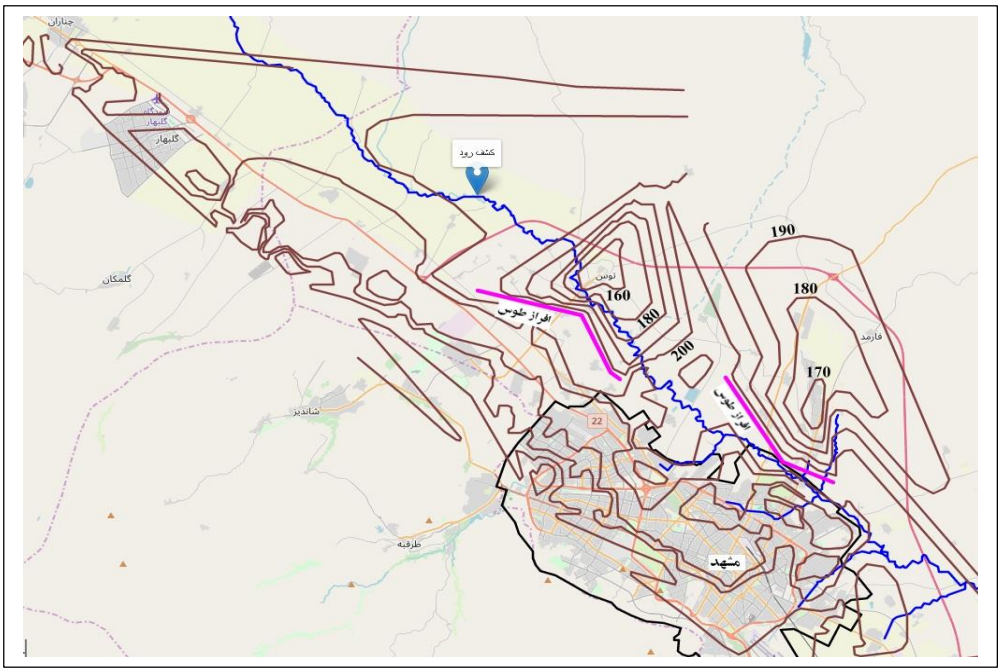
بالا آمدگی افراز طوس: الگوی جریان آب زیر زمینی دشت مشهد تحت کنترل مجموعه ای از ساختارهای زمین شناسی شامل گسل ها و چین ها به همراه تنوع سنگ شناسی در نهشته های آبرفتی و سنگ کف می باشد. در این راستا عدم وجود اطلاعات زیر سطحی دقیق در رابطه با مشخصات هندسه گسلهای پنهان در زیر دشت مشهد اختلاف نظر در رابطه با حضور یا عدم حضور برخی گسل ها را سبب شده است. در این میان گسل طوس به عنوان بحث برانگیز ترین گسل دشت مشهد می باشد. این گسل به عنوان یکی ازمهمترین گسل های دشت مشهد معرفی شده که در بخش هایی آبخوان آبرفتی دشت مشهد را به دو بخش تقسیم نموده است. این گسل به عنوان شاخه ای از گسل کشف رود برای نخستین بار توسط بربریان و همکاران (۱۳۷۸) بر اساس شواهد ژئومرفولوژیکی بر روی عکس های هوایی شناسایی و معرفی گردید. از آن زمان تا کنون مطالعات پراکنده بر روی این گسل انجام شده است. با این وجود در رابطه با موقعیت دقیق، احتمال وجود و یا عدم وجود آن اختلاف نظر وجود دارد. از جمله شواهد منتسب به این گسل، افراز گسلی نزدیک خواجه ربیع، انحراف مسیر آبراهه ها در تقاطع با گسل، نتایج تحقیقات ژئوالکتریک در محدوده نزدیک خواجه ربیع و تغییرات شدید کمی و کیفی چاه های آب بهره برداری در دو

سوی این گسل است. بنابراین شناسایی گسل طوس بر اساس شواهد مورفولوژیکی محدود و تحقیقات غیر مستقیم ژئوالکتریک و نتایج چاه های آب حفاری شده در محدوده شمال غرب شهر مشهد انجام شده است. با رویکرد محافظه کارانه به دلیل عدم وجود مدارک زمین شناسی محکم(رخنمون سطحی، ترانشه های عمود بر راستای گسل و ...)، کلیه مدارک ارائه شده مبنی بر وجود گسل طوس می تواند ناشی از یک پرتگاه در سنگ کف دشت با منشاء های متفاوت باشد. نقشه منحنی های سنگ کف دشت مشهد که از تلفیق داده های ژئوالکتریک و نتایج حفاری چاههای آب بدست آمده، حکایت از بالا آمدگی های سنگ کف مارنی در منطقه خواجه ربیع مشهد دارد. این بالا آمدگی های سنگ کف، در بخش میانی با مکانیسم چپ گرد به دو قطعه تقسیم شده است (شکل ۱). با توجه به مشاهده ساختارهای مشابه در بخش شمال غرب دشت مشهد، این جابجایی می تواند تحت تاثیر فعالیت گسل های امتداد لغز با راستای شمال–جنوب ایجاد شده باشد. امتداد این گسل ها عمود بر راستای سیستم گسل رانده اصلی حاکم بر یال جنوبی رشته کوه کپه داغ است. این احتمال وجود دارد که گسلهای امتداد لغز دشت مشهد (گسل های زاک و ابرغن) با ساختارTear Fault تحت تاثیر فعالیت گسل رانده کشف رود ایجاد شده باشند (شکل ۲).

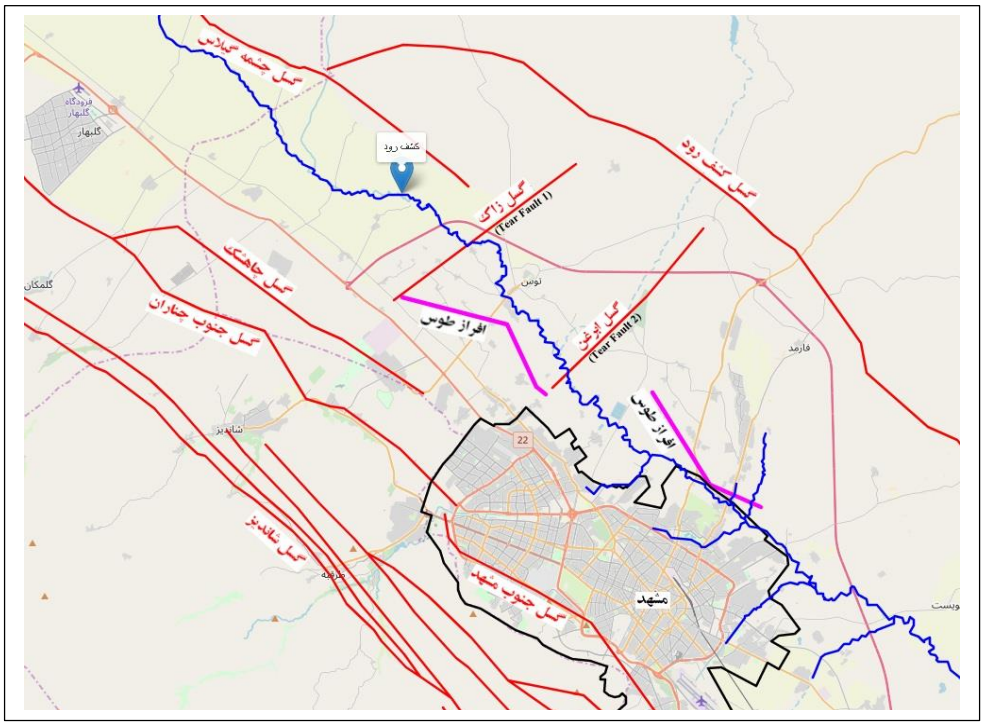
در این فرایند عملکرد شاخه های فرعی گسل کشف رود در بخش پیشانی، سبب شکل گیری مجموعه ای از برآمدگی های تاقدیس مانند در نهشته های مارنی و شکل پذیر نئوژن شده است. بر این اساس در ضلع جنوبی تاقدیس ها پرتگاه هایی زیر سطحی شکل گرفته که در این مقاله به عنوان افراز طوس (Tous Scarp) نامگذاری شده است (شکل ۱ و ۲).

وضعیت منابع آب در پیرامون افراز طوس: چاه های آب در پیرامون افراز طوس بر اساس میزان آبدهی، عمق سنگ کف و جنس سنگ کف به ۳ دسته به شرح زیر قابل تقسیم هستند (شکل ۳).

– **جنوب افراز طوس:** در جنوب افراز طوس، محدوده بلوار شاهنامه (مناطق روستاهای اکبرآباد، حاجی آبا، کلاته برفی و شمس آباد) دارای آبدهی بالا و عمق ۲۴۰ تا ۲۵۰ متر می باشند (شکل ۳).



شکل ۱- موقعیت افراز طوس نسبت به منحنی های هم تراز سنگ کف دشت مشهد.

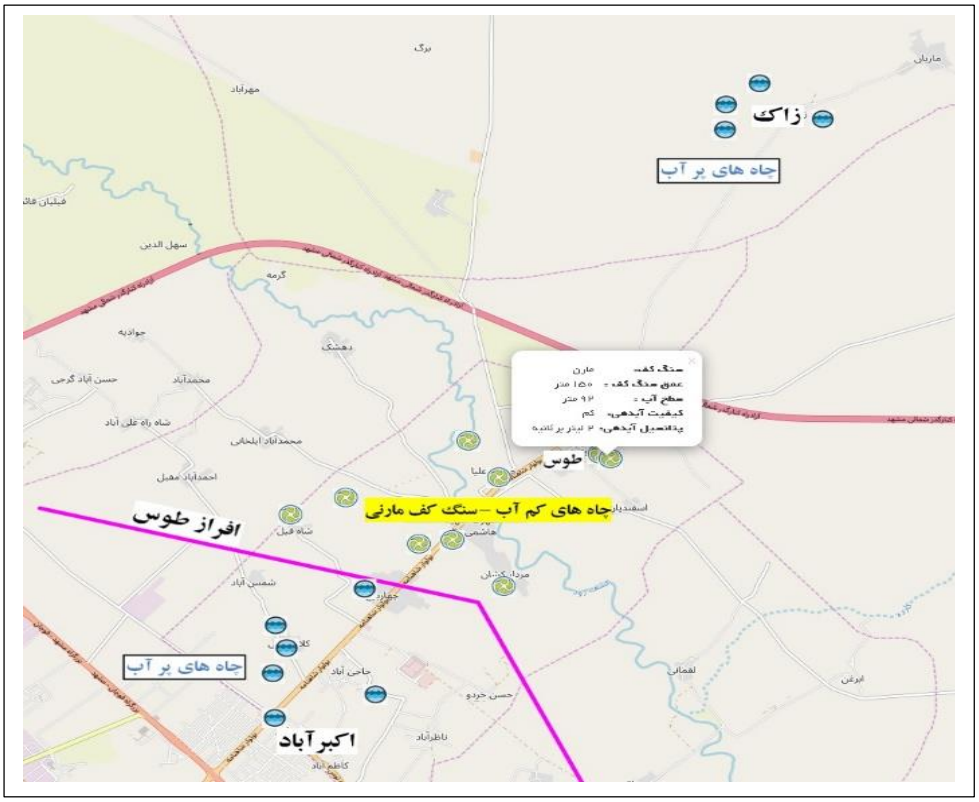


شکل ۲- موقعیت افراز طوس نسبت به گسل های زاک و ابرغن (Tear Fault) و سایر گسل های فعال دشت مشهد.

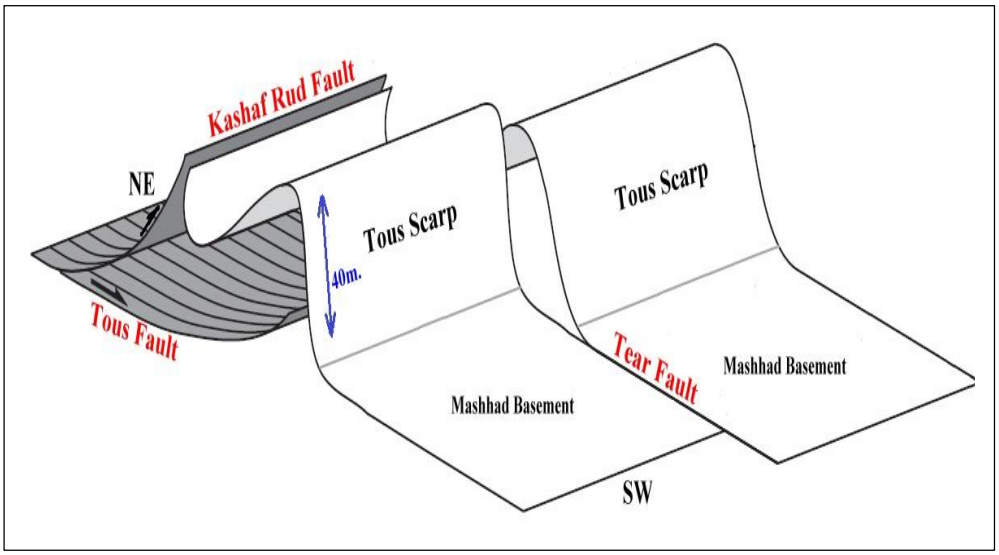
-پهنه افراز طوس: در محدوده روستاهای طوس، طوس علیا، شاه فیل، مردار کشان و شهرک شهید هاشمی نژاد، از ضخامت آبخوان و عمق حفاری چاه ها کاسته شده است. در این مناطق توان آبدهی چاه ها کم و کلیه چاه ها به سنگ کف مارنی برخورد کرده اند. به عبارت دیگر بر اساس داده های حاصل از حفاری چاه های عمیق آب و پروفیل های ژئوالکتریک، بالا آمدگی سنگ کف مارنی در محدوده افراز طوس و بزرگراه کنار گذر شمالی مشهد رخ داده است.

-شمال پهنه افراز طوس: در مناطق مجاور روستاهای زاک و ماریان شاهد افزایش ضخامت آبخوان ، پایین بودن سنگ کف مارنی (بیش از ۲۰۰ متر) ، بالا بودن سطح آب زیر زمینی (حدود ۵۰ متر) و آبدهی بالای چاه ها هستیم (شکل ۳). علت بالا بودن توان آبی چاه ها در این مناطق می تواند ناشی از دو دلیل مهم می باشد. دلیل اول وجود گسل اصلی کشف رود در شمال مناطق زاک و ماریان، که احتمالاً با ایجاد شکستگی های متعدد در طول درازای نسبتاً طولانی خود موجب هدایت و انتقال آبهای زیر زمینی از نواحی دور دست (شمال و شمال غرب) دشت مشهد به سوی این مناطق شده و دیگری بالا آمدگی سنگ کف مارنی دشت در پهنه افراز طوس (محدوده افراز طوس و بزرگراه کنار گذر شمالی مشهد) می باشد که مانند یک سد زیر زمینی مانع انتقال آبهای زیر زمینی آبخوان زاک – ماریان به آبخوان مشهد چناران در جنوب گردیده است.

مدل تکتونیکی حاکم بر گسل طوس: در این مقاله بر اساس تلفیق اطلاعات پروفیل های ژئوالکتریک و چاه های عمیق حفاری شده در پیرامون گسل طوس، مدل تکتونیکی حاکم بر این گسل پیشنهاد گردیده است. بر این اساس گسل طوس به عنوان شاخه فرعی و پیشرو گسل کشف رود، با مکانیسم Fault-Propagation Folds و بدون رخنمون سطحی، در زیر مجموعه ای از تاقدیس های شمال دشت مشهد در حال تکامل است (شکل ۴). این برآمدگی های تاقدیس مانند در محدوده رودخانه کشف رود، ارتباط آبخوان در بخش جنوبی و شمالی دشت مشهد را قطع نموده است. به عبارت دیگر بالا آمدگی سنگ کف مارنی در محدوده افراز طوس، همانند یک سد زیرزمینی غیر قابل نفوذ، مانع جریان آب های زیرزمینی عمود بر راستای آن، ارتباط آبخوان دشت مشهد-چناران با آبخوانهای بخش شمالی کشف رود از جمله پهنه آبرفتی زاک-ماریان را قطع کرده است.



شکل ۳- وضعیت آبدهی چاه ها در پیرامون افراز طوس.



شکل ۴- مدل تکتونیکی سه بعدی تکامل گسل و افراز طوس در شمال شرق دشت مشهد.

نتیجه گیری

گسل طوس به عنوان شاخه فرعی و پیشرو گسل کشف رود، با مکانیسم Fault-Propagation Folds و بدون رخنمون سطحی، در زیر مجموعه ای از تاقدیس های شمال دشت مشهد در حال تکامل است. این برآمدگی های تاقدیس مانند در محدوده رودخانه کشف رود، ارتباط آبخوان در بخش جنوبی و شمالی دشت مشهد را قطع نموده است.

به عبارت دیگر بالا آمدگی سنگ کف مارنی در محدوده افراز طوس، همانند یک سد زیرزمینی غیر قابل نفوذ، مانع جریان آب های زیرزمینی عمود بر راستای آن، ارتباط آبخوان دشت مشهد-چناران با آبخوانهای بخش شمالی کشف رود از جمله پهنه آبرفتی زاک-ماریان را قطع کرده است. بر اساس نقشه منحنی های سنگ کف دشت مشهد که از تلفیق داده های ژئوالکتریک و نتایج حفاری چاههای آب بدست آمده، بالا آمدگی های سنگ کف مارنی در منطقه خواجه ربیع مشهد قابل شناسایی است. این بالا آمدگی های سنگ کف، در بخش میانی با مکانیسم چپ گرد به دو قطعه تقسیم شده است. با توجه به مشاهده ساختارهای مشابه در بخش شمال غرب دشت مشهد، این جابجایی می تواند تحت تاثیر فعالیت گسل های امتداد لغز با راستای شمال-جنوب و با ساختارTear Fault (گسل های زاک و ابرغن) ایجاد شده باشد. این احتمال وجود دارد که گسلهای Tear Fault تحت تاثیر فعالیت گسل رانده کشف رود ایجاد شده باشند.چاه های آب در پهنه افراز طوس (محدوده بین افراز طوس و بزرگراه کنار گذر شمالی مشهد) بر اساس میزان آبدهی، عمق سنگ کف و جنس سنگ کف به ۳ دسته قابل تقسم است. در پهنه افراز طوس در محدوده روستاهای طوس، طوس علیا، شاه فیل، مردار کشان و شهرک شهید هاشمی نژاد، از ضخامت آبخوان و عمق حفاری چاه ها کاسته شده است. در این مناطق توان آبدهی چاه ها کم و کلیه چاه ها به سنگ کف مارنی برخورد کرده اند. اما در شمال (روستاهای زاک و ماریان) و جنوب (بلوار شاهنامه) پهنه افراز طوس، افزایش ضخامت آبخوان ، پایین بودن سنگ کف و آبدهی بالای چاه ها قابل مشاهده است.

منابع

-**آزادی ا.، جوان دو لویی غ.، حافظی مقدس ن.، حسامی آذر خ.، (۱۳۸۸).** "ویژگی های زمین شناسی، ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی گسل توس در شمال شهر مشهد". مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۵، شماره ۴، ص ۱۷-۳۴.

-**بربریان، م.، قریشی، م.، شجاع طاهری، ج. و طالبیان، م.،(۱۳۷۸)** ، "پژوهش و بررسی ژرف نوزمین ساخت و خطر زمین لرزه – گسلش در گستره مشهد نیشابور"، سازمان زمین شناسی کشور، شماره ۷۲.

-**قزی ا.، حافظی مقدس ن.، صادقی ح.، غفوری م. و لشکری پور غ.، (۱۳۹۳).**" بررسی تأثیر زمین ریخت شناسی بر روی ویژ گی های زمین شناسی مهندسی نهشته های آبرفتی شهر مشهد". زمستان ۹۳ ، فصلنامه علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۴ ، ص ۱۷ تا ۲۸.

-**کنگی ع. (۱۳۹۸)**، "طرح پژوهشی بررسی و تحلیل گسل های موثر بر کیفیت چاه های آب شرب مشهد به ویژه در مناطق شمال غرب دشت مشهد"، شرکت آب و فاضلاب مشهد. ۱۱۲ ص.

-**کنگی ع. و ارجمند م.ر. (۱۳۹۷)**، "نقش گسل چاهشک بر کیفیت چاه های آب شرب شمال غرب دشت مشهد". فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست. سال دوازدهم، شماره ۴۵، ص ۲۹ تا ۳۷.

-**Bense VF, Gleeson T, Loveless SE, Bour O, Scibek J, (2013)**، "Fault zone hydrogeology. Earth Science Reviews", 127,171-192.

-**Caine JS, Evans JP, Forster CB, (1996)**، "Faults zone architecture and permeability structure". Geology, 24, 1025-1028.

The Tous fault is the most important factor controlling the hydraulic behavior of the northern part of Mashhad plain

Abbas Kangi[1*] & Mohammad reza Arjmand[2]

1-Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Shahroud Branch
2-Mashhad Water and Sewerage Company

Abstract

Mashhad plain is located in a specific structural location and is affected by a group of active faults in north of the Binalood mountain, sothern margin of Kope-Dagh mountain and Bakharden – Quchan Fault System in west. Activity of these faults shaped the En echelon morphology of bedrock plain. Also function of active faults in quaternary period affected the thickness and expansion of alluvial sediments with high potential of water flow rate. Tous fault as an accessory branch of Kashafroud fault zone in North of the Mashhad plain, plays an important role in controlling the behavior of groundwater reservoir in this plain. Based on a combination of geoelectric profiles and instrumental excavation results, the Tous Fault is discovered as a subsidiary and leading fault, with the Fault-Propagation Folds mechanism developing without subsurface outcrop under a series of anticlines north of Mashhad plain.

Key words : Tous fault, Mashhad plain, Groundwater, Hydraulic aquifer